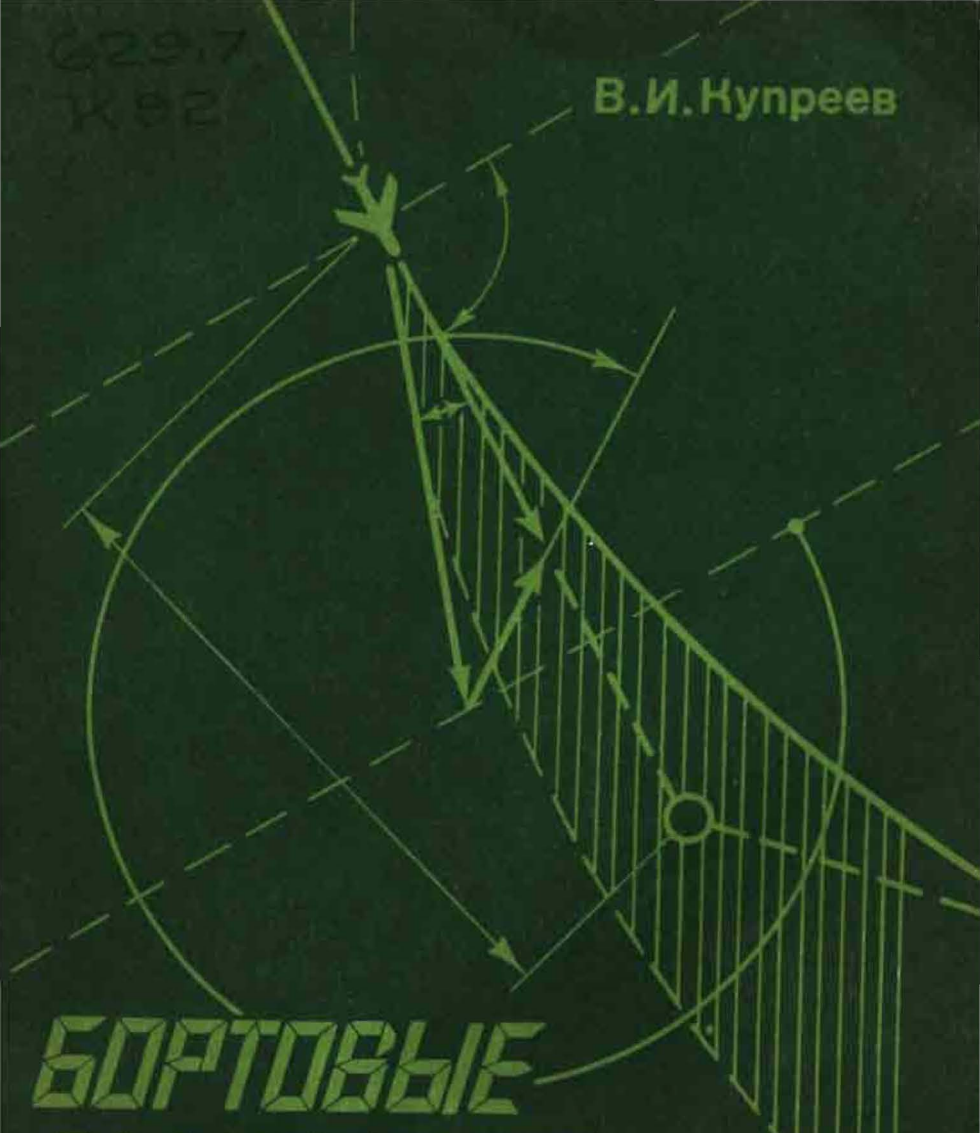


629.7
УДК

В.И. Купреев



БОРТОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

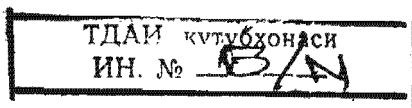
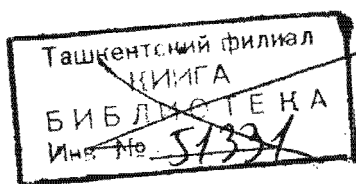
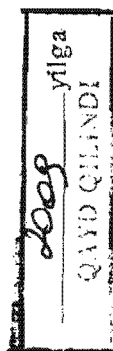
ИЗДАТЕЛЬСТВО · ТРАНСПОРТ ·

629.7
К 92

В.И. Нупреев

БОРТОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Допущено
Управлением учебных заведений МГА
в качестве учебного пособия
для вузов
гражданской
авиации



МОСКВА "ТРАНСПОРТ" 1986

Купреев В. И. Бортовые вычислительные устройства. Учеб. пособие для вузов. М.: Транспорт, 1986. — 174 с.

Изложены основные принципы построения и действия аналоговых, цифровых и комбинированных вычислительных устройств и машин современных летательных аппаратов гражданской авиации. Рассмотрены тенденции и перспективы развития бортовой вычислительной техники.

Для студентов вузов гражданской авиации, может быть полезно инженерно-техническим работникам, эксплуатирующим вычислительную технику.

Ил. 111, табл. 3, библиогр. 28 назв.

Рецензенты д-р техн. наук, проф. В. Г. Воробьев, канд. техн. наук Л. С. Васильева

Заведующий редакцией В. С. Захаров

Редактор Е. В. Новикова

Выпущено по заказу Министерства гражданской авиации СССР.

К $\frac{3606040000-351}{049(01)-86}$ заказное

© Издательство "Воздушный транспорт" МГА, 1986.

Сокращения и обозначения

А	— азимут
АБСУ	— автоматическая бортовая система управления
АЛУ	— арифметическое логическое устройство
АМ	— адрес модифицированный
АП	— автопилот
АЧ	— адресная часть
БВУ	— бортовое вычислительное устройство
БВС	— бортовая вычислительная система
БК	— блок коммутации
БП	— блок питания
БСКВ	— базовая система курса и вертикали
БЦВМ	— бортовая цифровая вычислительная машина
ВС	— воздушное судно
ВУ	— вычислительное устройство
ГРМ	— глissадный радиомаяк
ДИСС	— доплеровский измеритель скорости и сноса
ЗК	— задатчик курса
ЗПУ	— заданный путевой угол
ЗУК	— задатчик угла карты
ИКВ	— инерциальная курсовертикаль
ИНО	— индикатор навигационной обстановки
ИКВСП	— информационный комплекс высотно-скоростных параметров
ИПМ	— исходный пункт маршрута
К	— курсовой угол
КПМ	— конечный пункт маршрута
КПА	— контрольно-проверочная аппаратура
КПУ	— контрольно-проверочная установка
КРМ	— курсовой радиомаяк
КС	— курсовая система
ЛВТ	— линейный вращающийся трансформатор
ЛЗП	— линия заданного пути
ЛУР	— линейное упреждение разворота
М	— общее обозначение электрической машины
МВТ	— масштабный вращающийся трансформатор
МВЛ	— местные воздушные линии
МГВ	— малогабаритная гироскопическая вертикаль
ММЭВМ	— микро-мини-ЭВМ
МУУ	— местное устройство управления
МП	— микропроцессор; местоположение воздушного судна
МПА	— многоканальный преобразователь "аналог—код"
МПК	— микропроцессорный комплект
МПК—АО	— многоканальный преобразователь последовательных кодов с активным обменом
МПЧ	— многоканальный преобразователь "частота—код"
МУ	— магнитный усилитель

НВС — навигационно-вычислительная система
 НВУ — навигационно-вычислительное устройство
 НПК — навигационно-пилотажный комплекс
 НПМ — начальный пункт маршрута
 ОБ — операционный блок
 ОЗУ — оперативное запоминающее устройство
 ОС — операционная система
 ОМУ — операционный магнитный усилитель
 ПВИ — пульт ввода и индикации
 ПВП — пульт взлета и посадки
 ПДМ — преобразователь "разовые команды и параллельные коды — код ЦВМ"
 ПЗУ — постоянное запоминающее устройство
 ПКИ — пульт контроля и индикации
 ПКН — преобразователь "код—напряжение"
 ПКП — прибор командный пилотажный
 ПКУ — пульт контроля устройства ввода-вывода
 ПМД — преобразователь "код ЦВМ — параллельный код и разовые сигналы"
 ПМП — пространственное местоположение
 ПНК — преобразователь "напряжение—код"
 ПНП — прибор навигационный плановый
 ПНнРЭО — пилотажно-навигационное и радиоэлектронное оборудование
 ПНЧ — преобразователь "напряжение—частота"
 ППК — пульт подготовки и контроля, пульт программного контроля
 ППМ — промежуточный пункт маршрута
 ПРН — пульт регулировки напряжения
 ПУ — пульт управления
 Р — реле, редуктор
 РСБН — радиотехническая система ближней навигации
 РСДН — радиотехническая система дальней навигации
 САУ — система автоматического управления
 САС — система аварийной сигнализации
 СВС — система воздушных сигналов
 СД — сельсин-датчик
 СИ — система индикации
 СКВТ — синусно-косинусный вращающийся трансформатор
 СКТ — синусно-косинусный трансформатор
 СП — сельсин приемник
 СТУ — система траекторного управления
 ТГ — тахогенератор
 ТКС — точная курсовая система
 УАУ — устройство арифметики и управления
 УВВ — устройство ввода-вывода
 УС — угол сноса
 УУ — устройство управления
 ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь
 ЦГВ — центральная гировертикаль
 ЦУУ — центральное устройство управления
 ЧО — частная ортодромия
 ЭМ — электрическая муфта

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 гг. и на период до 1990 г. важное место уделено дальнейшему увеличению грузовых и пассажирских перевозок гражданской авиацией, расширению сфер ее применения в народном хозяйстве. При этом предусматривается максимальное обеспечение безопасности, регулярности и экономичности полетов, которое может быть достигнуто лишь при соответствующей организации технической эксплуатации воздушных судов и их бортового оборудования.

Современное бортовое оборудование воздушного судна представляет собой комплекс сложных взаимосвязанных систем различного функционального назначения. Уровень автоматизации, эффективность и надежность этих систем непосредственно зависят от степени использования на борту вычислительных средств и их ресурсных возможностей. Выполняя свои функции, современные вычислительные средства придают бортовому оборудованию совершенно новые качества: объединяют разрозненные устройства и системы в единый комплекс, существенно расширяют круг решаемых задач, качественно изменяют его технические и эксплуатационные характеристики.

Успешная эксплуатация такого оборудования возможна лишь при наличии высококвалифицированных специалистов, знающих принципы построения и функционирования бортовых вычислительных устройств, их структурную организацию и работу в составе бортовых комплексов. В предлагаемом пособии изложены в систематизированном виде сведения, которые могут оказать помощь в достижении этой цели.

В книге использован материал курса лекций по дисциплине "Основы вычислительной техники, бортовые вычислительные устройства", прочитанных автором в Киевском институте инженеров гражданской авиации.

Термин "вычислительные устройства" в данном пособии используется в широком смысле, охватывающем типовые бортовые вычислительные средства отечественных самолетов гражданской авиации: аналоговые вычислители систем траекторного управления, навигационные вычислительные устройства, бортовые цифровые вычислительные машины, бортовые вычислительные системы. В пособии рассмотрены принципы построения и функционирования вычислительных устройств, общие вопросы организации контроля их работы, тенденции и перспективы развития.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие вычислительных средств на борту воздушных судов неразрывно связано с совершенствованием их бортового оборудования. В эволюции бортовых вычислительных средств можно выделить три основных этапа.

Первый этап (до 50-х годов) характеризуется применением вычислительных устройств для простых преобразований информации в качестве механических и электромеханических формульных вычислителей, например для определения истинной воздушной скорости, высоты полета.

Второй этап (60-е годы) характеризуется применением на борту электромеханических и электронных вычислительных устройств, обслуживающих автономные системы воздушного судна, например вычисление азимута и дальности в радиотехнических системах навигации, вычисление путевой скорости и угла сноса в доплеровских измерителях и т. д.

Третий этап (70-е годы) характеризуется применением на борту сложных вычислительных устройств (вычислительных машин), обеспечивающих более глубокие функциональные связи между бортовыми системами, качественно новое решение задач навигации, ориентации, управления и безопасности полета воздушного судна.

По сферам применения на борту вычислительные средства разделяются на три группы: специализированные вычислительные устройства (ВУ), многоцелевые вычислительные машины и вычислительные системы.

По способам представления информации и принципам ее обработки бортовые вычислительные средства делятся на аналоговые, цифровые и комбинированные (аналого-цифровые).

Способность аналоговых ВУ обрабатывать информацию в темпе ее поступления от аналоговых датчиков, а также удобство их взаимного сопряжения делают такие ВУ конкурентноспособными при выборе средств для решения отдельных задач. Однако аналоговые ВУ имеют существенные недостатки: ограниченные возможности запоминания и хранения информации; ограниченные логические возможности при организации вычислений, контроле оборудования; наличие прямо пропорциональной зависимости между весом и объемом оборудования, входящего в ВУ, и сложностью (заданной точностью) решаемых задач. В связи с этим аналоговые ВУ применяются на борту для решения узкого круга задач в упрощенной постановке, требующего, как правило, вмешательства оператора.

Специализированные цифровые ВУ обрабатывают информацию, представленную в цифровой форме. Алгоритм обработки информации в таких устройствах жестко определен их схемным построением. Цифровые ВУ применяются на борту для решения задач, характеризующихся информационной однородностью, постоянством алгоритма их решения.

Стремление объединить достоинства аналоговой и цифровой вычислительной техники обусловило создание комбинированных бортовых ВУ, в которых в определенной мере используются как аналоговые, так и цифровые формы представления и принципы обработки информации. Однако и комбинированные, и цифровые ВУ обладают общим с аналоговыми ВУ недостатком — отсутствием гибкости и логической универсальности при расширении круга решаемых задач.

Существенное расширение функций бортовых вычислительных средств стало возможным благодаря успехам микроэлектроники, созданию цифровых элементов высокой степени интеграции. Разработка на их основе компактных многоцелевых бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ) и их использование в составе навигационно-пилотажных комплексов (НПК) позволило: применить более сложные и точные алгоритмы решения задач; использовать значительно больший объем априорной информации; повысить уровень информационного обеспечения экипажа; унифицировать средства преобразования и отображения информации, обеспечив более гибкие функциональные связи между ними; организовать автоматический контроль работоспособности НПК, включая БЦВМ.

Вместе с тем использование БЦВМ в качестве центрального звена НПК предъявляет высокие требования к надежности машины. Поэтому на борту современных воздушных судов нашли применение многомашинные вычислительные системы. В их состав могут входить специализированные аналоговые и цифровые вычислители в качестве устройств в системах датчиков и одна или несколько ЦВМ. На последние возлагаются функции диспетчеризации и выработки решений по управлению воздушным судном (ВС) на основе обработки данных от периферийных вычислителей.

Наряду с многомашинными бортовыми вычислительными системами (БВС) получили также развитие и применение многопроцессорные вычислительные системы. В таких БВС многопроцессорная система объединена общей памятью и управляется общей операционной системой. Этим достигаются более высокие динамические характеристики вычислительной систе-

мы за счет возможности организации автоматической перестройки структуры при отказах отдельных процессоров или других устройств.

Дальнейший этап на пути создания БВС, удовлетворяющий современным требованиям к уровню автоматизации полета воздушных судов — построение распределенных вычислительных систем. Характерными особенностями таких систем являются иерархический и модульный принципы реализации их структуры на основе широкого использования микропроцессорной техники. В таких вычислительных системах обеспечивается возможность: применять микропроцессоры в каждом модуле для решения функциональных задач своего уровня; распределять модули в соответствии с потребностями информационного обеспечения; изменять структуру системы путем дополнительного включения модулей; освобождать вычислительные средства более высокого уровня от громоздких задач первичной обработки информации, требующей большого объема памяти и высокого быстродействия; улучшать эксплуатационные характеристики вычислительной системы.

Следовательно, можно утверждать, что достижения в области теории построения вычислительных структур, а также успехи в микроэлектронике — основа дальнейшего создания и развития высокопроизводительных и надежных бортовых средств вычислительной техники.

ГЛАВА I

ОПЕРАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УЗЛЫ АНАЛОГОВЫХ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

1.1. Общая характеристика операционных элементов и узлов

Структурные схемы аналоговых БВУ. При построении аналоговых БВУ и изучении принципов их действия используют схемы, указывающие на характер взаимодействия входящих в них операционных элементов и узлов (блоков). Последние представлены в схемах в виде прямоугольников, внутри которых указан вид выполняемых ими математических операций или их условные обозначения.

В аналоговых БВУ носителями информации являются три физические величины: напряжение постоянного тока, напряжение переменного тока и угол поворота вала. Поэтому операционные блоки (ОБ) по своему физическому исполнению представляют собой механические, электрические и электромеханические системы, моделирующие элементарные математические операции решаемых уравнений.

Связь между электрическими ОБ изображают одной сплошной линией, между механическими — двумя параллельными сплошными линиями. Связь электромеханических блоков изображают в зависимости от физического представления моделируемых величин. Направление передачи информации указывают стрелками. Выбор конкретных типов ОБ определяется техническим заданием на разработку БВУ, его назначением и условиями эксплуатации.

Вид ОБ, характер их взаимного подключения, а следовательно, и схема вычислительного устройства существенно зависят от формы представления решаемого (моделируемого) уравнения. Например, вычислительные устройства для решения уравнения

$$y = x_1 \operatorname{tg} x_2 \quad (1.1)$$

могут быть выполнены в соответствии со схемами, приведенными на рис. 1.1. В первой из них используется блок, реализующий функцию тангенса (БТ), и блок перемножения (БП). Вторая схема реализует уравнение (1.1), приведенное к виду

$$y = x_1 \frac{\sin x_2}{\cos x_2}. \quad (1.2)$$

В ней используются блоки, реализующие функции синуса и косинуса (БС и БК), блок деления (БД), блок перемножения (БП). Представим (1.1) в неявном виде:

$$y - x_1 \operatorname{tg} x_2 = 0, \quad (1.3)$$

которое можно реализовать с помощью третьей схемы. Решение производится путем автоматического подбора корня переменной y исполнительным блоком (ИБ), воспроизводящим зависимость $y = \epsilon K$, где K — коэффициент усиления ИБ. При ограниченном значении y и достаточно большом значении K результат сравнения $\epsilon = y/K$ стремится к пренебрежимо малому значению, следовательно,

$$y = x_1 \operatorname{tg} x_2 + \epsilon = x_1 \operatorname{tg} x_2.$$

Основные элементы ОБ аналоговых БВУ — синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ), сельсины, магнитные усилители (для моделирования на переменном токе), прецизионные многооборотные потенциометры (для моделирования на постоянном токе). Кроме того, широко используются электрические машины постоянного и переменного тока, работающие в режимах двигателей и генераторов. Для кинематической связи между элементами ВУ, а также для выполнения некоторых вычислительных операций в состав операционных блоков ВУ могут входить следующие типовые электромеханические элементы: механические ре-

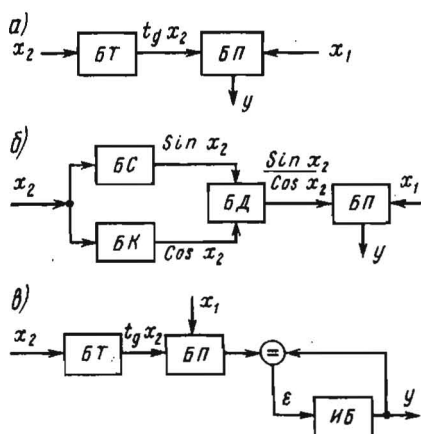


Рис 1.1. Схемы преобразования $y = x_1 \operatorname{tg} x_2$

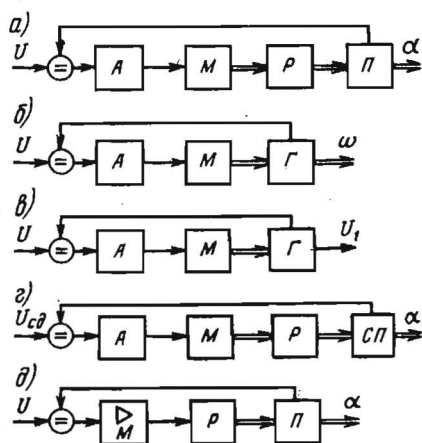


Рис 1.2. Схемы систем ввода и вывода аналоговых величин

дукторы и дифференциалы, электромагнитные функциональные муфты, механические счетчики.

Для усиления моментов передачи и соответствующего преобразования входных и выходных величин в аналоговых БВУ широко применяются системы, схемы которых приведены на рис. 1.2.

На рис. 1.2, а, б приведены схемы следящих систем, которые по входным напряжениям U вырабатывают угол поворота вала α потенциометра Π (см. рис. 1.2, а) и скорость вращения выходного вала генератора Γ (см. рис. 1.2, б). В первой следящей системе в качестве элемента обратной связи использован потенциометр, во второй — генератор, обычно являющийся конструктивной частью двигателя.

При сопряжении операционных блоков необходимо учитывать нагрузку последующего блока на предыдущий. В ряде случаев для выполнения этого условия между блоками включают развязывающие усилители или используют следящие системы (рис. 1.2, в). На рис. 1.2, г приведена блок-схема системы автоматической отработки угла поворота α сельсина-приемника $СП$ по напряжению $U_{сд}$, пропорциональному углу поворота сельсина-датчика. В качестве элемента обратной связи в системе использован сельсин-приемник.

В блок-схемах следящих систем допускается совмещение изображений их элементов. На рис. 1.2, д приведена блок-схема рассмотренной выше (см. рис. 1.2, а) следящей системы, усилитель и двигатель в которой изображены одним элементом.

Обратимость ОБ. Операционные блоки подразделяются на необратимые (направленные) и обратимые. В необратимом блоке вход и выход не могут быть взаимозаменяемыми: на вход такого блока можно только подавать величину, а на выходе только получать.

ОБ называется обратимым, если он позволяет в результате преобразования выходной величины в обратном направлении получить заданную. Таким образом, блок обладает обратимостью, если при прямом преобразовании он реализует

$$Z = \varphi(x), \quad (1.4)$$

а при обратном преобразовании

$$x = \varphi^{-1}(z), \quad (1.5)$$

где функция φ^{-1} является обратной по отношению к функции φ . Примерами обратных преобразований по отношению к функциям x , $\sin x$, p (p — оператор дифференцирования) являются соответственно преобразования $\sqrt{x}$, $\arcsin x$, $\frac{1}{p}$.

Различают блоки, обладающие свойством естественной обратимости и не обладающие ими. Примером блоков с естественной обратимостью может служить электрический генератор, который при соответствующем включении может работать в режиме двигателя, что позволяет, как это будет показано ниже, в первом случае реализовать операцию дифференцирования, во втором — интегрирования. Свойство обратимости значительно расширяет возможности операционных блоков. Однако подавляющее большинство их не обладает таким свойством, что приводит к необходимости прибегать к созданию искусственной обратимости.

Пусть ОБ (рис. 1.3,а) реализует выражение $z = x^2$. Если блок обладает естественной обратимостью, то для осуществления обратной операции над величиной x достаточно его выход сделать входом (рис. 1.3,б), а вход выходом. Если блок таким свойством не обладает, то его можно использовать для выполнения обратной операции путем приведения выражения $z_1 = \sqrt{x}$ к виду, содержащему прямоую (в данном случае возведение в квадрат) операцию над z_1 . Возведя обе части этого выражения в квадрат, получим $z_1^2 = x$ или $z_1^2 - x = 0$. Это уравнение в неявной форме описывает зависимость между z_1 и x . Схемы электромеханической и электрической систем, реализующих это уравнение, показаны соответственно на рис. 1.4, а, б. Решение уравнения сводится к автоматическому

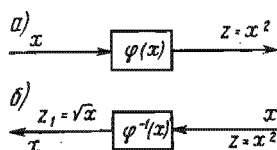


Рис. 1.3. Прямое и обратное преобразование величин при помощи блоков с естественной обратимостью

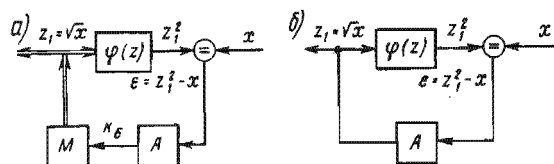


Рис. 1.4. Обратное преобразование величин на основе искусственной обратимости

подбору такого значения переменной z_1 на входе ОБ, при котором разность $z_1^2 - x = \epsilon$ стремится к абсолютно малой величине, что может быть лишь при условии, когда z_1 стремится к значению $\sqrt{x}$.

1.2. Операционные блоки аналоговых БВУ

Потенциометрические операционные блоки. В аналоговых БВУ с помощью схем на потенциометрах выполняется широкий класс математических операций: алгебраическое сложение, умножение, деление, функциональное преобразование.

Для выполнения указанных операций широко используются самобалансирующиеся электромеханические мосты, значения выходных величин у которых выдаются в виде относительных сопротивлений. Известно, что условие электрического равновесия мостовой схемы, приведенной на рис. 1.5 (равенство потенциалов в точках a и b), обеспечивается при условии

$$R_2 R_3 = R_1 R_4. \quad (1.6)$$

Если в качестве отрабатывающего реостата использовать R_2 , то, решив относительно последнего равенство (1.6), получим

$$R_2 = R_1 R_4 / R_3. \quad (1.7)$$

Выбрав значения сопротивлений в выражении (1.7) пропорциональными исходным переменным, можно реализовать заданную математическую операцию. Например, для моделирования операции $x_1 + x_2 + x_3$ сопротивление R_1 в мостовой схеме должно представлять три последовательно соединенных между собой переменных сопротивления r_1, r_2, r_3 . Выбрав $x_1 = m_x r_1, x_2 = m_x r_2, x_3 = m_x r_3$ при $R_3 = R_4$, получим

$$R_2 = r_1 + r_2 + r_3 = (x_1 + x_2 + x_3) / m_x$$

В случае разбаланса мостовой схемы, вызванного, например, изменением слагаемых, следящая система будет обеспечивать перемещение движка потенциометра R_2 до тех пор, пока восстановится равновесие схемы, соответствующее новому решению. Подобным образом соотношение (1.7) можно использовать для выполнения операций умножения, деления. В случае выбора нелинейных сопротивлений в соотношении (1.7) можно реализовать нелинейные функциональные преобразования.

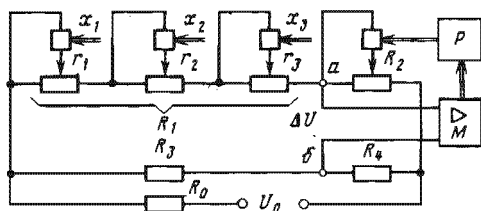


Рис. 1.5. Мостовая схема сложения с автоматическим уравниванием

Для реализации функций синуса и косинуса, а также получения на их основе других тригонометрических функций в БВУ используются синусно-косинусные потенциометры (СКП). Конструктивно они могут быть выполнены на прямоугольных или профилированных каркасах, а также в виде линейных потенциометров с шунтированием. На рис. 1.6, а приведены аппроксимированные функции синуса и косинуса, полученные путем шунтирования участков потенциометра. Напряжения U_1 , U_2 (рис. 1.6, б), снимаемые с выходных клемм потенциометра,

$$U_1 = \frac{U_0}{2} \sin \alpha;$$

$$U_2 = \frac{U_0}{2} \sin (90^\circ + \alpha) = \frac{U_0}{2} \cos \alpha. \quad (1.8)$$

Операционные блоки на вращающихся трансформаторах. На рис. 1.7, а приведена схема включения синусно-косинусного вращающегося трансформатора (СКВТ). Если в СКВТ распределение магнитных потоков Φ_{c1} , Φ_{c2} пропорционально напряжениям статорных обмоток U_{c1} , U_{c2} (рис. 1.7, б), то напряжения, снимаемые с его роторных обмоток:

$$U_{p1} = m(U_{c1} \sin \alpha + U_{c2} \cos \alpha); \quad U_{p2} = m(U_{c1} \cos \alpha - U_{c2} \sin \alpha), \quad (1.9)$$

где $m = w_2/w_1$ — коэффициент трансформации СКВТ; α — угол поворота его ротора.

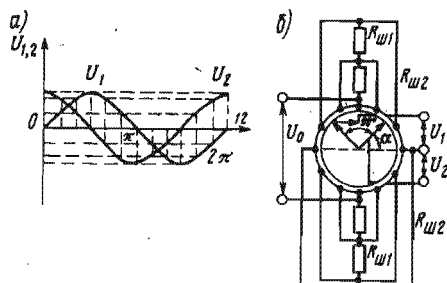
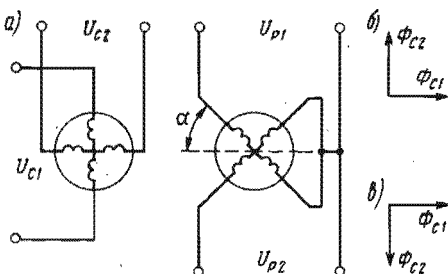


Рис. 1.6. Синусно-косинусные функции и реализующий их потенциометр

Рис. 1.7. Схемы включения СКВТ и распределения его магнитных потоков



Для изменения направлений магнитных потоков следует изменить фазу подаваемого напряжения U_{c2} путем переключения соответствующих клемм (рис. 1.7, б). Тогда напряжения:

$$\begin{aligned} U_{p1} &= m (U_{c1} \sin \alpha - U_{c2} \cos \alpha); \\ U_{p2} &= m (U_{c1} \cos \alpha + U_{c2} \sin \alpha). \end{aligned} \quad (1.10)$$

В БВУ приведенные свойства СКВТ используются для выполнения широкого класса тригонометрических преобразований. На рис. 1.8 приведен навигационный треугольник скоростей, проекции путевой скорости V_{Π} которого на прямоугольную систему координат (x, z):

$$\begin{aligned} V_x &= V_{\Pi} \sin \psi; \\ V_z &= V_{\Pi} \cos \psi. \end{aligned} \quad (1.11)$$

Уравнения (1.11) аналогичны выражениям (1.9) при закороченной обмотке статора C_2 ($U_{c2} = 0$). Вектор путевой скорости V_{Π} при этом моделируется напряжением U_{c1} , путевой угол ψ — углом поворота ротора α , составляющие вектора V_x и V_z — соответственно напряжениям U_{p1} , U_{p2} .

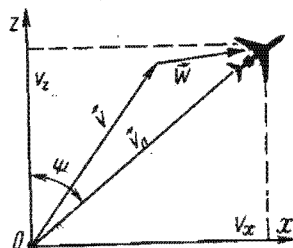


Рис. 1.8. Навигационный треугольник скоростей

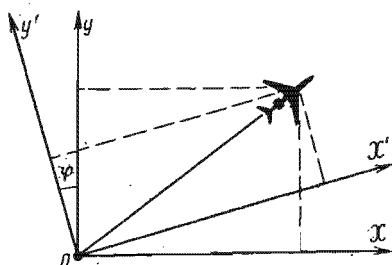


Рис. 1.9. Преобразование прямоугольных координат

Операция "Плоский поворот координат", довольно часто применяемая в аналоговых БВУ, представляет собой преобразование прямоугольных координат (X, Y) некоторой точки на плоскости в координаты (X', Y') . Операция поворота прямоугольных координат на угол φ (рис. 1.9):

$$\begin{aligned} X' &= Y \sin \varphi + X \cos \varphi; \\ Y' &= Y \cos \varphi - X \sin \varphi. \end{aligned} \quad (1.12)$$

Для автоматического преобразования координат X, Y в X', Y' достаточно использовать СКВТ, включенный по схеме, показанной на рис. 1.7, б. При этом X, Y, φ будут моделироваться соответственно величинами U_{c1}, U_{c2}, a , а преобразованные координаты X', Y' — напряжениями U_{p1}, U_{p2} .

Операция преобразования прямоугольных координат в полярные описывается выражениями:

$$V_{\pi} = \sqrt{V_x^2 + V_z^2}; \quad \psi = \arctg \frac{V_x}{V_z}. \quad (1.13)$$

Пусть в выражении (1.9) $U_{p2} = 0$. Тогда $U_{c1} \cos a = U_{c2} \sin a$. Откуда:

$$\operatorname{tg} a = U_{c1} / U_{c2}; \quad a = \arctg U_{c1} / U_{c2}. \quad (1.14)$$

Известно, что:

$$\sin a = \operatorname{tg} a / \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 a}; \quad \cos a = 1 / \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 a}.$$

Подставив в последние уравнения значение $\operatorname{tg} a$ из выражения (1.14), получим:

$$\sin a = U_{c1} / \sqrt{U_{c1}^2 + U_{c2}^2}; \quad \cos a = U_{c2} / \sqrt{U_{c1}^2 + U_{c2}^2}.$$

Используя значения синуса и косинуса угла в первом уравнении выражения (1.9), получим

$$U_{p1} = m\sqrt{U_{c1}^2 + U_{c2}^2}. \quad (1.15)$$

Сравнивая выражения (1.15), (1.14) с (1.13), видим, что при $U_{p2} = 0$ и наличии пропорциональности между U_{c1} и V_x , U_{c2} и V_z напряжение U_{p1} будет пропорционально модулю вектора путевой скорости V_n , а угол поворота ротора α — заданному путевому углу ψ .

Процесс преобразования прямоугольных координат в полярные можно легко автоматизировать при помощи следящей системы, как это показано на рис. 1.10. Двигатель M через редуктор P будет вращать вал ротора СКВТ до тех пор, пока напряжение, снимаемое со второй обмотки ротора ΔU_{p2} , станет равным нулю. При этом U_{p1} будет моделировать V_n , а полученный угол поворота ротора α — путевой угол ψ .

При помощи СКВТ, включенного по схеме, приведенной на рис. 1.7, б, можно реализовать операции тригонометрического преобразования суммы и разности углов. Пусть $U_{c1} = \cos \beta$ и $U_{c2} = \sin \beta$, тогда в соответствии с выражением (1.9):

$$\begin{aligned} U_{p1} &= m(\cos \beta \sin \alpha + \sin \beta \cos \alpha) = m \sin (\beta + \alpha); \\ U_{p2} &= m(\cos \beta \cos \alpha - \sin \beta \sin \alpha) = m \cos (\beta + \alpha). \end{aligned} \quad (1.16)$$

При $U_{c1} = \sin \beta$ и $U_{c2} = \cos \beta$ соответственно получим:

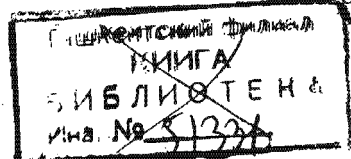
$$\begin{aligned} U_{p1} &= m(\sin \beta \sin \alpha + \cos \beta \cos \alpha) = m \cos (\beta - \alpha); \\ U_{p2} &= m(\sin \beta \cos \alpha - \cos \beta \sin \alpha) = m \sin (\beta - \alpha). \end{aligned} \quad (1.17)$$

Операцию линейного преобразования можно осуществить с помощью СКВТ, соединив его обмотки по схеме, приведенной на рис. 1.11, а. Можно показать, что на выходе ротора СКВТ, включенного по такой схеме, напряжение

$$U_{p1} = U_{c1} m \sin \alpha / (1 + m \cos \alpha). \quad (1.18)$$

В ограниченном диапазоне изменения угла поворота ротора α зависимость между U_{p1} и α линейна (рис. 1.11, б). Например, при $m=0,565$ относительная погрешность воспроизведения линейной функции при $0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ не превышает 0,1 %. Следовательно, при соответствующем ограничении диапазона изменения угла α вместо выражения (1.18) можно принять

$$U_{p1} = k\alpha. \quad (1.19)$$



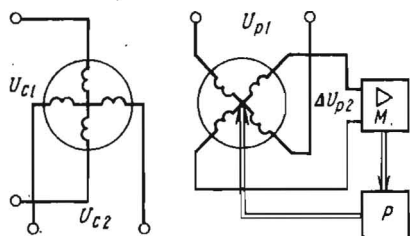


Рис. 1.10. Схема автоматического преобразования прямоугольных координат в полярные

СКВТ, реализующий зависимости (1.19), называется линейным вращающимся трансформатором (ЛВТ).

Если в ЛВТ угол поворота ротора фиксируется, то такой ВТ называется *масштабным*. Линейный и масштабный ВТ применяются в электромеханических элементах БВУ для преобразования угловых величин в напряжения для согласования масштабов.

СКВТ получили также широкое применение в преобразователях угловых перемещений в код в качестве фазовращателей (ФВ). В преобразователях такого типа, получивших в бортовом оборудовании название СКТ, производится последовательное преобразование угол — фаза — временный интервал — код. Для преобразования угла поворота оси датчика в сдвиг фаз используются СКВТ.

Функциональная схема такого преобразователя приведена на рис. 1.12, а. Снимаемые с фазовращателя (с роторных обмоток СКВТ) напряжения:

$$U_{p1} = m U_c \sin \alpha \cos \omega t; \quad U_{p2} = m U_c \cos \alpha \cos \omega t,$$

где ω — частота питающего напряжения; U_c — амплитуда питающего напряжения.

Если в фазосдвигающей цепочке (ФСЦ) параметры подобраны так, чтобы $\omega RC = 1$, то общий фазовый сдвиг между напряжениями U_1 и U_2

$$\varphi_{1,2} = 2\alpha - \pi/2.$$

Этот фазовый сдвиг с помощью схем сравнения (компараторов) СС1 и СС2 преобразуется во временной интервал. Для этого компараторы определяют моменты времени, в которые

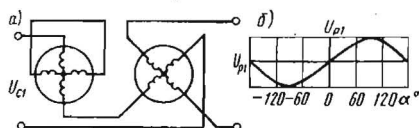


Рис. 1.11. СКВТ в режиме линейного преобразования переменных и его выходная характеристика

ω у таких генераторов должна быть линейной в достаточно широком диапазоне.

Известно, что напряжение на выходе генератора, работающего в режиме холостого хода,

$$U = c U_{\text{в}} \frac{d\varphi}{dt}, \quad (1.20)$$

где $U_{\text{в}}$ — напряжение возбуждения генератора; φ — угол поворота якоря генератора; c — постоянный коэффициент для данного генератора.

Если, например, исходные величины x и y представить соответственно углом поворота якоря $\varphi = m_x x$ и напряжением возбуждения $U_{\text{в}} = m_y y$, то

$$U = c U_{\text{в}} \frac{d\varphi}{dt} = k y \frac{dx}{dt}, \quad (1.21)$$

где $k = c m_x m_y$ — постоянная величина.

Для генераторов постоянного тока, используемых в комплексах бортового оборудования (тахогенераторов), в зависимости от способа их возбуждения напряжение $U_{\text{в}}$ может быть неизменным (при возбуждении от постоянного магнита) или изменяемым (при возбуждении от независимого источника возбуждения). В последнем случае при помощи тахогенераторов (ТГ) можно выподнить операцию умножения изменяемой во времени величины y на производную по времени от переменной x .

Эту же операцию можно выполнить и с помощью генераторов переменного тока — асинхронных тахогенераторов. В отличие от ТГ в асинхронных тахогенераторах (АТ) напряжение возбуждения представляет собой напряжение переменного тока, величину амплитуды которого можно изменять по заданному закону.

Общим недостатком ТГ является их относительно большая инерционность, а следовательно, и невысокая точность. Поэтому в комплексах бортового оборудования широкое применение получили АТ, имеющие малую инерционность вращающихся частей за счет выполнения якоря в виде легкого полого цилиндра.

Свойство естественной обратимости электрических машин позволяет их использовать для реализации операции интегрирования. Для электрической машины, работающей в режиме двигателя, на основании выражения (1.20)

$$\varphi = \frac{1}{c} \int_{t_1}^{t_2} U dt. \quad (1.22)$$

В бортовых ВУ широкое применение получили двигатели-генераторы, конструктивно выполненные в одном корпусе, содержащем двухфазный двигатель переменного тока с полым ротором и тахогенератор. Аналогичное конструктивное исполнение имеют двигатели-генераторы, состоящие из двухфазного двигателя переменного тока и асинхронного тахогенератора с полым ротором.

При наличии нагрузки на генератор за счет реакции якоря линейная зависимость между генерируемым напряжением и скоростью вращения якоря искажается тем значительнее, чем больше ток нагрузки. Поэтому на практике операционные блоки на тахогенераторах строят с использованием следящих систем, обеспечивающих их работу в режиме, близком к холостому ходу.

Так, на рис. 1.13 приведена схема электромеханического блока на переменном токе, автоматически реализующего дифференцирование независимой переменной x . При вводе переменной в виде скорости угла поворота ротора АТ на выходе последнего получим напряжение

$$U_{AT} = m_1 U_B \frac{dx}{dt}. \quad (1.23)$$

Напряжение U_{AT} сравнивается с напряжением масштабного вращающегося трансформатора $U_{МВТ}$ при помощи следящей системы. Последняя путем автоматического сведения ΔU к нулю поддерживает равенство

$$U_{AT} = U_{МВТ}. \quad (1.24)$$

Следовательно,

$$U_{МВТ} = n U_{ЛВТ} = n m_2 U_B y, \quad (1.25)$$

где $U_{ЛВТ}$ — напряжение на выходе линейного ВТ; n и m_2 — коэффициенты передачи масштабного и линейного ВТ.

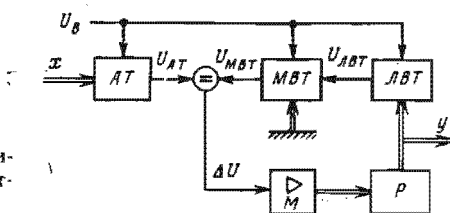


Рис. 1.13. Схема электромеханического дифференцирующего устройства

При $n = m_1/m_2$ на основании выражений (1.23) — (1.25):

$$m_1 U_B \frac{dx}{dt} = m_1 U_B y; \quad (1.26)$$

$$y = \frac{dx}{dt}.$$

Для реализации операции интегрирования изменим рассмотренную выше схему так, как это показано на рис. 1.14. Независимой переменной здесь является угол поворота ротора ЛВТ, напряжение на выходе которого с учетом масштаба, вносимого МВТ, автоматически обрабатывается с помощью АТ и следящей системы. При удовлетворении выражения (1.24)

$$m_1 U_B \frac{dy}{dt} = m_1 U_B x,$$

откуда

$$y = \int_1^{t_2} x dt. \quad (1.27)$$

Интегрирующие ВУ, построенные на базе генераторов как постоянного, так и переменного тока с использованием следящих систем, получили название *интегрирующих приводов* (ИП), широко применяемых в аналоговых БВУ.

В качестве интегрирующих элементов на борту ВС находят также применение *шаговые электродвигатели* (ШД), преобразующие унитарный код в угол поворота вала ротора. С помощью электронного коммутатора каждому импульсу управления, подаваемому на ШД, соответствует поворот вала на фиксированный угол — шаг двигателя. Скорость вращения и суммарный угол поворота вала пропорциональны соответственно частоте и числу поданных импульсов управления.

При изменении последовательности управляющих импульсов по произвольному закону ШД работает в режиме слежения, воспроизводя с точностью до шага требуемое движение, заданное в импульсной форме. При отсутствии импульсов

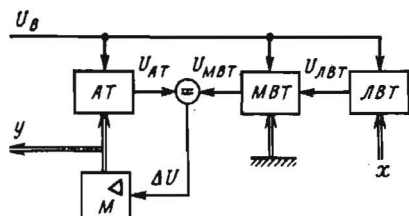


Рис. 1.14. Схема электромеханического интегрирующего устройства

на входе электронного коммутатора ШД создает фиксирующий момент.

ШД получили широкое применение в бортовых системах ЛА в связи с рядом достоинств: не критичностью (с точностью до одного шага) к изменению параметров и условий работы; надежностью и простотой реализации режимов работы; отсутствием промежуточных преобразований информации, заданной в импульсной форме.

Операционные блоки на магнитных усилителях. В аналоговых БВУ используются *магнитные усилители* (МУ) с глубокой отрицательной обратной связью. Наличие внешней обратной связи и входных цепей позволяет использовать такие усилители для выполнения различных математических операций. *Операционные магнитные усилители* (ОМУ) могут состоять из одного и более каскадов усиления. С целью уменьшения веса в бортовом оборудовании используются чаще однокаскадные ОМУ.

Напряжение на выходе ОМУ, схема которого приведена на рис. 1.15,

$$U_{\text{вых}}(p) = \frac{Z_{\text{ос}} p}{Z_y p} \times \frac{W_y}{W_{\text{ос}}} U_y(p), \quad (1.28)$$

где $Z_{\text{ос}}(p)$, $Z_y(p)$ — соответственно сопротивления в цепях обратной связи и управления ОМУ, выраженные в операторной форме; $W_{\text{ос}}$, W_y — обмотки обратной связи и управления; $U_y(p)$ — напряжение в цепи управления.

Выбирая различные комбинации отношения $\frac{Z_{\text{ос}}(p)}{Z_y(p)}$ ОМУ можно выполнить широкий класс математических операций.

Из выражения (1.28) следует, что для реализации операции умножения переменной x на постоянный коэффициент

$$y = ax \quad (1.29)$$

необходимо коэффициент a задать величиной, равной произведению отношения значений активных сопротивлений в цепях обратной связи и управления МУ на отношение числа витков в этих обмотках. На рис. 1.15 приведена схема ОМУ, реализующего зависимость (1.29). Выразив значение независимой переменной x через входной сигнал усилителя на выходе, получим сигнал, пропорциональный y .

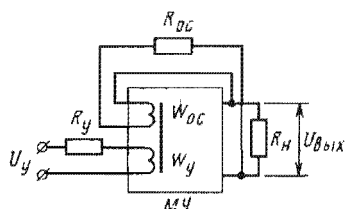


Рис. 1.15. Схема масштабирующего магнитного усилителя

Операция алгебраического сложения величин (рис. 1.16) осуществляется по схеме:

$$y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n. \quad (1.30)$$

Для реализации операции дифференцирования достаточно включить во входную цепь усилителя (рис. 1.17) конденсатор C_y . В общем виде сопротивление цепей управления и обратной связи такого усилителя можно представить так:

$$Z_{oc}(p) = R_{oc} + X_{L_{oc}}(p) + X_{C_{oc}}(p);$$

$$Z_y(p) = R_y + X_{L_y}(p) + X_{C_y}(p),$$

где $X_{L_{oc}}(p)$, $X_{L_y}(p)$ — реактивные индуктивные сопротивления цепей обратной связи и управления; $X_{C_{oc}}(p)$ и $X_{C_y}(p)$ — реактивные емкостные сопротивления этих цепей.

При выполнении неравенств $R_y \ll X_{C_y} \gg X_{L_y}$ и $X_{L_{oc}} \ll R_{oc} \gg X_{C_{oc}}$ с достаточной степенью точности можно записать:

$$Z_{oc}(p) = R_{oc}; \quad Z_y(p) = 1/Cp.$$

На основании выражения (1.28)

$$U_{вых}(p) = \frac{W_y}{W_{oc}} R_{oc} Cp U_{вх}(p),$$

$$\text{или } U_{вых}(t) = \frac{W_y}{W_{oc}} R_{oc} C \frac{dU_{вх}}{dt}. \quad (1.31)$$

Для реализации операции интегрирования необходимо в цепь управления усилителя включить омическое сопротивление, а в цепь обратной связи — конденсатор (рис. 1.18). Тогда на основании выражения (1.28)

$$U_{\text{ВЫХ}}(p) = \frac{W_y}{W_{\text{OC}}} \frac{1}{R_y C_p} U_{\text{ВХ}}(p),$$

или $U_{\text{ВЫХ}}(t) = \frac{W_y}{W_{\text{OC}}} \frac{1}{R_y C} \int_0^t U_{\text{ВХ}} dt.$ (1.32)

Если на входы ОМУ, приведенного на рис. 1.16, включить вместо омических сопротивлений конденсаторы, то

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = \sum_{j=1}^n \frac{W_{yj}}{W_{\text{OC}}} R_{\text{OC}} C_j \frac{dU_{\text{ВХ}j}}{dt}. \quad (1.33)$$

Если же конденсатор обратной связи этого усилителя вместо R_{OC} , то

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = \sum_{j=1}^n \frac{W_{yj}}{W_{\text{OC}}} \frac{1}{R_{yj} C_j} \int_0^t U_{\text{ВХ}j} dt. \quad (1.34)$$

Из выражения (1.28) следует, что при включении во входную цепь и цепь обратной связи ОМУ соответственно R_y и параллельно соединенные R_{OC} и C_{OC} (на рис. 1.18) показано

Рис. 1.16. Схема суммирующего магнитного усилителя

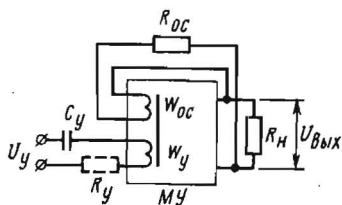
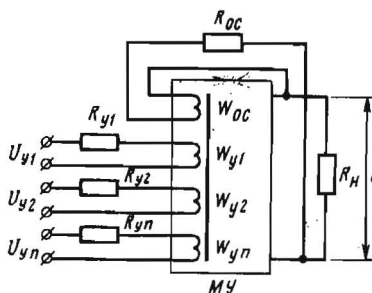


Рис. 1.17. Схема дифференцирующего магнитного усилителя

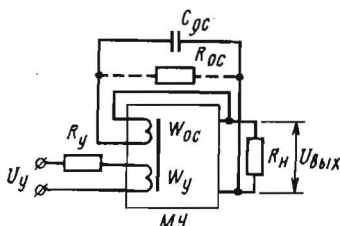


Рис. 1.18. Схема интегрирующего магнитного усилителя

штрихами) передаточная функция его будет иметь вид инерционного звена:

$$W(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = \frac{k}{T_1 p + 1}, \quad (1.35)$$

где $k = R_{\text{ос}} W_y / R_y W_{\text{ос}}$; $T_1 = R_{\text{ос}} C_{\text{ос}}$.

Если в качестве входных сопротивлений усилителя последовательно включить C_y и R_y (на рис. 1.17 показано штрихами), то передаточная функция примет вид

$$W(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = \frac{k_2 T_2 p}{T_3 p + 1}, \quad (1.36)$$

где $k_2 = W_y / W_{\text{ос}}$; $T_2 = R_{\text{ос}} C_y$, $T_3 = R_y C_y$.

Выражение

$$k_2 \frac{T_2 p}{T_3 p + 1} = T_2 p \frac{k_2}{T_3 p + 1}$$

можно рассматривать как последовательное соединение дифференцирующего звена $T_2 p$ и инерционного звена $k_2 / (T_3 p + 1)$. Наличие инерционных свойств у звена $k_2 T_2 p / (T_3 p + 1)$ способствует дополнительному подавлению помех в сигналах производных.

Операционные магнитные усилители, реализующие передаточные функции (1.35) и (1.36), применяются на борту некоторых ВС при моделировании уравнений движения в системах траекторного управления в связи с их устойчивостью к влиянию: повышенной влажности, широкого диапазона изменения температуры, вибрации, ударных ускорений и пр.

ГЛАВА 2

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ ТРАЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

2.1. Некоторые навигационные определения

Параметры положения и движения ВС связаны (рис. 2.1) траекторией движения (1), определенной в пространстве и времени. Точка пространства, в которой находится ВС в заданный момент времени, называется его *пространственным местоположением* (ПМП), проекция ПМП воздушного судна на поверхность Земли — его *местоположением* (МП), а проекция заданной траектории полета на поверхность Земли (2) — *линией заданного пути* (ЛЗП).

Реализация навигационной программы полета осуществляется в различных системах координат. В большинстве систем координат трехмерное движение ВС рассматривается раздельно: местоположение ВС на линии заданного пути и высота его полета H в данный момент времени.

Выбор системы координат для математического описания траектории полета влияет на сложность вычислений и эффективность самолетовождения. При этом требования к системам координат противоречивы, что приводит к необходимости использования нескольких систем. В качестве основной системы координат удобна любая сферическая система, например геоцентрическая (см. рис. 2.1), в которой Земля прини-

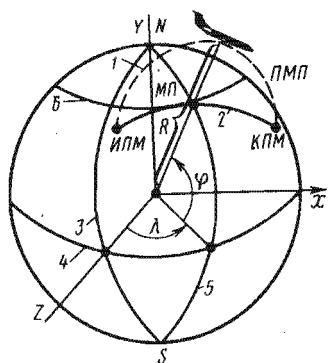


Рис. 2.1. Определение параметров положения и движения ВС в геоцентрической системе координат

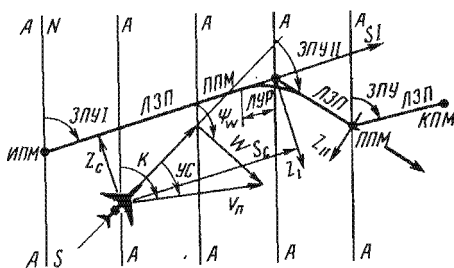


Рис. 2.2. Определение параметров положения и движения ВС в ортодромической системе координат

мается за шар. Координаты этой системы: геоцентрическая долгота λ , широта φ , радиус-вектор пространственного местоположения воздушного судна R . Отсчет ведется от Гринвичского меридиана (3) и экватора (4) по меридиану $МП$.

В современной практике самолетовождения широко применяется ортодромическая система координат. Эта система отличается от геоцентрической тем, что расположение ее осей координат (S, Z) обусловлено граничными точками маршрута (рис. 2.2). Навигация осуществляется по кратчайшему пути — ортодромии. Ортодромия (в переводе с греческого "прямой путь") представляет собой дугу большого круга, образуемую сечением сферы плоскостью, проходящей через ее центр. Через две точки на поверхности сферы: $ИПМ$ — исходный пункт маршрута и точку $КПМ$ — конечный пункт маршрута, не расположенных на противоположных концах диаметра, можно провести только одну ортодромию.

При использовании ортодромической системы координат маршрут разбивается на участки, разделенные промежуточными пунктами маршрута (ППМ). Каждому участку ставится в соответствие своя частная ортодромия. Небольшие расстояния между ППМ (по сравнению с земными параметрами) позволяют при решении задачи определения местоположения ВС использовать частноортодромическую систему координат и рассматривать ее как задачу на плоскости.

Отсчет координат местоположения ВС осуществляется относительно пролетаемого отрезка $ЛЗП$ — частноортодромической системы координат (S, Z). Текущая система координат повернута относительно начальной установки гироагрегата курсовой системы $A-A$ (обычно совпадающей с направлением на географический полюс N) на некоторый заданный путевой угол ($ЗПУ$). Координатами ВС являются: S_c — расстояние от ВС до следующего промежуточного или конечного пункта маршрута и Z_c — боковое отклонение ВС от $ЛЗП$.

Разность путевых углов частной ортодромии в двух ее точках называется *углом схождения меридианов*.

Угол между меридианом местоположения ВС и направлением на заданную точку (обычно радиомаяк) называется *азимутом* (пеленгом) точки.

Для осуществления непрерывного и плавного перехода на следующую ортодромию производится преобразование текущих значений координат ВС в системе S_I, Z_I в следующую систему S_{II}, Z_{II} , и при достижении заданного расстояния до очередного ППМ, называемого *линейным упреждением разворота* (ЛУР), происходит смена ортодромий. При этом, начи-

ная от исходного пункта маршрута (ИПМ), используется условное чередование нечетных ЧОI) и четных (ЧОII) частных ортодромий и соответствующих им ЗПУI и ЗПУII.

Векторы истинной воздушной скорости V , скорости ветра W и путевой скорости $V_{\text{п}}$, связанные соотношением $V_{\text{п}} = V + W$, образуют навигационный треугольник скоростей. Направление указанных векторов определяется величинами углов: курса K , ветра ψ и сноса $УС$. Данные об этих векторах являются исходными при проведении навигационных расчетов.

Таким образом, в частно-ортодромической системе координат основными навигационными параметрами являются: навигационные параметры положения S, Z, H ; навигационные параметры движения ЗПУ, $V_{\text{п}}$.

Вспомогательными к этим параметрам являются $V, W, УС$ (угловая скорость при развороте ω) и др.

2.2. Общая характеристика СТУ

Система траекторного управления самолетом (СТУ) является составной частью его системы автоматического управления (САУ). СТУ предназначена для формирования и индикации команд полуавтоматического (директорного) и автоматического управления самолетом в режиме захода на посадку, а также для получения основных пилотажно-навигационных параметров во всех режимах его полета. Структурная схема СТУ представлена на рис. 2.3.

Формирование командных сигналов управления самолетом при его посадке осуществляется вычислителями В-1, В-2 путем обработки сигналов от систем-датчиков: магнитной гировертикали (МГВ), точной курсовой системы (ТКС), радиотехнической системы "КУРС", доплеровской измерительной системы (ДИСС), навигационного вычислительного устройства (НВУ).

По своему назначению и конструктивному исполнению система разделена на два канала: боковой (вычислители В-1) и продольный (вычислители В-2), вырабатывающие сигналы управления самолетом в соответствующих плоскостях. В каждом из каналов применено трехкратное резервирование вычислительных блоков и встроенный контроль исправности (блоки контроля БК-1, БК-2).

Каждый из двух приборов навигационных плановых (ПНП) объединяет в себе указатели положения самолета в

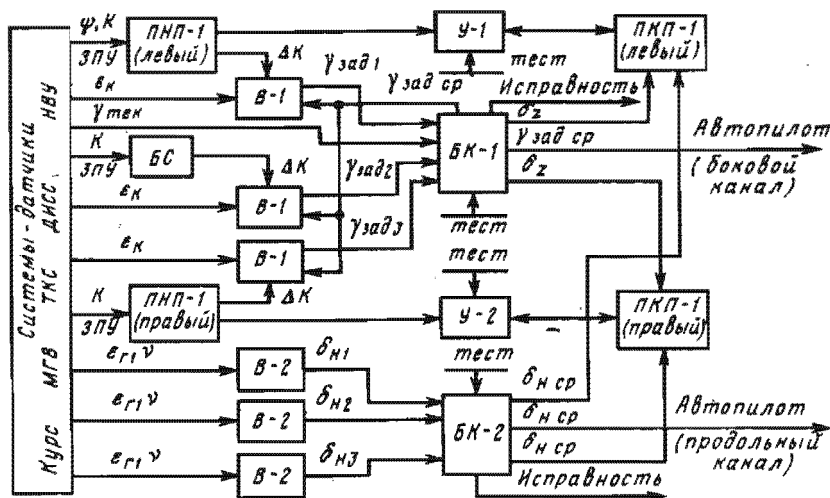


Рис. 2.3. Схема СТУ

горизонтальной плоскости и относительно траектории в вертикальной плоскости.

Каждый из двух приборов командных пилотажных (ПКП) объединяет в себе дистанционный авиагоризонт, командный нуль-прибор, указатели положения самолета относительно заданной траектории, высоты, отклонения от заданной скорости, скольжения.

Связь ПНП и ПКП осуществляется через усилители У-1 и У-2, которые используются для усиления сигналов, поступающих на указатели тангажа, крена, курса, заданного путевого угла, дальности, угла сноса. Параметры, индицируемые ПНП и ПКП, используются при управлении самолетом в процессе его полета по заданной траектории и при заходе на посадку.

Вычислитель В-1 представляет собой устройство аналогового типа и предназначен для формирования сигналов управления движения самолета в боковой плоскости.

Входными сигналами вычислителя являются: сигнал отклонения от заданного курса ΔK и сигнал усредненного заданного крена $\gamma_{зад, ср}$. Сигнал $\Delta K = K \pm ЗПУ$ формируется в ПНП и в блоке суммирования БС. Вычислитель формирует сигнал заданного крена $\gamma_{зад}$. Выходные сигналы $\gamma_{зад, i}$ ($i = 1, 2, 3$) трех вычислителей В-1 поступают на вход блока контроля БК-1, в котором формируется усредненный сигнал $\gamma_{зад, ср}$.

использующийся в качестве положительной обратной связи блоками В-1.

Аналоговый вычислитель В-2 предназначен для формирования сигналов управления движением самолета в продольной плоскости. Входным сигналом вычислителя являются: сигнал отклонений от нулевой линии зоны глиссадного радиомаяка ϵ_r и сигнал тангажа e . Выходной сигнал δ_n поступает на блок контроля БК-2, в котором из сигналов δ_{Hi} трех вычислителей формируется усредненный сигнал $\delta_{н.ср}$, подаваемый на ПКП и на управление продольным каналом автопилота.

Блок суммирования БС предназначен для формирования сигнала ΔK , пропорционального алгебраической сумме углов текущего курса K и заданного путевого узла ЗПУ, а также для обеспечения автоматического захвата глиссады и выдачи при этом команды в виде сигнала постоянного тока.

Блок контроля БК-1, кроме выработки сигнала $\gamma_{зад.ср}$, поступающего на блоки В-1 и в автопилот, формирует также команды управления боковым движением самолета δ_Z , поступающие ПКП ($\delta_Z = \gamma_{зад.ср} + \gamma_{тек}$, где $\gamma_{тек}$ — текущий крен самолета).

Каждый из блоков контроля БК-1, БК-2 обеспечивает непрерывный контроль исправности вычислителей. В случае отказа выход соответствующего вычислителя отключается и выдается сигнал его отказа.

2.3. Устройство и работа вычислителей

Уравнения, реализуемые вычислителями. Работа системы управления при заходе на посадку может рассматриваться как наведение самолета по сигналам (лучам) курсового и глиссадного радиомаяков (КРМ, ГРМ). Для управления положением на траектории используется сигнал ошибки (расогласовывания) между текущим положением центра тяжести самолета и заданной траекторией — курсовой и глиссадной линии, т. е. параметры ϵ_K , ϵ_r . Параметры режимов полета в горизонтальной и вертикальной плоскостях приведены на рис. 2.4 и 2.5.

Для горизонтальной плоскости движения самолета (бокового канала), кроме введенных ранее обозначений, используются следующие параметры: V — воздушная скорость самолета; W — скорость ветра; $УС$ — угол сноса; V_n — путевая скорость; Z — отклонение самолета от линии заданного пути; $\dot{Z}$ — скорость движения самолета от ЛЗП; D — дальность — расстояние от проекции центра тяжести самолета на ЛЗП до

курсового радиомаяка; ϵ_K — угол между ЛЗП и направлением от КРМ к центру тяжести самолета.

Из тригонометрических фигур, показанных на рис. 2.4, получим следующие соотношения: $\operatorname{tg} \epsilon_K = \frac{Z}{D}$, или при достаточно малых значениях ϵ_K , $\epsilon_K = \frac{Z}{D}$. $Z = V_{\Pi} \sin (K-УС)$ или при достаточно малых значениях угла (К-УС) $Z = V_{\Pi} (K-УС) = V_{\Pi} \Delta K$.

Так как при координированном развороте (отсутствии скольжения) тангенс угла крена $\operatorname{tg} \gamma = \frac{V \Delta K}{g}$, то при постоянной скорости движения самолета по ЛЗП можно записать выражения пропорциональности: $\dot{Z} = \Delta K$, $\gamma = \Delta \dot{K}$. Зависимость Z и $\dot{Z}$ от ϵ_K при $\dot{D} = \text{const}$ можно также представить, как $Z = \epsilon_K$, $\dot{Z} = \dot{\epsilon}_K$.

Из полученных соотношений следует, что для реализации управляющего сигнала по курсу $\delta_Z = k (\gamma_{\text{зад.ср}} - \gamma_{\text{тек}})$ достаточно располагать параметрами ΔK , ϵ_K и их производными.

Для вертикальной плоскости (продольного канала) вводятся следующие обозначения параметров (см. рис. 2.5): ν — угол тангажа; θ — угол наклона глissады; α — угол планирования; V — воздушная скорость; $\dot{H}$ — вертикальная скорость; ϵ_r — угол между глissадой и направлением от центра тяжести самолета к глissадному радиомаяку. Для движения самолета в вертикальной плоскости необходимо, чтобы $\nu = \alpha \pm \theta$ или $\Delta \nu = \Delta \alpha \pm \theta$; $\dot{H} = V \sin \theta$ (для малых углов наклона траектории $\dot{H} = V \Delta \theta$). Если считать скорость движения самолета

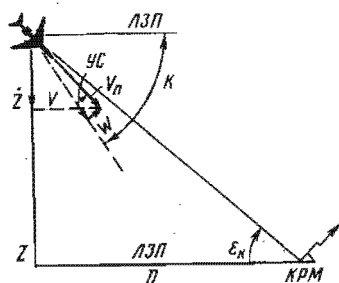


Рис. 2.4. Определение параметров режима полета ВС в горизонтальной плоскости

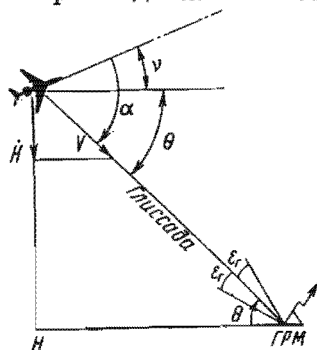


Рис. 2.5. Определение параметров режимов полета ВС в вертикальной плоскости

та по глассе постоянной, то $\dot{H} = \Delta\theta$. Так как для малых значений $\Delta\theta \approx \Delta\epsilon_r$, то $\Delta\dot{H} = \Delta\epsilon_r$ или, считая $\Delta\alpha = 0$, $\Delta\nu \approx \Delta\theta$, $\Delta\nu \approx \Delta\dot{H}$.

Следовательно, для формирования сигналов управления самолетом по глассе δ_n достаточно располагать сигналами ϵ_r , ее производной и углом тангажа ν .

Уравнения, реализуемые вычислителями с учетом фальтрации помех и обеспечения требуемой устойчивости, имеют следующий вид. Для вычислителя бокового канала в директорном режиме

$$\gamma_{\text{зад}} = \left[\left(\frac{k_1 \rho}{T_1 \rho + 1} \Delta K + k_2 \gamma_{\text{зад.ср}} \right) \frac{k_4}{T_1 \rho + 1} + k_{10} \epsilon_k - k_3 \Delta H \right] F_1 + \frac{(k_{17} \epsilon_k + k_5 \Delta K) \rho}{T_5 \rho + 1} + k_6 \Delta K \left\{ \frac{k_{15}}{T_{15} \rho + 1} F_2 \right\}, \quad (2.1)$$

в автономном режиме

$$\gamma_{\text{зад}} = \left\{ \left[\left(\frac{k_1 \rho}{T_1 \rho + 1} \Delta K + k_2 \gamma_{\text{зад.ср}} \right) \frac{k_4}{T_4 \rho + 1} + k_{10} \epsilon_k - k_3 \Delta K \right] \times \right. \\ \left. \times F_1 + \frac{(k_{17} \epsilon_k + k_5 \Delta K) \rho}{T_5 \rho + 1} + k_6 \Delta K \right\} F_2. \quad (2.2)$$

Для вычислителя продольного канала в автономном режиме

$$\delta_n = \left[k_7 \epsilon_r + \frac{k_2 \epsilon_r \rho}{k_{10} k_8 \rho T_2 \rho + 1} F + \frac{k_{11} \rho}{T_{11} \rho + 1} \times (\nu + \nu_{\text{оп}}) \right] \frac{k_4}{T_4 \rho + 1} + \frac{(\nu + \nu_{\text{оп}}) \times k_5}{T_8 \rho + 1}, \quad (2.3)$$

в директорном режиме

$$\delta_n = \left\{ \left[k_7 \epsilon_r + \frac{k_2 \epsilon_r \rho}{T_2 \rho + 1} F + \frac{k_{11} \rho}{T_{11} \rho + 1} \times (\nu + \nu_{\text{оп}}) \right] \frac{k_4}{T_4 \rho + 1} \right\} k_5. \quad (2.4.)$$

Выражения (2.1) — (2.4) отличаются между собой тем, что в уравнении (2.2) отсутствует предпоследний член выражения (2.1), а в зависимости (2.4.) — предпоследний член выражения (2.3). Поэтому при изучении работы вычислителей В-1 и В-2 будет рассмотрена реализация более общих выражений.

Здесь также ограничимся лишь замечанием, что в момент пересечения глассы на вход вычислителя В-1 не подается сигнал ΔK . На высоте 30÷50 м на вход вычислителя В-2 не подается сигнал ϵ_r , а также автоматически осуществляется изменение некоторых коэффициентов (k_5 , k_{10} , k_{17} и др.).

Сигнал ϵ_r отключается и в режиме ухода на второй круг (одновременно изменяется значение опорного тангажа $\gamma_{оп}$ с $-2,5^\circ$ на $+1,5^\circ$).

Вычислитель В-1. Структурная схема вычислителя бокового канала В-1 приведена на рис. 2.6. Вычислитель реализует выражение (2.1) с помощью четырех операционных магнитных усилителей У-1, У-4.

Входной сигнал Δk , преобразованный с помощью фазового детектора ФД в сигнал постоянного тока, поступает на вход У-1 через RC — цепочку, обеспечивающую преобразование $\frac{k_1 p}{T_1 p + 1} \Delta k$. На второй вход У-1 поступает $\gamma_{зад.ср}$. Таким

образом, на выходе У-1, реализующем передаточную функцию суммирующего инерционного звена, получается $\frac{k_4}{T_4 p + 1} (\frac{k_1 p}{T_1 p + 1} \Delta k + k_2 \gamma_{зад.ср})$. Величина $\frac{k_1 p}{T_1 p + 1} \Delta k$ представляет сигнал истинного крена самолета, обозначаемого далее через γ^* . Так как обязательным условием управления является равенство сигналов $\gamma_{зад}$ и $\gamma_{тек}$, то при его выполнении слагаемые в скобках, имеющие разные знаки, скомпенсируются и положительная обратная связь по $\gamma_{зад.ср}$ как бы разорвется.

Часть выражения (2.1), заключенная в квадратные скобки, образуется на выходе сумматора У-2, имеющего инвертирующий вход по слагаемому $k_3 \Delta k$. Эта величина умножается на функцию ограничения выходных сигналов F_1 с помощью схемы диодных ограничителей, включенной на выходе У-2.

Сумматор У-3 с RC -цепочкой на выходе формирует слагаемое $\frac{(k_{17} \epsilon_k + k_5 \Delta k) p}{T_5 p + 1}$ выражения (2.1). Окончательное суммирование составляющих выражения (2.1) и умножение на

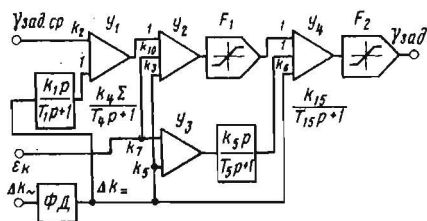


Рис. 2.6. Схема вычислителя бокового канала

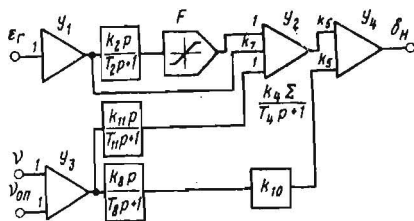


Рис. 2.7. Схема вычислителя продольного канала

$\frac{k_{15}}{T_{15}^{p+1}}$ и функцию ограничения F_2 выполняется с помощью

суммирующего инерционного звена У-4 с диодным ограничителем.

В качестве операционных усилителей применены магнитные усилители с модуляцией-демодуляцией. В результате входной сигнал постоянного тока в усилителе преобразуется (модулируется) в сигнал переменного тока и после усиления и операционного преобразования демодулируется фазочувствительным выпрямителем.

При построении суммирующего инерционного звена в качестве цепочки отрицательной обратной связи операционного усилителя используют параллельно включенные R и C (при этом $T=RC$).

Для получения передаточной функции $kp/(Tp + 1)$ во входную цепь суммирующего операционного усилителя включаются цепочки из последовательно соединенных R и C .

Вычислитель В-2. Структурная схема вычислителя продольного канала В-2 приведена на рис. 2.7. Вычислитель реализует уравнение (2.3) с помощью четырех операционных магнитных усилителей У-1 У-4 (аналогично В-1). Усилитель У-1 используется как согласующий.

С выхода У-1 сигнал ϵ_r поступает через RC -цепочку и диодный ограничитель на один из выходов суммирующего инерционного звена У-2 и непосредственно на другой его вход. Сигнал $(\nu + \nu_{оп})$ с выхода сумматора У-3 через RC -цепочки поступает на входы У-2 и через звено k_{10} на сумматор У-4. Таким образом, на выходе У-2 образуется часть выражения (2.4), заключенная в фигурные скобки, а на выходе У-4 — величина δ_n согласно выражению (2.3).

Блок суммирования. Функциональная схема блока суммирования текущего курса и заданного путевого курса приведена на рис. 2.8.

Механизм сложения — комбинированный узел, который состоит из системы текущего курса I , системы заданного путевого угла II и механической системы алгебраического сложения углов на дифференциале с последующим преобразованием их в электрический сигнал III .

В системе текущего курса в качестве приемника используется СКВТ. С роторной обмотки ЛВТ сигнал, пропорциональный текущему курсу, поступает на вход усилителя переменного тока, а после усиления — на управляющие обмотки двигателя, который через редуктор P отрабатывает ротор ЛВТ.

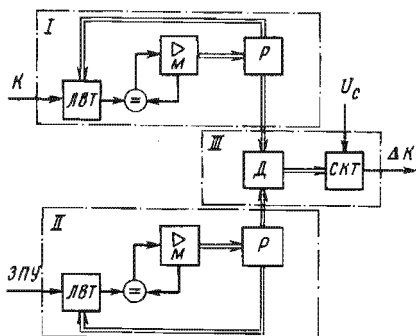


Рис. 2.8. Схема блока суммирования

Одновременно двигатель обрабатывает шестерни дифференциала Δ , служащего для алгебраического сложения курса и заданного путевого угла. Двигатель обрабатывает систему курса до тех пор, пока сигнал на входе усилителя станет равным нулю, что будет соответствовать согласованному положению ротора ЛВТ. С целью улучшения динамических характеристик следящих системы курса в ее обратной связи применен тахогенератор, являющийся конструктивной частью двигателя M .

Система заданного путевого угла аналогична системе текущего курса. В этой системе одновременно с обработкой ротора ЛВТ двигатель через редуктор обрабатывает шестерни дифференциала. Выходная ось дифференциала разворачивает ротор СКТ, который служит для преобразования угла поворота в электрический сигнал, пропорциональный алгебраической сумме углов текущего курса и заданного путевого угла.

2.4. Организация контроля работы вычислителей

Общие сведения. В системе траекторного управления применены два вида встроенного контроля: непрерывный и тест-контроль.

Непрерывному контролю подвергается наиболее ответственная часть системы — вычислительное устройство. Тест-контроль применяется для проверки работоспособности: следящих систем в У-1, У-2, вычислителей, схемы непрерывного контроля вычислителей, блока захвата глиссады.

Встроенный непрерывный контроль вычислителя бокового канала. Контроль вычислителя бокового канала осуществляется блоком БК-1, функциональная схема которого приведена на рис. 2.9. Так как вычислитель имеет два выхода: один по сигналу, выдаваемому в виде напряжений $\gamma_{зд}$, а

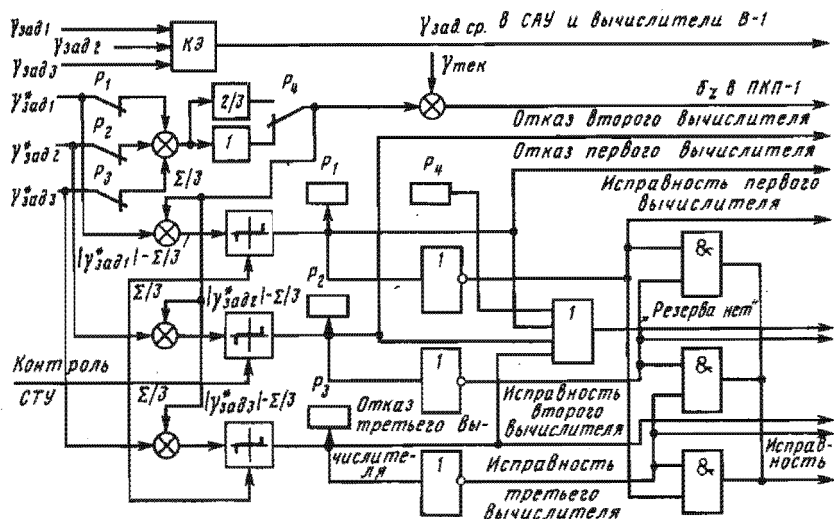


Рис. 2.9. Функциональная схема контроля вычислителя бокового канала

другой по сигналу, выдаваемому в виде тока $U_{\text{зад}}^*$, то и блок БК-1 осуществляет контроль вычислителей по двум каналам соответственно. Контроль сигнала $U_{\text{зад}}$ осуществляется кворум-элементом (КЭ), состоящим из трех управляемых диодных мостов, что соответствует количеству проверяемых каналов вычислителей. Работу КЭ можно охарактеризовать тремя режимами: осреднение трех сигналов, запирающие цепи одного из трех сигналов, выбор промежуточного сигнала.

В режиме осреднения КЭ работает, когда разность напряжений каждого канала и напряжения на общей выходной нагрузке не превышает порогового значения U_0 , т. е. $|U - U_1| < U_0$, $|U - U_2| < U_0$, $|U - U_3| < U_0$, где U — напряжение на общей для трех каналов нагрузке; U_1 , U_2 , U_3 — напряжения на выходе каждого контролируемого вычислителя.

Напряжение на общей нагрузке

$$U = (U_1 + U_2 + U_3) / 3.$$

В режиме запирающего КЭ работает, когда напряжение одного из трех каналов отличается от напряжения на общей нагрузке на величину, превышающую пороговое значение, например:

$$|U - U_1| \leq U_0, |U - U_2| \leq U_0; |U - U_3| \geq U_0.$$

В этом случае цепь третьего канала запирается и напряжение на общей нагрузке

$$U = (U_1 + U_2)/2.$$

В режиме выбора промежуточного сигнала КЭ работает, когда напряжение каждого канала сильно отличается друг от друга, например:

$$|U_1 - U_2| > U_0; |U_2 - U_3| > U_0; |U_1 - U_3| > U_0.$$

При $U_3 > U_2 > U_1$ напряжение на общей нагрузке $U = U_2$.

Таким образом, КЭ сравнивает выходы трех вычислителей по напряжению, осредняет их и при отказе какого-либо вычислителя производит бесконтактное отклонение его. Осредненный сигнал $\gamma_{\text{зад.ср}}$ поступает на вход автопилота, а также в вычислитель для использования его в качестве сигнала положительной обратной связи.

Контроль вычислителей В-1 по сигналу $\gamma_{\text{зад}}^*$ осуществляется путем сравнения сигнала с каждого вычислителя с общим сигналом всех трех вычислителей. Общий сигнал $\gamma_{\text{зад}}$ формируется как средняя величина $\gamma_{\text{зад}}^*$ исправно работающих вычислителей, а затем суммируется с сигналом текущего крена $\gamma_{\text{тек}}$, образуя таким образом командный сигнал δ_Z на стрелки НКП-1.

Если сигнал $\gamma_{\text{зад}}^*$ любого из вычислителей, сравниваемый с общим сигналом $\gamma_{\text{зад}}$ на релейном усилителе, отличается от последнего на некоторую пороговую величину, срабатывает соответствующее реле (P_1 , P_2 или P_3), отключая выход отказавшего усилителя. Одновременно реле P_4 переключает схему осреднения в режим работы с двумя входными сигналами. При этом работает сигнализация "отказ i -го вычислителя" или "отсутствие резерва".

При отказе любых двух вычислителей логическая схема сигнализации (на элементах "И"), снимает сигнал исправности бокового канала вычислительного устройства СТУ.

Встроенный непрерывный контроль вычислителей продольного канала. Вычислитель В-2 в отличие от вычислителя В-1 имеет выход по одному сигналу δ_u . Схема контроля вычислителя В-2 представлена на рис. 2.10. Контроль производится путем сравнения сигналов каждого вычислителя с общим средним сигналом всех трех вычислителей. Формирование общего сигнала и отключение отказавшего вычислителя происходит в кворум-элементе (КЭ).

Встроенный тест-контроль СТУ. Тест-контроль блоков БК-1 и БК-2 аналогичен и заключается в проверке их работо-

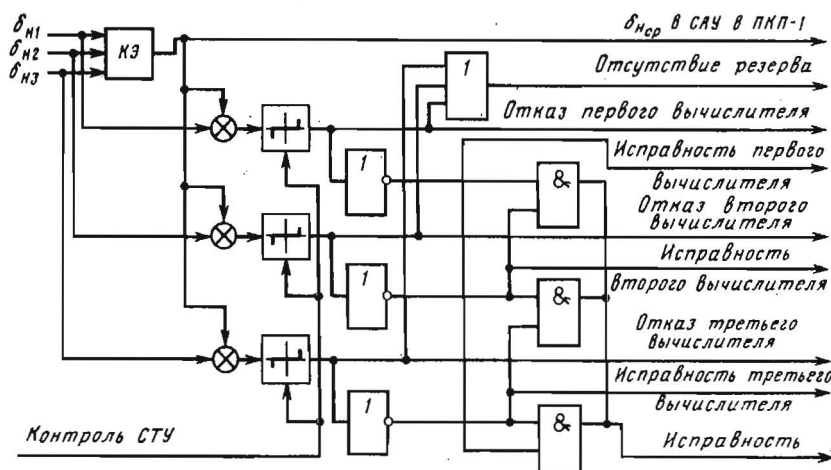


Рис. 2.10. Функциональная схема контроля вычислителя продольного канала

способности по сигналу "Контроль СТУ". Данный сигнал поступает на контрольные обмотки релейных усилителей и в случае неисправности блоков контроля приводит к снятию сигналов "Исправность" и появлению сигналов "Отсутствие резерва", "Отказ вычислителя".

Тестовый контроль вычислителей осуществляется по сигналу "Тест-контроль". При этом на контрольные обмотки усилителей ϵ_T (В-2) и фазового детектора ΔK (В-1) подаются

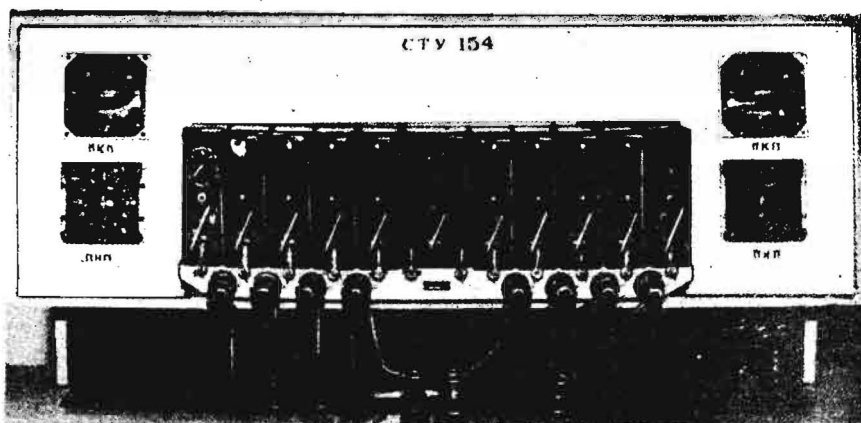


Рис. 2.11. Учебный стенд СТУ-154

тестовые сигналы. Исправность контролируется блоками контроля БК-1, БК-2. Работает индикация "Исправность", и горят лампочки на всех вычислителях.

Проверка СТУ в лабораторных условиях и на объекте. Для проверки исправности работы вычислителей и всей СТУ в целом в лаборатории и на объекте используется контрольно-проверочная аппаратура (КПА) СТУ-1, состоящая из двух комплектов: основного и вспомогательного, содержащего соединительную аппаратуру, жгуты, подставки для приборов НКП-1, ПНП-1. Все виды проверки производятся по перечню, установленному соответствующими инструкциями.

Конструктивно система траекторного управления выполнена в виде отдельных блоков, размещенных на их соединительной коробке. На рис. 2.11 приведен учебный стенд СТУ-154.

НАВИГАЦИОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

3.1. Вывод решаемых уравнений

Общая характеристика. Навигационное вычислительное устройство (НВУ) предназначено для непрерывного автоматического определения и индикации местоположения самолета в частноортодромической прямоугольной системе координат, а также для выдачи данных для автоматического и полуавтоматического полета по маршруту. По своему исполнению НВУ подразделяются на аналоговые и аналого-цифровые. На рис. 3.1 приведена структурная схема взаимодействия НВУ с бортовыми самолетами ВС. Входной информацией НВУ является: текущий условный курс K , получаемый от курсовой системы (КС); истинная воздушная скорость V от системы воздушных сигналов (СВС); сигналы в виде импульсов F_1 и F_2 доплеровского измерителя скорости и угла сноса (ДИСС); значения наклонной дальности L и азимута A от радиотехнической системы ближней навигации (РСБН).

Счисленные с помощью НВУ координаты местоположения самолета S_c , Z_c поступают в систему индикации (СИ). Выходная информация НВУ поступает также на вход системы автоматического управления летательным аппаратом (САУ) для преобразования ее в сигналы управления.

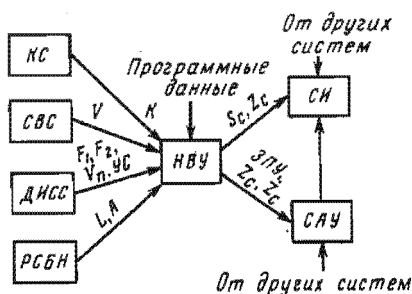


Рис. 3.1. Структурная схема взаимодействия НВУ с бортовыми системами ВС

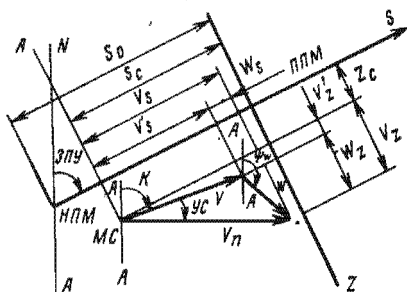


Рис. 3.2. Определение текущих координат ВС методом счисления пути

Основные задачи, решаемые НВУ: определение местоположения самолета по данным от ДИСС и КС; определение местоположения самолета по данным от СВС, КС и параметрам ветра; коррекция численных координат по данным РСБН о положении самолета относительно радиомаяка.

Кроме этих задач, НВУ может решать задачи коррекции численных координат по ориентирам при помощи радиолокационной системы (РЛС), а также программированного управления предпосадочными маневрами и др.

Определение текущих координат ВС (S_c, Z_c) методом счисления пути (рис. 3.2) производится интегрированием составляющих путевой скорости V_s, V_z :

$$S_c = S_0 - \int_{t_1}^{t_2} V_s dt; \quad Z_c = Z_0 - \int_{t_1}^{t_2} V_z dt, \quad (3.1)$$

где S_0, Z_0 — начальные координаты местоположения ВС; $t_2 - t_1$ — время пролета между двумя пунктами маршрута.

Предполагается, что в начальном пункте маршрута (НПМ) $Z_0 = 0$.

Рассматриваемое здесь аналого-цифровое НВУ отражает основные концепции построения навигационных вычислителей различных типов и отличающихся от аналоговых лишь способом раскладки векторов путевой скорости и интегрирования их составляющих.

Определение составляющих путевой скорости по дискретной информации от ДИСС. Работа ДИСС основана на эффекте Доплера, состоящем в том, что отраженный от поверхности Земли радиосигнал бортового передатчика принимается на борту с измененной частотой в зависимости от скорости и направления движения ВС.

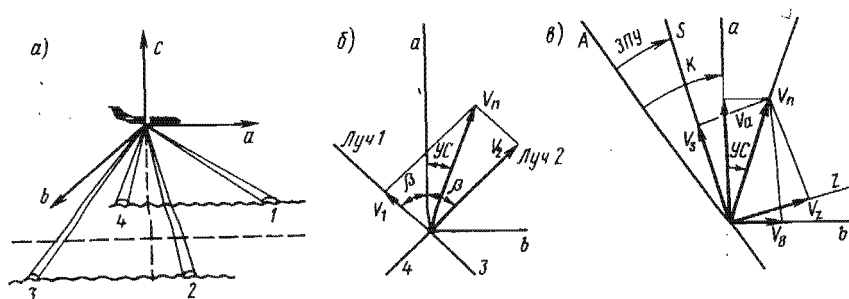


Рис. 3.3. Определение составляющей путевой скорости по данным от ДИСС

Вектор скорости по величине и направлению измеряют относительно опорной системы координат a, b, c , привязанной к излучающей антенне (рис. 3.3).

Для получения составляющих вектора скорости достаточно иметь два луча (однако их может быть и три, и четыре), направленных в различные квадраты системы координат (рис. 3.3, а).

Каждая из получаемых частот F_1, F_2, F_3, F_4 (изменение частоты, сдвиг) будет пропорциональна проекции вектора путевой скорости на направление соответствующего луча V_1, V_2 (рис. 3.3, б):

$$\begin{aligned} F_1 = -F_3 &= k V_1 = k V_{\Pi} \cos(\beta + \gamma C); \\ F_2 = -F_4 &= k V_2 = k V_{\Pi} \cos(\beta - \gamma C), \end{aligned} \quad (3.2)$$

где k — коэффициент, учитывающий параметры ДИСС, а также свойства отражающей поверхности в зависимости от полета над сушей или морем; β — угловой параметр ДИСС.

Задача определения V_s, V_z сводится к выражению через доплеровские частоты значений проекций вектора путевой скорости на подвижную (движущуюся с самолетом) систему координат (a, b) и их преобразованию в неподвижной системе координат (S, Z) (рис. 3.3, в), т. е.

$$V_a = V_{\Pi} \cos \gamma C, V_b = V_{\Pi} \sin \gamma C, \quad (3.3)$$

где V_a, V_b — составляющие путевой скорости в подвижной системе координат, одна ось которой направлена вдоль продольной оси самолета, вторая перпендикулярна к ней.

$$V_s = V_{\Pi} \cos(K - \text{ЗПУ} + \gamma C) = V_a \cos(K - \text{ЗПУ}) - V_b \sin(K - \text{ЗПУ}); \quad (3.4)$$

$$V_z = V_{\Pi} \sin(K - \text{ЗПУ} + \gamma C) = V_a \sin(K - \text{ЗПУ}) + V_b \cos(K - \text{ЗПУ}).$$

Зависимость частот F_1 и F_2 в выражении (3.2):

$$\begin{aligned} F_1 &= k V_{\Pi} (\cos \beta \cos \gamma C + \sin \beta \sin \gamma C), \\ F_2 &= k V_{\Pi} (\cos \beta \cos \gamma C - \sin \beta \sin \gamma C), \end{aligned} \quad (3.5)$$

откуда:

$$F_1 - F_2 = 2k V_{\Pi} \cos \beta \cos \gamma C, F_1 + F_2 = 2k V_{\Pi} \sin \beta \sin \gamma C;$$

$$V_n \cos \gamma_C = \frac{F_1 + F_2}{2k \cos \beta} = V_a, \quad V_n \sin \gamma_C = \frac{F_1 - F_2}{2k \sin \beta} = V_b.$$

Подставив V_a, V_b в выражение (3.4), получим:

$$V_s = F_1 = k_1 (F_1 \cos \gamma + F_2 \cos \gamma - F_1 \sin \gamma + F_2 \sin \gamma); \quad V_z = F_2 = k_2 (F_1 \sin \gamma + F_2 \sin \gamma + F_1 \cos \gamma - F_2 \cos \gamma), \quad (3.6)$$

где $k_1 = 1/2 k \cos \beta$; $k_2 = 1/2 k \sin \beta$; $\gamma = K - \text{ЗПУ}$.

Определение составляющих путевой скорости по данным СВС, КС и параметрам ветра. Наряду с F_1 и F_2 ДИСС выдает в НВУ аналоговую информацию, которая используется совместно с информацией от КС и СВС для формирования и отработки составляющих скорости ветра W_x, W_y в неподвижной системе координат X и Y . Ось Y этой системы совпадает с направлением А—А — начальной установкой гироагрегата КС (рис. 3.4):

$$V_a - V = W \cos (\psi_W - K); \quad V_b = W \sin (\psi_W - K),$$

или

$$V_a - V = W_y \cos K + W_x \sin K; \quad V_b = W_x \cos K - W_y \sin K, \quad (3.7)$$

так как $V'_a = V$, а $V_b = 0$ (при отсутствии скольжения).

В режиме работы с ДИСС с использованием параметров ветра W и ψ_W решаются уравнения:

$$V_a - V = W \cos (\psi_W - K); \quad V_b = W \sin (\psi_W - K). \quad (3.8)$$

В режиме работы с отключенным ДИСС (в режиме "Память") по запомненным в результате решения уравнений

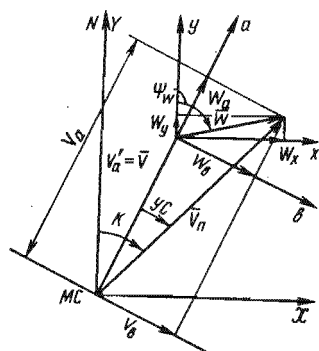


Рис. 3.4. Определение составляющих путевой скорости по данным от СВС, КС и параметрам ветры

(3.7) и (3.8) значениям составляющих ветра W_x , W_y , а также значениям курса K и скорости V , значение путевой скорости V_{Π} и угла сноса YC формируются в аналоговом виде в результате обработки соотношений:

$$\begin{aligned} V_{\Pi} \cos YC - V - W_y \cos K - W_x \sin K &= 0; \\ V_{\Pi} \sin YC + W_y \sin K - W_x \cos K &= 0, \end{aligned} \quad (3.9)$$

где согласно выражению (3.3) $V_{\Pi} \cos YC = V_a$ и $V_{\Pi} \sin YC = V_b$, или в соответствии с выражением (3.8) обработке соотношений

$$V_{\Pi} \cos YC - V - W \cos (\psi_W - K) = 0, \quad V_{\Pi} \sin YC - W \sin (\psi_W - K) = 0. \quad (3.10)$$

Так как в режиме "Память" информация о путевой скорости V_{Π} и углах K , YC , ЗПУ поступает только в аналоговой форме, получение составляющих V_s , V_z и их преобразование в импульсную форму производятся по уравнениям в соответствии с тригонометрическими соотношениями, представленными на рис. 3.2:

$$V_s = V_{\Pi} \cos (K - \text{ЗПУ} + YC); \quad V_z = V_{\Pi} \sin (K - \text{ЗПУ} + YC); \quad (3.11)$$

Интегрирование этих уравнений с использованием шаговых двигателей производится согласно выражениям (3.1).

Преобразование систем координат. Необходимость в данном преобразовании возникает при осуществлении планового перехода самолета с текущей частной ортодромии на следующую (рис. 3.5). Исходными данными для определения координат самолета S_{cII} , Z_{cII} относительно следующей частной ортодромии являются численные текущие координаты самолета S_{cI} , Z_{cI} , координаты очередного поворотного пункта маршрута S_{nII} , Z_{nII} и взаимное положение текущей и следующей линий заданного пути $\Delta \text{ЗПУ}$ -ЗПУ2-ЗПУ1. Текущие и преобразованные координаты самолета S_{np} , Z_{np} связаны соотношениями:

$$S_{cII} = S_{nII} + S_{np}; \quad Z_{cII} = Z_{nII} + Z_{np}; \quad Z_{nII} = 0; \quad (3.12)$$

$$S_{np} = S_{cI} \cos \Delta \text{ЗПУ} - Z_{cI} \sin \Delta \text{ЗПУ}; \quad Z_{np} = S_{cI} \sin \Delta \text{ЗПУ} + Z_{cI} \cos \Delta \text{ЗПУ}. \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} S_{\text{см}} &= D \cos (A - \psi_{\text{к}} - 180^\circ); Z_{\text{см}} = D \sin (A - \psi_{\text{к}} - 180^\circ), \\ D &= L \cos \varphi; \varphi = \arcsin \frac{H}{L}, \end{aligned} \quad (3.14)$$

где $S_{\text{см}}, Z_{\text{см}}$ — координаты самолета относительно радиомаяка; $\psi_{\text{к}}$ — угол карты (угол между меридианом маяка и ЛЗП); φ — угол наклона между дальностью в горизонтальной плоскости D и наклонной дальностью L .

Коррекция осуществляется путем отработки координат самолета $S_{\text{с}}, Z_{\text{с}}$ при известных координатах радиомаяка $S_{\text{м}}, Z_{\text{м}}$ согласно уравнениям:

$$\begin{aligned} (S_{\text{с}} - S_{\text{м}}) \sec \varphi &= L \cos (A - \psi_{\text{к}} - 180^\circ); \\ (Z_{\text{с}} - Z_{\text{м}}) \sec \varphi &= L \sin (A - \psi_{\text{к}} - 180^\circ), \end{aligned} \quad (3.15)$$

т. е. поправки координат будут равны:

$$\Delta S = (S_{\text{с}} - S_{\text{м}}) - S_{\text{см}}; \Delta Z = (Z_{\text{с}} - Z_{\text{м}}) - Z_{\text{см}}. \quad (3.16)$$

3.2. Схема и режимы работы

Решение навигационных задач с помощью НВУ производится путем моделирования уравнений (3.1) — (3.16). В зависимости от решаемых задач и используемых источников информации различают три режима работы НВУ: "Работа" (по данным от ДИСС, КС), "Память" (по данным СВС, КС и параметрам ветра) при определении координат местоположения и "Коррекция" при уточнении местоположения ВС по данным от РСБН.

Рассмотрим работу НВУ по режимам, используя его структурную схему, приведенную на рис. 3.7.

Режим "Работа". На входы блока импульсной раскладки путевой скорости поступают последовательно серии доплеровских частот F_1, F_2 от ДИСС (по управлению тактовыми импульсами синхронизации), а также напряжения, соответствующие синусу и косинусу условного курса $\sin (K-ЗПУ), \cos (K-ЗПУ)$ — от задатчика путевых углов.

В результате решения уравнения (3.6) на выходе блока отрабатываются коды, соответствующие значениям составляющих путевой скорости V_s, V_z .

Коды V_s и V_z поступают на вход индикатора—задатчика координат I , на счетчиках S_I, Z_I которого перед началом

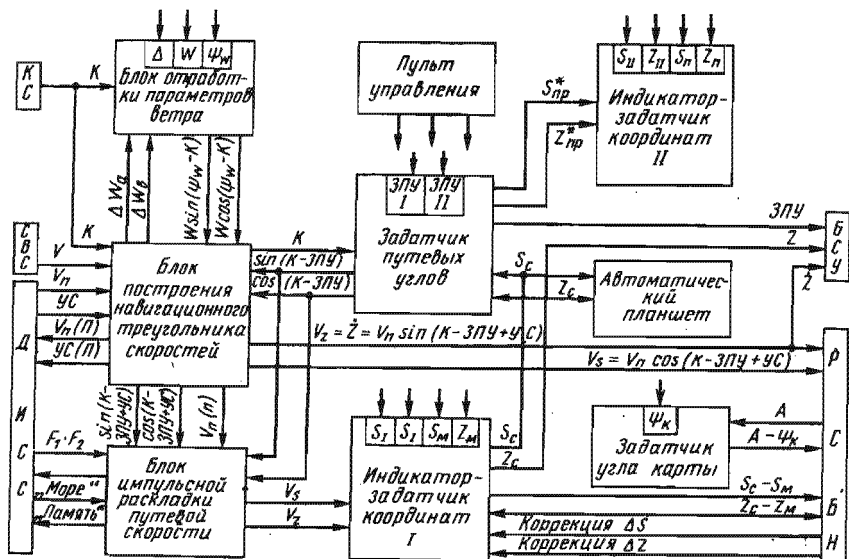


Рис. 3.7. Схема НВУ

работы были установлены начальные значения координат самолета S_0, Z_0 . Данный блок осуществляет интегрирование переменных V_s, V_z и индикацию в цифровой форме численных текущих координат самолета S_c, Z_c с помощью счетчиков S_I, Z_I . Выходные напряжения блока, пропорциональные численным координатам S_c, Z_c , поступают на входы автоматического картографического планшета, управляя движением карты и визира, а также на входы задатчика путевых углов. Последний совместно с индикатором-задатчиком координат II обеспечивает преобразование координат самолета относительно текущей частной ортодромии в координаты относительно следующей частной ортодромии в соответствии с выражениями (3.12), (3.13).

На счетчиках S_{II}, Z_{II} задатчика II предварительно установлены значения координат пункта поворота ППМ2 в системе координат S_2, Z_2 (см. рис. 3.5), а счетчики S_{II}, Z_{II} индицируют преобразованные координаты $S_{пр}, Z_{пр}$.

При достижении заданного значения координаты $S_{с1}$ (по величине линейного упреждения разворота, установленной на задатчике пульта управления) происходит автоматическая смена частных ортодромий. При этом функции индикаторов-задатчиков координат I и II меняются местами

(в схеме на рис. 3.7 соответствующие элементы коммутации не показаны), а в БСУ начинают поступать значения ЗПУ, Z , $\dot{Z}$, соответствующие новой частной ортодромии, что обеспечивает автоматический плавный переход траектории движения самолета на новую линию заданного пути.

Аналогично происходят все последующие смены частных ортодромий по заданным пилотом значениям ЛУР и координатам ППМ — S_{Π} , Z_{Π} .

Кроме того, в данном режиме осуществляется обработка параметров ветра W , ψ_w блоком построения навигационного треугольника скоростей и блоком обработки параметров ветра. При автономной работе первого блока решаются уравнения (3.7). При совместной работе двух блоков решаются уравнения (3.8) с обработкой нулевых значений сигналов разбаланса ΔW_a , ΔW_b .

Режим "Память". При переходе в этот режим (по соответствующему сигналу от ДИСС) вычислитель формирует значения V_{Π} (П) и УС по "запомненным" составляющим скорости ветра, значениям курса и воздушной скорости путем обработки выражений (3.9) и (3.10) для автономной и совместной работы соответственно. Параметры W и ψ_w , а также величина угла схождения меридианов Δ (угол между меридианами точки вылета и МС) вводятся принудительно. Вычисленные значения V_{Π} (П) и УС (П) поступают в ДИСС для индикации.

Формирование V_s , V_z осуществляется блоком импульсной раскладки в соответствии с выражениями (3.11), составляющие которых поступают от блока построения навигационного треугольника скоростей.

Работа остальных блоков в этом режиме (интегрирование, смена ортодромий и т. д.) не отличается от предыдущей.

Режим "Коррекция". В этом режиме НВУ вырабатывает и выдает в РСБН следующие сигналы:

напряжения, пропорциональные составляющим путевой скорости V_s , V_z (от блока построения навигационного треугольника скоростей);

разность азимута A (от РСБН) и угла карты ψ_k (см. рис. 3.6), вводимого с помощью задатчика угла карты;

разность координат самолета и радиомаяка $(S_c - S_m)$, $(Z_c - Z_m)$.

При решении уравнений (3.14) — (3.16) в РСБН вырабатываются сигналы ΔS , ΔZ , которые поступают на входы индикатора—задатчика координат I для коррекции численных координат самолета.

3.3. Аналоговые блоки

Блок построения навигационного треугольника скоростей. Функциональная схема блока приведена на рис. 3.8. Положение переключателей соответствует режиму "Работа" с автономной обработкой параметров ветра. Схема сравнения, усилитель с двигателем М1 (здесь и далее условные изображения указанных элементов совмещены) и потенциометр П1 образуют входной узел, преобразующий значение угла сноса УС из напряжения в соответствующий угол поворота вала. Аналогично вводятся значения путевой скорости V_n и курса К (в последнем случае элементом обратной связи служит сельсин-приемник СП).

Роторы вращающихся трансформаторов ВТ1 и ВТ2 жестко связаны с валом УС. Первый из них преобразует угол сноса в функции $\sin УС$ и $\cos УС$, а второй, на статорные обмотки

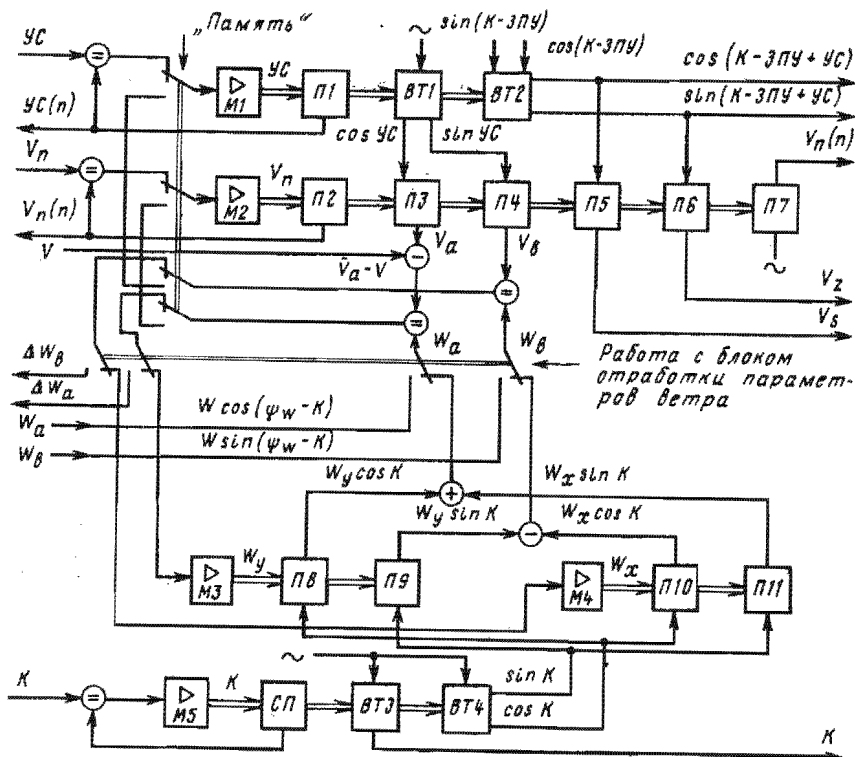


Рис. 3.8. Функциональная схема блока построения навигационного треугольника скоростей

которого подаются напряжения, пропорциональные $\sin$ (К-ЗПУ) и $\cos$ (К-ЗПУ), преобразует УС в $\sin$ (К-ЗПУ+УС) и $\cos$ (К-ЗПУ+УС).

Вал V_{Π} является общим для потенциометров ПЗ-П7. Поэтому соответствующие выходные напряжения $V_a, V_b, V_s, V_z, V_{\Pi}$ (П) пропорциональны углу поворота вала, т. е. величине V_{Π} и напряжениям питания этих потенциометров: $\cos$ УС, $\sin$ УС, $\cos$ (К-ЗПУ-УС), $\sin$ (К-ЗПУ+УС), $U_{\sim}$.

Ротаторы вращающихся трансформаторов ВТЗ и ВТ4 жестко связаны с валом К. Первый из них используется как масштабный трансформатор и обрабатывает напряжение К на выходе блока, а второй служит преобразователем К в функции $\sin$ К и $\cos$ К.

Двигатели МЗ, М4 применяются для обработки углов поворота вала потенциометров П8, П9, П10, П11 пропорциональных составляющим скорости ветра W_x и W_y . Так как потенциометры П8, П10 и П9, П11 питаются напряжениями $\cos$ К и $\sin$ К, их выходные напряжения пропорциональны произведению указанных напряжений на соответствующие углы поворота, т. е. на W_x и W_y . Таким образом, суммирующий и вычитающий элементы, подключенные к выходам П8, П11 и П9, П10, определяют значения W_a, W_b согласно уравнениям (3.7). Величина W_a сравнивается со значением $(V_a - V)$, и сигнал с выхода схемы сравнения поступает на вход усилителя МЗ, обеспечивая тем самым автоматическую обработку W_y . Аналогично W_b сравнивается с V_b , и осуществляется обработка W_x .

При работе с блоком обработки параметров ветра (переключатели средней части схемы в левом положении) решаются уравнения (3.8) путем обработки нулевых значений $\Delta W_a, \Delta W_b$.

При переключении в режим "Память" (переключатели верхней левой части схемы в нижнем положении) отключаются входы двигателей обработки параметров ветра и состояние механизмов "запоминает" их значения. Выходы схем сравнения W_a с $(V_a - V)$ и W_b с V_b подключаются соответственно к входам двигателей М2 и М1, обеспечивая обработку значений V_{Π} и УС путем решения уравнений (3.8) при "запомненных" значениях W_a, W_b . Напряжения V_{Π} и УС снимаются с потенциометров П2 и П1.

Задатчик путевых углов. Функциональная схема задатчика путевых углов изображена на рис. 3.9. Заданные путевые углы нечетных (по порядковому номеру) частных ортодро-

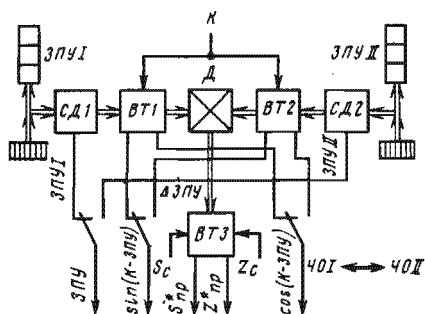


Рис. 3.9. Функциональная схема датчика путевых углов

мий устанавливаются на счетчике ЗПУ I, а четных ортодромий — на ЗПУ II.

Сельсины-датчики СД1 и СД2 преобразуют углы поворота роторов в пропорциональные напряжения ЗПУ I и ЗПУ II, одно из которых используется в качестве ЗПУ текущей ортодромии (на схеме переключатели находятся в положении нечетной ортодромии ЧО I).

Формирование сигналов, пропорциональных $\sin(K-ЗПУ)$ и $\cos(K-ЗПУ)$, производится с помощью вращающихся трансформаторов ВТ1, ВТ2, роторы которых связаны с осями ЗПУ I и ЗПУ II, а напряжение питания их статорных обмоток пропорционально величине К.

Выходной вал дифференциала Д и связанный с ним ротор вращающегося трансформатора ВТ3 разворачиваются на угол $\Delta ЗПУ - ЗПУ_2 - ЗПУ_1$. С выхода ВТ3 снимаются напряжения $S_{лр}^* = S_{лр} - S_{п}$ и $Z_{лр}^* = Z_{лр} - Z_{п}$, поступающие в индикатор-датчик координат II для преобразования координат самолета относительно следующей частной ортодромии.

Блок обработки параметров ветра. Функциональная схема блока приведена на рис. 3.10. Схема сравнения, усилитель с двигателем М1 и сельсин-приемник СП образуют узел для ввода значения курса К и дифференциал Д1. Двигатели М2 и М3 обрабатывают на своих валах соответственно значения параметров ветра W и ψ_w . Выходной вал дифференциала Д1 связан с роторами вращающихся трансформаторов ВТ1 и ВТ2, первый из которых управляет двигателями М2, М3 по сигналам рассогласования ΔW_a , ΔW_b от блока построения навигационного треугольника скоростей, а второй преобразует угол $(\psi_w - K)$ в функции $\sin(\psi_w - K)$ и $\cos(\psi_w - K)$. Последние две величины в качестве напряжений питания поступают на потенциометры П1 и П2, механически связанные с

валом двигателя $M2$ и отрабатывающие на выходах величины $W \sin (\psi_w - K)$ и $W \cos (\psi_w - K)$. С валом двигателя связан также счетчик-индикатор скорости ветра W .

Ручкой Δ на счетчик-индикатор Δ и дифференциал $D2$ вводится угол сходимости меридианов. При этом на счетчике-индикаторе δ_w , управляемом выходным валом дифференциала $D2$, будет индицироваться истинное направление ветра ψ_w .

Индикатор-задатчик координат. Эти индикаторы-задатчики координат поочередно используются в качестве основного индикатора (текущих координат самолета и координат радиомаяка) или в качестве вспомогательного индикатора (координат самолета, преобразованных в следующую частноортодромическую систему, и координат очередного ППМ).

При этом основной индикатор-задатчик работает в следующих режимах: начальная установка координат самолета S_c, Z_c ; начальная установка координат маяка S_m, Z_m ; интегрирование составляющих путевой скорости; коррекция численных координат.

Режим работы вспомогательного индикатора-задатчика: начальная установка координат пункта S_n, Z_n ; преобразование координат.

Каждый из двух одинаковых индикаторов-задатчиков координат, применяемых в вычислителе, содержит два однотипных узла (по числу ординат S, Z). Поэтому ограничимся рассмотрением функциональной системы узла индикатора-задатчика координаты S , изображенной на рис. 3.11.

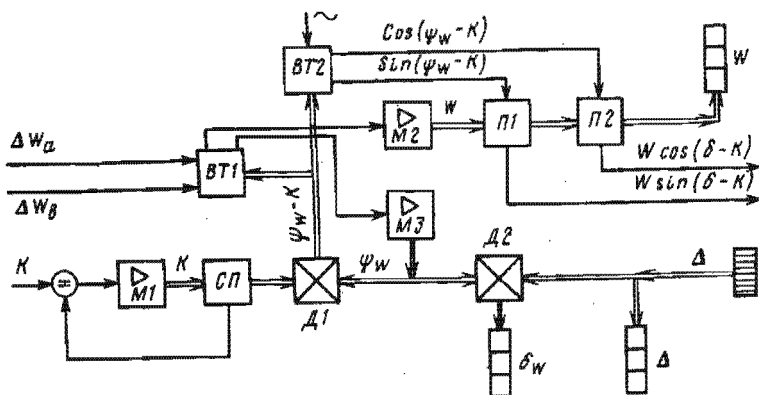


Рис. 3.10. Функциональная схема блока обработки параметров ветра

Начальная установка координат выполняется с помощью двигателя M , подключенного к источнику переменного тока ($\sim$) переключателем $K2$ (в нижнем положении). Для этого включается соответствующая электромагнитная муфта $ЭМ1$ или $ЭМ2$, вращение от вала двигателя передается к счетчику-индикатору S_c или S_m (S_n).

При интегрировании составляющих путевой скорости обе муфты отключены, код V_s поступает на коммутатор шагового двигателя $ШД$, управляя вращением его ротора. Так как угловая скорость ротора пропорциональна величине V_s , а направление вращения определяется знаков V_s (по характеру изменения кода), то угол поворота вала шагового двигателя пропорционален интегралу от V_s по времени, т. е. величине S .

Счисленная координата S обрабатывается на счетчике-индикаторе S_c и через сельсин-датчик $СД$ выдается в виде напряжения на выход блока.

В режиме коррекции счисленных координат самолета по данным РСБН значение S_c сравнивается на дифференциале $D2$ с заранее установленной координатой радиомаяка S_m . Полученную разность координат ($S_c - S_m$) потенциометр Π преобразует в соответствующее напряжение, которое поступает в РСБН. Сигнал коррекции ΔS от РСБН через переключатели $K1$ и $K2$ (согласно изображенным на схеме положениям) поступает на вход двигателя M и через включенную муфту $ЭМ1$ ($ЭМ2$ отключена) обрабатывает скорректированное значение S_c .

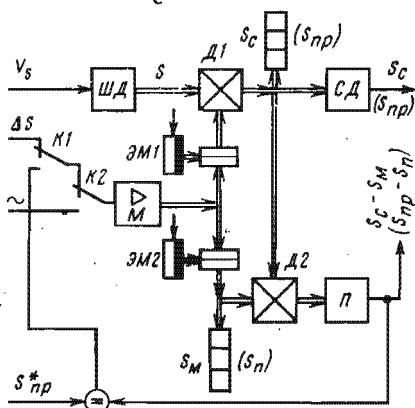


Рис. 3.11. Функциональная схема индикатора задатчика координаты S

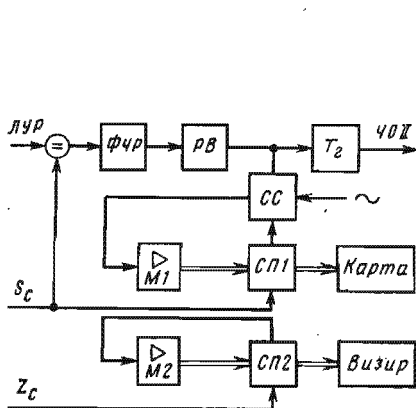


Рис. 3.12. Функциональная схема привода картографического планшета

В режиме преобразования координат вход V_s отключен, переключатели $K1$, $K2$ находятся соответственно в нижнем и верхнем положениях, включена муфта ЭМ1 (ЭМ2 отключена). Так как на счетчике-индикаторе S_m (S_n) установлено в этом режиме значение координаты S_n очередного ППМ, то снимаемое с выхода потенциометра Π напряжение соответствует разности ($S_{пр} - S_n$). Это напряжение сравнивается с напряжением от задатчика путевых углов $S_{пр}^*$. Сигнал разбаланса этих напряжений управляет двигателем M , отработывающим в счетчике-индикаторе S_c ($S_{пр}$) величину $S_{пр}$.

Автоматический картографический планшет. Используемая в планшете карта представляет собой ленту, на которую в порядке очередности нанесены все участки маршрута, ориентированные своей линией заданного пути вдоль продольной оси ленты. Движение карты в окне планшета совпадает с перемещением местности для наблюдателя, находящегося на самолете. Место самолета на карте указывается с помощью визира.

На рис. 3.12 приведена функциональная схема привода картографического планшета, состоящая из схем привода карты и привода визира.

Напряжение S_c , поступающее на сельсин-приемник СП1, управляет перемещением карты при $S_c > ЛУР$. При $S_c \leq ЛУР$ срабатывает фазочувствительное реле ФЧР и с некоторой задержкой от реле времени РВ вырабатывается сигнал начала разворота. При этом переключается триггер T_2 , управляющий сменой ортодромий, а также происходит пуск схемы скачка СС.

Схема скачка подает на двигатель $M1$ напряжение быстрой перемотки карты до установки в окне планшета начала следующего участка (по сигналу об определенном положении сельсина-приемника СП1). Затем происходит согласование положения СП1 с сельсином-датчиком индикатора координаты S_c и начинается индикация местоположения самолета относительно нового участка карты.

Напряжение, пропорциональное боковому отклонению от линии заданного пути Z_c , поступает на сельсин-приемник СП2 схемы привода, и с помощью двигателя $M2$ отработывается соответствующее перемещение визира.

3.4. Блок импульсной раскладки путевой скорости

Структурная схема. Блок импульсной раскладки путевой скорости является цифро-аналоговым вычислительным устройством, обеспечивающим решение уравнений счисления

пути цифровым методом. Структурная схема блока приведена на рис. 3.13; где ПНК1, ПНК2 — преобразователи напряжения в код; УИК — устройство исправления кодов; ПНЧ — преобразователь напряжения в частоту; К, К1, К2, КС, КЗС — коммутаторы; $\Sigma 1$, $\Sigma 2$ — накапливающие сумматоры; CrS, CrZ — счетчики импульсов; СУШД — схемы управления шаговыми двигателями; МУУ — местное устройство управления.

Счисление пути производится в двух режимах работы блока "Работа" и "Память".

Режим "Работа". В этом режиме решается уравнение (3.6). На вход блока поступают:

доплеровские частоты F_1 , F_2 в виде последовательности серий, обозначенной F_d ;

напряжения, пропорциональные синусу и косинусу условного курса, $U \sin \gamma$, $U \cos \gamma$.

Решение уравнений (3.6) для "мгновенных" значений k , F_1 , F_2 , γ осуществляется за четыре такта в соответствии с числом членов их правых частей. За каждый такт вычисляется по одному члену обоих уравнений и с учетом знака выполняется алгебраическое суммирование со значениями членов, вычисленными за предыдущие такты.

Рассмотрим работу блока по схеме, изображенной на рис. 3.13.

Умножение частоты F_d на коэффициент k выполняется с помощью коммутатора К, осуществляющего передачу вход-

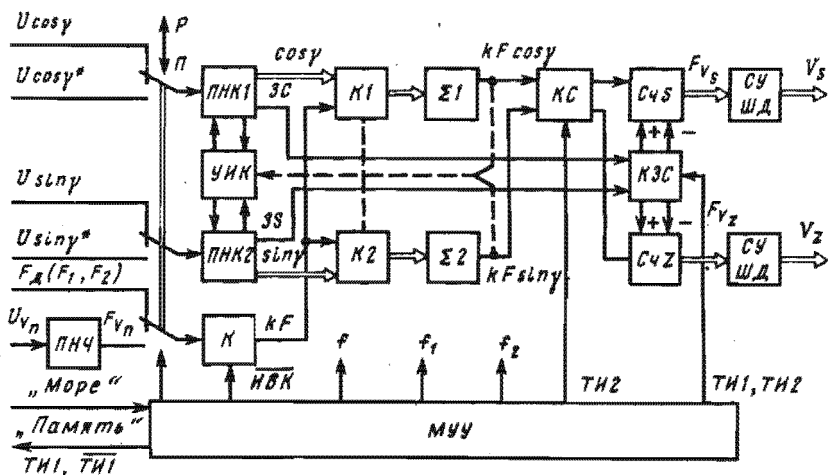


Рис. 3.13. Структурная схема блока импульсной раскладки путевой скорости

ного сигнала F на интервале времени, пропорциональном коэффициенту k , в пределах каждого рабочего такта. Указанный интервал задается местным устройством управления МУУ путем выработки импульсов ввода коэффициента ИВК соответствующей длительности.

Результирующее число импульсов частоты F на выходе коммутатора K пропорционально произведению kF и обозначено kF .

Выход коммутатора K подключен к управляющим входам многоканальных коммутаторов $K1$ и $K2$, информационными входами которых служат выходы преобразователей "напряжение-код" $ПНК1$ и $ПНК2$. Указанными преобразователями осуществляется преобразование аналоговых сигналов $U \cos \gamma$ и $U \sin \gamma$ в соответствующие параллельные двоичные коды. Следовательно, коммутаторы $K1$ и $K2$ управляют поступлением на входы накапливающих сумматоров $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$ кодов $\cos \gamma$ и $\sin \gamma$. Так как кратность поступления кодов определяется числом управляющих импульсов kF , то значение результирующих накопленных сумм $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$ будет $kF \cos \gamma$ и $kF \sin \gamma$. Вместе с тем разрядность сумматоров не превышает результатов входных кодов, а в качестве информационного выхода каждого из них используется выход переноса от старшего разряда. Таким образом, выходными сигналами являются частоты $kF \cos \gamma$ и $kF \sin \gamma$, т. е. последовательности импульсов на выходах сумматоров $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$ с частотами следования, пропорциональными соответственно $kF \cos \gamma$ и $kF \sin \gamma$. Данные сигналы представляют значения слагаемых уравнений (3.6), так как $F = F_1$ в первом и третьем тактах и $F = F_2$ во втором и четвертом.

Алгебраическое суммирование полученных слагаемых осуществляется с помощью реверсивных счетчиков импульсов $Cr S$, $Cr Z$, коммутатора слагаемых KC и коммутатора знака слагаемых $K3C$.

Согласно реализуемой последовательности вычислений в первых двух тактах выходы сумматоров $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$ должны быть соответственно подключены ко входам $Cr S$ и $Cr Z$, а в заключительных двух этапах перекоммутированы со взаимозаменой. Данные функции выполняет коммутатор KC по соответствующим тактовым импульсам $ТИ2$ от МУУ.

Учет знака слагаемых осуществляется на каждом такте с помощью коммутатора $K3C$, управляющего режимами работы счетчиков $Cr S$ и $Cr Z$ "суммирование" (+) и "вычитание" (−) в зависимости от знака слагаемого в уравнении (по тактовым

импульсам $ТИ1, ТИ2$) и знака тригонометрической функции для текущего угла γ (по данным $ПНК1, ПНК2$).

Сигналы от двух старших разрядов CrS, CrZ , представляющие соответственно значения F_V^s и F_V^z , поступают на входы схем управления шаговыми двигателями, с помощью которых осуществляется интегрирование V_s и V_z .

Режим "Память". В этом режиме в отличие от рассмотренного режима "Работа" вместо частот F_d на вход блока поступает напряжение U_V , пропорциональное путевой скорости.

Условный курс Π в этом режиме определяется выражением $\gamma^* = K - 3ПУ + УС$, а решаемые уравнения (3.11) имеют вид:

$$F_V^s = k F_V^{\Pi} \cos \gamma^*; F_V^z = k F_V^{\Pi} \sin \gamma^*. \quad (3.17)$$

где F_V — частота, пропорциональная путевой скорости; k — масштабный коэффициент.

Преобразование аналогового сигнала U_V в частоту F_V^{Π} осуществляется преобразователем "напряжение—частота" (ПНЧ), выход которого подключен к коммутатору K . На входы $ПНК1$ и $ПНК2$ поступают соответственно аналоговые сигналы $U \cos \gamma^*$ и $U \sin \gamma^*$.

Отличие в работе блока по сравнению с предыдущим режимом состоит в том, что вычисления выполняются за один такт, в течение которого выходы сумматоров $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$ постоянно подключены ко входам счетчиков CrS и CrZ соответственно, а управление работой счетчиков осуществляется схемой КЗС в зависимости лишь от знака тригонометрической функции для текущего значения угла.

Выработка управляющих сигналов и синхронизация работы всех узлов блока в обоих режимах осуществляется местным устройством управления (МУУ). Кроме того, МУУ выдает в ДИСС синхроимпульсы $ТИ1, ТИ2$ для выбора коммутируемых на вход блока частот F_1, F_2 .

Для уменьшения погрешности преобразования напряжений $U \cos \gamma, U \sin \gamma$ в коды $\cos \gamma, \sin \gamma$ используют устройство исправления кодов УИК, работающее на "нерабочем" интервале такта, т. е. от его начала до момента поступления импульсов F_d или F_V через коммутатор K .

Предполагается, что неисправленные коды могут быть представлены в виде $m \sin \gamma, m \cos \gamma$. Тогда процедура исправления сводится к умножению полученных кодов на коэффициент N в соответствии с уравнением

$$(N\sin \gamma)^2 + (N\cos \gamma)^2 = 1, \quad (3.18)$$

которое при выполнении условий $N = 1/m$ обращается в известное тождество

$$\sin^2 \gamma + \cos^2 \gamma = 1. \quad (3.19)$$

Реализация уравнения (3.18) устройством исправления кодов осуществляется с использованием коммутаторов $K1$, $K2$ и сумматоров $\Sigma 1$, $\Sigma 2$ блока для выполнения операции возведения в квадрат. Соответствующие связи на структурной схеме указаны пунктиром.

Рассмотрим устройство и работу отдельных узлов блока.

Местное устройство управления. Функциональная схема МУУ приведена на рис. 3.14. Схема состоит из генератора импульсов и распределителя, построенного на двух счетчиках $CT2-1$ и $CT2-2$, дешифраторе $ДС$ и триггере T_2 .

Кварцевый генератор Γ вырабатывает прямоугольные импульсы частоты f . Двоичный суммирующий счетчик $CT2-1$, на вход которого поступают импульсы f , используется как делитель частоты, вырабатывающий на своих выходах частоты f_1 , f_2 , а также тактовые импульсы $ТИ$, связанные с f и между собой отношением $f \gg f_1 \gg f_2 < ТИ$.

Импульсы $ТИ$ поступают на вход двухразрядного суммирующего счетчика $CT2-2$ и преобразуются в тактовые импульсы $ТИ1$, $ТИ2$ путем деления частоты $ТИ$ на два и четыре.

По заднему фронту каждого тактового импульса $ТИ$, поступающего на счетный вход триггера T_2 , последний переключается в единичное состояние и остается в нем до появления определенной комбинации на выходах счетчика $CT2-1$ и сигнала "Море", которая определяется с помощью дешифратора $ДС$.

В зависимости от состояния сигнала "Море" (нуль—над сушей, единица — над морем) изменяется интервал времени

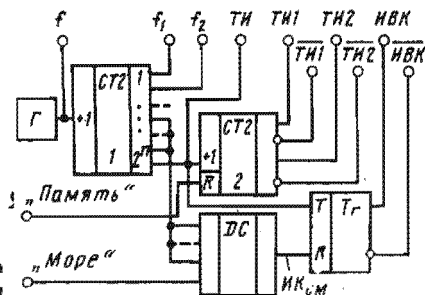


Рис. 3.14. Функциональная схема местного устройства управления

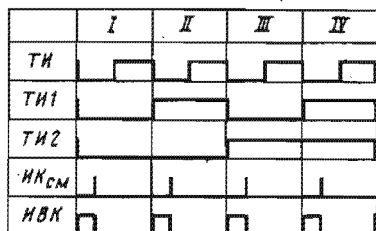


Рис. 3.15. Временная диаграмма для тактовых импульсов и импульсов ввода коэффициентов

между импульсами ТИ и ИК_{см} на выходе дешифраторов (последний устанавливает триггер Т₂ в исходное нулевое состояние). В результате длительности импульсов ИВК (импульсы ввода коэффициента) на нулевом выходе триггера Т₂ устанавливается пропорционально коэффициенту уравнений (3.6).

Временная диаграмма для тактовых импульсов и импульсов ввода коэффициента изображена на рис. 3.15.

Преобразователь "напряжение—частота" (ПНЧ). Функциональная схема ПНЧ, приведенная на рис. 3.16, состоит из устройства сравнения УС, амплитудного модулятора АМ, схемы коррекции СК, счетчиков СТ2-1, СТ2-2 и триггера Т₂.

Схема коррекции, счетчик СТ2-1 и триггер образуют узел выработки импульсов f_n с постоянной частотой следования f_1 и скважностью, управляемой по сигналам на входах СК от устройства сравнения.

Емкость счетчика СТ2-1 такова, что при поступлении на его вход импульсов f частота выходных импульсов f_s равна частоте f_1 . По сигналам "меньше", "больше" от устройства сравнения схема коррекции управляет поступлением импульсов на вход счетчика СТ2-1, добавляя к импульсам f дополнительные импульсы с частотой f_2 или запрещая поступление импульсов f , синхронных с f_2 . Таким образом, временной интервал для пары смежных импульсов f_s и f_1 , поступающих

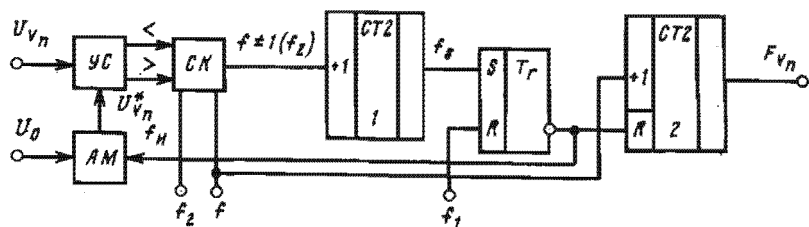


Рис. 3.16. Функциональная схема преобразователя "напряжение — частота"

соответственно на единичный и нулевой входы триггера T_2 , регулируется схемой коррекции, вследствие чего соответственно изменяется и скважность импульсов f_n на нулевом выходе триггера.

Амплитудный модулятор преобразует скважность f_n в пропорциональное напряжение $U_{V\Pi}^*$, которое подается на УС и сравнивается со входным преобразуемым напряжением U_V .

После окончания переходного процесса обработки $U_V = U_V^*$ скважность f_n устанавливается пропорционально U_V . При этом средняя частота импульсов F_V на выходе счетчика СТ2-2 принимает значение, пропорциональное путевой скорости V .

Преобразователь "напряжение—код" (ПНК). Функциональная схема ПНК приведена на рис. 3.17. Ее состав аналогичен схеме ПНЧ, за исключением дополнительного коммутатора K .

Выходной код реверсивного счетчика импульсов СТ2-1 поступает на вход коммутатора K и через него переписывается в вычитающий счетчик СТ2-2 с частотой f_1 . С этой же частотой поступают импульсы на нулевой вход триггера T_2 . Под воздействием потенциала нулевого выхода триггера на вход счетчика поступают импульсы f .

Промежуток времени отсчета импульсов по вычитанию до нулевого состояния счетчика пропорционален значению кода, записанного в него по f_1 .

Так как на нулевой и единичный входы триггера подаются соответственно импульсы f_1 и сигналы выхода счетчика

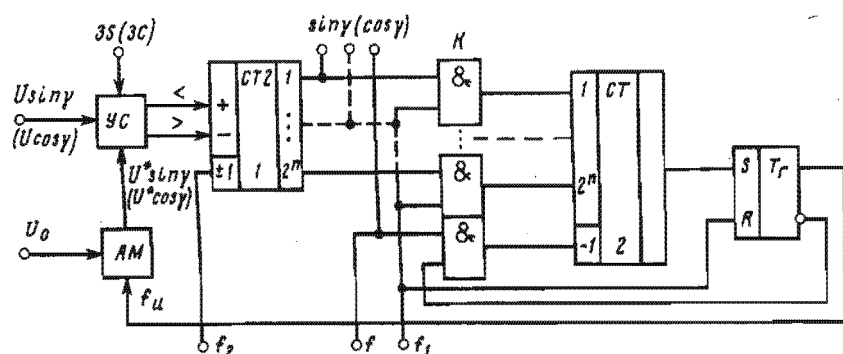


Рис. 3.17. Функциональная схема преобразователя "напряжение — код"

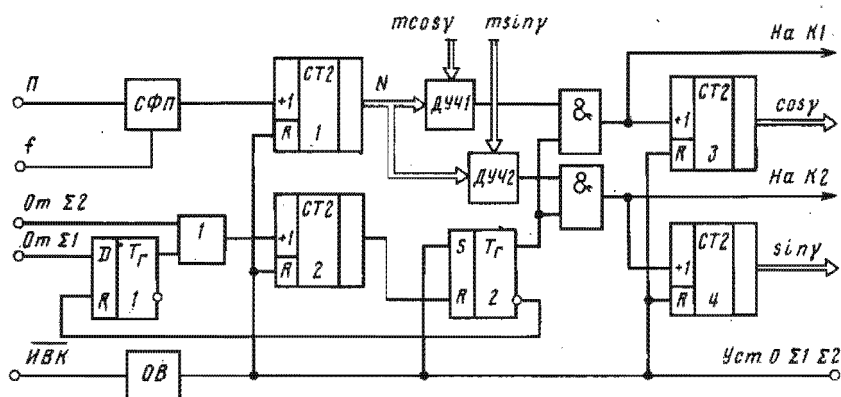


Рис. 3.18. Функциональная схема устройства исправления кодов

CT2-2, то скважность импульсов $f_{\text{и}}$ на единичном выходе триггера будет пропорциональна выходному коду счетчика CT2-1.

Амплитудный модулятор АМ преобразует скважность $f_{\text{и}}$ в пропорциональное напряжение $U^* \sin \gamma$ (или $U^* \cos \gamma$), которое сравнивается с входным преобразуемым напряжением $U \sin \gamma$ (или $U \cos \gamma$).

В зависимости от результата сравнения УС управляет режимом работы реверсивного счетчика CT2-1, переключая его на суммирование или вычитание входных импульсов $f_{\text{и}}$.

Таким образом, при условии $U \sin \gamma = U^* \sin \gamma$ (или $U \cos \gamma = U^* \cos \gamma$) выходной код счетчика CT2-1 будет соответствовать значению $\sin \gamma$ (или $\cos \gamma$).

Погрешность преобразования напряжений $U \sin \gamma$, $U \cos \gamma$ в коды $\sin \gamma$, $\cos \gamma$ определяется погрешностью работы амплитудных модуляторов и устройств сравнения, нестабильностью опорных напряжений U_0 и импульсов f , f_1 , f_2 .

Устройство исправления кодов (УИК). Функциональная схема УИК приведена на рис. 3.18. Устройство работает в промежутке времени между началом каждого такта и появлением импульса ИК_{см}.

По заднему фронту импульсов ввода коэффициента (ИВК) запускается одновибратор (ОВ), вырабатывающий короткий импульс, который поступает на входы установки в нулевое состояние триггера Тг-2, счетчиков CT2-3, CT2-4, сумматоров $\Sigma 1$, $\Sigma 2$ блока (см. рис. 3.13). При этом с триггера Тг-2 подается запрещающий потенциал установки в нулевое состояние триггера Тг-1 и счетчиков CT2-1, CT2-2 и разрешающий потенциал единичного выхода Тг-2 на конъюнкторы, управляющие

входами счетчиков $CT2-3$ и $CT2-4$. С этого момента в двоичных умножителях частоты $ДУЧ-1$ и $ДУЧ-2$ начинается процесс умножения кодов $m \sin \gamma$ и $m \cos \gamma$ на код N .

Выходные импульсы $ДУЧ1$ и $ДУЧ2$ через конъюнкторы поступают на входы счетчиков $CT2-3$ и $CT2-4$, а также на коммутаторы $K1$ и $K2$ блока (см. рис. 3.13), разрешая поступление выходных кодов счетчиков на сумматоры блока $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$.

Таким образом, содержимое счетчиков $CT2-3$ и $CT2-4$, соответствующее величинам $Nm \cos \gamma$ и $Nm \sin \gamma$, суммируется в $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$ соответственно $Nm \cos \gamma$ и $Nm \sin \gamma$ раз, т. е. указанные величины возводятся в квадрат.

Импульсы переноса от старших разрядов $\Sigma 1$ и $\Sigma 2$ поступают соответственно на D -вход триггера $T2-1$ и дизъюнктор на входе счетчика $CT2-2$. Триггер $T2-1$, единичный вход которого подключен ко второму входу дизъюнктора, используется для разнесения во времени выходных импульсов при их совпадении.

По окончании переносов в сумматорах (по сигналу Π) схема формирования поправки $СФП$ разрешает поступление импульсов f на вход счетчика $CT2-1$, изменяющейся выходной код которого определяет значения N .

Процесс продолжается до тех пор, пока на выходе счетчика $CT2-2$ появится импульс его переполнения, регистрирующий выполнение условия (3.18). Этот импульс устанавливает триггер $T2-2$ в нулевое состояние до начала следующего такта.

Выходные коды счетчиков $CT2-3$ и $CT2-4$ будут соответствовать исправленным значениям: $Nm \cos \gamma = \cos \gamma$ и $Nm \sin \gamma = \sin \gamma$.

Коммутатор слагаемых (КС). Функциональная схема КС приведена на рис. 3.19. Согласно описанию работы блока в первые два такта ко входу CrS коммутируется $kF \cos \gamma$, а ко входу CrZ — $kF \sin \gamma$ по совпадению с тактовым импульсом $TH2$ (инверсия от $TH2$). В последних двух тактах по совпадению с $TH2$ входы счетчиков скоммутированы в обратном порядке.

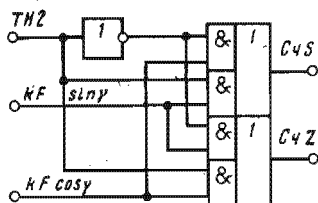


Рис. 3.19. Функциональная схема коммутатора слагаемых

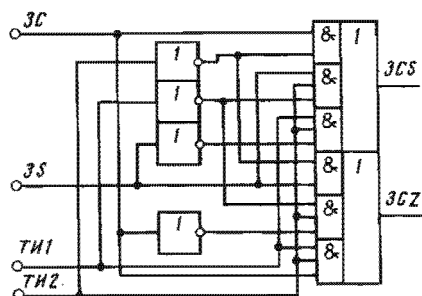


Рис. 3.20. Функциональная схема коммутатора знака слагаемых

Коммутатор знака слагаемых (КЗС). Функциональная схема КЗС приведена на рис. 3.20. Знак слагаемого совпадает со знаком тригонометрической функции, входящей в его выражение, если в уравнении общего вида (3.6) слагаемое имеет знак плюс, и противоположен ему в противном случае.

В уравнении для F_V отрицательный знак имеет третье слагаемое, а в уравнении для F_{V_z} — четвертое. Это соответствует третьему и четвертому тактам.

Введем обозначения: $3CS$ — знак слагаемого для F_V ; $3CZ$ — знак слагаемого для F_{V_z} ; $3C$ — знак $\cos \gamma$; $3S$ — знак $\sin \gamma$.

Обозначив плюс как 0, а минус — как 1, а также, используя тактовые импульсы ТИ1, ТИ2 и введенные выше обозначения, получим логические выражения для определения знаков слагаемых в зависимости от знака тригонометрической функции и такта:

$$\begin{aligned} 3CS &= 3C \wedge \text{ТИ}_2 \vee 3S \wedge \text{ТИ}_1 \wedge \text{ТИ}_2 \vee 3C \wedge \text{ТИ}_1 \wedge \text{ТИ}_2, \\ 3CZ &= 3S \wedge \text{ТИ}_2 \vee 3C \wedge \text{ТИ}_1 \wedge \text{ТИ}_2 \vee 3C \wedge \text{ТИ}_1 \wedge \text{ТИ}_2. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Таблица 3.1.

Код счетчика		Обмотки двигателя			
n	$n-1$	1	2	3	4
0	0	1	0	0	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	1	0
1	1	0	0	1	1

Рис. 3.21. Функциональная схема коммутации обмоток шагового двигателя

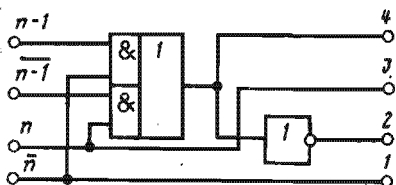


Схема управления шаговым двигателем (СУШД). Управление шаговым двигателем сводится к попарному подключению его обмоток к источнику постоянного тока в определенной последовательности.

Двигатель имеет четыре обмотки, соединенные звездой, поэтому для его управления используются два старших разряда счетчика CrS или CrZ. Порядок подключения обмоток двигателя в зависимости от состояния выходного кода счетчика представлен в виде таблицы (табл. 3.1). Функциональная схема управления, реализующая данный порядок коммутации обмоток двигателя, приведена на рис. 3.21.

При изменении выходного кода счетчика в порядке возрастания (режим суммирования) вращение вала двигателя изменяет состояние механически связанного с ним десятичного счетчика-индикатора в одном направлении, а при убывании кода (режим вычитания) — в другом. Скорость вращения вала двигателя пропорциональна частоте изменения кода. С изменением кода на единицу ротор двигателя поворачивается на один шаг, т. е. осуществляются интегрирование составляющих путевой скорости V_s , V_z и получение значений координат самолета S_c , Z_c .

3.5. Общие сведения о построении, организации контроля и техническом обслуживании

В качестве прототипа рассмотренного выше навигационного вычислительного устройства использовано НВУ-3Б самолета Ту-154. Учебный стенд этого устройства с контрольно-проверочной аппаратурой приведен на рис. 3.22.

Другие типы НВУ могут отличаться схемами реализации отдельных блоков и некоторыми структурными особенностями. Например, подключение к рассмотренному НВУ дополнительных электромеханических аналоговых интеграторов для определения составляющих путевой скорости V_s и V_z приводит к двухканальной структуре с аналоговым и импульсным каналами счисления координат самолета. Подоб-

ную структуру имеет НВУ самолета Ил-62. Он отличается от рассмотренного главным образом построением преобразователей "аналог—код" и блоком импульсной раскладки. В качестве элементной базы цифровых устройств вычислителей используются интегральные микросхемы.

Техническая эксплуатация НВУ включает его подготовку к полету, работу с устройством в полете. При устранении возможных неисправностей и отказов в работе НВУ и его блоков используют два вида контроля: автоматический встроенный и с помощью контрольно-проверочной аппаратуры (КПА).

Автоматический встроенный контроль позволяет проверить работоспособность вычислителя по тексту контроля без участия оператора. Однако полная проверка НВУ осуществляется с помощью КПА, которая имитирует параметры связи вычислителя со штатным навигационным оборудованием самолета.

В КПА используются задатчики (сельсины, вращающиеся трансформаторы, делители напряжения, генераторы и т. д.) и индикаторы, позволяющие задавать и индцировать основные

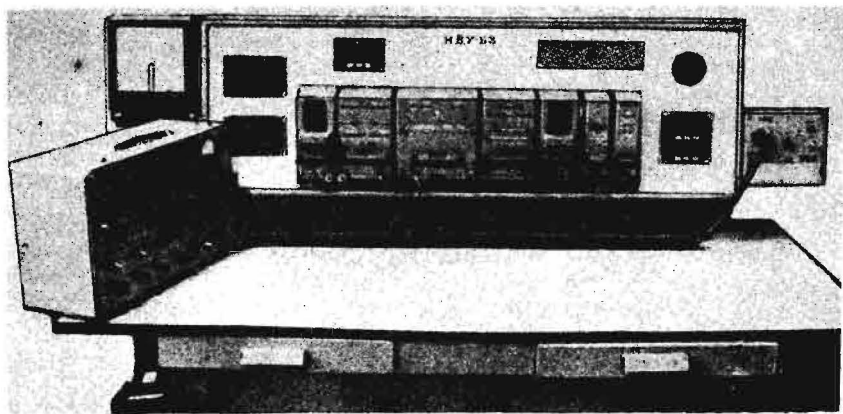


Рис. 3.22. Учебный стенд НВУ-3Б с контрольно-проверочной аппаратурой

навигационные параметры (K , V_n , V , W , ψ_w , УС, ЗПУ, F_1 , F_2 , ψ_k и др.).

Использование устройства КПА позволяет проверить: точность работы НВУ; формирование отдельных сигналов; работу индикации и схем контроля.

Неотъемлемое условие поддержания эксплуатационных характеристик НВУ в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями — своевременное и грамотное техническое обслуживание устройства и проведение регламентных работ.

Техническое обслуживание включает: предполетную подготовку, в процессе которой проверяется работоспособность устройства в режимах счисления, выдачи параметров в БСУ, преобразования; подготовку к повторному полету; послеполетную подготовку; предварительную подготовку.

Регламентные работы это: анализ состояния устройства; чистка и профилактическое обслуживание; текущий ремонт.

Все виды операций при эксплуатации и техническом обслуживании производятся по перечню, установленному соответствующей документацией и инструкциями.

4.1. Общая характеристика

Автоматическое управление полетом, включающее в себя управление движением ВС и всеми его системами, требует реализации трех основных функций: информационного обеспечения полета, принятия решений, исполнения принятых решений.

Наиболее трудоемкой, а следовательно, и наиболее нуждающейся в автоматизации является функция информационного обеспечения, включающая в себя сбор, хранение и преобразование информации к виду, удобному для решения задач управления полетом. Для реализации этих функций современные ВС оснащаются средствами цифровой вычислительной техники, применение которых придает бортовому оборудованию совершенно новые качества, так как, выполняя свои функции, они объединяют разрозненные устройства и системы в единый комплекс, существенно расширяют круг решаемых на борту задач, качественно изменяет его технические показатели и эксплуатационные характеристики.

В широком смысле БЦВМ является специализированной машиной. Она строится с минимальной избыточностью по основным характеристикам, обеспечивающим более полное использование ее вычислительных и логических ресурсов при решении задач на борту.

Центральное устройство БЦВМ — процессор (устройство арифметики и управления), предназначенный для выполнения арифметических и логических операций над командами. Структура процессора зависит от принятого в машине формата команд, который, в свою очередь, определяется рядом факторов, важнейшие из которых — используемые в БЦВМ система счисления и форма представления чисел, их разрядность, система команд, способ адресации.

В БЦВМ реализуется конкретный класс алгоритмов с заранее известным диапазоном изменения чисел и допустимой погрешностью вычислений. Это позволяет представлять информацию в виде чисел с фиксированной запятой определенной разрядности.

Для того чтобы не усложнять структуру БЦВМ, разрядность команды принимают равной разрядности чисел, что обеспечивает возможность представлять числа и команды как информационное слово и хранить при необходимости в одних и тех же ячейках памяти машины.

Вычисления, выполняемые БЦВМ, можно условно разделить на две группы.

К первой группе относятся вычисления, которые машина производит непрерывно, т. е., учитывая дискретность системы, с периодом, равным циклу работы системы T . Эти вычисления, как правило, не требуют высокой точности, так как последняя определяется уровнем точности бортовых датчиков информации (определение параметров путем скорости, курса, крена и т. д.).

Ко второй группе относятся вычисления, которые машина производит сравнительно редко (переход на новый участок ЛЗП, расчет предпосадочного маневра и т. д.). Точность вычисления при решении таких задач должна быть значительно выше, так как исходная информация, как правило, задается в виде географических координат точек, определяющих траекторию полета. Поэтому в БЦВМ предусмотрена возможность вычислений с удлинённой разрядной сеткой.

Адресность машины влияет на структуру вычислительной машины, удобство программирования и надежность. При уменьшении числа адресов упрощается структура машины и увеличивается ее надежность, но процесс программирования усложняется. В этом случае увеличивается длина программы. Известно, что адресность не влияет на время выполнения одного и того же вычислительного процесса, поэтому в БЦВМ используют малое количество адресов. Обычно на борту применяется одно- и двухадресные ЦВМ.

Любая БЦВМ может быть охарактеризована совокупностью (системой) выполняемых ею типов команд, каждая из которых состоит из кода операции и адресной части. Система команд определяется количеством разновидностей реализуемых машиной операций и условно делится на группы: арифметические, управления, связи с внешними устройствами, специальные.

В БЦВМ могут использоваться различные способы адресации (обращения) к памяти: прямая, косвенная и непосредственная. При использовании одновременно нескольких способов адресации в структуру команд включается дополнительный элемент, определяющий вид адресации.

При обработке информации с помощью БЦВМ часть программ может носить циклический характер: отдельные участки программы многократно повторяются и команды в них отличаются друг от друга лишь адресной частью. В таких случаях запись программы можно существенно сократить путем изменения в повторяющихся командах их адреса. Операция изменения адресной части команды называется модификацией адреса.

Модификация адреса может выполняться либо программными, либо аппаратными средствами. В последнем случае обращение к памяти машины при исполнении команды производится по так называемому исполнительному адресу. В БЦВМ, допускающих модификацию адресной части команды, предусматриваются два способа формирования исполнительного адреса:

- 1) формат исполнительного адреса равен формату начального, записанного в команде. В этом случае процедура обращения к памяти обычная, зависящая от принятого способа адресации;

- 2) исполнительный адрес образуется как сумма адресной части команды и содержимого специальной ячейки или индекса регистра. В структуру команды в этом случае вводится специальный признак, указывающий, каким из двух способов осуществляется обращение к памяти.

Информация, обрабатываемая БЦВМ, при помощи входного устройства преобразуется в цифровой код машины и в виде программы записывается в ее запоминающее устройство. Рабочая программа БЦВМ для решения, например, задач навигации и управления состоит из ряда частных задач. Перед полетом в машину вводятся конкретные сведения, относящиеся к данному полету: пункты отправления и назначения, промежуточные пункты полета, углы наклона глиссады в аэропортах посадки и т. д. Рабочая программа предусматривает решение каждой частной задачи и определяет их последовательность.

Результаты вычислений передаются из вычислительного устройства машины в устройство вывода информации, которое с помощью цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) преобразует их в аналоговую форму. Далее аналоговые сигналы поступают на устройства отображения информации, исполнительные устройства. В ряде случаев информация с БЦВМ может быть использована непосредственно в цифровой форме для индикации или приведения в действие цифровых исполнительных устройств.

Требования к быстродействию БЦВМ определяются динамическими характеристиками системы управления ЛА, видом решаемых задач и объемом необходимых вычислений. В зависимости от вида задач управления длительность цикла вычислений может быть переменной, кратной T , но не превышающей величину, существенно влияющую на устойчивость системы управления ЛА.

Для экстренного выполнения непрограммируемых операций предусматривается режим прерывания хода выполнения основной программы с запоминанием промежуточных результатов.

4.2. Структурная схема, система команд типовой БЦВМ

Схема, описание работы. БЦВМ — сложные системы, состоящие из двух взаимосвязанных частей (технической и математической). Описание технической части машины может быть осуществлено на различных уровнях детализации: на уровне устройств, функциональных узлов, логических элементов и булевых функций, принципиальных и монтажных схем. Математическая часть БЦВМ представляет собой систему программного обеспечения, т. е. набор программ, обеспечивающих работу машины.

Рассмотрим построение типовой БЦВМ на уровне ее устройств и функциональных узлов. Схема (рис. 4.1) содержит следующие устройства: устройство арифметики и управления (УАУ); оперативное запоминающее устройство (ОЗУ); постоянное запоминающее устройство (ПЗУ); устройство ввода-вывода (УВВ); блок питания (БП). УАУ, ОЗУ и ПЗУ составляют цифровое вычислительное устройство (ЦВУ), которое является основной вычислительной частью рассмат-

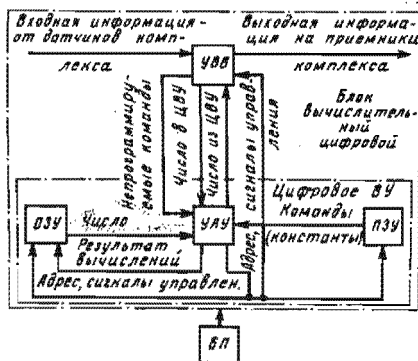


Рис. 4.1. Схема БЦВМ

риваемой БЦВМ. Накопитель ПЗУ разбит на "квадраты" по 512 чисел каждый.

Устройство арифметики и управления выдает в ОЗУ и ПЗУ сигналы управления, а также адрес, содержащий номер "квадрата" и номер ячейки накопителя. Из накопителя ПЗУ по данному адресу выбирается команда, которая поступает в УАУ, где разбивается на две части: код операции и адресную часть команды. Адресная часть команды содержит номер ячейки ОЗУ и ПЗУ, из которой должно быть выбрано число (константа). По данному адресу из ОЗУ или ПЗУ выбирается число, которое затем поступает в УАУ для выполнения операции. Второе число, с которым производится операция, посылается по команде из ОЗУ или ПЗУ в УАУ и хранится в одном из его регистров. Код операции команды, выбранной из ПЗУ, дешифруется в УАУ и в виде сигналов управления используется при выполнении операции над числами. Результаты вычислений записываются в ОЗУ или в одном из регистров УАУ. Обмен информацией между ЦВУ и УВВ осуществляется с помощью команд "ввода-вывода" и непрограммируемых команд (НК).

Если входная и выходная информации БЦВМ разбиты на каналы, каждому каналу присвоен адрес. Входные адреса опрашиваются по программе с помощью команд ввода с адресом данного канала.

От датчиков системы на преобразователи УВВ поступает информация следующих видов: переменные напряжения, пропорциональные синусу и косинусу угла поворота ротора СКВТ; постоянные напряжения — от потенциометров и усилителей; импульсные сигналы переменной частоты F_1 , F_2 , F_3 , F_K от ДИСС и схем контроля; разовые сигналы, команды и параллельные коды; информация в виде последовательных кодов от электронных схем.

Прием информации в ОЗУ или в регистр-накопитель УАУ осуществляется:

- по программируемым командам "ввод", имеющимся в списке операций БЦВМ;

- по непрограммируемым командам, которые формируются в УВВ в жестком цикле по мере окончания преобразования в каждом из последовательно подключаемых каналов;

- по непрограммируемым командам, которые формируются в УВВ при поступлении от комплекса сигналов прерывания.

Момент начала цикла сообщается программе путем периодического поступления из УВВ (с периодом порядка 50 мс)

В дальнейшем под адресной частью команды всегда будет пониматься модифицированная часть (АМ), которая совпадает с АЧ, если ПМ = 0 или равна АЧ + МК (по mod 2), если ПМ = 1. Для описания способов адресации в БЦВМ необходимо рассмотреть форматы еще двух слов, хранящихся в специальных узлах БЦВМ: счетчике команд-переключателя "квадратов" команд (СКП) и индексном регистре (ИР). Так как в адресной части команд можно указать лишь 512 различных адресов, вся информация, хранящаяся в ПЗУ, разбивается на "квадраты" по 512 ячеек в каждом.

При выборе из ПЗУ команды адрес команды определяется содержимым СКП, представляющего собой 16-разрядный регистр (рис. 4.3, а). Шестиразрядный номер "квадрата" команды хранится в СКП в переключателе "квадратов" команд (ПК), а адрес команды внутри "квадрата" определяется содержимым девятиразрядного счетчика команд (СК).

Шестиразрядный номер "квадрата" числа (константы) хранится в ИР в переключателе "квадратов" чисел (ПЧ), а адрес числа внутри "квадрата" определяется адресной частью команды. Индексный регистр представляет собой 16-разрядный регистр (рис. 4.3, б). Четыре младших разряда ПЧ (9—12) определяют номер "квадрата" внутри ПЗУ, а два старших разряда (13,14) — номер устройства ПЗУ.

Существование двух переключателей ПК и ПЧ обеспечивает возможность выборки команды и числа, которое участвует в выполнении операции по данной команде, из разных "квадратов" ПЗУ. Переход из "квадрата" команд в следующий за ним "квадрат" осуществляется автоматически. Кроме того, существуют специальные команды посылки в СКП и ИР, позволяющие перейти из одного "квадрата" в другой.

ОЗУ является оперативной памятью и служит для приема и выдачи чисел в процессе решения задачи. В адресной части команды указывается адрес ячейки ОЗУ внутри устройства на 512 чисел. Номер ОЗУ хранится в одnorазрядном переключателе (в 15-м разряде СКП). Существуют команды посылки в СКП, по которым производится переключение номера ОЗУ.

Система команд. Она представляет собой перечень операций, выполняемых БЦВМ, и определяется требованиями к программированию задач, решаемых на борту. В соответствии с форматом команды число различных операций типовой БЦВМ составляет величину порядка $2^6 = 64$.

Операции разбиты на несколько групп: арифметические, логические, сдвиговые, битовые, посылочные, запоминания,

передачи управления, модификационные, обмена, ввода-вывода.

Сокращенный перечень, обозначения и схемы выполнения операций приведены в табл. 4.1, в которой первая буква в графе 2 обозначает вид группы операций, вторая — смысл операций, третья — устройство, из которого поступает информация (например, АСО — арифметическое сложение с числом из ОЗУ); в графе 3 указывается код операции (КОп) в восьмиричной системе счисления; в графе 4 указывается наличие адреса модификации (АМ), адрес ОЗУ (АО), ПЗУ (АП); i — число, записанное в (0—5) разрядах АМ; <СК> — число, записанное в АМ; в графе 5 буквы ОПАН О, П, Н, А указывают содержимое ячейки ОЗУ, ячейку ПЗУ, регистра-накопителя (РН), регистра А (РА) соответственно; $O_{AO}, AO + 1$ — содержимое двух ячеек ОЗУ со смежными адресами АО и $AO + 1$; $\Rightarrow$ — символ записи результата; в графе 6 — длительность выполнения операции в циклах.

Операции, отмеченные знаком *, имеют аналог при действии с числом из ПЗУ, не приведенный в таблице.

Т а б л и ц а 4.1.

Группа	Обозначение	КОп	АМ	Схема операции	Время выполнения
1	2	3	4	5	6
Арифметические	АСО	40	АО	$O + H \Rightarrow H; A$	τ
	АСП	41	АП	$P + H \Rightarrow H; A$	2τ
	АСТ	42	АО	$O_{AO} \cdot AO + 1 + H, A \Rightarrow H, A$	2τ
	АВО*	60	АО	$O - H \Rightarrow H; A$	τ
	АДО*	14	АО	$H : O \Rightarrow A$	20τ
	АУО*	12	АО	$O \times A \Rightarrow H, A$	2τ
	АМЧ	22	АО	$O + 1 \Rightarrow O$	2τ
	АВМ	63	АО	$ O - H \Rightarrow H$	2τ
Логические	ЛУО	50	АО	$O \wedge H \Rightarrow H; A$	τ
	ЛУП	51	АП	$P \wedge H \Rightarrow H; A$	2τ
	ЛСО*	44	АО	$O \vee H \Rightarrow H; A$	τ
	ЛНО*	54	АО	$O \neq H \Rightarrow H; A$	2τ
Сдвиговые	СПЛ	10	3/i	$A \Rightarrow H, A$	2τ
	СПА	10	1/i	$A \Rightarrow H; A$	2τ
	СЛЛ	10	2/i	$A \Rightarrow H; A$	2τ
	СЛА	10	0/i	$A \Rightarrow H; A$	2τ

Группа	Обозначение	КОп	АМ	Схема операции	Время выполнения
1	2	3	4	5	6
Битовые	БЗП	11	1//	$\omega \Rightarrow H_i$	2 т
	ВПП	11	7//	$H_i \Rightarrow \omega$	2 т
	БЗО	11	3//	$"0" \Rightarrow H_i$	2 т
	БЗ1	11	2//	$"1" \Rightarrow H_i$	2 т
	БЛУ	11	5//	$H_i \wedge \omega \Rightarrow \omega$	2 т
	БЛС	11	6//	$H_i \neq \omega \Rightarrow \omega$	2 т
	БЛН	11	4//	$H_i \vee \omega \Rightarrow \omega$	2 т
Посылочные	ПНО*	64	АО	$O \Rightarrow H$	т
	ПНО	32	АО	$O \Rightarrow H$	т
	ПАО*	36	АО	$O \Rightarrow H$	т
	ПИО	72	АО	$O \Rightarrow \text{МК, ПЧ}$	т
	ППА	34	ПЧ	$(0-5) \text{ АМ} \Rightarrow \text{ПЧ}$	т
	ПСО	06	АО	$O \Rightarrow \text{СК, ПК, ПО}$	2 т
Запоминающая	ЗОО	66	АО	$H \Rightarrow H, A; "O" O$	2 т
	ЗОН	67	АО	$H \Rightarrow O, H, A$	2 т
	ЗПН	33	АО	$H \Rightarrow O, H$	2 т
	ЗОА	26	АО	$A \Rightarrow O, A$	2 т
	ЗОК	27	АО	$KU \Rightarrow O$	2 т
	ЗОИ	73	АО	$\text{МК, ПЧ, } \omega \Rightarrow O$	2 т
Передачи управления	ПУБ	20	<СК>	$\text{АМ} \Rightarrow \text{СК}$	2 т
	ПУО	24	<СК>	$\text{АМ} \Rightarrow \text{СК, при } \omega = 0$	т
	ПУ1	30	<СК>	$\text{АМ} \Rightarrow \text{СК, при } \omega = 1$	2 т
Модификационные	ПМА	71	МК	$\text{АМ} \Rightarrow \text{МК}$	2 т
	ПМН	70	0 0 0	$(0-8)_p H \Rightarrow \text{МК}$	т
	ПМО	70	АО	$(0-8)_p \Rightarrow \text{МК;}$	т
	ПКО	04	АО	След. ком. из 0	т
Обмена	СОО	16	АО	$\text{СК, ПК, ПО} \Rightarrow 0; 0 \Rightarrow \text{СК, ПК, ПО}$	2 т
	СОП	17	АО, АП	$\text{СК, ПК, ПО} \Rightarrow 0; П \Rightarrow \text{СК, ПК, ПО}$	2 т
	САП	23	АП	$\text{СК, ПК, ПО} \Rightarrow A; П \Rightarrow \text{СК, ПК, ПО}$	2 т
Ввода-вывода	ВОУ	76	—	$\text{УВВ} \Rightarrow 0$	3 т
	ВНУ	77	—	$\text{УВВ} \Rightarrow H, A$	3 т
	ВУО	75	—	$O \Rightarrow \text{УВВ}$	3 т
	ВУН	74	—	$H \Rightarrow \text{УВВ}$	т

4.3. Оперативное запоминающее устройство

Назначение, общие сведения. Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) предназначено для приема, хранения и выдачи кодов чисел в соответствии с программой работы БЦВМ.

В БЦВМ используется ферритовое ОЗУ на многоотверстных пластинах из материала с прямоугольной петлей гистерезиса. Запоминающий куб (накопитель) состоит из набора ферритовых плат, число которых соответствует разрядности хранимых чисел. Каждая плата позволяет запоминать n одно-разрядных двоичных чисел, т. е. по одному разряду каждого из хранимых чисел. Для выборки информации используется магнитный дешифратор (координатная матрица). Таким образом, устройство оперативной памяти состоит из накопителя и магнитного дешифратора.

Ферритовые платы накопителя представляют собой прямоугольные пластинки с отверстиями малого диаметра (порядка 0,2 — 0,3 мм), на которые печатным способом нанесены проводники, проходящие через отверстия. Проводник, проходящий последовательно через все отверстия платы, носит название разрядного. Проводник, пересекающий одно или пару отверстий, называется адресным.

Для хранения информации используется область ферромагнитного материала вокруг отверстия платы-ячейки. Ячейки ферритовой платы могут запоминать информацию в форме остаточной намагниченности того или иного знака в течение неограниченного времени без потребления энергии. Намагничивание ячейки производится посредством адресного проводника при прохождении через отверстие платы тока с определенной длительностью и амплитудой.

Величина намагничивающего тока выбрана для следующих условий: амплитуда тока должна быть достаточной для создания поля, превосходящего коэрцитивную силу материала; амплитуда тока не должна быть больше критической, при которой начинается перемагничивание соседних ячеек (взаимное влияние).

Изменение полярности тока, пропускаемого через отверстие платы, приводит к изменению знака намагниченности ячейки, т. е. к изменению хранимой в ней информации. При записи информации полярность тока записи единиц и нулей различна, что соответствует различным значениям знака намагниченности ячеек. При считывании через ячейку пропускается ток считывания, полярность которого соответствует полярности тока при записи нулей.

Таким образом, при считывании в ячейках, где хранились единицы, происходит перемагничивание материала, и на разрядных проводах появляется э.д.с., пропорциональная изменению индукции в ячейках. Состояние ячеек, где хранились нули, не изменяется, и на разрядных проводах наводимая э. д. с. мала. Для хранения одного разряда кода числа могут быть использованы две ячейки. Одна ячейка служит для хранения единиц, другая — для хранения нулей.

Использование двух ячеек на один разряд хранимого кода числа позволяет: всегда независимо от кода числа, записанного в куб, перемагничивать одно и то же количество ячеек, равное количеству разрядов, чем достигается независимость от кода числа нагрузки для токов, проходящих через ячейки: различать считанную информацию "1" и "0" по полярности считанных сигналов, что резко снижает требования к усилителям считывания и повышает надежность всего блока в целом.

Одноименные по адресу ячейки памяти, адресные проводники всех ферритовых плат объединены и управляются магнитным дешифратором, который представляет собой матрицу, построенную на ферритовых сердечниках с прямоугольной

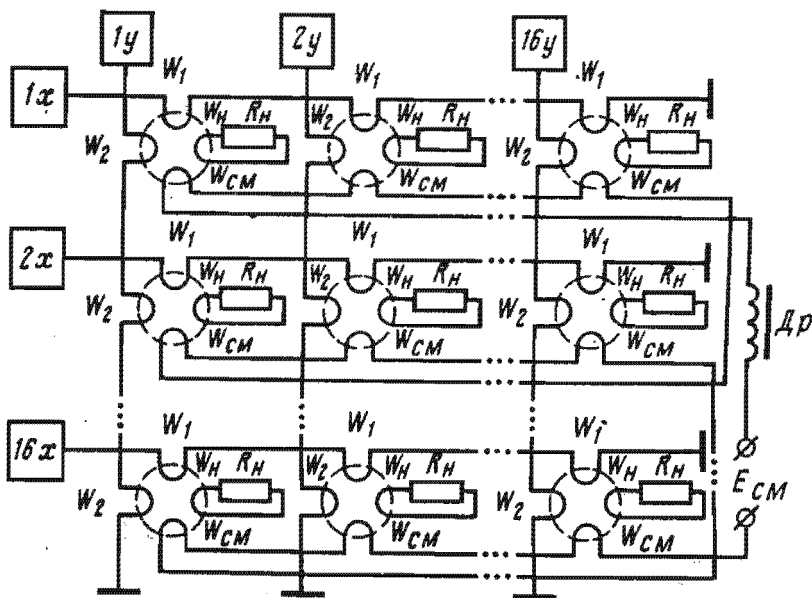


Рис. 4.4 Схема матричного дешифратора на магнитных сердечниках

петлей гистерезиса. На рис. 4.4 представлена упрощенная схема матричного дешифратора на магнитных сердечниках.

Каждый сердечник имеет четыре обмотки ($W_{см}$, W_1 , W_2 , W_n). Обмотки смещения $W_{см}$, соединенные последовательно у всех сердечников, служат для установки нужного режима работы дешифратора. Обмотки W_1 соединяются последовательно в каждой строке матрицы, образованной сердечниками дешифратора, а W_2 — в каждом столбце. Эти цепи образуют адресные шины x и y . Обмотки W_n являются управляющими и подключены к адресным проводникам накопителя R_n .

При подаче на некоторую пару шин x , y адресных токов I_x , I_y суммарный поток через сердечник, находящийся на пересечении данных шин, перемагничивает его и в обмотке W_n наводится э. д. с., создающая ток в соответствующем адресном проводнике выбранной ячейки накопителя. При снятии адресных токов сердечник под действием потока от обмотки смещения возвращается в исходное состояние намагниченности.

При двукратном перемагничивании сердечника дешифратора в обмотке W_n наводятся два импульса противоположной полярности. Первый из них используется для считывания числа из ячейки накопителя, а второй — для регенерации (восстановления) информации.

На смену магнитной памяти, благодаря успехам интегральной технологии, приходит полупроводниковая память. Хранение бита информации в интегральных полупроводниковых ОЗУ может осуществляться двумя способами. Первый способ основан на использовании конденсатора в качестве элемента хранения заряда. Этот способ называют динамическим, имея в виду необходимость в данном случае процедуру периодического восстановления напряжения на конденсаторе в процессе хранения информации. При втором способе в качестве одно-разрядной запоминающей ячейки используют триггерную схему и построенное из таких ячеек ЗУ относят к статическим.

Из большого многообразия полупроводниковых ОЗУ рассмотрим в качестве примера биполярные статические ЗУ на транзисторах. Схема запоминающей ячейки такого ЗУ приведена на рис. 4.5.

Информация, хранящаяся в ячейке, считывается с шин I или 0 . Если на шине адреса напряжение равно 0 , то ток открытого (для соответствующего состояния триггера) транзистора идет через адресную шину. При выборе адреса на адресную шину подается положительный потенциал, запирающий связанные с этой шиной эмиттеры транзисторов V_{T1} , V_{T2} . При этом

в одной из информационных шин возникает ток (в зависимости от состояния триггера).

Запись информации осуществляется выбором ячейки (положительный потенциал на адресной шине) и подачей положительного потенциала на шину обратного записываемому значению состояния. Например, для записи единицы необходимо подать положительный потенциал на шину 0. При этом, в случае исходного нулевого состояния ячейки, оба эмиттера транзистора $VT2$ запираются и возрастающий потенциал его коллектора, поступающий на базу $VT1$, открывает последний триггер, переключается в состояние единицы.

Память организуется путем подключения к шинам питания и адреса требуемого числа триггеров в строку, образующую ячейку слова с данным адресом, и подключения к шинам 1 и 0 триггеров в столбцы, образующие одноименные разряды ячеек слов. Каждая строка (ячейка слова) имеет собственную адресную шину. Выбор адреса осуществляется с помощью дешифратора двоичного кода адреса.

Функциональная схема ОЗУ типовой БЦВМ. Оперативное запоминающее устройство построено по системе Z. В качестве накопителя в ОЗУ применен куб памяти с многоотверстными ферритовыми числовыми пластинами и встроенным диодно-магнитным дешифратором с постоянным смещением. Функциональная система ОЗУ приведена на рис. 4.6. Основными функциональными узлами на схеме являются следующие: регистр адреса (РАдр); дешифратор I ступени X и Y (Дш-1X, Дш-1Y), адресные ключи X и Y (АК-X, АК-Y), адресные формирователи (АФ), дешифратор II ступени X (Дш-2X), накопитель (Н); усилитель произведения (УВ), регистр числа (РЧ), разрядные формирователи (РФ), схема управления СхУ.

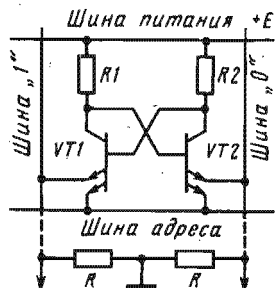


Рис. 4.5. Схема биполярной запоминающей ячейки на транзисторах

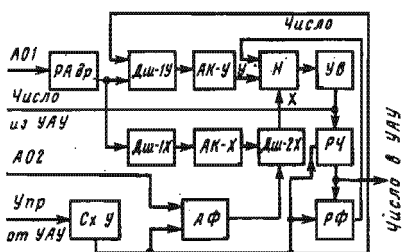


Рис. 4.6. Функциональная схема оперативного запоминающего устройства

Регистр адреса представляет собой сдвигающий регистр, преобразующий последовательный код адреса из УАУ в параллельный код адреса ОЗУ. С выходных каскадов регистра адреса параллельный код адреса поступает на дешифратор I ступени. Младшие разряды кода адреса Зр. . . Ор поступают на входы дешифратора I ступени Y, а старшие разряды 7р. . . 4р — на входы дешифратора I ступени X. Дешифраторы I ступени стробируются по времени схемой управления. Каждый дешифратор имеет 16 выходов, которые управляют адресными ключами.

В зависимости от кода регистра адреса выбирается один из 16 адресных ключей X и один из 16 адресных ключей Y. Выходы адресных ключей Y подключаются к координатным шинам Y накопителя. Выходы адресных ключей X подключаются к дешифратору II ступени X, который управляется адресными формирователями. На входе адресных формирователей из УАУ приходит восьмой разряд кода адреса A02 и строб со схемы управления. При отсутствии "1" в 8-м разряде A02 появляются сигналы на выходе 1 адресного формирователя и на одном из 16 выходов дешифратора II ступени X X1. . . X16. При наличии "1" в 8-м разряде A02 появятся сигналы на выходе 2 адресного формирователя и на одном из следующих 16 выходов дешифратора II ступени X X17. . . X32. Выходы дешифратора II ступени X подключаются к координатным шинам X накопителя.

При поступлении сигналов в координатные шины X и Y накопителя происходит считывание числа по заданному адресу. Усилители воспроизведения принимают сигналы считывания, усиливают их. Сигналы затем поступают параллельным 16-разрядным кодом в сдвигающий регистр числа. РЧ преобразует поступающий в него параллельный код в последовательный, который далее поступает в УАУ. Параллельный код РЧ поступает на выходы разрядных формирователей для перезаписи считанного числа. Разрядные формирователи управляют записью "0" и "1" в накопителе. Считанное число вновь записывается в накопитель. При записи нового кода числа процессы в устройстве аналогичны описанным выше. Отличие заключается в том, что при этом отсутствует строб приема числа и результат считывания не поступает в соответствующий регистр. Из управляющего арифметического устройства в регистр числа вводится новый код числа, который записывается в накопитель по выбранному адресу.

Схема управления вырабатывает стробирующие сигналы, обеспечивающие синхронную работу всего устройства.

4.4. Постоянное запоминающее устройство

Назначение, общие сведения. Постоянное запоминающее устройство предназначено для хранения и выдачи кодов чисел и команд в соответствии с программой решения задач. В современных БЦВМ и ПЗУ широко используются накопители, выполненные на трансформаторных и полупроводниковых элементах.

Каждый запоминающий элемент ПЗУ трансформаторного типа (рис. 4.7) имеет N первичных обмоток, образованных прошивающими (кодowymi) проводами, и одну вторичную (разрядную) обмотку. Трансформатор осуществляет хранение одного разряда N чисел. Набор из n трансформаторов образует числовую линейку, хранящую N чисел, каждое из которых содержит n разрядов.

Информация, хранимая в трансформаторных ПЗУ, определяется схемой пришивки магнитных сердечников проводами. Прошивка проводом сердечника соответствует записи единицы, и, наоборот, при записи нуля сердечник не прошивается.

Сердечник ПЗУ может быть выполнен из материала с прямоугольной петлей гистерезиса, а также с непрямоугольной. Наибольшее применение получили сердечники с непрямоугольной петлей как более быстродействующие и допускающие применение разъемных конструкций магнитопровода, что упрощает процесс занесения информации (программирование ПЗУ).

Считывание информации осуществляется с разрядных обмоток, выполненных на каждом сердечнике. При подаче импульса тока на выбранную адресную шину (она же кодовая шина для записанного по этому адресу слова) в разрядных обмотках прошитых ею сердечников наведется э.д.с. самоиндукции, что укажет на запись единиц в соответствующих разрядах.

Принцип работы полупроводникового ПЗУ рассмотрим на примере диодной матрицы, показанной на рис. 4.8. Запись информации определяется схемой установки диодов на пересечении горизонтальных (адресных) шин с вертикальными

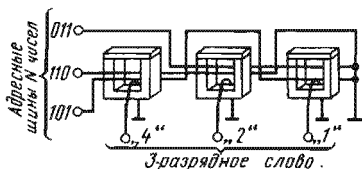


Рис. 4.7. Фрагмент схемы запоминающего устройства трансформаторного типа

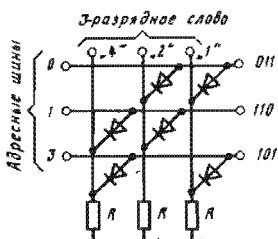


Рис. 4.8. Схема диодной матрицы запоминающего устройства

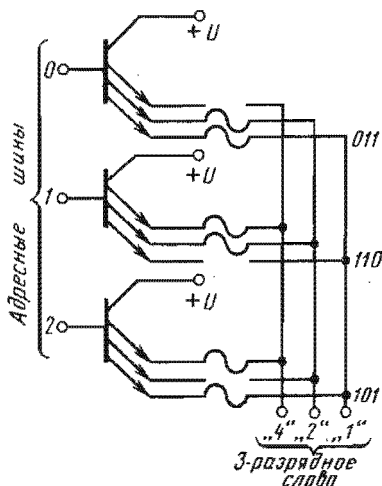


Рис. 4.9. Фрагмент схемы программируемого запоминающего устройства на транзисторах

(разрядными) шинами. Установка диода соответствует записи единицы, и, наоборот, при записи нуля диод не устанавливается.

Считывание информации выполняется подачей положительного потенциала на выбранную адресную шину. При этом проходит ток через резисторы только тех столбцов (разрядов), которые имеют "диодную" связь с данной адресной шиной, и на соответствующих разрядных шинах возникает напряжение логической единицы.

По способу записи информации различают три типа полупроводниковых (интегральных) ПЗУ: масочно-программируемые, электрически программируемые, перепрограммируемые.

Первый тип ПЗУ программируется в процессе изготовления. Требуемые связи адресных и разрядных шин не могут быть изменены впоследствии потребителем.

Второй тип ПЗУ выпускается производством с записью идентичного состояния во все разряды всех слов (логические нули или логические единицы). Потребитель имеет возможность однократного программирования ПЗУ электрическим способом.

Третий тип ПЗУ позволяет пользователю многократно программировать информацию путем восстановления однотипного состояния всех элементов памяти (стирание информации) и электрического программирования. Процессы стирания и записи в этих ПЗУ относительно сложны.

Простейшим примером программируемого ПЗУ является диодная матрица с плавкими перемычками, включенными последовательно с каждым диодом. Первоначально ПЗУ содержит диодные связи на всех пересечениях строк и столбцов, т. е. записаны слова, состоящие из единиц. При программировании подаются импульсы тока, разрушающие плавкие перемычки тех связей, которые должны быть устранены для записи нулей.

На рис. 4.9 показано программируемое ПЗУ на транзисторах. Каждому слову соответствует многоэмиттерный транзистор с числом эмиттеров, равным числу разрядов записываемых слов. В каждой эмиттерной цепи имеется плавкая перемычка. Программирование осуществляется разрушением соответствующих перемычек. При адресации используется базовая цепь, обеспечивающая включение нужного транзистора. В результате в цепях эмиттеров с неповрежденными перемычками возбуждается ток.

Функциональная схема ПЗУ типовой БЦВМ. Накопитель ПЗУ типовой БЦВМ трансформаторного типа на "П"-образных сердечниках. Функциональная схема ПЗУ приведена на рис. 4.10. Основными функциональными узлами его являются: регистры адресов (РА-1, РА-2, РА-3), дешифраторы выбора строк I и II ступени ($S_{ст I}$ и $S_{ст II}$); дешифраторы выбора столбцов I и II ступени ($S_{сб I}$ и $S_{сб II}$); дешифратор запрещения выбора линеек S_d , схема запрещения (сх З), накопитель (Н), предварительные усилители (ПУ), оконечные усилители (ОУ), регистр числа (РЧ).

Регистры адреса РА-1 и РА-2 предназначены для приема из УАУ последовательного кода адреса, преобразования его в параллельный и для поразрядного хранения. Для уменьшения времени приема код адреса поступает в регистр адреса тремя каналами: АП1 — (0...7) разряды, АП2 — (8...12) разряды, АП3 — 13 разряд.

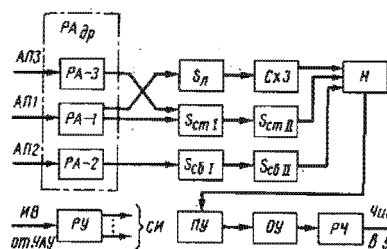


Рис. 4.10. Функциональная схема постоянного запоминающего устройства

Из регистра РА адрес поступает на входы дешифраторов первых ступеней строки и столбца ($S_{стI}$ и $S_{сбI}$), а также на дешифратор запрещения выбора линеек $S_{л}$. 8, 9—12, 13, разряды кода адреса управляют дешифратором выбора строки 3—7, разряды регистра адреса — дешифратором выбора столбца, 0—2 разряды регистра — дешифратором запрещения выбора линеек.

В зависимости от кода адреса выбирается одно из чисел, прошитых в накопителе. При этом с одного из выходов дешифратора строк II ступени $S_{стII}$, представляющего собой транзисторную матрицу, в накопитель подается импульс отрицательной полярности, а с одного из выходов дешифратора столбцов II ступени $S_{сбII}$, выполненного также в виде матрицы, поступает импульс положительной полярности.

Накопитель представляет собой совокупность диодной матрицы и запоминающих трансформаторов, прошитых кодовыми проводами. Каждый из этих проводов подключен последовательно к соответствующему диоду матрицы. При подаче импульса строки и столбца по выбранному проводу протекает ток незапрещенной группы.

Считанное число поступает параллельным 16-разрядным кодом на вход предварительных усилителей, в результате чего на выходных обмотках запоминающих трансформаторов, в которых кодовый провод проходит через окно сердечника (запись "1"), наводится импульс положительной полярности, что соответствует считанной "1".

При протекании тока опроса по проводу информация снимается только с одной линейки, так как выходные обмотки остальных линеек закорочены открытыми переходами коллектор—эмиттер транзисторов схем запрещения. Управление работой схем запрещения производится дешифратором выбора линейки $S_{л}$, имеющим количество выходов, равное количеству числовых линеек.

Код, считанный с накопителя, поступает на входы соответствующих предусилителей, а затем на выходы оконечных усилителей, которые осуществляют усиление и формирование считанных сигналов. С выходов оконечных усилителей сигналы параллельно подаются на соответствующие разряды регистра числа, где преобразуются в последовательный код, поступающий в УАУ. Распределительное устройство вырабатывает временные стробы, обеспечивающие синхронную работу всего устройства.

4.5. Устройство арифметики и управления

Устройство арифметики и управления (УАУ), схема которого приведена на рис. 4.11, предназначено для автоматического управления БЦВМ и выполнения операций из списка системы команд в соответствии с алгоритмом решения задачи. В состав УАУ входят три основных функциональных устройства: центральное устройство управления (ЦУУ); местное устройство управления (МУУ); арифметико-логическое устройство (АЛУ).

Центральное устройство управления (ЦУУ) предназначено для организации хода вычислительного процесса, преобразования адресной информации, коммутации устройств памяти, прерывания вычислений по внешним сигналам. ЦУУ состоит из следующих функциональных узлов (рис. 4.12): счетчика команд и переключателя "квадратов" команд СКП, схемы адреса ПЗУ; схемы модификации адреса (СМА); схемы хранения адреса, индексного регистра (ИР), схемы управления ПЗУ, схемы управления ОЗУ, схемы приема непрограммируемого прерывания вычислений ПНПВ.

ЦУУ обеспечивает естественную выборку команд из ПЗУ. Формирование адреса команд осуществляется в СКП прибавлением единицы младшего разряда к содержимому счетчика либо посылкой в СКП числа с выхода сборки ЗУ (СоЗУ) или схемы хранения адреса. Для согласования быстродействия ЦУУ и ПЗУ адрес команды из СКП на схему адреса ПЗУ передается по двум каналам.

В БЦВМ "память" команд и констант единая, поэтому обращение к ПЗУ за командой и константой происходит по одному и тому же каналу. Схема адреса ПЗУ осуществляет коммутацию адресов команды и константы. Управляет коммутацией признак памяти, записанный в 9-м разряде команды. Сформированный адрес $A_{пзу}$ поступает из схемы адреса ПЗУ. Адрес операнда в схему адреса ПЗУ подается также по двум каналам: адрес ячейки внутри "квадрата" ПЗУ (АМ) поступает с выхода схемы хранения адреса, адрес

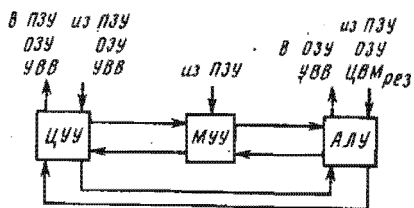


Рис. 4.11. Схемы устройства арифметики и управления

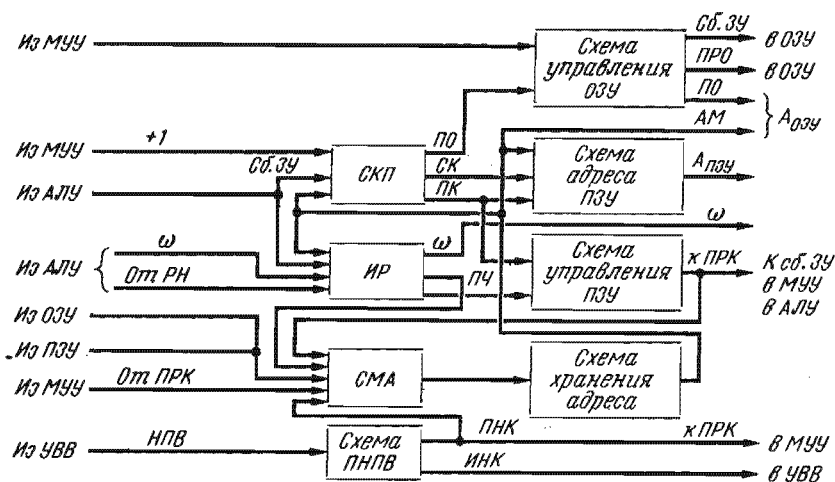


Рис. 4.12. Функциональная схема центрального устройства управления

номера "квадрата" ПЗУ (ПЧ) — с выхода индексного регистра ИР.

Схема модификации адреса предназначена для приема команды из ПЗУ, ОЗУ или УВВ и дальнейшей модификации адресной части команды, если признак модификации в команде равен единице. Изменение адресной части производится на величину модификатора команд МК, хранящегося в индексном регистре.

Схема хранения адреса предназначена для запоминания адреса при многократном обращении в ОЗУ или ПЗУ. Адрес операнда из схемы хранения адреса поступает одновременно в ОЗУ1 и ОЗУ2. Номер ОЗУ, к которому производится обращение за числом, хранится в 15-м разряде СКИП. Таким образом, в БЦВМ принята относительная адресация.

Индексный регистр ИР предназначен для хранения информации, необходимой для модификации и формирования адреса операнда. ИР содержит модификацию адресной части команды МК и переключатель "квадратов" чисел ПЧ. Кроме того, в нем производится запоминание признака условного перехода ω . Изменение кода в ИР производится программным путем при выполнении операций посылки в ИР из сборки чисел ЗУ (Сб. ЗУ); схемы хранения адреса или регистра-накопителя АЛУ (РН).

Схема управления ПЗУ предназначена для коммутации приема команды на выходах схемы модификации адреса и предварительного регистра команд или коммутации приема константы на входе Сб. ЗУ с одного из четырех устройств ПЗУ. Управление работой схем производится двумя старшими разрядами переключателя "квадратов" команды при выборе команды или двумя старшими разрядами переключателя "квадратов" чисел при выборе константы.

Схема управления ОЗУ формирует сигналы ПО — признак обращения к соответствующему ОЗУ и ПРО — признак записи считывания. Номер "квадрата" ОЗУ записан в 15-м разряде СКП. Изменение номера "квадрата" ОЗУ производится программно. Управление работой схемы осуществляется разрядами переключателя "квадратов" чисел.

Схема приема сигналов непрограммируемого прерывания вычислений (ПНПВ) обеспечивает прием из УВВ сигнала НПК и выработку сигналов приема непрограммируемой команды НПК и исполнение непрограммируемой команды ИНК. Сигнал ПНК прерывает нормальный ход программы и разрешает прием команды из УВВ на вход схемы модификации адреса и предварительного регистра команд. Сигнал ИНК поступает в УВВ и является признаком исполнения непрограммируемой команды.

Местное устройство управления предназначено для выработки управляющих сигналов, реализующих алгоритм выполнения операций из списка системы команд, и состоит из следующих функциональных узлов (рис. 4.13): предварительного регистра команд (ПРК), исполнительного регистра команд (ИРК), дешифратора кодов операций (ДКОп), схемы преобразования кода (СПК), распределительного устройства РУ.

Для согласования быстродействия устройства управления и ПЗУ команда в УАУ передается по двум каналам. По одно-

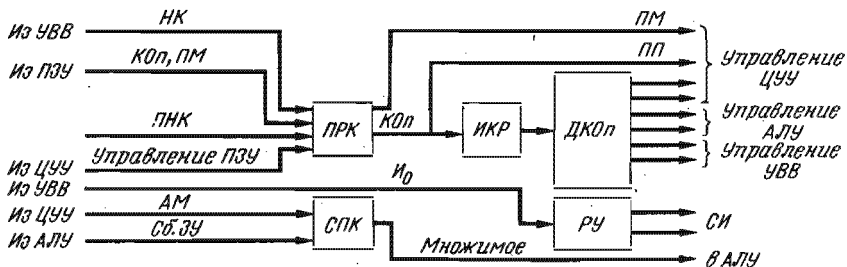


Рис. 4.13. Функциональная схема местного устройства управления

му из каналов в МУУ поступают разряды команды, содержащие код операции.

Предварительный регистр команд ПРК предназначен для приема кода операции команды, выбранной из определенного устройства (ПЗУ, ОЗУ, УВВ) и запоминания этой информации до момента дешифрации.

Исполнительный регистр команд ИРК предназначен для хранения кода операции в параллельной форме на время ее выполнения в арифметическом устройстве и в центральном устройстве управления.

Дешифратор кодов операций ДКОп предназначен для выработки управляющих сигналов в соответствии с алгоритмом выполнения операции. ДКОп построен по принципу комбинационной логики, т. е. производит логическое преобразование информации, поступившей из ИРК.

Функционально ДКОп может быть разбит на три части: для управления выполнением операций в ЦУУ, в арифметическом устройстве, в устройстве ввода-вывода.

Схема преобразования кода предназначена для трансформации адресной части команды во вспомогательные управляющие сигналы (множимое) при выполнении операции над безадресным операндом. К таким операциям относятся сдвиги и битовые операции.

Распределительное устройство вырабатывает тактовые импульсы И0...И15 и предназначено для синхронизации работы функциональных узлов схемы. Период между одноименными временными импульсами равен циклу работы БЦВМ.

Арифметико-логическое устройство, функциональная схема которого представлена на рис. 4.14, предназначено для обработки числовой информации в соответствии с алгоритмом выполнения операций.

Так как в одноадресной ЦВМ в команде можно указать адрес только одного операнда, то для выполнения двухоперандных операций в АЛУ имеется буферная память (РН, РА). АЛУ также содержит операционные устройства преобразования информации (Σ_1 , схему множимого, Σ_2 , Δ и т. д.) и необходимые устройства коммутации (Сб. ЗУ, сб. чисел в УВВ, сб. чисел в ОЗУ и т. д.).

Алгоритмы выполнения операций выбраны таким образом, что в АЛУ преобразованию подвергается информация, заданная в дополнительном коде.

Арифметическое устройство разделяется на универсальное операционное устройство, реализующее все арифметические, логические и битовые операции, кроме операций умножения,

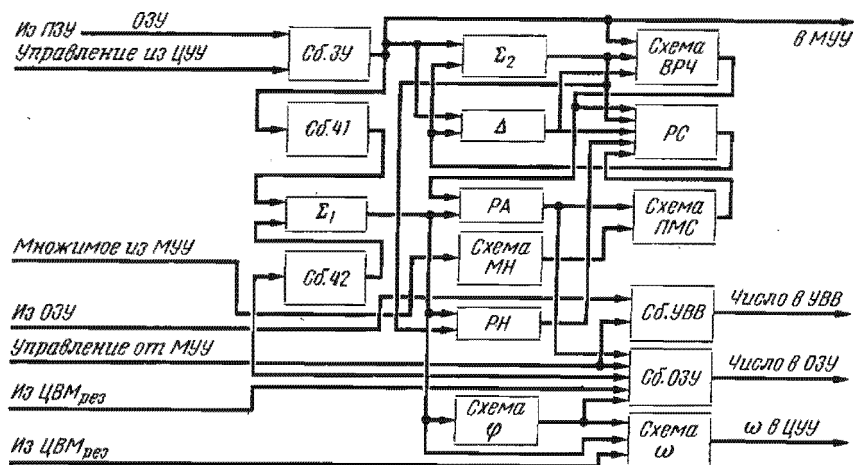


Рис. 4.14. Функциональная схема арифметико-логического устройства

деления, сдвига, и множително-делительное устройство, реализующее операции умножения, деления, сдвига.

Универсальное операционное устройство состоит из следующих функциональных узлов: сумматора Σ_1 , сборки чисел запоминающих устройств (Сб.ЗУ), сборки чисел в УВВ, сборки чисел в ОЗУ, схемы ω (признак условного перехода), схемы φ (признак переполнения разрядной сетки), сборки Ч1, сборки Ч2, регистра-накопителя РН.

Сборка чисел запоминающих устройств (Сб.ЗУ) предназначена для приема и коммутации исходной числовой информации из различных запоминающих устройств БЦВМ. Управление Сб.ЗУ осуществляется ЦУУ. Сборка чисел в УВВ используется для выдачи информации в УВВ в соответствии с алгоритмом выполнения операций вывода. Сборка чисел в ОЗУ осуществляет выдачу информации в ОЗУ из регистров ЦУУ, СКП и ИР, регистров арифметического устройства РН и РА, регистров УВВ, схемы φ и резервной машины ЦВМ_{рез} в соответствии с алгоритмом выполнения операций запоминания.

Схема ω предназначена для формирования признака условного перехода в соответствии с законом, принятым в системе команд. Хранение признака ω осуществляется в ИР. Схема φ формирует и обеспечивает хранение признака переполнения разрядной сетки при выполнении арифметических операций. Запоминание признака φ производится в 12-м разряде ячейки ОЗУ.

Сборка Ч1 предназначена для формирования первого операнда, сборка Ч2 — для формирования второго операнда при выполнении операций. Сумматор Σ_1 осуществляет преобразование информации, поступающей от Ч1 и Ч2 в соответствии с алгоритмом операций пересылок, арифметических, логических и битовых. Результат этих операций запоминается в регистрах РН и РА. Регистр-накопитель РН представляет собой буферную память арифметического устройства и служит для хранения промежуточных результатов вычислений.

Множительно-делительное устройство состоит из следующих узлов: регистра арифметического устройства для множителя (РА), схемы множимого (МН), схемы передачи множимого на сумматоры (ПМС), регистра сумматоров (РС), сумматорамножительно-делительного устройства Σ_2 , вычитателя множительно-делительного устройства Δ , схемы выработки разрядов частного (ВРЧ).

Регистр РА осуществляет хранение: множителя, при выполнении операции умножения; исходной информации, при выполнении операций сдвига; и формирования частного, при выполнении операций деления. Для повышения точности операции умножения и во избежание потери разрядов при операциях сдвига младшие разряды результата выполнения этих операций помещаются в регистр РМ.

Схема множимого образует коды, кратные одному (М), двум (2М) и трем (3М). Схема передачи множимого на сумматоры осуществляет коммутацию информации со схемы множимого в зависимости от результата анализа пар разрядов множителя.

Регистр сумматоров образует частные суммы и обеспечивает их относительные сдвиги при выполнении операций умножения и сдвигов, а также осуществляет хранение частных остатков при выполнении операции деления.

Сумматор Σ_2 и вычитатель множительно-делительного устройства Δ предназначены для образования частных остатков при выполнении операции деления.

Схема выработки разрядов частного представляет собой комбинационную схему, вырабатывающую управляющие сигналы при выполнении операции деления. Она обеспечивает формирование разрядов частного и передачи остатков с сумматора или вычитателя на регистр сумматоров.

Рассмотрим общую процедуру реализации системы команд типовой БЦВМ и некоторые примеры их выполнения в процессоре.

Арифметические операции — сложение и вычитание чисел одинарной и двойной длины, умножение чисел одинарной длины с округлением результата, умножение числа двойной длины на число одинарной длины, деление, модификация числа на единицу младшего разряда, операция вычитания над модулями исходных чисел.

При выполнении операций сложения АСО, АСП, АСТ первое число выбирается из запоминающих устройств ОЗУ или ПЗУ в зависимости от кода операции и значения кода в переключателе "квадратов" чисел. Второе число выбирается из регистра Н при выполнении АСО и АСП. По командам АСО и АСП результаты операций записываются в регистры Н и А. При выполнении операции с двойным числом разрядов АСТ (арифметическое сложение точное) младшие (0—15) разряды первого числа выбираются из четных (АО) ячеек ОЗУ, старшие (16—31) разряды — из нечетных (АО+1) ячеек ОЗУ. Младшие разряды второго числа выбираются из А и старшие из Н. В команде АСТ указывается всегда четный адрес младших разрядов первого числа, а адрес старших разрядов формируется в УАУ. Младшие разряды операций АСТ записываются в А, причем 15-й разряд всегда равен нулю, старшие разряды результата записываются в Н.

В первом цикле деления (операции АДО, АДП) делимое из регистра Н посылается в множително-делительное устройство (МДУ). Затем в МДУ в течение 18τ выполняется операция деления по схеме $H: O/P \Rightarrow A$, где А — округленное частное.

При выполнении операций умножения (АУО, АУП) множитель выбирается из ОЗУ или ПЗУ, множитель — из регистра А, а результат заносится в РН и РА по схеме: Н — "голова" (старше 15 разрядов произведения), А — "хвост" (младше 15 разрядов произведения). Знак произведения записывается в знаковом разряде "голова". В знаковом разряде "хвоста" всегда записывается "0".

При выполнении операции модификации числа (АМЧ) к младшему разряду числа, выбранного из ОЗУ, прибавляется единица и результат операции заносится в ячейку ОЗУ по тому же адресу. Операция вычитания модулей (АВМ) выполняется с числами из ОЗУ и РН, а результат заносится в РН.

Логические операции — конъюнкция, дизъюнкция, сложение по mod.2 над 16-разрядными числами. Кроме того, в эту группу входит операция сложения по mod 2 над j -разрядными числами, где $j \leq 6$ и определяется 0—2 разрядами АМ.

Логические операции конъюнкции ЛУО (логическое умножение — $\wedge$), дизъюнкции ЛСО, ЛСП (логическое сложение — $\vee$).

ние — $\vee$) и неравнозначность ЛНО, ЛНП (сложение по mod 2) выполняются поразрядно над числом из ОЗУ или ПЗУ и числом из РН. Результат заносится в РН и РА.

Сдвиговые операции — сдвиг влево, вправо, арифметический СЛА, СПА, логический СЛЛ, СПЛ на i разрядов, осуществляемый над числом, записанным в РА $0 \leq i \leq 15$ и определенный кодом, записанным в 0—7 разрядах АМ. Отличие арифметических сдвигов от логических состоит в следующем.

При логическом сдвиге вправо знаковый разряд переходит в разряд мантиссы, а в знаковом разряде записывается ноль. При логическом сдвиге влево знаковый разряд записывается в разряд мантиссы, сдвинутый на место знакового разряда. При арифметическом сдвиге вправо и влево в знаковом разряде сохраняется знак исходного числа.

Битовые операции — операции запоминания признака перехода БЗП, операция посылки признака перехода БПП, операция запоминания нуля и единицы БЗО и БЗ1, операции И, ИЛИ, сравнения БЛУ, БЛС, БЛН. Вид операции и номер разряда i регистра Н, участвующий в операции, указываются в АМ.

При выполнении команд БЗП, БЗО и БЗ1 ω ноль или единица запоминаются в i -м разряде Н. При выполнении БПП признак устанавливается равным значению i -го разряда Н. Операции БЛУ, БЛС, БЛН выполняются над ω и i -м разрядом Н. Результат определяет новое значение ω .

Посылочные операции — посылки информации в регистры РН и РА из ОЗУ и ПЗУ (ПНО, ЛНП, ПАО, ПАП), в ИР из ОЗУ (ПИО), в ПЧ из АМ (ППА). К этой группе относятся операции ПСО, ПСП, по которым выбранная из ОЗУ или ПЗУ информация воспринимается как очередная команда, т. е. эти операции осуществляют безусловную передачу управления в любую ячейку ПЗУ.

По операциям запоминания в ОЗУ можно запомнить содержимое регистров РН, РА и РИ (ЗОО, ЗОН, ЗОА, ЗОИ), а также обнулить ячейку ОЗУ (ЗОО). При выполнении операции запоминания РН в ОЗУ (ЗОН) одновременно содержимое РН переписывается в РА. По команде ЗПН содержимое регистра записывается в ячейку ОЗУ, расположенную в "квадрате" ОЗУ, номер которого противоположен значению переключателя "квадратов" ОЗУ, ПО. По команде ЗОК в ОЗУ записывается информация из контрольного устройства (КУ).

Операции передачи управления — безусловная передача управления ПУБ, условная передача управления при $\omega = 1$ (признак перехода), ПУ1 и условная передача управления

при $\omega = 0$ ПУО. При $\omega = 0$ и при $\omega = 1$ передачи управления позволяют переключить программу внутри "квадрата" ПЗУ посылкой АМ в 0—8 разряды СКП.

Модификационные операции — операции посылки в модификатор из адресной части команды (ПМА), из регистра-накопителя (ПМН), из ОЗУ (ПМО) и посылки команды из ОЗУ (ПКО). По операции ПКО в устройство управления в качестве команды поступает число, выбранное из ОЗУ по адресу команды ПКО.

По операциям обмена осуществляется переключение программы в любое место ПЗУ, при этом в СКП посылается код из ОЗУ или ПЗУ, а содержимое СКП запоминается в ОЗУ или РА.

По операциям СОО и СОП содержимое СК, ПК и значение переключателя "квадратов" ОЗУ запоминается в ячейке ОЗУ, по операции САП — в регистре А. Одновременно с запоминанием выполняется посылка в счетчик команд, при этом число, посылаемое в СК, ПК и ПО, выбирается по тому же адресу либо из ОЗУ, либо из ПЗУ в зависимости от кода операции.

Операция ввода-вывода — операция ввода числа из УВВ в ОЗУ (ВОУ), ввода числа в регистры Н и А (ВНУ), вывода в УВВ числа из ОЗУ (ВУО) и вывода числа из регистра Н (ВУН).

В качестве непрограммируемой команды может выполняться любая команда из списка системы команд. Формирование непрограммируемых команд производится в устройстве ввода-вывода.

По внешнему запросу непрограммируемая команда поступает в устройство управления машины. Выполнение непрограммируемой команды производится сразу же после выполнения текущей ("К"-й) команды программы. После выполнения внеочередной непрограммируемой команды продолжает выполняться последовательность запрограммированных команд, начиная с "К+1" команды.

В УВВ может формироваться любое количество непрограммируемых команд, причем схема приоритета выполнения одной из них должна входить в состав УВВ. Сигнал переполнения φ воспринимается в УВВ как сигнал непрограммируемой передачи управления.

При выполнении команды арифметического сложения к содержимому ячейки ОЗУ прибавляется содержимое РН, результат записывается в РН и РА ($АСО : O + N \Rightarrow N; A$).

В выполнении команды можно выделить следующие этапы: выборка команды, расшифровка кода операции и фор-

мирование АМ, выборка операнда из памяти, выполнение операнда сложения двух операндов в АЛУ.

При выполнении выборок команды адрес считаемой из ПЗУ команды формируется схемой адреса ПЗУ по значениям СК ($0\div 8$ р СКП) и ПК ($9\div 12$ р СКП). Адресное слово поступает одновременно в регистры адреса всех ПЗУ. По данному адресу считываются выходные регистры ПЗУ и в последовательном коде подаются на входы схемы модификации адреса и ПРК. Коммутация прохождения одной из четырех команд в СМА и ПРК осуществляется сигналом, который несет информацию о номере ПЗУ (№ ПЗУ), вырабатываемой схемой управления по 13-у и 14-у разрядам ПК.

Расшифровка кода операции и формирование АМ $9\div 15$ р записываются в ПРК. По 15-у разряду вырабатывается сигнал ПМ, по 9-у разряду — сигнал ПП. Из ПРК код операции ($9\div 14$ р) записывается в ИРК. Из ИРК КОП поступает в ДКОП. ДКОП формирует функциональные сигналы, под управлением которых БЦВМ "настраиваются" на выполнение АСО.

СММ по адресной части команды АЧ, значению ПМ и МК формирует адрес выборки операнда АМ.

При выполнении выборки операнда АМ с выхода СМА поступает одновременно в регистры адреса ОЗУ1 и ОЗУ2. Числа, считываемые по данному адресу, с выходных регистров ОЗУ1 и ОЗУ2 подаются в СБ.ЗУ. Коммутация прохождения числа с СБЗУ осуществляется сигналом № ОЗУ, формируемым схемой управления ОЗУ по 15-у разряду СКП.

При выполнении операции сложения в АЛУ операнд с выхода СБ.ЗУ подается на сборку Ч1. Второй операнд с выхода РН подается на строку Ч2. С выходов Ч1 и Ч2 операнды поступают в сумматор Σ_1 , который под действием функциональных сигналов "настроен" на выполнение операции арифметического сложения. Результат операции записывается в РН и РА.

При выполнении команды арифметического вычитания из содержимого ячейки ПЗУ вычитается содержимое РН, результат записывается в РН и РА. ($АВП:П-N \Rightarrow N, A$). Первый и второй этапы выполнения команды АВП такие же, как и для АСО.

При выполнении выборки операнда АМ с выхода СМА поступает в схему адреса ПЗУ. По ходу АМ и $9\div 12$ р ИР схема адреса ПЗУ формирует адрес считывания числа, который подается одновременно в регистры адреса всех ПЗУ. По данному адресу числа считываются из ПЗУ и в последовательном коде подаются на входы СБ.ЗУ. Коммутация прохож-

дения одного из четырех чисел в Сб.ЗУ осуществляется сигналом № ПЗУ по 13-у и 14-у разрядам ИР.

При выполнении операции вычитания число с выхода Сб.ЗУ подается в Ч1, число из РН поступает в Ч2. Σ_2 выполняет операцию вычитания. Сумматор Σ_2 "настроен" на выполнение операции вычитания под действием функциональных сигналов. Результат операции записывается в РН и РА.

4.6. Устройство ввода-вывода

Назначение, общие сведения. На борту современных ВС используются объекты, выдающие и потребляющие информацию в различных формах. Поэтому в бортовых системах с ЦВМ возникает задача обеспечения связи между машиной и такими объектами. Устройство, обеспечивающее такую связь, называется устройством ввода-вывода и объединяет в себе соответствующие преобразователи информации.

УВВ, структурная схема которого приведена на рис. 4.15, состоит из следующих функциональных узлов:

1. Преобразователи ввода данных: многоканальный преобразователь "частота-код" (МПЧ), преобразователь "разовые команды и параллельные коды — код ЦВМ" (ПДМ), многоканальный преобразователь "аналог-код" (МПА).

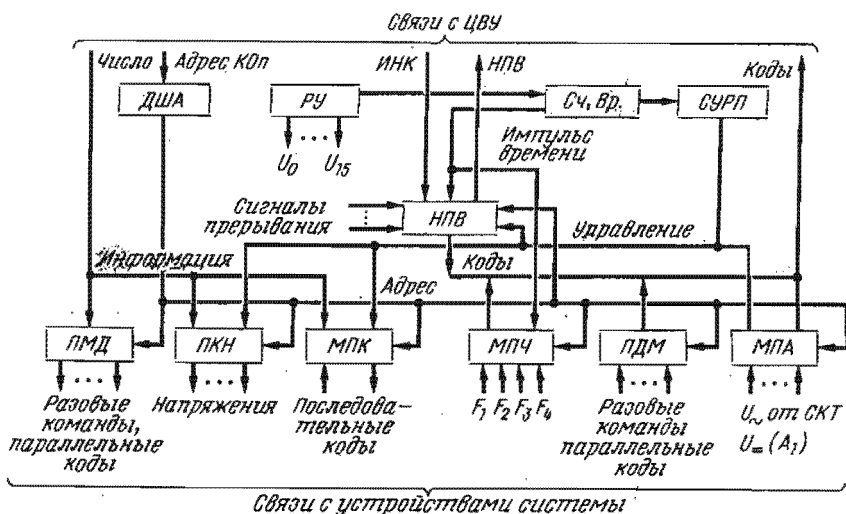


Рис. 4.15. Структурная схема устройства ввода-вывода

2. Преобразователи вывода данных: преобразователь "код ЦВМ — параллельные коды и разовые команды" (ПМД), преобразователь "код—напряжение" (ПКН), многоканальные преобразователи последовательных кодов (МПК).

3. Узел управления УВВ, содержащий: схему формирования непрограммируемых команд и непрограммируемого прерывания вычислений (НПВ), распределительное устройство (РУ), дешифратор адресов (ДША), счетчик времени (Сч, Вр).

Преобразователи ввода данных. Многоканальный преобразователь "частота—код", функциональная схема которого представлена на рис. 4.16, предназначен для преобразования импульсных сигналов частот от ДИСС в последовательный двоичный код ЦВМ. Преобразователь имеет четыре входных канала. Сигналы от ДИССа F_1, F_2, F_3 поступают на вход МПЧ по трем каналам, четвертый F_k служит для контроля работы самого преобразователя путем подачи на его вход контрольной частоты F_k от счетчика времени.

МПЧ состоит из следующих функциональных узлов: счетчика циклов СТ2-1; селектора-мультиплексора (коммутатора) MS; счетчика частоты СТ2-2; регистра-преобразователя RG.

Преобразование частот F_1, F_2, F_3, F_k осуществляется поочередно в последовательности циклов, задаваемых во времени импульсами Таймера $f_{\text{тайм}}$. Выбор канала производится с помощью счетчика СТ2-1 и коммутатора MS.

С началом цикла (по импульсу $f_{\text{тайм}}$) импульсы частоты через коммутатор поступают на вход счетчика частоты СТ2-1 и суммируются в нем. В конце цикла формируется импульс C_1 , по которому выходной код счетчика СТ2-2, пропорциональный измеренной в данном цикле частоте F_i , переписывается в регистр-преобразователь RG. Вслед за этим формируется импульс очистки счетчика СТ2-2 для подготовки его к

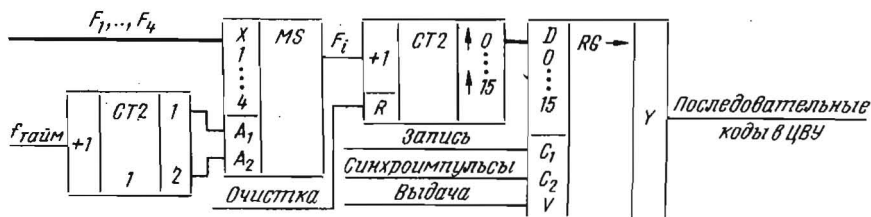


Рис. 4.16. Функциональная схема многоканального преобразователя "частота—код"

работе в новом цикле, а также подается разрешающий потенциал V на вход управления работой регистра RG в режиме сдвига записанной информации. Происходит преобразование параллельного выходного кода счетчика СТ2-2 в последовательный.

Многоканальный преобразователь "разовые команды и параллельные коды — коды ЦВМ", функциональная схема которого приведена на рис. 4.17, предназначен для преобразования параллельного потенциального кода, поступающего от внешних систем по каналам единичных сигналов $K_1 — K_{32}$, в последовательный импульсный код.

Преобразователь представляет собой 16-разрядный бегущий регистр RG , в цепи каждого разряда которого имеется по два дополнительных вентиля $1 \div 16$, позволяющих преобразовывать и вводить в ЦВУ два 16-разрядных слова. Определенное "слово" из поступающих на регистр выбирается подачей с дешифратора на входы вентиля каждого разряда входных адресов A_1, A_2 .

Многоканальный преобразователь "аналог—код" предназначен для преобразования постоянного и переменного (с выходов СКВТ) напряжений в двоичный код. Получение цифрового кода, пропорционального угловым перемещениям, в данном преобразователе осуществляется с использованием СКВТ. В таком преобразователе величина угла преобразуется в напряжения, фаза которых зависит от этого угла, с последующим преобразованием напряжения в двоичный код.

Принцип работы преобразователя "аналог—код" основан на поразрядном взвешивании напряжения с использованием преобразователя "код—напряжение" (ПKN) в цепи обратной связи. Преобразователь построен таким образом, что при кодировании угловых величин в полученном коде три старших разряда являются кодом угла, а остальные десять разрядов представляют собой код тангенса или котангенса угла в пределах октанта.

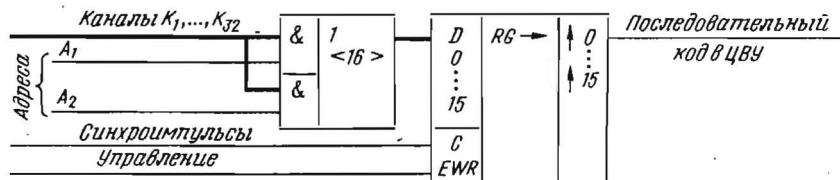


Рис. 4.17. Функциональная схема преобразователя разовых команд и параллельных кодов в коды БЦВМ

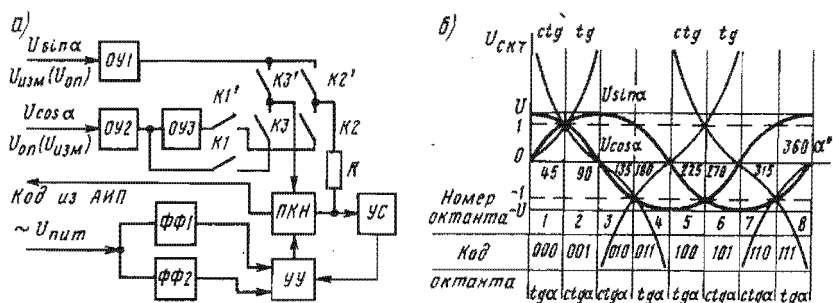


Рис. 4.18. Структурная схема аналого-цифрового преобразователя и кодируемое переменное напряжение

На рис. 4.18 приведены структурная схема преобразователя и кодируемое переменное напряжение с выхода СКВТ. В состав МПА входят следующие узлы (рис. 4.18, а):

операционные усилители (ОУ1, ОУ2, ОУ3), выполняющие функции развязывания (ОУ1 и ОУ2) и инвертирования (ОУ3) входных напряжений;

преобразователь "код—напряжение" (ПКН);

устройство сравнения (УС) двух напряжений, поступающих на его общий вход. Если на входе УС преобладает отрицательное напряжение, то в соответствующий триггер на выходе УС записывается "0". Если же преобладает положительное напряжение, то записывается "1";

ключи $K_1, K_1', K_2, K_2', K_3, K_3'$, подключающие напряжения $U_{\sin \alpha}$ и $U_{\cos \alpha}$ на входы ПКН или УС для определения актанта;

фазировщики формирователи (ФФ1) и (ФФ2), предназначенные для выработки сигнала "начало преобразования" и осуществляющие синхронизацию работы преобразователя с питающим напряжением $U_{\text{пит}}$;

устройство управления (УУ), осуществляющее логическое управление работой АЦП по требуемому алгоритму.

Преобразование любого входного напряжения осуществляется последовательно во времени из 13 дискретных тактов, причем за первые три такта определяется код октанта, а за остальные десять — код тангенса (котангенса) угла в пределах октанта.

Весь цикл преобразования занимает один полупериод питающего напряжения $U_{\text{пит}}$. Начало преобразования определяется фазировщиками формирователями (ФФ), которые выдают сигнал "начало преобр." при переходе переменного

напряжения на входе ФФ через нуль. По окончании преобразования выдается сигнал о вводе полученного кода в ЦВУ.

Преобразование угловой величины в код в преобразователе производится в каждую полуволну питающего напряжения. На рис. 4.18, б видно, что коды, полученные в обе половины $U_{\text{пит}}$, отличаются только старшим разрядом, поэтому при преобразовании в отрицательную полуволну при выдаче кода осуществляется инвертирование старшего разряда, полученного в преобразователе кода. С целью получения признака отрицательной полуволны ФФ имеет два выхода. Сигнал на одном из них появляется при переходе синусоиды из положительной области в отрицательную, а на другом — при переходе из отрицательной в положительную. Принцип работы МПА заключается в следующем.

Период входного напряжения разбивается на восемь октантов, в каждом из которых имеется участок, где одно из напряжений ($U \cos \alpha$ или $U \sin \alpha$) изменяется по закону, близкому к линейному, что позволяет в пределах октанта кодировать эти напряжения линейным преобразователем. Каждый октант (см. рис. 4.18, б) может быть однозначно определен по отношению амплитуд и знаков напряжений $U \sin \alpha$ и $U \cos \alpha$. Например, в первом октанте $U \sin \alpha > 0$, $U \cos \alpha > 0$, $U \sin \alpha < U \cos \alpha$, во втором октанте — $U \sin \alpha > 0$ и $U \cos \alpha > 0$, но $U \sin \alpha > U \cos \alpha$ и т. д.

Поэтому, пронумеровав октанты трехразрядными двоичными числами от 000 до 111, можно установить соответствие между перечисленными признаками октанта и приписанным ему двоичным кодом.

Из приведенного рисунка следует, что старший разряд октанта соответствует знаку напряжения $U \sin \alpha$ ("0" — при $U \sin \alpha > 0$ и "1" — при $U \sin \alpha < 0$).

Средний разряд октанта соответствует знаку $U \cos \alpha$, если учитывать знак $U \sin \alpha$ в данном октанте, т. е. при $U \sin \alpha > 0$ этот разряд равен "0" для $U \cos \alpha > 0$ и "1" при $U \cos \alpha < 0$, а при $U \sin \alpha < 0$, наоборот, этот разряд равен "0" при $U \cos \alpha < 0$ и "1" при $U \cos \alpha > 0$.

Младший разряд октанта может быть определен сравнением амплитуд напряжений $U \sin \alpha$ и $U \cos \alpha$, если известны два предыдущих кода октанта. Процесс определения кода октанта основан на анализе изложенных признаков.

В последующие десять тактов производится линейное кодирование угла в пределах октанта путем поразрядного взвешивания, которое на ПКН производится до тех пор, пока не будет выполняться равенство $U_{\text{вх. ПКН}} = U_{\text{УС}}$; при

этом, если на вход ПКН в данном октанте подается $U_{\text{вых.ПКН}} = U \cos \alpha$, а на вход УС — $U_{\text{УС}} = U \sin \alpha$, то в результате поразрядного взвешивания получим $U_{\text{вых.ПКН}} = k U_{\text{вх.ПКН}} = U_{\text{УС}}$, отсюда код в регистре ПКН

$$k = \frac{U_{\text{УС}}}{U_{\text{вх.ПКН}}} = \frac{U \sin \alpha}{U \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Аналогично, если $U_{\text{вх.ПКН}} = U \sin \alpha$, а $U_{\text{УС}} = U \cos \alpha$, то код в регистре ПКН

$$k = \frac{U_{\text{УС}}}{U_{\text{вх.ПКН}}} = \frac{U \cos \alpha}{U \sin \alpha} = \operatorname{ctg} \alpha.$$

Кодирование постоянного напряжения производится в МПА по описанному выше алгоритму. На вход ОУ1 поступает измеряемое напряжение, на вход ОУ2 — опорное. Измеряемое напряжение подается непосредственно на вход УС, а опорное — на УС через ПКН. Знак измеряемого напряжения определяется средним разрядом кода октанта ("0" — при $U_{\text{изм}} > 0$ и "1" — при $U_{\text{изм}} < 0$). Остальные два разряда в ЦВУ не принимаются во внимание.

После первых трех тактов далее в течение десяти тактов работа МПА происходит ранее описанным образом, т. е. в результате поразрядного взвешивания в регистре ПКН получается код, пропорциональный величине измеряемого напряжения.

Преобразователи вывода данных. Преобразователь "код ЦВМ — параллельные коды и разовые сигналы", функциональная схема которого приведена на рис. 4.19, содержит общий 16-разрядный приемный динамический сдвигающий регистр RG-1, четыре (или другое число) статических 16-разрядных параллельных выходных регистра RG-2, ..., RG-5, набор выходных ключей K1 ÷ K64.

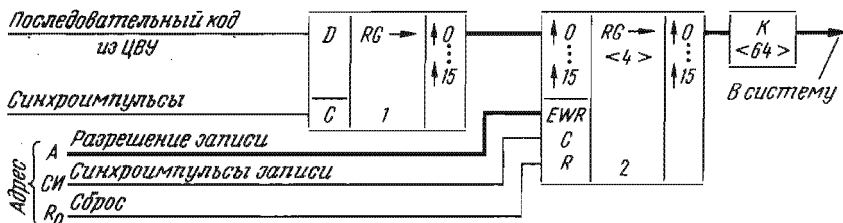


Рис. 4.19. Функциональная схема преобразователя машинных кодов в параллельные коды и разовые команды

Выходной регистр $RG-1$ выполняет функции преобразователя последовательного кода, поступающего из ЦВУ на вход преобразователя в параллельный код. Полученный код в зависимости от адреса $A_1, \dots, A_4$, принимается в один из выходных регистров $RG-2, \dots, RG-5$, функции которых состоят в преобразовании импульсного параллельного выходного кода регистра $RG-1$ в потенциальный параллельный код.

Ключи $K_1 \div K_{64}$, управляемые от выходов регистров $RG-2 \div RG-5$, обеспечивают выдачу параллельного кода и соответствующих ему разовых сигналов в систему. Управление выдачей информации осуществляется по сигналу "Сброс".

Преобразователь "Код—напряжение", схема которого приведена на рис. 4.20, предназначен для преобразования кода ЦВМ в напряжение, а также используется в качестве элемента обратной связи в преобразователях "аналог—код". Преобразователь содержит: приемный регистр RG , двухпозиционные разрядные переключатели $K_1 \div K_n$, декодирующую сетку резисторов, образующую цепную схему делителя типа $R = 2R$.

Регистр RG обеспечивает прием и преобразование последовательного кода, хранение его и управление разрядными переключателями преобразования. Резисторы $2R$ декодирующей сетки переключаются в соответствии с поступающим двоичным кодом следующим образом: если в разряде регистра записан нуль, то соответствующий переключатель коммутирует резистор на "землю"; если в разряде регистра записана единица — к источнику $+U_0$, что обеспечивает получение напряжения $U_{\text{вых}}$, пропорционального преобразованному двоичному коду. ПКН используется также в схемах преобра-

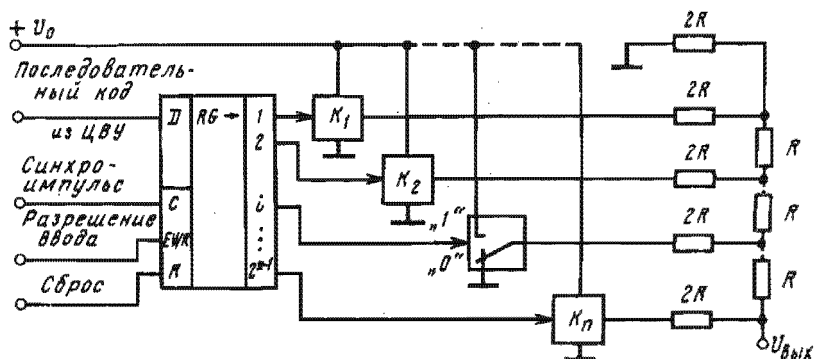


Рис. 4.20. Функциональная схема преобразователя "код—напряжение"

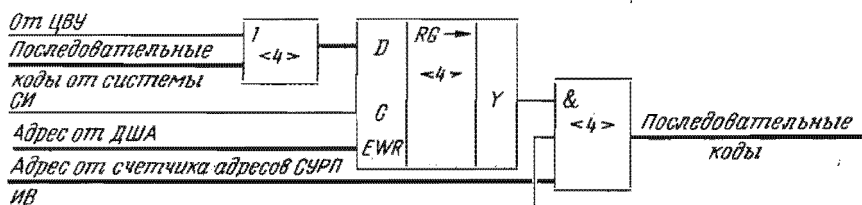


Рис. 4.21. Функциональная схема многоканального преобразователя последовательных кодов с активным обменом

зования "код—угол" путем включения их в следящую систему с приемниками типа СКВТ.

Многоканальный преобразователь последовательных кодов с активным обменом (МПК-АО). Он используется для обмена последовательными кодами с бортовыми системами по нескольким каналам.

Функциональная схема МПК-АО приведена на рис. 4.21 и состоит из приемно-передающих сдвиговых регистров $RG-1, \dots, RG-4$ и выходных сборок (схем И).

Узел управления УВВ. Последовательные коды в зависимости от адреса, задаваемого дешифратором адреса ДША, принимаются соответствующим регистром преобразователя, начиная с малых разрядов. Выдача информации в последовательных кодах через выходную сборку, выбранную адресом от счетчика адресов схемы управления работой преобразователей (СУРП), производится со старших разрядов. Обмен информацией сопровождается управляющими импульсами выдачи ИВ, приема ИП, синхронизации ИС, вырабатываемыми в СУРП.

В состав УВВ входят также: многоканальные преобразователи последовательных кодов с пассивной выдачей МПК-ПВ для поочередного вывода последовательных кодов из ОЗУ в систему по адресам и синхронизирующим сигналам; многоканальные преобразователи последовательных кодов с активной выдачей МПК-АВ для выдачи последовательных кодов в систему в соответствии с программой по адресам и синхронизирующим импульсам.

В УВВ (см. рис. 4.15) предусмотрена схема непрограммированного прерывания вычислений (НПВ), рассчитанная на прием внешних сигналов, обеспечивающих оперативный перевод БЦВМ на решение той или иной программы, связанной с вводом или выводом экстренной информации.

Схема формирования непрограммируемых команд НК и сопровождающих их сигналов непрограммируемого прерыва-

ния вычислений (НПВ) обеспечивает формирование непрограммируемых команд "ввод", "вывод" и сигналов НПВ, по которым производится обмен информацией между преобразователями и оперативной памятью (ОЗУ). Формирование этих команд производится как по внутренним сигналам самого УВВ (циклически, в определенные моменты времени), так и по внешним сигналам, поступающим от систем, таким, как прерывание и запрос преобразователя МПК. В состав схемы НПВ входят один или два регистра масок, предназначенные для программного оперативного управления приемом входной и выдачей вычисленной информации.

Распределительное устройство (РУ) вырабатывает временные импульсы И0...И15, необходимые для синхронизации работы узлов УВВ и ЦВУ.

Дешифратор адресов (ДША) формирует управляющие адресные пачки импульсов и выдает их в различные ключевые места преобразователей и на сборку кодов в ЦВУ. При этом на вход дешифратора поступает последовательный код адреса из ЦВУ (девять разрядов), который поступает в предварительный регистр - адреса и дешифрируется только при наличии кодов операций "ввод" или "вывод" из ЦВУ.

Счетчик времени (Сч.Вр), представляющий собой 16-разрядный регистр полусумматора вырабатывает серию временных сигналов для работы УВВ, а также серию синхронизирующих импульсов СИ в систему.

Входная информация, поступающая от датчиков комплекса УВВ в виде частот, разовых сигналов и параллельных кодов, напряжений от потенциометров и СКТ, последовательных кодов относительно низкой частоты, преобразуется в УВВ соответствующими преобразователями в единый последовательный код и вводится в ЦВУ. Управление преобразователями и ввод информации в ЦВУ осуществляется тремя способами: по программе, по прерыванию вычислений по командам "ввод" и "вывод", по прерыванию вычислений с переходом на подпрограмму "ввод" или "вывод".

Информация, вычисленная ЦВУ в виде 16-разрядных последовательных кодов, поступает в преобразователи в соответствии с кодом адреса, преобразовывается ими и выдается на приемники комплекса. Выдача информации в комплекс производится постоянно, периодически, а также в соответствии с программой в определенные моменты времени. Смена информации, т. е. ее обновление, осуществляется с определенными "жесткими" временными циклами, задаваемыми устройством управления УВВ и программными циклами.

НАВИГАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

5.1. Общая характеристика

Совокупность компонентов средств вычислительной техники, способную осуществлять прием информации, ее обработку в соответствии с решаемыми задачами и выдачу результатов, называется *вычислительной системой*.

Под *навигационно-вычислительной системой* будем понимать проблемно-ориентированную вычислительную систему, предназначенную для решения фиксированного набора навигационных задач и состоящую из БЦВМ, пультов, средств коммутации и отображения.

Существует целый ряд основных факторов, способствующих быстрому развитию теории и практики построения бортовых навигационных систем (НВС) с использованием вычислительных средств:

повышение точности решения навигационных задач за счет реализации более точных алгоритмов их вычисления;

повышение надежности работы системы за счет объединения (комплексирования) датчиков навигационной информации с различными физическими принципами действия, за счет реализации автоматического резервирования элементов системы, обеспечивающего решение задач при выходе из строя части оборудования;

возможность решения задач в реальном и в ускоренном масштабах времени;

снижение утомляемости членов экипажа как звена в системе управления ВС;

повышение качества пилотирования и эффективности выполнения полетных заданий за счет выбора наиболее оптимальных маршрутов полета;

обеспечение более эффективных средств контроля навигационного оборудования.

Диапазон возможных вариантов построения НВС ограничивается, с одной стороны, полностью централизованными структурными, с другой децентрализованными (федеративными) структурами. Дальнейшим развитием структурного построения НВС являются распределенные структуры.

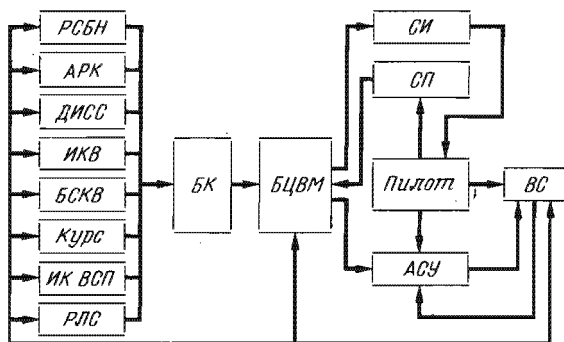


Рис. 5.1. Обобщенная структурная схема навигационно-пилотажного комплекса

Определяющим признаком централизованных НВС является наличие в их составе многоцелевой БЦВМ, единственной для всех датчиков и потребителей информации.

Децентрализованные НВС характеризуются наличием в их системе нескольких самостоятельно функционирующих подсистем (КС, РЛС, РСБН и др.), каждая из которых имеет собственное вычислительное устройство (БЦВМ). Звеньями, обеспечивающими управление такой системой, являются экипаж и (или) специальная БЦВМ.

Централизованная НВС обеспечивает экономию аппаратуры и повышение эффективности использования вычислительных средств во времени. Однако при этом чрезмерно усложняется математическое обеспечение (большое число алгоритмов в реальном масштабе времени, интенсивный поток прерываний программ и т. д.).

Достоинства децентрализованной структуры НВС: возможность независимой разработки, отладки и модификации отдельных подсистем с самостоятельными БЦВМ; возможность использования различных методов повышения надежности с требуемыми критериями для соответствующих подсистем; выбор БЦВМ для подсистемы с требуемыми характеристиками по объему памяти и производительности; упрощение разработки программного обеспечения.

Недостатки такой структуры: трудности сопряжения разнотипных устройств НВС в единую систему; недостаточная эффективность использования вычислительных средств во времени; дублирование многих функций программного обеспечения в различных БЦВМ системы; усложнение эксплуатации.

На рис. 5.1. приведена обобщенная структурная схема НПК современного ВС. Датчиками информации комплекса являются:

ся: радиотехническая система ближней навигации (РСБН), автоматический радиоконпас (АРК), доплеровский измеритель скорости и угла сноса (ДИСС), инерциальная курсовертикаль (ИКВ), базовая система курса и вертикали (БСКВ), система КУРС, информационный комплекс высотно-скоростных параметров (ИКВСП), радиолокационная система (РЛС). Приведенный здесь перечень датчиков навигационной информации далеко не полон. Быстрыми темпами развиваются спутниковые навигационные системы, ведется разработка и внедрение систем, использующих в своей физической основе лазерные лучи.

В приведенном НПК БЦВМ, система пультов (СП), система индикации (СИ) и блок коммутации (БК) образуют централизованную навигационно-вычислительную систему. Она является основной связующей частью комплекса, обеспечивающей получение информации от датчиков через блок коммутации, преобразование ее к виду, удобному для обработки, обработку информации с целью определения места нахождения ВС, выдачу информации в систему индикации и сигналов в систему автоматического управления (САУ).

5.2. Состав, принцип действия устройств типовой НВС

На рис. 5.2. приведена обобщенная структурная схема НВС централизованного типа, содержащая следующие устройства: БЦВМ, пульт подготовки и контроля (ППК), пульт взлета и посадки (ПВП), пульт ввода и индикации (ПВИ) (левый и правый), индикатор навигационной обстановки (ИНО), блок коммутации (БК), пульты управления (ПУ).

Пульт подготовки и контроля. Предназначен для включения режимов предполетной подготовки комплекса, сигнали-

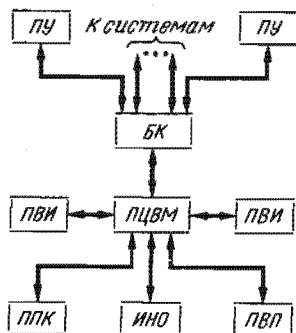


Рис. 5.2. Обобщенная структурная схема типовой НВС

зации прохождения режимов контроля, автоматического ввода программ в БЦВМ перед полетом и организации автоматизированного контроля исправности всех пультов НВС.

ППК позволяет решать задачи: приема информации из ЦВМ; вывода ее на сигнализаторы готовности и отказа; опроса положений коммутационных элементов на лицевой панели ППК, которые определяются набором признаков параметров, предназначенных для ввода в ЦВМ; записи информации об их положении; записи информации с перфокарты с последующим вводом информации в ЦВМ.

Обмен информацией ППК с ЦВМ производится в виде 20 разрядных последовательных кодов (ПК) по каналу "активного" обмена на 16 абонентов преобразователя МПК-АО (4 разряда этого кода — адрес, остальные 16 разрядов — информация).

Обмен происходит циклически, причем каждый цикл состоит из 16 последовательно поступающих информационных слов. Таким образом, обновление информации по каждому из 16 абонентов в данном канале МПК-АО осуществляется раз в цикл.

Подключение первого абонента и затем подключение в одном цикле остальных 15 абонентов осуществляется в момент перехода опорного напряжения (400 Гц) через нуль с положительной полуволны на отрицательную. Алгоритм работы преобразователей выбран таким образом, что в отрицательную полуволну производится выдача информации из ЦВМ, а в положительную — входной информации из ППК.

Для обеспечения обмена в канале преобразователя предусматриваются следующие линии передачи в пульт управления: кодов адреса и информации (код из ЦВМ); "импульсов выдачи" (ИВ); "импульсов приема" (ИП); синхронизирующих импульсов (СИ), сопровождающих коды адресов и информации; передачи в ЦВМ кодов адреса и информации (код в ЦВМ).

Структурная схема ППК (рис. 5.3) включает в себя следующие функциональные узлы:

- 1) входное устройство (Вх.У), предназначенное для: преобразования импульсов выдачи, приема и синхронизации из ЦВМ; выработки стробирующих сигналов управления записью информации из ЦВМ и формирования выходного кода; блокировки входа ППК в режиме встроенного контроля; выработки сигнала "1" ИВ (о его назначении будет сказано ниже);

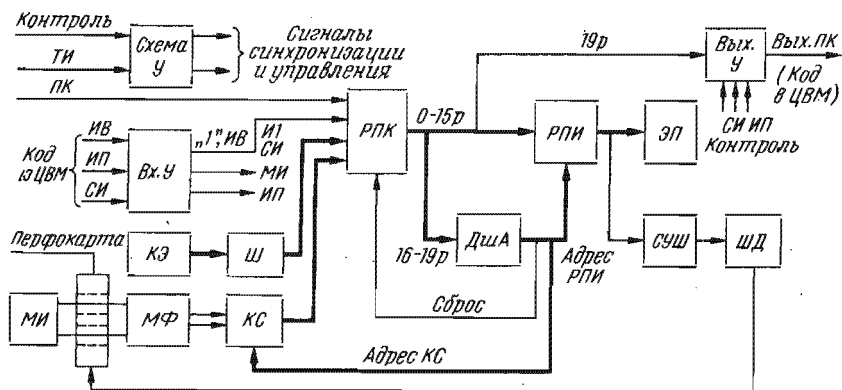


Рис. 5.3. Структурная схема пульта подготовки и контроля

2) регистр преобразования кода (РПК), служащий для: преобразования последовательного кода ПК из ЦВМ в параллельный; хранения поступившей информации в течение времени, необходимого для ее обработки; выдачи параллельного кода на регистр подсвета информационного (РПИ) и в ЦВМ; приема параллельного кода, поступающего с коммутаторов сигналов (КС) и шифратора (Ш) устройства ввода ППК; преобразования параллельного кода в последовательный при выдаче его через Вых.У в ЦВМ;

3) выходное устройство (Вых.У), обеспечивающее: формирование выходного кода для ЦВМ; создание единичного уровня на выходе ППК в промежутках между выдачей кодов; блокировку выхода в режиме встроенного контроля;

4) дешифраторы адресов (ДшА), которые служат для формирования команды на запись информации в соответствующие устройства ППК по результатам анализа адресной части (16 — 19 разрядов) слова, поступившего через РПК из ЦВМ;

5) регистр подсвета информационного (РПИ), служащий для: хранения 16-разрядного параллельного кода (0—15 разрядов), поступающего из РПК; выработки сигналов на включение элементов информационного подсвета ЭП в соответствии с кодом; выработки сигнала для схемы управления шаговым электродвигателем; 6) элементы информационного подсвета (ЭП), представляющие собой светосигнализаторы или сигнальные части кнопок-табло;

7) коммутаторы сигналов (КС), обеспечивающие перезапись информации с выходов матриц фотоприема МФ в РПК;

8) матрицы фотоприема с усилителями (МФ), предназначенные для съема информации с перфокарты и выработки сигналов информационного слова в виде логических "0" или "1" в зависимости от информации на носителе перфокарты, включая маркерные фотоприемники, служащие для выработки сигнала "считывание" при правильной ориентировке перфокарты в каретке. Сигнал "считывание" образуется при замыкании светового потока маркерных излучателей через маркерные отверстия перфокарты. Логическая "1" соответствует замыканию светового потока через перфорационные отверстия перфокарты;

9) матрицы излучения (МИ). Сигналы информационного слова образуются при замыкании световых потоков матриц излучения через перфорационные отверстия перфокарты на соответствующие фотоприемники матриц фотоприемника с усилителями;

10) коммутационные элементы (КЭ) — кнопки-табло и галетный переключатель, расположенные на лицевой панели ППК и являющиеся органами управления при выдаче в ЦВМ признаков ввода программы, имитации и контроля;

11) шифратор (Ш), преобразующий битовую информацию, поступающую с коммутационных элементов в двоичный код для передачи его через РПК в ЦВМ;

12) Схему управления шаговым двигателем (СУШ), обеспечивающую подачу импульсного питания через электронные ключи на обмотки управления шаговым электродвигателем (ШД) в строго определенной последовательности;

13) шаговый двигатель (ШД), осуществляющий перемещение перфокарты при ее считывании;

14) схему управления (Сх.У), обеспечивающую подачу сигналов в ППК.

Схема управления содержит в себе:

схему формирования сигнала "1", предназначенную для формирования признака окончания записи последовательного кода из ЦВМ в регистр преобразования кода, который является командой разрешения обработки записанной информации;

схему задержку "1", осуществляющую задержку признака окончания приема информации из ЦВМ на время, необходимое для перезаписи поступившей информации в РПИ и окончания переходных процессов, после чего происходит запись информации в регистр преобразования кода. Окончание записи является командой разрешения обработки записанной информации и вывода ее в ЦВМ;

схему совпадения маркерных фотоприемников, предназначенную для формирования сигнала готовности считывания; устройство формирования стробирующего сигнала, служащего для останова шагового двигателя и для формирования признака приема в ЦВМ считываемой с перфокарты информации;

формирователь признака "контроль", вырабатывающего сигнал при замыкании гнезд "контроль", предназначенный для блокировки входного устройства и подготовки всех дешифраторов ППК для работы в режиме "встроенного контроля";

схему генерирования одиночных импульсов "ГОИ контроль", формирующую контрольный импульс, который имитирует адрес для всех дешифраторов одновременно в режиме "встроенного контроля".

Все перечисленные устройства ППК можно условно разбить на следующие функциональные группы:

1) устройства приема информации, к которым относятся входное устройство и регистр преобразования кода;

2) устройства информационного подсвета, включающие: дешифратор адреса регистра информационного подсвета, регистр информационного подсвета, расположенные на лицевой панели ППК;

3) устройства формирования кода в ЦВМ, объединяющие: схему задержки, дешифратор входного слова, шифратор, коммутационные элементы, расположенные на лицевой панели ППК;

4) устройства вывода информации, к которой принадлежит регистр преобразования кода, выходное устройство;

5) устройства встроенного контроля, которыми являются формирователь признака контроля и схема генерации одиночных импульсов "ГОИ контроль";

6) считывающие устройства, включающие коммутаторы сигналов, матрицы излучения, матрицы фотоприема с усилителями, устройство формирования стробирующего сигнала, маркерные фотоприемники с усилителями и излучателями, стробирующий фотоприемник и излучатель, схему управления шаговым электродвигателем.

Работа ППК в режиме приема информации состоит в приеме последовательного кода из ЦВМ в регистр РПК. Адресная часть записанного кода с выходов 16—19 разрядов РПК дешифруется ДшА и его управлению информационная часть кода (0—15 разряды) переписывается РПИ и хранится там в

течение всего времени, необходимого для индикационного подсвета элементов на панели пульта.

Ввод информации в ЦВМ производится по четырем адресам из числа адресов, сопровождающих входную информацию. Появление этих адресов, с одним из которых поступает кодовая комбинация на информационный подсвет и схему управления шаговым электродвигателем, не только вызывает срабатывание соответствующих сигнализаторов и шагового электродвигателя, но и определяет ввод в ЦВМ информации о положении коммутационных элементов лицевой панели ППК. Появление остальных трех адресов определит ввод в ЦВМ информации, записанной на перфокарте в режиме "ввод программ авт."

30/3

Ввод информации, записанной на перфокарте, производится следующим образом.

Вставленная перфокарта вместе с кареткой при отпущенной кнопке СЧИТ плавно досылает внутрь ППК; при правильной установке перфокарты световые потоки маркерных излучателей, стробирующего излучателя и матриц излучения замыкаются на соответствующие фотоприемники с усилителями.

Сигналы с усилителей маркерных фотоприемников через схему совпадения обеспечивают загорание индикационной лампы в кнопке-табло считывания. Сигналы с усилителя стробирующего фотоприемника поступают на устройство, которое формирует сигнал отключения импульсного питания для схемы управления шагового двигателя и сигнал в ЦВМ, который является одним из признаков разрешения считывания информации с перфокарты.

Наличие трех сигналов, вводимых в ЦВМ (с галетного переключателя в положении АВТ, с кнопки-табло считывания при ее нажатии и устройства формирования стробирующего сигнала), — признак разрешения считывания информации с перфокарты, т. е. при правильно вставленной карте и нажатой кнопке-табло считывания производится считывание информации.

Сигналы с усилителей матриц фотоприема поступают на коммутаторы по сигналам разрешения, переписываются в РПК в порядке поступления адресов из ЦВМ и в таком же порядке вводятся в ЦВМ в виде последовательных кодов с выхода 19-го разряда РПК.

После введения в ЦВМ информации с трех колонок перфокарты ЦВМ выдает сигнал на схему управления шаговым

электродвигателем, который перемещает каретку с перфокартой до совмещения матриц со следующими колонками перфокарты. Остановка двигателя осуществляется по сигналу с устройства формирования стробирующего сигнала.

Работа ППК в режиме встроенного контроля осуществляется с помощью средств встроенного контроля при замыкании двух специальных гнезд. Сигнал "контроль" блокирует, с одной стороны, работу входного устройства по сигналам из ЦВМ и, с другой стороны, как следствие, работу выходного устройства. Таким образом, обмен информацией ППК и ЦВМ в режиме контроля прекращается.

Одновременно сигнал "контроль" воздействует на схему генерации одиночных импульсов "ГОИ контроль", разрешая ее работу, и на дешифратор адреса входного слова, формирующего сигнал "сброс" РПК и сигнал разрешения записи информации с коммутационных элементов.

При обращении к любому из коммутационных элементов ППК сигнал поступает в шифратор, кодируется в последнем и в виде комбинации двоичного кода подается на вход РПК и схему "ГОИ контроль". В РПК происходит запись данной кодовой комбинации, а схема "ГОИ контроль" вырабатывает команду "имп.контроль", поступающую на ДшА. Дешифратор срабатывает и выдает сигнал, разрешающий обработку информации (сброс и разрешение записи в РПИ). При этом кодовая комбинация, записанная в РПК параллельно, поступает в РПИ и запоминается. Происходит срабатывание информационного подсвета (светосигнализаторов) в соответствии с данной кодовой комбинацией (включаются лампы светосигнализаторов, подключенные к разрядам РПИ, записавшим "единицы" кода).

Таким образом, режим встроенного контроля позволяет проверить кодировку, запись информации, перепись ее в РПИ и срабатывание информационного подсвета при обращении к коммутационным элементам. При этом осуществляется подсвет одного или нескольких элементов информационного подсвета.

Конструктивно ППК представляет прибор, элементы которого помещены в литой алюминиевый корпус (рис. 5.4). Для подсвета надписей на лицевой стороне пульта установлен светопровод со встроенными малогабаритными лампами.

Пульт взлета и посадки. Он предназначен для автоматического управления полетом самолета по схеме захода на посадку с возможностью задания параметров этой схемы вруч-

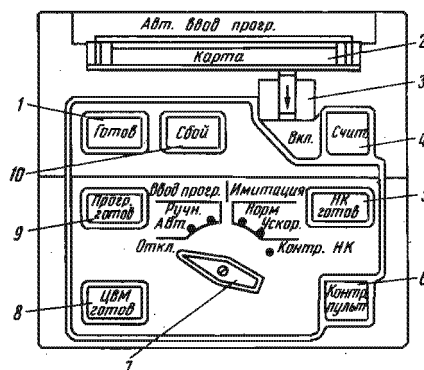


Рис. 5.4. Лицевая панель пульта подготовки и контроля: 1 – табло сигнализации правильного считывания исходных данных с перфокарты (готов); 2 – выдвижная рамка для размещения перфокарты; 3 – фиксатор рамки; 4 – кнопка-табло сигнализации установки и включения перемещения перфокарты (счит); 5 – табло сигнализации при включении режима "контроль НК" (нк готов); 6 – кнопка-табло контроля пультов (контр. пульт); 7 – переключатель режимов работы; 8 – табло сигнализации готовности (цвм готов); 9 – табло сигнализации окончания автоматического ввода программ (прогр. готов); 10 – табло сигнализации неправильного считывания исходных данных с перфокарты (сбой)

ную, а также с возможностью оперативного изменения схемы захода в процессе ее выполнения.

Обмен информацией в виде последовательных кодов производится по каналу "активного" обмена на 16 абонентов преобразователя МПК-АО аналогично рассмотренному для ППК.

Структурная схема ПВП приведена на рис. 5.5. Все устройства ПВП можно разделить на функциональные группы согласно этапам его работы:

1) устройства приема информации, к которым относятся входное устройство Вх.У, регистр преобразования кода РПК, устройства отображения информации, включающие в себя элементы информационного подсвета ЭП (сигнальные части кнопок-табло).

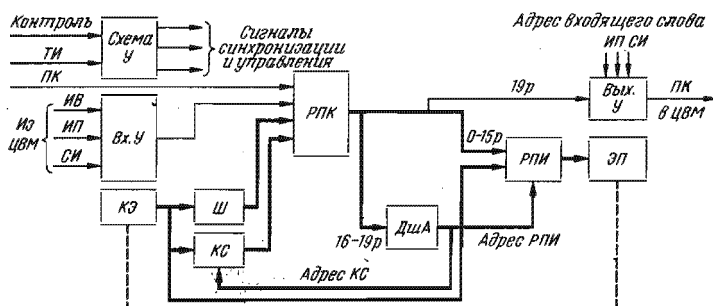


Рис. 5.5. Структурная схема пульта взлета и посадки

2) устройства управления информационным подсветом (объединяющие регистр подсвета информационного РПИ), дешифратор адреса ДША.

3) устройства формирования кода в ЦВМ, состоящие из коммутационной схемы КС, дешифратора входного слова ДША, шифратора Ш, коммутационных элементов лицевой панели КЭ (кнопки-табло, тумблеры, переключатели).

4) устройства ввода информации в ЦВМ, к которым принадлежат регистр преобразования кода РПК, выходное устройство.

5) устройства встроенного контроля и управления, включающие схему управления СхУ.

Функции перечисленных устройств аналогичны функциям одноименных устройств структурной схемы ППК.

Работа ПВП в режиме приема информации из ЦВМ аналогична описанной для ППК.

Ввод информации в ЦВМ осуществляется по двум адресам. Появление любого из них вызывает срабатывание с задержкой соответствующего ДША входного слова. Сигнал ДША управляет подключением коммутационных элементов и одновременно производит сброс информации с РПК. Кроме того, этот сигнал разрешает работу выходного устройства.

При обращении к коммутационному элементу производится кодирование его выходного сигнала в шифраторе Ш с последующей записью в РПК. Программные переключатели подключаются к РПК через коммутатор сигналов, минуя шифратор Ш.

При поступлении из ЦВМ импульсов приема, сопровождаемого двадцатью синхронизирующими импульсами СИ, происходит передача записанной в РПК информации через выходное устройство в ЦВМ.

Работа ПВП в режиме контроля осуществляется с помощью средств встроенного контроля при замыкании двух специальных гнезд, аналогично рассмотренному для ППК.

Конструктивно ПВП представляет собой прибор, элементы которого помещены в литой алюминиевый корпус. На лицевой панели корпуса установлены органы управления (рис. 5.6).

Коммутационные устройства ПВП, расположенные на его лицевой панели, конструктивно выполнены в виде кнопок аналогично ППК. Различные по назначению группы кнопок отличаются формой и цветом колпачков. Для подсвета надписей на лицевой части пульта установлены светопроводы со встроенными малогабаритными лампами.

регистр преобразования кода (РПК);
выходное устройство (Вых.У);
дешифраторы адресов (ДША);
регистр подсвета информационного (РПИ);
элементы подсвета (ЭП), представляющие собой сигнальные части кнопок-табло;

дешифраторы цифр (ДшЦ), преобразующие двоично-десятичный код, поступающий из устройства памяти, в семи-разрядный позиционный код для воспроизведения (свечения) цифр от 0 до 9 и для гашения индикаторов информации;

устройство памяти (УП), которое предназначено для хранения кода, поступившего из РПК на время, необходимое для индикации цифр;

коммутационные элементы (КЭ) лицевой панели, предназначенные для вызова на индикацию значений текущих навигационных параметров и включения алгоритмов комплекса;

шифраторы (Ш), преобразующие битовую информацию, поступающую с коммутационных элементов, в двоичный код;

схему управления (СхУ);

индикаторы цифр (ИЦ).

Устройства, одноименные с устройствами ППК и ПВП, выполняют аналогичные функции. Прием информации из ЦВМ осуществляется аналогично описанному для ППК. Информационная часть принятого слова (0—15 разрядов) поступает по двум каналам: на информационный подсвет в регистры подсвета информационного (РПИ) и на цифровую индикацию в устройство памяти (УП).

В результате анализа адреса на выходе одного из дешифраторов, код которого совпал с пришедшим из ЦВМ, вырабатывается сигнал, разрешающий обработку информации по соответствующему каналу. При поступлении из ЦВМ информации с адресами цифровой индикации производится запись ее в устройство памяти (соответственно сработавшему ДШ адреса ИЦ), затем — дешифрация цифр и отображение их в соответствующем цифровом индикаторе.

Так как для передачи одной десятичной цифры необходимы 4 разряда двоичного кода то, следовательно, для вывода информации на 18 ИЦ необходимо 72 бита информации, т. е. 4,5 информационных слова по 16 бит (в реализации — 5 слов).

При поступлении из ЦВМ кода с адресом информационного подсвета дешифратор адреса РПИ формирует команду разрешения переписи числовой части информационного слова

в РПИ, где она хранится в течение времени, необходимого для управления элементами подсвета. Каждый разряд РПИ связан с определенным элементом индикации (обеспечивает подсвет кнопок-табло и засветку индексов ИЦ).

Ввод информации из ПВИ в ЦВМ осуществляется только по одному адресу из числа сопровождающих информацию. Появление этого адреса (в каждом случае он совпадает с адресом РПИ) вызывает срабатывание ДШ "адреса вх. слова". Сигнал последнего подключает питание коммутационных элементов и одновременно производит сброс информационных разрядов РПК. Кроме того, тот же сигнал является разрешением на работу выходного устройства.

При обращении к коммутационному элементу производится кодирование его сигнала в шифраторе (Ш) с последующей записью в РПК. При поступлении из ЦВМ сигналов "ИП" и "СИ" происходит передача записанной в РПК информации в выходное устройство, направляющее последовательный код в ЦВМ.

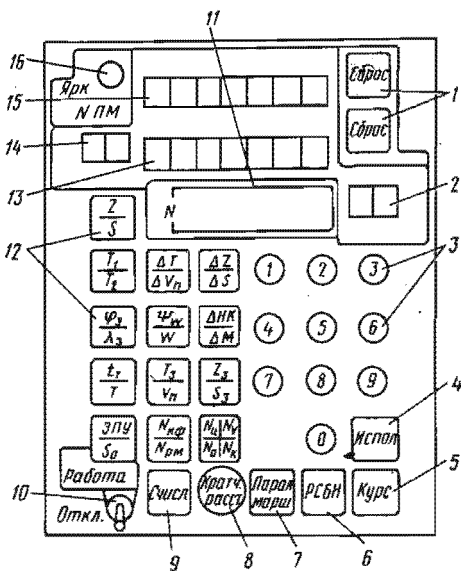
Работа ПВИ в режиме контроля осуществляется с помощью средств встроенного контроля аналогично рассмотренному для РПК. Конструктивно ПВИ представляет прибор, элементы которого помещены в литой алюминиевый корпус. На лицевой поверхности корпуса установлены органы управления (рис. 5.8). Коммутационные устройства ПВИ, расположенные на его лицевой панели, выполнены в виде кнопок аналогично пультам НВС.

Индикатор навигационной обстановки — устройство отображения навигационной информации. Предназначен для наглядного представления текущего местоположения самолета и вектора путевой скорости на фоне картографического изображения пролетаемой местности с целью непрерывной оценки положения ВС относительно линии заданного пути. Этот тип индикаторов используется как основное средство контроля со стороны экипажа за автоматическим полетом ВС.

Носителем информации картографического материала в ИНО является фотопленка, кадры которой, отображающие пролетаемую местность, проектируются на экране при помощи оптической системы, обеспечивающей повороты изображения в соответствии с изменениями направления полета. Перемещение фотопленки и управление оптической системой осуществляется по сигналам от БЦВМ.

Рис. 5.8. Лицевая панель пульта ввода и индикации:

1 — кнопки-табло стирания информации на индикаторах; 2 — индикатор двухразрядный; 3 — кнопки задания вводимых в ЦВМ параметров; 4 — кнопка-табло ввода в ЦВМ заданных параметров; 5 — кнопка-табло включения автоматической коррекции курса; 6 — кнопка-табло включения режима коррекции по РСБН; 7 — кнопка-табло включения маршрута, параллельного заданному; 8 — кнопка-табло включения режима разворота на заданную точку маршрута; 9 — кнопка-табло включения режима "Счисление"; 10 — переключатель режимов работы и ввода данных в поле; 11 — шильдик с номерами ПМ, аэродромов и радиомаяков; 12 — кнопки-табло ввода в ЦВМ и вывода на индикацию навигационных параметров; 13, 15 — индикаторы цифровые семиразрядные; 14 — индикатор номера текущего пункта маршрута (ПМ); 16 — ручка регулировки яркости индикации



Лицевая панель корпуса ИНО приведена на рис. 5.9. Текущее местоположение самолета (МС) изображается неподвижным индексом в центре экрана, который с целью увеличения обзора вперед может быть смещен вниз.

Фактическая линия пути индицируется направлением радиуса-вектора, приведенного из МС (центра экрана) под углом истинного курса (курсовой угол плюс угол сноса) к меридиану. Длина вектора может быть размечена точками, соответствующими интервалам полета, с целью обеспечения оценочного прогнозирования места самолета. На экран ИНО могут быть вызваны и некоторые справочные данные в виде таблиц, схем, текстов инструкции и т. п. с помощью специальной второй системы проектирования изображения, управляемой от БЦВМ. На панели индикатора размещены органы управления и элементы индикации (см. рис. 5.9).

Блок коммутации предназначен для работы на самолете в составе НПК и выполняет следующие функции:

коммутирует сигналы информации НПК в соответствии с управляющими сигналами режимов его работы;

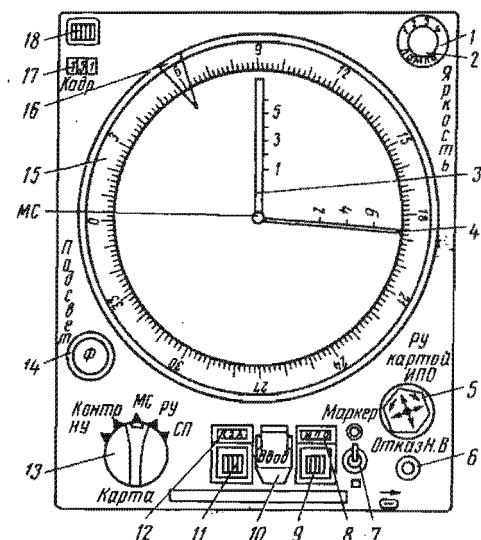


Рис. 5.9. Лицевая панель индикатора навигационной обстановки:

1 — переключатель лампы подсветки; 2 — ручка регулировки яркости изображения на экране; 3, 4 — указатели истинного пеленга ориентира и путевого угла; 5 — рукоятка кратковременного ручного управления перемещением и разворотом изображения карты и указателя истинного пеленга ориентира; 6 — лампа сигнализации отказа навигационного вычислителя; 7 — переключатель индикации маркера, обозначающего МС; 8 — табло сигнализации указателя истинного пеленга ориентира; 9 — кнопка-табло изменения режима управления указателем истинного пеленга ориентира; 10 — кнопка "ввод", закрытая защитной крышкой; 11 — кнопка-табло изменения масштаба изображения карты на экране; 12 — табло сигнализации нахождения самолета в зоне аэродрома; 13 — переключатель режимов работы индикатора; 14 — спаренные рукоятки регулировки яркости подсветки табло и резкости изображения на экране; 15 — шкала курса; 16 — вращающаяся эзимутальная шкала с отчетным индексом угла сноса; 17 — счетчик кадров микрофальма; 18 — кнопка-табло включения вида ориентации карты

ного пеленга ориентира; 10 — кнопка "ввод", закрытая защитной крышкой; 11 — кнопка-табло изменения масштаба изображения карты на экране; 12 — табло сигнализации нахождения самолета в зоне аэродрома; 13 — переключатель режимов работы индикатора; 14 — спаренные рукоятки регулировки яркости подсветки табло и резкости изображения на экране; 15 — шкала курса; 16 — вращающаяся эзимутальная шкала с отчетным индексом угла сноса; 17 — счетчик кадров микрофальма; 18 — кнопка-табло включения вида ориентации карты

формирует и выдает предупреждающие и уведомляющие сигналы в систему автоматической сигнализации (САС), разовые управляющие сигналы — в другие системы НПК;

обеспечивает выдачу на двигатели отработки параметров в приборах навигационных плановых (ППП) напряжений, синфазных с напряжением питания датчиков этих параметров;

обеспечивает гальваническую развязку каналов крена и тангажа БСКВ;

выдает опорное синхронизирующее напряжение для БЦВМ;

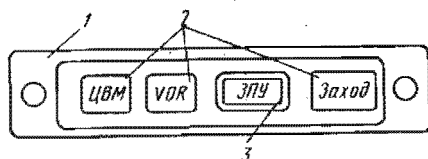


Рис. 5.10. Лицевая панель пульта управления

обеспечивает согласование информационных каналов БЦВМ и пультов ППК, ПВИ и ПВП.

Конструктивно БК выполнен в виде двух отдельных блоков, размещенных на шасси с амортизаторами. Монтаж резисторов, диодов, реле и других элементов схем блока произведен на платах, которые крепятся к его каркасу.

Пульт управления предназначен для управления коммутацией пилотажно-навигационных сигналов. Он обеспечивает прием сигналов от НПК с индикацией принимаемой информации на кнопках-табло и светосигнализаторе, а также вывод сигналов с одновременной индикацией выдаваемого параметра на кнопках-табло.

Конструктивно ПУ (рис. 5.10) представляет собой прибор, элементы которого помещены в литой алюминиевый корпус 1. На лицевой поверхности корпуса установлены три кнопки 2 и светосигнализатор 3. Кнопки представляют собой коммутационные устройства, состоящие из двух микропереключателей, срабатывающих при нажатии на колпачок кнопки и находящихся под колпачком двух ламп подсвета ночного и информационного.

5.3. Программное обеспечение

Общие сведения. Программное обеспечение вычислительной системы — совокупность программ, процедур и правил, позволяющая использовать систему решения определенного набора задач. Структура программного обеспечения НВС приведена на рис. 5.11.

Система контроля, как основная часть программного обеспечения, включает совокупность программных средств, пред-

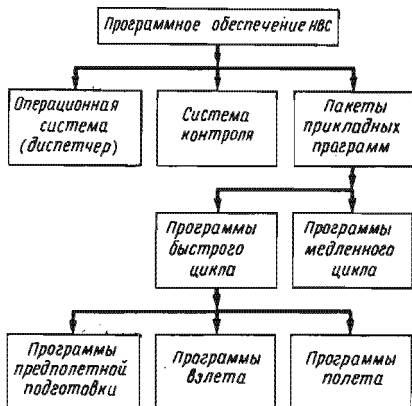


Рис. 5.11. Структура программного обеспечения НВС

назначенных для проверки работоспособности и технической эксплуатации НВС. Программно-логический контроль основан на использовании избыточности исходных и промежуточных данных, позволяющих находить различные проверочные соотношения. Тестовый контроль осуществляется с помощью тестов для проверки работы БЦВМ или ее частей, т. е. путем решения специальных контрольных задач.

Операционная система (ОС) — часть программного обеспечения, предназначенная для организации процесса обработки, ввода, вывода данных.

Пакеты прикладных программ обеспечивают функционирование вычислительной системы как некоторой специализированной системы обработки информации в составе конкретного бортового радиоэлектронного комплекса. Пакеты прикладных программ реализуются под управлением операционной системы. Общий алгоритм диспетчера ОС включает следующие процедуры: проверку ЦВМ в автономном режиме с контрольно-проверочной аппаратурой; проверку ЦВМ в режиме теста встроенного контроля на этапе предполетной проверки и в полете; ввод доплеровских частот; имитацию полета по запрограммированным трассам в автоматическом и операторном режимах; управление пультами; выдачу сигналов "заход" и "подготовка" посадки; выдачу сигналов, управляющих работой ИНО; восстановление работоспособности алгоритмов при сбоях и перерывах электропитания; счета текущего времени (таймер); ввода и вывода битовой информации; формирование передач управления в соответствии с временной диаграммой работы алгоритмов прикладных программ.

Управление передается на вход алгоритма диспетчера при появлении команды непрограммируемого прерывания вычислений (НПВ). В зависимости от вида прерывания реализуется определенная ветвь диспетчера:

- по сигналу "цикл" от таймера осуществляется программа ввода доплеровских частот (каждый четный "цикл");

- по каждому четвертому прерыванию или второму циклу выполняется программа полетного теста встроенного контроля;

- по каждому шестому прерыванию происходит передача управления на решение задач, так называемого быстрого цикла, которые будут описаны ниже;

- по каждому нечетному циклу выполняется программа выдачи сигнала в ИНО и т. д.

Таймер реализуется с использованием специально отведенных ячеек ОЗУ и состоит из: счетчика числа прерываний в цикле τ_1 ; счетчика времени решения задач медленного цикла τ_2 ; счетчика текущего времени τ_3 ; счетчика-синхронизатора начала быстрого цикла τ_4 ; счетчика времени τ_5 .

При времени счета задач медленного цикла (по счетчику τ_2), что возможно в случае заикливания программы или прерыва электропитания, диспетчер реализует программу восстановления (решение задачи вновь с новыми данными). После ветви "цикл" производится восстановление ранее прерванной программы. Общий алгоритм быстрого цикла предназначен для решения навигационных задач, требующих высокого темпа решения и включает следующие процедуры:

- 1) на этапе предполетной подготовки: предполетный контроль; вычисление предстартовых данных; формирование и выдачу сигналов на систему аварийной сигнализации (САС) и пульты; оценку и запоминание дрейфов и информационно-вычислительном комплексе; управление коммутацией режимов работы ДИСС, ИКВСП, РСБН;

- 2) на этапе взлета: алгоритмы ПВП; алгоритмы формирования курсовой информации; выдачу информации на ПНП; алгоритмы контроля пультов и САС; алгоритмы начальной установки курса при разбеге по ВПП; счет контрольных сумм; алгоритмы контроля ЗПУ;

- 3) на этапе полета: контроль курсовой информации; контроль скоростной информации; контроль высотной информации; обработку доплеровских частот; комплексную обработку информации по скорости; передачу режима с одного ПВИ (приоритетного) на другой; счисление пути; управление в боковой плоскости; определение местоположения ВС в осях ВПП (по сигналу к подготовке посадки).

В промежутках времени между рабочими интервалами для программ быстрого цикла и диспетчера решаются задачи медленного цикла.

Общий алгоритм медленного цикла включает следующие процедуры: определение географических координат местоположения ВС; определение зоны коррекции по радиомаякам; коррекцию счисления сигнала по радиомаякам; комплексную обработку информации при позиционной коррекции по РСБН; вычисление среднего гироскопического курса и среднего дрейфа; определение элементов магнитного поля Земли; определение временного графика движения самолета по запрограммированной трассе; вычисление параметров очередной ортодромии на маршруте и в зоне аэродрома; формирова-

ние ЗПУ для индикации; формирование отдельных сигналов и признаков.

Медленный цикл периодически прерывается на время реализации программ диспетчера.

Примеры задач, решаемых НВС. В качестве примера рассмотрим алгоритм обработки доплеровских частот. Алгоритм предназначен для преобразования получаемых от ДИСС значений доплеровских частот F_1, F_2, F_3 в составляющие путевой скорости самолета V_s, V_z по осям частноортодромической

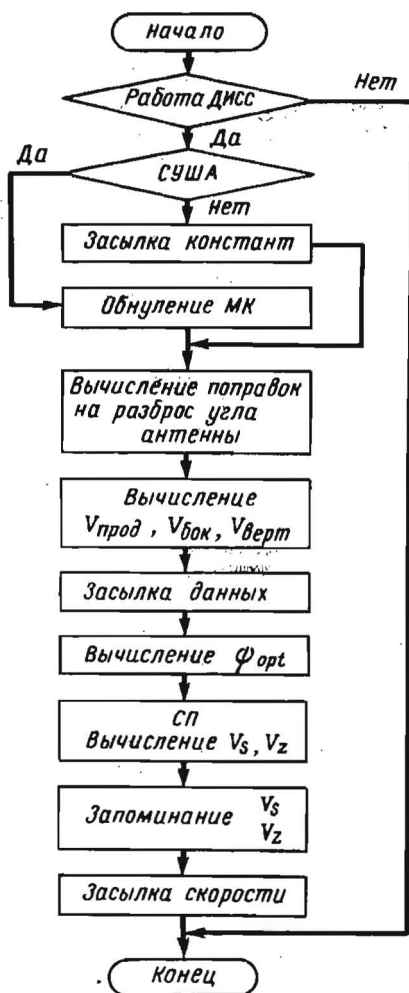


Рис. 5.12. Схема алгоритма вычисления составляющих путевой скорости

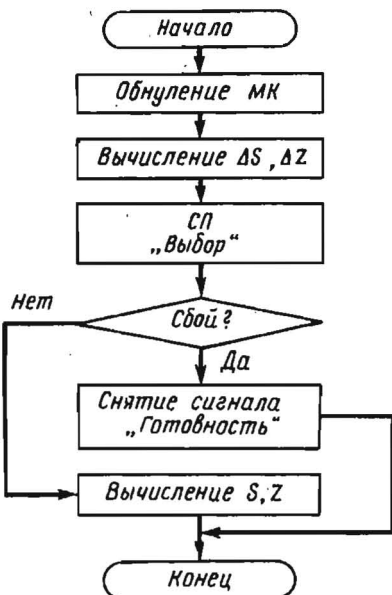


Рис. 5.13. Схема алгоритма счисления пути

системы координат S, Z . Схема алгоритма приведена на рис. 5.12.

Сначала анализируется состояние сигнала о работе ДИСС. В случае отказа ДИСС (при крене самолета или неисправности) работа алгоритма прекращается. При исправной работе ДИСС анализируется состояние сигнала "суша—море" от ДИСС для определения масштабных коэффициентов, учитывающих отражающие свойства поверхности Земли.

В случае наличия сигнала "море" выполняется засылка координат переадресации с целью выбора соответствующих констант. При полете над сушей выполняется обнуление модифицирующего кода (МК) и требуемые константы выбираются путем использования прямой адресации.

Далее вычисляются поправки на разброс угла визирования антенны ДИСС и производится пересчет доплеровских частот в составляющие путевой скорости по осям самолета (продольная $V_{\text{прод}}$, боковая $V_{\text{бок}}$, вертикальная $V_{\text{вер}}$). Полученные данные засылаются по заданным адресам, и алгоритм переходит к вычислению угла ортодромического курса $\psi_{\text{орт}}$.

Далее реализуется стандартная программа (СП) преобразования составляющих путевой скорости из самолетной системы координат в частноортодромическую путем последовательного поворота исходной системы на угол крена γ , тангажа ν и ортодромического курса $\psi_{\text{орт}}$. Полученные данные запоминаются и засылаются в системы-потребители информации.

В качестве второго примера рассмотрим алгоритм счисления пути, схема которого приведена на рис. 5.13. Алгоритм работает в быстром цикле и решает задачу определения текущих частноортодромических координат самолета S_c, Z_c по известным проекциям путевой скорости на оси координат V_s, V_z (формируемых в алгоритме обработки доплеровских частот), текущей широте места самолета φ и высоте H .

Вычисление координат S, Z производится на сфере радиуса $a = 6378$ км. Учет несферичности Земли и высоты полета осуществляется при формировании приращенной координат $\Delta S, \Delta Z$:

$$\begin{aligned}\Delta S_{\text{сч}} &= V_s \Delta t (1 + c_1 \sin^2 \varphi - c_2 H); \\ \Delta Z_{\text{сч}} &= V_z \Delta t (1 + c_1 \sin^2 \varphi - c_2 H); \end{aligned} \quad (5.1)$$

где $c_1 = 1/2$; $c_2 = 1/a$; 1 — эксцентриситет земного эллипсоида.

Вычисление координат выполняется по формулам:

$$\begin{aligned} S(n-1) + \Delta S_{\text{сч}} &= S(n); \\ Z(n-1) + \Delta Z_{\text{сч}} &= Z(n). \end{aligned} \quad (5.2)$$

С целью повышения надежности работы алгоритма предусмотрено использование стандартной подпрограммы "Выбор", осуществляющей контроль хранения информации о S и Z , находящейся в утроенном числе ячеек памяти. Подпрограмма обеспечивает восстановление информации при наличии одного сбоя или формирование признака "сбой" при возникновении двух сбоев, используя мажоритарный принцип.

Третий пример задачи, решаемой по прикладным программам БЦВМ, рассмотрим по одной из основных задач, выполняемых БЦВМ на борту ВС — обеспечение траекторного управления. Это управление должно осуществляться в достаточно высоком темпе и с высокой точностью.

Задачу траекторного управления следует представить как ряд частных задач, одной из которых является задача формирования линейного упреждения разворота, которая должна решаться в ускоренном масштабе времени. Решение указанной задачи необходимо при развороте ВС на очередной прямолинейный этап маршрута, т. е. при изменении направления линии заданного пути. Для этого на ЛЗП1 (рис. 5.14) необходимо расчетным путем найти точку, определяющую расстояние до очередного поворотного пункта маршрута (ППМ) и начала разворота на ЛЗП2. Линейное упреждение разворота определяется по формуле:

$$\text{ЛУР} = \frac{V_2}{g \operatorname{tg} \gamma_{\text{раз}}} \left[\operatorname{tg} \frac{\Delta \text{ЗПУ}}{2} + (\operatorname{sign} Z) \operatorname{УС}_1 + \frac{W}{V} x \right] + k (\gamma_{\text{раз}}) V_{\text{п}},$$

$$x = \frac{|\Delta \text{ЗПУ}| \sin(\text{ЗПУ}_2 - \psi_W)}{\sin(\Delta \text{ЗПУ})}$$

где ЗПУ = ЗПУ1 — ЗПУ2 — угол между ортодромиями; W — скорость ветра; g — ускорение свободного падения тела; $\gamma_{\text{раз}}$ — угол разворота, зависящий от типа ЛА и высоты полета; Z — боковое отклонение; $\operatorname{УС}_1$ — угол сноса при полете ЛА по текущей ортодромии; V — воздушная скорость самолета; ψ_W — угол ветра, отсчитываемый от направления на север до направления вектора ветра; ЗПУ1, ЗПУ2 — заданные путевые углы; k — эмпирический коэффициент, характеризующий возможности ЛА; $V_{\text{п}}$ — путевая скорость.

Для решения указанной задачи в качестве постоянных величин в ПЗУ БЦВМ заносятся значения параметров: $\gamma_{\text{раз}}$,

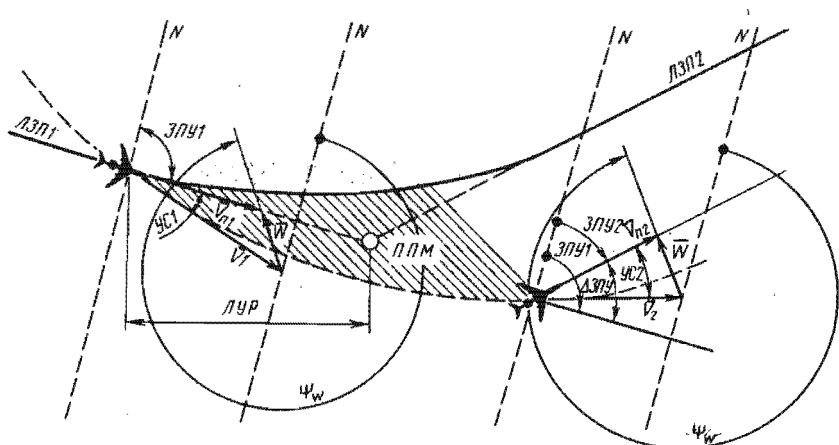


Рис. 5.14. К расчету траекторного управления ВС при изменении линии заданного пути

k , g , а также перед очередным взлетом вводятся параметры всех ППМ, в частности ЗПУ1, ЗПУ2. Значения V , W , V_n , Z вводятся в БЦВМ от датчиков навигационной информации в процессе полета. Часть рабочей программы, находящейся в ПЗУ, предусматривает решение уравнения (5.3) с последующей выдачей ЛУР в систему автоматического управления ВС и на приборы индикации.

Решение уравнений (5.3) требует выполнения около 20 математических операций с достаточно высокой точностью, что без применения БЦВМ осуществить практически не представляется возможным. Получение параметров упреждения разворота при помощи НВУ приводит к необходимости использования упрощенных методов описания маневра, а следовательно, и к снижению точности решения задачи.

5.4. Организация контроля и технического обслуживания БЦВМ в составе НВС

Общие сведения. Учебный стенд с типовой БЦВМ и одним из блоков контроля приведен на рис. 5.15 (на рисунке отсутствует фильтр радиопомех, входящий в состав БЦВМ).

На самолете БЦВМ устанавливается на амортизаторах в отсеке с малыми вибрационными и ударными нагрузками. С целью обеспечения необходимого температурного режима работы БЦВМ предусмотрен воздушный обдув ее блоков.

В условиях эксплуатации контроль работы БЦВМ осуществляется путем ее проверки программным, аппаратным или программно-аппаратным способами. В зависимости от размещения средств контроля различают внутренний контроль и внешний.

Внутренний контроль может быть реализован как аппаратным, так и программным способом. При аппаратном внутреннем контроле используются встроенные технические средства, входящие в состав БЦВМ и работающие вместе с нею. Достоинство такого контроля — отсутствие задержек

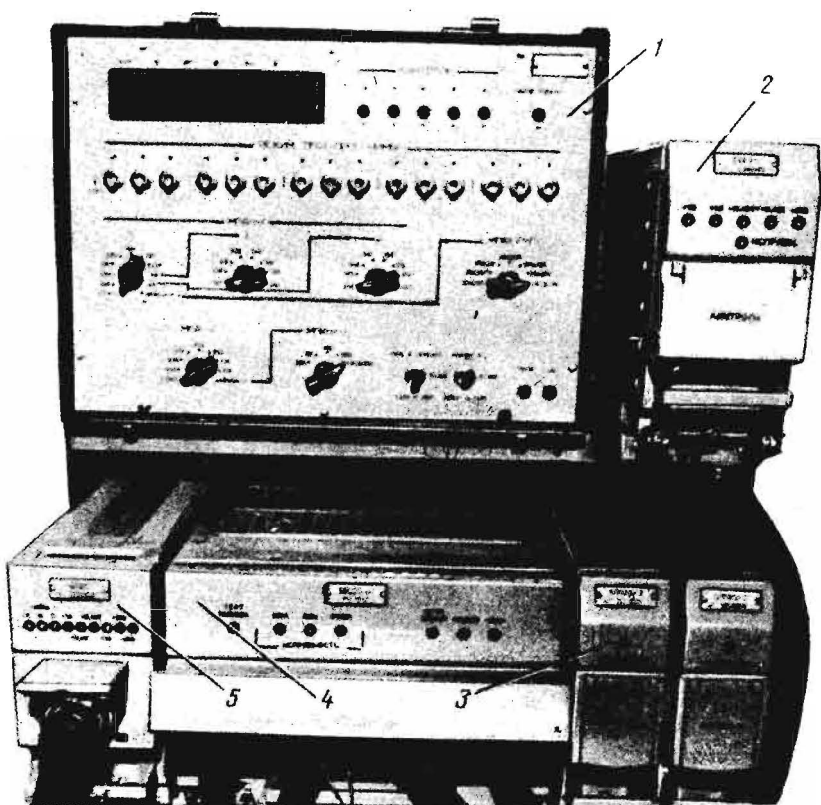


Рис. 5.15. Учебный стенд с типовой БЦВМ и пультом ее программного контроля:

1 — пульт программного контроля; 2 — блок оперативной памяти; 3 — блок постоянной памяти; 4 — блок вычислительный цифровой; 5 — блок питания

при определении места неисправности (диагностировании) и возможность фиксации сбоев.

Внутренние программные способы проверки осуществляются путем выполнения БЦВМ рабочей программы или путем реализации специальных проверочных программ (тестов). При таком способе диагностирования не требуется специального проверочного оборудования. Однако достигаемая глубина диагностирования обычно не всегда удовлетворяет практическим требованиям, так как при этом требуется правильное выполнение программ частью БЦВМ, которая сама не подвергается программной диагностике.

Более универсальный способ проверки работоспособности БЦВМ — внешняя тестовая диагностика, которая осуществляется путем подачи определенных тестовых входных воздействий в БЦВМ и анализа реакции на эти воздействия. В качестве технических средств, реализующих такой способ проверки БЦВМ, используется специальная контрольно-проверочная аппаратура (КПА).

Применение БЦВМ в составе НПК позволяет автоматизировать процесс предполетной подготовки как отдельных систем комплекса, так и всего комплекса в целом. Автоматизированный контроль состояния отдельных систем комплекса осуществляется с помощью специальных программ контроля, реализуемых БЦВМ. В результате выполнения такой программы по сигналам устройств встроенного контроля и значениям отдельных параметров системы формируется признак ее исправности. При отсутствии такого признака выдается на табло сигнал о неисправности проверяемой системы.

Проверка правильности решения основных задач комплекса осуществляется с помощью специальных программ БЦВМ, моделирующих условия полета ВС и соответствующую этим условиям информацию от датчиков. При этом осуществляется индикация отдельных параметров решаемой задачи, по значениям которой делается заключение об исправности работы НПК.

Более детальная проверка отдельных систем комплекса осуществляется в соответствии с требованиями руководящих документов с использованием специальной аппаратуры.

Руководящие документы по обслуживанию и ремонту БЦВМ входят в основной состав документов по ее эксплуатации. К ним относятся: техническое описание, инструкция по эксплуатации, инструкция по техническому обслуживанию, документация по ремонту, ведомость запасных частей, инструмента и принадлежностей.

Основной объем аппаратуры современных БЦВМ составляет функциональные узлы и блоки, выполненные на интегральных микросхемах. Ремонт такой аппаратуры в условиях технической эксплуатации БЦВМ сложен и экономически нецелесообразен, так как для этого требуются дорогостоящее технологическое оборудование и специальные условия для его осуществления. Поэтому в условиях эксплуатации неисправные узлы и блоки, как правило, заменяются из ЗИПа, который пополняется заводом-изготовителем.

Система контроля типовой БЦВМ. Система контроля технического состояния БЦВМ определяется совокупностью программных и технических средств. В состав ее входят: тест-программа; контрольные каналы и соединения; контрольно-проверочная аппаратура; методики контроля, изложенные в соответствующих разделах документации по технической эксплуатации БЦВМ.

Система контроля позволяет обеспечить проверку БЦВМ на этапах: использования в соответствии с ее штатным назначением (основной режим работы на борту); подготовки и выполнения регламентных работ в составе комплекса; регламентных работ вне комплекса (в лаборатории).

Система контроля обеспечивает проверку БЦВМ в режимах: тестового контроля (сокращенного внутреннего программного контроля); сокращенного программно-аппаратурного контроля (с использованием части КПА); полного контроля с КПА, подключенной через контрольные и штатные разъемы.

В состав КПА входят: пульт программного контроля (ППК), пульт контроля и индикации (ПКИ), пультами контроля устройства ввода-вывода (ПКУ-1, ПКУ-2), пульт регулировки напряжения (ПРН), блок согласования (БС), контрольно-проверочная установка (КПУ), телеграфный аппарат (ТА).

Тестовый контроль БЦВМ включает в себя тест встроенного контроля (ТВК) и тесты наземного контроля. В состав тестов наземного контроля входят: автономный и линейный тесты каналов УВВ (АТК УВВ и ЛТК УВВ) и счетный тест ОЗУ.

Тест встроенного контроля выполняется при использовании БЦВМ в составе комплекса и при проверке каналов УВВ. Обращение к ТВК производится периодически с заданным циклом. В каждом цикле обращения выполняется часть ТВК, после чего продолжает прерванная рабочая программа. Для полного осуществления ТВК необходимо несколько

циклов, так как в каждом цикле реализуется лишь некоторая часть теста.

ТВК состоит из четырех ветвей, выполняющихся поочередно: проверку процессора (контроль АЛУ и УУ путем решения специально подобранных примеров с заранее известным результатом);

проверку ОЗУ хранением прямого и обратного кодов;

проверку ПЗУ, по результатам считывания контрольных констант (ускоренная), по контрольным суммам кодов ячеек "квадратов" (полная);

проверку УВВ с использованием специальных контрольных каналов.

Признаком правильного прохождения ТВК является сигнал "тест выполняется", индицируемый на лицевой панели БЦВМ.

ЛТК УВВ обеспечивает автоматизированный контроль УВВ при подключении КПА (пультов ППК и ПРН) к контрольным разъемам БЦВМ. Выбор проверяемого канала производит оператор с помощью пульта ППК. На табло десятичной индикации пульта индицируется код ошибки преобразования информации каналом УВВ в процентах или градусах и минутах.

АТК УВВ обеспечивает автоматизированную проверку УВВ, используя возможности КПА, подключенной к контрольным и штатным разъемам. При подключении телетайпа контроль осуществляется автоматически с печатанием результатов. При работе без телетайпа определение параметров каналов, не укладывающихся в допуски, требует участия оператора.

Пульт программного контроля предназначен для проверки работоспособности БЦВМ в составе комплекса. В ППК входит также постоянное запоминающее устройство (ПЗУ-К) с тестами наземного контроля.

Принцип работы пульта заключается в автоматическом контроле каналов УВВ ЦВМ. С помощью сигнала "ПЗУ контр", вырабатываемого пультом в автоматическом или принудительном режимах, к ЦВМ подключается постоянное запоминающее устройство ПЗУ-К с тестами для проверки каналов УВВ. Информация контролируемого канала посылается в ОЗУ, далее поступает на регистры индикации и индицируется на десятичном табло. Переключение ветвей тестов наземного контроля осуществляется схемой режима тест-программы, расположенной в пульте.

В автоматическом режиме проверки БЦВМ результаты проверки каналов УВВ выводятся на телетайп. Ввод инфор-

мации с телетайпа в БЦВМ и вывод информации из БЦВМ на телетайп осуществляются по специальной тест-программе.

Пульт контроля и индикации предназначен для наладки и проверки работоспособности БЦВМ при регламентных работах и техническом обслуживании.

На ПКИ может быть набрана и введена в БЦВМ любая команда из списка системы команд. При этом команда может оперировать с числами, выбираемыми из ЗУ БЦВМ, либо с числом, набранным на ПКИ. Команда может вводиться при неработающей БЦВМ однократно либо непрерывно с заданной частотой, а также в процессе работы БЦВМ после выполнения конкретной заданной команды. Команда от ПКИ выполняется БЦВМ в режиме непрограммируемого прерывания вычислений (НПВ). Поэтому в БЦВМ, помимо самой команды с имитатора команд (ИК) подается сигнал НПВ.

Пульты контроля устройства ввода-вывода (ПКУ-1, ПКУ-2) предназначены для проверки функционирования УВВ БЦВМ. ПКУ-1 обеспечивает автоматический контроль каналов УВВ с управлением режимами контроля от проверяемой БЦВМ. Пульт ПКУ-2 предназначен для контроля входного и выходного преобразователей БЦВМ. Контроль входного преобразователя осуществляется вводом параметров от механизмов ввода, контроль параметров выходного преобразователя путем использования электромеханических следящих систем.

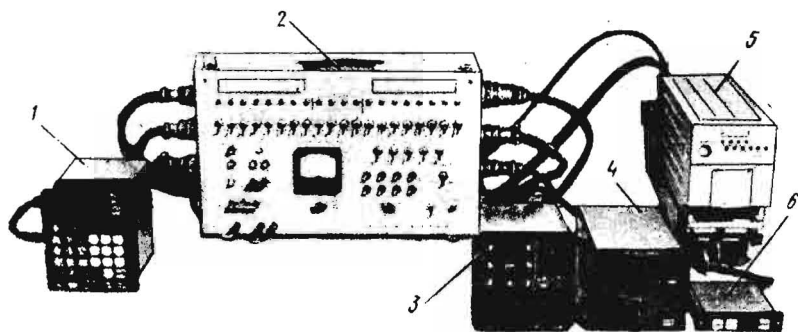


Рис. 5.16. Контрольно-проверочная установка:

1 — пульт ввода и индикации; 2 — пульт контроля пультов управления; 3 — пульт взлета и посадки; 4 — пульт подготовки и контроля; 5 — блок питания; 6 — пульт управления

Пульт регулировки напряжения представляет собой устройство, выполняющее различные по характеру функции, главные из которых обеспечение необходимыми напряжениями пультов КПА и регулировка напряжений блоков питания при прогнозирующем контроле.

Блок согласования предназначен для согласования сигналов БЦВМ с сигналами КПА при проверке функционирования вычислительной машины. БС обеспечивает: передачу логического сигнала от БЦВМ в КПА, фиксирование уровня запрета, согласование выходных сопротивлений пультов ПКИ и ПКУ с входными сопротивлениями БЦВМ.

Контрольно-проверочная установка (рис. 5.16) предназначена для проверки работоспособности пультов управления, работающих в комплексе с БЦВМ и имитаторов, обменивающихся 20-разрядными последовательными кодами.

КПУ вводит в пульты управления: 20-разрядный последовательный код, импульс выдачи (ИВ), импульс приема (ИП), синхроимпульсы (СИ), разовые сигналы постоянного напряжения. КПУ принимает от пультов управления: 20-разрядный последовательный код, разовые сигналы постоянного напряжения. КПУ состоит из пульта контрольного, пультов управления (ПК — ПУ) и блока питания. ПК—ПУ выполняют функции имитатора сигналов канала БЦВМ с активным обменом информацией.

6.1. Принципы комплексирования

Общие сведения. Специфика использования бортового оборудования ВС накладывает жесткие ограничения на физические, технические и эксплуатационные характеристики БВС. Здесь имеются в виду прежде всего внешние условия эксплуатации (вибрации, перегрузки и др.), требования к высокой надежности работы и производительности, жесткие ограничения по массе, габаритам и потребляемой мощности, простота и удобство в эксплуатации. Даже перечисленные обобщенные требования к БВС указывают на их противоречивость, что приводит к необходимости поиска эффективных путей оптимальной организации бортовых вычислительных средств.

Рост числа и усложнение функций бортового оборудования, постоянная тенденция к увеличению количества и сложности решаемых задач обострили проблемы сбора, обработки, распределения и отображения информации, быстрого действия, точности и надежности вычислительных средств.

Прогрессивная в свое время тенденция использования на борту ВС одной ЦВМ оказалась противоречивой: с одной стороны, БЦВМ обеспечивала совместную обработку информации различных датчиков и существенно повышала точность ее обработки, с другой — расширение информационной базы и возрастание сложности решаемых задач потребовали от БЦВМ значительных ресурсов, а централизация средств обработки данных обусловила повышенные требования к надежности ее работы.

Поиск эффективных путей повышения надежности, информационной производительности и гибкости применения вычислительных средств на борту ВС привел к созданию комплексных бортовых вычислительных систем (КБВС), как более высокоорганизованных средств обработки информации.

Комплексная БВС — бортовая вычислительная система, содержащая не менее двух устройств обработки информации (процессоров), взаимодействующих между собой по каналам передачи данных и управления.

По структурной организации БВС делятся на многомашинные и многопроцессорные (мультипроцессорные). Простей-

шие многомашинные БВС состоят из двух-трех ЦВМ и организуются главным образом для повышения надежности и живучести их функционирования, реализации различных методов резервирования и контроля правильности работы. Более сложные многомашинные БВС имеют параллельную структуру, содержащую несколько связанных между собой ЦВМ, работающих одновременно над распределенными между ними задачами. В таких системах одна ЦВМ может обмениваться информацией с другой. Многомашинные вычислительные системы подразделяются на однородные и неоднородные в зависимости от однотипности или разнотипности входящих в них машин.

На рис. 6.1. приведены обобщенные структурные схемы многомашинных БВС, получивших название дуплексных — а, триплексных — б, дуальных — в, параллельных — г.

Дуплексные и триплексные БВС состоят соответственно на двух-трех однотипных ЦВМ, решающих одновременно одни и те же задачи с периодическим сравнением результатов решения. В случае несовпадения последних достоверный вариант решения выбирается в первом случае тестовой проверкой машины, во втором — проверкой по межоритарному правилу (путем анализа информации на совпадающее большинство).

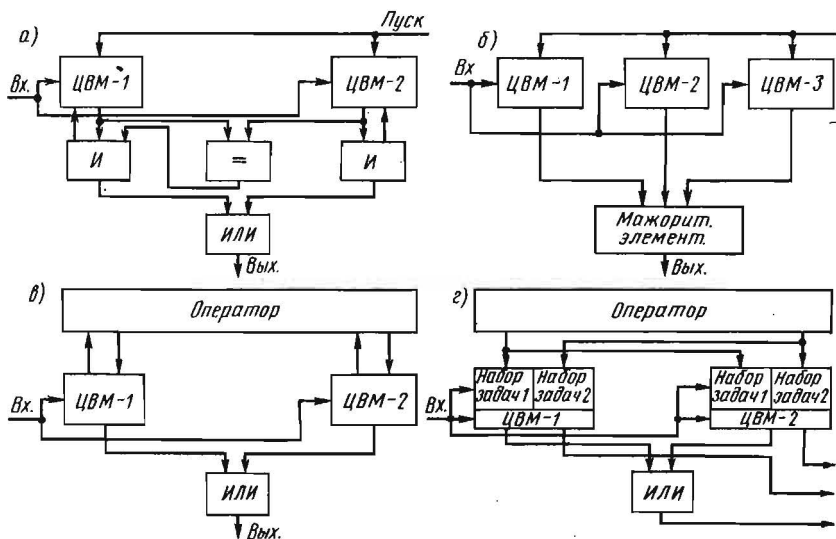


Рис. 6.1. Обобщенные структурные схемы многомашинных БВС

Дуальная БВС реализует обычную схему ненагруженного резервирования, т. е. при отказе одной ЦВМ в работу запускается другая.

В параллельных БВС решаемые задачи распределяются по всем одновременно работающим машинам, каждая из которых может выполнять наиболее важные задачи из набора задач другой машины и делает это в случае отказа последней.

Возможности многомашинных БВС могут быть полностью использованы только при эффективной организации их работы. Действенный способ повышения эффективности использования ресурсов БВС — широкое применение в них принципа мультиплексирования, т. е. распределения вычислительных средств и устройств передачи данных во времени: организация многомашинной или многопроцессорной обработки данных с оперативным распределением заданий, применение мультиплексных каналов обмена данными, мультиплексирование работы преобразователей, устройств ввода-вывода, блоков контроля однотипных устройств и т. д.

На рис. 6.2 приведена обобщенная структура многомашинной БВС, вычислительные машины которой взаимодействуют между собой и с другими бортовыми системами последовательно в мультиплексном режиме через магистраль данных.

Управление данными осуществляется одной из ЦВМ. Все ЦВМ включаются в магистраль через блоки управления обменом, которые могут работать в независимом или подчиненном режимах. Датчики, исполнительные механизмы, пульта, органы управления в кабине ЛА, внешняя память и т. д. включаются в магистраль через стандартные блоки обмена (интерфейсы).

Приведенная структура БВС позволяет вести параллельную обработку данных, использовать унифицированные ма-

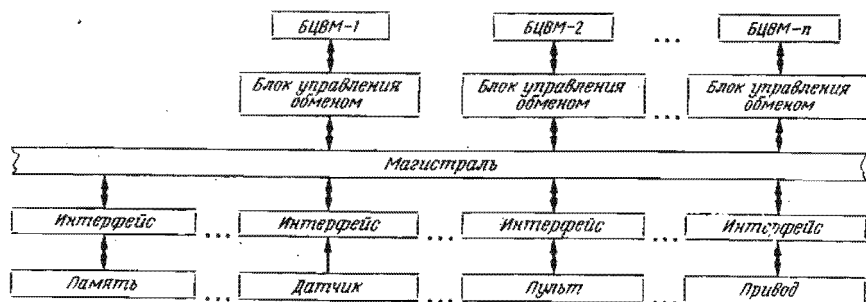


Рис. 6.2. Обобщенная структура БВС с унифицированными магистралями связи

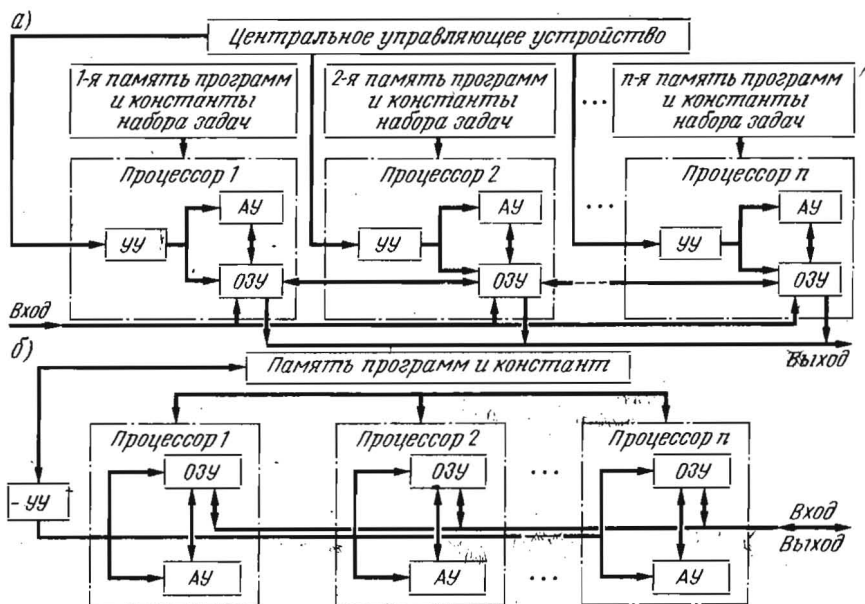


Рис. 6.3. Обобщенные структурные схемы многопроцессорных БВС

гистральной связи, обеспечивает структурную гибкость, возможность наращивания памяти, состава внешних устройств, производительности.

Многомашинные БВС строятся на базе отдельных ЦВМ с добавлением межмашинных связей и, при необходимости, с применением специальных операционных систем для обмена информацией и организации из совместной работы.

Многопроцессорные БВС отличаются от многомашинных тем, что они строятся на базе процессорных модулей, могут иметь общую память программ и констант и обязательно имеют общее центральное устройство управления, а также работают под управлением единой операционной системы.

На рис. 6.3 приведены структурные схемы двух многопроцессорных вычислительных систем. Первая (рис. 6.3, а) ориентирована на использование в составе систем целевого типа с распределением вычислений между процессорами на уровне набора задач. Вторая (рис. 6.3, б) предусматривает распределение вычислений на уровне математических выражений и применяется в системах функционального типа, для которых характерно выполнение большого количества однотипных преобразований.

В многопроцессорных БВС достигаются более высокие динамические характеристики, чем у многомашинных БВС, обеспечивается экономия ресурсов памяти за счет исключения дублирования в хранении однотипных модулей программного обеспечения, эффективно реализуются методы повышения живучести за счет автоматической перестройки структуры (реконфигурации) при отказах отдельных процессоров. Однако математическое обеспечение многопроцессорных БВС, а главное, их операционная система отличаются чрезвычайной сложностью. Кроме того, данный тип БВС имеет ограниченные возможности к модернизации и наращиванию.

Организация взаимодействия ЦВМ в бортовых комплексных системах. Одна из существенных составных частей архитектуры сложных многомашинных и многопроцессорных БВС — их топологическая организация, определяющая информационные связи, а вместе с ними и характер взаимодействия аппаратных ресурсов системы.

Из большого топологического многообразия структур многомашинных БВС можно выделить ряд характерных видов (классов) организации, образующий своего рода "спектр" структур БВС (рис. 6.4). В этом "спектре", полученном при классификации структур по признаку централизации управления, противоположные позиции занимают централизованная и несвязанная БВС. Данные два типа структур, ставшие уже "традиционными", отрицают друг друга в функции комплексирования.

Централизованная БВС (рис. 6.5) может быть комплексной (если число входящих в нее БЦВМ более одной) или некомплексной (в случае одной БЦВМ). Но в обоих случаях БВС выполняет функцию комплексирования бортовых систем-датчиков и систем-приемников информации в единый бортовой комплекс, ядром которого является БВС. К централизованным БВС относятся многомашинные структуры, объединенные в интересах надежности: дуальная, дуплексная,

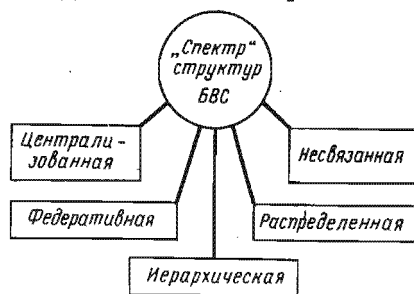


Рис. 6.4. Топологические классы БВС

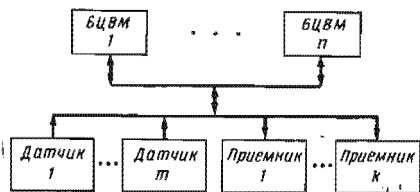


Рис. 6.5.. Централизованная БВС

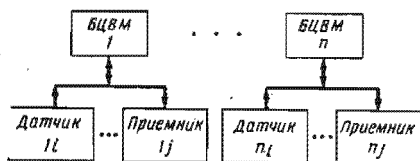


Рис. 6.6. Несвязанная БВС

триплексная, которые были рассмотрены ранее. Данный тип структуры, являющийся характерным для настоящего поколения авиационной электроники, обеспечивает значительную экономию аппаратных средств и высокую эффективность их использования во времени.

Несвязанная БВС (рис. 6.6) фактически является набором независимых вычислительных элементов (БЦВМ) для каждой бортовой подсистемы. Такая система, строго говоря, не является комплексной, так как ее вычислительные элементы взаимодействуют только через оператора (члена экипажа самолета), который, воспринимая показания средств отображения информации одной подсистемы, принимает решение и воздействует через органы управления на другую. Достоинствами такой организации являются:

возможность независимой разработки или модификации отдельных подсистем, снабженных автономным вычислителем (абсолютная структурная гибкость вследствие отсутствия аппаратных связей);

возможность оптимального распределения вычислительных ресурсов по назначению;

возможность использования различных методов повышения надежности с требуемыми критериями и показателями для каждой конкретной подсистемы;

упрощение разработки программного обеспечения.

К недостаткам следует отнести:

отсутствие автоматической комплексной обработки информации на верхнем уровне, не позволяющее строить бортовые комплексы интегрального типа;

недостаточную эффективность использования вычислительных средств во времени;

дублирование многих функций программного обеспечения в вычислителях подсистем;

усложнение эксплуатации.

Если аналогичные критерии применить к анализу централизованной БВС, то сравнительная ее оценка с несвязанной структурой укажет на полную противоположность их свойств. Поэтому стремление к совмещению достоинств обоих типов структур привело к разработке типов БВС, занимающих промежуточное положение между данными типами по степени централизации управления.

Федеративная БВС — следующий за централизованными структурами топологический класс систем (рис. 6.7). Данная организация предполагает использование отдельных магистралей для связи нескольких вычислительных элементов между собой и с датчиками и приемниками информации. В федеративной БВС задачи распределены между вычислительными элементами системы. Но это распределение управляется операционной системой и потому является гибким, так как все датчики и приемники информации остаются программно-доступными для любой БЦВМ. В случае отказа одной из них функции работающих БЦВМ могут быть перераспределены. Такая децентрализованная организация системы (известная также как параллельная структура) обеспечивает эффективную реализацию методов повышения живучести, допускает расширение состава оборудования и некоторую функциональную избыточность. Недостатком данного типа структуры является сложность разработки программного обеспечения.

Противоположащим федеративным БВС в приведенном "спектре" структур (см. рис. 6.4) является топологический класс распределенных БВС, который представляет в настоящее время значительный интерес, особенно в связи с развитием средств микропроцессорной техники. Отличие распределенных БВС от федеративных состоит в том, что в распределенной системе каждый вычислительный элемент имеет свой определенный набор датчиков и приемников информации, которые могут связываться с остальными элементами комплекса только через свой вычислитель (рис. 6.8). В БВС данного типа задачи "жестко" закреплены за БЦВМ путем струк-

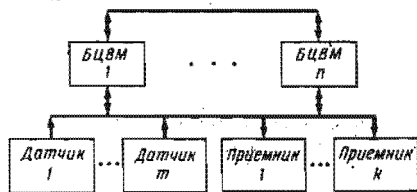


Рис. 6.7 Федеративная БВС

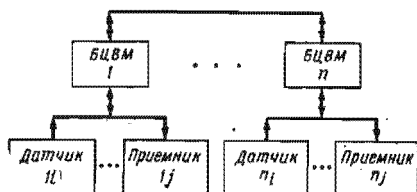
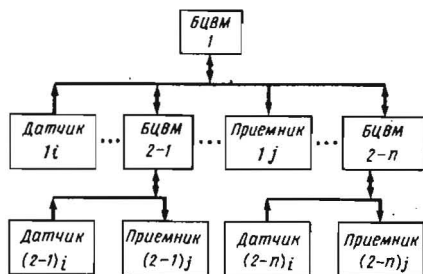


Рис. 6.8. Распределенная БВС

Рис. 6.9. Иерархическая БВС



турного распределения машин по подсистемам комплекса. Это обеспечивает совмещение положительных свойств несвязанных БВС с возможностью комплексной обработки информации в системе.

Между тем, комплексирование бортовых систем и создание на этой основе высокоэффективных бортовых радиоэлектронных комплексов интегрального типа требуют при организации вычислительных средств использования принципов иерархии в процессах обработки информации и управления. Действительно, использование в таких комплексах наиболее перспективных распределенных структур (впрочем, как и в случае применения федеративных БВС) требует наличия элемента, выполняющего функции диспетчера по отношению к другим вычислительным элементам. Введение в структуру БВС центральной машины — диспетчера приводит к иерархической БВС, обладающей признаками всех других типов структур. В иерархической БВС (рис. 6.9) вычислители нижнего уровня распределены по подсистемам и могут иметь на более высоких уровнях федеративные связи. Вычислитель (или группа вычислителей) верхнего уровня имеет централизованную связь с элементами нижестоящих уровней, включая невычислительные элементы (например, средства отображения информации, пульта управления и др.).

В иерархической гибридной БВС удастся достигнуть наибольшего совмещения положительных свойств различных структур. Существенным преимуществом данной организации является возможность оптимизации свойств системы (по эффективности использования вычислительных ресурсов и другим критериям) за счет комбинирования видов структурной организации, выбора вычислительных средств требуемой производительности, введения необходимой избыточности и рационального использования других методов обеспечения требуемых надежности и живучести на каждом иерархическом уровне и в каждой подсистеме.

Процессы управления в реализации основных функций ВС иерархичны по своей природе. Поэтому использование децентрализации на принципах иерархии управления обеспечивает максимальную адаптируемость структуры БВС к использованию ее в качестве ядра бортового комплекса интегрального типа.

Учитывая необходимость использования большого числа вычислительных элементов на различных уровнях иерархической БВС, реализация структур данного типа предполагает широкое использование микропроцессоров.

6.2. Микропроцессоры и микропроцессорные системы как элементы БВС

Основные понятия и определения. Повышение степени интеграции больших интегральных схем (БИС), создание БИС с числом компонент на кристалле 10^4 и более, а также стремление к сокращению количества их типов привели к разработке многофункциональных программируемых элементов — микропроцессоров.

Микропроцессор (МП) представляет собой автономное функционально законченное программно-управляемое устройство, выполненное в виде одной или нескольких БИС и обеспечивающее при совместной работе с устройствами памяти и ввода-вывода обработку информации и управление данными. Поскольку, согласно ГОСТ 15971—74, процессор — это основная часть ЭВМ, непосредственно осуществляющая обработку данных и управление ими, МП может быть определен также как процессор, реализованный средствами интегральной схемотехники на одной или нескольких БИС.

Отличительными достоинствами МП являются: низкая стоимость, обусловленная большой тиражностью выпуска МП; сокращение временных трудовых и материальных затрат на проектирование цифровых устройств при использовании МП, являющихся стандартными средствами обработки информации; малые габариты, масса и энергопотребление микропроцессорных устройств, обусловленные высокой степенью интеграции и применением новых технологий производства БИС; высокая надежность вследствие снижения числа соединений как главного источника отказов; простота технического обслуживания микропроцессорных устройств.

Перечисленные достоинства МП обусловили их широкое внедрение в различные области практики, включая нетрадиционные, где любые другие вычислительные средства, создан-

ные ранее, не могли быть использованы по экономическим или технико-эксплуатационным соображениям. На базе МП строятся простейшие встраиваемые в объект управляющие устройства (контроллеры), микро-ЭВМ, однопроцессорные и многопроцессорные вычислительные системы различной производительности.

Микро-ЭВМ — это ЭВМ небольшой мощности, состоящая из одного или нескольких МП, полупроводниковой интегральной памяти, средств связи с объектами управления и периферийными устройствами. При размещении всех перечисленных устройств на одной печатной плате имеет место одно-платная микро-ЭВМ, а в случае выполнения микро-ЭВМ на одной БИС — однокристалльная микро-ЭВМ.

Совокупность микропроцессорных и других интегральных микросхем, совместимых по конструктивно-технологическому исполнению и образующих необходимый и достаточный набор для построения МП, микро-ЭВМ или других средств вычислительной техники, называется микропроцессорным комплектом (МПК).

Специализированная цифровая вычислительная система (управляющая, информационная и др.), построенная на базе микропроцессорных средств и включающая микро-ЭВМ и средства сопряжения с обслуживаемым объектом, называется микропроцессорной системой (МПС). Обычно МПС выполняет некоторый фиксированный набор программ, хранящихся в ПЗУ.

На рис. 6.10 представлена обобщенная структурная схема МПС. Связующим звеном МПС является система магистралей (шин) — магистрали адреса, данных, управления. В каж-

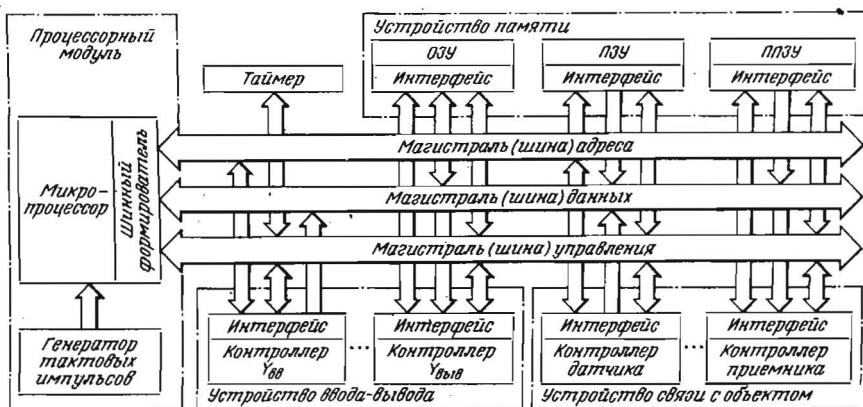


Рис. 6.10. Структурная схема микропроцессорной системы

дый момент времени магистраль, образованная некоторой совокупностью линий связи, может использоваться для обмена информацией между двумя устройствами системы. При этом одно из устройств должно быть активным инициатором обмена, т. е. обеспечивать управление передачей данных через магистраль управления. Такая организация не является принципиально новой, так как в вычислительной технике и ранее широко использовался принцип мультиплексирования в передаче данных. Приемлемая для систем с относительно невысокой производительностью (а именно, к таким системам относится однопроцессорная МПС) данная организация обеспечивает гибкость в построении, наращивании и реконфигурации системы, простоту управления и организации обмена информацией, высокую надежность работы за счет уменьшения линий связи.

Составные устройства МПС, представленной на рис. 6.10: микропроцессор с шинным формирователем и тактовым генератором, образующие процессорный модуль — центральное устройство обработки информации в системе;

ОЗУ, ПЗУ и ППЗУ (оперативное, постоянное и перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство), составляющее устройство памяти системы. ПЗУ и ППЗУ используется для хранения программ и констант, а ОЗУ — для записи и считывания оперативной информации;

контроллеры датчиков и приемников информации объекта управления (АЦП, ЦАП и других преобразователей) составляют устройство связи с объектом;

контроллеры устройств ввода (УВв) и устройств вывода (УВыв), управляющие работой соответствующих периферийных устройств (дисплеи, АЦПУ, фотосчитыватели, перфораторы, внешние накопители информации и др.), образуют устройство ввода-вывода информации.

Магистрали адреса, данных и управления объединяются в канал МПС, посредством которого осуществляется связь процессорного модуля с устройствами памяти, ввода-вывода и с объектом. Сопряжение перечисленных устройств с магистралями канала осуществляется через интерфейсные модули. Работа канала инициируется активным устройством, в качестве которого всегда выступает процессорный модуль, а также может быть контроллер периферийного устройства (устройства памяти обычно пассивны).

В распределении канала могут участвовать все активные устройства. Однако разрешение на занятие каналов магистрали вырабатывается в соответствии с приоритетом устройств.

Эту функцию выполняет арбитр магистрали (специальный модуль или распределенная по рабочим модулям системы схема, учитывающая их взаимное включение). Обычно наибольший приоритет присваивается процессору.

Если инициатор обмена информацией — процессор, то он выставляет на магистраль адресов кода адрес требуемого устройства, который дешифруется в соответствующем интерфейсном модуле, и через магистраль данных передается информационный код.

Если инициатором обмена является периферийное устройство, то оно, используя магистраль управления, на приоритетных началах запрашивает прерывание программы вычислений и, получив ответный сигнал предоставления прерывания, выставляет в адресную магистраль код стартового адреса программы обслуживания прерывания (так называемый вектор прерывания). Далее процессор приступает к выполнению данной программы ввода или вывода информации.

В первом случае имеет место программный режим обмена информацией, во втором — обмен в режиме прерывания программы. Кроме того, возможен также режим непосредственного обмена информацией между ОЗУ и внешним устройством под управлением последнего (режим прямого доступа в память — ПДП). Процессор при этом находится в состоянии ожидания. Режим ПДП обеспечивает максимальную скорость обмена информацией между памятью МПС и внешним устройством.

Рассмотренная трехмагистральная организация МПС обеспечивает высокое быстродействие и позволяет передавать необходимую информацию без предварительного хранения в буферных регистрах.

Используется также двухмагистральная организация МПС, при которой магистрали адреса и данных совмещены. Это возможно вследствие разделения во времени передачи кодов адреса и данных. Выставленный на совмещенную магистраль "адреса данных" код адреса требуемого устройства дешифруется в его интерфейсном модуле. Выбранное устройство выдает на шину управления сигнал готовности к обмену информацией, снимается код адреса и через освободившуюся магистраль "адреса данных" передается информационный код.

Подобная организация канала МПС требует введения дополнительных буферных регистров, что увеличивает время выполнения операций обмена информацией вследствие необходимости обращения к этим регистрам.

Архитектура МПС и, в частности, организация ее канала определяются архитектурой выбранного микропроцессора. Понятие "архитектура МП" включает в себя структуру отдельных устройств, составляющих МП, их взаимосвязь и взаимодействие, т. е. способы управления ходом выполнения программы, организацию обмена данными и т. д. Поскольку архитектура МП во многом сходна и базируется на принципах архитектуры процессоров традиционных средств вычислительной техники, в частности мини-ЭВМ, далее акцент делается лишь на характерных свойствах и особенностях архитектуры МП.

Создание МП в виде БИС, по крайней мере до настоящего времени, вносит в архитектуру МП определенную специфику, обусловленную технологическими ограничениями. Эти ограничения состоят в том, что сложность структуры МП и количество его внешних связей не должны превышать уровня, обеспечиваемого полупроводниковой интегральной технологией их изготовления. С данными ограничениями связаны: сравнительно низкая вычислительная мощность МП, выпуск многокорпусных МПК, применение в МП малоформатных слов.

Микропроцессор, выполняющий функции центрального процессора в МПС, обрабатывает данные по заданной программе. При этом МП вырабатывает сигналы управления обменом информацией в МПС, выполняет арифметические и логические операции.

Основные функции МП в течение рабочего цикла выполнения команды состоят в следующем: помещается адрес команды в ПЗУ на магистраль адреса; принимается команда, считанная из ПЗУ через магистраль данных, и дешифруется; выбираются адреса и данные, указанные в команде; выполняется операция, определенная командой (арифметическая, логическая, пересылка данных, функция управления); принимаются из магистрали управления внешние сигналы. (например, сигналы прерывания) и реализуются соответствующие управляющие функции; генерируются в магистраль управления сигналы состояния МП, управления и синхронизации работы для устройств МПС.

Основные структурные элементы МП: арифметико-логическое устройство (АЛУ); устройство управления и синхронизации (УУС); регистровая сверхоперативная память (СОЗУ).

АЛУ (обычно универсального типа) выполняет арифметические и логические операции согласно программе. УСС,

синхронизируемое тактовым генератором, управляет выполнением программных операций, а также реализует управляющие функции во взаимодействии МП с устройствами МПС. СОЗУ используется для кратковременного хранения информации (данных и управляющих кодов) при организации вычислительного процесса в МП. Рабочие регистры СОЗУ делятся на функционально определенные регистры и общего назначения.

К числу функционально определенных регистров относятся следующие.

Регистр указатель команд (РУК), называемый также счетчиком команд (СК), содержит адрес ячейки памяти, в которой находится очередная команда выполняемой программы. При выполнении команд "передача управления" или "условный переход" содержимое РУК изменяется по указанию программы. При выполнении других команд содержимое РУК увеличивается на единицу. Если команда многобайтная, то содержимое РУК инкрементируется (многократно увеличивается на единицу) или декрементируется (многократно уменьшается на единицу) требуемое число раз.

Регистр команд (РК) принимает код операции и сохраняет его на время дешифрования устройством управления МП (РК, по сути, является элементом УУС).

Регистры временного хранения (РВХ) используются для хранения операндов в течение времени выполнения операции.

Регистр-накопитель (РН), называемый также аккумулятором (А — регистр), предназначен для временного хранения результата, получаемого из АЛУ.

Регистр признаков (РП), называемый также регистром состояний (РС) или флаг-регистром, фиксирует состояние МП на каждом этапе его работы посредством логических состояний отдельных разрядов, называемых флагом. Флаг может сообщать об одном из регистрируемых признаков, наиболее распространенные среди которых: "переполнение" (или "перенос"), "нуль" (результат операции равен нулю), "знак результата", "разрешение прерывания", кроме того, РП может содержать ряд признаков, используемых при проведении отладочных работ.

Регистр адреса (РА) хранит адрес данных в памяти. Содержимое РА может быть адресной частью команды либо числом, заносимым по программе из памяти МПС.

Индексный регистр (ИР) используется для косвенной адресации данных. Исполнительный адрес МП образуется суммированием содержимого ИР (индексного слова) с адресом

ячейки памяти, указанном в команде. Подробней виды адресации будут рассмотрены далее.

Регистры стековой памяти (РСП) образуют так называемую стеквнутреннюю память МП с магазинной организацией. Данные в стек загружаются по одному входному адресу первого регистра таким образом, что каждое последующее после первого слово, помещаемое в стек, занимает место в первом регистре, а первое и другие ранее записанные слова перемещаются между регистрами вглубь стека. При считывании информация выводится в порядке, обратном записи, т. е. последнее записанное слово считывается первым. Стек позволяет без обмена с памятью МПС организовывать хранение упорядоченного набора данных, например, хранение данных о прерванной программе, необходимых для ее возобновления, или данных по организации правильной последовательности выполнения действий.

Регистр указатель стека (РУС) содержит входной адрес стека, реализованного программными средствами в ОЗУ. Емкость регистрового стека МП обычно невелика (порядка 8—16 регистров) и позволяет реализовать относительно простой вычислительный процесс с небольшой глубиной вложенности. Стек достаточно большой глубины может быть построен только с использованием ОЗУ. При этом РУС, содержание которого инкрементируется с некоторого начального кода при вводе и декрементируется при выводе, указывает адрес записываемого в стек или считываемого из него слова (аналогично работе РУК с многобайтными программами).

Буферные регистры (БР) используются для временного хранения информации (адресов и данных) до тех пор, пока магистраль (или некоторый блок) не будут готовы к ее принятию.

Регистры общего назначения (РОН) представляют программно-доступные, т. е. управляемые от программы регистры СОЗУ, функции которых определяются при программировании. РОН может быть использован в качестве любого из перечисленных выше регистров, кроме БР. Количество РОН в МП, обычно равное 6—16, в некоторой мере характеризует вычислительные возможности МП.

Пример структуры МП. Структуры различных МП отличаются друг от друга не только числом структурных элементов, но и их составом. Поэтому приведенный выше перечень элементов, за исключением некоторых, не является обязательным для структуры конкретного МП.

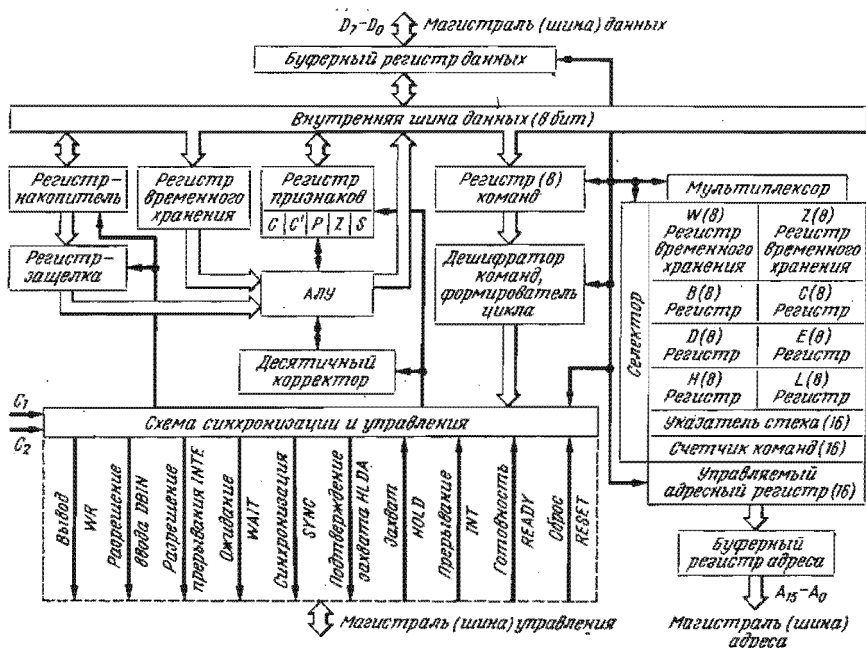


Рис. 6.11. Структурная схема микропроцессора

В качестве примера рассмотрим структуру восьмиразрядного однокристалльного МП типа КР580ИК80А, изображенную на рис. 6.11. Связующим звеном обмена информацией между элементами МП служит 8-разрядная внутренняя шина данных.

Основными элементами устройства обработки данных являются: 8-разрядные АЛУ, схема десятичного корректора, регистры—временного хранения, накопитель, защелка накопителя и признаков. Десятичный корректор, включаемый по специальной команде, позволяет АЛУ выполнять сложение в двоично-десятичных кодах. Регистр-защелка выполняет функции фиксации одного из операндов, получаемого из РН. Регистр признаков содержит пять разрядов (флагов): Z — "Нуль", C — "Перенос", S — "Знак", P — "Четность" (четное число единиц в разрядах результата), C' — "Вспомогательный перенос" или "Полуперенос" (перенос из четвертого разряда).

Устройство управления и синхронизации состоит из 8-разрядного регистра команд, дешифратора команд и формирователя машинных циклов, схемы синхронизации и управления состояниями.

Блок регистров СОЗУ содержит: два программно недоступных 8-разрядных регистра временного хранения данных *W* и *Z*; шесть 8-разрядных регистров общего назначения (*B, C, D, E, H, L*), которые могут образовывать 16-разрядные регистры-пары (*B — C, D — E, H — L*); три 16-разрядных регистра — указатель стека, указатель команд и регистр адреса. С блоком регистров связаны мультиплексор, схема выборки регистра, а также схема инкремента-декремента.

Выход на 16-разрядную адресную магистраль осуществляется через буферный регистр адреса, а связь с 8-разрядной магистралью данных — через двунаправленный регистр данных. Схема МП размещена в пластиковом корпусе с 48 выводами, из которых используется 40 (табл. 6.1).

Машинный цикл работы МП включает от трех до пяти тактов и соответствует чтению или записи в ЗУ или регистр внешнего устройства одного байта информации. Команды МП выполняются за один—пять машинных циклов в зависимости от реализуемых операций. Максимальная тактовая частота МП составляет 2 МГц, что соответствует длительности такта 0,5 мкс.

Процедура выполнения машинного цикла состоит в следующем.

Такт 1. Содержимое РУК посылается на шину адреса, вырабатывается сигнал *SYNC*, а на шине данных выставляется 8-разрядное слово, характеризующее данный машинный цикл.

Такт 2. Анализируются сигналы на входах *READY* и *HOLD*. Если на первом логическая единица, а на втором логический нуль, то МП переходит к такту 3, в противном случае — в состояние ожидания.

Такт 3. МП принимает или выдает информацию через шину данных.

Такты 4 и 5. В МП выполняются внутренние пересылки и преобразование информации (если это необходимо по команде).

В первом машинном цикле на такте 3 в РУК принимается первый байт (слово) команды. В конце последнего машинного цикла выполнения команды анализируется входной сигнал *INT* и, если запрос имеется и прерывания разрешены, формируется сигнал *INTE* и МП переходит в режим прерывания.

Для удобства системной организации МП выдает на шину данных в начале каждого машинного цикла 8-разрядное слово со следующими признаками:

INTA — начало реакции на прерывание (для синхронизации передачи в МП вектора прерывания);

WO — ввод-вывод;

STACK — организация стека в ОЗУ;

HLTA — останов по команде;

OUT — вывод готов;

M1 — первый цикл выполнения команды;

INP — ввод готов;

MEMR — чтение данных из памяти.

Это слово может быть использовано для управления устройствами МПС.

Система команд МП, определяющая набор выполняемых МП операций, является важнейшей характеристикой МП, определяющей удобство и эффективность его конкретного применения.

По способу управления МП делятся на микро- и макро-программируемые. В первом случае БИС МП требует управления на микропрограммном уровне и предусматривает использование нескольких сотен микрокоманд. Это позволяет разработчику МПС задать соответственный набор команд, оптимальный для класса решаемых задач. Однако увеличивается трудоемкость программирования и требуются дополнительные ПЗУ микропрограмм. Во втором случае реализуется управление на уровне команд, аппаратными средствами МП. При этом используется фиксированный набор команд, не превышающий 150 инструкций.

Команды, выполняемые МП, можно подразделить на следующие четыре группы: преобразования данных; передачи данных; управления программой; управления состояниями.

Команды преобразования данных включают арифметические и логические операции, а также операции сдвига, сравнения и специальные (например, десятичной арифметики).

Состав арифметических операций многих МП менее представительен, чем у традиционной ЭВМ, и обычно включает операции сложения и вычитания, а также добавление единицы к числу (инкремент) и вычитания ее из числа (декремент). Эти действия выполняются над двоичными числами, представленными в форме дополнительных кодов. Реже используется двоично-десятичное кодирование.

В подгруппу логических операций входят: "Логическое сложение" (ИЛИ), "Логическое умножение" (И), "Функция неравнозначности" и "Инверсия".

Команды преобразования данных выполняются в случае двухоперандных операций с содержимым двух регистров МП или ячейки памяти и регистра, а в случае одно-

Таблица 6.1

Обозначение	Наименование	Направление сигнала	Назначение (функция)
1	2	3	4
I Сигналы внешнего обмена информации			
$D_0 - D_7$	Линии шины данных	Вход-выход	Прием и выдача информации
$A_0 - A_5$	Линии шины адреса	Выход	Выдача адреса
II Сигналы управления шинами			
<i>WR</i>	Вывод	Выход	Синхронизация (разрешение) вывода информации из МП (инверсный)
<i>DBIN</i>	Разрешение ввода	Выход	Синхронизация (разрешение) ввода информации в МП
<i>HOLD</i>	Захват	Вход	Запрос шины внешним устройством для обмена с ОЗУ в режиме ПДП
<i>HLDA</i>	Подтверждение захвата	Выход	Разрешение МП на захват шины внешним устройством
III Сигналы управления прерываниями			
<i>INT</i>	Прерывание	Вход	Запрос внешнего устройства на обмен информацией с МП
<i>INTE</i>	Разрешение прерывания	Выход	Готовность МП к обмену по прерыванию
IV Сигналы управления состоянием МП			
<i>RESET</i>	Сброс	Вход	Задание начала программной работы МП с нулевой ячейкой памяти
<i>READY</i>	Готовность	Вход	Приостановка работы МП до готовности внешнего устройства к обмену информацией
<i>WAIT</i>	Ожидание	Выход	Идентификация состояния МП в режиме ожидания (временный останов)

Обозначение	Наименование	Направление сигнала	Назначение (функция)
1	2	3	4
V	Сигналы синхронизации и цепи питания		
C_1, C_2	Тактовые импульсы	Вход	Тактовая синхронизация работы МП
SYNC	Синхронизаций	Выход	Идентификация начала машинного цикла работы МП
+5В,	Питание	Входы	Питание цепей МП
-5В + + 12В1	Корпус	Вход-выход	Общий вывод цепей питания и информационных цепей

операндной операции ("Инкремент", "Декремент", "Сдвиг", "Инверсия") с содержимым регистра МП или ячейки памяти.

Команды передачи данных содержат операции обращения к памяти, ввода-вывода данных, обмена данными между регистрами МП, работы со стеком.

В подгруппу операций обращения к памяти входит пересылка содержимого ячейки памяти в регистр ("Загрузка" или "Чтение") и операция, обратная данной ("Запоминание" или "Запись"). В соответствующих этим операциям командах должны указываться номер конкретного регистра и адрес ячейки памяти.

К подгруппе операций ввода-вывода относятся операция засылки содержимого выходного регистра внешнего устройства в регистр МП ("Ввод") и операция, обратная данной ("Вывод").

По команде "Переслать" содержимое одного регистра пересылается в другой. По команде "Загрузить непосредственно" в регистр записывается константа, указанная в коде команды.

Команды управления программой содержат операции условного и безусловного перехода, работы с подпрограммами, останова и отсутствия действия. К конкретным операциям данной группы относятся: "Условный переход по адресу" — при выполнении условия, заданного в команде, в регистр указатель команд (РУК) записывается содержимое адресного поля команды; "Безусловный переход" — содержимое ад-

ресного поля команды заносится в РУК без анализа условий; "Условный переход с возвратом" и "Безусловный переход с возвратом" — отличаются от описанных выше тем, что обеспечивают переход с возвратом к исходному состоянию по специальной команде "Возврат" (используются для обращения к подпрограммам); "Пропустить", "Условно пропустить" и "Пропустить по флагу" — команды пропуска (невыполнения) следующих команд программы безусловно или по условию, по флагу регистра состояния внешнего устройства; "Цикл" — содержимое регистра или ячейки памяти декрементируется до нулевого значения, при котором осуществляется пропуск команды.

Команды управления состояниями изменяют значения признаков состояния МП, выполняя функции внешнего управления. Например, разрешение или запрет прерывания отдельных внешних устройств. К конкретным операциям данной группы относятся: "Установить флаг", "Сбросить флаг", "Установить старший разряд аккумулятора", "Сбросить старший разряд аккумулятора" и др.

Виды адресации как составная часть системы команд в значительной мере определяют архитектурные свойства МП. Специфика МП, связанная с малоформатностью его внешних магистралей (обычно 8—16 бит) при наличии необходимости

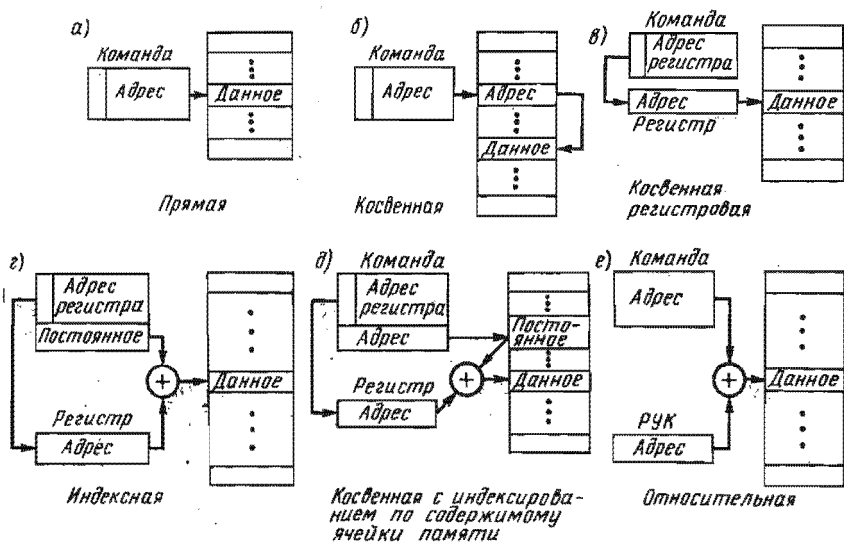


Рис. 6.12. Виды адресации

обращения к памяти достаточно большого объема и использования достаточно развитой системы команд требует использование специальных видов адресации и многословной структуры команды с переменным форматом.

Кроме того, применяемые в МП виды адресации должны обеспечивать удобство программирования при работе с массивами, таблицами и указателями. Виды адресации, применяемые в МП, представлены схематично на рис. 6.12.

Прямая адресация (рис. 6.12, а) означает, что действительный адрес внешней для МП информации (ОЗУ, ПЗУ, ППЗУ, регистры внешних устройств) указан в команде¹. Например, по команде сложения $ADD\ x\ 101$ содержимое ячейки памяти с адресом 101 складывается с содержимым регистра-накопителя, т. е. $(PH) = (PH) + (101)$. Прямая адресация при большом адресном пространстве МПС (число адресов ЗУ и РВУ) требует большого формата команды, т. е. использования нескольких слов для увеличения адресного поля команды. А так как пересылка каждого слова команды осуществляется последовательно, увеличивается время обращения к памяти. Для устранения этого недостатка используются страничная организация памяти и специальный регистр (таким регистром может быть РОН, загружаемый по специальной команде). В команде указывается адрес внутри страницы памяти, а номер страницы указывает страничный регистр.

Существенным недостатком прямой адресации является отсутствие требуемой гибкости для обработки массивов данных.

Прямая регистровая адресация аналогична прямой адресации с тем лишь отличием, что адресуется регистр МП, а не ячейка памяти. Например, по команде $ADDR2$ содержимое регистра 2 складывается с содержимым регистра-накопителя.

Косвенная адресация (рис. 6.12, б) использует адрес указателя адреса данных. Например, по команде $ADD@101$ (знак @ указывает на косвенную адресацию) содержимое регистра-накопителя складывается с содержимым ячейки памяти по адресу, указанному в ячейке 101 (указателе адреса), т. е. $(PH) = (PH) + ((101))$.

¹ В дальнейшем при рассмотрении адресации данный адрес будет упоминаться как адрес памяти, так как регистры внешних устройств занимают небольшое по сравнению с устройствами памяти число адресов.

* Здесь используется мнемоническое обозначение команды сложения, принятое в алгоритмическом языке Ассемблер.

Некоторое усложнение процедуры адресации по сравнению с прямой адресацией оправдывается в данном случае большей гибкостью, основанной на возможности программного изменения содержимого ячейки ОЗУ с действительным адресом, т. е. переадресации. Это удобно, например, при многократных обращениях к подпрограмме обработки различных массивов данных. Модифицируя указатель адреса первого элемента массива, можно "переключать" обрабатываемые по подпрограмме массивы.

Косвенная регистровая адресация (рис. 6.12,в) имеет место в том случае, если реализуется косвенная адресация через регистр. Например, по команде *ADD@R2* содержимое ячейки памяти, адресуемой регистром 2, складывается с содержимым регистра-накопителя. Данная операция быстрее косвенной, но требует предварительной загрузки регистра.

Индексная адресация (рис. 6.12,г) состоит в том, что адрес данных (исполнительный адрес) получается путем сложения содержимого индексного регистра МП с адресом, указанным в команде. Например, по команде *ADD101, X* будет выполнена операция сложения содержимого регистра-накопителя с содержимым ячейки памяти по адресу 111, если в индексном регистре записан код 10. Индексная адресация обладает достаточной гибкостью и удобна при обработке элементов массива.

Относительная адресация (рис. 6.12,д) предполагает получение исполнительного адреса путем суммирования содержимого регистра-указателя команд с адресом, указанным в команде. Например, в команде *ADD*+101* слагаемое определяется по адресу 111, если при этом содержимое счетчика команд было 11. Относительная адресация позволяет помещать программы или массивы данных в памяти.

Возможны также более сложные комбинированные виды адресаций, примером одной из которых является *косвенная с индексированием по содержимому ячейки памяти* (рис. 6.12,е). В этом виде используется двухадресная команда. Исполнительный адрес получается в результате суммирования содержимого регистра и ячейки памяти, адресованных командой.

Выбор того или иного вида адресации основан на следующих соображениях: использование команды с минимальной длиной адреса; возможность модификации (изменения адресной части) команды; обеспечение максимального быстрого действия; максимальная допустимая простота метода адресации.

В соответствии с рассмотренными выше системой операций и видами адресации, применяемыми в МП, структура и формат команды определяются требуемым набором полей и их длиной в зависимости от числа видов, кодируемых в команде сообщений, и информационной емкости каждого вида сообщения. Первое зависит от типа выполняемой операции, а второе — от структурных свойств архитектуры МП. Некоторые различные типа структуры команд приведены на рис. 6.13.

Команды изменения содержимого регистров имеют два поля: код операции и номер регистра (рис. 6.13, а). Команды с непосредственной адресацией могут использовать константу и потому имеют три поля (рис. 6.13, б). В командах выполнения операций над содержимым регистров, помимо кода операции, должны указываться номера двух регистров содержащих операнды (рис. 6.13, в). Наиболее сложной структурой обладают команды с обращением к памяти. Здесь требуются по крайней мере четыре поля, так как необходимо дополнительно указать вид адресации и адрес памяти (рис. 6.13, г).

Длина L каждого поля команды может быть определена по известному условию:

$$\{L\}_{\min} \geq \log_2 N \text{ [бит]},$$

где N — число состояний кодируемого признака. Например, для системы команд из 150 операций потребуется не менее 8 разрядов, так как при $L = 7, N = 128$.

В настоящее время выпускается более 200 различных типов МП.

Для общего ориентирования в многообразии МП рассмотрим их классификацию по различным техническим и технологическим признакам, приведенную в диаграмме на рис. 6.14.

По назначению МП делятся на универсальные и специализированные. Первые предназначены для широкого использования при построении различных МПС. Вторые являются "заказными" МП БИС конкретного применения. Примерами

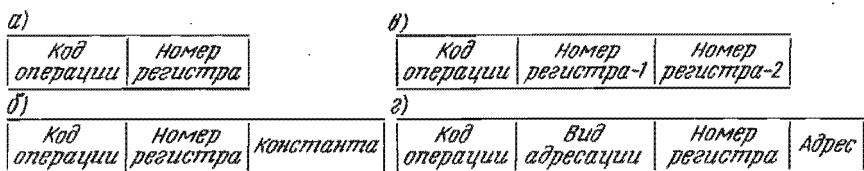


Рис. 6.13. Структура команд МП

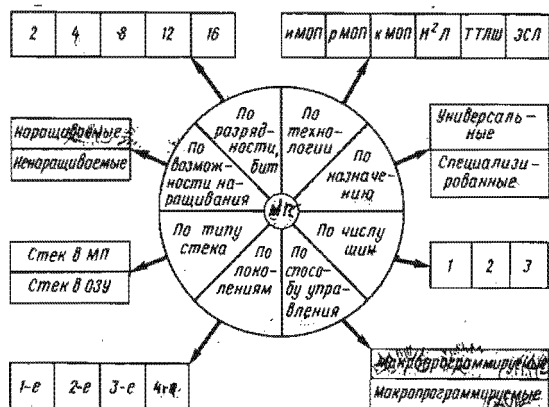


Рис. 6.14. Классификация микропроцессоров

специализированных МП являются микрокалькуляторные БИС или МПК, специально предназначенные для выпуска отдельных конкретных типов микро-ЭВМ.

По разрядности слов данных на магистрали внешнего обмена МП различают с 4-, 8-, 12- и 16-битовым форматом.

По возможности наращивания различают МП, содержащие фиксированную разрядность (8 или 16 бит) либо наращиваемую (кратную 2, 4 или 8 битам). Во втором случае имеет место секционированная, наращиваемая путем соединения требуемого количества секций-БИС архитектура МП.

По способу управления, как указывалось ранее в описании системы команд, МП делятся на микро- и макропрограммируемые. По типу организации стека имеются МП с внутренним стеком на регистрах и со стеком в ОЗУ, управляемым от МП.

По числу шин (магистралей) различают трех-, двух- и одношинную организацию МП. В первом случае адреса, данные и управляющие сигналы передаются по отдельным шинам (магистралям), чем обеспечивается высокое быстродействие. Во втором и третьем случаях используется совмещение шин и требуется введение дополнительных буферных регистров.

Рассматривая классификацию МП по поколениям и технологии изготовления, следует отметить, что за сравнительно короткий период времени развития микропроцессорной техники (с 1971 г.) появились четыре поколения микропроцессоров: 1^{ое} — медленнодействующие 4-разрядные МП БИС, изготавливаемые на полевых транзисторах по *p*-МОП технологии; 2^{ое} — 4- и 8-разрядные МП БИС среднего быстродействия, изготавливаемые по *n*-МОП и КМОП технологиям; 3^{ее} — быст-

родействующие биполярные секционированные МП БИС с использованием технологии И²Л, ТТЛШ, ЭСЛ; 4^{ое} — одно-кристальные микропроцессоры и микро-ЭВМ.

Резюмируя вышеизложенное, можно кратко сформулировать типичные *архитектурные свойства* МП, состоящие в следующем:

использование магистральной организации и временного мультиплексирования при передаче информации; использование ПЗУ для хранения программ, исключающее хранение данных в программной памяти; ограниченная емкость ОЗУ (обычно 64 Кбайт); применение составных форматов слов вследствие узости основного формата; введение нескольких регистров общего назначения (до 64); введение стековой памяти для сохранения адресов возврата при работе с подпрограммами и в режиме прерываний; ограниченная мощность команд (обычно требуется 2—5 команд МП для выполнения операции, эквивалентной одной команде мини-ЭВМ); введение в систему команд широкого набора безадресных команд типа регистр—регистр, регистр—память, команд десятичного сложения и вычитания; организация параллельной обработки адресов и операндов; использование асинхронного принципа при выполнении команд; преимущественное использование простых АЛУ универсального типа; применение специальных ПЗУ и микросхем для организации отдельных макроопераций (десятичное сложение, умножение и др.) и решения некоторых типовых задач (управление дисплеем, ввод с клавиатуры и др.).

Архитектура МПС, как указывалось ранее, в значительной мере определяется архитектурой применяемых в ней МП и включает ее как составную часть. Обобщенная структура МПС рассмотрена в начале данного параграфа. Здесь же будут рассмотрены такие вопросы, как общесистемные принципы организации МПС, системные элементы (исключая МП), а также элементы программного обеспечения МПС.

Общие принципы организации МПС. Основой для разработки микропроцессорных устройств явился системный подход к их проектированию, производству и применению, базирующийся на следующих архитектурных принципах: модульность, совместимость, магистральность, асинхронность, микропрограммируемость, наращиваемость и системность.

Модульность предусматривает использование при построении систем различной конфигурации унифицированных функциональных модулей определенного назначения, снабженных

стандартизированными средствами сопряжения. Принцип модульности распространяется и на программное обеспечение.

Совместимость предусматривает возможность обеспечения информационного, электрического и конструктивного соответствия элементов и модулей используемых технических средств, включая программную совместимость.

Магистральность состоит в использовании унифицированного канала связей, упрощающего обмен информацией и придающего гибкость системе при ее реконфигурации и наращивании.

Асинхронность предполагает возможность автономной работы функционально законченных модулей системы по обработке инструкций, поступающих от источника управления при их взаимодействии. Это обеспечивает структурную гибкость системы, простоту наладки и преемственность модулей.

Микропрограммируемость управления обеспечивает гибкость системы команд, возможность ее приспособления (адаптации) к конкретным задачам.

Наращиваемость состоит в возможности изменения производительности, мощности системы команд, уровня входных языков, разрядности, объема памяти и других характеристик системы за счет компоновки и объединения модулей аппаратных и программных средств.

Системность состоит в обеспечении гибкости в построении модульных систем различной конфигурации и сложности.

Выпускаемые БИС МПК включают широкий ассортимент устройств, необходимых при построении МПС различной конфигурации и производительности. Ниже приводится функциональное описание некоторых системных элементов, входящих в различные МПК универсального типа.

Программируемый интерфейс представляет универсальную программируемую интерфейсную БИС, предназначенную для обеспечения организации обмена в параллельном (параллельный интерфейс) или в последовательном (последовательный интерфейс) формате между МП и внешним устройством. В состав такой БИС входят буферные регистры, устройство преобразования-передачи данных и схема управления, содержащая регистр управляющего слова. Структура ввода-вывода и режимы работы каналов задаются программным способом.

Программируемый контроллер прерываний представляет устройство, которое позволяет реализовать многоуровневую векторную систему прерываний (обычно 8) с возможностью маскирования и динамического изменения порядка обслужи-

вания. Он содержит блок регистров приема запросов, схему управления обменом и буферный регистр данных.

Программируемый контроллер прямого доступа к памяти предназначен для управления передачей информации между внешними устройствами и памятью МПС в режиме ПДП и может иметь несколько независимых каналов обмена.

Программируемый таймер используется в МПС для задания временных интервалов.

Программируемый контроллер видеотерминала предназначен для связи растровых сканирующих дисплеев на ЭЛТ с МПС. Основная функция БИС — согласование синхронного режима работы дисплея с асинхронным режимом обмена в МПС с помощью буферов.

Многорежимный буферный регистр используется для подключения внешнего устройства к каналу МПС, осуществляет прием, хранение и выдачу данных.

Шинный формирователь — простейшее устройство связи с каналом МПС. Он выполняет функции двухнаправленных формирователей сигналов для управления шинами магистралей.

Помимо перечисленных элементов МПС, в арсенале средств микропроцессорной техники широко используются различные типы БИС полупроводниковой памяти (ОЗУ, ПЗУ, ППЗУ).

Анализ тенденций в развитии технических характеристик БИС показывает непрерывный рост степени их интеграции. Так, в настоящее время создаются сверхбольшие интегральные микросхемы сложностью порядка 400—500 тыс. элементов в кристалле, а в ближайшей перспективе 1,5—2 млн. элементов. Развитие на базе указанных достижений микроэлектроники управляемых изделий (микропроцессоров, коммутаторов, преобразователей и т. п.) будет идти по пути создания многоразрядных устройств с универсальными программами управления.

Объединение в таких устройствах универсальных возможностей программируемых вычислительных средств с преимуществами технологии больших интегральных схем (относительно низкой стоимостью, высокой надежностью и экономичностью, минимальными габаритами и массой) — главная причина стремительного расширения области их применения, включая пилотажно-навигационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов.

6.3. БВС перспективных комплексов авиационного оборудования

БВС как ядро комплекса авиационного оборудования (КАО).

Одно из главных условий создания КАО, удовлетворяющих современным требованиям к уровню автоматизации полета, — дальнейшее совершенствование вычислительных средств, используемых на борту ВС. Исследования показали, что последнее может быть достигнуто путем разработки и внедрения на борту вычислительных систем с пространственно распределенной структурной организацией и с широким использованием в них цифровых элементов с большой степенью интеграции. Характерные особенности таких систем — иерархичность уровней обработки информации и управления, модульный принцип построения, интеграция вычислительных и управляющих систем. Основополагающие элементы функциональных модулей таких вычислительных систем — микропроцессоры. В настоящее время различают навигационные, пилотажные, посадочные, навигационно-пилотажные и другие комплексы (в зависимости от определяющей функции). Это подразделение носит условный характер вследствие наличия глубоких взаимных связей между составляющими их системами. Ядром любого КАО является вычислительное устройство (специализированный вычислитель, БЦВМ или БВС).

С развитием БВС стали разрабатываться КАО интегрального типа. Под комплексом интегрального типа подразумевается многофункциональный бортовой радиоэлектронный комплекс, включающий комплексную БВС иерархического типа.

Общие требования к построению БВС. Разработка БВС современных и перспективных самолетов гражданской авиации осуществляется исходя из следующих требований: обеспечение необходимой безопасности полетов; выполнение автоматической посадки ВС в условиях метеоминимумов, соответствующих категориям ИКАО; повышение надежности работы; улучшение технического обслуживания и снижение его стоимости за счет использования достижений в области технологии изготовления элементной базы; обеспечение возможности наращивания систем и взаимозаменяемости входящих в них подсистем; обеспечение минимума связей и локализация отказов работы; оптимизация взаимодействия экипажа и системы; стандартизация систем и сокращение их количества.

При этом соблюдаются следующие принципы: взаимодействие различных видов аппаратуры осуществляется посредством цифровых связей; цифровая аппаратура не взаимозаменяема с предыдущей аналоговой; точностные характеристики цифровой аппаратуры находятся на уровне не ниже предшествующей аналоговой; обеспечение принципа взаимозаменяемости однотипной аппаратуры различных организаций-изготовителей.

Структурная схема НПК магистральных самолетов. На состав, структуру и технические характеристики комплексов бортового оборудования существенное влияние оказывают условия эксплуатации ВС: характеристики аэродромов и трасс, на которых они эксплуатируются; климатические условия в районах эксплуатации; требования по экономичности, регулярности и интенсивности полетов.

Концепция построения НПК магистральных самолетов основывается на выделении в них трех функциональных систем: вычислительной системы управления полетом, обеспечивающей основные функции автопилотирования, включая посадку; вычислительной системы самолетовождения, реализующей функции навигации и управления полетными характеристиками, включая и заход на посадку; вычислительной системы управления тягой двигателей и ее оптимизации.

Цель таких НПК — обеспечить автоматическое управление полетов в любых метеоусловиях. При этом бортовой комплекс должен позволять осуществлять полет при одной или всех снятых или неработающих функциональных системах.

На рис. 6.15—6.17 приведены структурные схемы сдвоенных, дважды сдвоенных и строенных вычислительных систем управления полетом. К датчикам пилотажной системы относятся датчики, которые являются принадлежностью только этой системы и полностью ею контролируются. К датчикам

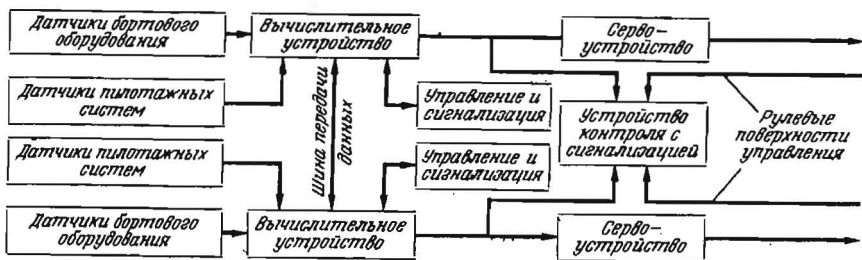


Рис. 6.15. Структурная схема сдвоенной вычислительной системы управления полетом

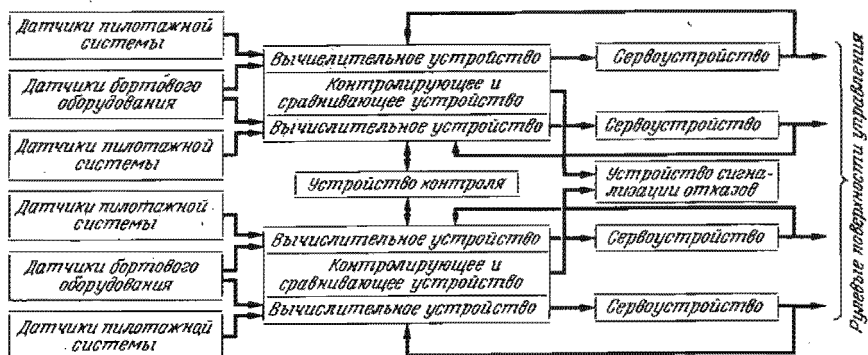


Рис. 6.16. Структурная схема дважды сдвоенной вычислительной системы управления полетом

бортового оборудования (угломерная система, системы посадки и др.) относятся независимые системы, которые выдают параметры пилотажной системе, летчику и другим потребителям.

На рис. 6.18 и 6.19 приведены структуры, показывающие организацию взаимодействия вычислительных систем управления полетом и управления тягой с основными датчиками и системами НПК.

На рис. 6.20 показан один из вариантов взаимодействия вычислительной системы самолетовождения с датчиками и системами комплекса.

Структурная схема НПК самолетов местных воздушных линий. Условия эксплуатации самолетов местных воздушных линий (МВЛ) характеризуются рядом особенностей, основ-

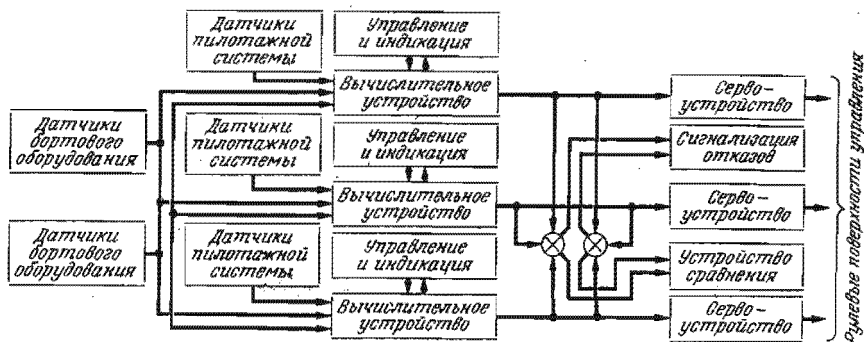


Рис. 6.17. Структурная схема строенной вычислительной системы управления полетом

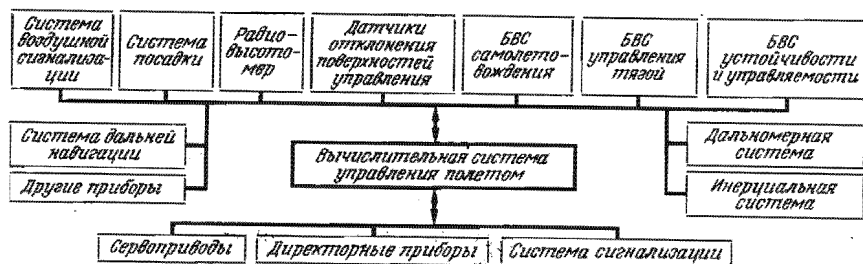


Рис. 6.18. Структура организации взаимодействия БВС управления полетом с основными датчиками и системами НПК

ными из которых являются: различный уровень оснащенности воздушных трасс, по которым летают самолеты МВЛ, средствами навигации; значительные психофизиологические нагрузки на экипаж в связи с большим количеством взлетов и посадок на маршруте полета; минимальный состав экипажа, что предъявляет высокие требования к надежности работы бортового оборудования и др.

Учитывая изложенное, а также наличие к оборудованию самолетов МВЛ более жестких требований по весу, размерам и другим параметрам, построение бортовых комплексов таких самолетов представляет довольно сложную научно-техническую проблему.

На рис. 6.21 приведена укрупненная структурная схема НПК самолета МВЛ, состоящая из распределенной БВС, датчиков информации и системы электронной индикации. БВС построена на основе микро-ЭВМ, каждая из которых представляет собой модуль, состоящий из стандартных плат процессора, плат памяти и плат аналого-цифровых преобразователей.

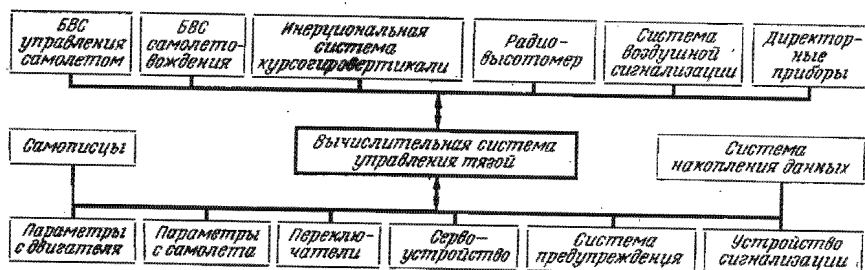


Рис. 6.19. Структура организации взаимодействия БВС управления тягой с основными датчиками и системами НПК

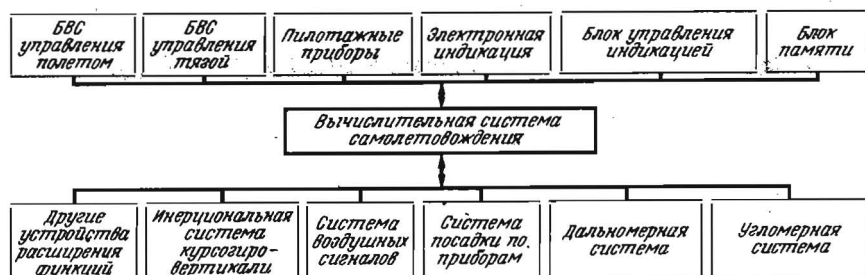


Рис. 6.20. Структура организации взаимодействия БВС самолетоуправления с основными датчиками и системами НПК

Модульный принцип построения дает возможность осуществлять модернизацию оборудования самолета по мере введения дополнительных систем без существенных доработок, а также обеспечивать обслуживание и ремонт с минимальными затратами времени на основе встроенного тестового контроля. Массивы констант БВС хранятся во внешнем ЗУ, предоставляющем собой кассету с магнитной лентой.

Система электронной индикации состоит из индикатора навигационной обстановки (ИНО) и пульта интегрированной системы контроля. ИНО работает в режиме индикации схемы маршрута полета, а также в режиме захода на посадку. При этом на индикаторе кроме схемы подходов в плане дается также и поперечное сечение глиссады.

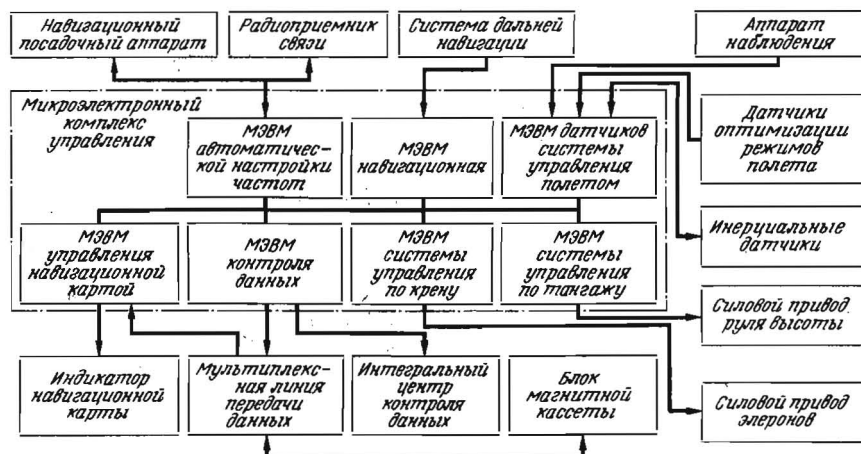


Рис. 6.21. Схема НПК самолета местных воздушных линий

Пульт интегрирования системы контроля из электронно-лучевой трубки ЭЛТ и наборного поля для ввода числовых данных и выбора режима работы. Он позволяет, кроме приема и демонстрации диспетчерских распоряжений на экране ЭЛТ, рассчитывать и индигировать по вызову следующие данные: взлетно-посадочные характеристики самолета; дальность полета при установленном и предполагаемом режиме работы двигателя; высоту полета и режимы работы двигателя для максимальной дальности и продолжительности полета; коммерческую загрузку в зависимости от взлетного веса самолета; текущий полетный вес и центровку; оптимальную скорость набора высоты и снижения при программном вертикальном маневре; максимальную крейсерскую скорость; резервный запас топлива при полете в пункты назначения или на запасной аэродром; основные параметры работы двигателя.

Обобщенная структурная схема БВС авиационных комплексов интегрального типа. Применение микропроцессоров в комплексах бортового оборудования состоит в выполнении ими таких функций, как решение навигационных задач, задач по обеспечению заданного профиля полета, управлению посадкой, обработке данных РЛС, контролю работы двигателей и т. д.

Рассмотренные ранее принципы построения вычислительных систем легли в основу создания интегральных комплексов, в которых обеспечивается возможность: применять МП в каждом модуле для решения функциональных задач своего уровня; распределять модули в БВС в соответствии с потребностями информационного обеспечения и оптимального размещения оборудования; изменять структуру комплекса путем организации процесса дополнительного включения модулей; освобождать вычислительные средства более высокого уровня от громоздких задач первичной обработки информации, требующей большого объема памяти и высокого быстродействия; обеспечивать надежность и работоспособность системы путем замены отказавших модулей на исправные; улучшать эксплуатационное и техническое обслуживание системы.

Обобщенная структура БВС комплекса интегрального типа приведена на рис. 6.22. БВС имеет иерархическую топологию с пятью уровнями управления. На верхнем уровне используется центральная БЦВМ, выполняющая функции общесистемного диспетчера (уровень комплекса). Следующий уровень составляют системные процессоры, выполняющие функции

Уровень
комплекса

Уровень
системы

Уровень
подсистемы

Уровень
модуля

Уровень
датчиков

Центральная
БЦВМ

Системный
процессор

Системный
процессор

Процессор
подсистемы

Процессор
подсистемы

МП
ведущий

МП
ведущий

МП
ведомый

МП
ведомый

к первичным датчикам и
приемникам информации

Рис. 6.22. Структура
иерархической БВС
авиационного комп-
лекса интегрального
типа

обработки данных и диспетчеризации на уровне систем. С
каждым из этих процессоров связана группа процессоров
подсистем, выполняющих аналогичные функции на нижележа-
щем уровне. Процессоры подсистем управляют работой ведущих

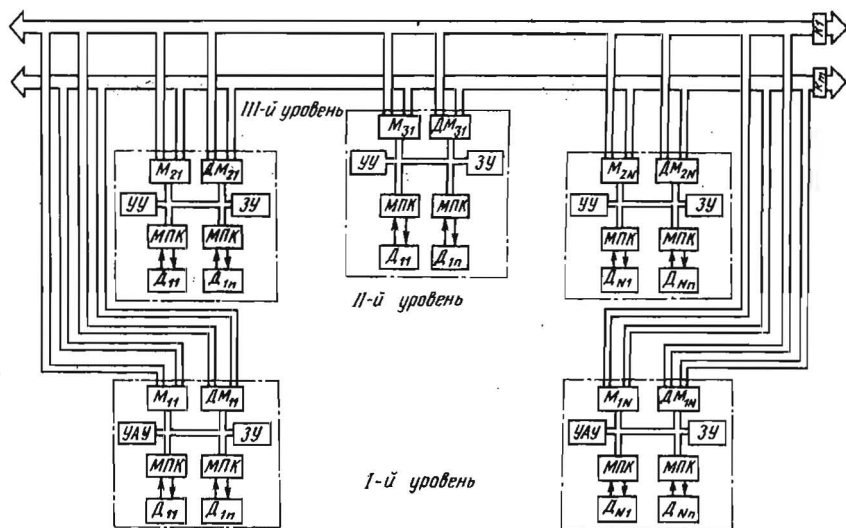


Рис. 6.23. Структурная схема фрагмента иерархической БВС

МП, относящихся к уровню модулей. Нижний уровень структуры составляют ведомые МП, непосредственно связанные с первичными датчиками и приемниками информации. По оценке разработчиков современных БВС унифицированные элементы нижних уровней должны удовлетворять следующим требованиям: минимальные размеры, обеспечивающие размещение на одной плате; обеспечение производительности не менее 450 тыс. операций в секунду; обеспечение емкости ОЗУ порядка 64 К; модульное исполнение вычислительных элементов и функциональных блоков математического обеспечения; соответствие требованиям стандартов на мультиплексные связи.

На рис. 6.23 приведен в качестве примера фрагмент БВС иерархического типа со структурными элементами, обеспечивающими обработку информации на борту ВС.

Нижний уровень представляет собой группу модулей, каждый датчик (Д) которых осуществляет обработку информации с помощью своих локальных микропроцессорных комплексов (МПК). Вследствие пространственной распределенности источников информации на борту ВС функциональные модули организуются в территориальные группы, объединяемые своими запоминающими устройствами (ЗУ) и устройствами анализа и управления (УАУ). Последние осуществляют координацию и контроль информационных взаимосвязей между модулями i -й территориальной группы ($i = 1, 2, \dots, N$), выявляют и используют избытки информации, обусловленные наличием дублирующих модулей, с целью увеличения и надежности результатов измерений.

Информационный обмен между j модулями ($j = 1, 2, \dots, n$) в пределах одной территориальной группы, между другими территориальными группами уровня, а также между различными уровнями строится на основе мультиплексной передачи данных с помощью цифровых каналов.

Обмен по этим каналам осуществляется посредством мультиплексорных управляющих устройств (УУ) совместно с функциональными модулями: мультиплексорами (М), выбирающими из потоков сигналов, передаваемых по мультиплексным информационным каналам, управляющие и информационные сообщения, адресованные данной территориальной группе; демультиплексорами (ДМ), распределяющими выходные сигналы между информационными каналами; контроллерами $K_1 - K_m$, координирующими потоки передаваемых сигналов по m каналам.

Перспективным направлением в области повышения быстродействия, логической гибкости БВС является применение однородных цифровых интегрирующих структур, состоящих из элементов двух видов: специализированных микропроцессоров (цифровых интеграторов) и коммутаторов.

В вычислительных устройствах с цифровыми интегрирующими структурами (ЦИС) используются параллельный способ выполнения операций и аппаратная реализация алгоритма вычислений. Суть последнего состоит в том, что программируется не процесс выполнения алгоритма вычислений с помощью последовательности элементарных команд, а задается программа коммутации микропроцессоров, каждый из которых выполняет вычислительную операцию, например интегрирование.

Для обеспечения однотипности элементов ЦИС, а следовательно, и возможности реализации более простой программы коммутации микропроцессоров используется предварительное преобразование уравнений решаемой задачи в форму так называемых уравнений Шеннона.

К уравнениям Шеннона сводится очень широкий круг решаемых на борту задач, которые могут быть записаны в виде линейных и нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений и их систем, трансцендентных уравнений и др. При решении таких уравнений используются лишь операции суммирования и умножения, что приводит к существенному упрощению структуры ЦИС.

Настройка однородной вычислительной структуры с ЦИС осуществляется на двух уровнях: на уровне настройки каждого МП на заданную вычислительную операцию из заданного ограниченного множества операций и на уровне настройки МП на заданную коммутацию.

Анализ работ, опубликованных в отечественной и зарубежной литературе, показывает, что организация функционирования микропроцессорных систем на рассмотренных принципах позволит создать вычислительные средства, удовлетворяющие высоким требованиям к БВС летательных аппаратов ближайшего будущего.

Можно предположить, что методы интеграции бортового оборудования на базе микропроцессорной техники приведут к дальнейшему существенному расширению его функций. Так, с целью снижения рабочей нагрузки на экипаж, повышения эффективности процесса управления ВС в условиях возрастающей плотности воздушного движения и скорости полета кабины экипажей будут оборудованы системами с

широкими функциональными возможностями. Например, одним из перспективных направлений считается применение на борту самолетов многофункциональных дисплеев, позволяющих выводить на экраны информацию, необходимую в конкретной ситуации полета, а также различного рода информацию, предупреждающую экипаж о необходимости выполнения тех или иных действий.

Достижение цифровой техники находят применение и в решении задач эргономики, например, при реализации сенсорного и речевого управления ВС. Внедрение на борту аппаратуры речевого взаимодействия пилота с системами ВС позволит не только выдавать пилоту речевую информацию о работе бортовых систем и текущих параметрах полета, но также и распознать произнесенные им речевые команды. Осуществление такого взаимодействия потребует использования на борту ЭВМ, одна из функций которой будет состоять в обеспечении выхода на бортовые подсистемы путем реакции на ранее подготовленный словарь речевых команд.

Таким образом, построение комплексов бортового оборудования на основе широкого использования современных достижений в области вычислительной техники создают предпосылки к органическому объединению бортовых систем ВС, существенному расширению всех функций управления его полетом, позволяют в перспективе оптимизировать состав всего комплекса бортового оборудования, повысить его надежность и живучесть.

Вместе с тем эксплуатация и техническое обслуживание таких систем потребует также решения ряда научно-технических и организационных задач. В частности, качественно новое решение должны получить вопросы математического обеспечения бортовых средств вычислительной техники, путем организации централизованных служб эксплуатации авиационного математического обеспечения, которые позволили бы реализовать преимущества перспективных концепций, включая стандартизацию, модульность и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационные цифровые системы контроля и управления/Под ред. В. А. Мясникова, В. П. Петрова. — Л.: Машиностроение, 1976. 608 с.
2. Алексеенко А. Г., Галицын А. А., Иванников А. Д. Проектирование радиоэлектронной аппаратуры на микропроцессорах. — М.: Радио и связь, 1984. 370 с.
3. Аналоговые и цифровые интегральные схемы/ Под ред. С. В. Якубовского. — М.: Советское радио, 1979. 335 с.
4. Балашов Е. П., Пузанков Д. В. Микропроцессоры и микропроцессорные системы. — М.: Радио и связь, 1981. 426 с.
5. Бедревский М. А., Волга В. В., Кручинкин Н. С. Микропроцессоры. — М.: Радио и связь, 1981. 94 с.
6. Бедревский М. А., Кручинкин Н. С., Подольн В. А. Микропроцессоры. — М.: Радио и связь, 1981. 70 с.
7. Березенко А. И., Корякин Л. Н., Назарьян Р. А. Микропроцессорные комплекты повышенного быстродействия. — М.: Радио и связь, 1981. 167 с.
8. Гитис Э. И., Пискулов Е. А. Аналого-цифровые преобразователи. — М.: Энергоиздат, 1981. 360 с.
9. Горелик А. Л., Бутко Г. И., Белоусов Ю. А. Бортовые вычислительные машины. — М.: Машиностроение, 1975. 204 с.
10. Гришин Ю. П., Казаринов Ю. М., Катилов В. М. Микропроцессоры в радиотехнических системах. — М.: Радио и связь, 1982. 280 с.
11. Григорьев В. Л. Программное обеспечение микропроцессорных систем. — М.: Энергоиздат, 1983. 207 с.
12. Козарук В. В. Комплекс бортового оборудования самолета Ту-154 и его эксплуатация. — М.: Машиностроение, 1975. 335 с.
13. Кофрон Дж. Технические средства микропроцессорных систем. — М.: Мир, 1983. 344 с.
14. Левенталь Л. Введение в микропроцессоры. — М.: Энергоатомиздат, 1983. 464 с.
15. Мейзда Ф. Интегральные схемы. — М.: Мир, 1981. 280 с.
16. Микропроцессорные БИС и микро-ЭВМ. Построение и применение/ Под ред. А. А. Васенкова. — М.: Советское радио, 1980. 279 с.
17. Микропроцессорные комплексы интегральных схем. Справочник/ Под ред. А. А. Васенкова и В. А. Шахнова. — М.: Радио и связь, 1982. 191 с.
18. Мини- и микро-ЭВМ и управлении промышленными объектами/ Филиппов Л. Г., Фрейзон И. Р., Давидовичу А., Дятку Э. Под ред. И. Р. Фрейзона, Л. Г. Филиппова — Л.: Машиностроение, 1984. 336 с.
19. Овчинников Н. И., Поздняков В. Г. Цифровые устройства. Изд. ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1977. 310 с.
20. Перестраиваемые цифровые структуры на основе интегрирующих процессоров. Алексеенко А. Г., Каляев А. В., Лукиенко В. И. и др. Под ред. Каляева А. В. — М.: Радио и связь, 1982. 368 с.

21. П о м ы к а е в И. И., С е л е з н е в В. П., Д м и р и ч е н к о Л. А. Навигационные приборы и системы. — М.: Машиностроение, 1983. 456 с.
22. П р о з о р о в С. Е. Авиационные бортовые вычислительные устройства. — Киев: КИИГА, 1980. 62 с.
23. С а м о ф а л о в К. Г., К о р н е й ч у к В. И., Т а р а с е н к о В. П. Цифровые ЭВМ. — Киев: ВИЩА ШКОЛА, 1983. 455 с.
24. Системы цифрового управления самолетом/ Под общ. ред. А. Д. Александрова, С. М. Федорова. — М.: Машиностроение, 1983. 223 с.
25. С о б о т к а З., С т а р ы Я. Микропроцессорные системы. — М.: Энергоиздат, 1981. 494 с.
26. Цифровые радионавигационные устройства. Барашенков В. В., Лутченко А. Е., Скороходов Е. М. и др./ Под ред. В. В. Смолова — М.: Советское радио, 1980. 288 с.
27. Ш е в ч е н к о А. М., М а м е д л и Э. М., С т р у к о в Ю. П. Бортовые вычислительные системы. Авиационное. Т.6 (Итоги науки и техники). — М.: ВНИИТИ АН СССР, 1978. 240 с.
28. ЭВМ пятого поколения: концепции, проблемы, перспективы / Под ред. Т. Мото-ока; пер. с англ. Е. П. Велихова. — М.: Финансы и статистика, 1984. 110 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
Глава 1. Операционные элементы и узлы аналоговых бортовых вычислительных устройств	9
1.1. Общая характеристика операционных элементов и узлов . . .	9
1.2. Операционные блоки аналоговых БВУ	13
Глава 2. Вычислительные устройства системы тракторного управ- ления	27
2.1. Некоторые навигационные определения	27
2.2. Общая характеристика	29
2.3. Устройство и работа вычислителей	31
2.4. Организация контроля работы вычислителей	36
Глава 3. Навигационные вычислительные устройства	41
3.1. Вывод решаемых уравнений	41
3.2. Структурная схема и режимы работы	47
3.3. Аналоговые блоки	50
3.4. Блок импульсной раскладки путевой скорости	55
3.5. Общие сведения о построении, организации контроля и техническом обслуживании	65
Глава 4. Бортовые цифровые вычислительные машины	68
4.1. Общая характеристика	68
4.2. Структурная схема, система команд типовой БЦВМ	71
4.3. Оперативное запоминающее устройство	77
4.4. Постоянное запоминающее устройство	82
4.5. Устройство арифметики и управления	86
4.6. Устройство ввода—вывода	96
Глава 5. Навигационно-вычислительные системы	105
5.1. Общая характеристика	105
5.2. Состав, принцип действия устройств типовой НВС	107
5.3. Программное обеспечение	121
5.4. Организация контроля и технического обслуживания БЦВМ в составе НВС	127
Глава 6. Комплексные бортовые вычислительные системы	134
6.1. Принципы комплексирования	134
6.2. Микропроцессоры и микропроцессорные системы как элементы БВС	142
6.3. БВС перспективных комплексов авиационного оборудо- вания	162
Список литературы	172

3013

Учебное пособие

ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ КУПРЕЕВ

БОРТОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Обложка художника *В. А. Сергеева*

Технический редактор *Н. И. Перова*

Корректор-вычитчик *С. Н. Пафомова*

Корректор *С. А. Коновалова*

Н/К

Подписано в печать 30.09.86 Т-19284 Формат 60х84 1/16.
Бум. офсетная № 2. Гарнитура Сенчури. Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,23 Усл. кр.-отт. 10,48 Уч.-изд. л. 10,15
Тираж 3000 экз. Заказ 3013 Цена 35 коп. Заказное.
Изд. 3-1-1/17 № 3747

Текст набран в издательстве на наборно-печатающих автоматах
Ордена "Знак Почета" издательство "ТРАНСПОРТ",
103064, Москва, Басманный туп., 6а

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7

Государственный комитет по делам издательства, полиграфии
и книжной торговли

Ордена "Знак Почета" издательство "Транспорт"

Имеется в продаже литература:

БОГДАНЧЕНКО Н. М. Курсовые системы и их эксплуатация на самолетах: Учебник для средних учебных заведений. — 3-е изд., перераб. и доп. — 1983. — 224 с. — 75 к.

КРЮЧКОВ А. А. Грузовые перевозки на воздушном транспорте СССР: Организация, технология, экономика. — 1983. — 232 с. — 1 р. 10 к.

КУЗНЕЦОВ А. А. и др. Эксплуатация средств управления воздушным движением: Справочник. — 1983. — 256 с. — 1 р. 60 к.

ОЛЯНЮК П. В. и др. Радионавигационные устройства и системы гражданской авиации. — 1983. — 320 с. — 1 р. 10 к.

ЧИРКОВ В. К., ТАРАНОВ Л. А. Развитие предприятий гражданской авиации: (Технико-экономические изыскания). — 1984. — 112 с. — 35 к.

Продажа производится

отделениями издательства "Транспорт", центральным магазином "Транспортная книга" (107078, Москва, Садовая Спасская ул., д. 21). Отдел "Книга-почтой" указанного магазина (113114, Москва, 1-й Павелецкий пр., д. 1/42, корп. 2) и отделения издательства высылают литературу наложенным платежом.

