

А. С. Сандлер

ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Д о п у щ е н о Министерством высшего и
среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия для сту-
дентов высших учебных заведений



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА» МОСКВА 1972

- С18 Сандлер А. С.
Электропривод и автоматизация металлоре-
жущих станков. Учеб. пособие для втузов. М.,
«Высш. школа»; 1972.
440 с. с илл.

В книге освещены вопросы по расчету мощ-
ности электроприводов типовых механизмов стан-
ков, рассмотрены переходные процессы, способы
точной остановки и автоматического регулирова-
ния скорости.

Основное внимание уделено автоматизирован-
ным системам управления сложных современных
металлорежущих станков, в том числе и станков
с числовым программным управлением.

Предназначается в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений. Может
быть полезным инженерно-техническим работни-
кам, занятым проектированием или эксплуатац-
ей электрооборудования промышленных предприя-
тий.

3-1-6
279-71

6П 2.1.081 : 6П4.6

Рецензенты:

Кафедра «Электропривод и автоматизация про-
мышленных установок» ЛЭТИ

Канд. техн. наук Г. П. Хализев

Создание металлорежущих станков, автоматических станочных линий и цехов, отличающихся большой производительностью и высокой точностью обработки изделий, не обходится без широкого использования разнообразного электрооборудования.

Конструирование металлорежущих станков осуществляется в настоящее время в результате совместной работы инженеров-механиков и инженеров-электриков, поэтому студентам, специализирующимся в области электропривода и автоматизации промышленных установок, необходимо изучить вопросы рационального использования электрооборудования для металлорежущих станков. Курс «Электропривод и автоматизация металлорежущих станков» посвящен изучению особенностей работы и расчета электроприводов и систем автоматического управления ими применительно к отдельным типовым механизмам современных металлорежущих станков, а также рассмотрению специальных элементов электрооборудования, конструктивно сочетающихся с этими механизмами.

Изучение этого курса базируется на знании теории электропривода и автоматического управления электроприводами.

Предлагаемая книга написана в соответствии с одноименной программой курса для специальности «Электропривод и автоматизация промышленных установок» политехнических, энергетических и электротехнических вузов.

В соответствии с программой курса материал, изложенный в книге, разделяется на три части: 1) общие вопросы электропривода станков, 2) электропривод и автоматизация типовых металлорежущих станков и 3) электрооборудование станков с программным управлением. В первой части наряду с рассмотрением вопросов методики расчета электроприводов типовых механизмов станков в различных режимах, выявлением и оценкой различных способов регулирования скорости главных приводов и приводов подач уделяется внимание и элементам специального электрооборудования (электромагнитные муфты, электропатроны и др.).

Из большого материала по современным электроприводам и системам автоматического управления различных станков, накопленного к настоящему времени отечественным и зарубежным станкостроением, для второй части книги отобраны и проанализированы те типовые материалы, которые иллюстрируют влияние электрификации и электроавтоматизации на технический прогресс в станкостроении.

Во второй части курса, как и в первой, кроме описания и анализа физических процессов в работе принципиальных схем, кото-

рому уделено большое внимание, рассматриваются вопросы проектирования и расчета электропривода типовых станков, а также специфические элементы станочного электрооборудования (магнитные и электромагнитные столы, демагнитизаторы, датчики активного контроля, копировально-измерительные устройства, специальные быстродействующие электромагнитные муфты и т. п.).

Как в первой, так и во второй частях книги большое внимание уделено новым совершенным системам, в которых широкое применение находят элементы полупроводниковой и электромагнитной техники. Много места уделено отечественным разработкам по тиристорным преобразователям, особенно для приводов постоянного тока в системе главного привода и привода подач. Рассматриваются также тиристорные преобразователи частоты для приводов переменного тока.

Третья часть курса посвящена рассмотрению особенностей электропривода и систем автоматического управления станков с программным управлением. Вводя в эту часть гл. XIII, посвященную числовому программному управлению станками, автор стремился восполнить пробел, имевший место в учебной литературе по этой новой перспективной области техники.

При написании книги были использованы материалы проектных организаций и заводских конструкторских бюро в области электрооборудования станков (ЭНИМС, Станкообъединение им. Свердлова, СИБНИЭТИ, завод Тяжстанкогидропресс и др.), любезно предоставленные автору. Автор приносит благодарность коллективу кафедры ЭПП МЭИ за ценные замечания по рукописи при ее обсуждении, а также канд. техн. наук Э. Л. Тихомирову, написавшему гл. XIII. Кроме того, автор весьма признателен проф., докт. техн. наук А. В. Башарину и коллективу кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок ЛЭТИ, а также доц., канд. техн. наук Г. П. Хализеву за ряд полезных замечаний по рукописи при ее рецензировании.

А. С. Сандлер

В Директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР решающая роль была отведена развитию машиностроения и металлообработки. В общем выпуске станков должно быть обеспечено опережающее развитие станков высокой точности, специальных и агрегатных, шлифовальных автоматов и полуавтоматов, а также автоматических линий. Намечается значительное увеличение выпуска станков с программным управлением. Особое место по-прежнему занимает производство тяжелых станков. Наряду с созданием новых станков большое внимание должно быть уделено модернизации существующего огромного парка станков с целью увеличения производительности и облегчения их обслуживания.

К современным металлорежущим станкам предъявляются следующие основные требования: 1) возможно большая производительность при соблюдении достаточной точности формы и размеров, а также чистоты поверхности обрабатываемых на станке изделий; 2) простота и легкость обслуживания; 3) сравнительно низкая первоначальная стоимость и небольшие эксплуатационные расходы; 4) возможно малый вес и габариты и 5) простота изготовления и сборки отдельных узлов станка. Выполнение этих требований возможно при современном использовании средств механики, электротехники и гидравлики, а в некоторых случаях также и пневматики.

Можно без преувеличения утверждать, что все прогрессивные мероприятия по созданию современных металлорежущих станков в той или иной степени связаны с развитием автоматизированного электропривода. Глубокая электрификация металлорежущих станков является одним из путей, ведущих к упрощению конструкций станков, уменьшению их веса; она способствует развитию автоматизации управления, направленной на сокращение времени, затрачиваемого для производства продукции. Автоматизация управления электроприводами весьма эффективно решает задачи комплексной автоматизации в виде автоматических линий станков, отдельных цехов и даже заводов.

Впервые электрический привод станков появился в конце XIX в. Господствовавший в те времена трансмиссионный привод станков от теплового или водяного двигателя постепенно вытеснялся электрическим двигателем, особенно после изобретения М. О. Доливо-Добровольским трехфазного асинхронного двигателя и создания им электрической передачи переменного тока. Вначале происходила простая замена теплового или водяного двигателей электрическим; конструкция трансмиссионного привода оставалась без изменений.

До 1910—1916 гг. привод станков в основном осуществлялся от крупных трансмиссий. В дальнейшем наблюдалось дробление крупных трансмиссий на группы, каждая из которых приводилась в действие самостоятельным электродвигателем. Так возник групповой электропривод станков. Последующее развитие привода станков характеризовалось переходом от групповых трансмиссий к одиночному приводу. В этом случае каждый станок стал приводиться в действие от самостоятельного электродвигателя, но на этом этапе развития электропривода конструкция станков и их система управления мало изменялись.

Возможность использования преимуществ электрического управления и стремление значительно упростить кинематику отдельных звеньев станка привели к современному автоматизированному многодвигательному приводу, в котором различные движения на станке выполняются от отдельных электродвигателей.

Многодвигательный привод позволяет полнее увязывать свойства и конструкции электродвигателей с условиями работы и конструкциями отдельных узлов станка. При использовании многодвигательного привода может быть достигнуто: 1) плавное и точное регулирование скорости рабочего органа станка и, следовательно, установление наиболее рационального режима обработки, что снижает машинное время; особенно значительное сокращение машинного времени имеет место при автоматическом регулировании скорости вращения привода в процессе обработки (например, автоматическое регулирование скорости подачи с целью поддержания постоянства мощности резания или автоматическое поддержание скорости резания с изменением диаметра обработки); 2) повышение производительности благодаря сокращению вспомогательного времени за счет применения отдельных приводов для вспомогательных движений, осуществляемых при повышенных скоростях (приводы для зажимных устройств, перемещения суппортов, поперечины, поворота столов и т. п.); 3) упрощение конструкции станка вследствие уменьшения числа передач и повышение в связи с этим точности работы; 4) ускорение и облегчение процесса управления станком за счет применения автоматических способов управления и осуществления взаимной координации движений отдельных элементов станка при помощи сравнительно простых электрических связей; 5) автоматическое контролирование за работой отдельных механизмов станка.

В современных станках, отличающихся быстроходностью и значительной мощностью, большое значение приобретает максимальное приближение электродвигателя к рабочему органу станка. Так, на современных шлифовальных станках, скорость вращения шпинделя которых достигает иногда 150 000 об/мин и выше, применяются специальные двигатели, связанные непосредственно со шлифовальным кругом.

Сокращение числа механических передач и упрощение коробок скоростей особенно существенны в тяжелых станках, требующих

широкого диапазона регулирования скорости вращения главных приводов. До последнего времени в таких станках наибольшее применение находит электропривод по системе генератор — двигатель. Однако система генератор — двигатель является сравнительно сложной, дорогой и имеет низкий к. п. д. (например, в приводах продольно-строгальных и тяжелых расточных станков к. п. д. главного привода составляет 0,35—0,4). Замена в ряде случаев преобразователя системы генератор — двигатель полупроводниковым преобразователем несомненно целесообразна, так как при этом повышается к. п. д. привода, уменьшаются его вес и габариты, повышается быстродействие привода. В приводах подач, где требуется регулирование скорости вращения до 2000 : 1 и выше, весьма перспективными являются статические преобразователи, выполненные на базе управляемых полупроводниковых вентилей (тириستоров) в качестве регулирующих устройств для двигателей постоянного тока. Выпускаемые тиристоры позволяют уже в настоящее время разрабатывать различного рода преобразователи частоты для управления бесколлекторными двигателями переменного тока.

Наряду с созданием в последние годы новых приводов значительное развитие получили разного рода системы автоматического управления приводами станков. Переход от механических способов управления к электрическим, а в ряде случаев и к электрогидравлическим, помимо значительного облегчения и ускорения процессов управления, позволяет исключить в станках ряд механических устройств. Электрические способы управления особенно удобны и эффективны при значительной частоте включений привода, достигающей, например, в современных небольших токарных и шлифовальных станках значений 1000 и выше, а в продольно-строгальных превосходящей иногда 1500—1800 включений в час.

Применение систем автоматического управления позволило обеспечить работу станка без непрерывного непосредственного участия рабочего. Здесь в первую очередь следует отметить использование копировальных устройств. Первый копировально-токарный станок с механическим управлением был изобретен русским механиком А. К. Нартовым еще в период 1718—1729 гг.

Полуавтоматический гравировально-токарный станок со следящей электромеханической системой управления был построен в 1901 г. французом Аврилем. С 1923 г. фирма Келлер стала выпускать копировально-фрезерные станки с электроконтактным прибором и электромагнитными муфтами для привода подач. Оригинальные конструкции копировальных станков со следящими электроприводами были созданы коллективом завода им. Свердлова в 1936 г. К этому же периоду относятся и работы ЭНИМС в области создания копировальных устройств в токарных станках. С 1947 г. заводом им. Свердлова серийно выпускаются копировальные станки с непрерывной системой управления на базе станка модели 6441А, который по точности и производительности намного опережает зарубежные электрокопировальные станки.

Значительное сокращение вспомогательного времени достигается в современных станках также введением так называемого активного контроля размеров обрабатываемых деталей, заключающегося в том, что измерительное устройство — датчик — непрерывно в процессе обработки следит за размерами обрабатываемых деталей и подает в нужный момент соответствующие сигналы в систему управления для изменения режима работы привода или отключения его.

Электрическая автоматизация имеет первостепенное значение в специальных агрегатных станках и в автоматических поточных линиях. Применение агрегатных станков и автоматических линий позволяет резко сократить производственные площади и потребность в станках, а также число рабочих, обслуживающих их, повысить производительность труда при массовом производстве путем одновременной обработки деталей большим количеством инструментов (часто с нескольких сторон) вместо последовательной обработки одним инструментом. Так, например, автоматическая линия для обработки корпусной детали, состоящая из 22 станков с 38 электродвигателями, при общем количестве шпинделей 351, обслуживается четырьмя рабочими; ее производительность — 20 деталей в час. Обработка этих деталей на универсальных станках потребовала бы 24 квалифицированных рабочих. В СССР большая работа по созданию современных электрифицированных агрегатных станков и автоматических станочных линий проделана ЭНИМС, СКБ1, заводом им. Орджоникидзе, СКБ-АЛ и др.

Особое значение приобретает модернизация находящихся в эксплуатации станков и необходимость приближения технических данных установленных станков к показателям вновь проектируемых более прогрессивных моделей. В связи с этим автоматизация на существующих станках отдельных переходов, операций или наиболее часто встречающихся циклов может дать существенный эффект в отношении повышения производительности и облегчения обслуживания станка.

Средства и методы автоматизации станков при их модернизации должны быть по возможности простыми и эффективными. К ним можно отнести автоматизацию зажима обрабатываемых деталей (например, при помощи электромеханических устройств), быстрый подвод, переключение на рабочую подачу и быстрый отвод механизма станка по окончании обработки и т. п. При модернизации станков могут быть широко использованы электромеханические и электромагнитные устройства в сочетании супорами, например при точении наружных и внутренних ступенчатых поверхностей. Автоматизация выключения рабочих органов станка сравнительно легко выполняется при помощи электромеханических лимбов, встраиваемых в станки. В последние годы у нас и за границей для автоматизации обработки стали применять на различных станках пристраиваемые следящие копировальные устройства, основанные на электромеханическом и гидромеханическом принципах. Все ча-

ще при модернизации станков применяются устройства для автоматической обработки в сочетании с активным контролем обрабатываемых изделий. Эти устройства основаны на использовании следящих систем с контактными или бесконтактными датчиками.

В связи с развитием систем автоматического управления и усложнением их функций особо важное значение приобретает надежность работы этих систем.

Развитие полупроводниковой техники, создание новых бесконтактных элементов управления должны стимулировать разработку и внедрение совершенных и надежных систем автоматического управления станками.

Наряду с дальнейшим развитием комплексной автоматизации, модернизацией существующих станочных линий, созданием новых автоматизированных участков и заводов возникает необходимость в станках, сочетающих высокую производительность и точность специализированного автомата с «гибкостью» и приспособляемостью универсального станка. Такими станками являются станки с программным числовым управлением; их применение дает значительные выгоды в отношении простоты переналадки, сокращения количества высококвалифицированного ручного труда и повышения точности. В этих станках программа работы записывается определенным шифром (кодом) на перфорированных картах или лентах, а также на магнитных лентах.

Специальные устройства преобразуют считанные с программы сигналы в электрические импульсы, передаваемые в систему управления приводами рабочих органов станка. Действие рабочих органов в процессе работы контролируется датчиками обратной связи, следящими за точностью выполнения заданной программы.

Числовые методы автоматизации найдут широкое применение при создании контрольных и сборочных операций, а также автоматических линий, цехов и заводов. В станках-автоматах будущего будет развиваться принцип самонастройки (автоматическое приспособление к изменению условий работы и самообучение) — автоматический учет особенностей рабочего процесса и выработка системой управления станком оптимального режима обработки.

Общие вопросы электропривода станков

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ВИДОВ ОБРАБОТКИ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

§ 1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Металлорежущие станки являются весьма распространенной и многочисленной группой машин-орудий и предназначены для механической обработки изделий из металла при помощи одного или нескольких инструментов. Обработка заготовки производится путем снятия стружки, в результате чего заготовка принимает форму, близкую к требуемой (черновая и предварительная обработка) или совпадающую с ней в пределах определенной точности размеров (чистовая обработка) и чистоты поверхности (отделка и доводка).

В соответствии с характером организации производственного процесса (индивидуальное, серийное и массовое производство) различают: 1) универсальные станки, предназначенные для выполнения различных операций на изделиях многих наименований; 2) станки широкого назначения, на которых выполняются определенные операции на изделиях многих наименований; 3) специализированные станки, обрабатывающие детали, сходные по конфигурации, но имеющие различные размеры; 4) специальные станки, служащие для обработки изделий одного типоразмера. В самостоятельную группу специальных станков выделяют агрегатные станки, состоящие из стандартных силовых головок и механических узлов.

По признакам технологического процесса, определяющим способ обработки (характер движения и вид инструмента и заготовки, форма образуемой поверхности), станки делятся на следующие группы: токарная, строгальная, сверлильно-расточная, фрезерная, шлифовальная и некоторые другие. По весу и размерам различают станки нормального веса (до 10 Т), крупные (от 10 до 30 Т), тяжелые (от 30 до 100 Т) и уникальные (свыше 100 Т).

По точности обработки станки бывают: а) нормальной точности и б) высокой точности (прецизионные).

Для обозначения типов (моделей) станков в СССР принята система шифров, приведенная в табл. 1.1. Различные модели станков обозначаются тремя или четырьмя цифрами, из которых первая показывает группу, вторая — разновидность станка (обе они

Таблица 1.1

Группа станков		Номер группы	Разновидности станков								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы	одношпиндельные	многошпиндельные	Ревolverные	Сверлильные	Карусельные	Токарно-лобковые	Многорезцовые	Специализированные	Разные
Сверлильные и расточные	2	Вертикально-сверлильные	Одношпиндельные полуавтоматы	Многошпиндельные полуавтоматы	Координатно-расточные	Радиально-сверлильные	Расточные	Алмазные расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные	
Шлифовальные	3	Круглошлифовальные	Внутреншлифовальные	Обдирочные	Специализированные	—	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные и полировочные	Разные	
Комбинированные	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Зубо- и резьбообработочные	5	Зубострогальные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные для цилиндрических колес	Зубофрезерные для червячных колес	Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные	Зубошлифовальные	Разные	

Группа станков	Номер группы	Разновидности станков								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фрезерные	6	Вертикально-фрезерные кон- сольные	Фрезерные непрерывного дей- ствия	—	Копиро- вальные	Вертикаль- но-бескон- сольные	Продоль- ные	Широко- универ- сальные	Горизон- тальные консольные	Раз- ные
Строгаль- ные и дол- бежные	7	Продольно-строгаль- ные одностоеч- ные	двухсто- ечные	Поперечно- строгаль- ные	Долбежные	Протяжные горизон- тальные	—	Протяжные вертикаль- ные	—	—
Отрезные	8	Отрезные			Правильно- отрезные	Пилы			—	
		работаю- щие токар- ным резцом	работаю- щие абра- зивным кругом	работаю- щие глад- ким или насеченным диском		ленточные	диско- вые	ножовки		
Разные	9	Муфто- и трубообра- батываю- щие	Пилонасе- кательные	Правиль- но- и бес- центрово- обдирочные	—	Для испы- тания инструмен- тов	—	—	—	

берутся из табл. 1.1), третья и четвертая характеризуют один из важнейших для эксплуатации размеров. Кроме того, в обозначениях станков по усмотрению завода-изготовителя между цифрами или в конце могут ставиться буквы, обозначающие модификацию базовой модели или модернизацию имеющейся модели и т. п. Так, например, шифр 1336А обозначает токарно-револьверный станок для наибольшего диаметра прутка 36 мм; станок является модификацией станка 1336. Для специализированных и специальных станков обозначения составляются из одной или двух букв, представляющих условное наименование завода-изготовителя. К этим буквам добавляются цифры, указывающие порядковый номер станка. Например, ЕЗ-10 обозначает специальный станок для нарезания цилиндрических червяков Егорьевского завода.

Придание обрабатываемой на станке заготовке необходимой формы поверхности и размеров осуществляется перемещением определенным образом режущей кромки инструмента относительно заготовки. Требуемое относительное перемещение создается сочетанием движений инструмента и заготовки. Эти движения называются основными, или рабочими, движениями. Их разделяют на главное, или режущее, движение, за счет которого инструмент производит резание металла, и движение подачи, которое обуславливает перемещение инструмента или обрабатываемой заготовки для снятия нового слоя металла.

Основные движения осуществляются в металлорежущих станках разными способами в зависимости от вида обработки: сочетанием вращательного движения заготовки и поступательного движения инструмента (токарная обработка); сочетанием одновременно вращательного и поступательного движений инструмента при неподвижной заготовке (сверление); сочетанием вращательного движения инструмента и поступательного движения заготовки (фрезерование); сочетанием одновременно вращательного и двух поступательных движений инструмента и вращательного движения заготовки (шлифование цилиндрических поверхностей) и т. д.

Кроме основных движений, в станках имеются также вспомогательные движения, необходимые для наладочных операций, автоматического подвода инструментов к заготовке и обратного отвода, автоматического контроля размеров в процессе обработки и т. д.

Рационально сконструированный станок и его электропривод должны обеспечить наиболее полное использование режущих свойств применяемого инструмента при всех возможных на данном станке технологических операциях. Поэтому для проектирования электропривода и схемы автоматического управления станка необходимо знать особенности вида обработки, основные и вспомогательные движения и уметь определить показатели, характеризующие возможные режимы резания на данном станке, как-то: требуемые диапазоны скоростей движения рабочих органов, мощности на валу электродвигателя главного движе-

мальные усилия подачи, машинное время и др. С этой целью в § 1.2÷1.6 приводятся сведения по типовым видам обработки и излагаются основные показатели режимов резания.

§ 1.2. ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА (ТОЧЕНИЕ)

При точении (рис. 1.1) главным движением является вращение обрабатываемого изделия, движением подачи — прямолинейное перемещение резца. К вспомогательным движениям на токарных станках можно отнести быстрый под-

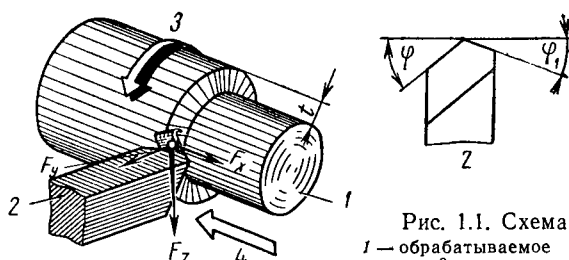


Рис. 1.1. Схема точения:
1 — обрабатываемое изделие; 2 —
резец; 3 — главное движение; 4 —
движение подачи

вод и отведение каретки суппорта с режущими инструментами, зажим и отжатие обрабатываемого изделия, перемещение задней бабки. Скорость, с которой точка соприкосновения обрабатываемого изделия с резцом перемещается по отношению к нему, называется скоростью резания. Скорость резания зависит от качества обрабатываемого материала, материала резца и его геометрической формы, а также от способа и условий охлаждения резца и обрабатываемого изделия.

Скорость резания ($m/мин$) может быть определена по эмпирической формуле

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}}, \quad (1.1)$$

где s — подача, представляющая собой перемещение резца, приходящееся на один оборот изделия, $мм/об$; t — глубина резания, измеряемая расстоянием между обрабатываемой и обработанной поверхностями, $мм$; T — стойкость резца (время работы его между двумя соседними заточками), $мин$; C_v — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и материал резца, а также вид токарной обработки (наружное точение, отрезка и т. п.); m , x_v , y_v — показатели степени, зависящие от свойств обрабатываемого металла, материала резца и вида обработки.

Формула (1.1) дана при условии, что резец имеет углы в плане: главный $\varphi=45^\circ$, вспомогательный $\varphi_1=10^\circ$. Для резцов с иными

углами в плане вводится соответствующий поправочный коэффициент. Кроме того, значение скорости резания, полученное по формуле (1.1), умножается на ряд других поправочных коэффициентов, учитывающих материал резца и изделия, особенности геометрии резца, его износ, термообработку заготовки и состояние ее поверхности, условия охлаждения. Значения всех коэффициентов и показателей степени определяются из справочника по режимам резания.

Подача и глубина резания принимаются: для отделочных работ $s=0,1-0,4$ мм/об, $t=0,1-2$ мм; для обдирки $s=0,4-3$ мм/об и выше, $t=3-30$ мм. Значения коэффициента C_v при обработке стали и чугуна лежат в пределах 39,5—262 для твердосплавных резцов и 18,2—53,7 для резцов из быстрорежущей стали. Показатели степени имеют значения: $x_v=0,15-0,2$; $y_v=0,35-0,8$; $m=0,1-0,2$.

В процессе снятия стружки резцом возникает усилие, приложенное под некоторым углом к режущей кромке инструмента (см. рис. 1.1). Это усилие может быть представлено в виде трех составляющих:

- 1) F_z — тангенциальное усилие, или усилие резания, преодолеваемое шпинделем станка;
- 2) F_y — радиальное усилие, создающее давление на суппорт;
- 3) F_x — осевое усилие, или усилие подачи, преодолеваемое механизмом подачи.

Для расчета усилия резания (n) используется эмпирическая формула

$$F_z = 9,81 C_F t^{x_F} s^{y_F} v^n, \quad (1.2)$$

где C_F — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал резца и вид токарной обработки.

Значения коэффициентов и показателей степени находятся по справочнику. Например, при наружном точении или растачивании изделий из углеродистой стали: для резцов из быстрорежущей стали $C_F=208$, $n=0$; для резцов твердосплавных $C_F=300$, $n=-0,15$. При тех же видах обработки изделий из серого чугуна: для резцов из быстрорежущей стали $C_F=118$, $n=0$; для твердосплавных резцов $C_F=92$, $n=0$. Показатели степени имеют такие значения: $x_F=1$; $y_F=0,75$. Так же, как и при определении скорости резания, в расчетную формулу (1.2) вводятся соответствующие поправочные коэффициенты, приводимые в справочнике по режимам резания.

Так как большим скоростям резания соответствуют меньшие подачи и глубины резания, то, очевидно, большим скоростям резания соответствуют меньшие усилия резания, а меньшим скоростям — большие усилия; отсюда постоянство мощности резания.

Радиальное усилие F_y и усилие подачи F_x определяются по формулам, аналогичным (1.2). Эти усилия, особенно осевое, по величине обычно бывают меньше усилия резания.

При расчетах усилий, действующих на механизмы подачи, следует иметь в виду, что, кроме собственно усилия подачи F_x , механизм подачи преодолевает также усилие трения, возникающее в направляющих суппорта от действия усилий F_z и F_y . Суммарное усилие F_n , необходимое для перемещения суппорта с резцом в направлении подачи

$$F_n = F_x + \mu (F_z + F_y), \quad (1.3)$$

где μ — коэффициент трения в направляющих суппорта.

Зная скорость и усилие резания, можно определить мощность резания (квт)

$$P_z = \frac{F_z v}{60 \cdot 1000}. \quad (1.4)$$

Мощность подачи (квт)

$$P_n = \frac{F_n v_n}{60 \cdot 1000},$$

или

$$P_n = \frac{F_n s \omega 10^{-6}}{2\pi}, \quad (1.5)$$

где $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ — угловая скорость, рад/сек;

n — скорость вращения изделия, об/мин.

По сравнению с мощностью резания мощность подачи весьма мала [$P_n \approx (0,001—0,01) P_z$]. Это объясняется тем, что скорость подачи во много раз меньше скорости резания.

Важным фактором, определяющим работу станка, является технологическое, или машинное, время обработки.

Машинное время (мин)

$$t_m = \frac{l}{ns}, \quad (1.6)$$

где l — длина прохода, мм; n — число оборотов изделия в минуту; s — подача, мм/об.

Так как число оборотов изделия пропорционально скорости резания, ибо $n = v/\pi d$, то понятно, что с увеличением скорости резания уменьшается машинное время и повышается производительность. В связи с этим в последние годы все большее распространение получает скоростное резание металлов и, в особенности, скоростное точение.

Скоростное точение обусловлено высокими скоростями резания (до 300—400 м/мин и выше) и соответствующими подача-

ми при использовании резцов, оснащенных твердыми сплавами и минералокерамическими пластинами.

Скоростное резание металлов по сравнению с обработкой инструментом из быстрорежущей стали существенно повышает производительность и снижает себестоимость обработки. В связи с тем, что твердые сплавы и минералокерамика отличаются значительной хрупкостью и могут выкрашиваться, при скоростном резании увеличивают угол заострения резца, или, что то же самое, уменьшают главный передний угол, а часто даже придают ему отрицательное значение.

На рис. 1.2 показаны профили резцов, применяемых при скоростном резании. На рис. 1.2, а передний угол режущей части инструмента γ_1 имеет положительное значение при отрицательном угле фаски γ_2 ; на рис. 1.2, б передний угол γ имеет отрицательное значение. Такая конфигурация режущей кромки меняет направление действующих усилий: уменьшаются опасные напряжения вблизи режущей кромки. Внедрению скоростного резания способствует максимальная автоматизация управления станком.

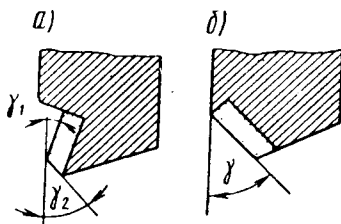


Рис. 1.2. Геометрия резцов для скоростного точения

Мощность при скоростном точении возрастает по сравнению с обработкой резцами из быстрорежущей стали. Например, при обработке углеродистой стали резцами из быстрорежущей стали при $s=0,25$ мм/об, $t=1$ мм и скорости резания $v=61$ м/мин усилие $F_z=695$ н и мощность резания $P_z=0,7$ кВт, тогда как при скоростной обработке твердосплавными резцами того же материала и тех же подачи и глубине резания допустимая скорость $v=223$ м/мин, усилие $F_z=657$ н и мощность резания $P_z=2,4$ кВт. Из сравнения этих данных следует, что при увеличении скорости резания в 3,7 раза мощность резания возросла в 3,4 раза.

Анализ формулы (1.6) показывает, что сокращение машинного времени возможно не только за счет повышения скорости резания, но и при увеличении подачи. Так называемое силовое резание металлов, получившее распространение в последние годы, и основано на использовании режущих инструментов для работы с большими подачами.

§ 1.3. СТРОГАНИЕ

При строгании (рис. 1.3) снятие стружки происходит в течение рабочего хода, при обратном ходе резец не работает. Продольное перемещение стола при рабочем ходе является главным движением.

Движением подачи называется перемещение резца в течение одного двойного хода перпендикулярно главному движению.

Вспомогательными движениями на строгальных станках являются быстрое перемещение траверсы и суппортов, подъем резцов при обратном ходе, а также, например, медленное перемещение стола при наладочных операциях. Скорость, с которой резец перемещается относительно детали при рабочем ходе, называется скоростью резания. Глубина резания — величина, на которую углубляется резец в изделие при одном проходе; она определяет толщину снимаемой стружки.

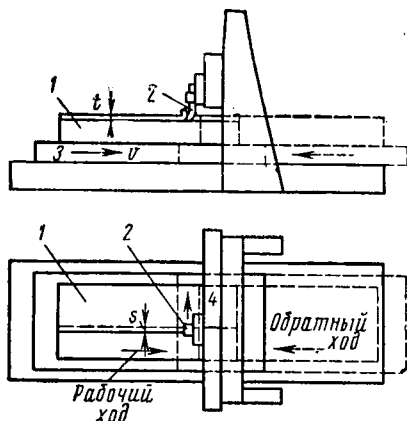


Рис. 1.3. Схема строгания:
1 — обрабатываемое изделие; 2 — резец; 3 — главное движение; 4 — движение подачи

При строгании подача и глубина принимаются: для черновой обработки $s = 1 \div 7$ мм/дв.ход, $t = 6 \div 30$ мм; для чистовой обработки широкими резцами $s = 10 \div 30$ мм/дв.ход и выше, $t = 0,05 - 0,3$ мм.

Определение скорости, усилия и мощности резания производится по формулам, аналогичным тем, которые приведены для точения.

Машинное время (мин) за один двойной ход

$$t_m = \frac{B + B_0}{is}, \quad (1.7)$$

где B — ширина строгания, мм; B_0 — путь подачи при входе и выходе резца из изделия, мм; i — число двойных ходов в минуту; s — подача на один двойной ход стола, мм.

Для повышения производительности строгальных станков следует при заданной подаче увеличивать число двойных ходов стола. Пути повышения числа ходов стола более подробно рассматриваются в гл. VII.

Так как при строгании резец испытывает ударную нагрузку, то такие высокие скорости, какие используются при скоростном точении, в данном случае не допускаются. Максимальные скорости резания при строгании не превосходят 75—120 м/мин.

При сверлении (рис. 1.4) режущему инструменту одновременно сообщаются два движения: главное движение (вращение сверла) и движение подачи (продольное перемещение сверла). Вспомогательными движениями, например в радиально-сверлильных станках, являются быстрое перемещение траверсы, зажим колонны, перемещение шпиндельной бабки. На агрегатных сверлильных станках к вспомогательным движениям можно отнести быстрое перемещение шпиндельных бабок (силовых головок). Под скоростью резания понимается скорость на периферии сверла. Подачей называется величина передвижения сверла вдоль его оси, приходящаяся на один оборот его.

Экспериментальным путем установлено, что скорость резания при сверлении (m/min)

$$v = \frac{C_v d^{z_v}}{T^{m_s} s^{y_v}}, \quad (1.8)$$

где C_v — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и материала сверла; d — диаметр сверла, mm ; T — стойкость сверла, $мин$; s — подача, $mm/об$; m , z_v , y_v — показатели степени, зависящие от материала обрабатываемого изделия и диаметра сверла.

Стойкость сверл колеблется в значительных пределах — от нескольких до сотен минут — и достигает 270 $мин$ для больших диаметров (около 60 mm). Для меньших диаметров стойкость снижается.

Усилие подачи при сверлении (n) определяется по эмпирической формуле

$$F_x = 9,81 C_F d^{z_F} s^{y_F}. \quad (1.9)$$

На основании опытных данных получена формула для вращающего момента ($n \cdot m$)

$$M = 9,81 C_M d^{1,9} s^{y_M} \cdot 10^{-3}. \quad (1.10)$$

Зная величину момента и число оборотов в минуту сверла, легко определить мощность резания ($квт$)

$$P_z = \frac{Mn}{9550}. \quad (1.11)$$

Коэффициенты и показатели степени, входящие в формулы (1.8) — (1.10), находятся из справочника по режимам резания. Их

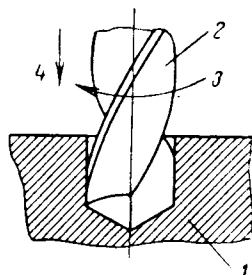


Рис. 1.4. Схема сверления:

1 — обрабатываемое изделие; 2 — сверло; 3 — главное движение; 4 — движение подачи

значения различны для разных материалов и зависят также от диаметра сверла. Например: для углеродистой стали $C_v=7$, $C_M=33,8$; для бронзы $C_v=27,2$, $C_M=12,2$; для разных марок стали $z_v=0,4-0,6$, $y_v=0,5-0,8$, $m=0,125-0,2$ (большие значения относятся к меньшим диаметрам инструмента), $y_F=0,7$, $y_M=0,8$, $z_F=0,4$.

Машинное время при сверлении определяется аналогично тому, как это производилось в случае токарной обработки.

§ 1.5. ФРЕЗЕРОВАНИЕ

При фрезеровании главным движением является вращение режущего инструмента (фрезы), а движением подачи — перемещение обрабатываемого изделия (рис. 1.5); иногда движение подачи осуществляется перемещением шпиндельной бабки. К вспомогательным движениям на фрезерных станках

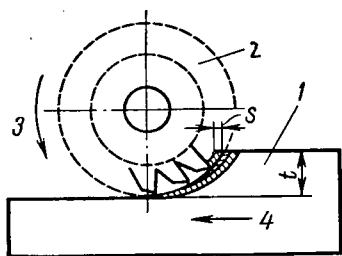


Рис. 1.5. Схема фрезерования:

1 — обрабатываемое изделие;
2 — фреза; 3 — главное движение;
4 — движение подачи

можно отнести быстрое перемещение стола при подводе детали к инструменту и возвращение стола в исходное положение после обработки, ускоренное перемещение шпиндельной бабки и ряд других.

Фрезерованию присуща та особенность, что вращающийся относительно неподвижной оси инструмент — фреза — имеет несколько режущих лезвий-зубьев, каждое из которых снимает стружку лишь в течение небольшой доли оборота фрезы, а затем вращается вхолостую. Сечение стружки перед каждым зубом непрерывно изменяется

от нуля до наибольшей величины. Фрезерованием обрабатываются различные плоские поверхности, фасонные поверхности, кулачки, зубчатые колеса, нарезаются резьбы, прорезаются прямые и винтовые канавки и др. В зависимости от вида обрабатываемой поверхности применяются разнообразные по конфигурации режущие инструменты.

При фрезеровании скорость резания ($m/мин$) определяется на основании эмпирической формулы:

$$v = \frac{C_v d^q}{T^m s^y v_t^x v_B^k z^n}, \quad (1.12)$$

где C_v — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, охлаждения фрезы и вида обработки (грубая или чистовая); d — диаметр фрезы, $мм$; T — стойкость фрезы, принимаемая обычно для цилиндрических, торцевых, дисковых и фасонных фрез равной

180 мин при обработке стали, ковкого чугуна, бронзы (для обработки серого чугуна $T=240$ мин); для концевых фрез соответственно 60 и 90 мин; s — подача на зуб фрезы, мм; t — глубина резания (глубина снимаемого слоя металла за один проход), мм; B — ширина фрезерования, мм; z — число зубьев фрезы.

В зависимости от типа фрезы (цилиндрические, торцевые, дисковые, прорезные и т. д.), обрабатываемого материала, величины подачи, качества фрезы, а также наличия охлаждения будут изменяться коэффициенты C_v и показатели степени. Например, при обработке цилиндрической фрезой из быстрорежущей стали серого чугуна с подачей $s > 0,15$ мм без охлаждения принимаются следующие коэффициенты: $C_v=27$; $q=0,7$; $m=0,25$; $x_v=0,6$; $y_v=0,5$; $k=0,3$; $n=0,3$. С изменением типа фрезы при обработке того же материала изменяются коэффициенты, входящие в формулу (1.12).

Усилия резания (n), т. е. окружное усилие при фрезеровании

$$F_z = 9,81 C_F t^x F s^y B z d^i. \quad (1.13)$$

Мощность резания (квт)

$$P_z = C_P t^x F s^y B z n d^q 10^{-5}. \quad (1.14)$$

Значения показателей степени и коэффициентов зависят от типа фрезы и обрабатываемого материала; они лежат в следующих пределах: $x_F=0,83-0,95$; $y_F=0,65-0,8$; $i=-(0,83-1,14)$ $k=-(0,1-0,17)$; $C_F=22,5-82,4$; $C_P=1,15-4,22$.

При грубом фрезеровании на тяжелых станках для цилиндрических фрез подача достигает $s=0,2-0,6$ мм на зуб. Глубина фрезерования t достигает 15 мм и выше. Для станков пониженной жесткости подача снижается и составляет примерно 0,02—0,08 мм на зуб. Необходимо отметить, что большим подачам соответствуют меньшие скорости резания и большие мощности при той же глубине фрезерования.

Широкое применение имеет скоростное фрезерование, значительно повышающее производительность. Фрезы для скоростного фрезерования обычно снабжаются вставными зубьями с напаянными твердосплавными пластинками, осуществляющими снятие стружки. При скоростном фрезеровании мощность значительно возрастает в сравнении с обработкой того же материала фрезой из быстрорежущей стали. Скорости резания достигают 300—400 м/мин и выше.

Расчет машинного времени (мин), например для цилиндрического фрезерования, за один проход фрезы производится по формуле

$$t_m = \frac{l + l_0 + y}{s_m}, \quad (1.15)$$

где l — длина фрезерования, мм; l_0 — длина врезания, мм; y — перебе́г фрезы, мм; s_m — минутная подача, мм/мин.

Длина врезания легко определяется исходя из диаметра фрезы и глубины резания:

$$l_0 = \sqrt{t(d-t)}.$$

§ 1.6. ШЛИФОВАНИЕ

При шлифовании главное движение сообщается шлифовальному кругу, а поступательное перемещение его есть движение подачи. Движение подачи может быть осуществлено также при поступательном перемещении обрабатываемой детали относительно шлифовального круга. Вспомогательными движениями на шлифовальных станках являются быстрое перемещение шлифовальной бабки, перемещение стола и др.

В соответствии с различными видами обработки различают: а) круглое шлифование (наружное или внутреннее); б) плоское шлифование.

Различные виды круглого шлифования с обозначением при этом главного движения и движения подачи схематически

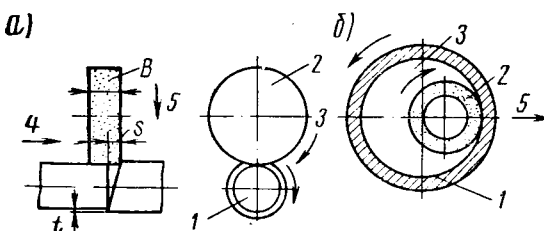


Рис. 1.6. Схема круглого шлифования:

1 — обрабатываемое изделие; 2 — шлифовальный круг; 3 — главное движение; 4 — продольная подача; 5 — поперечная подача

качества обработки изделий последним сообщается вращение, как правило, в сторону, противоположную вращению шлифовального круга.

Окружная скорость изделия (м/мин) при круглом шлифовании (наружном или внутреннем) определяется по формуле *

$$v_n = \frac{C_v d_n^v}{T^m t^x v_s^y v} . \quad (1.16)$$

* Приводимые далее формулы для скорости и мощности при шлифовании являются ориентировочными.

Например, для наружного круглого шлифования окружная скорость изделия ($м/мин$) при поперечной подаче круга на двойной ход стола и грубом шлифовании закаленной стали

$$v_n = \frac{0,7d_n^{0,5}}{T^{0,5}t^{0,5}s_0^{0,6}} ;$$

при внутреннем шлифовании и тех же условиях обработки окружная скорость изделия ($м/мин$)

$$v_n = \frac{0,054d_n^{0,5}}{T^{0,6}t^{0,3}s_d^{0,9}} ,$$

где d_n — диаметр обрабатываемого изделия, $мм$; T — стойкость шлифовального круга, $мин$; t — глубина шлифования (поперечная подача) на один двойной ход, $мм$; s_0 — продольная подача на один оборот изделия, $мм$; s_d — то же, в долях ширины круга.

Наибольшие значения окружной скорости соответствуют наибольшим диаметрам и минимальным подачам и, наоборот, меньшие окружные скорости соответствуют минимальным диаметрам и наибольшим подачам. Например, при обработке изделий из закаленной стали при стойкости шлифовального круга $T=15$ $мин$, постоянной продольной подаче, равной 0,5 ширины круга, и при изменении глубины шлифования в пределах от 0,015 до 0,005 $мм$ на один двойной ход стола окружная скорость изделия при наружном шлифовании должна изменяться в пределах от 6 до 52 $м/мин$. Отмеченное изменение окружной скорости изделия относится к соответствующему изменению диаметров шлифуемого изделия от 20 до 300 $мм$.

Скорость резания v , определяемая окружной скоростью шлифовального круга, изменяется в сравнительно малых пределах и составляет в среднем 30—50 $м/сек$, а иногда и выше — до 75 $м/сек$. Поэтому понятно, что при таких высоких скоростях резания допускаются при шлифовании незначительные глубины шлифования.

Для наружного круглого шлифования глубина резания (шлифования) за один продольный ход принимается: а) при черновом шлифовании $t=0,01—0,025$ $мм$; б) при чистовом шлифовании $t=0,005—0,015$ $мм$. Для внутреннего шлифования глубина резания на один двойной ход принимается: а) при черновом шлифовании $t=0,005—0,02$ $мм$; б) при чистовом шлифовании $t=0,002—0,01$ $мм$. Соответственно продольные подачи в долях ширины круга: $s_d=0,75—0,40$ — для чернового шлифования; $s_d=0,4—0,25$ — для чистового шлифования (большие значения относятся к большим диаметрам, и наоборот).

Мощность резания ($квт$)

$$P_z = C_P v_n^k t^x P_S^y P. \quad (1.17)$$

Для наружного круглого шлифования (черновая обработка) изделий из закаленной стали мощность резания ($\kappa\text{вт}$)

$$P_z = 1,25 v_n^{0,75} t^{0,5} s_0^{0,55}.$$

При внутреннем шлифовании закаленной стали мощность резания ($\kappa\text{вт}$)

$$P_z = 0,35 v_n^{0,35} t^{0,4} s_0^{0,4} d_n.$$

Мощность резания меняется в значительно меньших пределах, чем изменяются диаметры обрабатываемого изделия. Например, при изменении диаметра от 20 до 300 мм и выборе оптимальной окружной скорости изделий мощность резания при наружном шлифовании меняется от 3,6 до 5,9 $\kappa\text{вт}$; меньшее значение относится к меньшему диаметру, большее — к большему диаметру.

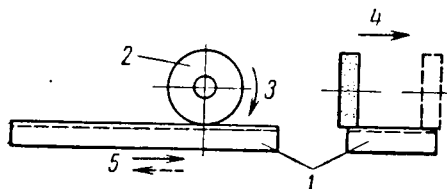


Рис. 1.7. Схема плоского шлифования периферией круга:

1 — обрабатываемое изделие; 2 — шлифовальный круг; 3 — главное движение; 4 — поперечная подача; 5 — продольная подача

При плоском шлифовании различают два основных вида работ, схематически показанных на рис. 1.7 и 1.8.

При плоском шлифовании периферией круга (рис. 1.7) главное движение сообщается шлифовальному кругу, вращающемуся относительно неподвижной оси. Поперечная подача осуществляется перемещением шлифовального круга. Стол, на котором закрепляется обрабатываемое изделие, совершает возвратно-поступательное перемещение, выполняя продольную подачу.

Скорость изделия (м/мин) определяется по эмпирической формуле

$$v_n = \frac{C_v}{T^{m_{sd}} t^{x_v}}. \quad (1.18)$$

Например, при черновой обработке закаленной стали скорость изделия (м/мин)

$$v_n = \frac{2,25}{T^{0,7} s_d t^{0,75}}.$$

Соответственно мощность резания ($\kappa\text{вт}$)

$$P_z = 0,66 v_n s_0^{0,8} t^{0,8}.$$

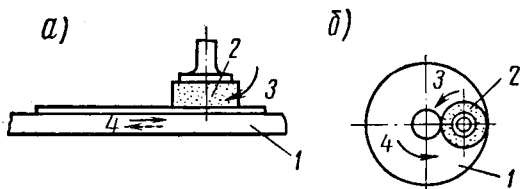


Рис. 1.8. Схема плоского шлифования торцом круга:

а — на станках с прямоугольным столом; б — на станках с круглым столом; 1 — стол с обрабатываемыми изделиями; 2 — шлифовальный круг; 3 — главное движение; 4 — движение подачи

Скорость шлифования, как и при круглом шлифовании, составляет в среднем 30—50 м/сек.

Обработка изделий периферией круга производится также на станках с круглым столом. При этом обрабатываемые детали закрепляются на столе и вместе с ним вращаются. Вращение деталей является одним движением подачи, прямолинейное перемещение шлифовального круга в радиальном направлении — другим движением подачи.

При плоском шлифовании торцевой частью круга на станках с прямоугольным и круглым столом (рис. 1.8) главное движение также выполняется вращением шлифовального круга.

Движение подачи на станках с прямоугольным столом осуществляется за счет возвратно-поступательного движения стола с закрепленными на нем изделиями (рис. 1.8, а). Если ширина обрабатываемой поверхности превышает диаметр шлифовального круга, то следует осуществить и поперечную подачу. Вертикальное перемещение шлифовального круга, осуществляемое за каждый ход стола (двойной или, иногда, одинарный), соответствует требуемой глубине шлифования.

Скорость возвратно-поступательного перемещения стола определяется по той же формуле, как и для случая плоского шлифования периферией круга.

При плоском шлифовании на станках с круглым столом подача изделия совершается за счет вращения стола (рис. 1.8, б). Перемещение шлифовального круга за один оборот стола соответствует глубине шлифования. Изделие совершает вращательное движение, как правило, в сторону, противоположную направлению вращения шлифовального круга.

Скорость (м/мин) изделия (стола)

$$v_n = \frac{C_v}{T^m B_n^k t}, \quad (1.19)$$

где B_n — приведенная ширина шлифования (мм), определяемая по формуле

$$B_n = \frac{F_n z}{\pi d_{\text{ср}}}; \quad (1.20)$$

F_n — поверхность шлифования одного обрабатываемого изделия, мм²; z — число одновременно шлифуемых изделий; $d_{\text{ср}}$ — диаметр средней окружности расположения деталей на столе, мм.

При обработке, например, закаленной стали в формуле (1.19) могут быть приняты следующие коэффициенты: $C_v=13$; $m=0,45$; $k=0,5$.

Глубины резания при шлифовании торцем круга при черновом шлифовании $t=0,015-0,03$ мм. Мощность резания (квт) для случая обработки закаленной стали

$$P_z = 3,58 v_n^{0,3} B_n^{0,3} t^{0,25}. \quad (1.21)$$

Машинное время (мин) при наружном круглом шлифовании с продольной подачей

$$t_m = \frac{L h k}{n_{нсд} B_{кр} t}, \quad (1.22)$$

где L — длина продольного хода стола, мм; h — припуск на сторону, мм; $n_{нсд}$ — число оборотов изделия в минуту; $B_{кр}$ — ширина круга, мм; s_d — продольная подача в долях ширины круга на один оборот изделия; t — поперечная подача (глубина шлифования), мм; k — поправочный коэффициент (для грубого шлифования $k=1,2-1,4$; для чистового шлифования $k=1,25-1,70$), учитывающий износ шлифовального круга, упругие деформации шлифуемых изделий и узлов станка.

Машинное время (мин) при плоском шлифовании периферией круга на прямоугольном столе с поперечной подачей

$$t_m = \frac{H L h}{1000 v_{ст} t s_d B_{кр}} k, \quad (1.23)$$

где H — величина поперечного хода круга, мм;

$$H = B_n + B_{кр} + 5;$$

B_n — ширина обрабатываемой поверхности, мм; $B_{кр}$ — ширина шлифовального круга, мм; k — поправочный коэффициент (для чернового шлифования $k=1,15-1,35$; для чистового шлифования $k=1,25-1,5$); L — длина хода стола, мм;

$$L = l + (10 \div 15);$$

l — фактическая длина обработки.

Машинное время (мин) при плоском шлифовании торцевой частью круга на круглом столе (при периодической загрузке деталей)

$$t_m = \frac{h}{n_{ст} t} k, \quad (1.24)$$

где h — общий припуск на обработку, мм; $n_{ст}$ — число оборотов стола в минуту; $k=1,2-1,35$ — при грубом шлифовании; $k=1,2-1,5$ — при чистовом шлифовании.

ВЫБОР МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВО- ДОВ ДЛЯ ТИПОВЫХ МЕХАНИЗМОВ СТАНКОВ

§ 2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Вопрос о правильном выборе мощности электродвигателя является весьма важным и ответственным. Завышение мощности двигателя приводит к увеличению капитальных и эксплуатационных расходов, к снижению к. п. д. и $\cos \phi$ двигателя. Недостаточная мощность двигателя ограничивает производительность станка и, кроме того, двигатель преждевременно выходит из строя, что влечет за собой простой оборудования и дополнительные расходы на ремонт.

В предыдущей главе были приведены соотношения для определения мощности и оптимальной скорости резания. Для нахождения мощности на валу главного привода при установившемся режиме необходимо к мощности резания прибавить еще мощность, обусловленную потерями в станке (механизме передач станка).

Для подсчета мощности потерь в станке практически приходится пользоваться величиной к. п. д., зависящего при данной нагрузке от числа звеньев кинематической системы и скорости механизма. Общий к. п. д. станка рассчитывается как произведение к. п. д. всех звеньев. Значения к. п. д. отдельных звеньев передач (с учетом потерь в опорах) принимаются приблизительно равными: 1) для ременной передачи — а) открытой, без натяжного ролика — 0,96, б) то же, с натяжным роликом — 0,94, в) клиноременной — 0,93—0,95; 2) для зубчатой передачи — а) с опорами трения качения — 0,975—0,985, б) то же, трения скольжения — 0,96—0,97; 3) для червячной передачи — 0,5—0,7; 4) для цепной передачи — а) зубчатой — 0,97—0,98, б) роликовой — 0,96—0,97; 5) для кривошипно-шатунного механизма — 0,9.

Общий номинальный к. п. д. станка

$$\eta_{н.ст} = \eta_1 \eta_2 \dots \eta_i. \quad (2.1)$$

Значения к. п. д. отдельных звеньев кинематической цепи станка η_1 , η_2 и т. д. относятся к полной (номинальной) нагрузке станка.

Как отмечалось, к. п. д. станка зависит также от скорости его рабочих органов. При одной и той же нагрузке с увеличением скорости к. п. д. станка снижается (рис. 2.1).

Приведенные ориентировочные значения к. п. д. относятся к кинематической цепи главного привода. Коэффициент полезного действия цепи подачи всегда бывает значительно ниже (в несколько раз). Это обусловлено в основном необходимостью получения весьма низких скоростей подач и применением в связи с этим замедляю-

щих передач, имеющих низкий к. п. д. В станках со сложной кинематической цепью увеличение скорости вызывает относительно большее возрастание потерь, чем в станках с более простой кинематической схемой.

Мощность на валу главного привода при установившемся режиме и номинальной мощности резания

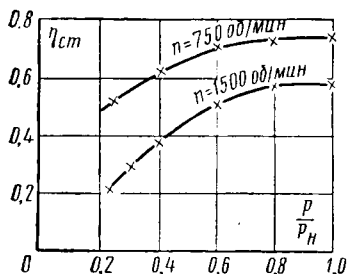


Рис. 2.1. Зависимость к. п. д. передач станка от нагрузки при различных скоростях привода

$$P_H = \frac{P_{H2}}{\eta_{H.ст}}, \quad (2.2)$$

где P_{H2} , $\eta_{H.ст}$ — соответственно номинальная мощность резания и к. п. д. станка при номинальной нагрузке.

Так как нагрузка станка часто бывает переменной и отличной от номинальной, то возникает необходимость в определении к. п. д. для различных нагрузок.

Обозначая коэффициент загрузки через $k = P_z/P_{H2}$, определим потери в станке при любой нагрузке P_z :

$$\Delta P = aP_{H2} + bP_z, \quad (2.3)$$

или

$$\Delta P = P_z \left(\frac{a}{k} + b \right),$$

где a и b — коэффициенты постоянных и переменных потерь.

Коэффициент полезного действия станка

$$\eta_{ст} = \frac{P_z}{P_z + \Delta P} = \frac{1}{1 + \frac{a}{k} + b}. \quad (2.4)$$

Для частного случая, когда $k=1$, к. п. д. станка

$$\eta_{H.ст} = \frac{1}{1 + a + b}. \quad (2.5)$$

Разделение потерь для определения к. п. д. при любой нагрузке из (2.5) дает

$$a + b = \frac{1 - \eta_{H.ст}}{\eta_{H.ст}}.$$

Ориентировочно для практических расчетов принимаем:

$$\left. \begin{aligned} a &= 0,6(a + b); \\ b &= 0,4(a + b). \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Для станков, в которых имеются массивные движущиеся части, необходимо дополнительно учитывать потери мощности (квт) на трение в направляющих:

$$\Delta P_{\text{напр}} = \frac{G \mu v}{60 \cdot 1000}, \quad (2.7)$$

где G — вес движущихся частей, n ; μ — коэффициент трения, принимаемый равным 0,05—0,1; v — скорость передвижения, м/мин.

Для токарных, фрезерных, сверлильных станков к. п. д. при полной нагрузке составляет в среднем приблизительно 0,7—0,8, для шлифовальных станков 0,8—0,9, для строгальных и долбежных станков 0,65—0,75.

В связи с тем, что большинство станков работает с переменной нагрузкой и в различных режимах (длительном, повторно-кратковременном или кратковременном), выбор типа электропривода и расчет мощности его должны быть произведены в каждом отдельном случае с учетом конкретных технологических условий работы того или иного станка.

Существует несколько методов определения мощности двигателей для станков. Наиболее распространенными являются методы эквивалентных величин и средних потерь, используемые для определения мощности приводов, работающих как в длительном, так и повторно-кратковременном режимах. При этом основой для расчета мощности двигателя, как правило, служат нагрузочные диаграммы, построенные для установившегося режима работы привода (так называемые диаграммы статической нагрузки привода). По этим диаграммам производится предварительный выбор мощности двигателя. Затем выбранный двигатель проверяется по нагреву и допустимой перегрузке уже с учетом переходных процессов.

Далее рассматриваются методы расчета мощности двигателя для некоторых типовых приводов станков.

§ 2.2. ПОСТРОЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ ДИАГРАММЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТОКАРНОГО СТАНКА

Пусть требуется определить мощность двигателя для токарного станка, обрабатывающего деталь, эскиз которой показан на рис. 2.2.

Токарная операция обработки детали состоит из четырех переходов: 1 — подрезка; 2 — обточка цилиндрической поверхности; 3 — подрезка; 4 — обточка цилиндрической поверхности (см. рис. 2.2). Будем предполагать, что управление станком, связанное с выполнением разных переходов, а также с измерением обрабатываемого изделия и сменой одного изделия другим, производится при работающем (вхолостую) двигателе. Коэффициент полезного действия станка при полной нагрузке принимается равным $\eta_{\text{н. ст.}}$

По технологическим условиям известны материал детали, характер обработки, тип и геометрия реза, размер обработки и значения глубины резания и подачи для каждого перехода (табл. 2.1).

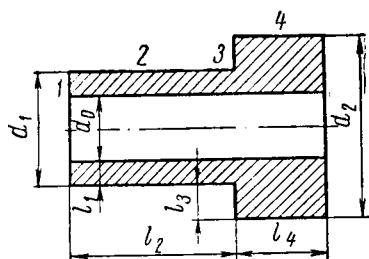


Рис. 2.2. Эскиз детали, обрабатываемой на токарном станке

Для каждого перехода по формулам (1.1), (1.2), (1.4) определяются скорость, усилие и мощность резания. Коэффициенты и показатели степени находятся из справочника по режимам резания. Если заданные по технологическим условиям значения глубины резания и подачи для соответствующих переходов совпадают с приведенными в картах справочника, то в этом случае мож-

но непосредственно, без расчета, выписать из карт значения скорости, усилия и мощности резания в табл. 2.2.

Таблица 2.1

Номер перехода	Длина обработки, мм	Глубина резания, мм	Подача, мм/об	Примечания
1	$l_1 = \frac{d_1 - d_0}{2}$	t_1	s_1	Для упрощения расчетов можно предположить: $t_1 = t_3, t_2 > t_4$ $s_2 = s_4, s_1 < s_3$
2	l_2	t_2	s_2	
3	$l_3 = \frac{d_2 - d_1}{2}$	t_3	s_3	
4	l_4	t_4	s_4	

Допускаем, что наибольшей мощности соответствует номинальный к. п. д. Коэффициент полезного действия для разных нагрузок находится по формуле (2.4).

Машинное время для каждого перехода

$$t_m = \frac{l}{sn},$$

где $n = 1000 v/\pi d$ — число оборотов шпинделя в минуту.

Все данные сводим в табл. 2.3.

Таблица 2.2

Номер перехода	Усилие резания, H	Скорость резания, м, мин	Мощность резания, кВт
1	F_{z1}	v_1	P_{z1}
2	F_{z2}	v_2	P_{z2}
3	F_{z3}	v_3	P_{z3}
4	F_{z4}	v_4	P_{z4}

Таблица 2.3

Номер перехода	Коэффициент загрузки k	Коэффициент полезного действия η	Мощность на валу двигателя P , кВт	Число оборотов шпинделя в минуту, n	Машинное время $t_{\text{м}}$, мин
1	k_1	η_1	P_1	n_1	$t_{\text{м1}}$
2	$k_2 = 1$	$\eta_2 = \eta_{\text{н.ст}}$	P_2	n_2	$t_{\text{м2}}$
3	k_3	η_3	P_3	n_3	$t_{\text{м3}}$
4	k_4	η_4	P_4	n_4	$t_{\text{м1}}$

В табл. 2.3 приведены числа оборотов шпинделя в минуту, полученные в связи с оптимальной скоростью резания для каждого перехода. Если по паспорту станка числа оборотов шпинделя отличаются от расчетных, то, выбрав (по паспорту) ближайшие значения чисел оборотов, следует произвести соответствующий пересчет скорости резания, мощности и машинного времени.

Для построения нагрузочной диаграммы электропривода необходимо учесть периоды пауз. Если полагать, что двигатель не отключается, то нагрузка его в периоды пауз обусловлена потерями холостого хода станка. Мощность на валу двигателя (кВт) при этом

$$P_0 = aP_{\text{нз}}. \quad (2.8)$$

Паузы в работе станка определяются по нормативам вспомогательного и подготовительно-заключительного времени, в соответствии с которыми необходимо учесть: а) время на установку детали; б) время на промер при продольной и поперечной обточках;

в) время на снятие детали; г) вспомогательное время на управление станком.

Определив суммарное время на вспомогательные операции и распределив его равномерно между рабочими переходами, строим нагрузочную диаграмму электродвигателя (рис. 2.3).

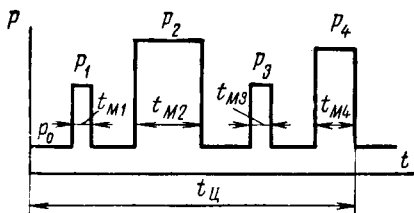


Рис. 2.3. Нагрузочная диаграмма электропривода токарного станка

При переменной нагрузке и использовании короткозамкнутого двигателя переменного тока для расчета мощности следует воспользоваться методом средних потерь. Этот метод, как известно, заключается в следующем. Предварительно выбирают по каталогу двигатель, исходя, например, из среднего значения нагрузки за цикл

$$P_n \approx (1,2 - 1,3) P_{cp}. \quad (2.9)$$

Затем, если двигатель не отключается от сети, при помощи кривой зависимости к. п. д. двигателя от нагрузки строится график потерь в двигателе $\Delta P = f(t)$ для всего цикла, по которому определяются средние потери за цикл (квт)

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Sigma \Delta P t}{t_{ц}} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}. \quad (2.10)$$

Проверка предварительно выбранного двигателя производится по условию

$$\Delta P_n \geq \Delta P_{cp}. \quad (2.11)$$

Если имеет место электрическое управление станком и двигатель работает в повторно-кратковременном режиме с частыми чередованиями установившегося режима, электрического торможения, остановки и последующего включения, то для проверки мощности предварительно выбранного двигателя может быть также использован метод средних потерь. При этом формула средних потерь за цикл запишется так:

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Sigma \Delta P t}{t'_{ц}} = \frac{\Sigma \Delta A_n + \Sigma \Delta A_m + \Sigma \Delta P t}{\alpha \Sigma t_0 + \frac{1 + \alpha}{2} \Sigma (t_n + t_m) + \Sigma t}, \quad (2.12)$$

где ΔA_n — потери энергии за один пуск при заданной нагрузке; ΔA_m — то же, за один период торможения; $\Delta P t$ — потери энергии в двигателе при заданной нагрузке за период установившегося режима; α — коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя при неподвижном роторе (для самовентилируемых двигателей), для короткозамкнутых двигателей защищенного исполнения мощностью

от 1 до 100 квт приблизительно $\alpha = 0,4-0,12$; Σt_0 — общее время, в течение которого двигатель отключен от сети; $\Sigma(t_n + t_m)$ — общее время пусков и торможений двигателя; Σt — общее время установившейся работы двигателя.

Отдельные слагаемые, входящие в выражение (2.12), подсчитываются по приводимым далее формулам.

Потери энергии за один пуск под нагрузкой (квт · сек)

$$\Delta A_n = \Delta A_{n0} \frac{J_p + J_{np}}{J_p} \cdot \frac{M_{n0}}{M_{n0} - M_c}, \quad (2.13)$$

где ΔA_{n0} — потери энергии за один пуск вхолостую; $M_{n0} \approx 0,5(k_m + \lambda)M_n$ — среднее значение пускового момента; $k_m = \frac{M_{нач}}{M_n}$ — кратность начального пускового момента; $\lambda = \frac{M_k}{M_n}$ — кратность максимального момента; J_p — момент инерции ротора двигателя; J_{np} — приведенный к валу двигателя момент инерции всех элементов станка, связанных с этим валом; M_c — момент статического сопротивления.

Потери энергии за одно торможение двигателя

$$\Delta A_m = \Delta A_{m0} \frac{J_p + J_{np}}{J_p} \cdot \frac{M_{m0}}{M_{m0} + M_c}, \quad (2.14)$$

где ΔA_{m0} — потери энергии за одно торможение двигателя вхолостую; $M_{m0} \approx 0,9 k_m M_n$ — среднее значение тормозного момента в случае торможения двигателя противовключением вхолостую.

Время пуска и торможения двигателя под нагрузкой:

$$t_n = t_{n0} \frac{J_p + J_{np}}{J_p} \cdot \frac{M_{n0}}{M_{n0} - M_c}; \quad (2.15)$$

$$t_m = t_{m0} \frac{J_p + J_{np}}{J_p} \cdot \frac{M_{m0}}{M_{m0} + M_c}, \quad (2.16)$$

где t_{n0} , t_{m0} — соответственно время пуска и торможения двигателя вхолостую.

Проверка предварительно выбранного двигателя по нагреву производится по условию (2.11).

После расчета двигателя по нагреву следует проверить его по допустимой кратковременной перегрузке.

Если для привода станка используется асинхронный двигатель, то наибольшее кратковременное действующее значение мощности (полученное из нагрузочной диаграммы) должно быть меньше максимально допустимой мощности для данного двигателя. Как известно, кратковременная допустимая перегрузка асинхронного двигателя лимитируется максимальным (или опрокидывающим) моментом его, который превосходит номинальный момент прибли-

зительно в 1,8—2,3 раза. Если учесть, что в заводских сетях допустимо снижение напряжения на 10%, и ввести коэффициент запаса 0,85, то кратковременная перегрузка по мощности асинхронного двигателя не должна превышать 1,4—1,5 от его номинальной мощности.

Кратковременная перегрузка по току двигателей постоянного тока ограничивается условиями коммутации и не превосходит (для двигателей нормального исполнения) 1,8—2,5 от номинального тока.

В заключение отметим, что в электроприводах, работающих в режиме чередования нагрузки и холостого хода, длительность холостого хода в результате пауз в работе станка может оказаться такой, что величина потерь энергии при холостом ходе окажется больше потерь энергии при пусках и остановках двигателя. В этом случае на период пауз двигатель отключается от сети с целью улучшения энергетических показателей электропривода (сокращения расхода электроэнергии и повышения $\cos \varphi$). На станках, пуск и остановка шпинделя которых производятся при помощи фрикционной муфты, станочник редко выключает двигатель при замене резца, при установке, снятии или выверке обрабатываемого изделия и др. Для сокращения длительности холостого хода привода в указанных случаях могут быть использованы автоматические ограничители холостого хода. Такие ограничители допускают работу двигателя вхолостую только в течение определенного времени, после чего двигатель автоматически отключается.

§ 2.3. ПОСТРОЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ ДИАГРАММЫ ГЛАВНОГО ПРИВОДА И ВЫБОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНОГО СТАНКА

Работа главного привода продольно-строгального станка характеризуется значительной частотой реверсирования с большими моментами при пуске и торможении. Поэтому при сравнительно малой длительности рабочего периода переходные режимы в электроприводе оказывают весьма существенное влияние на выбор мощности двигателя. Для предварительного подсчета мощности двигателя главного привода и построения нагрузочной диаграммы его в качестве исходных данных принимают:

1) график изменения усилия резания в функции скорости рабочего хода стола $F_z = f(v_{\text{пр}})$ [скорости и усилия резания определяются по формулам (1.2) и (1.1)]; график нагрузки привода стола в функции скорости обычно состоит из двух участков: на первом из них тяговое усилие остается приблизительно постоянным от минимальной скорости до скорости примерно 20 м/мин, а на втором участке с ростом скорости усилие падает; следовательно, регулирование скорости привода стола на первом участке должно производиться при постоянном моменте, а на втором — приблизительно с постоянной мощностью;

- 2) скорость обратного хода стола $v_{обр}$, м/мин;
- 3) вес обрабатываемой детали и стола ($G_{дет} + G_{ст}$), н;
- 4) к. п. д. передач при полной нагрузке $\eta_{пер}$;
- 5) коэффициент трения стола о направляющие μ ;
- 6) длину хода стола L , м;
- 7) суммарный момент инерции перемещающихся частей механизма станка.

Кроме того, для построения нагрузочной диаграммы должна быть задана система электропривода и обусловлен способ регулирования скорости.

Далее приводится методика расчета привода для случая, когда используется двигатель постоянного тока, управляемый по системе генератор — двигатель. Для упрощения здесь рассматривается вариант регулирования скорости вращения двигателя только изменением э. д. с. генератора при постоянном магнитном потоке двигателя.

Задаваясь техническими данными для различных режимов работы (например, для четырех режимов, приведенных в табл. 2.4), определяем для каждого из них соответственно мощность резания, мощность на валу двигателя и расчетную мощность двигателя (см. табл. 2.4).

Т а б л и ц а 2.4

Режим	Скорость, м/мин		Усилие резания, н	Вес изделия $G_{дет}$, н	Вес стола $G_{ст}$, н	P_z , кВт	$P_{л.пр}$, кВт	$P_{расч}$, кВт
	$v_{пр}$	$v_{обр}$						
1	$v_{пр1}$	$v_{обр1}$	F_{z1}	$G_{дет1}$	$G_{ст}$	P_{z1}	$P_{л.пр1}$	$P_{расч1}$
2	$v_{пр2}$	$v_{обр2}$	F_{z2}	$G_{дет2}$	$G_{ст}$	P_{z2}	$P_{л.пр2}$	$P_{расч2}$
3	$v_{пр3}$	$v_{обр3}$	F_{z3}	$G_{дет3}$	$G_{ст}$	P_{z3}	$P_{л.пр3}$	$P_{расч3}$
4	$v_{пр4}$	$v_{обр4}$	F_{z4}	$G_{дет4}$	$G_{ст}$	P_{z4}	$P_{л.пр4}$	$P_{расч4}$

Мощность на валу двигателя (кВт)

$$P_{л.пр} = \frac{F_T v_{пр}}{60 \cdot 10^3 \eta_{пер}}, \quad (2.17)$$

где $F_T = F_z + (G_{дет} + G_{ст} + F_y) \mu$ — тяговое усилие, н; μ — коэффициент трения стола о направляющие, принимаемый равным 0,05—0,08; F_y — вертикальная составляющая усилия при резании.

Далее производится предварительный выбор двигателя. Так как в рассматриваемом случае максимальная скорость привода, равная

скорости обратного хода, достигается при номинальном напряжении на зажимах двигателя, то расчетная (номинальная) мощность двигателя (без учета мощности обратного хода)

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{д.пр}} \frac{v_{\text{обр}}}{v_{\text{пр}}} . \quad (2.18)$$

Беря наибольшее значение $P_{\text{расч}}$ и задаваясь по кинематической схеме передаточным отношением двигателя к рейке стола $\rho = \omega_{\text{д}}/v_{\text{ст}}$, подбирают по каталогу двигатель ближайшей бóльшей мощности с номинальной скоростью, отвечающей выбранному передаточному отношению.

Необходимо отметить, что для приводов, работающих с частыми реверсами, вопрос об определении оптимального передаточного отношения имеет существенное значение в связи с установлением максимального быстродействия системы. Оптимальное передаточное отношение находится из следующих соображений. Уравнение движения главного привода относительно вала шестерни, связанной с рейкой стола, запишется так:

$$Mi - M_c = (J_p i^2 + J_m) \frac{d\omega_m}{dt} ; \quad (2.19)$$

из (2.19) находим

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{Mi - M_c}{J_p i^2 + J_m} , \quad (2.20)$$

где M — момент, развиваемый двигателем при пуске; i — искомое передаточное отношение; M_c — момент сопротивления, обусловленный холостым ходом станка; J_p , J_m — соответственно момент инерции якоря двигателя и момент инерции всех перемещающихся (при поступательном и вращательном движении) элементов механизма, приведенный к упомянутому валу; $\frac{d\omega_m}{dt}$ — ускорение этого вала.

Дифференцируя (2.20) по i и приравнивая производную нулю, найдем $i = i_{\text{опт}}$, при котором ускорение будет иметь максимальное значение, а именно

$$i_{\text{опт}} = \frac{M_c}{M_{\text{ср}}} + \sqrt{\left(\frac{M_c}{M_{\text{ср}}}\right)^2 + \frac{J_m}{J_p}} , \quad (2.21)$$

где $M_{\text{ср}}$ — средний момент, развиваемый двигателем при пуске.

Если $M_c \approx 0$, то

$$i_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{J_m}{J_p}} . \quad (2.22)$$

По параметрам двигателя выбирают генератор, рассчитанный на те же номинальные напряжение и ток, что и двигатель. С целью сокращения габаритов и стоимости генератора, а также приводного

двигателя переменного тока преобразовательной установки необходимо скорость указанных машин принимать максимально возможной.

Пользуясь параметрами генератора и двигателя и исходными данными, приведенными ранее, можно приступить к расчету графиков нагрузки электропривода в установившихся и переходных режимах.

Потери в передачах при прямом ходе и полной нагрузке

$$\Delta P_{\text{нагр}} = P_{\text{д.пр}} (1 - \eta_{\text{пер}}). \quad (2.23)$$

Потери в передачах при прямом ходе холостую

$$\Delta P_{\text{х.пр}} \approx 0,6 \Delta P_{\text{нагр}}.$$

Мощность на валу двигателя при прямом ходе холостую

$$P_{\text{д.х.пр}} = 0,6 \Delta P_{\text{нагр}} + \Delta P_{\text{напр}}, \quad (2.24)$$

где

$$\Delta P_{\text{напр}} = \frac{(G_{\text{дет}} + G_{\text{ст}}) \mu v_{\text{пр}}}{60 \cdot 10^3}.$$

Скорость вращения двигателя при прямом ходе

$$\omega_{\text{пр}} = v_{\text{пр}} \rho. \quad (2.25)$$

Электромагнитный момент двигателя при прямом ходе и полной нагрузке ($n \cdot м$)

$$M_{\text{э.пр}} = M_0 + \frac{10^3 P_{\text{д.пр}}}{\omega_{\text{пр}}}, \quad (2.26)$$

где M_0 — момент потерь холостого хода двигателя ($n \cdot м$)

$$M_0 = c I_{\text{н}} - \frac{10^3 P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}},$$

где c — коэффициент пропорциональности между моментом и током;

$$c = \frac{M_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \text{ или } c = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} r_{\text{д}}}{\omega_{\text{н}}};$$

$U_{\text{н}}$, $P_{\text{н}}$, $I_{\text{н}}$, $\omega_{\text{н}}$ — номинальные напряжение, мощность, ток и скорость вращения двигателя; $r_{\text{д}}$ — сопротивление якоря двигателя.

Электродвижущая сила генератора при прямом ходе стола

$$E_{\text{г.пр}} = c \omega_{\text{пр}} + \frac{M_{\text{э.пр}} r}{c}, \quad (2.27)$$

где r — суммарное сопротивление якорной цепи генератора и двигателя.

Мощность на валу двигателя при обратном ходе стола

$$P_{\text{д.обр}} \approx P_{\text{д.х.пр}} \frac{v_{\text{обр}}}{v_{\text{пр}}} . \quad (2.28)$$

Электромагнитный момент двигателя при обратном ходе

$$M_{\text{э.обр}} = M_0 + \frac{10^3 P_{\text{д.обр}}}{\omega_{\text{обр}}} . \quad (2.29)$$

Электродвижущая сила генератора при обратном ходе

$$E_{\text{г.обр}} = c \omega_{\text{обр}} + \frac{M_{\text{э.обр}} r}{c} . \quad (2.30)$$

Совместное решение (2.29) и (2.30) дает:

$$\omega_{\text{обр}} = \frac{1}{2} \left(\frac{E_{\text{г.обр}}}{c} - \frac{M_0 r}{c^2} \right) + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{E_{\text{г.обр}}}{c} - \frac{M_0 r}{c^2} \right)^2 - \frac{10^3 P_{\text{д.обр}} r}{c^2}} . \quad (2.31)$$

Полученным моментам двигателя $M_{\text{э.пр}}$ и $M_{\text{э.обр}}$ отвечают пропорциональные им токи в якорной цепи двигателя, так как $M_a = cI$.

Для найденных значений э. д. с. генератора при прямом и обратном ходах стола $E_{\text{г.пр}}$ и $E_{\text{г.обр}}$ по кривой холостого хода генератора определяются соответствующие токи возбуждения. По этим токам легко вычисляются соответствующие напряжения на зажимах обмотки возбуждения генератора.

Для проверки предварительно выбранного двигателя необходимо построить нагрузочную диаграмму электропривода с учетом переходных процессов. Построение приближенной нагрузочной диаграммы может быть произведено на основании следующих соображений. В начале задаемся, для упрощения, идеализированной тахограммой $\omega = f(t)$ одного цикла (прямой и обратный ходы) работы двигателя стола, для которого момент нагрузки при резании наибольший, что имеет место, как упоминалось, в зоне сравнительно небольших скоростей рабочего хода ($\approx 6\text{--}20$ м/мин).

Приведенная на рис. 2.4 тахограмма отличается следующими особенностями. Если скорость резания превышает 12—15 м/мин, то разгон привода при прямом ходе производится в два этапа — сначала до скорости $\omega_{\text{вх}}$, соответствующей 12—15 м/мин, при которой совершается врезание резца.

Разгон привода в течение времени t_1 , так же как и его работа при пониженной скорости (t_2), происходит при холостом ходе, которому соответствует ток:

$$I_{x.x} = \frac{M_0 + \frac{10^3 P_{\text{д.х.пр}}}{\omega_{\text{вх}}}}{c}.$$

Затем совершается врезание резца при той же пониженной скорости ($\omega_{\text{вх}}$). Длительность работы с полной нагрузкой ($I_{\text{пр}}$) и пониженной скорости незначительна и соответствует времени t_3 .

Врезание резца при пониженной скорости исключает сминание края обрабатываемого изделия.

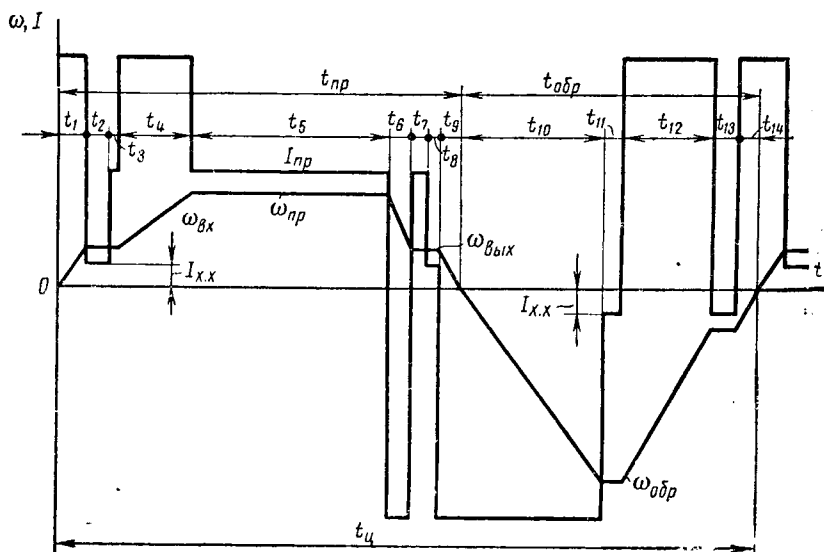


Рис. 2.4. Упрощенная нагрузочная диаграмма привода стола продольно-строгального станка

Разгон привода от скорости $\omega_{\text{вх}}$ до установившейся скорости $\omega_{\text{пр}}$, отвечающей требуемой скорости резания, производится при полной нагрузке. Перед окончанием прямого хода во избежание скалывания задней кромки изделия скорость резания и соответственно скорость привода должна быть снижена до $\omega_{\text{вых}} = \omega_{\text{вх}}$. Замедление привода на интервале времени происходит с полной нагрузкой.

При пониженной скорости за время t_7 еще производится снятие стружки, а затем имеет место выход резца из изделия (t_8) с последующим реверсированием привода с пониженной скорости прямого хода $\omega_{\text{вых}}$ до установившейся скорости обратного хода $\omega_{\text{обр}}$ ($t_9 - t_{10}$).

Обратный ход (на интервале времени t_{11}) обычно происходит при скорости $\omega_{\text{обр}}$, в 2—3 раза превышающей скорость прямого хода. К концу обратного хода целесообразно до начала реверса с обратного хода на прямой снизить скорость стола до 12—15 м/мин для более четкого срабатывания аппаратуры. Замедление

происходит при этом без нагрузки в течение времени t_{12} . Затем после небольшого интервала t_{13} , соответствующего длительности работы при пониженной скорости обратного хода, совершается реверсирование на пониженную скорость прямого хода. В дальнейшем цикл повторяется.

Так как в современных электроприводах столов продольно-строгальных станков используются замкнутые системы автоматического управления, в которых достигается желаемое формирование переходных процессов, то можно с известным приближением считать момент, а следовательно, и ток якоря двигателя неизменным в процессе пуска и торможения и равным примерно $2,0—2,2 I_n$, что обусловлено допустимыми условиями коммутации двигателя. Зная допустимое значение тока и соответственно момента в переходных режимах, а также учитывая величины моментов нагрузки, рассчитанных ранее, легко с учетом суммарного (приведенного) момента инерции привода определить время переходного процесса.

В соответствии с изложенным на рис. 2.4 приведена приближенная нагрузочная диаграмма электропривода стола. Пользуясь этой диаграммой, определим эквивалентный ток якоря за цикл

$$I_a = \sqrt{\frac{\sum_0^{t_n} I^2 t}{t'_n}}, \quad (2.32)$$

где t'_n — время с учетом ухудшения условий вентиляции при работе двигателя на пониженной скорости и в переходных режимах, если двигатель самовентилируемый; в этом случае $t'_n < t_n$ (t_n — время цикла, полученное из нагрузочной диаграммы). С целью большего использования двигателя целесообразно применить независимую вентиляцию; тогда в формуле (2.32) подставляется t_n вместо t'_n .

Предварительно выбранный двигатель удовлетворяет условиям нормальной работы по нагреву, если $I_a \leq I_n$ (I_n — номинальный ток двигателя).

Наиболее тяжелым режимом работы электропривода оказывается режим, при котором обрабатывается деталь — наименьшей длины при наибольшем усилии резания. Для определения допустимой наименьшей длины обработки при выбранном ранее двигателе необходимо составить уравнение, в котором эквивалентный ток принимается равным номинальному и приравнивается среднеквадратичному току, полученному из нагрузочной диаграммы, в которой неизвестными составляющими являются длительности установившихся режимов прямого и обратного ходов; при известной скорости прямого и обратного ходов определяется искомый путь. Уточненная нагрузочная диаграмма строится с учетом конкретной системы управления электропривода продольно-строгального станка (см. гл. VII).

Подача режущего инструмента на станках бывает постоянной (на токарных, расточных и других станках) или периодической (на продольно-строгальных, плоскошлифовальных и других станках). Подача производится или от главного привода или от самостоятельного двигателя; она может осуществляться в процессе резания (токарные и расточные станки) и во время холостого хода станка (продольно-строгальные).

Подача от главного привода чаще всего выполняется в таких станках, где необходимо сохранение постоянства подачи на один оборот изделия (токарно-винторезные, расточные и др.). Однако применение подачи от главного привода, особенно в крупных станках, ограничено усложнением механических связей. Поэтому часто в крупных токарных, карусельных, строгальных, фрезерных, расточных и других станках привод подачи осуществляется от самостоятельного двигателя.

Усилие, передаваемое в направлении подачи при линейном перемещении движущегося органа станка,

$$F_{\text{пол}} = kF_x + \mu N_z + \beta S_{\text{тр}}, \quad (2.33)$$

где F_x — составляющая усилия резания в направлении подачи; k — коэффициент запаса ($k \approx 1,2-1,5$); N_z — сумма нормальных сил, действующих на направляющие (вес и реакция от двух других составляющих усилия резания);

$$N_z = G + F_y + F_z;$$

μ — коэффициент трения; $S_{\text{тр}}$ — площадь прилегания взаимнотрущихся поверхностей механизма подачи, см^2 ; β — удельное усилие прилипания, н/см^2 (например, по данным завода им. Свердлова $\beta \approx 0,5 \text{ н/см}^2$).

Кроме того, должны учитываться усилия от собственного трения в винтовых или червячных передачах, в притертых шпинделях и т. п.

Усилия F_x и $\mu(F_y + F_z)$ преодолеваются только при рабочей подаче. Следует отметить, что μ зависит от скорости перемещения и материала пары скольжения.

При определении мощности привода подачи необходимо учесть два возможных случая работы его:

1) трогание с места, когда отсутствует еще рабочая подача. При этом учитываются усилие трения от веса перемещающихся деталей станка, связанных с подачей, а также сила прилипания, возникающая в начале трогания. При трогании механизма с места коэффициент трения обычно значительно выше, чем при рабочих скоростях подачи. Примерный характер изменения коэффициента трения в функции скорости приведен на рис. 2.5;

2) рабочую подачу, во время которой не учитывают силу прилипания. В формуле (2.33) принимают значение коэффициента трения, соответствующее рабочим скоростям.

Если, например, привод постоянной подачи осуществляется по кинематической схеме, приведенной на рис. 2.6, то для определения мощности надо исходить из следующих соображений. Зада-

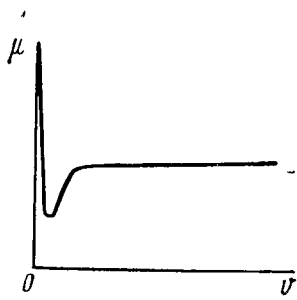


Рис. 2.5. Зависимость коэффициента трения от скорости

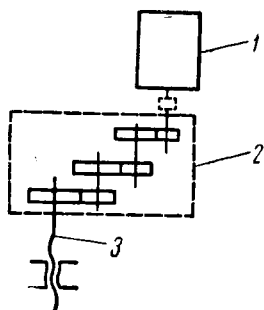


Рис. 2.6. Кинематическая схема привода подачи:

1 — двигатель; 2 — редуктор; 3 — ходовой винт подачи

ются: 1) шагом нарезки ходового винта t , мм; 2) средним диаметром его $d_{\text{ср}}$, мм; 3) коэффициентом трения μ ; 4) углом трения ходового винта φ .

Угол наклона резьбы α определяется из формулы

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t}{\pi d_{\text{ср}}} . \quad (2.34)$$

Вращающий момент на валу ходового винта

$$M_{\text{х.в}} = \frac{F_{\text{под}} d_{\text{ср}} \operatorname{tg} (\alpha + \varphi)}{2} . \quad (2.35)$$

Момент на валу двигателя

$$M_{\text{д}} = \frac{M_{\text{х.в}}}{\eta_{\text{п}} i} , \quad (2.36)$$

где $\eta_{\text{п}}$ — к. п. д. передач от ходового винта к двигателю; i — передаточное отношение.

Мощность двигателя подачи должна выбираться по моменту $M_{\text{д}}$ с учетом предполагаемой номинальной скорости двигателя.

Если для привода подачи используется регулируемый двигатель постоянного тока, например по системе генератор—двигатель, то следует произвести проверку его по:

а) статическому моменту на валу двигателя при минимальной скорости подачи с учетом необходимого снижения момента (или тока) двигателя из-за ухудшения охлаждения;

б) моменту при максимальной скорости двигателя, если такое имеет место при ослаблении магнитного потока.

После выбора мощности двигателя по наибольшему значению, полученному из двух упомянутых случаев, необходимо проверить его также по пусковому моменту, имея в виду преодоление момента трогания.

В случае периодической подачи при определении мощности электропривода следует исходить не только из величины максимального статического момента, но и из режима работы его (повторно-кратковременный или кратковременный).

§ 2.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ПРИВОДА ТИПОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ СТАНКОВ

Кроме основных приводов (главного и подачи), на станках существует и ряд вспомогательных, к которым можно отнести приводы зажимных устройств, быстрого перемещения отдельных элементов станка (траверс, шпиндельных бабок, суппортов и т. п.). Как правило, для этих приводов используются асинхронные короткозамкнутые двигатели.

Привод зажимных устройств предназначен для надежного закрепления подвижных деталей станка во избежание их вибрации при обработке деталей. Примерная схема привода зажимного устройства для колонны радиально-сверлильного станка приведена на рис. 2.7. Далее дается методика расчета мощности привода для зажима колонны радиально-сверлильного станка и приводятся графики нагрузок.

Для надежного закрепления колонны должно быть соблюдено условие

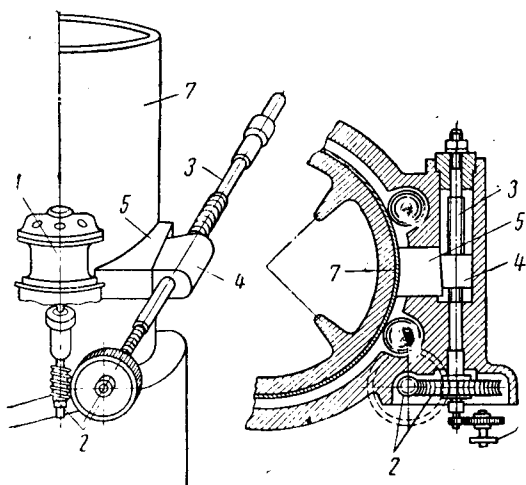


Рис. 2.7. Схема привода зажима колонны радиально-сверлильного станка:

1 — двигатель зажима; 2 — червячная пара; 3 — винт зажима; 4 и 5 — клинья; 6 — кулачок конечного выключателя; 7 — колонна

$$N \geq \frac{Ql}{R\mu}, \quad (2.37)$$

где N — нормальное давление на колонну, осуществляемое зажимным устройством, n ; R — внешний радиус колонны, m ; μ — коэффициент трения; Q — сила, приложенная к центру тяжести системы траверса — суппорт, n ; l — расстояние от оси колонны до центра тяжести, m .

Момент на валу двигателя, $n \cdot m$,

$$M_d = N \frac{d_{cp}}{2} \cdot \frac{1}{\eta_{pi}} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \operatorname{tg}(\alpha_1 \pm 2\varphi_1), \quad (2.38)$$

где d_{cp} — средний диаметр ходового винта, m ; η_{pi} , i — к. п. д. и передаточное число червячной передачи; α , α_1 — соответственно угол наклона ходовой линии винта и клина, *град*; φ , φ_1 — углы трения ходового винта и клина, *град*.

Знаки « $\pm$ » в формуле (2.38) относятся соответственно к зажиму и отжатию колонны.

В период зажима до соприкосновения поверхностей клина и колонны станка двигатель развивает незначительный момент, обусловленный трением в передачах механизма. С начала соприкосновения клиновых поверхностей момент сопротивления начинает расти. Предел статического момента может наступить либо при переходе через максимальный момент двигателя, либо раньше — при автоматическом отключении двигателя, когда приведенный момент статического сопротивления не достигнет максимального момента двигателя.

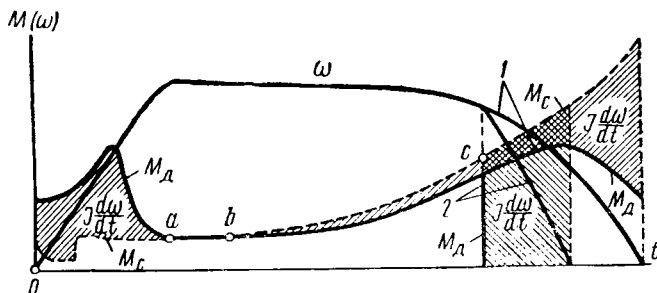


Рис. 2.8. Нагрузочная диаграмма привода зажима колонны при зажатии:

a — конец разгона двигателя; b — начало зажатия; c — автоматическое отключение двигателя

Нагрузочная диаграмма привода при зажатии колонны показана на рис. 2.8: в случае 1 двигатель перегружается и останавливается в режиме короткого замыкания; в случае 2 двигатель автоматически отключается при моменте сопротивления, меньшем максимального момента двигателя, за счет срабатывания максимального реле.

Аналогичным образом рассчитывается момент на валу двигателя механизма зажима поступательно перемещающихся деталей станка, например зажима траверсы (для продольно-строгальных станков, фрезерных, карусельных и т. п.), упрощенная кинематическая схема которого приведена на рис. 2.9.

Момент на валу двигателя в данном случае

$$M_d = \frac{Nd_{cp} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}{2q i \eta_n}, \quad (2.39)$$

где q — передаточное отношение рычагов; остальные обозначения те же, что и для (2.38).

Величина начального (пускового) момента

двигателя подсчитывается из условия отжатия. Наибольшее усилие при этом должно быть определено в предположении, что максимальное реле не сработает при зажатии и двигатель остановится.

Для того чтобы двигатель мог быть пущен для отжатия, в кинематической цепи зажимного устройства создается специальный «мертвый» ход (люфт), во время выбирания которого двигатель успевает разогнаться до полной скорости. При отжатии с полной скоростью момент статического сопротивления покрывается моментом

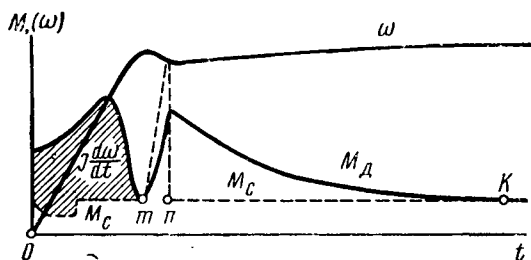


Рис. 2.10. Нагрузочная диаграмма привода зажима колонны при отжатии:

m — конец разгона; n — конец отжатия; k — установившийся режим (холостой ход)

двигателя и динамическим моментом привода (рис. 2.10).

Двигатели вспомогательных механизмов станков работают, как правило, в кратковременном режиме и должны обладать повышенным пусковым моментом и высокой перегрузочной способностью (особенно для зажимных устройств).

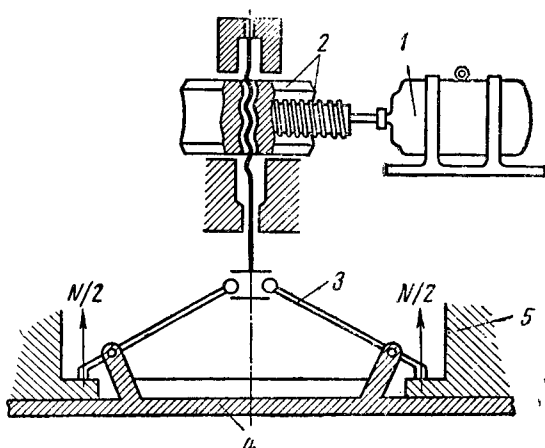


Рис. 2.9. Схема привода зажима поперечины:
1 — двигатель зажима; 2 — червячная пара; 3 — рычаг; 4 — поперечина; 5 — станина

§ 2.6. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ И ТИПА ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ СТАНКОВ

Стремление приблизить приводной двигатель к рабочему органу станка и тем самым осуществить привод более компактным привело к созданию, кроме нормального исполнения двигателей на лапах, ряда специальных исполнений. К ним относятся фланцевые двигатели (с фланцем на шите, с фланцем на станине для вертикальной и горизонтальной установки и с фланцем и лапами), встроенные и др.

Фланцевые двигатели в станках часто применяются для привода рабочих органов с вертикальной осью вращения, например в вертикально-сверлильных, плоскошлифовальных, продольно-фрезерных и других станках. При использовании фланцевого двигателя вертикального исполнения, ось которого параллельна оси шпинделя станка, упрощается конструкция станка, так как в этом случае исключается надобность в конических шестернях, служащих для изменения направления оси вращения. Встроенные двигатели монтируются в самом станке; станиной такому двигателю служит соответствующая часть станка (например, шпиндельная бабка шлифовального станка), валом двигателя является один из валов станка. Часто в шлифовальных станках шпиндель станка и вал двигателя представляют собой одно целое.

Зарубежные фирмы, кроме указанных модификаций, выпускают для станков двигатели с малыми радиальными размерами и относительно большой длиной, двигатели с наружным ротором в виде кольца. Используются двигатели, у которых при включении ротор смещается в осевом направлении, развивая значительное усилие для преодоления действия механического тормоза, воздействующего на вал двигателя. Выпускаются также двигатели со встроенными в подшипниковый щит электромагнитными тормозами. Наконец, применяются двигатели с пристроенными редукторами, коробками скоростей и различными механическими вариаторами для бесступенчатого регулирования скорости.

В зависимости от условий работы станков приводные двигатели должны быть защищены от вредного влияния окружающей среды. Для привода станков применяются двигатели со следующими способами защиты от воздействия окружающей среды: 1) защищенные, 2) закрытые и 3) взрывобезопасные.

Защищенные двигатели имеют решетки, закрывающие вентиляционные отверстия в подшипниковых щитах. Эти двигатели могут быть использованы, если при работе станка не образуется мелкой металлической пыли и исключено попадание в двигатель масла, эмульсии и посторонних предметов. В цехе, где установлен станок, воздух не должен содержать металлической или абразивной пыли.

Если при упомянутых условиях возможно попадание на двигатель отвесно или под углом капель и брызг масла или эмульсии, то следует применять двигатели, защищенные от капежа.

Закрытые обдуваемые двигатели имеют вентилятор, надеваемый

на вал снаружи бокового щита без отверстий. С внешней стороны вентилятор прикрывается металлическим кожухом, который дает определенное направление воздушному потоку. Через отверстия в лобовой части кожуха засасывается воздух, прогоняемый вдоль наружной поверхности корпуса двигателя. С целью увеличения поверхности охлаждения станина на наружной стороне снабжена ребрами. Следует отметить, что при одних и тех же габаритах мощность, развиваемая закрытым двигателем, значительно меньше мощности, развиваемой двигателем защищенного исполнения. Например, двигатель защищенного исполнения мощностью 7 кВт в обдуваемом исполнении развивает мощность примерно 4,5 кВт. Такое расхождение в номинальных мощностях объясняется тем, что закрытый обдуваемый двигатель охлаждается только снаружи, т. е. охлаждается не так эффективно, как двигатель защищенного исполнения.

Закрытые обдуваемые двигатели применяются в тех случаях, когда при работе станков образуется легко взвешиваемая в воздухе металлическая пыль (чугунная, абразивная), а также не исключено попадание в двигатель капель и брызг масла или эмульсии. Закрытый двигатель применяется также и в том случае, когда на него непосредственно в значительном количестве могут падать металлическая пыль или мелкая стружка. В случае установки на станках встроенных двигателей охлаждение их должно производиться чистым воздухом, без примеси пыли.

В последнее время нашей промышленностью освоены двигатели постоянного тока закрытого необдуваемого исполнения серии ПБСТ и ПБС для широкорегулируемых электроприводов станков с номинальной скоростью вращения до 3000 об/мин и мощностью до 11 кВт.

Взрывобезопасные двигатели применяются в станках, на которых ведется обработка легковоспламеняющихся сплавов, а также в станках, где для охлаждения инструмента используется керосин, пары которого могут образовать среду, опасную в отношении взрыва.

При выборе двигателей переменного тока для приводов станков, работающих с постоянной скоростью, следует ориентироваться на наибольшие значения скоростей (синхронная скорость 1500 или 3000 об/мин). В особых случаях, обусловленных конструктивными соображениями, можно выбирать двигатели с меньшими значениями скоростей (синхронная скорость 1000 или 750 об/мин). При выборе двигателей постоянного тока, применяемых обычно в тяжелых станках, требующих плавного регулирования скорости, но пускаемых сравнительно редко (токарные, карусельные и др.), также следует ориентироваться на наибольшие значения номинальных скоростей вращения. В приводах с большим числом пусков и реверсов (например, главные привода продольно-строгальных станков) предпочтение часто отдается низкоскоростным двигателям.

Для следящих электроприводов (копировальных станков, стан-

ков с программным управлением и др.) целесообразно использование специальных исполнительных малоинерционных двигателей постоянного тока с гладким якорем серии ПГТ и ПГ мощностью до 4 кВт защищенного исполнения с принудительной вентиляцией и встроенным тахогенератором (ПГТ) и без него (ПГ), предназначенных для длительного и повторнократковременного режимов работы. Эти двигатели изготавливаются с независимым возбуждением и допускают весьма широкое регулирование скорости вращения вниз от номинальной при моменте, равном номинальному; двигатели допускают регулирование скорости вверх от номинальной (изменением тока возбуждения) в диапазоне скоростей вращения от 1500 до 5000 об/мин при неизменной мощности на валу, равной номинальной. Двигатели с гладким якорем допускают кратковременную перегрузку по току, равную $8 I_{\text{ном}}$ при номинальном магнитном потоке.

Глава III

ПУСК, ТОРМОЖЕНИЕ, ОГРАНИЧЕНИЕ НАГРУЗКИ И ТОЧНАЯ ОСТАНОВКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТАНКОВ

§ 3.1. ПУСК И ТОРМОЖЕНИЕ ПРИВОДОВ С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Основным типом двигателя, используемым для привода небольших и средних станков, а также для вспомогательных приводов крупных и тяжелых станков является короткозамкнутый асинхронный двигатель трехфазного тока. Главными достоинствами этого двигателя, как известно, являются простота его конструкции, надежность и экономичность в эксплуатации, а также простота системы управления.

Пуск асинхронных короткозамкнутых двигателей небольшой мощности чаще всего производится прямым включением на полное напряжение сети. При необходимости ограничения пускового момента двигателей малой мощности во избежание чрезмерных динамических усилий в отдельных звеньях кинематической цепи станка иногда прибегают к включению на период пуска активного сопротивления в одну из фаз статора.

Для двигателей средней мощности (от 10 до 100 кВт) для ограничения тока и момента на период пуска применяется включение во все три фазы цепи статора реактивной катушки либо дополнительного активного сопротивления. По окончании пуска двигателя эти сопротивления или реактивная катушка закорачиваются.

Для ограничения пускового тока и момента асинхронного короткозамкнутого двигателя можно также использовать переключение обмотки статора со звезды на треугольник. В этом случае напря-

жение цеховой сети должно быть равно паспортному напряжению, соответствующему соединению обмоток статора в треугольник.

Увеличение скоростей механизмов современных станков и максимальное приближение электрического двигателя к рабочему органу станка приводят к значительному увеличению времени выбега привода. Например, время выбега шпинделя фрезерного станка 6А54 составляет несколько секунд, время выбега главного привода крупного плоскошлифовального станка с полной скорости — около 40 сек и т. д.

Для сокращения времени остановки приводов прибегают к принудительному торможению. Часто в качестве тормоза используется сам двигатель. В приводах с асинхронными двигателями применяются различные способы электрического торможения: противовключением, динамическое и рекуперативное. Индукционное реле контроля скорости типа *РКС*, установленное на валу двигателя, обеспечивает надежное отключение двигателя при скорости, близкой к нулю, когда используется противовключение.

Типовые схемы торможения противовключением, применяемые в приводах станков, приведены на рис. 3.1.

В схеме рис. 3.1, *а* для пуска двигателя в направлении, например, «Вперед» нажатием на кнопку «Пуск вп.» включается контактор *В* через размыкающий контакт 1 реле *РКС*. При разгоне двигателя в заданном направлении контакт 1 реле *РКС* остается замкнутым, контакт 2 разомкнутым, контакт 3 разомкнется, а контакт 4 замкнется. При замыкании контакта 4 реле *РКС* подготавливается цепь включения катушки контактора *Н*.

Нажатием кнопки «Стоп» отключается контактор *В*, а размыкающий контакт его, замкнувшись, включает контактор *Н*. Двигатель переходит в режим противовключения и интенсивно затормаживается. При скорости, приблизительно равной 100—200 об/мин, контакт 4 размыкается, и двигатель отключается от сети. Если ротор двигателя вращается в противоположную сторону, то для торможения используется контактор *В*, включаемый контактом 2 реле *РКС*. Регулировкой нажатия пружины можно добиться возвращения в исходное положение контактов реле *РКС* по окончании торможения или при значительно меньшей скорости двигателя, чем было отмечено ранее. Однако настройка реле на отключение при очень малой скорости может привести к случайному замыканию противоположного контакта и, следовательно, к реверсированию двигателя, что в ряде случаев нежелательно.

В условиях эксплуатации малонагруженного двигателя при холостом ходе станка контакт реле *РКС* может включиться, если резко повернуть вал двигателя, например при надевании ремней на его шкив. Двигатель в этом случае включается в сторону, противоположную ручному повороту, что небезопасно для обслуживающего персонала. Приведенная схема обладает еще и тем недостатком, что при торможении крупных двигателей контакты реле *РКС* размыкаются медленно и сильно обгорают.

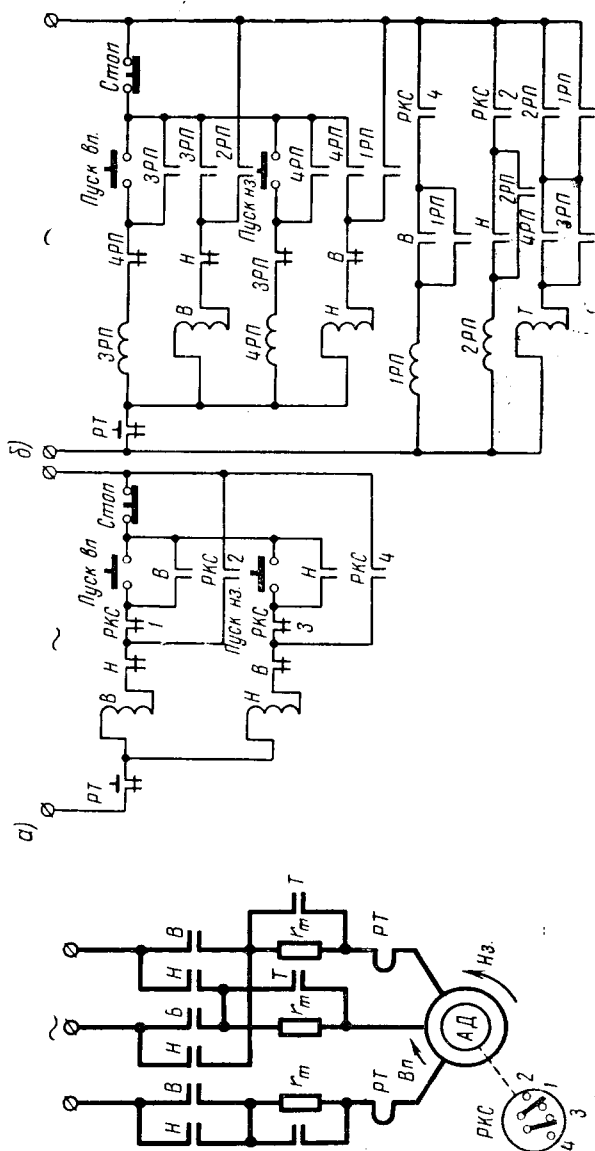


Рис. 3.1. Схемы торможения противовключением асинхронного двигателя

Более надежной является схема торможения с использованием реле *РКС*, включенного через промежуточные реле *1РП* и *2РП*, которые подготавливают цепи управления противовключением и отключают их в конце торможения (рис. 3.1, б). В этой схеме с целью ограничения тока при торможении в цепь статора включено сопротивление r_t . При работе двигателя в любую сторону дополнительное сопротивление шунтируется контактором *Т*.

Нажатием кнопки «Стоп» отключается реле *3РП* (или *4РП*), и двигатель начинает тормозиться. Так как при этом контактор *Т* выключается, то в процессе торможения в статорную цепь вводится сопротивление r_t , которое служит также для ограничения пускового тока и момента двигателя. К концу торможения контактор *Н* (или *В*) отключается, и двигатель останавливается.

В некоторых случаях, например при большой частоте включений, с целью сокращения потерь энергии в двигателе используется динамическое торможение, осуществляемое подачей в статорную цепь на период торможения постоянного тока. А в случае симметричного питания обмоток статора устраняются вибрации ротора; при динамическом торможении и несимметричном включении статора указанные вибрации ротора имеют место. При этом более эффективное динамическое торможение (за счет усложнения схемы) имеет место при так называемом симметричном питании всех трех фаз статора постоянным током [Л. 21].

В приводах станков, где применяются двух- или многоскоростные асинхронные двигатели, возможно рекуперативное торможение, когда производится переключение с высокой скорости на более низкую. Если необходимо затем затормозить привод до полной остановки, то следует дополнительно использовать один из рассмотренных ранее способов торможения.

В приводах малой мощности может быть использовано также так называемое конденсаторное торможение, осуществляемое, как известно, при отключении двигателя от сети переменного тока и подключении к обмотке статора его конденсаторов. Характерной особенностью этого способа торможения является возникновение значительного момента в начале торможения и быстрое падение его со снижением скорости; при скорости $\approx 0,5$ от синхронной тормозной момент близок к нулю. Для осуществления более эффективного торможения может быть использована схема конденсаторного двухступенчатого торможения (рис. 3.2). При нажатии на кнопку «Стоп» выключается контактор *1К* и благодаря конденсаторам *1С*, подключенным параллельно статорной обмотке двигателя, происходит его самовозбуждение; он переходит в режим асинхронного генератора и интенсивно тормозится. По истечении времени, соответствующему времени торможения до скорости примерно 0,4—0,5 от синхронной, отключится реле *РП* и включит своим замыкающим контактом контактор *2К*. Произойдет закорачивание обмотки статора и последующее возрастание тормозного момента в зоне низких скоростей.

К недостаткам этой схемы следует отнести необходимость коммутации контактором $1K$ значительных токов в момент включения двигателя вследствие постоянно подключенной емкости $1C$. Конденсаторы $1C$ и контактор $1K$ могут быть выбраны меньших габаритов и на меньшее напряжение, если несколько усложнить схему и подключить конденсаторы $1C$ только на время торможения.

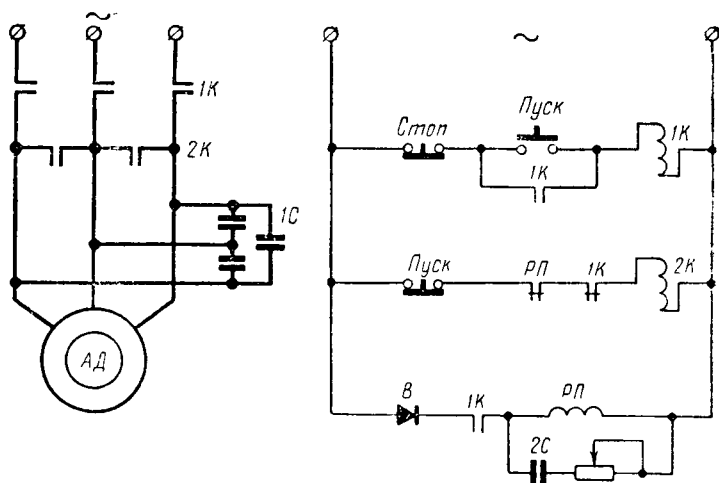


Рис. 3.2. Схема конденсаторного торможения асинхронного двигателя

Оригинальная схема комбинированного конденсаторно-динамического торможения была разработана СКБ-13 (рис. 3.3). Как видно из схемы, при нажатии на кнопку «Стоп» отключается контактор K и происходит вначале конденсаторное торможение; одновременно через вентиль и сопротивление в статор поступает выпрямленный ток, вызывающий динамическое торможение, наиболее эффективное при малых скоростях, когда уже закончилось конденсаторное торможение. Таким образом, сочетание двух способов торможения обеспечивает быструю остановку двигателя.

В рассматриваемой схеме имеет место предварительная подзарядка емкости, что вызывает уменьшение величины переходного тока при включении контактора K и облегчает режим работы его.

Кроме упомянутых случаев, когда сам двигатель работает в тормозном режиме, используются также разного рода внешние тормозные устройства, пристраиваемые или непосредственно к двигателю, или встраиваемые в кинематическую цепь станка. Так, например, одним из распространенных за границей внешних тормозных устройств является фрикционный тормоз, который пристраивается к двигателю. Подвижные металлические диски закрепляются на валу двигателя. При включении двигателя одновременно включаются электромагниты, преодолевающие усилие пружины

и отводящие подвижные диски от неподвижных, снабженных фрикционным материалом, поэтому ротор двигателя может свободно вращаться. При отключении двигателя от сети выключаются и электромагниты тормоза, пружина прижимает подвижные диски к неподвижным, в результате чего ротор затормаживается. Это тормозное устройство сравнительно простое и обеспечивает торможение привода при исчезновении напряжения. При использовании

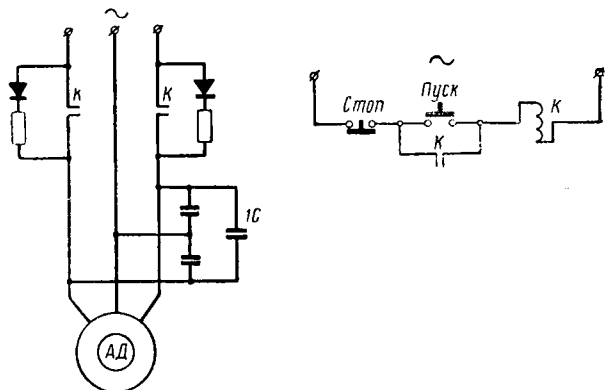


Рис. 3.3. Схема комбинированного конденсаторно-динамического торможения

внешних тормозных устройств энергия торможения выделяется уже не в двигателе, а в этом устройстве. К недостаткам таких тормозных устройств относятся: необходимость периодической подрегулировки из-за износа фрикционных поверхностей; зависимость тягового усилия электромагнита от изменения напряжения; увеличение габаритов (длины) двигателя.

Выбор способа торможения производится на основании конкретных условий работы того или иного механизма станка.

Дистанционное управление станками с целью автоматического включения, торможения и реверсирования рабочих органов как в кинематической цепи главного движения, так и в цепи подачи осуществляется часто при помощи различного рода муфт с механическим, гидравлическим или электромагнитным управлением. Значительное распространение получили вследствие простоты и удобства управления фрикционные электромагнитные муфты.

Однодисковые электромагнитные муфты, применявшиеся ранее в приводах небольших продольно-строгальных и копировальных станков, отличались большими габаритами в сравнении с механическими многодисковыми фрикционными муфтами из-за наличия одной поверхности трения, что ограничивало их распространение.

Нашедшие применение в последнее время многодисковые фрикционные электромагнитные муфты имеют большое число поверхностей трения. Это позволяет значительно сократить их размеры

при передаче сравнительно больших моментов, вследствие чего облегчается установка электромагнитных муфт в коробках скоростей и подач. Последнее приводит к упрощению управления станком, повышению уровня автоматизации и исключению сложных систем механического переключения скоростей.

На рис. 3.4 показано устройство многодисковой фрикционной муфты, предназначенной для сцепления и расцепления ведомого и

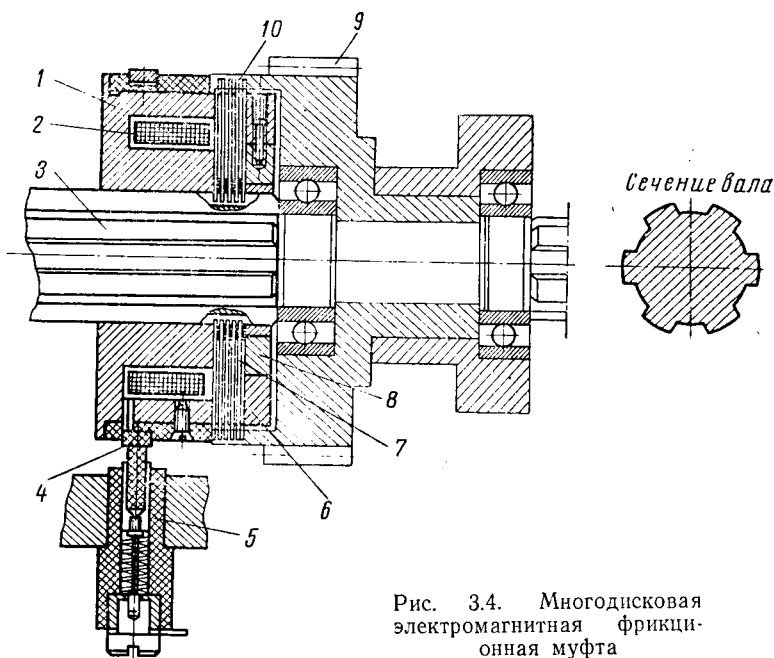


Рис. 3.4. Многодисковая электромагнитная фрикционная муфта

ведущего валов. В стальном корпусе муфты 1 помещается катушка 2, один конец которой заземлен на корпус, а другой соединен с контактным кольцом 4. Катушка 2 обтекается постоянным током, напряжением 12 или 24 в, подаваемым через щетку в щеткодержателе 5. Между корпусом 1, находящимся на ведущем валу 3, и якорем 6, 8 помещаются фрикционные металлические диски 7 и 10, одна часть которых связана внутренним шлицевым соединением с ведущим валом, а другая — внешним шлицевым соединением через зубчатый венец с ведомой шестерней 9. Якорь, как и фрикционные диски, может свободно перемещаться в осевом направлении вдоль вала 3.

При прохождении постоянного тока по катушке муфты возникает магнитный поток, часть которого (полезный поток) проходит через тело корпуса, все диски и якорь. Другая часть потока, связанная с витками (поток рассеяния), замыкается через диски, не

доходя до якоря. Специальные фигурные отверстия в дисках (рис. 3.5) создаются для того, чтобы лишь небольшая часть магнитного потока замыкалась через диски, а основная проходила перпендикулярно их плоскости к якорю.

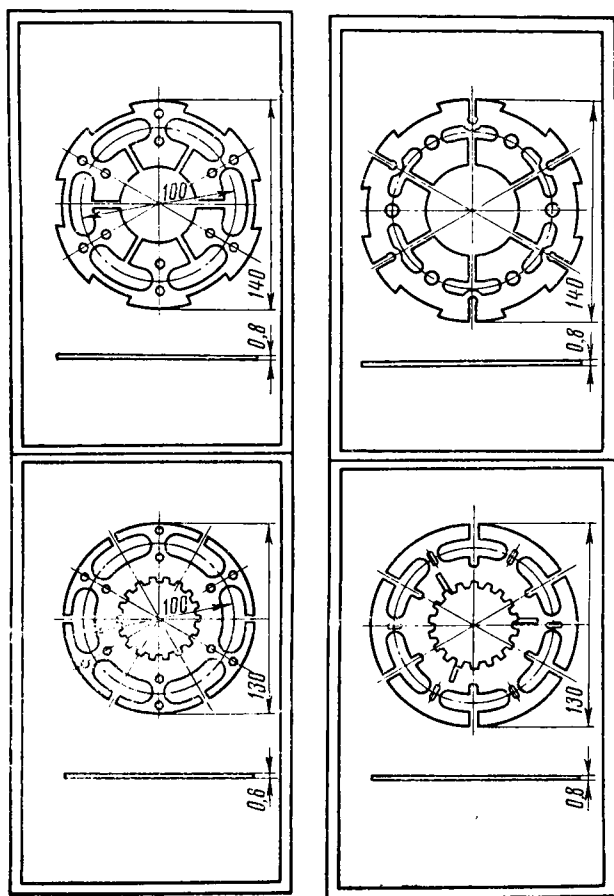


Рис. 3.5. Диски электромагнитной фрикционной муфты

Полезный поток вызывает усилие, под действием которого диски оказываются сжатыми между корпусом и якорем муфты, вследствие чего осуществляется передача ведомому валу вращающего момента

$$M = (m - 1) F_{\text{ср}} \bar{\mu} R_{\text{ср}}, \quad (3.1)$$

где m — число дисков; μ — коэффициент трения; $F_{\text{ср}}$ — среднее значение осевого усилия, сжимающего диски; $R_{\text{ср}}$ — средний радиус трения.

Как показывают исследования ЭНИМС, с увеличением m от 2 до 8—12 момент растет, а при дальнейшем увеличении числа дисков начинает падать.

При большом числе дисков ($m \geq 7-8$) можно формулу для вращающего момента записать так:

$$M = (m - 1) \mu R_{\text{ср}} S_{\text{д}} \left[\frac{0,4\pi I w}{2\alpha (m + 1) \delta} \right], \quad (3.2)$$

где $S_{\text{д}}$ — площадь сечения одной кольцевой поверхности диска; δ — величина воздушного зазора между дисками; $0,4\pi I w$ — полное число ампер-витков катушки; α — коэффициент, равный 5000.

В формулу (3.2) входит значение коэффициента трения, зависящего в основном от условий смазки. Как известно, рассматриваемые многодисковые фрикционные муфты работают при принудительной смазке их маслом (с расходом от 2 до 5 л/мин), осуществляемой поливом муфты сверху или подачей масла под давлением через вал. Коэффициент трения можно в среднем принять равным 0,06—0,08.

Так как муфта во время разгона ведомой части кинематики станка преодолевает, кроме статического момента сопротивления, также момент динамический, то ее выбирают с некоторым запасом по моменту. Коэффициент запаса принимают в среднем примерно равным 1,3—1,4.

Большое значение для нормальной работы муфты имеют правильный подбор материалов и тщательность изготовления ее отдельных частей. Корпус и якорь муфты изготавливаются из мягких сталей, обладающих минимальным значением остаточной магнитной индукции во избежание слипания дисков при отключении катушки. Значительно снижается влияние величины остаточного момента муфты при помощи пружинных колец, находящихся между дисками и принудительно разводящих диски в отключенном состоянии муфты. Воздушный зазор стремятся выполнить минимальным.

Сила сжатия дисков и, следовательно, момент, передаваемый муфтой, зависят от толщины дисков, повышаясь с уменьшением толщины. Однако из условий механической прочности значительное уменьшение толщины дисков нежелательно. Толщина дисков обычно составляет 0,7—1 мм. С целью повышения прочности и износостойчивости диски изготавливают из стали марки 65Г, которая подвергается термической обработке.

За границей и у нас в последние годы находят применение так называемые порошковые муфты, в которых ферромагнитный порошок помещен в зазоры магнитной цепи. Возбуждение порошковых муфт производится таким же способом, как и у фрикционных. При подключении обмотки муфты к источнику постоянного

тока ферромагнитная смесь уплотняется и происходит сцепление ведущей и ведомой частей ее. Основным преимуществом порошковых муфт является их быстродействие. Время срабатывания и отпускания таких муфт составляет несколько миллисекунд. К недостаткам порошковых муфт надо отнести большие значения остаточных моментов при высоких скоростях вращения, необходимость в надежном уплотнении для устранения утечки ферромагнитной смеси, а также надобность в специальном охлаждении.

Электромагнитные муфты нашли применение для пуска и переключения элементов кинематической цепи небольших и средних токарных, карусельных, расточных и других станков. Кроме того, эти муфты используются и для торможения.

Применение электромагнитных многодисковых фрикционных муфт позволяет значительно сократить время разгона и торможения исполнительных элементов станка, связанных с ведомой частью муфты и обладающих сравнительно небольшим моментом инерции. Обусловлено это тем, что элементы привода, имеющие значительный момент инерции — двигатель и передачи до ведущей части муфты, в данном случае не влияют на длительность переходных процессов, так как эти элементы вращаются непрерывно в одном и том же направлении.

§ 3.2. ПУСК И ТОРМОЖЕНИЕ ПРИВодОВ С ДвИГАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При пуске и торможении двигателей постоянного тока возникает необходимость в ограничении тока и момента. Предельно допустимый ток в переходных режимах лимитируется как условиями коммутации машин постоянного тока, так и динамическими усилениями, возникающими в элементах передач станка.

Пуск двигателей постоянного тока средней и большой мощности, питающихся от источника с неизменным напряжением, производится при помощи реостата. Двигатели независимого возбуждения при соблюдении нормальных условий коммутации допускают кратковременный ток приблизительно в 2—2,5 раза больше номинального при скорости вращения до двухкратной от номинальной. С увеличением скорости от двух- до четырехкратной от номинальной допустимый кратковременный ток в якорной цепи снижается до 1,5—1,6 от номинального.

Пуск двигателя до скорости, выше основной, осуществляется ослаблением магнитного потока двигателя. Если наибольшая скорость, до которой разгоняется двигатель, превышает номинальную в 3 или 4 раза, то ускорение от основной скорости до наибольшей должно производиться в несколько ступеней с целью ограничения тока якорной цепи.

Для сравнительно частых пусков и остановок привода управление двигателем при скорости, выше основной, производится в

функции времени. При этом схема усложняется за счет дополнительного количества реле времени и контакторов, обусловленного числом ступеней ослабления магнитного потока.

С целью упрощения схемы при небольшом числе пусков двигателя, что имеет место, например, в приводах тяжелых токарных, карусельных, расточных и т. п. станков, целесообразно применять вибрационный способ управления процессом ослабления магнитного потока двигателя. Схема оказывается проще; вместо нескольких реле вводится одно.

Рассмотренный принцип вибрационного управления может быть также использован с целью ограничения тока и момента двигателя при ускорении и замедлении его, например, в системе генератор — двигатель. Такой способ управления находит применение в тяжелых токарных, карусельных и других станках.

§ 3.3. ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКА ПРИ ПУСКЕ И ТОРМОЖЕНИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

В замкнутых системах управления двигателями постоянного тока обычно для ускорения переходных режимов применяется значительное форсирование, и в связи с этим возникает необходимость в ограничении тока главной цепи (как в главных приводах, так и в приводах подач). Особенностью устройств ограничения тока замкнутых систем является возможность автоматического поддержания на заданном уровне максимально допустимого тока в течение почти всего времени ускорения или замедления привода.

Принципиальная схема автоматического ограничения тока якорной цепи двигателя главного привода, питаемого от отдельного генератора, показана на рис. 3.6, а. Здесь при включении контактов *В* или *Н* на задающую обмотку *ЗУ* электромашинного усилителя *У* подается напряжение, обеспечивающее пяти—семикратную форсировку возбуждения, поэтому э. д. с. генератора, а следовательно, и ток якорной цепи будут интенсивно возрастать.

Если падение напряжения на обмотках дополнительных полюсов генератора и двигателя (вследствие возрастания тока в якорной цепи) превысит задающее напряжение, снимаемое с потенциометра *П* через вентили *1В* или *2В*, то ток потечет по обмотке усилителя *ТУ*. Так как намагничивающие силы обмоток *ТУ* и *ЗУ* направлены встречно, то при протекании тока по обмотке *ТУ* будет снижаться напряжение на якоре усилителя, дальнейший рост тока в якорной цепи главного двигателя прекращается и ток поддерживается приблизительно на одном и том же уровне почти до установившейся скорости привода (рис. 3.6, б).

При торможении обмотка *ТУ* подключается на падение напряжения в обмотках *ДП_г* и *ДП_д*. Ее н. с. меняет знак и задерживает

спадание э. д. с. генератора, ограничивая тем самым ток главной цепи.

Из схемы видно, что ограничение тока в якорной цепи двигателя производится как в одном, так и в противоположном направлениях вращения его (на рис. 3.6 не показаны стабилизирующая обмотка усилителя и обмотка, осуществляющая жесткую отрицательную связь по скорости).

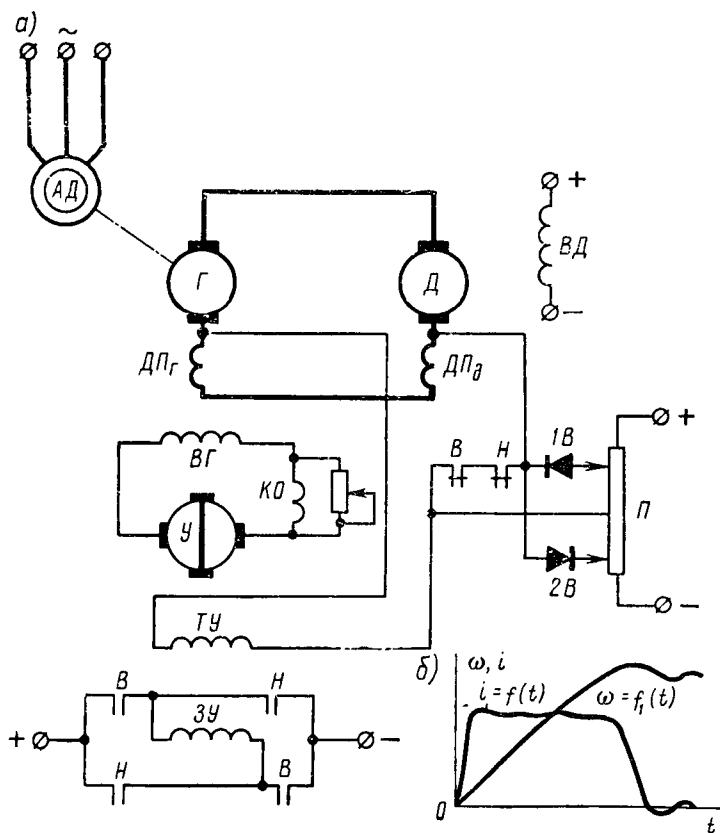


Рис. 3.6. Система Г—Д с ЭМУ с токоограничением

Принципиальная схема ограничения тока якорной цепи двигателя подачи, питаемого от электромашинного усилителя для разных режимов, приведена на рис. 3.7, а и б. Напряжение, пропорциональное току якорной цепи (снимаемое с зажимов компенсационной обмотки КО), подается на вентильную группу В. Кроме того, от независимого источника постоянного тока подводится напряжение к сопротивлению нагрузки СН. Сравнимые напряжения (на сопротивлении СН и обмотке КО) включены встречно; если падение напряжения на компенсационной обмотке превысит напряже-

ние сравнения, то по обмотке TU потечет ток, направление которого показано пунктирной линией на рис. 3.7. При разгоне двигателя в любом направлении намагничивающие силы обмоток TU и $ЗУ$ направлены встречно, поэтому при возрастании тока в якорной цепи сверх допустимой величины результирующий поток и э. д. с.

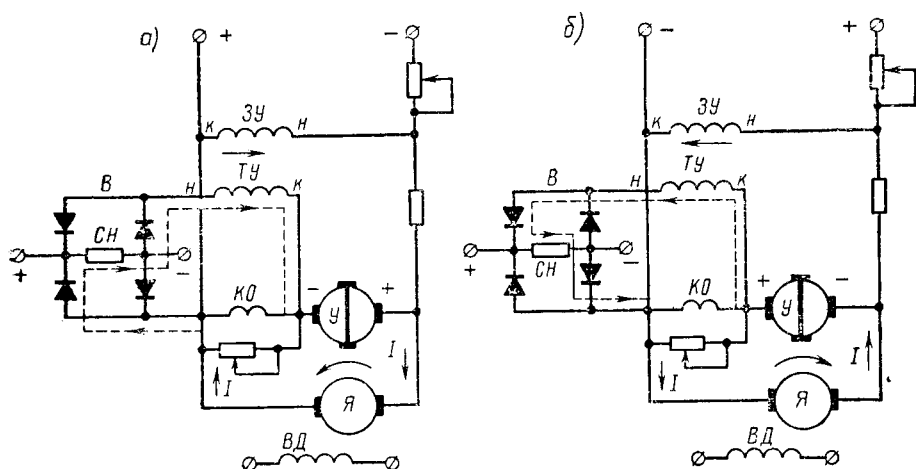


Рис. 3.7. Принципиальная схема токоограничения в системе ЭМУ—Д

усилителя уменьшаются, а ток якорной цепи снижается до установленного значения. Пуск двигателя, как и в предыдущем случае (см. рис. 3.6), происходит почти при постоянной максимально допустимой величине тока якоря, что обеспечивает оптимальные условия протекания переходных режимов.

При торможении двигателя ограничение тока якорной цепи достигается тем, что узел ограничения противодействует интенсивному спаданию результирующего магнитного потока, когда ток в якоре достигает предельно допустимого значения.

В схеме для ограничения тока с отдельной обмоткой TU может быть снижен коэффициент усиления по току. Поэтому целесообразно для ограничения тока осуществить присоединение нелинейных сопротивлений (например, селеновых выпрямителей) параллельно компенсационной обмотке усилителя. В такой схеме при токах якорной цепи, больших максимально допустимой величины, часть общего тока ответвляется через селеновый выпрямитель. В этом случае ослабевают компенсация продольной составляющей реакции якоря ЭМУ и э. д. с. его снижается, что приводит к ограничению тока якоря двигателя.

Расчет параметров узла токовой отсечки производится на основании следующих соображений. Пусть имеем схему, изображенную на рис. 3.8, а. Задаемся величинами токов $I_{отс}$ и $I_{к.з.}$ (рис. 3.8, б).

Уравнение статического режима

$$U_1 k_3 - (U_T - U_{cp}) k_T = c\omega + I r, \quad (3.3)$$

где k_3 , k_T — соответственно коэффициенты усиления задающей и токовой обмоток усилителя Y ; U_T — напряжение, снимаемое с обмотки дополнительных полюсов; $U_{cp} = I_{п} r_{ab}$ — напряжение сравнения, снимаемое с потенциометра Π (между точками a , b или b , c); I , r — ток и сопротивление якорной цепи.

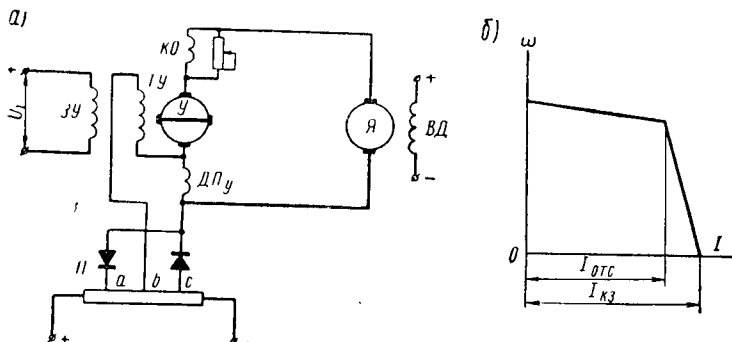


Рис. 3.8. К расчету узла токоограничения

Для режима короткого замыкания уравнение (3.3) запишется так:

$$U_1 k_3 - (I_{к.з} r_{лп} - I_{п} r_{ab}) k_T = I_{к.з} r. \quad (3.4)$$

Так как узел токовой отсечки прекращает действовать, когда $I_{п} r_{ab} = I_{отс} r_{лп}$, то

$$U_1 k_3 - (I_{к.з} - I_{отс}) r_{лп} k_T = I_{к.з} r. \quad (3.5)$$

Если принять $k_T = \frac{\beta \omega_T}{r_T + r_{ab}}$, то, решая (3.5) относительно r_{ab} , получим

$$r_{ab} = \beta \omega_T \frac{r_{лп} (I_{к.з} - I_{отс})}{c\omega_0 - I_{к.з} r} - r_T, \quad (3.6)$$

где $\beta = \frac{e}{\Lambda \omega}$ — отношение, определяемое из характеристики холостого хода генератора; ω_T , r_T — число витков и сопротивление токовой обмотки;

$$c\omega_0 = U_1 k_3.$$

Расхождение в величинах $I_{к.з}$ и $I_{отс}$ тем меньше, чем больше $k_{т.о} = \frac{\beta \omega_T}{r_T}$. Заданные значения $I_{к.з}$ и $I_{отс}$ могут быть получены при условии, что

$$k_{т.о} > \frac{I_{к.з} - I_{к.з}}{r_{дп} (I_{к.з} - I_{отс})}, \quad (3.7)$$

где $I_{к.з} = \frac{c\omega_0}{r}$.

Наибольший ток, проходящий через клапан и токовую обмотку

$$I_{т} = I_{вент} = \frac{r_{дп} (I_{к.з} - I_{отс})}{r_{a,b} + r_{т}}. \quad (3.8)$$

Числитель формулы (3.8) представляет собой напряжение, действующее в цепи клапана. В соотношениях (3.3) ÷ (3.8) не учитывалось собственное сопротивление клапана.

Аналогичные задачи ограничения тока (момента) двигателя постоянного тока возникают и в других системах управления. На-

пример, в электроприводе постоянного тока, управляемом магнитными усилителями (с диапазоном регулирования скорости вращения до 10:1), ограничение тока в якорной цепи осуществляется следующим образом (рис. 3.9).

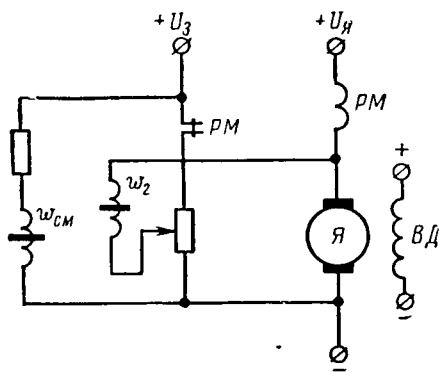


Рис. 3.9. Схема ограничения тока в электроприводе, управляемом магнитными усилителями

В цепь якоря двигателя включено максимальное реле РМ, размыкающий контакт которого находится в цепи обмотки управления w_2 магнитного усилителя. При увеличении тока якоря сверх допустимого срабатывает реле РМ, размыкается его контакт и выключается цепь обмотки w_2 . Обмотка

смещения $w_{см}$ магнитного усилителя остается присоединенной к источнику питания, в результате чего магнитный усилитель запирается и ток якоря падает.

В приводах с магнитными усилителями серии ПМУ-П, допускающих диапазон регулирования скорости вращения до 100:1, узел ограничения тока действует в функции, возрастающей до заданной величины переменного тока на входе магнитного усилителя-выпрямителя. При превышении заданной величины этого тока, контролируемого трансформатором тока, сигнал через выпрямитель и опорные диоды запирает транзисторный усилитель, вследствие чего ток не проходит по обмотке управления магнитного усилителя, благодаря чему снижается напряжение на якоре двигателя и падает его ток (см. более подробно рис. 4.23).

В электроприводах с тиристорными преобразователями для ограничения тока при пуске и торможении, а также придания соот-

ветствующей формы характеристикам двигателя используются токоограничивающие устройства, воздействующие через усилители на величину и фазу напряжения, управляющего тиристором.

§ 3.4. ОГРАНИЧЕНИЕ НАГРУЗКИ ДВИГАТЕЛЯ И СТАНКА

Ограничение нагрузки электроприводов станков требуется в основном в двух случаях: а) при переходных режимах (пуск, торможение, регулирование скорости), когда управление двигателя производится чаще всего при холостом ходе станка, и б) когда работа привода определяется условиями нагрузки того или иного механизма станка, а также прочностью режущего инструмента. Схемы, обеспечивающие ограничение нагрузки приводов для первого случая, рассматривались ранее; в настоящем параграфе будут приведены некоторые типовые схемы для второго случая.

Ограничение нагрузки главного привода необходимо для некоторых станков при изменении в процессе работы условий обработки (например, при обработке заготовки с неравномерным припуском), особенно когда применяется тонкий инструмент (станки для изготовления штампов, для глубокого сверления и т. п.). Характерным для всех схем автоматического ограничения нагрузки главного привода является воздействие на привод подачи, которое производится таким образом, что при увеличении усилия резания, в частности в результате увеличения припуска, подача автоматически уменьшается и, наоборот, при уменьшении усилия резания подача увеличивается. Таким образом, эти схемы обеспечивают возможность работы на предельно допустимых для станка и инструмента режимах резания, что дает значительный технико-экономический эффект.

На рис. 3.10 приведена принципиальная схема ограничения нагрузки главного привода, выполненного от асинхронного короткозамкнутого двигателя. Как видно из схемы, с увеличением нагрузки возрастает ток в статоре и, следовательно, напряжение на вторичной обмотке трансформатора тока $ТТ$. Это управляющее напряжение подается на преобразователь $П$ и действует таким образом, что с ростом нагрузки на главном приводе снижается выходное напряжение, подаваемое на зажимы якоря двигателя подачи $ДП$. В данной системе можно получить значительный диапазон регулирования скорости вращения двигателя подачи и поэтому более точно поддерживать нагрузку главного привода. В рассмотренной схеме предполагается поддержание постоянства тока статора главного привода. Однако для асинхронных двигателей, как известно, нельзя считать мощность и момент пропорциональными только току статора, так как $\cos \phi$ двигателя изменяется в зависимости от нагрузки в широких пределах.

Для автоматического ограничения мощности или момента асинхронного двигателя может служить схема, приведенная на рис. 3.11.

В нее, кроме трансформатора тока $ТТ$, вводится и трансформатор напряжения $ТН$. Напряжение на зажимах потенциометра $1r$ в результате геометрического сложения векторов напряжений на вторичных обмотках трансформатора тока $ТТ-2$ и трансформаторов

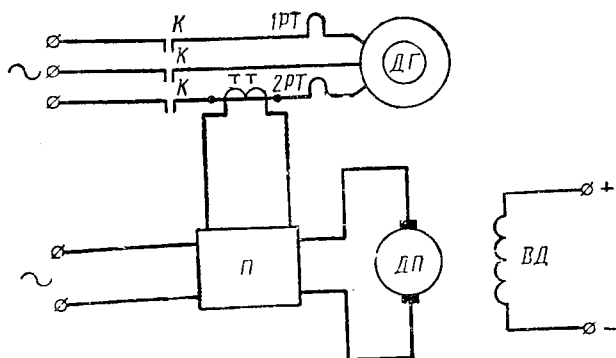


Рис. 3.10. Схема ограничения тока нагрузки

$ТН-2$ и $ТН-3$ пропорционально мощности двигателя. В цепь другой вторичной обмотки трансформатора тока $ТТ-3$ и потенциометра $2r$ включено нелинейное сопротивление $3B$ для получения на-

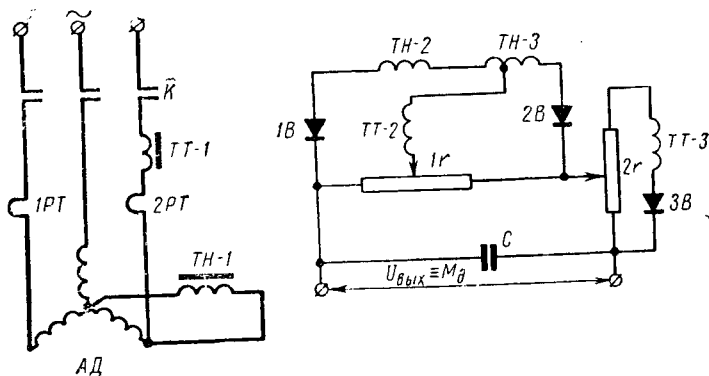


Рис. 3.11. Схема ограничения мощности и момента

пряжения $U_{2r} = k_2 I_d^2$. В результате оказывается, что напряжение на выходе

$$U_{\text{вых}} = k_1 P_d - k_2 I_d^2 = k_3 M_d. \quad (3.9)$$

Полученное напряжение, как составляющая обратной отрицательной связи, через усилитель подается в систему управления при-

водом подачи. При этом, очевидно, с ростом выходного напряжения снижается скорость вращения привода подачи.

Во многих случаях ограничение нагрузки требуется также в различных вспомогательных устройствах станков, чаще всего в зажимных устройствах. Зажимные устройства предназначены для закрепления обрабатываемых деталей перед обработкой и освобождения их после окончания обработки, а также для закрепления некоторых подвижных частей станка на период обработки и освобождения их для установочных перемещений после окончания обработки.

Примером зажимного устройства для закрепления обрабатываемых деталей могут служить различные так называемые электропатроны. Кинематическая схема электропатрона приведена на рис. 3.12. Зажим обрабатываемой детали производится двигателем

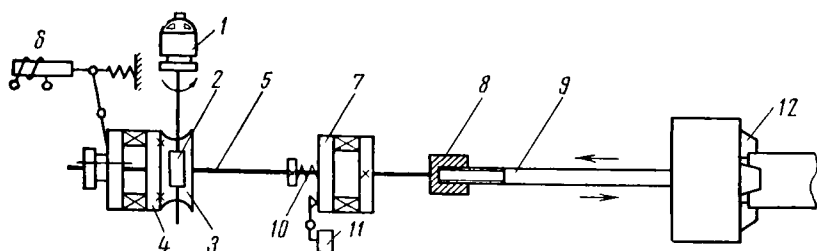


Рис. 3.12. Кинематическая схема электропатрона

1 через червячную передачу 2—3. При включении электромагнита 6 кулачковая муфта 4, связанная с червячным колесом 3, передает вращение валу 5. Через кулачковую муфту 7 получает вращение гайка 8, сообщающая поступательное перемещение тяге 9. В зависимости от направления вращения двигателя 1 происходит сближение или расхождение кулачков 12. В случае зажима детали возрастает усилие на муфте 7 и так как она имеет скошенные кулачки, то при определенном усилии, соответствующем надежному зажатию детали в патроне, левая половина муфты отжимается, преодолевая давление пружины 10. При смещении полукулачки сработает конечный выключатель 11, после чего отключится двигатель 1.

Данный способ контроля усилия зажима в функции пути перемещения является весьма простым. К недостаткам его следует отнести необходимость точной установки конечного выключателя, фиксирующего окончание процесса зажима. Необходимо отметить также, что при различных размерах зажимаемых деталей возникает надобность в переналадке конечного выключателя.

Кроме рассмотренного принципа контроля усилия зажима, известны схемы, в которых автоматическое отключение двигателя по окончании зажима происходит в функции времени, скорости или тока нагрузки.

ное положение зажимающее устройство и затем отрегулировать действие контактов конечного выключателя. Рассмотренная схема нашла применение для привода зажима колонн радиально-сверлильных станков, поперечин продольно-строгальных, карусельных, продольно-фрезерных и других станков.

В том случае, когда в системах автоматического управления используется гидропривод, контроль усилия часто производится в функции давления при помощи реле давления. Таким образом, например, контролируется надежность зажима деталей в гидроприводе

зажима изделий на автоматических линиях. В схеме рис. 3.14 конечный выключатель *1ВК* контролирует окончание перемещения механизма, зажимающего обрабатываемую деталь. Однако зажатие будет закончено при соответствующем повышении давления в гидросистеме (обеспечивающем необходимое усиление зажима), фиксируемом срабатыванием реле давления *1РД*; после этого дается импульс на включение гидросистемы другого механизма при помощи электромагнита *ЭВ*.

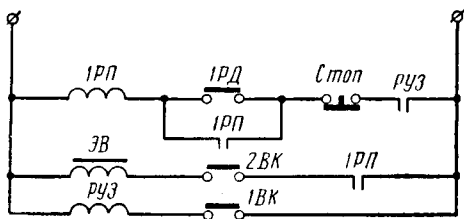


Рис. 3.14. Схема управления гидроприводом зажима

§ 3.5. ТОЧНАЯ ОСТАНОВКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТАНКОВ

а. Общие положения

В ряде случаев по условиям технологического процесса требуется, чтобы рабочий механизм в целом или его отдельные элементы проходили определенный путь в процессе работы или остановки. Отклонение от этого пути не должно превосходить заданной величины, которая и характеризует требуемую точность остановки электропривода. Проблема точной остановки выдвигается для ряда специальных фрезерных и сверлильных станков, для станков-автоматов и полуавтоматов, расточных и строгальных станков и др.

Вопрос о точной остановке может иметь место как при выполнении рабочих, так и наладочных операций, преследуя цель повышения точности обработки и производительности станка. Понятие о факторах, влияющих на степень точности остановки, выясняется из следующих соображений.

Пусть начало торможения соответствует точке *a* (рис. 3.15); под действием тормозного момента, принятого в расчете, оно должно закончиться в точке *b*. Практически, однако, в силу изменения тормозного момента или начальной скорости, при которой начинается торможение, остановка может произойти в точке *b*₁ или *b*₂.

Отклонение фактического пути торможения от расчетного и может характеризовать степень точности остановки механизма.

Величины отклонений в пути в период торможения определяются следующими соотношениями:

$$\Delta \alpha'_T = \alpha_{T \text{ макс}} - \alpha_T; \quad (3.10)$$

$$-\Delta \alpha''_T = \alpha_{T \text{ мин}} - \alpha_T, \quad (3.11)$$

где $\alpha_{T \text{ макс}}$ — максимально возможный путь, или угол торможения; $\alpha_{T \text{ мин}}$ — минимальный угол торможения; α_T — расчетный угол торможения.

Пользуясь уравнением движения привода при торможении

$$-M_T - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3.12)$$

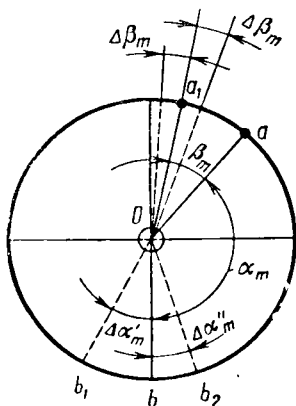
и полагая постоянным приведенный момент инерции привода J , получим

$$\alpha_T = J \int_{\omega_{\text{кон}}}^{\omega_{\text{нач}}} \frac{\omega d\omega}{M_T + M_c}. \quad (3.13)$$

Считая для упрощения анализа M_T и M_c постоянными, а также допуская, что торможение ведется до остановки, т. е. $\omega_{\text{кон}} = 0$, найдем

$$\alpha_T = \frac{J \omega_{\text{нач}}^2}{2(M_T + M_c)} = \frac{J \omega_{\text{нач}}^2}{2M_{\Sigma T}}. \quad (3.14)$$

Рис. 3.15. Диаграмма углового перемещения



Обозначая через $\pm \mu_{\Sigma T}$ относительное изменение среднего тормозного момента, получим:

минимальный тормозной момент

$$M_{\Sigma T \text{ мин}} = M_{\Sigma T} (1 - \mu_{\Sigma T});$$

максимальный тормозной момент

$$M_{\Sigma T \text{ макс}} = M_{\Sigma T} (1 + \mu_{\Sigma T}).$$

Используя последние соотношения, получим выражения для $\alpha_{T \text{ мин}}$ и $\alpha_{T \text{ макс}}$:

$$\alpha_{T \text{ мин}} = \frac{J \omega_{\text{нач}}^2}{2M_{\Sigma T \text{ макс}}};$$

$$\alpha_{T \text{ макс}} = \frac{J \omega_{\text{нач}}^2}{2M_{\Sigma T \text{ мин}}}.$$

После преобразования имеем:

$$\Delta \alpha'_T = \alpha_T \frac{\mu_{\Sigma T}}{1 - \mu_{\Sigma T}} ; \quad (3.15)$$

$$-\Delta \alpha''_T = -\alpha_T \frac{\mu_{\Sigma T}}{1 + \mu_{\Sigma T}} . \quad (3.16)$$

Объединяя для удобства записи оба соотношения, получим

$$\pm \Delta \alpha_T = \pm \alpha_T \frac{\mu_{\Sigma T}}{1 \mp \mu_{\Sigma T}} . \quad (3.17)$$

Анализ выражения (3.17) показывает, что погрешность в пути торможения оказывается различной по величине при одинаковых по абсолютному значению, но разных по знаку относительных изменениях тормозного момента.

Отклонения в пути торможения могут быть получены одинаковыми, если принять, что

$$\pm \Delta \alpha_T = \pm \frac{\alpha_{T \text{ макс}} - \alpha_{T \text{ мин}}}{2} .$$

После несложных преобразований будем иметь

$$\pm \Delta \alpha_T = \pm \alpha_T \frac{\mu_{\Sigma T}}{1 - \frac{\mu_{\Sigma T}}{2}} . \quad (3.18)$$

Кроме изменения момента, на точность остановки влияют изменения скорости с изменением момента нагрузки и колебания суммарного времени срабатывания аппаратов в системе управления электроприводом станка.

Отклонения в пути при торможении, обусловленные изменениями во времени срабатывания аппаратуры, могут определяться по формуле *

$$\pm \Delta \beta_T = \pm \omega_{\text{нач}} \kappa \Sigma t_{\text{ап}}, \quad (3.19)$$

где κ — относительное изменение времени срабатывания аппаратуры; $\Sigma t_{\text{ап}}$ — суммарное время срабатывания аппаратуры.

Таким образом, общее отклонение в положении или пути ротора, характеризующее степень точности остановки,

$$\pm \Delta \delta_T = \pm \alpha_T \frac{\mu_{\Sigma T}}{1 \mp \mu_{\Sigma T}} \pm \omega_{\text{нач}} \kappa \Sigma t_{\text{ап}} . \quad (3.20)$$

Очевидно, наибольшее отклонение в пути торможения

* Здесь не учитываются неточности в сборке или другие неисправности самих аппаратов, которые могут повлиять на их время срабатывания.

$$\Delta\delta_{\tau} = \alpha_{\tau} \frac{\mu_{\Sigma\tau}}{1 - \mu_{\Sigma\tau}} + \omega_{\text{нап}} \times \Sigma t_{\text{ап}}. \quad (3.21)$$

Аналогичное соотношение может быть получено при определении степени точности для поступательного движения, а именно:

$$\Delta l = s_{\tau} \frac{\varepsilon_{\tau}}{1 - \varepsilon_{\tau}} + v \times \Sigma t_{\text{ап}}, \quad (3.22)$$

где s_{τ} — путь, обусловленный расчетным усилием торможения; ε_{τ} — относительное изменение тормозного усилия; v — линейная скорость перемещения рабочего органа станка.

Анализ соотношений (3.20) ÷ (3.22) позволяет выявить факторы, влияющие на степень точности остановки. Основные из них следующие:

1. Приведенный момент инерции системы; с уменьшением последнего степень точности остановки повышается.

2. Начальная скорость, с которой совершается торможение; с уменьшением начальной скорости точность остановки значительно повышается.

3. Суммарный тормозной момент; с увеличением последнего точность остановки повышается.

4. Время срабатывания аппаратуры; с уменьшением его точность остановки повышается.

Таким образом, повышение точности остановки может быть достигнуто за счет уменьшения приведенного момента инерции системы, начальной скорости торможения и времени срабатывания аппаратуры, а также за счет увеличения тормозного момента.

Значительного снижения момента инерции привода можно достигнуть в том случае, когда в процессе торможения отключается, например, первый приводной вал, связанный с двигателем, на котором обычно сосредоточена наибольшая часть приведенного момента инерции привода.

Если разобщение кинематической цепи электропривода оказывается неудобным или если при указанном разобщении кинематической цепи приведенный момент инерции рабочего органа станка и связанных с ним передач оказывается значительным, то для обеспечения требуемой степени точности остановки следует применить принудительное торможение или снизить начальную скорость привода.

Наиболее эффективным средством для повышения степени точности остановки является снижение начальной скорости торможения, так как степень точности остановки пропорциональна квадрату начальной скорости.

Снижение скорости привода, с другой стороны, приводит к уменьшению производительности станка, поэтому проектировать схему нужно так, чтобы рабочий процесс совершался при нормальной (несниженной) скорости, и только перед окончательной остановкой скорость должна быть значительно снижена.

Окончательная остановка производится с пониженной скорости. Когда требуется сравнительно невысокая степень точности остановки, можно прибегнуть к торможению сразу с рабочей скорости до полной остановки.

6. Способы получения пониженной скорости

Как указывалось ранее, с целью повышения степени точности остановки необходимо снижать начальную скорость привода перед окончательным торможением.

Рассмотрим некоторые электрические схемы для получения пониженной скорости.

В двигателях постоянного тока, питаемых от источника с неизменным напряжением, для предварительного снижения скорости применяется схема шунтирования якоря. Вследствие сравнительно небольшой жесткости характеристики скорости двигателя может быть снижена при номинальном моменте примерно в 2,5—3 раза. В том случае, когда двигатель постоянного тока работает от преобразователя с широкорегулируемым напряжением (система генератор — двигатель, тиристорный преобразователь и др.), не возникает каких-либо трудностей для значительно большего снижения скорости.

Для двигателей переменного тока, наиболее распространенным из которых является асинхронный короткозамкнутый двигатель, практически могут быть применены следующие способы получения пониженной скорости: а) переключение числа пар полюсов; б) совмещение тормозного и двигательного режимов; в) частотное управление. Кроме того, возможны различные специальные схемы.

Получение пониженной скорости путем переключения числа пар полюсов осуществляется в многоскоростном двигателе; при этом величина рабочей скорости определяется известным рядом синхронных скоростей: 3000, 1500, 1000, 750 и 500 *об/мин*. Двигатели со скоростями, меньшими 500 *об/мин*, редко изготавливаются, следовательно, начальная скорость перед окончательным торможением может быть снижена максимум в 6 раз.

Получение пониженной скорости возможно, например, при совместной работе двух асинхронных двигателей с контактными кольцами, механически между собой связанными, один из которых работает в двигательном режиме, другой — в тормозном. Такая схема дает возможность снизить начальную скорость до 5% от номинальной, а также регулировать величину пониженной скорости. Кроме того, результирующая характеристика привода в двигательном режиме при пониженной скорости обладает большой жесткостью.

Схема может быть упрощена, если вместо двух двигателей использовать один двигатель с контактными кольцами, статорную обмотку которого присоединить одновременно к сети трехфазного переменного тока и к источнику постоянного тока. Этот способ

включения дает возможность снизить скорость привода перед окончательным торможением до 10—15% от номинальной и, следовательно, обеспечивает сравнительно высокую точность остановки.

Недостатком указанных схем совмещения режимов является необходимость в использовании асинхронного двигателя с контактными кольцами, который сравнительно редко применяется в электроприводах металлорежущих станков.

Для получения весьма низких скоростей автором была предложена схема, в которой используется один короткозамкнутый многоскоростной двигатель (рис. 3.16, а).

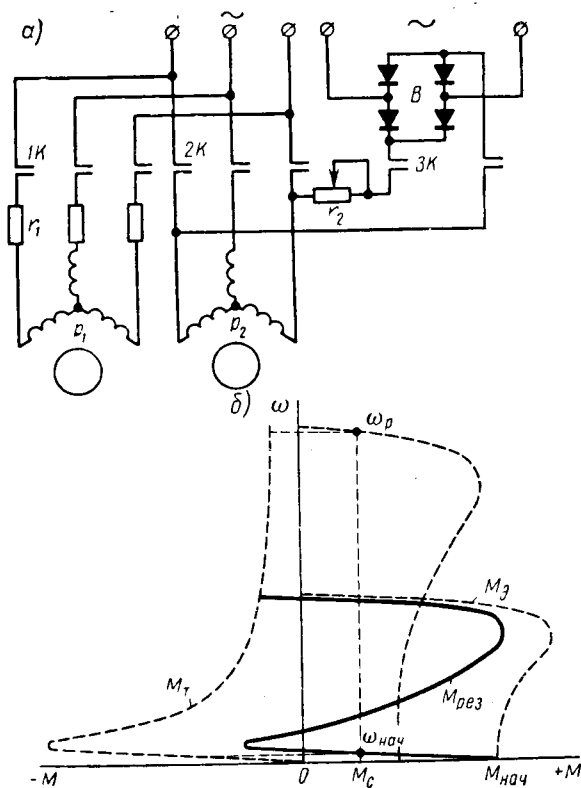


Рис. 3.16. Схема для получения «ползучей» скорости привода с асинхронным двигателем и механические характеристики

Действие схемы сводится к следующему: обычный многоскоростной двигатель, имеющий две обмотки на статоре, при нормальной работе присоединен к сети через контактор 2K. В этом случае двигатель работает с наибольшей (рабочей) скоростью, соответствующей числу полюсов p_2 ; другие контакторы, 1K и 3K, отклю-

чены. По прохождении заданного пути при рабочей скорости ω_p отключается контактор $2K$ и включается контактор $3K$, в результате чего осуществляется динамическое торможение.

После окончания торможения включается контактор $1K$, подающий напряжение на другую обмотку статора с числом полюсов p_1 . Контактор $3K$ остается по-прежнему включенным. При включении контактора $1K$ двигатель разгоняется до скорости $\omega_{нач}$ (рис. 3.16, б), при которой двигательный момент уравнивается суммой тормозного и статического моментов, т. е. $M_{рез} = M_T + M_c$. В результате совмещения двигательного режима и режима динамического торможения удается получить в двигательном режиме весьма жесткую характеристику при значительном снижении скорости — до 1%, т. е. в 100 раз.

Окончательная остановка совершается при достаточно большом тормозном моменте, когда отключается контактор $1K$, а контактор $3K$ остается включенным. Значительное снижение скорости двигателя перед окончательной остановкой приводит к тому, что двигатель практически работает в режиме короткого замыкания. С целью ограничения тока в статорную цепь двигателя вводится дополнительное сопротивление r_1 . Однако существенно ограничить ток не удастся, так как начальный момент $M_{нач}$, развиваемый двигателем, может оказаться недостаточным для преодоления момента сопротивления. Поэтому учитывая, что ток можно ограничить незначительно, режим работы при пониженной скорости $\omega_{нач}$ должен быть кратковременным.

Для получения пониженной скорости асинхронного короткозамкнутого двигателя при симметричном подмагничивании всех трех фаз статора могут быть использованы, например, две оригинальные и простые схемы (из большого числа), которые приведены на рис. 3.17. Здесь, в обмотках статора асинхронного двигателя одновременно протекают трехфазный переменный ток частоты сети и постоянная составляющая тока, обусловленная включением вентилей. Трехфазный переменный ток приводит к образованию двигательного момента, а постоянная составляющая тока создает неподвижное магнитное поле, которое при вращении ротора приводит к созданию тормозного момента (динамическое торможение). Особенностью этих схем является то обстоятельство, что постоянные составляющие токов замыкаются в контуре цепей самой схемы.

Для схемы, показанной на рис. 3.17, а, ток в фазе статора определяется по формуле [Л. 21]

$$I \approx \frac{2I_{m1}}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos \omega t + \frac{1}{3} \cos 2\omega t \right) + I_{m2} \cos(\omega t - \psi), \quad (3.23)$$

где I_{m1} , I_{m2} — соответственно максимальные значения токов в цепи вентиля и цепи активного сопротивления звезды; ψ — угол сдвига между первой гармоникой тока через вентиль и тока через активное сопротивление.

Из (3.23) следует, что постоянная составляющая тока, протекающая в каждой фазе и обуславливающая динамическое торможение, равна $\frac{I_{m1}}{\pi}$, вращающее поле, вызванное трехфазной системой токов $i = \frac{I_{m1}}{2} \cos \omega t + I_{m2} \cos (\omega t - \psi)$, создает двигательный момент и, наконец, составляющая $i = \frac{2}{3} \cdot \frac{I_{m1}}{\pi} \cdot \cos 2\omega t$ приводит к

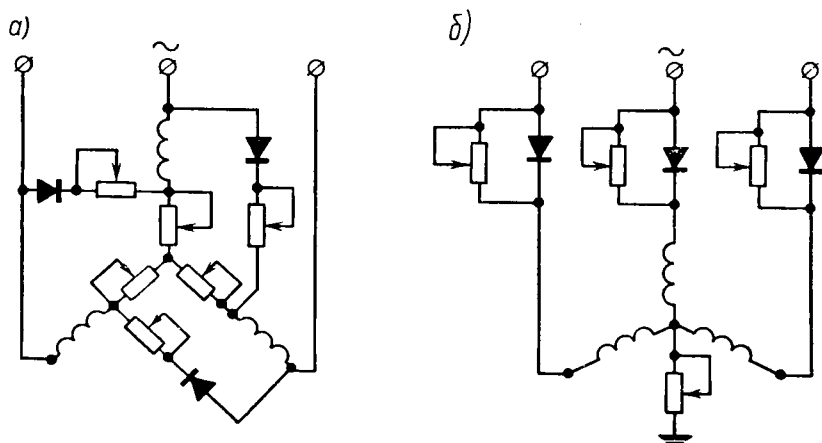


Рис. 3.17. Схемы для получения «ползучей» скорости при симметричном подмагничивании асинхронного двигателя

образованию вращающего поля с обратным чередованием фаз, определяющего характеристику противовключения. На рис. 3.18 показаны отдельные составляющие: 1 — характеристика двигательного режима; 2 — характеристика динамического торможения; 3 —

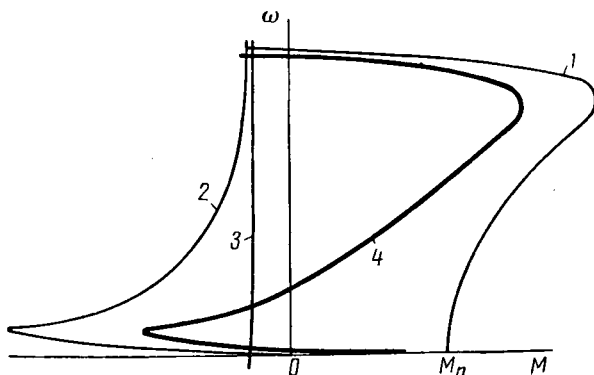


Рис. 3.18. Механические характеристики при симметричном перематывании асинхронного двигателя

характеристика торможения противовключения и 4 — результирующая механическая характеристика двигателя.

Переход на пониженную (ползучую) скорость, как и в предыдущем случае (см. рис. 3.16, б), происходит после предварительного торможения. Симметричное подмагничивание исключает вибрации ротора при пониженной скорости.

Кроме рассмотренных способов точной остановки, известны схемы так называемой электрической фиксации, обеспечивающие при окончательном торможении весьма высокую степень точности. Одна из таких схем была применена для двигателя постоянного тока в приводе подачи продольно-строгального станка английской фирмы John Stirk. К недостаткам этой схемы, не получившей широкого применения, следует отнести необходимость в двигателе постоянного тока с дополнительными (четырьмя) контактными кольцами и специальными выводами обмотки на эти кольца.

Автором предложена более простая схема электрической фиксации, в которой используется обычный асинхронный двигатель с контактными кольцами (рис. 3.19, а). Действие этой схемы заключается в следующем. При рабочей скорости включены контакторы J , $1U$ и $2U$, другие контакторы выключены. По прохождении заданного пути в результате отключения $2U$, J и включения контакторов P и PT двигатель затормаживается и переходит на пониженную скорость. После прохождения определенного пути при пониженной скорости двигатель отключается от сети переменного тока, затем последовательно в обмотку статора и ротора подается при включении контактора 2Φ постоянный ток (например, от выпрямителя) для осуществления электрической фиксации. При этом контакторы $1U$, J , P и PT должны быть выключены, а 1Φ включен*.

Принцип электрической фиксации заключается в следующем. При протекании постоянного тока по обмоткам статора и ротора в последних возникают магнитные поля, в результате взаимодействия которых ротор двигателя после соответствующего переходного режима устанавливается в строго фиксируемое положение относительно обмотки статора.

На рис. 3.19, б схематически представлен процесс электрической фиксации. Здесь пунктирной линией показано положение ротора в момент включения постоянного тока. Согласно обозначениям полярности на роторе и статоре ротор под влиянием электромагнитных усилий повернется в направлении против часовой стрелки и займет положение, показанное сплошной линией.

Последнее поясняется на рис. 3.19, в, где показано расположение векторов результирующих намагничивающих сил обмоток ста-

* Обмотки статора и ротора при питании их постоянным током могут быть соединены параллельно. Принципиально возможна фиксация и переменным током.

Схема получения пониженной скорости с последующей электрической фиксацией была спроектирована и реализована трестом «Уралметаллургавтоматика».

тора и ротора, соответствующих моменту включения постоянного тока a и положению фиксации b . Согласованное положение векторов намагничивающих сил соответствует устойчивому равновесию. Во всяком промежуточном положении, когда $M_{\text{фикс}} > M_c$, ротор двигателя стремится прийти в положение равновесия (здесь

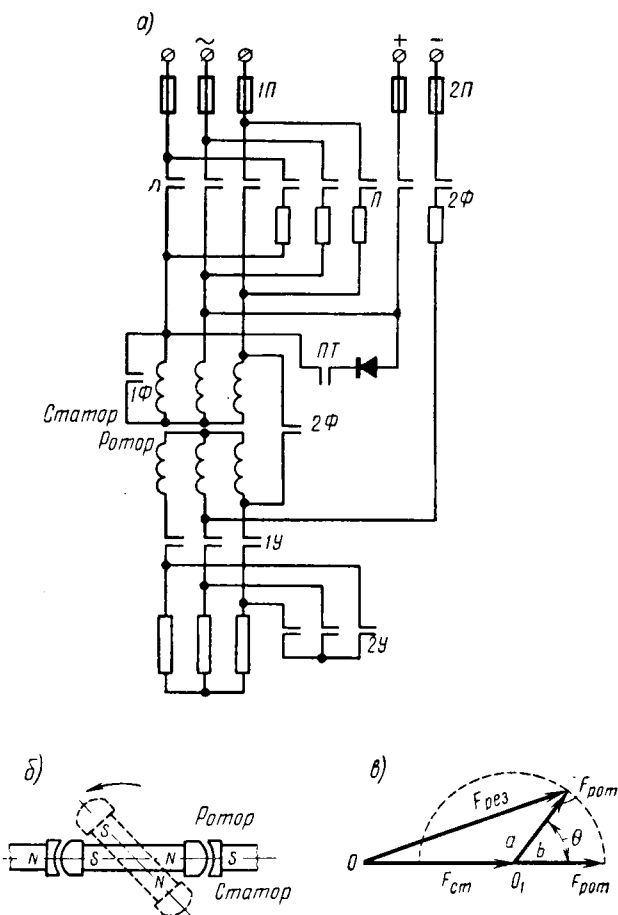


Рис. 3.19. Схема электрической фиксации

$M_{\text{фикс}}$ — так называемый фиксирующий момент, возникающий в результате взаимодействия магнитных потоков статора и ротора при питании этих обмоток постоянным током).

Фиксирующий момент может быть определен следующим образом:

$$M_{\text{фикс}} = k_1 \Phi I \sin(\Phi, I), \quad (3.24)$$

где $\sin(\Phi, I)$ — синус угла между направлением магнитного потока Φ и перпендикуляром к плоскости витка с током I .

Магнитный поток пропорционален результирующей намагничивающей силе, которая в свою очередь изменяется как по величине, так и по направлению:

$$\overline{F}_{\text{рез}} = \overline{F}_{\text{ст}} + \overline{F}_{\text{рот}}. \quad (3.25)$$

Полагая, что ток при электрической фиксации $I = \text{const}$ и подставляя в формулу (3.24) значения тока и магнитного потока, выраженные через пропорциональные им величины намагничивающих сил, пренебрегая при этом насыщением, получим

$$M_{\text{фикс}} = k_2 F_{\text{ст}} F_{\text{рот}} \sin \theta. \quad (3.26)$$

Уравнение (3.26) показывает, что фиксирующий момент изменяется по синусоидальному закону. Однако следует иметь в виду, что при электрической фиксации магнитная система двигателя бывает насыщена. Для определения $M_{\text{фикс}} = f_1(\theta)$ с учетом насыщения следует воспользоваться кривой намагничивания машины и для каждого значения результирующей намагничивающих сил находить соответствующие значения магнитного потока. Кроме того, можно принять, что при $\theta = \text{const}$ фиксирующий момент изменяется пропорционально величине постоянного тока.

Зная закон изменения постоянного тока во времени при электрической фиксации $I_{\text{фикс}} = \varphi(t)$ и разбивая эту кривую на ряд небольших участков, для каждого из которых можно принять $I_{\text{фикс}} = \text{const}$, а также, полагая, что фиксация происходит при небольших углах поворота (в пределах от $\theta = 0^\circ$ до $\theta = 90^\circ$), можно уравнение движения

$$M_{\text{фикс}} + M_{\text{лин}} + M_{\text{с}} = 0$$

преобразовать следующим образом:

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + C \theta = -M_{\text{с}}. \quad (3.27)$$

Решение этого уравнения дает для каждого участка

$$\Delta \theta = A \sin \left(\sqrt{\frac{C}{J}} \Delta t + \varphi \right) - \frac{M_{\text{с}}}{C}, \quad (3.28)$$

где $\Delta \theta$ — угол поворота за время Δt ;

$$A = \sqrt{\left(\omega_{\text{нач}} \sqrt{\frac{J}{C}} \right)^2 + \left(\theta_{\text{вкл}} + \frac{M_{\text{с}}}{C} \right)^2};$$

$$\varphi = \arctg \frac{\theta_{\text{вкл}} + \frac{M_c}{C}}{\omega_{\text{нач}} \sqrt{\frac{J}{C}}};$$

$\omega_{\text{нач}}$ — начальная угловая скорость, при которой совершается процесс фиксации; $\theta_{\text{вкл}}$ — угол между положением равновесия и положением ротора в момент воздействия постоянного тока при фиксации.

Уравнение (3.28) справедливо от начала процесса фиксации до достижения точки максимального отклонения

$$\theta'_{\text{макс}} = \sqrt{\left(\omega_{\text{нач}} \sqrt{\frac{J}{C}}\right)^2 + \left(\theta_{\text{вкл}} + \frac{M_c}{C}\right)^2} - \frac{M_c}{C},$$

так как при переходе через максимальное отклонение скорость привода меняет свой знак, следовательно, меняет знак и M_c .

Последующий расчет ведется аналогично предыдущему, если в качестве начальных условий принять $\frac{d\theta}{dt} = 0$, $\theta_{\text{вкл}} = \theta'_{\text{макс}}$ и изменить знак статического момента.

Исследования показывают, что второй максимум

$$\theta''_{\text{макс}} = \frac{2M_c}{C} - \theta'_{\text{макс}}.$$

Из приведенных соображений следует, что для уменьшения амплитуды колебаний и увеличения декремента затухания необходимо при прочих равных условиях значительно снизить скорость привода перед электрической фиксацией. Однако значительное снижение скорости приводит к увеличению длительности останковки.

Более интенсивное затухание колебательного процесса при электрической фиксации может быть достигнуто введением демпфирования. Например, с этой целью нами предложено свободную фазу статора замкнуть накоротко (см. рис. 3.19, а). При этом, за счет н. с. ротора в замкнутой фазе наводится э. д. с. и протекает ток, взаимодействие которого с потоком ротора создает тормозной момент: возникает дополнительно динамическое торможение.

В режиме электрической фиксации с динамическим торможением ($M_{\text{л.т}} = D \frac{d\theta}{dt}$), учитывая ранее отмеченные допущения, уравнение движения привода в общем виде записывается так:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{D}{J} \cdot \frac{d\theta}{dt} + \frac{C}{J} \theta + \frac{M_c}{J} = 0. \quad (3.29)$$

Решение его с учетом начальных условий при $M_c = \text{const}$ дает:

$$\theta = e^{-\frac{D}{2J}t} \left[\frac{\left(\theta_{\text{вкл}} + \frac{M_c}{C} \right) D}{\sqrt{4JC - D^2}} \sin \frac{\sqrt{4JC - D^2}}{2J} t + \right. \\ \left. + \left(\theta_{\text{вкл}} + \frac{M_c}{C} \right) \cos \frac{\sqrt{4JC - D^2}}{2J} t \right] - \frac{M_c}{C}. \quad (3.30)$$

Как и в предыдущем случае, при пользовании уравнением (3.30) следует учитывать изменение знака M_c при переходе через значения максимальных отклонений, когда скорость привода равна нулю.

Анализ уравнения (3.30) показывает, что при $D \neq 0$, даже когда $M_c = 0$, колебательный процесс оказывается затухающим; при этом логарифмический декремент затухания

$$\ln \Delta = \frac{DT}{4J} = \pi \frac{D}{\sqrt{4JC - D^2}}, \quad (3.31)$$

где $D = \frac{M_{\text{макс}}}{S_{\text{макс}\omega_c}}; \quad T = 2\pi \frac{2J}{\sqrt{4JC - D^2}}.$

Анализ приведенного уравнения и экспериментальное исследование показывают, что процесс электрической фиксации представляет собой затухающий колебательный процесс. Основными факторами, влияющими на снижение амплитуды колебаний, являются максимальное снижение скорости двигателя перед электрической фиксацией и увеличение тормозного момента при фиксации.

Для сокращения числа колебаний и более интенсивного протекания переходного процесса при фиксации можно, как упоминалось, свободную фазу статора замкнуть накоротко (см. рис. 3.19, а). На рис. 3.20 показаны осциллограммы при электрической фиксации: когда свободная фаза статора разомкнута (а) и в случае замыкания ее накоротко (б).

В обоих случаях процесс фиксации ротора начинается с одной и той же скорости, $n = 110 \text{ об/мин}$; синхронная скорость двигателя $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$, мощность 5,5 квт. Процесс электрической фиксации во втором случае заканчивается за 0,86 сек, т. е. почти в три раза быстрее по сравнению с первым случаем.

На рис. 3.20 обозначено: I_c — ток, протекающий по первичной (статорной) цепи двигателя; I_p — ток в роторной обмотке.

Длительность процесса электрической фиксации зависит от запаса кинетической энергии в приводе, а также от тока фиксации и момента статического сопротивления. Степень точности остановки при электрической фиксации зависит от величины и степени изме-

нения момента статического сопротивления; для повышения точности остановки желательно, при прочих равных условиях, чтобы крутизна характеристики $M_{\text{фикс}} = f(\theta)$ при небольших углах поворота $0 < \theta < 90^\circ$ была бы больше.

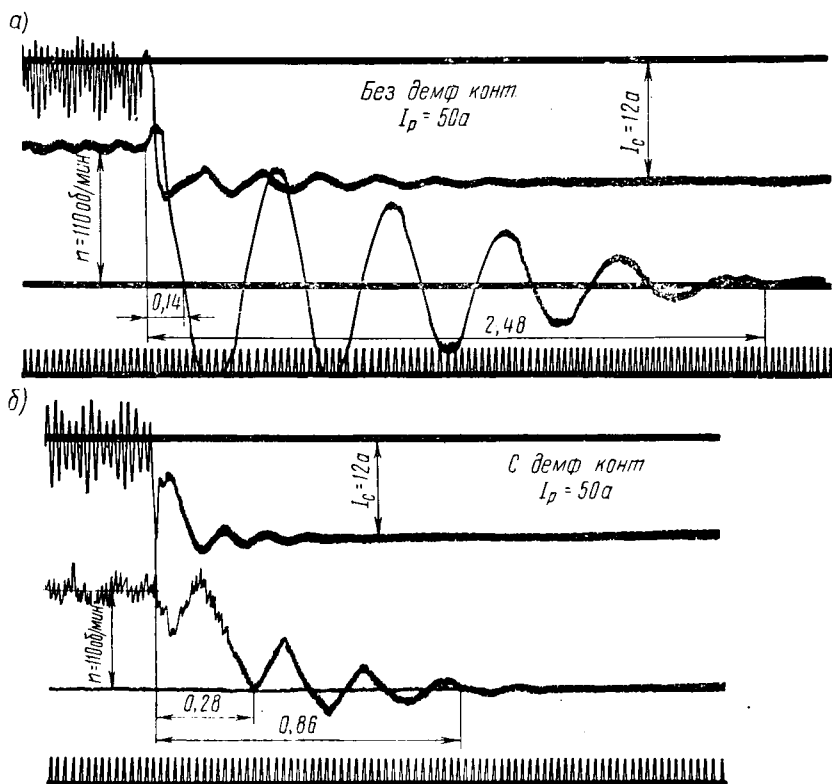


Рис. 3.20. Осциллограммы процесса электрической фиксации

Схема электрической фиксации при периодической коммутации обмоток двигателя может обеспечить шаговый режим привода; при этом легко достигается регулирование величины шага в пределах от 15 до 180 эл. град, что может быть использовано для приводов подач.

В тех случаях, когда рассмотренные электрические способы точной остановки не обеспечивают требуемой точности, прибегают к специальным механическим фиксаторам. Следует отметить, что и при наличии фиксаторов окончательная остановка привода, как и в предыдущих случаях, производится с пониженной скорости.

В качестве примера рассмотрим схему точной остановки с механическими фиксаторами, разработанную ЭНИМС применительно

контакты $1BK$ и двигатель автоматически отключается от сети. Наличие электромагнитного тормоза $ЭТ$ ускоряет процесс торможения.

Рассмотренный способ не может обеспечить высокой точности остановки, так как торможение ведется с большой скорости. Во избежание резких толчков, опасных для целостности станка, вырез в диске должен быть достаточно широким, чтобы шпиндель мог еще повернуться на некоторый угол после западания штифта, однако при широком вырезе в диске нельзя обеспечить достаточно высокую точность остановки. Поэтому описанная операция может быть использована для предварительной остановки с тем, чтобы шпиндель был доведен впоследствии до строго фиксированного положения при пониженной скорости и окончательно остановлен в нужном положении, контролируемом другим механическим фиксатором.

Кроме упомянутых ранее способов снижения скорости, ЭНИМС был разработан способ получения пониженной скорости при вибрационном управлении в схеме с механическими фиксаторами.

Схема управления двигателем, обеспечивающая предварительное его отключение, затем доводку при пониженной скорости и точную остановку двигателя, показана на рис. 3.21.

Двигатель шпинделя для длительной работы включается после нажатия кнопки «Пуск» контактором $1K$. После выполнения рабочей операции двигатель отключается. С закрыванием контакта $1K$ замыкается цепь катушки быстродействующего реле $1PП$, присоединенной к зажимам тахогенератора, механически связанного с двигателем шпинделя. Когда скорость двигателя значительно снизится, реле $1PП$ разомкнет свои контакты, включится контактор $2K$ и двигатель реверсируется. При разгоне двигателя в обратном направлении (до определенной скорости) напряжение на тахогенераторе достигнет такой величины, при которой сработает реле $1PП$, в результате чего контактор $2K$ отключится и двигатель начнет затормаживаться. При достаточном снижении скорости реле $1PП$ отпустит свои контакты, опять включится контактор $2K$ и двигатель вновь начнет разгоняться и т. д.

Этот процесс вибрационного управления двигателем обеспечит некоторую среднюю пониженную скорость. Для точной остановки шпинделя в нужном положении служит второй диск $2A$, который имеет в отличие от диска $1A$ узкий вырез, соответствующий ширине штифта. Вырезы в обоих дисках смещены на определенный угол α_m , отвечающий пути доводки при пониженной скорости. При повороте диска $2A$ на этот угол штифт западет в вырез и разомкнет контакты путевого выключателя $3BK$: привод точно остановится, так как торможение произойдет при значительно сниженной скорости и дополнительным тормозным моменте, созданном электро-механическим тормозом $ЭТ$.

Для снижения пусковых токов и более плавного пуска двигателя при вибрационном управлении в статорную цепь двигателя включено дополнительное сопротивление r_d .

РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРО-
ПРИВОДОВ СТАНКОВ

§ 4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Обработка изделий на металлорежущих станках должна производиться при так называемой экономически выгодной скорости резания, отвечающей наилучшему использованию режущего инструмента и станка. Станок, работая при этом с соответствующей подачей и глубиной резания, должен обеспечивать наибольшую производительность при высоком качестве обработки. Экономически выгодная скорость резания, как упоминалось, зависит от твердости обрабатываемого материала, свойств материала и геометрических параметров режущего инструмента, а также характера обработки. Один и тот же станок, особенно универсальный, предназначен для обработки деталей разных размеров и из различных материалов, при этом могут быть использованы и различные инструменты.

Указанные обстоятельства и являются причиной изменения режимов резания на станках, достигаемых регулированием скорости главного привода и привода подачи. Регулирование скорости механизмов станков определяется следующими основными показателями:

1) диапазоном регулирования скорости, представляющем отношение максимальной скорости к минимальной:

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}}, \quad (4.1)$$

где $n_{\max}$, $\omega_{\max}$ — соответственно максимальное число оборотов в минуту и максимальная угловая скорость шпинделя; $n_{\min}$, $\omega_{\min}$ — соответственно минимальное число оборотов в минуту и минимальная угловая скорость шпинделя;

2) плавностью регулирования, которая определяется отношением двух соседних значений скорости:

$$\varphi = \frac{n_i}{n_{i-1}} = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}, \quad (4.2)$$

где n_i , ω_i — соответственно число оборотов шпинделя в минуту и угловая скорость на i -й ступени регулирования;

3) условиями нагрузки, характеризующимися зависимостью мощности или момента нагрузки от скорости (например, скорость вращения шпинделя токарного станка должна регулироваться приблизительно при постоянной мощности, регулирование скорости подачи стола фрезерного станка должно производиться практически при неизменном моменте и др.);

4) экономичностью привода, характеризуемой затратами, которые связаны с сооружением данной системы привода, а также стоимостью потерь энергии при регулировании скорости. При выборе системы регулируемого привода необходимо учитывать надежность его в эксплуатации, удобство и легкость обслуживания, кроме того, следует принимать во внимание дефицитность материалов и оборудования, затрачиваемых на создание того или иного электропривода;

5) стабильностью работы привода, характеризуемой перепадом скорости его с изменением нагрузки.

На современных универсальных станках могут обрабатываться детали из различных материалов и разных размеров, в частности разных диаметров. Для обработки изделий одинакового диаметра из различных материалов необходимо обеспечить определенный диапазон регулирования скорости резания. С другой стороны, рациональная обработка изделий из одного и того же материала, но разных диаметров, требует постоянной скорости резания, m/min ,

$$v = \frac{\pi d n}{1000} = \frac{30 d \omega}{1000} = \text{const.}$$

Из этого соотношения вытекает, что соблюдение условия $v = \text{const}$ достигается регулированием скорости привода с диапазоном регулирования, определяемым диапазоном диаметров. Следовательно, общий диапазон регулирования скорости вращения определяется: 1) пределами скоростей резания, 2) пределами диаметров обрабатываемых изделий.

Учитывая сказанное, можно считать, что максимальная скорость вращения шпинделя на данном станке определяется обработкой деталей при наибольшей скорости резания и наименьшем диаметре обработки:

$$\omega_{\text{макс}} = \frac{1000 v_{\text{макс}}}{30 d_{\text{мин}}} . \quad (4.3)$$

Соответственно наименьшая скорость вращения шпинделя имеет место при наименьшей скорости резания и наибольшем диаметре:

$$\omega_{\text{мин}} = \frac{1000 v_{\text{мин}}}{30 d_{\text{макс}}} . \quad (4.4)$$

Таким образом, диапазон регулирования при вращательном движении

$$D = \frac{\omega_{\text{макс}}}{\omega_{\text{мин}}} = \frac{v_{\text{макс}} d_{\text{макс}}}{v_{\text{мин}} d_{\text{мин}}} . \quad (4.5)$$

У станков с поступательным движением диапазон регулирования определяется требуемым диапазоном линейных скоростей:

$$D = \frac{v_{\max}}{v_{\min}}. \quad (4.6)$$

Примерные значения диапазона регулирования скорости для приводов главных движений D_{Γ} (некоторых типов станков) и для приводов подач D_{Π} даны в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Типы станков	D_{Γ}	D_{Π}
Токарные средних и крупных размеров	40 ÷ 125	50 ÷ 300
Карусельные	40 ÷ 100	100 ÷ 7000
Радиально-сверлильные	20 ÷ 100	5 ÷ 40
Фрезерные горизонтальные и вертикальные . .	20 ÷ 40	100 ÷ 600
Расточные горизонтальные средних размеров . .	25 ÷ 60 и выше	30 ÷ 150 и выше
Продольно-строгальные небольших и средних размеров	4 ÷ 10	50 ÷ 100
Продольно-строгальные больших размеров . . .	10 ÷ 30	50 ÷ 200

Плавность регулирования скорости определяется коэффициентом регулирования. Для обычно используемого геометрического ряда скоростей коэффициент регулирования

$$\varphi = \sqrt[z-1]{\frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}}} = \sqrt[z-1]{D}, \quad (4.7)$$

где z — число скоростей; $z - 1$ — число интервалов между скоростями.

Очевидно, что с увеличением числа скоростей при заданном диапазоне регулирования коэффициент регулирования уменьшается, приближаясь теоретически к $\varphi = 1$, в случае бесконечно большого числа скоростей. С уменьшением φ повышается плавность регулирования.

Стандартные значения φ установлены на основании следующих соображений:

1) в приводах станков часто используются двухскоростные двигатели, у которых числа скоростей кратны двум, поэтому если в ряде скоростей есть член n_x , то должен быть $n_y = 2n_x$, при этом $n_y = n_x \varphi^{E_1}$. Отсюда $n_x \varphi^{E_1} = 2n_x$ и $\varphi = \sqrt[E_1]{2}$;

2) с другой стороны, по «Нормальным рядам чисел в машиностроении» $\varphi = \sqrt[E_2]{10}$. Таким образом, стандартные значения φ могут быть найдены из условия $\varphi = \sqrt[E_1]{2} = \sqrt[E_2]{10}$.

В табл. 4.2 приведены используемые в практике значения φ .

Чаще всего применяются значения $\varphi = 1,26; 1,41; 1,58$.

Для получения той или иной плавности регулирования и обеспечения требуемого диапазона регулирования скорости вращения

Таблица 4.2

φ	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2
$\frac{E_1}{\sqrt[12]{2}}$	$\frac{12}{\sqrt[12]{2}}$	$\frac{6}{\sqrt[12]{2}}$	$\frac{3}{\sqrt[12]{2}}$	$\frac{1}{\sqrt[12]{2}}$	$\frac{1,5}{\sqrt[12]{2}}$	$\frac{1,2}{\sqrt[12]{2}}$	$\frac{1}{\sqrt[12]{2}}$
$\frac{E_2}{\sqrt[40]{10}}$	$\frac{40}{\sqrt[40]{10}}$	$\frac{20}{\sqrt[40]{10}}$	$\frac{10}{\sqrt[40]{10}}$	$\frac{20/3}{\sqrt[40]{10}}$	$\frac{5}{\sqrt[40]{10}}$	$\frac{4}{\sqrt[40]{10}}$	$\frac{20/6}{\sqrt[40]{10}}$

приводов существуют: 1) системы механического ступенчатого регулирования; 2) системы электромеханического ступенчатого регулирования и 3) системы электрического бесступенчатого регулирования.

§ 4.2. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ СТУПЕНЧАТОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ГЛАВНЫХ ПРИВОДОВ

Часто для главных приводов станков, особенно малых и средних размеров, используется нерегулируемый асинхронный короткозамкнутый двигатель. Регулирование скорости вращения шпинделя станка осуществляется ступенями, путем переключения шестерен коробки скоростей. В современных конструкциях коробок скоростей переключения производятся дистанционно различными устройствами, из которых наибольшее распространение получили: а) системы с фрикционными многодисковыми электромагнитными муфтами, встраиваемыми в коробку скоростей (например, в токарных станках небольших и средних размеров); б) системы с электрическими серводвигателями (например, в расточных станках); в) системы с гидравлическими механизмами (например, в тяжелых карусельных станках).

На рис. 4.1 приведен узел переключения шестерен коробки скоростей при помощи электромагнитных муфт; на рис. 4.2 дана схема трехступенчатой коробки скоростей с двумя гидравлическими переключателями зубчатых муфт, управляемыми при помощи электромагнитов 1Э, 2Э и 3Э, 4Э.

Еще в 1876 г. русским акад. А. В. Гадолиным было доказано, что наиболее рациональным построением ряда скоростей шпинделя является ряд, образующий геометрическую прогрессию. При этом наибольшая относительная потеря скорости резания остается постоянной для любых соседних интервалов чисел оборотов.

При ступенчатом регулировании скорости каждому числу оборотов в минуту шпинделя соответствует обработка изделий с определенным диапазоном диаметров. Для данного числа оборотов в минуту оптимальная скорость резания достигается лишь при одном из диаметров. Для остальных диаметров при той же скорости вра-

щения шпинделя скорость резания получается меньше оптимальной. Это следует из лучевой диаграммы, построенной для геометрического ряда скоростей (рис. 4.3). Например, при скорости шпинделя ω_1 оптимальной скоростью резания будет v_1 , соответствующая только одному диаметру d_1 . Для всех значений диаметров

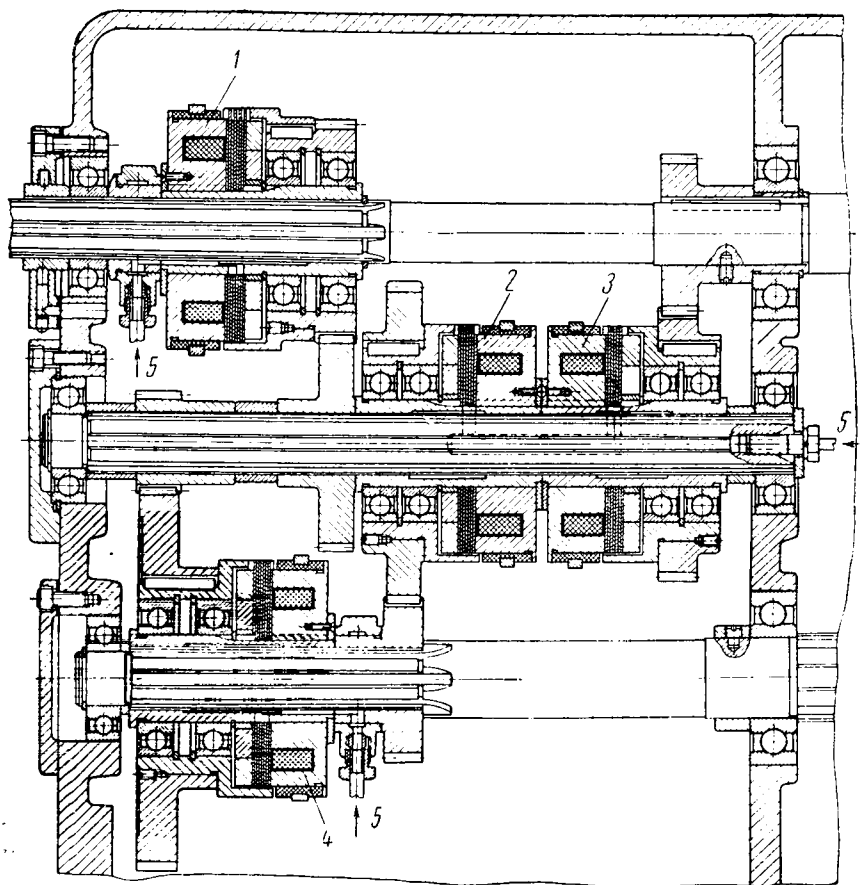


Рис. 4.1. Узел переключения шестерен коробки скоростей при помощи электромагнитных муфт:

1, 2, 3, 4 — электромагнитные муфты; 5 — подвод смазки для муфт

обработки от d_1 до d_2 скорость резания меньше v_1 . Переключением на большую скорость ω_2 при диаметре d_2 опять достигается скорость v_1 . Точно так же, как и в предыдущем случае, с уменьшением диаметра от d_2 до d_3 скорость резания снижается. Если же переключение с ω_1 на ω_2 произвести при диаметре $d_2' > d_2$, то скорость резания превзойдет допустимое значение $v_1' > v_1$; последнее приве-

дет к снижению стойкости режущего инструмента и, следовательно, к большим простоям станка вследствие более частой переналадки его.

Таким образом, ступенчатое механическое регулирование скорости, осуществляемое переключением шестерен коробки скоростей,

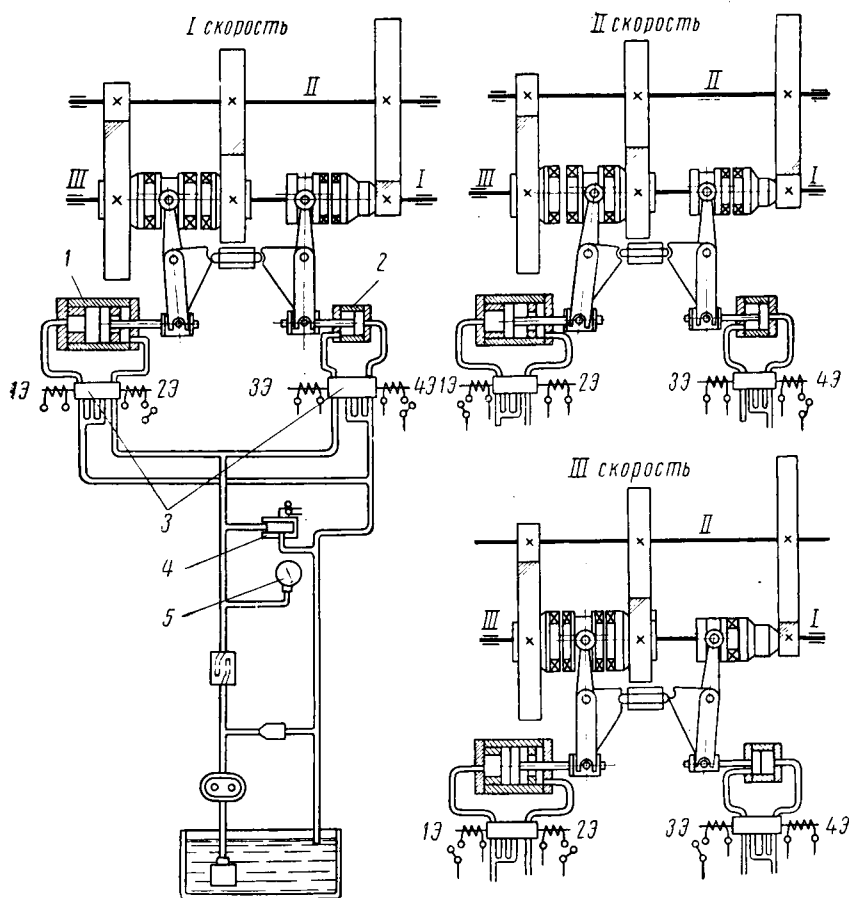


Рис. 4.2. Схема гидравлического переключения зубчатых муфт:
1, 2 — гидроцилиндры; 3 — реверсивные золотники; 4 — реле давления; 5 — манометр

не обеспечивает для большинства диаметров обработки наиболее выгодную скорость резания. Следовательно, станок не может во всех случаях обеспечить полную производительность. Кроме того, при сравнительно сложной кинематике станка (сложность ее воз-

растает с повышением плавности регулирования) снижается точность его работы и возрастает его стоимость.

Стремление упростить кинематическую схему станка приводит к применению для целей ступенчатого регулирования скорости многоскоростных асин-

хронных короткозамкнутых двигателей (двух-, трех- и четырехскоростных). Если двигатель имеет число скоростей m , а механизм допускает число переключений y , то количество скоростей механизма (шпинделя) станка $z = my$, при условии, однако, что каждой скорости двигателя отвечают скорости шпинделя, не повторяющиеся ни при одной

из остальных скоростей двигателя. Это условие не всегда может быть выполнено при многоскоростном двигателе.

Пусть, например, ступени скорости шпинделя $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_y$ получаются при наименьшей скорости двигателя ω_{01} . Для тех же положений передач механизма, но при скорости двигателя $\omega_{02} = 2\omega_{01}$, ступени скорости шпинделя будут равны $2\omega_1, 2\omega_2, \dots, 2\omega_y$. Аналогично определяются скорости шпинделя и для других скоростей двигателя, если двигатель трех- или четырехскоростной. Положим, что шпиндель должен иметь число скоростей $z = 12$ при коэффициенте

регулирования $\phi = \sqrt[3]{2} = 1,41$. Тогда для $z = my = mkE = 12$ (k — целое число) возможны два решения: а) $m = 2; k = 3; E = 2; y = 6$ — двигатель двухскоростной, коробка на шесть скоростей; б) $m = 3; k = 2; E = 2; y = 4$ — двигатель трехскоростной, коробка на четыре скорости. Очевидно, что правильный геометрический ряд скоростей шпинделя может быть получен лишь при определенных сочетаниях z, y и ϕ .

Для рассмотренного примера построено два графика скоростей шпинделя (для трехскоростного двигателя), если наименьшая скорость шпинделя составляет 90 об/мин (рис. 4.4). Предпочтения заслуживает вариант рис. 4.4, б, так как скорость промежуточного вала лежит в пределах 355—2000 об/мин, тогда как в варианте рис. 4.4, а его скорость изменяется от 180 до 5600 об/мин.

На рис. 4.5, а, б и в дано сопоставление кинематических схем коробок скоростей для получения на шпинделе 12 скоростей в случае использования соответственно одно-, двух- и трехскоростного асинхронного короткозамкнутого двигателя.

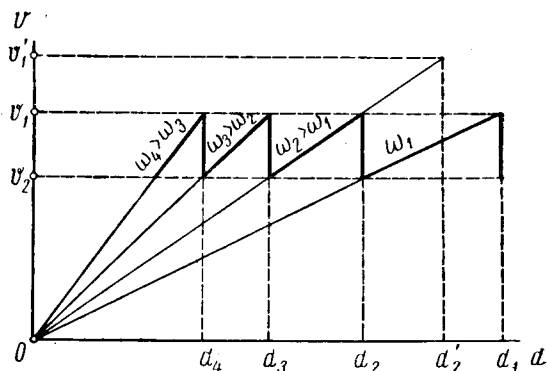


Рис. 4.3. Лучевая диаграмма скоростей

Как упоминалось выше, мощность, передаваемая шпинделю при регулировании скорости, должна на всем диапазоне регулирования сохраняться приблизительно постоянной, поэтому многоскоростной

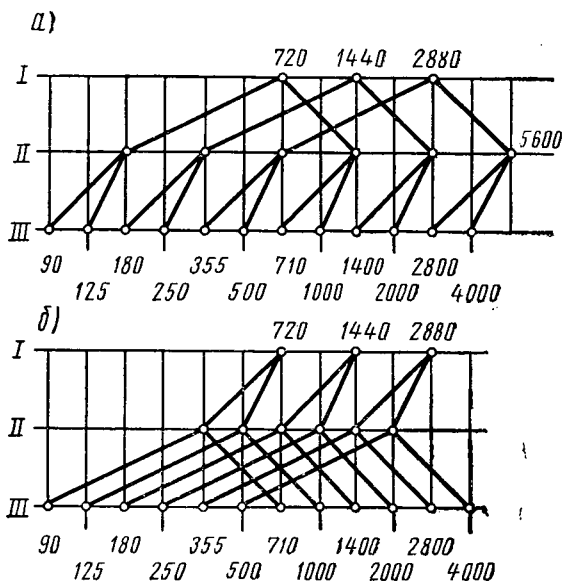


Рис. 4.4. Графики скоростей вращения

двигатель должен обладать приблизительно такими механическими характеристиками, как те, которые приведены на рис. 4.6 [пунктиром показана механическая характеристика станка $\omega = f(M_c)$].

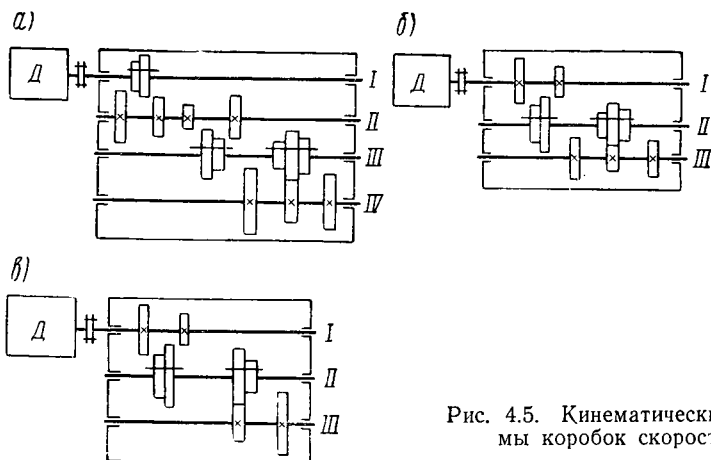


Рис. 4.5. Кинематические схемы коробок скоростей

Так как выпускаемые у нас многоскоростные двигатели имеют в большинстве случаев скорости (синхронные) 1500/1000/750 об/мин или 1500/1000/750/500 об/мин, то геометрический ряд скоростей шпинделя нарушается. В средней части диапазона скорости располагаются с меньшим интервалом, т. е. коэффициент регулирования меньше. Такое расположение скоростей, хотя и расходится со стандартом, однако не может считаться недостатком, так как обычно средние значения скоростей используются на практике чаще, чем крайние. Соблюдение же условий соотношения скоростей многоскоростного двигателя (4:2:1 — для трехскоростного и 8:4:2:1 — для четырехскоростного) для обеспечения скоростей шпинделя в соответствии с геометрическим рядом приводит к

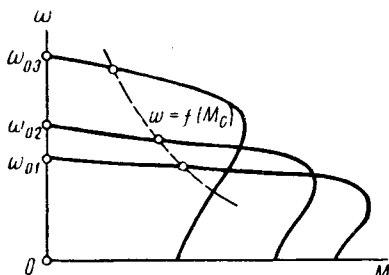


Рис. 4.6. Механические характеристики многоскоростного двигателя

значительному увеличению габаритов двигателя, что не всегда допустимо в станках небольших размеров. Кроме того, стоимость многоскоростного двигателя значительно выше односкоростного. Поэтому если применение многоскоростного двигателя дает лишь незначительное упрощение и удешевление коробки скоростей (экономия одного вала, одной или максимум двух пар зубчатых колес, одной пары подшипников), то целесообразно применить односкоростной двигатель.

В тяжелых станках упрощение кинематической схемы главного привода весьма существенно. Обычно для главного привода тяжелых станков используется двигатель постоянного тока независимого возбуждения, позволяющий обеспечить плавное регулирование скорости. Если регулирование скорости производится изменением тока возбуждения двигателя с постоянным напряжением на зажимах якоря, то двигатель при неизменном токе в якорной цепи, равном номинальному, может отдавать на вал постоянную мощность, что полностью отвечает требованиям технологии. Необходимо, однако, отметить, что габариты регулируемого двигателя оказываются значительными.

Обычно диапазон электрического регулирования скорости, получаемый изменением тока возбуждения, для выпускаемых у нас двигателей составляет не более $D_{эл} = (4 \div 6) : 1$. Так как требуемый диапазон регулирования скорости главных приводов станков, как правило, значительно выше (для некоторых станков 100 : 1 и более), то возникает необходимость во введении коробки скоростей, диапазон регулирования для которой

$$D_m = \frac{D}{D_{эл}} = \frac{\varphi^{z-1}}{D_{эл}}, \quad (4.8)$$

где D — общий диапазон регулирования; $D_{эл}$ — диапазон электрического регулирования скорости.

При регулировании скорости вращения двигателя изменением тока возбуждения коэффициент регулирования φ теоретически может быть сколь угодно близок к единице. Практически же число скоростей шпинделя в интервале двух соседних ступеней коробки скоростей соответствует числу положений регулирующего органа, изменяющего ток возбуждения двигателя.

Число ступеней электрического регулирования

$$m = \frac{\lg D_{эл}}{\lg \varphi} + 1. \quad (4.9)$$

Число ступеней коробки скоростей

$$y = \frac{z}{m} = \frac{z \lg \varphi}{\lg (D_{эл} \varphi)} \quad (4.10)$$

или

$$y = \frac{\lg (D\varphi)}{\lg (D_{эл}\varphi)}. \quad (4.11)$$

На рис. 4.7 показан график чисел скоростей вращения привода планшайбы тяжелого карусельного станка, в котором используются регулируемый двигатель постоянного тока и сравнительно простая коробка скоростей на три скорости (рис. 4.8). Как видно из рис. 4.7, для получения общего диапазона регулирования $D = \frac{8,48}{0,132} = 64$ достаточно при $D_{эл} = 4 : 1$ иметь только три механические скорости, осуществляемые переключением шестерен при помощи двух зубчатых муфт (см. рис. 4.8).

При увеличении диапазона регулирования скорости вращения до $(6 \div 8) : 1$ число механических ступеней коробки скоростей можно сократить до двух. Сочетание широкого диапазона регулирования ослаблением магнитного потока и повышение номинальных скоростей вращения двигателей позволяют сократить число ступеней коробок скоростей станка и снизить габариты двигателя.

Развитие полупроводниковой техники вообще и особенно выпуск в настоящее время тиристоров на сравнительно большие токи (свыше 200 а) и высокие напряжения (до 1000 в и выше) позволяет вести разработку статических преобразователей частоты для плавного регулирования скорости вращения асинхронных короткозамкнутых двигателей. Однако эти преобразователи еще не получили практического применения для мощных приводов металлорежущих станков вследствие их относительной сложности и пока еще высокой стоимости по сравнению с преобразователями для регулирования скорости двигателей постоянного тока*. Поэтому для

* За границей находят иногда применение для целей плавного регулирования скорости коллекторные двигатели переменного тока; эти двигатели нашей промышленностью не изготавливаются.

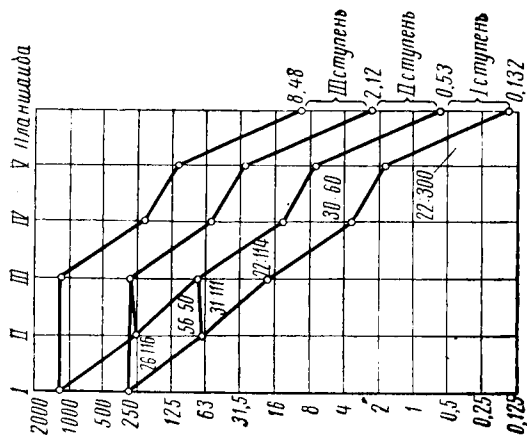


Рис. 4.7. График скоростей вращения привода планшайбы карусельного станка

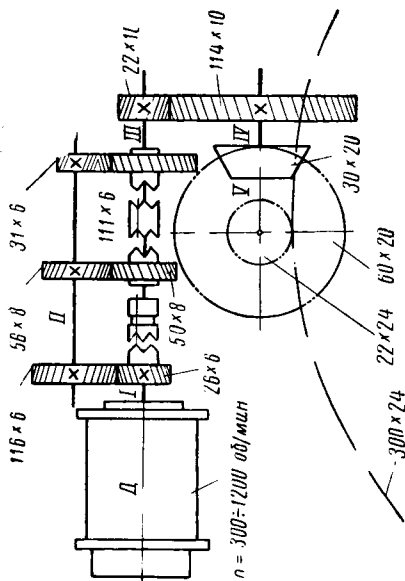


Рис. 4.8. Кинематическая схема коробки скоростей карусельного станка

плавного регулирования скорости главных механизмов станков продолжает оставаться привод от двигателя постоянного тока.

Как уже упоминалось, для шпинделей универсальных станков общий диапазон регулирования скорости составляет $(60 \div 120) : 1$ при постоянном значении мощности почти во всем диапазоне. Существующие электрические системы плавного регулирования скорости могут обеспечить диапазон регулирования $120 : 1$ и выше. Однако из экономических и конструктивных соображений совершенно нерационально использование для главных приводов станков чисто электрического регулирования скорости. Последнее иллюстрируется следующим примером.

Пример 4.1. Допустим, что требуемый общий диапазон регулирования скорости составляет $D = 100 : 1$; мощность на валу двигателя, управляемого по системе генератор — двигатель, должна быть $P = 60 \text{ кВт} = \text{const}$ во всем диапазоне. Так, если для двигателя постоянного тока регулирование скорости изменением тока возбуждения составляет $D_{\text{вл}} = 4 : 1$, то в диапазоне $D_{\text{вл}} = 25 : 1$ необходимо регулировать скорость изменением подводимого напряжения. Очевидно, что мощность, отдаваемая двигателем

$$P = M_{\text{макс}} \omega_{\text{мин}} 10^{-3} = M_{\text{мин}} \omega_{\text{макс}} 10^{-3} = 60 \text{ кВт}.$$

Двигатель выбирается такой мощности, чтобы он мог в одном случае обеспечить наибольший момент $M_{\text{макс}}$ и в другом — наибольшую скорость $\omega_{\text{макс}}$. Следовательно, его номинальная мощность в рассматриваемом примере

$$P_n = M_{\text{макс}} \omega_{\text{макс}} 10^{-3} = 1500 \text{ кВт}.$$

Если же выбрать так называемый нерегулируемый двигатель постоянного тока независимого возбуждения, для которого обычно допускается превышение скорости против номинальной (ослаблением магнитного потока) примерно в два раза, то для получения общего диапазона $100 : 1$ потребуются регулирование скорости изменением напряжения в диапазоне $D_{\text{вл}} = 50 : 1$. Тогда номинальная мощность двигателя окажется $P_n = 3000 \text{ кВт}$. Естественно, что использование для токарного станка двигателя мощностью в несколько тысяч киловатт немыслимо, поэтому и нерационально чисто электрическое регулирование скорости для главных приводов универсальных станков, требующих большого диапазона регулирования при постоянной мощности резания.

Для главных приводов тяжелых станков практически принимают при общем диапазоне регулирования $(100 \div 120) : 1$ электрическое регулирование скорости в диапазоне $(4 \div 6) : 1$. Иногда диапазон электрического регулирования доводят до $(8 \div 12) : 1$, используя при этом двухзонное регулирование (ослаблением магнитного потока и изменением подводимого к якорию двигателя напряжения). В обоих случаях коробка скоростей главного привода оказывается сравнительно простой, рассчитанной на две-три механических ступени скорости.

Выбор преобразователя для управления приводом постоянного тока, так же как и определение оптимального диапазона электри-

ческого регулирования скорости, должен быть произведен на основании технико-экономического сопоставления различных вариантов преобразовательных устройств.

В главных приводах станков перепад скорости при изменении нагрузки от нуля до номинальной не должен превышать $5 \div 10\%$.

Двигатель постоянного тока независимого возбуждения средней мощности ($40 \div 100$ кВт), включенный по системе генератор — двигатель, имеет перепад скорости при номинальной нагрузке и номинальной э. д. с. генератора около $10 \div 6\%$. При регулировании скорости вращения вниз от основной изменением э. д. с. генератора при номинальном потоке двигателя даже в небольшом диапазоне величина относительного перепада скорости возрастает и становится недопустимой. Поэтому в таких случаях необходимо использовать замкнутую систему автоматического управления, в которой при помощи введения соответствующих обратных связей скорость двигателя автоматически поддерживалась бы на желаемом уровне при изменении нагрузки. Для главных приводов тяжелых станков в настоящее время еще широкое применение имеет система генератор — двигатель, регулировочные свойства которой рассмотрены подробно в курсе «Основы электропривода».

К недостаткам главного привода постоянного тока, выполненного по системе генератор — двигатель, можно отнести:

1) наличие трех машин, суммарная установленная мощность которых в три раза больше установленной мощности главного двигателя;

2) значительные габариты, небольшой к. п. д. и низкий $\cos \varphi$ установки;

3) высокие капитальные и эксплуатационные расходы.

Использование неуправляемых и управляемых полупроводниковых вентилях позволяет заменить электромашинный преобразователь и создать систему электропривода, обладающую следующими преимуществами:

1) стоимость силового выпрямителя, состоящего из трансформатора (или автотрансформатора) и неуправляемых вентилях, ниже стоимости электромашинного агрегата;

2) к. п. д. привода с вентиляльным преобразователем выше к. п. д. системы генератор — двигатель;

3) эксплуатация вентиляльного преобразователя проще, а надежность выше в сравнении с электромашинным агрегатом;

4) установка вентиляльного преобразователя не требует специального фундамента.

Принципиальная схема регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока независимого возбуждения ослаблением магнитного потока приведена на рис. 4.9. Питание якорной цепи двигателя осуществляется от сети переменного тока через неуправляемые полупроводниковые вентили (диоды), пуск двигателя производится при полном напряжении с помощью пускового сопротивления СП в две ступени и номинальном токе возбуждения.

Установка понизительного силового трансформатора обусловлена необходимостью согласования напряжения сети со стандартным напряжением, на которое выпускаются двигатели постоянного тока. Так, при напряжении сети переменного тока 380 в напряжение на выходе выпрямительного моста составляет 513 в. По-видимому, целесообразно применить двигатель постоянного тока, рассчитанный на номинальное напряжение 500 в, и отказаться от трансформатора, что удешевит и упростит установку. Вместо трансформатора в этом случае могут быть установлены реакторы для ограничения токов короткого замыкания. Перепад скорости двигателя в рассматриваемой системе привода определяется активным сопротивлением цепи якоря и внешней характеристикой выпрямителя и достигает $15 \div 20\%$ при изменении момента нагрузки от 0 до номинального значения. Чем круче внешняя характеристика выпрямителя, тем, при прочих равных условиях, более жесткой оказывается и механическая характеристика двигателя. Жесткость внешней характеристики выпрямителя в основном определяется индуктивным сопротивлением трансформатора или реактора (дресселя).

Для получения меньшего перепада скорости желательно иметь малую индуктивность дресселя, а для ограничения токов короткого замыкания требуется сравнительно большая индуктивность. Индуктивность дресселя следует выбирать исходя из допустимого для диодов тока короткого замыкания.

Скорость двигателя

$$\omega = \frac{E_{d0}}{k\Phi} - I \frac{\frac{m x_{др}}{2\pi} + 2r_{др} + 2r_v + r_{я}}{k\Phi}, \quad (4.12)$$

где $E_{d0} = 1,35 U_{л}$ — напряжение на выходе выпрямителя при холостом ходе ($U_{л}$ — линейное напряжение переменного тока); m — число фаз выпрямителя; $x_{др}$ — индуктивное сопротивление реактора (дресселя) или фазы трансформатора; $r_{др}$, r_v , $r_{я}$ — соответственно активное сопротивление дресселя, вентиля (диода) в прямом направлении и якоря двигателя; I — ток якоря; Φ — магнитный поток двигателя.

Для получения более жестких характеристик двигателя в рассматриваемой системе вводится отрицательная обратная связь по скорости, сигнал которой через преобразователь на тиристорах автоматически регулирует ток возбуждения так, чтобы поддерживать с определенной точностью скорость двигателя независимо от изменения нагрузки и подводимого к якорю напряжения.

Обмотка возбуждения ВД двигателя (рис. 4.9) питается от двухполупериодного несимметричного управляемого выпрямителя, собранного из двух диодов и двух тиристоров, управляемых с помощью блока БУТ, на вход которого подается сигнал, равный разности задающего напряжения, снимаемого с потенциометра ПЗ, и напряжения тахогенератора ТГ, пропорционального скорости двигателя.

Действие схемы автоматического регулирования сводится к следующему. При снижении скорости двигателя в сравнении с заданной (в результате, например, увеличения нагрузки) на блок управления подается сигнал с измененной фазой напряжения, управляющего тиристорами, в результате чего снижается напряжение на обмотке возбуждения двигателя и скорость его возрастает приблизительно до прежнего значения. Более подробно устройство и действие отдельных элементов блока питания БП и блока управления БУТ приведено в § 4.5.

Упрощенная структурная схема такой системы показана на рис. 4.10. Здесь предполагается, что преобразователь П в цепи возбуждения двигателя включает в себя безынерционный промежуточный усилитель, а напряжение идеального холостого хода преобразователя E_{d0} в цепи якоря постоянно. Так как в этом приводе нелинейна зависимость магнитного потока от тока возбуждения, а также нелинейна зависимость скорости вращения двигателя от потока, то расчет статических характеристик двигателя может быть произведен одним из приближенных методов, например методом последовательных приближений.

Напряжение, подаваемое на вход тиристорного преобразователя П,

$$U_y = U_z - U_{тг}, \quad (4.13)$$

где $U_z, U_{тг}$ — соответственно задающее напряжение и напряжение тахогенератора.

Напряжение на обмотке возбуждения

$$U_b = U_{b0} - k_y U_y = U_{b0} - k_y (U_z - \gamma \omega), \quad (4.14)$$

где U_{b0} — напряжение возбуждения при $U_y = 0$;

$\gamma = \frac{U_{тг}}{\omega}$ — крутизна характеристики тахогенератора;

k_y — коэффициент усиления тиристорного преобразователя.

Скорость двигателя

$$\omega = \frac{E_{d0} - I r_\Sigma}{k_e \Phi}, \quad (4.15)$$

где $r_\Sigma = \frac{m x_{дp}}{2\pi} + 2r_{дp} + 2r_b + r_\pi$, $\Phi = k_b U_b$,

(k_b — коэффициент передачи двигателя).

При увеличении нагрузки ток якоря возрастает на ΔI , скорость вращения двигателя уменьшается на $\Delta \omega$, магнитный поток должен уменьшаться на $\Delta \Phi$ при уменьшении напряжения возбуждения на ΔU_b ; следовательно,

$$\begin{aligned} U_b - \Delta U_b &= U_{b0} - k_y [U_z - \gamma (\omega - \Delta \omega)] = \\ &= U_{b0} - k_y (U_z - \gamma \omega) - k_y \gamma \Delta \omega. \end{aligned}$$

Так как $U_B = U_{B0} - k_y(U_3 - \gamma\omega)$, то

$$-\Delta U_B = -k_y \gamma \Delta \omega, \quad \Delta \omega = \frac{\Delta U_B}{k_y \gamma}.$$

Кроме того,

$$\omega - \Delta \omega = \frac{E_{d0} - I r_\Sigma}{k_e \Phi - k_e \Delta \Phi}.$$

После преобразований, полагая $\Delta \Phi = k_B k_y \gamma \Delta \omega$ и пренебрегая бесконечно малым второго порядка ($k \Delta \omega \Delta \Phi \approx 0$), получим

$$\Delta \omega = \frac{\Delta I r_\Sigma}{k_e \Phi + \omega k_e k_B k_y \gamma}. \quad (4.16)$$

Пример 4.2. Рассчитать характеристики $n=f(I)$ двигателя мощностью 60 кВт в замкнутой системе по схеме на рис. 4.9 со следующими данными: $I_n = 148$ а; $\Phi_n = 0,0677$ вб; $k_e = 20$; $n_0 = 379$ об/мин; $k_y = 2,5$; $k_B = f(U_B)$ задано кривой на рис. 4.11; $r_\Sigma = 0,42$ ом; $\gamma = 0,14$ в/об/мин.

Определим изменение скорости при изменении тока якоря от 0 до 50 а; при $I=0$ примем $\Phi_0 = 0,0677$ вб; $n_0 = 379$ об/мин; k_B , соответствующий данному потоку, равен $k_B = 0,65 \cdot 10^{-4}$ сек; $U_B = 97,8$ в.

Допустим, что изменение потока при изменении нагрузки приведет к изменению коэффициента передачи до $k_B = 0,75 \cdot 10^{-4}$ сек, тогда

$$\begin{aligned} \Delta n &= \frac{\Delta I r_\Sigma}{k_e \Phi_0 + n_0 k_e k_B k_y \gamma} = \\ &= \frac{50 \cdot 0,42}{20 \cdot 0,0677 + 379 \cdot 20 \cdot 0,75 \cdot 10^{-4} \cdot 2,5 \cdot 0,14} = \\ &= 13,6 \text{ об/мин.} \end{aligned}$$

Проверим правильность выбора k_B :

$$\Delta U_B = \Delta n k_y \gamma = 13,6 \cdot 2,5 \cdot 0,14 = 4,76 \text{ в;}$$

$$U_B = 97,8 - 4,76 = 93,04 \text{ в;}$$

этому значению напряжения соответствует $k_B = 0,78 \cdot 10^{-4}$ сек. Очевидно следует повторить расчет, подставив в формулу для Δn значение $k_B = 0,78 \cdot 10^{-4}$ сек.

При изменении тока от 0 до 150 а принимаем $k_B = 1,07 \cdot 10^{-4}$, тогда

$$\Delta n = \frac{150 \cdot 0,42}{20 (0,0677 + 379 \cdot 1,07 \cdot 10^{-4} \cdot 2,5 \cdot 0,14)} = 38,4 \text{ об/мин.}$$

Проверка дает:

$$\Delta U = 38,4 \cdot 2,5 \cdot 0,14 = 13,4 \text{ в;}$$

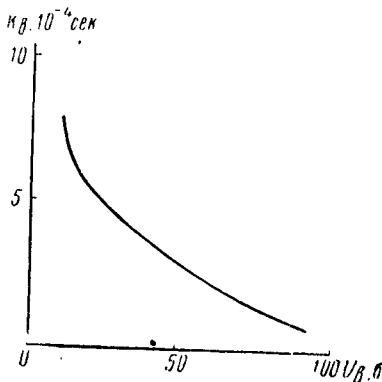


Рис. 4.11. Зависимость $k_B = f(U_B)$

$$U_B = 97,8 - 13,4 = 84,4 \text{ в};$$

этому напряжению соответствует $k_B = 1,07 \cdot 10^{-4} \text{ сек.}$

Таким образом, используя метод последовательных приближений, могут быть рассчитаны статические характеристики при других начальных значениях магнитного потока двигателя.

В тех случаях, когда целесообразно расширить диапазон электрического регулирования главного привода, совмещая его, как упоминалось, с механическим ступенчатым регулированием как, например, в приводе планшайбы тяжелых карусельных станков, приводе шпинделя крупных расточных станков и т. п., используется двухзонное регулирование — изменением подводимого к якору двигателя напряжения (в зоне низких скоростей) и ослаблением магнитного потока (в зоне высоких скоростей). Кроме системы генератор — двигатель, используемой в таких случаях, перспективным может быть управляемый статический преобразователь на тиристорах взамен электромашинного преобразователя.

Структурная схема системы электропривода, в которой осуществляется зависимое управление током возбуждения двигателя при двухзонном регулировании скорости вращения двигателя с использованием тиристорного преобразователя в якорной цепи и цепи возбуждения, показана на рис. 4.12. В этой схеме регулирование скоро-

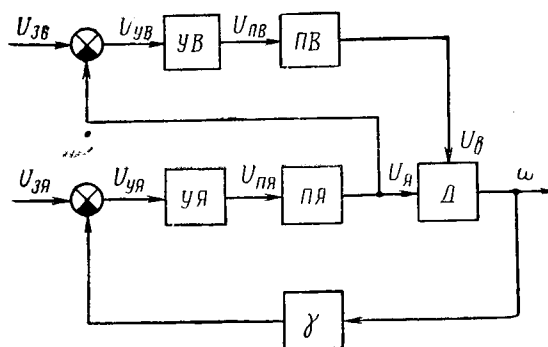


Рис. 4.12. Структурная схема двухзонного регулирования скорости вращения двигателя независимого возбуждения

сти вращения двигателя до основной (номинальной) производится изменением среднего выпрямленного напряжения преобразователя ПЯ в якорной цепи при номинальном токе возбуждения. Регулирование скорости выше основной осуществляется при достижении напряжения, близкого к номинальному на зажимах якоря двигателя, уменьшением напряжения на выходе тиристорного преобразователя ПВ в цепи обмотки возбуждения.

Стабилизация скорости вращения достигается введением отрицательной обратной связи по скорости, реализуемой с помощью тахогенератора, связанного с валом двигателя Д.

§ 4.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ БЕССТУПЕНЧАТОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ГЛАВНЫХ ПРИВОДОВ

Чисто электрическое бесступенчатое регулирование скорости целесообразно использовать в станках, где скорость главного привода регулируется в сравнительно небольшом диапазоне $(6 \div 10) : 1$, а также в станках, где на значительной части диапазона момент сопротивления сохраняется приблизительно постоянным. В этом случае вместо коробки скоростей с переключающимися блоками применяется соответствующий редуктор. Кинематическая схема становится весьма простой. В качестве примера на рис. 4.13 приведена кинематическая схема редуктора главного привода продольно-строгального станка, скорость которого регулируется в диапазоне $10 : 1$.

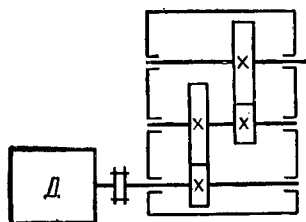


Рис. 4.13. Кинематическая схема редуктора

Расширение диапазона электрического регулирования скорости главных приводов до $(6 \div 10) : 1$ и выше с соблюдением необходимой стабильности скорости при изменении нагрузки потребовало создания различных систем автоматического регулирования, в которых используются электромашины, магнитные и полупроводниковые усилители.

В практике станкостроения для регулируемых главных приводов наибольшее применение получили приводы постоянного тока по системе генератор — двигатель с электромашиными усилителями ЭМУ. Применявшаяся ранее система генератор — двигатель с ЭМУ с самовозбуждением в настоящее время почти не используется.

Привод по системе генератор — двигатель с ЭМУ поперечного поля, обеспечивая плавное регулирование скорости в требуемом диапазоне, отличается лучшими динамическими характеристиками, чем система с ЭМУ с самовозбуждением. Кроме того, так как ЭМУ с поперечным полем обладает значительным коэффициентом усиления (большим, чем ЭМУ с самовозбуждением), то степень жесткости механических характеристик привода в этом случае может быть повышена.

На рис. 4.14 приведена принципиальная схема привода по системе генератор — двигатель с ЭМУ поперечного поля $У_r$, включенным в качестве возбудителя и имеющим четыре обмотки возбуждения (управления). Токовая обмотка $ТУ$ осуществляет положительную обратную связь по току, обмотка напряжения $ДН$ — отрицательную обратную связь по напряжению. Установка соответствующей скорости производится при помощи потенциометра, с которого снимается напряжение на задающую обмотку $ЗУ$. С целью корректирования переходных режимов включена через стабилизи-

рующие трансформаторы $1TC$ и $2TC$ четвертая обмотка ЭМУ — CU .

Уравнение характеристики $\omega = f(I)$ для данной системы можно записать так:

$$\omega = \omega_0 - \left[1 - \frac{\beta_y k_B \left(\frac{\rho r_\Gamma}{r_H} \omega_H + \frac{r_{д.п.д}}{r_T} \omega_T \right)}{r_0 \left(1 + \frac{\rho \omega_H}{r_H} k_B \beta_y \right)} \right] \frac{I r_0}{c}, \quad (4.17)$$

где $k_B = \beta_\Gamma \frac{\omega_{в.г}}{r_{в.г}}$ — коэффициент усиления генератора;

$$\beta_\Gamma = \frac{e_\Gamma}{F_{в.г}}; \quad \beta_y = \frac{e_y}{F_y};$$

ω_0 — скорость идеального холостого хода двигателя; $\rho = \frac{r_1}{r_d}$ — отношение части сопротивления делителя к полной его величине; r_Γ , r_0 , $r_{д.п.д}$ — соответственно сопротивление якоря генератора и обмотки его дополнительных полюсов, общее сопротивление якорной цепи и

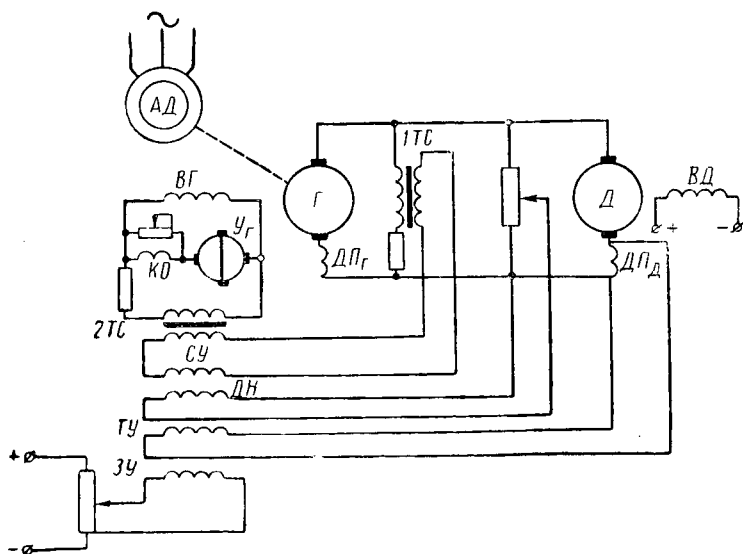


Рис. 4.14. Схема привода по системе Г—Д с ЭМУ

сопротивление дополнительных полюсов двигателя; $\omega_{в.г}$, $r_{в.г}$ — число витков и сопротивление обмотки возбуждения генератора; ω_H , r_H и ω_T , r_T — число витков и сопротивление обмотки напряжения и соответственно токовой обмотки управления ЭМУ.

Несколько сигналов (например, задающий и обратной связи) может быть подано на одну обмотку для увеличения коэффициента усиления ЭМУ и повышения надежности схемы.

Введением отрицательной обратной связи по скорости, осуществляемой при помощи тахогенератора, соединенного с двигателем, взамен аналогичной связи только по напряжению можно значительно повысить жесткость механических характеристик привода и обеспечить более точное регулирование скорости. Механические характеристики двигателя в системе генератор — двигатель с ЭМУ поперечного поля отличаются высокой жесткостью.

Для бесступенчатого регулирования скорости главных приводов станков последние годы все чаще используется система тиристорный преобразователь — двигатель постоянного тока взамен системы генератор — двигатель.

§ 4.4. СТУПЕНЧАТОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПРИВОДОВ ПОДАЧ

В приводах подач, как и в главных приводах, используется механическое и электромеханическое ступенчатое регулирование скорости, а также чисто электрическое бесступенчатое регулирование*.

В станках небольших и средних размеров, таких как токарные, токарно-винторезные, карусельные, сверлильные, зубофрезерные и др., подача режущего инструмента производится от главного привода через самостоятельную коробку скоростей. В ней в зависимости от диапазона регулирования имеется требуемое количество ступеней переключения.

Жесткая механическая связь между главным приводом и приводом подачи обусловлена необходимостью строгого согласования этих движений, например при нарезании резьбы, зубьев и т. п.; иногда эта связь бывает вызвана чисто конструктивными соображениями. В ряде же случаев целесообразно для упрощения кинематической цепи станка и повышения точности обработки изделий предусматривать самостоятельные приводы для главного движения и подачи. Как уже отмечалось, мощность приводов подач значительно меньше мощности главного привода.

Общей характерной особенностью приводов подач является необходимость регулирования скорости на значительной части диапазона при почти постоянном моменте нагрузки. Это условие является определяющим при выборе той или иной системы регулируемого электропривода. В зависимости от мощности привода подачи, режима его работы (длительная или периодическая подача), диапазона, плавности и точности регулирования используются различные способы регулирования.

* В современных станках часто используется также бесступенчатое регулирование скорости при помощи гидроприводов. Изучение особенностей гидроприводов представляет самостоятельную задачу.

Наиболее громоздкое устройство коробки подач имеет место при механическом регулировании. Например, во фрезерном станке модели 6А54, где подача должна регулироваться в сравнительно небольшом диапазоне от 1600 до 50 мм/мин с $\varphi=1,26$, коробка подач имеет четыре двойных блока для переключения скоростей и семь валов с зубчатыми колесами.

Кинематическая схема коробки подач может быть упрощена при ступенчатом электромеханическом регулировании, как и в случае регулирования скорости главных приводов.

Ступенчатое электромеханическое регулирование скорости в механизмах подач может быть осуществлено при помощи двух- или многоскоростных короткозамкнутых асинхронных двигателей. В данном случае целесообразно использовать двигатель, у которого остается $M_{ном} = \text{const}$. На рис. 4.15 показаны механические характеристики такого трехскоростного двигателя; пунктирной линией показана характеристика нагрузки. Условия выбора ряда скоростей многоскоростного двигателя с целью максимального упрощения кинематической цепи коробки подач такие же, как и для главных приводов.

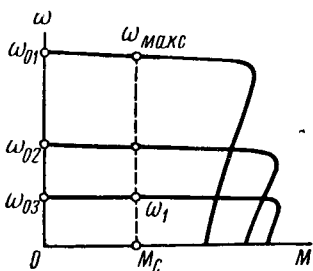


Рис. 4.15. Механические характеристики трехскоростного двигателя

Ступенчатое электромеханическое регулирование скорости подач может быть выполнено и от двигателя постоянного тока при изменении его тока возбуждения. Так как в этом случае скорость двигателя регулируется плавно, например в диапазоне до 4:1, то между двумя соседними механическими ступенями, имеющими $\varphi=4$, можно получить бесступенчатое регулирование подачи.

Установленная мощность двигателя в данном случае, кВт,

$$P_n = M_n \omega_{\max} 10^{-3}, \quad (4.18)$$

где M_n — наибольший момент на валу двигателя подачи, н·м. При этом полное использование двигателя по мощности имеет место только в случае работы привода с максимальной скоростью. Во всем диапазоне регулирования от $\omega_{\max}$ до $\omega_{\min}$ двигатель недоиспользуется и тем в большей степени, чем больше диапазон регулирования скорости.

§ 4.5. БЕССТУПЕНЧАТОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПРИВодов ПОДАЧ

О преимуществах бесступенчатого регулирования скорости упоминалось в § 4.3; они остаются справедливыми и для приводов подач.

К сравнительно простым средствам бесступенчатого регулирования скорости подачи может быть отнесена электромагнитная муфта скольжения, связывающая асинхронный короткозамкнутый двигатель с механизмом подачи. Эта муфта (рис. 4.16) состоит из ведущей части 1 (якоря), связанной с валом асинхронного короткозамкнутого двигателя, и ведомой части 2

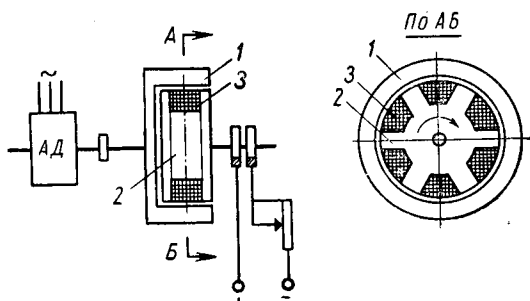


Рис. 4.16. Схема привода с электромагнитной муфтой скольжения

(магнитной системы), связанной жестко с механизмом подачи. Якорь выполняется с массивными стенками из ферромагнитного материала; магнитная система состоит из двух ферромагнитных зубчатых дисков, между которыми закладывается катушка возбуждения 3, обтекаемая постоянным током. Между якорем и магнитной системой имеется воздушный зазор. Якорь муфты вращается с такой же скоростью, как и двигатель. Ведомая часть муфты при отсутствии в катушке тока неподвижна. Когда по катушке протекает ток возбуждения, возникает магнитный поток, приводящий к появлению в теле якоря вихревых токов. Взаимодействие этих токов с магнитным потоком создает момент, вследствие чего ведомая часть муфты приходит во вращение.

При одном и том же токе возбуждения с возрастанием скорости вращения ведомой части муфты момент падает; если представить себе, что скорости ведущей и ведомой частей окажутся равными, то индуцированная э. д. с. при любом токе возбуждения окажется равной нулю, и момент при этом также равен нулю. Следовательно, муфта может передать момент только при отставании скорости ведомой части муфты по отношению к ведущей, аналогично тому, как это имеет место в асинхронном двигателе. Момент, передаваемый муфтой, $n \cdot м$, зависит от ее параметров и может быть рассчитан по следующей формуле:

$$M = 15 \cdot 10^{-13} \frac{B_{ср}^2 D^3 l_1 \sqrt{\omega_{а.д} s}}{\sqrt{\rho \mu \rho}}, \quad (4.19)$$

где $B_{ср}$ — среднее значение индукции в воздушном зазоре, $гс$; D — диаметр внутренней поверхности якоря, $см$; l_1 — осевая длина

зубца магнитной системы, см; $\omega_{а.д}$ — скорость вращения асинхронного двигателя, рад/сек; s — скольжение муфты; μ , ρ — магнитная проницаемость и удельное сопротивление материала магнитопровода; p — число полюсов магнитной системы.

Так как момент муфты зависит от индукции или магнитного потока, а поток является функцией тока возбуждения, то изменением этого тока при данной скорости вращения ведомой части муфты можно менять момент муфты.

Если принять линейную зависимость магнитного потока от тока в пределах ненасыщенного участка кривой намагничивания, то уравнение механической характеристики муфты можно представить в таком виде:

$$\omega = \omega_{а.д} - k \frac{M^2}{I_B^4}, \quad (4.20)$$

где ω , $\omega_{а.д}$ — соответственно скорость ведомого вала муфты и асинхронного двигателя; M — передаваемый муфтой момент; I_B — ток возбуждения муфты; k — коэффициент, зависящий от материала якоря и геометрических размеров муфты.

На рис. 4.17 показаны примерные механические характеристики привода с электромагнитной муфтой скольжения. Характеристики,

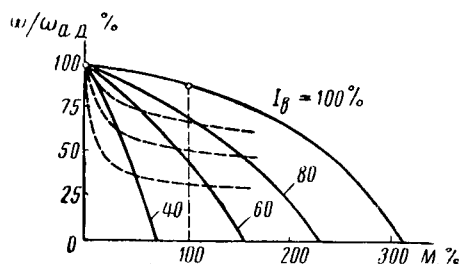


Рис. 4.17. Примерные механические характеристики муфты скольжения

изображенные сплошными линиями [построенные по уравнению (4.20)], отличаются совершенно недостаточной жесткостью для стабильного регулирования скорости подачи. Поэтому рассмотренная система может быть практически использована только при автоматическом регулировании, когда характеристики становятся жесткими (пунктирные кривые на рис. 4.17).

Так как возмущающих факторов может быть несколько, например изменение напряжения и частоты сети, изменение нагрузки или температуры обмотки возбуждения муфты, то целесообразно автоматически стабилизировать скорость по выходному параметру системы, т. е. по скорости. Так, в ЭНИМСе был осуществлен привод с электромагнитной муфтой и центробежным регулятором скорости, обеспечивающий диапазон регулирования до 8 : 1 при перепаде скорости не более 15%.

Принципиальная электрическая схема такого привода дана на рис. 4.18. В момент пуска асинхронного двигателя, когда скорость ведомого вала муфты равна нулю, контакт центробежного регулятора РЦ замкнут. Он останется замкнутым до тех пор, пока скорость ведомого вала не достигнет такого значения, при котором

центробежное усилие не вызовет размыкания контактов $PЦ$. В этом случае вводится дополнительное сопротивление в цепь первичной обмотки понижительного трансформатора. На вторичной стороне трансформатора снижается напряжение и уменьшается ток возбуждения муфты, следовательно, снижаются момент муфты и скорость ведомого вала. Вместе со снижением скорости уменьшается центробежное усилие, и контакты регулятора $PЦ$ вновь замыкаются — это приводит к увеличению момента муфты и возрастанию скорости и т. д. Такой режим вибрационного регулирования обеспечивает поддержание средней скорости муфты на заданном уровне. Установка требуемой скорости производится воздействием на винт центробежного регулятора, изменяющего степень сжатия пружины, при помощи которой производится размыкание контактов. Введение обратной связи по скорости, осуществляемой тахогенератором и усилителем, может обеспечить более точное регулирование скорости при большем диапазоне.

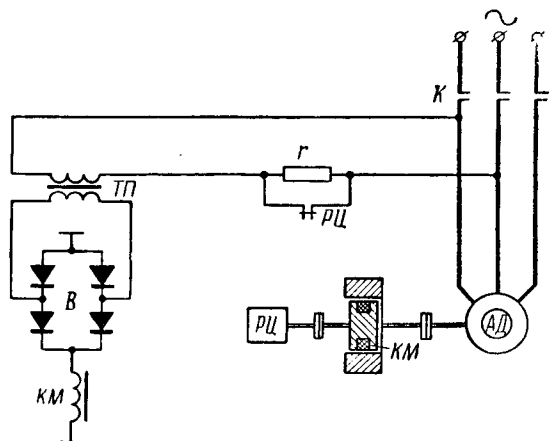


Рис. 4.18. Схема автоматического регулирования скорости вращения привода с электромагнитной муфтой скольжения:

$KМ$ — катушка электромагнитной муфты; B — выпрямитель; $ТП$ — понижительный трансформатор

Потери мощности в якоре муфты, выделяемые в нем в виде тепла, значительны; увеличиваясь с возрастанием диапазона регулирования, они пропорциональны развиваемому моменту, скорости ведущей части муфты и скольжению. К. п. д. муфты, если пренебречь потерями, связанными с ее возбуждением,

$$\eta_m = 1 - s, \quad (4.21)$$

а к. п. д. электропривода

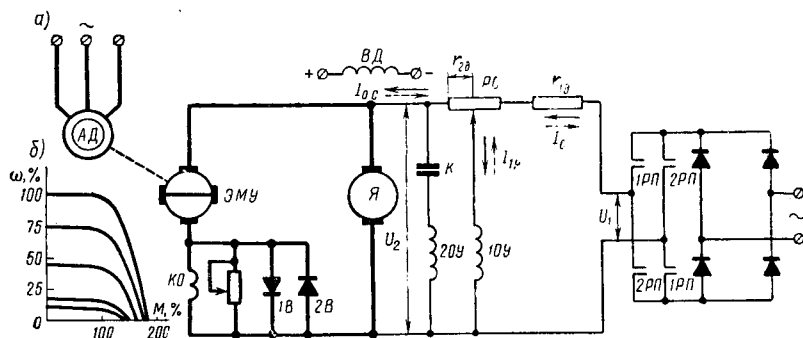
$$\eta = \eta_d (1 - s), \quad (4.22)$$

где η_d — к. п. д. приводного асинхронного двигателя. Поэтому из энергетических соображений привод с электромагнитной муфтой целесообразно применять для механизмов подачи с максимальной мощностью до $1 \div 1,5$ кВт при диапазоне регулирования $(4 \div 6) : 1$. Основными преимуществами подобного привода являются его простота, большой срок службы, легкость и плавность регулирования.

Расширение диапазона регулирования до 10 : 1 и выше вызвало необходимость применения для привода подач двигателей постоянного тока, скорость вращения которых регулируется в основном изменением подводимого напряжения.

Для поддержания постоянства скорости вращения в приводах подач с точностью до $\pm (5 \div 10) \%$ на низких скоростях необходимо создание систем автоматического регулирования скорости. Широкое применение получили приводы постоянного тока с ЭМУ поперечного поля.

Простейшая электрическая схема такого привода, например для подачи шлифовальных, токарно-револьверных и других станков, приведена на рис. 4.19, а; э. д. с. ЭМУ в установившемся режиме



Изменение величины сопротивления $r_{2д}$ приводит к изменению величины отрицательной обратной связи по напряжению. При уменьшении сопротивления $r_{2д}$ скорость двигателя снижается, обратная связь усиливается; с увеличением сопротивления $r_{2д}$ скорость двигателя возрастает, а обратная связь ослабляется. С изменением величины напряжения обратной связи меняется и задающее напряжение U_c , так как не остается постоянным ток I_c . Очевидно, что большему задающему напряжению соответствует большая скорость привода, и наоборот.

Вентили $1B$ и $2B$, каждый из которых работает при определенной полярности ЭМУ, предназначены для ограничения тока в якорной цепи. Примерные механические характеристики двигателя в рассматриваемой схеме показаны на рис. 4.19, б.

Исследования рассмотренной системы привода показали, что она может обеспечить для двигателей мощностью до 1 кВт диапазон регулирования скорости 10:1 при перепаде скоростей до 10%.

В ряде тяжелых универсальных станков (например, в горизонтально-расточных) требуется весьма широкий диапазон регулирования подачи. Например, минимальная скорость подачи составляет 2 мм/мин, а максимальная — 750 мм/мин. Скорость медленного установочного перемещения принимается приблизительно равной половине наименьшей скорости подачи, т. е. доходит до 1 мм/мин, тогда как скорость быстрого установочного перемещения достигает 2 м/мин.

При использовании отдельного двигателя для рабочей подачи диапазон регулирования скорости составит от 375:1 до 750:1. Если использовать один и тот же двигатель для рабочих подач и установочных перемещений, то общий диапазон регулирования достигает 2000:1.

Анализ опытных данных показывает, что для получения значительного диапазона регулирования скорости (100÷120):1 и выше нельзя ограничиться только обратными связями по напряжению и току. Действительно, внутренние обратные связи по напряжению и току не могут компенсировать непостоянство падения напряжения в переходных контактах щеток двигателя, падения напряжения, обусловленного изменением величины сопротивления обмотки якоря двигателя при колебаниях нагрузки, влияние гистерезиса в магнитопроводах двигателя и электромашинного усилителя. Например, для двигателей постоянного тока мощностью 3÷5 кВт изменения падения напряжения в щеточном контакте достигают $\pm 0,3$ в. Сопротивление якорной обмотки двигателя при изменении ее температуры возрастает приблизительно на 20%. Так, для двигателя постоянного тока мощностью 4,4 кВт, 220 в, 1500 об/мин приращение сопротивления обмотки якоря при повышении температуры с ростом нагрузки вызывает некомпенсированное падение напряжения в якорной цепи, равное 0,8 в. Наконец, напряжение от остаточ-

ного магнетизма электромашинного усилителя ЭМУ-50 при наличии внутренних обратных связей составляет $\pm 0,5$ в.

В силу указанных факторов общее изменение напряжения, некомпенсированное обратными связями по напряжению и току, достигает $\Delta U = \pm (0,3 + 0,8 + 0,5) = \pm 1,6$ в. Такое изменение напряжения приводит к отклонению скорости двигателя до $\Delta n = \pm \pm (1500/220) 1,6 = \pm 10$ об/мин; практически из-за более благоприятного сочетания влияний отдельных факторов $\Delta n < \pm 10$ об/мин. Если даже принять $\Delta n = \pm 5$ об/мин, а допустимое отклонение скорости при изменении нагрузки на валу двигателя от 0 до 100% задать равным $\pm (1 \div 6) \%$, то диапазон регулирования скорости вращения двигателя составит около $(15 \div 20) : 1$.

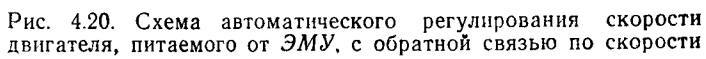
На заводе им. Свердлова разработаны оригинальные схемы, позволившие значительно расширить диапазон регулирования. Одна из таких схем, использованная для привода подач расточных станков, приведена на рис. 4.20. В этой схеме предусмотрена обратная связь по скорости, осуществляемая при помощи тахогенератора ТГ, напряжение которого включено встречно задающему напряжению, снимаемому с регулятора скорости РС. С целью получения более жестких механических характеристик двигателя и, следовательно, расширения его диапазона регулирования скорости вращения в системе управления используется двухкаскадный электронный усилитель (первый каскад на триоде 1Л и второй на лампах 2Л и 3Л), на выход которого включены обмотки управления ЭМУ 10У и 20У, соединенные встречно. Для повышения общего коэффициента усиления системы целесообразно использовать ЭМУ с низкоомными обмотками управления, тахогенератор с большим коэффициентом усиления и якорь его с низкоомной обмоткой.

Для статических систем регулирования, к которым относится и рассматриваемая, связь между требуемым диапазоном регулирования скорости вращения, точностью поддержания скорости и коэффициентом усиления системы дается следующим соотношением:

$$k = \frac{\gamma_p}{\gamma_3} D - 1, \quad (4.23)$$

где k — коэффициент усиления системы; $\gamma_p = \frac{I_{н\pi,л}}{U_n}$ — относительный перепад скорости при номинальной нагрузке и номинальном напряжении на якоре двигателя в разомкнутой системе; γ_3 — желаемый относительный перепад скорости в замкнутой системе; D — диапазон регулирования скорости вращения двигателя.

Схема работает следующим образом. В начале пуска двигателя, когда скорость его мала, оказывается незначительным напряжение тахогенератора, и почти все задающее напряжение, снимаемое с потенциометра РС, подается на вход лампы 1Л, обеспечивая наибольшую разность токов в ее анодных цепях. При этом нарушается баланс сеточных напряжений на лампах 2Л и 3Л; на одной из них напряжение оказывается более положительным, а на дру-



гой более отрицательным, что приводит к значительной разнице в анодных токах ламп 2Л и 3Л, а следовательно, к большей разнице в токах управления, протекающих по обмоткам 10У и 20У. Поэтому быстро нарастает э. д. с. ЭМУ и двигатель разгоняется до скорости, обусловленной установкой движка регулятора (потенциометра) РС. В установившемся режиме напряжение тахогенератора сравнительно мало отличается от задающего. С целью уменьшения динамической ошибки и повышения быстродействия привода вводятся гибкие обратные связи — по ускорению и первой производной по ускорению. Э. д. с. управления, пропорциональная ускорению двигателя, получается с помощью стабилизирующего трансформатора, первичная обмотка которого 2ТС-1 через сопротивление R включена на напряжение тахогенератора. Вторичные обмотки этого трансформатора 2ТС-2 включены на вход промежуточного усилителя. Ток, протекающий через емкость C и первичную обмотку 2ТС-1, наводит во вторичных обмотках 2ТС-2 э. д. с. управления, пропорциональную второй производной скорости (первой производной по ускорению двигателя).

Повышению динамических свойств системы способствует также гибкая отрицательная обратная связь по току поперечной цепи ЭМУ, осуществляемая стабилизирующим трансформатором 1ТС, вторичные обмотки которого 1ТС-2 включены на вход ламп 2Л и 3Л. В рассмотренном электроприводе изменением напряжения можно довести диапазон регулирования скорости вращения двигателя до $(300 \div 400) : 1$. С целью расширения диапазона регулирования скорости вращения двигателя применяется ослабление магнитного потока двигателя, осуществляемое в рассматриваемой схеме при использовании четырехполюсного двигателя с волновой обмоткой на якоре, состоящей из двух параллельных ветвей следующим образом. Поток, создаваемый одной частью обмотки возбуждения 1ВД, расположенной на двух смежных полюсах, не меняется. Другая часть обмотки возбуждения 2ВД при срабатывании реле РБ отключается, чем ослабляется магнитный поток и возрастает скорость двигателя.

В схеме предусмотрен узел ограничения тока, вступающий в действие в том случае, если падение напряжения на компенсационной обмотке КО, обусловленное током якорной цепи ЭМУ, превышает эталонное напряжение, снимаемое с 1П.

Уравнение статической характеристики двигателя определится из следующей системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} (U_3 - U_{o.c})k - U_{т.о} \frac{k\omega}{k_R} 1 (I - I_{отс}) k_{ЭМУ} &= E; \\ U_{o.c} &= \gamma\omega; \\ U_{т.о} &= I_{в} R_{к.о}; \\ E &= k_{д}\omega + IR. \end{aligned} \right\} \quad (4.24)$$

Совместное решение приведенных уравнений дает зависимость скорости двигателя от тока:

$$\omega = \frac{U_3 k' - IR/k_d - I_B R_{к.о} \frac{k_w}{k_R} (1 - I_{отс}) k''}{1 + k' \gamma}, \quad (4.25)$$

где $k' = \frac{k}{k_d}$; k — коэффициент усиления системы (электронный усилитель — ЭМУ); $k'' = \frac{k_{ЭМУ}}{k_d}$; $k_{ЭМУ}$ — коэффициент усиления ЭМУ; $k_d = \frac{E_d}{\omega}$ — коэффициент пропорциональности между э. д. с.

двигателя и его скоростью при номинальном потоке; $k_w = \frac{w_{к.о}}{w_{0y1}}$;

$k_R = \frac{R_{к.о}}{R_{0y1}}$ — коэффициенты приведения к обмотке управления ЭМУ;

U_3 , $U_{о.с.}$, $U_{т.о}$ — напряжения, соответственно задающее, обратной связи, на компенсационной обмотке ЭМУ; I_B , $R_{к.о}$ — соответственно ток, протекающий по компенсационной обмотке, и ее сопротивление.

Для компенсации остаточного магнетизма ЭМУ, при выключенной системе управления, замыкаются контакты реле РГ и обмотки управления 1ОУ и 2ОУ подключаются на зажимы якоря ЭМУ. Диапазон регулирования скорости вращения двигателя, питаемого от ЭМУ поперечного поля, может быть расширен еще в большей мере (до 1800 : 1), если дополнить приведенную на рис. 4.20 схему. С этой целью в систему управления вводится еще одна обмотка управления, включаемая на напряжение ЭМУ так, что ею создается задающий сигнал и реализуется обратная связь по напряжению. Обратная связь по скорости, как и в предыдущем случае, реализуется обмотками 1ОУ и 2ОУ, включенными встречно на выход двухкаскадного электронного усилителя. В такой схеме регулирование скорости осуществляется изменением тока возбуждения в управляющей обмотке так же, как это выполнено по схеме на рис. 4.19, а обмотки управления 1ОУ и 2ОУ предназначены для поддержания скорости двигателя на заданном уровне с высокой точностью.

Стремление отказаться от сравнительно сложных электромашинных преобразователей недостаточно экономичных и отличающихся относительно невысоким быстродействием привело к созданию различных схем для регулирования скоростей двигателей постоянного тока, где используются магнитные усилители или полупроводниковые преобразователи.

Принципиальная электрическая схема включения двигателя постоянного тока, регулируемого при помощи магнитных усилителей через полупроводниковые выпрямители, показана на рис. 4.21. Для диапазона регулирования скорости, равного 10 : 1, в схеме предусмотрены две

обратные связи: положительная по току, осуществляемая обмоткой управления магнитного усилителя ω_2 , обтекаемой током, пропорциональным току якоря, и отрицательная по напряжению, выполняемая обмоткой ω_3 , которая одновременно является задающей. По ней протекает ток, обусловленный разностью задающего напряжения, снимаемого с потенциометра ПЗ, и напряжения на зажимах якоря двигателя. Рассматриваемая система, кроме того, имеет еще

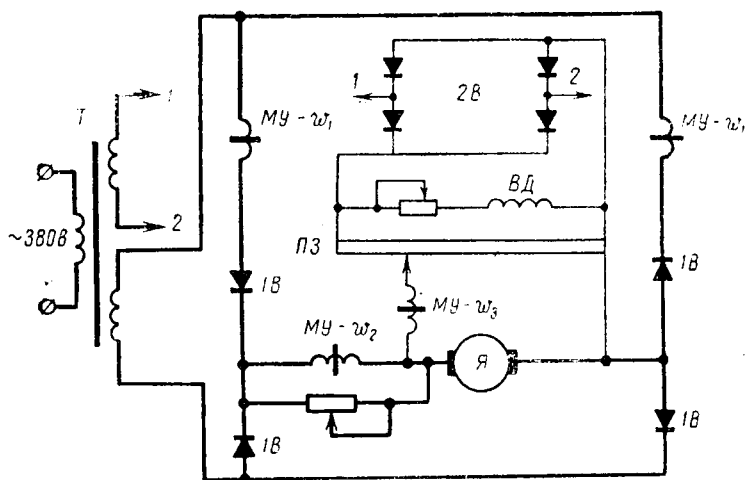


Рис. 4.21. Схема автоматического регулирования скорости вращения двигателя при помощи магнитных усилителей

внутреннюю положительную обратную связь, создаваемую постоянной составляющей тока в обмотках переменного тока ω_1 , включенных последовательно с однополупериодным выпрямителем. При возрастании нагрузки двигателя увеличивается и постоянная составляющая, что приводит к уменьшению падения напряжения в этих обмотках и соответствующей компенсации падения скорости двигателя с увеличением нагрузки.

Примерные экспериментальные механические характеристики двигателя для серии электроприводов типа ПМУ, отвечающие рис. 4.21, приведены на рис. 4.22.

К достоинствам рассмотренной схемы необходимо отнести надежность работы и простоту преобразовательного и регулирующего элементов устройства в сравнении с различного рода электромашиными преобразователями. Недостатком этой схемы является ее сравнительно большая инерционность. Устранить этот недостаток, т. е. повысить быстродействие системы, что важно, например, для ограничения нагрузки механизма подачи, возможно, если применить специальный быстродействующий магнитный усилитель.

Расширение диапазона регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока до 100 : 1 может быть достигнуто при ис-

пользовании магнитных усилителей с выпрямителями, если компенсация падения скорости осуществляется введением отрицательной обратной связи по скорости при помощи тахогенератора и промежуточного усилителя.

На рис. 4.23 приведена принципиальная схема привода серии ПМУ-П, разработанного ЭНИМСом. Здесь якорь двигателя постоянного тока независимого возбуждения питается от сети переменного тока через трехфазный выпрямительный мост 1В и магнитный усилитель с рабочими обмотками ω_1 и выпрямитель 3В. Магнитный усилитель имеет две обмотки управления: ω_3 — обмотка смещения и ω_2 — задающая, которая питается от отдельного выпрямителя (так же, как и ω_3 ; выпрямители для питания обмоток ω_2 и ω_3 на схеме не показаны) через трехкаскадный транзисторный усилитель. Обмотки ω_2 и ω_3 показаны состоящими из трех отдельных обмоток, так как трехфазный магнитный усилитель состоит из трех однофазных. Намагничивающая сила обмотки смещения выбрана так, что при отсутствии тока в обмотке ω_2 магнитный усилитель закрыт.

Задающее напряжение, снимаемое с потенциометра ПЗ, подключенного к источнику стабилизированного напряжения (СН — феррорезонансный стабилизатор), сравнивается с напряжением тахогенератора, и их разность подается на вход транзисторного усилителя, выходной сигнал которого поступает на обмотку ω_2 и от которого зависит напряжение на якоре двигателя.

Для стабилизации работы привода вводится в усилитель сигнал гибкой обратной связи по напряжению на якоре двигателя с помощью цепочки R—C.

В трехкаскадном усилителе (1ПТ, 2ПТ и 4ПТ) транзисторы включены по схеме с общим эмиттером; вход усилителя шунтирован диодами 1Д и 2Д, защищающими его от перенапряжений, которые могут возникнуть при пуске, резких изменениях задающего напряжения и др. В установившемся режиме эти диоды не оказывают влияния на работу усилителя, так как порог их отпираания выше уровня сигнала полного отпираания транзисторов.

Триод 3ПТ с трансформатором тока ТТ, выпрямителем 2В, диодами 3Д и 4Д образуют узел токовой «отсечки». При превышении тока сверх заданной величины напряжение на выходе выпрямителя 2В достигает значения, при котором происходит отпирание стабилитронов 3Д, а также 4Д и возникновение на базе триода 3ПТ отпирающего напряжения, в результате чего повышается потенциал на базе 4ПТ и он запирается. При этом падает ток в

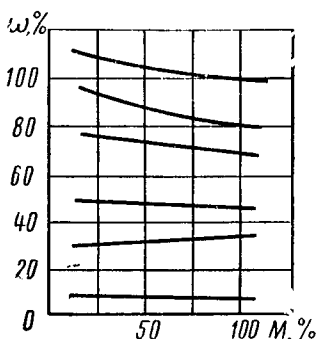


Рис. 4.22. Механические характеристики двигателя, включенного по схеме рис. 4.21

обмотке ω_2 и уменьшается ток якоря двигателя: происходит пуск двигателя при определенном значении тока якоря. Механические характеристики двигателя оказываются в рассматриваемой схеме мало зависящими от нагрузки в диапазоне регулирования скорости вращения 100:1. Введение промежуточного усилителя дает увеличение общего коэффициента усиления системы и, как следствие, повышение точности регулирования, уменьшение мощности управления и повышение быстродействия магнитного усилителя.

Так как система регулирования магнитный усилитель — двигатель нелинейна, главным образом за счет нелинейности характеристик магнитного усилителя, то расчет характеристик двигателя целесообразно производить графо-аналитическим методом. Определение параметров обратных связей по напряжению и току, а также по скорости производится по внешней характеристике магнитного усилителя, исходя из заданного диапазона регулирования скорости вращения и допустимой жесткости механической характеристики. Более подробно методика расчета характеристик приведена в [Л. 29].

Коэффициент полезного действия η и $\cos \varphi$ имеют максимальные значения при наибольшей скорости двигателя и номинальной нагрузке. Со снижением скорости или нагрузки уменьшаются η и $\cos \varphi$, которые по данным ЭНИМСа могут быть подсчитаны по формулам:

$$\eta = \eta_d \frac{k_1 \left(r_{\text{я}} + k \frac{\omega}{I} \right)}{a \left(r_{\text{я}} + r_{\text{в}} + r_{\text{др}} + k \frac{\omega}{I} \right)}; \quad (4.26)$$

$$\cos \varphi = \frac{I r_{\text{я}}}{k_1 U} + \frac{k \omega}{k_1 U}, \quad (4.27)$$

где η_d — к. п. д. двигателя; $r_{\text{я}}$ — сопротивление якоря; k — конструктивная постоянная двигателя; $r_{\text{в}}$ — прямое сопротивление вентиля; $r_{\text{др}}$ — активное сопротивление дросселя; k_1 — коэффициент формы тока; a — численный коэффициент, равный единице в случае однофазного питания и трем для трехфазного питания; U — напряжение сети переменного тока.

Динамические характеристики приводов с магнитными усилителями определяются не только параметрами элементов привода, но зависят и от режимов, в которых эти элементы работают. Например, в приводах серии ПМУ характер кривых переходных режимов зависит, в частности, от глубины положительной обратной связи по току, в ПМУ-П — от настройки промежуточного усилителя по корректирующей связи.

Замена электромашинного преобразователя тиристорным позволяет создать более надежную систему электропривода, обладающую высоким быстродействием, жесткими механическими характе-

ристиками. Тиристорный преобразователь требует существенно меньшего расхода электротехнических материалов, имеет меньшие габариты. Относительно более высокая стоимость тиристорного преобразователя в настоящее время в сравнении с электромашинным будет снижаться по мере расширения производства тиристоров.

Промышленный выпуск тиристорных преобразователей за рубежом начался с 1961 г. в США и позднее во многих других странах — ФРГ, Англии, Франции, Японии. Иностранными фирмами выпускаются комплектные тиристорные электроприводы для главных механизмов и механизмов подач металлорежущих станков. У нас работы по созданию тиристорных преобразователей начались позднее, но в настоящее время их разработкой и внедрением занимается большое число организаций. Так, например, ЭНИМС разработал тиристорные преобразователи для управления двигателями постоянного тока механизмов подач различных станков [Л. 24].

В связи с разнообразными технологическими требованиями, которые предъявляются различными станками, ЭНИМСом разработаны принципиальные схемы серии тиристорных преобразователей в трех основных исполнениях (все типоразмеры выполняются трехфазными):

1) для нереверсивных приводов с диапазоном регулирования скорости до $200 : 1$ принята мостовая схема, обеспечивающая небольшую зону прерывистых токов, в которой могут быть использованы вентили сравнительно невысокого класса;

2) для реверсивных приводов с диапазоном регулирования скорости до $300 : 1$ используется сравнительно простая схема с нулевым выводом;

3) для реверсивных приводов с диапазоном регулирования до $2000 : 1$ принята мостовая трехфазная схема, в которой значительно снижена индуктивность уравнительных реакторов, что позволяет повысить быстродействие привода*.

Схема тиристорного преобразователя для нереверсивного привода приведена на рис. 6.14. Здесь более подробно рассмотрим схему реверсивного тиристорного преобразователя для приводов подач с диапазоном регулирования до $300 : 1$, которая может быть использована в продольно-фрезерных, расточных станках и др.

Электропривод (рис. 4.24) состоит из силового трансформатора, реверсивного тиристорного преобразователя, включенного по трехфазной «нулевой» схеме с элементами управления (показанными в виде отдельных блоков), и двигателя, якорь которого подключен между нулевой точкой вторичной обмотки трансформатора и общей точкой уравнительных реакторов. Обмотка возбуждения питается от отдельного источника выпрямленного напряжения.

* Возможно использование раздельного управления выпрямительной и инверторной группами вентилях, что позволяет за счет некоторого усложнения схемы управления исключить уравнительные реакторы в силовой цепи преобразователя.

[illegible]

Для получения большого диапазона регулирования принята система автоматического управления с отрицательной обратной связью по скорости. Разность задающего напряжения, снимаемого с потенциометра *1П* и напряжения тахогенератора через корректирующее интегродифференцирующее звено *БК*, подается на усилитель *У*. Питание блоков управления тиристорами *1БУ÷6БУ* и усилителя *У* осуществляется от промежуточного понижающего трансформатора *ТП*. От этого же трансформатора питаются блок пилообразного напряжения *БПН* и блок задающего напряжения *БЗН*.

Блок управления (рис. 4.25) состоит из фазосдвигающего устройства с формирователем (транзистор *1ПТ*), усилителя (*2ПТ*) и

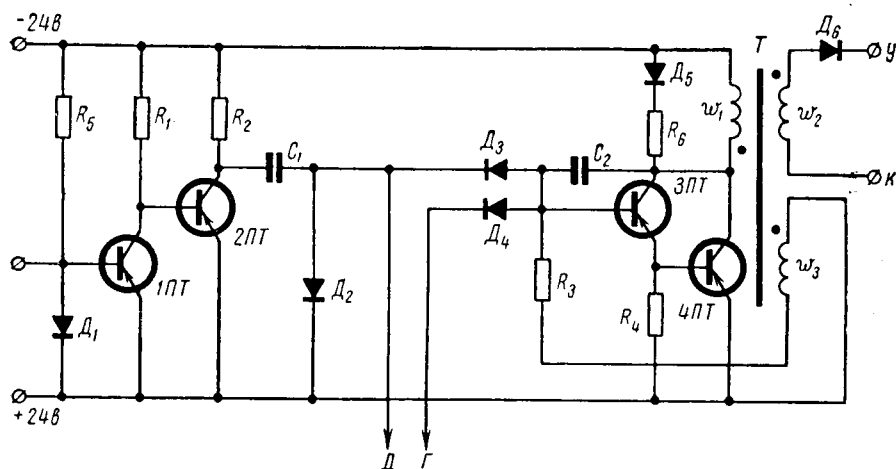


Рис. 4.25. Схема блока управления

генератора импульсов, выполненного по схеме ждущего блокинг-генератора (*3ПТ* и *4ПТ*). Фазосдвигающее устройство работает по принципу вертикального управления. На вход системы управления подаются два напряжения: напряжение пилообразной формы и управляющее напряжение постоянного тока, изменяющееся по величине и полярности. Необходимый сдвиг пилообразного напряжения (на 120°) относительно анодного напряжения обеспечивается соответствующим включением обмоток трансформатора *БПН* (рис. 4.26) относительно вторичных обмоток силового трансформатора. При сложении управляющего и пилообразного напряжений в цепи базы *1ПТ* (см. рис. 4.25) в его коллекторной цепи протекает ток, имеющий форму прямоугольных импульсов, положение и длительность которых определяются величиной и полярностью управляющего напряжения. Снимаемый с формирователя импульс по-

дается на базу триода $2ПТ$, который усиливает его и меняет фазу, после чего импульс дифференцируется. Положительный импульс срезается диодом $Д_2$, а отрицательный подается на $3ПТ$, после чего открывается $4ПТ$ и запускается ждущий блокинг-генератор. Ток, протекающий при этом в обмотке трансформатора T , создает э. д. с., направленную на поддержание тока коллектора $4ПТ$ и после снятия входного импульса. Для устранения влияния ложных импульсов на срабатывание блокинг-генератора в цепь база — коллектор $3ПТ$ включен конденсатор C_2 , снижающий чувствительность блокинг-генератора к коротким сигналам. Со вторичной обмотки трансформатора T через последовательно включенный диод подается сигнал на управляющий электрод тиристора. В трехфазной мостовой схеме одновременно должны работать два тиристора: один — в анодной, другой — в катодной группах, для чего необходимо подать два отпирающих импульса, сдвинутых на 60 эл. град. Подача этих импульсов на управляющие электроды двух тиристоров обеспечивает правильность коммутации. Как упоминалось, для формирования управляющих импульсов служит блок пилообразного напряжения $БПН$, получаемого при сложении синусоиды с двумя полусинусоидами, сдвинутыми относительно основной синусоиды на $\pm 60 \text{ эл. град.}$

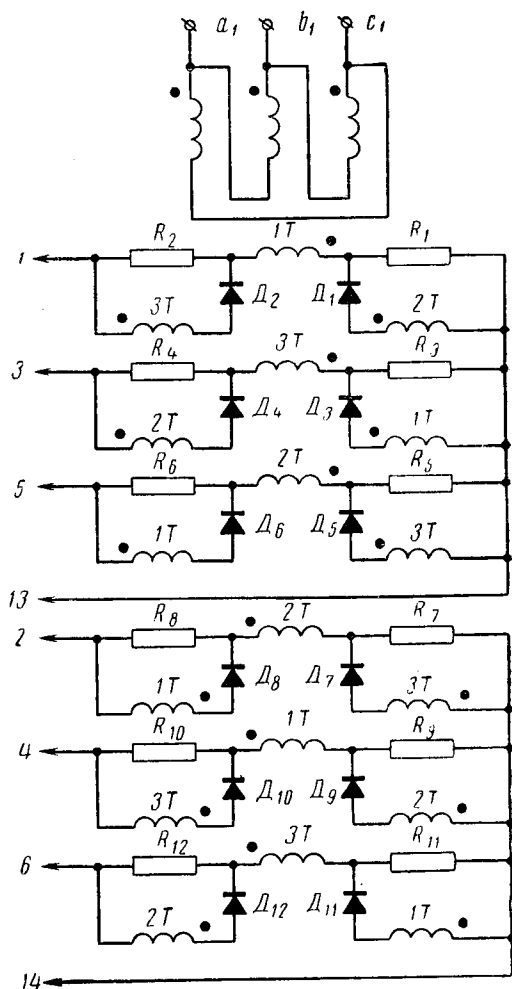


Рис. 4.26. Схема блока пилообразного напряжения

Схема источника пилообразного напряжения (см. рис. 4.26) рассчитана на питание шести блоков управления (по числу тири-

сторов). БПН выполнен на трех одинаковых трансформаторах, каждый из которых имеет одну первичную и шесть вторичных обмоток. Пилообразное напряжение образуется при сложении трех напряжений с трех вторичных обмоток трансформатора.

Начальный фазовый сдвиг пилообразного напряжения относительно тиристора анодной группы должен обеспечивать (при равенстве нулю управляющего

напряжения) сдвиг импульса относительно точки естественного отпирания тиристора на 90° , что отвечает нулевой скорости двигателя.

Схема соединения для второй тиристорной группы аналогична первой, но обмотка трансформатора имеет противоположную полярность.

Блок пилообразного напряжения обеспечивает изменение угла отпирания до 200 эл. град.

В рассматриваемом тиристорном преобразователе для обеспечения диапазона регулирования скорости двигателя до 300 : 1 используется промежуточный транзисторный усилитель.

В узле токоограничения сигнал, пропорциональный току якоря, снимается на стороне переменного тока с помощью трансформатора тока с выпрямителем на выходе и через фильтр и стабилизаторы подается на вход

выходного каскада усилителя. Сигнал токоограничения поступает на второй вход усилителя при повышении в якорной цепи допустимого тока (тока уставки). Действие узла токоограничения понятно из схемы, приведенной на рис. 4.27.

На основании известного уравнения электрического равновесия для цепи преобразователь — двигатель и в результате соответствующих преобразований можно получить уравнение для э. д. с. двигателя в области непрерывных токов:

$$E = \sqrt{2} U \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \cos \alpha - \frac{I_d r_{\Sigma}}{\sqrt{2} U}, \quad (4.28)$$

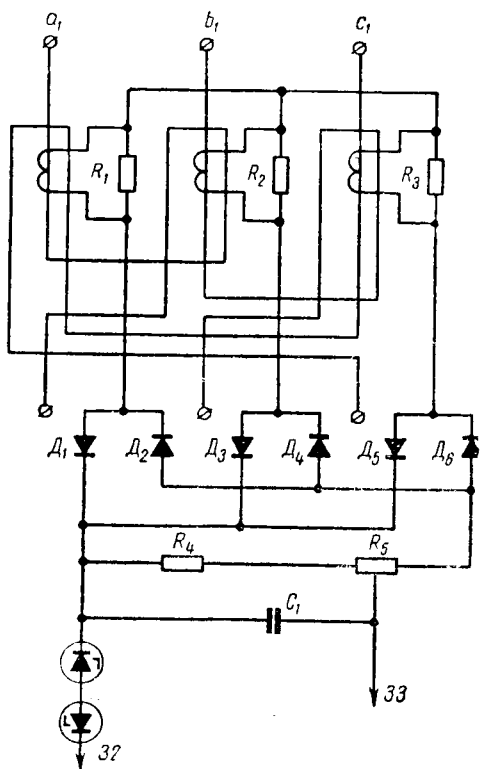


Рис. 4.27. Схема узла токоограничения

где U — эффективное значение фазного напряжения; α — угол отпирания тиристора, отсчитываемый от точки естественного отпирания; r_s — активное сопротивление якорной цепи; I_d — среднее значение тока якоря.

При неизменном потоке двигателя э. д. с. его однозначно связана со скоростью; в относительных единицах уравнение скоростной характеристики имеет вид

$$v = \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \cos \alpha - \rho I_d^*, \quad (4.29)$$

где I_d^* , ρ — соответственно относительное значение тока и сопротивление якорной цепи.

Получение большого диапазона регулирования скорости вращения двигателя возможно, как указывалось, в системе автоматического регулирования. Необходимый коэффициент усиления разомкнутой системы управления определяется по величине относительного перепада скорости при заданных пределах изменения момента нагрузки и величине требуемого статизма в замкнутой системе по формуле

$$k \geq \frac{\Delta \omega}{\omega_0} \cdot \frac{D}{\delta}, \quad (4.30)$$

где $\frac{\Delta \omega}{\omega_0}$ — относительный перепад скорости двигателя в разомкнутой системе; D — диапазон регулирования; δ — требуемый статизм замкнутой системы.

Для приводов подач с диапазоном до 300 : 1 величина статизма принимается равной примерно 0,03 ÷ 0,05; для систем с диапазоном до 2000 : 1 — 0,06 ÷ 0,1.

Примерные механические характеристики двигателя при питании его от реверсивного тиристорного преобразователя приведены на рис. 4.28. Полагая преобразователь безынерционным до определенной частоты, далеко отстоящей от частоты среза системы автоматического регулирования, и допуская, с известной степенью точности, зависимость э. д. с. (U_d) его от входного сигнала линейной, можно передаточную функцию разомкнутой системы без корректирующих звеньев представить в виде

$$W(p) = \frac{k}{(T_{\pi} T_m p^2 + T_m p + 1)(T_0 p + 1)}, \quad (4.31)$$

где k — коэффициент усиления системы, равный произведению коэффициентов усиления всех звеньев; T_{π} , T_m — соответственно электромагнитная и электромеханическая постоянные времени двигателя; T_0 — постоянная времени апериодического звена на входе системы управления.

Здесь предполагается, что система состоит из безынерционного промежуточного усилителя с коэффициентом усиления k_y , звена

ограничения скорости нарастания входного сигнала с передаточной функцией $W_0(p)$, тиристорного преобразователя с коэффициентом усиления k_n , двигателя с передаточной функцией $W_d(p)$ и тахогенератора с коэффициентом усиления k_t . Для приводов с широким диапазоном регулирования и сравнительно высокой жесткостью

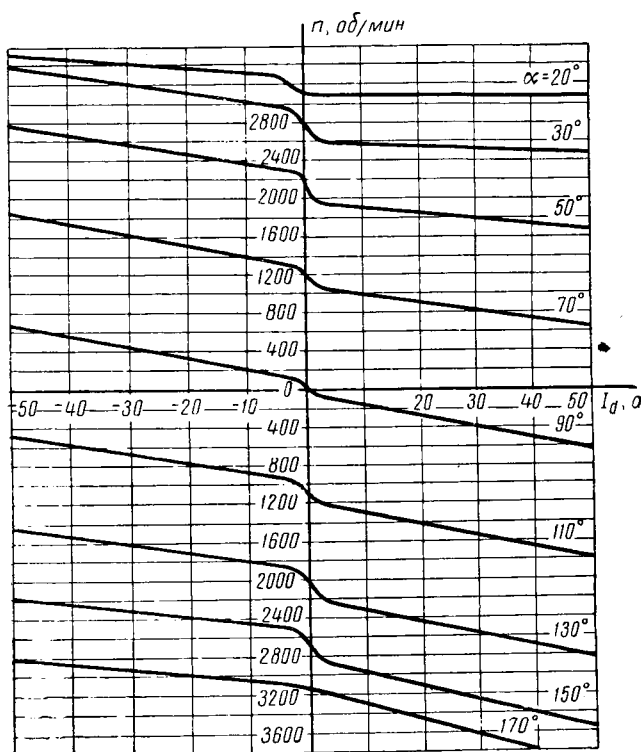


Рис. 4.28. Примерные механические характеристики двигателя независимого возбуждения, питаемого от реверсивного тиристорного преобразователя

механических характеристик, а также для обеспечения высоких динамических показателей привода необходимо введение в систему управления корректирующего звена. Выбор методов коррекции и типа корректирующего звена связан с особенностями привода с тиристорным преобразователем. К ним относятся значительно меньшая инерционность чем у ЭМУ, заметные пульсации напряжения на выходе и наличие двух режимов — прерывистого и непрерывного тока, имеющих значение в нереверсивных преобразователях с числом фаз $m=3$ и менее.

Наличие пульсаций напряжения сравнительно большой амплитуды на выходе преобразователя с частотой $f \cdot m$ приводит к необходимости применения последовательной коррекции путем непосредственного включения пассивных четырехполюсников на вход (или выход) промежуточного усилителя или охватом его гибкой обратной связью. Структурная схема с включением корректирующего звена на вход промежуточного усилителя приведена на рис. 4.29, а.

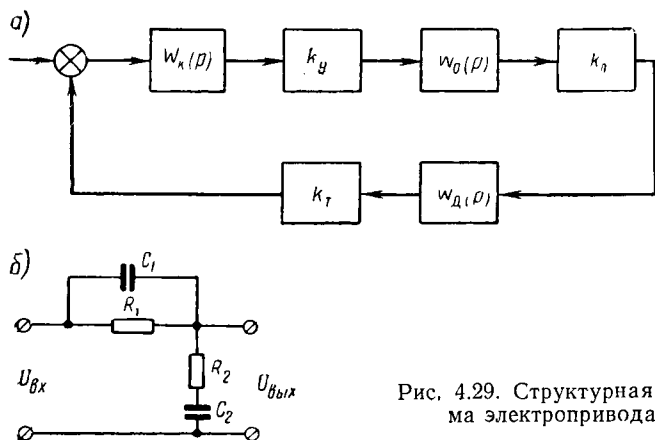


Рис. 4.29. Структурная схема электропривода

Применение интегродифференцирующего звена (рис. 4.29, б), передаточная функция которого

$$W_k(p) = \frac{(1 + pT_1)(1 + pT_3)}{(1 + pT_2)(1 + pT_4)},$$

обеспечивает наибольшее быстродействие системы.

Передаточная функция системы с использованием интегродифференцирующего звена [Л. 24]

$$W(s) = \frac{k(1 + \alpha s)(1 + \varepsilon s)}{(1 + \sqrt{\lambda \gamma} s)^2 (1 + s)(1 + \beta s)(1 + \zeta s)}, \quad (4.32)$$

где $s = pT_0$, $\alpha = \frac{T_1}{T_0}$, $\beta = \frac{T_2}{T_0}$, $\gamma = \frac{T_M}{T_0}$, $\lambda = \frac{T_\pi}{T_0}$,

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_0}, \quad \zeta = \frac{T_4}{T_0}, \quad T_1 = R_2 C_2, \quad T_2 = R_1 C_2,$$

$$T_3 = R_1 C_1, \quad T_4 = R_2 C_1.$$

Выбор параметров корректирующего звена производится в зависимости от требуемого характера переходного режима.

При использовании интегродифференцирующего звена для коррекции переходного режима параметры α и ε определяются параметрами двигателя исходя из того, что при $T_M \leq 4T_n$ ($\gamma \leq 4\lambda$)

$$\alpha = \varepsilon = \sqrt{\lambda \gamma},$$

а при $T_n > 4T_M$ ($\gamma > 4\lambda$)

$$\alpha = \frac{2\lambda\gamma}{\gamma - \sqrt{\gamma^2 - 4\lambda\gamma}};$$

$$\varepsilon = \frac{2\lambda\gamma}{\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 4\lambda\gamma}}.$$

Уравнение разомкнутой системы примет вид

$$W(s) = \frac{k}{(1 + \beta s)(1 + s)(1 + \zeta s)}. \quad (4.33)$$

Уравнение замкнутой системы при управляющем воздействии:

$$\Phi(s) = \frac{k}{(1 + \beta s)(1 + s)(1 + \zeta s) + k}. \quad (4.34)$$

При значениях $\zeta < 0,1$ и не очень больших $\eta = \frac{k}{\beta}$ (полагая $\beta \gg 1$ и $k \gg 1$) можно получить простое характеристическое уравнение

$$s^2 + s + \eta = 0 \quad (4.35)$$

и найти (по теореме разложения) уравнение переходного процесса

$$N(t') = 1 - e^{-0,5t'} \left(\cos \omega t' + \frac{1}{2\omega} \sin \omega t' \right). \quad (4.36)$$

По (4.36) построено семейство кривых переходного процесса при управляющем воздействии, приведенное на рис. 4.30, а. Здесь $t' = t/T_0$ — время в относительных единицах.

При возмущающем воздействии по нагрузке передаточная функция замкнутой системы

$$M(p) = \frac{\Delta IR}{U_n} \cdot \frac{1 + T_n p}{(T_n T_M p^2 + T_M p + 1)[1 + W(p)]}. \quad (4.37)$$

Или, выражая постоянные времени в относительных единицах, после преобразований получим

$$m(s) = \frac{\nu(1 + \lambda s)(1 + \beta s)(1 + s)(1 + \zeta s)}{(\lambda \gamma s^2 + \gamma s + 1)[(1 + \beta s)(1 + s)(1 + \zeta s) + k]}, \quad (4.38)$$

где $\nu = \frac{\Delta IR}{U_n}$.

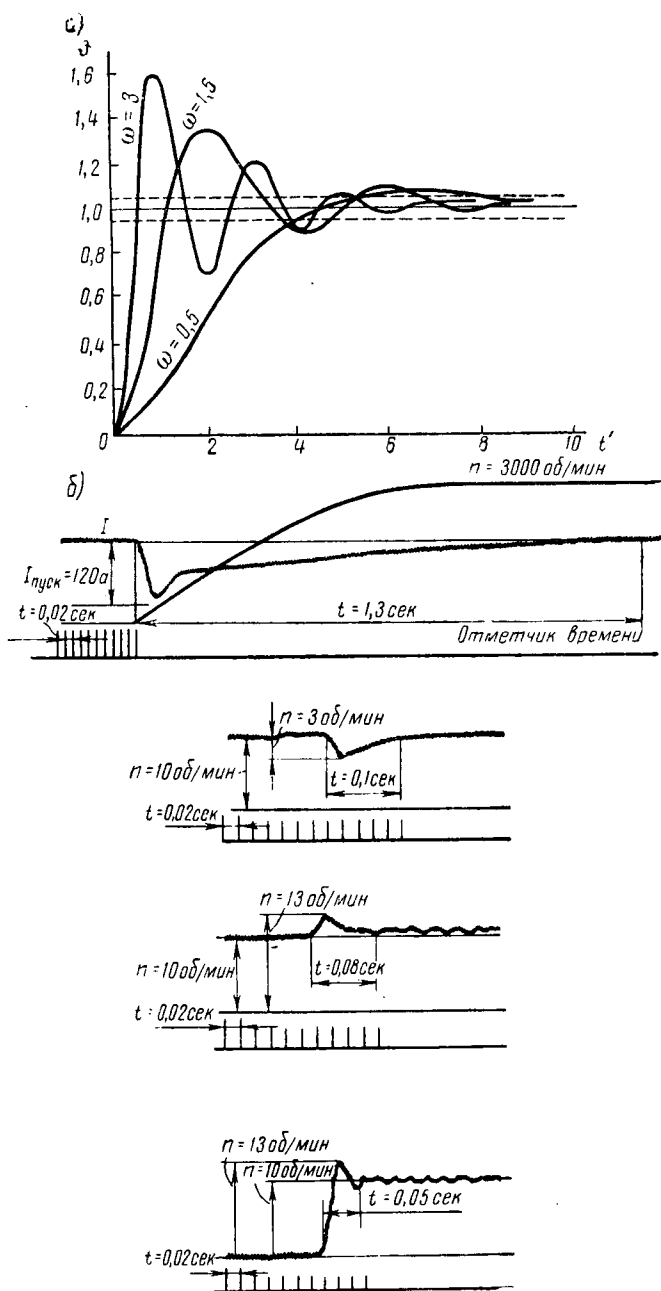


Рис. 4.30. Кривые переходного процесса

Выражение (4.38) можно упростить, если полагать $k \gg 1$, $\beta \gg 1$, $\xi \ll 1$; тогда

$$m(s) = \frac{\nu(1+s)}{(\gamma s + 1)(s^2 + s + \eta)}. \quad (4.39)$$

Пользуясь (4.39) и применяя теорему разложения, получим уравнение переходного процесса

$$N(t') = \frac{\nu n_n}{\gamma \eta} \left[e^{-t'/\tau} - e^{-0,5t'} \left(\cos \omega t' - \frac{4\omega^2 - 1}{4\omega} \sin \omega t' \right) \right]. \quad (4.40)$$

На рис. 4.30, б показаны осциллограммы управления двигателем постоянного тока от тиристорного преобразователя типа ПТ50-3Р.

Для приводов подач с небольшим диапазоном регулирования применяются также и более простые схемы с меньшим числом тиристоров. Так, используются мостовые несимметричные схемы, в

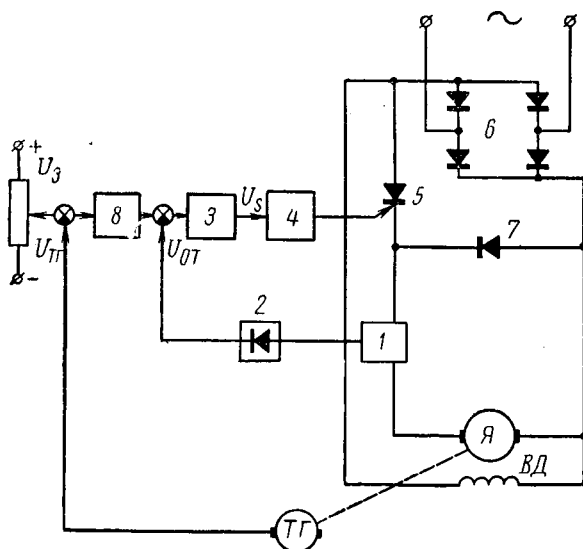


Рис. 4.31. Неревверсивная схема автоматического управления с тиристорным преобразователем

которых одна (например, катодная) группа комплектуется из тиристоров, другая — из диодов. При этом число тиристоров, в сравнении с рассмотренной схемой, сокращается вдвое.

Представляет интерес неревверсивная схема, приведенная в упрощенном виде на рис. 4.31 для управления двигателями постоянного тока небольшой мощности (до $5 \div 7$ кВт) [Л. 38]. Простой преобразователь состоит из двухполупериодного полупроводникового вы-

прямителя, на вход которого подается однофазный переменный ток, а на выходе последовательно с якорем двигателя включен один тиристор; параллельно якору присоединен коммутирующий диод.

Система управления приводом замкнутая, имеет отрицательную обратную связь по скорости, осуществляемую с помощью тахогенератора, и по току, ограничивающему величину тока в якорной цепи. Желаемая скорость устанавливается напряжением U_3 и напряжением тахогенератора $U_{тг}$; разность этих сигналов подается на усилитель 8, напряжение с выхода которого сочетается с напряжением $U_{0.т.}$, пропорциональным величине тока якоря и снимаемым с измерительного устройства 1. Разность этих напряжений подается на усилитель 3, вырабатывающий управляющее напряжение U_s , которое вводится в импульсное устройство 4; последнее меняет угол отпирания тиристора 5.

Рассмотренная система обеспечивает диапазон регулирования скорости вращения до 100 : 1; она проста, обладает высоким быстродействием, малыми габаритами и высоким к. п. д. К недостаткам этой системы можно отнести заметные пульсации напряжения, которые могут быть сглажены фильтром. Торможение — динамическое (на схеме не показано).

§ 4.6. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПРИВОДА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДИАМЕТРА ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ

Этот вопрос имеет существенное значение для крупных карусельных, токарных, шлифовальных и других станков, обрабатывающих детали больших диаметров. Автоматическое увеличение скорости вращения главного двигателя по мере уменьшения диаметра обработки с целью поддержания постоянной скорости резания дает значительное снижение машинного времени в сравнении с постоянной скоростью привода, а следовательно, повышение производительности.

Для осуществления автоматического регулирования скорости шпинделя используются электроприводы переменного и постоянного тока.

Автоматически регулируемый электропривод переменного тока находит применение для токарных станков небольшой и средней мощности, обрабатывающих, например, коленчатые валы, и выполняется от многоскоростного электродвигателя. На рис. 4.32 представлена принципиальная электрическая схема автоматического регулирования скорости четырехскоростного асинхронного короткозамкнутого двигателя. Рассмотрим действие схемы при условии, что каретка суппорта отведена на наибольшее расстояние от продольной оси шпинделя. В исходном положении контакты путевых выключателей $1ВК$, $2ВК$ и $3ВК$ разомкнуты.

При нажатии кнопки «Пуск» включается промежуточное реле $1РП$, замыкающие контакты которого шунтируют кнопку и включа-

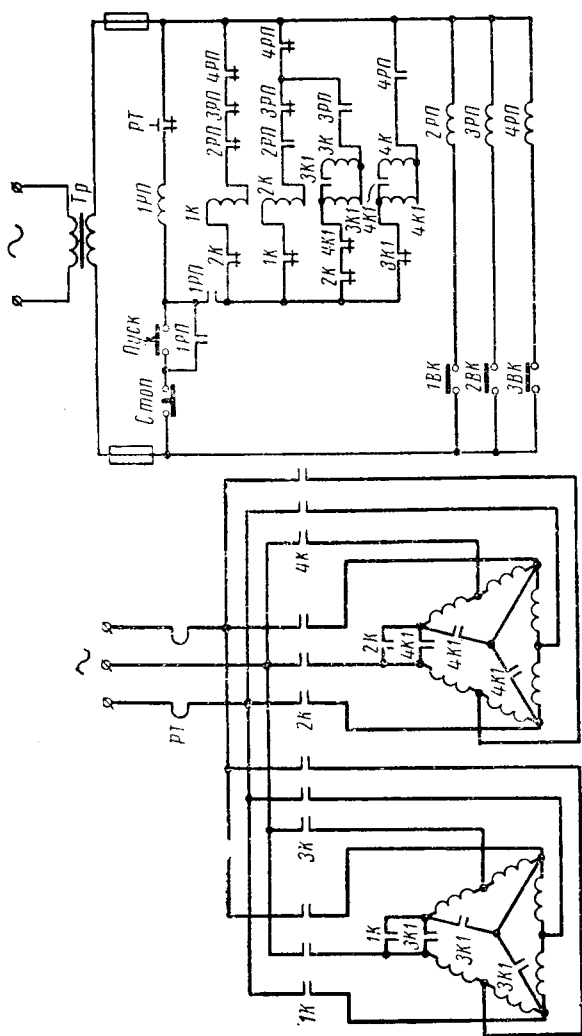


Рис. 4.32. Схема автоматического регулирования скорости с четырехскоростным двигателем

ют цель управления контакторов. Вначале, как видно из схемы, возбуждается катушка контактора *1К*, главные контакты которого, замыкаясь в силовой цепи двигателя, присоединяют его к сети. При этом первая обмотка статора соединяется в треугольник, и двигатель развивает минимальную скорость.

По прохождении суппортом определенного пути замкнется контакт путевого выключателя *1ВК* и включится промежуточное реле *2РП*, размыкающий контакт которого разомкнется. Это приведет к отключению контактора *1К*. Кроме того, замыкающий контакт *2РП* замкнется и включит контактор *2К*. При этом отключается первая обмотка статора и присоединяется к сети вторая обмотка статора, соединенная в треугольник; двигатель будет развивать вторую скорость. Необходимо отметить, что одновременное включение контакторов *1К* и *2К* невозможно, так как указанные контакторы имеют, кроме механической, также электрическую блокировку, осуществляемую размыкающим блок-контактом *1К* и контактами реле *2РП*.

Дальнейшее перемещение суппорта приводит к замыканию контактов путевого выключателя *2ВК* и включению промежуточного реле *3РП*. В этом случае размыкающий контакт *3РП*, размыкаясь, отключает контактор *2К*, а замыкающий контакт *3РП* включает контактор *3К1* и затем *3К*. Контактор *3К1* prepares первую обмотку статора для соединения ее в двойную звезду, что в сравнении с соединением в треугольник дает увеличение скорости двигателя вдвое. После включения контактора *3К* двигатель развивает третью скорость.

Наконец, при еще большем перемещении суппорта в том же направлении замкнутся контакты путевого выключателя *3ВК* и включится промежуточное реле *4РП*, размыкающие контакты которого, размыкаясь, выключают контакторы *3К* и *3К1*. Замыкающий контакт реле *4РП* замкнется и включит контактор *4К1*, контакты которого в силовой цепи готовят включение второй обмотки статора в двойную звезду. Затем включается контактор *4К*, и двигатель будет развивать наибольшую четвертую скорость.

К достоинствам рассмотренной системы следует отнести использование электродвигателя переменного тока и получение примерно такого же диапазона регулирования, как и в приводе постоянного тока, регулируемом при постоянном напряжении на якоре уменьшением тока возбуждения. Регулирование скорости может производиться при неизменной мощности, что согласуется с условиями обработки.

Недостатком данной системы являются ступенчатое регулирование скорости и неплавный переход с одной скорости на другую, а также сравнительно большое число аппаратов в силовой цепи.

Для крупных лобовых токарных станков, станков обрабатывающих коленчатые валы больших размеров, тяжелых карусельных станков и других целесообразно обеспечить плавное регулирование скорости при относительно большом диапазоне регулирования. Как

и в предыдущем случае (рис. 4.32), скорость вращения шпинделя автоматически регулируется по мере перемещения каретки суппорта в поперечном направлении.

Для обеспечения плавного регулирования скорости используется двигатель независимого возбуждения, регулируемый изменением тока возбуждения.

Упрощенная схема автоматического поддержания постоянства скорости резания при торцевой обработке изделий показана на рис. 4.33 [Л. 34]. На схеме:

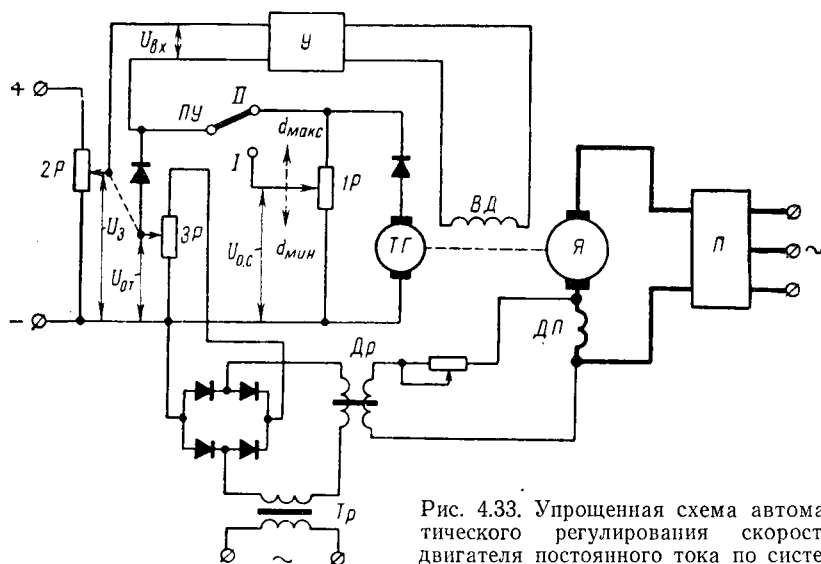


Рис. 4.33. Упрощенная схема автоматического регулирования скорости двигателя постоянного тока по системе П—Д

Я — якорь двигателя планшайбы, питаемый от преобразователя *П*;

1Р — регулятор скорости вращения двигателя (контактная щетка этого регулятора жестко связана с механизмом перемещения суппорта станка, при этом максимальному диаметру обработки соответствует верхнее (на схеме) положение рукоятки *1Р*);

2Р — регулятор, задающий начальное значение скорости двигателя (скорость двигателя в начале обработки торца изделия устанавливается заранее в зависимости от диаметра обрабатываемого изделия и режима обработки);

3Р — регулятор узла ограничения тока якоря двигателя при пуске и торможении;

Др — дроссель, подмагничиваемый током, пропорциональным току нагрузки;

ПУ — переключатель управления (положение *I* соответствует автоматическому режиму при торцевой обработке, *II* — ручному регулированию).

При неизменной подаче и уменьшении диаметра точения уменьшается напряжение $U_{0.c}$ и соответственно уменьшается напряжение на выходе усилителя U , что приводит к снижению магнитного потока двигателя D , а следовательно, к увеличению его скорости вращения.

Ограничение тока якоря в переходных режимах осуществляется введением напряжения $U_{0.т.}$, снимаемого с $3P$ и зависящего от тока якорной цепи двигателя. С увеличением этого тока возрастает ток подмагничивания дросселя Dp и растет напряжение $U_{0.т.}$, которое в сочетании с составляющими U_3 и $U_{0.c}$ приводит к увеличению тока возбуждения двигателя D . Установка узла токоограничения изменяется с изменением задающего напряжения U_3 ; с ростом U_3 возрастает и $U_{0.т.}$.

Построение графиков работы привода при автоматическом регулировании скорости двигателя с целью выявления его загрузки и динамических усилий, возникающих в передачах, может быть произведено в такой последовательности. Если полагать подачу суппорта и глубину резания при торцевой обработке постоянными, а также поддерживать автоматически скорость резания с изменением диаметра обработки неизменной, то мощность резания сохранится постоянной. Статический момент, приведенный к валу двигателя, в этом случае равен

$$M_c = \frac{M_{ст}}{i\eta_{ст}} = \frac{P_z}{\omega\eta_{ст}}, \quad (4.41)$$

где $M_{ст}$ — момент на шпинделе станка; i , $\eta_{ст}$ — передаточное отношение и к. п. д. передачи станка; P_z — мощность резания; ω — угловая скорость двигателя.

Принимая мощность резания и к. п. д. передач постоянными, получим

$$M_c = \frac{A}{\omega}.$$

Кривая изменения момента статической нагрузки M_c и диаметра d обработки изделия в зависимости от скорости ω показана на рис. 4.34, а.

Затем определяется зависимость скорости двигателя от времени при непрерывном регулировании. Так как в данном случае одновременно меняются диаметр обработки и скорость двигателя, то вначале найдем $d = f_1(t)$.

Машинное время, мин

$$dt_m = \frac{2\pi dr}{60\omega_{шп}S}, \quad (4.42)$$

где r — радиус обработки, мм; $\omega_{\text{шп}}$ — угловая скорость шпинделя, рад/сек; S — подача суппорта, мм/об.

Выражая $\omega_{\text{шп}}$ через r , из формулы $\omega_{\text{шп}} = \frac{1000v}{60r}$ получим

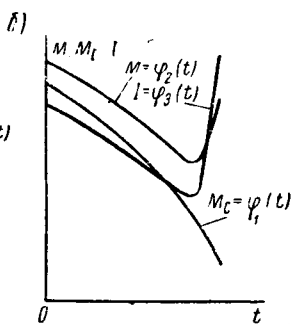
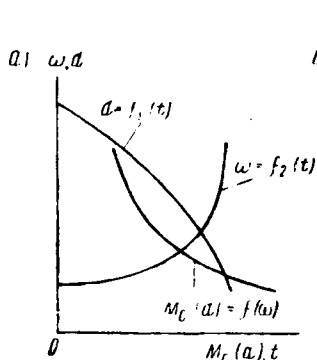


Рис. 4.34. Характеристики привода постоянного тока при автоматическом поддержании постоянства скорости резания

$$dt_m = \frac{2\pi r dr}{1000vS};$$

и так как

$$v = \text{const},$$

то

$$t_m = \frac{2\pi}{1000vS} \int_{r_2}^{r_1} r dr,$$

или

$$t_m = \frac{\pi}{1000vS} (r_1^2 - r_2^2), \quad (4.43)$$

где r_1 и r_2 — начальное и конечное значения радиуса обработки изделия.

На основании (4.43) строится зависимость $d = f_1(t)$ (см. рис. 4.34, а); затем определяется

$$\omega(t) = \frac{1000vi}{30d(t)}. \quad (4.44)$$

Пользуясь кривой $\omega = f_2(t)$, можно определить динамический момент двигателя при автоматическом регулировании в функции времени

$$M_{\text{дин}}(t) = J \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_{(t)}. \quad (4.45)$$

Электромагнитный момент, развиваемый двигателем,

$$M(t) = M_c(t) + M_{\text{дин}}(t) + M_0, \quad (4.46)$$

где M_0 — момент холостого хода двигателя, принимаемый постоянным.

По формуле (4.46) можно построить кривую $M = \varphi_2(t)$ (рис. 4.34, б), пользуясь которой легко найти зависимость тока якорной цепи $I = \varphi_3(t)$, так как $M = kI\Phi$.

Следует заметить, что характер изменения момента двигателя и соответственно тока в якорной цепи зависит не только от интервала изменения диаметров обработки, но и от абсолютного значения начального и конечного диаметров обработки. При одном и том же интервале диаметров для меньших их абсолютных значе-

ний момент и ток в якорной цепи к концу обработки изделия будут большими.

Влияние автоматического регулирования скорости привода при торцевой обработке изделий на повышение производительности иллюстрируется следующим примером.

Пример 4.3. Требуется определить машинное время на обработку чугунного диска, имеющего размеры, указанные на рис. 4.35. Обработка черновая, производится по торцу. Точение за один проход; $t=3$ мм; $S=0,8$ мм/об; $v=37$ м/мин.

Рассмотрим три варианта привода: 1) нерегулируемый ($\omega=\text{const}$) от асинхронного короткозамкнутого двигателя; 2) регулируемый от четырехскоростного асинхронного двигателя с синхронными скоростями 500/750/1000/1500 об/мин; 3) бесступенчатого регулирования.

Вариант I. Машинное время для обработки детали при $\omega=\text{const}$

$$t_{\text{мI}} = \frac{\pi l}{30 \omega_{\text{шп}} S},$$

$$\text{где } l = \frac{1500 - 300}{2} = 600 \text{ мм; } \omega_{\text{шп}} =$$

$$= \frac{1000v}{30d_{\text{макс}}} = \frac{1000 \cdot 37}{30 \cdot 1500} = 0,82 \text{ рад/сек;}$$

$$t_{\text{мI}} = \frac{\pi 600}{30 \cdot 0,82 \cdot 0,8} = 96 \text{ мин.}$$

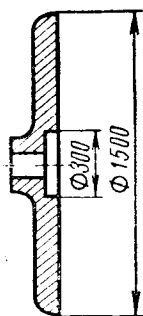


Рис. 4.35.
Эскиз обрабатываемой детали

Вариант II. Переключение скоростей двигателя происходит на ходу. Для соблюдения $v=\text{const}$ в момент переключения скоростей двигателя скорости шпинделя должны быть:

1) для скорости двигателя $n_{01}=500$ об/мин ($\omega_{01}=52,3$ рад/сек) — $\omega_{\text{шп1}}=0,82$ об/мин;

2) для скорости двигателя $n_{02}=750$ об/мин ($\omega_{02}=78,5$ рад/сек) — $\omega_{\text{шп2}}=0,82 \frac{750}{500} = 1,23$ рад/сек;

3) для скорости двигателя $n_{03}=1000$ об/мин ($\omega_{03}=104,7$ рад/сек) — $\omega_{\text{шп3}}=0,82 \frac{1000}{500} = 1,64$ рад/сек;

4) для скорости двигателя $n_{04}=1500$ об/мин ($\omega_{04}=157$ рад/сек) — $\omega_{\text{шп4}}=0,82 \frac{1500}{500} = 2,46$ рад/сек.

Диаметры обработки, при которых производятся переключения, определяются из условия

$$v = 30d_1\omega_{\text{шп1}} = 30d_2\omega_{\text{шп2}} = 30d_3\omega_{\text{шп3}} = 30d_4\omega_{\text{шп4}} = 37 \text{ м/мин.}$$

Тогда

$$d_2 = 1500 \frac{0,82}{1,23} = 1000 \text{ мм; } d_3 = 1500 \frac{0,82}{1,64} = 750 \text{ мм;}$$

$$d_4 = 1500 \frac{0,82}{2,46} = 500 \text{ мм.}$$

Машинное время на первой ступени

$$t_{м1} = \frac{(1500 - 1000) \pi}{2 \cdot 30 \cdot 0,82 \cdot 0,8} = 40 \text{ мин};$$

на второй ступени

$$t_{м2} = \frac{(1000 - 750) \pi}{2 \cdot 30 \cdot 1,23 \cdot 0,8} = 13,3 \text{ мин};$$

на третьей ступени

$$t_{м3} = \frac{(750 - 500) \pi}{2 \cdot 30 \cdot 1,64 \cdot 0,8} = 10 \text{ мин};$$

на четвертой ступени

$$t_{м4} = \frac{(500 - 300) \pi}{2 \cdot 30 \cdot 2,46 \cdot 0,8} = 5,4 \text{ мин}.$$

Общее машинное время

$$t_{мII} = 40 + 13,3 + 10 + 5,4 = 68,7 \text{ мин}.$$

В а р и а н т III. Привод с бесступенчатым регулированием. Машинное время

$$t_{мIII} = \frac{\pi (750^2 - 150^2)}{1000 \cdot 37 \cdot 0,8} = 57,5 \text{ мин}.$$

Из сопоставления приведенных цифр видно, что при бесступенчатом автоматическом регулировании производительность, определяемая временем обработки одной детали, повышается на 40%, а при использовании четырехскоростного двигателя на 28% по сравнению с нерегулируемым приводом.

Глава V

ТИПОВЫЕ БЛОКИРОВОЧНЫЕ СВЯЗИ В СХЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ

В схемах автоматического управления станками большое практическое значение имеет взаимосвязь между различными режимами работы одного и того же механизма станка или взаимосвязь между отдельными механизмами станка, осуществляемая в соответствии с требованиями технологического процесса.

Кроме того, в системах комплексной автоматизации работы нескольких станков, например в автоматических линиях, важную роль играет взаимная связь и очередность действия отдельных устройств и станков, определяемые условиями обработки изделий (подробнее см. гл. XI).

Из значительного количества схем, иллюстрирующих упомянутые взаимосвязи для отдельных станков, можно отметить некоторые типовые, обеспечивающие:

- а) наладочный и рабочий режимы станка;
- б) нормальный режим работы, ограничение перемещений и точную остановку;
- в) нормальный режим работы, ограничение нагрузки привода и станка;
- г) согласование работы отдельных механизмов станка.

§ 5.1. СХЕМЫ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ НАЛАДОЧНЫМ И РАБОЧИМ РЕЖИМАМИ СТАНКА

Рабочий режим характеризуется включением привода, обусловленным необходимостью выполнения производственной операции на данном станке. При этом привод чаще всего работает в длительном или повторно-кратковременном режиме.

Рабочий режим привода в зависимости от назначения станка может совершаться как при одностороннем направлении вращения, так и при реверсировании его.

Наладочные же операции производятся в связи с опробованием отдельных элементов станка, установкой и выверкой обрабатываемых изделий и инструмента. Этот режим характеризуется кратковременными включениями ненагруженного привода.

Наладочный режим желательно производить при небольшой скорости привода, при этом осуществление данного режима представляет собой самостоятельную операцию, не требующую введения в действие всей системы управления.

Наладочный режим в зависимости от назначения и устройства станка может производиться как при одностороннем, так и при двустороннем направлении вращения. На рис. 5.1, а приведена одна из наиболее простых схем согласования наладочного и рабочего режимов.

Для длительной работы выключатель «Толчок» в цепи управления замыкается, а затем нажатием кнопки «Пуск» включается двигатель. Кнопка «Пуск» блокируется замыкающим контактом *K*, поэтому после кратковременного нажатия эта кнопка может быть отпущена.

Наладочный режим может быть выполнен кратковременным нажатием кнопки «Пуск», если предварительно разомкнуть выключатель «Толчок». Двигатель в этом случае будет работать в течение того времени, пока нажата кнопка «Пуск»; при ее отпуске двигатель выключается. Осуществляя воздействие на кнопку кратковременными нажатиями, мы можем заставить двигатель работать в импульсном или толчковом режиме со средней скоростью, значительно ниже номинальной.

На рис. 5.1, б представлена схема управления коротко-замкнутым двигателем, где для наладочного режима используется самостоятельная кнопка «Толчок». При нажатии этой кнопки, ее размыкающими контактами размыкается цепь, блокирующая кнопку «Пуск», предназначенную для включения двигателя при

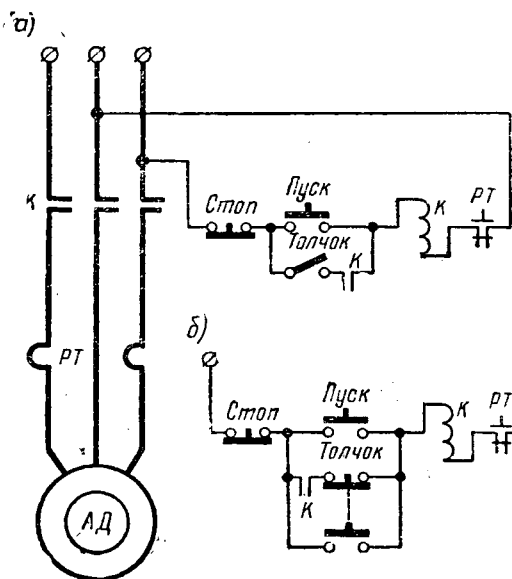


Рис. 5.1. Простейшая схема взаимосвязи наладочного и рабочего режимов

рабочем режиме. Кроме того, замыкающие контакты «Толчок», замыкаясь, включают двигатель для наладочного режима. Наличие двух самостоятельных кнопок для рабочего и наладочного режимов оказывается во многих случаях более удобным, чем совмещенное управление этими операциями при помощи одной кнопки.

Взаимосвязь между наладочным и рабочим режимами для реверсируемого двухскоростного короткозамкнутого двигателя показана на схеме рис. 5.2.

Наладочный режим совершается двумя кнопками «Толч. вп.» и «Толч.

из.» соответственно для двух направлений вращения.

В приводе с двухскоростным двигателем наладочный режим производится при пониженной скорости, поэтому выключатель В в цепи катушки реле РВ должен быть разомкнут.

Если рабочий режим происходит при пониженной скорости, то выключатель предварительно размыкается и нажимается кнопка «Вперед» или «Назад» в зависимости от того, в каком направлении должен вращаться двигатель. В случае необходимости обеспечить в том же режиме повышенную скорость, требуется предварительно замкнуть выключатель В, а затем, как и в предыдущем случае, нажать одну из кнопок «Вперед» или «Назад».

В схеме на рис. 5.3 показана взаимосвязь между рабочим и наладочными режимами для двигателя постоянного тока, включенного по системе генератор — двигатель. Здесь для взаимосвязи между рабочим и наладочным режимами используется промежуточное реле 1РП.

В рабочем режиме, управляемом при помощи кнопок «Вперед» или «Назад» (соответственно для одного или другого направления вращения двигателя), промежуточное реле 1РП включено и через

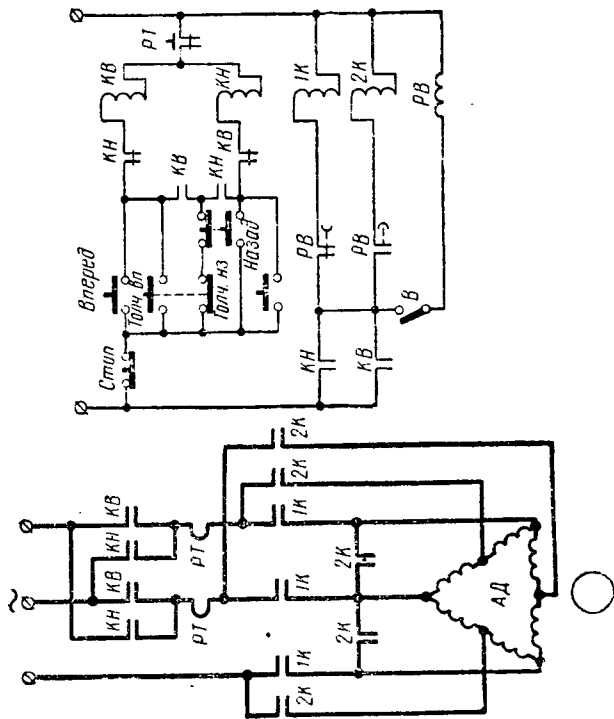
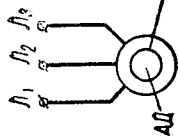


Рис. 5.2. Схема наладочного и рабочего режимов привода с двухскоростным двигателем

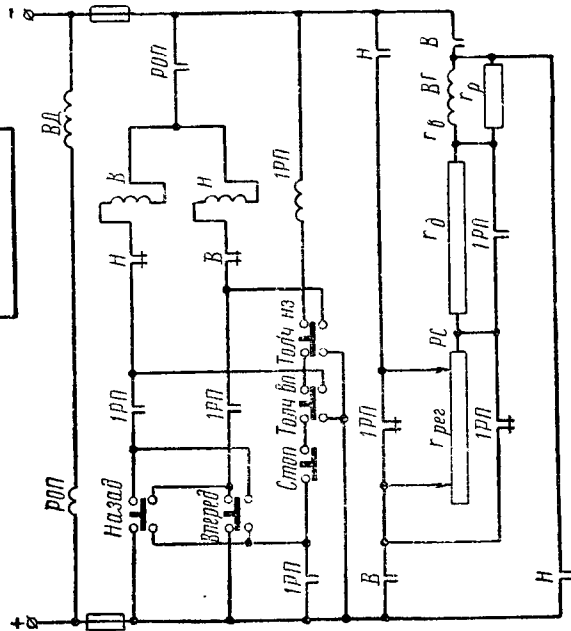


Рис. 5.3. Упрощенная схема наладочного и рабочего режимов в системе Г—Д

обмотку возбуждения $BГ$ генератора протекает ток, обусловленный положением ползунков регулятора скорости $РС$.

Как видно из схемы, регулирование скорости в данном режиме производится только изменением э. д. с. генератора при постоянном магнитном потоке двигателя.

В наладочном режиме, осуществляемом кнопками «Толч. вл.» или «Толч. нз.», включаются соответственно контактор B или H при отключенном реле $IPП$. При этом последовательно с обмоткой возбуждения генератора включено нерегулируемое сопротивление, величина которого устанавливается в соответствии с требуемой скоростью наладочного режима.

Скорость вращения двигателя при наладочном режиме для рассматриваемой системы

$$\omega_{нал} = \frac{E_{г.нал} - I_{х.х}r}{c}, \quad (5.1)$$

где $E_{г.нал}$ — э. д. с. генератора, соответствующая наладочному режиму; $I_{х.х}$ — ток якорной цепи при холостом ходе (наладочный режим производится вхолостую); r — сопротивление якорной цепи.

Зная ток при холостом ходе станка, параметры электропривода (r, c) и задавая величиной скорости в наладочном режиме (обычно от 0,1 до 0,3 ω_H) определяют из (5.1) $E_{г.нал}$.

Так как магнитная цепь генератора в рассматриваемом режиме ненасыщена, то $E_{г.нал} = kI_B$,

где $I_B = \frac{U_B}{r_d + r_B \left(1 + \frac{r_d}{r_p}\right)}$ — ток возбуждения генератора; k — ко-

эффициент пропорциональности между током возбуждения и э. д. с. генератора, устанавливаемый по кривой холостого хода генератора; r_d, r_p и r_B — соответственно дополнительное (наладочное), разрядное и собственное сопротивление обмотки возбуждения; U_B — напряжение цепи управления.

После преобразований находим

$$r_d = \frac{\frac{U_B}{I_B} - r_B}{1 + \frac{r_B}{r_p}}. \quad (5.2)$$

Аналогичные схемы для осуществления наладочного режима имеют место и в приводах постоянного тока, управляемых по системе генератор — двигатель с промежуточными усилителями, а также в системах со статическими преобразователями вместо электромашинных.

Автоматическое ограничение перемещения и точная остановка привода и механизма станка в заданном положении производится обычно при помощи конечных или путевых выключателей, действующих в соответствующих цепях управления.

Ограничение перемещения отдельных механизмов станка может иметь место в крайних положениях пути для исключения столкновения данного механизма с другими подвижными или неподвижными устройствами станка.

Кроме того, ограничение перемещения требуется и в таких случаях, когда деталь станка за предельным положением может выйти из нормального зацепления с ведущим звеном кинематической цепи (например, столы продольно-строгальных, фрезерных и других станков).

Наконец, автоматизация цикла работы в станках часто требует срабатывания соответствующих путевых выключателей не только в конечных точках пути, но и в промежуточных местах.

Ограничение перемещений, в зависимости от условий работы того или другого механизма станка, должно производиться с большей или меньшей точностью. С целью повышения точности работы привода, обеспечивающей малые пути перемещения после отключения двигателя или соответствующего механизма станка, вводится обычно принудительное торможение и предварительное снижение скорости перед окончательным торможением.

Необходимо отметить, что скорость срабатывания контактов конечных или путевых выключателей зависит от скорости перемещения упора, жестко связанного с перемещающимся механизмом станка и нажимающего на конечный выключатель.

При малых скоростях перемещающегося упора (меньше $0,4 \text{ м/мин}$) следует для более четкой и надежной работы контактного устройства конечного выключателя применять конечные выключатели мгновенного действия, обеспечивающие быстрое срабатывание (переключение) контактов, независимо от скорости движения механизма станка. Введение специального ускоряющего пружинного устройства позволяет обеспечить быстрое переключение контактов. В станках, где необходима точная остановка, часто используют путевые выключатели малых размеров, имеющие небольшое перемещение штока ($0,5 \div 0,7 \text{ мм}$), воздействующего на контактную систему, и требующие сравнительно малого усилия нажатия ($5 \div 7 \text{ н}$). Такие выключатели называют микропереключателями (например, известны микропереключатели с током отключения до 5 а и 220 в , с ходом штока $0,2 \div 0,3 \text{ мм}$).

В простейшем случае в схеме, показанной на рис. 5.4, а, отключение двигателя D может произойти в определенном положении соответствующего органа станка. Так, в кругло-шлифовальных станках для массового производства остановка привода вращения обрабатываемого изделия возможна, когда шпиндельная (шлифо-

вальная) бабка выводится из зоны шлифования. Поступательное перемещение шпиндельной бабки производится от самостоятельного привода (например, гидропривод). В исходном положении шпиндельной бабки размыкающие контакты конечного выключателя *ВК* разомкнуты и двигатель вращения изделия автоматически отключится. Для более интенсивного торможения привода используется электромеханический тормоз *ТЭ*.

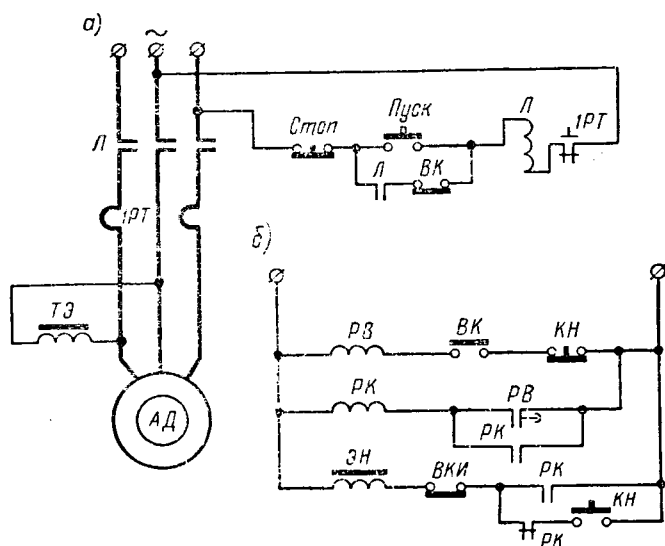


Рис. 5.4. Схема отключения двигателя при ограничении перемещения механизма

В станках часто производится автоматическое реверсирование в функции пути. Так, в продольно-строгальных, плоско-шлифовальных и других станках путь, совершаемый столом, ограничивается конечными выключателями, которые переключаются упорами, расставленными на столе. Расстояние между упорами определяется необходимым ходом стола, зависящим от длины обработки.

Значительное распространение получили схемы ограничения перемещений и точной остановки отдельных станков и автоматических линий, в которых широко используются гидравлические устройства для механизмов подачи.

Гидравлические устройства позволяют легко снизить скорость перемещающегося элемента и обеспечить длительное пребывание его на так называемом жестком, или «мертвом», упоре и затем автоматически изменить направление перемещения его.

На рис. 5.4, б представлен узел принципиальной схемы управления гидравлической системы, обеспечивающей остановку гидро-

привода подачи, контролируемую конечным выключателем *ВК*. Длительность остановки на жестком упоре фиксируется реле времени *РВ*, по истечении выдержки времени которого включается промежуточное реле *РК* и дается импульс на включение электромагнита *ЭН* для перемещения механизма в исходное положение.

Схемы для ограничения перемещений и точной остановки приводов не исчерпываются приведенными примерами. Однако несмотря на их многообразие они построены на общих принципах, изложенных в данном параграфе.

§ 5.3. СХЕМЫ ДЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ РАБОТЫ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ МЕХАНИЗМОВ СТАНКА

Часто при управлении отдельными органами станка, не имеющими механической связи, возникает необходимость в определенной последовательности введения их в работу. Простейшим при-

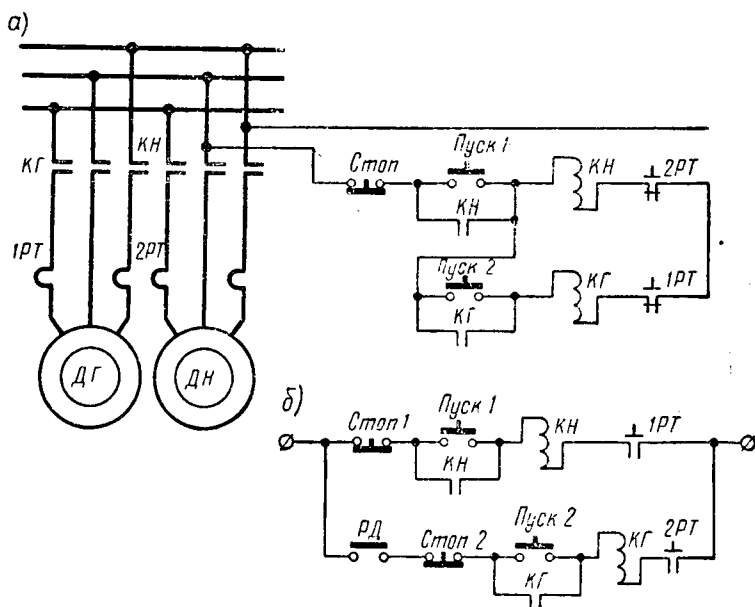


Рис. 5.5. Простейшие схемы согласования работы главного привода и насоса смазки

мером согласования работы двух механизмов станка является возможность пуска главного привода *ДГ* только после включения привода насоса смазки *ДН* (рис. 5.5, а).

Отключение двигателя насоса приводит к автоматическому отключению главного привода. Приведенная схема крайне проста,

однако она обладает тем недостатком, что главный привод пускается в ход после включения двигателя насоса смазки независимо от того, достигнуто ли в системе смазки необходимое давление для нормальной циркуляции масла.

Аналогичная схема последовательного включения двигателей насоса, а затем главного двигателя с контролем давления в системе смазки, осуществляемым реле давления, показаны на рис. 5.5, б. Если реле давления не срабатывает и контакты его *РД* окажутся разомкнутыми, то главный двигатель не включится.

Для некоторых тяжелых токарных станков предусматривается одновременный пуск главного двигателя и двигателя насоса смазки в связи с тем, что пуск главного привода при полном давлении в системе смазки затруднен.

Последовательность отключения главного привода при падении давления в системе смазки для крупных станков иллюстрируется схемой на рис. 5.6.

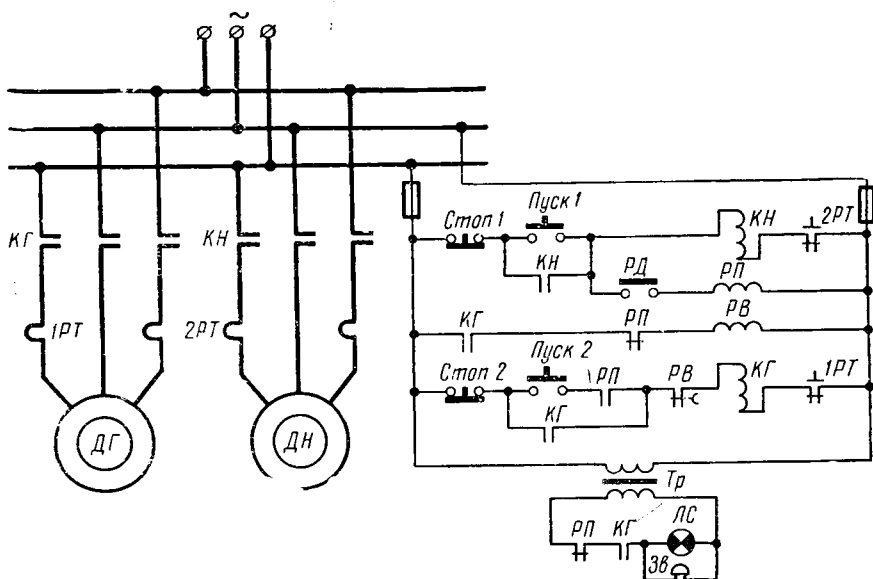


Рис. 5.6. Схема отключения главного привода при падении давления в системе смазки

Здесь предусматривается: а) невозможность пуска главного привода при недостаточной циркуляции масла в системе смазки; б) автоматическая остановка главного привода при нарушении действия системы смазки. При этом остановке привода должен предшествовать сигнал, свидетельствующий о нарушении работы системы смазки. Остановка должна производиться спустя некоторый период времени (приблизительно $2 \div 3$ мин), необходимый для отвода режущего инструмента.

может последовать только при условии, если она будет вначале отжата.

Такого рода автоматизация цикла вспомогательных механизмов очень важна для крупных карусельных, продольно-строгальных, расточных, фрезерных, радиально-сверлильных и других станков. Надежность и простота устройства этих систем обеспечивают нормальную работу тяжелых станков. На схеме (см. рис. 5.7) двигатель *ДЗ* предназначен для зажима траверсы, *ДТ* — для подъема и опускания траверсы (оба двигателя короткозамкнутые).

Работа схемы заключается в следующем. При нажатии кнопки «Вверх» включается промежуточное реле *1РП* и, так как траверса была предварительно зажата, включается контактор *КО*, а двигатель *ДЗ* совершает отжатие траверсы. По окончании процесса отжатия размыкаются размыкающие контакты *ЗВК* и отключается контактор *КО* — двигатель *ДЗ* останавливается. После размыкания размыкающих контактов *ЗВК* замыкаются его замыкающие контакты и включается контактор *ВТ*: к сети присоединяется двигатель *ДТ* — производится подъем траверсы. Подъем совершается до тех пор, пока оказывается нажатой кнопка «Вверх». Для ограничения хода траверсы в конечном положении вверх служит выключатель *1ВК*, вниз — *2ВК*.

При отпускании кнопки «Вверх» в любом промежуточном положении прекращается дальнейшее перемещение траверсы вверх и автоматически включается двигатель *ДЗ* для зажима траверсы. Первоначально катушка контактора *КЗ* включается через *ЗВК* и размыкающие контакты *1РП* и *2РП*; затем при перемещении механизма зажатия *ЗВК* размыкается, однако питание катушки контактора происходит через контакторы *КЗ* и *РМ*. Когда усилие зажатия возрастет до определенного значения, максимальное реле сработает и двигатель *ДЗ* автоматически отключится. Таким образом закончится автоматический цикл работы.

В рассмотренной схеме показана определенная последовательность включения двигателей, управление в толчковом режиме, ограничение нагрузки двигателя и станка, осуществляемое при помощи максимального реле и, наконец, ограничение перемещения механизма, выполняемое конечными выключателями. Точно так же между работой главного привода и вспомогательных приводов (например, привод стола продольно-строгального станка и привод подъема и опускания траверсы, то же для продольно-фрезерных и других станков) должна быть осуществлена блокировочная связь, при которой исключается одновременная работа этих приводов. Эта взаимная блокировка выполняется при помощи блок-контактов блокировочного контактора, включенных в цепи управления приводами перемещения и зажима траверсы. С другой стороны контакты промежуточных реле включены в цепь катушки блокировочного контактора.

Определенная последовательность должна быть также соблюдена при отключении главного привода и привода подачи. Во из-

бежание поломки инструмента при резании главный привод должен останавливаться после остановки привода подачи. Такая последовательность отключения для металлорежущих станков, в которых имеется самостоятельный привод подачи, должна обязательно выполняться; она практически возникает в случае, например, подачи импульса на отключение главного привода раньше, чем привода подачи, или при аварийном отключении главного привода.

Существуют различные способы для осуществления указанной последовательности отключения. Например, отключение обоих двигателей от одной кнопки, причем главный привод не имеет принудительного торможения. При этом время выбега главного привода может быть длительным, что нежелательно в рабочем режиме и неприемлемо во время аварийной остановки. Другой способ соблюдения последовательного отключения заключается в различной настройке длительности торможения обоих приводов так, чтобы привод подачи останавливался быстрее, чем главный. Однако в практических условиях схема, построенная по такому принципу, работает нечетко, так как со временем настройка нарушается.

Более рациональная схема, обеспечивающая указанную последовательность отключения, показана на рис. 5.8.

При неработающем приводе подачи контактор главного привода *КГ* после нажатия кнопки «Стоп общий» и отключения промежуточного реле *РП* отключается без выдержки времени. Если же отключение главного привода производится при работающем приводе подачи, то, как видно из схемы, отключение главного привода произойдет по прошествии некоторого времени (обусловленного уставкой времени реле *РВ*) после отключения двигателя подачи.

При нажатии на кнопку «Стоп общий» и последующем ее отпускании вновь включится промежуточное реле *РП*. Если время на повторное включение промежуточного реле *РП* окажется меньше времени срабатывания *РВ*, главный привод не отключится после отключения привода подачи. Для остановки главного привода необходимо в этом случае повторное нажатие на кнопку «Стоп общий» либо более длительное нажатие в первый раз на ту же кнопку (не менее длительное, чем время срабатывания реле *РВ*).

Необходимо отметить, что при исчезновении напряжения исключается нормальная последовательность действия этой блокировочной связи. Однако и для таких условий необходимо предусмотр-

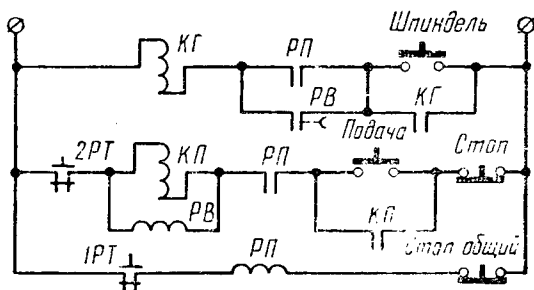


Рис. 5.8. Схема согласования работы главного привода и привода подачи

реть большее время торможения главного привода в сравнении со временем торможения привода подачи. В этом случае, например, главный привод при отключении должен затормаживаться за счет выбега, тогда как привод подачи может иметь принудительное торможение, например электромеханическое.

Кроме упомянутых взаимосвязей, обеспечивающих определенную последовательность включения и отключения электроприводов отдельных механизмов, можно указать на следующие:

а) в тяжелых станках часто для рабочего режима главного привода предусматривается невозможность включения его, если предварительно не закреплено обрабатываемое изделие;

б) между приводами механизма рабочей подачи и установочным (быстрым) перемещением того же механизма могут применяться блокировочные связи двух видов: 1) при которой совместная работа исключена, 2) для получения наибольшей суммарной скорости установочных движений за счет сложения наибольшей скорости рабочей подачи со скоростью при быстром перемещении. Работа механизма подачи при сложении двух упомянутых движений возможна, очевидно, в том случае, когда это предусмотрено кинематической цепью станка (если, например, один двигатель вращает винт, а другой — гайку).

Кроме приведенных выше некоторых типовых взаимосвязей, в схемах управления электроприводами станков могут быть и другие взаимосвязи, определяемые условиями технологического процесса и конкретными конструктивными особенностями станков.

Электропривод и автоматизация типовых металлорежущих станков

ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

§ 6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Группа токарных станков весьма многочисленна как по своему конструктивному исполнению, так и по технологическому назначению. В эту группу входят простые и универсальные токарные и токарно-винторезные станки, револьверные станки, токарные автоматы и полуавтоматы, а также токарные станки специального назначения. Наконец, в эту группу входят карусельные станки.

Характерной особенностью станков токарной группы является осуществление главного движения за счет вращения обрабатываемого изделия; поступательное перемещение суппортов обеспечивает подачу режущих инструментов (резцов).

Главный привод большинства малых и средних по размерам токарных станков, за исключением специальных прецизионных, осуществляется от асинхронных короткозамкнутых двигателей, так как они удобнее для конструктивного сочетания с коробкой скоростей, наиболее дешевые и надежные в эксплуатации. При этом регулирование скорости вращения шпинделя осуществляется переключением шестерен коробки скоростей.

В ряде случаев для главного привода используются двух- или многоскоростные короткозамкнутые асинхронные двигатели, если их применение приводит к значительному упрощению кинематики или когда требуется автоматическое переключение скорости шпинделя на ходу.

Так как диапазон регулирования скорости вращения шпинделя достигает 70:1 и выше, то при использовании многоскоростного двигателя имеет место электромеханическое регулирование, осуществляемое переключением числа полюсов двигателя и шестерен коробки скоростей.

Необходимо отметить, что для универсальных станков на большей части диапазона регулирование скорости производится приблизительно при постоянной мощности, поэтому двигатель с переключением числа полюсов выбирается также приблизительно на постоянную мощность при различных скоростях.

Одним из важных вопросов, возникающих при автоматизации токарных станков, является вопрос о дистанционном управлении механизмом сцепления и расцепления двух валов. Эта задача в современных токарных станках разрешается применением многодисковых электромагнитных муфт. Использование большого числа поверхностей трения, как упоминалось выше, дает возможность сократить размеры этих муфт, а специальная форма фрикционных дисков позволила всем дискам осуществлять передачу крутящего момента.

Быстрое торможение и реверсирование шпинделя станка достигается в ряде случаев также при помощи фрикционных муфт, отключающих шпиндель станка от той кинематической цепи, которая связана с двигателем.

Если между шпинделем станка и двигателем существует жесткая связь, то торможение и реверсирование шпинделя осуществляется за счет торможения или реверсирования самого двигателя. Стремление упростить конструкцию станка, максимально автоматизировать его работу, сократить вспомогательное время привело к созданию многодвигательного привода и использованию отдельных двигателей для быстрого перемещения каретки суппорта, зажима изделия, насоса охлаждающей жидкости и др.

Для тяжелых токарных и карусельных станков характерно применение бесступенчатого регулируемого электропривода планшайбы, а также широкое использование электродвигателей для отдельных механизмов, что позволяет значительно упростить конструкцию станка.

§ 6.2. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫХ СТАНКОВ

Характерным для современных токарных, токарно-винторезных и револьверных станков является, как уже отмечалось, автоматизация вспомогательных движений, а также дистанционное управление механизмами станка. Примером автоматизированного токарно-револьверного станка является станок модели 1340 для обработки деталей из прутка диаметром 40 мм. Общий вид станка приведен на рис. 6.1, а кинематическая схема этого станка — на рис. 6.2.

Привод шпинделя и подачи осуществлен от асинхронного короткозамкнутого двигателя мощностью 7 кВт. Регулирование скорости шпинделя механическое, ступенчатое от 60 до 2000 об/мин.

Механические подачи для продольного суппорта — продольные: от 0,05 до 0,4 и поперечные от 0,1 до 0,8 мм/об; для поперечного суппорта — продольные и поперечные от 0,05 до 0,4 мм/об.

Особенностью станка является автоматическое переключение скорости шпинделя и величины подачи при повороте револьверной головки. Электромагнитные муфты, встроенные в коробку скоро-

стей и коробку подач, позволяют производить переключения скорости шпинделя и величины подачи без остановки станка.

Продольное обтачивание, сверление и т. п. осуществляются перемещением продольного суппорта с револьверной головкой вдоль станины. Наличие поперечного суппорта мостового типа позволяет производить продольную обточку, фасонную обточку и отрезку готовых деталей.

Механизм коробки скоростей состоит из трех валов и шпинделя 27 с размещенными на них шестернями и пятью электромагнитными муфтами, из которых одна муфта 29 является тормозной.

От электродвигателя 1 через клиноременную передачу вращение передается шкиву 2, а следовательно, и валу 3. С вала 3 на вал 4 вращение передается попеременно через две пары шестерен в зависимости от того, какая из двух электромагнитных муфт, 5 или 6, включена. С вала 4 на вал 7 вращение передается также попеременно через две другие пары шестерен в зависимости от того, какая из двух других электромагнитных муфт, 8 или 9, включена. Таким образом, вал 7 имеет четыре разные скорости. Последние на шпиндель передаются через передвижной двойной блок шестерен 10, вследствие чего шпинделю сообщаются два диапазона

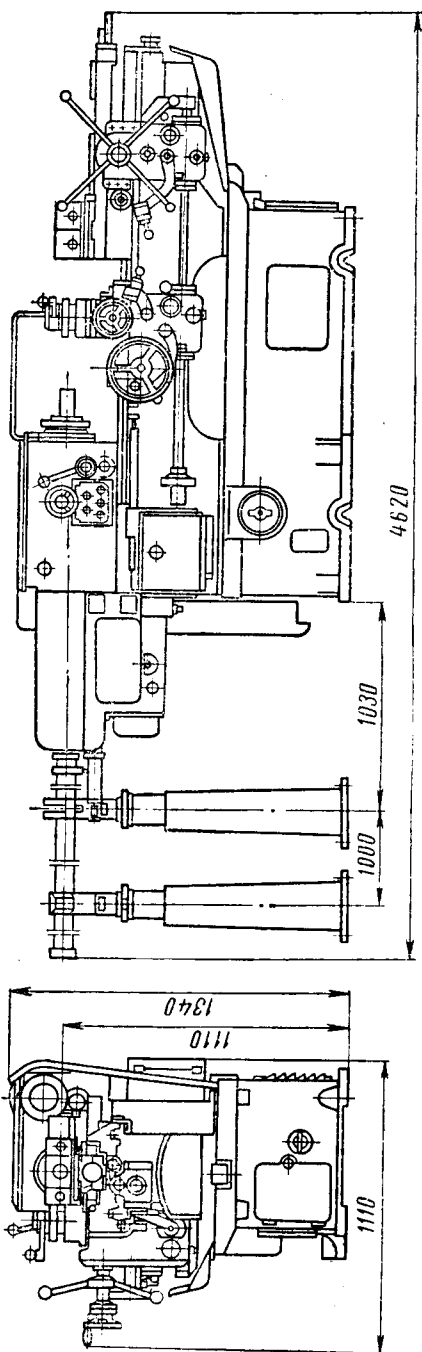


Рис. 6.1. Общий вид токарно-револьверного станка

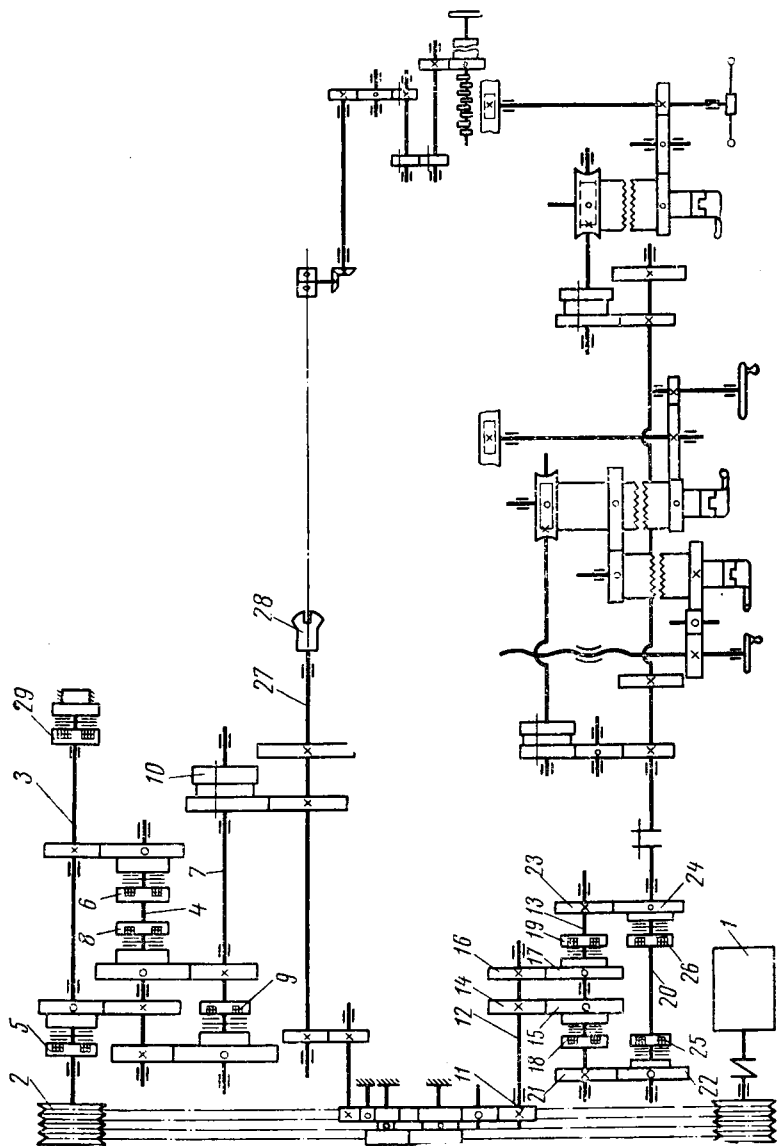


Рис. 6.2. Кинематическая схема токарно-револьверного станка

по четыре скорости. Переключение электромагнитных муфт происходит автоматически при повороте револьверной головки. Подвод напряжения к катушкам электромагнитных муфт производится через специальные токоподводы со щетками и контактные кольца.

Свободный (задний) конец шпинделя предназначен для установки механизма зажима, передний конец шпинделя выполнен удобным для размещения цанг, зажимающих прутковые материалы, и для установки зажимных патронов 28.

На передней стенке коробки скоростей размещен маховичок для переключения диапазона чисел оборотов шпинделя, тормозной рычаг и пульт управления станка.

Коробка передач, в которой размещен шестеренный механизм, служит для передачи вращения от шпинделя к коробке подач. Коробка подач с помощью электромагнитных муфт осуществляет установку и изменение необходимой, наперед заданной подачи поперечного и продольного суппортов. От шпинделя через коробку передач вращение передается шестерне 11, а следовательно, и валу 12. Связь валов 12 и 13 осуществляется при помощи одной из двух пар зубчатых колес 14—15 и 16—17, включаемых соответственно электромагнитными муфтами 18 и 19. С вала 13 передача валу 20 выполняется с помощью зубчатых колес 21—22 и 23—24, которые включают соответственно электромагнитными муфтами 25 и 26.

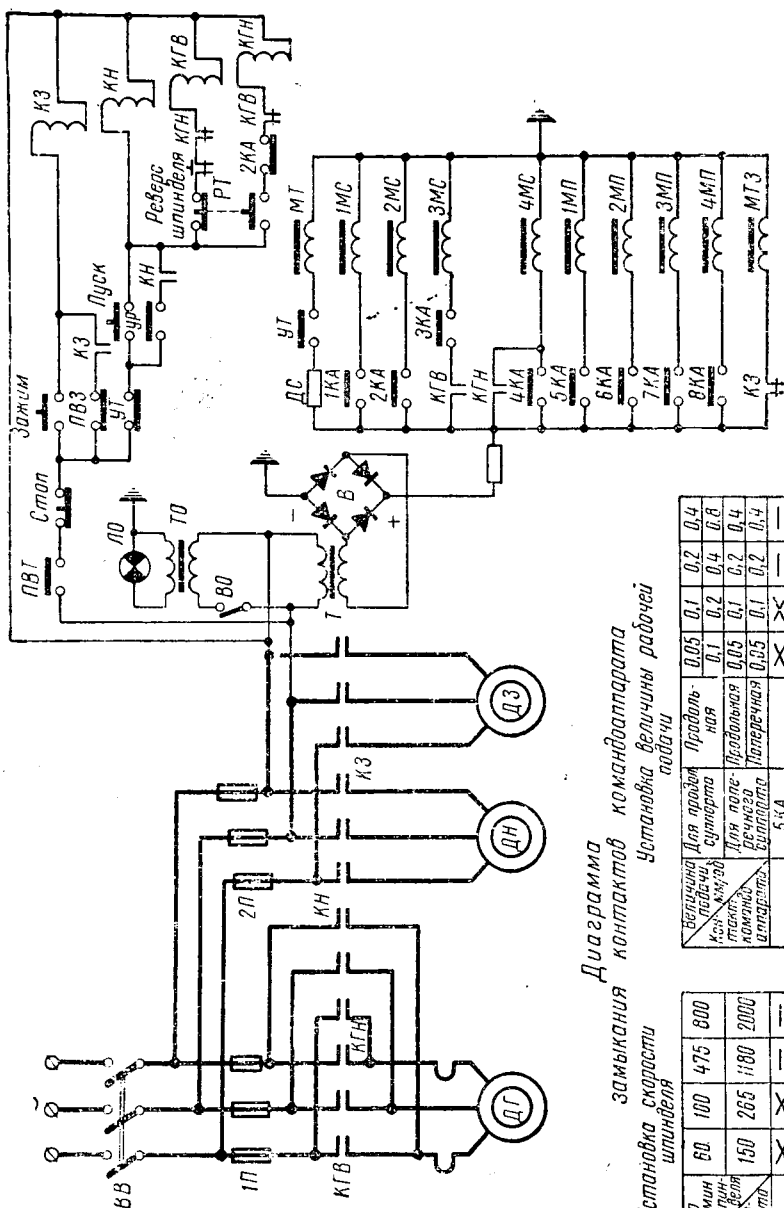
Принципиальная электрическая схема управления станком модели 1340 приведена на рис. 6.3. Включение напряжения производится вводным выключателем ВВ.

При работе станка труба для поддержки материала должна быть правильно установлена относительно станка; при этом должен быть нажат путевой переключатель ПВТ, подготавливающий замыкающим контактом цепь питания катушек контакторов. Отжим, подача и зажим пруткового материала производятся электродвигателем ДЗ.

Нажатием на кнопку «Зажим» включается контактор КЗ, который своими главными контактами подключает к сети двигатель ДЗ. Кнопка «Зажим» должна быть нажата в течение некоторого (короткого) времени, пока в ходе цикла отжим — подача — зажим не освободится от нажатия путевого переключателя ПВЗ, который в исходном положении нажат. После этого кнопка может быть отпущена.

При включении контактора КЗ открывается его размыкающий контакт, вследствие чего выключается электромагнитная муфта торможения механизма зажима МТЗ.

По окончании цикла зажима вновь производится нажатие на путевой переключатель ПВЗ, его контакт размыкается, и происходит отключение контактора КЗ и двигателя ДЗ. После выключения двигателя зажима через размыкающий контакт КЗ включается муфта МТЗ и происходит затормаживание механизма зажима прутка.



Для управления приводом шпинделя станка, помимо кнопок «*Пуск*» и «*Стоп*», предусмотрена рукоятка управления, имеющая три фиксированных положения. В одном крайнем положении — рабочем — от воздействия рукоятки нажат путевого выключатель *УР*; в другом крайнем положении — тормозном — нажат путевого выключатель *УТ*; в среднем — отключенном положении рукоятки — путевые выключатели *УР* и *УТ* свободны от нажатия.

Установив рукоятку управления в рабочее положение, нажатием на кнопку «*Пуск*» включается контактор *КН* и пускается двигатель насоса *ДН*. Одновременно контактором *КГВ* подключается главный двигатель *ДГ*.

Предварительная настройка командоаппарата обеспечивает включение заранее намеченной скорости шпинделя на данной позиции револьверной головки.

Подвод продольного и поперечного суппортов производится вручную. Включение механической рабочей подачи производится посредством специального рычага. Величина рабочей подачи обуславливается предварительной настройкой командоаппарата.

Отвод продольного и поперечного суппортов выполняется вручную. При отводе продольного суппорта производится поворот револьверной головки и, одновременно, поворот барабана командоаппарата. При этом меняется комбинация замыкания контактов его и устанавливается новая скорость шпинделя, а также подготавливается новая величина рабочей подачи.

Остановка двигателей главного привода и насоса осуществляется переводом рукоятки управления из рабочего положения в положение отключения (среднее) или торможения. При установке рукоятки в среднее положение производится отключение контакторов *КН* и *КГВ* вследствие размыкания замыкающего контакта *УР*; двигатели *ДН* и *ДГ* отключаются, причем шпиндель останавливается при свободном выбеге.

Установкой рукоятки в положение для торможения отключаются двигатели *ДН* и *ДГ*; вследствие нажатия рукояткой на путевого выключатель *УТ* его замыкающий контакт включает электромагнитную тормозную муфту *МТ*, осуществляющую торможение шпинделя. Для отключения тормоза следует освободить выключатель *УТ*, переведя рукоятку управления либо в среднее, либо в рабочее положение.

В случае, если нажатие на кнопку «*Пуск*» производится при среднем положении рукоятки управления, то работа двигателей *ДГ* и *ДН* будет продолжаться только в течение того времени, пока нажата кнопка «*Пуск*».

При установке рукоятки управления в тормозное положение пуск двигателей невозможен (цепь катушек контакторов *КГВ* и *КН* разомкнута размыкающим контактом выключателя *УТ*).

Реверсирование шпинделя для сбег резьбонарезного инструмента с изделия после нарезания резьбы осуществляется нажатием на кнопку «*Реверс шпинделя*». При этом отключается контактор

КГВ и включается контактор *КГН*; двигатель *ДГ* реверсируется. В этом случае замыкается цепь катушки электромагнитной муфты *4МС*. Если при прямом вращении шпинделя муфта *3МС* была включена, а *4МС* отключена, то при реверсе муфта *3МС* отключается, а *4МС* включается, что приводит к возрастанию скорости шпинделя. Если же при прямом вращении была включена муфта *4МС*, изменения скорости шпинделя при реверсе не произойдет.

Отпуская кнопку «*Реверс шпинделя*», отключают контактор *КГН* и включают контактор *КГВ*, что приводит к восстановлению прямого направления вращения и первоначальной величины скорости шпинделя.

Следует отметить, что нарезание резьбы должно производиться на одной из двух низших скоростей вращения шпинделя каждого диапазона (60, 100, 150 или 265 об/мин), т. е. при нажатом контакте командоаппарата *1КА* и ненажатом *2КА*. Поэтому при нажатии кнопки «*Реверс шпинделя*» включается обратное вращение шпинделя со скоростью 100 или 265 об/мин; если нажать кнопку, когда включена одна из высших скоростей (*2КА* замкнут), контактор *КГВ* отключается, но реверса не произойдет, так как цепь катушки *КГН* в этом случае разомкнута размыкающим контактом *2КА*. Тем самым предотвращаются случайные включения обратного вращения шпинделя на высшую скорость (800 или 2000 об/мин). Кнопкой «*Стоп*» производится отключение всех двигателей в любой момент.

К недостаткам рассмотренной системы электропривода следует отнести ступенчатое регулирование скорости и невозможность переналадки станка на скорости, отличные от паспортных.

С целью упрощения кинематической схемы, получения плавного регулирования скорости шпинделя и облегчения аппаратуры управления может быть использован привод постоянного тока по системе тиристорный преобразователь — двигатель.

§ 6.3. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

В последние годы отмечается значительное увеличение количества и типоразмеров тяжелых токарных и карусельных станков. Одной из особенностей этих станков является применение плавно регулируемого электропривода для вращения планшайбы и механизма подачи суппортов, что позволяет значительно упростить их конструкцию и повысить производительность.

Диапазон регулирования скорости вращения шпинделя токарных станков составляет в среднем $(60 \div 100) : 1$ и достигает $175 : 1$; для этих станков регулирование скорости должно производиться приблизительно с постоянной мощностью.

Поэтому для главного привода универсальных токарных станков в большинстве случаев, как отмечалось ранее, целесообразно использование двигателя постоянного тока, скорость которого ре-

гулируется в диапазоне $(4 \div 5) : 1$ изменением тока возбуждения.

Дальнейшее расширение диапазона регулирования скорости вращения двигателя ослаблением потока до $(6 \div 8) : 1$ целесообразно, однако это связано с созданием специальных двигателей.

При указанном способе регулирования приводной двигатель соединяется с планшайбой через коробку скоростей с тремя-четырьмя механическими ступенями скорости.

Иногда с целью уменьшения числа ступеней коробки скоростей электрическое регулирование скорости расширяется; в этом случае используется двухзонное регулирование скорости вращения двигателя: до основной в диапазоне примерно $2 : 1$ производится изменением напряжения, подводимого к зажимам якоря двигателя, а выше основной в диапазоне, например, $5 : 1$ — уменьшением его тока возбуждения.

Режим работы главного привода тяжелых станков в большинстве случаев длительный.

Привод подачи суппортов иногда (при расстоянии между центрами до 8 м) выполняется от главного двигателя; в станках больших размеров используется самостоятельный широкорегулируемый электропривод постоянного тока.

Что касается вспомогательных движений на станках, как-то ускоренного перемещения суппорта и задней бабки, привода насосов смазки и охлаждающей жидкости и т. п., то они обычно выполняются от короткозамкнутых электродвигателей. Электроприводы для упомянутых выше вспомогательных механизмов работают в кратковременном режиме.

Отечественной промышленностью выпускается гамма тяжелых универсальных токарно-винторезных станков, предназначенных для выполнения обдирочных и чистовых работ. Они применяются для обточки наружных цилиндрических поверхностей, расточки внутренних поверхностей, подрезки и отрезки изделий, обточки конусных поверхностей, нарезания наружной и внутренней резьб с миллиметровым и дюймовым шагом, а также для производства копировальных работ.

На этих станках обрабатываются изделия из чугуна, различных сталей резцами из быстрорежущей стали или с твердыми наплавками. Основные технические данные некоторых моделей тяжелых токарных станков, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 6.1.

На рис. 6.4 представлен общий вид станка модели 1А660 с расположением электрооборудования. Привод шпинделя и подачи осуществляется от двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

В станке для регулирования скорости вращения шпинделя предусмотрена коробка скоростей на три механические ступени (см. кинематическую схему на рис. 6.5). Первая механическая ступень скорости получается при включении муфты А и отключении муфты В (вал IV). Тогда от вала двигателя вращение шпинделю пере-

13200

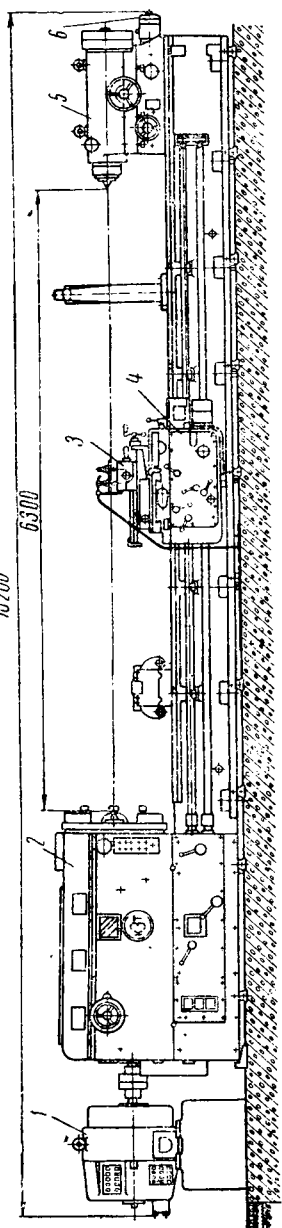


Рис. 6.4. Общий вид тяжелого токарного станка модели 1A660:

1 — главный двигатель; 2 — передняя бабка; 3 — суппорт; 4 — механизм суппорта; 5 — задняя бабка; 6 — двигатель пере-
 щения задней бабки

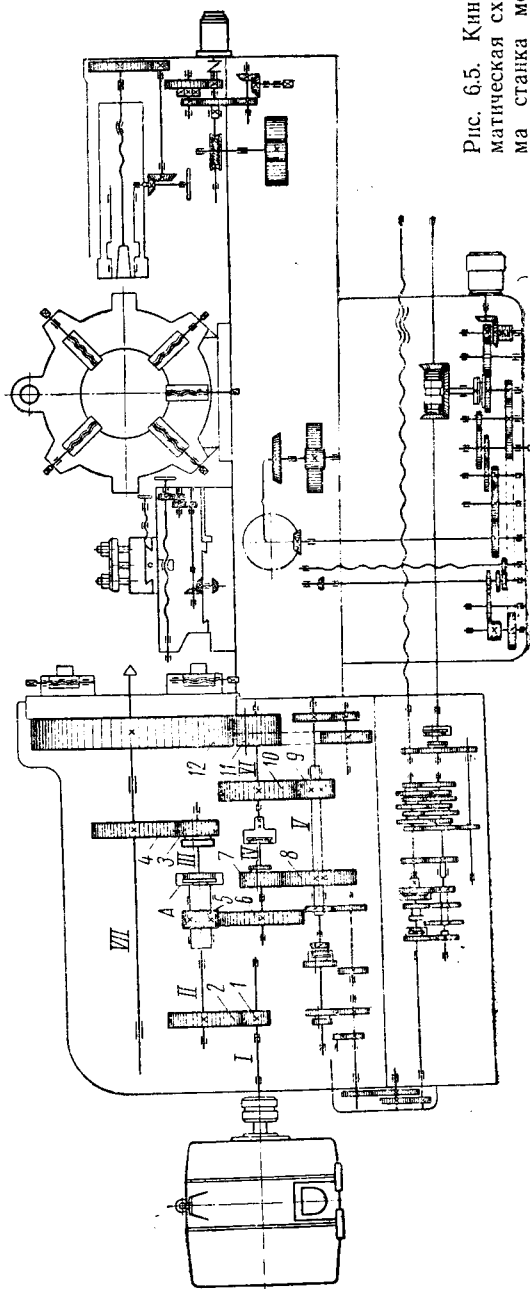


Рис. 6.5. Кинематическая схема станка

Таблица 6.1

Наименование	Модель станка				
	1A660	1A670	1A675	1A680	1A681
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, <i>мм</i>	1,25	2,0	2,5	3,2	4,0
Расстояние между центрами, <i>мм</i>	6,3	10,0	12,5	16,0	20,0
Наибольший допустимый вес обрабатываемого изделия, <i>кг</i>	250	630	1000	1600	1600
Пределы скорости вращения шпинделя, <i>об/мин</i>	1,6—200	1,0—125	0,8—100	0,65—80	0,65—80
Наибольший крутящий момент на шпинделе, <i>кн·м</i>	80	133	234	280	350
Пределы продольных подач суппорта, <i>мм/об</i>	0,06—3,3	0,032—30	0,04—30	0,1—26	0,1—26
Ускоренное перемещение суппорта, <i>м/мин</i>	2	3,1	3,1	3,1	3,1
Мощность главного двигателя, <i>квт</i>	55	100	125	160	160
Скорость вращения главного двигателя, <i>об/мин</i>	300÷1200	300÷1500	300÷1500	300÷1500	300÷1500
Мощность двигателя подачи, <i>квт</i>	—	8	8	8	8
Скорость вращения двигателя подачи, <i>об/мин</i>	—	12,5÷ ÷1500	12,5÷ ÷1500	12,5÷ ÷1500	12,5÷ ÷1500

дается через шестерни 1—2, 5—6, 7—8, 9—10 и 11—12. При минимальной скорости вращения двигателя ($n_n=300$ об/мин) шпиндель станка совершает 1,6 об/мин. Вторая механическая ступень скорости имеет место при включении муфт А и Б; в этом случае минимальная скорость вращения шпинделя равна максимальной скорости на первой ступени и составляет 8 об/мин. Третья ступень скорости шпинделя получается за счет отключения муфты А и передачи вращения через шестерни 1—2 и 3—4. Минимальная скорость вращения шпинделя на третьей механической ступени равна в рассматриваемом случае 40 об/мин, максимальная — соответственно 200 об/мин.

Общий диапазон регулирования скорости вращения шпинделя достигает

$$D = \frac{200}{1,6} = 125 : 1.$$

Так как в рассматриваемом приводе используется двигатель постоянного тока, регулируемый плавно в диапазоне 5 : 1, то значения соседних скоростей шпинделя, получаемых механическим путем, отличаются в пять раз друг от друга, а именно 1,6, 8 и 40 об/мин. Поэтому совмещение плавного электрического регули-

рования со ступенчатым механическим позволяет обеспечить плавное регулирование скорости шпинделя на всем диапазоне от 1,6 до 200 об/мин. Кинематическая схема главного привода сравнительно проста.

Значительно более сложной является кинематика механизма подач, связанного с главным приводом. Через сложную коробку подач движение передается ходовому винту, когда осуществляется нарезание резьбы, и ходовому валу при автоматическом продольном и поперечном точении (через систему передач в фартуке суппорта).

В тяжелых токарных станках с высотой центров свыше 670 мм, вес суппортов которых достигает нескольких и иногда десятков тонн, а усилие резания доходит до 100÷150 кН, кинематические звенья (валы и ходовые винты), связывающие механизм суппорта с механизмом шпинделя, оказываются значительных размеров. Изготовление валов и винтов большой длины сопряжено с технологическими трудностями. Наличие длинных валов уменьшает жесткость конструкции и снижает точность обработки. Поэтому в таких станках (например, модели 1А670, 1А675 и др.) целесообразно применять индивидуальный электрический привод подачи с широким диапазоном регулирования, позволяющий:

- а) исключить сложные в изготовлении и дорогостоящие ходовые винты и валы, сократить число зубчатых передач;
- б) облегчить управление станком;
- в) получить плавное изменение величины подачи в процессе точения для обеспечения оптимального режима обработки.

Основные требования, предъявляемые к электроприводу и системе управления универсальных тяжелых токарных станков, сводятся к следующему:

1) скорость вращения шпинделя необходимо регулировать плавно в диапазоне 125 : 1 и выше приблизительно при постоянной мощности;

2) электрический привод должен быть реверсивным, что обусловлено нарезанием правых и левых резьб и иногда удобством обработки изделий резцами, установленными в суппортах, которые расположены по обеим сторонам станка;

3) для более интенсивной остановки необходимо принудительное торможение главного привода;

4) во избежание резких ударов в передачах коробки скоростей желательно обеспечить плавный пуск и торможение электропривода;

5) управление регулированием скорости должно быть дистанционным; управление электроприводами станка сосредоточивается в местах, удобных для обслуживающего персонала — на передней бабке, суппорте и на задней бабке;

6) должны быть осуществлены блокировки, предусматривающие:

а) невозможность пуска главного привода при недостаточной циркуляции масла в системе смазки;

б) световую и звуковую сигнализацию состояния системы смазки; при нормальной работе горит зеленая лампа, при неисправной системе загорается красная лампа и работает звонок;

7) пуск главного привода возможен при условии предварительного включения двигателя вентилятора для охлаждения главного двигателя и фиксированном положении рукояток устройства переключения механических ступеней скорости;

8) схемой управления должен быть обеспечен наладочный (толчковый) режим работы при медленном вращении шпинделя, продолжающийся столько времени, сколько оказывается нажатой кнопка для наладочного режима;

9) в схеме управления должны быть также предусмотрены блокировки, ограничивающие ход суппорта и ход задней бабки;

10) для более точной настройки станка предусматривается электрический тахометр для измерения скорости вращения шпинделя;

11) кроме главного привода, предназначенного для вращения шпинделя и привода рабочей подачи суппорта, предусматриваются отдельные электроприводы: насоса смазки, ускоренного перемещения токарного суппорта, ускоренного перемещения задней бабки, насоса охлаждения режущего инструмента и обрабатываемого изделия, вентилятора охлаждения главного двигателя.

В настоящее время используются две системы электропривода шпинделя: 1) генератор — двигатель; 2) статический полупроводниковый преобразователь — двигатель.

В схеме, приведенной на рис. 6.6, представлен привод по системе генератор — двигатель; регулирование скорости вращения двигателя производится изменением его тока возбуждения при постоянном номинальном значении ε д. с. генератора.

Схемой управления предусмотрено два режима: 1) длительный с предварительной установкой требуемой скорости вращения шпинделя и 2) наладочный при наименьшей скорости привода.

Пуск главного двигателя для длительного режима возможен нажатием кнопок «Вперед быстрее» или «Назад быстрее», если предварительно включены преобразовательный агрегат и двигатель вентилятора, нормально работают системы смазки (контакты РКС замкнуты), достаточен ток возбуждения для срабатывания реле РОП, фиксировано положение механических ступеней скорости и обеспечено полное зацепление шестерен коробки скоростей (контакты БК и 4РБ замкнуты).

Например, при нажатии кнопки «Вперед быстрее» включаются блокировочный контактор БВ, а затем З. Вслед за этим срабатывает контактор В, если предварительно была установлена I или II механическая ступень коробки скоростей шпинделя, при которой замкнут контакт 5БК1 и включено реле 1РБ. Контактom В производится включение Л — замыкается якорная цепь двигателя; блокированием Л включается Э. Замыкающие контакты Э присоединя-

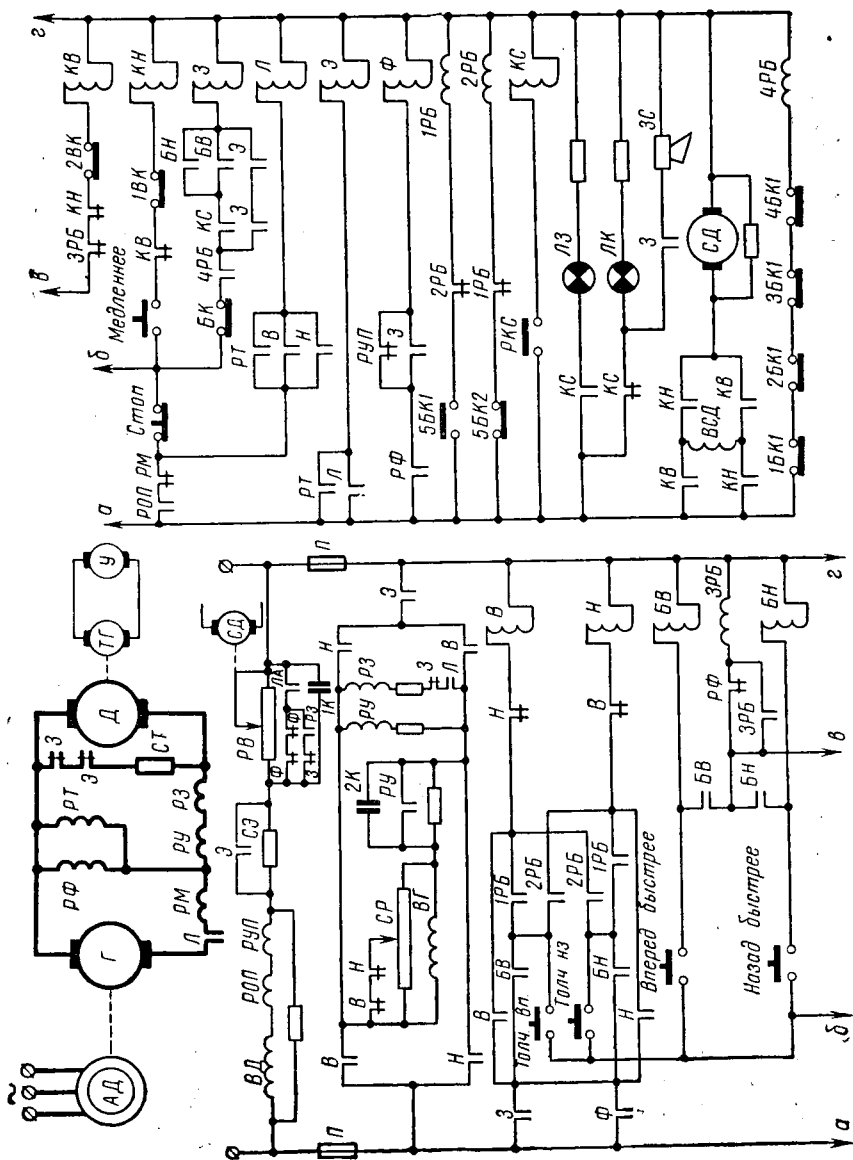


Рис. 6.6. Электрическая схема главного привода тяжелого токарного станка

ют к источнику питания обмотку возбуждения генератора, шунтируют экономическое сопротивление в цепи возбуждения двигателя и блокируют контакты *БВ* (или *БН*). Дальнейшего нажатия кнопки «Вперед быстрее» не требуется, так как контакт *БВ* блокируется контактом *В*. После замыкания контактов *Э* включается также дифференциальное реле *РУ*.

При упомянутых переключениях подается полное напряжение на обмотку возбуждения генератора, а также полное напряжение на обмотку возбуждения двигателя, так как в начале пуска *Ф* выключен, а *ЛА* замкнут. Поэтому независимо от положения траверсы регулятора возбуждения первый этап пуска двигателя совершается при полном потоке двигателя. Величина тока в якорной цепи при пуске контролируется реле *РУ*, вторая (токовая) катушка которого включена в якорной цепи двигателя. Обмотки реле *РУ* включены встречно.

Если при пуске двигателя до скорости, близкой к основной, ток в якорной цепи превзойдет допустимое значение, то контакты реле *РУ* разомкнутся, вводится в цепь обмотки возбуждения генератора дополнительное сопротивление и темп возрастания э. д. с. снижается. В связи с этим снижается ток в якорной цепи до величины тока срабатывания *РУ*, вновь зашунтируется дополнительное сопротивление и скорость двигателя начнет более интенсивно возрастать. По достижении двигателем скорости, близкой к основной (и напряжения, близкого к номинальному), срабатывает реле *РФ*, замыкающие контакты которого, замыкаясь, включают контактор *Ф*; при этом вводится дополнительное сопротивление регулятора скорости *РВ* в цепь обмотки возбуждения двигателя. Разгон двигателя до скорости, обусловленной установкой траверсы регулятора *РВ*, производится в функции тока якорной цепи, контролируемого также реле *РУ*, как и при пуске двигателя до основной скорости.

Остановка главного привода производится нажатием кнопки «Стоп» — выключается контактор *З*, однако обмотка возбуждения генератора при этом не отключается, так как контактор *В* оказывается включенным благодаря замкнутому контакту *Ф*; поэтому вначале совершается замедление привода за счет усиления магнитного потока двигателя. В этом случае происходит рекуперативное торможение (первый этап торможения). Торможение двигателя почти до основной скорости происходит при импульсном управлении потоком двигателя с помощью дифференциального реле *РЗ*, если ток якоря превзойдет допустимое значение.

Когда ток возбуждения двигателя достигнет величины, близкой к номинальной, сработает реле *РУП*, выключится контактор *Ф*, за ним *В* и отключится обмотка возбуждения генератора, которая окажется замкнутой на разрядное сопротивление *СР*: начнется второй этап рекуперативного торможения. Когда напряжение на зажимах генератора значительно снизится, отключится реле *РТ*; при этом выключаются *Л* и *Э*; якорная цепь двигателя замыкает-

ся на сопротивление CT и наступает последний этап электрического торможения — динамическое торможение.

Регулирование скорости вращения двигателя вниз от заданной ранее положением регулятора PB производится нажатием кнопки «Медленнее». При этом вступает в действие серводвигатель CD , перемещающий траверсу регулятора PB в направлении, обеспечивающем увеличение тока возбуждения двигателя, что приводит к уменьшению его скорости вращения.

Реверсирование привода возможно только после предварительной его остановки.

Наладочный режим работы осуществляется нажатием одной из кнопок «Толч. вл.» или «Толч. из.». Так как в этом случае контактор $З$ не включается, то не может включиться и контактор $Ф$, поэтому в наладочном режиме, независимо от положения траверсы регулятора PB , двигатель работает с полным магнитным потоком.

Как показал анализ работы схемы, реле PY , имеющее две обмотки, контролирует процесс ускорения главного привода. Во избежание значительных динамических моментов максимальное значение тока якорной цепи двигателя при пуске привода вхолостую не должно значительно превосходить его значения при максимальной нагрузке, соответствующей резанию металла. Кроме того, из условий повышения надежности работы настройка этого реле должна быть такой, чтобы его число срабатываний при пуске привода было бы сравнительно небольшим.

Расчет кривых скоростей и тока якорной цепи в функции времени при пуске двигателя до основной скорости в рассматриваемой схеме производится на основании следующих соображений.

Электродвижущая сила генератора в предположении постоянства индуктивности его обмотки возбуждения изменяется по закону

$$e_{\Gamma} = E_{\Gamma. \text{кон}} - (E_{\Gamma. \text{кон}} - E_{\Gamma. \text{нач}}) e^{-t/T_{\text{в.г}}}, \quad (6.1)$$

где $E_{\Gamma. \text{нач}}$, $E_{\Gamma. \text{кон}}$ — соответственно начальное и конечное значения э. д. с. генератора; $T_{\text{в.г}}$ — электромагнитная постоянная времени цепи возбуждения генератора.

При замкнутом контакте PY

$$T_{\text{в.г1}} = T_{\text{в.г}}$$

(постоянная времени самой обмотки возбуждения генератора).

При разомкнутом контакте PY

$$T_{\text{в.г2}} = T_{\text{в.г}} \frac{r_{\text{р}} + r_{\text{д}}}{r_{\text{р}} + r_{\text{д}} + \frac{r_{\text{р}} r_{\text{д}}}{r_{\text{в.г}}}}, \quad (6.2)$$

где $r_{\text{р}}$, $r_{\text{д}}$, $r_{\text{в.г}}$ — соответственно разрядное, дополнительное и собственное сопротивления обмотки возбуждения генератора.

Если разделить левую и правую части (6.1) на c , то получим

$$\omega_0 = \omega_{0\text{кон}} - (\omega_{0\text{кон}} - \omega_{0\text{нач}}) e^{-t/T_{в.г}}, \quad (6.3)$$

где ω_0 — текущее значение скорости идеального холостого хода; $\omega_{0\text{кон}}$, $\omega_{0\text{нач}}$ — соответственно установившееся конечное и начальное значения скорости идеального холостого хода.

С другой стороны, уравнение для скорости двигателя в рассматриваемой системе определяется из известных уравнений электрического и механического равновесия электропривода и имеет вид

$$T_m \frac{d\omega}{dt} + \omega + \Delta\omega_c = \omega_{0\text{кон}} - (\omega_{0\text{кон}} - \omega_{0\text{нач}}) e^{-t/T_{в.г}}. \quad (6.4)$$

Решение этого уравнения для начальных условий при $t=0$, $\omega = \omega_{\text{нач}}$ (при $\Delta\omega_c = \text{const}$) дает

$$\begin{aligned} \omega = & \omega_{0\text{кон}} + \omega_{\text{нач}} e^{-t/T_m} - \frac{\omega_{0\text{кон}}}{T_{в.г} - T_m} (T_{в.г} e^{-t/T_{в.г}} - T_m e^{-t/T_m}) + \\ & + \frac{T_{в.г} \omega_{\text{нач}}}{T_{в.г} - T_m} (e^{-t/T_{в.г}} - e^{-t/T_m}) - \Delta\omega_c (1 - e^{-t/T_m}). \end{aligned} \quad (6.5)$$

Уравнение для тока якорной цепи имеет вид

$$i = \frac{c}{r} T_m \frac{d\omega}{dt} + I_c. \quad (6.6)$$

Расчет кривых скорости и тока в якорной цепи на втором этапе пуска, осуществляемом ослаблением магнитного потока двигателя, производится графо-аналитическим (приближенным) методом вследствие нелинейности системы электропривода. При этом ограничение тока в якорной цепи осуществляется таким же образом, как и на первом этапе пуска (до основной скорости), т. е. уменьшением э. д. с. генератора с помощью дополнительного сопротивления в цепи возбуждения генератора. Управление э. д. с. генератора производится в функции тока якорной цепи, как уже отмечалось, с помощью дифференциального реле РУ.

Для использования приближенного метода расчета переходного режима в начале должна быть получена зависимость магнитного потока двигателя от времени. С этой целью, задавшись кривой намагничивания двигателя $\Phi = f(I_{в.г})$ и заменяя ее рядом линейных участков, можно для каждого из них считать, что

$$\Phi = \Phi_{\text{кон}} - (\Phi_{\text{кон}} - \Phi_{\text{нач}}) e^{-t/T_{в.д1}}, \quad (6.7)$$

где $\Phi_{\text{нач}}$, $\Phi_{\text{кон}}$ — соответственно начальное и конечное значения магнитных потоков на данном линейном участке; $T_{в.д1} =$

$$= T_{в.д} \frac{r_p + r_d}{r_p + r_d + \frac{r_p r_d}{r_{в.д}}} — \text{постоянная времени контура обмотки}$$

возбуждения двигателя с учетом дополнительного и разрядного сопротивлений; $T_{в.д}$ — собственная постоянная времени обмотки возбуждения для данного участка кривой намагничивания; $r_p, r_d, r_{в.д}$ — соответственно разрядное, дополнительное и собственное сопротивление обмотки возбуждения двигателя.

Решая совместно уравнения электрического и механического равновесия электропривода, а также переходя от абсолютных значений переменных к его приращениям и заменяя кривые $\Phi = f(t)$ ломаными линиями, имеющими одинаковые площади, как на всей длине кривой, так и на отдельных участках ее с выбранным значением приращения времени Δt , получим, после преобразований, выражение для приращения скорости на данном участке

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0\varphi_{cp} - \varphi_{cp}^2\omega_{нач} - \Delta\omega_c}{T_m'\Delta t + \frac{1}{2}\varphi_{cp}^2}, \quad (6.8)$$

где $\omega_0, \Delta\omega_c$ — скорость идеального холостого хода и перепад скорости, обусловленный моментом нагрузки при номинальном потоке двигателя; $\varphi_{cp} = \frac{\Phi_{cp}}{\Phi_n}$ — относительное среднее значение магнитного потока; $\omega_{нач}$ — начальная скорость привода; T_m — электро-механическая постоянная времени привода, соответствующая номинальному магнитному потоку двигателя.

Ток якорной цепи в конце интервала

$$i = \frac{c(\omega_0 - \varphi\omega)}{r}, \quad (6.9)$$

где $c = k\Phi$; r — сопротивление якорной цепи генератор — двигатель.

Пример 6.1. Рассчитать переходный процесс пуска привода шпинделя крупного токарного станка. Привод выполнен по системе Г—Д (см. рис. 6.6). Разгон двигателя осуществляется увеличением напряжения генератора до основной скорости и ослаблением поля двигателя до скорости, выше основной. Управление пуском осуществляется в функции тока якорной цепи при помощи двухобмоточного реле РУ.

Данные машин.

Генератор. П92, 70 кВт, 230 в, 304 а, 1450 об/мин, $r_{я.г} = 0,0278$ ом, $r_{в.г} = 48,4$ ом. Характеристика холостого хода генератора представлена двумя прямыми: $E_g' = 67,7 I_{в.г}$ при изменении э. д. с. от нуля до 183 в и тока возбуждения от нуля до 2,75 а и $E_g'' = 183 + 29,2 (I_{в.г} - 2,75)$ при изменении э. д. с. от 183 в и выше и тока возбуждения от 2,75 а и выше. Кривая намагничивания генератора приведена на рис. 6.7. Постоянные времени обмотки возбуждения на первом (I) участке $T'_{в.г1} = 0,614$ сек, на втором (II) участке $T''_{в.г1} = 0,3$ сек.

Двигатель. П131-4К, 55 кВт, 220 в, 289 а, 300÷1500 об/мин, $GD^2 = 64$ кгм², $r_{я.д} = 0,0662$ ом, $r_{в.д} = 17,3$ ом. Число витков обмотки якоря $w = 189$, $2a = 2$, $2p = 4$. Кривая намагничивания двигателя приведена на рис. 6.8. Постоянные времени обмотки возбуждения двигателя: $T'_{в.д1} = 0,535$ сек на участке изменения магнитного потока от 1,0 до 0,95 (в относительных единицах); $T''_{в.д1} = 0,935$ сек на участке изменения потока от 0,95 до 0,77; $T'''_{в.д1} = 1,525$ сек на участке изменения потока от 0,77 и ниже.

Маховой момент механизма, приведенный к валу двигателя, $GD_{\text{м}}^2 = 120 \text{ кг м}^2$. Привод пускается вхолостую. Ток статической нагрузки при пуске, обусловленный потерями холостого хода станка $I_{\text{с0}} = 80 \text{ а}$. Ток статической нагрузки при резании $I_{\text{с}} = 270 \text{ а}$.

Решение.

Номинальная угловая скорость двигателя

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi n_{\text{н}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 300}{30} = 31,4 \text{ рад/сек.}$$

Коэффициент э. д. с. и момента двигателя

$$c = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} r_{\text{я.д.}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{220 - 289 \cdot 0,0662}{31,4} = 6,4 \frac{\text{в} \cdot \text{сек}}{\text{рад}}.$$

Полное сопротивление якорной цепи

$$r_{\text{я}} = 0,0278 + 0,0662 = 0,094 \text{ ом.}$$

Электродвижущая сила генератора при замкнутом контакте реле РУ

$$E_{\text{Г1}} = 183 + 29,2 \left(\frac{220}{48,4} - 2,75 \right) = 235,5 \text{ в.}$$

Скорость идеального холостого хода двигателя при э. д. с. генератора $E_{\text{Г1}} = 235,5 \text{ в}$

$$\omega_{01} = \frac{E_{\text{Г1}}}{c} = \frac{235,5}{6,4} = 36,8 \text{ рад/сек.}$$

Примем величину добавочного сопротивления в цепи обмотки возбуждения генератора такой, чтобы при разомкнутом контакте реле РУ э. д. с. генератора составляла $0,5 E_{\text{Г1}}$. Тогда

$$E_{\text{Г2}} = 0,5 \cdot 235,5 \approx 118 \text{ в.}$$

Скорость идеального холостого хода двигателя при э. д. с. генератора $E_{\text{Г2}} = 118 \text{ в}$

$$\omega_{02} = \frac{118}{6,4} = 18,45 \text{ рад/сек.}$$

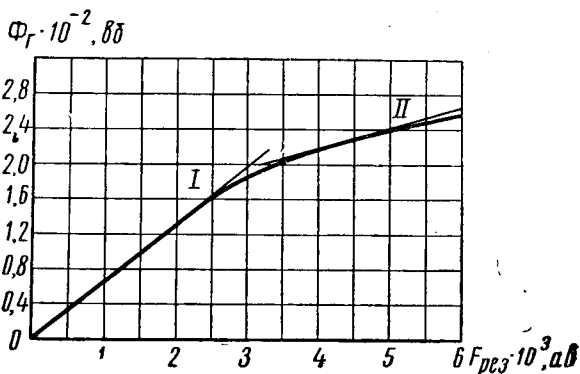


Рис. 6.7. Кривая намагничивания генератора типа П92

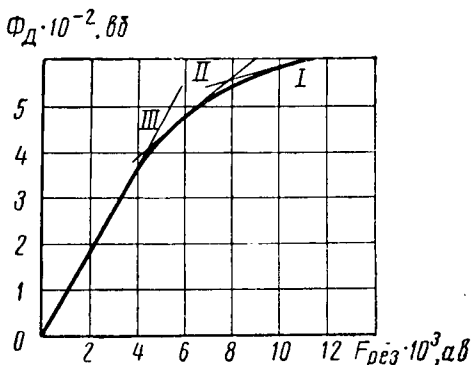


Рис. 6.8. Кривая намагничивания двигателя типа П131-4К

Излом характеристики холостого хода генератора происходит при э. д. с., равной 183 в. Ей соответствует скорость идеального холостого хода двигателя

$$\omega_0 = \frac{183}{6,4} = 28,6 \text{ рад/сек.}$$

Величину разрядного сопротивления к обмотке возбуждения генератора примем

$$r_{p.r} = 3r_{в.г} = 3 \cdot 48,4 \approx 145 \text{ ом.}$$

Ток возбуждения генератора при разомкнутом контакте реле РУ

$$I_{в.г2} = \frac{118}{67,7} = 1,75 \text{ а.}$$

Величина добавочного сопротивления в цепи возбуждения генератора

$$r_{д.г} = \frac{U_{в} - I_{в.г2} r_{в.г}}{\left(1 + \frac{r_{в.г}}{r_{п.г}}\right) I_{в.г2}} = \frac{220 - 1,75 \cdot 48,4}{\left(1 + \frac{48,4}{145}\right) 1,75} = 58,2 \text{ ом.}$$

Постоянные времени обмотки возбуждения генератора при разомкнутом контакте реле РУ:

$$T'_{в.г2} = T'_{в.г1} \frac{r_{п.г} + r_{д.г}}{r_{п.г} + r_{д.г} + \frac{r_{п.г} r_{д.г}}{r_{в.г}}} = 0,614 \frac{145 + 58,2}{145 + 58,2 + \frac{145 \cdot 58,2}{48,4}} = 0,33 \text{ сек.}$$

$$T''_{в.г2} = 0,3 \frac{145 + 58,2}{145 + 58,2 + \frac{145 \cdot 58,2}{48,4}} = 0,16 \text{ сек.}$$

Электромеханическая постоянная времени

$$T_{\mu} = \frac{(J_{л} + J_{м}) r_{я}}{c^2} = \frac{(GD_{л}^2 + GD_{м}^2) r_{я}}{4c^2} = \frac{64 + 120}{4 \cdot 6,42} = 0,094 = 0,105 \text{ сек.}$$

Настройку реле РУ выбираем из условия, чтобы ток якорной цепи, при котором реле РУ размыкает свой контакт, был несколько больше тока статической нагрузки при резании, т. е. $I_{р.отк} \geq I_c$. Примем $I_{р.отк} = 290 \text{ а}$. Принимаем $I_{р.сраб}/I_{р.отк} = 0,9$. Тогда величина тока, при котором реле замыкает свой контакт, составит $I_{р.сраб} = 260 \text{ а}$.

Собственное время срабатывания и отпущения реле принимаем $t_p \approx 0,03 \text{ сек}$.

Участок. Двигатель неподвижен; реле РУ сработало — обмотка возбуждения генератора находится под полным напряжением.

Граничные условия: $\omega_{нач} = 0$; $\omega_{кон} = \omega_{01} = 36,8 \text{ рад/сек}$; $T_{я.г} = T'_{я.г1} = 0,614 \text{ сек}$; $i_{кон} = I_{с0} = 80 \text{ а}$.

Расчетные формулы с числовыми коэффициентами:

$$\omega_0 = 36,8 (1 - e^{-t/0,614});$$

$$i = \frac{e_r}{r} = \frac{c\omega_0}{r} = \frac{6,4 \cdot 36,8}{0,094} (1 - e^{-t/0,614}) = 2505 (1 - e^{-t/0,614}).$$

Время трогания двигателя, т. е. время, при котором $i = I_{с0} = 80 \text{ а}$,

$$t_r = 0,614 \ln \frac{36,8}{36,8 - 1,175} = 0,02 \text{ сек};$$

$$\Delta\omega_c = \frac{I_{c0}r}{c} = \frac{80 \cdot 0,094}{6,4} = 1,175 \text{ рад/сек.}$$

II участок. С момента трогания двигателя до момента размыкания контакта реле РУ. Для этого участка ω_0 определяется той же формулой, что и для участка I: $\omega_{нач} = 0$; $\omega_{окон} = \Delta\omega_c = 1,175 \text{ рад/сек.}$

Уравнение (расчетное) для скорости двигателя:

$$\begin{aligned} \omega &= 36,8 - \frac{36,8}{0,614 - 0,105} \left(0,614 e^{-\frac{t-0,02}{0,614}} - 0,105 e^{-\frac{t-0,02}{0,105}} \right) + \\ &+ \frac{0,614 \cdot 1,175}{0,614 - 0,105} \left(e^{-\frac{t-0,02}{0,614}} - e^{-\frac{t-0,02}{0,105}} \right) - 1,175 \left(1 - e^{-\frac{t-0,02}{0,105}} \right) = \\ &= 35,6 - 43 e^{-\frac{t-0,02}{0,614}} + 7,36 e^{-\frac{t-0,02}{0,105}}. \end{aligned}$$

Уравнение для тока якорной цепи

$$\begin{aligned} i &= \frac{6,4}{0,094} 0,105 \left(\frac{43}{0,614} e^{-\frac{t-0,02}{0,614}} - \frac{7,36}{0,105} e^{-\frac{t-0,02}{0,105}} \right) + \\ &+ 80 = 502 \left(e^{-\frac{t-0,02}{0,614}} - e^{-\frac{t-0,02}{0,105}} \right) + 80. \end{aligned}$$

По данным расчета на I и II участках последовательно строятся кривые ω_0 , ω и i . Ток якоря достигает значения $I_{р-отк} = 290 \text{ а}$ при $t_1 = 0,10 \text{ сек}$; контакт реле РУ размыкается при $t_2 = 0,13 \text{ сек}$.

III участок. С момента времени $t_2 = 0,13 \text{ сек}$ контакт реле РУ разомкнут; $\omega_{окон} = 18,45 \text{ рад/сек}$; $\omega_{нач} = 7,02 \text{ рад/сек}$; $\omega_{нач} = 2,23 \text{ рад/сек}$; $T_{в.г} = T'_{в.г2} = 0,33 \text{ сек}$.

Расчетные формулы:

$$\omega_0 = 18,45 - (18,45 - 7,02) e^{-\frac{t-0,13}{0,33}} = 18,45 - 11,43 e^{-\frac{t-0,13}{0,33}}.$$

$$\begin{aligned} \omega &= 18,45 + 2,23 e^{-\frac{t-0,13}{0,105}} - \frac{18,45}{0,33 - 0,105} \left(0,33 e^{-\frac{t-0,13}{0,33}} - 0,105 e^{-\frac{t-0,13}{0,105}} \right) + \\ &+ \frac{0,33 \cdot 7,02}{0,33 - 0,105} \left(e^{-\frac{t-0,13}{0,33}} - e^{-\frac{t-0,13}{0,105}} \right) - 1,175 \left(1 - e^{-\frac{t-0,13}{0,105}} \right) = \end{aligned}$$

$$= 17,28 - 16,8 e^{-\frac{t-0,13}{0,33}} + 1,745 e^{-\frac{t-0,13}{0,105}};$$

$$i = \frac{6,4 \cdot 0,105}{0,094} \left(\frac{16,8}{0,33} e^{-\frac{t-0,13}{0,33}} - \frac{1,745}{0,105} e^{-\frac{t-0,13}{0,105}} \right) +$$

$$+ 80 = 364 e^{-\frac{t-0,13}{0,33}} - 119 e^{-\frac{t-0,13}{0,105}} + 80.$$

По данным расчета строятся кривые ω_0 , ω и i . Ток якоря достигает значения $I_{p.cpaб}=260$ а при $t_3=0,33$ сек. Контакт реле PY замыкается при $t_4=0,36$ сек. Далее расчет производится аналогично.

IV участок. С момента времени $t_4=0,36$ сек. Контакт реле PY замкнут; $\omega_{окон}=36,8$ рад/сек; $\omega_{нач}=12,8$ рад/сек; $\omega_{нач}=9,12$ рад/сек; $T_{в.г}=T'_{в.г1}=0,614$ сек. Ток якоря достигает значения $I_{p.отп}=290$ а при $t_5=0,42$ сек. Реле размыкает свой контакт при $t_6=0,45$ сек.

V участок. С момента времени $t_6=0,45$ сек. Контакт реле PY разомкнут; $\omega_{окон}=18,45$ рад/сек; $\omega_{нач}=16,05$ рад/сек; $\omega_{нач}=11,6$ рад/сек; $T_{в.г}=T'_{в.г2}=0,33$ сек. Ток якоря достигает значения $I_{p.cpaб}=260$ а при $t_7=0,48$ сек. Контакт реле замыкается при $t_8=0,51$ сек.

VI участок. С момента времени $t_8=0,51$ сек. Контакт реле PY замкнут; $\omega_{окон}=36,8$ рад/сек; $\omega_{нач}=16,45$ рад/сек; $\omega_{нач}=13,15$ рад/сек; $T_{в.г}=T'_{в.г1}=0,614$ сек.

На VI участке и в дальнейшем ток якоря не достигает величины $I_{p.отп}=290$ а, поэтому контакт реле PY остается замкнутым. С момента времени $t_9=1,07$ сек генератор выходит на другой участок характеристики холостого хода с меньшей постоянной времени обмотки возбуждения.

VII участок. С момента времени $t_9=1,07$ сек; $\omega_{окон}=36,8$ рад/сек; $\omega_{нач}=28,6$ рад/сек; $\omega_{нач}=25,8$ рад/сек; $T_{в.г}=T'_{в.г1}=0,3$ сек.

Переходный процесс практически заканчивается при $t \approx 2,5$ сек.

По данным расчета на рис. 6.9 построены кривые $\omega_0=f_1(t)$, $\omega=f_2(t)$ и $i=f_3(t)$ при пуске двигателя до основной скорости (при номинальном магнитном потоке двигателя).

Дальнейший разгон двигателя до скорости, выше номинальной, осуществляется ослаблением магнитного потока, для чего в цепь обмотки возбуждения двигателя размыканием соответствующего контакта вводится добавочное сопротивление. Диапазон изменения скорости ослаблением потока двигателя при-
мом 2:1.

Конструктивная постоянная двигателя

$$k = \frac{pN}{2\pi a} = \frac{2 \cdot 378}{2 \cdot 3,14 \cdot 1} = 120,$$

где $N=2\omega=2 \cdot 189=378$ — число активных проводников якорной обмотки двигателя.

Номинальный поток двигателя

$$\Phi_1 = \Phi_{ном} = \frac{c}{k} = \frac{6,4}{120} = 0,0533 \text{ вб.}$$

Магнитный поток при ослаблении поля

$$\Phi_2 = \Phi_1 \frac{\omega_{мин}}{\omega_{макс}} = 0,0533 \cdot \frac{1}{2} = 0,0266 \text{ вб.}$$

Номинальный поток двигателя примем за единицу. Тогда в относительных единицах

$$\varphi_1 = 1,0, \varphi_2 = 0,5.$$

По кривой намагничивания двигателя определяем ток в обмотке возбуждения, соответствующий потоку $\Phi_2=0,0266$ вб:

$$I_{в.д2} = 3,68 \text{ а.}$$

Разрядное сопротивление для обмотки возбуждения двигателя

$$r_{p.д} = 3r_{в.д} = 3 \cdot 17,3 = 51,9 \text{ ом.}$$

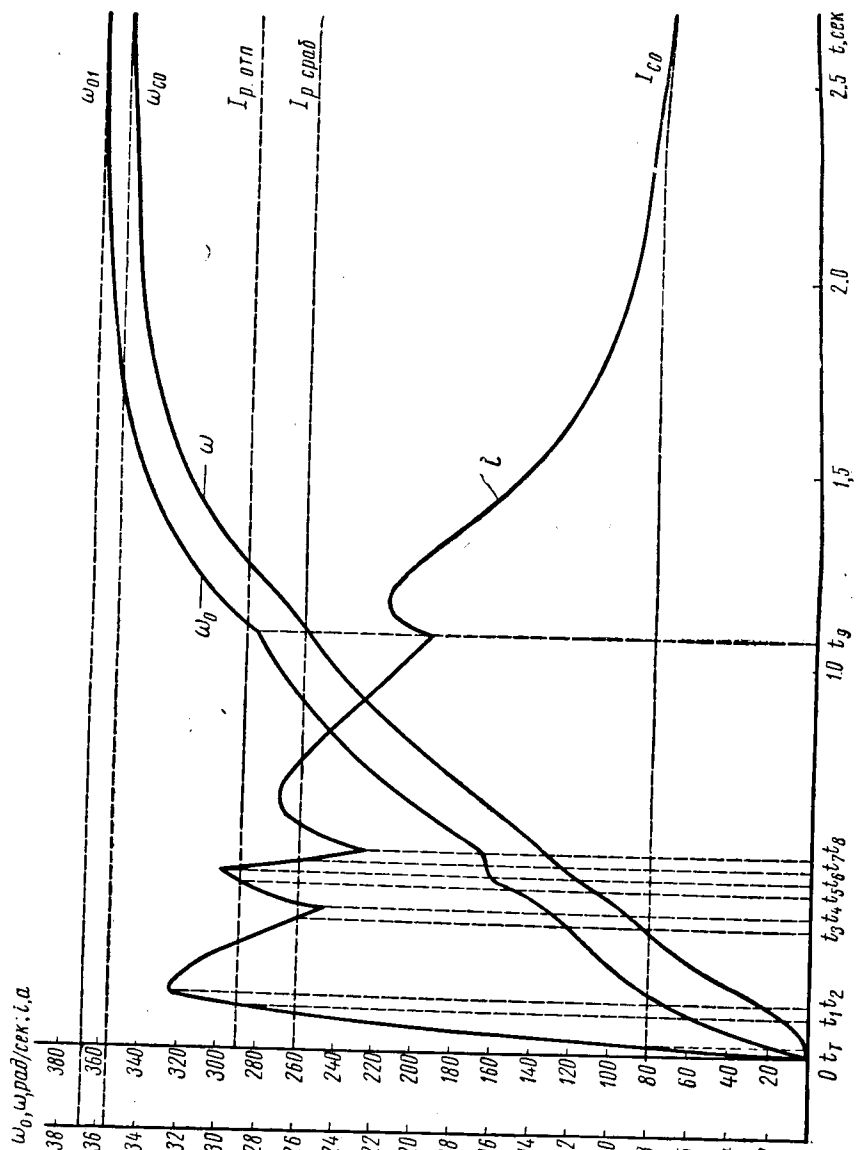


Рис. 6.9. Кривые переходных режимов при пуске двигателя до номинальной скорости

Добавочное сопротивление в цепи возбуждения двигателя

$$r_{д.л} = \frac{220 - 3,68 \cdot 17,3}{\left(1 + \frac{17,3}{51,9}\right) 3,68} = 31,8 \text{ ом.}$$

Постоянные времени обмотки возбуждения двигателя с учетом дополнительного и разрядного сопротивлений равны соответственно:

$$T'_{в.л2} = T'_{в.л1} \frac{r_{р.л} + r_{д.л}}{r_{р.л} + r_{д.л} + \frac{r_{р.л} \cdot r_{д.л}}{r_{в.л}}} = 0,535 \frac{51,9 + 31,8}{51,9 + 31,8 + \frac{51,9 \cdot 31,8}{17,3}} = 0,25 \text{ сек;}$$

$$T''_{в.л2} = T''_{в.л1} \cdot 0,467 = 0,935 \cdot 0,467 = 0,437 \text{ сек;}$$

$$T'''_{в.л2} = T'''_{в.л1} \cdot 0,467 = 1,525 \cdot 0,467 = 0,714 \text{ сек.}$$

Кривая изменения магнитного потока двигателя $\varphi = f(t)$ на первом участке может быть построена по формуле

$$\varphi = 0,5 - (0,5 - 1,0) e^{-\frac{t}{0,25}} = 0,5 + 0,5 e^{-\frac{t}{0,25}}.$$

Поток достигает величины 0,95 за время

$$t = -0,25 \ln \frac{0,95 - 0,5}{0,5} = 0,0265 \text{ сек}$$

и далее будет изменяться с другой постоянной времени $T''_{в.л2} = 0,437 \text{ сек.}$

Расчетная формула на втором участке

$$\varphi = 0,5 - (0,5 - 0,95) e^{-\frac{t-0,0265}{0,437}} = 0,5 + 0,45 e^{-\frac{t-0,0265}{0,437}}.$$

Магнитный поток достигнет величины 0,77 в момент времени

$$t = -0,437 \ln \frac{0,77 - 0,5}{0,45} + 0,0265 = 0,25 \text{ сек}$$

и далее будет изменяться с постоянной времени $T'''_{в.л2} = 0,714 \text{ сек}$ до установившегося значения.

Расчетная формула на третьем участке:

$$\varphi = 0,5 - (0,5 - 0,77) e^{-\frac{t-0,25}{0,714}} = 0,5 + 0,27 e^{-\frac{t-0,25}{0,714}}.$$

Кривую $\varphi = f(t)$ заменяем ломаной с отрезками, соответствующими выбранному значению приращения времени $\Delta t = 0,01 \text{ сек.}$

В начале переходного процесса контакт реле РУ замкнут, э. д. с. генератора и соответствующая ей скорость идеального холостого хода двигателя остаются неизменными: $\omega_0 = 36,8 \text{ рад/сек.}$

Начальное значение скорости на первом интервале $\omega_{нач1} = 35,6 \text{ рад/сек.}$

Приращение скорости на первом интервале

$$\Delta \omega_1 = \frac{36,8 \cdot 0,99 - 0,992 \cdot 35,6 - 1,175}{\frac{0,105}{0,01} + \frac{1}{2} \cdot 0,992} = 0,0296 \text{ рад/сек.}$$

Скорость двигателя в конце первого, начале второго интервала

$$\omega_{\text{нач}2} = \omega_{\text{нач}1} + \Delta\omega_1 = 35,6 + 0,0296 = 35,63 \text{ рад/сек.}$$

Приращение скорости на втором интервале

$$\Delta\omega_2 = \frac{36,8 \cdot 0,971 - 0,9712 \cdot 35,63 - 1,175}{\frac{0,105}{0,01} + \frac{1}{2} \cdot 0,9712} = 0,084 \text{ рад/сек.}$$

Скорость двигателя в конце второго, начале третьего интервала

$$\omega_{\text{нач}3} = \omega_{\text{нач}2} + \Delta\omega_2 = 35,63 + 0,084 = 35,71 \text{ рад/сек}$$

и т. д.

Ток в конце первого интервала

$$i_1 = \frac{6,4(36,8 - 0,98 \cdot 35,63)}{0,094} = 129,5 \text{ а.}$$

Ток в конце второго интервала

$$i_2 = \frac{6,4(36,8 - 0,962 \cdot 35,71)}{0,094} = 167 \text{ а}$$

и т. д.

В момент времени $t=0,11 \text{ сек}$ ток якорной цепи достигнет величины $I_{\text{р.отп}} = 290 \text{ а}$. Контакт реле PY разомкнется при $t=0,14 \text{ сек}$, э. д. с. генератора и соответствующая ей скорость идеального холостого хода двигателя начнут уменьшаться; $\omega_{\text{нач}} = 36,8 \text{ рад/сек}$. Расчетная формула для скорости идеального холостого хода

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \omega_{0\text{кон}} - (\omega_{0\text{кон}} - \omega_{0\text{нач}}) e^{-\frac{t-t'}{T_{\text{в.г}}}} = \\ &= 18,4 - (18,4 - 36,8) e^{-\frac{t-0,14}{0,16}} = 18,4 + 18,4 e^{-\frac{t-0,14}{0,16}}. \end{aligned}$$

В расчетную формулу для приращения скорости далее следует подставлять среднее значение скорости идеального холостого хода на каждом интервале, определяя его так же, как и среднее значение магнитного потока на интервале.

После размыкания контакта реле PY ток в якорной цепи начнет спадать. В момент времени $t=0,15 \text{ сек}$ он станет менее $I_{\text{р.сраб}} = 260 \text{ а}$; контакт реле PY замкнется при $t=0,18 \text{ сек}$.

Скорость идеального холостого хода начнет возрастать. Расчетная формула при $\omega_{\text{нач}} = 32,8 \text{ рад/сек}$

$$\omega_0 = 36,8 - (36,8 - 32,8) e^{-\frac{t-0,18}{0,3}} = 36,8 - 4e^{-\frac{t-0,18}{0,3}}.$$

Ток якорной цепи опять начнет возрастать и через некоторое время контакт реле PY вновь разомкнется. Дальше процесс будет повторяться. Последовательность расчета ω_0 , $\Delta\omega$, ω и i остается той же.

После достаточно большого числа пиков тока в якорной цепи скорость двигателя возрастает настолько, что при замкнутом контакте реле PY ток не превысит величины $I_{\text{р.отп}} = 290 \text{ а}$. Контакт реле дальше остается замкнутым. Переходный процесс заканчивается при $t \approx 6,5 \text{ сек}$.

На основании результатов вычислений на рис. 6.10 построены кривые изменения магнитного потока в относительных единицах Φ

скорости идеального холостого хода двигателя ω_0 , тока i и скорости двигателя ω во времени.

Рассмотрим другую систему главного электропривода тяжелых токарных станков, состоящую из неуправляемого статического преобразователя переменного тока в постоянный для питания якорной цепи главного двигателя и управляемого статического преобразователя для регулирования тока возбуждения того же двигателя.

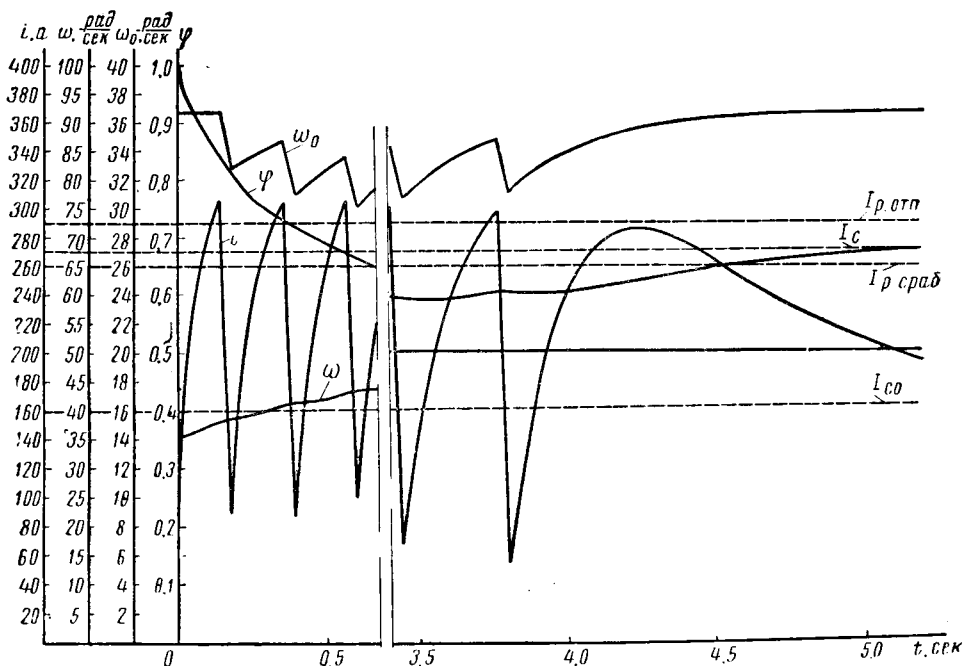


Рис. 6.10. Кривые переходных режимов при пуске выше основной скорости

Упрощенная принципиальная электрическая схема такой системы для станка модели 1А675, разработанной Краматорским заводом тяжелого станкостроения, приведена на рис. 6.11.

Статический преобразователь для питания якорной цепи включен по трехфазной мостовой схеме и присоединен к сети переменного тока через понижающий автотрансформатор и реакторы, предназначенные для защиты вентилях от токов короткого замыкания. Пуск двигателя производится в функции времени контакторами ускорения $1У$ и $2У$, шунтирующими пусковое сопротивление. Реверсирование двигателя выполняется при помощи контакторов $1В$, $2В$ и $1Н$, $2Н$.

Пуск двигателя шпинделя возможен, как и в случае использования системы генератор — двигатель, если соблюдается выполне-

б)

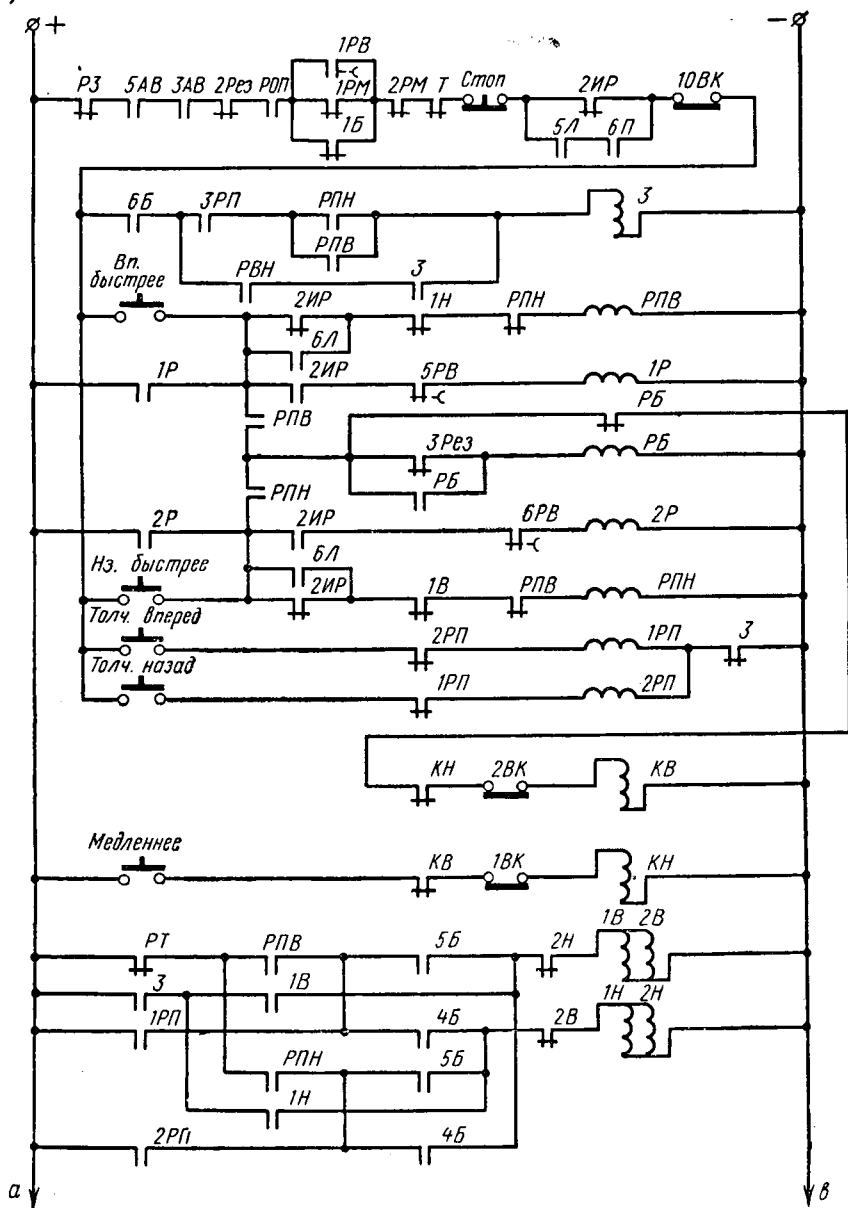


Рис. 6.11. Продолжение

(замкнут контакт реле давления *РДВ*); е) замкнуты контакты реле максимальной защиты *1РМ* и *2РМ*; ж) включение двигателя маслососа (замкнут *ЛМ*); з) замкнуты контакты *1ОВК*.

При нажатии, например, кнопки «Вп. быстрее» включается реле *РПВ*, которое своим замыкающим контактом включит контактор *З* и контакторы *1В*, *2В*. Дальнейшего нажатия кнопки «Вп. быстрее» не требуется, так как цепь катушки контакторов блокируется контактами *З* и *1В*. Блок-контакт *2В* включает промежуточное реле *РВН*, а размыкающий контакт *1В* отключает реле времени *1РУ*. Якорь двигателя через контакты *1В* и *2В* присоединяется к полупроводниковому преобразователю через пусковое сопротивление. С выдержкой времени срабатывает реле *1РУ*, включается контактор *1У*, шунтирующий первую ступень пускового сопротивления. Блок-контакт *1У*, размыкаясь, выключает реле *2РУ*, контакт которого по истечении выдержки времени замкнет цепь катушки контактора *2У* и зашунтируется вторая ступень пускового реостата: двигатель будет работать на естественной характеристике. Разгон двигателя выше номинальной скорости осуществляется повторным нажатием кнопки «Вп. быстрее»; при этом включится контактор *КВ* и начнет действовать серводвигатель *СД* — увеличивается сопротивление в цепи обмотки управления магнитного усилителя *4МУ*, реализующей отрицательную обратную связь по скорости. В результате изменяется фаза сигнала тиристоров *1ВК*, *2ВК*, уменьшается ток возбуждения, и двигатель разгоняется до скорости, соответствующей установке траверсы регулятора *РС*. Ограничение тока якорной цепи осуществляется узлом токоограничения, в котором разность падения напряжения на обмотке дополнительных полюсов и задающего напряжения подается на обмотку управления *5МУ* суммирующего магнитного усилителя, управляющего тиристорами *1ВК* и *2ВК*. Очевидно с увеличением тока якорной цепи двигателя сверх установленного значения угол открывания тиристоров уменьшается: возрастает ток возбуждения и затем снижается ток якоря. Для снижения скорости двигателя нажимается кнопка «Медленнее», и серводвигатель перемещает траверсу регулятора в сторону, при которой ток, проходящий через обмотку управления *4МУ* магнитного усилителя, увеличивается. Выходное напряжение его уменьшится и фаза управляющего импульса, подаваемого на тиристоры *1ВК*, *2ВК*, уменьшится и ток возбуждения двигателя возрастает — скорость его снизится.

При резком увеличении тока возбуждения двигателя и значительном моменте инерции привода может увеличиться э. д. с. до величины, недопустимой для вентиля. Для защиты вентиля используется реле *1РН*, срабатывающее при напряжении около 520 в (номинальное напряжение двигателя 440 в). В этом случае включается *1Т* и происходит более интенсивное подтормаживание двигателя до скорости, установленной регулятором. Когда э. д. с. двигателя достигнет э. д. с., равной приблизительно 460 в, реле *1РН* отключается и выключается *1Т*. Если, однако, при подтормажива-

нии и торможении двигателя э. д. с. превысит 570 в, то сработает вибрационное реле *2РН*, в цепь обратной связи будет введено дополнительное сопротивление, в результате чего будет дан импульс на снижение тока возбуждения и э. д. с. двигателя снизится.

Остановка главного двигателя производится нажатием кнопки «Стоп»: отключается контактор *З*, затем *1В*, *2В* (или *1Н*, *2Н*), включается реле *1РУ*, в результате чего выключаются контакторы *1У*, *2У* и через контакт включившегося реле *РТ* подключается контактор *Т*; таким образом осуществляется динамическое торможение двигателя. Ограничение тока при торможении выполняется так же, как и при пуске двигателя, ограничение роста э. д. с. выполняется с помощью вибрационного реле *2РН*.

Наладочный режим работы главного привода осуществляется нажатием кнопки «Толч. вперед» (или «Толч. назад»). Через промежуточное реле *1РП* (*2РП*) включается *1В*, *2В* (*1Н*, *2Н*) (контактор *З* выключен). Так как задающая обмотка управления *1МУ* магнитного усилителя включается через дополнительное сопротивление, двигатель разгонится до номинальной скорости независимо от положения траверсы регулятора скорости *РС*.

Как упоминалось, коробка скоростей имеет три механические ступени, переключаемые дистанционно при помощи электромагнитов. Электрическая схема узла переключения скоростей показана на рис. 6.12, из которого видна взаимная блокировка включения контакторов, управляющих электромагнитами (*1Э*, *2Э* и *3Э*) отдельных механических ступеней. Там же показаны контакты (*1БК*, *2БК* и *3БК*), фиксирующие окончательное положение механических ступеней скорости, обеспечивающее надежное зацепление шестерен, а также диаграмма положений этих контактов («X») — контакт замкнут («—») — контакт разомкнут. Схема, изображенная на рис. 6.12, проста и дополнительных пояснений не требует.

Вкратце рассмотрим действие схемы блока управления тиристорами *1ВК*, *2ВК* (рис. 6.13), входящими в однофазный двухтактный выпрямительный мост для питания обмотки возбуждения двигателя.

Фазовое управление тиристорами построено на так называемом вертикальном принципе. Схема управления принципиально отличается от рассмотренной в гл. IV и представляет самостоятельный интерес в связи с автоматическим регулированием двигателя постоянного тока, управляемого в цепи обмотки возбуждения. Пилообразное напряжение возникает на конденсаторе *8С* (для другой полуволны напряжения на *9С*), подключенном к источнику постоянного тока. Разряд конденсаторов *8С* (*9С*) производится один раз в период диодным коммутатором, работающим синхронно и синфазно с сетью (*2В*, *3Д* и *5В*, *4Д*).

Пилообразное напряжение сравнивается с напряжением выхода суммирующего магнитного усилителя *МУ*. При равенстве этих напряжений в эмиттерной цепи триодов *3ПТ* и *4ПТ* появится ток управления. Так как напряжение управления значительно меньше

напряжения питания, то ток управления мало зависит от угла регулирования. С появлением тока управления открывается триод *ЗПТ* (или *4ПТ*) (в зависимости от полувольты напряжения трансформатора *ЗТР*) и к выходному трансформатору *4ТР* (или *5ТР*) прикладывается напряжение предварительно заряженного конденсатора *10С* (или *11С*). Указанные трансформаторы имеют по две вторичные обмотки, одна из которых подключена к цепи управления тиристоров, а вторая подключается ко входу триода для положительной обратной связи.

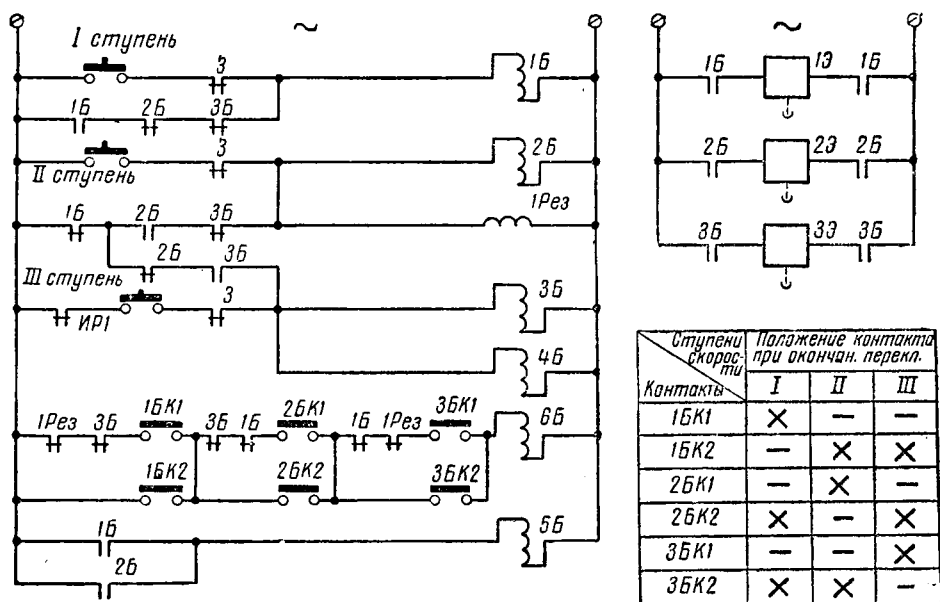


Рис. 6.12. Электрическая схема узла переключения скоростей

До подачи входного импульса триод закрыт, постоянное напряжение управления приложено к переходу эмиттер — коллектор. При подаче входного импульса сопротивление триода падает, и емкость начнет разряжаться на первичную обмотку трансформатора. При этом ток, проходящий по цепи эмиттер — база, еще больше открывает триод.

Входом блока управления тиристорами является суммирующий магнитный усилитель *МУ*, питающийся повышенной частотой от генератора автоколебаний, собранного на триодах *1ПТ*, *2ПТ*. С выхода *МУ* снимается управляющее напряжение, сравнивающееся с пилообразным напряжением. Магнитный усилитель имеет пять обмоток управления: 1) *1МУ* — задающая обмотка; 2) *2МУ* — обмотка смещения; 3) *3МУ* — стабилизирующая обмотка, включенная в

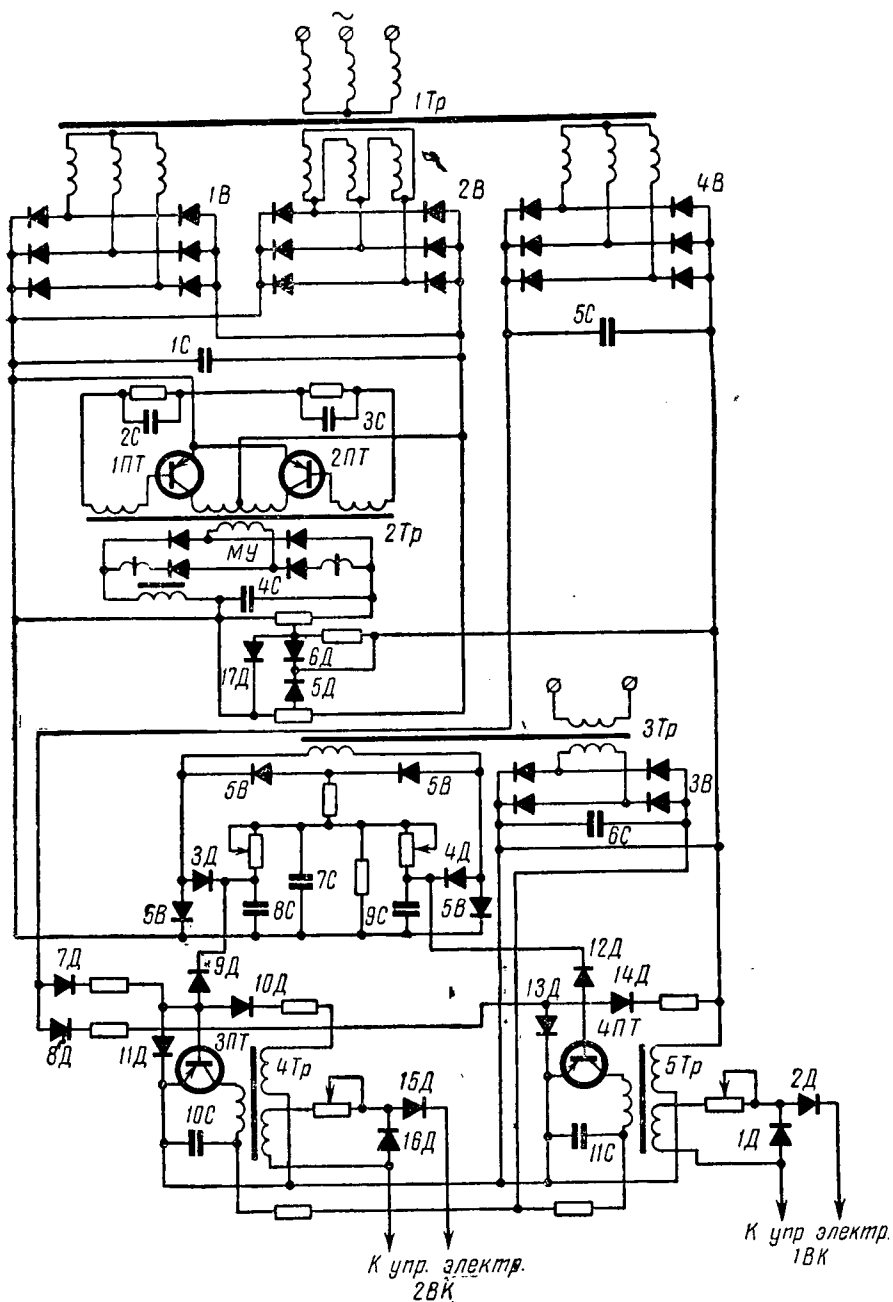


Рис. 6.13. Схема управления тиристорным преобразователем в цепи возбуждения главного двигателя

диагональ моста, плечами которого являются участки потенциометра, дополнительное сопротивление и обмотка возбуждения двигателя; 4) *4МУ* — обмотка обратной связи по скорости и 5) *5МУ* — обмотка узла токовой отсечки.

К недостаткам рассмотренной системы привода в сравнении с системой генератор — двигатель следует отнести:

а) необходимость в использовании мощных контакторов в силовых цепях;

б) невозможность рекуперативного торможения; этот недостаток не имеет существенного значения, так как главный привод тяжелых токарных станков пускается и тормозится редко.

Достоинства этой системы, как отмечалось выше:

а) простота преобразователя и надежность ее в эксплуатации;

б) значительно больший к. п. д. в сравнении с системой генератор — двигатель;

в) относительно небольшие габариты статического преобразователя, отсутствие необходимости в фундаменте для него, а также снижение уровня шума, обусловленного работой электропривода.

§ 6.4. ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДАЧИ СУППОРТОВ ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

Как уже упоминалось, в некоторых тяжелых токарных станках целесообразно применять индивидуальный регулируемый электропривод подачи. В связи с этим заметно упрощается кинематическая схема передачи движения суппортом. Электропривод суппорта (на станке могут быть два суппорта) выполнен от двигателя постоянного тока, управляемого неререверсивным тиристорным преобразователем. Принцип действия такого преобразователя был описан в четвертой главе.

Суппорт имеет две механические ступени подачи, переключение которых производится электромагнитными муфтами. Системы управления обоих суппортов идентичны. Упрощенная схема управления приводом одного из суппортов, например станка модели 1А675, приведена на рис. 6.14. Выбор режима работы каждого из суппортов производится переключением *1ПР*. Привод суппорта обеспечивает работу в следующих режимах: токарные работы, обточка конусных поверхностей, копировальные работы и наладка.

Изменение направления перемещения суппорта, как и выбор режима работы, производятся соответственно переключателями *ПР* и *ПП*, включающими необходимые для заданного режима электромагнитные муфты. Пуск двигателя подачи возможен после разгона главного двигателя (замкнут контакт *2У*) и выбора соответствующего режима, например переключатель *1ПР* устанавливается в положение «Токарные работы» (включается *2Р*). При нажатии кнопки «Пуск 2» включается *1Б*, затем контактор *К* и подается на тиристоры напряжение переменного тока. Регулирование скорости дви-

гателя осуществляется при помощи потенциометра *РС*, на зажимы которого подается напряжение от блока питания *БП*, а снимается сигнал управления, равный разности задающего напряжения и напряжения тахогенератора, пропорционального скорости двигателя.

При передвижении рукоятки регулятора *РС* на снижение скорости срабатывает поляризованное реле *РП*, включающее *РТ*, которое своими контактами отключает *К* и включает *Т* — осуществляется торможение двигателя. Торможение будет происходить до значения скорости, отмеченного движком регулятора *РС*. Когда задающее напряжение окажется больше напряжения тахогенератора, реле *РП* отключится и вновь включится *К* — двигатель будет работать при заданной скорости.

Выбор направления и соответствующей ступени подачи может производиться при работающем двигателе с помощью переключателей *КП* и *ПП*, управляющих электромагнитными муфтами *1ЭМ* ÷ *9ЭМ*. Остановка двигателя подачи производится нажатием кнопки «Стоп 2», а также при отключении главного двигателя, когда размыкается контакт *2У*.

Ускоренное перемещение суппорта может происходить в режиме «Наладка» (*1ПП* устанавливается в положение «Наладка» — включается реле *1Р*) независимо от того, работает главный привод или нет.

Токарная обработка деталей сложной конфигурации производится с помощью электрокопировального устройства. С этой целью предварительно на рейке станины устанавливается копир (шаблон) и по нему перемещается ролик электроконтактного датчика, закрепленного на кронштейне, который укрепляется на салазках суппорта. При перемещении суппорта ролик датчика воздействует на контакты *1К*—*3К* датчика *ЭКД*. В соответствии с положением этих контактов включаются быстродействующие реле *1РП* ÷ *4РП*, управляющие электромагнитными муфтами, которые переключают кинематические цепи механизма подачи суппорта. С целью повышения точности копирования используются электромагнитные муфты для торможения (*8ЭМ* и *9ЭМ*).

Для подготовки станка к копировальным работам необходимо переключателем *ПР* выбрать направление копирования, например «Влево», если продольная подача избирается от задней бабки станка к передней, или «Вправо» — от передней бабки к задней; затем включить главный привод и двигатель привода подачи. В исходном положении датчика, когда ролик его не дошел до шаблона, контакт *1К* замкнут и *1РП* включено, получит питание электромагнитная муфта *4ЭМ* и разомкнется цепь тормозной муфты *9ЭМ*; суппорт будет перемещаться в сторону детали и ролик датчика, дойдя до шаблона, начнет испытывать нажатие, в результате чего контакты датчика будут переключаться, обеспечивая управление электромагнитными муфтами для получения перемещения суппорта, соответствующего заданной шаблоном траектории. Более подробно электрическое копирование рассмотрено в гл. XII.

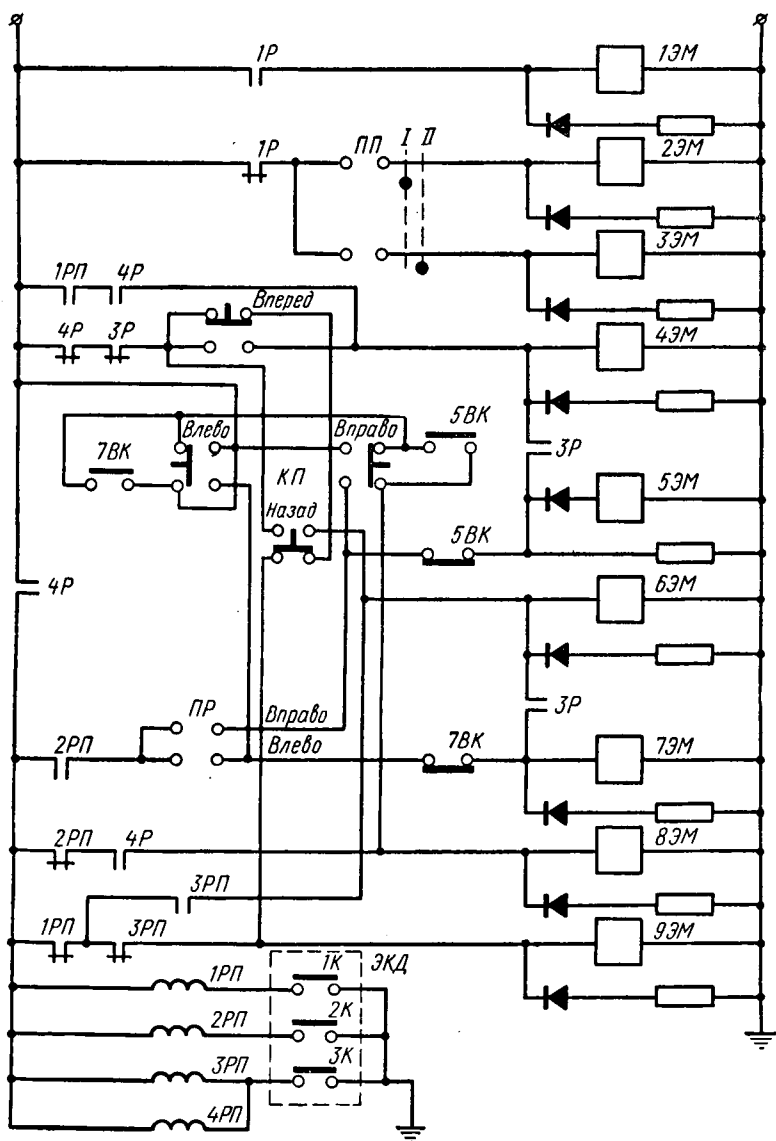


Рис. 6.14. Продолжение

Винторезный суппорт выполняется съемным узлом станка; он устанавливается на поперечных салазках переднего токарного суппорта для нарезания резьб.

Обычная механическая связь винторезного суппорта со шпинделем, осуществляемая ходовым винтом, здесь заменена электрической связью, выполненной по простой схеме электрического вала, называемой «датчик-приемник» (или схема с асинхронным преобразователем частоты).

В схеме используются обычные асинхронные двигатели с контактными кольцами, один из которых «датчик» установлен на передней бабке и жестко, через передачу, соединен с главным двигателем. Другой — «приемник» установлен на винторезном суппорте и является электроприводом винторезного суппорта (рис. 6.15, а). Нарезание резьбы производится при работе главного привода на первой или второй механических ступенях коробки скоростей.

Для включения привода предварительно замыкается *БПУ* (рис. 6.15, в) и через конечный выключатель *БВК* — цепь блокировочного контактора *ИИР* и реле *ЗИР*; последнее своими контактами производит переключения в схеме главного привода для работы с винторезным суппортом, после чего при нажатии кнопки «Вп. быстрее» (см. схему управления главным приводом) включается *ИР*. При условии, что вентиляция приемника работает исправно (*ИРД* и *РД* замкнуты), *БРП* и *ЛВП* замкнуты, включается реле времени *ЗРВ* и затем *5Л*. Так как до этого переключателем *БПУ* было избрано направление нарезаемой резьбы и контактор *КП* (или *КЛ*) включен, то при замыкании контактов *5Л* и подключении двух фаз на статоры датчика и приемника осуществляется предварительная синхронизация системы в течение времени, задаваемом реле времени *4РВ* (около 2 сек). Затем включается контактор *6Л*, и система подготовлена для нормальной работы в режиме электрического вала. Блок-контакт *6Л* включает *РПВ* (см. рис. 6.11, б) и производится пуск главного привода, как и в случае токарной обработки. Другой контакт *6Л* включает реле времени *5РВ* и *6РВ*, которые с выдержкой времени, достаточной для включения *РПВ*, *1В*, *2В* и *3*, отключит реле *ИР* и расшунтируется кнопка «Вп. быстрее». При отключении *ИР* реле *ЗРВ* остается включенным через контакт *РВН*.

Остановка привода винторезного суппорта производится при отключении главного привода кнопкой «Стоп» — выключается контактор *3* и происходит торможение главного привода, согласованно тормозится и система электрического вала. При отключении главного привода выключается *РВН* и теряет питание *ЗРВ*, контакт которого с выдержкой времени, достаточной для полной остановки привода, отключит *5Л*, *4РВ* и *6Л* — датчик и приемник окажутся выключенными.

Схема привода по системе электрического вала для винторезного суппорта проста и обеспечивает согласование скорости главного привода с приводом суппорта. Недостатком рассмотренной системы является рассогласование валов упомянутых приводов по пути, возрастающее с увеличением нагрузки. Это рассогласование является органическим свойством обычной системы электрического вала, ибо момент, развиваемый приемником, возникает только в результате рассогласования и пропорционален синусу угла рассогласования.

Из рис. 6.15, б видно, что для характеристики $I[M=f(\theta)]$ приемника угол рассогласования θ_1 возникает при статическом моменте M_c ; если момент нагрузки меняется относительно заданного значения M_c , то соответственно изменяется и θ_1 , определяющий погрешность системы.

Уменьшение погрешности может быть достигнуто за счет увеличения мощности машин электрического вала. На рис. 6.15, б показана характеристика 2, относящаяся к более мощной системе; при том же статическом моменте погрешность обусловлена меньшим углом θ_2 . Однако чрезмерное увеличение габаритов машин неприемлемо, поэтому с целью повышения точности согласования по пути были предложены следящие системы, в которых используются машины постоянного тока, хотя из-за сложности они не получили применения.

Нами предложена для винторезного суппорта следящая система на переменном токе, в основу которой положена рассмотренная выше схема электрического вала. На рис. 6.16 приведена принципиальная схема включения следящего привода винторезного суппорта. Здесь валы датчика и приемника соединены соответственно с сельсинами 1С и 2С, статорные цепи которых присоединены к источнику переменного тока, а роторные обмотки включены встречно. Отличительной особенностью новой системы электрического вала, в которой, как видно из схемы, электрически соединены машины Д и П, является применение датчика с поворотным статором. Поворот статора осуществляется при помощи серводвигателя малой мощности через редуктор Р с большим передаточным отношением. Серводвигатель питается от преобразовательного устройства Пр, управляемого промежуточным усилителем У.

Если после предварительной синхронизации до пуска системы имеет место рассогласование в положении роторов датчика и приемника, например обусловленное моментом трения, то при включенных статорных обмотках сельсинов 1С и 2С, вследствие рассогласования их роторов (соответственно упомянутому рассогласованию роторов датчика и приемника), на выходе сельсинов возникнет э. д. с., равная геометрической разности сдвинутых э. д. с. 1С и 2С. На вход усилителя будет подан сигнал, в результате которого сработает серводвигатель СД и статор датчика повернется на такой угол, при котором практически устраняется рассогласование в положении роторов машин Д и П. Статор датчика повернется на

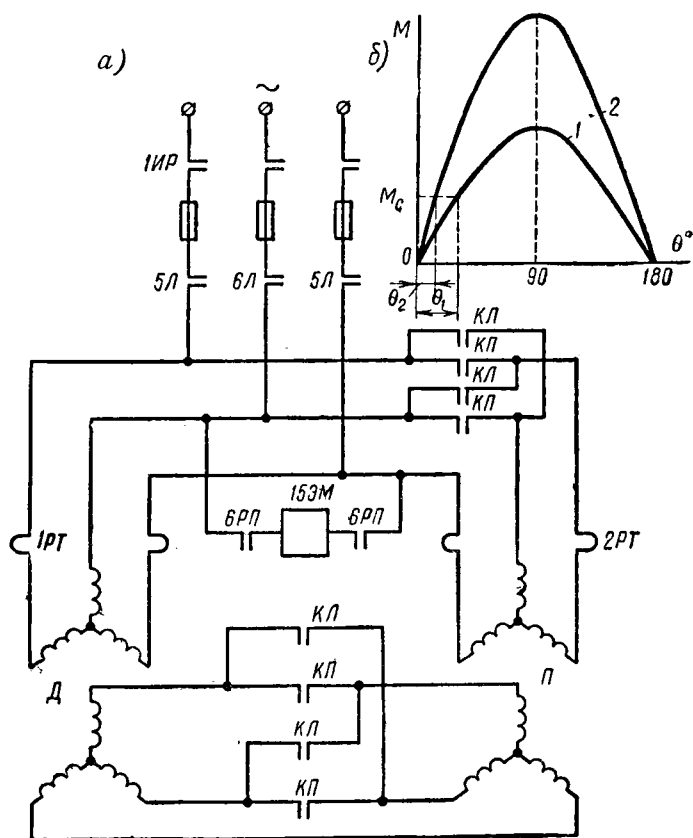
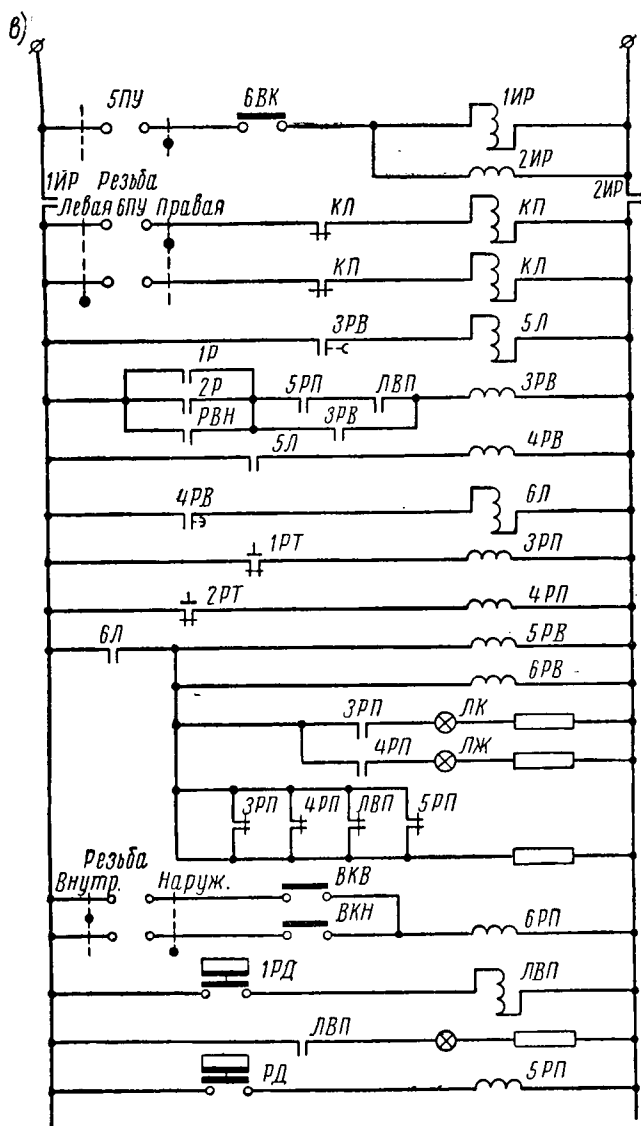


Рис. 6.15. Схема электропривода



угол, соответствующий тому рассогласованию, которое имело место до начала действия следящей системы.

Затем, как обычно, производится пуск главного двигателя и за ним согласованно следует синхронно-следящая система электрического вала. В динамическом режиме, так же как и в статике, действие системы направлено к автоматическому устранению рассог-

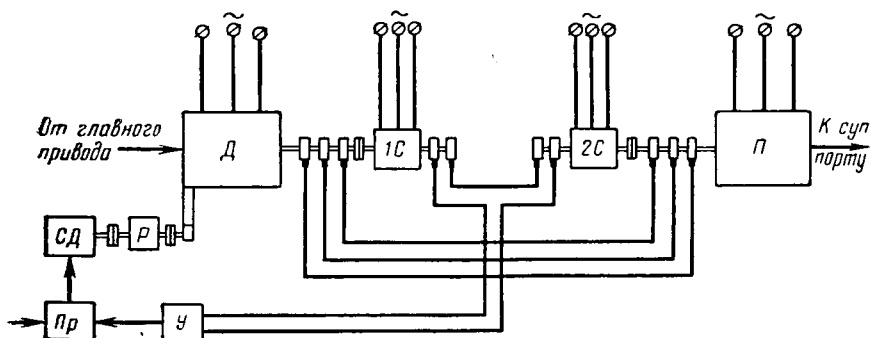


Рис. 6.16. Схема следящего привода винторезного суппорта

ласования в положении валов электрического привода за счет перенесения этого рассогласования в положение статоров. Очевидно, что такая система может обеспечить более высокую точность обработки, чем обычная система электрического вала.

Ускоренное перемещение винторезного суппорта осуществляется от отдельного короткозамкнутого асинхронного двигателя независимо от работы главного привода и системы электрического вала.

Схемой управления электроприводами станка предусматриваются следующие блокировки (кроме указанных ранее), обеспечивающие безопасность обслуживания и надежность работы отдельных узлов станка:

1) не допускаются подача напряжения и включение вводного автомата при открытых дверках шкафов управления главного привода и приводов подачи;

2) не допускается включение цепей управления при неприкрытых дверках блоков суппортов дверными выключателями;

3) отключаются электромагнитные муфты 5ЭМ конечным выключателем 5ВК при перемещении суппортов «Вправо» и 7ЭМ выключателем 7ВК при перемещении суппортов «Влево» в случае соприкосновения с задней или передней бабками, а также суппорта с суппортом (см. рис. 6.14);

4) отключается привод суппорта во всех режимах, кроме копирования, если ролик включенного датчика упрется; при этом замкнется контакт 3К, включится реле 4РП и отключится управление суппортов. В данном случае необходимо снять датчик.

В схеме предусмотрены следующие виды защит (кроме отмеченных ранее): а) защита кремниевых диодов и автотрансформатора от токов короткого замыкания в якорной цепи главного двигателя максимальной защитой вводного автомата (на схеме не показана); б) защита механизма шпинделя на первой механической ступени максимальным реле *1РМ* с уставкой на отключение при $0,66 I_H$ и на второй и третьей ступенях — *2РМ* с уставкой $1,25 I_H$ (см. рис. 6.11); в) защита от брака при винторезных работах (в случае исчезновения напряжения сети), осуществляемая при отключении электромагнита *15ЭМ* (см. рис. 6.15), удерживающего при включении электромагнита пружину отвода резца в нажатом состоянии; происходит механический выброс резца.

§ 6.6. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКОВ

Крупные и тяжелые карусельные станки предназначены для наружной обточки и внутренней расточки цилиндрических поверхностей больших диаметров, обточки торцевых поверхностей с постоянной скоростью резания, обработки конусов и нарезания резьбы крупных деталей. На карусельных станках производится и фрезерование при неподвижной планшайбе, а также так называемое круговое фрезерование, осуществляемое при вращающейся планшайбе.

Отечественной промышленностью выпускаются карусельные станки для обработки деталей диаметром до 20 м и более.

Основные технические данные некоторых моделей тяжелых карусельных станков приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Наименование	Модель станка			
	1532Т	1550	1А591	1А596
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, м	3,2	5,0	10,0	20,0
Наибольшая высота обрабатываемого изделия, м	2	2,5	5,0	6,3
Наибольший вес обрабатываемого изделия, Т	40	63	200	630
Мощность главного двигателя, кВт	63	125	160	160
Скорость вращения планшайбы, об/мин	0,66÷62,1	0,34÷29,6	0,112÷11,2	0,098÷9,8
Величина подачи, мм/мин	0,059÷470	0,0435÷352	0,022÷160	0,022÷160
Мощность двигателя подачи, кВт	6	6	6	6
Скорость вращения двигателя подачи, об/мин	15÷3000	15÷3000	15÷3000	15÷3000

Общий вид универсального двухстоечного тяжелого карусельного станка показан на рис. 6.17. Он состоит из планшайбы 1 и основания 2, стоек 3, поперечины 4 с механизмом перемещения и закрепления ее в рабочем положении, двух вертикальных суппортов 5 с механизмами ускоренного перемещения портала 6, коробки скоростей, коробки подач и бокового суппорта 7. Благодаря большой жесткости всех базовых деталей станка и его большой мощности можно осуществлять одновременную работу тремя суппортами, повысив тем самым производительность станка.

Бесступенчатое регулирование скорости главного привода в требуемом диапазоне, как и в тяжелых токарных станках, достигается сочетанием плавного электрического регулирования скорости и ступенчатого механического, осуществляемого переключением шестерен в коробке скоростей (две, три механические ступени). Как видно из табл. 6.2, диапазон регулирования скорости вращения планшайбы достигает $100:1$, а диапазон подач до $8000:1$. Привод подачи на тяжелых карусельных станках выполняется, как правило, от самостоятельного регулируемого электропривода. При электрическом регулировании скорости вращения электропривода подачи с диапазоном $200:1$ общий диапазон перекрывается также совмещением с механическим ступенчатым регулированием.

К вспомогательным приводам карусельных станков относятся приводы: а) подъема и опускания поперечины, б) зажима поперечины, в) ускоренного перемещения суппорта, г) насоса смазки, д) гидропереключения и е) вентилятора для охлаждения главного двигателя.

Главный привод тяжелых карусельных станков отличается от электропривода токарных станков некоторыми особенностями, обусловленными конструктивными данными и технологическими условиями обработки.

В связи с большим весом планшайбы и обрабатываемых изделий усилие трения в направляющих планшайбы в покое и при низкой скорости достигает значительных величин. Поэтому статический момент при пуске главного привода может достигать $60\div 80\%$ от номинального, а суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя, может во много раз (до $800\div 900\%$) превосходить момент инерции якоря двигателя. По мере разгона двигателя планшайбы сопротивление трения резко падает и с увеличением скорости мало изменяется.

При выборе мощности главного двигателя и способа регулирования его скорости вращения необходимо учитывать, что в тяжелых карусельных станках мощность, потребляемая механизмом планшайбы, не остается постоянной на всем диапазоне, поэтому нет необходимости регулировать скорость двигателя только ослаблением магнитного потока, как это имеет место в токарных станках. Нагрузка на валу двигателя планшайбы складывается из мощностей, затрачиваемых на резание и на преодоление потерь трения в направляющих планшайбы и передачах коробки скоростей.

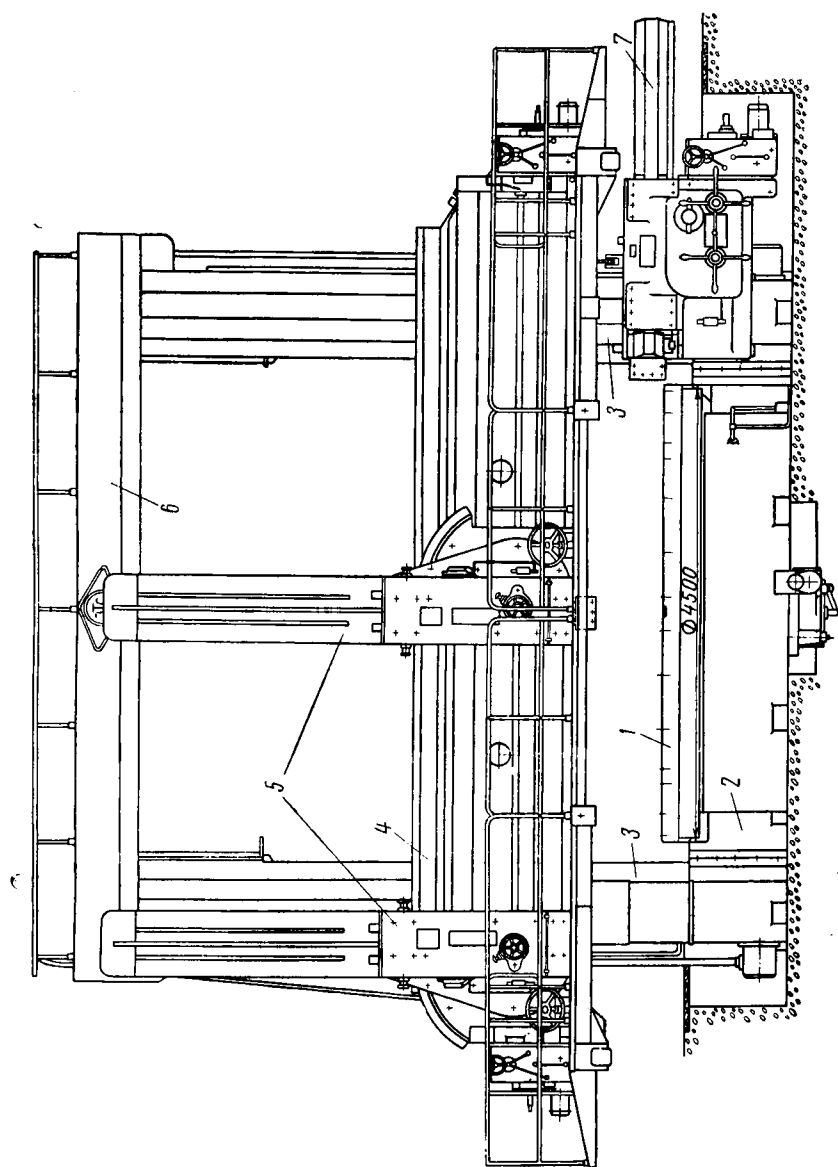


Рис. 6.17. Общий вид тяжелого карусельного станка

На рис. 6.18, а показаны примерные графики мощности резания 4, мощности потерь 3 и суммарной мощности на валу двигателя 2 в функции скорости вращения планшайбы на всех трех механических ступенях. Так как привод может работать в длитель-

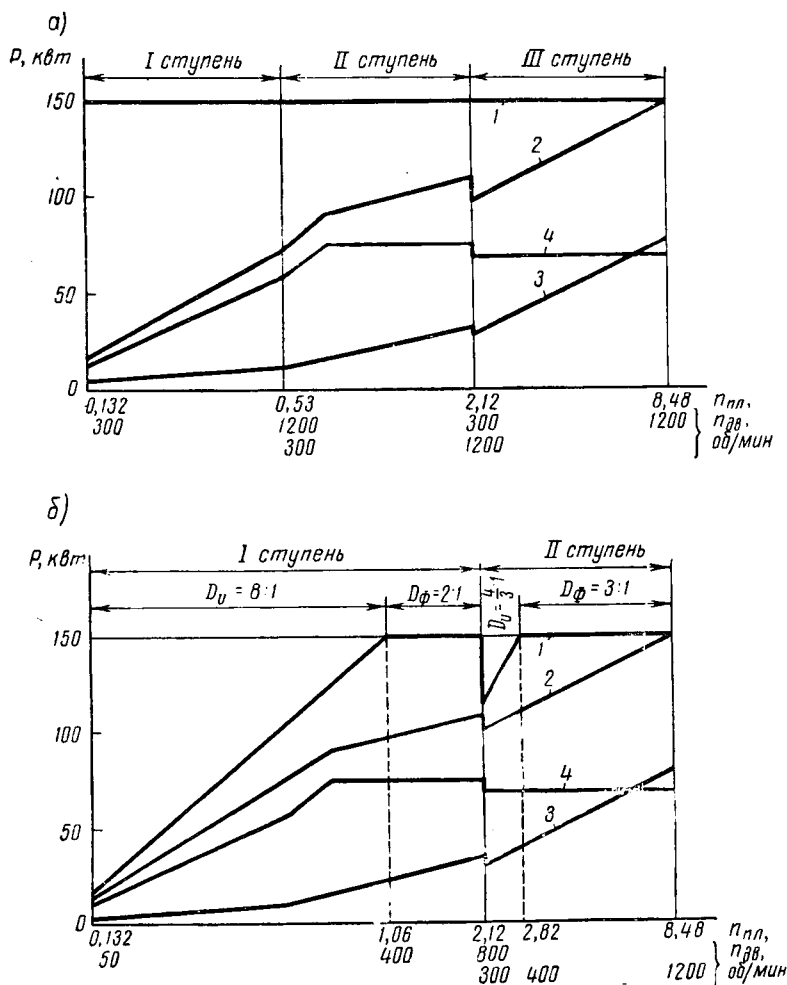


Рис. 6.18. Графики нагрузки главного привода тяжелого карусельного станка

ном режиме с максимальной мощностью, то по наибольшему значению суммарной мощности, полученному из графика (рис. 6.18, а), выбирается номинальная мощность двигателя. В рассматриваемом примере принят двигатель мощностью 150 кВт (график 1), скорость вращения которого регулируется ослаблением магнитного потока

в диапазоне $300 \div 1200$ об/мин. Как видно из графика, двигатель не полностью загружен, особенно на II и I ступенях, так как в принятом способе регулирования мощность, которую может развивать двигатель на всех ступенях, остается неизменной и равной 150 квт.

Сопоставляя графики 1 и 2, можно прийти к выводу, что трехступенчатое механическое регулирование может быть заменено двухступенчатым с неодинаковым диапазоном электрического регулирования на каждой из ступеней. При этом упрощается кинематическая схема главного привода и повышается загрузка главного двигателя за счет применения двухзонного регулирования на каждой ступени — изменением напряжения и ослаблением потока двигателя. На рис. 6.18, б показан график мощности 1, развиваемой двигателем при двухступенчатом механическом регулировании; здесь на I ступени общий диапазон электрического регулирования $16:1$, причем регулирование изменением напряжения, подводимого к якорю двигателя, составляет $8:1$, а ослаблением потока — $2:1$. На II механической ступени для покрытия необходимой мощности регулирование напряжением производится лишь в диапазоне $4/3:1$, а ослаблением потока — $3:1$. Таким образом, общий диапазон электрического регулирования скорости на II ступени составляет $4:1$.

Кинематическая схема главного привода карусельного станка с двухступенчатой коробкой скоростей приведена на рис. 6.19.

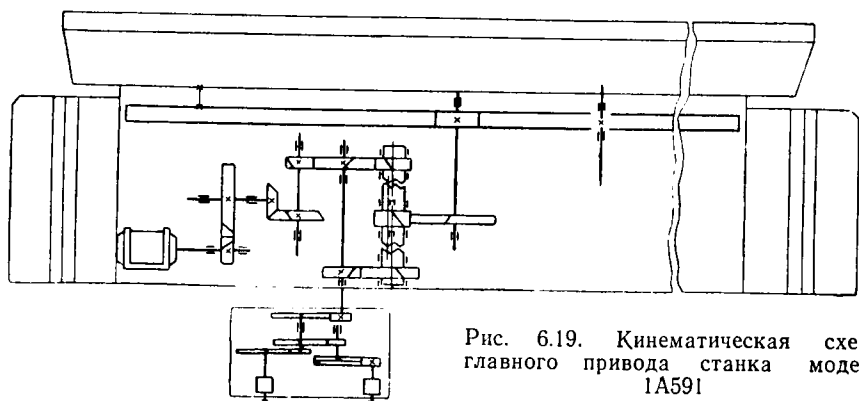


Рис. 6.19. Кинематическая схема главного привода станка модели 1А591

Двухзонное регулирование скорости, допустимое по условиям нагрузки в рассматриваемом случае, приводит не только к упрощению кинематической цепи главного привода и более полной его загрузке, но и к снижению габаритной мощности двигателя, так как уменьшается диапазон регулирования ослаблением потока. Сохранение наибольшей скорости двигателя (1200 об/мин) дает увеличение номинальной скорости ($n_n = 400$ об/мин) в сравнении с первым вариантом ($n_n = 300$ об/мин) и, следовательно, при сохра-

нении номинальной мощности — уменьшение номинального момента двигателя, которым определяются его габариты.

Некоторое усложнение электрической схемы управления, обусловленного регулированием подводимого к якорю напряжения, не вызывает принципиальных затруднений.

В тяжелых карусельных станках, выпускаемых нашей промышленностью и широко используемых в настоящее время различными машиностроительными предприятиями, применяются для главного привода и приводов подач двигатели постоянного тока, управляемые по системе генератор — двигатель.

Рассмотрим особенности схемы главного электропривода карусельного станка, выполненного по системе генератор — двигатель, приведенной в упрощенном виде на рис. 6.20.

Двигатель планшайбы *Д* постоянного тока питается от генератора *Г*, приводимого во вращение синхронным двигателем *СД*. Обмотка возбуждения генератора *ВГ* питается от электромашинного усилителя *1У*. Обмотка возбуждения двигателя *ВД* включена на выход электромашинного усилителя *2У*. В режиме точения осуществляется двухзонное регулирование скорости вращения двигателя в диапазоне 20 : 1, а именно, выше номинальной — ослаблением магнитного потока от 300 до 1500 об/мин при номинальной э. д. с. генератора и вниз от номинальной скорости с 300 до 75 об/мин — уменьшением э. д. с. генератора при номинальном потоке двигателя. При круговом фрезеровании скорость двигателя регулируется от 75 до 4 об/мин.

С целью обеспечения высокой точности регулирования вводится отрицательная обратная связь по скорости, осуществляемая при помощи тахогенератора *Т*, жестко связанного с валом двигателя *Д*. Причем в зоне скоростей, ниже номинальной, получение высокой жесткости механических характеристик достигается введением промежуточного полупроводникового усилителя *УП*, на вход которого подается разность сигналов, снимаемых с задающего потенциометра (регулятора возбуждения генератора *РВГ*) и тахогенератора, а выход его реализуется двумя обмотками управления *1У2* и *1У4*. На вход того же полупроводникового усилителя подается сигнал, обусловленный гибкой отрицательной обратной связью по напряжению *1У* (контур *РС*).

Для ограничения тока якорной цепи *Г—Д* при пуске или торможении двигателя *Д* в схеме предусматривается узел токоограничения. Токоограничивающими обмотками являются *1У3* и *2У2*, *2У4*.

Рост намагничивающей силы обмотки *1У3* приводит к снижению скорости нарастания э. д. с. генератора *Г*, что в свою очередь дает снижение тока якорной цепи. Обмотки *2У4* и *2У2* подключаются соответственно при вращении планшайбы «влево» или «вправо». В отличие от обмотки управления *1У3* обмотки *2У2* и *2У4* при разгоне привода включены согласно с обмоткой *2У1*. Таким образом, в процессе пуска двигателя до номинальной скорости и превышении тока якорной цепи сверх установленного значения токо-

ограничивающие обмотки усилителя $2У$ несколько увеличивают магнитный поток двигателя $Д$. Э. д. с. его в этом случае возрастает, и ток якоря снижается до установленного значения, которое регламентируется сравнительно небольшой величиной (около $1,2I_n$), в связи с необходимостью ограничения динамических нагрузок в передачах коробки скоростей. При пуске двигателя выше номинальной скорости токоограничивающие обмотки усилителя $2У$ препятствуют интенсивному спаду магнитного потока двигателя.

Если двигатель тормозится со скорости выше номинальной до номинальной, то намагничивающая сила токоограничивающих обмоток $2У$ оказывается направленной встречно действию н. с. задающей обмотки $2УЗ$, поэтому с увеличением тока якорной цепи при торможении снижается скорость нарастания магнитного потока и соответственно уменьшается ток якоря до установленной величины. Торможение двигателя от основной скорости до полной остановки происходит при отключенных обмотках токоограничения усилителя $2У$. Стабилизация работы системы управления двигателем осуществляется введением сигнала обратной связи, снимаемого с динамического моста, образованного дополнительными сопротивлениями и обмоткой возбуждения $ВД$ и подаваемого на обмотку управления $2У1$. Пуск двигателя до скорости, выше номинальной, например для производства токарной обработки, может быть произведен при соблюдении блокировок, аналогичных тем, какие были приведены в схеме управления тяжелого токарного станка.

Если ток возбуждения $Д$ достигнет величины, при которой срабатывает реле P_3 , то включатся контакторы $1В$, $2В$ и будет подано напряжение на регулятор возбуждения генератора $PВГ$, с которого снимается сигнал на вход полупроводникового усилителя; обмотки управления $1У2$ и $1У4$ получают питание — возбуждается генератор $Г$ и происходит с форсировкой разгон двигателя $Д$. Форсированный пуск двигателя обусловливается тем, что в начале разгона незначительно действие отрицательной обратной связи, осуществляемой тахогенератором $Т$, связанным с двигателем $Д$.

При достижении э. д. с. генератора величины, близкой к номинальной, включается реле $PФ$ и подключается размагничивающая обмотка усилителя $2У$ ($2У1$), в результате чего уменьшается ток возбуждения двигателя и совершается дальнейший разгон его до скорости, определяемой положением траверсы регулятора $PВД$. В крайнем правом положении траверсы $PВД$ скорость двигателя окажется максимальной.

Регулирование скорости вращения планшайбы в режиме кругового фрезерования и точения производится вручную с помощью регуляторов $PВГ$ и $PВД$. Регулятор $PВГ$ имеет две шкалы скоростей: от 4 до 75 об/мин и от 75 до 300 об/мин (указанные диапазоны скоростей выбираются соответствующим переключателем, не показанным на схеме). Регулирование скорости в диапазоне от 300 до 1500 об/мин производится регулятором $PВД$ (только для токарной обработки). Остановка двигателя производится при отключе-

нии контактора $З$ и выключении реле $РФ$; если двигатель работал с ослабленным потоком, когда реле $Р_3$ выключено, вследствие того, что ток возбуждения двигателя меньше тока включения реле, то $1В, 2В$ не отключаются.

При отключении $РФ$ выключается обмотка $2У1$ — дается импульс на усиление потока двигателя, в результате чего начинается первый этап торможения (рекуперативное) двигателя. Ограничение тока якорной цепи двигателя при торможении до основной скорости, как упоминалось, происходит за счет действия токоограничивающих обмоток усилителя $2У$. К концу первого этапа торможения сработает реле $Р_3$ и своим размыкающим контактом выключит катушки контакторов $1В, 2В$, а на вход полупроводникового усилителя будет подано напряжение обратного знака, что вызовет на втором этапе форсированное рекуперативное торможение. На этом этапе торможения ограничение тока выполняется обмоткой $1У3$. При снижении скорости двигателя примерно до 30 об/мин отключается реле $РТ$ и теряет питание $1РВ$, размыкающий контакт которого с выдержкой времени присоединяет к зажимам генератора $Г$ обмотку $1У1$, действие которой приводит к снятию остаточного напряжения, и двигатель тормозится до полной остановки.

Для обеспечения постоянной скорости резания при торцевой обработке изделий предусматривается управление от отдельного регулятора $5СП$, рукоятка которого кинематически связана с механизмом суппорта; таким образом положение рукоятки $5СП$ определяется положением суппорта. Обеспечение связи рукоятки $5СП$ и суппорта фиксируется замыканием контактов конечного выключателя, что приводит к срабатыванию контакторов $1ТО$ и $2ТО$, которые включают соответствующие цепи управления главным приводом и приводом правого суппорта для режима торцевой обработки. В этом случае регулирование скорости вращения двигателя $Д$ от 75 до 300 об/мин производится с помощью регулятора $РВГ-Т$, а выше, от 300 до 1500 об/мин , $РВД-Т$; регуляторы управляются серводвигателем, включаемым поляризованным реле $ЗРП$, катушка которого присоединена на разность напряжений, снимаемых с $5СП$ и $4СП$. Регулятором $4СП$ на пульте управления задается начальная скорость двигателя $Д$; $5СП$, как упоминалось, определяет необходимую скорость привода планшайбы.

Более перспективной является система тиристорный преобразователь — двигатель, широко используемая за границей и внедряемая у нас в приводах станков взамен системы генератор — двигатель.

Представляет интерес разработанная ВНИИэлектроаппаратом серия электроприводов постоянного тока с двухзонным регулированием и тиристорными преобразователями для тяжелых карусельных станков.

На рис. 6.21 приведена блок-схема такой системы электропривода. Для обеспечения требуемого диапазона регулирования и

высокой точности поддержания скорости вращения двигателя используется замкнутая система автоматического регулирования с обратной связью по скорости. Регулирование скорости вращения двигателя вниз от основной при неизменном магнитном потоке производится тиристорным преобразователем в якорной цепи двигателя ТЯ, включенным по мостовой нереверсивной схеме. Так как пуск и реверсирование электропривода производится редко, то соответствующие переключения в якорной цепи производятся с помощью контакторов, а торможение двигателя — динамическое.

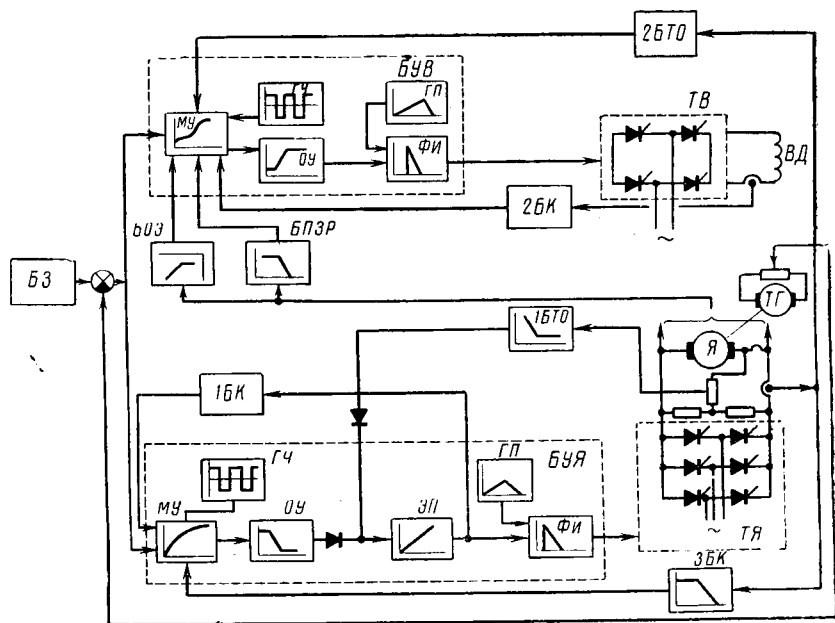


Рис. 6.21. Блок-схема главного привода карусельного станка по системе тиристорный преобразователь — двигатель

Питание преобразователя в якорной цепи осуществляется от понижительного трехфазного трансформатора напряжением 380/220 в, питание преобразователя в цепи возбуждения — от однофазного трансформатора.

Скорость вращения двигателя устанавливается задающим напряжением на выходе блока БЗ, выполненного с помощью бесконтактного сильсина и питаемого от источника стабилизированного напряжения.

Управление тиристорами производится по вертикальному принципу; каждая система фазового управления (БУЯ и БУВ) включает суммирующий магнитный усилитель МУ, питаемый от источника повышенной частоты ГЧ, узел ограничения углов регулиро-

вания *ОУ*, эмиттерный повторитель *ЭП* и узел формирования импульсов *ФИ* с генератором пилообразных напряжений *ГП*. В формирователе импульс реализуется сложением переменного пилообразного напряжения с постоянным напряжением, снимаемым с *ЭП*.

Ограничение тока якоря в первой зоне регулирования (до основной скорости) выполняется блоком токоограничения *1БТО*, выход которого по схеме «ИЛИ» с узлом *ОУ* подается на *ЭП*.

Достаточная жесткость механических характеристик двигателя в зоне прерывистых токов достигается высоким коэффициентом усиления системы и блоком нелинейной токовой коррекции *ЗБК*, осуществляющим положительную обратную связь с отсечкой по току якоря. Коррекция переходных режимов с помощью цепочек *R—C* выполняется блоком *1БК* в зоне регулирования до основной скорости.

Регулирование скорости двигателя выше основной возможно при условии достижения номинального напряжения на зажимах якоря двигателя. За такой последовательностью работы двигателя следит блок переключения зон регулирования *БПЗР*.

Ограничение тока якоря во второй зоне регулирования (выше основной) выполняется блоком токоограничения *2БТО*, осуществляющим задержанную отрицательную обратную связь по току якоря. Ограничение э. д. с. двигателя в переходных режимах при управлении полем двигателя производится блоком *БОЭ*, выполняющим задержанную положительную и обратную связь по э. д. с. двигателя.

Электроприводы подачи левого и правого суппортов аналогичны; некоторое отличие в схеме управления обусловлено дополнительными функциями, выполняемыми этими суппортами. Например, правым суппортом дополнительно производится отточка торцевых поверхностей, а также копировальные работы; левым суппортом дополнительно выполняется фрезерование.

На рис. 6.22 приведена упрощенная схема управления электроприводом правого суппорта. Привод перемещения суппорта (или ползуна) выполняется от двигателя постоянного тока *ДП*, управляемого электромашинным усилителем *4У*. Весьма большой диапазон изменения подач (свыше 7200:1) достигается совмещением глубокого электрического регулирования (200:1) с механическим.

Точное электрическое регулирование скорости обеспечивается за счет использования отрицательной обратной связи по скорости с помощью тахогенератора *ТП* и полупроводникового усилителя *УП-П*, на вход которого подается разность напряжений, снимаемых с регулятора подачи *РП* и тахогенератора. Выход усилителя подается на обмотки управления *4УЗ* и *4У1*, намагничивающие силы которых действуют встречно н. с. задающей обмотки *4У4*. Сигнал гибкой отрицательной обратной связи по напряжению *ЭМУ 4У* подается на вход усилителя *УП-П*.

Ограничение тока якорной цепи выполняется обмоткой 4У2, на которую подается разность падений напряжения, снимаемого с компенсационной обмотки ЭМУ и потенциометра 5СП. Н. с. токо-

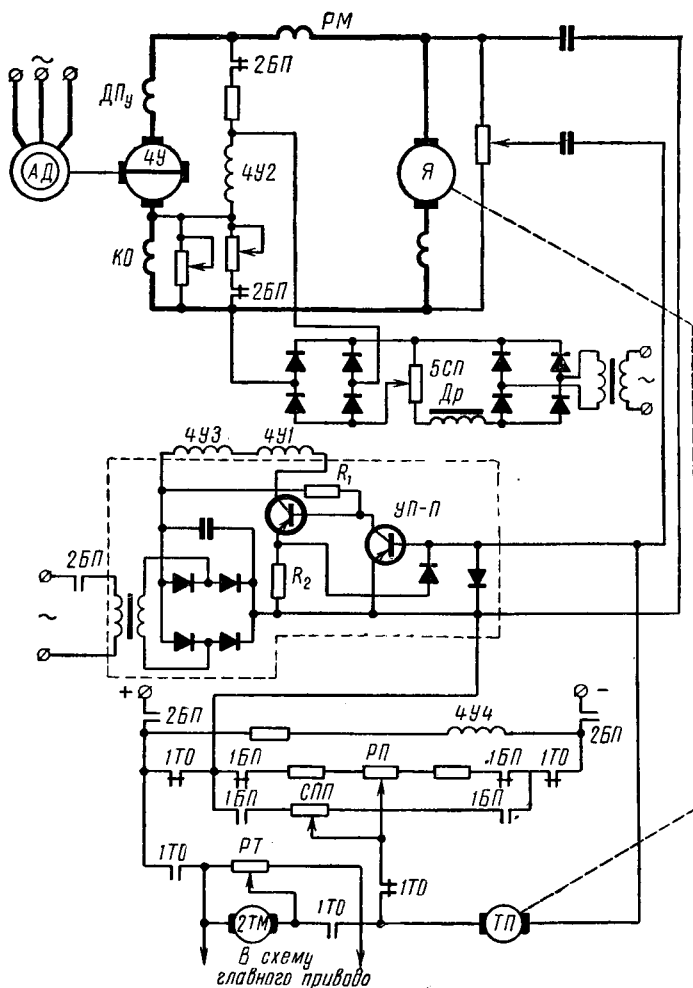


Рис. 6.22. Схема электропривода подачи суппорта

ограничивающей обмотки при пуске двигателя ДП размагничивает ЭМУ, а в процессе торможения подмагничивает его.

Рассмотрим кратко работу привода подачи в различных режимах.

1. Режим подачи. Выбор величины рабочей подачи производится регулятором *РП* и включением соответствующей ме-

ханической ступени скорости (с перебором или без перебора).

Включение двигателя подачи в рассматриваемом режиме возможно только при работающем главном двигателе. Выбор направления подачи определяется положением соответствующего переключателя (на схеме не показано).

После нажатия пусковой кнопки срабатывает контактор 2БП — подается напряжение на потенциометр РП и на вход УП-П, а также получают питание задающая обмотка 4У4 и обмотки 4У3 и 4У1. Двигатель ДП разгоняется до заданной скорости. Кроме того, происходит срабатывание промежуточного реле, включающего электромагнитную муфту, которая включает кинематическую цепь механизма подачи.

Отключение подачи может быть произведено либо выключением соответствующей электромагнитной муфты подачи и включением тормозной муфты (в этом случае двигатель подачи не отключается), либо нажатием кнопки «Стоп» (на схеме не показана). При выключении контакта 2БП отключаются обмотки управления 4У1, 4У3 и 4У4 и происходит интенсивное торможение двигателя.

2. Наладочные перемещения суппорта производятся тем же двигателем подачи при скорости 2,5 мм/мин в режиме замедленного перемещения или при скорости 100 мм/мин, когда осуществляется установочное перемещение; скорость вращения двигателя в обоих случаях одна и та же.

Быстрое перемещение суппорта (или ползуна) происходит от отдельного короткозамкнутого двигателя, пуск которого возможен, если предварительно избрать этот режим соответствующим переключателем.

В режиме торцевой обработки подача совершается только правым суппортом; для сохранения постоянства оборотной подачи минутная подача в данном режиме должна изменяться пропорционально скорости вращения планшайбы. Электрическая связь главного привода с приводом подачи осуществляется с помощью тахогенератора 2ТМ, напряжение которого подается на потенциометр РТ. В режиме торцевой обработки включены контакторы 1ТО и 2ТО (см. также рис. 6.20), поэтому отключается регулятор РП и исключается возможность независимого регулирования подачи.

Включение двигателя подачи и электромагнитных муфт направления производится так же, как и в режиме подачи.

Современные разработки предполагают замену для привода подачи электромашинного преобразователя тиристорным. Типовая схема тиристорного преобразователя подробно была рассмотрена в гл. IV (см. рис. 4.24).

ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

§ 7.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Особенности электропривода стола продольно-строгальных станков обусловлены процессом работы этих станков, состоящим из последовательно повторяющихся циклов, каждый из которых включает прямой, или рабочий, ход стола, когда происходит обработка детали, и обратный ход, во время которого совершается холостой ход станка.

Скорость рабочего хода (скорость резания) устанавливается в соответствии с нормативами, учитывающими сорт обрабатываемого материала и свойства режущего инструмента. Скорость же обратного хода, как правило, значительно превосходит скорость резания, чем достигается увеличение производительности станка.

Упрощенный график пути l и скорости v в зависимости от времени для одного цикла (прямого и обратного хода стола) приведен на рис. 7.1.

Ход стола L складывается из пути $l_{\text{пр}}$ в установившемся режиме при прямом ходе и суммы путей разбега $l_{\text{р.пр}}$ и торможения $l_{\text{т.пр}}$:

$$L = l_{\text{пр}} + l_{\text{р.пр}} + l_{\text{т.пр}}. \quad (7.1)$$

Время цикла

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{пр}} + t_{\text{р.пр}} + t_{\text{т.пр}} + t_{\text{обр}} + t_{\text{р.обр}} + t_{\text{т.обр}}, \quad (7.2)$$

где $t_{\text{пр}}$, $t_{\text{обр}}$ — соответственно время установившегося движения при прямом (рабочем) и обратном ходах; $t_{\text{р.пр}}$, $t_{\text{р.обр}}$ — время разбега при прямом и обратном ходах; $t_{\text{т.пр}}$, $t_{\text{т.обр}}$ — время торможения при прямом и обратном ходах.

Время установившегося движения при прямом ходе

$$t_{\text{пр}} = \frac{L}{v_{\text{пр}}} 60 - \frac{t_{\text{р.пр}} + t_{\text{т.пр}}}{2}, \quad (7.3)$$

где $v_{\text{пр}}$ — скорость установившегося движения стола при прямом ходе, м/мин.

Аналогично время установившегося обратного хода

$$t_{\text{обр}} = \frac{L}{v_{\text{обр}}} 60 - \frac{t_{\text{р.обр}} + t_{\text{т.обр}}}{2}, \quad (7.4)$$

где $v_{\text{обр}}$ — скорость установившегося движения стола при обратном ходе, м/мин.

После преобразований получим выражение для времени цикла:

$$t_{\text{ц}} = \frac{60L}{kv_{\text{пр}}} (1 + k) + t_{\text{рев}}, \quad (7.5)$$

где $k = \frac{v_{\text{обр}}}{v_{\text{пр}}}$ — отношение скорости обратного хода к скорости прямого хода стола; $t_{\text{рев}}$ — время реверсирования стола.

Пользуясь формулой (7.5), можно найти число двойных ходов стола в минуту

$$i = \frac{60kv_{\text{пр}}}{60L(1 + k) + kv_{\text{пр}}t_{\text{рев}}}. \quad (7.6)$$

Анализ этого соотношения показывает, что число двойных ходов, а следовательно, и производительность станка возрастает с увеличением k , т. е. с увеличением скорости обратного хода, при заданной скорости рабочего хода. Причем, в основном, рост происходит до значения $k=3$; дальнейшее увеличение k не дает заметного увеличения числа ходов. Следует заметить, что интенсивность возрастания числа ходов с увеличением k зависит от величины рабочей скорости: чем выше рабочая скорость, тем интенсивнее растет число ходов, а следовательно, уменьшается машинное время. С другой стороны, чрезмерное увеличение k приводит к повышенным потерям времени на реверсирование.

Кроме того, оказывается, что высокие скорости обратного хода существенно влияют на число ходов при длинных ходах (начиная с 3 м и выше). При этих условиях потери времени на реверсирование несут существенное сказывающиеся на производительности станка. Наоборот, при сравнительно малых ходах следует стремиться к уменьшению времени реверсирования. Так как при высоких скоростях резания ($75 \div 100$ м/мин) на строгальных станках длительность цикла иногда снижается до нескольких секунд, то в этом случае сокращение времени реверсирования электропривода может привести к значительному повышению производительности станка. С возрастанием размеров станка (длины хода стола) увеличивает также приведенный момент инерции отдельных звеньев механизма главного привода (рис. 7.2), что также приводит к увели-

чению времени реверсирования. В связи с этим вопрос о выборе оптимального передаточного отношения имеет существенное значение в приводах продольно-строгальных станков с точки зрения сокращения времени переходных режимов.

В современных продольно-строгальных станках перемещение и регулирование скорости стола, а также его реверсирование осуще-

ствляются, как правило, электрическим путем. Поэтому производительность станка во многом определяется работой главного привода (привод стола) и системы автоматического управления им.

В большинстве случаев при регулировании скорости резания на продольно-строгальных станках тяговое усилие остается постоянным и наибольшим при скоростях приблизительно от 6 до 20—25 м/мин. При дальнейшем увеличении скорости резания усилие падает. Таким образом, можно считать, что в зоне сравнительно малых скоростей момент, развиваемый приводом, должен оставаться приблизительно постоянным, тогда как при скоростях выше 25 м/мин сохраняется постоянная мощность. График скорости стола часто имеет более сложный вид, что обусловлено необходимостью врезания резца и выходом его из изделия при пониженной скорости, а также повышением скорости прямого хода при обработке изделий с большими необрабатываемыми проемами (например, фундаментные плиты). Скорость стола во время прохождения проемов под резцами может достигнуть скорости обратного хода, что приводит к повышению производительности.

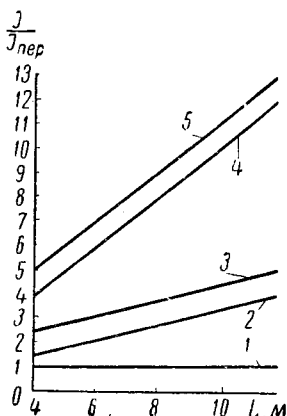


Рис. 7.2. Изменение приведенных моментов инерции механизма главного привода продольно-строгального станка в зависимости от длины хода стола:

1 — передачи станка; 2 — стол; 3 — передачи и стол; 4 — стол и обрабатываемая деталь; 5 — весь механизм и деталь

Наименьшая скорость строгания принимается равной 4÷6 м/мин при черновой обработке твердых материалов. Наибольшая скорость резания на строгальных станках достигает 75÷100 м/мин, при чистовой обработке поэтому диапазон регулирования скорости стола, а следовательно, и электропривода равен (25÷15):1. Заданная скорость привода должна поддерживаться автоматически во всем диапазоне с точностью до ±5% при изменении нагрузки примерно от 0,1 до 1,25 от номинального момента. Динамический перепад скорости допускается сравнительно небольшим (5÷20%; меньшие значения относятся к большим скоростям и наоборот), и переходный процесс, вызванный резким приложением нагрузки, должен закончиться быстро (в течение 0,1÷0,2 сек). Для главного привода продольно-строгальных станков целесообразно использо-

вание двигателей, обладающих повышенной перегрузочной способностью и пониженным моментом инерции; такие двигатели могут обеспечить меньшее время пуска и торможения. Иностранными фирмами выпускаются специальные двигатели постоянного тока для продольно-строгальных станков. Иногда для уменьшения времени переходных режимов целесообразно использовать два двигателя половинной мощности вместо одного полной мощности. На изменение суммарного (приведенного) момента инерции главного привода благоприятно влияет выбор соответствующей кинематики механизма от двигателя к столу. В этом отношении предпочтение следует отдать червячной передаче, которая, кроме того, обеспечивает и высокую плавность хода стола, что важно и для улучшения качества обработки изделий на станке. К недостаткам червячной передачи можно отнести трудоемкость ее изготовления и меньший к. п. д. в сравнении с передачей из цилиндрических шестерен.

Добиваясь наибольшего быстрогодействия главного привода, необходимо учитывать, что длительность реверсирования не может быть ниже определенной величины, которая лимитируется не только динамическими нагрузками в передачах редуктора, но и временем, необходимым для совершения подачи суппортов и подъема резцовых головок. К другим важным требованиям, которые предъявляются к электроприводу стола, является высокая надежность работы его, обеспечивающая точность реверсирования и связанную с этим четкую работу аппаратуры управления. Выбирая ту или иную систему электропривода, следует учитывать его экономичность, т. е. потери энергии за цикл, а также коэффициент мощности; кроме того, необходимо учитывать и окупаемость тех затрат, которые связаны с созданием привода и его эксплуатацией. При расчете эффективности затрат важно принимать во внимание повышение производительности и качества обрабатываемых изделий, которые можно получить за счет рациональной системы электропривода. В этом отношении сравнительно дорогая и сложная, но эффективная и надежная система электропривода может оказаться более рентабельной, чем простая и несовершенная.

В настоящее время для выполнения указанных требований в качестве главного привода продольно-строгальных станков используется, как правило, двигатель постоянного тока, управляемый по системе генератор — двигатель с различного рода усилителями, с помощью которых легко реализуется сложный график работы и получаются нужной формы характеристики двигателя. Эта система обеспечивает требуемый диапазон регулирования скорости движения стола, плавное регулирование ее, позволяет получить сравнительно небольшое время реверсирования стола. Потери энергии при реверсировании в системе генератор — двигатель незначительны; здесь возможно рекуперативное торможение. Еще одним достоинством системы генератор — двигатель является возможность управления двигателем в цепях с малыми мощностями (цепи возбуждения).

Недостатком системы генератор—двигатель является необходимость выбора значительной установленной мощности машин постоянного тока (двигателя и генератора). Это объясняется тем, что установленная мощность двигателя постоянного тока, как указывалось, должна выбираться по наибольшему тяговому усилию, т. е. по наибольшему моменту, а следовательно, по наибольшему току, соответствующему минимальной скорости, и номинальному напряжению при номинальной скорости его.

Отличительной особенностью рассматриваемых далее схем управления главных приводов продольно-строгальных станков, выполненных по системе генератор—двигатель, является использование в них различных промежуточных усилителей (электромашинных, магнитных, полупроводников). Применение промежуточных усилителей для замкнутых систем управления позволяет сравнительно просто разрешить задачу получения широкого диапазона регулирования при высокой жесткости механических характеристик и реализовать необходимое быстродействие привода при заданном качестве переходного процесса.

§ 7.2. ГЛАВНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД СРЕДНИХ ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Для главного электропривода небольших и средних продольно-строгальных станков используется система генератор—двигатель с электромашинным усилителем поперечного поля (ЭМУ). Представляет интерес схема привода стола продольно-строгального станка, разработанная в свое время ЦКБ «Электропривод» (рис. 7.3). В ней используется система генератор—двигатель с однозонным регулированием. ЭМУ с поперечным полем имеет четыре обмотки управления: *ЗУ*— задающую, *ДУ*— дифференциальную, *СУ*— стабилизирующую и *ТУ*— токоограничивающую.

Высокая жесткость механических характеристик привода обеспечивается действием отрицательной обратной связи по скорости, осуществляемой с помощью тахогенератора *ТГ*, напряжение которого действует встречно задающему, снимаемому с регулятора скорости *РС*; разность этих напряжений подается на обмотку *ДУ*. Кроме того, в цепь этой обмотки включены полупроводниковые вентили *5В* и *6В*, выполняющие роль нелинейных сопротивлений.

При таком включении дифференциальной обмотки н. с. ее остается в переходном режиме равной нулю до тех пор, пока э. д. с. тахогенератора не станет больше задающего напряжения. Поэтому в переходном режиме результирующая н. с. усилителя определяется действием задающей, токоограничивающей и стабилизирующей обмоток. Задающая обмотка создает постоянную и значительную для формирования переходных режимов н. с. (в 5—7 раз больше номинальной). Токоограничивающая обмотка настроена так, чтобы ток в якорной цепи не превосходил заданной величины ($\approx 2I_n$). Ста-

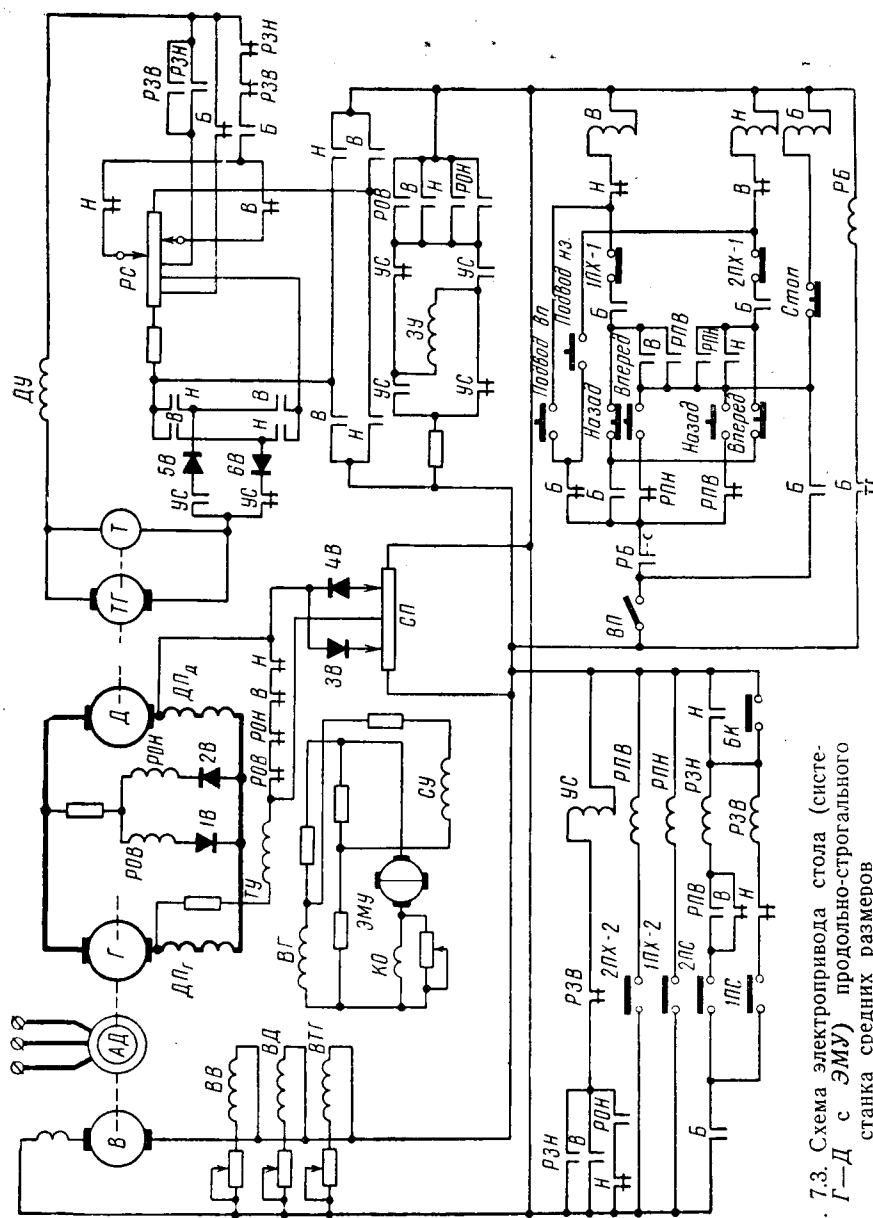


Рис. 7.3. Схема электропривода стола (система Г-Д с ЭМУ) продольно-строгального станка средних размеров

билизирующая обмотка включена в схеме динамического моста, осуществляя обратную связь по первой производной э. д. с. генератора.

Система автоматического управления в переходном режиме работает как регулятор тока главной цепи, а в установившемся режиме, когда вступает в действие обмотка ДУ, — как регулятор скорости двигателя.

Рассмотрим расчет переходных режимов данной системы электропривода, используя метод конечных приращений. С известными допущениями можно записать уравнения для цепей управления:

$$\left. \begin{aligned} U_3 &= i_3 r_3 + w_3 \frac{d\Phi}{dt}; \\ -U_d &= -\gamma (\omega - \omega_{отс}) 1 [\omega - \omega_{отс}] = -i_d r_d + w_d \frac{d\Phi}{dt}; \\ -U_T &= -r_{ш} (i - I_{отс}) 1 [i - I_{отс}] = -i_T r_T + w_T \frac{d\Phi}{dt}; \\ -U_c &= -i_c r_c + w_c \frac{d\Phi}{dt}, \end{aligned} \right\} \quad (7.7)$$

где $(U, i, \omega, r)_{3, д, т, с}$; Φ — соответственно, напряжения, токи, числа витков, сопротивления в цепях задающей дифференциальной, токовой и стабилизирующей обмоток управления ЭМУ; магнитный поток ЭМУ; $r_3 = r_{3.у} + r_{3.доб}$ — соответственно, сопротивление задающей обмотки и добавочное сопротивление); $r_d = r_{д.у} + r_{тг} + r_{д.доб}$ ($r_{д.у}$ — сопротивление дифференциальной обмотки; $r_{тг}$ — сопротивление тахогенератора; $r_{д.доб}$ — добавочное сопротивление); $r_{ш} = r_{д.п.г} + r_{д.п.д}$ — соответственно, сопротивление дополнительных полюсов генератора и двигателя; $r_c = r_{с.у} + r_{с.доб}$ — соответственно, сопротивление стабилизирующей обмотки и дополнительное сопротивление; $r_T = r_{T.у} + r_{T.доб}$ — соответственно, сопротивление токовой обмотки и дополнительное сопротивление; $1 [\omega - \omega_{отс}]$; $1 [i - I_{отс}]$ — единичные функции, равные нулю при $\omega < \omega_{отс}$ и $i < I_{отс}$ и равные единице при $\omega > \omega_{отс}$ и $i > I_{отс}$.

Результирующая намагничивающая сила ЭМУ

$$I_y w_y = i_y w_y + T_y \frac{di_y w_y}{dt}, \quad (7.8)$$

где

$$\begin{aligned} I_y w_y &= U_3 \frac{w_3}{r_3} - \gamma' (\omega - \omega_{отс}) 1 [\omega - \omega_{отс}] - \\ &- \beta' (i - I_{отс}) 1 [i - I_{отс}] - \alpha_c (i_B w_{B.г}) \frac{di_B w_{B.г}}{dt}, \end{aligned}$$

$\alpha_c, \beta', \gamma'^*$ — соответственно, коэффициенты обратных связей по производной н. с. обмотки возбуждения генератора, току и скорости двигателя; $T_y = \left(\sum_{i=1}^4 \frac{w_i^2}{r_i} \right) \frac{d\Phi}{d(i_y w_y)}$ — результирующая элект-

ромагнитная постоянная времени цепей управления ЭМУ; $i_y w_y$ — текущее значение результирующей н. с. ЭМУ.

Зная зависимость тока короткозамкнутого контура ЭМУ от н. с. $i_k = f(i_y w_y)$, найдем зависимость

$$e_k = i_k r_k + L_k \frac{di_k}{dt}; \quad (7.9)$$

по зависимости $e_s = f_1(i_k)$ получим

$$e_s = i_{в.г} (r_{в.г} + r_s) + L_{в.г} \frac{di_{в.г}}{dt}. \quad (7.10)$$

Далее по $e_r = f_2(i_{в.г} w_{в.г})$ находим для якорной цепи двигателя:

$$e_r = c\omega + ir + L_r \frac{di}{dt}; \quad (7.11)$$

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (7.12)$$

Разрешая приведенные выше уравнения относительно производных и переходя к конечным приращениям, получим:

а) приращение результирующей н. с. ЭМУ за интервал Δt

$$\Delta i_y w_{y(m)} = [I_y w_{y(m)} - i_y w_{y(m-1)}] \frac{\Delta t}{T_y(i_y, w_y, \omega, i)_{(m)}}; \quad (7.13)$$

результирующая постоянная времени T_y определяется для конкретных случаев в зависимости от действия тех или иных обмоток управления;

б) приращение тока короткозамкнутой цепи ЭМУ

$$\Delta i_{k(m)} = [I_{k(m)} - i_{k(m-1)}] \frac{\Delta t}{T_k(i_k)_{(m)}}, \quad (7.14)$$

где

$$I_k = \frac{e_k}{r_k} = f(i_y w_y); \quad i_{k(m)} = i_{k(m-1)} + \Delta i_{k(m)};$$

$$T_k = \frac{L_k}{r_k} = f(i_k);$$

* $\gamma' = \frac{\gamma w_d}{r_{л.у} + r_{тг} + r_{л.доб}}, \beta' = \frac{r_{ш} w_{т}}{r_{т.у} + r_{т.доб}}.$

в) аналогично приращение н. с. обмотки возбуждения генератора

$$\Delta i_{\text{в.г}} \omega_{\text{в.г}}(m) = [I_{\text{в.г}} \omega_{\text{в.г}}(m) - i_{\text{в.г}} \omega_{\text{в.г}}(m-1)] \frac{\Delta t}{T_{\text{в.г}}(i_{\text{в.г}} \omega_{\text{в.г}}(m))}; \quad (7.15)$$

зависимость $T_{\text{в.г}} = f(i_{\text{в.г}} \omega_{\text{в.г}})$ определяется в соответствии с кривой $E_{\text{г}} = f(i_{\text{в.г}} \omega_{\text{в.г}})$;

г) приращение тока якоря двигателя

$$\Delta i_{(m)} = [I_{(m)} - i_{(m-1)}] \frac{\Delta t}{T_{\text{я}}}, \quad (7.16)$$

где $I_{(m)} = \frac{e_{\text{г}}(m) - c \omega(m)}{r}$ (r — сопротивление якорной цепи Г—Д);

$$i_{(m)} = i_{(m-1)} + \Delta i_{(m)}, \quad T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я.д}} + L_{\text{я.г}}}{r};$$

д) приращение скорости двигателя

$$\Delta \omega(m) = [i_{(m)} - I_{\text{с}}] \frac{c}{J} \Delta t. \quad (7.17)$$

Скорость двигателя

$$\omega(m) = \omega(m-1) + \Delta \omega(m). \quad (7.18)$$

По приведенным формулам могут быть построены кривые переходных режимов для различных этапов работы электропривода в соответствии с рассматриваемыми далее особенностями схемы управления.

Схема управления обеспечивает автоматический и наладочный режимы работы станка. Автоматический режим задается нажатием кнопки «Вперед» (или «Назад») — включается блокировочный контактор Б, затем В, контакты которого включают УС — присоединяются к источнику питания обмотка ЗУ и регулятор скорости РС. Происходит форсированный разгон двигателя Д (ВП включен).

Если рукоятка РС установлена в положение, соответствующее скорости резания выше 12 м/мин, то контакт БК замкнут. Так как в конце обратного хода и в начале рабочего контакт переключателя хода 2ПХ-2 замкнут, то реле РПВ включено. Кроме того, контакт путевого выключателя 2ПС, замыкающийся перед окончанием обратного хода, еще не разомкнут в начале рабочего хода, поэтому реле РЗН включается. Напряжение, снимаемое с регулятора скорости, в данном случае не зависит от установки его рукояток и остается постоянным. Величина его оказывается такой, что при скорости, близкой к 12 м/мин, начнет протекать ток через ДУ. Результирующая н. с. усилителя снизится и дальнейшее возрастание скорости двигателя прекратится. При пониженной скорости

резец входит в изделие. Затем размыкается контакт *2ПХ-2*, выключается реле *РПВ* и соответственно реле *РЗН*. После этого размыкается контакт *2ПС*.

При выключении реле *РЗН* его размыкающий контакт замыкается, и дифференциальная обмотка возбуждения усилителя включается на разность напряжений, определяемых э. д. с. тахогенератора и задающего напряжения, обусловленного установкой рукоятки регулятора скорости прямого хода. Скорость привода начнет возрастать до установившейся скорости резания. Этот процесс также протекает с форсировкой, так как на этом этапе переходного режима н. с. дифференциальной обмотки *ДУ* оказывается равной нулю. При скорости, близкой к установившейся, вновь вступает в действие *ДУ*, и результирующая н. с. усилителя снижается до значения, определяющего установившуюся скорость резания.

Перед окончанием рабочего хода замыкается контакт *1ПС*, включается реле *РЗВ* и его размыкающий контакт, размыкаясь, отключает контактор *УС* — осуществляется реверсирование напряжения на зажимах задающей обмотки и связанное с этим интенсивное замедление привода. При скорости, близкой к скорости выхода резца из изделия (*12 м/мин*), в *ДУ* начнет протекать ток обратного направления через контакт *УС* и клапан *6В*. Н. с. этой обмотки становится больше н. с. задающей обмотки, и скорость привода оказывается примерно такой же, как и перед входом резца в изделие.

После выхода резца из изделия (на пониженной скорости) производятся размыкание контакта переключателя хода *1ПХ-1* и замыкание *1ПХ-2*. При этом отключается контактор *В*, включается реле *РПН*, а затем контактор *Н*. Совершается реверсирование напряжения на зажимах *РС* и прекращается протекание тока через *ДУ*. Так как в рассматриваемом случае ток в задающей обмотке усилителя протекает в обратном направлении, то дается импульс на реверсирование привода. Реверсирование с пониженной скорости прямого хода до полной скорости обратного хода совершается с форсировкой. По достижении скорости обратного хода, близкой к установившейся, вновь вступает в действие *ДУ*. Результирующая н. с. усилителя становится отрицательной, и установившаяся скорость привода обусловится положением рукоятки регулятора обратного хода стола.

Перед окончанием обратного хода замыкается контакт *2ПС* и включается реле *РЗН*, контакт которого, замыкаясь, включает контактор *УС* — происходит реверсирование напряжения на зажимах задающей обмотки. Кроме того, в данном случае, как и в предыдущем, независимо от положения рукояток регулятора с *РС* снимается малое напряжение, и поэтому при включении реле *РЗН* ток вначале через дифференциальную обмотку протекать не будет. Происходит форсированное замедление привода с полной скорости обратного хода до пониженной скорости. Когда скорость обратного хода стола снизится приблизительно до *12 м/мин*, начнет про-

текать ток через $ДУ$, и дальнейшее замедление привода прекратится. Последующее перемещение стола при обратном ходе происходит с пониженной скоростью до тех пор, пока не разомкнется контакт переключателя хода $2ПХ-1$ и не замкнется контакт $2ПХ-2$. Отключится контактор H и включится реле $РПВ$ и контактор B — произойдет форсированный реверс привода с пониженной скорости обратного хода на пониженную скорость прямого хода. В дальнейшем работа схемы повторяется.

Остановка привода производится нажатием кнопки «Стоп», после чего отключаются контакторы B и B , если до отключения совершался прямой ход стола (или контактор H , когда отключению привода предшествовал обратный ход), и контактор $УС$. Так как при прямом ходе реле $РОВ$ возбуждено, то через его замыкающий

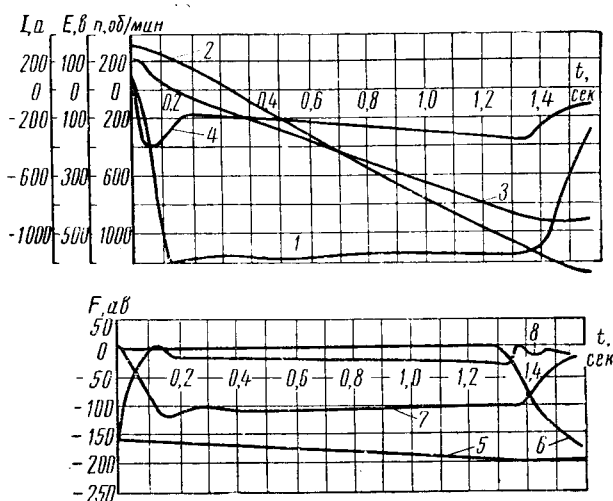


Рис. 7.4. Кривые переходного процесса при реверсировании привода для схемы рис. 7.3:

1 — ток якоря двигателя; 2 — скорость двигателя; 3 — э. д. с. генератора; 4 — э. д. с. усилителя; 5 — намагничивающая сила задающей обмотки; 6 — намагничивающая сила дифференциальной обмотки; 7 — намагничивающая сила токовой обмотки; 8 — результирующая намагничивающая сила усилителя

контакт и размыкающие контакты $УС$ на задающую обмотку усилителя подается напряжение обратного знака. При этом совершается интенсивное рекуперативное торможение до тех пор, пока не отключится реле $РОВ$ и контакт его не разомкнет цепь $ЗУ$. В процессе торможения привода до срабатывания реле $РОВ$ действуют, кроме $ЗУ$, обмотки $ТУ$ и $СУ$.

Работа схемы для наладочного режима ясна из рис. 7.3 и дополнительных пояснений не требует. На рис. 7.4 приведены рас-

четные кривые при реверсировании двигателя типа КП-4-1,7 (включенного по схеме рис. 7.3) от 300 до —1250 об/мин при $i \approx 2 I_n$. Коэффициент заполнения кривой тока достигает 0,85—0,9.

Недостатками рассмотренной системы электропривода являются: некоторая громоздкость узла включения дифференциальной обмотки через потенциометр сравнения, постоянно потребляющий мощность около 300 вт; включение токоограничивающей обмотки через потенциометр сравнения, питаемый от шин постоянного тока, что связано с потреблением мощности порядка 200÷300 вт; повышенная мощность приводного асинхронного двигателя. Последнее объясняется тем, что к концу разгона до основной скорости, двигатель стола может развивать мощность, в 2—2,5 раза большую максимальной мощности, развиваемой в процессе резания. Следовательно, и асинхронный двигатель в процессе разгона стола должен развивать мощность, значительно большую, чем в статическом режиме. Поэтому он должен либо обладать значительной перегрузочной способностью, либо иметь завышенную мощность.

Как уже упоминалось, регулирование скорости двигателя только изменением э. д. с. генератора приводит к необходимости значительного завышения установленной мощности двигателя и соответственно мощности генератора по сравнению с отдаваемой им мощностью. Кроме того, необходимость форсирования переходных режимов обуславливает завышение мощности и асинхронного двигателя, вращающего генератор. Указанные обстоятельства приводят к неудовлетворительному использованию электрооборудования и значительным потерям энергии; так, заводские испытания продольно-строгальных станков показывают, что к. п. д. главного привода лежит в пределах 0,27—0,52.

§ 7.3. ГЛАВНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЯЖЕЛЫХ ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Новосибирский завод тяжелого станкостроения с целью уменьшения установленной мощности электрических машин, повышения к. п. д. привода и обеспечения сравнительно быстрого протекания переходных режимов разработал схему главного привода тяжелых продольно-строгальных станков по системе генератор — двигатель с двухзонным регулированием и заменой одного двигателя полной мощности двумя двигателями половинной мощности, а также введением соответствующей системы автоматического управления.

Общий вид двухстоечного продольно-строгального станка модели 7А256 с двухдвигательным главным приводом показан на рис. 7.5.

Основные технические данные этого станка: 1) длина хода стола: наибольшая — 8000 мм, наименьшая — 1000 мм; 2) скорость рабочего хода регулируется плавно от 6 до 75 м/мин; 3) скорость обратного хода — от 12 до 75 м/мин; 4) допустимые усилия реза-

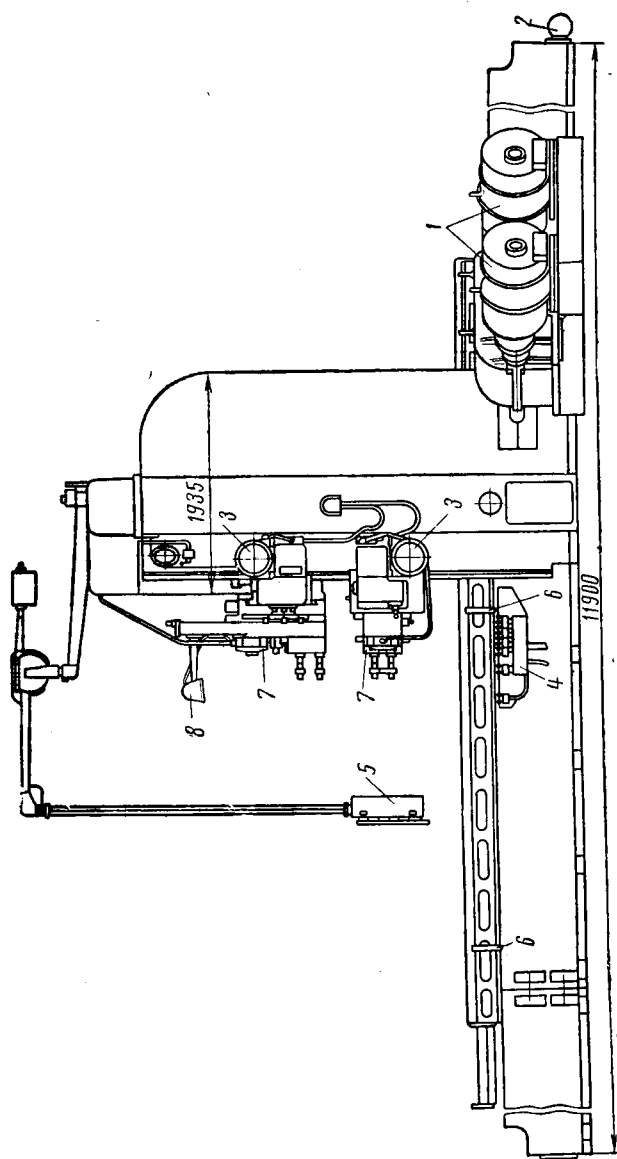


Рис. 7.5. Общий вид продольно-строгального станка модели 7A256:

1 — двигатель привода стола; 2 — насос смазки; 3 — насос смазки; 4 — блок конечных выключателей; 5 — подвесная кнопочная станция; 6 — упоры; 7 — электромагнит подъема резцов; 8 — выключник

Скорость рабочего хода, <i>м/мин</i>	6	10	12	20	30	40	50	60	75
Усилие резания, <i>кН</i>	148	149	150	95	65	52	43,5	37	32
Коэффициент полезного действия . .	0,71	0,72	0,73	0,7	0,65	0,64	0,61	0,58	0,58

ния и к. п. д. станка для деталей весом 20 000 кг характеризуются табл. 7.1; 5) подача за один двойной ход стола — от 0,5 до 50 мм; 6) вес стола — 13 275 кг; наибольший допускаемый вес обрабатываемого изделия — 20 000 кг; 7) скорость быстрого перемещения суппортов — 3 м/мин, траверсы — 1,5 м/мин. Кинематическая схема главного привода приведена на рис. 7.6.

Принципиальная электрическая схема управления главным приводом станков моделей 7A256, 7A278 предусматривает регулирова-

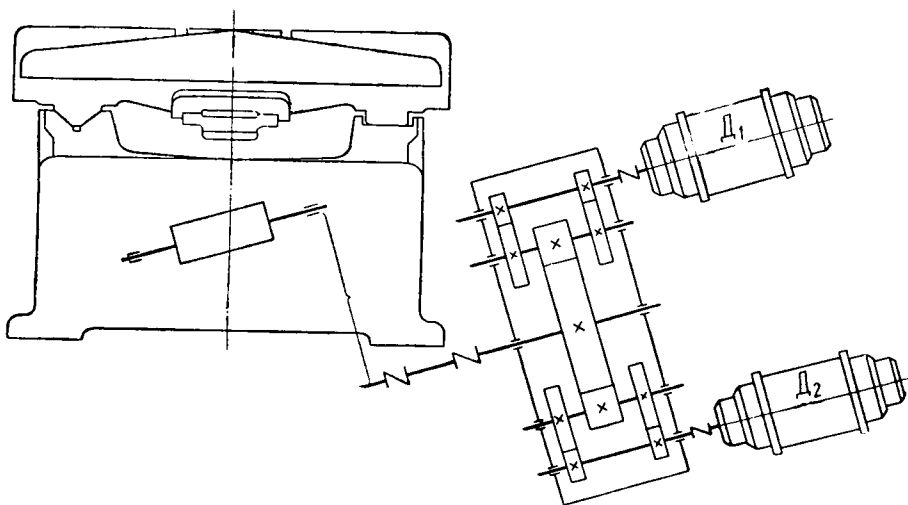


Рис. 7.6. Кинематическая схема главного привода станка модели 7A256

ние скорости двигателей D_1 и D_2 в пределах 136—970 об/мин изменением э. д. с. генератора и от 970 до 1700 об/мин ослаблением магнитного потока двигателей.

Поддержание скорости двигателей с высокой точностью было выполнено в первоначальном варианте системой автоматического регулирования с ЭМУ поперечного поля, воздействующими на цепи возбуждения генератора и двигателей.

В последующем, в станках тех же моделей, заводом «Тяжстанкогидропресс» с целью повышения надежности и получения высокого быстродействия была разработана схема главного привода

продольно-строгального станка, в которой вместо ЭМУ поперечного поля использованы быстродействующие магнитные усилители с промежуточными полупроводниковыми усилителями.

Силовая часть привода остается такой же, как и в предыдущей схеме, т. е. привод стола осуществляется от двух двигателей постоянного тока мощностью каждый 55 квт. Регулирование скорости бесступенчатое в диапазоне 15:1 (скорость стола регулируется в пределах 75—5 м/мин), двухзонное.

Электрическая схема главного привода, приведенная на рис. 7.7, предусматривает автоматический режим и наладочный; кроме того, возможен ускоренный проход проемов. Автоматический цикл происходит в функции пути, контролируемом конечными переключателями (схематическое расположение переключателей показано на рис. 7.7, б).

Рассмотрим вначале последовательность действия контактов переключателей. Перед окончанием рабочего хода упор «а» нажимает последовательно на выключатели ЗПС, ИПС и ПХСН. При воздействии на ЗПС и ИПС снижается скорость стола перед выходом резца из изделия, а затем при воздействии на ПХСН происходит реверс с прямого хода на обратный. В начале обратного хода упор «а», воздействуя на ПХСН, ИПС и ЗПС, возвращает их контакты в прежнее положение. В конце обратного хода упор «б» нажимает на 4ПС, 2ПС — происходит снижение скорости — и затем, при воздействии на ПХСВ дается сигнал на реверсирование с пониженной скорости обратного хода на пониженную скорость прямого хода, при которой происходит врезание резца в изделие, а затем рабочий ход. Упор «б» в начале рабочего хода, воздействуя на контакты ПХСВ, 2ПС и 4ПС, возвращает их в прежнее положение.

При включении привода в результате срабатывания контактора В подается напряжение на регулятор скорости и включаются цепи управления. Цепи управления реле и контакторами в схеме (рис. 7.7) не показаны. Привод разгоняется до заданной скорости. При скорости, выше номинальной, замыкающий контакт 2БК замкнут и соответственно размыкающий разомкнут. Контакты 1БК и 2БК условно означают разрыв в шине регулятора в положении, соответствующем номинальной скорости.

В конце рабочего хода, при размыкании ЗПС, в цепь управления вводится сопротивление, тогда скорость привода снижается. Затем замыкаются контакты ИПС, и регулятор шунтируется диодом 12Д, прямое падение напряжения на котором соответствует скорости стола около 6 м/мин.

В конце прямого хода размыкается контакт ПХСН — выключается В и включается цепь контактора Н. В момент переключения контакторов В и Н реле РБ не выключается, так как оно шунтировано диодом, чем обеспечивается необходимая выдержка времени. При включении контактора Н привод реверсируется — совершается обратный ход стола, в конце которого производится срабатывание 4ПС и 2ПС, действие которых аналогично действию ЗПС

и *1ПС*. Затем размыкаются контакты *ПХСВ* и производится переключение контакторов с *Н* на *В*. Одновременно (через *ПХСВ*) включается контактор *КП* и подается сигнал для обработки привода подачи. Во время подачи главный привод не работает, так как цепь управления отключается размыкающим контактом *КП* (регулятор выключается). Как только началась подача, размыкается цепь размыкающих контактов контакторов приводов — суппортов — и реле отсчитывает время. Если подача затянулась дольше 2,5 сек, то реле *РВ* отключается и его замыкающий контакт размыкает цепь управления *В* (или *Н*) — накладывается гашение поля генератора и, кроме того, выключается контактор *КП* — прекращается подача.

Размыкающий контакт *КП* дает возможность включить управление на перемещение суппортов, не вызывая остановки стола. По окончании подачи замыкается размыкающий *КП*, включаются реле *РВ* и *РП*. Реле *РП* подключает регулятор скорости и обеспечивает врезание резца в изделие при пониженной скорости. В начале рабочего хода размыкается замыкающий контакт *ПХСВ* — выключается *КП* и реле *РП*; снимается сигнал на замедление. Контакт *РП* размыкается, но регулятор получает питание через размыкающий контакт *КП* — происходит рабочий ход стола.

В случае, если обрабатываемое изделие имеет значительные по длине необрабатываемые проемы, то целесообразно, с точки зрения повышения производительности, проходить эти проемы с повышенной скоростью — такой же, как скорость обратного хода. С этой целью устанавливаются дополнительные упоры по левую сторону стола (с правой стороны стола установлены упоры «а» и «б») по длине, равной длине проема. Ускоренный проход проемов осуществляется включением самостоятельной цепи, обеспечивающей замыкание контактов конечного выключателя *5ПС*, включающего реле *У* (на схеме не показаны). В цепи управления контакты *У* переключают тахогенератор на цепь регулятора хода «Назад», и привод работает с повышенной скоростью. По окончании прохода с проемом соответствующий конечный выключатель (*6ПС*) размыкает цепь *У* — скорость стола снижается до скорости рабочего хода. Недостатком такого простого схемного решения является отсутствие пониженной скорости перед выходом резца из изделия, а также врезание его при высокой скорости после прохождения проема.

Рассмотрим подробнее устройство и принцип действия отдельных элементов системы автоматического управления главным приводом.

Полупроводниковый усилитель главного привода состоит из усилителей генератора и двигателей, питающихся от общего двухполупериодного выпрямительного устройства. Входы этих усилителей включены параллельно на напряжение, ограничиваемое стабилизаторами *1ВКГ* и *2ВКГ*. Постоянный ток входа усилителя генератора преобразуется в переменный с помощью модулятора на тран-

a)

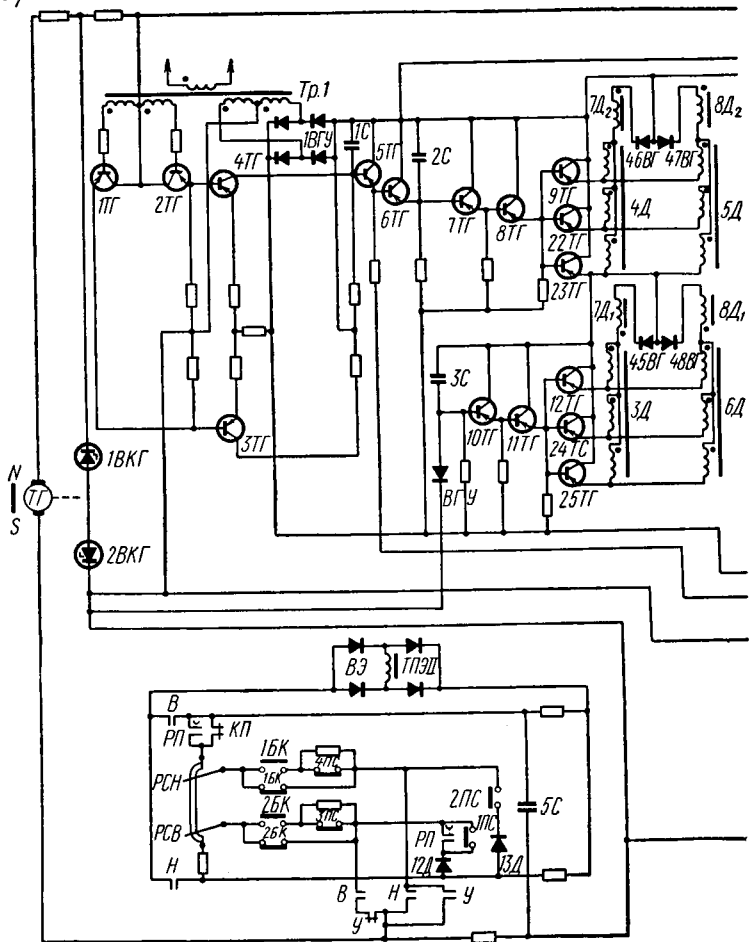
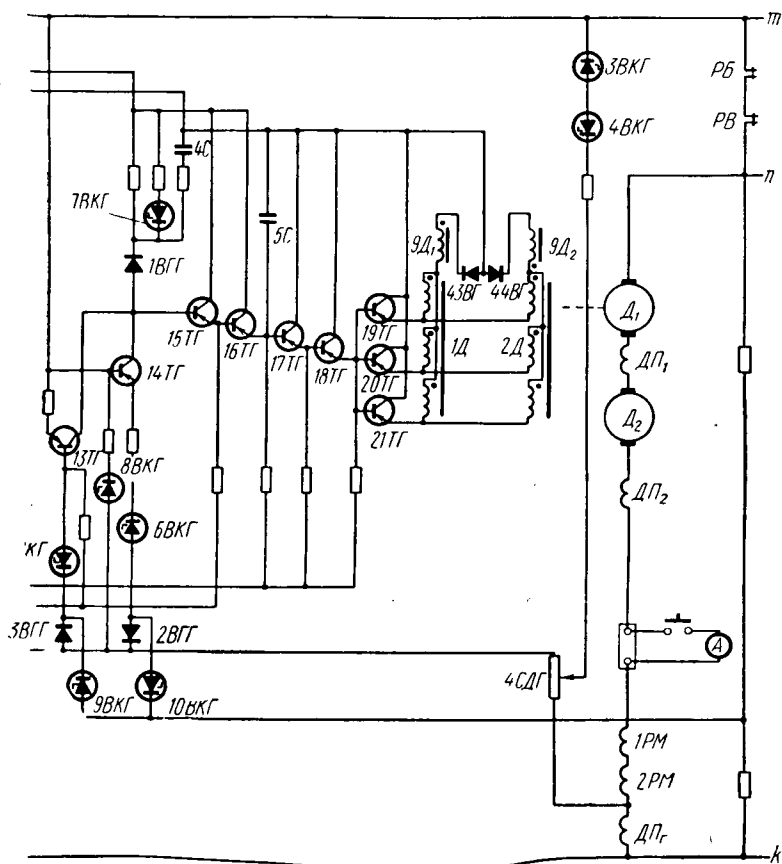


Рис. 7.7. Электрическая схема главного



привода станка модели 7A256

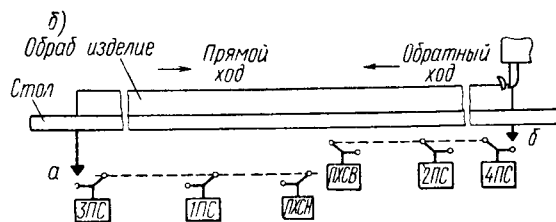
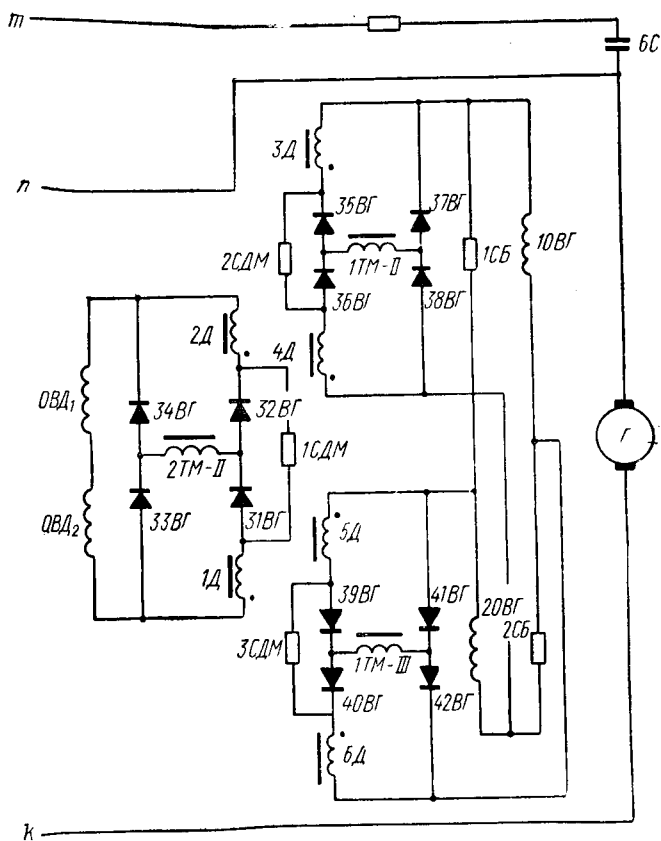


Рис. 7.7. Продолжение

зисторах *1ТГ* и *2ТГ*. Каждый триод работает в ключевом режиме и замкнут в течение одного полупериода, когда на базу его подается минус опорного напряжения, и разомкнут в течение другого полупериода. Сопротивления на выходе *1ТГ* и *2ТГ* служат входными для *3ТГ* и *4ТГ*, являющихся усилителями напряжения. Сумма токов эмиттеров-коллекторов этих триодов постоянна и определяется напряжением питания. Если на вход усилителя не подается сигнал управления, то по дополнительному сопротивлению в каждый полупериод проходят равные коллекторные токи триода *4ТГ*, и падение напряжения на этом сопротивлении приблизительно равно половине напряжения питания.

При подаче на вход триода *4ТГ* сигнала соответствующей полярности коллекторный ток его увеличивается; в другой полупериод этот сигнал вызывает увеличение коллекторного тока *3ТГ*, уменьшая коллекторный ток *4ТГ* так, что сумма коллекторных токов *3ТГ* и *4ТГ* остается неизменной. Кривая на сопротивлении имеет вид однополупериодного напряжения; при изменении полярности входного сигнала кривая напряжения сдвигается на половину периода. Триоды *5ТГ* и *6ТГ* повторяют (усиливают) это напряжение, которое управляет магнитными усилителями цепи управления генератора.

Усилитель двигателей — усилитель постоянного тока; для того чтобы он одинаково реагировал на сигналы разных полярностей, в нем использованы два входных триода *13ТГ* и *14ТГ*. При отсутствии сигнала на входе усилителя падение напряжения на нагрузке равно нулю. Соответствующие сопротивления и стабилитрон *8ВКГ* служат для выравнивания работы *13ТГ* и *14ТГ*.

Диоды *2ВГГ* (или *3ВГГ*) закрывают вход усилителя двигателя до тех пор, пока напряжение генератора не достигнет номинального значения, что соответствует выходу усилителя генератора в зону насыщения. При этом напряжение, снимаемое с сопротивления, становится достаточным, чтобы открыть стабилитрон *10ВКГ* (или *9ВКГ*) и пропустить требуемый ток через диоды *2ВГГ* или *3ВГГ*. Стабилитроны *5ВКГ*, *6ВКГ* и сопротивление делают открытый усилитель двигателя нечувствительным к входным сигналам меньшим, чем сигнал, при котором усилитель генератора насыщается. Диод *1ВГГ*, стабилитрон *7ВКГ*, емкость *4С* и соответствующие сопротивления нужны для предотвращения колебаний скорости привода при управлении ослаблением потока двигателей. Триоды *15ТГ* и *16ТГ* усиливают сигнал, снимаемый с сопротивления для управления через полупроводниковый промежуточный усилитель быстродействующими магнитными усилителями *1Д* и *2Д* в цепи обмоток возбуждения двигателей.

Если сердечник магнитного усилителя не насыщен, то его силовая обмотка обладает большим сопротивлением, и малое напряжение прикладывается к обмоткам возбуждения; при насыщении сопротивление усилителя резко падает, благодаря чему почти все напряжение питающего трансформатора подается на обмотки воз-

буждения двигателей. Изменяя момент выхода в зону насыщения, можно изменять среднее значение тока возбуждения. Плавное изменение управляющее напряжение от нуля до максимального значения, можно соответственно регулировать скорость вращения двигателей. Силовые триоды *17ТГ*, *18ТГ*, *19ТГ*, *20ТГ* и *21ТГ* служат для связи магнитных усилителей с маломощным полупроводниковым усилителем. Использование трех управляющих обмоток, работающих каждая от одного из трех параллельно включенных триодов *19ТГ*, *20ТГ* или *21ТГ*, обеспечивает более равномерное распределение нагрузки по триодам.

Как видно из схемы, обмотка возбуждения генератора разделена на две части и включена в плечи уравновешенного моста с двумя балластными сопротивлениями. В диагонали моста включены источники питания, полярность которых такова, что токи в полуобмотках возбуждения вычитаются, причем режим работы обоих не-реверсивных источников таков, что с ростом одного тока уменьшается другой, и наоборот.

Напряжение, подключенное к одной диагонали моста, регулируется усилителями *3Д* и *4Д*, а к другой диагонали — усилителями *5Д* и *6Д*. Управляющие обмотки этих усилителей включены на выход силовых триодов одной группы — *9ТГ*, *22ТГ* и *23ТГ*, и другой — *12ТГ*, *24ТГ* и *25ТГ*.

Если амплитуда управляющего напряжения одинакова по полупериодам, то токи в плечах моста (в полуобмотках возбуждения генератора) одинаковы. Если же амплитуды неодинаковы по полупериодам, то и токи в обмотках возбуждения различны (когда напряжение в один полупериод равно нулю, а в другой — напряжению питания, в обмотке возбуждения течет максимальный ток одного из направлений).

Рассмотренная система электропривода отличается не только значительной жесткостью механических характеристик двигателей, но и высоким быстродействием, т. е. в заданное время обрабатывает управляющие и компенсирует возмущающие воздействия.

Быстродействие линейной системы определяется полосой пропускаемых частот, границей которых принимают частоту среза. Повышение быстродействия связано с расширением полосы частот, пропускаемых системой. Однако необходимо иметь в виду, что расширение полосы пропускания находится в противоречии с требованиями устойчивости; по мере расширения полосы частот, пропускаемых системой, начинают влиять малые постоянные времени, которыми можно было пренебречь при низких частотах. Так, в приводе, обладающем электромеханической и электромагнитной постоянной времени, достаточно иметь хотя бы еще одно инерционное звено, чтобы ограничить по условиям устойчивости полосу пропускаемых частот.

С другой стороны, рассматриваемая система электропривода должна обеспечить сравнительно большой диапазон регулирования с небольшим перепадом скорости на любой из характеристик в за-

данном диапазоне. Если основным возмущающим воздействием в системе является нагрузка, то величина необходимого общего коэффициента усиления системы

$$k = D \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{тр}} - 1, \quad (7.19)$$

где D — диапазон электрического регулирования; ε_p , $\varepsilon_{тр}$ — соответственно, статизм механической характеристики двигателя в разомкнутой системе и требуемый статизм.

Передаточная функция разомкнутой нескорректированной системы Γ — D с магнитным усилителем при неизменном потоке двигателя

$$W(p)_p = k e^{-p\tau} \frac{1}{(1 + pT_b)(1 + pT_m + p^2T_mT_{\gamma})}, \quad (7.20)$$

где k — общий коэффициент усиления системы; τ — время постоянного запаздывания магнитного усилителя, равное полупериоду питающей частоты; T_b , T_m и T_{γ} — соответственно, эквивалентная постоянная времени цепи возбуждения генератора, электромагнитная (якорной цепи) постоянные времени двигателей.

Анализ (7.20) показывает, что частота среза этой системы не превышает резонансной частоты двигателей

$$\omega_d = \sqrt{\frac{1}{T_m T_{\gamma}}}. \quad (7.21)$$

Коэффициент усиления системы по условию устойчивости

$$k \leq \frac{T_b}{T_{\gamma}}.$$

В диапазоне мощности от 1 до 300 кВт

$$\omega_d = (12 \div 25) \text{ рад/сек}, \quad T_b/T_{\gamma} = 30 \div 100,$$

что указывает на относительно низкие статические и динамические свойства нескорректированной системы, поэтому в системе привода должна быть введена коррекция. Быстродействие системы обусловливается выбором коэффициента форсировки возбуждения генератора. Темп нарастания э. д. с. генератора, как известно, возрастает с ростом коэффициента форсировки до величины, обеспечивающей предельный ток якоря по условиям коммутации. С ростом коэффициента форсировки увеличиваются габариты, вес и стоимость магнитного усилителя.

Дифференциальное уравнение относительно тока якорной цепи может быть записано в форме

$$T_m T_{\gamma} \frac{d^2 i}{dt^2} + T_m \frac{di}{dt} + i = \frac{T_m}{R} \cdot \frac{dU_r}{dt}. \quad (7.22)$$

При форсировке магнитный усилитель находится в насыщенном состоянии в течение всего переходного процесса, поэтому можно считать, что напряжение генератора изменяется приблизительно по линейному закону, т. е.

$$U_{\Gamma} = \frac{U_{\text{н}}}{T_{\text{в}}} k_{\Phi} t, \quad (7.23)$$

где t — время; k_{Φ} — коэффициент форсировки возбуждения генератора; $U_{\text{н}}$ — номинальное напряжение генератора.

Если подставить (7.23) в (7.22) и произвести соответствующие преобразования, то

$$k_{\Phi} \geq \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{м}}} \cdot \frac{I_{\text{пр}} R}{U_{\text{н}}}, \quad (7.24)$$

где $I_{\text{пр}}$ — предельный ток якоря по условиям коммутации.

Дальнейшее увеличение k_{Φ} практически не увеличивает быстродействия системы, так как при k_{Φ} , определенном по (7.24) (для зоны средних и максимальных скоростей привода), привод работает в переходных режимах при заданном токоограничении. Система привода, управляемая при скорости, выше номинальной, ослаблением магнитного потока, становится существенно нелинейной, не считая насыщения возбудителя генератора и токоограничения, за счет гиперболической зависимости скорости вращения от магнитного потока, насыщения магнитной системы двигателя и наличия в системе звеньев перемножения ($E = k\Phi\omega$ и $M = k\Phi I$).

Анализ нелинейных систем часто сводится к их линеаризации, при этом считается, что в переходном режиме изменение величин, входящих в дифференциальные уравнения, происходит в «малом». Если в установившемся режиме система характеризуется величинами Φ_0 , I_0 , $I_{\text{в}0}$, $U_{\text{в}0}$, ω_0 , то при незначительном отклонении этих величин в результате, например, управляющего воздействия (изменения тока возбуждения) имеем:

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_0 + \Delta\Phi; & i &= I_0 + \Delta I; & i_{\text{в}} &= I_{\text{в}0} + \Delta I_{\text{в}}; & U_{\text{в}} &= U_{\text{в}0} + \Delta U_{\text{в}}; \\ \omega &= \omega_0 + \Delta\omega. \end{aligned}$$

В произведениях переменных можно пренебречь произведением приращений, тогда

$$\left. \begin{aligned} \Phi i &= \Phi_0 I_0 + \Phi_0 \Delta I + I_0 \Delta\Phi; \\ \Phi \omega &= \Phi_0 \omega_0 + \Phi_0 \Delta\omega + \omega_0 \Delta\Phi. \end{aligned} \right\} \quad (7.25)$$

Если подставить значения из (7.25) в исходную систему уравнений (при $M_{\text{с}} = 0$):

$$\left. \begin{aligned} ki\Phi &= Jp\omega; \\ E_r &= iR + Lpi + k\Phi\omega; \\ U_B &= iR_B + w_B p\Phi; \\ U_B &= k_{B,\lambda} e^{-p\tau} U_{BX}, \end{aligned} \right\} \quad (7.26)$$

то в результате простых преобразований получим:

$$\left. \begin{aligned} Jp\Delta\omega &= kI_0\Delta\Phi + k\Phi_0\Delta I; \\ (1 + pT_{\pi})\Delta I R &= -(k\Phi_0\Delta\omega + k\Delta\Phi\omega_0); \\ (1 + pT_B)\Delta\Phi &= -\Delta U_{BX} \frac{T_B}{w_B} k_{B,\lambda} e^{-p\tau}. \end{aligned} \right\} \quad (7.27)$$

Решая систему (7.27) и учитывая, что

$$T_M = \frac{JR}{k^2\Phi_0^2}, \quad K = \frac{T_B}{kw_B\Phi_0^2} k_{B,\lambda}, \quad k_{\Gamma} = \frac{\Delta U_{ВВХ}}{\Delta\omega},$$

найдем передаточную функцию разомкнутой линеаризованной системы управления при ослаблении поля двигателей

$$W(p)_p = K e^{-p\tau} \frac{I_0 R (1 + pI_{\pi}) - k\Phi_0\omega_0}{(1 + pT_B)(1 + pT_M + p^2T_M T_{\pi})}, \quad (7.28)$$

где T_B — постоянная времени цепи возбуждения двигателей; величины K , T_M и T_B зависят от величины потока возбуждения двигателя.

Сопоставление (7.28) с (7.20) указывает на аналогичные характеристических уравнений нескорректированной системы при управлении током возбуждения двигателя и управлением э. д. с. генератора с неизменным потоком двигателя.

Необходимо, однако, подчеркнуть, что исследование динамики рассматриваемой системы справедливо только в «малом», т. е. при небольших изменениях управляющих и возмущающих воздействий, и не дает представления о поведении системы при больших возмущениях. Вопрос о динамических свойствах в «большом» может быть разрешен графическим или графо-аналитическим методом расчета, как было показано ранее, или с помощью электронной аналоговой модели.

В рассматриваемой схеме электропривода (см. рис. 7.7) предусмотрены стабилизация (корректирование) системы, выполненная в виде последовательного включения емкости $6C$ и дополнительного сопротивления, узел токоограничения на стабилизаторах $ЗВКГ$ и $4ВКГ$ и контур гашения остаточного напряжения генератора. Отключение обмотки возбуждения генератора во избежание ползучей скорости двигателей осуществляется подачей напряжения генератора через контакты PB , $PБ$ на вход усилителя с такой поляр-

ностью, чтобы входной ток, вызванный этим напряжением, размагничивал генератор.

Рассмотренная схема главного привода продольно-строгального станка отличается большой надежностью, достаточно высоким быстродействием и обеспечивает широкое и точное регулирование скорости вращения двигателей. Недостатком системы с магнитным усилителем, особенно в реверсивном исполнении, является низкий к. п. д. возбуждательного устройства. Так, для генератора мощностью в $200 \div 300$ кВт и мощности на возбуждение $1,5 \div 2$ кВт в реверсивном магнитном усилителе рассеивается $6 \div 8$ кВт. Перспективным, очевидно, будет применение возбуждательных устройств на тиристорах или даже замена системы генератор — двигатель системой реверсивный тиристорный преобразователь — двигатель.

§ 7.4. ПРИВОД ПОДАЧИ ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Подача суппортов продольно-строгальных станков производит периодическую за каждый двойной ход стола, обычно при реверсировании с обратного хода на прямой, и должна закончиться до начала резания.

Для осуществления периодической подачи суппортов применяются различные системы приводов — механические, электрические, гидравлические, пневматические и смешанные. В станках небольших размеров подача выполняется при помощи механических устройств, в которых используются храповые механизмы, разжимные фрикционные диски и т. п. Наибольшее распространение в приводах подач получили электромеханические устройства.

Перемещение суппорта осуществляется при помощи винтового (винт — гайка) или реечного механизма (шестерня — рейка).

В случае винтовой передачи перемещение суппорта (мм)

$$S = n_b t \tau, \quad (7.29)$$

где n_b — скорость вращения винта, об/мин; t — шаг винта, мм; τ — время вращения винта, мин.

Для реечного механизма перемещение суппорта (мм)

$$S = z t n_{ш} \tau, \quad (7.30)$$

где z , $n_{ш}$ — число зубьев и скорость вращения реечной шестерни, об/мин; t — шаг рейки, мм; τ — время вращения шестерни, мин.

Из приведенных формул вытекает, что величина подачи может изменяться либо за счет изменения скорости вращения винта (или шестерни), либо за счет изменения времени работы механизма подачи. Скорость вращения винта или шестерни можно регулировать изменением передаточного отношения коробки подач или же изменением скорости вращения двигателя.

При выборе той или иной скорости подачи необходимо иметь в виду, что время, в течение которого осуществляется подача, долж-

но быть настолько малым, чтобы длительность подачи не вызывала задержки движения стола, а следовательно, и снижения производительности станка.

Это условие может послужить причиной снижения диапазона изменения величины подач. Так, если скорость перемещения суппорта неизменна и управление подачей ведется в функции пути, то при больших подачах время подачи может оказаться больше времени реверсирования стола. В данном случае необходимо задерживать движение стола «вперед», что вызывает снижение производительности станка. То же имеет место, если подача совершается в функции времени при неизменной скорости перемещения суппорта.

У современных тяжелых продольно-строгальных станков подача регулируется в диапазоне до $100 : 1$ и выше, поэтому если принять скорость подачи неизменной и считать, исходя из практических соображений, что наименьшая подача совершается за $0,2 \text{ сек.}$, то время наибольшей подачи достигает 20 сек. Реверсирование стола совершается за $1,5 \div 2 \text{ сек.}$ Такое значительное превышение времени подачи над временем реверсирования совершенно недопустимо. Поэтому применение систем для широкого регулирования подач, управляемых только в функции пути или времени, неприемлемо. Нужно использовать систему, управляемую в функции скорости, либо систему смешанного управления, в которой подачи частично выполняются в функции скорости и частично в функции пути и времени.

Системы регулирования величины подачи изменением только передаточного отношения встречаются сравнительно редко, так как с увеличением диапазона регулирования система становится громоздкой и сложной в отношении дистанционного управления. В сочетании с другими способами регулирования подачи изменением передаточного отношения встречается часто в станках отечественного и заграничного производства.

Изменение величины подачи путем регулирования скорости вращения двигателя подачи находит применение в тяжелых станках ряда иностранных фирм (Вальдрих-Зиген, Кревек, Вагнер и др.). Преимущество этого способа заключается в том, что время подачи может оставаться одинаковым как при малых, так и при больших подачах и может быть задано не превышающим времени реверсирования стола с обратного хода на прямой. В данном случае обеспечивается плавное регулирование величины подачи в требуемом диапазоне при максимально упрощенной кинематической цепи привода подачи. К недостаткам этой системы можно отнести относительную сложность и высокую стоимость электрического привода.

Наиболее простым способом регулирования величины подачи является способ изменения времени работы привода суппорта. В этом случае при наличии только реле времени легко обеспечивается дистанционное управление величиной подачи. Основным недостатком этого способа управления, как уже указывалось, является трата значительного времени на выполнение больших по-

дач. Кроме того, здесь имеет место значительный разброс величины подач из-за непостоянства скорости вращения двигателя, непостоянства длительности переходных процессов и др.

Так как управление подачей в функции пути также связано со значительной затратой времени при больших подачах, то наряду с устройством, дозирующим подачу по пути, применяется коробка подач на несколько ступеней скорости. В этом случае диапазон регулирования подачи в функции пути сокращается в число раз, равное диапазону механического регулирования коробки подач. Соответственно сокращается и время подачи. Очевидно, тот же результат в отношении сокращения времени подачи достигается при использовании вместо механического электрического регулирования (привод от многоскоростного двигателя или двигателя постоянного тока).

При проектировании приводов подач тяжелых продольно-строгальных станков необходимо исходить из следующих основных требований:

1. Диапазон регулирования подач достигает $(100 \div 200) : 1$. Отклонения установленных величин подач не должны превышать паспортные данные более чем на ± 10 ($\varphi - 1$) %.

2. Устройство для подачи должно допускать работу с частотой включения до 1000 в час, причем управление величинами подач должно происходить с одинаковой точностью как при прямом, так и при обратном направлении перемещения суппортов.

3. Система подачи должна быть компенсированной, т. е. такой, в которой учитывается путь, проходимый суппортом после того, как будет дана команда на отключение привода подачи. Механизм подачи должен управляться дистанционно, обеспечивая быструю и легкую настройку на ряд требуемых подач.

В отечественных тяжелых продольно-строгальных станках для управления подачей суппортов применяется устройство, состоящее из нескольких дисков с разным числом выступов на каждом из них. Количество дисков равно числу подач при определенной механической ступени скорости, обусловленной данным сцеплением шестерен коробки подач. Например, механизмы подач станков моделей 724М и 7А256 имеют семь дисков с числом выступов 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3, что в сочетании с тремя механическими ступенями дает 21 подачу от 0,5 до 50 мм на один двойной ход стола с $\varphi \approx 1,26$. В более тяжелых станках (моделей 7А278 и 7288Ф) устройство из восьми дисков и трех механических передач обеспечивает аналогичным образом 24 различные подачи от 0,5 до 100 мм на двойной ход.

Регулирование величины подачи производится следующим образом. С валом двигателя подачи через передачу связывается барабан, состоящий из семи или восьми стальных дисков одинакового диаметра с разным, как отмечалось, числом выступов. Относительно дисков вдоль их оси может перемещаться электромагнитное реле РПС, якорь которого с одной стороны заканчивается наконечником, а с другой стороны, замыкающим контактом РПС (рис. 7.8).

Установкой определенного диска против реле РПС задается и определенная величина подачи.

Действие схемы управления подачей горизонтальных суппортов сводится к следующему. В начале реверса стола с обратного хода на рабочий контакт конечного выключателя ПХСВ включает реле РП (через контакт блокировочного контактора 1В), которое своим контактом включает реле подачи РПС и контактор В (или Н).

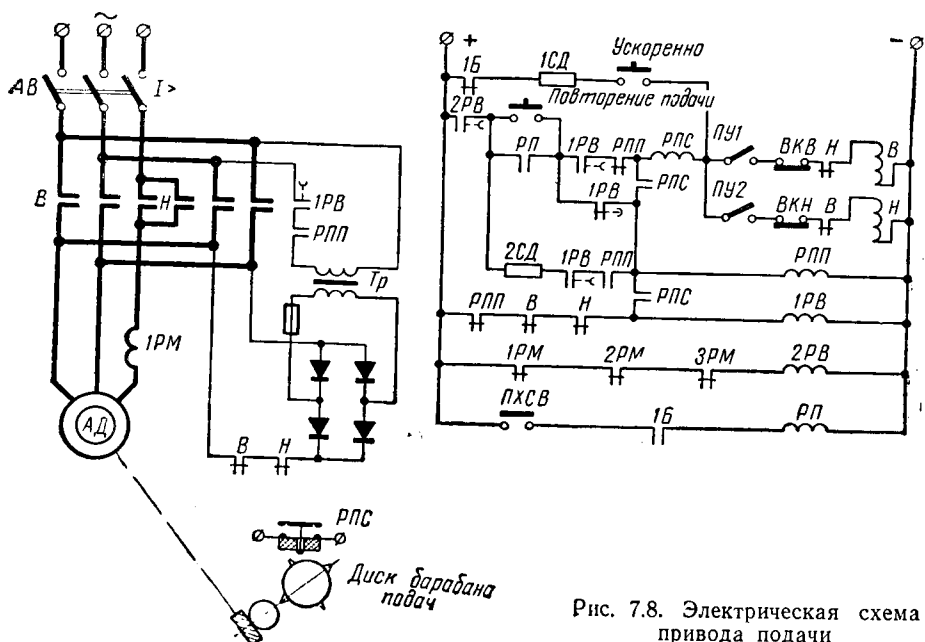


Рис. 7.8. Электрическая схема привода подачи

Двигатель разгоняется и начинает перемещать суппорт. Реле РПС своим контактом включает промежуточное реле РПП, размыкающий контакт которого размыкается, а замыкающий замыкается — создается цепь питания реле РПС, контактора В (или Н) и реле 1РВ через дополнительное сопротивление 2СД. Ток в катушке реле РПС уменьшается, и для размыкания его контактов необходимо меньшее усилие на якорь со стороны выступов диска, что увеличивает срок службы реле. Необходимо, чтобы замыкающие контакты реле РПП замыкались раньше, чем разомкнутся размыкающие, иначе реле РПП не подготовит питания реле РПС и других аппаратов и эти аппараты будут периодически включаться и выключаться, пока замкнуты контакты РП. Реле РПП подготавливает цепь динамического торможения двигателя.

После поворота барабана с диском на заданный угол выступ диска давит на якорь реле РПС и контакты его размыкаются — теряют питание реле РПС, 1РВ и контактор В. Размыкающий кон-

такт *B* замыкается, и статор двигателя подключится к источнику постоянного тока — осуществится динамическое торможение, длительность которого определяется настройкой реле времени. По истечении выдержки времени реле *IPB* размыкает цепь динамического торможения и цепь катушки реле *РПП*. Однако реле *РПП* остается включенным через контакт *РП* и размыкающий контакт *IPB* для предотвращения повторения подачи, так как разомкнут размыкающий контакт *РПП* в цепи катушки реле *РПС*. После реверса стола (в начале рабочего хода) контакт *ПХСВ* размыкается, отключая цепь реле *РП*, после чего выключается реле *РПП*, размыкающий контакт которого включает реле *IPB*, и система управления оказывается подготовленной к следующей подаче.

В режиме «повторение подачи» производится только одна подача, независимо от того, сколько времени нажата кнопка «*Повторение подачи*».

Максимальное реле *IPM* предназначено для защиты двигателя от стоянки под тормозным, а также пусковым токами. Для защиты от коротких замыканий и стоянки под пусковым током служит автоматический выключатель *AB*.

Ускоренное перемещение суппортов осуществляется в толчковом режиме при неподвижном столе, так как при автоматической работе стола размыкающий контакт *IB* разомкнут.

Привод подачи вертикальных суппортов осуществляется от отдельного двигателя, управляемого по схеме, аналогичной той, которая приведена на рис. 7.8, за исключением того, что этот двигатель не реверсируется. Направление перемещения вертикальных суппортов устанавливается механическим переключением.

Подъем резцовых головок во время обратного хода стола на отечественных станках производится при помощи электромагнитов. В начале прямого хода электромагниты автоматически отключаются и резцовые головки под действием собственного веса опускаются.

Управление перемещением и зажимом поперечины продольно-строгальных станков производится таким же образом, как было описано в гл. V.

§ 7.5. БЕСКОНТАКТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Большое значение приобретает надежная работа электропривода, так как от этого зависит и бесперебойная работа станка. Как отмечалось, электропривод стола продольно-строгального станка работает в очень напряженном режиме; если учесть, что число реверсов стола может достигать до 1500 в час и выше, то контактная аппаратура (контакты, реле, конечные выключатели), осуществляющая в цепях управления все переключения, обуславливающие необходимый режим работы привода, также работает в весьма на-

пряженном режиме. Известно, что контактные аппараты сравнительно быстро изнашиваются, подгорают, загрязняются, поэтому даже при надежной силовой части привода система в целом оказывается недостаточно надежной. Более перспективным следует признать применение бесконтактных элементов, обладающих весьма значительным сроком службы и высоким быстродействием. Время срабатывания таких элементов в сотни раз меньше, чем у обычных релейно-контактных аппаратов.

Бесконтактные системы управления построены на тех же принципах, что и контактные и выполняют функции, соответствующие операциям «И», «ИЛИ», «НЕТ», «ПАМЯТЬ» («И» соответствует последовательному соединению контактов, «ИЛИ» — параллельному, «НЕТ» — цепь с размыкающим контактом и «ПАМЯТЬ» — цепь самоблокировки, или выдержки времени); они выполняются в виде сменных унифицированных ячеек, которые заливаются изоляционным материалом и имеют выводы для присоединения.

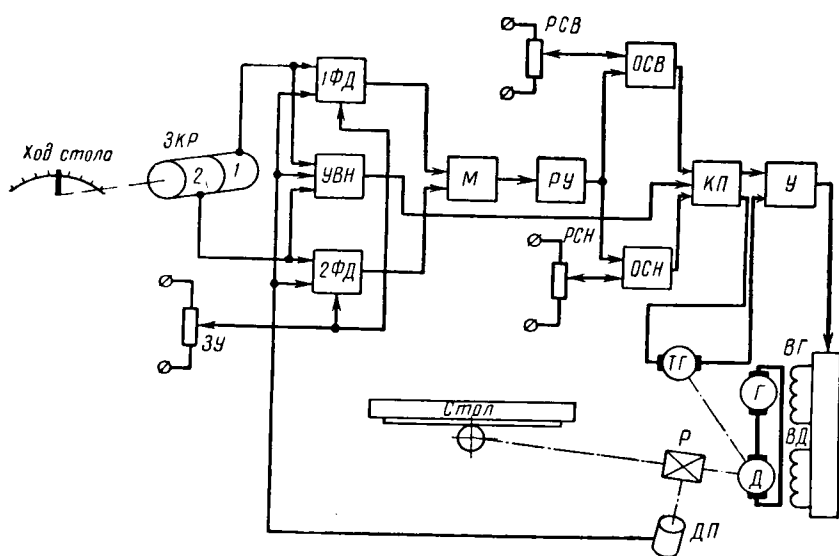


Рис. 7.9. Блок-схема бесконтактного управления электропривода стола

Различными организациями у нас и за границей [Л. 39] разработаны и исследуются системы электроприводов металлорежущих станков с бесконтактным управлением. В качестве примера рассмотрим упрощенную блок-схему бесконтактного управления электроприводом стола, разработанную заводом «Тяжстанкогидропресс» (рис. 7.9).

Положение стола фиксируется бесконтактным сельсином $ДП$, который соединен с валом главного двигателя $Д$ через понижаю-

ший редуктор P . Наибольшей длине хода стола соответствует поворот ротора сельсина на угол, несколько меньший 180 эл. град. Точность (погрешность) реверсирования определяется длиной хода стола; погрешность реверсирования при длине $3 \div 24$ м, соответствующая 1° поворота ротора сельсина $ДП$, составляет соответственно $20 \div 140$ мм. Уменьшение погрешности при больших длинах достигается применением двухотсчетной системы измерения. Задатчиком координат реверса $ЗКР$ служит двойной бесконтактный сельсин; задание ускорения производится потенциометром $ЗУ$, а задание скорости прямого и обратного ходов — соответственно регуляторами $РСВ$ и $РСН$.

Контроль текущего положения стола относительно точки реверса производится фазовыми дискриминаторами $1ФД$ (относительно координаты передней точки реверса) и $2ФД$ (относительно координаты задней точки реверса), на вход которых подаются сигналы, пропорциональные фактическому положению стола, заданным координатам реверса, а также заданному ускорению. Таким образом, на выходе фазовых дискриминаторов напряжение пропорционально ускорению привода и расстоянию от кромки режущего инструмента до точки реверса, т. е. $U_{ФД} \equiv as$.

Кроме того, на узел выбора направления $УВН$ подаются сигналы от задатчика координат реверса и датчика положения стола. Указанные сигналы на выходе фазовых дискриминаторов подаются на узел выбора меньшего напряжения $М$, допускающего на вход решающего усилителя $РУ$ сигнал того фазового дискриминатора, который в данный момент контролирует расстояние до ближайшей точки реверса. $РУ$ решает уравнение равноускоренного движения $v = \sqrt{2as}$ (где v — скорость движения стола; a, s — ускорение и путь торможения или разгона стола), следовательно, на участках разгона и торможения поддерживается постоянное ускорение.

Напряжение на выходе решающего усилителя поступает через ограничители скорости (напряжения) прямого $ОСВ$ и обратного $ОСН$ ходов на вход коммутатора полярности $КП$, изменяющего полярность выходного напряжения в точках реверса, используя сигнал с узла выбора направления движения $УВН$. Ограничители $ОСВ$ и $ОСН$ имеют регулируемую уставку напряжения, определяющую заданную величину скорости движения стола.

Напряжение выхода $КП$ является эталонным и сопоставляется с напряжением тахогенератора $ТГ$ для управления системой генератор — двигатель.

Работа схемы сводится к следующему. В момент начала реверса ($v=0$; $U_{1ФД}=0$) совпадает фаза напряжения сельсина-датчика положения $ДП$ с фазой задания координаты реверса $ЗКР$; узел $УВН$ подает команду $КП$, который меняет полярность управляющего напряжения. Происходит разгон привода с заданным ускорением от линейного нарастающего по пути напряжения $U_{1ФД}$. С возрастанием $U_{1ФД}$ уменьшается $U_{2ФД}$. В середине хода стола $U_{1ФД} =$

$=U_{2\phi Д}$, а затем $U_{2\phi Д}$ становится меньше $U_{1\phi Д}$. Узел выбора меньшего напряжения переключает вход решающего усилителя на напряжение $U_{2\phi Д}$, что соответствует началу замедления привода.

Для малых ускорений и больших скоростей стола имеет место треугольный график скорости при разгоне и торможении; при трапецеидальном графике под действием напряжения, контролируемого $I\Phi Д$, скорость ограничивается на уровне, заданном на задатчике скорости. Заданная скорость поддерживается до тех пор, пока напряжение на выходе $PУ$ под действием $U_{\Phi Д}$ не станет меньше напряжения, снимаемого с ограничителя скорости. Далее привод в режиме слежения тормозится с приходом в заданную точку реверса с заданным замедлением. В точке начала реверса ($v=0$; $U_{\Phi Д}=0$) начнется разгон привода в обратную сторону от напряжения фазового дискриминатора $U_{\Phi Д}$ аналогично тому, как было описано ранее. Все блоки системы управления выполнены на полупроводниковых приборах.

Привод подачи суппортов осуществляется от регулируемого двигателя постоянного тока (рис. 7.10). При подаче сигнала от си-

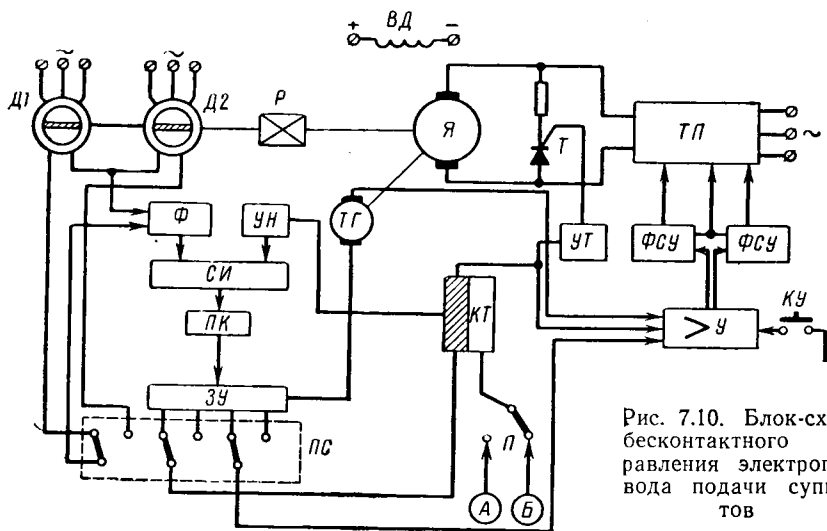


Рис. 7.10. Блок-схема бесконтактного управления электропривода подачи суппортов

стемы управления главного привода, через переключатель $П$ к триггеру $КТ$, усилитель $У$ и фазосмещающее устройство $ФСУ$ открывается тиристор преобразователя $ТП$. Двигатель включается и отработывает подачу. Перемещение суппорта измеряется бесконтактным датчиком $Д1$ или $Д2$; в схеме используются два датчика для контроля малых подач ($0,1 \div 1,5$ мм) и сельсин для контроля грубых подач ($3 \div 150$ мм). Сигналы от датчиков через формирователь импульсов $Ф$ поступают в счетчик импульсов $СИ$.

Преобразование импульсов двоичного кода в десятичный происходит в кодовом преобразователе *ПК*. Необходимая величина подачи, измеренная в импульсах, и напряжение тахогенератора *ТГ*, пропорциональное скорости двигателя *Д*, сравниваются и подаются на усилитель *У*.

При получении заданного числа импульсов от датчика пути *ПК* через *ЗУ* и переключатель ступеней *ПС* сигнал подается на *КТ*, который отключает привод подачи. Кроме того, *КТ* через схему сброса *УН* устанавливает счетчик *СИ* в исходное состояние и посылает сигнал на вход усилителя торможения *УТ*, который открывает тиристор *Т*, в результате чего совершается динамическое торможение — двигатель останавливается после выполнения заданной подачи.

Глава VIII

ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

§ 8.1. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКОВ

Во всех существующих типах сверлильных станков главный привод предназначается для вращения режущего инструмента. Движение подачи осуществляется непрерывным поступательным перемещением режущего инструмента в направлении его оси вращения.

Наибольшее распространение получили универсальные станки с вертикальным шпинделем. Из этой группы станков следует выделить радиально-сверлильные станки, имеющие наиболее развитую систему многодвигательного привода (рис. 8.1).

Главный привод средних и крупных радиально-сверлильных станков осуществляется обычно от асинхронных короткозамкнутых двигателей. Регулирование скорости вращения шпинделя в сравнительно большом диапазоне $(50 \div 60) : 1$ и выше производится переключением шестерен коробки скоростей. Иногда вместо односкоростного короткозамкнутого двигателя для вращения шпинделя применяются двух- или многоскоростные двигатели. Привод подачи обычно выполняется от двигателя шпинделя, для чего коробка подач располагается в той же шпиндельной бабке, что и коробка скоростей.

Зажим колонны в радиально-сверлильных станках производится различными способами. Применяется зажим колонны разрезным кольцом, которое стягивается посредством винта, приводимого в движение двигателем, или при помощи клиновидного устройства, а также гидравлическими устройствами.

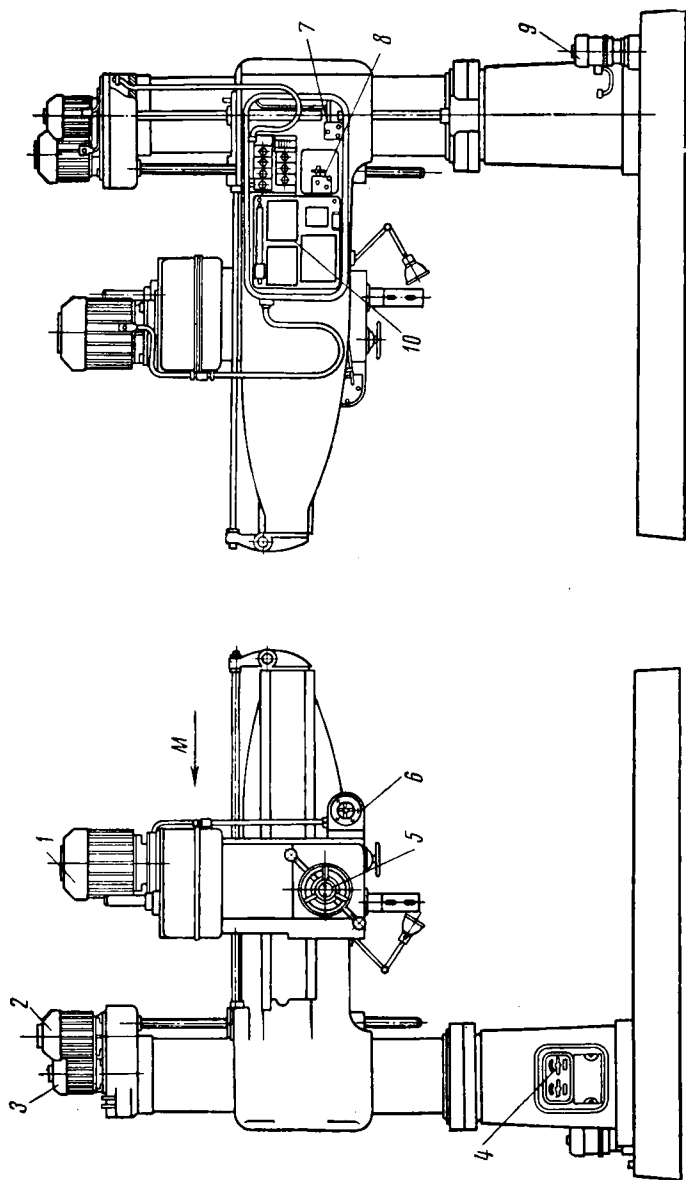


Рис. 8.1. Общий вид радиально-сверлильного станка:

1, 2, 3, 9 — двигатели; 4 — пакетные выключатели; 5 — кнопочная станция; 6 — крестовый переключатель; 7, 8 — конечные выключатели; 10 — панель управления

Привод сверлильных станков должен удовлетворять следующим основным требованиям: 1) в станках, где может производиться нарезание резьбы, двигатель шпинделя необходимо реверсировать; 2) переключение в коробках скоростей и подач должно осуществляться легко, с минимальной затратой времени; 3) в системе управления станком следует предусмотреть ограничение хода траверсы в крайних положениях; 4) должна быть предусмотрена блокировка, не допускающая включения двигателя подъема траверсы, когда последняя закреплена на колонке; 5) не допускается работа станка с незакрепленной колонкой.

Электрические схемы управления электроприводами радиально-сверлильных станков просты и здесь не приводятся. Рассмотрим подробнее особенности электропривода расточных станков.

§ 8.2. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

Универсальные расточные станки предназначены для обработки деталей, имеющих отверстия, связанные точными расстояниями; на этих станках может производиться растачивание, сверление, фрезерование торцовыми фрезами, обтачивание, а также развертывание и нарезание резьб. Главным движением в этих станках является

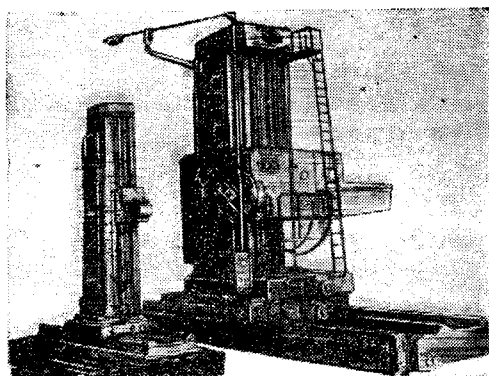


Рис. 8.2. Общий вид горизонтально-расточного станка

вращение шпинделя или планшайбы. Движение подачи в зависимости от вида обработки и инструмента сообщается либо инструменту, либо изделию, установленному на столе. Оно может совершаться как вдоль оси вращения шпинделя, так и в направлениях, ей перпендикулярных.

Универсальные горизонтально-расточные станки, средние и круп-

ные, например моделей 2620, 2A630, 2A654 разных размеров, имеют сходные системы управления главного привода и приводов подачи. Особо тяжелые расточные станки, моделей 2660, 2670 и 2680, отличаются от станков средних и крупных размеров также и системами электропривода.

Общий вид горизонтально-расточного станка показан на рис. 8.2.

Основные технические данные некоторых расточных станков приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Наименование параметров	Модель станка		
	2620	2A630	2A654
Диаметр шпинделя, мм	90	125	160
Рабочая поверхность стола, мм:			
длина	1120	1600	2000
ширина	900	1250	1000
Мощность главного двигателя, кВт . .	10,7,5	19	32
Скорость вращения шпинделя, об/мин	12,5 ÷ 1600	0,3 ÷ 1000	4 : 800
Скорость вращения планшайбы, об/мин	8 : 200	4 ÷ 160	2,5 ÷ 250
Мощность двигателя подачи, кВт . .	2,1	1,2 3,0 4,0	1,2 4,0 6,5
Скорость двигателя подачи, об/мин:			
номинальная	1500	1500	1500
минимальная	2,1	2,14 0,95 0,95	2,14 0,95 1,0
максимальная	3000	3000	3000

Рассмотрим особенности главного привода станка модели 2620. Диапазон регулирования скорости вращения шпинделя составляет 128 : 1, причем регулирование производится с коэффициентом $\phi = 1,26$, приблизительно при постоянной мощности на всем диапазоне. Система управления обеспечивает возможность вращения шпинделя в обоих направлениях, рабочий и наладочный режимы. Для быстрой остановки шпинделя предусмотрено принудительное электрическое торможение. Станок оборудован специальной системой дистанционного управления переключением шестерен коробки скоростей. Главный привод и привод насоса смазки включаются одновременно.

В сравнительно небольших расточных станках, к которым можно отнести и станок модели 2620, целесообразно для привода шпинделя использовать асинхронный короткозамкнутый двигатель. Возможны два варианта привода на переменном токе: а) от односко-

ростного двигателя с чисто механическим регулированием скорости вращения шпинделя; б) от двух- или многоскоростного двигателя с электромеханическим регулированием.

Примерная кинематическая схема главного привода при использовании односкоростного двигателя (для обеспечения требуемого диапазона и плавности регулирования) представлена на рис. 8.3.

Если применить двухскоростной короткозамкнутый двигатель, то при сохранении того же диапазона и количества скоростей кинематическая схема главного привода заметно упростится (рис. 8.4), что скажется на уменьшении габарита и веса коробки скоростей. Увеличение же веса двухскоростного двигателя по сравнению с односкоростным незначительно.

Расчеты показывают, что увеличение затрат на электрооборудование главного привода при двухскоростном двигателе в сравнении с односкоростным оказывается меньшим, чем стоимость сэкономленного механического оборудования за счет упрощения кинематики главного привода. Упрощение кинематической цепи главного привода существенно влияет на повышение качества работы станка.

Трехскоростные двигатели с рядом скоростей, кратным 1:2:4, и четырехскоростные с рядом, кратным 1:2:4:8, мощностью в 10 кВт и выше нашей промышленностью не изготавливаются, поэтому вариант главного привода с многоскоростным двигателем практического значения не имеет.

Схема управления главным приводом расточного станка модели 2620 приведена на рис. 8.5.

От двухскоростного асинхронного двигателя *ДГ* через коробку скоростей производится вращение и установочный проворот шпинделя или планшайбы в обоих направлениях, а также автоматический поворот ведущих зубчатых колес при переключении скоростей, продольная подача стола с обрабатываемым изделием или вращающегося шпинделя при выполнении резьбонарезных работ. Пуск двигателя *ДГ* осуществляется кнопками «Пуск *вп.*» или «Пуск *нз.*». Установочный проворот шпинделя включается кнопками «Толч. *вп.*» или «Толч. *нз.*».

Скорость вращения шпинделя устанавливается воздействием устройства механического переключения скоростей шпинделя на переключатель *ЗПС*. В нажатом состоянии переключателя контакты его размыкаются и обмотка статора соединяется в треугольник контактором *М* — двигатель будет вращаться с меньшей скоростью. Если переключатель *ЗПС* не нажат и его контакты замкнуты, то обмотка статора может быть соединена контактами контакторов *1Б* и *2Б* в двойную звезду для вращения двигателя *ДГ* с большей скоростью.

Разгон двигателя на большую скорость происходит в две ступени: сначала на меньшую скорость с последующим автоматическим переключением на большую после срабатывания реле времени *1РВ*.

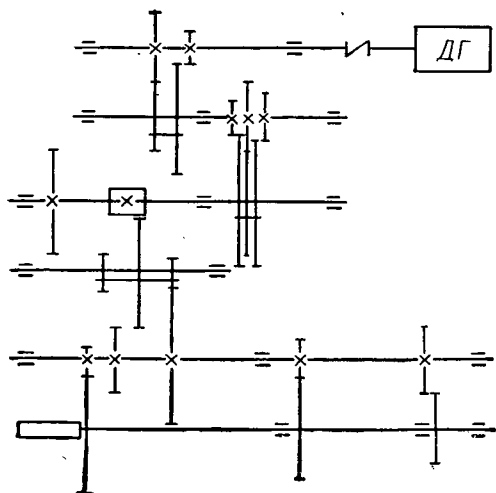


Рис. 8.3. Кинематическая схема главного привода расточного станка от односкоростного двигателя

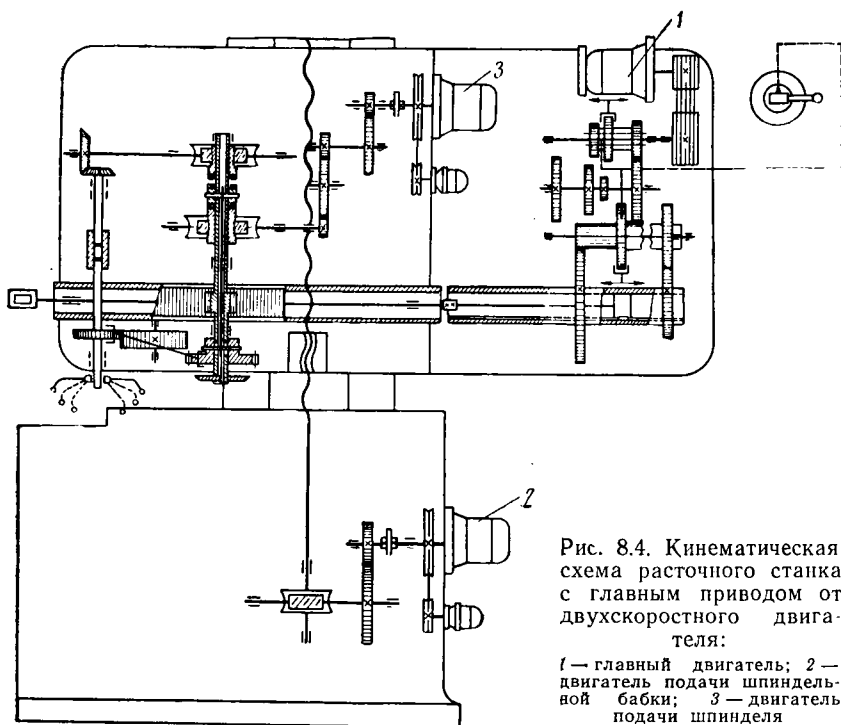


Рис. 8.4. Кинематическая схема расточного станка с главным приводом от двухскоростного двигателя:

1 — главный двигатель; 2 — двигатель подачи шпиндельной бабки; 3 — двигатель подачи шпинделя

Установочное (наладочное) вращение шпинделя происходит при меньшей скорости двигателя независимо от положения рукоятки переключателя скорости; при этом двигатель включается контактором *В* или *Н* через дополнительное сопротивление в статорной цепи, что обеспечивает большую плавность пуска и снижение токов.

Остановка шпинделя совершается интенсивно за счет торможения двигателя противовключением. При работе двигателя (контактор *В* включен) замкнут контакт реле контроля скорости *РКС-1* и включено промежуточное реле *ЗРП*, подготавливающее цепь включения контактора *Н*. Нажатием на кнопку «Стоп» отключаются контактор *КН*, реле *1РП* и контакторы *В* и *М* (или *1Б*, *2Б*). Через контакт реле *ЗРП* включается контактор *Н*, в результате чего начинается торможение противовключением. При значительном снижении скорости разомкнется контакт *РКС-1*, отключатся реле *ЗРП* и контактор *Н* — двигатель выключится. С целью ограничения тормозного момента и тока при противовключении (так же, как и при установочном движении) в статорную цепь включено дополнительное сопротивление.

Если двигатель вращался в противоположном направлении, то торможение контролируется контактом *РКС-2*, реле *4РП* и контактором *В*.

Переключение скорости шпинделя или планшайбы производится как при неподвижном состоянии, так и на ходу селективным переключателем с автоматическим устройством для плавного ввода зубчатых колес в зацепление. Оно начинается с отвода рукоятки, при этом нажимается выключатель *1ПС* и происходит торможе-

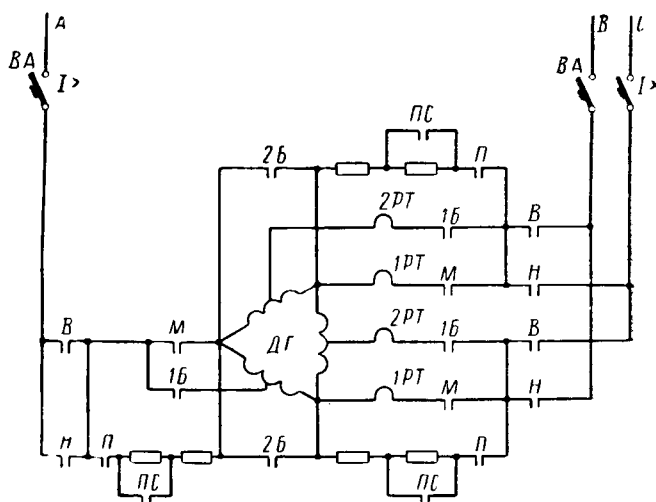
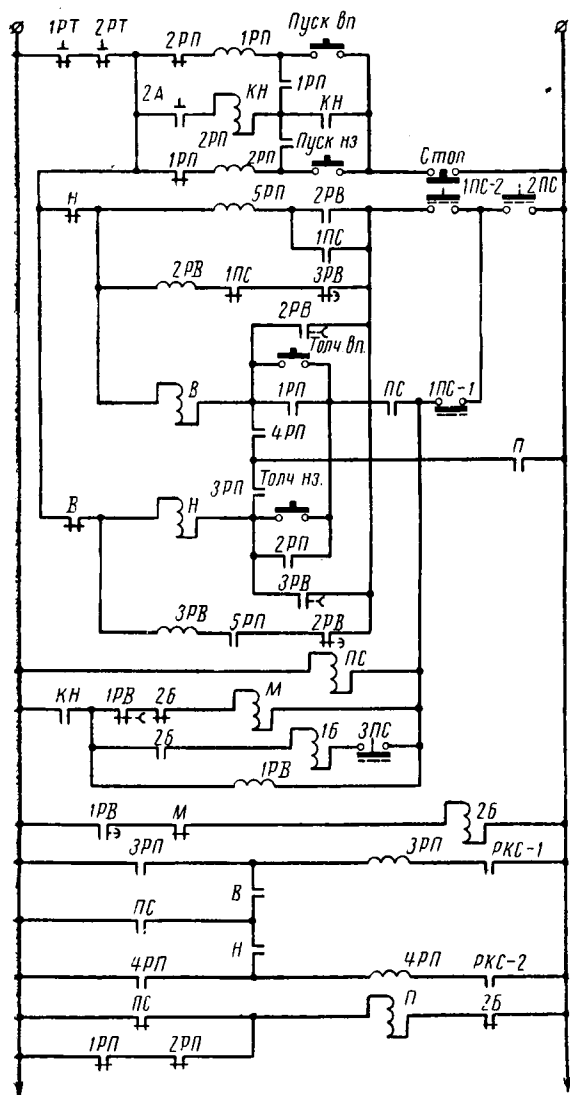


Рис. 8.5. Схема главного электропривода расточ-

ние двигателя. Если зубчатые колеса после выбора скорости не попадают в зацепление, то принудительно нажимается выключатель 2ПС и двигатель реверсируется, вследствие чего плавно завершается ввод зубчатых колес в зацепление — выключатель 2ПС остается нажатым и шпиндель продолжает вращаться в ту же сторону с новой скоростью. Во избежание значительных ударов при



переключении импульсный проворот ведущих зубчатых колес совершается плавно, с ограниченным моментом двигателя благодаря включению добавочного сопротивления.

К приводам подач расточных станков предъявляются следующие основные требования:

1) диапазон регулирования скорости подач на универсальных расточных станках должен быть большим. Например, при расточке больших отверстий, когда скорость вращения планшайбы составляет 8 об/мин, скорость подачи принимается равной 2 мм/мин. Наибольшая скорость подачи при фрезеровании — $(400 \div 600)$ мм/мин. Быстрое установочное перемещение совершается при скорости 2,5 ÷ 3 м/мин и выше. Таким образом, общий диапазон регулирования скорости подачи составляет примерно $D = 1500 : 1$;

2) подача (в мм/об) должна автоматически сохраняться при изменении скорости вращения шпинделя;

3) привод подачи должен обладать высоким быстродействием в связи с выполнением доводочных перемещений и точной остановкой;

4) величина отклонения скорости двигателя на всем диапазоне не должна превышать 10% при изменении момента от нуля до $M_{\text{ном}}$;

5) привод должен обеспечить автоматически точную остановку стола в поперечном направлении и шпиндельной бабки по заданным координатам.

Привод подачи должен обеспечить: а) медленные установочные перемещения; б) быстрые установочные перемещения; в) необходимый диапазон рабочих подач.

Схема управления должна предусматривать: а) работу привода подачи только при вращении главного привода; б) управление установочными перемещениями механизмов подачи независимо от работы главного привода; в) автоматическое ограничение хода шпинделя, шпиндельной бабки, нижних и верхних саней.

В более крупных расточных станках с целью упрощения кинематической цепи приводов подач принято чисто электрическое регулирование.

Упрощенная принципиальная и структурная схемы привода подачи приведены на рис. 8.6. Основные элементы привода подачи: двигатель постоянного тока независимого возбуждения ДП, питаемый от электромашинного усилителя, и система управления, обеспечивающая весьма значительный диапазон регулирования скорости вращения двигателя с высокой точностью поддержания скорости. С этой целью вводится с помощью тахогенератора ТГ отрицательная обратная связь по скорости (ДП связан с ТГ через повышающий редуктор). Для получения высокой точности поддержания постоянства скорости разность задающего напряжения и напряжения тахогенератора вводится в промежуточный электронный

усилитель ЭУ с большим коэффициентом усиления, представленный в виде двух звеньев, на выходе которого включены встречно две обмотки управления ЭМУ.

Результирующий магнитный поток обеспечивает э. д. с. ЭМУ, знак и величина которой соответствует требуемой скорости. При отклонении скорости двигателя от требуемой величины меняется напряжение тахогенератора, в результате чего изменяется сигнал на входе электронного усилителя. Изменяющийся при этом магнитный поток ЭМУ и его э. д. с. приводят к восстановлению скорости электропривода.

С целью улучшения динамических качеств электропривода системой управления предусмотрены следующие гибкие обратные связи: 1) гибкая обратная связь по изменению тока поперечной цепи, которая осуществляется стабилизирующим трансформатором *ТС* и 2) гибкая обратная связь по изменению скорости и ускорения, которая выполняется трансформатором *ТС*; первичная обмотка его включена на зажимы якоря тахогенератора через контур *РС*. Вторичное напряжение трансформатора *ТС* подается на вход ЭУ. Более подробно аналогичная схема рассмотрена в главе четвертой.

§ 8.3. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

Недостатком рассмотренной системы главного привода является использование сравнительно громоздкой коробки скоростей, особенно когда применяется односкоростной короткозамкнутый двигатель (станки моделей 2А630, 2А654, 265), и невозможность изменения режима в процессе резания. Поэтому главный привод более тяжелых расточных станков, выпускаемых, например, заводом «Тяжстанкогидропресс», вполне обоснованно выполняется от регулируемого двигателя постоянного тока, позволяющего упростить конструкцию шпиндельной бабки и изменять режим работы станка в процессе резания.

Главный привод должен обеспечить устойчивый процесс резания при обработке изделий с неравномерным припуском. К динамическим характеристикам привода тяжелых расточных станков предъявляются высокие требования. Для получения наибольшей производительности, так же как и в строгальных станках, желательно регулирование в большей части диапазона с постоянной мощностью; в зоне низких скоростей регулирование скорости вращения шпинделя производится уже при постоянном моменте. Поэтому применение двухзонного электрического регулирования с использованием, например, трехступенчатой коробки скоростей решает задачу рационального использования станка. Так, в станках модели 2А660 и более тяжелых расточных станках используется система генератор — двигатель с управлением в цепи воз-

буждения генератора и двигателя от полупроводниково-магнитных усилителей, так же как и в главном приводе тяжелых продольно-строгальных станков.

Регулирование скорости ослаблением магнитного потока связано с трудностями разработки системы автоматического регулирования. В данном случае коэффициент усиления возрастает в D_Φ^2 раз $\left(D_\Phi = \frac{\Phi_n}{\Phi_{\min}}; \Phi_n, \Phi_{\min} — \text{соответственно, номинальный и мини-}\right.$

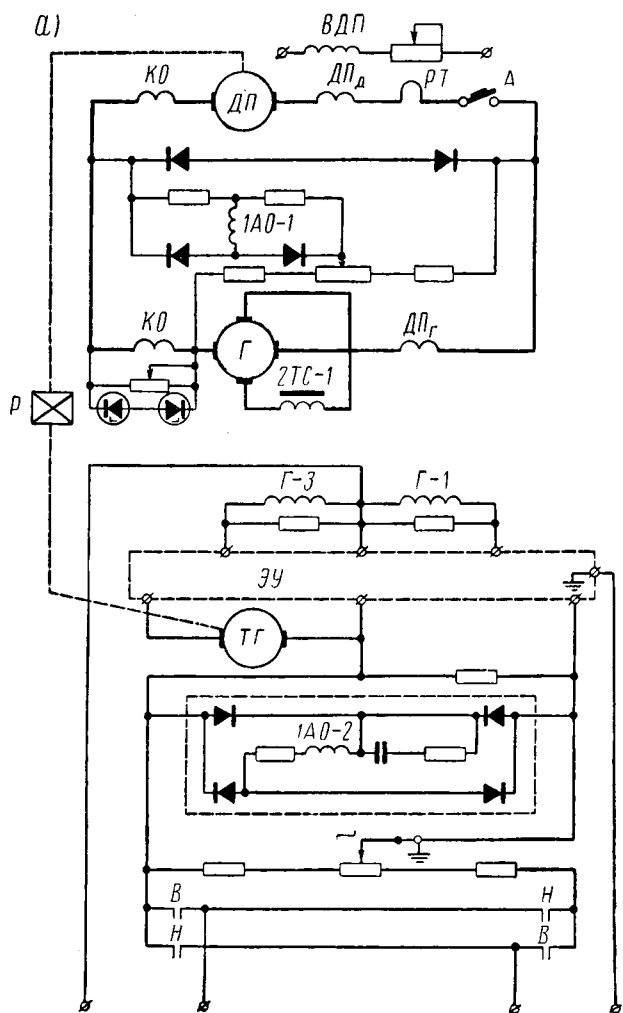


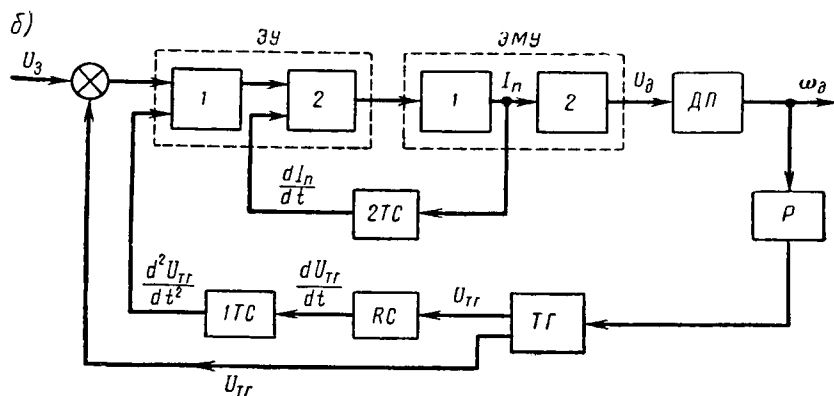
Рис. 8.6. Упрощенная принципиальная (а) и струк-

мальный магнитный поток). Также увеличивается и электро-механическая постоянная времени привода.

Кроме того, из-за нелинейности кривой намагничивания при уменьшении магнитного потока увеличиваются коэффициент усиления системы возбуждения ($k_b = \frac{d\Phi}{dU_b}$) и электромагнитная постоянная времени цепи возбуждения. В связи с этим снижается степень устойчивости системы и частота ее собственных колебаний. Для обеспечения устойчивости необходимо с увеличением скорости двигателя уменьшать коэффициент k_b (что с другой стороны снижает динамические качества системы) или вводить последовательную коррекцию, так как параметры системы привода стабильны.

Электроприводы подачи тяжелых расточных станков выполняются при мощности привода до 10 кВт — по системе ЭМУ — Д с транзисторным усилителем; если мощность привода выше 10 кВт, то используется система управления, аналогичная главному приводу, т. е. Г — Д с полупроводниково-магнитными усилителями. В обоих случаях достигается значительный диапазон электрического регулирования, равный $(400 \div 500) : 1$. Движения подачи обеспечивают перемещения стойки поперек и вдоль оси шпинделя, шпиндельной бабки, шпинделя и суппорта. Величина подачи задается в зависимости от требуемого режима обработки скоростью соответствующего двигателя подачи.

Двигатели подачи разделены на две группы (одна — для подачи шпиндельной бабки, шпинделя и суппорта, другая — стойки «поперек» и «вдоль»), каждая из которой имеет общий генератор ЭМУ, приводимый в действие от самостоятельного асинхронного двигателя.



турная (б) схемы привода подачи станка модели 2620

На станке возможна одновременная работа двух приводов подачи и главного привода; причем команда на отключение одного из приводов подачи вызывает отключение другого привода подачи (так же, как и остановка только одного работавшего привода подачи), не вызывая остановки главного привода. Если главный привод перегружается более чем на 30% по отношению к номинальной нагрузке, то автоматически отключается привод подачи или два, если работали оба привода подачи, а главный двигатель не отключается. Если же после остановки привода подачи главный привод не разгружается, то он отключается автоматически.

Приводы подачи в станках модели 2А660 выполнены по системе ЭМУ — двигатель с транзисторным усилителем.

Особенностью схемы электропривода подачи по системе генератор — двигатель с полупроводниково-магнитным усилителем является применение последовательной коррекции. Обычно используемая параллельная коррекция (цепочка RC) обеспечивает в таком приводе диапазон регулирования до $(50 \div 100) : 1$, так как система становится неустойчивой при больших коэффициентах усиления. Диапазон регулирования скорости вращения двигателя может быть существенно расширен, если исключить из контура коррекции возбудитель и охватить промежуточный усилитель инерционным звеном, моделирующим передаточную функцию генератора, последовательно с дифференцирующим звеном. В схеме с последовательной коррекцией обеспечивается устойчивость системы независимо от величины коэффициента усиления.

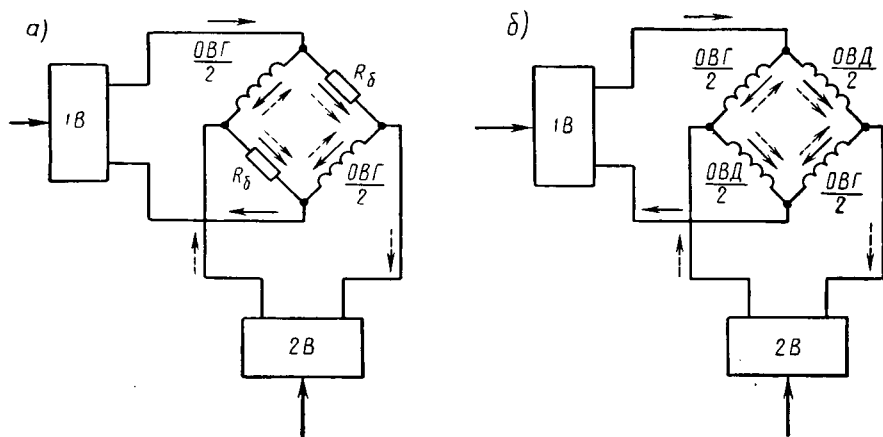


Рис. 8.7. Схема включения обмоток возбуждения

В реверсивном приводе подачи обмотки возбуждения генератора обычно включены в плечи моста, два из которых составляют полуобмотки возбуждения $ОВГ$, а два других — балластные сопротивления R_δ (рис. 8.7, а). Такое включение с целью поддержания

постоянного коэффициента усиления во всем диапазоне регулирования вызывает постоянство токов возбудителей, каждый из которых включен в диагонали моста. Недостатком этой схемы является то, что по балластным сопротивлениям всегда протекает максимальный ток независимо от величины результирующего тока возбуждения генератора. Этот недостаток устранен в оригинальной схеме, предложенной заводом «Тяжстанкогидропресс» и показанной на рис. 8.7, б. Здесь в плечи моста вместо балластных сопротивлений включены полуобмотки возбуждения двигателя *ОВД*. Ток возбуждения двигателя остается постоянным и независимым от э. д. с. генератора; значительно лучше используются магнитные усилители.

§ 8.4. СЛЕДЯЩЕ-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДАЧИ

В тяжелых комбинированных и расточных станках целесообразно применение следяще-регулируемых электроприводов для механизмов подачи.

В горизонтально-расточных станках привода подач используются для сверлильно-расточных и фрезерно-шлифовальных работ. Подачи при расточных работах (вдоль оси шпинделя) изменяются в диапазоне от 0,5 до 400 *мм/мин*, а для фрезерования (подача перпендикулярно оси шпинделя) — от 3 до 1200 *мм/мин*. Скорость быстрых установочных перемещений составляет 3 *м/мин*. Во фрезерно-расточных станках вследствие использования навесных головок для фрезерных, шлифовальных, сверлильных и других работ электроприводы подач должны обеспечить весь диапазон подач для указанных работ в пределах от 0,5 до 1200 *мм/мин*. Если учесть, что и быстрые перемещения желательно выполнить от тех же двигателей подачи, а минимальную подачу при подрезке торцов довести до 0,3 *мм/мин*, то общий диапазон регулирования привода подачи достигнет $D=10\,000:1$. Такой диапазон регулирования не может быть надежно осуществлен с помощью регулируемого электропривода (см. рис. 4.20).

Если, например, э. д. с. тахогенератора при максимальной скорости $E_{тг}=500$ в, а точность поддержания скорости принять равной $\varepsilon=10\%$, то максимальное допустимое падение напряжений в контуре регулирования составит

$$\Delta U_p = \frac{E_{тг}}{D} \varepsilon = \frac{500 \cdot 0,1}{10\,000} = 0,005 \text{ в.}$$

В условиях эксплуатации такую малую погрешность получить невозможно.

Использование следящего привода снимает ограничение диапазона регулирования. При указанной величине погрешности целесообразен переход от аналоговых систем управления к дискретным.

Введение дискретной системы управления, например с дискретой, равной $\Delta = 0,01 \text{ мм}$ (минимальная подача $S = 0,3 \text{ мм/мин}$), обеспечивается при частоте следования задаваемых импульсов $f_{з.мин} = \frac{0,3}{0,01 \cdot 60} = 0,5 \text{ гц}$; максимальная же частота импульсов составит $f_{з.макс} = 5000 \text{ гц}$.

Такой способ управления приводами механизмов подач широко применяется в станках с программным управлением. Аналогичные прецизионные следящие приводы с частотным заданием скорости нашли применение в бумагоделательных машинах, непрерывных прокатных станах и других машинах. Рассматриваемая система может быть отнесена к синхронным приводам с частотным дискретным регулированием скорости. Для данного случая дискретного управления приемлемым был бы шаговый двигатель, и не только в разомкнутых, но и в замкнутых системах с датчиками положения. Для приводов подач тяжелых станков потребуются шаговые двигатели мощностью $8 \div 10 \text{ кВт}$ и выше с частотой слежения до 5000 гц . Поскольку следящий регулируемый привод может обеспечить диапазон регулирования $10\,000 : 1$, то целесообразно от одного и того же двигателя осуществлять как рабочие подачи, так и быстрое перемещение. Увеличение мощности двигателя подачи с $5 \div 10 \text{ кВт}$ (при самостоятельных приводах для рабочих подач и быстрого перемещения) до $15 \div 25 \text{ кВт}$ вполне оправдано, так как при этом упрощается конструкция станка.

Разработанные преобразователи на тиристорах могут быть с успехом использованы как для приводов подач, так и для главного привода расточных станков. Причем с целью унификации управляющих устройств, повышения надежности целесообразно комплектовать преобразователь главного привода из двух преобразователей привода подачи, выполненных по нулевой реверсивной схеме. В таком случае мощность привода подачи окажется в два раза меньше мощности преобразователя главного привода; использование при этом следящего регулируемого привода с тиристорным преобразователем исключает ограничения по мощности, диапазону регулирования и обеспечивает высокое быстродействие.

Упрощенная блок-схема следяще-регулируемого электропривода подачи, разработанного СИБНИЭТИ, приведена на рис. 8.8. Здесь: *Я* — двигатель подачи; *П* — преобразователь; *ДП* — сельсин-датчик положения (датчик обратной связи), работающий в режиме фазовращателя; *УЗС* — устройство задания скорости; *ФД* — фазовый дискриминатор; *ЗС* — сельсин-задатчик скорости; *ДШ* — дифференциальный сельсин-задатчик перемещения. Устройство задания скорости *УЗС* представляет собой кодовый преобразователь, преобразующий широтные импульсы угла поворота задатчика скорости в унитарный код, частота которого пропорциональна задаваемой скорости, а унитарный код — в импульсно-фазовый.

Рассмотрим подробнее особенности отдельных элементов следяще-регулируемого электропривода подачи. Фазовый дискри-

натор $\Phi Д$ преобразует фазу выходного напряжения сельсина-датчика положения $ДП$ (связанного через редуктор P с двигателем $Д$) в напряжение управления преобразователем, предназначенным для регулирования скорости вращения двигателя. Кроме того, при питании $ДП$ от дифференциального сельсина $ДШ$ получается сигнал управления, пропорциональный положению от дистанционного

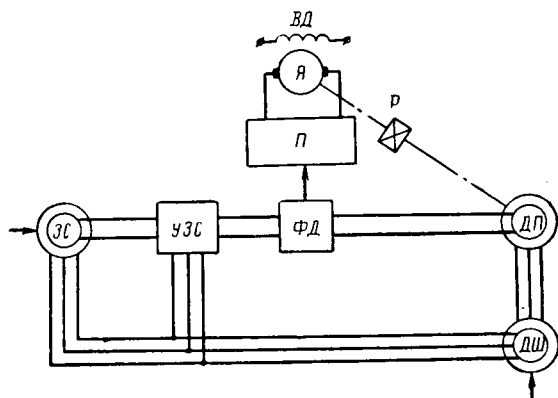


Рис. 8.8. Упрощенная блок-схема следяще-регулируемого электропривода

штурвала $ДШ$. Поворот дистанционного штурвала на заданный угол создает рассогласование между $ДШ$ и $ДП$, в результате чего происходит отработка такого перемещения двигателем $Д$, которое соответствует заданному $ДШ$. Для обеспечения непрерывной подачи на второй вход $\Phi Д$ подается сигнал от устройства задания скорости $УЗС$, преобразующего угол поворота сельсина-задатчика скорости $ЗС$ в переменное напряжение, фаза которого изменяется пропорционально скорости подачи.

Таким образом, в рассматриваемой схеме привода подачи осуществляется независимое одновременное управление скоростью (от задатчика скорости $ЗС$) и перемещением. Такое управление производится дистанционно с пульта управления и без переключения в кинематической цепи станка, т. е. может осуществляться в процессе резания.

Отличительной особенностью этого привода, работающего с обратной связью по пути, является исключение влияния на точность обработки времени переходных процессов и упругих деформаций в кинематической цепи, что имеет место в обычном регулируемом электроприводе (например, с обратной связью по скорости). Кроме того, в этой системе исключается влияние люфта, так как датчик положения установлен за люфтом и отпадает необходимость в тахогенераторе.

Следяще-регулируемый электропривод сочетает следящую систему с устройством задания скорости. Следящая система обеспе-

чивает обработку перемещений, задаваемых при неавтоматическом управлении *УЗС* и *ДШ* или в автоматическом режиме системой программного управления. *УЗС* предназначено для задания скорости в весьма широком диапазоне — $10^4 : 1$. Электропривод должен обрабатывать соответствующие перемещения с высокой точностью. Погрешность перемещения состоит из погрешностей задания, измерения, сравнения и обработки. В *УЗС* информация преобразуется в дискретном представлении, в устройствах измерения (сельсинный отсчет) и сравнения (фазовый дискриминатор) — в дискретно-непрерывном, а в преобразователе-двигателе (*П-Д*) — в непрерывном представлении. Такое представление информации обеспечивает высокую точность обработки перемещений при высокой помехозащищенности измерения и сравнения.

В дискретном представлении информации имеется вероятность запоминания импульсной помехи в счетчиках «памяти» или невозможной потери информации при пропуске импульсов, что вызывает ошибку в перемещении. В дискретно-непрерывном представлении информации помехи не обрабатываются системой. Необходимая точность определяется выбором шага дискретно-непрерывного отсчета ϑ . Выходное напряжение фазового дискриминатора в зависимости от относительного рассогласования $\nu = \varepsilon/\vartheta$ определяется по формуле

$$U_{\text{фд}} = A \sin 2\pi\nu. \quad (8.1)$$

Если, например, принять относительную погрешность измерительного устройства и узла сравнения $\delta\nu$ (0,5%), соответствующую допустимой абсолютной погрешности $\delta\varepsilon$ (0,01 мм), то величина шага развернутого сельсина

$$\vartheta = \frac{\delta\varepsilon}{\delta\nu} (\leq 2 \text{ мм}).$$

Обычно погрешность проектируемого элемента берется в 3—4 раза меньше паспортной погрешности системы (механизм подачи и датчик обратной связи). При паспортной погрешности $0,03 \div 0,05$ мм дискрета перемещения может быть $\Delta = 0,01$ мм и $\delta\varepsilon \leq 0,01$ мм.

Рассмотрим особенности отдельных узлов следяще-регулируемого привода.

УЗС осуществляет цифровое задание скорости электроприводу с помощью генератора *ЗГ* и импульсного преобразователя *ИП* (рис. 8.9) с коэффициентом умножения $1:k_n$. Задающая частота

$$f_3 = \frac{v}{\Delta} = \frac{f_3}{k_n}, \quad (8.2)$$

где v — скорость подачи, мм/сек.

Ключами (вентильями) $B_1 \div B_N$ устанавливается в соответствии с требуемой скоростью задающая частота f_3 ; при этом диапазон регулирования скорости подачи

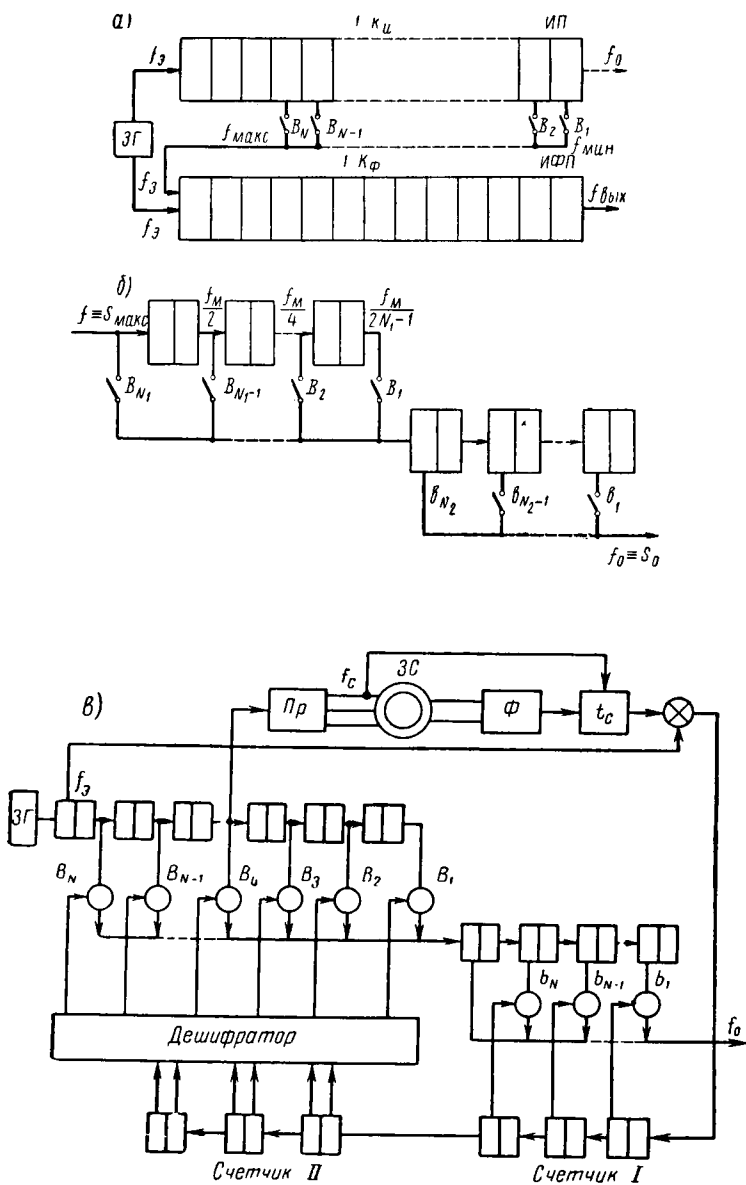


Рис. 8.9. Блок-схема устройства задания скорости

$$D_{\Pi} = \frac{v_{\max}}{v_{\min}} = \frac{f_{\max}}{f_{\min}}. \quad (8.3)$$

Если задание скорости дается не в импульсном коде, а в фазоимпульсном, то используется дополнительно импульсно-фазовый преобразователь ИФП, являющийся также умножителем частоты с коэффициентом деления

$$k_{\Phi} = \frac{f_{\Phi}}{f_{\text{вых}}} = \frac{\vartheta}{\Delta}; \quad (8.4)$$

при шаге $\vartheta = 2$ мм, $\Delta = 0,01$ мм и $f_{\text{вых}} = 50$ гц, $k_{\Phi} = 200$, а $f_{\Phi} = 10$ кгц.

При большом диапазоне регулирования D_{Π} ИП может быть выполнен на двоичных умножителях частоты (триггерных элементах) и образуется из двух зон: показательной, где при каждом переключении величина подачи изменится вдвое, и интерполяционной, в которой подача изменяется в пределах диапазона 2:1 (рис. 8.9, б).

В первой зоне содержится N_1 ключей и соответственно $(N_1 - 1)$ триггеров, вторая зона содержит N_2 ключей и соответственно $(N_2 + 1)$ триггеров. Так как в показательной зоне всегда замкнут один из ключей, а в интерполяционной — сочетание ключей (от 0 до N_2), то при $(N_1 + N_2)$ ключей и триггеров можно получить

$$D_{\Pi} = 2^{N_1} \text{ с } \varphi_{\text{ср}} = \sqrt[2^{N_2}]{2} \text{ при } (N_1 \cdot 2^{N_2} + 1)$$

положениях ЗС.

Например, при $N_1 = 10$ и $N_2 = 3$ обеспечивается $D_{\Pi} \approx 10^3$ с $\varphi_{\text{ср}} = 1,09$ при 80 положениях ЗС. На рис. 8.9, в показана схема бесконтактного управления ИМ от ЗС с помощью сельсина. Угол поворота сельсина ЗС

$$\psi = 2\pi f_c t_c, \quad (8.5)$$

где $f_c = \frac{f_{\Phi}}{k_c} = 50$ гц.

Преобразование ψ в цифровой код осуществляется путем счета двоичными счетчиками I и II числа импульсов z эталонной частоты f_{Φ} за время импульса t_c .

Требуемый закон преобразования

$$\frac{v_{\Pi}}{v_{\min}} = \frac{f_{\text{оп}}}{f_{\min}} = 2^{\frac{z - z_{\min}}{N}} = 2^{\frac{n}{m}}, \quad (8.6)$$

где $n = z - z_{\min} = 0, 1, 2, \dots, N$.

Закон управления ключами $B_1 \div B_N$ определяется следующим образом. При повороте задатчика скорости ЗС на элементарный угол $\Delta\psi$ скорость должна измениться в φ раз (φ — знаменатель ряда):

$$\varphi = \frac{v_{n+1}}{v_n} = 1 + \frac{\Delta v_n}{v_n} = \sqrt[m]{2}. \quad (8.7)$$

Для n -го положения $ЗС$ ($n=0, 1, 2, \dots$)

$$v_n = v_{\min} \varphi^n = v_{\min} D_{\Pi}^{n/N}, \quad (8.8)$$

или

$$v_n = v_{\max} \varphi^{n-N} = v_{\max} D_{\Pi}^{\frac{n-N}{N}}. \quad (8.9)$$

Число фиксированных положений задатчика

$$N + 1 = \frac{\lg D_{\Pi}}{\lg \varphi} + 1. \quad (8.10)$$

Если учесть, что ошибка бесконтактного сельсина не превышает 1° , то использование его в качестве задатчика может дать $100 \div 150$ фиксированных положений. Такой бесконтактный датчик при $D_{\Pi} = 10^4$ обеспечивает $\varphi = 1,2$; при $D_{\Pi} = 200$, $\varphi = 1,1$.

Для управления ключами $B_1 \div B_N$ и $b_1 \div b_N$ от $ЗС$ необходимо обеспечить их циклическую переустановку в соответствии с заданием. Для этого с частотой f_c производится установка счетчиков I и II в исходное положение с последующим заполнением их заданным числом z . Ключи $B_1 \div B_N$ производят выбор одной частоты (максимальной); для них важна работа одного из ключей высшего разряда, положение других ключей не имеет значения и не влияет на нормальную работу устройства задания скорости. Ключи $b_1 \div b_N$ дают суммирование выбираемых ими частот, поэтому во время заполнения счетчика I не должны переключаться $b_1 \div b_N$.

Принципиальная электрическая схема фазового дискриминатора (рис. 8.10) выполнена на транзисторно-диодных ключах и состоит из двух идентичных элементов (верхнего и нижнего), работающих каждый в свой полупериод. Одно из сравниваемых по фазе напряжений $U_{оп}$ является питающим (рис. 8.10, а), а другое U_k — коммутирующим (рис. 8.10, б).

На рис. 8.10, в дана упрощенная схема для одного узла $\PhiД$, а на рис. 8.10, г — диаграмма напряжений на его элементах при прямоугольной форме входного напряжения. В зависимости от формы напряжения входного сигнала можно получить соответствующей формы выходное напряжение. Наиболее приемлемой является линейная с ограничением характеристика $\PhiД$.

При задании максимальной скорости подачи примерно $V_{\max} = 1200 \text{ мм/мин}$ (20 мм/сек) начальная скорость рассогласования при пуске также равна 20 мм/сек с начальной частотой 10 гц . Если привод необходимо реверсировать с максимальной скорости на максимальную, то частота слежения должна увеличиться вдвое. Такая частота слежения в приводе практически нереализуема, а достижение скорости 20 мм/сек на пути в 1 м (за время $0,1 \text{ сек}$) потребует значительных динамических моментов, в $10 \div 20$ раз превышающих номинальный. Поэтому при пуске привода до боль-

шой скорости возникает необходимость разгона его до подсинхронной скорости с последующей синхронизацией по частоте и фазе.

Система синхронизации выполняется при помощи системы фазовой синхронизации в сочетании с логическим устройством. Сле-

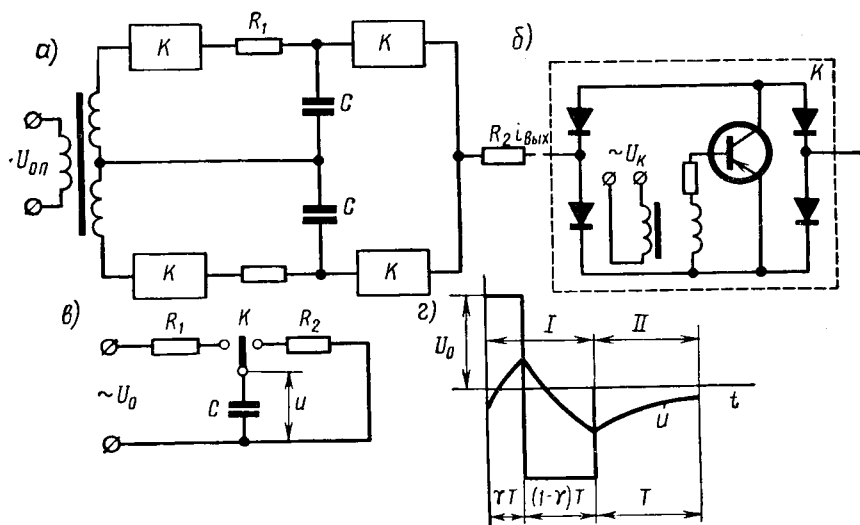


Рис. 8.10. Схема фазового дискриминатора

дюще-регулируемый электропривод разработан для механизмов подачи ряда тяжелых станков (расточных, фрезерных, продольно-строгально-фрезерных).

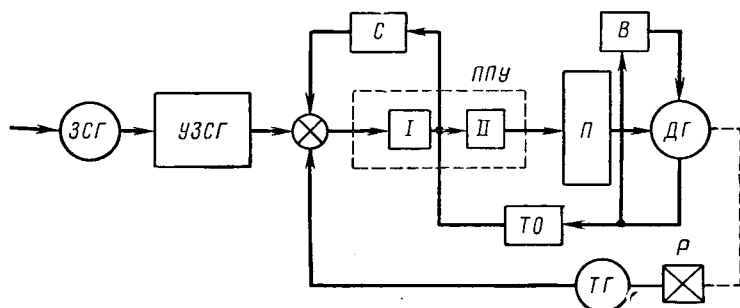


Рис. 8.11. Структурная схема главного привода

При отдельных электроприводах главного движения и подачи осуществление их связи для обеспечения оборотных подач требует диапазона регулирования скорости вращения привода подачи, равного произведению диапазона регулирования главного привода на

диапазон оборотных подач. Так, при диапазоне главного привода 50 : 1 и оборотных подач 200 : 1 диапазон привода подачи равен 10 000 : 1. Следяще-регулируемый электропривод может оказаться целесообразным и для главных приводов.

Структурная схема главного привода приведена на рис. 8.11. Здесь: *ЗСГ* — сельсин-задатчик скорости; *УЗСГ* — узел задания скорости, выдающий аналоговый сигнал управления; *ППУ* — промежуточный двухкаскадный (*I* и *II*) полупроводниковый усилитель; *П* — тиристорный преобразователь; *ДГ* — главный двигатель; *ТО* — узел токоограничения; *С* — корректирующее звено; *В* — блок возбуждения; *ТГ* — тахогенератор; *Р* — редуктор. Управление скоростью двигателя при ослаблении потока происходит в функции э. д. с. его; блок вводится в действие, когда скорость двигателя достигает номинального значения. Небольшое (примерно на 5%) подрегулирование напряжения на выходе тиристорного преобразователя целесообразно и при ослаблении потока двигателя для компенсации влияния изменения нагрузки.

Глава IX

ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Конструкции фрезерных станков разнообразны. Существуют вертикально-фрезерные консольные и бесконсольные станки, продольно-фрезерные комбинированные строгально-фрезерные, копировальные и др. Из группы небольших и средних по размерам станков наибольшее применение получили одношпиндельные вертикально-фрезерные станки, на которых производится обработка плоскостей различными фрезами, обработка пазов, шпоночных канавок и др.

§ 9.1. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Рассмотрим особенности электропривода и схемы управления универсального вертикально-фрезерного станка модели 654, общий вид которого показан на рис. 9.1.

Основные технические данные его:

размеры рабочей поверхности стола 1600×630 мм;

наибольшие перемещения: продольное стола 1300 мм, поперечное стола 600 мм, вертикальное, осуществляемое шпиндельной бабкой, 650 мм;

число скоростей шпинделя — 18 (от 25 до 1250 *об/мин*);
эффективная мощность на шпинделе при всех скоростях постоянна и составляет 11 *квт*;
подача регулируется в диапазоне 10:1 с перебором от 10 до 100 *мм/мин* и без перебора от 100 до 1000 *мм/мин* для продольного

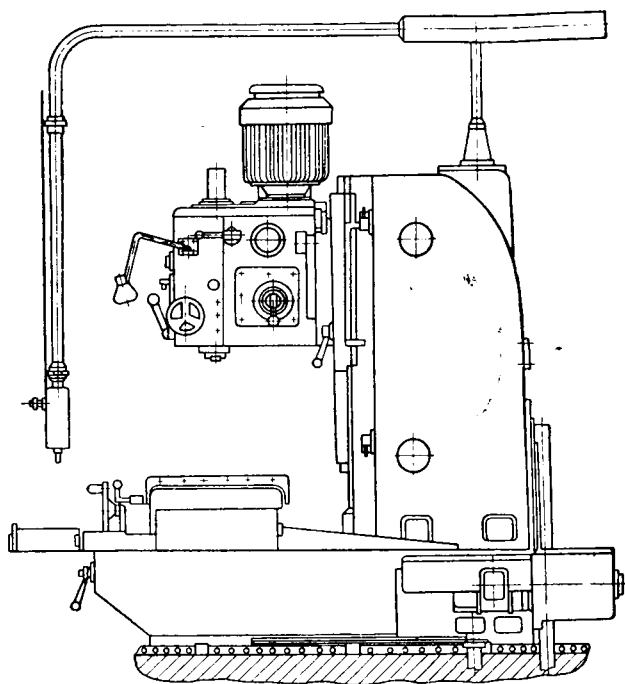


Рис. 9.1. Общий вид универсального вертикально-фрезерного станка

и поперечного перемещений стола и соответственно 4÷40 *мм/мин* и 40÷400 *мм/мин* для вертикального перемещения шпиндельной бабки;

наибольшее допустимое усилие подачи 20 *кн*;

скорость быстрого перемещения: стола 2,0 *м/мин*, шпиндельной бабки 0,8 *м/мин*.

Стол с закрепленным на нем обрабатываемым изделием может перемещаться по соответствующим направляющим как в продольном, так и в поперечном направлениях, обеспечивая соответствующие подачи. На стойке станка расположена шпиндельная бабка, перемещение которой дает вертикальную подачу. Кинематическая схема станка приведена на рис. 9.2. В шпиндельной бабке расположена коробка скоростей главного привода, имеющая 18 скоростей

при нерегулируемом асинхронном двигателе. Переключение скоростей производится вручную при помощи двух тройных и одного двойного блока. Кинематику главного привода можно упростить, если вместо нерегулируемого двигателя использовать двух- или трехскоростной асинхронный двигатель. Коробка подач с установ-

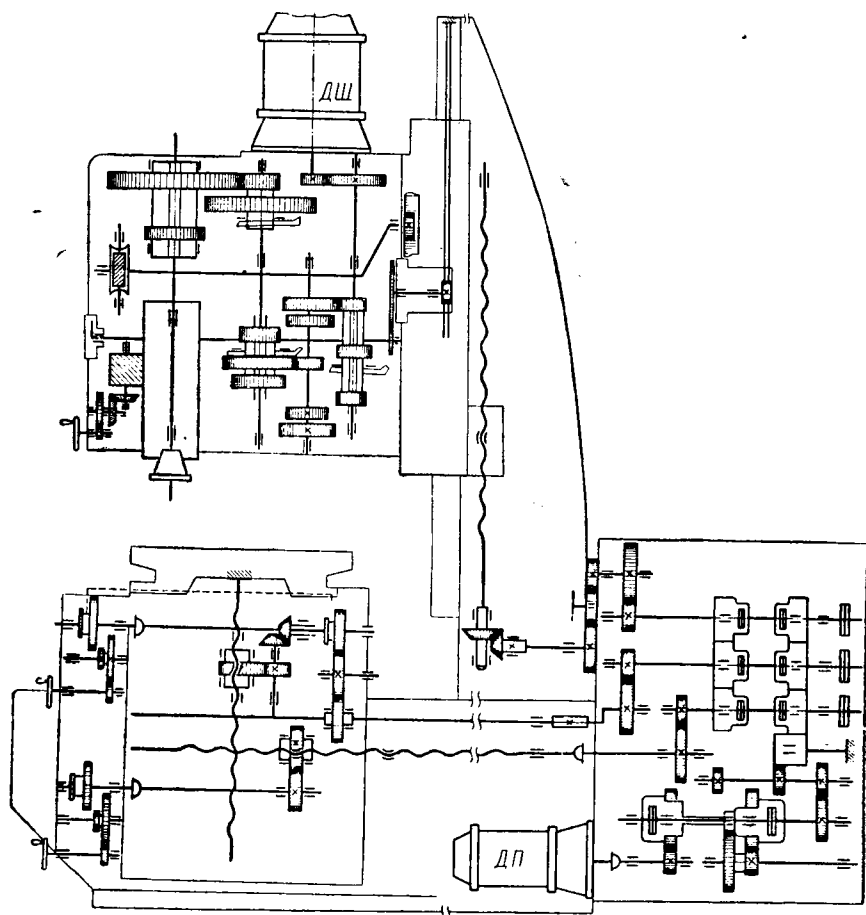


Рис. 9.2. Кинематическая схема вертикально-фрезерного станка:
ДШ — двигатель шпинделя; ДП — двигатель подачи

ленным на ней двигателем постоянного тока при бесступенчатом электрическом регулировании скорости вращения в диапазоне 10 : 1 обеспечивает рабочую подачу и быстрые перемещения в требуемых направлениях. Изменение направления движения стола, салазок и шпиндельной бабки осуществляется шестью электромагнитными муфтами, которые смонтированы внутри корпуса коробки подачи.

Электромагнитные муфты обеспечивают независимое включение всех трех перемещений, а также их одновременное действие. Бесступенчатое электрическое регулирование привода подачи в сочетании с электромагнитными муфтами позволяет менять величину подачи в процессе резания с целью получения оптимального режима обработки. Использование тормозных электромагнитных муфт сокращает путь перебега движущих частей станка: стола, салазок и шпиндельной бабки. Использование в коробке подач перебора дает возможность довести общий диапазон подач до 100 : 1. Как видно из рис. 9.2, управление перебором производится также электромагнитными муфтами, включение и отключение которых осуществляются дистанционно.

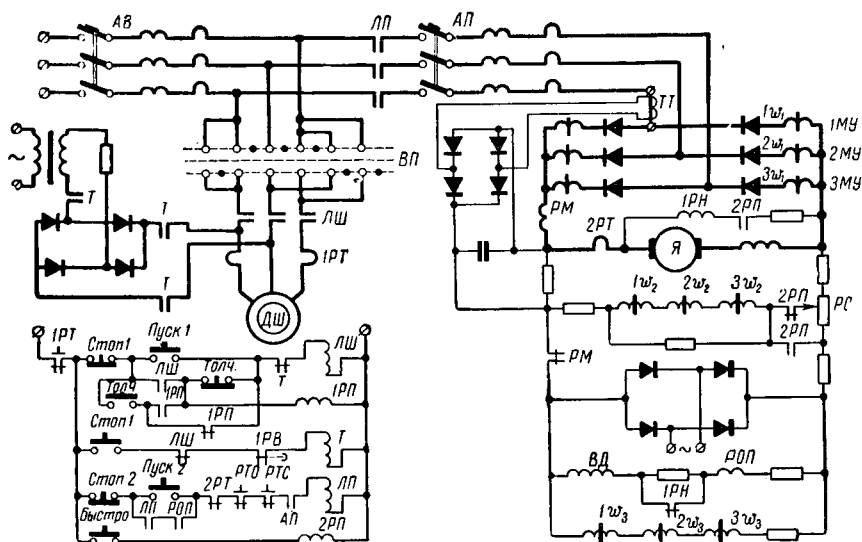


Рис. 9.3. Схема управления электроприводами вертикально-фрезерного станка

Принципиальная электрическая схема управления электроприводами станка приведена на рис. 9.3. Направление вращения шпинделя задается переключателем ВП, после чего нажатием кнопки «Пуск 1» осуществляется включение короткозамкнутого двигателя ДШ мощностью в 13 квт. Для быстрой остановки двигателя используется динамическое торможение. Схема управления главным приводом проста и дополнительных пояснений не требует. Привод подачи осуществляется от двигателя постоянного тока, используемого для всех трех перемещений. Переключение направления производится шестью электромагнитными муфтами, две муфты применяются для переключения перебора, а еще три — тормозные.

Регулирование скорости вращения двигателя подачи производится с помощью трех однофазных магнитных усилителей, силовые обмотки которых ω_1 включены через селеновые выпрямители. Скорость вращения двигателя мощностью 4,5 кВт регулируется от 150 до 1500 изменением напряжения, подводимого к якорю, и ослаблением магнитного потока до 3000 об/мин. Подмагничивание магнитных усилителей осуществляется обмотками управления ω_2 и ω_3 (обмотка смещения), а также постоянной составляющей однополупериодного тока, протекающего через каждую силовую обмотку. Обмотка управления ω_2 является задающей и реализует напряжения отрицательной обратной связи по напряжению на зажимах якоря и внешней положительной по току от трансформатора тока $ТТ$. Скорость двигателя регулируется потенциометром $РС$, от положения рукоятки которого зависит величина тока в обмотке ω_2 . В нижнем положении рукоятки регулятора $РС$ скорость двигателя близка к номинальной и снижается по мере перемещения вверх (по схеме) рукоятки $РС$.

Ограничение тока в якорной цепи двигателя выполняется с помощью реле $РМ$. В начальный момент пуска по обмотке управления ω_2 протекает сравнительно большой ток, магнитный усилитель «открывается» и пусковой ток двигателя возрастает; реле $РМ$ срабатывает, контакт его размыкается и отключает задающее напряжение с обмотки ω_2 . При этом магнитный усилитель «закрывается», напряжение на зажимах двигателя снимается и ток якоря уменьшается до величины, при которой реле $РМ$ отпускает и контакт его замыкается, задающая обмотка вновь подключается к источнику выпрямленного напряжения — ток якоря двигателя возрастает и $РМ$ снова срабатывает. Таким образом реле $РМ$ будет работать в вибрационном режиме до окончания пуска двигателя. При срабатывании реле в аварийных режимах магнитный усилитель также «закрывается», и ток якоря двигателя уменьшается до допустимого значения.

Для выполнения быстрого установочного перемещения необходимо нажать кнопку «Быстро», при этом обеспечивается максимальная скорость двигателя (3000 об/мин), достигаемая за счет ослабления магнитного потока. В этом случае, независимо от положения рукоятки регулятора $РС$, на задающую обмотку ω_2 подается полное напряжение, при котором наибольшее (номинальное) напряжение оказывается на зажимах якоря двигателя; и так как реле $1РН$ срабатывает, то в цепь обмотки возбуждения вводится добавочное сопротивление — ток возбуждения снижается и двигатель разгоняется до максимальной скорости. Быстрое установочное перемещение длится столько времени, сколько времени будет находиться в нажатом состоянии кнопка «Быстро».

Выбор соответствующего направления перемещения салазок, стола или шпиндельной бабки производится соответственно переключателями $1ПУ$, $2ПУ$ и $3ПУ$ (рис. 9.4). Электромагниты $1М$, $2М$ включают кинематику механизма перемещения стола, в крайнем

правом положении которого размыкаются нормальнозамкнутые и замыкаются открытые контакты конечного выключателя *1ВК*; при этом отключается муфта *1М* и включается тормозная муфта *9М*. Переводом переключателя *2ПУ* из левого положения, когда была включена муфта *1М*, в среднее можно остановить стол в любом

положении при его движении вправо. Тем же переключателем и включением муфты *2М* задается движение стола влево. Ограничение хода стола влево выполняется конечным выключателем *2ВК*, а прекращение движения его в этом направлении осуществляется переключателем *2ПУ*. Аналогично переключателем *1ПУ* и муфтами *3М*, *4М* задается движение салазок вперед и назад, а *10М* — торможение; переключателем *3ПУ* и муфтами *5М*, *6М* — перемещение шпиндельной бабки вверх и вниз, а муфтой *11М* — торможение.

В случае ручного управления поперечным перемещением стола (салазок) контакт *7ВК* разомкнут и реле *4РП* выключено. Муфты *7М* и *8М*, управляемые реле *3РП*, соответственно предназначены для включения кинематики привода подачи без или с перебором. За счет некоторого ус-

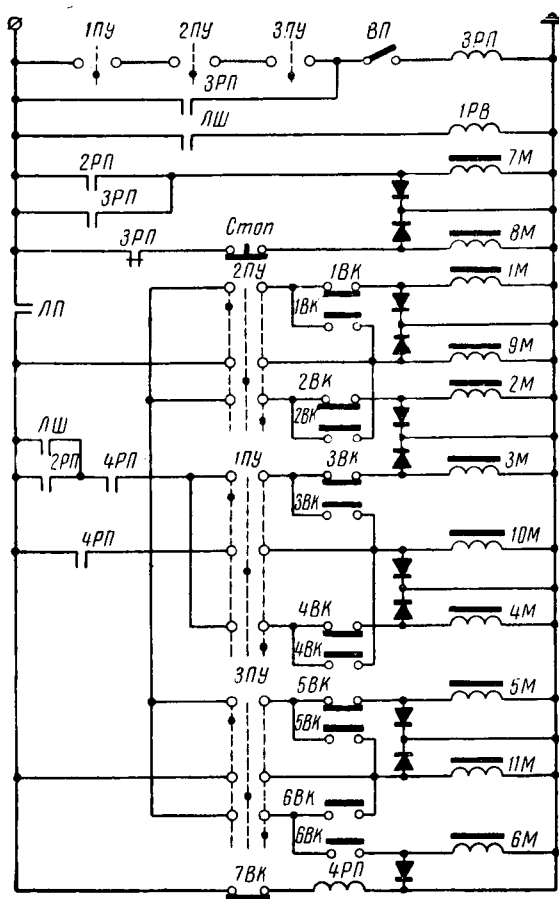


Рис. 9.4. Электрическая схема переключений механизмов подачи салазок, стола и шпиндельной бабки

ложнения схемы управления приводом подачи, а именно применения магнитных усилителей с промежуточным полупроводниковым усилителем и введения отрицательной обратной связи по скорости, можно диапазон электрического регулирования скорости вращения двигателя довести до 100 : 1 и тем самым упростить коробку подач, исключив механизм переключения (перебор). Кроме главного дви-

гателя *ДШ* и двигателя подачи *ДП*, станок снабжен еще двумя небольшими короткозамкнутыми двигателями (на схеме не показаны) для насоса смазки и охлаждения.

§ 9.2. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Для обработки плоскостей средних и крупных деталей весом до нескольких десятков и даже сотен тонн широко используются продольно-фрезерные станки. На этих станках могут производиться расточные, сверлильные, шлифовальные и другие работы.

Обычно тяжелые продольно-фрезерные станки снабжены четырьмя шпиндельными бабками, две из которых — вертикальные — расположены на траверсе, а две — горизонтальные, или боковые — перемещаются с обеих сторон стола (справа и слева) по вертикальным стойкам станины (рис. 9.5). Каждая шпиндельная бабка

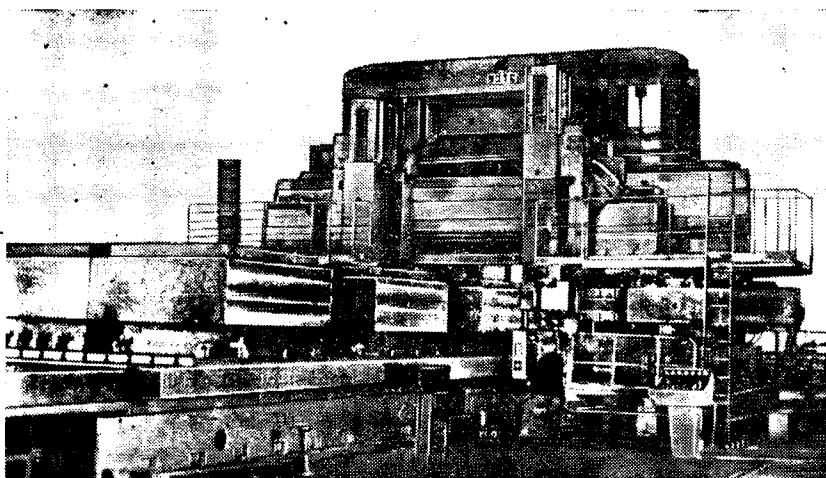


Рис. 9.5. Общий вид тяжелого продольно-фрезерного станка

снабжена самостоятельным приводом часто от короткозамкнутого асинхронного двигателя, который конструктивно соединен с коробкой скоростей, образуя самостоятельный механизм.

Стол станка, на котором закрепляются обрабатываемые изделия, совершает возвратно-поступательное перемещение по продольным направляющим станины. В среднюю часть станины вмонтирована коробка подач, передающая движение от двигателя через ряд шестерен к рейке стола. Привод подачи стола не имеет механической связи со шпиндельными бабками и представляет самосто-

ятельный узел станка. Как правило, привод подачи стола выполняется от регулируемого двигателя постоянного тока.

Установочные перемещения, закрепление поперечины станка, вращение насосов смазки, гидросистемы и т. д. выполняются двигателями переменного тока.

Технические данные некоторых моделей продольно-фрезерных станков приведены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Наименование	Модель станка			
	6Г610	6620	6625	6682
Размеры стола (ширина× ×длина), м	1×3,2	2×6,3	2,5×8	3,8×12
Наибольший ход стола, м	3,5	6,3	8,5	13
Максимальный вес обра- батываемой детали, Т	6,0	25	32	120
Мощность двигателя шпинделя, кВт	14	28	28	40
Величины подач стола, мм/мин	10÷3000	5÷1000	5÷1000	23,5÷950
Быстрое перемещение сто- ла, мм/мин	4500	4350	3500	3000
Мощность двигателя по- дач стола, кВт	8	11	11	2×22
Величины подач бабок, мм/мин	10÷750	10÷800	10÷800	23,5÷600
Быстрое перемещение ба- бок, мм/мин	1200	1200	2000	1500
Мощность двигателя по- дачи бабок, кВт	3,2	4,5	4,5	5,8

Кинематическая схема тяжелого продольно-фрезерного станка модели 6682 показана на рис. 9.6. Привод шпинделей обычно осуществляется от асинхронных короткозамкнутых двигателей 3; регулирование скорости вращения шпинделя производится переключением шестерен коробки скоростей. Подача стола осуществляется двумя регулируемыми двигателями постоянного тока 2; двигатели 1 предназначены для ускоренного перемещения стола. Двигатели 4 и 5 установлены на поперечной балке станка и предназначены соответственно для ускоренного перемещения траверсы и рабочей подачи ее; 6 — двигатель подачи вертикальных шпиндельных бабок установлен на траверсе; при помощи переключения в коробке подач от этого же двигателя можно осуществить вертикальное перемещение гильз вертикальных шпиндельных бабок.

Кроме указанных приводов, на станке имеются следующие вспомогательные приводы: 1) зажима траверсы, осуществляемого двумя двигателями, один из которых предназначен для механизма зажима слева, другой — справа; 2) зажима горизонтальных и вер-

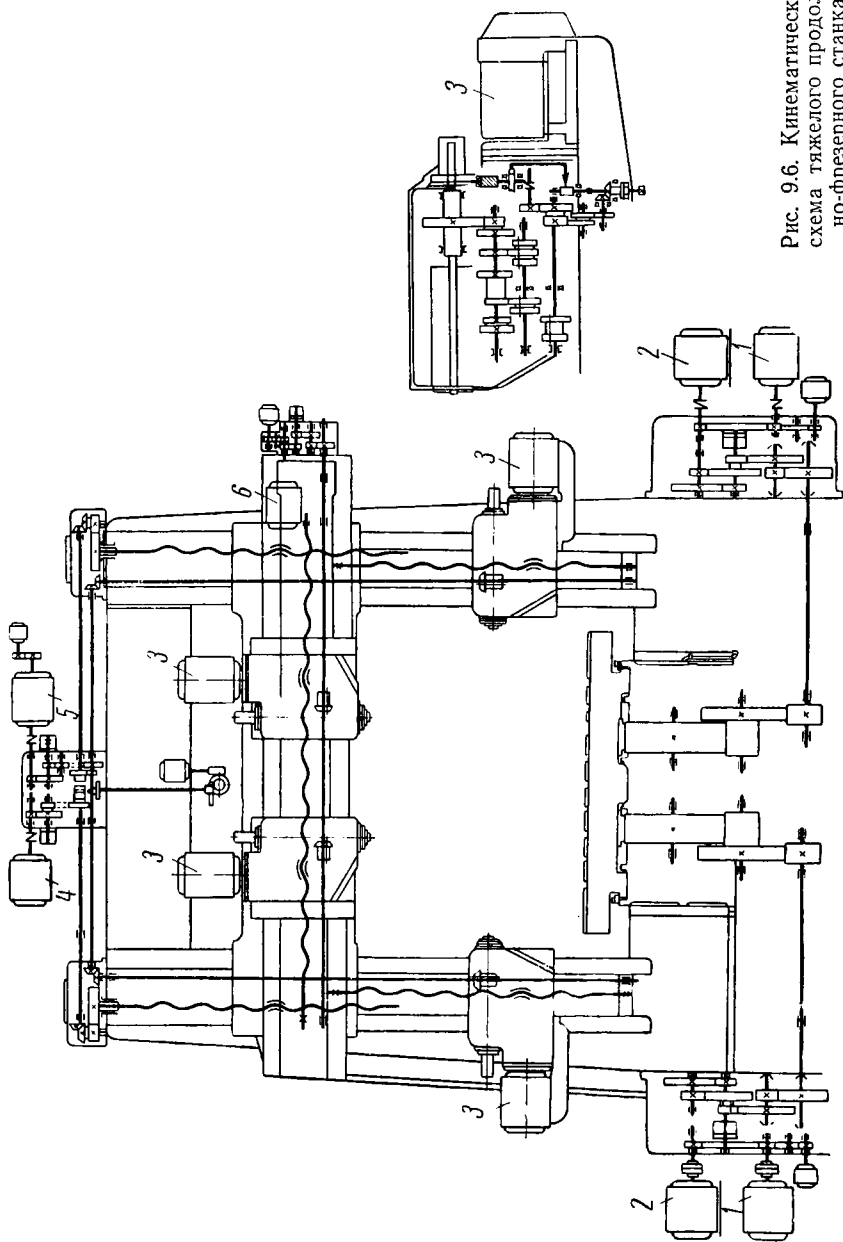


Рис. 9.6. Кинематическая
схема тяжелого продоль-
но-фрезерного станка

тикальных шпиндельных бабок; 3) насосов охлаждения и смазки; 4) переключения соединительной муфты траверсы и др. Все вспомогательные приводы выполняются от нерегулируемых короткозамкнутых двигателей. Всего на станке 15 электроприводов, включающих 35 электрических машин с общей установленной мощностью около 350 кВт.

Рассмотрим особенности главного привода и приводов подачи продольно-фрезерных станков. Основные требования, которым должен удовлетворять главный привод:

- диапазон регулирования скорости вращения шпинделя составляет $(10 \div 20) : 1$;

- регулирование скорости осуществляется приблизительно при постоянной мощности;

- пуск и торможение шпинделя производятся без нагрузки; частота пусков небольшая;

- остановка двигателя шпинделя допускается только после прекращения подачи;

- пуск двигателя шпинделя должен производиться до включения двигателя подачи;

- обработка изделия может производиться одновременно несколькими шпинделями;

- выбор числа работающих шпинделей и их направление вращения устанавливаются до начала работы;

- выбор любого из четырех режимов работы на станке (фрезерование, сверление и расточка подачей шпиндельных гильз, сверление и расточка при подаче траверсы вниз и наладка механизмов станка), а также переход с одного режима на другой должны производиться при неработающих шпинделях.

Так как схемы управления всех четырех двигателей шпинделей однотипны, рассмотрим принципиальную схему управления одного из них (рис. 9.7).

Перед пуском двигателя (или нескольких двигателей) нужно на соответствующих пультах управления установить переключатели шпинделей в положение, соответствующее требуемому направлению вращения. Допустим, необходимо сообщить первому шпинделю *1ДШ* левое вращение. Для этого переключатель *1ПШ* поворачивается влево — замыкаются его контакты *1ПШ-2* и *1ПШ-4*. После этого нажатием кнопки «Пуск» возможно осуществить включение двигателя *1Ш* при условии, однако, что предварительно включен автомат *АВ1Ш* и сработало реле напряжения *РН1Ш*, а также включен контактор *ЛА* двигателя агрегата возбуждения (реле и контактор на схеме не показаны).

Включение контактора *Н1Ш* (или *В1Ш*) происходит после замыкания контакта контактора защиты *1З*. Необходимо отметить, что в цепи катушки контактора *1З* включены размыкающие контакты конечных выключателей *5БК* и *6БК*, фиксирующих положения рукояток поворота левой и правой горизонтальных шпиндельных бабок. Контактор *1З*, кроме того, включает реле *1РВШ*, замы-

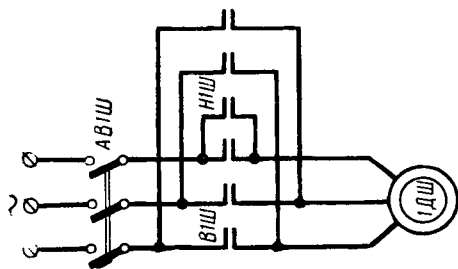


Диаграмма работы переключателя щитка (ЩШ)

Обозначение по схеме	Левое вращение		Правое вращение	
	Влево	Откл	0	Вправо
ПШ-1	—	×	—	—
ПШ-2	×	—	×	×
ПШ-3	—	—	—	—
ПШ-4	×	—	×	—
ПШ-5	—	—	—	—
ПШ-6	—	×	×	—

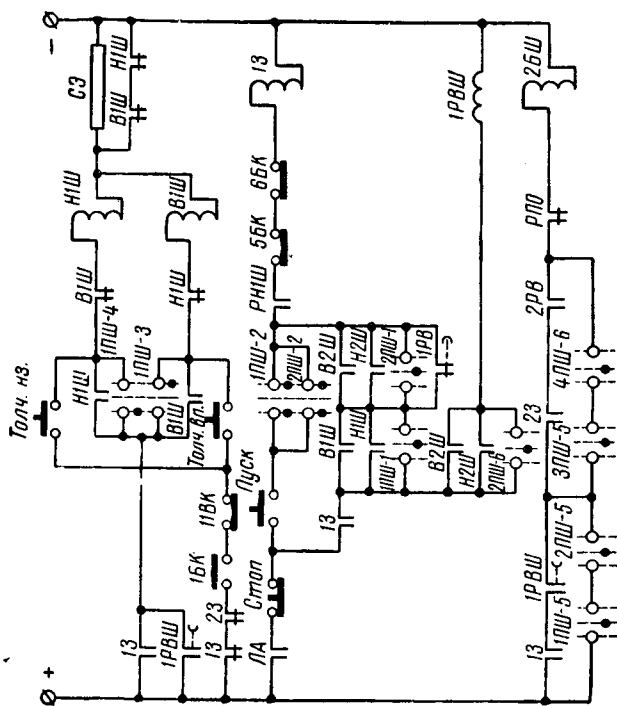


Рис. 9.7. Схема электропривода шпинделя

кающий контакт которого закорачивает контакт *13* в цепи катушки контактора *Н1Ш*.

Остановка двигателей шпинделей производится нажатием кнопки «Стоп». При этом размыкается цепь контактора *13*, но двигатели отключаются только по истечении некоторой выдержки времени (около 2 сек), определяемой установкой реле *1РВШ* (или соответственно реле *2РВШ*, связанного с работой вертикальных шпинделей). Это условие обеспечивает безопасность работы инструмента при фрезеровании: двигатели шпинделей отключаются лишь тогда, когда подача, контролируемая замыкающими контактами *13* (или *23*), прекратится.

Наладочный режим работы приводов шпинделей осуществляется при нажатии кнопок «Толч. нз.» или «Толч. вп.» при условии, что контакт *1БК*, фиксирующий положение рукоятки переключения кинематики шпиндельной бабки, будет замкнут, а сама шпиндельная бабка будет находиться в исходном или промежуточном положении. В этом случае контакты *11БК* окажутся замкнутыми.

Как видно из табл. 9.1, скорость подачи стола должна регулироваться в широких пределах (ориентировочно от 5 до 1000 мм/мин) с диапазоном до 200 : 1 и выше. Если учесть, что для быстрых установочных движений скорость стола достигает $3000 \div 4500$ мм/мин, то общий диапазон регулирования скорости перемещения стола составит $(600 \div 900) : 1$.

Тяговое усилие подачи на рейке стола состоит из усилия, преодолевающего трение в направляющих стола, и усилия, обусловленного фрезерованием обрабатываемого изделия. Анализ кривых момента нагрузки от скорости на валу приводных двигателей стола и шпиндельных бабок указывает на малые изменения его в рабочем режиме при сравнительно широком изменении скорости и одном и том же виде обрабатываемого изделия.

До последнего времени широкое применение для приводов подач продольно-фрезерных станков находили системы генератор — двигатель. Сейчас более перспективной следует считать систему тиристорный преобразователь — двигатель постоянного тока.

В рассматриваемом станке используется двухдвигательный привод подачи стола, включенный по системе генератор — двигатель (рис. 9.8). Так как двигатели подач могут работать при весьма малых скоростях и значительных моментах, то для их охлаждения предусмотрена независимая вентиляция. Двигатели подач включаются, если до этого вступает в действие система смазки (контакт *РКС* замкнут) и траверса станка зажата (контакт *РЗ* замкнут); кроме того, контакт реле напряжения *РН* должен быть замкнут, что соответствует включению преобразовательного агрегата и двигателей вентиляторов.

Действие электрической схемы управления приводом подачи стола сводится к следующему. При нажатии кнопки «Подача вперед» включаются контакторы *В*, *1Б* и затем реле *2РВ*. Замыкающие контакты *В* и *2РВ*, замыкаясь, присоединяют задающую об-

мотку $10У$ электромашинного усилителя $У$ к потенциометру $1П$. Величина задающего напряжения определяется положением щетки на потенциометре $1П$. Одновременно получает питание обмотка возбуждения $B2T$ измерительного тахогенератора $2T$. Ток в обмотке $10У$ определяется разностью между задающим напряжением и напряжением тахогенератора $1T$. В первый момент пуска напряжение тахогенератора равно нулю и к обмотке $10У$ приложена значительное большее напряжение, чем требуется для создания намагничивающей силы, соответствующей заданной скорости двигателей. Для уменьшения форсировки при пуске вводятся дополнительное сопротивление $9СД$, а также выпрямитель $2ВС$, используемый как нелинейное сопротивление, в которое ответвляется при пуске часть тока обмотки $10У$. К концу переходного процесса контакт реле $3РВ$ шунтирует дополнительное сопротивление $9СД$, а контакт реле $4РВ$ размыкает цепь выпрямителей $2ВС$.

Ограничение тока при пуске осуществляется благодаря действию обмотки $30У$, включенной в схему обычного узла токоограничения. Намагничивающие силы обмоток $10У$ и $30У$ действуют встречно. С целью обеспечения устойчивой работы системы предусмотрено включение обмотки $20У$ через стабилизирующий трансформатор $ТС$. Максимальная защита двигателей в статических режимах выполняется реле $1РМ$, ток срабатывания которого устанавливается приблизительно равным $1,5 I_n$. При пуске контакты реле $1РМ$ шунтированы контактом $4РВ$. Выдержка времени реле $4РВ$ принята равной времени разгона привода до основной скорости. Реле $2РМ$ предназначено для максимальной защиты двигателей в период переходного процесса, например при обрыве цепи узла токоограничения; ток срабатывания реле $2РМ$ равен $2,5 I_n$.

Торможение и остановка двигателей подачи стола производится нажатием кнопки «Стоп», отключающей реле $РП$ и вследствие этого контактор $В$ и реле $2РВ$. В результате снимается задающее напряжение с обмотки $10У$ и она оказывается под напряжением обратной связи по скорости — под напряжением тахогенератора $1T$. Так как это напряжение имеет обратный знак в сравнении с задающим, то процесс торможения двигателей форсируется. В связи с отключением контактора $1Б$ и включением реле $4РВ$ во время торможения будет действовать выпрямитель $2ВС$ аналогично тому, как он действовал при пуске. Кроме того, узел ограничения тока действует и в процессе торможения. При торможении ток в якорной цепи меняет направление, следовательно, обмотка $30У$ будет подмагничивать усилитель $У$ и тем самым замедлять спадание э. д. с. генератора. В конце торможения замкнутся контакты реле времени $2РВ$ и к зажимам якоря генератора присоединится обмотка гашения поля $40У$, что позволит устранить ползучую скорость двигателей при вращении генератора.

Ускоренное перемещение стола совершается нажатием кнопки «Быстро вперед» или «Быстро назад». Как и при рабочей подаче, включение двигателей в данном случае может произойти, если

предварительно включены преобразовательный агрегат и вентиляторы, зажата траверса, работает система смазки. Нажатием, например, кнопки «*Быстро вперед*» включается контактор *УВ*, затем реле *5РВ*, *1РВ* и контакторы *2Б*, *В*, *1Б* и реле *2РВ*. Контакт *2Б* отключает потенциометр *1П*, якорную цепь тахогенератора *1Т* и обмотки возбуждения *В1Т* и *В2Т* и включает потенциометр *2ПП*, с которого снимается напряжение на задающую обмотку *10У*. При этом исключается действие обратной связи по скорости; разгон двигателя до основной скорости происходит в функции времени в две ступени благодаря действию реле *3РВ*, контакты которого шунтируют дополнительное сопротивление *9СД*. По истечении времени достижения основной скорости отпускает свои контакты реле *4РВ*, срабатывает контактор *У*, и дальнейшее ускорение привода происходит за счет ослабления магнитного потока двигателей.

Остановка привода после ускоренного перемещения совершается в две ступени после нажатия на кнопку «*Стоп*». Вначале торможение происходит за счет усиления магнитного потока двигателей (размыкающий контакт *У* замыкается). Контакт *УВ* (или *УН*), *У*, реле *5РВ* и *1РВ* отключаются, однако контакторы *В* (или *Н*) и *2Б* питаются до тех пор, пока не отпустит свой якорь реле *5РВ*. По истечении заданной выдержки времени реле *5РВ* отключаются контактор *2Б* и задающая обмотка *10У* — начнется второй этап рекуперативного торможения. После срабатывания реле *2РВ* наступит режим самогашения поля генератора.

Наладочный (толчковый) режим возможен при включении блокировочного контактора *1БР* выбора режимов (катушка его на схеме не показана), размыкающий контакт которого размыкается в цепи управления контакторами *В* и *Н*. Перемещение стола будет происходить со скоростью подачи или ускоренного хода в зависимости от того, какая нажата кнопка. После отпускания кнопки привод затормаживается и останавливается.

Приводы подач горизонтальных и вертикальных бабок и подачи траверсы выполнены от двигателей постоянного тока, включенных по системе генератор — двигатель; скорость двигателей регулируется от 31,3 до 800 об/мин изменением подводимого напряжения и от 800 до 2000 об/мин ослаблением магнитного потока двигателей. Так как одновременная подача горизонтальных и вертикальных шпиндельных бабок на станке исключена, то представляется возможным использовать один генератор для поочередного питания указанных двигателей, что упрощает схему управления и сокращает количество машин установки. В качестве генератора используется электромашинный усилитель поперечного поля ЭМУ-110, 11 квт, 230 в, 1450 об/мин. Двигатель подачи горизонтальных бабок мощностью 10 квт; двигатель подачи вертикальных бабок 5,6 квт. Электрическая схема управления приводами бабок здесь не приводится, так как она аналогична схеме управления приводом подачи стола.

Остановимся на рассмотрении тех блокировок, которые обусловлены технологическими условиями работы станка и обеспечива-ют соответствующую последовательность включения отдельных элементов электропривода. Включение двигателя приводов горизонтальных бабок возможно при: предварительном выборе режима работы бабок, причем двигатель привода подачи вертикальных шпиндельных бабок должен быть выключен; включенном преобразовательном агрегате привода подач шпиндельных бабок и привода вентилятора для охлаждения двигателей горизонтальных бабок; предварительном включении соответствующих двигателей шпинделей — рукоятки включения поворота бабок должны находиться в нейтральном положении, т. е. контакты 5БК и 6БК замкнуты (см. рис. 9.7), что контролируется включением замыкающего контакта 2БШ в цепи, шунтирующей кнопки подачи (см. рис. 9.8); наладочном режиме (I режим) и фрезеровании (II режим), если обе бабки отжаты, что контролируется замыканием размыкающего контакта реле зажима горизонтальных бабок; осевой подаче гильз (III режим), если обе бабки зажаты, что контролируется включением замыкающих контактов реле зажима, кинематическая цепь привода подачи бабок при этом переключается вручную на подачу гильз; сверлении и расточке подачей траверсы (IV режим); кинематическая цепь механизма подачи траверсы дистанционно под-ключается к приводу подачи горизонтальных бабок, в этом режиме обе бабки, как и в предыдущем случае, должны быть зажаты.

Аналогичные блокировки имеет система управления приводом подачи вертикальных бабок. Необходимо отметить, что при сверлении и расточке подачей траверсы исключается возможность работы вертикальных бабок.

Блокировки общего назначения, относящиеся к ограничению перемещений отдельных элементов продольно-фрезерных станков, сводятся к следующему. Ограничение хода стола «вперед» и «на-зад» осуществляется конечными выключателями, расположенными на станине станка. Ограничение перемещения левой горизонтальной шпиндельной бабки вниз по левой стойке станка производится ко-нечным выключателем, установленным на левой стойке, аналогич-ное ограничение перемещения предусматривается для правой гори-зонтальной шпиндельной бабки. Ограничение перемещения левой вертикальной шпиндельной бабки влево по траверсе обеспечивается при помощи конечного выключателя, установленного на травер-се, аналогичное ограничение перемещения должно быть и вправо для правой вертикальной шпиндельной бабки. Ограничение пере-мещения обеих вертикальных шпиндельных бабок при их сближе-нии друг с другом выполняется конечным выключателем, установ-ленным на одной из этих бабок. При сближении горизонтальных шпиндельных бабок с траверсой срабатывают конечные выключа-тели, расположенные на траверсе. Ограничение хода траверсы вверх производится при помощи конечного выключателя, установленного в верхней части левой стойки.

Вместо системы генератор — двигатель, широко применявшейся до последнего времени для приводов механизмов подачи продольно-фрезерных станков, может быть использована система тиристорный преобразователь — двигатель. С целью упрощения схемы, повышения надежности работы электропривода и удешевления преобразователя целесообразно его комплектовать из двух тиристорных групп, включенных встречно-параллельно по трехфазной схеме с нулевым выводом (см. рис. 4.24).

Приведем расчет параметров электропривода подачи стола продольно-фрезерного станка, а также кривых скорости и тока в якровой цепи двигателя при пуске до номинальной скорости.

Пример 9.1. Для двигателя типа ПБСТ-43; 3,8 квт; 220 в; 19,5 а; 2200 об/мин, управляемого реверсивным тиристорным преобразователем, включенным по трехфазной схеме с нулевым выводом, и предназначенного для привода подачи продольно-фрезерного станка, рассчитать зависимости скорости и тока при пуске двигателя до номинальной скорости.

Для обеспечения устойчивости при диапазоне регулирования 300 : 1, величине статизма $\delta=0,1$ выбирается последовательная коррекция с интегро-дифференцирующим звеном (см. гл. IV). С целью ограничения тока при пуске вводится токоограничение с отсечкой (постоянной времени узла токоограничения пренебрегаем). Функциональная схема электропривода приведена на рис. 9.9.

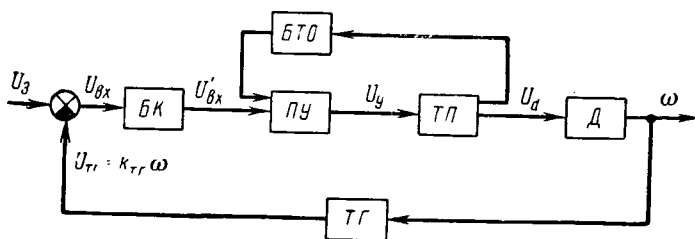


Рис. 9.9. Функциональная схема электропривода подачи

Номинальная угловая скорость двигателя

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 2200}{30} = 230 \text{ рад/сек.}$$

Электromагнитная постоянная времени якровой цепи $T_a=0,042 \text{ сек.}$
Постоянная двигателя

$$c = \frac{U_n - I_n R_{\text{я}}}{\omega_n} = \frac{220 - 19,5 \cdot 0,492}{230} = 0,913 \text{ в.сек/рад.}$$

Электромеханическая постоянная времени электропривода $T_m=0,198 \text{ сек.}$
Номинальная э. д. с. преобразователя

$$U_{dн} = \omega_n c + \Delta U_{\text{в}} + I_n R = 230 \cdot 0,913 + 1,5 + 19,5 \cdot 2,55 = 261 \text{ в}$$

($R=2,55 \text{ ом}$ — общее сопротивление якровой цепи).

Коэффициент усиления разомкнутой системы

$$k \geq \frac{\Delta\omega}{\omega_H} \cdot \frac{D}{\delta} - 1 = 0,19 \frac{300}{0,1} - 1 \approx 570;$$

с учетом разброса параметров элементов схемы примем $k=1000$.
Коэффициент усиления тиристорного преобразователя

$$k_{II} = \frac{U_{dH}}{U_Y} = \frac{261}{8} = 32,6.$$

Коэффициент усиления двигателя

$$k_d = \frac{1}{c} = \frac{1}{0,913} = 1,095 \text{ рад/в.сек.}$$

Коэффициент усиления тахогенератора (при $U_{TG}=230 \text{ в}$)

$$k_{TG} = \frac{U_{TG}}{\omega_{TG}} = \frac{230}{314} = 0,732 \text{ в.сек/рад.}$$

Коэффициент усиления промежуточного усилителя (представляющего собой нелинейный элемент с ограничением)

$$k_y = \frac{k}{k_n k_d k_{TG}} = \frac{1000}{32,6 \cdot 1,095 \cdot 0,732} = 38,3;$$

k_y будет уточнен после выбора параметров корректирующего звена.

Постоянную времени апериодического звена на входе системы управления преобразователем принимаем $T_0=0,007 \text{ сек}$ [Л. 24].

Электромагнитная постоянная времени в относительных единицах

$$\mu = \frac{T_g}{T_0} = \frac{0,042}{0,007} = 6.$$

Электромеханическая постоянная времени в относительных единицах

$$\gamma = \frac{T_m}{T_0} = \frac{0,198}{0,007} = 28,3.$$

Постоянные времени корректирующего звена в относительных единицах:

$$\vartheta = \frac{2\mu\gamma}{\gamma - \sqrt{\gamma^2 - 4\mu\gamma}} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 28,3}{28,3 - \sqrt{28,3^2 - 4 \cdot 6 \cdot 28,3}} = 19,6;$$

$$z = \frac{2\mu\gamma}{\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 4\mu\gamma}} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 28,3}{28,3 + \sqrt{28,3^2 - 4 \cdot 6 \cdot 28,3}} = 8,7.$$

Параметр, связывающий коэффициент усиления системы с максимальной постоянной времени корректирующего звена,

$$\eta = \frac{k}{\zeta} = \omega^2 + 0,25 = 1^2 + 0,25 = 1,25,$$

где ω — угловая частота собственных колебаний системы (принимаем $\omega=1$).

Относительное значение максимальной постоянной времени

$$\zeta = \frac{k}{\eta} = \frac{1000}{1,25} = 800.$$

Относительное значение минимальной постоянной времени

$$\gamma = \frac{\mu\gamma}{\xi} = \frac{6 \cdot 28,3}{800} = 0,213.$$

Постоянные времени корректирующего звена:

$$T_1 = T_0^{\theta} = 0,007 \cdot 19,6 = 0,137 \text{ сек};$$

$$T_2 = T_0^{\xi} = 0,007 \cdot 800 = 5,6 \text{ сек};$$

$$T_3 = T_0^{\alpha} = 0,007 \cdot 8,7 = 0,061 \text{ сек};$$

$$T_4 = T_0^{\gamma} = 0,007 \cdot 0,213 = 0,0015 \text{ сек}.$$

Примем $R_1 = 30 \text{ ком}$; входное сопротивление усилителя $R_{\text{вх}} = 100 \text{ ком}$, тогда

$$c_2 \approx T_2 \frac{R_1 + R_{\text{вх}}}{R_1 R_{\text{вх}}} = 5,6 \frac{30 + 100}{30 \cdot 100} 10^3 = 242 \text{ мкф};$$

$$R_2 = \frac{T_1}{c_2} = \frac{0,137}{242} 10^3 = 0,566 \text{ ком};$$

$$c_1 = \frac{T_3}{R_1} = \frac{0,061}{30} 10^3 = 2,03 \text{ мкф}.$$

В соответствии с принятыми параметрами корректирующего звена (проверка):

$$T_4 = c_1 R_2 = 2,03 \cdot 0,566 \cdot 10^{-3} = 0,0012 \text{ сек};$$

$$\gamma = \frac{T_4}{T_0} = \frac{0,0012}{0,007} = 0,165.$$

Коэффициент усиления корректирующего устройства

$$k_k = \frac{R_{\text{вх}}}{R_1 + R_{\text{вх}}} = \frac{100}{30 + 100} = 0,77.$$

Тогда

$$k_y = k_{y1} k_{y2} = \frac{38,3}{0,77} = 50.$$

Расчет переходных режимов производим методом конечных приращений. Следует отметить, что корректирующее звено описывается дифференциальным уравнением второго порядка, причем правая часть уравнения определяется не только входным напряжением, но и первой и второй производными. Для получения зависимости выходного напряжения корректирующего звена от входного составляется система уравнений первого порядка и затем производится интегрирование их.

Уравнения системы

$$U_{\text{вх}} = U_3 - k_{\text{тг}} \omega; \quad (9.1)$$

$$\frac{U_{\text{с1}}}{R_1} + c_1 \frac{dU_{\text{с1}}}{dt} = \frac{U'_{\text{вх}}}{R_{\text{вх}}} + c_2 \frac{dU_{\text{с2}}}{dt}; \quad (9.2)$$

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{с1}} + R_2 c_2 \frac{dU_{\text{с2}}}{dt} + U_{\text{с2}}; \quad (9.3)$$

$$U'_{\text{вх}} = U_{\text{с2}} + R_2 c_2 \frac{dU_{\text{с2}}}{dt}; \quad (9.4)$$

$$U'_{\text{вх}} = U_{\text{вх}} - U_{\text{с1}}; \quad (9.5)$$

$$U_y = [U'_{\text{вх}} k_{y1} - k_{\text{т.о}} (i - I_{\text{отс}}) 1 (i - I_{\text{отс}})] k_{y2}, \quad (9.6)$$

где k_{y1} , k_{y2} — коэффициенты усиления соответственно первого и второго каскадов промежуточного усилителя;

$$T_0 \frac{dU_d}{dt} + U_d = k_n U_y; \quad (9.7)$$

$$U_d = \Delta U_{\text{в}} + \omega c + iR + L \frac{di}{dt}; \quad (9.8)$$

$$(i - I_c) c = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (9.9)$$

Исключив из (9.2) и (9.3) $\frac{dU_{\text{с2}}}{dt}$, получим

$$\frac{dU_{\text{с1}}}{dt} = \frac{1}{T_3} \left[U'_{\text{вх}} \frac{R_1}{R_{\text{вх}}} + (U_{\text{вх}} - U_{\text{с1}} - U_{\text{с2}}) \frac{R_1}{R_2} - U_{\text{с1}} \right]. \quad (9.10)$$

Из (9.4) находим

$$\frac{dU_{\text{с2}}}{dt} = \frac{1}{T_1} (U'_{\text{вх}} - U_{\text{с2}}). \quad (9.11)$$

Из (9.7)

$$\frac{dU_d}{dt} = \frac{1}{T_0} (k_n U_y - U_d). \quad (9.12)$$

Из (9.8)

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{T_3} \left(\frac{U_d - \Delta U_{\text{в}} - \omega c}{R} - i \right). \quad (9.13)$$

Из (9.9)

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{T_{\text{м}}} (i - I_c) \frac{R}{c}. \quad (9.14)$$

Переходя от производных к приращениям на заданном интервале по времени из (9.10), (9.11), (9.12), (9.13) и (9.14), получим

$$\Delta U_{\text{с1}} = \left[U'_{\text{вх}} \frac{R_1}{R_2} + (U_{\text{вх}} - U_{\text{с1}} - U_{\text{с2}}) \frac{R_1}{R_2} - U_{\text{с1}} \right] \frac{\Delta t}{T_3}; \quad (9.15)$$

$$\Delta U_{c2} = (U'_{bx} - U_{c2}) \frac{\Delta t}{T_1}; \quad (9.16)$$

$$\Delta U_d = (k_{\pi} U_y - U_d) \frac{\Delta t}{T_0}; \quad (9.17)$$

$$\Delta i = \left(\frac{U_d - \Delta U_b - c\omega}{R} - i \right) \frac{\Delta t}{T_3}; \quad (9.18)$$

$$\Delta \omega = (i - I_c) \frac{R}{c} \cdot \frac{\Delta t}{T_m}. \quad (9.19)$$

Значения переменных в конце интервала:

$$U_{c1i} = U_{c1(i-1)} + \Delta U_{c1i}; \quad (9.20)$$

$$U_{c2i} = U_{c2(i-1)} + \Delta U_{c2i}; \quad (9.21)$$

$$U_{di} = U_{d(i-1)} + \Delta U_{di}; \quad (9.22)$$

$$i_i = i_{i-1} + \Delta i_i; \quad (9.23)$$

$$\omega_i = \omega_{i-1} + \Delta \omega_i. \quad (9.24)$$

Начальные условия процесса пуска: нулевые для U_{c1} ,

$$U_{c2}, U_d, i, \omega; U_{bx} = U_s - U_{o.c} = 168,57 \text{ в}, \quad U_{o.c} = 0;$$

$$U_s = k_{\pi} \omega_n + \frac{U_{dн}}{k_R k_y k_{ii}} = 0,732 \cdot 230 + \frac{261}{0,77 \cdot 50 \cdot 32,6} = 168,57 \text{ в};$$

$$U'_{bx} = 168,57 \text{ в}; \quad U_y = 8 \text{ в}.$$

Примерные графики скорости и тока якорной цепи при пуске до номинальной скорости приведены на рис. 9.10.

Все большее внимание последние годы уделяется созданию комбинированных продольно-строгально-фрезерных станков, предназначенных для обработки крупных базовых и корпусных деталей машин. На этих станках производится строгание, фрезерование и шлифование горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостей, а также растачивание, сверление и зенкование отверстий. Достоинством комбинированных станков является возможность осуществления указанных операций при одной установке обрабатываемого изделия. На таком станке, кроме строгальных суппортов, устанавливаются фрезерно-расточные шпиндельные бабки.

Так, Новосибирским заводом выпущен станок модели НС-32 с размерами строгания $5 \times 20 \text{ м}$. Станок весит 470 Т; на нем можно производить строгание, фрезерование и растачивание изделий весом в десятки тонн. В таких станках питание двигателя независимого возбуждения для фрезерного шпинделя осуществляется от тиристорного преобразователя, каждый из которых собран по типовой нулевой реверсивной схеме. В данном случае два таких комплекта соединены в мостовую реверсивную схему. Регулирование

скорости вращения двигателя двухзонное: вниз от основной производится изменением напряжения, подводимого к якору, и вверх — ослаблением магнитного потока. Напряжение на выходе тиристорного преобразователя регулируется фазосмещающим устройством, работающим по вертикальному принципу, как упоминалось ранее. В свою очередь управление $\Phi СУ$ осуществляется блоком регулирования $БР$, в котором реализуются: усиление сигнала рассогласования — разности задающего напряжения и напряжения тахогенератора;

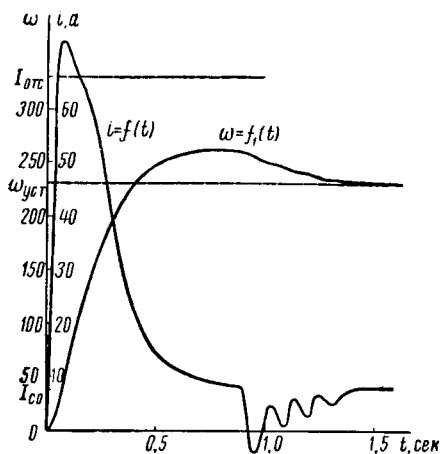


Рис. 9.10. Примерные графики скорости и тока

раздельное управление группами реверсивного преобразователя. Задание скорости главного привода (так же, как и скорость приводов подачи) выполняется комплектом устройств типа $КУЗС$ на базе следяще-регулируемого привода (см. гл. VIII), включающим устройства задания скорости регулируемым ($УЗС-Р$) и следящим ($УЗС-С$) электроприводами.

Для главного электропривода применяется $УЗС-Р$, где задатчиком скорости является бесконтактный сельсин $ЗС$. При повороте ротора $ЗС$ на выходе его меняется фаза пе-

ременного напряжения, которая определяет величину напряжения постоянного тока на выходе устройства $УЗС-Р$; это напряжение является задающим.

Разность задающего напряжения и напряжения тахогенератора подается как на вход блока $БР$ для регулирования напряжения на якоре двигателя, так и на блок возбуждения $БВ$. В схеме блока $БВ$ используются полупроводниковые ключи, управляемые напряжением на якоре двигателя. При напряжении, меньшем номинального, эти ключи шунтируют входную цепь блока $БВ$, чем исключается прохождение сигнала управления по каналу возбуждения, и магнитный поток двигателя не изменяется. В данном случае регулирование скорости вращения двигателя осуществляется напряжением на якоре при номинальном потоке. Регулирование скорости выше основной возможно при достижении номинального напряжения на выходе преобразователя.

Для ограничения тока используется упреждающее токоограничение. Угол открытия тиристора, соответствующий допустимому току, изменяется в функции э. д. с. двигателя, что обеспечивает токоограничение во всем диапазоне регулирования (ниже и выше основной скорости). Напряжение, пропорциональное э. д. с. двига-

теля, снимается с тахометрического моста. Для повышения устойчивости работы привода при ослаблении потока двигателя на входе блока *БВ* включен конденсатор.

Испытания главного привода, проведенные на заводе «Тяжстанкогидропресс», показали, что статические характеристики его отличаются перепадом скорости, не превышающим 4,5% (на любой из характеристик всего диапазона скоростей) при изменении момента нагрузки от холостого хода до номинального. Пуск двигателя до номинальной скорости совершается за 0,6 сек; пуск до максимальной скорости (ослаблением магнитного потока) — за 2,5 сек; время торможения 1,2 сек. При резком приложении нагрузки на минимальной скорости привода просадка скорости составляет 30%, время восстановления скорости 0,2 сек.

Подача суппортов осуществляется следяще-регулируемым реверсивным электроприводом с цифровым заданием скорости (см. гл. VIII). Включение двигателя подачи осуществлено от тиристорного преобразователя.

Глава X

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

§ 10.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Многочисленную группу шлифовальных станков можно разделить на две основные категории: 1) круглошлифовальные и 2) плоскошлифовальные станки. Кроме того, существует ряд специальных шлифовальных станков: резьбошлифовальные, сферошлифовальные и др. Так как шлифовальные станки относятся к точным станкам, то конструкции их отдельных элементов должны отличаться максимально упрощенными кинематическими цепями.

Почти во всех шлифовальных станках в качестве главного привода используется перегулируемый асинхронный короткозамкнутый двигатель. В некоторых тяжелых станках применяется автоматическое регулирование скорости вращения привода в диапазоне примерно 2:1 с целью поддержания постоянства скорости резания. Скорость резания на шлифовальных станках в среднем составляет, как уже упоминалось, $30 \div 50$ м/сек. Поэтому при сравнительно больших диаметрах шлифовальных кругов (до 1000 мм) скорость вращения шлифовального шпинделя ниже или равна скорости вращения приводного двигателя (около 950 об/мин).

При малых диаметрах шлифовальных кругов, что чаще всего имеет место в небольших станках и особенно в станках внутришлифовальных, приходится применять ускоряющие передачи от двигателя к шпинделю или специальные двигатели на большие скорости;

в последнем случае вал шлифовального шпинделя является продолжением вала двигателя (рис. 10.1). Здесь конструктивно короткозамкнутый асинхронный двигатель и шлифовальный шпиндель объединены в одно устройство, называемое иногда электрошпинделем. Скорости вращения этих двигателей $24\,000 \div 48\,000$ об/мин, а при малых диаметрах шлифовальных кругов доходят до $150\,000 \div 200\,000$ об/мин.

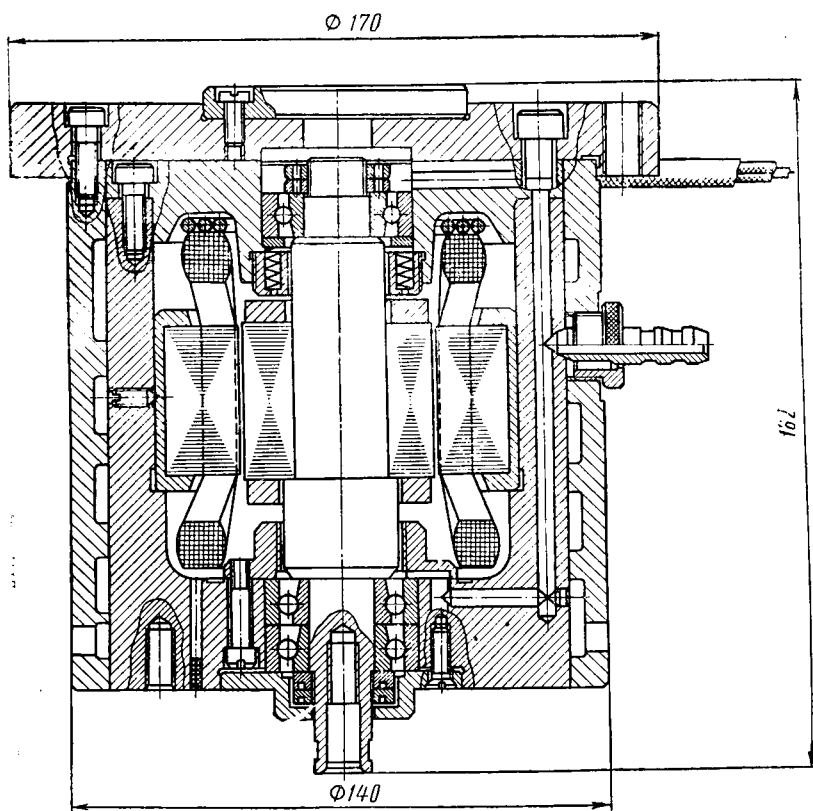


Рис. 10.1. Электрошпиндель

На статоре двигателя электрошпинделя, набранном из листовой электротехнической стали, расположена двухполюсная обмотка. При скоростях вращения до $48\,000$ об/мин ротор выполняется также из листовой стали с короткозамкнутой обмоткой. Для скоростей, превышающих $48\,000$ об/мин, в связи с увеличением потерь в стали статор снабжается рубашкой с охлаждением проточной водой. Ротор такого двигателя выполняется из массивного стального цилиндра.

Подача на шлифовальных станках (вращение обрабатываемого изделия, продольное и поперечное перемещения шлифовальной бабки) регулируется в пределах от $(6-8) : 1$ до $(25-30) : 1$ и выше. В качестве регулируемого привода для вращения изделия широко используются различные системы с двигателями переменного тока (короткозамкнутые асинхронные двух- и многоскоростные двигатели, привод с электромагнитной муфтой скольжения) и двигателями постоянного тока (система генератор — двигатель в различных модификациях, системы с тиристорными преобразователями и с магнитными усилителями). Для механизмов продольной подачи станков небольших и средних размеров часто применяются гидравлические системы.

Для вспомогательных механизмов (быстрое перемещение шлифовальной бабки, насосы смазки и охлаждения и др.) используются нерегулируемые короткозамкнутые двигатели.

В шлифовальных станках используется так называемый активный способ контроля размеров обрабатываемых изделий, заключающийся в непрерывном измерении размеров в процессе обработки и автоматической подаче соответствующих импульсов системе управления станком для получения необходимых форм и размеров изделия.

Особенностью электрооборудования плоскошлифовальных станков является применение в них электромагнитных столов, позволяющих быстро и просто обеспечить надежное закрепление обрабатываемых изделий.

§ 10.2. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОШПИНДЕЛЯМИ С ПОМОЩЬЮ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

Двигатели электрошпинделей питаются обычно от специальных генераторов повышенной частоты. Устройство синхронного индукционного генератора трехфазного тока повышенной частоты типа ГИС-1 показано на рис. 10.2. На его статоре, выполненном из листовой стали, имеются широкие и узкие пазы. В широких пазах помещается обмотка возбуждения генератора, присоединяемая к источнику постоянного тока. Магнитопровод ротора, набранного из листовой стали, имеет выступы, через которые замыкается магнитный поток, созданный обмоткой возбуждения. При вращении ротора магнитное поле ротора наводит э. д. с. в обмотке статора, размещенной в узких пазах. Частота тока в этой обмотке пропорциональна скорости вращения и числу выступов на нем. Электродвижущие силы, наводимые тем же потоком в катушках обмотки возбуждения, взаимно компенсируются благодаря встречному включению этих катушек. Генераторы такой конструкции изготавливаются мощностью от 1 до 6 кВт на частоты от 400 до 2000 гц при номинальной скорости вращения равной 3000 об/мин.

При различных по твердости и размерам обрабатываемых изделиях, а также вследствие износа шлифовального круга возникает необходимость в регулировании скорости вращения электрошпинделя, в среднем, примерно в диапазоне $(3 \div 6) : 1$ при $P_z = \text{const}$; для этого надо к статору его подводить изменяющиеся по определенному закону частоту и напряжение. С этой целью до последнего

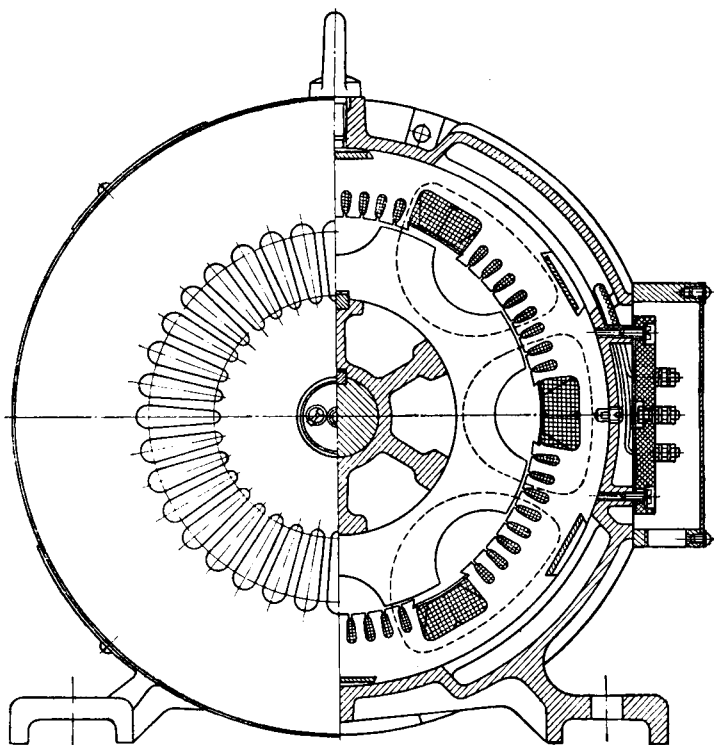


Рис. 10.2. Генератор трехфазного тока повышенной частоты

времени использовался ГИС, частота и напряжение на выходе которого изменяются за счет регулирования его скорости вращения. В этом случае преобразовательный агрегат состоит из регулируемого приводного двигателя, механически связанного с ГИС. Для плавного регулирования частоты обычно используется в качестве приводного двигателя машина постоянного тока, управляемая при помощи преобразовательного устройства.

Таким образом, машинный преобразователь частоты состоит из двух агрегатов: преобразователя переменного тока промышленной частоты в постоянный ток и машинного агрегата переменной скорости, состоящего из двигателя постоянного тока и ГИС.

В некоторых случаях для упрощения преобразователя вместо двигателя постоянного тока используются один или два четырех-скоростных асинхронных двигателя, механически связанных с ГИС. При этом осуществляется ступенчатое регулирование выходной частоты при переключении числа полюсов асинхронных двигателей.

Рассмотренный машинный преобразователь частоты отличается следующими недостатками: 1) значительная установленная мощность, превышающая 400% в случае использования машинного преобразователя переменного тока в постоянный; если этот преобразователь выполнен статическим, то общая установленная мощность преобразователя частоты превышает 300% (за 100% принимается мощность электрошпинделя); 2) невысокий к. п. д. в связи с двухкратным преобразованием энергии; 3) значительная инерционность, обусловленная тем, что изменение частоты достигается изменением скорости вращения ГИС; 4) высокий уровень шума; 5) относительно большие габариты; 6) невозможность подбора рационального закона регулирования напряжения и частоты.

Значительно лучшие показатели имеет статический преобразователь частоты, который может быть построен на тиристорах. Статические преобразователи на частоты $200 \div 2500$ гц могут быть выполнены и на электронных лампах и на транзисторах. Ламповые преобразователи ввиду громоздкости, малого срока службы и невысокого к. п. д. не нашли применения в станкостроении. Преобразователи на транзисторах из-за отсутствия мощных триодов могут быть выполнены на мощность привода до $300 \div 400$ вт.

Существуют три типа схем преобразователей частоты: а) с непосредственной связью; б) с промежуточным звеном повышенной частоты и в) с промежуточным звеном постоянного тока.

В преобразователях с непосредственной связью частота питающей сети (несущая частота) должна быть в несколько раз (до трех-четырех) выше частоты на выходе. Если ориентироваться на преобразователи для электрошпинделей с рабочей частотой до 2500 гц, то несущая частота должна составить $7,5 \div 10$ кгц; при таких частотах существующие тиристоры практически не могут быть использованы. Очевидно аналогичные условия возникают и в преобразователях с промежуточным звеном повышенной частоты.

Преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока состоит из полупроводникового выпрямителя и автономного инвертора, на вход которого подается регулируемое напряжение постоянного тока, а на выходе получают регулируемая частота и напряжение переменного тока в заданном диапазоне. Этот тип преобразователя частоты является наиболее рациональным для управления высокоскоростными асинхронными двигателями. Ввиду относительно малой мощности высокоскоростных электродвигателей ($0,3 \div 2$ кВт) целесообразно для упрощения схемы выпрямителя осуществлять питание преобразователя от двух фаз трехфазной сети. При этом сокращается количество управляемых и неуправ-

ляемых вентилях в схеме, а также существенно упрощается схема управления управляемым выпрямителем.

В Проблемной лаборатории электромеханики Московского энергетического института был разработан и изготовлен тиристорный преобразователь частоты для питания высокоскоростных асинхронных электродвигателей (электрошпинделей). Максимальная частота выходного напряжения $f_{\text{макс}} = 2500$ гц, что соответствует синхронной скорости вращения $n_0 = 150\,000$ об/мин двухполюсного электрошпинделя. Номинальная выходная мощность преобразователя 3 ква. Максимальное выходное напряжение, соответствующее максимальной частоте, $U_{\text{макс}} = 220/127$ в. Диапазон регулирования скорости $D = 3 : 1$ ($n_0 = 48\,000 \div 150\,000$ об/мин).

Блок-схема преобразователя приведена на рис. 10.3. Преобразователь содержит три основных элемента: силовую часть, схему управления инвертором и выпрямителем, релейно-контакторную схему управления и защиты.

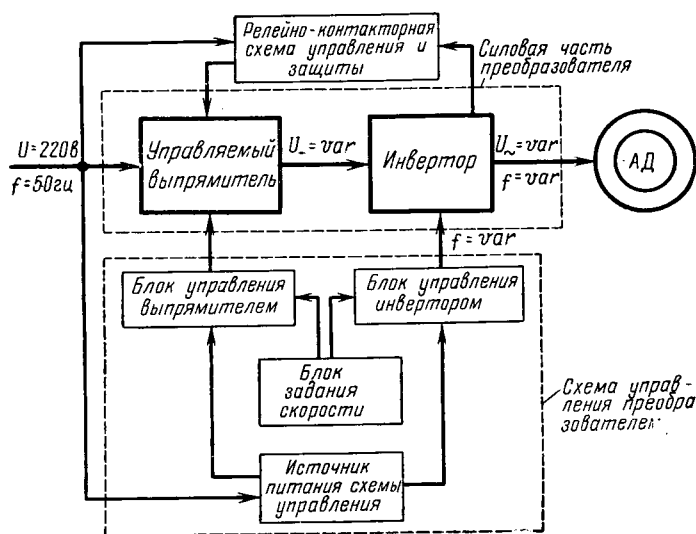


Рис. 10.3. Блок-схема статического преобразователя частоты

Силовая часть (рис. 10.4) состоит из управляемого выпрямителя и инвертора.

Силовой управляемый выпрямитель выполнен по схеме двухполупериодного однофазного моста с LC-фильтром. Напряжение на выходе выпрямителя регулируется изменением угла открывания тиристоров 7УВ и 8УВ. При малом диапазоне регулирования скорости вращения двигателя и постоянной мощности нагрузки возможно использование нерегулируемого выпрямителя.

Инвертор состоит из шести тиристоров (1УВ÷6УВ), шести неуправляемых вентилях, включенных последовательно с тиристора-

ми, $(1Д \div 6Д)$, отделяющих коммутирующие конденсаторы от нагрузки (что позволяет существенно снизить емкость конденсаторов в сравнении с емкостью конденсаторов в обычном параллельном инверторе), шести неуправляемых вентилей, включенных по трехфазной мостовой схеме, $(10Д \div 15Д)$, образующих мост обратного тока, шести конденсаторов C -и шести катушек индуктивности L , образующих цепи гашения тиристоров, и выходного трехфазного автотрансформатора $1Tr$. Нагрузкой инвертора является асинхронный электродвигатель $АД$.

Особенностью данной схемы инвертора является способ коммутации тиристоров. Гашение открытого тиристора обеспечивается обратным током при колебательном перезаряде конденсаторов C , а время, предоставляемое на восстановление его запирающих свойств, равно времени перезаряда этого конденсатора (с момента закрывания тиристора).

Перенос коммутирующей индуктивности из цепи силового тока и осуществление полного колебательного перезаряда коммутирующего конденсатора за время коммутации обусловили по сравнению с инвертором с ограниченными коммутирующими конденсаторами следующие преимущества:

а) энергия, запасенная в коммутирующем дросселе к концу коммутации, равна нулю; в инверторе с ограниченными коммутирующими конденсаторами эта энергия к концу коммутации достигает максимального значения, а в интервалах между коммутациями рассеивается практически в короткозамкнутом контуре, что приводит с ростом частоты к увеличению паразитного тока, коммутируемого тиристорами инвертора, и увеличению потерь в инверторе;

б) коммутирующие дроссе-

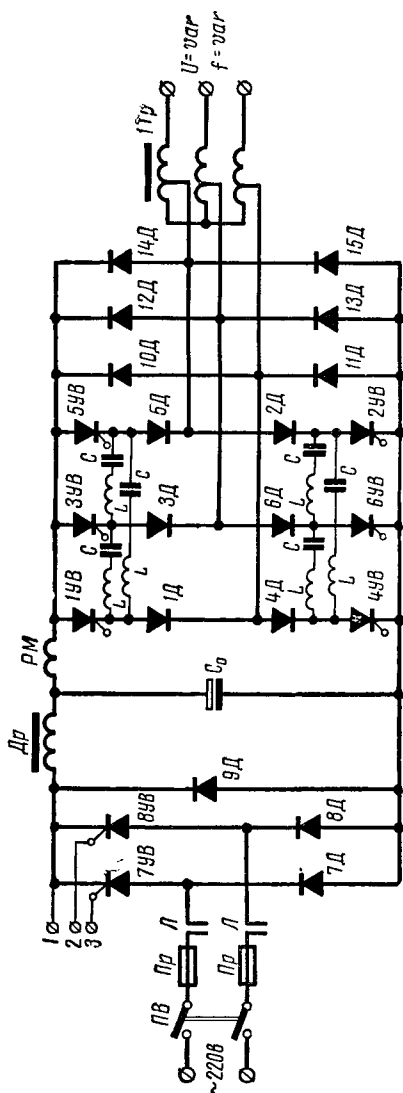


Рис. 10.4. Схема силовой части преобразователя

ли рассчитываются лишь на ток коммутации, что дает сильное уменьшение их веса и габаритов;

в) для коммутации тириستоров из сети потребляется мощность, покрывающая лишь потери при колебательном перезаряде коммутирующих конденсаторов. Преимущества этой схемы инвертора особенно сильно сказываются при повышенной частоте.

Выходной трансформатор служит для повышения выходного напряжения инвертора до номинального напряжения электродвигателя. Напряжение на выходе преобразователя регулируется изменением напряжения на входе инвертора, а регулирование частоты — изменением частоты управляющих импульсов, подаваемых на тиристоры от схемы управления инвертором.

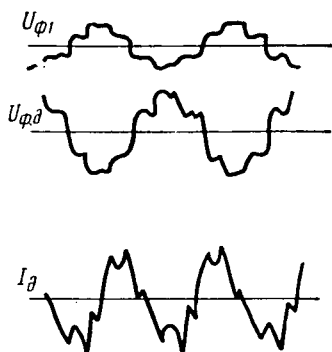


Рис. 10.5. Осциллограмма напряжений и тока при $f = 1000$ гц:

$U_{\phi 1}$ — фазное напряжение на первичной обмотке выходного автотрансформатора; $U_{\phi д}$ — фазное напряжение двигателя; I_{θ} — линейный ток двигателя

Схема управления преобразователем содержит схему управления выпрямителем, схему управления инвертором, источник питания схемы управления и блок задания скорости.

Форма напряжения на первичной обмотке выходного автотрансформатора преобразователя частоты, фазное напряжение электрошпинделя и его линейный ток, например при частоте $f = 1000$ гц, показаны на осциллограмме рис. 10.5.

Несмотря на то что форма напряжения питания электрошпинделя несинусоидальная, она не содержит гармоник, кратных трем, поэтому влияние несинусоидальности напряжения практически мало сказывается на работе электрошпинделя и его основных показателях.

Проведенные исследования показали, что преобразователь частоты на тиристорах: обеспечивает плавное регулирование скорости вращения высокоскоростных электродвигателей (до $n_0 = 150\,000$ об/мин); в зависимости от характера нагрузки на двигателе может обеспечить любой закон регулирования частоты и напряжения; обладает высокими энергетическими показателями; прост в управлении, бесшумен, имеет сравнительно малые габариты.

В рассмотренном преобразователе частоты может быть легко реализовано динамическое торможение.

§ 10.3. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КРУПНЫХ КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Электропривод и схемы управления небольших круглошлифовальных станков весьма просты и здесь не рассматриваются. Наи-

большой интерес представляют схемы управления крупных круглошлифовальных станков, где система электрического управления сочетается с гидравлической. Примером может служить крупный круглошлифовальный станок модели 3174, общий вид которого приведен на рис. 10.6. Наибольшая длина обрабатываемой детали достигает 5000 мм, максимальный диаметр обработки 800 мм, наибольший диаметр шлифовального круга — 900 мм.

Как видно из кинематической и гидравлической схем (рис. 10.7), станок состоит из следующих простых приводов, механически между собой не связанных:

привод шлифовального круга осуществляется через клиноременную передачу от нерегулируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя 1Д мощностью 20 кВт, $n_n = 980$ об/мин. Увеличение скорости вращения шпинделя при износе шлифовального круга производится сменой шкива, в результате чего восстанавливается первоначальная окружная скорость круга;

привод вращения изделия, устанавливаемого в центрах, выполняется от двигателя постоянного тока 2Д мощностью 9 кВт (регулируемого в пределах от 1500 до 150 об/мин по системе генератор — двигатель) через три пары клиноременных передач;

привод подачи стола осуществляется от двигателя постоянного тока 3Д мощностью 1,6 кВт, регулируемого по системе генератор — двигатель в пределах от 1000 до 40 об/мин, что обеспечивает перемещение стола со скоростью от 2,5 до 0,1 м/мин. Перемещение стола от руки производится вращением маховика 20 через систему передач;

привод поперечной подачи шлифовального круга осуществляется как вручную, так и при помощи гидравлического устройства, управляемого электромагнитами при автоматическом ре-

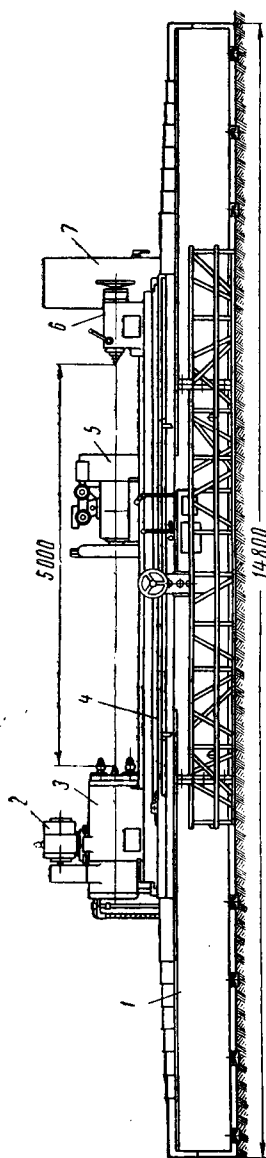


Рис. 10.6. Общий вид круглошлифовального станка:

1 — станна; 2 — двигатель вращения изделия; 3 — передняя бабка; 4 — стол; 5 — шлифовальная бабка; 6 — задняя бабка; 7 — шкаф управления

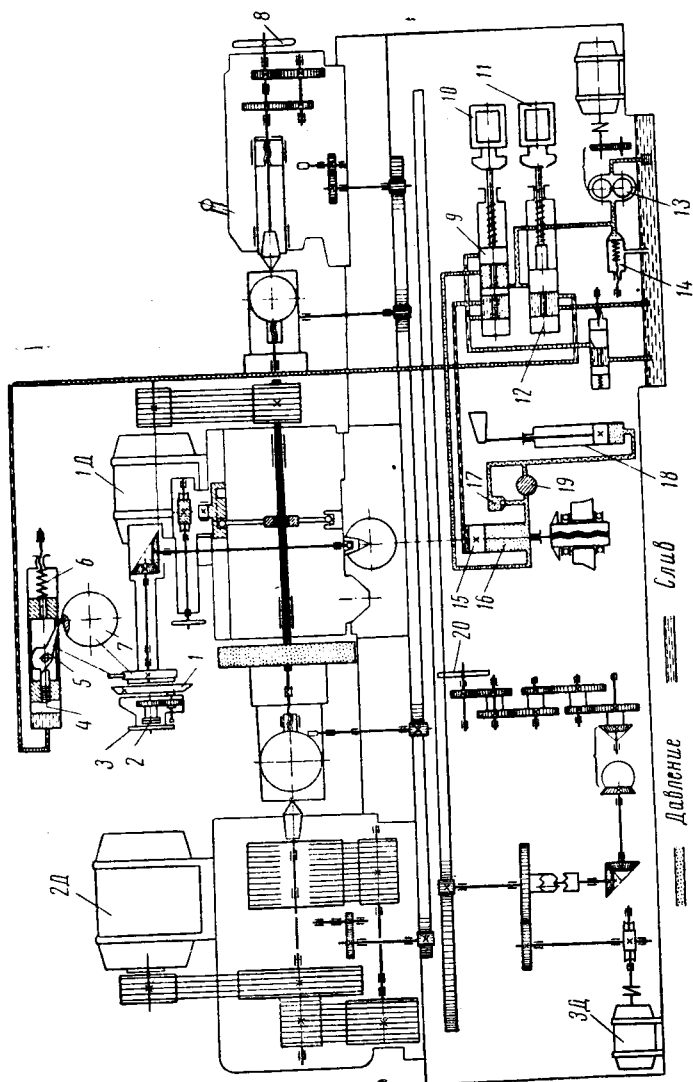


Рис. 10.7. Кинематическая и гидравлическая схемы круглошлифовального станка

жиме. Подача вручную производится вращением маховичка 3, от которого через конические шестерни движение передается винту, связанному со шлифовальной бабкой. Для компенсации износа шлифовального круга служит рукоятка 2, связанная с лимбом 1 через передачу.

Автоматическая подача шлифовального круга выполняется за счет перемещения плунжера 4, воздействующего через собачку 5 на храповое колесо 7, поворачивающее вал поперечной подачи. Подача масла под плунжер 4 производится в момент реверса стола, когда включается электромагнит 11, и золотник 12, перемещаясь вправо, соединяет полость под плунжером 4 с полостью давления посредством трубопровода. В положении, показанном на схеме, электромагнит 11 отключен и масло из полости плунжера под действием пружины 6 вытесняется в резервуар.

Схемой управления предусмотрена возможность включения электромагнита от дополнительной кнопки, что позволяет произвести подачу шлифовального круга не только автоматически в момент реверса стола, но и в другом случае, по мере надобности. На станке при соответствующем положении переключателя в системе управления могут быть получены подачи на каждый ход, на двойной ход, или вовсе выключены.

С целью проведения наладочных операций предусмотрены ускоренный подвод и отвод шлифовальной бабки, производимые при помощи гидравлического привода. Масло от шестеренчатого насоса 13 через правую выточку золотника 9 по трубопроводу поступает в нижнюю полость цилиндра 16 и тормозного цилиндра 18. Шлифовальная бабка оказывается отведенной в крайнее положение, если положение золотника 9 соответствует положению, изображенному на рис. 10.7. Для ускоренного подвода шлифовальной бабки золотник 9 при помощи электромагнита 10 переводится вправо; при этом масло под давлением попадает в верхнюю полость цилиндра 16 и перемещает плунжер 15 вниз. Для регулирования скорости перемещения шлифовальной бабки служит дроссель 19, регулирующий выход масла из нерабочей полости цилиндра. При движении бабки масло из тормозного цилиндра 18 вытесняется через дроссель 19, так как под давлением масла шарик 17 закрывает свободный выход в резервуар. Разгрузочный клапан 14 предохраняет гидросистему от перегрузки. При повышении давления сверх нормального избыточное масло через разгрузочный клапан выпускается в резервуар. Перемещение задней бабки производится от руки маховичком 8.

Все вспомогательные механизмы станка (насосы охлаждающей жидкости и подачи масла, гидронасос и приспособления для шлифовки центров) оборудованы короткозамкнутыми асинхронными двигателями, схемы управления которыми просты. Аппаратура управления, как и электромагниты, управляющие гидросистемой, питаются от сети переменного тока через понизительный трансформатор напряжением 380/127 в.

Более сложной является схема управления двигателем подачи стола (рис. 10.8). Регулирование скорости вращения двигателя подачи стола производится изменением напряжения генератора, в качестве которого используется электромашинный усилитель поперечного поля ЭМУ. Регулирование скорости двигателя от 40 до 150 об/мин осуществляется при помощи регулятора 1РС в цепи задающей обмотки ОУ1, а от 150 до 1000 об/мин — при помощи регулятора 2РС в цепи обмотки обратной связи по скорости ОУ3. Оба регулятора выполнены конструктивно в одном корпусе и действуют в указанной выше последовательности от одной общей рукоятки.

Работа схемы в автоматическом цикле протекает следующим образом. После нажатия, например, кнопки «Пуск вправо» включаются контакторы Л, Э, В и блокировочный контактор Б. При этом якорь двигателя присоединяется к генератору, а задающая обмотка — к напряжению сети, в результате чего двигатель начинает разгоняться. Так как намагничивающая сила задающей обмотки значительно больше номинальной, то пуск двигателя производится со значительной форсировкой. Для ограничения тока в якорной цепи при пуске служит токоограничивающая обмотка ОУ4.

По мере разгона двигателя постепенно усиливается действие обмотки ОУ3, включенной встречно задающей обмотке, и при установившемся значении скорости, обусловленной положением рукоятки комбинированного регулятора (1РС—2РС), ток в якорной цепи двигателя окажется соответствующим моменту статического сопротивления. Для обеспечения устойчивой работы привода в переходных режимах включена через стабилизирующий трансформатор обмотка ОУ2.

По условиям работы при реверсировании стола предусмотрено торможение с высокой точностью остановки (около 0,3 мм). С этой целью перед окончанием хода вправо нажимается конечный выключатель 1ВК-В (или при движении влево — 1ВК-Н). При отключении размыкающего контакта 1ВК-В отключается контактор ЛС и закорачивается часть сопротивления регулятора 2РС в цепи обмотки ОУ3 и одновременно вводится все сопротивление регулятора 1РС в цепи задающей обмотки ОУ1 — происходит рекуперативное торможение. По истечении времени срабатывания реле 6РВ замыкается его размыкающий контакт, закорачивающий еще часть сопротивления регулятора 2РС. В этом случае результирующая намагничивающая сила ЭМУ будет соответствовать требуемой номинальной скорости привода. Последующее движение стола в том же направлении приведет к воздействию упора на конечный выключатель 2ВК-В, его размыкающий контакт разомкнется и выключит контакторы Л и В; замыкание же замыкающего контакта 2ВК-В дает включение при помощи промежуточного реле 3РП контактора ТВ, своим контактом закорачивающего сопротивление СТ для

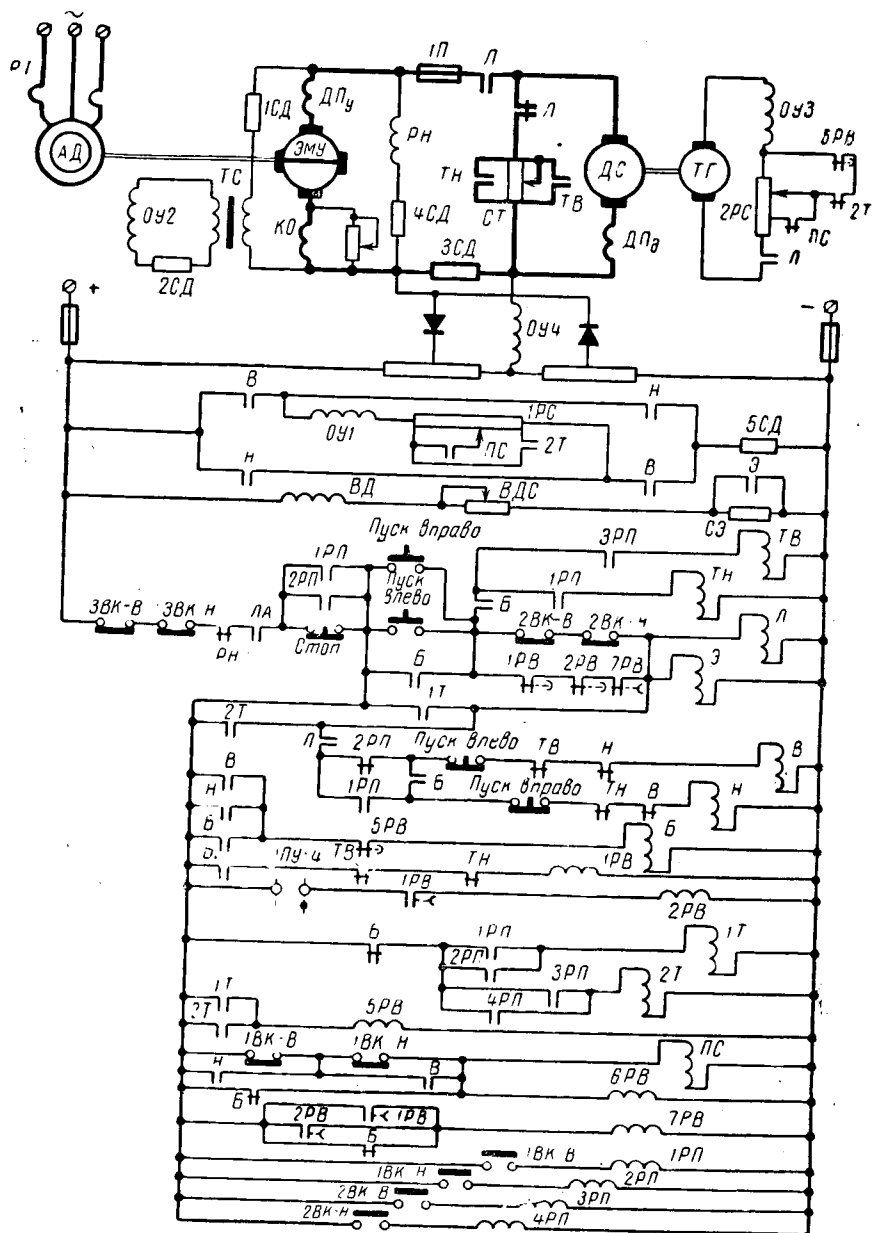


Рис. 10.8. Схема электропривода подачи стола

обеспечения высокой точности остановки за счет более интенсивного динамического торможения.

Перед реверсированием стол в течение некоторого времени находится в неподвижном состоянии. Длительность стоянки стола регулируется в пределах от 2 до 8 сек при помощи переключателя *ИПУ*. Если контакты *ИПУ-4* замкнуты, то после включения контактора точной остановки *ТВ* теряет питание реле времени *IPB*, которое с выдержкой времени разомкнет цепь катушки реле *2PB* и соответственно подготовит цепь включения контактора *Л*. Длительность стоянки стола в данном случае определяется суммарной выдержкой времени реле *IPB* и *2PB*. В том случае, когда контакты *ИПУ-4* разомкнуты, длительность стоянки определится только выдержкой времени реле *IPB*. При замыкании размыкающих контактов *IPB* и *2PB* включится контактор *Л* и вслед за ним контактор *Н*, переключающий полярность напряжения на задающей обмотке *ОВ1*, чем обеспечивается обратное движение стола (влево). Разгон двигателя в противоположном направлении протекает так же, как это было описано ранее.

Схемой управления предусмотрен режим наладочного перемещения стола вправо и влево, осуществляемый при помощи командоаппарата, состоящего из четырех конечных выключателей *1BK-B*, *2BK-B*, *1BK-H* и *2BK-H*. Эти выключатели в рабочем режиме служат для предварительного замедления и остановки стола, а после воздействия на кнопку «Стоп» — для наладочного режима. Установка, например, рукоятки командоаппарата в положение для перемещения вправо приводит к замыканию замыкающего контакта *1BK-B* и размыканию размыкающего контакта *1BK-B* (см. диаграмму переключений командоаппарата управления наладочным перемещением стола — табл. 10.1).

Таблица 10.1

Контакты		Положение влево		0	Положение вправо	
		Скорость, установленная регулятором	Максимальная скорость		Скорость, установленная регулятором	Максимальная скорость
<i>1BK-B</i>	Зам.	—	—	—	×	×
	разм.	×	×	×	—	—
<i>1BK-H</i>	Зам.	×	×	—	—	—
	разм.	—	—	×	×	×
<i>2BK-B</i>	Зам.	—	—	—	—	×
	разм.	×	×	×	×	—
<i>2BK-H</i>	Зам.	—	×	—	—	—
	разм.	×	—	×	×	×

При этом включаются промежуточное реле *IPП* и контактор *IT*, который своим замыкающим контактом включает контакторы *Л*, *Э* и *В* — двигатель перемещения стола разгоняется. Если повернуть рукоятку командоаппарата в исходное (нулевое) положение, реле

1РП потеряет питание, контакторы *Л* и *В* включатся, двигатель отключится от *ЭМУ* и затормозится в режиме динамического торможения. При установке рукоятки командоаппарата во второе положение вправо, кроме переключения контактов *1ВК-В* и срабатывания *1Т*, происходит еще замыкание замыкающего контакта *2ВК-В*, в результате чего срабатывает реле *3РП* и включается контактор *2Т*, контактом которого шунтируется сопротивление регулятора *1РС* и полностью вводится сопротивление регулятора *2РС* в цепи обмотки *ОУЗ*. Следовательно, в данном случае скорость двигателя к концу разгона его оказывается наибольшей и не зависящей от положения рукояток регуляторов *1РС* и *2РС*. Торможение двигателя с максимальной скорости производится так же, как и в предыдущем случае.

Схемой предусмотрена блокировка, исключающая возможность ручного управления (командоаппаратом), когда выполняется автоматический режим работы. Она выполняется размыкающим контактом *Б* в цепи катушек контакторов *1Т* и *2Т*. В наладочном режиме включено реле времени *5РВ*, которое своим размыкающим контактом отключает цепь контактора *Б*. Перемещение стола ограничено вправо и влево заданными пределами, контролируемые конечными выключателями *3ВК-В* и *3ВК-Н*.

Защита от чрезмерного повышения напряжения на зажимах *ЭМУ*, которое может произойти при обрыве цепи обмотки *ОУЗ*, а также при перегорании предохранителя, осуществляется посредством реле напряжения *РН*, при срабатывании которого происходит отключение двигателя подачи стола и автоматический отвод шлифовальной бабки.

Полной схемой электрооборудования станка предусмотрены три вида автоматической подачи шлифовальной бабки: 1) при реверсировании стола с хода вправо на ход влево; 2) при реверсировании стола с хода влево на ход вправо; 3) при обоих реверсах стола. Выбор того или иного вида подачи производится при настройке станка соответствующим избирательным переключателем.

Используемые в тяжелых шлифовальных станках нерегулируемый привод переменного тока для вращения шлифовального круга и регулируемые электроприводы по системе генератор — двигатель для механизмов подачи предусмотрено заменить приводами постоянного тока с тиристорными преобразователями. Например, для тяжелых вальцешлифовальных станков, на которых обрабатываются валки диаметром до 2 м при длине 12 м, ВНИИэлектроаппаратом разработаны системы регулируемых электроприводов постоянного тока по системе тиристорный преобразователь — двигатель для вращения шлифовального круга, вращения обрабатываемого изделия и перемещения каретки. Диапазон регулирования скорости вращения электропривода круга принят $D=4:1$, электропривода изделия $D=16:1$ и каретки $D=125:1$.

Принципиальная упрощенная схема управления двигателем шлифовального круга показана на рис. 10.9. Регулирование

скорости вращения его производится в диапазоне 2:1 вверх от основной скорости изменением тока возбуждения, для чего используется тиристорный преобразователь ПВ в цепи возбуждения дви-

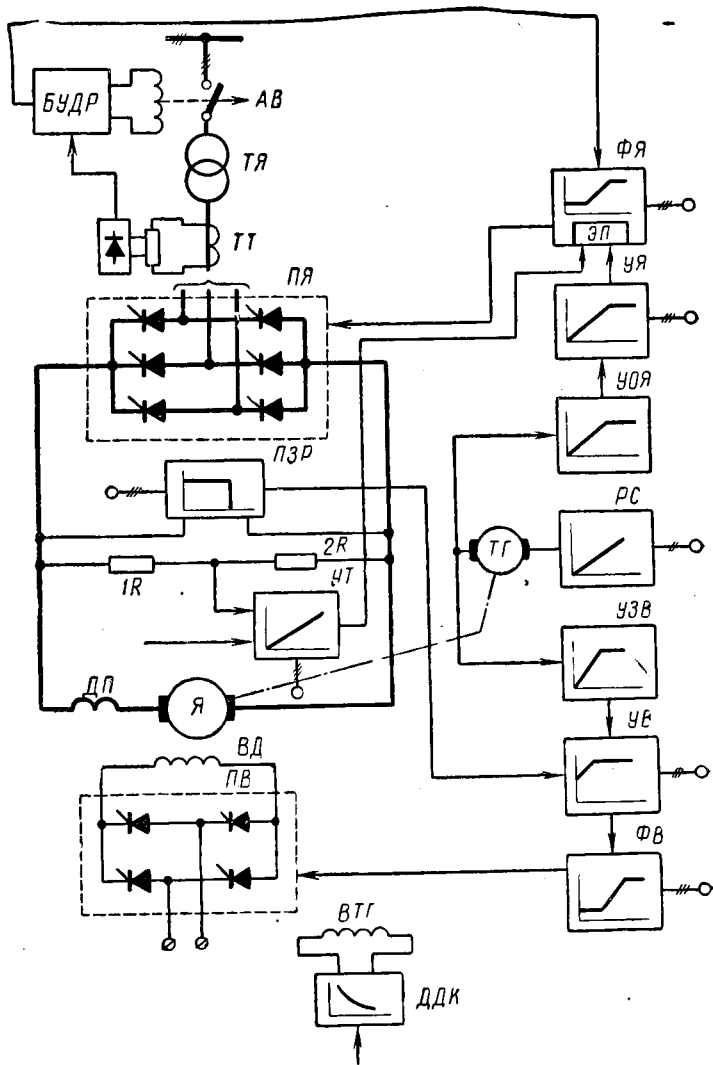


Рис. 10.9. Схема главного привода тяжелого шлифовального станка

гателя ВД. Регулирование скорости вниз от основной осуществляется в диапазоне 2:1 изменением выпрямленного напряжения преобразователем ПЯ.

Фазорегуляторы $\Phi Я$ и $\Phi В$ формируют управляющие импульсы;

фаза управляющих импульсов зависит от величины управляющего напряжения, поданного на вход фазорегулятора. Источником управляющего напряжения служит промежуточный усилитель УЯ. Для согласования сопротивления выхода УЯ с входом ФЯ используется эмиттерный повторитель ЭП, встроенный в фазорегулятор ФЯ. Фазорегулятор, управляющий преобразователем ПВ, выполнен без эмиттерного повторителя.

Поддержание с высокой точностью заданной скорости вращения осуществляется введением в схему управления отрицательной обратной связи по скорости. Уставка скорости вращения задается вручную бесконтактным регулятором (бесконтактным сельсином). Разность этого сигнала и сигнала обратной связи (управляющий сигнал) подается на промежуточный магнитный усилитель УЯ через ограничитель управляющего сигнала УОЯ, выполненной с помощью стабилитронов. В данной схеме выполняется и ограничение зоны регулирования скорости вращения изменением напряжения на якоре двигателя.

Пуск двигателя до основной скорости производится при номинальном магнитном потоке. Выполнение этого условия контролируется узлом переключения зон регулирования ПЗР, сигнал на выходе которого определяется разностью эталонного напряжения и напряжения на якоре двигателя. Сигнал с выхода ПЗР подается на обмотку магнитного усилителя УВ. Так как эту обмотку шунтирует стабилитрон, то намагничивающая сила ее остается неизменной и определяет номинальный поток двигателя до некоторого напряжения, близкого к номинальному.

Увеличение скорости вращения двигателя выше основной осуществляется за счет роста намагничивающей силы задающей обмотки усилителя УВ, определяемой уставкой РС.

Ограничение тока якорной цепи двигателя выполняется узлом упреждающего токоограничения УТ, сигнал которого параллельно основному управляющему напряжению поступает на вход ЭП фазорегулятора; при этом угол открытия тиристорov оказывается соответствующим необходимому среднему выпрямленному напряжению

$$U_{отс} = E + I_{отс} R, \quad (10.1)$$

где E — э. д. с. двигателя, $I_{отс}$ — ток отсечки и R — сопротивление якорной цепи.

С этой целью на вход фазорегулятора вводится напряжение токоограничения

$$U_{у.т.о} = U_I - U_E, \quad (10.2)$$

где $U_I = U_0 - \Delta U$ — составляющая напряжения управления, пропорциональная току; U_0 — напряжение, равное управляющему напряжению при $I_{отс} = 0$; $\Delta U = k_{т.о} I_{отс} R$ — составляющая напряжения управления, пропорциональная падению напряжения в якорной це-

пи от тока отсечки; $U_E = k_{т.о} E$ — составляющая напряжения управления, пропорциональная э. д. с. двигателя.

При $U_{у.т.о} > U_I$ напряжение входа фазорегулятора ограничивается

$$U_{у.т.о} = U_0 - k_{т.о} (E + I_{отс} R). \quad (10.3)$$

В схеме на вход узла токоограничения УТ подается U_E с тахометрического моста (образованного $1R, 2R$, обмоткой дополнительных полюсов ДП и обмоткой якоря Я) и U_I от независимого источника выпрямленного напряжения. При срабатывании узла токоограничения размыкается, кроме того, цепь обратной связи по скорости.

Особенностью упреждающего токоограничения, в сравнении с рассмотренным выше узлом токовой «отсечки», является невозможность превышения тока сверх заданного значения.

Для обеспечения в электроприводе требуемых динамических свойств вводится на обмотку управления магнитного усилителя ФЯ сигнал гибкой обратной связью по напряжению (на рис. 10.9 корректирующие цепи не показаны).

С помощью датчика ДДК предусмотрена возможность автоматического поддержания постоянства скорости шлифования при изменении диаметра шлифовального круга. Последнее достигается за счет необходимого регулирования напряжения обратной связи по скорости. Для этого обмотка возбуждения ВТГ тахогенератора питается от выпрямленного напряжения датчика ДДК, величина которого зависит от угла поворота бесконтактного сельсина. Поворот ротора сельсина в зависимости от диаметра шлифовального круга приводит к уменьшению тока возбуждения тахогенератора, и, следовательно, к возрастанию скорости двигателя.

Профиль кулачка механизма, воздействующего на поворот ротора сельсина, должен быть подобран в соответствии с необходимостью поддержания постоянства скорости шлифования. Для электропривода шлифовального круга, отличающегося сравнительно небольшим диапазоном, высокая точность поддержания скорости обусловлена недопустимостью превышения линейной скорости.

Защита силовой части электропривода от чрезмерных токов осуществляется автоматом АВ с максимальными и дистанционными расцепителями.

Входным сигналом блока управления дистанционным расцепителем (БУДР) является напряжение, снимаемое со вторичной обмотки трансформатора тока ТТ. Аналогична схема управления двигателем вращения изделия; так же, как и в электроприводе шлифовального круга, здесь предусмотрено неререверсивное управление с двухзонным регулированием скорости вращения.

Электродвигатель каретки управляется также тиристорным преобразователем, включенным по мостовой схеме; схема управления преобразователем такая же, как и описанная ранее, однако не-

сколько проще, так как используется только однозонное регулирование скорости вращения двигателя. Реверсирование двигателя производится контакторами в якорной цепи. Торможение всех электроприводов постоянного тока динамическое.

§ 10.4. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Плоскошлифовальные станки по своему конструктивному выполнению делятся на станки с прямоугольным столом и станки с круглым столом.

Изделия, обрабатываемые на станках с прямоугольным столом, совершают возвратно-поступательное движение, а в случае обработки деталей на круглых столах, последним сообщается вращательное движение. В обоих случаях в зависимости от конструктивного исполнения того или иного станка обработка может производиться как периферией, так и торцевой частью шлифовального круга.

Главные приводы плоскошлифовальных станков обычно выполняются от короткозамкнутых нерегулируемых асинхронных двигателей. Двигатель вместе со шлифовальным кругом, образуя шлифовальную бабку, может совершать поступательное перемещение для обеспечения подачи в процессе обработки. Пример конструктивного выполнения вертикальной шлифовальной бабки плоскошлифовального станка приведен на рис. 10.10. Ротор 8 двигателя закреплен четырьмя шпонками на шпинделе 3, являющемся одновременным валом двигателя. Для устранения продольного люфта шпинделя в верхней его части установлены амортизационные пружины, затягиваемые гайкой 5. Для предохранения обмотки двигателя от повреждения служит крышка 4. Шлифовальный круг 1 закрепляется в специальном кольце 2, которое крепится к фланцу 7, установленному на шпиндельной бабке. Такое объединение двигателя с рабочим органом станка позволяет создать весьма компактную конструкцию шпиндельной бабки. Вертикальная подача шпиндельной бабки осуществляется при вращении винта 6.

Рабочая подача шлифовального круга в станках с прямоугольным столом совершается периодически, за один ход (или один двойной ход) стола или за один оборот стола, если станок с круглым столом. Подача шлифовального круга на плоскошлифовальных станках производится обычно при помощи механического или гидравлического устройства.

Приводы поступательного или вращательного движения стола должны быть регулируемы. В станках небольших размеров диапазон регулирования достигает $(8 \div 10) : 1$ в станках больших размеров диапазон регулирования подачи стола увеличивается. В качестве регулируемого привода для подачи или вращения стола

используются различные системы электроприводов, аналогичные тем, которые были описаны в гл. IV.

К вспомогательным приводам плоскошлифовальных станков относятся: 1) привод быстрого перемещения шлифовальной бабки; 2) привод установочного перемещения стола; 3) приводы насосов охлаждающей жидкости и смазки. Упомянутые вспомогательные механизмы приводятся в действие от самостоятельных короткозамкнутых двигателей.

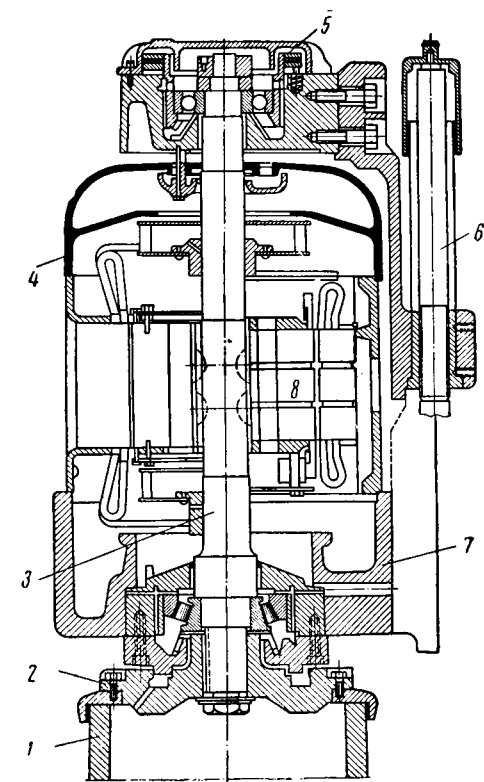


Рис. 10.10. Шлифовальная бабка плоскошлифовального станка

Характерной особенностью плоскошлифовальных станков, как отмечалось, является использование в них электромагнитных плит или столов. На рис. 10.11 схематически показано устройство электромагнитной плиты для плоскошлифовального станка с прямоугольным столом. Внутри стальной коробчатой конструкции 1 расположены сердечники 2, на которые наложены катушки 6, обтекаемые постоянным током. Сверху закрепляется стальная плита 3, в которой располагаются поперек немагнитные (например, латунные) прокладки 5. На наружной поверхности стола, с захватом зоны 4, помещаются обрабатываемые изделия 7, которые надежно притягиваются к зеркалу стола,

если по катушкам протекает ток. Закрепление детали произойдет только в том случае, если она будет перекрывать немагнитную прокладку.

Кроме электромагнитных плит, для небольших станков используются плиты с постоянными магнитами, обладающие тем преимуществом в сравнении с электромагнитными, что у них не может быть срыва обрабатываемых деталей при перерыве электрического питания, и не требующие источника энергии.

Конструкция плиты с постоянными магнитами показана схематически на рис. 10.12. Во внутренней части плиты набран пакет, состоящий из постоянных магнитов 1, между которыми расположе-

ны пластины из мягкой стали 2, отделенные от магнитов прокладками из немагнитного материала 3. Пакет, стянутый болтами 4, опирается на внутреннюю поверхность основания 5 плиты. Верхняя крышка 6 плиты выполнена из мягкой стали и имеет немагнитные прокладки 9 над полюсами. Корпус магнитной плиты 7 выполнен из алюминиевого сплава. Обрабатываемое изделие 8 из ферромагнитного материала, положенное на зеркало плиты, закрепляется, так как магнитные силовые линии пронизывают его, как показано

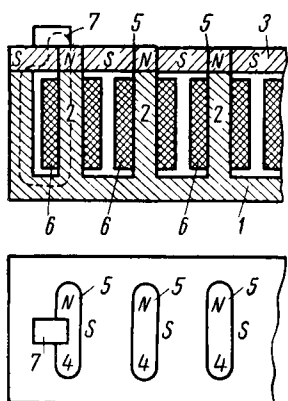


Рис. 10.11. Электромагнитная плита плоскошлифовального станка с прямоугольным столом

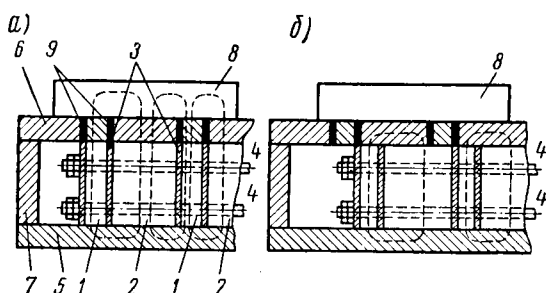


Рис. 10.12. Конструкция плиты с постоянными магнитами

на рис. 10.12, а. Для съема изделия необходимо сместить пакет с магнитами в положение, показанное на рис. 10.12, б. При этом магнитный поток замыкается через тело верхней крышки плиты помимо изделия. Недостатком плит с постоянными магнитами являются значительно меньшие усилия притяжения, чем у электромагнитных плит.

Наряду с электромагнитными плитами, предназначенными для плоскошлифовальных станков с прямоугольным столом, часто применяются вращающиеся электромагнитные столы. Их конструкция зависит от способа загрузки и выгрузки применяемых изделий. При периодической загрузке и выгрузке применяется электромагнитный стол, общий вид которого показан на рис. 10.13, а. В нижней части стола, выполненного из мягкой стали, сделано несколько (пять-шесть) концентрически расположенных глубоких выточек, в которые закладываются катушки 1, соединенные между собой последовательно и получающие питание через контактные кольца от источника постоянного тока. Нижняя часть стола закрывается стальной крышкой 2. В верхней части стола сделаны по окружности тонкие выточки, заполненные немагнитным материалом 3. При

протекании тока по катушкам и отсутствии обрабатываемых изделий на зеркале стола силовые линии магнитного потока в основном замыкаются через тело стола, причем высота немагнитных прокладок подбирается так, чтобы верхняя часть магнитопровода между прокладками и катушками была насыщена (магнитные линии показаны условно только от двух катушек). Если положить на стол

обрабатываемое изделие 4 из ферромагнитного материала, то значительная часть магнитного потока будет замыкаться через толщу изделия, тем самым обеспечивая надежное его закрепление.

Принцип работы плоскошлифовальных станков с круглым столом описанной конструкции состоит в следующем. Обрабатываемые изделия укладываются на круглый магнитный стол *A* (рис. 10.13, *б*), где они удерживаются силой магнитного притяжения; затем стол подводится под вращающийся шлифовальный круг *Б*, имеющий автоматическую вертикаль-

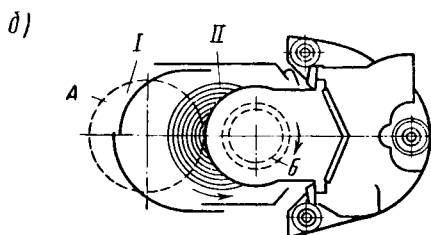
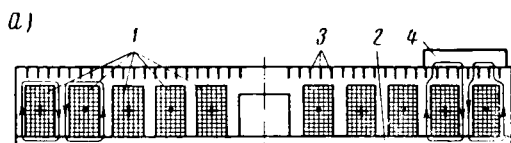


Рис. 10.13. Электромагнитный стол для круглошлифовального станка с периодической загрузкой деталей:

а — стол; *б* — схема взаимного расположения стола; *I* — при установке и снятии изделий; *II* — при шлифовании

ную подачу в направлении стола. После этого начинается шлифование, продолжающееся до тех пор, пока изделия не примут необходимых размеров. Размеры обрабатываемых изделий контролируются автоматически на ходу при помощи специальных электроиниметров. Укладывание изделий и их снятие производятся вручную. Для снятия обработанных изделий необходимо предварительно на короткое время изменить направление тока в катушках электромагнитного стола, затем отключить их от источника питания, замкнув на разрядное сопротивление. После указанных переключений изделия могут быть легко сняты со стола.

В условиях массового производства с целью автоматизации подачи и выхода изделий с электромагнитного стола используются плоскошлифовальные станки, схема работы которых поясняется рис. 10.14, *а*. Здесь подача изделий к столу, расположенному под шлифовальным кругом, производится при помощи вспомогательной вращающейся плиты *В*, на которую укладываются изделия. Эти изделия *К*, как показано на схеме, автоматически продвигаются на электромагнитный стол *A* и проходят под шлифовальным кругом *Б*.

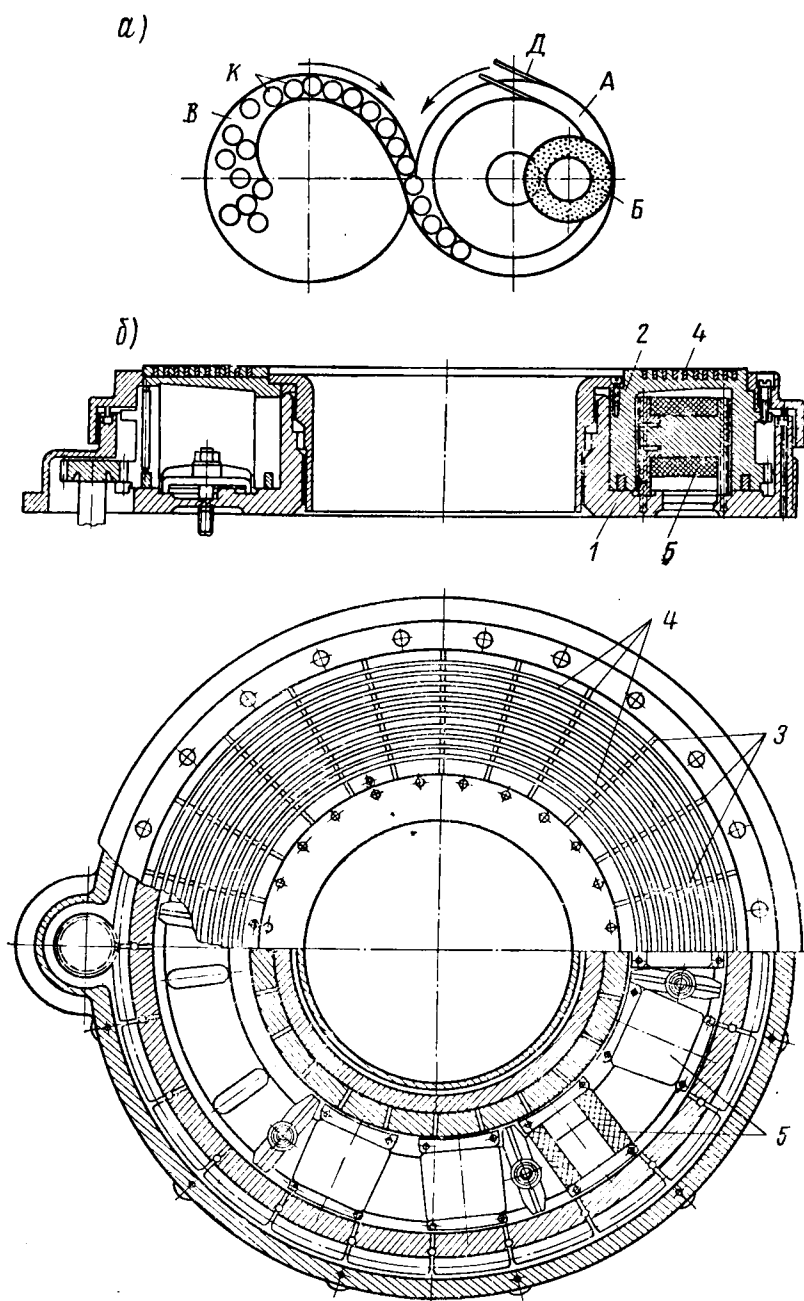


Рис. 10.14. Электромагнитный стол для станков с непрерывной подачей изделий:

а — схема работы станка с непрерывной подачей изделий; *б* — конструкция стола

Электромагнитный стол станков с непрерывной подачей показан на рис. 10.14, б. В нижней неподвижной направляющей чашке 1 установлены неподвижно семь электромагнитов 5; шесть из них расположены в зоне шлифования для удерживания шлифуемых изделий в месте, где происходит шлифование. После обработки изделия проходят над седьмой катушкой, создающей магнитный поток противоположного направления. Этим достигается размагничивание изделий, а следовательно, возможность легкого отделения их от стола при помощи направляющих Д (см. рис. 10.14, а). Как видно из рис. 10.14, б, во вращающейся части электромагнитного стола 2, выполненной из мягкой стали, сделаны в радиальных направлениях прорези 3 и выточки по окружности 4, заполненные немагнитным материалом (латунью). Эти прокладки, как и в предыдущих конструкциях электромагнитных столов, обеспечивают надежное закрепление обрабатываемых изделий при прохождении тока по катушкам электромагнитов.

Следует указать, что во избежание порчи изделий, а также по условиям техники безопасности в схемах управления станками

предусматриваются блокировки, обеспечивающие остановку шлифовального круга при самопроизвольном размагничивании стола вследствие обрыва или исчезновения напряжения в цепи питания катушек электромагнитов.

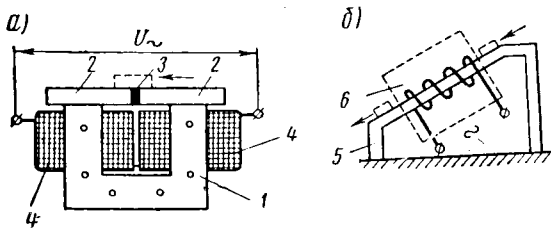


Рис. 10.15. Устройство демагнетизатора

И изделия, снятые с поверхности электромагнитного стола (или плиты), независимо от его конструкции сохраняют остаточный магнетизм, который необходимо свести к минимуму. Для уменьшения поля остаточного магнетизма применяются специальные электрические устройства, называемые демагнетизаторами. Схематическое устройство демагнетизатора показано на рис. 10.15, а. Он состоит из магнитопровода 1, изготовленного из листового стали, на который накладываются катушки 4, обтекаемые переменным током. Магнитопровод в верхней части заканчивается полюсными башмаками 2 из мягкой стали, разделенными немагнитной прокладкой 3. Для размагничивания обработанное изделие (показано пунктиром) кладется на полюсные башмаки и несколько раз передвигается взад и вперед. Элементарные магнетики ферромагнитного материала обрабатываемого изделия, ориентированные при намагничивании в определенном направлении, под действием размагничивания примут прежнее хаотическое состояние.

В станках с непрерывной подачей изделий используется демагнетизатор, схема которого дана на рис. 10.15, б. Здесь обработан-

ные изделия по наклонному лотку 5, выполненному из немагнитного материала, проходят в магнитном поле, созданном катушкой 6, питаемой переменным током промышленной частоты. Эти демагнитизаторы обычно пристраиваются непосредственно к плоскошлифовальным станкам.

Значительный интерес представляют системы автоматического управления шлифовальных автоматов и полуавтоматов, где работа электрического привода сочетается с автоматически действующими в процессе обработки измерительными устройствами. Примером такого автомата может служить двухшпиндельный плоскошлифовальный станок модели 3772-А, изготовленный для поточного производства. Обрабатываемые детали подаются непрерывно дисковым магазином на магнитный стол, на котором они последовательно проходят под первым и вторым шлифовальными шпинделями. За один проход на станке производится черновое и чистовое шлифование изделий. Отшлифованные изделия по выходе из-под шлифовальных кругов измеряются по высоте. Если высота обрабатываемого изделия больше допустимой, то измерительный прибор дает команду приводу подачи, который опускает шлифовальную бабку на величину износа шлифовального круга.

Устройство измерительного прибора приведено на рис. 10.16. Рычаг 7 пружиной 4 прижимается к упору 3. При прохождении обрабатываемых деталей завышенных размеров по высоте они задевают за наконечник 1, вследствие чего поворачиваются рычаги 2 и 7, замыкаются контакты 5 и 6 и дается команда на включение привода подачи. Подача осуществляется до тех пор, пока контакты 5 и 6 не разомкнутся и не совершится так называемая подналадка станка.

§ 10.5. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СФЕРОШЛИФОВАЛЬНЫХ ПОЛУАВТОМАТОВ

Сферошлифовальные станки предназначены для шлифования сферических наружных и внутренних поверхностей обрабатываемых изделий. Схема процесса сферического шлифования поясняется рис. 10.17, б. Изделие 7, вращаясь вокруг своей оси, совершает одновременно качательное движение относительно центра качания O_1 . Кроме того, шлифовальному кругу 5, вращающемуся вокруг оси OO , сообщается еще поступательное движение подачи по направлению к изделию. Когда шлифовальный круг придет в соприкосновение с изделием, начнется обработка сферической дорожки.

Таким образом, в рабочем режиме одновременно действуют четыре механизма, не имеющие между собой механической связи. Каждый из этих механизмов имеет самостоятельный электропривод.

Схема взаимного расположения отдельных механизмов небольшого сферошлифовального станка показана на рис. 10.17, а. От

двигателя *A* через клиноременную передачу и червячную пару *1—2* вращение передается диску *3*, от которого через шатун *4* сообщается качательное движение головке с патроном, зажимающим изделие. На самой головке установлен двигатель *C*, предназначенный для вращения через передачу шпинделя изделия *6*. Двигатель *B*,

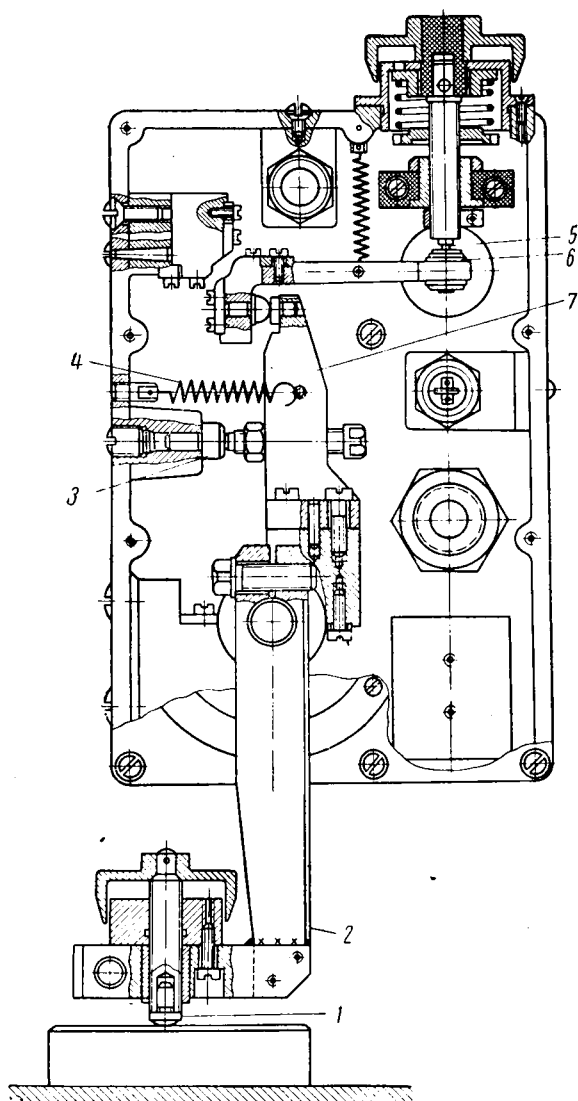


Рис. 10.16. Измерительный прибор плоскошлифовального автомата

находясь на шлифовальной бабке, сообщает вращение шлифовальному кругу 5. Шлифовальная бабка перемещается быстро из исходного положения к обрабатываемому изделию при помощи отдельного двигателя. Наконец, для сообщения шлифовальному кругу поперечной подачи служит самостоятельный привод. Приводы быстрого перемещения и рабочей подачи на рис. 10.17 не показаны. В рассматриваемой на рис. 10.19 схеме используется для

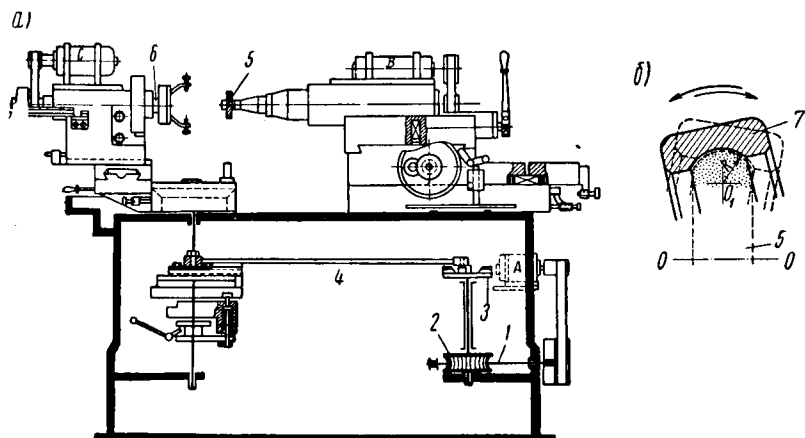


Рис. 10.17. Упрощенная кинематическая схема сферошлифовального станка (а) и схема процесса сферического шлифования (б)

рабочей подачи регулируемый двигатель постоянного тока. Кроме указанных приводов, на станке еще имеется привод насоса охлаждающей жидкости.

К элементам электрооборудования станка следует отнести приспособление для контроля размеров обрабатываемых изделий, устанавливаемое в верхней части станины. Это устройство включено в общую систему электрического управления станком и автоматически обеспечивает должное протекание технологического процесса, а также с необходимой точностью контролирует размеры обрабатываемых изделий.

Например, в сферошлифовальных станках отечественного производства модели ЛЗ-5М применяется измерительное устройство, конструкция которого приведена на рис. 10.18. Корпус 6 прибора закрепляется на кронштейне, устанавливаемом на бабке станка. Внутри корпуса смонтирован шток 5, на конце которого закреплена втулка 4 с лапкой 2, несущей наконечник 1 с алмазным зерном 3. Алмазное зерно (или пластинка из твердого сплава) во время обработки изделия скользит по шлифуемой поверхности, прижимаясь к ней под действием пружины 7. На штоке закреплена крестовина 8, которая через опору 10 связана с рычагом 11. Опора 23 связана со штифтом индикатора 22; опора 9 предохраняет

крестовину 8 от поворота вокруг оси штока. На конце рычага 11 помещен контактный штифт 16. При помощи пружины 19 контактный штифт прижимается к левому контактному винту 17. Настройка контактных винтов 12 и 17 производится маховичками 13 и 18, на которых имеются шкалы с делениями. Пружина 14 служит для выборки зазора резьбы винта и гайки 15. Сигнальные лампы 21 установлены в держателях 20.

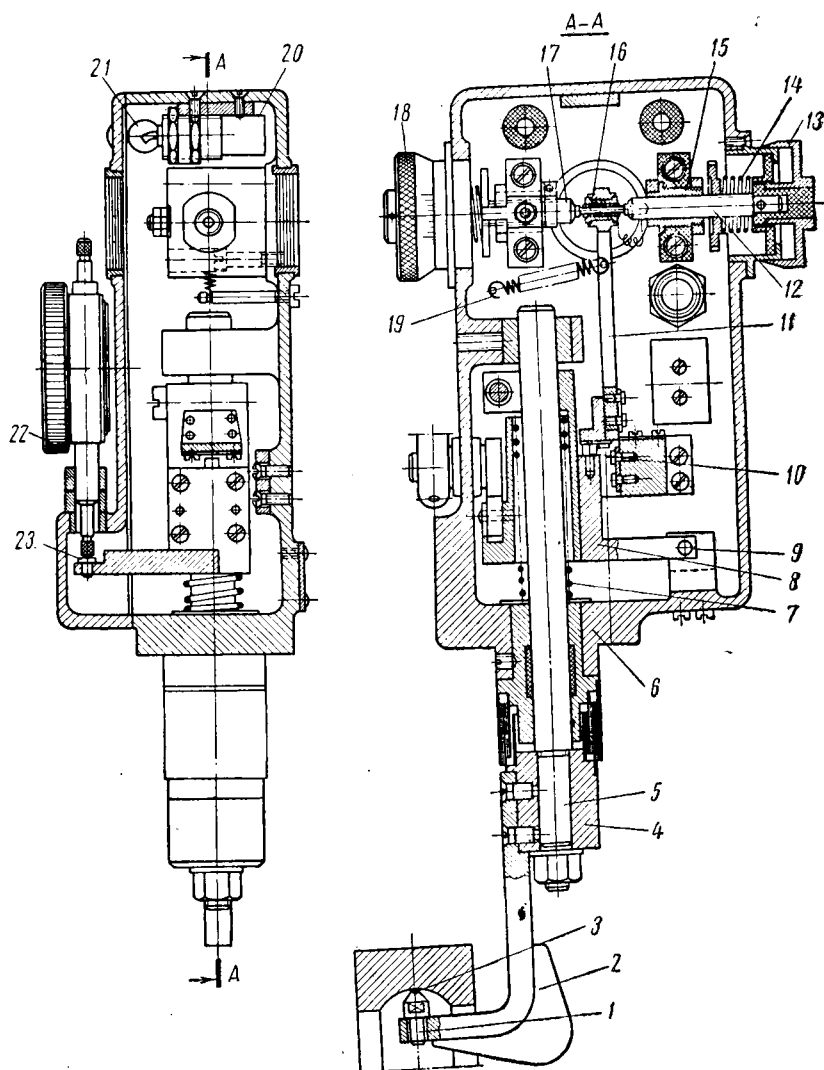


Рис. 10.18. Измерительный прибор сфершлифовального станка

На станке производится черновая, чистовая обработка и доводка обрабатываемого изделия, совершаемая без подачи шлифовального круга; все операции, за исключением установки и снятия изделия, автоматизированы.

Электрическая схема сферошлифовального станка, приведенная на рис. 10.19, *а*, допускает три режима работы: 1) автоматический с измерительным приспособлением для контроля обрабатываемых изделий; 2) автоматический без измерительного устройства и 3) наладочный.

Рассмотрим последовательно все три режима.

При автоматическом режиме с измерительным устройством необходимо предварительно отрегулировать это устройство так, чтобы распределить, в соответствии с технологическим процессом, припуск на черновую и чистовую обработку. Регулировка этого припуска производится изменением расстояния между контактами КИП измерительного прибора, схематично изображенного на рис. 10.19, *б*. Необходимо отметить, что четкость работы станка и точность обработки на нем в значительной степени зависят от тщательности изготовления измерительного устройства и стабильности его работы в процессе эксплуатации. Во избежание подгорания его контактов последние включены в сеточные цепи электронного переключателя, управляющего промежуточными реле *1ЭВ* и *2ЭВ* (рис. 10.19, *в*). Таким образом, действие измерительного устройства рассматривается совместно с работой электронного переключателя.

Затем переключатель *ПР* ставится в положение *Авт*; в рассматриваемом случае выключатель *ВП* отключен. Нажимается кнопка «Пуск», включается контактор *КШ* и пускается двигатель шлифовального круга *1Д*. Вслед за этим нажимается кнопка «Пуск суппорта» (суппортом для сокращения названа шлифовальная бабка, несущая шлифовальный круг), включается контактор *КСВ* и двигатель *4Д* сообщает быстрое перемещение шлифовальной бабке из исходного положения к обрабатываемому изделию, в зону шлифования, где упор воздействует на конечный выключатель *1ВК*. Размыкающий контакт *2ВК* замкнется, как только суппорт переместится из исходного положения, подготовив для возврата суппорта цепь включения катушки контактора *КСН*.

После воздействия упора на конечный выключатель *1ВК* двигатель *4Д* отключается и быстро останавливается за счет действия электромагнитного тормоза *2ЭТ*. Дальнейшее перемещение суппорта вперед прекращается. В связи с замыканием замыкающих контактов *1ВК* включаются контакторы *КИ* и *КК*, пускаются двигатели *2Д* и *3Д* и начинается вращение и качание обрабатываемого изделия. Одновременно включаются промежуточные реле *8РП* и *7РП* и пускается в ход двигатель подачи шлифовального круга *ДП*, якорь которого присоединяется к потенциометру черного шлифования *1П*, чем обеспечивается соответствующая скорость подачи, при которой будет происходить обработка изделия.

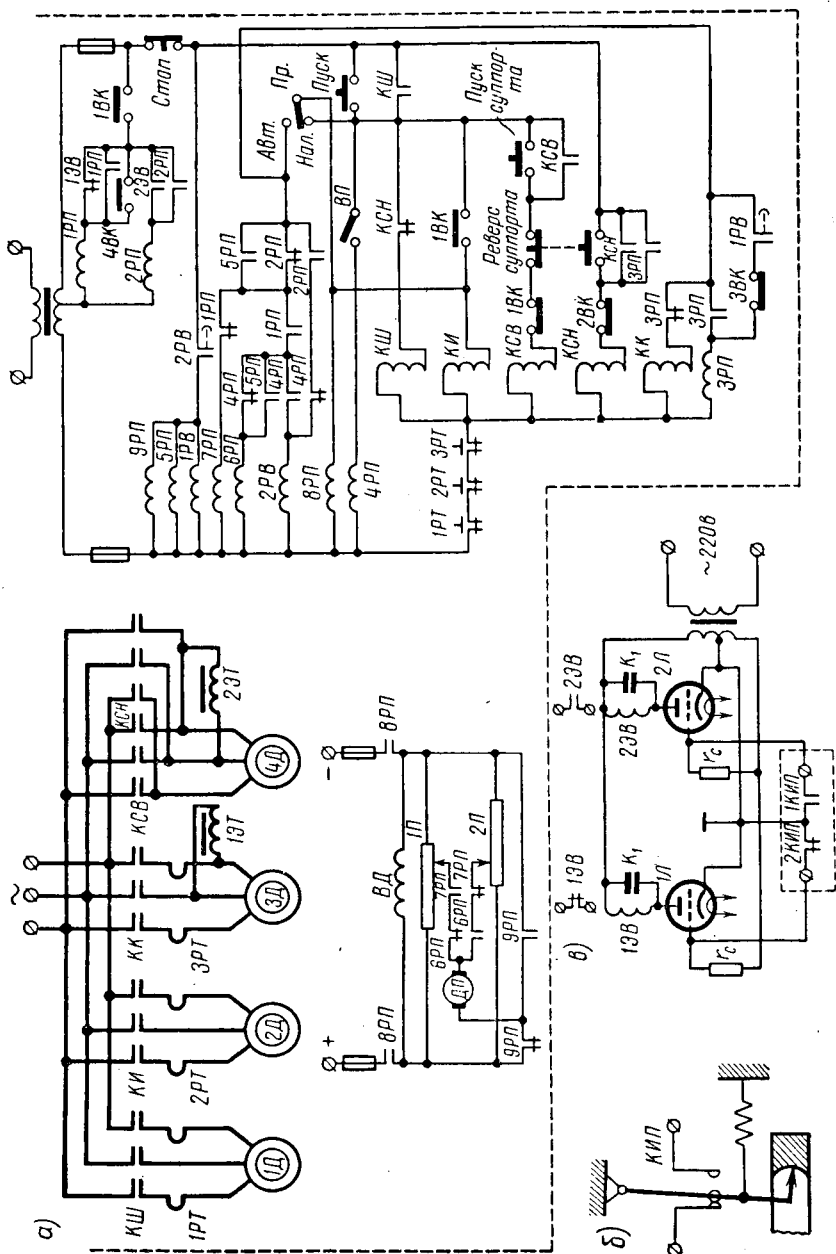


Рис. 10.19. Схема электропривода сферулифовального станка

Реле *1РП* при включении двигателя подачи не включается, так как размыкающий контакт *1ЭВ* разомкнут. Последнее поясняется действием схемы на рис. 10.19, в. В начале обработки контакт *2КИП* измерительного устройства замкнут, следовательно, потенциал сетки лампы *1Л* равен нулю, анодный ток ее максимален, промежуточное реле *1ЭВ* включено и размыкающий контакт его разомкнут. На сетку лампы *2Л* подается отрицательный потенциал, так как контакт *1КИП* разомкнут, и она не пропускает тока — замыкающий контакт реле *2ЭВ* разомкнут. По окончании чернового шлифования, производящегося при сравнительно большой скорости двигателя, контакт *2КИП* измерительного устройства размыкается, а контакт *1КИП* по-прежнему остается разомкнутым. В этом случае обе электронные лампы оказываются запертыми; замыкающий контакт *1ЭВ* замкнется и включится реле *1РП*, которое своими контактами отключит реле *7РП* и включит реле *6РП*; произойдет автоматическое переключение двигателя подачи *ДП* на меньшую скорость, т. е. присоединение его к потенциометру чистового шлифования *2П*, чем обусловится переход с черновой подачи на чистовую.

По окончании чистовой подачи палец измерительного устройства, оттягиваемый пружиной, передвинется вправо еще дальше (рис. 10.19, б) так, что замкнется контакт *1КИП*. В данном случае начнет пропускать ток лампа *2Л* и сработает реле *2ЭВ*, которое в свою очередь включит реле *2РП*. Размыкающий контакт *2РП* разомкнет цепь реле *6РП* и *7РП* и двигатель подачи отключится. Все остальные механизмы станка по-прежнему будут работать, начнется последний этап технологического процесса — доводка изделия, совершаемая без подачи. При включении другого замыкающего контакта *2РП* включается реле времени *2РВ*, выдержка времени которого соответствует длительности доводки.

По окончании доводки замыкается контакт *2РВ* и включаются реле *9РП*, *5РП* и *1РВ*, происходит подача на якорь двигателя *ДП* напряжения противоположной полярности от потенциометра чистового шлифования. Двигатель разгоняется в противоположном направлении до скорости, значительно большей, чем при чистовой подаче, так как при срабатывании реле *9РП* меняются местами плечи потенциометра — плечо, обладающее большим сопротивлением и ранее присоединявшееся последовательно с якорем двигателя, сейчас шунтирует якорь, а меньшее сопротивление присоединяется последовательно. Таким образом, отвод шлифовального круга после окончания обработки производится при повышенной скорости. Длительность отвода контролируется выдержкой времени реле *1РВ*, контакт которого замкнется в цепи катушки реле *3РП*. Это реле включится лишь в определенном положении качательного механизма, когда контакт конечного выключателя *3ВК* замкнется. Положение качающейся головки с изделием должно быть таким, чтобы суппорт мог беспрепятственно отводиться в исходное положение. При срабатывании реле *3РП* контактор *КК* теряет питание

и двигатель *3Д* быстро останавливается под действием тормоза *1ЭТ*. Включение замыкающего контакта *3РП* дает команду на включение контактора *КСН*, выключается двигатель *4Д* и совершается быстрый отвод суппорта в исходное положение. При этом вначале конечный выключатель *1ВК* приходит в исходное положение, а затем размыкается контакт *2ВК* — все механизмы станка останавливаются и подготовлены после снятия обрабатываемого изделия для повторного автоматического цикла.

Автоматический режим обработки без измерительного устройства предполагает нормальное использование станка с черновым шлифованием и затем доводкой; чистовая подача в этом случае исключается. Предварительно на пульте управления механизмом подачи задается поворотом рукоятки по шкале величина общей подачи, затем замыкается выключатель *ВП*; переключатель *ПР* остается в положении *Авт.*

Пуск всех механизмов станка производится так же, как и в предыдущем случае. При работе двигателя подачи через соответствующую передачу приводится в действие рукоятка ручной подачи, которой выше была задана величина общей подачи. По окончании черновой подачи рукоятка, пройдя по шкале путь, соответствующий подаче, воздействует на микровыключатель *4ВК*, контакт которого, замкнувшись, включит реле *1РП*. В связи с этим дальнейшая подача прекратится и начнется доводка, длительность которой контролируется реле *2РВ*. Так как в данном режиме исключена чистовая обработка, то длительность доводки должна быть значительно увеличена, что легко достигается регулировкой выдержки времени реле *2РВ**. В остальном, вплоть до приведения всех механизмов станка в исходное положение, работа схемы протекает так же, как и в предыдущем случае.

Наладочный режим может быть осуществлен, если предварительно переключатель *ПР* установить в положение наладки (замыкается контакт *Нал*). Нажатием кнопки «Пуск» включаются одновременно двигатели вращения шлифовального круга и вращения изделия. Далее, после нажатия кнопки «Пуск суппорта», схема работает в такой же последовательности, как и при автоматическом режиме с приспособлением для контроля размеров, т. е. включается двигатель суппорта и совершается ускоренное перемещение суппорта вперед. Однако в крайнем положении суппорта, когда включаются замыкающие контакты конечного выключателя *1ВК*, в схеме дальнейших изменений не происходит. В крайнем положении суппорта отключается двигатель суппорта. Для возвращения суппорта в исходное положение необходимо нажать кнопку «Реверс суппорта». Движение суппорта назад продолжается до тех пор, пока в исходном положении не разомкнется контакт конечного выключателя *2ВК* и двигатель суппорта отключится от сети.

* В качестве реле *2РВ* и *1РВ* могут быть использованы электронные или полупроводниковые реле времени.

Остановка двигателей вращения шлифовального круга и вращения изделия осуществляется при движении суппорта назад.

В рассмотренной системе электропривода поперечной подачи программа скорости подачи формируется в функции пути (величины распределенного припуска на черновую и чистовую подачу) с помощью датчика, которым является контрольно-измерительное устройство. Сигналы последнего усиливаются элементами системы управления (электронным переключателем и промежуточным реле) и в виде выходного напряжения подаются на якорь двигателя подачи.

Скорость съема припуска достаточно полно определяет качество процесса шлифования. Цикл поперечной подачи состоит из чернового шлифования (I участок) при максимально допустимой скорости подачи v_{c1} (для данного шлифовального круга и твердости обрабатываемого изделия), чистового шлифования (II участок) и последующего «выхаживания», выполняемого в функции времени (III участок) (рис. 10.20, а). Величина съема характеризуется зависимостью $S(t)$. Из-за простоты осуществления этот цикл широко используется на шлифовальных станках. Однако удовлетворительное качество обрабатываемых изделий по указанному графику достигается за счет невысокой производительности — увеличенного машинного времени.

Более производительным технологическим циклом является цикл, соответствующий графику на рис. 10.20, б. Здесь обычно скорость подачи на I участке принимается большей, чем для аналогичного случая в графике рис. 10.20, а. Плавное снижение скорости подачи на II участке снижает отрицательное влияние на стабильность процесса шлифования упругих деформаций станка.

Рассмотрим систему автоматического управления электроприводом поперечной подачи, реализующей программу изменения скорости подачи в функцию величины припуска. Эта система была выполнена Куйбышевским политехническим институтом и 4 ГПЗ на сферошлифовальном полуавтомате модели ЛЗ-5М. Аналогичные системы были использованы на других моделях внутришлифовальных станков [Л. 22].

Функциональная схема такой системы приведена на рис. 10.21. Привод подачи выполнен от двигателя постоянного тока ДП, управляемого преобразователем П (например, тиристорный преобразователь).

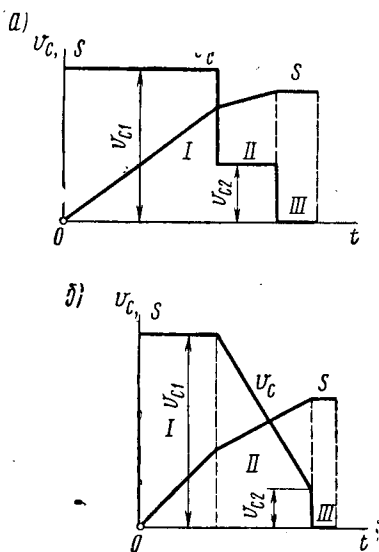


Рис. 10.20. Цикл поперечной подачи

зователь). ДП через механизм передачи МП (редуктор ходовой винт — гайка) связан с рабочим органом станка СД. На входе системы управления предусматривается программное устройство ПУ, формирующее программу в виде требуемой зависимости скорости подачи от припуска $v_3 = f(S)$. Внешняя обратная связь по скорости подачи (съем припуска) v_d реализуется индуктивным датчиком ИД и корректируется дифференцирующим блоком БК.

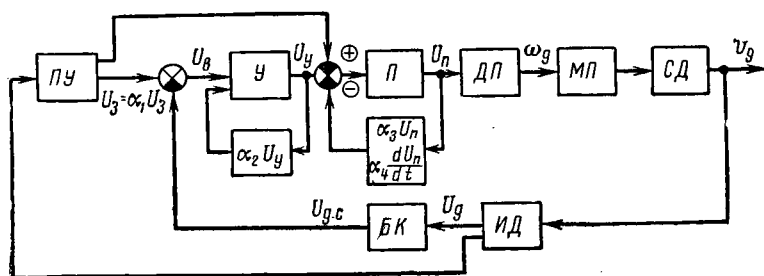


Рис. 10.21. Функциональная схема привода поперечной подачи по программе $v_3 = f(S)$

Задающий сигнал U_3 сравнивается непрерывно с сигналом обратной связи $U_{д.с.}$. В начале процесса обработки вследствие упругих деформаций и люфтов в передачах действительная скорость подачи v_d меньше заданной скорости, поэтому сигнал рассогласования больше и скорость двигателя подачи окажется больше, что позволит первоначально вести съём при более высокой скорости. Затем сигнал рассогласования уменьшится и скорость подачи приблизится к заданной.

Возможно также программирование съёма припуска при шлифовании не в функции самого припуска, а в функции времени. Такие системы проще описанной выше, так как в них программное устройство отличается большей простотой, внешняя обратная связь осуществляется по текущему припуску, а не по скорости съёма припуска; кроме того, проще усилитель и исключается надобность в блоке коррекции на выходе индуктивного датчика. В остальном функциональная схема, в которой программируется съём припуска в функции времени, не отличается по своей структуре от схемы, представленной на рис. 10.21.

Системам непрерывного управления приводом подачи шлифовальных станков следует отдать предпочтение в сравнении с дискретными, в том числе и приводами с шаговыми двигателями, которые при малых частотах создают неблагоприятный толчковый режим перемещения механизма подачи. Анализ погрешности системы автоматического управления приводом поперечной подачи может быть произведен в соответствии со структурной схемой, приведенной на рис. 10.22. Здесь предполагаются безынерционными:

преобразователь Π (тиристорный), механизм передачи $МП$, усилитель $У$, программное устройство $ПУ$ и индуктивный датчик $ИД$, питание обмоток которого, с целью уменьшения его инерционности, может быть осуществлено от источника повышенной частоты; станок — деталь представляет собой произведение апериодического и интегрирующего звеньев.

Для уменьшения скорости ошибки вводится сигнал, пропорциональный производной от управляющего воздействия (дифференцирующее звено). На станках при постоянной скорости вращения

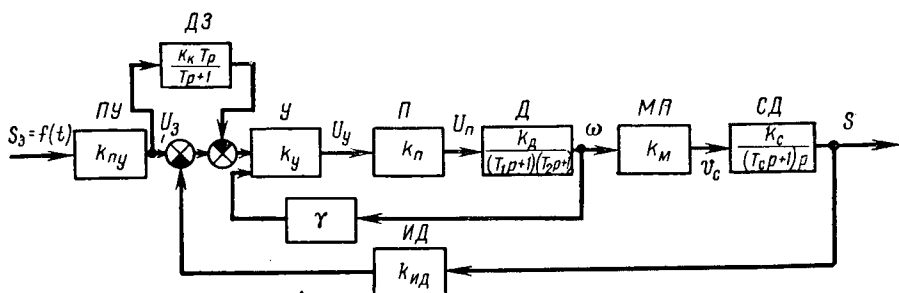


Рис. 10.22. Структурная схема привода подачи по программе $S_3 = f(t)$

ния круга с уменьшением его диаметра снижается скорость резания. При заданной скорости съема припуска и уменьшении скорости резания с уменьшением диаметра шлифовального круга возрастают износ круга, усилие резания и упругие деформации системы станок — изделие. Поэтому целесообразно в системе автоматического управления приводом поперечной подачи создавать устройство, реализующее программу с учетом изменения диаметра шлифовального круга.

На рис. 10.23 приведена функциональная схема, где учитывается изменение диаметра шлифовального круга (на схеме не показаны внутренние обратные связи). На вход $ПУ$ подается один сигнал от индуктивного датчика $ИД$, а другой — от датчика диаметра шлифовального круга $ДШК$. Контроль диаметра шлифовального круга производится косвенно — по перемещению механизма поперечной подачи, с которым связан бесконтактный сельсин. В исходном положении механизма подачи диаметр шлифовального круга имеет наибольшее значение и угол поворота сельсина задается наибольшим ($\approx 45^\circ$) — напряжением на его выходе максимально. С уменьшением диаметра шлифовального круга поперечный суппорт перемещается в сторону обрабатываемого изделия и соответственно уменьшается угол поворота сельсина; по линейному закону будет уменьшаться и сигнал на его выходе, а следовательно, и напряжение на входе $ПУ$, чем будет корректироваться программа работы электропривода подачи. Значительное повышение производительности шлифовальных станков, как отмечалось ранее, может

быть достигнуто при автоматической стабилизации скорости резания; достигаемой при помощи регулируемого электропривода шлифовального круга. Для внутришлифовальных станков перспектив-

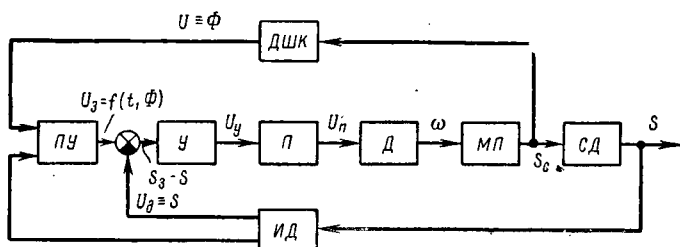


Рис. 10.23. Функциональная схема привода подачи с датчиком диаметра шлифовального круга

ным регулируемым электроприводом шлифовального круга с автоматической стабилизацией скорости резания являются высокоскоростные электрошпиндели, управляемые тиристорными преобразователями частоты.

Глава XI

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ СТА- НОЧНЫХ ЛИНИЙ

§ 11.1. ОСОБЕННОСТИ АГРЕГАТНЫХ СТАНКОВ

Агрегатные станки, являясь специальными станками, создаются на базе стандартных и специальных узлов или агрегатов. К стандартным узлам относятся силовые головки, станины, колонны, поворотные столы и узлы гидропередачи. Специальными узлами являются приспособления для установки обрабатываемых изделий, наклонная станина горизонтального станка и др.

На агрегатных станках часто обработка изделий производится одновременно большим количеством инструментов и в зависимости от конфигурации изделия может происходить с двух или нескольких сторон. Поэтому агрегатные станки отличаются значительно более высокой производительностью, чем универсальные станки; при обработке изделий на агрегатных станках сокращаются число рабочих и производственные площади.

Агрегатные станки применяются в условиях массового и крупносерийного производства, как, например, автомобиле- и тракторостроение, авиационная промышленность, сельскохозяйственное

машиностроение и т. п. Наибольшее распространение получили агрегатные станки для сверлильных, расточных, резьбонарезных и фрезерных работ.

На рис. 11.1 показан разрез наиболее простого одностороннего горизонтально-сверлильного агрегатного станка. Главный двигатель 11, установленный в правой части шпиндельной или силовой головки, через шестерни 8 и 10 вращает приводной вал, от которого в свою очередь через шестерни 3 и 4 передается вращение в шпиндельную коробку. При помощи распределительных шестерен шпиндельной коробки вращение сообщается шпинделям 2, несущим режущий инструмент. Количество шпинделей, размещаемых в одной коробке, может доходить до нескольких десятков в зависимости от конфигурации обрабатываемой детали. Подача силовой головки с инструментами производится гидравлической системой, состоящей из насоса 6, приводимого в действие от главного двигателя через шестерни 7 и 9. От насоса масло поступает в распределительное устройство (гидравлическую панель 5), откуда оно поступает в переднюю или заднюю полость цилиндра 12.

В исходном положении силовой головки (крайнем заднем) масло направляется золотником гидропанели обратно в резервуар, которым служит корпус головки, не попадая в цилиндр, поэтому силовая головка неподвижна. Подача силовой головки осуществляется воздействием (при помощи электромагнита или рукоятки) на золотник гидропанели, при перемещении которого масло в большом количестве поступает в переднюю полость цилиндра. В данном случае осуществляется быстрое перемещение силовой головки; при подходе режущих инструментов к обрабатываемому изделию 1 происходит переключение на гидравлической панели, после чего в переднюю полость цилиндра начнет поступать меньшее количество масла — головка будет перемещаться со скоростью рабочей подачи. По окончании обработки вновь происходит переключение в гидропанели и большее количество масла устремляется уже в заднюю полость цилиндра, вследствие чего головка быстро возвращается в исходное положение. В исходном положении происходит еще одно переключение гидропанели и, силовая головка останавливается. После снятия обработанной детали и установки новой цикл работы станка повторяется в том же порядке, как это было описано ранее.

Двухсторонние горизонтально-сверлильные станки предназначены для обработки детали одновременно с двух сторон. Обрабатываемая деталь устанавливается и закрепляется обычно в центральной части станка. Силовые головки, расположенные горизонтально по обе стороны от детали, совершают такой же цикл работы, как и в предыдущем случае. Могут быть агрегатные станки и с большим числом силовых головок, расположение которых зависит от конфигурации обрабатываемой детали.

В качестве стандартных узлов в агрегатных станках наибольшее распространение получили так называемые самодействующие силовые головки (устройство самодействующей головки показано

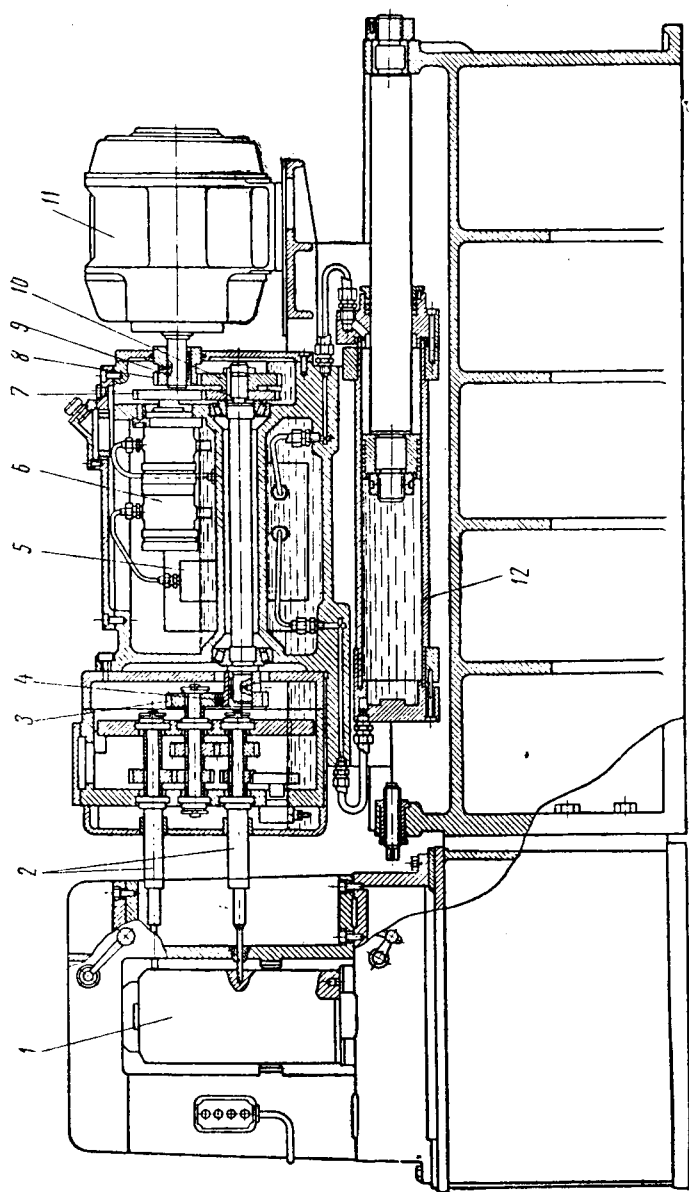


Рис. 11.1. Разрез одностороннего горизонтально-сверлильного агрегатного станка

на рис. 11.1). Как упоминалось, в самодействующей силовой головке от одного и того же двигателя получают вращение шпиндели и насос гидравлической системы, встроенной в корпус силовой головки. Кроме того, при подаче головки вместе с ней совершает поступательное перемещение цилиндр гидропривода. Такое компактное устройство весьма удобно, не связано с необходимостью прокладки длинных трубопроводов от централизованной гидравлической системы. При использовании самодействующих головок исключается также необходимость в установке специального привода для гидронасоса и отдельного резервуара для масла.

В самодействующих головках гидронасос работает только при вращении шпинделей, что исключает подачу головки при невращающихся шпинделях. Иногда, например, в расточных станках для ввода борштанги в определенном положении ее требуется обеспечить подачу при неподвижных шпинделях. В этом случае для вращения насоса необходимо использовать специальный двигатель, устанавливаемый обычно на крыше головки.

Кроме самодействующих головок, находят применение и несамодействующие гидравлические силовые головки. В этих силовых головках от главного двигателя осуществляется только вращательное движение шпинделей; гидронасос и гидропанель установлены вне головки. Несамодействующие головки в сравнении с самодействующими обладают тем преимуществом, что имеют сокращенное количество насосов и приводов к ним и меньшее число гидравлических аппаратов. Однако станок с несамодействующими головками не имеет той независимости движений, какой обладают станки с самодействующими головками. При наличии двух или нескольких несамодействующих силовых головок система трубопроводов оказывается сравнительно сложной, и производительность насоса в этом случае должна увеличиться. Однако в тех случаях, когда боковые усилия при обработке изделий, передаваемые на шпиндели и их опоры, бывают большими (например, при расточке крупных отверстий) и шпиндельные коробки увеличиваются в длину, целесообразно применение несамодействующих головок.

В силовых головках, кроме рассмотренных гидравлических систем подач, встречаются также системы механические, электромеханические и пневмогидравлические.

Гидравлические приводы подач не всегда могут обеспечить точные кинематические отношения вследствие изменения величины подачи по мере повышения температуры масла, изменения утечки масла, возможного засорения дросселя и т. п. Поэтому нарезание резьбы на агрегатных станках обычно производится при помощи стандартных резьбонарезных головок с винтовыми механизмами. С целью упрощения механизма подачи быстрый подвод у резьбонарезных головок отсутствует, так как подача при нарезании резьбы значительная ($200 \div 300$ мм/мин), и, кроме того, быстрый подвод был бы необходим лишь на сравнительно небольшом пути. Для резьбонарезных головок целесообразно применять двухскоро-

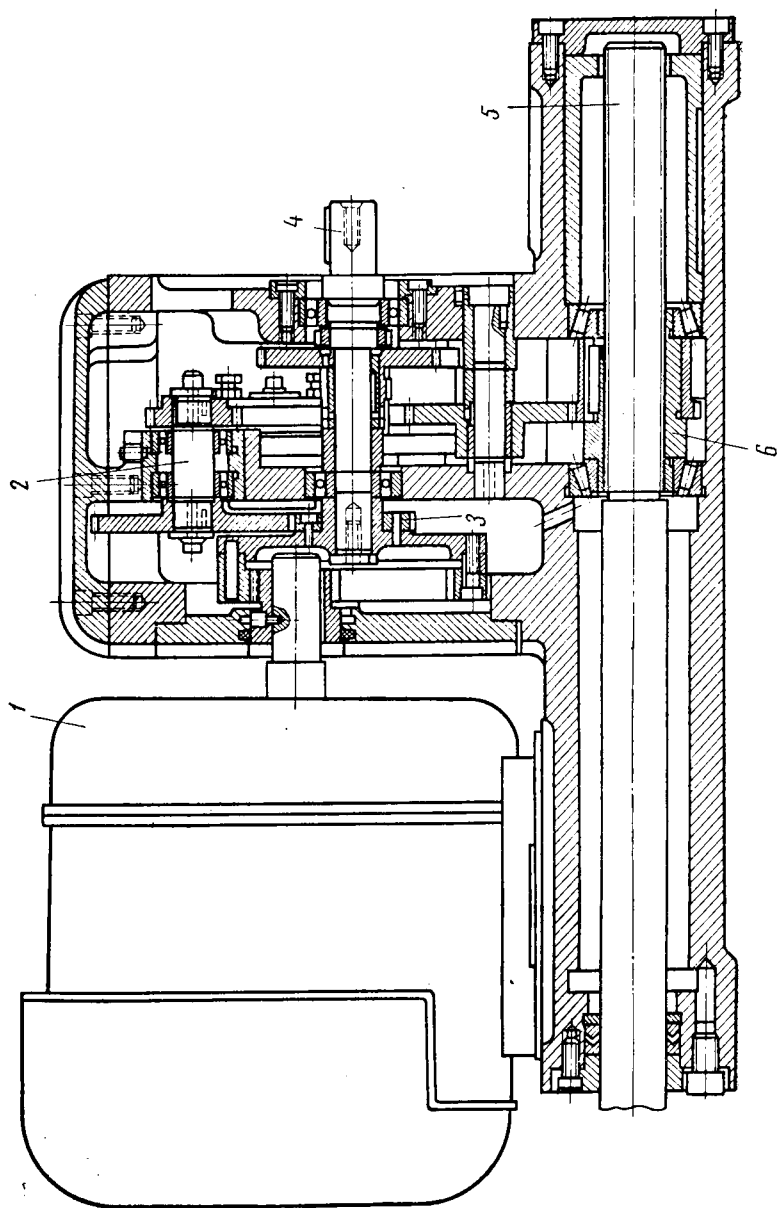


Рис. 11.2. Резьбонарезная головка

стные двигатели, дающие возможность повысить вдвое скорость при отводе головки.

На рис. 11.2 показано устройство стандартной резбонарезной головки. От двигателя 1 через шестерню с внутренним зацеплением вращение передается приводному валу 4; от шестерни 3 движение передается валику 2, несущему одну из сменных шестерен подачи. Через ряд шестерен вращение передается гайке 6 винта 5. При вращении двигателя одновременно и согласованно вращается приводной вал и поступательно перемещается силовая головка. Реверсирование шпинделей и подачи осуществляется реверсированием двигателя.

Подача метчиков для нарезания резьбы на агрегатных станках производится иногда при неподвижном состоянии силовой головки путем осевого перемещения по копирной гайке каждого шпинделя. Реверсирование метчиков достигается за счет реверсирования двигателя. Выдвижные шпиндели применяются при нарезании отверстий метчиками, имеющими различные размеры; выдвижные шпиндели позволяют производить нарезание резьбы при помощи шпиндельных коробок, установленных на гидравлических силовых головках.

Силовые головки в зависимости от производимых на станке операций могут совершать различные циклы движений. Самым распространенным циклом на агрегатном станке является такой, при котором сначала силовая головка с режущими инструментами быстро подводится к изделию, затем автоматически при помощи гидрпанели производится переключение на рабочую подачу. После

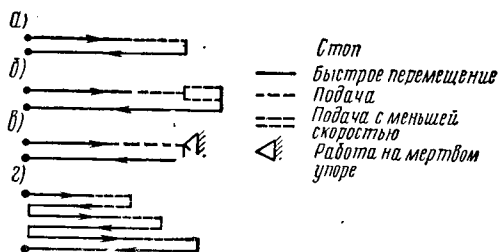


Рис. 11.3. Схемы циклов движений силовых головок агрегатных станков

окончания обработки силовая головка быстро возвращается в исходное положение. Переключение с быстрого хода на рабочую подачу производится при достижении режущим инструментом непосредственной близости к изделию. В случае гидравлического привода подачи расстояние от инструмента до изделия в момент переключения принимается приблизительно равным 5 мм.

На рис. 11.3, а показана схема цикла движений силовой головки для рассмотренного случая (быстрый подвод — подача — быстрый отвод и стоп).

При обработке комбинированным инструментом, например при обработке отверстия под болт, требуется автоматический переход с большой рабочей подачи на меньшую (сверление, затем цекование). Этому случаю соответствует схема рис. 11.3, б.

При расточке отверстий с точной подрезкой торцов и зачисткой поверхности подрезки вращение инструмента в конце хода производится без подачи. Это получается доведением силовой головки до так называемого жесткого, или «мертвого упора», выполняемого обычно в виде винта, установленного на неподвижном кронштейне. Возврат головки производится по истечении определенной выдержки времени на упоре (рис. 11.3, в).

Сверление глубоких отверстий связано с периодическим выведением сверла из изделия для извлечения стружки. Количество выводов колеблется от двух-трех до десяти и больше. Такой сравнительно сложный цикл (рис. 11.3, г) производится автоматически, и по окончании обработки изделия силовые головки с инструментами отводятся в исходное положение.

Приведенные циклы автоматической работы агрегатных станков не исчерпывают всех возможных режимов. Необходимо отметить, что управление различными, иногда довольно сложными, циклами, а также всевозможные блокировки производятся в современных агрегатных станках электрическим путем. Ввиду большого разнообразия циклов работы и невозможности рассмотрения всех схем управления для этих циклов приведем в § 11.2 лишь принципиальные электрические схемы некоторых типов агрегатных станков.

§ 11.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СВЕРЛИЛЬНЫМИ АГРЕГАТНЫМИ СТАНКАМИ

Приведенная на рис. 11.4 схема обеспечивает автоматическое управление силовой головкой агрегатного станка, предназначенного для глубокого сверления с тремя выводами сверла. Путьевые выключатели *1ВК* и *2ВК* нажаты в исходном положении силовой головки; *3ВК* — выключатель, дающий команду после окончания первого и второго проходов головки; *4ВК* — блокировочный выключатель между первым и вторым проходами; *5ВК* — выключатель, фиксирующий окончание сверления. Выключатель *5ВК* расположен на панели и до окончания сверления находится в нажатом состоянии.

После пуска двигателя (схема включения двигателя на рис. 11.4 не показана) нажатием кнопки «Пуск» включаются промежуточное реле *1РП* и электромагнит *ЭВ*, управляющий золотником гидросистемы, так, что силовая головка быстро движется вперед. При этом освобождаются выключатели *1ВК* и *2ВК*: контакт первого — замыкается, а второго (размыкающего) — замыкается, подготавливая включение электромагнита *ЭН* для возврата силовой головки в исходное положение.

Как упоминалось, после быстрого подвода силовой головки к изделию производится переключение в гидросистеме на рабочую подачу. По окончании первого прохода от упора нажимается выключатель *3ВК*, включающий реле *2РП*, которое замыкает свой контакт в цепи электромагнита *ЭН*, благодаря чему совершается быстрый отвод головки назад. Кроме того, другой замыкающий контакт *2РП* шунтирует контакт *3ВК* и подготавливает цепь для включения реле *3РП* в исходном положении головки. Поэтому при отходе головки на-

зад, когда размыкается контакт *3ВК*, реле *2РП* остается под напряжением. В исходном положении головки нажимается *2ВК* — размыкается цепь электромагнита *ЭН*, включается реле *3РП*, которое своим размыкающим контактом отключает реле *2РП*. В этом же положении головки нажимается *1ВК*, включающий электромагнит *ЭВ*, головка вновь движется вперед — совершается второй проход, при котором нажатие на *3ВК* не приведет к замыканию цепи реле *2РП*, так как размыкающий контакт *3РП* оказывается пока еще разомкнутым. При дальнейшем сверлении в процессе второго прохода нажимается *4ВК*, размыкающий контакт которого отключает цепь катушки реле *3РП*, подготавливая тем самым включение реле *2РП*. Замыкающий контакт *4ВК* включает реле *4РП*, подготавливая в исходном положении головки включение реле *3РП*.

По окончании второго прохода другой упор нажимает на *3ВК*, замыкается цепь реле *2РП*, после чего совершается быстрый возврат головки в исходное положение. Как и в предыдущем случае, в исходном положении размыкается контакт *2ВК* и выключается электромагнит *ЭН*; получает питание электромагнит *ЭВ* и начинается третий (последний) проход головки. При третьем проходе от упоров два раза нажимается *3ВК* и один раз *4ВК*, однако никаких команд в результате этих операций в систему управления не будет подано, так как реле *3РП* и *4РП* остаются включенными. В конце сверления от упора нажимается рычаг, освобождающий конечный

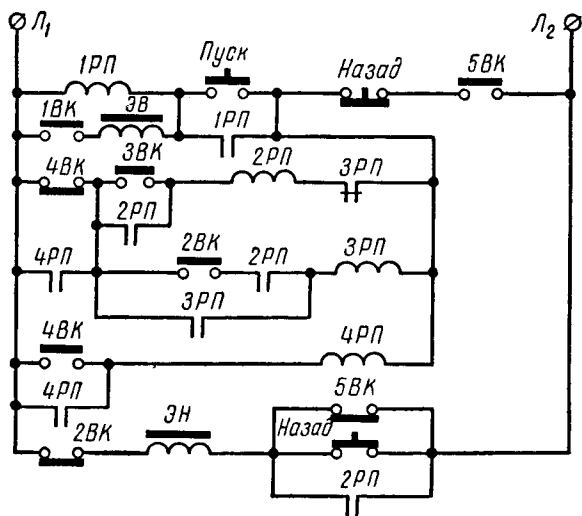


Рис. 11.4. Принципиальная схема управления агрегатным станком для глубокого сверления

выключатель *5ВК* — выключаются реле *1РП*, *2РП*, *3РП* и *4РП* и включается электромагнит отвода *ЭН*. Таким образом, совершается последний (третий) в цикле быстрый отвод головки в исходное положение. При отводе головки от упора на линейке станка поднимается опустившийся рычаг и конечный выключатель *5ВК* вновь нажимается. В исходном положении окажутся нажатыми *1ВК* и *2ВК*, однако движения головки вперед не произойдет, так как реле *1РП* выключено. Для повторного пуска станка необходимо предварительно снять обработанную деталь, установить другую и снова нажать кнопку «Пуск». Последующий цикл работы происходит точно так же, как и описанный ранее.

Нажатием кнопки «Назад» в любом положении отключаются все промежуточные реле и включается электромагнит *ЭН* для отвода головки. Так как при нажатии кнопки «Назад» выключается реле *1РП*, то в исходном положении головка не сможет переместиться вперед.

При большем числе выводов режущих инструментов, а также более сложном технологическом процессе обработки изделия схемы управления выполняются с учетом совмещения как путевого, так и временного принципа. Примером может служить рассматриваемая на рис. 11.6 электрическая схема вертикально-сверлильного агрегатного станка, разработанная Московским СКБ автоматических линий и агрегатных станков.

Общий вид вертикально-сверлильного агрегатного станка показан на рис. 11.5; станок имеет пять шпинделей и предназначен для обработки фасонной детали. Выполняемые операции: сверление, зенкерование и снятие фаски.

Упрощенная принципиальная схема автоматического управления электроприводом станка приведена на рис. 11.6. Станок снабжен тремя электродвигателями: *1Д* — двигатель силовой головки; *2Д* — двигатель гидростанции; *3Д* — двигатель насоса охлаждающей жидкости. Циклограмма работы силовой головки изображена на том же рисунке и предполагает три прохода, из которых первых два включают поочередно быстрый подвод силовой головки, затем переключение на первую рабочую подачу с последующим быстрым отводом в исходное положение, а третий проход состоит из быстрого подвода первой, а затем второй рабочей подачи и возвращения в исходное положение.

Действие схемы заключается в следующем. В исходном положении силовой головки нажаты конечные выключатели *1ВК* и *2ВК*. После подачи питания на силовые цепи, цепи управления и предварительного включения *1ПК*, *2ПК* и *3ПК* нажимается кнопка «Пуск», при этом включаются пускатель *2П* и двигатель *2Д*. Затем устанавливается и с помощью гидравлического зажима закрепляется обрабатываемое изделие; при этом срабатывает реле давления *РДЗ*. Нажатием кнопки «Вперед» включается промежуточное реле *1РП* и срабатывают электромагниты *1Э*, *2Э* и *3Э*: осуществляется быстрый подвод силовой головки к изделию; осво-

бождаются *1ВК*, *2ВК*; включаются *ЗРП* и реле времени *РВ*. При включении *ЗРП* срабатывают пускатели *1П* и *3П* — пускаются двигатели *1Д* и *3Д*. В конце быстрого подвода нажимается *ЗВК* и выключается электромагнит *ЗЭ* — головка переключается на первую рабочую подачу, после чего начинается обработка изделия.

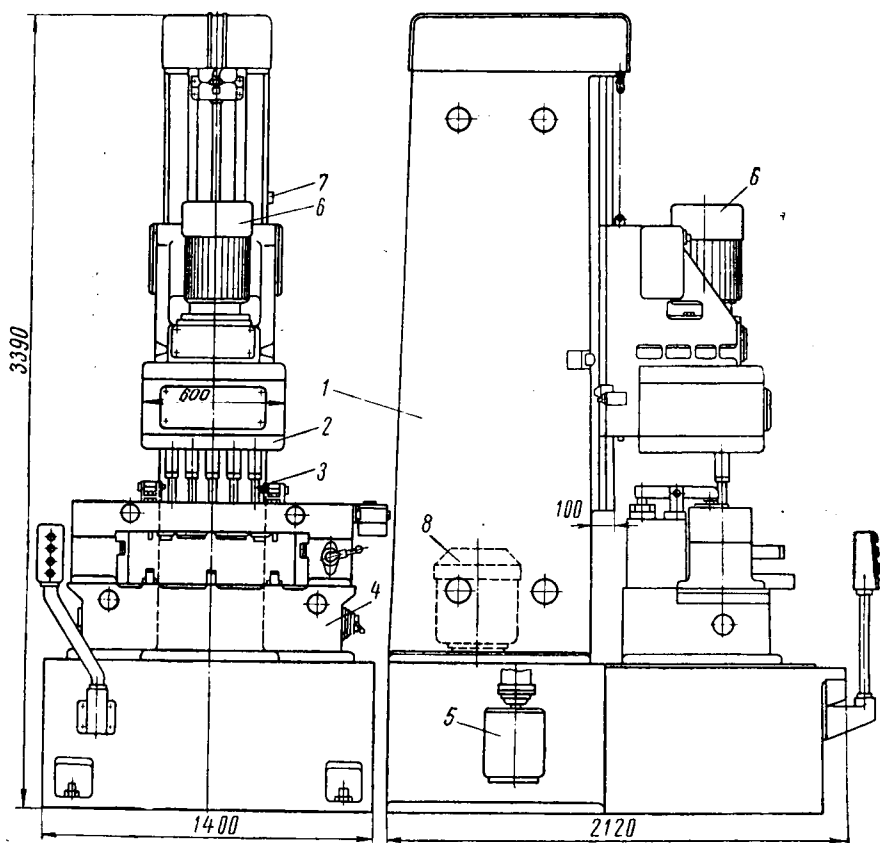


Рис. 11.5. Общий вид вертикально-сверлильного агрегатного станка:

1 — станина; 2 — шпиндельная коробка; 3 — инструмент; 4 — приспособление; 5 — двигатель охлаждения; 6 — главный привод; 7 — упоры управления; 8 — двигатель гидростанции

Обработка изделия в течение первого прохода контролируется реле времени *РВ*, по истечении выдержки времени которого отключается электромагнит *1Э* и включается *ЗЭ* — головка быстро отводится назад, освобождается *ЗВК*, а в исходном положении нажимаются *1ВК* и *2ВК* — выключаются *ЗРП*, двигатель *3Д*, реле *РВ*, включается *1Э*. Головка автоматически быстро идет вперед во втором проходе. Затем аналогично предыдущему при воздействии на *ЗВК* осуществляется переключение на первую рабочую подачу

и т. д. до окончания в третьем проходе первой рабочей подачи, когда в конце ее упор нажмет на выключатель *4ВК*. При этом отключится электромагнит *2Э* и начнется вторая рабочая подача головки, в конце которой сработает *5ВК* и включится реле *2РП* — отключаются *1Э* и реле *1РП*, включается электромагнит *3Э*. Совер-

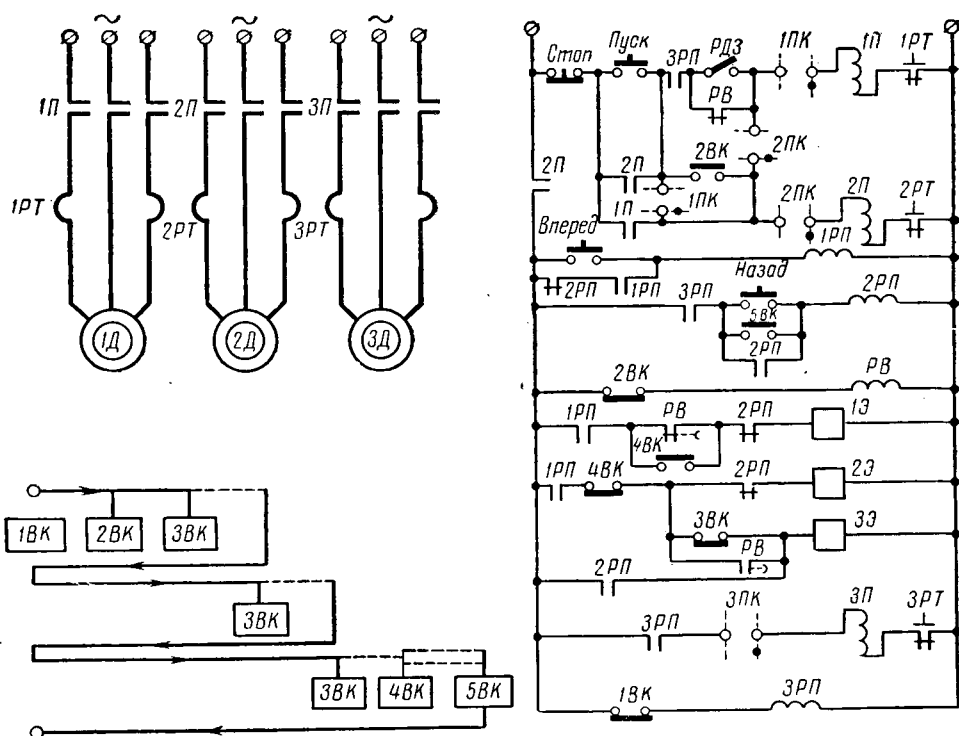


Рис. 11.6. Схема электропривода вертикально-сверлильного агрегатного станка

шается быстрый отвод головки, освобождается *5ВК*. В исходном положении головки нажимаются *1ВК* и *2ВК*, выключаются реле *3РП*, *2РП*, реле времени *РВ*, пускатели *1П*, *3П* и электродвигатели *1Д* и *3Д* — цикл работы станка заканчивается. Для возобновления цикла нажимается кнопка «*Вперед*».

§ 11.3. ЭЛЕКТРОПРИВОД И СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ АГРЕГАТНОГО СТАНКА ДЛЯ РАСТОЧНЫХ РАБОТ

В ряде случаев для производства расточных работ введение инструментов в отверстия детали и вывод их оттуда должны производиться в определенном, фиксированном положении инструментов.

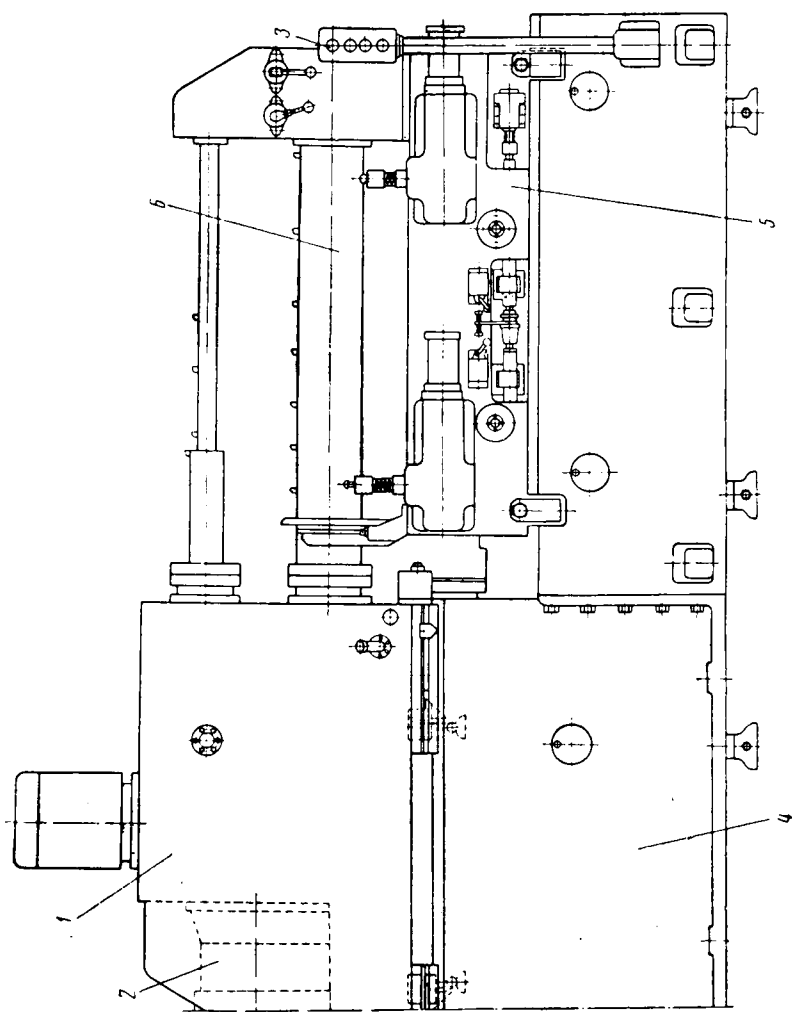
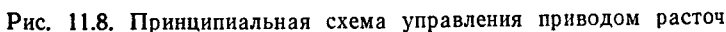


Рис. 11.7. Общий вид расточного агрегатного станка:

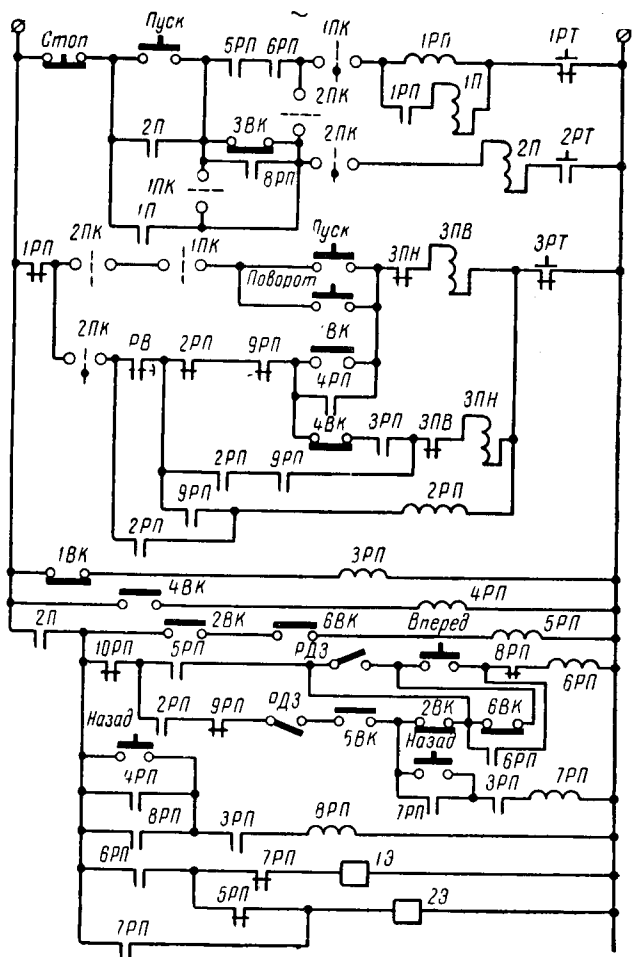
1 — силовая головка; 2 — главный двигатель; 3 — кнопочная станция; 4 — станина; 5 — приспособление для закрепления обрабатываемого изделия; 6 — борштанга

Обработка деталей на рассматриваемом станке ведется в следующем порядке. Вначале деталь устанавливается в зажимное приспособление, но не доходит до установочной поверхности на $7 \div 10$ мм. Затем подается вперед силовая головка, борштанги с



фиксированными в одной плоскости резцами проходят в отверстия детали (имеющие меньшие диаметры, чем диаметр окружности, описанной резцом) и останавливаются в крайнем переднем положении; резцы при этом не доходят до обрабатываемых поверхностей на $4 \div 5$ мм.

После упомянутой операции рабочий опускает деталь на два штыря по базовой поверхности, где она центрируется относительно осей борштанг и закрепляется. Затем производится одновременно расточка всех отверстий детали. По окончании обработки станок автоматически останавливается, рабочий при помощи соответствующей рукоятки приподнимает деталь на $7 \div 10$ мм. После этого дается сигнал на выведение борштанг, и силовая головка возвра-



щается в исходное положение. Резцы в борштангах по окончании обработки автоматически занимают такое же фиксированное положение, как и при введении их в деталь.

Принципиальная электрическая схема управления станком приведена на рис. 11.8. В исходном положении всех механизмов станка нажаты конечные выключатели *1ВК* и *5ВК*. При подаче питания на силовые цепи и через понизительный трансформатор на цепи управления в исходном положении выключателей *1ПК*, *2ПК* срабатывает *3ПВ*, включаются двигатель *3Д* и электромагнитная муфта *1ЭМ*. Борштанга при малой скорости поворачивается до тех пор, пока упор не воздействует на конечный выключатель *7ВК* — срабатывает реле *9РП*, отключится *3ПВ* и включится реле *2РП*, через замыкающие контакты которого получит питание *3ПН*. Двигатель *3Д* реверсируется и борштанга начинает поворачиваться в сторону, противоположную главному движению, — происходит доводка борштанги; при этом отключаются *7ВК*, реле *9РП*, *3ПН*, двигатель *3Д*, реле времени *РВ* и электромагнитная муфта *1ЭМ*. Включается электромагнитная муфта *2ЭМ*, осуществляющая принудительное торможение. По истечении выдержки времени *РВ* выключается цепь катушки *2ЭМ*.

Затем обрабатываемое изделие загружается в приспособление и нажимается кнопка «Пуск» — срабатывает *2П*, включится двигатель *2Д*. Нажатием кнопки «Вперед» включается реле *6РП* и электромагниты *1Э* и *2Э*, в результате чего осуществляется быстрый подвод силовой головки; освобождается *1ВК* и нажимается *2ВК* — включается *3РП*, отключаются *6РП* и *1Э*, *2Э*, при этом останавливается головка. Обрабатываемое изделие с помощью гидравлического приспособления смещается в рабочее положение, освобождается *5ВК* и нажимается *6ВК* — выключается *5РП*, затем изделие зажимается. При надежном зажатии обрабатываемого изделия срабатывает реле давления *РДЗ*. Нажатием кнопки «Вперед» включаются *6РП*, затем *1РП* и пускатель *1П* — пускается двигатель *1Д*. Размыкающие контакты *1РП* выключают реле *2РП*.

При включении реле *6РП* замыкается цепь электромагнита *1Э* и начинается рабочая подача головки — происходит обработка изделия; в конце обработки нажимается *4ВК*, включается *4РП*, затем *8РП*. Пускатель *2П* получает дополнительную цепь питания через замыкающие контакты *2П* и *8РП*. При включении *8РП* размыкается цепь *6РП*, выключается электромагнит *1Э*. Выключаются реле *1РП*, пускатель *1П* и двигатель *1Д*, который интенсивно затормаживается; благодаря конденсаторному торможению происходит доводка борштанги в исходное положение (как было описано ранее), при котором может совершиться ее выведение из зоны обработки. Гидрокраном обрабатываемое изделие отжимается (отключается реле *РДЗ*) и смещается в исходное положение, в котором освобождается *6ВК* и нажимается *5ВК*, выключается *5РП*. Нажатием кнопки «Назад» включается *7РП*, затем *2Э* и совершается быстрый отвод силовой головки в исходное положение.

Освобождаются *4ВК*, *3ВК*, *2ВК* и нажимается *1ВК* — отключаются *4РП*, *3РП*, *7РП*, *8РП*, *2Э* и *2ЭМ*; все механизмы станка приведены в исходное положение и цикл его работы завершен.

В схеме предусмотрена световая сигнализация о нормальной фиксации борштанги, когда нажат *8ВК* и загорается лампа *1ЛС*, и аварийном положении борштанги, когда срабатывает реле *10РП* и загорается *2ЛС*. Пакетные выключатели *1ПК÷3ПК* служат для отключения двигателей *1Д÷3Д* при опробовании отдельных цепей управления.

Современные системы управления агрегатными станками сравнительно сложны и обычно комплектуются релейно-контактными аппаратами. Если учесть, что производительность этих станков велика, то и число контактно-срабатываний в час оказывается значительным. Надежность же работы станка при прочих равных условиях будет зависеть от качества электрических аппаратов и частоты их срабатывания. Поэтому перспективным с точки зрения повышения надежности работы агрегатных станков и автоматических линий следует признать переход от контактных аппаратов в системах управления к системам управления, в которых используются бесконтактные логические элементы.

В § 11.4 приводится пример бесконтактного управления агрегатным станком.

§ 11.4. СИСТЕМА БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ АГРЕГАТНОГО СТАНКА

Рассмотрим в качестве иллюстрации бесконтактного управления разработанную СКБ1 схему управления агрегатного станка, предназначенного для обработки алюминиевого корпуса водяного насоса автомобильного двигателя. На станке производятся растачивание отверстия $\varnothing = 123$ мм и подрезка торца, сверление четырех отверстий $\varnothing = 10$ мм и, наконец, сверление, снятие фасок и нарезание резьбы $M8 \times 1,25$ в пяти отверстиях. Время цикла 0,7 мин. Станок состоит из силовой гидравлической головки, поворотного стола и приспособления для установки детали.

Рассмотрим вначале действие релейно-контакторной схемы (рис. 11.9) и сопоставим ее со схемой бесконтактного управления.

Циклограмма работы станка приведена на рис. 11.9, в. Назначение путевых выключателей: *1ВК*, *6ВК* — соответственно контроль исходного положения головки и резьбонарезного механизма; *2ВК* — включение рабочей подачи и нарезки; *3ВК* — отвод головки; *4ВК*, *5ВК* — соответственно контроль фиксации и расфиксации стола; *7ВК* — команда на реверсирование резьбонарезного механизма; *8ВК* — исходное положение штока цилиндра поворота; *9ВК* — блокировка резьбонарезного механизма; *10ВК* — контроль положения стола на позиции.

Назначение двигателей: *1Д* — силовой головки для сверлильно-расточных шпинделей; *2Д* — насоса гидравлической системы; *3Д* —

резьбонарезного механизма; 4Д — насоса охлаждающей жидкости (рис. 11.9, а). Управление гидравлической системой осуществляется электромагнитами 1Э÷5Э.

Схема управления (рис. 11.9, б) предусматривает автоматический цикл работы, состоящий из поворота стола, быстрого перемещения силовой головки, рабочей подачи, работы на упоре, быстрого отвода головки в исходное положение и поворота стола. На-

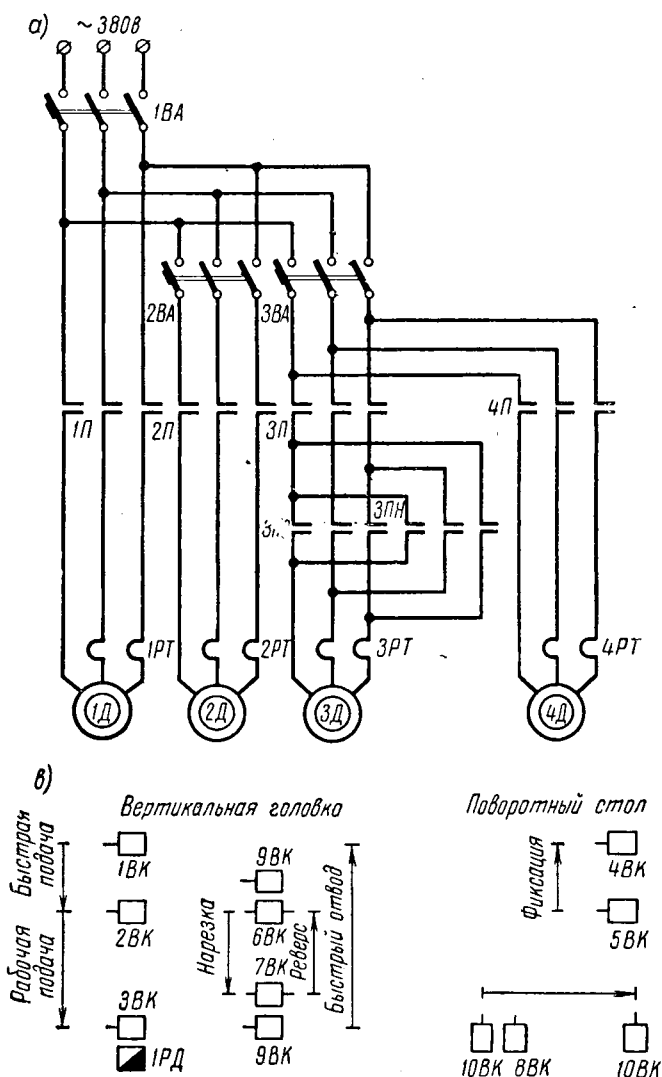
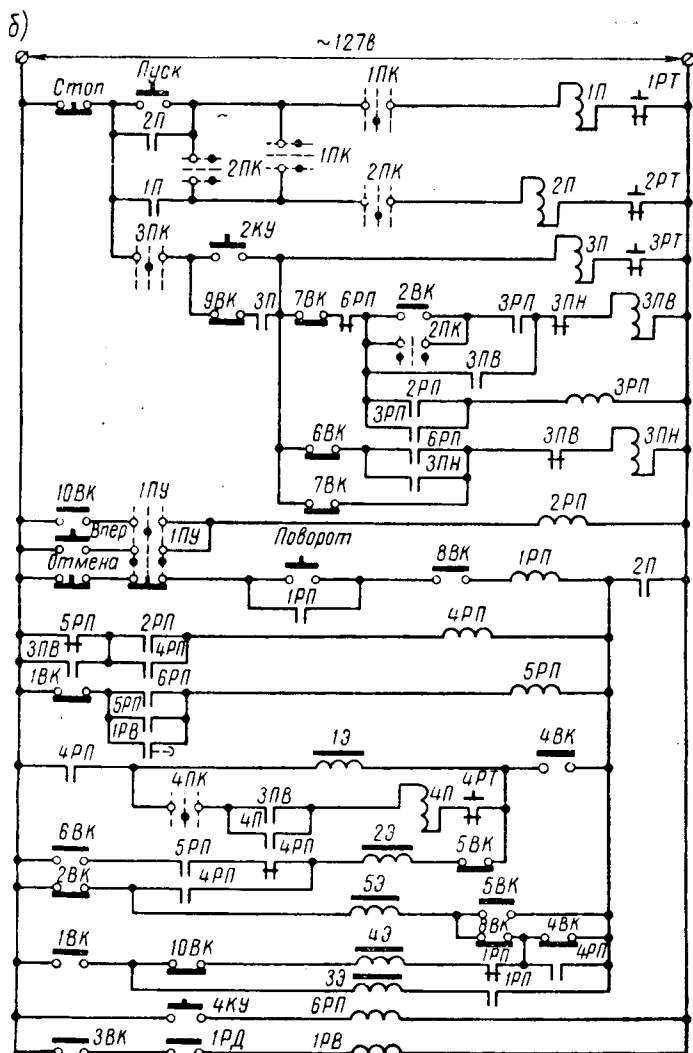


Рис. 11.9. Принципиальная релейно-контактная схема

ладочный режим предусматривает раздельную работу поворотного стола, головки и отключение других приводов станка.

Для выполнения автоматического цикла переключатель *1ПУ* устанавливается в положение «Автоматическая работа», выключатели *1ПК*, *2ПК*, *3ПК* и *4ПК* включены; все механизмы станка находятся в исходном положении — путевые выключатели *1ВК*, *4ВК*, *6ВК* и *8ВК* нажаты. После установки обрабатываемого изделия нажимается кнопка «*Пуск*», включаются пускатели *1П*, *2П* и *3П* —



управления агрегатного станка

пускаются двигатели 1Д, 2Д и производится гидравлический зажим изделия. Нажатием кнопки «Поворот» включается 1РП и электромагнит 3Э, осуществляющий расфиксацию стола, при этом освобождается 4ВК. В конце расфиксации срабатывает 5ВК, включается электромагнит 5Э и происходит поворот стола — освобождается 8ВК, отключается реле 1РП и электромагнит 3Э. На протяжении всего поворота 10ВК оказывается в нажатом состоянии и включено реле 2РП, контакты которого присоединяют 3РП и 4РП; контакты 2РП блокируются контактами реле 3РП и 4РП. В конце поворота стола освобождается 10ВК и включается электромагнит 4Э, осуществляющий фиксацию стола. При фиксации освобождается 5ВК, а в конце ее нажимается 4ВК — включаются электромагниты подачи головки вперед 1Э и быстро 2Э. При движении головки вперед освобождается 1ВК и электромагнит 4Э отключается. В конце быстрого перемещения и до конца рабочей подачи остается нажатым 2ВК, контакт которого отключает 2Э и 5Э — происходит рабочая подача и обработка изделия. После отключения 5Э шток гидроцилиндра поворота стола возвращается в исходное положение, срабатывает 3ПВ и подключается двигатель 3Д резьбо-нарезного механизма; одновременно включается двигатель 4Д. Начинается нарезание резьбы, освобождается 6ВК — подготавливается цепь питания 3ПН. К концу нарезания резьбы нажимается 7ВК и двигатель 3Д реверсируется — шпиндели резьбонарезного механизма отводятся назад, 7ВК освобождается. Но 6ВК освобожден и двигатель 3Д выводит шпиндели в исходное положение, в котором 6ВК оказывается нажатым, и двигатель 3Д остановится. В это время продолжается обработка изделия с помощью силовой головки до тех пор, пока упор не воздействует на 3ВК. Дальнейшая подача исключается, головка становится на жесткий упор, в результате чего повышается давление в гидросистеме и при срабатывании реле давления 1РД включается реле времени 1РВ. По истечении времени (необходимого для обработки на жестком упоре) срабатывает 1РВ, включится 5РП, выключится 4РП, отключится двигатель 4Д; выключится также электромагнит 1Э и включится 2Э. Головка быстро отводится назад; отключаются 1РД, 1РВ, освобождаются 3ВК, 2ВК, а в исходном положении головки нажат 1ВК, выключаются 5РП и 2Э. Головка останавливается, на этом заканчивается автоматический цикл работы станка.

Повторение цикла может быть осуществлено нажатием кнопки «Поворот», при этом команда может быть подана заранее, но поворот стола произойдет только после возврата головки в исходное положение.

Осуществление наладочного режима ясно из схемы.

До составления схемы бесконтактного управления остановимся кратко на выборе элементов для этой схемы. К ним относятся:

командные аппараты — кнопки, переключатели, путевые выключатели. Выбор типа этих аппаратов определяется их надежностью и габаритами. Кнопки и переключатели включаются редко,

достаточно надежны и поэтому нет необходимости заменять их сложными и дорогостоящими бесконтактными аппаратами. Путь-вые выключатели, работающие часто, следует заменить бесконтактным путевым переключателем, например типа БСП-11;

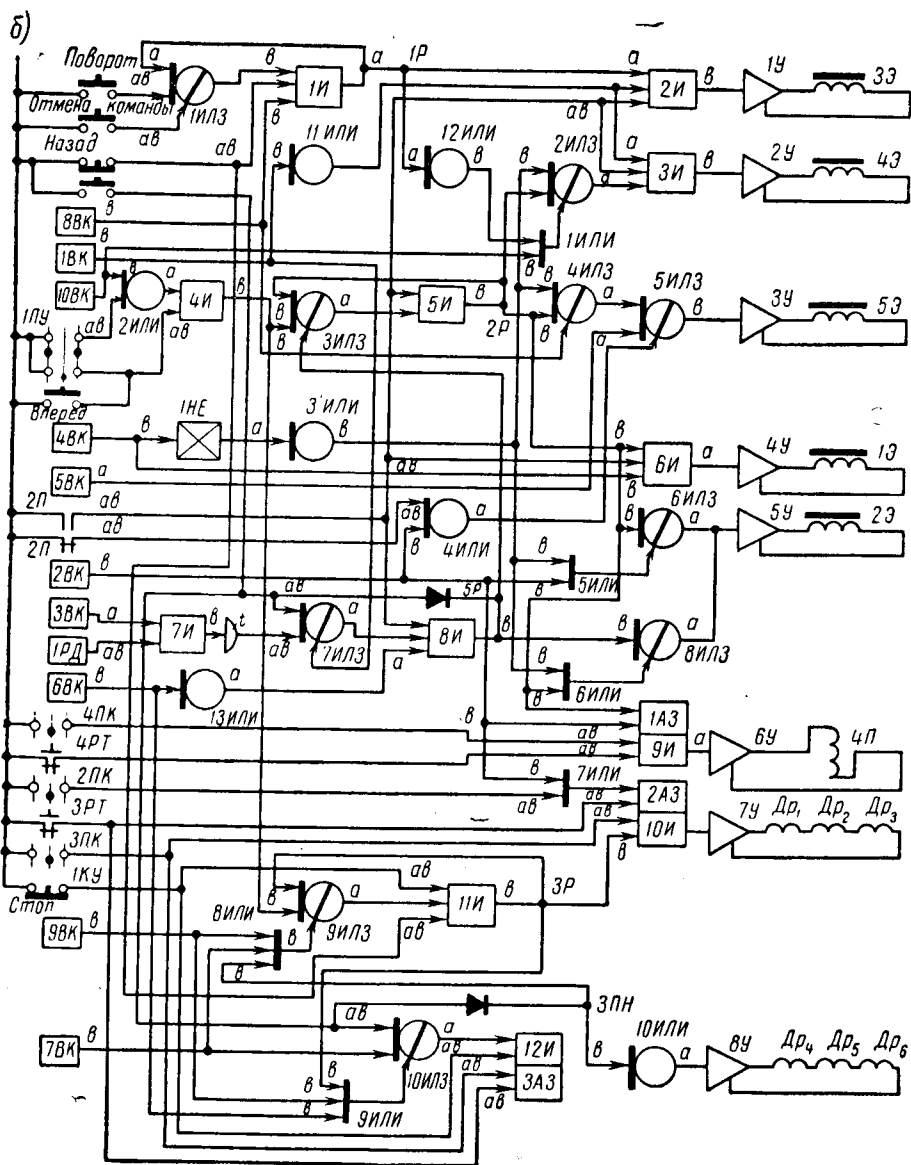
функциональные элементы — релейно-контакторная аппаратура заменяется бесконтактными логическими элементами. В схемах агрегатных станков и автоматических линий определяющими требованиями к бесконтактным элементам являются надежность, быстродействие, малые габариты и помехоустойчивость. В связи с этим целесообразно использовать магнитные логические элементы серии ЭЛМ, для усилительных элементов — магнитные усилители серии ВУМ;

исполнительные органы — электромагниты и силовые коммутационные аппараты. В рассматриваемой схеме реверсивный пускатель может быть заменен более надежным бесконтактным переключающим устройством на дросселях насыщения. Остальные силовые аппараты могут быть оставлены такими же, как в схеме на рис. 11.9. В соответствии с заданной последовательностью действия отдельных элементов схемы составляется таблица включений элементов схемы управления, в которую записываются последовательно изменения состояний этих элементов. Каждое изменение состояния элемента или одновременное изменение состояния нескольких элементов называется тактом работы схемы. Последовательный ряд тактов, когда элемент включен, называется периодом включения, а соответственно ряд тактов, в течение которого элемент отключен, — периодом отключения.

На основе элементарных схем ячеек с учетом отмеченных особенностей схемы релейно-контакторного управления агрегатного станка (см. рис. 11.9) на рис. 11.10, б приведена принципиальная схема бесконтактного управления для того же станка.

Рассмотрим работу этой схемы для автоматического режима (переключатель *1ПУ* устанавливается в положение «Автоматическая работа»). В исходном положении на выходах *1ВК*, *4ВК*, *6ВК* и *8ВК* имеются сигналы; на всех логических элементах выходные сигналы отсутствуют. При нажатии кнопки «Пуск» срабатывают *1П*, *2П* и *РН* (рис. 11.10, а) — включаются двигатели *1Д*, *2Д*. После закрепления обрабатываемого изделия нажатием кнопки «Поворот» подается сигнал на вход элемента *1ИЛЗ* ячейки памяти *1Р*; ячейка *1Р* включается и с выхода ее поступает команда на *2И*, с выхода которого через усилитель *1У* получает питание электромагнит *3Э* — происходит расфиксация стола; при этом снимается сигнал с выхода *4ВК*. В конце расфиксации на выходе *5ВК* появляется сигнал, поступающий на вход *5ИЛЗ*; на его выходе сигнал подается на усилитель *3У*, управляющий электромагнитом поворота *5Э*, после включения которого начинается поворот стола, снимается сигнал *8ВК*, выключаются ячейки памяти *1Р*, *2И* и электромагнит *3Э*. В течение всего поворота имеется сигнал *10ВК*, поэтому включен *2ИЛИ*, с выхода которого поступает сигнал на

6ВК поступает на вход запрета 10ИЛЗ, ячейка 3ПН отключается — снимается сигнал с 8У, отключаются обмотки подмагничивания дросселей «Назад» и двигатель 3Д останавливается. Силовая головка продолжает обрабатывать изделие.



По окончании рабочей подачи дается сигнал путевого выключателя *ЗВК*, дальнейшее перемещение силовой головки прекращается — она переходит на жесткий упор. Повышается давление в гидросистеме и срабатывает реле давления *1РД*, в результате чего подаются сигналы на оба входа *7И*, на выходе которого сигнал поступает на элемент задержки *t*, который с заданной выдержкой времени, необходимой для обработки изделия без подачи (на жестком упоре), сработает и включит ячейку памяти *5Р*, сигнал с выхода которой отключает ячейку памяти *2Р* — поступает сигнал на вход запрета *3ИЛЗ*; снимаются сигналы со входов *6И* и *9И*. При этом отключаются электромагнит *1Э* и *4П* — двигатель *4Д* выключается. Со входа запрета *8ИЛЗ* снимается сигнал *2Р*, а на его вход *ИЛИ* поступает сигнал *5Р*. На выходе *8ИЛЗ* появляется сигнал, который через усилитель *5У* включает электромагнит *2Э*. Силовая головка быстро отходит назад; при этом снимаются сигналы *1РД*, *ЗВК*, элемента задержки времени *t* и *2ВК*. В исходном положении головки дается сигнал *1ВК*, поступающий на вход запрета *7ИЛЗ*, и отключается ячейка памяти *5Р*. Ее сигнал снимается со входа *8ИЛЗ* и выключается электромагнит *2Э*. Головка останавливается и цикл работы станка заканчивается.

Для повторения цикла нужно нажать кнопку «Поворот» — включается ячейка памяти *1Р*, если на входе *1И* имеется сигнал *8ВК*. Сигнал *1Р* поступает на вход *2И*; на его выходе окажется напряжение в том случае, если на вход *2И* поступит еще сигнал от *1ВК*.

Остановка станка производится нажатием кнопки «Стоп», при этом отключаются *1П*, *2П* и реле *РН*, снимается сигнал с ячеек памяти *3Р* и *3ПН*, отключаются все логические и исполнительные элементы системы.

Обработка элементов схемы управления при воздействиях на кнопки «Отмена команды», «Назад», «Наладочный режим» и «Вперед» ясна из схемы.

Сопоставление релейно-контактной схемы со схемой бесконтактного управления указывает на то, что последняя оказывается более сложной, содержит большее число элементов и существенно дороже. Комплектование бесконтактных систем управления на элементах относительно простых и выполняющих не одну, а две или несколько функций позволит сократить общее число элементов в схеме, что особенно важно для сложных систем управления. Кроме того, дальнейшее снижение сравнительно высокой стоимости бесконтактных элементов должно содействовать более широкому их применению.

С целью повышения надежности работы сравнительно сложных систем управления весьма перспективным может оказаться использование аппаратов с герметизированными магнитно-управляемыми контактами (герконы). Эти аппараты являются более простыми в сравнении с бесконтактными логическими элементами, допускают большое число включений и отмечаются малыми габаритами.

Обработка деталей сложной конфигурации с большим количеством операций на нормальных и даже агрегатных станках связана с большой затратой вспомогательного времени. Рабочий в данном случае занимается установкой детали, зажимом и отжатием ее, управляет станком, снимает обработанную деталь и передает ее на другой станок.

Стремление значительно повысить производительность труда за счет резкого снижения вспомогательного времени и одновременной обработки деталей с разных сторон, а также сократить количество вспомогательного персонала привело к созданию автоматических линий.

Автоматические линии станков обычно комплектуются из отдельных агрегатных станков, связанных между собой общими автоматическими действующими транспортирующими и зажимными устройствами. На автоматических линиях без участия рабочего производится транспортировка обрабатываемых деталей от одного станка к другому, зажим и фиксация деталей, автоматический подвод и отвод режущих инструментов на всех станках. Задача рабочего состоит в установке на загрузочной позиции новой детали, предназначенной для обработки, а также в съеме уже обработанной детали в конце линии. Эти операции являются наиболее простыми и не требуют рабочих высокой квалификации.

С целью сокращения длины линии на каждой рабочей позиции обработка детали ведется часто с двух сторон, а иногда и сверху.

По способу осуществления транспортных, задающих и управляющих устройств различают автоматические линии с жесткими и гибкими связями. Жесткая связь определяется тем, что автоматическая подача обрабатываемых изделий производится общим транспортным устройством с точно установленным тактом. Величина такта зависит от наиболее длительного цикла обработки изделия на одной из рабочих позиций линии.

На рис. 11.11 показана схема расположения механизмов небольшой автоматической линии с жесткой связью между станками.

Значительное количество мест обработки в детали, близость их расположения, многочисленность различных операций не позволяют все операции вести на одном станке. Поэтому возникает необходимость в ряде станков, одни из которых предназначены для одной операции, другие — для другой и т. д. Часто требования технологического процесса приводят к значительному количеству станков, управление которыми сильно усложняется, вследствие чего в настоящее время такие автоматические линии разделяются на отдельные участки. Каждый из этих участков имеет самостоятельный транспортер и зажимное устройство. Количество участков и их границы определяются технологическим процессом, например границами двух участков может быть переход от обработки одной плоскости детали к другой. Поворотный стол или поворотный барабан,

предназначаемые для поворота детали, отделяют обычно один участок линии от другого.

Между отдельными станками линии, транспортирующими и зажимными устройствами должны осуществляться определенная связь и блокировки, обусловленные технологическим процессом. Наиболее приемлемой и гибкой связью является электрическая благодаря компактности электрической аппаратуры, возможности

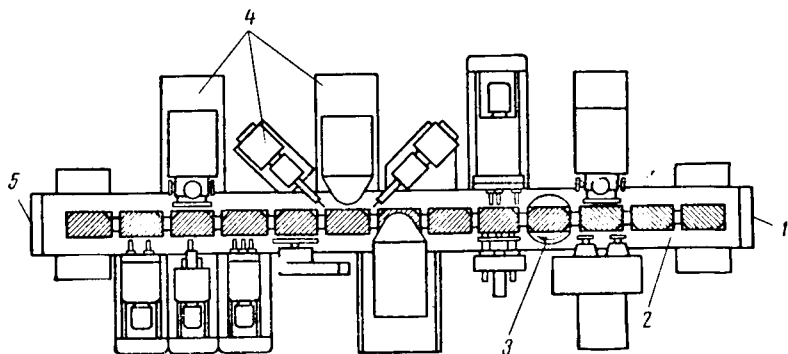


Рис. 11.11. Схема автоматической линии с жесткой транспортной связью:

1 — загрузочная позиция; 2 — транспортёр автоматической линии; 3 — поворотное устройство; 4 — станки; 5 — разгрузочная позиция

ее расположения в одном месте, дистанционному управлению, быстрому ремонту, легкости замены аппаратов и др. Однако с удлинением и усложнением линий растет количество электрических аппаратов, усложняется схема управления. В связи с этим для обеспечения надежной работы линий необходимо электрооборудование самого высокого качества.

Для обеспечения необходимых связей и блокировок между отдельными механизмами линии используется чаще всего контроль исполнения команд в функции пути, являющийся наиболее надежным. Последующая команда на линии (с жесткой связью) может осуществляться только при условии, что соответствующие механизмы линии совершат предварительно свой рабочий цикл. В этом случае необходимо, чтобы каждый механизм совершал свой цикл независимо от продолжительности выполнения полученных команд другими механизмами при наличии одновременного их получения. Отсутствие команды от какого-либо механизма приводит к остановке линии.

Электрическая схема должна обеспечить работу линии в автоматическом и наладочном режимах.

В автоматическом режиме электрические связи дают возможность выполнить определенную очередность в работе всех механизмов линии. Вначале происходит отжим обрабатываемых деталей на всех позициях, затем перемещение деталей на последующие

позиции, при этом одновременно новая деталь перемещается с загрузочной на первую рабочую позицию, а полностью обработанная (на данном участке линии) деталь выводится с последней позиции. После перемещения всех деталей происходит их фиксация и одновременный зажим, затем осуществляется быстрый подвод всех силовых головок с режущими инструментами к деталям с последующим автоматическим переключением каждой головки на рабочую подачу и, наконец, процесс обработки. По окончании обработки каждая головка независимо от остальных быстро отводится в исходное положение. После возврата всех головок в исходное положение производится отжатие всех деталей и цикл работы линии автоматически повторяется.

Для наладочного режима все механизмы линии имеют индивидуальное управление, осуществляемое в толчковом режиме кнопками, расположенными у данного механизма. Наладочный режим позволяет исключить из работы любой станок линии или группу станков в каком угодно сочетании.

Возможность исключения из работы отдельных станков линии целесообразна и в автоматическом режиме. Пропущенные операции производятся при этом на отдельных станках. Необходимо обратить внимание на то, что нормальная остановка линии должна производиться всегда в одном и том же определенном положении. Обычно этим положением является конец отжима всех обрабатываемых деталей. Схемой управления должно быть предусмотрено автоматическое отключение линии в положении, когда все детали отжаты посредством нажатия кнопки «Предварительный стоп». Нажатие этой кнопки может быть произведено в любое время работы линии; система управления автоматически должна довести работу линии до положения отжима деталей. Кроме того, схемой управления предусматривается аварийная остановка линии в любом ее положении. После такой остановки последующий автоматический пуск линии возможен, если все механизмы линии будут приведены в исходное положение. Возврат механизмов в исходное положение производится при помощи кнопок наладочного режима.

В системе управления должны быть отражены следующие блокировки, обусловленные технологическим процессом:

1. Пуск транспортера и перемещение обрабатываемых деталей возможны, если все силовые головки линии находятся в исходном положении, все детали отжаты и фиксирующие шпильки выведены. Когда линия состоит из двух (или нескольких) участков, разделенных между собой поворотным столом, то пуск транспортера линии возможен, кроме того, лишь при условии, что поворотный стол находится в исходном положении — для транспортера первого участка. Для транспортера второго участка этот стол повернут на 90° .

2. Зажим деталей производится в том случае, если закончилось перемещение с позиции на позицию и все головки находятся в исходном положении.

3. Перемещение головок вперед производится при полном введении в детали фиксирующих шпилек и зажиме деталей, контролируемом обычно реле давления. Кроме того, транспортеры линии* должны находиться в исходном положении.

4. Отжатие деталей может произойти при условии, что все головки выполнили свои рабочие операции и пришли в исходное положение: транспортеры находятся в исходном положении.

5. Поворот стола совершается, когда транспортеры находятся в исходном положении.

Автоматическая работа линии прекращается, если самопроизвольно отключится хотя бы один из двигателей силовых головок.

Поворотные столы (или барабаны) имеют индивидуальный электро- или гидропривод. При зажиме деталей на участке стол (или барабан) поворачивается в положение для приема детали с соседнего участка. При отжатии деталей на позициях стол (или барабан) поворачивается в положение для подачи детали на другой участок. На каждом поворотном столе (или барабане) имеется блокировочный выключатель, контролирующий наличие деталей на столе. Транспортер подаст новую деталь на стол (или в барабан), если последний повернется и затем вернется в исходное положение.

Транспортер приводится в действие от индивидуального электро- или гидропривода. При перемещении детали необходимо, чтобы скорость перемещения плавно возрастала до своего максимума, а в конце перемещения плавно снижалась до нуля для обеспечения точной остановки.

Транспортер с гидроприводом дает возможность точно установить перемещенную деталь на позиции. Это достигается благодаря тому, что в конце хода шток транспортера упирается в жесткий упор. Дальнейшее движение прекращается, а в гидросистеме транспортера давление повышается — срабатывает реле давления, дающее команду для зажима деталей на всех позициях. После этого транспортер возвращается в исходное положение.

В случае использования электропривода для транспортера возвратно-поступательное движение сообщается ему при помощи кулисного механизма. Двигатель вращается в одном направлении и автоматически отключается в исходном положении транспортера. В системе с электроприводом возврат транспортера в исходное положение осуществляется еще в процессе зажима деталей, поэтому не исключена возможность смещения детали на позиции. При нечеткой работе аппаратуры в исходном положении транспортера двигатель может не остановиться, вследствие чего произойдет новое перемещение деталей, уже зажатых, что вызовет поломку транспортера и приспособлений. Из сказанного следует, что надежность и четкость работы линии определяются надежностью работы электрической аппаратуры.

* Если линия состоит из двух участков, то имеются два транспортера.

Электропривод транспортера проще и дешевле гидропривода. Выбор типа привода транспортера зависит от количества позиций на участке и шага транспортера. При малом количестве позиций и малом шаге применяется электропривод, для участков с большим количеством позиций и большим шагом используется гидропривод.

Исходное положение каждого транспортера контролируется конечным выключателем, который отключает двигатель транспортера и разрешает отжатие деталей на данном участке и поворот стола или барабана на соседнем участке.

Зажим и отжатие деталей также контролируются своими конечными выключателями, расположенными на каждой позиции и срабатывающими через систему рычагов от штока зажимного цилиндра. Окончательное зажатие детали в приспособлении производится воздействием гидросистемы на клиновой зажим. Конец зажатия определяется срабатыванием реле давления при повышении давления в гидросистеме зажима. Механизм зажима выполнен так, что реле давления срабатывает и при отсутствии детали. Это необходимо, так как не на всех позициях могут находиться детали. Конечные выключатели при зажиме контролируют правильность положения деталей в приспособлениях, ибо реле может сработать при любом положении детали. Отжатие деталей также необходимо контролировать конечными выключателями, так как только после отжатия может быть дана команда для дальнейшего перемещения деталей.

Управление каждой силовой головкой производится конечными выключателями, установленными на головке. Одни конечные выключатели, как на самостоятельных агрегатных станках, контролируют исходное положение головки, при котором производятся зажим и отжим деталей, а также перемещение их с позиции на позицию. Другие выключатели контролируют окончание обработки детали.

Еще более сложными оказываются взаимосвязи между отдельными механизмами линии, включающей дополнительно спутники, на которых перемещаются с позиции на позицию обрабатываемые изделия. В этих линиях транспортные устройства усложняются введением специальных механизмов, возвращающих спутники в исходную позицию, где происходит их загрузка; такие механизмы состоят из подъемных столов и транспортеров, действие которых жестко согласуются с работой основного транспортера.

На рис. 11.12 показана блок-схема автоматической линии, состоящей из десяти станков ($1C \div 10C$), связанных сквозным жестким транспортером $1T$ для перемещения на спутниках обрабатываемых изделий, автоматическими загрузочными и разгрузочными станциями (на рисунке не показаны) и тремя возвратными транспортерами $2T$, $3T$ и $4T$. Транспортеры $2T \div 4T$ служат для возврата спутников на загрузочную станцию, расположенную у станка $1C$. Взаимосвязи в работе станков с транспортером $1T$ такие же, как

было указано выше. Технологические связи между транспортерами $1T \div 4T$ сводятся к следующему:

1. Транспортёр $1T$ может перемещаться со спутниками (с обрабатываемыми изделиями) вперед, если транспортёр $2T$ подготовлен для приемки спутников, а транспортёр $4T$ доставил на загрузочную станцию свободный от изделия спутник.

2. Транспортёр $2T$ может перемещаться со свободным спутником в том случае, если спутник, доставленный транспортёром $1T$

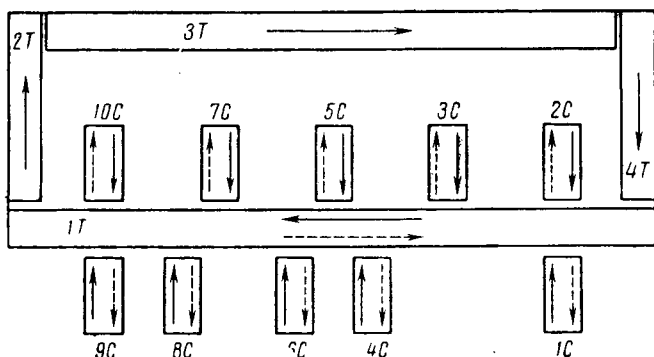


Рис. 11.12. Блок-схема автоматической линии с транспортерами для спутников

на разгрузочную станцию, освободится от обработанного изделия, а транспортёр $3T$ будет подготовлен к приему спутника и перемещению его к транспортёру $4T$.

3. Транспортёр $3T$ начнет перемещаться при доставке свободного спутника транспортёром $2T$ и подготовленности $4T$ к его приему.

4. Транспортёр $4T$ начнет перемещаться при наличии на нем спутника, доставленного транспортёром $3T$, и подготовленности на загрузочной станции транспортёра $1T$ к приему нового изделия на спутник.

При наличии жестких связей между отдельными механизмами линии, по мере усложнения этих связей, увеличивается количество различных блокировок (механических, гидравлических и особенно электрических), что существенно усложняет схемы управления.

К достоинствам линий с жесткой связью можно отнести сравнительно короткое время прохождения обрабатываемого изделия с позиции на позицию; недостатком же является то, что при неисправности любого из устройств прекращается работа всей линии. При гибкой связи каждый станок совершает собственный цикл обработки. Схема линии, состоящей из трех станков и имеющей гибкую транспортную связь, показана на рис. 11.13, где, кроме портных устройств, по-разному выполненных между станками, расположены также межоперационные накопители-бункеры.

Для такой или аналогичной линии должны быть соблюдены следующие взаимосвязи:

- а) станок 3 должен останавливаться при заполнении бункера 2 и неработающем транспортере 6;
- б) при неработающем станке 4 транспортер 6 должен останавливаться при заполнении бункера 2;

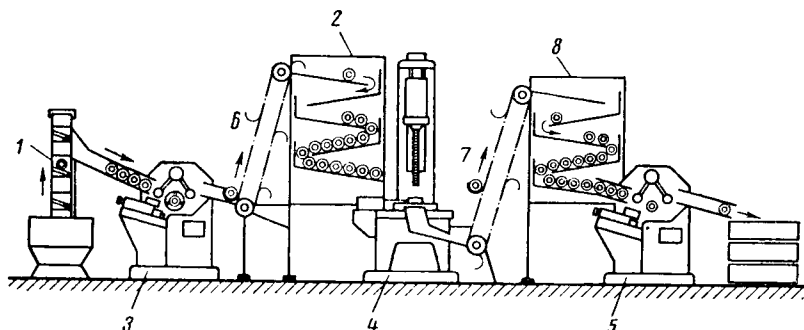


Рис. 11.13. Схема автоматической линии с гибкой транспортной связью: 1 — бункер и устройство для подачи обрабатываемых изделий; 2, 8 — бункеры накопители; 3, 4, 5 — станки; 6, 7 — транспортные устройства

в) станок 4 должен останавливаться при отсутствии обрабатываемых изделий в бункере 2.

На участке между станками 4 и 5, связанными транспортером 7 и бункером 8:

а) станок 5 должен останавливаться при отсутствии изделий в бункере 8;

б) при неработающем станке 5 транспортер 7 работает до полного заполнения бункера 8, затем автоматически отключается;

в) бункер 8 заполняется при неработающем станке 5, работающем станке 4 и транспортере 7;

г) бункер 8 опорожняется при работающем станке 5, а также неработающих станке 4 и транспортере 7;

д) станок 4 останавливается при наполнении бункера 8 и неработающем транспортере 7.

В линиях с жестким транспортером количество взаимосвязей и их разнообразие меньше, чем в линиях с гибким транспортером.

§ 11.6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ СТАНКОВ

Электрические схемы автоматических линий включают в себя не только схемы управления отдельными агрегатными станками, но и ряд специфических узлов и блокировок, присущих только линиям.

Автоматические линии могут работать в трех режимах:

1) автоматическом; 2) полуавтоматическом и 3) наладочном.

При автоматическом режиме достаточно один раз нажать кнопку на центральном пульте и линия будет совершать один цикл за другим без каких-либо дополнительных воздействий на органы управления. Рабочий должен только, как указывалось, подавать детали на загрузочную позицию и снимать их с разгрузочной позиции.

Полуавтоматический режим вводится в том случае, когда рабочий не успевает за ритмом линии, заданным в автоматическом режиме. При этом для совершения последующего цикла рабочий должен каждый раз нажимать кнопку «Пуск». Нажатие на эту кнопку может производиться в любой момент текущего цикла после возврата транспортера в исходное положение линии. По окончании этого цикла автоматически начнется следующий. Если же не нажать на указанную кнопку, то линия, закончив цикл, остановится.

Рассмотрим действие упрощенной схемы управления транспортером с электроприводом и кулисным механизмом (рис. 11.14). На

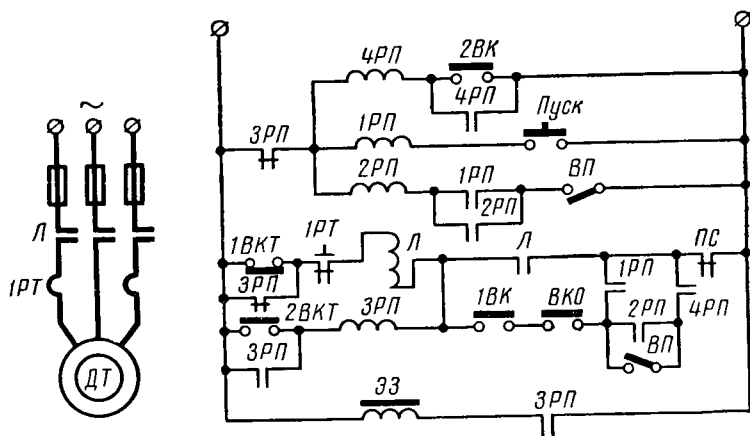


Рис. 11.14. Схема управления электроприводом транспортера автоматической линии

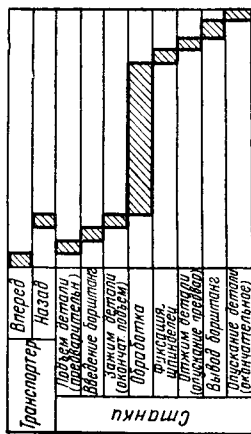
схеме: *Л* — пускатель двигателя транспортера; *1ВК* — путевой выключатель (условно показывает выключатели всех силовых головок), в исходном положении головок выключатель нажат; *ВКО* — путевой выключатель, условно показывающий все выключатели, фиксирующие отжатие деталей, в исходном положении — нажат; *1ВКТ* — путевой выключатель, нажатый в исходном положении транспортера; *2ВК* — выключатель, фиксирующий окончание обработки деталей на всех позициях (условно показан один выключатель); *ПС* — контакт промежуточного реле «Предварительный стоп».

Переключателем *ВП* избирается автоматический или полуавтоматический режим. При автоматическом режиме контакты *ВП* должны быть в таком положении, как это изображено на схеме. Нажатием кнопки «*Пуск*» включается промежуточное реле *1РП* и срабатывает пускатель *Л* при условии, что все силовые головки находятся в исходном положении (контакт *1ВК* замкнут) и все детали отжаты (контакт *ВКО* замкнут). Транспортёр пускается в ход. При движении транспортёра вперед освобождается контакт *1ВКТ*, а по окончании перемещения замкнется контакт *2ВКТ* и включится реле-*3РП*, которое своим замыкающим контактом подготавливает выключение пускателя *Л* при возвращении транспортёра в исходное положение. Кроме того, размыкаются цепи промежуточных реле *1РП* и *4РП*. Замыкающий контакт *3РП* при срабатывании включает электромагнит зажима *ЭЗ* и блокирует контакт *2ВКТ*. Транспортёр движется назад и в исходном положении останавливается, так как размыкается контакт *1ВКТ* и теряют питание катушки пускателя *Л* и реле *3РП*. По окончании зажима обрабатываемых изделий начнется подвод силовых головок. В конце обработки изделий от упоров нажимается выключатель *2ВК* и включается реле *4РП*. При возвращении головок в исходное положение и отжати всех изделий замкнутся контакты *1ВК* и *ВКО*, получит питание катушка пускателя *Л* (без воздействия на кнопку «*Пуск*») и начнется вновь цикл работы. В случае, если хотя бы одна из силовых головок почему-либо не воздействует на *2ВК*, включения двигателя транспортёра не произойдет. Нажатие на кнопку «*Пуск*» не даст включения пускателя *Л*.

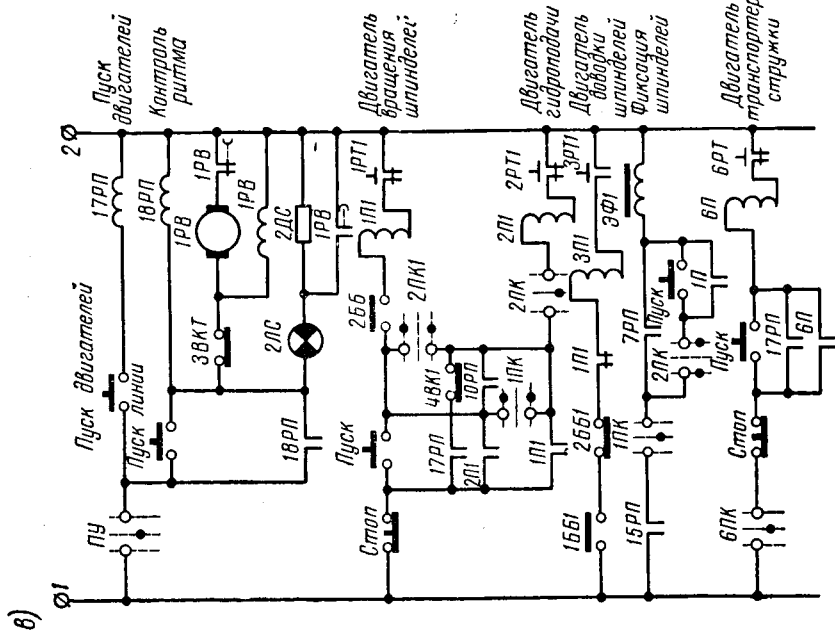
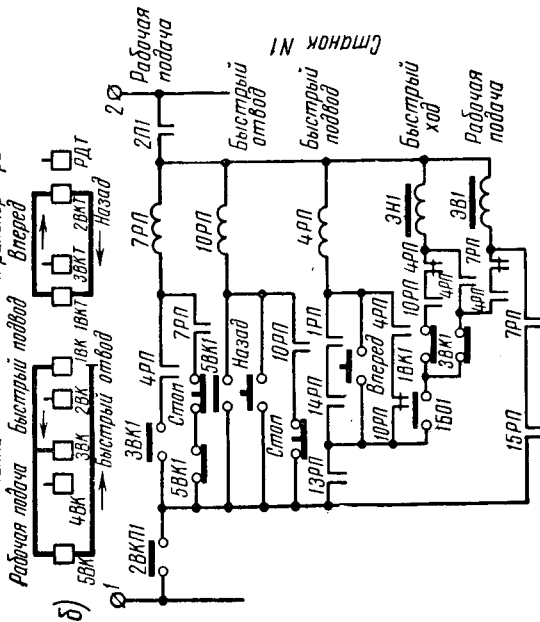
Полуавтоматический режим может быть получен, если предварительно повернуть выключатель *ВП* в положение, при котором его открытый на схеме контакт замкнется, а закрытый — разомкнется. Затем, после нажатия кнопки «*Пуск*» включаются реле *1РП* и *2РП* и транспортёр пускается в ход. Реле *2РП* отключится в конце перемещения транспортёра вперед, когда включится реле *3РП*. Схема управления транспортёром работает так же, как и при автоматическом режиме, однако после возвращения транспортёра в исходное положение и завершения одного цикла работа линии, как видно из схемы, не возобновится, если не нажать кнопку «*Пуск*».

Рассмотрим работу небольшой автоматической линии с жесткой связью, спроектированной СКБ-1 и состоящей из трех агрегатных расточных станков. На линии производится получистовое и предварительное чистовое растачивание отверстий под коленчатый и распределительный валы в блоке автомобильного двигателя. Станки связаны между собой шаговым транспортёром возвратно-поступательного действия с гидравлическим приводом. Этот транспортёр предназначен для перемещения деталей от одного станка к другому. На каждом станке имеется специальное приспособление для подъема и зажима блоков. При подъеме блока можно осуществить ввод борштанги с резцами. В конце подъема блок устанавливается на неподвижные фиксаторы, а после ввода борштанг

а) Циклограмма работы механизмов линии



б) Цикл транспортера



подъемный механизм поджимает блок к крышке приспособления. Подъем и зажим блока производятся гидравлическим приводом. Зажатие блоков контролируется реле давления.

Циклограмма работы механизмов линии показана на рис. 11.15, а. В данной линии, как и в большинстве современных станочных линий, имеется для отвода стружки ленточный транспортер, перемещающий стружку от начала линии к концу.

Упрощенная принципиальная электрическая схема линии приведена на рис. 11.15. Линия может работать в автоматическом или наладочном режиме, избираемом переключателем ПУ. Перед началом работы все механизмы линии находятся в исходном положении: силовые головки всех станков отведены назад, все шпиндели зафиксированы, транспортер в крайнем заднем положении, а подъемные устройства всех станков находятся внизу. На загруженную позицию подана деталь (блок).

В схеме на рис. 11.15, б для упрощения показаны цепи управления приводами только одного расточного станка, так как схемы приводов двух других станков аналогичны. С подачей напряжения на цепи управления (рис. 11.15, г) включается промежуточное реле 13РП, которое подготавливает цепи включения электромагнитов ЭЗ, ЭО, ЭПВ, ЭПН, ЭВ1 и ЭН1 и промежуточного реле 4РП. В исходном положении линии нажаты выключатели 1ВК1, 2ВК1, 1ВК2, 2ВК2, 1ВК3, 2ВК3, 1ВКП1, 1ВКП2, 1ВКП3, 1ВКТ и 1Б01. Нажатием кнопки «Пуск двигателей» через реле 17РП включаются пускатели 2П1, 4П, 5П и 6П и пускаются соответствующие двигатели гидроподачи станка, гидростанций транспортера подъема и зажима деталей и транспортера стружки.

При включении пускателей 4П и 5П блокируются контакты реле 17РП и подготавливаются цепи включения соответствующих электромагнитов и промежуточных реле 16РП, 15РП. Затем нажатием кнопки «Пуск линии» (рис. 11.15, в, г) включаются электромагнит ЭТВ и реле 18РП. При этом транспортер идет вперед, освобождая конечный выключатель 1ВКТ, контакты которого размыкают цепи реле 1РП и 16РП. В конце хода транспортер становится на жесткий упор, повышается давление в гидросистеме, срабатывает реле давления РДТ, которое при замкнутых контактах конечного выключателя 2ВКТ включает реле 14РП. Реле 14РП включает электромагнит ЭПВ, благодаря чему подъемное устройство всех станков движется вверх, — производится предварительный подъем детали, при котором освобождаются конечные выключатели 1ВКП1, 1ВКП2, 1ВКП3 и нажимаются выключатели 2ВКП1, 1БД1, 2БД1, 2БД2, 1БД3 и 2БД3. Затем выключается цепь электромагнита ЭТВ и включается реле 4РП, контакты которого включают электромагниты ЭВ1 и ЭН1, — силовые головки станков быстро движутся вперед без вращения шпинделей, освобождаются от нажатия вначале конечные выключатели 1ВК1, 1ВК2 и 1ВК3, подготавливается цепь включения электромагнитов ЭН1, размыкается

цепь ЭПН, затем освобождаются 2ВК1, 2ВК2, 2ВК3. Последние размыкают цепь электромагнита ЭТВ.

Когда головка первого станка подходит к детали, нажимается и остается в нажатом состоянии конечный выключатель 3ВК1 (аналогично действуют и головки двух других станков), включается реле 7РП и отключается питание электромагнитов ЭВ1 и ЭН1 — головка останавливается. Реле 7РП включает электромагнит ЭЗ — происходит окончательный подъем (зажим) деталей на всех станках, при этом освобождаются конечные выключатели 1Б01 (1Б02 и 1Б03 на двух других станках линии) и срабатывает реле давления РДЗ, включается реле 15РП и затем электромагниты ЭФ1 и ЭВ1. Выводятся фиксаторы шпинделей всех станков и нажимаются при этом выключатели 1ББ, 2ББ, 3ББ — отключается реле 13РП и включаются пускатели двигателей вращения шпинделей. Когда электромагнит ЭВ1 получает питание, силовая головка (одновременно включаются в работу силовые головки других станков линии) включается на рабочую подачу и начинается обработка деталей. По всей длине рабочей подачи конечный выключатель 4ВК1 нажат.

Так как электромагнит ЭТН включен, транспортер движется назад, освобождается выключатель 2ВКТ, выключаются реле 14РП и электромагнит ЭТН. При этом выключается реле 13РП, отключающее электромагнит ЭЗ и реле 4РП. Придя в исходное положение, транспортер нажимает конечный выключатель 1ВКТ, который подготавливает цепи включения реле 16РП и 1РП (2РП и 3РП относятся соответственно к управлению станками № 2 и 3).

В конце обработки детали упор, связанный с головкой станка, нажимает конечный выключатель 5ВК1, отключается реле 7РП и включается 10РП — электромагнит ЭВ1 теряет питание и головка останавливается. При включении реле 10РП подготавливается цепь включения электромагнита ЭН1, включается реле 1РП и переводятся пускатели 1П1 и 2П1 на независимое питание.

Вследствие включения электромагнита ЭФ1 происходит фиксация шпинделя первого станка (аналогично — двух других), при этом освобождается от нажатия выключатель 2ББ1, отключающий пускатель 1П1 и включающий 3П1. Двигатель вращения шпинделей отключается, а двигатель доводки шпинделей включается. При включении пускателя 3П1 замыкается цепь электромагнитной муфты ЭМ1, включающей механизм доводки шпинделей. При попадании фиксатора в паз освободится выключатель 1ББ1, в результате чего двигатель и муфта доводки шпинделей отключатся. Замыкающий контакт промежуточного реле 13РП включает электромагнит ЭО и происходит отжатие (предварительное опускание) детали, нажимается конечный выключатель 1Б01 и выключаются реле давления РДЗ и затем реле 15РП.

Головки всех станков быстро движутся назад, освобождая по пути конечные выключатели 5ВК1, 4ВК1 и 3ВК1 на позиции первого станка и аналогично на двух других. Конечный выключатель

5ВК1 подготавливает цепь включения 10РП, 3ВК1 подготавливает цепь включения ЭВ1, а 4ВК1 поддерживает питание пуска-теля 1П1.

В исходном положении головок нажимаются вначале конечные выключатели 2ВК1, 2ВК2 и 2ВК3, а затем 1ВК1, 1ВК2, 1ВК3. Срабатыванием первой группы выключателей подготавливается цепь включения электромагнита ЭТВ, а вторая группа выключает электромагнит ЭН1 и включает ЭПН — происходит окончательное опускание детали. В этом случае освобождаются конечные выключатели 2ВКП1, 1БД1, 1БД2, 2БД1, 2БД2 и нажимаются 1ВКП1, 1ВКП2 и 1ВКП3; обрывается цепь промежуточного реле 10РП.

Во время цикла работы линии снимаются обработанные детали, при этом освобождаются конечные выключатели 1БДТ, 2БДТ и 3БДТ и подготавливается цепь включения электромагнита ЭТВ. В то же время на позиции загрузки подаются новые детали и нажатием кнопки «Предварительный пуск» включается реле 16РП, подготавливающее включение электромагнита ЭТВ, который включится после возврата всех механизмов линии в исходное положение; после этого цикл линии повторяется.

В схеме управления предусмотрено реле 1РВ для контроля ритма линии, включаемое один раз в цикл конечным выключателем 3ВКТ; выдержка времени этого реле устанавливается несколько большей длительности цикла. В случае, если работа линии не укладывается в заданный цикл, то реле 1РВ, сработав, включит сигнальную лампу. Это реле работает также в том случае, если по какой-либо причине линия остановится. По сигнальным лампам отдельных механизмов можно будет установить положение каждого механизма.

На линии имеется электромагнит, управляющий системой смазки и включающийся раз в два часа (на схеме не показан). Пакетными выключателями, установленными на центральном пульте, можно исключить из работы любой из двигателей или группу двигателей. Для возобновления работы линии после аварийной остановки ее необходимо предварительно все механизмы линии с наладочных пультов привести в исходные положения. Переключатели 1ПК÷6ПК, показанные в схеме, служат для наладочного режима.

Узел сигнализации работы отдельных механизмов линии и одного из станков ее приведен на рис. 11.15, д. В цепи каждой сигнальной лампы включено дополнительное сопротивление, при шунтировании которого соответствующим контактом промежуточного реле или конечного выключателя, фиксирующим положение каждого механизма линии, лампа загорается полным накалом. Если эти сигнальные лампы включаются через дополнительные сопротивления, то горят они в полнакала.

Приведенная система сигнализации позволяет осуществить контроль: а) хода транспортера; б) наличия детали на разгрузоч-

ной позиции; в) хода подъемника на каждом из станков и хода силовых головок; г) окончания обработки; д) отжима деталей и их опускания.

Характерной особенностью автоматических станочных линий является ограниченность функций, выполняемых электродвигателями станков и механизмов, вследствие широкого использования гидравлических устройств для цепей управления. Указанные функции относятся к пуску двигателей, работе их в установившемся режиме и в некоторых случаях к электрическому торможению и ступенчатому изменению скорости (например, при использовании двухскоростного двигателя). Поэтому в качестве основного двигателя в станочных линиях используется короткозамкнутый двигатель.

Основными аппаратами, применяемыми в современных станочных линиях, являются промежуточные реле, контакторы, путевые выключатели, реле различных назначений и командоаппараты, число которых возрастает по мере увеличения количества станков в линии, а также при обработке более сложных деталей.

Например, в автоматической линии, состоящей из десяти станков и предназначенной для обработки блока цилиндров, количество аппаратов и число их срабатываний характеризуется следующей табл. 11.1.

Таблица 11.1

Наименование контактной аппаратуры	Количество аппаратов	Количество контактов		Общее число включений и отключений контактов в силовых цепях и цепях управления в час
		в силовых цепях	в цепях управления	
Контакторы	34	93	176	5 635
Реле тепловые	27	—	37	—
Реле времени	9	—	15	313
Реле промежуточное	29	—	111	2 009
Реле давления	31	—	31	444
Путевые выключатели	104	—	162	4 226
Командоаппараты	3	—	62	1 930
Всего	237	93	594	14 557

На линии, состоящей из 11 станков, но обрабатывающей более сложные детали (тела вращения — автомобильные поршни), общее число включений и отключений контактов в час составляет свыше 64 000.

В результате увеличения количества контактосрабатываний надежность работы систем автоматического управления линиями снижается.

Совершенствование систем управления автоматических линий должно проводиться как за счет сокращения количества применяемых аппаратов, так и благодаря использованию более надежных аппаратов. Заслуживает внимания создание комбинированных аппаратов, предназначенных для выполнения ряда последовательно происходящих операций. Наряду с совершенствованием релейно-контакторной аппаратуры, использованием для управления слаботочной аппаратуры при низком напряжении (24 в) целесообразно создание бесконтактных узлов схем управления, содержащих бесконтактные логические элементы.

Электрооборудование станков с программным управлением

ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ КОПИРОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

§ 12.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Копировальные станки применяются для обработки деталей с пространственно-сложными поверхностями, таких, например, как сложные штампы, пресс-формы, гребные винты, лопадки турбин, кулачки для различных автоматов и т. п.

В современных условиях имеет место значительное расширение объема работ на копировальных станках, что объясняется: 1) внедрением в технологию методов обработки без снятия стружки (штамповка, вытяжка, литье под давлением), которые потребовали изготовления большого количества штампов и пресс-форм; 2) необходимостью повысить производительность и удешевить процесс обработки деталей сложной формы; 3) стремлением распространить принципы копирования на управление универсальными станками; применение приспособлений для автоматического копирования на универсальных станках имеет важное значение для автоматизации процесса обработки и повышения производительности этих станков при обработке деталей сложной формы.

Автоматическое копирование в настоящее время производится на фрезерных, токарных, карусельных, расточных и других станках.

Обработка деталей на копировальных станках производится по заранее заготовленным моделям или шаблонам. В процессе копирования по поверхности модели движется копировальный палец, форма которого должна точно соответствовать режущему инструменту. Перемещения копировального пальца передаются режущему инструменту через промежуточную систему управления. В связи с этим различают два вида копирования: 1) с непосредственным механическим управлением и 2) со следящим управлением.

При механическом управлении копировальный палец, жестко связанный с рабочим инструментом, прижимается к поверхности модели (например, пружиной), перемещаясь по ней. По той же траектории следует режущий инструмент, обрабатывающий деталь. Такая система проста, но имеет ряд недостатков: 1) большие усилия на копировальном пальце (не менее усилия подачи); 2) невозможность обрабатывать детали с резкими очертаниями из-за резко

возрастающего давления на копировальном пальце; 3) необходимость изготовлять модели и копировальный палец из твердого материала. Поэтому копировальные станки с механическим управлением сравнительно мало распространены.

Для обработки деталей сложной формы большее применение нашли копировальные станки со следящим управлением. Первые патенты на станки со следящим управлением появились еще в 1900 г., однако практическое применение копировальные станки со следящим приводом (с управляемыми в процессе копирования электромагнитными муфтами) получили только в 1923 г.

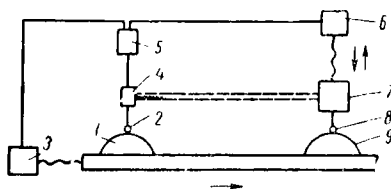


Рис. 12.1. Схема следящего привода копировального станка

Простейшая схема следящего управления копировального станка приведена на рис. 12.1. Задающим элементом такой системы чаще всего является копир в виде плоского шаблона или объемной модели. Изменения поверхности копира 1 передаются системе управления при помощи пальца, или ролика 2, скользящего по поверхности копира. Палец, или ролик, является частью копировально-измерительного или просто копировального прибора 4. Упомянутый прибор, как показано на рис. 12.1, жестко связан с рабочим органом станка 7 (шпиндельной бабкой).

Копировальный прибор 4 представляет собой точное измерительное устройство и вследствие малой мощности не может непосредственно управлять исполнительными двигателями 3 и 6. Поэтому сигналы копировального прибора усиливаются при помощи усилителя 5, в качестве которого могут быть применены электрические, гидравлические и другие усилители. После усилителя сигналы подаются двигателям подачи исполнительных элементов станка. Перемещение исполнительного элемента станка направлено к устранению рассогласования между этим элементом и элементом задающим. В некоторых следящих системах управляющий сигнал оказывает воздействие не только на скорость, но и на ускорение исполнительного двигателя. При этом отсутствует рассогласование в положениях задающего и исполнительного элементов не только в установившемся режиме, но и при изменении скорости.

Результирующее движение копировального пальца по контуру копира и режущего инструмента 8 по изделию 9 осуществляется путем геометрического сложения двух взаимноперпендикулярных подач. Направление одной из этих подач в пределах заданного участка профиля остается неизменным. Эту подачу принято называть задающей. На рис. 12.1 задающей является горизонтальная подача. Вторая подача направлена к поверхности копира и обрабатываемого изделия и изменяет свое направление в зависимости от профиля копира. Эту подачу называют следящей (вертикальная подача на рис. 12.1).

Работы, производимые на копировальных станках, чаще всего бывают двух видов:

- 1) обработка плоских кривых (контурное копирование);
- 2) обработка пространственно-сложных поверхностей (объемное копирование).

Контурное копирование производится благодаря действию двух взаимноперпендикулярных подач станка. При обходе контура периодически изменяется направление задающей подачи. На рис. 12.2, а показана схема обработки замкнутого контура. Изменение направления задающей подачи производится в точках 1, 2, 3 и 4; вектор скорости задающей подачи обозначен v_z , следящей — v_c .

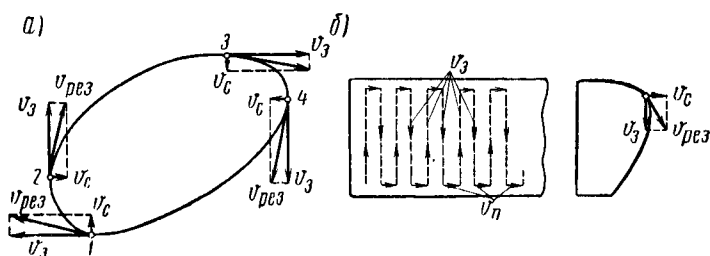


Рис. 12.2. Схема копирования:
а — контурного; б — объемного

Объемное копирование производится действием, кроме задающей v_z и следящей v_c подач, еще и периодической подачи v_n . Схема объемного копирования приведена на рис. 12.2, б. Очевидно, что объемное копирование можно привести к контурному, полагая, что пространственно-сложная поверхность разбивается параллельными сечениями на ряд плоских кривых. В связи с этим объемное копирование производят параллельными строчками. Перемещение режущего инструмента от одной строчки к другой производится в конце каждой строчки и определяется величиной периодической подачи.

Главным движением в копировальных станках является вращение фрезы (на фрезерных станках), вращение детали (на токарных) и т. д.

В копировальных станках со следящей системой между моментом подачи сигнала, полученного от задающего элемента (шаблона или модели), и обработкой режущим инструментом соответствующего перемещения проходит промежуток времени, определяющий время срабатывания всех элементов следящей системы. Длительность этого промежутка зависит от типа следящей системы (электрическая, электрогидравлическая, гидравлическая и др.), технических характеристик ее элементов (времени срабатывания и закона изменения момента электромагнитных муфт, времени пере-

ходных режимов электроприводов подачи и др.), а также от структуры следящей системы (например, характера использованных обратных связей, демпфирующих элементов и др.).

Продвижение режущего инструмента за время срабатывания всех элементов системы будет, кроме того, зависеть от установленной скорости подачи. Чем выше скорость подачи режущего инструмента, тем при прочих равных условиях меньше точность обработки.

На точность копирования влияет также чувствительность копировального прибора. В станках с быстродействующими копировальными системами при небольших подачах целесообразно использование наиболее чувствительного копировального прибора данного типа. В менее быстродействующих следящих системах и при больших подачах необходимо понижать чувствительность копировального прибора во избежание возникновения незатухающих колебаний в системе.

При выявлении погрешностей, связанных с обработкой изделий на копировальных станках всех систем, необходимо учитывать: точность изготовления самого копира, который является неотъемлемой частью системы, — погрешности в изготовлении копира отражаются непосредственно на точности обрабатываемых изделий; зазоры и упругие деформации в элементах привода реверсируемой подачи; неполное соответствие радиуса режущего инструмента радиусу копировального пальца; профиль обрабатываемого изделия, — наличие переходов приводит к местным погрешностям вследствие проявления инерционности копировальной системы.

Величина погрешности копировальных станков общего назначения колеблется при объемном копировании в пределах $\pm(0,1—\pm 0,5)$ мм, станков повышенной точности и при контурной обработке — в пределах $\pm(0,01—0,06)$ мм. Изделия, обработанные на современных копировальных станках со следящей системой, часто нуждаются в последующей обработке для повышения чистоты их поверхности. Поверхность снятых со станка изделий имеет неровности, обусловленные гребешками между строчками и вдоль них. Появление гребешков вдоль строчки объясняется неплывным характером траектории режущего инструмента. Ступенчатая траектория имеет место в следящих системах прерывистого управления. Волнообразная траектория инструмента получается в системах непрерывного управления.

Обработка штампов или пресс-форм обычно ведется в несколько приемов. Вначале производится черновая обработка, затем чистовая. Опыт показывает, что окончательную обработку изделий необходимо выполнять шлифовальными приспособлениями. Поэтому нет нужды производить на станке чистовую обработку с малыми периодическими подачами, ибо это приводит к увеличению машинного времени. Наименьшими периодическими подачами следует считать $s=0,5÷1$ мм. На современных копировальных станках в зависимости от степени точности обработки, определяемой погреш-

ностью копирования, принимаются различные скорости подачи режущего инструмента.

Примерные значения погрешности копирования в зависимости от скорости подачи следующие:

Погрешность копирования, мм	0,01÷0,03	0,03÷0,05	0,08÷0,1	до 0,3—0,5
Скорость пода- чи, мм/мин . . .	100÷150	до 300	500÷700	до 2500

Копировальные станки со следящей системой можно разделить на: 1) электрические, в которых копировальный прибор и приводы подач — электрические; 2) фотоэлектрические — копировальный прибор фотоэлектрический, приводы подач — электрические; 3) электрогидравлические — копировальный прибор — электрический, привод подач — гидравлический; 4) гидравлические — копировальный прибор и привод подач — гидравлические; 5) пневмогидравлические — копировальный прибор пневматический, привод подач — гидравлический; 6) пневмоэлектрические — копировальное устройство пневматическое, приводы подач — электрические.

Кроме того, копировальные станки со следящей системой можно разделить на две категории:

- а) станки с системой прерывистого (релейного) управления;
- б) станки с системой непрерывного управления.

§ 12.2. ЭЛЕКТРОКОПИРОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ С СИСТЕМОЙ ПРЕРЫВИСТОГО (РЕЛЕЙНОГО) УПРАВЛЕНИЯ

К электрокопировальным станкам с прерывистым управлением, получившим большое распространение, необходимо отнести такие, в которых управление приводами подач производится, например, при помощи электромагнитных муфт, а в качестве копировального прибора служит обычно контактное устройство. С такой системой управления строятся различные станки: фрезерные, токарные, строгальные и др.

Общий вид крупного копировально-фрезерного станка и схема движений на нем показаны соответственно на рис. 12.3 и 12.4. На верхней угловой плите 7 против копировального прибора 6 помещается копир, а под ним на нижней угловой плите 8 укрепляется обрабатываемое изделие. На колонне станка 2 помещается шпиндельная бабка 3 со шпинделем 4 и кронштейн 5 для копировального прибора. Колонна и угловые плиты устанавливаются на постели 1.

На станке осуществляются следующие движения:

- 1) горизонтальное перемещение колонны вдоль постели станка; при этом возможны: а) автоматическое перемещение — непрерывная подача во время фрезерования, б) ускоренное перемещение для

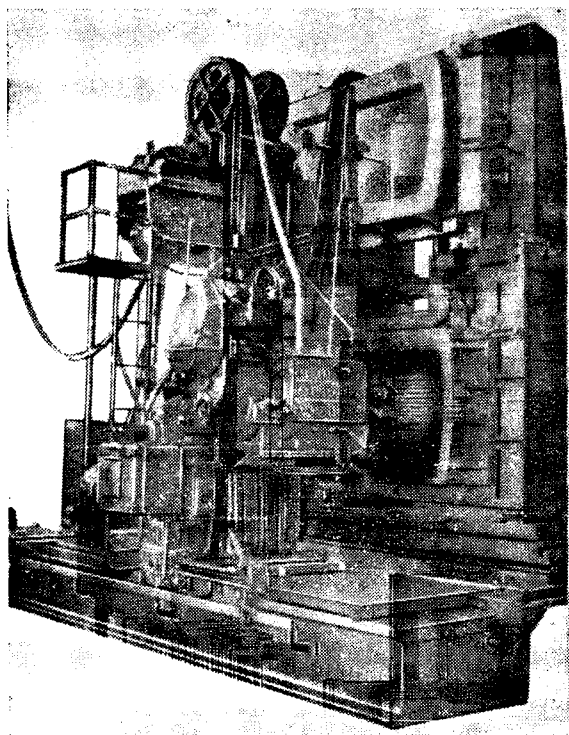


Рис. 12.3. Общий вид копировально-фрезерного станка

вании, б) прерывистая подача шпинделя при контурном фрезеровании.

Перечисленные движения могут сочетаться между собой. Например, при контурной обработке с постоянной глубиной фрезерования координируются горизонтальное и вертикальное перемещения.

Кроме указанных перемещений, имеется возможность для наладки отдельных элементов станка осуществлять вручную: 1) продольное перемещение шпинделя, 2) перемещение копировального прибора, 3) перемещение верхней

возврата колонны в исходное положение по окончании рабочей подачи, в) то же, для наладочных операций, г) прерывистая горизонтальная подача при вертикальном фрезеровании;

2) вертикальное перемещение шпиндельной бабки; в этом случае может иметь место: а) автоматическое перемещение при рабочей подаче инструмента, б) прерывистая вертикальная подача при горизонтальном фрезеровании;

3) перемещение шпиндельной бабки вдоль оси шпинделя; здесь возможны: а) непрерывная подача шпинделя при объемном фрезеро-

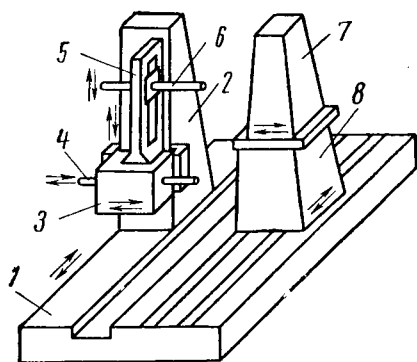


Рис. 12.4. Схема движений на копировально-фрезерном станке

и нижней плит для установки копира и обрабатываемого изделия. Каждый механизм подачи приводится в действие от самостоятельного двигателя через коробку скоростей и реверсивную электромагнитную муфту. Например, в американских копирующе-фрезерных станках «Келлер» используются для привода подачи двигатели постоянного тока независимого возбуждения, в чехословацких станках — асинхронные короткозамкнутые двигатели.

Скорость подачи в станках с двигателями постоянного тока регулируется электромеханическим путем — переключением шестерен в коробке скоростей и изменением тока возбуждения двигателя. В станках, где для привода подач применяются короткозамкнутые двигатели, скорость подачи регулируется только механически.

Вращение фрезы осуществляется обычно в одном направлении от отдельного двигателя через коробку скоростей.

Принципиальная схема устройства узла следящей подачи на фрезерных станках с прерывистым управлением показана на рис. 12.5. Шпиндельная бабка с режущим инструментом (фрезой) и копирующим устройством перемещается от ходового винта, который через шестерню приводится во вращение от дисков *К*. Диски *К* могут приводиться во вращение в одном или другом направлении в зависимости от того, к какой из электромагнитных муфт *1ЭМ* или *2ЭМ* привода подачи они притягиваются. Электромагнитные муфты вращаются в противоположные стороны через коробку скоростей от одного двигателя следящей подачи (на рис. 12.5 двигатель не показан). Управление электромагнитными муфтами производится промежуточными реле *1РП* и *2РП*, получающими питание от источника постоянного тока пониженного напряжения (14 в) через соответствующие контакты копирующего прибора, схематическое изображение которого приведено в верхней части рис. 12.5.

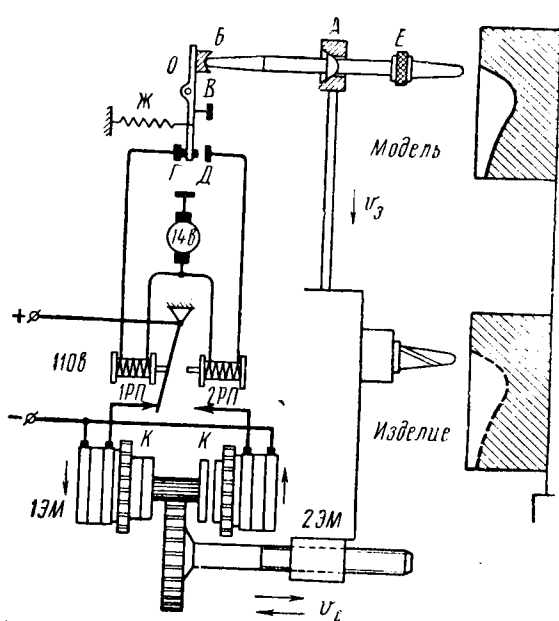


Рис. 12.5. Принципиальная схема устройства узла следящей подачи станка с прерывистым управлением

До подхода пальца *Е* к модели рычаг *В* оттягивается пружиной *Ж* влево и замыкает контакты *Г*. В связи с этим включается промежуточное реле *1РП* и получает питание электромагнитная муфта *1ЭМ*, к которой притягивается диск *К*. Начинается вращение ходового винта в сторону, обеспечивающую подачу v_c шпindelьной бабки на изделие, а копировального пальца — на модель. Вследствие возникшего давления на палец *Е* при достижении им поверхности модели через рычаги *А* и *В* контакт *Г* разомкнется, а контакт *Д* останется еще незамкнутым. При этих условиях разомкнется цепь катушки муфты *1ЭМ*, а муфта *2ЭМ* не включится. Дальнейшее перемещение шпindelьной бабки в сторону изделия прекратится и будет дан импульс в системе управления для перемещения шпindelьной бабки в сторону задающей подачи v_a . Это перемещение выполняется от самостоятельного двигателя подачи и такого же комплекта электромагнитных муфт, как и для привода следящей подачи. В результате действия задающей подачи давление на палец *Е* уменьшится и вновь замкнется контакт *Г* копировального прибора. Включится реле *1РП*, опять начнется подача шпindelьной бабки на изделие, а задающая подача будет отключена, и т. д. До точки перегиба контура модели направление следящей подачи не изменится (при заданной задающей подаче). После точки перегиба замыкается контакт *Д* копировального прибора, включаются реле *2РП* и муфта *2ЭМ*, вследствие чего изменится направление следящей подачи на обратное. Движение копировального пальца и фрезы происходит, таким образом, по ломаной линии.

Простейшая конструкция контактного копировального прибора поясняется рис. 12.6. Шпindelь его, имеющий в средней части шаровую опору, которая заделана в трубу, являющуюся корпусом прибора. В верхней части трубы укрепляется плита, на которой смонтирована контактная часть прибора. Контактный рычаг, укрепленный на оси, слева прижат пружиной к верхнему концу шпindelя, обеспечивая ему определенное положение в шаровой обойме. В правой части рычага (сверху и снизу) помещаются вольфрамовые контакты. Вторая пружина прижимает верхний контакт к контакту регулировочного винта. Наличие двух пружин устраняет влияние люфтов в опорах рычага на работу прибора. При давлении на палец прибора с усилием $150 \div 250$ Г размыкается верхний контакт и замыкается нижний. Если давление на палец оказывается еще большим (500 Г), то контактный рычаг, преодолевая усилие пружины, воздействует на вспомогательный рычаг, размыкая крайние так называемые «аварийные» контакты. Величина зазора между контактами составляет около 0,75 мм; для изменения направления движения подачи палец проходит 0,25—0,35 мм.

На рис. 12,7, а показана принципиальная схема включения электромагнитных муфт следящей — *МВ* и *МН* — и задающей — *МГ* подач, а также линия обхода контура модели, состоящая из трех участков; на первом наклонном участке 1 (рис. 12,7, б) следящая подача обеспечивает движение копировального пальца на модель,

а задающая — вправо; на втором — горизонтальном — участке 2 перемещение пальца выполняется только за счет действия задающей подачи и, наконец, на третьем участке 3 обход линии контура совершается при работе как задающей, так и следящей подач; однако в данном случае следящая подача действует в противоположном направлении, т. е. в направлении от модели.

Исследование процесса копирования сводится в основном к установлению расхождения в положении копирующего пальца и фрезы в зависимости от скорости подачи и формы профиля модели для данного типа привода подачи и конструкции копирующего прибора. Рассмотрим вначале движение копирующего пальца для простейшего случая, когда участок профиля модели представляет собой прямую линию, расположенную горизонтально (участок 2 на рис. 12.7, б). Допустим, что скорость подачи была установившейся и равной v_y . При соприкосновении копирующего пальца с моделью размыкается контакт CB и разрывается цепь катушки реле PB .

Вследствие наличия собственного времени отпущения t_p реле PB система продолжает перемещаться с прежней скоростью и проходит путь

$$s_p = v_y t_p, \quad (12.1)$$

где $v_y = n_y / 60\rho$ (n_y — установившаяся скорость вращения диска электромагнитной муфты, ρ — передаточное отношение).

По истечении времени t_p размыкается цепь электромагнитной муфты MB и магнитный поток ее спадает. Соответственно умень-

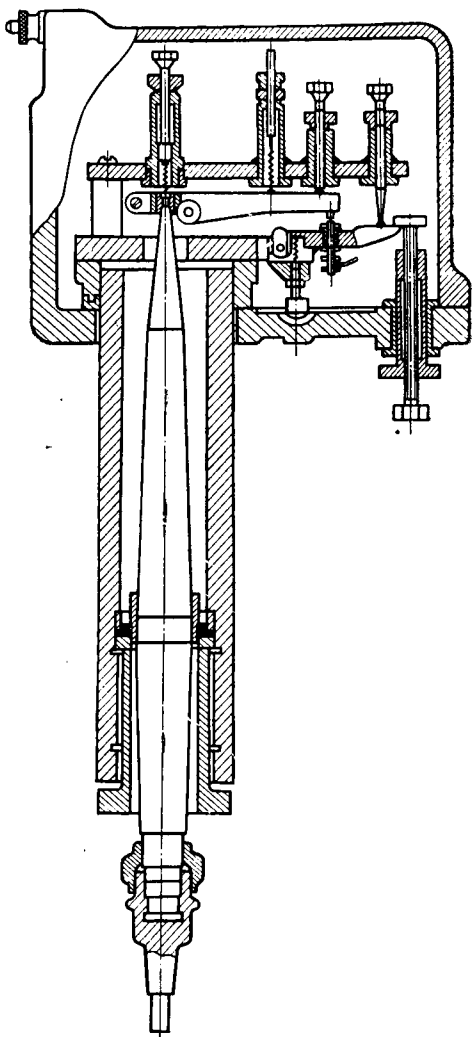


Рис. 12.6. Контактный копирующий прибор

шается и электромагнитный момент. Так как в установившемся режиме электромагнитный момент муфты значительно превышает статический момент механизма подачи, то вначале, после разрыва цепи обмотки муфты, система будет продолжать двигаться с прежней скоростью v_y . Торможение привода подачи начнется только с

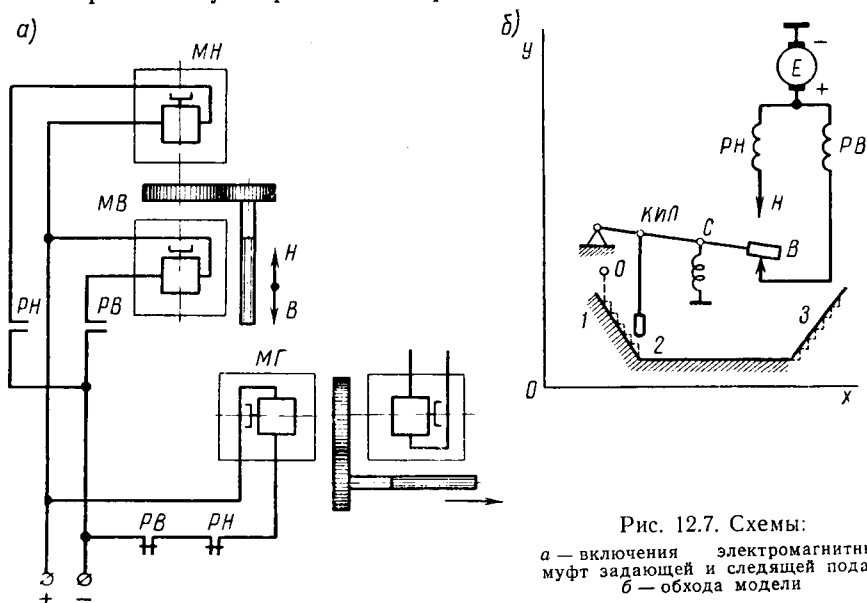


Рис. 12.7. Схемы:
а — включения электромагнитных муфт задающей и следящей подачи;
б — обхода модели

момента, когда тяговое усилие, создаваемое муфтой, окажется равным усилию статического сопротивления.

Пользуясь равенством (Л.28)

$$F_c = F_{\text{м макс}} e^{-\frac{2t_{\text{зап}}}{T_0}}, \quad (12.2)$$

можно определить время запаздывания муфты $t_{\text{зап}}$ с момента разрыва цепи обмотки муфты до начала торможения:

$$t_{\text{зап}} = 0,5T_0 \ln \frac{F_{\text{м макс}}}{F_c}, \quad (12.3)$$

где $F_{\text{м макс}}$ — начальное усилие, создаваемое муфтой; F_c — усилие, обусловленное трением в механизме подачи и полезной нагрузкой; T_0 — электромагнитная постоянная времени, зависящая от параметров цепи возбуждения муфты при отключениях.

В течение времени $t_{\text{зап}}$ система пройдет путь

$$s_m = v_y t_{\text{зап}}. \quad (12.4)$$

По истечении времени $t_{\text{зап}}$ начинается торможение системы; уравнение движения привода при этом запишется так:

$$F_m - F_c = m \frac{dv}{dt}, \quad (12.5)$$

где m — масса перемещающихся элементов механизма подачи (включая передачи и диск муфты), приведенная к линейной скорости v_y .

Учитывая (12.2), после соответствующих преобразований уравнения движения (12.5) (полагая, что при $t=0$; $v=v_y$) получим

$$v = v_y + \frac{F_c}{m} \left[\frac{T_0}{2} (1 - e^{-\frac{2t}{T_0}}) - t \right]. \quad (12.6)$$

Пользуясь этим уравнением, можно построить зависимость $v=f(t)$ при торможении привода подачи.

Общий путь торможения

$$s_t = s_p^- + s_m + \int_0^{t_r} v dt. \quad (12.7)$$

Следует отметить, что в приведенной формуле отсчет времени для третьего члена правой части уравнения ведется с момента, когда F_m становится равным F_c .

Анализ соотношения (12.7) указывает на то, что путь торможения зависит от скорости подачи v_y . При уменьшении скорости подачи пропорционально снижается путь торможения. Однако необходимо иметь в виду, что уменьшение скорости подачи приводит к снижению производительности станка, что нежелательно.

Графики изменения скорости подачи и пути, проходимого системой, начиная с момента соприкосновения копировального пальца с моделью до полной остановки, представлены на рис. 12.8.

Основное значение для процесса торможения имеет величина времени запаздывания системы $t_{p, \text{зап}} = t_p + t_{\text{зап}}$. За это время путь, проходимый системой, достигает примерно 60—80% полного пути торможения. Общий путь торможения системы после соприкосновения пальца с моделью определяет собой погрешность обработки изделия. Чем меньше этот путь, тем меньше погрешность, а следовательно, выше точность работы станка. Повышение степени точности при заданной скорости подачи рассматриваемой системы может быть достигнуто путем использования быстродействующей аппаратуры и форсирования переходных режимов в электромагнитных муфтах приводов подачи.

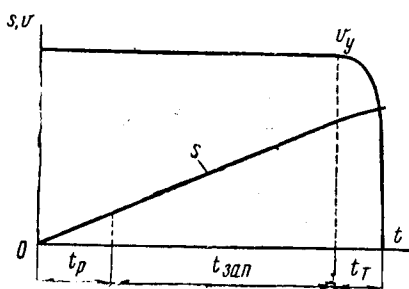


Рис. 12.8. Графики изменения пути и скорости подачи

Повышенным быстродействием отличаются многодисковые электромагнитные муфты с вынесенными дисками, которые используются в настоящее время, например, в копировальных станках фирмы TOS (Чехословакия). Эти муфты, по каталожным данным, имеют

время срабатывания около 0,005 сек. Устройство такой муфты показано на рис. 12.9. Кроме того, путь торможения системы зависит и от колебаний усилия подачи. В современных станках колебания усилия подачи значительно снижаются благодаря применению широких направляющих с регулируемыми клиньями.

Рассмотрим теперь следующие три случая движения системы при горизонтальной линии контура модели в зависимости от величины зазора δ_n между контактами копировального прибора.

1. Путь торможения системы $s_T < \delta_n$; при этом траектория пути фрезы имеет апериодический характер и постоянная ошибка обработки $\Delta s < < \delta_n/2$ (рис. 12.10, а).

2. Путь торможения системы $s_T > \delta_n$, следовательно, контакты CH прибора (см. рис. 12.7) окажутся замкнутыми в процессе торможения. Замыка-

ние контактов CH приводит к включению муфты MH и реверсированию подачи. На рис. 12.11 показаны кривые изменения v , F_{MB} , F_{MH} и s в зависимости от времени при реверсе подачи (отсчет времени ведется с момента размыкания контактов CB).

Тяговое усилие на винте механизма подачи в процессе реверса равно разности усилий обеих муфт:

$$F_M = F_{MB} - F_{MH}$$

или

$$F_M = F_{M \max} \left[e^{-\frac{2(t_1 + t)}{T_0}} - (1 - e^{-\frac{t}{T_B}})^2 \right], \quad (12.8)$$

где T_B — электромагнитная постоянная времени цепи муфты MH при включении; t_1 — время с момента разрыва цепи MB контак-

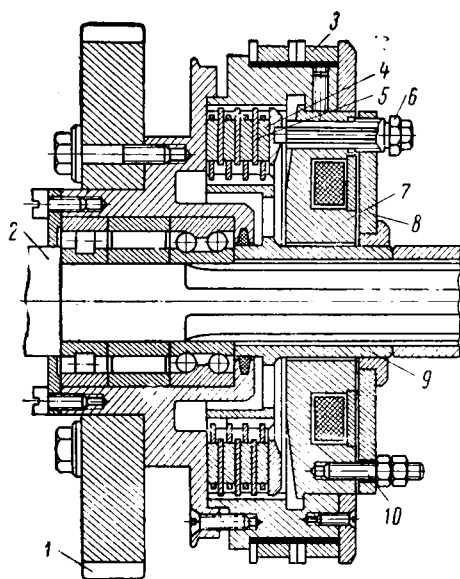


Рис. 12.9. Электромагнитная муфта с выносными фрикционными дисками:

1 — шестерня; 2 — вал; 3 — контактное кольцо; 4 — ведомый диск; 5 — ведущий диск; 6 — болт для регулирования усилия нажатия между дисками; 7 — магнитопровод; 8 — яркор; 9 — ведомая ступица; 10 — шпилька для регулирования зазора

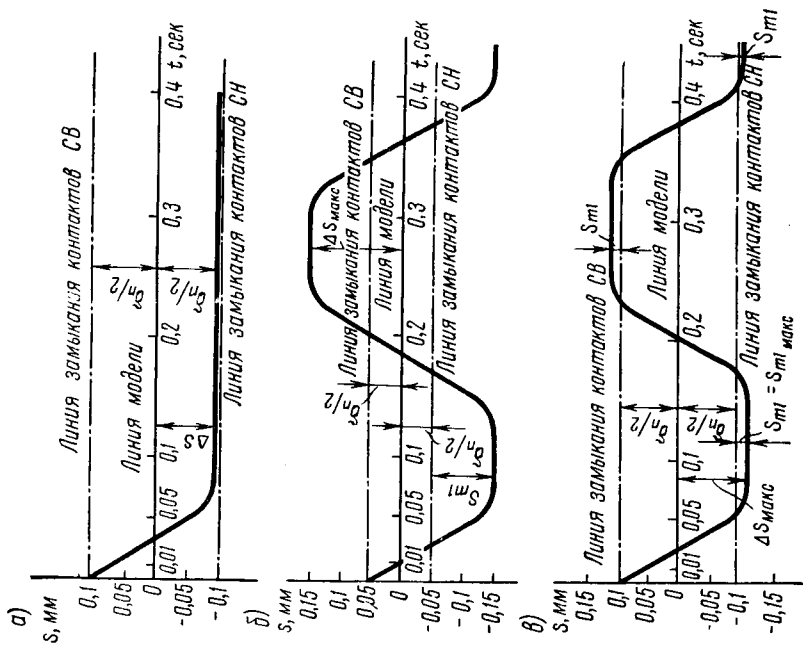


Рис. 12.10. Траектории движения фрезы при соприкосновении копирующего пальца с моделью

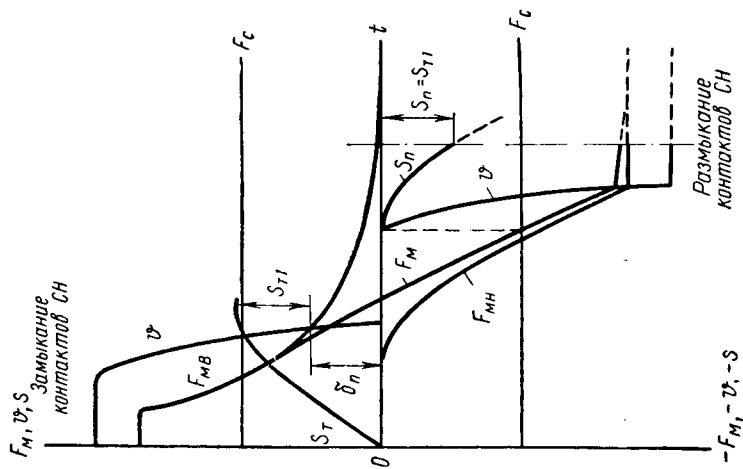


Рис. 12.11. Графики реверсирования следящей подачи

ми реле PB до момента замыкания цепи муфты MH контактами реле PH .

Процесс торможения механизма подачи, как и последующий его разбег, начинается с момента, когда $F_M = F_C$.

Кривая скорости $v = f(t)$ может быть построена согласно уравнению

$$v = \frac{1}{m} \int F_{\text{дин}} dt, \quad (12.9)$$

где $F_{\text{дин}} = m \frac{dv}{dt}$ или в общем случае для рассматриваемой системы

$$F_{\text{дин}} = F_{MB} - F_{MH} \mp F_C. \quad (12.10)$$

Путь, проходимый системой при торможении и при разбеге $s = \int v dt$, легко определить графическим путем. На рис. 12.10, а показан график, в котором отмечается двукратное замыкание контактов CH . Вследствие того, что первое замыкание контактов CH происходит при $v \ll v_y$, процесс движения системы сопровождается затухающими колебаниями.

3. Путь торможения системы $s_T \gg \delta_n$; в момент размыкания контактов CH $v \approx v_y$, а $F_{MH} \approx F_{M \text{ макс}}$ (этот случай показан на рис. 12.11). Движение системы будет характеризоваться незатухающими колебаниями (рис. 12.10, б) с амплитудой

$$\Delta s_{\text{макс}} = \frac{\delta_n^2}{2} + s_{T1}.$$

Незатухающие колебания системы могут быть вызваны: а) уменьшением зазора между контактами копировального прибора; б) увеличением скорости следящей подачи; в) увеличением люфтов в кинематической цепи привода следящей подачи.

Более точная обработка изделий (при малом контактном зазоре) возможна при пониженной скорости подачи. Увеличение скорости подачи связано с увеличением зазора между контактами копировального прибора и, следовательно, понижением точности. Вредное влияние на работу копировального станка оказывают люфты в передачах. При изменении направления подачи вначале выбираются люфты при неподвижном состоянии шпиндельной бабки и поэтому при размыкании контактов CH скорее может наступить равенство $v = v_y$ и $F_{MH} \approx F_{M \text{ макс}}$. В копировальных станках для устранения люфтов предусмотрены специальные регулируемые гайки на ходовых винтах. Величину контактного зазора во избежание колебаний следует регулировать так, чтобы $\delta_n > s_T$.

В рассмотренном выше случае (см. рис. 12.7, б) предполагалась неизменной скорость задающей подачи. Если же обработка изделия должна вестись по линии, наклонной к оси абсцисс, то она осуществляется путем чередования обеих подач. Траектория пере-

мещения конца фрезы при обходе контура модели вниз по наклонной плоскости (слева направо) приведена на рис. 12.12, а.

Максимальное отклонение контура изделия от контура модели, как видно из рис. 12.12, а, определяется величиной пути торможения механизма следящей подачи и углом наклона α :

$$\Delta s_{\text{макс}} = s_{\text{т.с}} \cos \alpha - \frac{\delta_{\text{п}}}{2}. \quad (12.11)$$

При движении вверх по наклонной плоскости (справа налево) отклонение контура изделия от модели определяется величиной пути торможения задающей подачи и углом α (рис. 12.12, б). Максимальное отклонение при этом составляет:

$$\Delta s_{\text{макс}} = s_{\text{т.з}} \sin \alpha + \frac{\delta_{\text{п}}}{2}. \quad (12.12)$$

Таким образом, в этом случае погрешность обработки значительно выше, чем в предыдущем.

Все изложенное здесь позволяет установить, что повышение производительности копировальных станков с прерывистым управлением (с электромагнитными муфтами) связано с увеличением погрешности обработки: погрешность обработки в основном определяется скоростью подачи и электромагнитной инерцией муфт; механическая инерция ведомой части кинематической цепи привода подачи сравнительно невелика.

Использование непрерывной системы управления процессом копирования дает возможность получить при высокой производительности станков вполне удовлетворительную точность обработки.

§ 12.3. ЭЛЕКТРОКОПИРОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ С СИСТЕМОЙ НЕПРЕРЫВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

К электрокопировальным фрезерным станкам с непрерывной системой управления, выпускаемых нашей промышленностью, от-

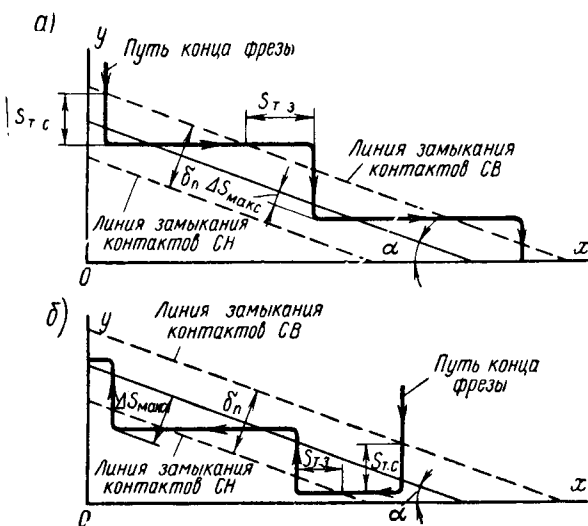


Рис. 12.12. Траектория движения фрезы при обработке наклонной плоскости

носятся полуавтоматы 6441Б, ЛР-63, ЛР-93, ЛР-163 и другие станки.

Полуавтомат модели 6441Б является базовым и предназначен для обработки пространственно-сложных изделий, а также для контурной обработки. Процесс обработки ведется по моделям, выполненным в масштабе

1:1. Взаимное расположение отдельных элементов станка видно из рис. 12.13. Кинематическая схема приведена на рис. 12.14.

Автоматическая обработка пространственно-сложных изделий производится как горизонтальными, так и вертикальными строчками путем сочетания задающей подачи (горизонтального перемещения стола по станине или вертикального перемещения бабки по неподвижной стойке) и следящей подачи (горизонтального движения шпиндельной бабки по поперечине). Контурная обработка возможна при совместных горизонтальном перемещении стола по станине и вертикальном движении шпиндельной бабки.

Рабочая поверхность стола, на кото-

ром располагается обрабатываемое изделие, 600×1200 мм; горизонтальное перемещение стола 900 мм; вертикальное перемещение шпиндельной бабки 500 мм; горизонтальное перемещение шпиндельной бабки 250 мм.

Главный привод (вращения фрезы) выполнен от двухскоростного асинхронного короткозамкнутого двигателя мощностью 2,6/3,0 квт. Скорость вращения шпинделя регулируется ступенчато электромеханическим путем в диапазоне от 75 до 950 об/мин.

Регулирование скорости подачи осуществляется плавно в пределах от 20 до 300 мм/мин при помощи приводов постоянного тока

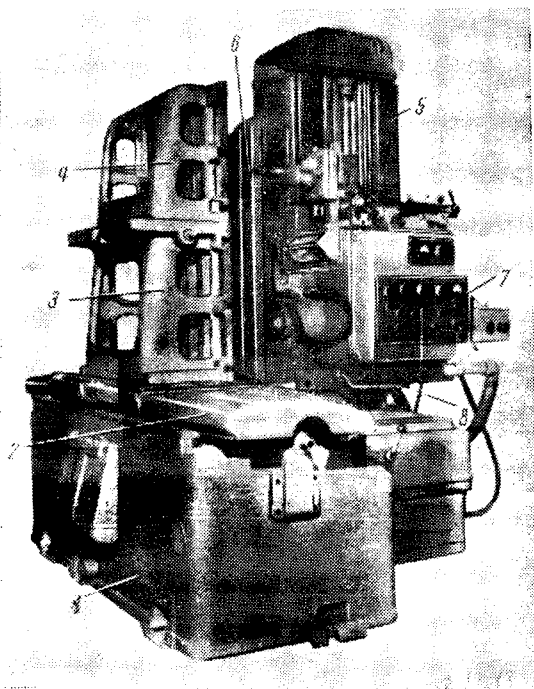


Рис. 12.13. Общий вид копировально-фрезерного полуавтомата:

1 — станина; 2 — салазки; 3 — нижняя колонна; 4 — верхняя колонна; 5 — подвижная колонна; 6 — копировальный палец; 7 — пульт управления; 8 — фрезерная головка

по системе генератор — двигатель. Мощность каждого двигателя подачи 0,37 кВт при 1000 об/мин. В качестве генератора используется электромашинный усилитель с поперечным полем 0,5 кВт, 115 в.

Задающая подача определяет направление обхода контура модели и изменяется в процессе копирования только по величине. Следящая же подача изменяется как по величине, так и по направлению в зависимости от величины и знака рассогласования в положениях копировально-измерительного прибора и режущего инструмента.

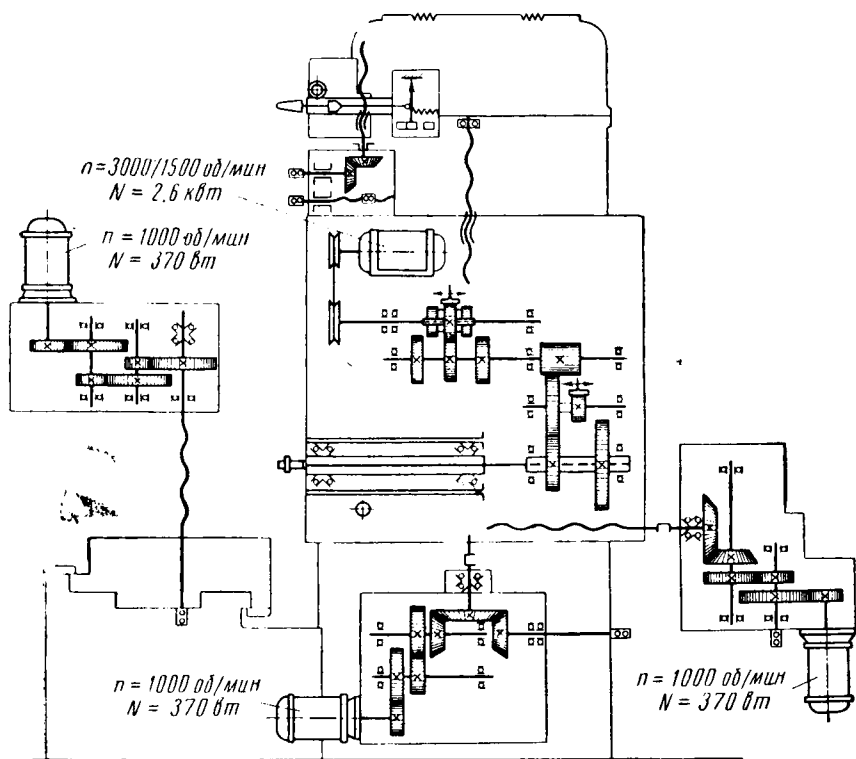


Рис. 12.14. Кинематическая схема копировально-фрезерного полуавтомата

Рассмотрим подробнее особенности тяжелого копировально-фрезерного станка модели ЛР-63. Силовая следящая система этих станков аналогична следящей системе станков модели 6441Б. В главном приводе используется асинхронный двигатель мощностью 14 кВт; для приводов горизонтальной и вертикальной подач применены двигатели постоянного тока мощностью 4,4 кВт, для продольной подачи — 2,8 кВт. Двигатели подач питаются от ЭМУ поперечного поля мощностью 4,5 кВт. Скорость горизонтальной и вертикальной подач плавно регулируется в диапазоне 11—375 мм/мин, продольной подачи — 22—250 мм/мин. Наибольшее горизонталь-

ное перемещение стойки станка — 3200 мм; шпиндельной бабки в вертикальном направлении — 1800 мм; шпиндельной бабки в продольном направлении — 1000 мм.

Станок предназначен для обработки пространственно-сложных изделий, которая выполняется за счет последовательного копирования плоских параллельных сечений объемного шаблона. Контурная обработка производится в полуавтоматическом режиме, как и в рассмотренных выше копировальных станках, с помощью следящей и задающей подач.

Структурная схема двухканальной следящей системы станка показана на рис. 12.15. По одному каналу, от копировального прибор-

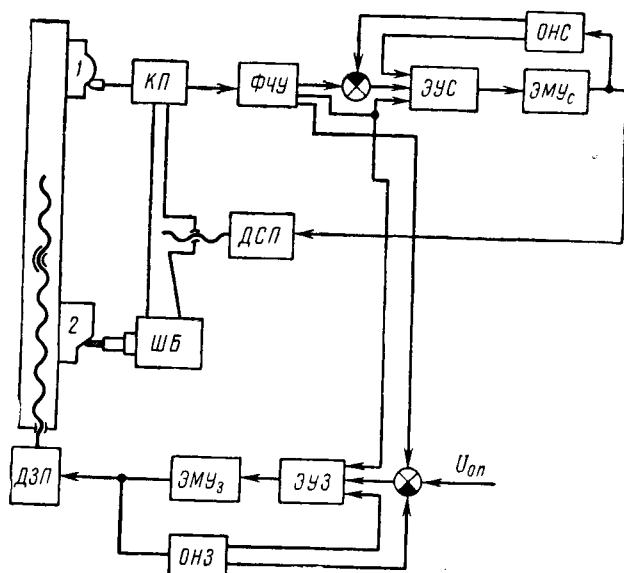


Рис. 12.15. Блок-схема следящего электропривода копировального полуавтомата

ра КП через фазочувствительный усилитель ФЧУ сигнал подается электронному усилителю следящей подачи ЭУС, выход которого подключается к обмоткам управления ЭМУ. От электромашинного усилителя получает питание двигатель следящей подачи ДСП, перемещающий шпиндельную бабку станка ШБ на и от обрабатываемого изделия 2, закрепленного на столе, в верхней части которого помещен шаблон 1. С целью повышения жесткости характеристик двигателей ДСП и ДЗП вводятся обратные связи ОНС и ОНЗ на входы усилителей ЭУС и ЭУЗ. Между копировальным прибором КП и шпиндельной бабкой существует жесткая механическая связь. Для сообщения столу задающей подачи служит двигатель ДЗП, который управляется по второму каналу от того же КП и ФЧУ.

Для выяснения принципа работы электрической схемы станка рассмотрим отдельные элементы следящего привода.

Копировальный прибор, схематическое устройство которого приведено на рис. 12.16, заканчивается пальцем 1, скользящим по поверхности модели. Палец закрепляется на конце оси 3, имеющей

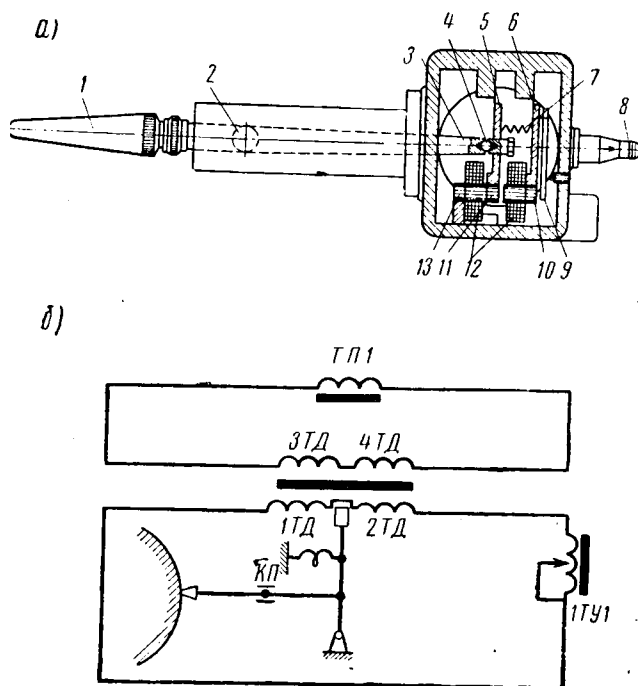


Рис. 12.16. Устройство (а) и схема включения (б) бесконтактного копировального прибора

возможность перемещаться в продольном направлении и поворачиваться относительно шарнира 2 при давлении на палец в вертикальном направлении. Благодаря шарiku 4, находящемуся в двух конических гнездах, любые перемещения копировального пальца преобразуются в осевые перемещения якоря 11, закрепленного на плоской пружине 5. Когда палец не испытывает давления, якорь 11 прижат пружиной 7 к сердечнику 13. При нажатии на палец якорь отжимается от сердечника 13 и приближается к сердечнику 10.

Действие копировального прибора основано на изменении индуктивного сопротивления катушек дифференциального трансформатора 12 вследствие изменения воздушного зазора между сердечниками 13 и 10 и перемещающимся между ними якорем 11. Вели-

чина воздушного зазора может регулироваться от 0 до 2 мм винтом 8. При чрезмерном нажатии на копировальный палец якорь, прижатый к сердечнику 10, подвешенному на плоской пружине 6, перемещает сердечник и размыкает аварийный контакт 9.

На сердечниках 13 и 10 уложены четыре обмотки дифференциального трансформатора 12: 1ТД, 2ТД, 3ТД и 4ТД (см. рис. 12.16, б). Первичные обмотки дифференциального трансформатора 1ТД и 2ТД включены согласно и питаются от трансформатора управления 1ТУ1. Вторичные обмотки 3ТД и 4ТД включены встречно. Вторичное напряжение дифференциального трансформатора подается на первичную обмотку промежуточного трансформатора ТП1. Вторичные обмотки этого трансформатора ТП2 и ТП3 включены в сеточные цепи лампы 1Л фазочувствительного усилителя (рис. 12.17). Фазочувствительный усилитель (ФЧУ) состоит из двойного триода с перекрестной положительной инерционной обратной связью. Режим работы лампы 1Л определяется напряжениями на конденсаторах 1С и 2С. Вследствие перекрестной положительной обратной связи напряжение на конденсаторе 1С зависит от величины тока правого анода лампы 1Л, а напряжение на конденсаторе 2С — от тока левого анода. При отсутствии управляющего сигнала анодные токи обоих триодов одинаковы, поэтому падения на сопротивлениях в анодных цепях 5r — 8r и 6r — 7r одинаковы и противоположны по знаку. Напряжение в этом случае на выходе ФЧУ равно нулю.

При подаче на первичную обмотку ТП1 управляющего напряжения такой фазы, что при положительной полуволне анодного напряжения левая сетка получит положительное, а правая — отрицательное приращение потенциала, равенство анодных токов нарушится и на выходе ФЧУ появится напряжение.

Передающая функция ФЧУ, охваченного положительной обратной связью,

$$W_{\Phi}(p) = \frac{k_{\Phi}}{1 - \frac{k_{\Phi}k_{o.c.}}{T_1 p + 1}} = \frac{k_{\Phi}(T_1 p + 1)}{T_1 p + 1 - k_{\Phi}k_{o.c.}}, \quad (12.13)$$

где $T_1 = C_{1c}r_{1r}$ — постоянная времени цепи обратной связи; k_{Φ} , $k_{o.c.}$ — соответственно коэффициент усиления ФЧУ и цепи обратной связи.

Если принять $k_{o.c.} = 1/k_{\Phi}$, то (12.13) запишется так:

$$W_{\Phi}(p) = \frac{U_{c-}(p)}{U_{c\sim}(p)} = k_{\Phi} + \frac{k_{\Phi}}{T_1 p}, \quad (12.14)$$

где $U_{c-}(p)$, $U_{c\sim}(p)$ — напряжение на выходе ФЧУ и на выходе КП; $U_{c-} = k_{кп}k_{\tau}\delta$.

После простых преобразований

$$U_{c-}(p) = k_1\delta + k_1k_2\frac{\delta}{p}, \quad (12.15)$$

где $k_1 = k_\Phi k_{\text{КП}} k_T$; $k_{\text{КП}}$ — коэффициент усиления КП; k_T — коэффициент трансформации промежуточного трансформатора;

$$k_2 = \frac{1}{T_1}.$$

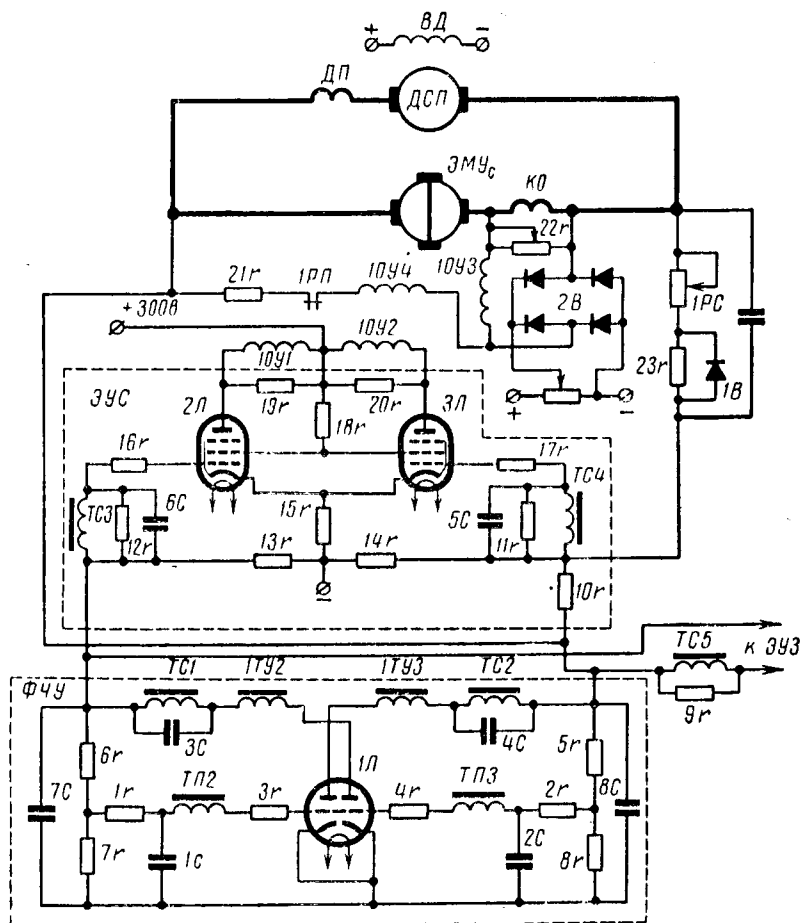


Рис. 12.17. Упрощенная схема управления электроприводом следящей подачи

Из (12.15) следует, что выходной сигнал $\Phi ЧУ$ пропорционален рассогласованию и интегралу рассогласования по времени. Последовательно с нагрузочными сопротивлениями в анодные цепи лампы $1Л$ включены первичные обмотки $ТС1$ и $ТС2$ стабилизирующего

трансформатора. Если ток в этих обмотках пропорционален величине рассогласования, то напряжение на вторичных обмотках этого трансформатора $ТСЗ$ и $ТС4$ пропорционально скорости изменения рассогласования. Следовательно, $\Phi ЧУ$: 1) преобразует сигнал переменного тока, поступающий с копировального прибора $КП$, в сигнал постоянного тока, пропорциональный отклонению якоря от среднего положения; 2) вырабатывает за счет положительной обратной связи сигнал, пропорциональный интегралу рассогласования во времени, что существенно снижает статическую ошибку копирования; 3) формирует с помощью стабилизирующего трансформатора $ТС$ сигнал, пропорциональный производной рассогласования во времени и повышающий быстродействие системы, т. е. уменьшающий динамическую ошибку системы.

Напряжение с выхода $\Phi ЧУ$ подается на вход усилителей следящей $\mathcal{ЭУС}$ и задающей подачи $\mathcal{ЭУЗ}$.

На рис. 12.17 показана принципиальная схема электронного усилителя следящей подачи $\mathcal{ЭУС}$, выходом которого являются две встречно включенные обмотки управления $10У1$ и $10У2$ $\mathcal{ЭМУ}_c$. $\mathcal{ЭУС}$ питается от источника выпрямленного напряжения 300 в. На сетки ламп $2Л$ и $3Л$ подается автоматическое отрицательное смещение с сопротивления 15 r . При равенстве падений напряжений на сопротивлениях 13 r и 14 r анодные токи ламп $2Л$ и $3Л$ одинаковы и э. д. с. $\mathcal{ЭМУ}_c$ равна нулю.

Разность анодных токов ламп $2Л$ и $3Л$ возникает при подаче на их сетки напряжения с выхода $\Phi ЧУ$ и со вторичных обмоток стабилизирующего трансформатора $ТС$; при этом потенциал сетки по отношению к катоду одной лампы может доходить до нуля, а потенциал сетки другой лампы становится еще более отрицательным. В связи с этим разность анодных токов значительно возрастает, чем обеспечивается большая форсировка переходного процесса системы. Э. д. с. на вторичных обмотках $ТСЗ$ и $ТС4$ зависит от скорости перемещения якоря $КП$ и при резких отклонениях его может достигать сравнительно больших величин, создавая дополнительное форсирование. На вход $\mathcal{ЭУС}$ дополнительно вводится еще жесткая отрицательная обратная связь по напряжению $\mathcal{ЭМУ}$ через регулятор скорости подачи $1РС$ и 10 r , а также гибкая обратная связь по напряжению.

Схема усилителя задающей подачи $\mathcal{ЭУЗ}$ совместно с включением двигателя $ДЗП$ показана на рис. 12.18. $\mathcal{ЭУЗ}$ выполнен на одной лампе $4Л$, в анодной цепи которой включены обмотки управления $20У1$ и $20У2$ $\mathcal{ЭМУ}_з$.

С целью поддержания неизменной результирующей скорости подачи необходимо, чтобы скорость следящей подачи была пропорциональна косинусу угла копирования, а задающей — синусу угла копирования. Для этого нужно, чтобы при отсутствии напряжения на выходе $\Phi ЧУ$ (т. е. при отсутствии рассогласования) анодный ток лампы $4Л$ был бы наибольшим и уменьшался бы с увеличением

напряжения $\Phi ЧУ$ — это напряжение называют блокирующим для лампы 4Л.

Чтобы сохранить избранное направление задающей подачи, независимо от изменения знака блокирующего напряжения, сигнал

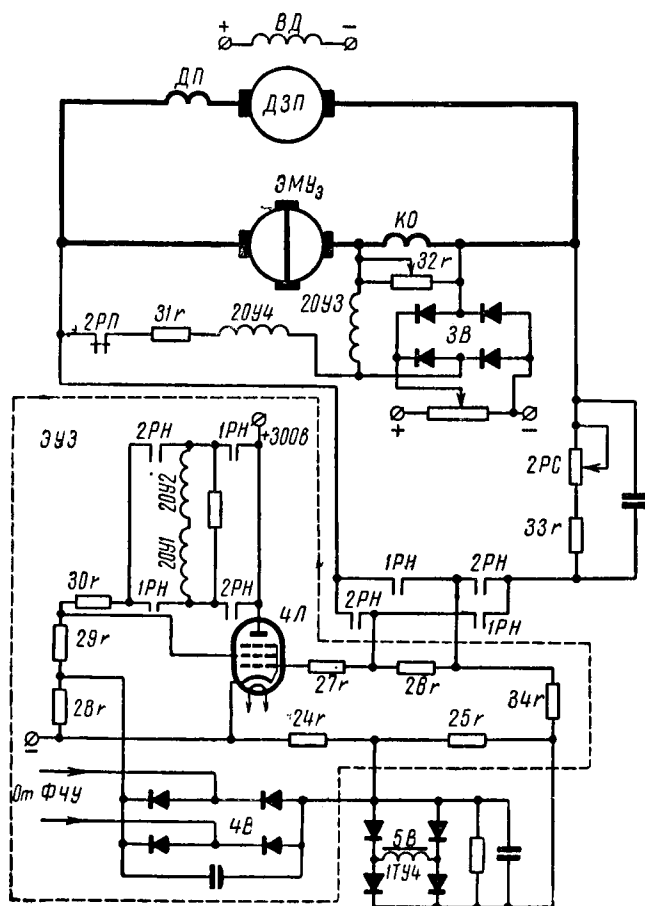


Рис. 12.18. Упрощенная схема управления электроприводом задающей подачи

от $\Phi ЧУ$ подается в сеточный контур лампы Л4 через выпрямительный мост 4В. Изменение направления вращения двигателя задающей подачи, необходимое в строчечном режиме, или при контурной обработке с изменением угла копирования, происходит за счет изменения полярности напряжения на обмотках управления 20У1 и 20У2 с помощью реле 1РН и 2РН. В качестве источника опорного напряжения для компенсации малых значений блокирующего напряжения служит 5В.

Как упоминалось, для обработки пространственно-сложных изделий необходимо, кроме следящей и задающей подач, введение периодической подачи. Контроль за выполнением периодической подачи осуществляется электронным реле *РПП*, состоящим из электронной лампы, в анодную цепь которой включена катушка реле *РПП* (рис. 12.19). В промежутках между периодическими подачами лампа пропускает ток и реле *РПП* включается. С началом

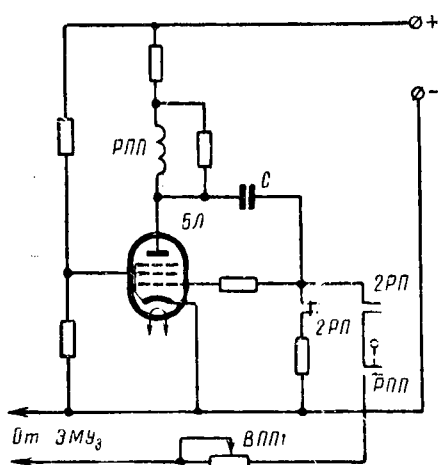


Рис. 12.19. Схема электронного реле для периодической подачи

периодической подачи на сетку лампы *5Л* подается запирающее напряжение приблизительно пропорциональное скорости двигателя периодической подачи. Емкость, включенная в сеточный контур, задерживает нарастание отрицательного потенциала на сетке и отключение реле *РПП*, подающего команду на прекращение подачи.

Длительность периодической подачи обратно пропорциональна величине запирающего потенциала, поэтому величина периодической подачи не зависит от скорости. Выбор величины периодической подачи производится регулятором *ВПП1*. При выключении реле

РПП отключается *2РП* — снимается отрицательный потенциал на сетке, лампа вновь отпирается, затем включается реле *РПП* и прекращается периодическая подача.

Для защиты фрезы и двигателя при возрастании нагрузки, вызванной увеличением глубины резанья, изменением структуры обрабатываемого изделия, затуплением фрезы и др., предусмотрено устройство автоматического ограничения мощности (рис. 12.20). Оно состоит из измерительного трансформатора *ТМ*, имеющего две первичные обмотки — токовую и напряжения. Вторичное напряжение, пропорциональное потребляемой мощности двигателя шпинделя, выпрямленное лампой, сопоставляется с задающим напряжением U_0 . В крайнем правом положении рукоятки регулятора *ВОМ* в систему управления усилителя задающей подачи вводится наибольший запирающий сигнал, начиная с минимальной загрузки главного двигателя. С возрастанием нагрузки и той же самой уставке *ВОМ* стрелка прибора отклоняется. Перемещением рукоятки *ВОМ* устанавливается режим допустимой нагрузки для заданных условий обработки; при этом стрелка миллиамперметра не отклоняется.

Устройство ограничения нагрузки на этом станке воздействует только на систему управления приводом задающей подачи.

Для расширения технологических возможностей тяжелых копировально-фрезерных станков и повышения точности обработки в последующих моделях станков внесены следующие изменения в систему электропривода подачи. Увеличение диапазона скорости подачи до $150:1$ (от 750 до 5 мм/мин) потребовало введения жесткой отрицательной обратной связи по скорости. В связи с увеличением коэффициента усиления системы и глубокой жесткой обратной связи по скорости введены гибкие обратные связи по скорости двигателя и току поперечной цепи ЭМУ. Гибкая обратная связь по скорости выполнена с помощью стабилизирующего трансформатора, первичная обмотка которого включена на напряжение тахогенератора, а вторичная — на вход первого каскада электронного

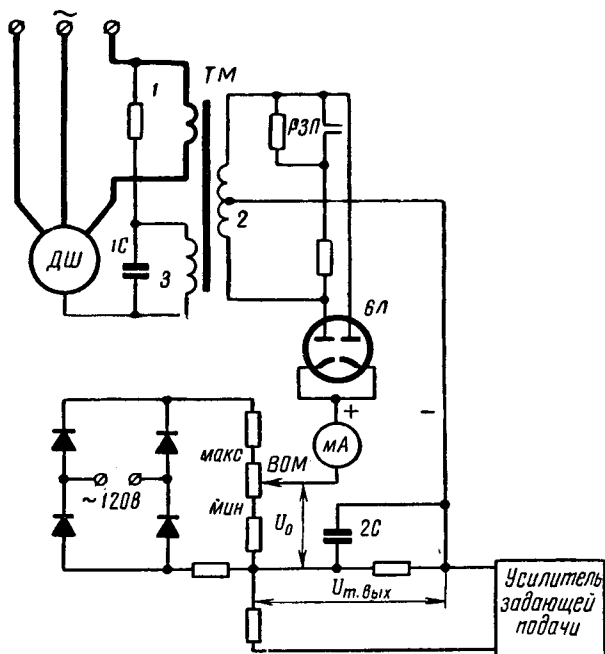
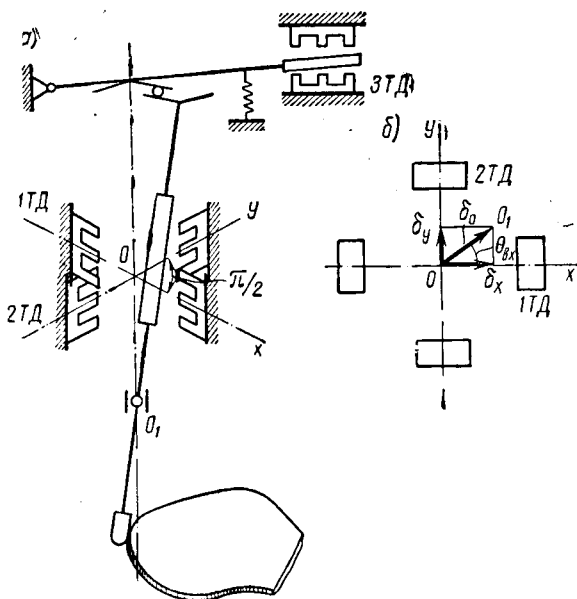


Рис. 12.20. Схема устройства автоматического ограничения мощности

усилителя. Гибкая связь по току поперечной цепи осуществляется другим стабилизирующим трансформатором, первичная обмотка которого включена в короткозамкнутую цепь ЭМУ, а вторичная — на вход второго каскада электронного усилителя. С целью повышения быстродействия системы первичные обмотки индуктивного датчика КП питаются напряжением с частотой 600 гц. Кроме того, для повышения быстродействия системы форсирование сигнала, пропорционального скорости изменения рассогласования, происходит не в ФЧУ, как было рассмотрено выше, а в отдельном дифференцируемом фазовом усилителе, собранном на двойном триоде.

Современные электронно-копировальные станки снабжены, кроме того, универсальным копировальным прибором оригинальной конструкции, обеспечивающим автоматическое контурное копирование; этот прибор может быть использован и в строчном режиме.

ЗТД выдает сигнал, пропорциональный отклонению оси якоря прибора в радиальном направлении (в плоскости xOy). В свободном состоянии копирующий палец под действием пружины занимает положение, совпадающее с осью OO_1 , и якорь прибора окажется на одинаковом расстоянии от сердечников **1ТД** и **2ТД**. Первичные обмотки **1ТД** и **2ТД** питаются от источника переменного тока частотой 500 гц; фазы напряжения этих источников сдвинуты на 90 эл. град.



Вторичные об-

Блок-схема автоматического обхода замкнутого контура приведена на рис. 12.22. Напряжение выхода контурных датчиков $1ТД$ и $2ТД$ усиливается усилителем $ЭУ1$, затем ограничивается по амплитуде диодным ограничителем, вновь усиливается $ЭУ2$ и $ЭУ4$ и подается на сетку суммирующего усилителя $ЭУ5$. Первичные обмотки $3ТД$ питаются напряжением, пропорциональным напряжению выхода контура датчиков $1ТД$ и $2ТД$, вторичные обмотки $3ТД$ включены встречно. Датчик $3ТД$ выполнен так, что при отклонении шпинделя копировального прибора на величину $\delta_0 = \text{const}$ от геометрической оси якорь датчика $3ТД$ находится в среднем положении, т. е. напряжение на его выходе равно нулю.

При отклонении якоря датчика ЗТД от среднего положения на его выходе формируется напряжение, пропорциональное величине этого рассогласования. Напряжение выхода датчика ЗТД через со-

гласующий трансформатор $ТП$ подается на сетку суммирующего усилителя $ЭУ5$, а также через выпрямитель $ВУ$ — на усилитель $ЭУ4$.

С помощью контурных датчиков $1ТД$ и $2ТД$ на выходе фазочувствительных усилителей $ФЧУ1$ и $ФЧУ2$ формируются сигналы постоянного тока, пропорциональные δ_x и δ_y ; при этом результирующая скорость слежения будет направлена по касательной к профилю модели, а $\delta_0 = \text{const}$.

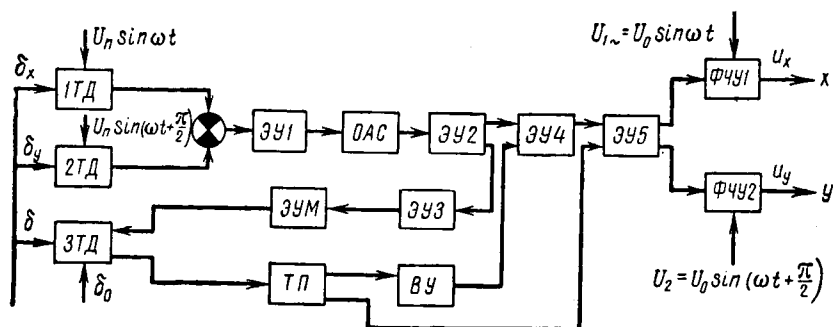


Рис. 12.22. Блок-схема автоматического обхода замкнутого контура

Отклонение якоря $3ТД$ вызывает радиальную составляющую скорости такой величины и направления, что результирующая скорость слежения совпадает с касательной и угол выхода системы оказывается равным углу входа.

На выходе фазочувствительного усилителя $ФЧУ1$ сигнал управления перемещением механизма подачи по оси x [Л. 9]:

$$\left. \begin{aligned} u_x &= k_0 k_1 U_n \delta \sin \theta - k_0 k_{11} U_n \delta (\delta_0 - \delta) \cos \theta \quad (\text{при } \delta < \delta_1); \\ u_x &= k_1 U_0 \sin \theta - k_{11} U_0 (\delta_0 - \delta) \cos \theta \quad (\text{при } \delta \geq \delta_1), \end{aligned} \right\} \quad (12.16)$$

где $k_0 = k_{ТД} k_{ЭУ1} k_{ЭУ2}$, $k_1 = k_{ЭУ4} k_{ЭУ5} k_{\Phi}$; $k_{11} = k_{ЭУ3} k_{ЭУМ} k_{3ТД} k_{ТП} k_{ЭУ4} k_{ЭУ5} \times \times k_{\Phi}$ — соответствующие коэффициенты усиления по каналам передачи сигналов устройства автоматического отхода контура (см. рис. 12.22); U_0 — постоянный уровень амплитуды напряжения на выходе усилителя $ЭУ2$, обусловленный заданным ограничением; θ — угол копирования; δ_0 — радиус-вектор рассогласования.

На выходе фазочувствительного усилителя $ФЧУ2$ сигнал управления перемещением механизма подачи по оси y :

$$\left. \begin{aligned} u_y &= -k_0 k_1 U_n \delta \cos \theta - k_0 k_{11} U_n \delta (\delta_0 - \delta) \sin \theta \quad (\text{при } \delta < \delta_1); \\ u_y &= -k_1 U_0 \cos \theta - k_{11} U_0 (\delta_0 - \delta) \sin \theta \quad (\text{при } \delta \geq \delta_1). \end{aligned} \right\} \quad (12.17)$$

Динамическая ошибка системы, вызванная изменением скорости подачи или резким изменением положения пальца копирующего прибора, может быть найдена для двухкоординатной системы, например, при постоянном угле копирования из следующих соображений. Предполагается, что

до возмущения в системе был установившийся режим, осевая линия копирующего прибора совпадает с началом координат O (рис. 12.23), в момент времени $t=0$ палец копирующего прибора скачком отклонился на величину $\Delta\delta_n$ от заданного положения δ_0 .

Отклонение пальца копирующего прибора

$$\delta(t) = \delta_n + x(t) \sin \alpha - y(t) \cos \alpha. \quad (12.18)$$

Величина ошибки копирования

$$\Delta\delta(t) = \delta_0 - \delta(t) = \Delta\delta_n - x(t) \sin \alpha + y(t) \cos \alpha. \quad (12.19)$$

Так как в симметричной следящей системе при копировании $\delta > \delta_1$, то (12.16) и (12.17) с учетом того, что

$\theta = \alpha + 90^\circ$, запишутся так:

$$u_x = k_I U_0 \cos \alpha + k_{II} U_0 (\delta_0 - \delta) \sin \alpha; \quad (12.20)$$

$$u_y = k_I U_0 \sin \alpha - k_{II} U_0 (\delta_0 - \delta) \cos \alpha. \quad (12.21)$$

Совместное решение (12.19), (12.20) и (12.21) дает:

$$\begin{aligned} u_x(t) = & [k_I \cos \alpha + k_{II} \sin \alpha \cdot \Delta\delta_n(0) - k_{II} \sin^2 \alpha \cdot x(0) + \\ & + k_{II} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot y(0)] \Delta u_0(t) + \\ & + [\Delta\delta_n(t) - \sin \alpha \cdot x(t) + \cos \alpha \cdot y(t)] k_{II} u_0(0) \sin \alpha; \quad (12.22) \\ u_y(t) = & [k_I \sin \alpha - k_{II} \cos \alpha \cdot \Delta\delta_n(0) - k_{II} \cos^2 \alpha \cdot y(0) + \\ & + k_{II} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot x(0)] \Delta u_0(t) - \end{aligned}$$

$$-[\Delta\delta_n(t) + \cos\alpha \cdot y(t) - \sin\alpha \cdot x(t)] k_{11}u_0(0) \cos\alpha. \quad (12.23)$$

Учитывая, что при $t=0$, $x(0)=y(0)=0$; $\Delta\delta_n(0)=0$ и $u_0(0)=U_0$, получим уравнения в операторной форме:

$$u_x(p) = k_1 \cos\alpha \cdot \Delta u_0(p) + k_{11}U_0 \sin\alpha [\Delta\delta_n(p) - \sin\alpha \cdot x(p) + \cos\alpha \cdot y(p)]; \quad (12.24)$$

$$u_y(p) = k_1 \sin\alpha \cdot \Delta u_0(p) - k_{11}U_0 \cos\alpha [\Delta\delta_n(p) + \cos\alpha \cdot y(p) - \sin\alpha \cdot x(p)]. \quad (12.25)$$

Связь между отклонениями копировального прибора по осям x , y и сигналами управления по этим осям при нулевых начальных условиях следующая:

$$x(p) = \frac{W_x(p)}{k_{11}U_0} u_x(p); \quad (12.26)$$

$$y(p) = \frac{W_y(p)}{k_{11}U_0} u_y(p), \quad (12.27)$$

где $W_x(p)$ и $W_y(p)$ — передаточные функции разомкнутых каналов системы.

Совместное решение (12.24), (12.25), (12.26) и (12.27) дает:

$$x(p) = \frac{k_1}{k_{11}U_0} \Phi_{\Sigma}(p) W_x(p) \cos\alpha [1 + W_y(p)] \times \\ \times \Delta u_0(p) + \Phi_{\Sigma}(p) W_x(p) \sin\alpha \cdot \Delta\delta_n(p); \quad (12.28)$$

$$y(p) = \frac{k_1}{k_{11}U_0} \Phi_{\Sigma}(p) W_y(p) \sin\alpha [1 + W_x(p)] \times \\ \times \Delta u_0(p) - \Phi_{\Sigma}(p) W_y(p) \cos\alpha \cdot \Delta\delta_n(p), \quad (12.29)$$

где

$$\Phi_{\Sigma}(p) = \frac{1}{1 + W_x(p) \sin^2\alpha + W_y(p) \cos^2\alpha}.$$

С учетом (12.19), (12.28) и (12.29), ошибка копирования

$$\Delta\delta(p) = \Phi_{\Sigma}(p) \Delta\delta_n(p) + \Phi_{\Sigma}(p) \frac{k_1}{k_{11}U_0} \sin\alpha \times \\ \times \cos\alpha [W_y(p) - W_x(p)] \Delta u_0(p). \quad (12.30)$$

Отсюда можно определить ошибку копирования, обусловленную изменением задающего напряжения U_0 (или изменением результирующей скорости подачи):

$$\Delta\delta_1(p) = \Phi_2(p)[W_y(p) - W_x(p)] \sin \alpha \cdot \cos \alpha \frac{k_1}{k_{11}U_0} \Delta u_0(p). \quad (12.31)$$

Ошибка копирования, вызванная скачкообразным отклонением пальца копировального прибора,

$$\Delta\delta_2(p) = \Phi_2(p) \frac{\Delta\delta_n}{p}. \quad (12.32)$$

При идентичности каналов двухкоординатной системы переходный процесс в такой системе совпадает с переходным процессом одного из каналов. Переходный процесс $\delta(t)$ может быть построен по вещественной частотной характеристике замкнутой системы.

Примерная кривая переходного процесса $\delta/\delta_0 = f(t)$ для симметричной двухкоординатной следящей системы станка модели ЛР-163 при скачкообразном отклонении кольца копировального прибора по нормали к поверхности на величину $\Delta\delta_n = \delta_0/2$ показана на рис. 12.23, б.

Если в разомкнутой идеализированной симметричной системе ошибка по углу может быть равна нулю, то в реальных системах она зависит от: 1) отклонения от 90 *эл. град* угла сдвига между напряжением питания первичных обмоток трансформаторов 1ТД и 2ТД; 2) нелинейности характеристик копировального прибора, электронного и электромашинного усилителей; 3) отклонения пути механизма подачи от заданного из-за зазоров в кинематической цепи этого механизма; 4) неравенства коэффициентов усиления обоих каналов симметричной следящей системы. Использование в приводе подачи копировальных станков быстродействующего тиристорного преобразователя взамен ЭМУ с поперечным полем, а также применение малоинерционного двигателя постоянного тока с гладким якорем, допускающим 10-кратный пусковой по отношению к номинальному, введение в систему управления корректирующего звена по ошибке позволят существенно снизить ошибку при копировании.

§ 12.4. АВТОМАТИЧЕСКОЕ КОПИРОВАНИЕ С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

В условиях современного машиностроения часто возникает необходимость в изготовлении плоских деталей различной формы и размеров. С этой целью иногда копиры, по которым ведется обработка на копировальных станках, заменяются чертежами.

Копировально-фрезерный станок оригинальной конструкции с электрогидравлической следящей системой и фотоэлектрическим датчиком был разработан и изготовлен НИАТ. В основу действия следящей системы этого станка положен фазоимпульсный метод управления фотоэлементом, сущность которого заключается в следующем (рис. 12.24). Световое пятно от источника света 2, отра-

жаясь от плоскости чертежа 1, попадает через объектив 3 на металлическую диафрагму 7, имеющую круглое отверстие 6, эксцентрично расположенное относительно оси вращения синхронного двигателя 4 с полым валом 5. Толщина линии чертежа и расстояние от объектива до плоскости чертежа выбирают так, чтобы изображение линии в плоскости диафрагмы полностью закрывало отверстие 6. За каждый оборот синхронного двигателя отверстие дважды пересекает изображение линии. При этом дважды за один оборот затеняется фотоэлемент 8; эти два импульса управления фотоэлементом используются в качестве первичных сигналов управления системы копирования. Импульсы фотоэлемента воспринимаются двухкаскадным усилителем, управляющим следующими приводами подачи станка.

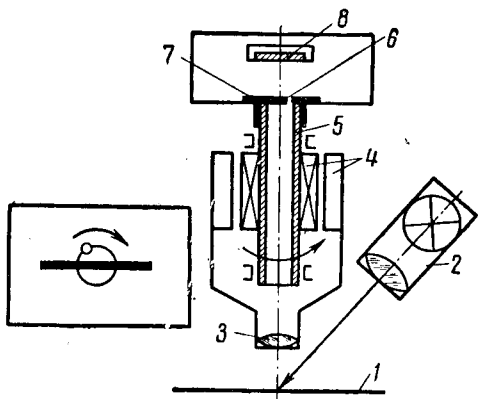


Рис. 12.24. Схема фазоимпульсного прибора управления фотоэлементом

Импульсы фотоэлемента воспринимаются двухкаскадным усилителем, управляющим следующими приводами подачи станка.

Схема усилителя приведена на рис. 12.25. Импульсы, посылаемые фотоэлементом ФЭ через электронный усилитель У, передаются через сеточный трансформатор ТС тиратронам 1Т и 2Т. Угол зажигания тиратронов зависит от фазы импульсов фототока или, что то же самое, от момента встречи. Если ориентировать положение статора синхронного двигателя таким образом, чтобы угол зажигания обоих тиратронов был равен $\pi/2$ в момент, когда линия чертежа точно совпадает с диаметром окружности, образованной вращающимся световым пятном, то можно считать полученное состояние системы таким, при котором погрешность слежения равна нулю.

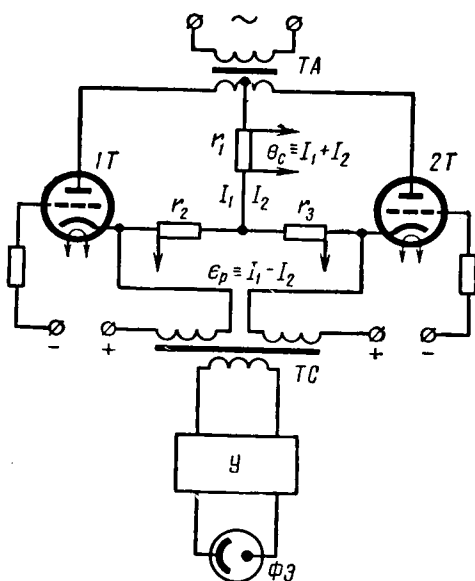


Рис. 12.25. Схема электронно-ионного усилителя фотокопировального станка

С сопротивления r_1 , включенного в анодной цепи тиратронов, снимается падение напряжения, пропорциональное сумме анодных токов тиратронов ($e_c \equiv I_1 + I_2$), а с концов сопротивлений r_2 и r_3 — падение напряжения, пропорциональное их разности ($e_p \equiv I_1 - I_2$). В нейтральном положении системы $e_c \equiv I_1 + I_2 = I_0$, $e_p \equiv I_1 - I_2 = 0$.

На рис. 12.26 приведено шесть характерных положений линии чертежа относительно орбиты вращения светового пятна. Первые три положения соответствуют отсутствию угловой ошибки ($\beta = 0$), когда сумма анодных токов остается неизменной, а их разность меняется как по величине, так и по фазе. В первом из этих трех случаев отсутствует и угловая ($\beta = 0$) и линейная ($s = 0$) ошибки; во втором и третьем случаях показана линейная ошибка ($s \neq 0$). В четвертом и пятом случаях отмечаются равные по абсолютным значениям угловые отклонения. Шестое положение является наиболее общим ($s \neq 0$, $\beta \neq 0$). Указанным положениям отвечают соответствующие кривые выпрямленного напряжения, которые определяют величины и знаки сигналов e_c и e_p . Эти сигналы являются управляющими для приводов подач станка.

Принципиальная схема фотокопировального станка с электрогидравлическим следящим приводом приведена на рис. 12.27. Стол 1 станка с укрепленным на нем чертежом 2 и заготовкой 3 неподвижен. Портал 4, на котором установлена фрезерная головка 6 и фотокопировальный прибор 5, может перемещаться при помощи двух пар крестовых кареток. Нижняя пара кареток приводится в движение электродвигателями 7 и 8, а верхняя — гидравлическими цилиндрами 9 и 10. Управление перемещениями всех кареток в процессе копирования осуществляется автоматически от трех командных элементов фотокопировального прибора. Со щеток синусного потенциометра сигналы, пропорциональные синусу и косинусу угла наклона копируемого контура, через электронный усилитель 20 и электромашинные усилители 16 и 19 управляют двигателями продольной 7 и поперечной 8 подач. Одновременно фотокопировальный прибор, следящий за линией чертежа, передает два сигнала: один — пропорциональный линейной ошибке s , другой — угловой β . Эти сигналы поступают вначале на усилитель 22, затем на тиратронное устройство 21 (см. схему рис. 12.25), где они суммируются и вычитаются. Сигналы, пропорциональные сумме и усиленные тиратронным усилителем 23, управляют двигателем 11 поворота фотокопировального прибора, компенсируя угловое рассогласование. Разность входящих сигналов поступает на датчик гидросистемы 17. Золотник 18 этого датчика управляет одновременно двумя гидроцилиндрами 10 и 9 продольной и поперечной коррекции линейных рассогласований s . Изменение скорости корректирования и ее знака достигается применением гидравлического регулятора положения, состоящего из двух золотников (продольного 13 и поперечного 12) и эксцентрично посаженной шайбы 14. Поворот шайбы, управляющей этими золотниками, синхронизирован через сельсин-

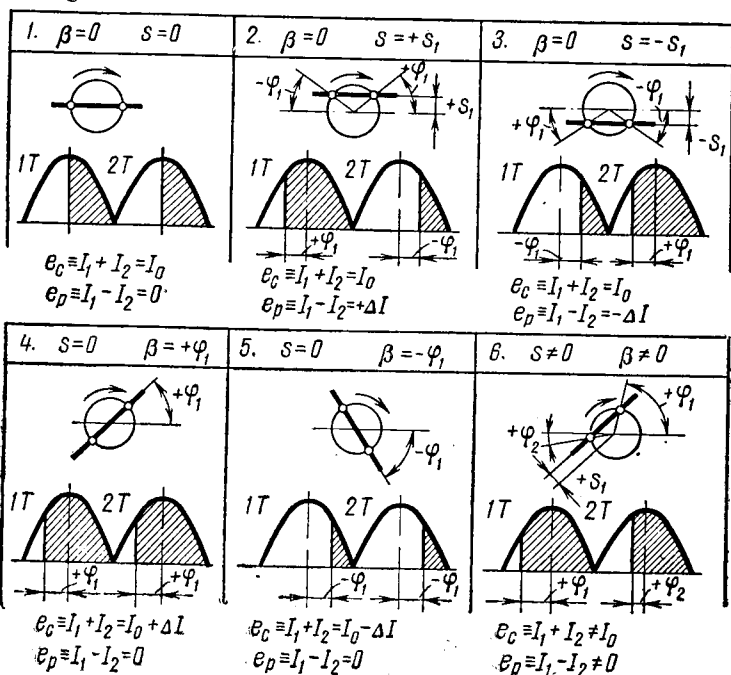


Рис. 12.26. Основные положения линии чертежа относительно орбиты вращения светового пятна

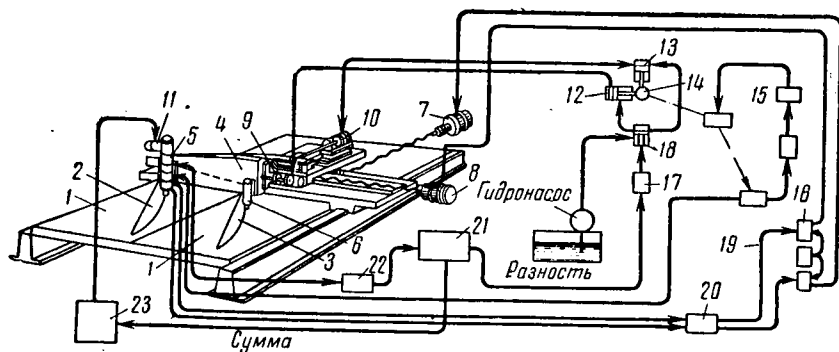


Рис. 12.27. Принципиальная схема фотокопировального станка с электрогидравлическим следящим приводом

ную связь 15 с поворотом щеток синусного потенциометра, установленного на фотокопировальном приборе.

В рассматриваемой системе на синусоидально изменяющуюся продольную и косинусоидально изменяющуюся поперечную скорости подачи накладываются соответственно скорости коррекции в обратном порядке: косинусоидальная — для продольной и синусоидальная — для поперечной подач. Такая связь наряду с изменением величины и знака скоростей коррекции в функции угла наклона копируемого контура обеспечивает равномерную чувствительность при любых углах наклона контура.

Точность копирования на рассмотренном станке по данным НИАТ была получена равной $\pm 0,1$ мм при скорости подачи до 600 мм/мин.

Недостатком рассмотренного станка является его относительная сложность, особенно в связи с введением гидравлической коррекции. Система управления может быть упрощена, если перейти на чисто электрическую следящую систему, однако при этом несколько снижаются производительность и чувствительность станка. Опыт работы показал, что чертежи, по которым ведется копирование, должны быть выполнены весьма тщательно и чисто, линии чертежа не должны быть толще 0,2 мм без утолщений и разрывов.

§ 12.5. СТАНКИ С ЦИКЛОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Самостоятельную группу составляют станки с программным управлением циклами и режимами обработки, в которых программа в основном задается на устройствах типа штеккерных панелей, наборов переключателей, переставных фиксируемых кулачков, на многопозиционных барабанах и т. п., а в отдельных случаях — на перфокартах и перфолентах.

В цикловых системах размеры, как правило, контролируются путевыми выключателями обычного либо специального (малогабаритного) исполнения, на которые действуют расставляемые в требуемых местах упоры. Таким построением цикловых систем, с одной стороны, обеспечивается существенное их упрощение по сравнению с копировальными системами, а с другой стороны, определяется область их применения — в основном в серийном производстве, так как время переналадки их на новую деталь весьма велико.

Например, консольно-фрезерный станок модели 6С12Ц (рис. 12.28) с цикловым управлением предназначен для автоматической обработки различных ступенчатых поверхностей, фрезерования шпоночных канавок, обработки внутренней и наружной рамок и т. п. Система циклового управления обеспечивает в требуемой последовательности перемещение стола параллельно любой из

трех координатных осей станка. Наибольшее количество переходов, которое может быть задано в цикле, равно 24.

Высокая точность ($\pm 0,05$ мм) обработки на станке достигается за счет введения в приводы подач торможения, благодаря которому снижается величина перебега стола и обеспечивается высокая стабильность размеров. В станке предусмотрен автоматиче-

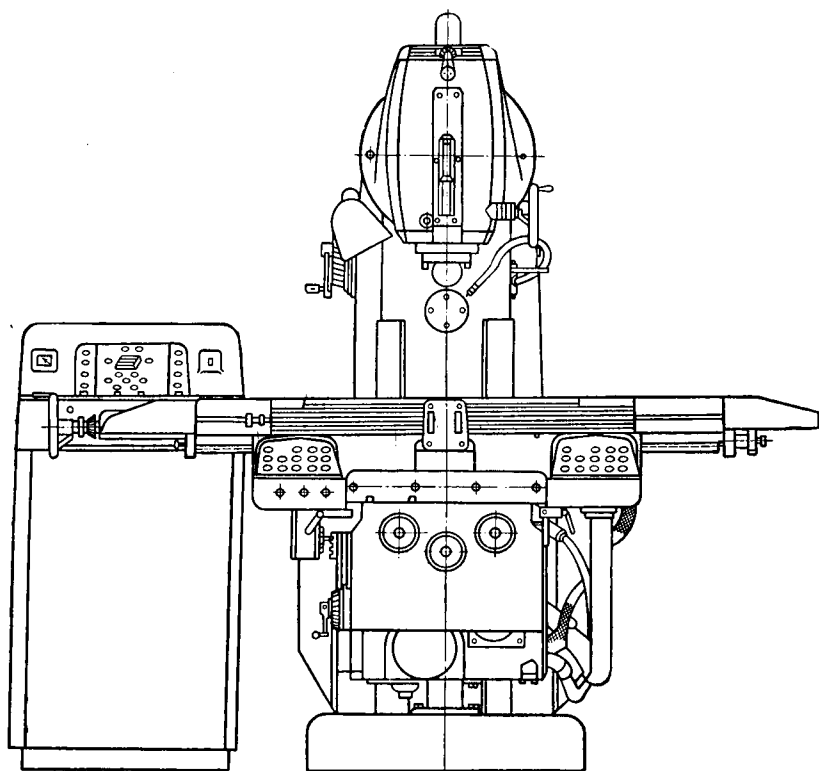


Рис. 12.28. Общий вид консольно-фрезерного станка с цикловым управлением

ский отвод детали от инструмента при ускоренных ходах и возврат ее в исходное положение при переходе на рабочую подачу. Зазор в паре «винт — гайка», связанный с неточностью изготовления или появившийся в результате износа пары, выбирается гидравлическим механизмом.

На станке могут быть установлены поворотный стол, делительная головка и другие приспособления, расширяющие технологические возможности станков.

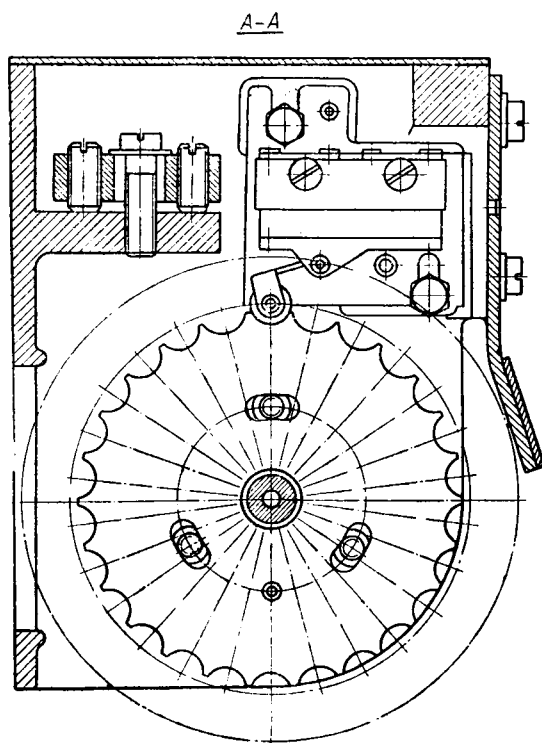
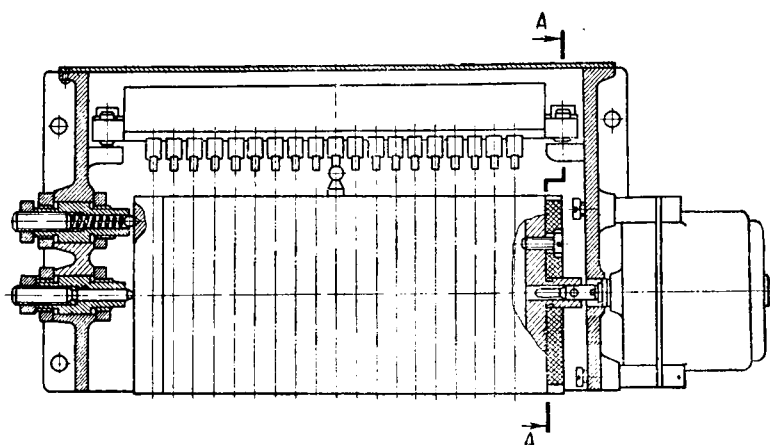


Рис. 12.29. Пульт набора и считывания программы

В станке предусмотрены три режима работы: 1) автоматический по программе; 2) неавтоматическое управление; 3) настройка программы.

Программа работы станка задается на пульте набора и считывания программы, представляющем собой пустотелый цилиндр (барабан) с 26 рядами отверстий, равномерно расположенных вдоль образующих его внешней поверхности (рис. 12.29). Первый ряд отверстий соответствует исходному положению барабана, в 24 рядах задается программа 24 переходов цикла и последний ряд дает команду об окончании цикла. Прочитывание информации о новом переходе осуществляется при повороте барабана на один шаг.

В каждом ряду имеется 17 отверстий, предназначенных для установки в них штеккеров. В зависимости от того, в какое отверстие данного ряда установлен штеккер, на этом участке программы будет задан тот или иной переход цикла, например стол «Вправо», «Влево», «Вперед», «Назад», «Вверх», «Вниз», «Медленный ход» и др. Над барабаном в один ряд установлены 17 микропереключателей таким образом, что штеккеры, вставленные в отверстия барабана, воздействуют на соответствующие переключатели. При этом включаются их замыкающие контакты, благодаря чему реализуется переход, заданный в программе. После окончания перехода барабан автоматически поворачивается на один шаг и вводится программа нового перехода. После отработки всей программы барабан снова поворачивается на шаг. В этой позиции штеккер устанавливается в отверстие, соответствующее команде «возврат барабана в исходное положение». Барабан занимает исходное положение. Станок готов для повторения цикла.

Величина перемещения задается настройкой путевых выключа-

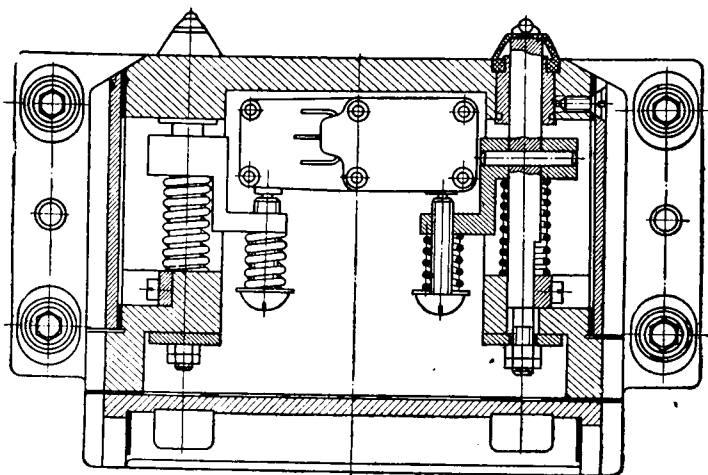


Рис. 12.30. Блок путевых выключателей

телей (рис. 12.30). В станке имеются три блока путевых выключателей: продольный, поперечный и вертикальный. Каждый блок состоит из десяти путевых выключателей с замыкающими контактами. Два из них являются конечными выключателями, ограничивающими перемещение стола в соответствующем направлении, а остальные восемь обеспечивают размерную настройку станка при работе по программе, причем три из них обеспечивают переключение подачи на медленный ход, а пять осуществляют выключение подачи.

Привод подач осуществляется от асинхронного двигателя. Управление подачами в станке выполняется с помощью электромагнитных муфт, включаемых магнитными пускателями. Муфт в станке десять. Каждая из них реализует одну из команд: «Подача», «Влево», «Вправо», «Вперед», «Назад», «Вверх», «Вниз», «Ускоренный ход», «Медленный ход», десятая муфта обеспечивает торможение шпинделя.

Глава XIII

ЧИСЛОВОЕ ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТАНКАМИ

§ 13.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Станки с числовым программным управлением (*ЧПУ*) сочетают в себе высокую производительность и точность работы автоматов с гибкостью универсальных станков. Эти станки весьма просто перенастраиваются; для этого необходимо одну программу, нанесенную на перфокарту, перфоленту и т. п., заменить другой, заранее подготовленной.

Наиболее эффективно использование станков с числовым управлением в мелкосерийном и единичном производстве при точной обработке сложных по конфигурации изделий. В зависимости от типа станка с *ЧПУ* и производимой на нем операции производительность его в сравнении с обычными станками может увеличиться от 10—20 до 500—600%. Значительный экономический эффект при использовании станков с числовым программным управлением достигается за счет существенного сокращения вспомогательного времени. На обычных станках вспомогательное время по отношению к общему составляет 80—60%, тогда как на станках с *ЧПУ* оно сокращается до 50—20%. Станки с *ЧПУ* при их высокой стоимости сравнительно быстро окупаются. Однако получение высоких показателей этих станков возможно при хорошем их использовании, что предопределяет планирование и организацию производства на высоком уровне. Кроме того, возникает необходимость в работниках высокой квалификации, так как программирование произ-

водится при помощи электронных вычислительных машин, позволяющих автоматизировать программирование и при территориальной разобщенности потребителя программы осуществить передачу информации средствами связи.

В числовом представлении задаются как технологические команды о режимах обработки, так и информация о геометрических размерах обрабатываемого изделия. Системы этого класса осуществляют числовое управление станками трех видов:

- 1) позиционирование (системы управления положением);
- 2) прямоугольное, или ступенчатое, управление;
- 3) контурное (непрерывное) управление.

§ 13.2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Любая система ЧПУ состоит из следующих основных узлов (рис. 13.1): 1 — программносителя; 2 — вводного устройства; 3 — интерполятора, встроенного непосредственно в систему управления станка или используемого для подготовки промежуточного про-

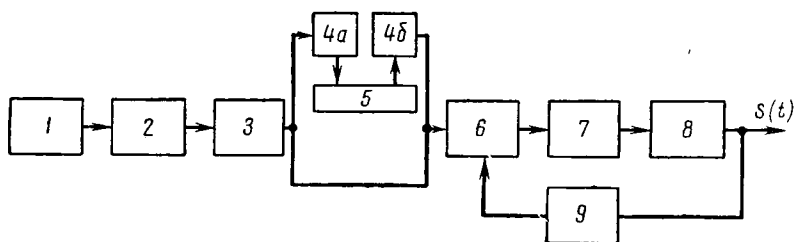


Рис. 13.1. Блок-схема системы числового управления

граммносителя — магнитной ленты; при встройке интерполятора блок 3 непосредственно управляет блоком 6. В случаях, когда по одной программе обрабатывается несколько одинаковых деталей с целью уменьшения объема электронного оборудования, установленного непосредственно у станка, можно осуществлять управление от магнитной ленты 5. При этом командные импульсы интерполятора записываются на ней с помощью устройства записи 4а. Подготовленная таким образом магнитная лента с записанной на ней программой работы станка передается на станок, где и воспроизводится с помощью устройства воспроизведения 4б. Считанные командные импульсы с выхода блока 4б поступают на блок числового управления 6, обеспечивающий преобразование разности командных сигналов программы и датчика обратной связи 9 в напряжение управления приводом подачи 7 исполнительного органа 8.

1. Программоносители. В качестве программоносителей для управления станками с ЧПУ наибольшее применение имеет стандартная телеграфная восьми- или пятидорожечная перфолента (для систем со встроенными интерполяторами) и магнитная лента с заданием программы в унитарном коде или аналоговом виде.

Задание информации на перфоленте осуществляется чаще всего в двоично-десятичном коде в адресной системе следующим образом (рис. 13.2). Каждая из пяти дорожек (шестая дорожка —

ведущая — на схеме не показана) предназначена для задания определенных команд. На первых четырех дорожках в двоично-десятичном коде по системе 1—2—4—8 задается числовая информация, соответствующая величинам перемещения по координатам или задающая различные вспомогательные команды: направление перемещения, скорость и т. д. Пробивки по дорожкам распределены следующим образом: на первой задается «1», на второй — «2», на третьей — «4» и на четвертой — «8».

Числа 1, 2, 4, 8 называются весами, а 10^0 , 10^1 , 10^2 и 10^3 — разрядами двоично-десятичного кода. Таким образом, используя от одной до четырех пробивок, можно в каждой строке задавать любое число от 1 до 9. Нулю соответствует отсутствие пробивок в строке.

Программа обработки состоит из отдельных блоков — «фраз», каждая из которых задает всю информацию — геометрическую (перемещения по всем координатам) и технологическую (режимы обработки, инструмент, охлаждение и т. п.).

Фраза образуется из так называемых слов; каждое слово задает или информацию о перемещении по одной из осей координат, например (x , y или z), или скорость подач, или вспомогательные команды. Перед началом каждого слова задается адрес, по которому следует направить информацию данного слова.

Числовая информация задается на первых четырех дорожках перфоленты, признак адреса — на пятой дорожке. Каждый адрес

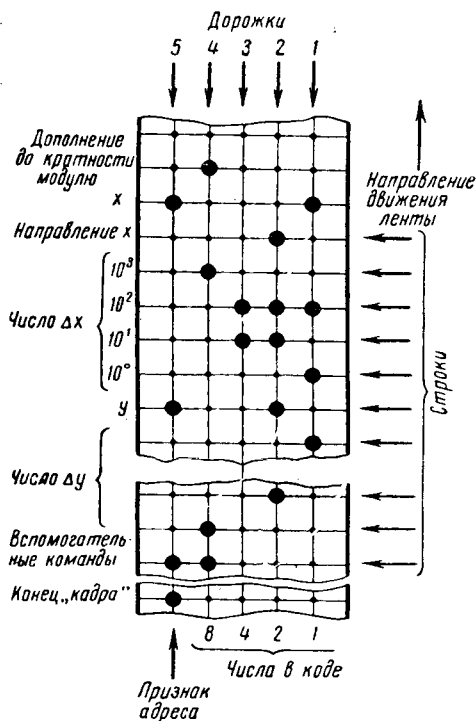


Рис. 13.2. Участок перфорированной ленты

задается пробивкой на пятой дорожке в сочетании с числовой информацией на 1÷4 дорожках этой же строки. Так, например, пробивка на 5-й дорожке в сочетании с «1» в этой же строке соответствует адресу «Координата x », в сочетании с «2» — адресу «Координата y » и т. д. Весь массив числовой информации, следующий за строкой, в которой задан признак адреса, до следующего признака адреса — пробивки на 5-й дорожке — принадлежит только данному адресу, например координате x .

Каждая строка, следующая за признаком адреса, несет в себе строго определенную информацию. Так, на первой строке задается направление перемещения исполнительного органа в каком-либо условном числовом коде, например «стол влево» — «1», «стол вправо» — «2». На следующих четырех строках задается число Δx импульсов, на которое должен переместиться исполнительный орган станка по координате x на данном участке (в данном «кадре») программы, причем во второй строке задаются тысячи, в третьей — сотни, в четвертой — десятки и в пятой — единицы.

На рис. 13.2 заданное число $\Delta x = 8761$ представлено как

$$8761 = 8 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 1 \cdot 10^0.$$

Аналогично задается информация и по другим координатам. Скорость подач и различные вспомогательные команды образуют отдельное слово. Конец каждой фразы выделяется пробивкой на 5-й дорожке при отсутствии других пробивок в строке. В случае, когда перемещение по какой-либо координате на участке обработки отсутствует, в «кадре» программы просто не задается соответствующий адрес.

Для проверки правильности приготовления перфоленты, а также правильности ее прочитывания вводным устройством обычно применяют один из способов контроля. Например, способ, называемый «контролем по модулю», заключается в следующем. Программист при расчете программы подсчитывает сумму весов всей числовой информации каждой фразы и проверяет ее на кратность какому-нибудь целому числу, называемому модулем (например, 9). Если сумма весов фразы не делится без остатка, то определяется дополнение до кратности модулю, т. е. наименьшее целое число, которое нужно прибавить к сумме весов данной фразы, чтобы она стала кратной модулю — делилась на числовое значение модуля без остатка.

При подготовке перфоленты в начале каждой фразы непосредственно перед первым ее словом набивается соответствующее значение дополнения до кратности модулю (на рис. 13.2 «8»). Одновременно на этапе подготовки перфоленты специальное устройство автоматически проверяет на кратность модулю сумму всех весов каждой фразы, включая соответствующее дополнение до кратности модулю.

При наличии в программе фразы, сумма весов которой не кратна модулю, устройство автоматически отключает перфоратор, ука-

зывая на ошибку. Благодаря этому уже на этапе подготовки перфоленты обнаруживаются не только ошибки в работе перфоратора и оператора, но и ошибки программиста, допущенные при расчете программы.

В дальнейшем при использовании перфоленты для управления станком или при подготовке магнитной ленты аналогичный контроль осуществляется во вводном устройстве при прочитывании каждой фразы. При обнаружении ошибки прекращается дальнейший ввод информации, запрещается отработка интерполятором введенной информации, и загорание сигнальной лампочки на пульте указывает на ошибку во вводе. Работа может быть продолжена только после устранения неисправности.

В качестве промежуточного программноносителя может применяться магнитная лента с записью программы, например, в виде последовательности командных импульсов, каждый из которых задает элементарное перемещение (равное $0,001 \div 0,02$ мм). При этом частота их следования по координатам соответствует заданным скоростям подачи исполнительных органов станка.

2. Вводные устройства. Вводные устройства служат для считывания информации, заданной на том или ином программноносителе, и передачи ее в устройство управления. В станках с ЧПУ в качестве программноносителя нашли наибольшее распространение перфолента (в отдельных случаях — перфокарты), на которой информация наносится в кодированном виде (в виде соответствующим образом расположенных отверстий — пробивок), и магнитная лента с записью информации в унитарном коде (в виде последовательности командных импульсов) или аналоговом виде (например, в виде изменения фазы управляющего сигнала относительно опорного). Считывание информации с перфоленты осуществляется вводными устройствами, построенными на принципах фотоэлектрического, контактного и пневматического индикации перфоленты.

а. Фотоэлектрические вводные устройства (рис. 13.3) состоят из лентопротяжного механизма и узла считывания

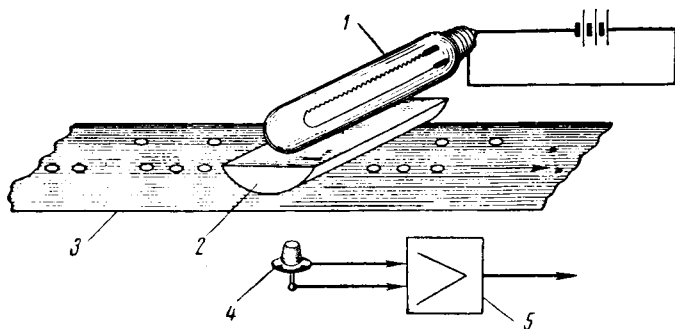


Рис. 13.3. Фотоэлектрическое вводное устройство

вания, включающего осветитель 1 с линзой 2, фотоэлемент 4 и электронный усилитель 5. С помощью лентопротяжного механизма перфолента 3 перематывается с передающей кассеты на приемную. При наличии пробивки расположенный под ней фотоэлемент освещается, при этом формируется сигнал, который после усиления поступает в запоминающее устройство.

Информация запоминающего устройства используется в интерполяторе. Фотоэлектрические вводные устройства обладают высоким быстродействием (до 1000 строк в секунду). При этом программноноситель практически не изнашивается.

В большинстве фотоэлектрических вводных устройств считывание информации осуществляется построчно (последовательно), причем лента каждый раз протягивается на длину участка, занимаемого фразой программы.

б. В электромеханических (контактных) вводных устройствах наличие пробивок на перфоленте индицируется либо с помощью блока щеток, выполненных из бериллиевой бронзы, ощупывающих программноноситель, либо блока штифтов (рис. 13.4). В последнем случае перемещение штифтов 2, западающих в пробивку в перфоленте 1, с помощью рычагов преобразуется в перемещение подвижного контакта 3, необходимое для замыкания или размыкания его с неподвижным контактом. Контактные вводные устройства находят ограниченную область применения в связи с малым быстродействием (до 20 строк в секунду) и невысокой надежностью в сравнении с фотоэлектрическими.

в. Пневматические вводные устройства ввиду значительной инерционности широкого распространения не получили. Для записи и считывания (воспроизведения) информации с магнитной ленты применяются вводные устройства, оснащенные соответственно записывающими и воспроизводящими магнитными головками, имеющими обычно одну и ту же конструкцию. Наибольшее распространение получила кольцевая магнитная головка, показанная на рис. 13.5. На магнитопроводе 1 с зазором 3 имеется обмотка 2. При подаче импульса тока в обмотку 2 в зазоре создается магнитное поле, намагничивающее проходящий в районе зазора участок программноносителя 4. При воспроизведении магнитная лента протягивается таким образом, что ее ферромагнитный

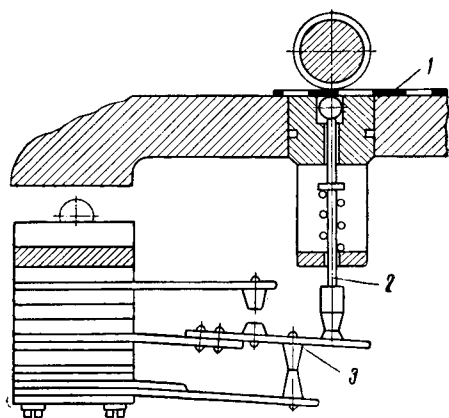


Рис. 13.4. Контактное вводное устройство

слой скользит по поверхности воспроизводящей головки в зоне зазора; в магнитопроводе образуется переменный магнитный поток, изменение которого и приводит к появлению в обмотке 2 импульсов э. д. с. в соответствии с записанной на ленте информацией. Амплитуда импульсов э. д. с., возникающих на обмотке магнитной головки, составляет $6 \div 10$ мв. Поэтому вопросам обеспечения вы-

сокой надежности и помехозащищенности при записи программы на магнитную ленту должно быть уделено особое внимание.

Стирание информации, записанной на магнитной ленте, с целью подготовки ее для записи другой программы осуществляется двумя способами: либо путем намагничивания всей дорожки ленты до насыщения (в этом случае при записи подаются импульсы тока, обеспечивающие перемагничивание ленты), либо путем размагничивания феррослоя ленты токами высокой частоты.

В первом случае в обмотку стирающей головки подается постоянный ток. Однако дефекты ленты, например отсутствие феррослоя на небольшом участке ленты, воспринимаются как отсутствие намагниченного слоя и вызывают появление на обмотке ложных импульсов — помех. Вследствие этого стирание размагничиванием является более предпочтительным с точки зрения обеспечения большей надежности при воспроизведении информации.

Информация, записанная в кодированном виде на перфоленте, преобразуется в последовательность командных импульсов или в аналоговую форму с помощью интерполяторов. Сигналы с выходов интерполятора, встроенного непосредственно в систему управления станка, используются для его управления.

Подготовка магнитной ленты осуществляется также с помощью интерполирующих устройств. Интерполяторы реализуют линейный, линейно-круговой или более сложный закон интерполяции.

3. Интерполятор. Рассмотрим структуру наиболее простого линейного интерполятора, представленную на рис. 13.6. Интерполятор состоит из следующих основных узлов: вводного устройства (ВУ); блока задания перемещения (БЗП); блока задания скорости (БЗС); генератора тактирующих импульсов (Г) — генерирует импульсы с постоянной частотой, задающей ритм работы интерполятора.

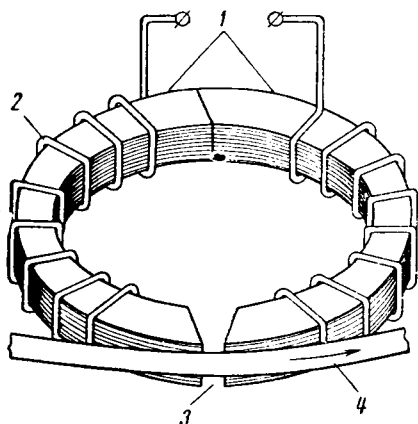


Рис. 13.5. Магнитная головка

Блок задания перемещения (рис. 13.7, а) состоит из двух основных частей — импульсного делителя и промежуточного запоминающего устройства ПЗУ (на рис. 13.6 показаны два промежуточных запоминающих устройства по осям x и y — ПЗУ « x » и ПЗУ « y »). Импульсный делитель представляет собой электронное устройство, которое имеет один вход и один основной выход. Частота импульсов на основном выходе делителя в n раз меньше, чем частота импульсов на его входе (n — объем делителя

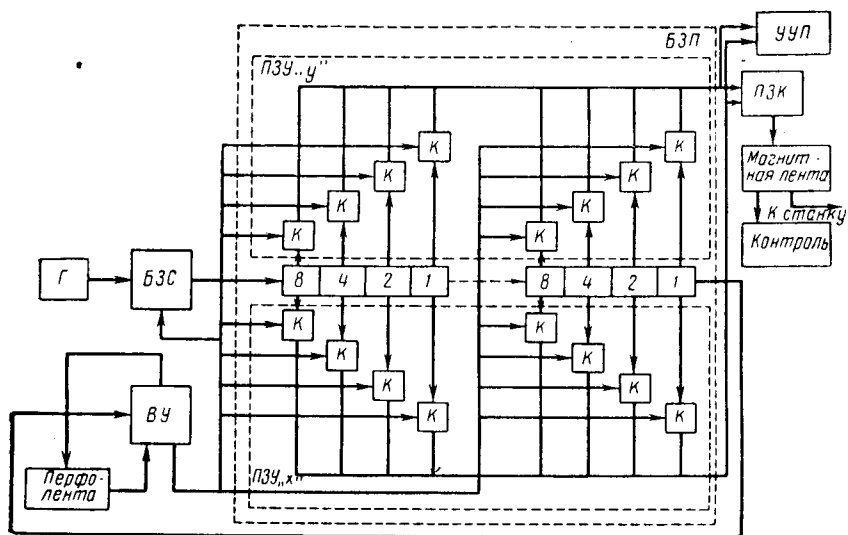


Рис. 13.6. Структурная схема линейного интерполятора

в импульсах). Так, если объем делителя равен 10 (один десятичный разряд) и исходное состояние делителя соответствует нулю (делитель «очищен»), то каждый десятый приходящий на вход импульс вызывает появление на основном выходе делителя одного импульса. При этом делитель возвращается в исходное нулевое состояние. Кроме основного выхода, делитель имеет четыре промежуточных выхода.

Схема делителя выполнена таким образом, что при построении делителя по двоично-десятичной системе за каждое заполнение делителя (чему соответствует поступление на вход делителя девяти импульсов), на первом выходе формируется 8 импульсов (вызванных 1-м, 2-м, 3-м, 4-м, 6-м, 7-м, 8-м и 9-м входными импульсами), на втором — 4 импульса (вызванных 1-м, 4-м, 6-м и 9-м входными импульсами), на третьем — 2 импульса (вызванных 2-м и 8-м входными импульсами) и на четвертом — 1 импульс (вызванный 5-м входным импульсом). Десятый импульс является импульсом пере-

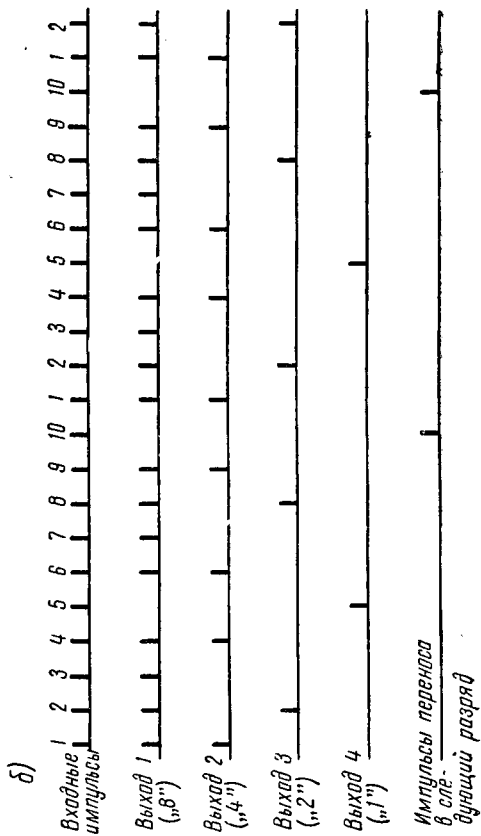
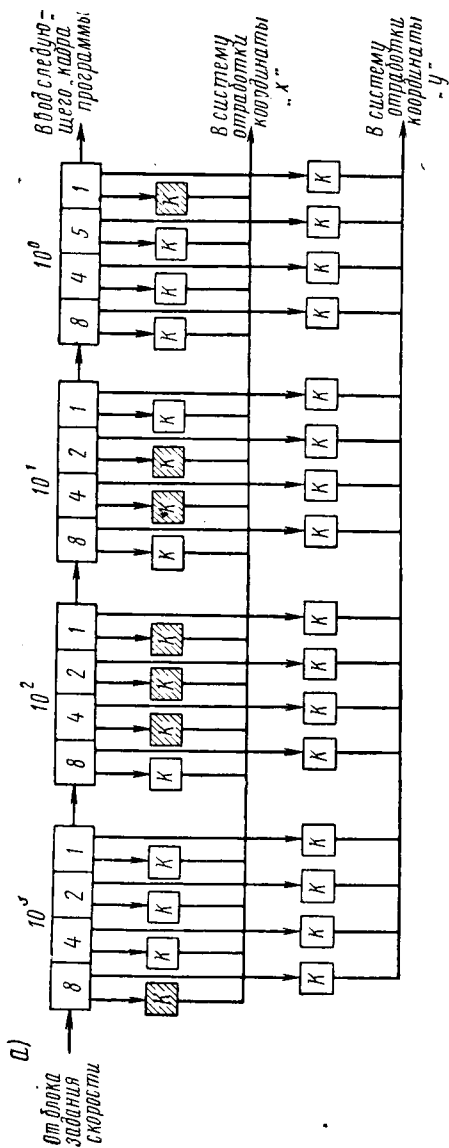


Рис. 13.7. Блок задания перемещений:

а — структурная схема; б — распределение импульсов на выходах делителя

полнения. При этом на основном выходе формируется импульс, который поступает на вход следующего десятичного разряда, если делитель выполнен многоразрядным.

Распределение импульсов показано на рис. 13.7, б. Импульс переполнения последнего разряда дает команду о переполнении всего делителя. Делитель обычно состоит из нескольких разрядов. Число разрядов l определяет то наибольшее перемещение по координатам, которое может быть задано на одном линейном участке интерполяции $\Delta_{\max} < (p^l - 1) \delta$; p — основание построения делителя (например, при двоично-десятичном коде $p = 10$); δ — перемещение исполнительного органа станка на один командный импульс.

Выходы делителя через клапаны K подключены к общим шинам. Клапан представляет собой электронное устройство с релейной характеристикой (например, триггер), имеющее два устойчивых состояния, соответствующих «открытому» (проводящему) и «закрытому» (непроводящему) положению цепи, в которую включен клапан. При открытых клапанах импульсы с выходов делителя поступают на общие шины и с них в системы обработки соответствующих координат. Клапаны K выполняют функции запоминающего устройства, в которое вносится информация, прочитываемая вводным устройством с перфоленты. Если число, соответствующее какому-то выходу делителя, участвует в задании перемещения по координате, то клапан K , включенный между этим выходом делителя и шиной координаты, будет открыт.

Например, при задании в перфоленте перемещения по координате x , $\Delta x = 8761$ (рис. 13.2) открытыми будут клапаны K , заштрихованные на рис. 13.7, а. При этом за одно заполнение делителя на шину, управляющую перемещением по оси x , поступит $\Delta x = 8761$ импульс.

Перфолента прочитывается построчно с помощью вводного устройства, при этом клапаны K по командам от вводного устройства устанавливаются в состояние «открыт» или «закрыт» в зависимости от того, задано ли соответствующее ему числовое значение по данной координате на прочитанном участке перфоленты или нет. Выходы клапанов по соответствующим координатам объединены. Благодаря этому на выходах интерполятора по координатам за одно заполнение импульсного делителя появляются количества командных импульсов, соответствующие числовой информации, заданной на перфоленте на данном участке обработки. Эти импульсы направляются в устройства управления приводом УУП и отрабатываются ими. Одновременно происходит запись командных импульсов на магнитную ленту и ее контроль с помощью пульта записи и контроля (ПЗК). Импульс переполнения основного делителя несет информацию о том, что данный участок обработки — данный «кадр» программы — отработан и подает команду на ввод в запоминающее устройство, состоящее из клапанов K , информации о новом участке интерполяции. При этом отработанная информация, оставшаяся в запоминающем устройстве, гасится (все клапа-

ны K закрываются) и вводится новая в соответствии с заданием на новом участке перфоленты. Быстродействие вводного устройства сравнительно невелико (оно составляет около 20 «кадров» в секунду). Поэтому в контурных системах для обеспечения непрерывной выдачи информации интерполятором приходится иметь два идентичных запоминающих устройства, составленных из клапанов. В то время, когда ведется обработка информации одним из запоминающих устройств, во второе устройство вводится информация о новом участке обработки. После отработки одного «кадра» быстродействующий электронный коммутатор переключается на второе запоминающее устройство и начинается обработка нового участка интерполяции.

Блок задания скорости (БЗС). В зависимости от чисел, например Δx и Δy , занесенных от программы в промежуточные запоминающие устройства по координатным осям ПЗУ « x » и ПЗУ « y », при постоянной частоте импульсов на входе делителя БЗП будет меняться частота следования командных импульсов по координатным осям f_x и f_y , а следовательно, и величины скоростей подач (v_x и v_y). Для поддержания требуемой скорости подачи при любых величинах перемещений по координатным осям необходимо так изменять частоту импульсов f_v , которые поступают на вход делителя БЗП, чтобы частоты следования командных импульсов по координатным осям f_x и f_y соответствовали заданным значениям. Эта задача и решается блоком задания скорости.

Частота f_v , с которой заполняется делитель блока задания перемещения, может быть выражена через одно из перемещений Δx и требуемую частоту f_x следования командных импульсов по этой координате:

$$f_v = \frac{N f_x}{\Delta x}, \quad (13.1)$$

где N — объем делителя блока задания перемещения;

$$f_x = \frac{v_x}{60 \delta_x},$$

v_x — скорость по оси x , мм/мин; δ_x — перемещение на импульс по оси x , мм, или через результирующую скорость вдоль контура v_k

$$f_x = \frac{v_k}{60 \delta_x \cos \alpha}, \quad (13.2)$$

где α — угол, образуемый заданной траекторией перемещения инструмента с осью x .

Тогда

$$f_v = \frac{N v_k}{60 \delta_x \cos \alpha \Delta x}. \quad (13.3)$$

Таким образом блок задания скорости преобразует постоянную частоту генератора f_{Γ} на входе в требуемую величину f_v на выходе в зависимости от v_k , Δx и $\cos \alpha$.

Конструктивно блок задания скорости выполняется по схеме, аналогичной блоку задания перемещения.

Существуют и другие, более сложные, схемы интерполяторов, которые не только преобразовывают информацию из кодированного вида в декодированный, но и решают ряд дополнительных задач, например автоматически по заданным контурам детали и радиусу инструмента рассчитывают эквидистанту (траекторию движения центра инструмента), автоматически определяют необходимость замедления с целью повышения динамической точности обработки и др.

§13.3 СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Системы управления положением применяются при автоматизации сверлильных, расточных и других работ, где имеет значение только конечное расположение детали и инструмента, а траектория движения при отработке программы может выбираться произвольно с учетом производительности и простоты системы управления.

По решаемым задачам и своему выполнению системы управления положением проще, чем непрерывные системы управления.

Обычно в позиционных системах управление осуществляется от программы, заданной в кодированном виде на перфорированной ленте, карте и т. п. носителях. Блок-схема позиционной системы управления представлена на рис. 13.8.

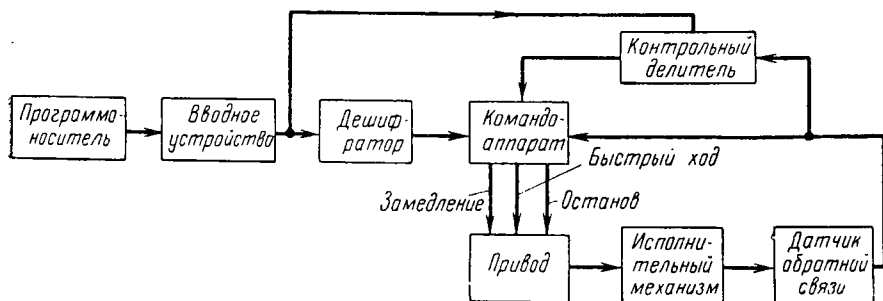


Рис. 13.8. Блок-схема позиционной системы управления

Информация, записанная на программноносителе, прочитывается вводным устройством, расшифровывается и вводится в запоминающее устройство командоаппарата, после чего подается команда на отработку заданного перемещения. При совпадении информа-

ции, приходящей от датчика обратной связи, с информацией, введенной от программы, автоматически осуществляется снижение скорости и останов привода исполнительного механизма станка.

Вид датчика перемещения и вид информации, приходящей от программы, определяют вид используемого в системе командоаппарата. Так, в случае использования импульсного датчика и введении информации от дешифратора в виде последовательности командных импульсов, командоаппарат представляет собой электронное устройство, подающее команду на останов привода, когда от датчика перемещения поступит количество импульсов, соответствующее заданному перемещению.

Примером электронного устройства, выполняющего функции командоаппарата, может служить реверсивный счетчик. Это устройство, имеющее два входа и один выход. Счетчик алгебраически суммирует импульсы, приходящие на его входы, причем если на первый вход поступают «положительные» импульсы, то на другой вход — «отрицательные». Результат алгебраического сложения запоминается счетчиком. На выходе счетчика формируется напряжение, величина которого пропорциональна результату сложения — числу, оставшемуся в счетчике, а знак определяется тем, на какой из входов поступило большее количество импульсов.

Работа системы в случае реализации командоаппарата в виде реверсивного счетчика и использовании импульсного датчика происходит следующим образом (для простоты рассматривается работа системы по одной координатной оси). Информация о переходе с одной позиции на другую, заданная на перфоленте, прочитывается вводным устройством и с помощью дешифратора, в качестве которого используется линейный интерpolator, преобразуется в последовательность командных импульсов. Основное принципиальное отличие интерполаторов, используемых в позиционных и контурных системах, заключается в том, что для позиционных систем достаточно иметь одно запоминающее устройство, так как вводить информацию о новом переходе можно в то время, когда осуществляется рабочий ход (например, опускание инструмента для растачивания отверстия), так как хранить информацию выполненного перехода нет необходимости.

Импульсы с выхода интерполатора поступают на один из входов реверсивного счетчика в зависимости от требуемого направления перемещения исполнительного органа станка. Сформированное на выходе реверсивного счетчика напряжение соответствующего знака подается на управление приводом подачи и начинается перемещение на заданную позицию. При этом импульсы от датчика перемещения поступают на другой вход реверсивного счетчика, уменьшая число, записанное от программы.

При подходе к заданной позиции скорость перемещения исполнительного органа автоматически снижается (уменьшается напряжение на выходе реверсивного счетчика). Когда реверсивный счетчик вернется в исходное нулевое состояние (число импульсов, при-

шедшее от датчика и программы станет равным), перемещение прекратится.

В связи с тем, что перемещение исполнительного механизма и обработка изделия разнесены во времени, в позиционных системах имеется возможность контролировать правильность отработки заданной программы до начала обработки и разрешать ее только при отсутствии ошибок.

В позиционных системах ЧПУ обеспечивается контроль не только правильности работы устройства ввода программы, но и системы ее реализации, благодаря чему исключается брак при отказах системы. Контроль в этом случае осуществляется следующим образом. Импульсы от датчика перемещения во время отработки программы подаются одновременно на командоаппарат и контрольный делитель. Одновременно с прочитыванием программы в контрольный делитель вводится число, задаваемое программистом и определяемое как наименьшее дополнение к величине перемещения, выраженной в числе импульсов, до числа, кратного контрольному модулю. После окончания каждого перехода исполнительного механизма на новую позицию контрольный делитель должен возвращаться в исходное нулевое состояние. При таком контроле выявляются ошибки не только в системе управления, но и ошибки, допущенные программистом при подготовке программы.

Структура схемы в принципе не меняется при использовании датчиков другого типа (кодированных, фазовых, контактных и др.). Упомянутыми системами оснащаются станки, в которых позиционирование осуществляется с точностью до 0,1 мм.

Точные станки, какими являются, например, координатно-расточные станки, оснащаются обычно двухотсчетными системами управления. Причем возможно применение системы управления, осуществляющей грубый отсчет перемещения для введения исполнительного механизма в зону точного отсчета; после этого осуществляется доводочное перемещение с точным отсчетом до положения, заданного программой.

Прямоугольные системы должны обеспечивать перемещения исполнительного механизма вдоль одной из осей координат станка на заданную величину. Поэтому на станках, оснащенных этими системами, обрабатываются детали, стороны которых параллельны осям координат станка, причем количество переходов, расположенных на разных уровнях, может достигать нескольких десятков. Принципиально прямоугольные системы могут быть реализованы как с помощью систем непрерывных, так и систем позиционирования. Вместе с тем эти системы принципиально отличаются от позиционных специфическими технологическими особенностями, основными из которых являются следующие:

- 1) подход к заданному размеру должен осуществляться без перебега;

- 2) в позиционных системах при установке датчика перемещения на ходовом винте можно с целью исключения влияния зазора

в паре «винт — гайка» на точность позиционирования обеспечить подход к любой заданной позиции с одной стороны; в прямоугольных системах обработка деталей осуществляется при движении исполнительных органов станка в обоих направлениях. Поэтому для обеспечения точности обработки необходимо с помощью датчика перемещения контролировать непосредственно перемещение исполнительного органа станка;

3) система должна обеспечивать быстрый переход с координаты на координату с минимальным временем простоя;

4) так как отработка программы и обработка детали совмещены во времени, должен быть обеспечен непрерывный и эффективный контроль всех узлов системы управления. Принцип построения такого контроля рассмотрен на примере шаговой системы управления (см. рис. 13.13).

Контурные системы управления применяются при автоматизации приводов подач фрезерных, токарных и других станков, в которых осуществляется управление перемещениями инструмента относительно заготовки по весьма сложным, чаще всего криволинейным траекториям. Причем во время этого перемещения происходит формообразование детали.

Контурные системы управления универсальны и могут быть использованы для случая управления положением и для автоматизации станков, где обработка ведется по прямым, параллельным осям перемещения.

§ 13.4. ПОЗИЦИОННАЯ АНАЛОГОВАЯ СИСТЕМА ЧИСЛОВОГО УПРАВЛЕНИЯ КООРДИНАТНО-РАСТОЧНЫМ СТАНКОМ ФИРМЫ SIP

В качестве позиционных систем числового управления, используемых для автоматизации прецизионных координатно-расточных станков, принимаются, как правило, так называемые двухотсчетные системы, состоящие из системы грубого и системы точного отсчетов перемещений.

Характерным примером является система ЧПУ координатно-расточного станка фирмы SIP (рис. 13.9), блок-схема которой представлена на рис. 13.10.

Система грубого отсчета состоит из двух сельсинов C_3 и C_4 , используемых в режиме фазовращателя, связанных с перемещением исполнительного органа станка (стола или шпиндельной бабки) с помощью редуктора. Передаточные отношения редуктора выбраны таким образом, что при максимальной величине перемещения сельсин C_3 совершает половину оборота, а второй сельсин C_4 — десять оборотов. С помощью системы грубого отсчета обеспечивается установка стола (или бабки) на заданную позицию с точностью до 0,5 мм.

Система точного отсчета состоит из трех основных узлов:

- 1) стальной линейки с нанесенными на ней миллиметровыми де-

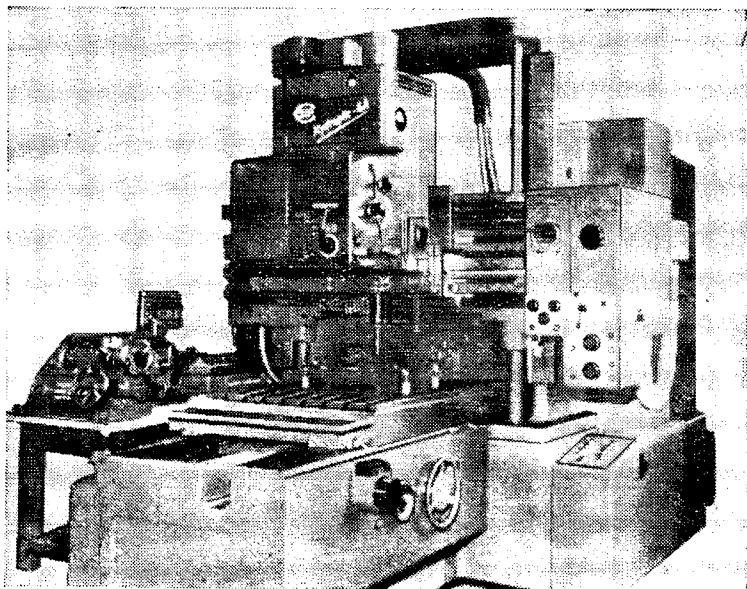


Рис. 13.9. Общий вид координатно-расточного станка фирмы SIP «Hydroptic-6A» с числовым управлением

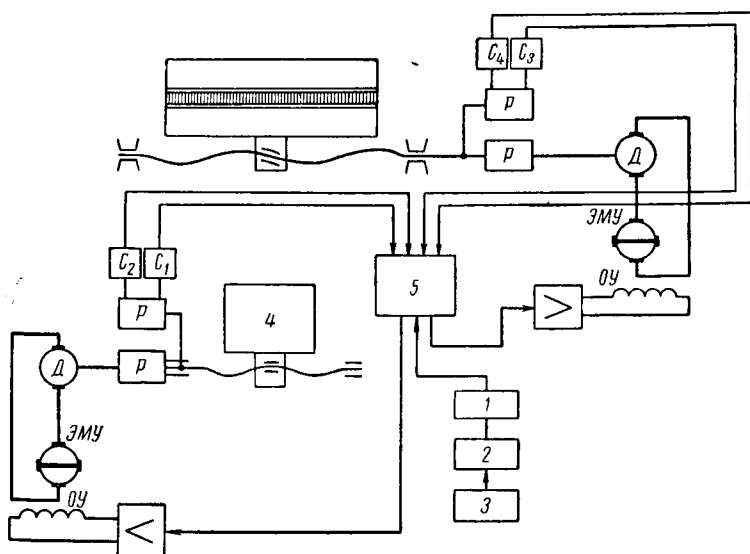


Рис. 13.10. Блок-схема системы числового управления фирмы SIP:
1 — преобразователь «число — фаза»; 2 — устройство чтения программы;
3 — программа; 4 — фотоэлектрический микроскоп; 5 — электронный коммутатор

лениями (штрихами), жестко связанной с подвижным узлом станка (столом или шпиндельной бабкой); 2) оптического устройства, передающего изображение штриха масштаба на экран и 3) лимба, имеющего деления ценой 0,01 мм с нониусом, позволяющим отсчитывать микроны; лимб связан с расположенным на экране биштрихом.

Информация, нанесенная на перфоленту, считывается устройством чтения программы и преобразуется в аналоговую форму — фазу последовательности импульсов.

Автоматическая установка стола станка в заданное программой положение производится следующим образом. Информация о дробных частях миллиметра (десятых, сотых и тысячных), преобразованная в соответствующую фазу последовательности импульсов, сравнивается с фазой сигналов с сельсинов C_1 и C_2 системы точной установки. Разность фаз подается через усилитель и ЭМУ на двигатель D , который через редуктор P перемещает каретку фотоэлектрического микроскопа 4 до тех пор, пока биштрих не сместится на заданную программой величину относительно нулевого положения. При этом разность фаз программы и сельсинов-датчиков положения C_1 и C_2 станет равной нулю. После этого начинается перемещение стола — фаза сигналов, соответствующая информации о целых долях миллиметра, сравнивается последовательно с фазой сигналов сельсинов C_3 и C_4 ; разность фаз осуществляет управление приводом подачи стола. Двигатель перемещает стол до тех пор, пока рассогласование по фазе между заданным программой положением и сигналом сельсина C_4 не станет менее 0,5 мм. После этого электронный коммутатор 5 переключает двигатель подачи стола на управление от фотоэлектрического микроскопа.

Скорость стола дважды снижается (v_1 и v_2) и на конечном участке непрерывно уменьшается почти до нуля (рис. 13.11). При совпадении проекции штриха шкалы с оптической осью системы сигнал рассогласования становится равным нулю, при этом включается тормоз в редукторе привода стола. Одновременно происходит и зажатие самого стола.

Система благодаря медленному подходу к конечному положению и высокой точности фотоэлектрического микроскопа обеспечивает по данным фирмы точность автоматической остановки стола и шпиндельной бабки 0,001 мм.

Схема фотоэлектрического микроскопа фирмы SIP приведена на рис. 13.12. Лучи света от источника через оптическую систему 1 падают на зеркальную поверхность 2 стальной линейки 3, на которой нанесены с высокой точностью штрихи через 1 мм. Изображение штриха попадает на призму 4 и проходит через осциллирующую (колеблющуюся) с постоянной амплитудой и частотой сети плоско-параллельную пластину 5. При этом изображение штриха перемещается относительно сетки 6. Переходы проекции штриха через прозрачные вертикальные полосы сетки вызывают изменения

освещенности фотоэлемента $\Phi Э$, трансформируемые в импульсы напряжения.

Полосы сетки расположены строго симметрично относительно оптической оси системы. Благодаря этому при совмещении проекции штриха с оптической осью количество светлых и темных

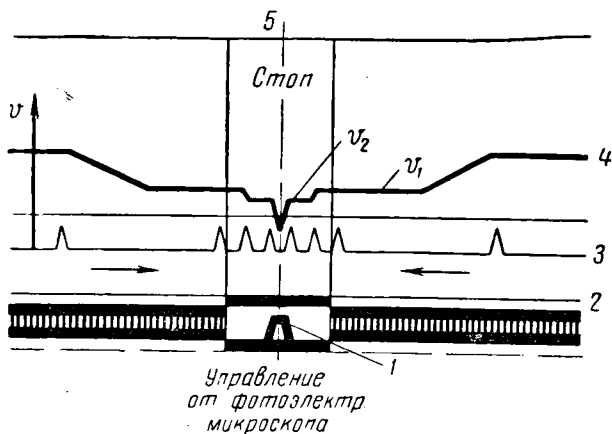


Рис. 13.11. Управление скоростью исполнительного органа станка от фотоэлектрического микроскопа: 1 — проекция штриха; 2 — шкала; 3 — команды управления скоростью; 4 — скорость стола; 5 — оптическая ось

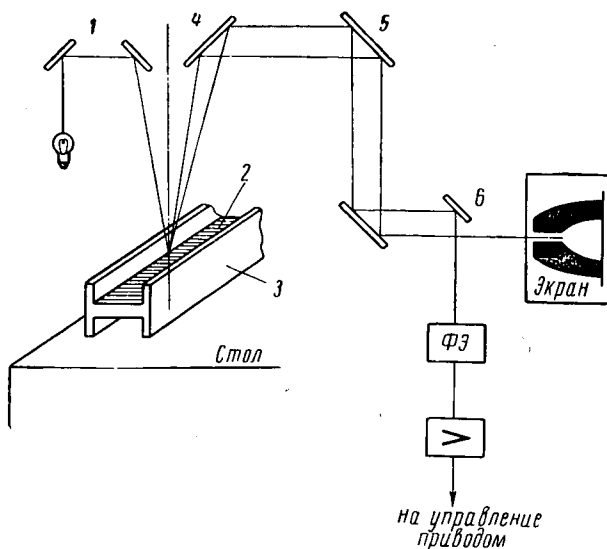


Рис. 13.12. Схема фотоэлектрического микроскопа

полос, пробегаемых проекцией штриха шкалы при отклонении осциллирующей пластины в одну и другую сторону от среднего положения, одинаково. При отклонении проекции штриха от оптической оси изменяется количество полос, пробегаемых проекцией штриха за каждую половину цикла колебания.

Импульсы, поступающие с фотоэлемента, управляют включением двух тиратронов, причем переключение с одного тиратрона на другой производится в среднем положении осциллирующей пластины. Тиратроны подключаются к конденсатору таким образом, что конечная зарядка конденсатора определяется разностью числа импульсов, подаваемых на тиратроны, за каждую половину цикла колебания. При совпадении штриха шкалы с оптической осью системы общая зарядка конденсатора равна нулю. В случае смещения проекции штриха от оптической оси один тиратрон получает большее число импульсов по сравнению с другим, и время подключения к конденсатору напряжения одной полярности становится большим в каждом полном колебании пластины, чем другой полярности. Благодаря этому на конденсаторе будет возрастать заряд определенного знака, причем скорость возрастания заряда будет пропорциональна величине смещения проекции штриха.

Конденсатор подключен на миллиамперметр, который градуируется в единицах длины и показывает величину и знак смещения проекции штриха шкалы относительно ее среднего положения. Фотоэлектрический микроскоп такого типа позволяет получить увеличение до 500 000 раз и зафиксировать положение штриха мерной шкалы с точностью до 0,01 *мм*.

§ 13.5. СИСТЕМА ЧИСЛОВОГО УПРАВЛЕНИЯ С ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Широкое применение в настоящее время находит шаговая система числового управления с вводом программы на магнитной ленте (пульт разомкнутой системы типа *ПРС*). Ею оснащен, например, серийно выпускаемый Горьковским ЗФС фрезерный станок модели 6Н13ГЭ₂.

Программа в системе задается в импульсном виде по двум дорожкам магнитной ленты на координату, соответствующим различным направлениям перемещения исполнительного органа станка по каждой оси. Каждый импульс программы несет информацию о единичном перемещении, равном 0,025 *мм*. Информация, записанная на магнитной ленте, прочитывается магнитной головкой при протягивании ленты в вводное устройство. Наведенные на выходах головки импульсы э. д. с. после соответствующего усиления поступают на вход электронного кольцевого счетчика (коммутатора) с потенциальными выходами, назначение которого состоит в распределении импульсов по фазам шагового двигателя. Выходы коммутатора через электронные усилители мощности подключены к шаговому двигателю. Таким образом, командные импульсы пре-

образуются в угол поворота шагового двигателя. Вал шагового двигателя соединен с входным валом гидроусилителя моментов, выходной вал которого приводит во вращение ходовой винт станка.

Сравнительная простота системы, высокие динамические характеристики шагового сервопривода совместно с гидроусилителем момента создают благоприятные условия для использования шаговых систем.

Как видно из табл. 13.1, шаговые двигатели имеют ограниченный крутящий момент. Поэтому для осуществления перемещения исполнительных механизмов станков необходимо усиливать момент шагового двигателя до требуемых значений. Наибольшее распространение получил гидравлический усилитель моментов конструкции ЭНИМС, состоящий из аксиально-плунжерного гидродвигателя типа МГ-15 и следящего золотника.

Таблица 13.1

Наименование параметра	ШД-4	ШД-5
Габариты, мм	100×160	60×60
Шаг, град	1,5	1,5
Приемистость, гц	800	1500
Максимальная частота, гц	2000	5000
при моменте, н·см	20	8
Напряжение питания, в	24	24
Ток в фазе, а	2×1,25	2×1,25

Разрешающая способность современных шаговых двигателей достигает 16 000 гц. Это позволяет повысить производительность станков и упростить их конструкцию, осуществляя рабочие и быстрые перемещения от одних и тех же шаговых двигателей. Кроме того, работа в пределах приемистости шаговых двигателей в значительной степени упрощает программирование за счет исключения из расчетов разгонов и замедлений.

При столь высокой разрешающей способности управление шаговыми двигателями может осуществляться только от электронных схем управления. Наиболее подходящими электронными элементами оказываются полупроводниковые триоды и тиристоры, которые хорошо согласуются с низкоомными обмотками управления шаговых двигателей.

На рис. 13.13 приведена простая схема контроля шаговой системы числового управления, охватывающая весь электронный узел, включая коммутатор — распределитель импульсов — и выходные силовые триоды управления шаговым двигателем. Исчезновение хотя бы одного из командных импульсов в системе вызовет немедленный останов станка и не приведет к браку в обработке детали.

Принцип контроля основан на следующем. Импульсы, считанные с магнитной ленты, поступают в систему числового управле-

ния через логическую схему «НЕ», управляемую триггером контроля $ТК$, и одновременно на вход 1 триггера $ТК$. После прихода каждого командного импульса от программы триггер занимает состояние, при котором дальнейшее прохождение импульсов в систему становится невозможным до прихода контрольного сигнала через схему «ИЛИ» по каналу 2. Контрольный сигнал образуется

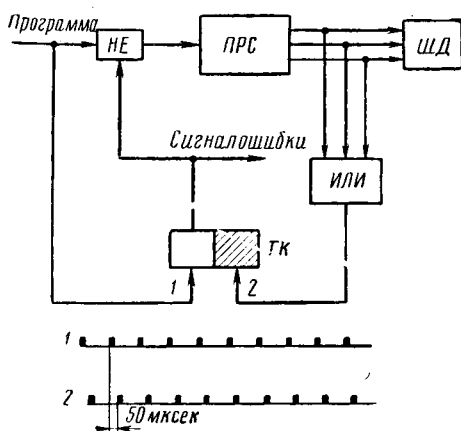


Рис. 13.13. Схема контроля шаговой системы

в результате переключения силовых триодов на выходе пульта $ПРС$, управляющих шаговым двигателем, с задержкой во времени, равной примерно 50 мксек (время от подачи командного сигнала до переключения силовых триодов управления). Если после прихода командного импульса переключения силовых триодов не произошло, а триггер $ТК$ остался в состоянии, при котором дальнейшее прохождение командных импульсов через схему «НЕ» невозможно, включается система защиты, автоматически прекра-

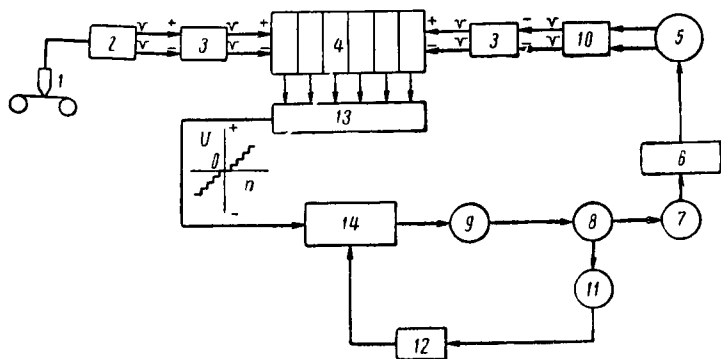
щающая дальнейшую обработку программы. Вся система контроля одной координаты выполнена всего на шести полупроводниковых триодах.

Наряду с такими достоинствами, как простота системы, надежность в работе, простота отладки, шаговые приводы управления обладают рядом недостатков. Одним из существенных недостатков является необходимость в высокой точности изготовления кинематических звеньев приводов подачи. Действительно, так как шаговая система обеспечивает лишь поворот выходного вала гидроусилителя момента и жестко связанного с ним ходового винта на определенный угол, то неточность винта, а также наличие зазоров в паре «винт — гайка» приводит к ошибке в преобразовании углового перемещения винта в поступательное движение исполнительного органа станка, а следовательно, к неточности в изготовлении детали. Поэтому шаговая система нашла применение, в основном, для автоматизации станков небольшого размера (с наибольшим перемещением исполнительных органов до 1 м), в которых можно обеспечить высокие точности изготовления передач, а также принять специальные меры для исключения зазоров в паре «винт — гайка», например путем применения шариковых рециркуляционных винтовых пар.

Применение шаговой системы для автоматизации тяжелых фрезерных станков с большими величинами перемещений по координатам

Далее рассматриваются некоторые из таких систем числового управления, нашедшие наибольшее применение.

На рис. 13.14 приведена блок-схема импульсной следящей системы управления. Программа задается на магнитной ленте, как и в шаговой системе. Сигналы с магнитной головки 1 считывания



усиливаются, формируются усилителями считывания 2 и поступают (в зависимости от заданного направления) на один из двух входов реверсивного счетчика 4. Одновременно на другой вход счетчика поступают импульсы от импульсного датчика обратной связи 5, жестко связанного с исполнительным органом 6 и формирующего импульс при каждом элементарном перемещении последнего. При этом число, записанное на счетчике в каждый момент времени, определяет величину мгновенного рассогласования между заданным в программе и действительным положением исполнительного органа.

14* 411

Возможность прихода импульсов от программы и по каналу обратной связи с интервалом времени, меньшим разрешающей способности реверсивного счетчика, исключается схемами синхронизации 3, через которые проходят импульсы программы и датчика до поступления на вход реверсивного счетчика.

Импульсы от датчика поступают на дискриминатор направления 10 и выдаются на блоки синхронизации по одному из двух выходов в зависимости от направления перемещения исполнительного органа. В качестве привода перемещения исполнительного органа может применяться электрический привод от двигателя постоянного тока 8, сообщающего движение исполнительному органу через редуктор 7. Если управление двигателем осуществляется от электромашиного усилителя 9, как это реализовано во фрезерном станке модели 6441ПР, то управляющие обмотки ЭМУ подключаются к выходу промежуточного электронного усилителя постоянного тока 14. С целью получения требуемого качества переходных процессов системы привода подач предусмотрены корректирующие связи 12, а также жесткая отрицательная связь по скорости с использованием тахогенератора 11.

Как уже упоминалось, для получения высоких динамических параметров привода подач должна быть использована система тиристорный преобразователь — двигатель постоянного тока с гладким якорем.

В двухкоординатном фрезерном станке модели 6М42ПР рассмотренная схема числового управления реализована с гидравлическим приводом подач. В качестве гидродвигателя используется гидроцилиндр, управляемый от электродинамического золотника.

Слабым местом импульсной следящей системы является дешифратор совместно с выходными усилителями постоянного тока ввиду зависимости их параметров от различных внешних факторов.

Импульсно-фазовая система исключает недостатки импульсной следящей системы. В ней реверсивный счетчик, дешифратор и усилитель постоянного тока заменяются двумя делителями, работающими при практически постоянной частоте, триггером с отдельными входами и усилителем переменного тока, работающим в переключающем режиме.

§ 13.7. ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

На рис. 13.15 приведена блок-схема импульсно-фазовой системы управления для одной координатной оси станка, а на рис. 13.16 — диаграмма импульсов программы. Реверсивный счетчик и дешифратор заменяются в этой системе фазовым преобразователем, функции которого выполняют два импульсных делителя 2 одинакового объема и триггер 3 с отдельными входами. За счет начальной установки (команда «сброс» системы после подключения ее к сети) один из делителей устанавливается в нулевое со-

стоянии; состояние другого соответствует заполнению его наполовину. После этого тактирующие импульсы f_r генератора с высокой частотой ($f_r \gg f_{пр. макс}$) поступают по каналу Q через блок синхронизации 1 на входы C и D делителей 2. На выходах делителей 2 в каналах E и F формируются импульсы одинаковой частоты, но сдвинутые благодаря различному начальному состоянию делителей на половину периода (на 180 электр. градусов). Эти импульсы

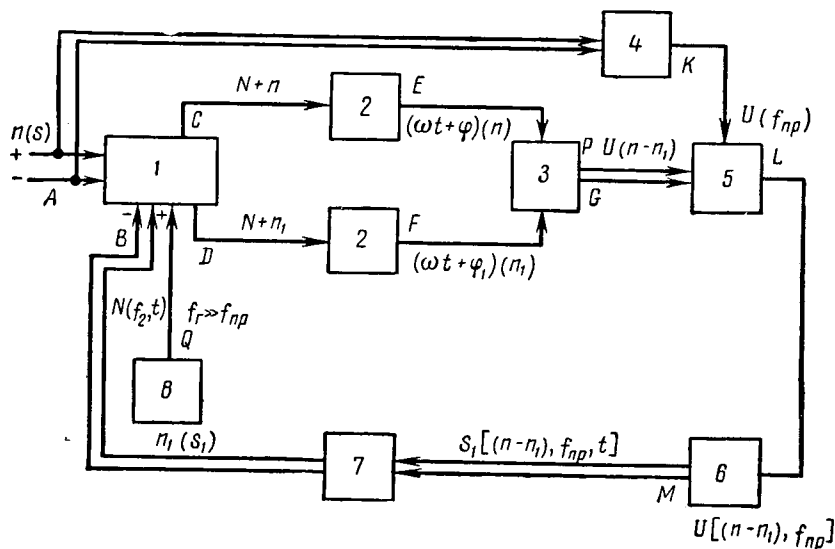


Рис. 13.15. Блок-схема импульсно-фазовой системы

поступают на два входа триггера 3 (элемента с двумя устойчивыми состояниями, в одном из которых на одном его выходе потенциал равен нулю, на другом — отрицательному напряжению питания; при изменении состояния триггера потенциалы на выходах также меняются местами). На выходах P и G триггера формируется напряжение прямоугольной формы со скважностью (отношение периода частоты к длительности импульса), равной двум. При использовании в качестве привода подач в станке гидروпривода с электроуправлением сигналы триггера после усилителей, работающих в переключающем режиме, в неискаженном виде поступают в катушки электродинамического игольчатого клапана 5. Катушки включены по дифференциальной схеме. Частота переключения триггера выбирается больше разрешающей способности клапана, поэтому клапан реагирует на величину среднего значения тока, протекающего через катушки клапана.

При отсутствии импульсов от программы и датчика скважность импульсов, управляющих приводом, равна двум (зона I—II на

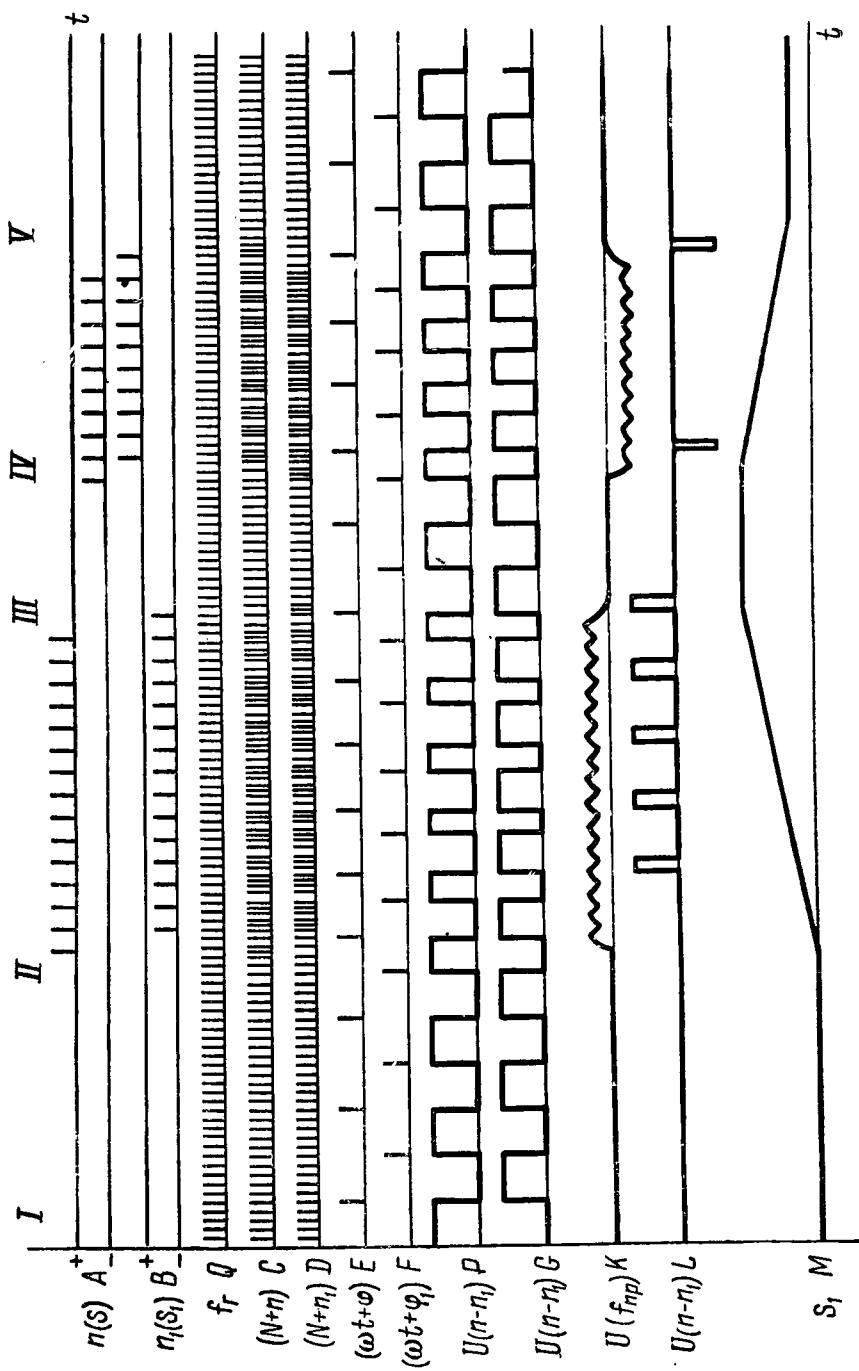


Рис. 13.16. Диаграмма импульсов в системе по рис. 13.15

рис. 13.16) и среднее значение тока в катушках золотника равно нулю.

При поступлении командных импульсов $n(s)$ (зона II—III на рис. 13.16) программы на вход схемы синхронизации по одному из каналов A в зависимости от заданного направления перемещения (например, «+») на одном из ее выходов (выходе C при задании импульсов по каналу «+») импульсы $n(s)$ складываются с тактирующими импульсами N . В результате этого для заполнения делителя 2 потребуется меньше тактирующих импульсов на число импульсов $n(s)$, пришедших от программы, т. е. фаза импульсов на выходе E делителя 2 изменится на величину $\Delta\phi$ относительно импульсов канала F . При этом скважность импульсов на выходе триггера станет отличной от двух, и на катушках игольчатого клапана появится среднее значение тока, пропорциональное числу пришедших от программы импульсов. Под действием этого тока происходит перемещение якоря игольчатого клапана. Масло начинает поступать в гидроцилиндр и вызывает перемещение поршня гидроцилиндра и жестко связанного с ним исполнительного органа 6 станка.

Импульсный датчик 7 (датчик обратной связи), контролирующий перемещение исполнительного органа станка, вырабатывает импульсы, количество которых n_1 пропорционально фактическому пути s_1 исполнительного органа станка. Эти импульсы по каналу B через схему синхронизации добавляются к тактирующим импульсам N генератора в канале D , благодаря чему фазовый сдвиг импульсов в каналах E и F на выходе делителей 2 уменьшается, а следовательно, снижается среднее значение тока на катушках игольчатого клапана. После прекращения командных импульсов программы и отработки приводом всего заданного перемещения (что произойдет, когда количество импульсов, пришедших от датчика, станет равным количеству импульсов программы) восстановится первоначальный фазовый сдвиг импульсов в каналах E и F , равный половине периода, и среднее значение тока, подаваемое на управление приводом, станет равным нулю. Перемещение механизма подачи прекратится (зона III—IV на рис. 13.16).

Для компенсации скоростного рассогласования при установившейся скорости перемещения исполнительного органа станка в устройство управления приводом вводится дополнительное напряжение, пропорциональное частоте импульсов программы, формируемое блоком задания скорости 4.

Блок синхронизации 1, как и в импульсно-следящей системе, предназначен для исключения возможности прихода тактирующих импульсов, программы и датчика обратной связи с интервалом времени, меньшим разрешающей способности импульсных делителей 2.

Хотя при перемещении исполнительного механизма с установившейся скоростью импульсы программы и датчика поступают на входы разных делителей, возможны случаи, когда на вход одного

делителя поступают командные сигналы, сигналы программы и датчика перемещения. Так, например, с изменением заданного в программе направления перемещения исполнительного механизма, когда командные импульсы программы поступают уже в другой делитель, импульсы датчика перемещения направляются в тот же делитель из-за продолжающегося в течение некоторого времени движения исполнительного механизма по инерции.

Генератор выполняется трехтактным — импульсы тактов *I*, *II* и *III* сдвинуты относительно друг друга на $1/3$ периода частоты генератора. Схема синхронизации выполняется из четырех одинаковых блоков синхронизации, два из которых осуществляют синхронизацию импульсов программы с тактом *I* генератора (импульсы программы на выходе блока могут приходить только одновременно с импульсами такта *I* генератора), следующих по двум каналам в зависимости от заданного направления перемещения, а два другие — импульсов датчика перемещения (с тактом *II*). Тактирующие импульсы генератора (с тактом *III*) поступают в делители для получения непрерывной информации о состоянии фазового преобразователя триггера 3 на рис. 13.15.

Рассмотрим работу одного из блоков синхронизации (на рис. 13.17, *а* представлена функциональная схема, на рис. 13.17, *б* —

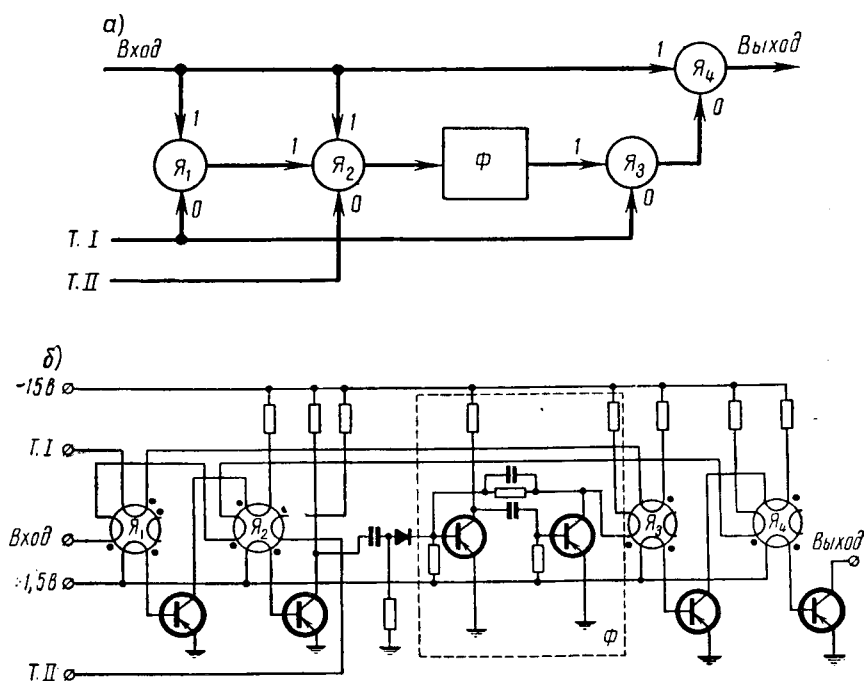


Рис. 13.17. Блок синхронизации:
а — функциональная схема; б — принципиальная схема

принципиальная). Количество импульсов на выходе блока должно быть равно количеству пришедших на вход импульсов, а появление их на выходе должно совпадать по времени с одним из импульсов такта I генератора.

В качестве примера рассмотрим построение схемы на феррит-транзисторных ячейках. Синхронизируемый сигнал перемагничивает в состояние «1» одновременно три феррита — входные $Я_1$ и $Я_2$ и выходной $Я_4$. Перемагничивание входных ферритов в состояние «0» осуществляется двумя тактами генератора I и II , смещенных во времени на половину периода его частоты, благодаря чему обеспечивается запись «1» по крайней мере в одном из входных ферритов. Таким образом, одновибратор Φ (кипп-реле) запустится надежно по крайней мере один раз при перемагничивании феррита $Я_2$ в состояние «0» тактом II . При этом в формирующем кольце $Я_3$ запишется «1». Появившийся на его выходе сигнал при перемагничивании феррита в состоянии «0» тактом I запишет «0» в выходной феррит, и в выходную цепь блока поступит импульс, синхронизированный (совпадающий во времени) с тактом I генератора. Выдача одного сигнала на выход схемы при двукратном запуске одновибратора обеспечивается записью «1» в выходной феррит: второй сигнал с феррита $Я_3$ подтвердит нулевое состояние выходного феррита. Этим же обеспечивается невозможность выдачи ложного импульса при самопроизвольном запуске одновибратора.

Фазовый дискриминатор направления (рис. 13.18) предназначен для формирования импульсов от датчика перемещения и распределения их по двум каналам в зависимости от направления перемещения исполнительного органа станка. Две последовательности периодически изменяющихся сигналов от датчика перемещения, сдвинутые относительно друг друга на 90° , поступают на *Вход 1* и *Вход 2* схемы. Здесь они усиливаются (триоды $П_1$ и $П_{11}$) и преобразуются в сигналы прямоугольной формы с помощью двух формирователей — триггеров Шмидта, выполненных на триодах $П_2$, $П_3$ и $П_{12}$, $П_{13}$.

Сигналы, сдвинутые на 180° относительно сформированных, получают с помощью фазоинверторов, выполненных на триодах $П_4$ и $П_{14}$. Схемы распределения составлены на триодах $П_5 \div П_8$ и $П_{15} \div П_{18}$, формирующих импульсы при совпадении отрицательного импульса на базе и положительного потенциала на эмиттере.

В зависимости от направления перемещения исполнительного механизма сформированные сигналы направляются на один из двух выходов схемы в соответствии с диаграммой прохождения импульсов, приведенной на рис. 13.19.

Фазовый преобразователь предназначен для преобразования фазового сдвига между сериями импульсов на выходах двух делителей в напряжение постоянного тока. Преобразование осуществляется с помощью триггера (рис. 13.20), поочередно при-

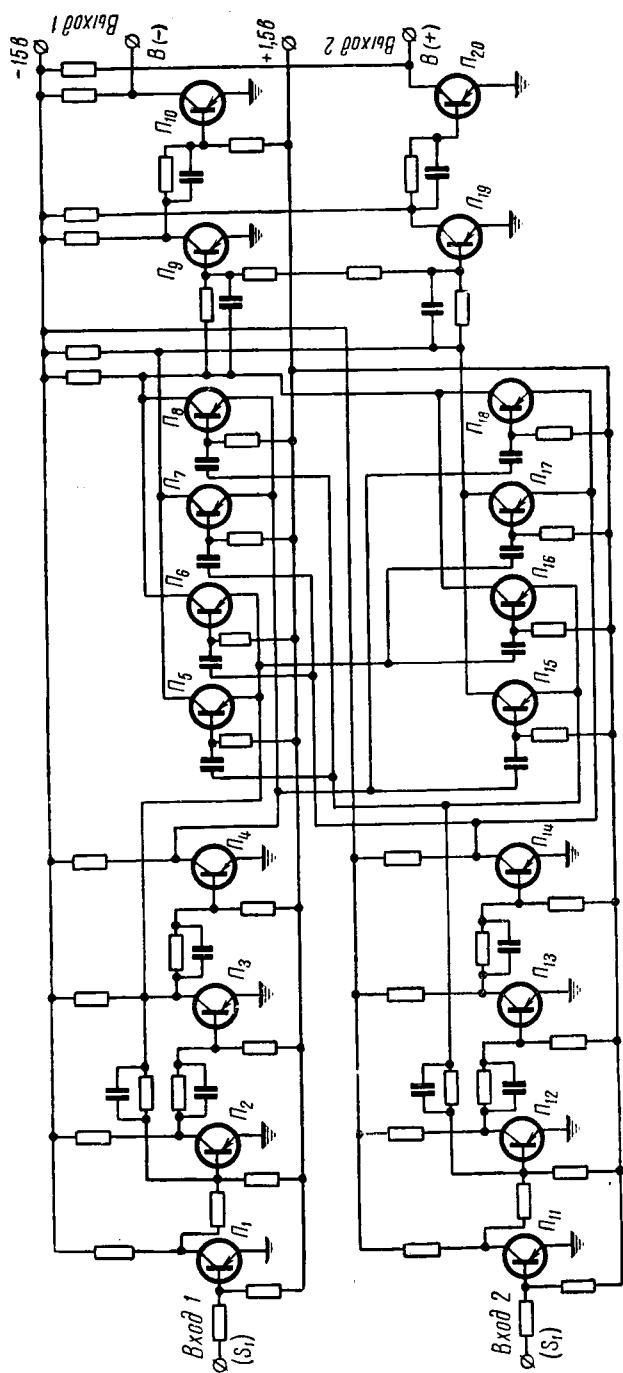


Рис. 13.18. Принципиальная схема фазового дискриминатора направления перемещения

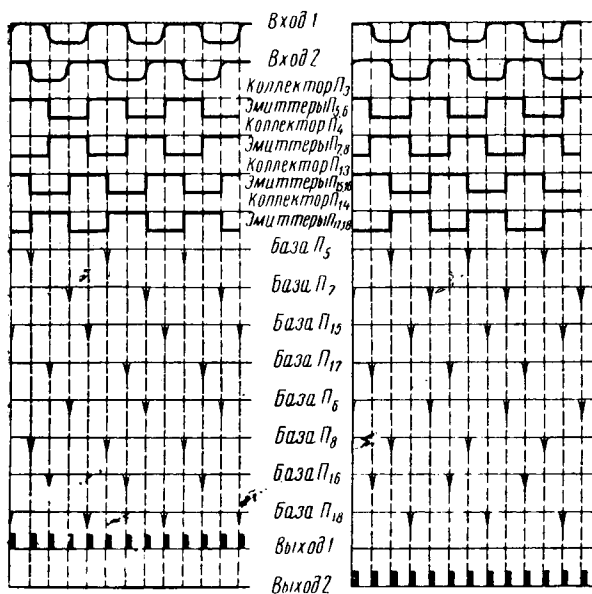


Рис. 13.19. Диаграмма формирования импульсов в дискриминаторе

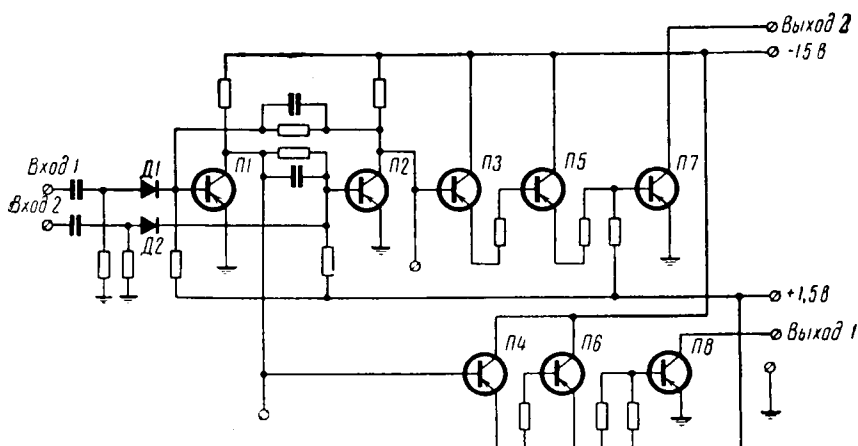


Рис. 13.20. Фазовый преобразователь

нимающего одно из двух устойчивых состояний в соответствии с поступлением импульсов от делителей.

Сигналы прямоугольной формы (P и Q на диаграмме рис. 13.16) на коллекторах триодов $P1$ и $P2$ триггера, сдвинутые относительно друг друга на 180° , усиливаются по мощности с помощью полупроводникового усилителя (триоды $P3$, $P5$, $P7$ и $P4$, $P6$, $P8$). Напряжение постоянного тока выделяется устройством управления приводом, например катушкой управления следящего золотника в случае использования гидравлического привода подачи. Работа фазового преобразователя и усилителя мощности в режиме переключения позволяет обеспечить линейность устройства, значительную мощность на выходе при малой мощности, рассеиваемой выходными триодами, и высокую стабильность параметров. Частота переключения при использовании гидропривода выбирается такой, чтобы создать необходимую осцилляцию золотника, благодаря чему уменьшается его зона нечувствительности.

Линейный импульсный датчик обратной связи больших перемещений трансформаторного типа представляет собой устройство с изменяющимся коэффициентом индуктивной связи между двумя системами обмоток, одна из которых питается переменным током, в то время как другая является выходной. Преимуществом таких датчиков является то, что они позволяют осуществить дифференциальную схему сравнения выходных сигналов без гальванической связи между входными и выходными цепями.

Датчик выполняется из трех основных частей (рис. 13.21): шкалы I , на которой нарезаются зубцы с шагом t_1 и двух съемников A и B , каждый из которых в свою очередь состоит из двух П-образных сердечников 3 с зубцами на торцах с шагом t_2 . Зубцы одного сердечника каждого съемника смещены по отношению к зубцам другого сердечника того же съемника на половину шага t_1 . В каждом съемнике имеется общая первичная обмотка 2 и две отдельные вторичные обмотки 4 , которые включены так, что постоянные составляющие их сигналов вычитаются друг из друга на сопротивлении $R_{\text{нагр}}$. Для того чтобы получить электрический сигнал при перемещении, меньшем и кратном шагу шкалы t_1 , зубцы на съемник наносятся с шагом t_2 , который меньше шага зубцов шкалы и кратен ему.

Для определения направления перемещения зубцы съемника B смещены по отношению к зубцам съемника A на четверть исходного шага t_1 . Благодаря такому смещению удастся также получить цену импульса датчика, равную четверти исходного шага t_1 . При этом импульсы формируются при каждом прохождении результирующих сигналов со съемников A и B через нулевое значение (см. диаграмму работы фазового дискриминатора).

Датчик возбуждается током с частотой $20 \div 25$ кГц, что обеспечивает нормальную работу датчика на максимальной скорости перемещения. Выходные сигналы датчика усиливаются и подаются на соответствующие входы дискриминатора направления. Эти дат-

чики перемещения обычно изготавливаются с «ценой» импульса (перемещением на импульс) в 0,05 и 0,02 мм при наибольшей величине измеряемого перемещения 1 м.

Для тяжелых фрезерных станков со значительными величинами перемещений находит применение фазо-импульсный магнитный датчик с вращающимся винтом типа ДЛМ-11, позволяющий контролировать перемещения практически на любой длине. Принципи-

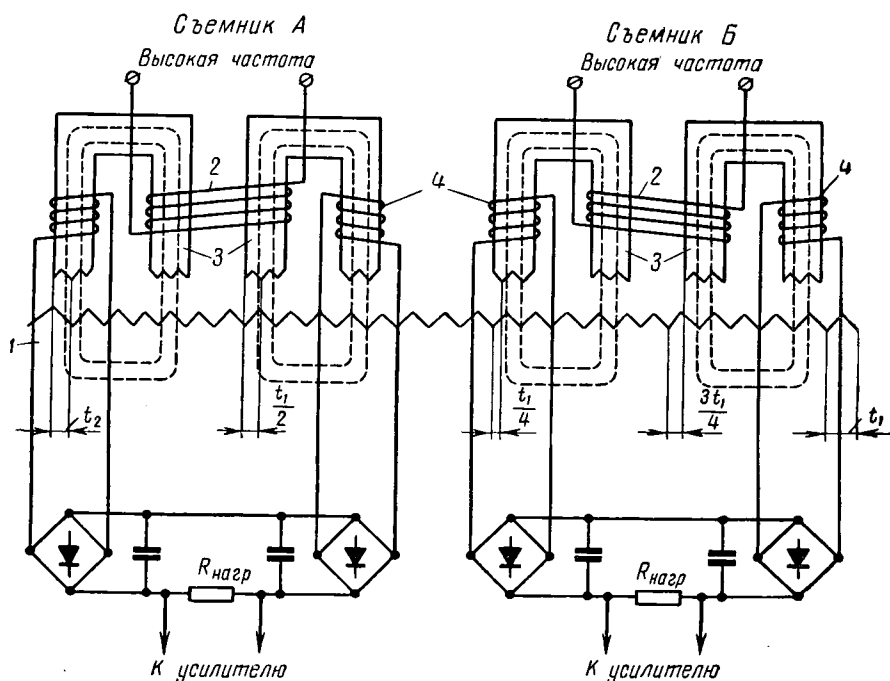


Рис. 13.21. Линейный импульсный датчик

альная схема такого датчика представлена на рис. 13.22. Магнитная система датчика состоит из шкалы 1 и винта 2, который приводится во вращение с помощью синхронного двигателя СД через редуктор Р. На шкале нанесены зубцы с шагом t , с точно таким же шагом выполнена нарезка резьбы на винте. При вращении его с постоянной угловой скоростью ω вершины зубцов винта будут перемещаться вдоль шкалы с линейной скоростью ωt . При этом будет изменяться магнитное сопротивление зазора в зоне шкала — винт, что приведет к изменению магнитного потока в сердечнике и наведению во вторичной обмотке э. д. с. $e \equiv d\Phi/dt$ с частотой $f_{осн} = \omega$.

При перемещении исполнительного механизма жестко связанный с ним датчик смещается относительно шкалы, что приводит к изменению частоты следования сигналов на вторичной обмотке $f = f_{осн} \pm \Delta f$. На одном валу с винтом установлен тактирующий им-

пульсный датчик 3, вырабатывающий постоянную опорную частоту $f_{\text{опор}}$, которая больше $f_{\text{осн}}$ в k раз. Отношение t/k выбирается исходя из минимального перемещения, которое необходимо задавать в систему числового управления (дискретность ввода информации), и зависит от динамических параметров системы привода подач.

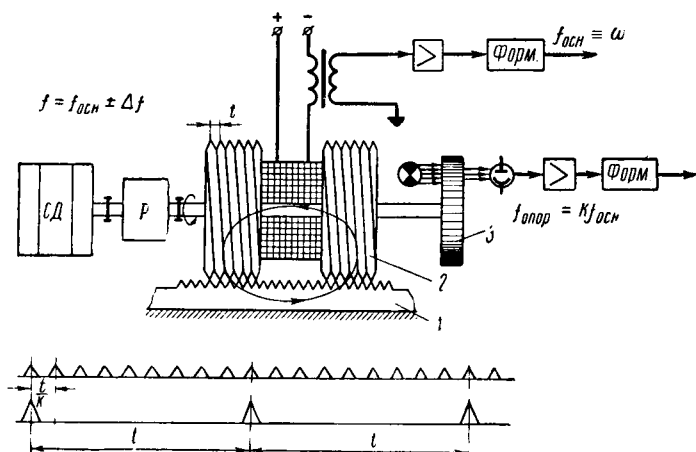


Рис. 13.22. Фазо-импульсный датчик типа ДЛМ-11

Для исключения влияния радиального биения винта на точность измерения фазы сигнала датчика винт выполняется многозаходным, что позволяет электрически отделить основную частоту от складываемой с ней в m раз меньшей (m — число заходов винта) частотой, связанной с радиальным биением системы.

Точность измерения на большой длине определяется точностью стыковки отрезков шкалы. Внутришаговая погрешность датчика (погрешность измерения между двумя соседними зубцами шкалы) составляет $0,005 \div 0,007$ мм.

Импульсно-фазовая система с фазо-импульсным датчиком. Структурная схема импульсно-фазовой системы с использованием в качестве датчика путевого контроля фазо-импульсного датчика с вращающимся винтом типа ДЛМ-11 представлена на рис. 13.23.

Импульсы программы $n(s)$ по одному из каналов в зависимости от заданного направления перемещения исполнительного механизма станка поступают на вход схемы синхронизации 3. Назначение ее состоит в том, чтобы исключить возможность прихода импульсов программы и импульсов N от тактирующего датчика 2 (как и раньше $f_N \gg f_{\text{пр. макс}}$) с интервалом времени, меньшим разрешающей способности схемы преобразования, состоящей из блока сложения

(или вычитания) 4 и делителя 5. В блоке 4 осуществляется сложение или вычитание (в зависимости от заданного направления перемещения) импульсов $n(s)$ с импульсами N тактирующего датчика, благодаря чему на вход делителя 5 поступает последовательность $(N \pm n)$ импульсов. Объем импульсного делителя (в количестве импульсов) выбирается равным соотношению $f_{\text{опор}}/f_{\text{осн}} = k$, поэтому при отсутствии командных импульсов программы и неподвижном исполнительном механизме сдвиг по фазе между импульсами

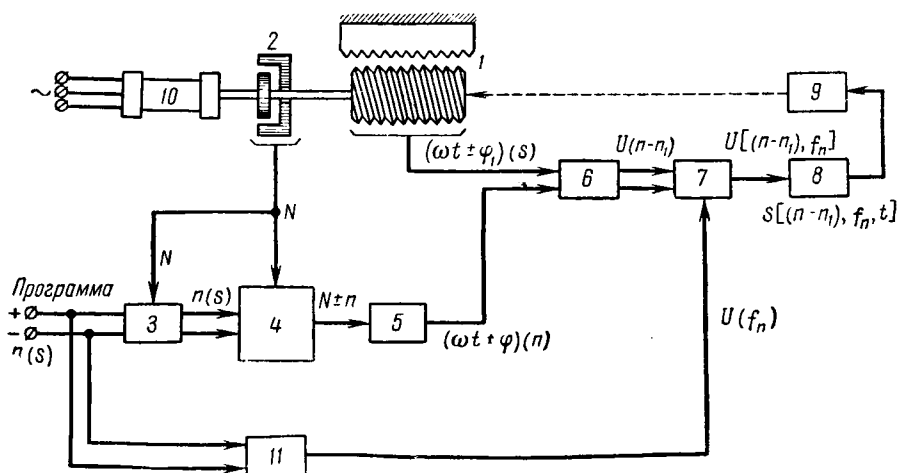


Рис. 13.23. Блок-схема импульсно-фазовой системы с датчиком типа ДЛМ-11

винтового датчика и импульсами с выхода делителя, благодаря начальной установке, составляет 180° и сигнал, подаваемый на устройство управления приводом, равен нулю.

Приход импульсов программы вызывает дополнительный сдвиг фазы импульсов на выходе делителя относительно фазы сигналов от винтового датчика, которые с помощью фазового преобразователя — триггера 6 преобразуются в напряжение, управляющее скоростью привода подач. Перемещение исполнительного механизма 9 и связанного с ним жестко винтового датчика 1 приводит к смещению фазы последнего на ту же величину. В остальном схема не отличается от ранее рассмотренной импульсно-фазовой системы. Назначение усилителя мощности 7, исполнительного двигателя 8, блока автоматического задания скорости 11, приводного двигателя 10 датчика пояснения не требует. Следует отметить, что использование фазо-импульсного датчика приводит не только к значительному повышению надежности импульсно-фазовой системы благодаря введению взамен импульсной аналоговой обратной связи, в которой исчезновение одного или нескольких импульсов не приводит к потере информации, но и к существенному упрощению самой системы числового управления.

§ 13.8. О ПОДГОТОВКЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В позиционных системах числового управления, где перемещения, как правило, осуществляются по прямолинейным траекториям, программа рассчитывается обычно самим рабочим или программистом без использования специальных средств вычислительной техники.

Расчет программы для контурных систем управления представляет собой трудоемкую задачу и требует в большинстве случаев использования специальных вычислительных устройств. Наиболее трудоемким является расчет эквидистанты — траектории, отстоящей от контура запрограммированной детали на величину радиуса инструмента.

До того как информация об обрабатываемой детали станет пригодной для числового управления станком, она должна пройти несколько этапов обработки, основными из которых являются следующие.

1. Изготовление чертежа и технологической карты. При использовании станков с числовым управлением необходимо пересмотреть всю организацию производства, начиная от конструирования и составления всей производственно-технической документации вспомогательных служб. Для обеспечения высокой технико-экономической эффективности станков с числовым управлением чертежи на обрабатываемые детали должны претерпеть ряд изменений, учитывающих новые условия, а именно: а) рационально выполнять одинаковыми симметричные «правые» и «левые» детали, что позволит обрабатывать эти детали по одной программе и, следовательно, сократить затраты на программирование; б) целесообразно предусматривать постоянный для всех деталей радиус округления в местах переходов, благодаря чему упростится программирование и удешевится инструментальное хозяйство; в) всякого рода отверстия и «карманы» следует проектировать одинаковой формы, используя для всех элементов контура стандартные формообразования; г) все размеры должны быть расставлены наиболее удобно для последующего программирования. При этом все точки пересечения геометрических образов должны быть закодированы.

Технолог при заполнении технологической карты должен выбирать такие режимы и такую технологию обработки, при которой наиболее полно реализуются преимущества станков с числовым управлением; однако при этом не должно быть существенного усложнения программы.

2. Составление табличного описания контура обрабатываемой детали по данным чертежа и составление таблицы технологических команд в соответствии с технологической картой. При составлении таблиц контур разбивается на ряд участков, состоящих из отрезков прямых, дуг окружностей и т. п. Расчету программы предшествует перевод всех размеров чертежа, обозначенных в миллиметрах,

в количество импульсов в соответствии с величиной перемещения на 1 импульс, заложенной в конструкции станка, на котором намечена обработка программируемых деталей.

3. Определение интервалов интерполирования. Интервалы интерполирования определяются исходя из заданной точности. Погрешность эта связана с заменой заданного контура интерполирующей функцией, реализуемой интерполятором (чаще всего прямыми отрезками или прямыми и дугами окружности). При этом наибольшая величина этой погрешности в пределах интерполируемого участка не должна превышать заданного допустимого значения, т. е.

$$\varepsilon \leq \delta_{\text{доп}},$$

где ε — фактическая погрешность интерполяции; $\delta_{\text{доп}}$ — заданное предельное значение погрешности.

Чрезмерное уменьшение погрешности интерполирования вызывает сокращение длины интервалов интерполяции, что усложняет расчет программы и увеличивает объем вводимой в станок информации.

В качестве примера рассмотрим метод определения величины интервалов интерполяции в случае замены криволинейного контура ломаной линией (линейный закон интерполяции), при котором при заданной точности интерполяции получается минимальный объем информации, вводимой в систему числового управления станка.

Минимальному объему задаваемой информации соответствует случай, когда расстояние между опорными точками по оси x выбирается при условии, что $\varepsilon = \delta_{\text{доп}}$.

Пусть (рис. 13.24, а) $y = f(x)$ — уравнение контура детали; y_0 , x_0 — координаты начальной точки a . Определим координаты точки пересечения прямой, проведенной из точки a в точку c [$y = f(x)$] при условии, что максимальное расстояние между прямой и кривой $\varepsilon = \delta_{\text{доп}}$. Поскольку допустимая практически погрешность $\delta_{\text{доп}}$ невелика, можно с достаточной степенью точности представить заданный контур $y = f(x)$ как совокупность дуг окружностей.

Из чертежа

$$\beta = \varphi - \alpha; \quad \varphi = \arctg \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x_0, y_0};$$

$$\alpha = \arccos \frac{R - \delta_{\text{доп}}}{R} = \arccos \left(1 - \frac{\delta_{\text{доп}}}{R} \right); \quad l_x = l \cos \beta,$$

$$\text{где } l = ac = 2 \sqrt{R^2 - (R - \delta_{\text{доп}})^2} \approx 2 \sqrt{2R\delta_{\text{доп}}}.$$

Тогда

$$l_x = 2 \sqrt{2R\delta_{\text{доп}}} \cos \beta.$$

Следовательно, координаты искомой точки c :

$$x_1 = x_0 + l_x;$$

$$y_1 = f(x_1).$$

Проверочный расчет правильности разбивки контура целесообразно вести по формуле (рис. 13.24, б)

$$\delta_{\text{доп}} \geq \varepsilon = \left[y'_i - y_{i-1} - (y_i - y_{i-1}) \frac{x'_i - x_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right] \cos \beta, \quad (13.4)$$

где (y_{i-1}, x_{i-1}) и (y_i, x_i) — координаты точек, определяющие прямой участок; y'_i, x'_i — координаты точки, находящейся при-

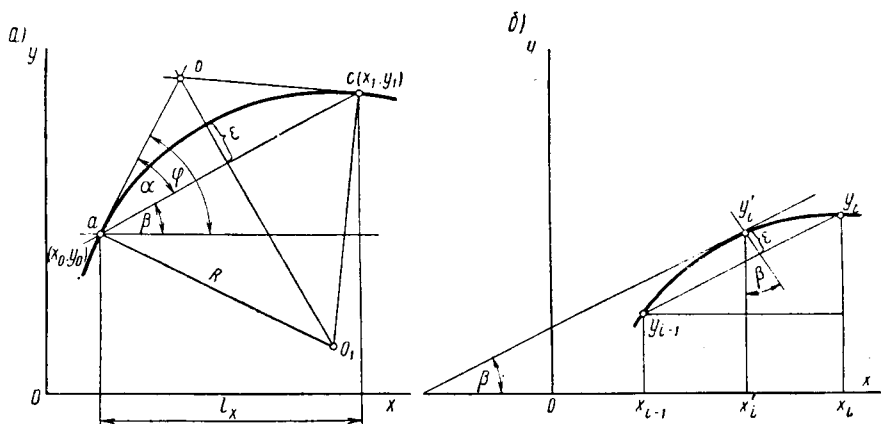


Рис. 13.24. К определению величины интервалов интерполяции

мерно на середине криволинейного участка; β — угол наклона касательной к оси x , взятой в точке (x'_i, y'_i) ;

$$\beta = \arctg \left(\frac{dy}{dx} \right)_{x'_i}.$$

В приведенном примере криволинейный контур $y=f(x)$ заменяется ломаной линией, уравнение которой имеет вид

$$y_n = y_0 + \operatorname{tg} \beta_1 l_{x_1} + \operatorname{tg} \beta_2 l_{x_2} + \dots + \operatorname{tg} \beta_n l_{x_n}. \quad (13.5)$$

Следует отметить, что при этом способе разбивки мы получаем программнооситель — перфоленту наименьшей длины. Однако этот способ требует выполнения значительного объема расчетной работы, связанной с последовательным переходом от одной точки контура к последующей.

4. Вычисление опорных точек контура, аппроксимация отдельных участков контура отрезками траекторий, воспроизводимых интерполятором.

Этот этап может быть полностью автоматизирован с помощью универсальных (УЦВМ) или специализированных (СЦВМ) цифровых электронных вычислительных машин. Возможна также частичная автоматизация с помощью клавишных вычислительных машин и специальных таблиц.

5. Перерасчет информации об обрабатываемом контуре на эквидистантный контур.

Большинство изделий задаются на чертеже размерами, которые заданы между точками контура самого изделия, а не по центру режущего инструмента. При обработке таких изделий необходимо, чтобы центр инструмента двигался по траектории, являющейся эквидистантной по отношению к контуру детали, т. е. представляющей собой кривую, которую описывает один конец отрезка длиной в радиус фрезы, если другой конец отрезка скользит по контуру детали, причем направление отрезка поддерживается перпендикулярным контуру детали в точке соприкосновения ее с отрезком. Для прямых и дуг окружностей эквидистанта остается прямой или дугой окружности. Для других кривых, в том числе и второго порядка, эквидистанты могут описываться весьма сложными уравнениями.

В общем случае координаты точек эквидистанты могут быть найдены по формулам:

$$\left. \begin{aligned} x_s^* &= x_s \pm \frac{y_s' r}{\sqrt{1 + (y_s')^2}}; \\ y_s^* &= y_s \pm \frac{r}{\sqrt{1 + (y_s')^2}}, \end{aligned} \right\} \quad (13.6)$$

где x_s, y_s — текущие координаты основной дуги; x_s^*, y_s^* — текущие координаты эквидистанты; r — радиус фрезы.

Знаки «плюс» или «минус» берутся в зависимости от того, с какой стороны кривой, выпуклой или вогнутой, ведется обработка контура, и от ориентации данного участка контура относительно выбранной системы координат.

Следует отметить, что в настоящее время создан ряд систем числового управления (например, линейно-круговой интерполятор японской фирмы «Фудзи», отечественная система УМС-2), в которых задается информация о контурах детали, а эквидистанта автоматически в процессе обработки программы подсчитывается в интерполаторе по размеру инструмента, устанавливаемого на пульте управления. Благодаря этому не только существенно сокращается объем расчетов при программировании, но и появляется возможность вво-

дить коррекцию на износ инструмента, по одной программе производить черновую и чистовую обработки, обрабатывать по одной программе сопряженные детали (например, матрицу и пуансон) и др.

6. Интерполяция (вычисление промежуточных точек траектории).

Этот этап автоматизируется при помощи специальных устройств — интерполяторов, которые по заданной информации о координатах опорных точек в соответствии с функцией, реализуемой интерполятором (например, линейной или линейно-круговой), вырабатывают последовательности командных импульсов по координатам станка, обеспечивающим при переходе исполнительного органа станка из одной опорной точки в другую обработку заданного участка контура детали. Причем число командных импульсов определяет величину перемещения (в импульсах), а частота — скорость.

Получаемые на выходе интерполятора командные импульсы используются для непосредственного управления станком (в этом случае интерpolator встраивается в СЧУ станка) либо записываются на промежуточный программноноситель — магнитную ленту.

§ 13.9. НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Одним из наиболее важных показателей металлорежущих станков с числовым управлением является точность обработки. Поэтому вопросам повышения точности обработки уделяется серьезное внимание.

Основными методами повышения точности обработки на станках, например с контурным управлением, являются:

1) предыскажение программы, т. е. такое преднамеренное искажение программы, при котором компенсируются возникающие по разным причинам ошибки обработки;

2) автоматическое формирование управляющего воздействия, т. е. задание такого темпа работы интерполятора, при котором обеспечивается требуемая точность обработки. При этом в случае необходимости используются плавные разгон и замедление привода по линейному закону во времени;

3) построение комбинированных (инвариантных) систем, в которых, кроме основного управляющего сигнала по пути в системе управления, формируются сигналы по скорости и ускорению, компенсирующие соответствующие ошибки;

4) коррекция упругих деформаций в системе станок — приспособление — инструмент — деталь.

Рассмотрим в качестве примера метод повышения точности станков с числовым управлением, реализуемый за счет построения инвариантных систем приводов подачи.

Среди современных автоматических управляющих систем заслуживают особого внимания системы, построенные на основе компенсации возмущений, или инвариантности (независимости) регулируемой величины от возмущений, которые действуют на регулируемый объект. Практическое значение реализации условий инвариантности в системах автоматического управления заключается в возможности значительного снижения погрешностей отработки заданной программы и, следовательно, повышения точности обработки на металлорежущих станках без снижения производительности. Теория инвариантности создана школой советских ученых во главе с академиками В. С. Кулебакиным, Н. Н. Лузиным и Б. Н. Петровым.

Метод заключается в следующем. Пусть на станке с числовым управлением необходимо воспроизвести поверхность $S_{вх} = S_{вх}(x, y)$. Соответствующую этой функциональной зависимости программу будем называть идеальной. В реальных следящих приводах подача воспроизведенная станком поверхность $S_{вых} = S_{вых}(x, y)$ будет отличаться от идеальной программы. Однако можно так заранее преобразовать идеальную программу, что при воспроизведении ее будет получена точно либо с допустимой погрешностью заданная поверхность.

Связь между выходными и входными величинами через передаточные функции следящих приводов в параметрической форме может быть выражена так:

$$\left. \begin{aligned} y_{вых}(t) &= L^{-1} \left[\bar{y}_{вх}^{-1} \Phi_y(p) + \frac{M_{ny}(p)}{D_y(p)} \right]; \\ x_{вых}(t) &= L^{-1} \left[\bar{x}_{вх}^{-1} \Phi_x(p) + \frac{M_{nx}(p)}{D_x(p)} \right], \end{aligned} \right\} \quad (13.7)$$

где L^{-1} — символ, обозначающий операцию обратного преобразования Лапласа; $\Phi_y(p)$, $\Phi_x(p)$ — передаточные функции замкнутых следящих приводов соответственно по координатам y и x ; $D_y(p)$ и $D_x(p)$ — знаменатели передаточных функций следящих приводов; $M_{ny}(p)$, $M_{nx}(p)$ — полиномы, учитывающие начальные условия; $\bar{y}_{вх}^{-1}$, $\bar{x}_{вх}^{-1}$ — преобразования Лапласа для выходных величин; индекс «1» означает, что в общем случае они не равны входным величинам идеальной программы.

Согласно выражению (13.7) преобразование программы означает воздействие на входные функции $x_{вх}^{-1}(t)$ и $y_{вх}^{-1}(t)$. При этом принципиально возможны два варианта: 1) задание таких функций $x_{вх}^{-1}(t)$ и $y_{вх}^{-1}(t)$, при которых по каждой координате будут получены идеальные зависимости $x_{вых}(t) = x_{вх}(t)$ и $y_{вых}(t) = y_{вх}(t)$, т. е. будут отсутствовать погрешности по каждой из координат, а следовательно, и на контуре; 2) задание функций $x_{вх}^{-1}(t)$ и $y_{вх}^{-1}(t)$, при которых хотя по каждой из координат имеются погрешности, т. е. $y_{вых}(t) \neq y_{вх}(t)$ и $x_{вых}(t) \neq x_{вх}(t)$, но соотношение между $y_{вых}(t)$

и $x_{\text{вых}}(t)$ таково, что полученный профиль будет удовлетворять требованиям точности, т. е.

$$y_{\text{вых}} = f_1^1(x_{\text{вых}}).$$

Однако вследствие значительной трудности оценки погрешности на контуре техническая реализация второго варианта сложна.

Сигнал коррекции по первому варианту, чтобы выходная величина следящего привода точно соответствовала идеальной программе, определяется из следующих соображений. Для одной координаты из (13.7) может быть найдено требуемое входное воздействие:

$$\bar{x}_{\text{вых}} = \bar{x}_{\text{вх}}^1 \Phi_x(p) + \frac{M_{\text{нх}}(p)}{D_x(p)}.$$

При нулевых начальных условиях, т. е. при $M_{\text{нх}}(p) = 0$

$$\bar{x}_{\text{вх}}^1 = \frac{\bar{x}_{\text{вых}}}{\Phi_x(p)}.$$

Это выражение показывает, при каком входном воздействии будет иметь место вполне определенное изменение выходной величины $\bar{x}_{\text{вых}}$. Если приравнять выходную величину идеальной программе, т. е. $\bar{x}_{\text{вых}} = \bar{x}_{\text{вх}}$, то выход следящего привода как в установившихся, так и в переходных режимах будет точно соответствовать идеальной программе, если преобразованная программа будет определяться выражением

$$\bar{x}_{\text{вх}}^1 = \frac{\bar{x}_{\text{вх}}}{\Phi_x(p)}.$$

Нулевые начальные условия обеспечиваются точной начальной установкой исполнительных органов станка в исходные положения, соответствующие программе.

Таким образом, при введении соответствующего корректирующего воздействия станок будет точно обрабатывать идеальную программу при условии, конечно, что привод в состоянии развивать те значения скоростей и ускорений, которые требуются от него идеальной программой.

Передаточная функция замкнутого следящего привода представляет собой дробно-рациональную функцию вида

$$\Phi_x(p) = \frac{M_x(p)}{D_x(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0}, \quad (13.8)$$

где $n \geq m$.

Тогда выражение для скорректированного управляющего воздействия примет вид

$$\bar{x}_{\text{вх}}^1 = \bar{x}_{\text{вх}} \frac{D_x(p)}{M_x(p)} = \bar{x}_{\text{вх}} \frac{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0}{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}. \quad (13.9)$$

Реализация скорректированной программы технически осуществляется путем сложения сигнала идеальной программы с дополнительным корректирующим $\bar{x}_{\text{кор}}$:

$$\bar{x}_{\text{кор}} = \bar{x}_{\text{вх}}^{-1} - \bar{x}_{\text{вх}}, \quad (13.10)$$

или из (13.9) и (13.10)

$$\bar{x}_{\text{кор}} = \bar{x}_{\text{вх}} \left[\frac{D_x(p)}{M_x(p)} - 1 \right].$$

Учитывая, что передаточная функция замкнутой системы

$$\Phi_x(p) = \frac{W_x(p)}{1 + W_x(p)} = \frac{M_x(p)}{D_x(p)},$$

где $W_x(p) = \frac{M_x(p)}{N_x(p)}$ — передаточная функция разомкнутой системы;

$$D_x(p) = M_x(p) + N_x(p).$$

Окончательно будем иметь

$$\bar{x}_{\text{кор}} = \frac{\bar{x}_{\text{вх}}}{W_x(p)} = \bar{x}_{\text{вх}} \frac{N_x(p)}{M_x(p)},$$

или, учитывая, что

$$N_x(p) = a'_n p^n + a'_{n-1} p^{n-1} + \dots + a'_1 p + a'_0,$$

получим

$$\bar{x}_{\text{кор}} = \bar{x}_{\text{вх}} \frac{a'_n p^n + a'_{n-1} p^{n-1} + \dots + a'_1 p + a'_0}{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}. \quad (13.11)$$

Последнее выражение показывает, что дополнительный сигнал коррекции программы должен формироваться в соответствии с передаточной функцией, обратной передаточной функции разомкнутого следящего привода.

В реальных следящих приводах значение m обычно равно единице или нулю. Тогда скорректированная программа должна представлять собой сумму идеальной программы и нескольких ее низших производных. Число производных n , необходимое для полной компенсации динамических ошибок, равно порядку дифференциального уравнения, описывающего поведение следящего привода. Это соответствует выполнению условий полной инвариантности.

Способы реализации инвариантных следящих систем могут быть весьма разнообразны. Рассмотрим в качестве примера некоторые из них.

Сигнал коррекции, содержащий любое количество точных производных от входной идеальной программы, может быть получен

при расчете программы обработки детали на УЦВМ. На выходе ее можно иметь два сигнала: сигнал идеальной программы и сигнал коррекции. Однако этот способ обладает рядом существенных недостатков: 1) существенное увеличение объема информации, вводимой в систему числового управления; 2) пригодность подготовленной программы только для обработки на станке с данными конкретными динамическими параметрами следящего привода; 3) сложность достаточно точного учета динамических свойств следящего привода при программировании.

Выполнение условия инвариантности может быть осуществлено при помощи комбинированного управления по схеме, представленной на рис. 13.25. На рисунке: $W_k(p)$ — передаточная функция кор-

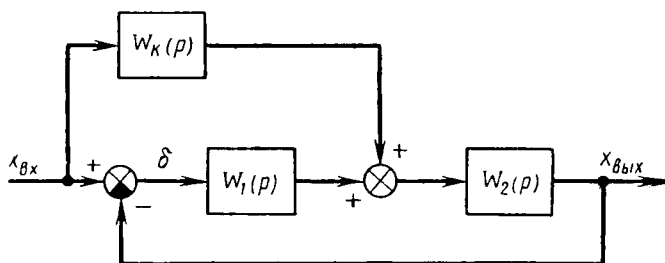


Рис. 13.25. Структурная схема для выполнения условий инвариантности

ректирующего устройства, $W_1(p)$ и $W_2(p)$ — передаточные функции частей следящего привода. Тогда передаточная функция по ошибке скорректированного следящего привода будет

$$G(p) = \frac{\bar{\delta}}{x_{\text{вых}}} = \frac{1 - W_k(p) W_2(p)}{1 + W_1(p) W_2(p)}. \quad (13.12)$$

Условия инвариантности по отношению к управляющему воздействию выполняются при

$$1 - W_k(p) W_2(p) = 0,$$

откуда

$$W_k(p) = \frac{1}{W_2(p)},$$

т. е. в систему следящего привода необходимо введение, кроме основного сигнала управления, его первой и более высоких производных.

Б. И. Андрейчиковым для фазовых систем числового управления предложен способ приближенной коррекции погрешностей системы с помощью разностей от сигнала программы. Структурная

схема устройства для получения сигнала первой и второй разности от управляющего воздействия представлена на рис. 13.26.

На схеме:

$МГ_1, МГ_2, МГ_3$ — магнитные головки; K_2 — «коэффициент усиления» магнитных головок, равный отношению разности фаз между сигналами, считываемыми соседними головками, к первой производной управляющего воздействия; $W_{\phi.и}(p)$ — передаточная функция фазового индикатора; K_{y1}, K_{y2} — коэффициенты усиления усилителей соответственно по первой и второй разностям.

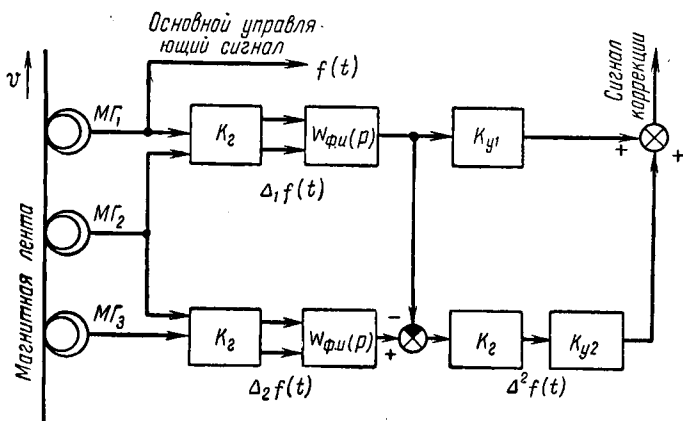


Рис. 13.26. Структурная схема выделения первой и второй разности от управляющего воздействия

Выражения для первой и второй разностей могут быть записаны в виде:

$$\left. \begin{aligned} \Delta f(t) &= f(t+T) - f(t); \\ \Delta f(t+T) &= f(t+2T) - f(t+T); \\ \Delta^2 f(t) &= \Delta f(t+T) - \Delta f(t) = f(t+2T) - 2f(t+T) + f(t), \end{aligned} \right\} \quad (13.13)$$

где T — время, за которое магнитная лента проходит расстояние между соседними головками.

Тогда передаточная функция корректирующего устройства может быть представлена в виде

$$W_k(p) = \frac{K_1(e^{Tp} - 1) + K_2(e^{2Tp} - 2e^{Tp} + 1)}{T_{\phi.и}p + 1}, \quad (13.14)$$

где

$$K_1 = K_{\phi.и} K_{y1};$$

$$K_2 = K_{\phi.и} K_{y2};$$

$T_{\phi.и}$ — постоянная времени фильтра фазового индикатора.

Дальнейшее использование систем числового управления станками, обусловленное развитием электронно-вычислительной техники, предусматривает управление отдельными группами станков, линиями и даже целым производством. В системе управления группой станков используется универсальная цифровая вычислительная машина (УЦВМ), предназначенная для предварительного расчета программ, которые выполняются на магнитной ленте. Объем этих программ обычно весьма значителен. При обработке детали на одном из станков предварительно вызывается из памяти необходимая программа, которая переписывается на магнитный диск и затем выдается на интерполятор, встроенный в этот станок. Такие системы позволяют использовать самонастраивающиеся устройства, автоматически обеспечивающие оптимальный режим обработки.

В автоматических станочных линиях с программным управлением используются различные станки (универсальные, многооперационные, станки-автоматы), но все они обычно снабжены числовым программным управлением. УЦВМ, управляющая автоматической линией, контролирует правильность подачи обрабатываемых изделий на станке, выбор программы каждым станком, точность установки и обработки изделий. Она решает ряд оперативных и технологических задач.

Создание автоматических линий с программным управлением весьма перспективно.

1. Агурский М. С. [и др.]. Числовое программное управление станками. Машгиз, 1966.
2. Алексеева Н. А. [и др.]. Тиристорные регулируемые электроприводы постоянного тока. «Энергия», 1970.
3. Андрейчиков Б. И. Динамическая точность систем программного управления станками. Машгиз, 1964.
4. Ачеркан Н. С. [и др.]. Металлорежущие станки. Машгиз, 1965.
5. Бровман Я. С. [и др.]. Системы с электромашинными преобразователями. «Энергия», 1964.
6. Бровман Я. С. Следяще-регулируемые электроприводы подачи. Автоматизированный электропривод производственных механизмов. Т. 1. «Энергия», 1965.
7. Булгаков А. А. Программное управление металлорежущими станками. Госэнергоиздат, 1959.
8. Бугаец Н. А. [и др.]. Тиристорный электропривод тяжелых шлифовальных станков. «Энергия», 1971.
9. Вавилов А. А. [и др.]. Силовые электромеханические следящие системы копировально-фрезерных станков. «Машиностроение», 1964.
10. Верховат М. Е., Фатеев А. В. Анализ работы и расчет элементов электрического привода. Машгиз, 1957.
11. Ворошилов М. С. Элементы и узлы систем цифрового программного управления металлорежущими станками. Машгиз, 1963.
12. Голован А. Т. Основы электропривода. Госэнергоиздат, 1959.
13. Грубман В. А. [и др.]. Серия главных тиристорных электроприводов для тяжелых карусельных и токарных станков. «Энергия», 1971.
14. Зимин Е. Н., Преображенский В. И. и Соколов Н. Г. Элементы и схемы бесконтактного управления металлорежущими станками. «Энергия», 1966.
15. Зюзанов Г. И. Агрегатные станки. Машгиз, 1948.
16. Зусман В. Г. и Ратмиров В. А. Шаговые двигатели в устройствах программного управления. «Электричество», 1962, № 10.
17. Зусман В. Г. и Тихомиров Э. Л. Системы числового управления тяжелых фрезерных станков. «Станки и инструмент», 1965, № 4.
18. Киселев В. М. Фазовые системы числового программного управления станками. Машгиз, 1966.
19. Ключев В. И. Автоматизация реверсивных электроприводов. «Энергия», 1966.
20. Кобринский А. Е. Числа управляют станками. Изд-во АН СССР, 1961.
21. Мейстель А. М. Динамическое торможение приводов с асинхронными двигателями. «Энергия», 1967.
22. Михелькевич В. Н., Щуккин Б. Д. Системы автоматического регулирования технологических процессов шлифования. Куйбышевское книжное издательство, 1969.
23. Минскер Э. И. Электрическое управление автоматическими линиями в машиностроении. «Энергия», 1964.

24. Найдис В. А. [и др.]. Системы постоянного тока на тиристорах. «Энергия», 1966.
25. Новиков Л. Я. [и др.]. Системы управления тяжелыми продольно-строгальными станками. «Энергия», 1971.
26. Разыграев А. М. [и др.]. Проектирование и монтаж электрооборудования металлорежущих станков. Машгиз, 1961.
27. Разыграев А. М. Структурный анализ электросхем металлорежущих станков. «Энергия», 1964.
28. Сандлер А. С. Электрооборудование производственных механизмов. Госэнергоиздат, 1958.
29. Соколов М. М. и Терехов В. М. Приближенные расчеты переходных процессов в автоматизированном электроприводе. «Энергия», 1967.
30. Соколов Н. Г., Елисеев В. А. Расчеты по автоматизированному электроприводу металлорежущих станков. «Высшая школа», 1970.
31. Соколов Т. Н., Дружинский И. А. Автоматическое управление процессами копирования на металлорежущих станках. Машгиз, 1954.
32. Тяжпромэлектропроект. «Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок». 1966, № 9.
33. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода. «Энергия», 1971.
34. Шапиро И. Л. Электропривод тяжелых металлорежущих станков. «Машиностроение», 1964.
35. Срибнер Л. и Шраго Л. Проектирование позиционных систем программного управления. Машгиз, 1962.
36. Günter Kohring. Grundlagen und Praxis numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen. Carl Hanser Verlag München, 1966.
37. James J. Childs. Principles of numerical control. Industrial Press, 1965.
38. Lundberg Glas-Göran. Simple thyristor rectifier for the speed control of machine tools. «Asea Journal», 1966, № 8.
39. F. Glantschnig. Die Anwendung der Brown Boveri Elektronik für die kontakt-lose Steuerung von Hobel und Stossmaschinen mit numerischer Programmierung der Vorschubes. BBC Mit., 1960, B. 47, № 10/11.
40. Graf C. E. An Introduction to SCR Drives. Machine Design, 1964, 36, № 13.
41. Meyer M., Möltgan G. Kreisströme bei Umkehrstromrichtern. Siemens-Z., 1963, 37.
42. Pollard A. Thyristor motor controls. Electr. Engr., 1964, 41, № 1.
43. Reichmann H., Winkler H. Halbeiter-stromrichter für geregelte Gleichstromantriebe. AEG — Mitt., 1964, 54, № 5, 6.
44. Thyristor variable speed drives for machine tools. Westinghouse Eng., 1964, 218, № 56/64.
45. C. M. Dolezalek. Prinzipien der automatisierten Fertigung, VDI — Berichte Nr 123/1968.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	Стр. 3
Введение	5

ЧАСТЬ I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТАНКОВ

Глава I. Краткая характеристика основных видов обработки на металлорежущих станках	10
§ 1.1. Общие положения	10
§ 1.2. Токарная обработка (точение)	14
§ 1.3. Стругание	17
§ 1.4. Сверление	19
§ 1.5. Фрезерование	20
§ 1.6. Шлифование	22

Глава II. Выбор мощности электроприводов для типовых механизмов станков	27
§ 2.1. Общие положения	27
§ 2.2. Построение нагрузочной диаграммы и определение мощности электропривода токарного станка	29
§ 2.3. Построение нагрузочной диаграммы главного привода и выбор мощности двигателя для продольно-строгального станка	34
§ 2.4. Определение мощности привода механизма подачи	41
§ 2.5. Определение мощности привода типовых вспомогательных механизмов станков	43
§ 2.6. Выбор конструкции и типа двигателей для станков	46

Глава III. Пуск, торможение, ограничение нагрузки и точная остановка электроприводов станков	48
§ 3.1. Пуск и торможение приводов с асинхронными двигателями	48
§ 3.2. Пуск и торможение приводов с двигателями постоянного тока	57
§ 3.3. Ограничение тока при пуске и торможении двигателей постоянного тока в замкнутых системах автоматического управления	58
§ 3.4. Ограничение нагрузки двигателя и станка	63
§ 3.5. Точная остановка электроприводов станков	67
а. Общие положения	67
б. Способы получения пониженной скорости	71

Глава IV. Регулирование скорости электроприводов станков	83
§ 4.1. Общие положения	83
§ 4.2. Электромеханическое ступенчатое регулирование скорости главных приводов	86

§ 4.3. Электрическое бесступенчатое регулирование скорости главных приводов	101
§ 4.4. Ступенчатое регулирование скорости приводов подач	103
§ 4.5. Бесступенчатое регулирование скорости приводов подач	104
§ 4.6. Автоматическое регулирование скорости привода при изменении диаметра обработки изделий	129

Глава V. Типовые блокировочные связи в схемах автоматического управления станками 136

§ 5.1. Схемы взаимосвязи между наладочным и рабочим режимами станка	137
§ 5.2. Схемы для ограничения перемещений механизмов станка	141
§ 5.3. Схемы для согласования работы отдельных электроприводов механизмов станка	143

ЧАСТЬ II. ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Глава VI. Электропривод и схемы автоматического управления токарных станков 149

§ 6.1. Общие положения	149
§ 6.2. Электропривод и схемы управления токарно-револьверных станков	150
§ 6.3. Электропривод и схемы управления тяжелых токарных станков	156
§ 6.4. Электропривод подачи суппортов тяжелых токарных станков	182
§ 6.5. Электропривод винторезного суппорта токарного станка	186
§ 6.6. Электропривод и схемы управления тяжелых карусельных станков	191

Глава VII. Электропривод и схемы автоматического управления продольно-строгальными станками 204

§ 7.1. Общие положения	204
§ 7.2. Главный электропривод средних продольно-строгальных станков	208
§ 7.3. Главный электропривод тяжелых продольно-строгальных станков	215
§ 7.4. Привод подачи продольно-строгальных станков	228
§ 7.5. Бесконтактные системы управления приводами продольно-строгальных станков	232

Глава VIII. Электропривод и схемы автоматического управления сверлильных и расточных станков 236

§ 8.1. Особенности электропривода сверлильных станков	236
§ 8.2. Электропривод и схемы управления универсальных расточных станков	238
§ 8.3. Особенности электропривода и схем управления тяжелых расточных станков	245
§ 8.4. Следяще-регулируемый электропривод подачи	249

Глава IX. Электропривод и схемы автоматического управления фрезерных станков 257

§ 9.1. Электропривод и схема управления вертикально-фрезерного станка	257
§ 9.2. Электропривод и схемы управления продольно-фрезерных станков	263

Глава X. Электрооборудование шлифовальных станков 279

§ 10.1. Общие положения	279
§ 10.2. Управление электрошпинделями с помощью преобразователей частоты	281

§ 10.3. Электропривод и схемы управления крупных круглошлифовальных станков	286
§ 10.4. Особенности электрооборудования плоскошлифовальных станков	297
§ 10.5. Электропривод и схемы управления сферошлифовальных полуавтоматов	303

Глава XI. Электрооборудование агрегатных станков и автоматических станочных линий 314

§ 11.1. Особенности агрегатных станков	314
§ 11.2. Электрические схемы управления сверлильными агрегатными станками	320
§ 11.3. Электропривод и схема управления агрегатного станка для точных работ	324
§ 11.4. Система бесконтактного управления агрегатного станка	329
§ 11.5. Автоматические станочные линии	337
§ 11.6. Электрические схемы управления автоматическими линиями станков	343

ЧАСТЬ III. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СТАНКОВ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Глава XII. Электропривод и автоматизация копировальных станков . 353

§ 12.1. Общие положения	353
§ 12.2. Электрокопировальные станки с системой прерывистого (релейного) управления	357
§ 12.3. Электрокопировальные станки с системой непрерывного управления	367
§ 12.4. Автоматическое копирование с фотоэлектрическим управлением	382
§ 12.5. Станки с цикловым управлением	386

Глава XIII. Числовое программное управление станками 390

§ 13.1. Общие положения	390
§ 13.2. Основные узлы систем числового программного управления	391
§ 13.3. Системы числового программного управления	401
§ 13.4. Позиционная аналоговая система числового управления координато-расточным станком фирмы SIP	404
§ 13.5. Система числового управления с шаговыми двигателями	408
§ 13.6. Импульсная следящая система	411
§ 13.7. Импульсно-фазовая система управления	412
§ 13.8. О подготовке программы для станков с числовым управлением	424
§ 13.9. Некоторые способы повышения точности станков с числовым управлением	428

Литература 435

Абрам Соломонович Сандлер

Электропривод и автоматизация металлорежущих станков

Редактор В. А. Титова

Художественный редактор Н. К. Гуторов

Технический редактор Л. А. Муравьева

Корректор З. Ю. Шапочник

Т-17679. Сдано в набор 1/VII 1971 г.
Подп. к печати 20 XII 1971 г. Формат 60×90^{1/16}
Объем 27,5 печ. л. Уч.-изд. л. 27,42
Изд. № СГД-74. Тираж 35 000 экз. Цена 1 р. 17 к.
План выпуска литературы издательства
«Высшая школа» (вузы и техникумы) на
1971 г. Позиция № 279.
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14,
Издательство «Высшая школа».
Московская типография № 8 Главполиграф-
прома Комитета по печати при Совете Ми-
нистров СССР,
Хохловский пер., 7. Зак 3392