

730.
621.11
Б49

Т.Ф. Бекмуродов, С.К. Ғаниев

АНАЛОГ ВА ГИБРИД ҲИСОБЛАШ МАШИНАЛАРИ

Ўзбекистон ССР Олий ва махсус ўрта таълим вазирлиги
олий ўқув юр்தларининг инженерлик-техника ихтисослиги
студентлари учун ўқув қўлланмаси сифатида рухсат этган

УД 2531

«Аналог ва гибрид ҳисоблаш машиналари» ўқув қўлланмасида аналог ва гибрид ҳисоблаш машиналари ва уларнинг асосий блокларининг ишлаш принциплари баён этилган. Китобда аналог ҳисоблаш машиналарини программлаштириш асослари ҳамда ҳозирги гибрид ҳисоблаш машиналарида масалалар ечиш усуллари баътафсил ёритилган. Ўқув қўлланмасининг материали мисоллар ва авторларнинг оригинал ишланмалари билан тўлдирилган.

Ўқув қўлланмаси олий ўқув юртларининг инженерлик-техника ихтисослиги студентлари учун мўлжалланган бўлиб, ундан ўз фаолиятида аналог ва гибрид машиналар билан иш кўрадиган инженер-техник ходимлар ҳам фойдаланишлари мумкин.

Рецензент: Техника фанлари доктори
профессор М. М. Комилов

На узбекском языке

БЕКМУРАТОВ ТУЛКУН ФАЙЗИЕВИЧ
ГАННОВ САЛИМ ҚАРИМОВИЧ

АНАЛОГОВЫЕ И ГИБРИДНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

1^е издание

Учебное пособие для студентов инженерно-
технических специальностей вузов

Издательство «Ўқитувчи» — Ташкент — 1982

Муҳаррир А. Аҳмедов
Бадний муҳаррир Ф. Некқадамбоев

Техн. муҳаррир Т. Скиба
Корректор К. Шарипова

ИБ № 2269

Теризга берилди 20.05.1981 й. Босишга рухсат этилди 9.04.1982 й. P15532. Формат 60 x 90^{1/16}.
Тип. қоғози №3. Гарнитура литературная, 10/10. Юқори босма усулида босилди. Шартли б.л.,
8,0+0,25 форзац. Нашр. л. 8,34+0,18 форзац. Тиражи 2000. Зак. № 2413. Баҳоси 40 т.

«Ўқитувчи» нашриёти. Тошкент, Навоий кўчаси, 30. Шартнома № 11 - 73 - 81.

Ўзбекистон ССР нашриётлар, полиграфия ва китоб савдоси ишлари Давлат комитети. Тошкент
«Матбуот» полиграфия ишлаб чиқариш бирлашмасининг полиграфия комбинати. Тошкент
Навоий кўчаси, 30. 1982 й.

Ташполиграфкомбинат Ташкентского полиграфического производственного объединения «Матбуот»
Государственного комитета УзССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. Таш-
кент, ул. Навои, 30. 1982 г.

© «Ўқитувчи» нашриёти, 1982

30102 — 138
Б 353 (04) — 82 187 82 — 2101000000

СЎЗ БОШИ

КПССнинг XXVI съездида «СССРни иқтисодий ва социал ривожлантиришнинг 1981—1985 йилларга ва 1990 йилгача бўлган даврга мўлжалланган асосий йўналишлари» юзасидан қабул қилинган қарорда «... ҳисоблаш техникасини, унинг элементлари базасини ва математик жиҳатдан таъминланишини, ахборот узатиш ва ишлаш воситалари ҳамда системаларини такомиллаштириш, бошқаришнинг автоматлаштирилган системаларининг самарадорлигини ошириш, коллектив тарзда фойдаланиладиган ЭХМ ва ҳисоблаш марказлари тармоғини ривожлантириш» кўзда тутилган. Бу масалаларнинг ҳал этилиши биринчи галда шу соҳа бўйича юқори малакали мутахассислар тайёрлаб етиштиришни тақозо қилади. 1962 йилда Тошкент политехника институтида академик В. Қ. Қобулов раҳбарлигида ва бевосита иштирокида «ҳисоблаш техникаси» кафедрасининг очилиши ва бу кафедранинг кейинчалик «Автоматлаштирилган бошқариш системалари» факультетига айлантирилиши, шунингдек, Тошкент ва Самарқанд Давлат университетларида амалий математика факультетларининг очилиши ҳисоблаш техникаси ва унинг татбиқи соҳасида ишлайдиган мутахассислар тайёрлаш масаласини маълум даражада ҳал этди. Мутахассислар тайёрлаш сифати эса студентларимизни ҳисоблаш техникасига онд она тилида ёзилган дарслик ва қўлланмалар билан таъминлашга кўп жиҳатдан боғлиқдир.

Ушбу қўлланма бу йўлдаги уринишлардан

бири бўлиб, ундаги материаллар «Электрон ҳисоблаш машиналари» ихтисослигининг «Аналог ва гибрид ҳисоблаш машиналари» курси программасига мос келади. У олий ўқув юртларининг инженерлик-техника ихтисослиги студентлари учун мўлжалланган бўлиб, ундан аналог ва гибрид машиналар билан иш кўрадиган инженер-техник ходимлар ҳам фойдаланишлари мумкин.

Китобнинг охирида фойдаланилган адабиётлар рўйхати ([1] — [14]) келтирилган.

Ушбу қўлланманинг сифатини яхшилаш бора-сида ўз фикр-мулоҳазаларини қуйидаги адресга юборган ўртоқларга авторлар ўз миннатдорчилигини билдирадилар:

*Тошкент - 70С129, Навоий кўчаси, 30
«Ўқитувчи» нашриётининг Умумтехника ада-
биётни редакцияси.*

Авторлар

КИРИШ

Электрон ҳисоблаш машиналари информацияларнинг ифодаланиши ҳамда уларнинг ишланиш усулларига қараб икки турга — аналог ҳисоблаш машиналари (АҲМ) га ва рақамли ҳисоблаш машиналари (РҲМ) га бўлинади.

Аналог ҳисоблаш машиналарининг қуйидаги асосий хусусиятларини кўрсатиб ўтиш мумкин:

- бу машиналарда ўзгарувчилар узлуксиз шаклда ифодаланади ва ишланади;

- ҳисоблаш амаллари параллел бажарилиши натижасида юқори тезкорликда ишлайди. Ҳисоблаш тезлиги ечиладиган масаланинг мураккаблигига боғлиқ бўлмай, балки ечувчи элементларнинг динамик характеристикалари орқали аниқланади;

- ечиладиган масала (моделланувчи система) ни программалаш содда. Программалаш — узатиш характеристикалари дастлабки тенгламаларга ёки дастлабки моделланувчи система характеристикаларига ўхшаш тенгламалар ёрдамида тавсифланувчи АҲМ ечувчи элементларининг структуравий схемасини тузишдан иборат;

- тадқиқ қилинувчи системани реал аналог аппаратураларга оддий усуллар билан улаш мумкин;

- моделлаш процесси ва натижаси яққол кўриниб туради;

- жамлаш, кўпайтириш, интеграллаш, чиқиқли бўлмаган функцияларни ҳосил қилиш каби амалларни етарлича содда ва самарали бажара олади;

- моделланувчи системани тезлатилган, реал, секинлатилган вақт масштабларида тадқиқ қилиш имконияти бор;

- аниқлиги юқори эмас. АҲМ ларнинг бу хусусияти уларни ташкил этувчи элементларнинг (электрон лампа, транзистор, диод, резистор ва бошқалар) аниқликлари (сифатлари) маҳсулидир;

- информацияни узоқ хотирлаш мураккаблиги;

- логик амалларни бажариш қобилияти чегараланган.

Рақамли ҳисоблаш машиналарининг қуйидаги асосий хусусиятларини кўрсатиб ўтиш мумкин:

- бу машиналарда ўзгарувчилар узлукли шаклда ифодаланади ва ишланади;

- ҳисоблаш амаллари кетма-кет бажарилиши туфайли масала нисбатан кичик тезликда ечилади; масаланинг ечилиш вақти унинг мураккаблигига боғлиқ, яъни битта оддий амалнинг бажарилиш тезлиги кичик бўлишига қарамай, мураккаб масалани ечишга кетадиган умумий вақт катта бўлади;

- мураккаб бўлишига қарамай ривожланган программалаш системасига эга;

- ҳисоблаш аниқлиги юқори. Бў аниқлик ўзгарувчилар ифодаланган хоналар сонига ва ечиш усулига боғлиқ. Бу хусусият масала ечиш вақти ва аниқлигини ўзаро мувофиқлаштиришга имкон беради;

- информацияни хоҳлаганча узоқ вақт хотирлайди;

— логик амалларни бажара олади;
— ҳисоблашни сурилувчи (плаваюший) вергул режимида бажариш мумкин. Бу эса дастлабки ўзгарувчиларни масштаблашдаги қийинчиликларни бартараф қилади;
— тадқиқ қилинувчи реал системани РХМ ларга улаш мураккаб. Бу улашни информацияларнинг ифодаланиш шаклини ўзгартирувчи махсус қурилмалар бўлишини талаб қилади.

АХМ ва РХМ ларнинг камчиликларини бартараф қилиб, уларнинг афзалликларини бирлаштириш йўлидаги уринишлар уларни битта ҳисоблаш системасига айлантириш ғоясига олиб келди. Аналог ва рақамли моделлаш (ҳисоблаш) усулларини гибридлаш РХМ ларнинг универсаллигини АХМларнинг тезкорлиги билан бир системада бирлаштириш мақсадини кўзлайди. Шу тарзда рақамли моделлашда (реал маълумот аппаратларидан фойдаланиш ҳамда маълум қисми узлукли ва қолган қисми узлуксиз шаклда ифодаланган кириш йўли маълумотларини ишлаш имкониятлари туғилади.

Гибрид (аналог-рақамли) ҳисоблаш техникаси воситаларидан самарали фойдаланишнинг асосий доиралари қуйидагилар: секинла-тилган, реал ва тезлатилган вақт масштабларида мураккаб динамик системаларни моделлаш, параметрлари тақсимланган динамик объектларни (химиявий-технологик процесслар, биологик объектлар, нефть ва газ қазиб чиқариш системалари, иссиқлик процесслари ва бошқаларни) моделлаш ва бошқариш, статистик моделлаш, процессларни ва аппаратларни (конструкцияларни) оптималлаштурувчи ҳамда оптимал бошқарувчи (маълум бир маънодаги) энг яхши усуллар ва алгоритмларни тадқиқлаш ва танлаб олиш, илмий тажрибаларни реал-вақт масштабида бошқаришни автоматлаштириш.

Аналог ҳисоблаш принципларидан тарихнинг илк даврларидаёқ фойдаланилган. Эрамиздан олдинги 3800 йили кейинчалик Вавилония тайдо бўлган ерларда аналог ҳисоблашлардан ер ўлчаш ва карта тузишда фойдаланилган. Эрамиздан олдинги 80-йилларда греклар аналог ҳисоблаш ускуналарига эга бўлган планетарий яратганлар ва бу планетарий ёрдамида қуёш системасининг геоцентрик моделидан фойдаланиб, Қуёш ва планеталар ҳолатини аниқлаганлар.

XV аср бошларида Самарқанд шаҳрида атоқли математик ва астроном Ал-Коши икки планетанинг бир меридиан текислигида бўлиш вақт пайтини аниқловчи механизм яратди. Кейинчалик берилган вақт пайтида Қуёш, Ой ва ўша вақтда маълум бўлган бешта энг қин планеталар ҳолатини аниқловчи ҳисоблаш қурилмаси яратилди.

Интеграллаш қурилмаси кўринишидаги аналог ҳисоблаш машинаси дастлаб 1876 йилда Англияда ака-ука Ж. ва У. Томпсонлар томонидан яратилган ва тавсифланган. Улардан беҳабар ҳолда 1903 йилда академик А. А. Кривов ва 1931 йилда америка олими Буш томонидан механикавий интеграллаш қурилмалари— дифференциал анализаторлар яратилган.

Ҳозирги замон АХМ ларининг яратилиши радиоэлектроника тараққиётининг махсули бўлиб, улар 1950 йили кашф қилинган ва такомиллаштирилган ўзгармас ток кучайтиргичи билан боғлиқдир.

1606. АНАЛОГ ҲИСОБЛАШ АСОСЛАРИ

I — 1-§. Аналог ҳисоблаш машиналари

Моделлаш — объект (процесс) ёки унинг бирор элементларини ўз хусусиятлари билан асл нусха (натура) хусусиятларини такрорловчи модель билан алмаштиришдир. Бу алмаштиришнинг сабаби реал объект модели тадқиқининг осонроқ, арзонроқ ва қулайроқлигидадир. Масалан, янги объект (процесс) нинг яратилишида лаборатория шароитидан то яримсаноат синовигача бўлган даврда вақт, маблағ ва меҳнат сарфини талаб этади. Бу давр мобайнида «янги» деб ҳисобланган объект (процесс) маънавий эскириши мумкин. Агар объектни (процессни) маълум шароитларда унинг хусусиятларига тамоман тақлид қилувчи лаборатория қурилмаси — модель билан алмаштирилса, юқорида кўрсатилган сарфларни кескин камайтириш мумкин.

Демак, моделлаш — тадқиқ қилинувчи система хусусиятларига модель деб аталувчи бирор қурилма ёрдамида тақлид қилишдир. Натурадаги объект хусусиятларини тасвирловчи катталикларнинг сон қийматлари тегишли катталикларни моделда ўлчаши йўли билан олинади. Моделда ўлчашлар натижаси бўйича объектнинг хусусиятларини тадқиқ қилишга имкон берувчи асосий шарт — натура ва моделнинг ўхшашлигидир (аналогиясидир).

Модель синтезлаш масаласи ҳатто алоҳида олинган ҳодиса ва объект учун бир маънога эга эмас. Бу эса моделлаш усулларини ривожлантириш ва такомиллаштириш мақсадида олиб бориладиган илмий изланишларга бой материал ҳисобланади.

Моделлашнинг геометрик, физикавий, математикавий ва бошқа кўп шакллари мавжуд.

Геометрик моделлаш асл нусханинг ташиқи кўриниши тўғрисида тасаввурга эга бўлиш учун, яъни унинг шакли, қисмларининг ўзаро жойлашиши, бошқа объектлар билан боғланиши ва шунга ўхшашларни ўрганишга хизмат қилади. Геометрик моделлар кўргазмаларда намойиш қилинувчи экспонатлар сифатида ва кўргазмали ўқув қуроллари сифатида ишлатилади. Бу моделлар ҳар қандай материаллардан тайёрланиши мумкин, фақат бунда асл нусха ва моделнинг геометрик ўхшашлиги шартига риоя қилиниши лозим. Бунга кўра моделда моделланувчи асл нусханинг барча ўлчамлари тенг марта ўзгартирилиши, яъни асл нусхани тасвирловчи барча ўлчамлар учун масштаблар бир хил бўлиши шарт.

Физикавий моделлаш усулида моделлар асл нусхаларга ўхшаш ва уларнинг физикавий табиатлари бир хил бўлади. Кўп ҳолларда реал

объект натура синовларини унинг физикавий модели синови билан алмаштириш мумкин бўлади. Бунда физикавий моделлар тадқиқ қилинувчи объектдан геометрик ўлчамлари билангина фарқ қилиб қолмай, уларда ўрганилаётган физикавий ҳодисани аниқловчи катталикларнинг ҳамма физикавий ўзгарувчилари ва константаларининг ўзаро нисбатлари ўзгартирилиши лозим. Физикавий моделларда тадқиқ қилинувчи ҳодисанинг шундай томонларини тиклаш мумкинки, уларни математик тавсифда ҳисобга олиб бўлмайди. Шунинг учун физикавий моделлаш тадқиқ қилинаётган объект тўғрисида ишончли маълумотлар олишга имкон беради. Бу ҳол физикавий моделлаш усулининг афзаллигидир. Аммо физикавий моделлашда унинг паст универсаллиги билан боғлиқ бўлган қийинчиликлар мавжуддир. Ҳақиқатан ҳам, ҳар бир ўрганилаётган ҳодиса учун мустақил модель қурилиши лозим, бошқа ҳодисага ўтиш бутун моделни алмаштиришни талаб қилади. Моделланувчи ҳодиса параметрларининг ўзгариши моделни алмаштиришни ёки қайтадан яшашни тақозо этади. Ундан ташқари, баъзи бир процессларни, масалан, иссиқлик ва динамик процессларни физикавий моделлаш усули билан тадқиқ қилиш мумкин эмас. Бу ҳолларда масалани математикавий моделлаш усули ёрдамида ечиш анча осонроқдир. Бу усул ҳам ўхшашлик (аналогия) принципіга асосланган.

Математикавий моделлаш усулига-кўра процесслар асл нусхада ва унинг моделида бир хил математик боғланишлар билан тавсифланади. Математикавий моделлаш икки йўналишда амалга оширилади—физикавий модель—аналог қуриш ва ҳисоблаш қурилмаларидан тuzиладиган моделлар қуриш йўли билан. Физикавий модель—аналоглар ёрдамида моделлаш ҳодисани ўрганиш учун уни асл нусхадан физикавий табиати билан фарқланувчи моделга кўчиришдан иборат. Физикавий модель—аналоглар бир хил математик тенгламаларнинг физикавий мазмунини бўйича ҳар хил бўлган ҳодисаларни тавсиф қилиши хусусиятига асосланган. Бундай боғланиш имконияти диалектик материализмнинг табиат бирлиги тўғрисидаги қоидадан келиб чиқади. В. И. Ленин ўзининг «Материализм ва эмпириокритицизм» номи асарида қуйидагича ёзган эди: «Табиатнинг бирлиги ҳодисаларнинг турли соҳаларига оид бўлган дифференциал тенгламаларнинг «жуда ажойиб ўхшашлигида» намоён бўлмоқда»*.

Физикавий модель—аналоглар қуришда ҳодисалар орасидаги маълум аналогиялар—механикавий ва электрик, иссиқлик ва электрик, гидравлик ва электрик, механикавий ва акустик ва шунга ўхшашлар ишлатилади. Физикавий табиати ҳар хил бўлган ҳодисаларнинг хусусиятлари ҳамда ўхшашликни аниқлаш усуллари фаннинг махсус бўлими—ўхшашлик назариясида кўрилади. Ўхшашлик назарияси теоремалари асосида ўхшаш ҳодисалар параметрларининг ўзаро нисбатлари аниқланади ёки параметрларнинг ўзаро нисбатлари асосида ҳодисалар ўхшашлиги тўғрисида хулоса чиқарилади.

Бирорта процессни тавсифловчи тенгламалар системаси кўрилаёт-

* В. И. Ленин. «Материализм ва эмпириокритицизм». Тошкент, Ўздавнашр, 1958 йил, 532-бет.

ган процесснинг математикавий модели ҳисобланади. Процессни ўрганишда талаб қилинадиган бу тенгламалар ечимини аналитик йўл билан кўпинча олиб бўлмайди. Аммо бу ечимларни ҳар хил математик амалларни бажарувчи алоҳида ҳисоблаш қурилмаларидан ташкил топган моделлар ёрдамида осонгина олиш мумкин. Бу моделларнинг ишлаш принципи қўшиш, айириш, кўпайтириш, бўлиш, интеграллаш, дифференциаллаш, функционал ўзгартариш ва қандайдир логик амалларни кетма-кет ва узлуксиз бажаришга асосланган. Моделлашнинг бу шакли ҳозирги замон аналог ҳисоблаш машиналари ва қурилмалари ишининг асосини ташкил этади.

Ўрганилаётган ҳодисаларни кўриниши ёки физикавий табиати бўйича эмас, балки бу ҳодисаларни тавсифловчи математик тенгламалар (алгебраик, оддий дифференциал, интеграл ва ҳоказо) бўйича туркумлаш қулайдир. Бундан ечиладиган тенгламалар хили бўйича аналог ҳисоблаш машиналарининг хиллари келиб чиқади. АХМлар физикавий моделлар ва модель-аналогларга нисбатан юқори даражада универсалликка эга, чунки ҳар хил физикавий ҳодисаларнинг катта тўпламига унча катта бўлмаган математик тенгламалар гуруҳи мос келади.

Математикавий модель асосидаги физикавий процессга қараб электрик (электрон), электромеханикавий, механикавий, гидравлик ва бошқа АХМ лар бўлади. Бу машиналардаги ўткинчи процесс ва статик ҳолат машина ўзгарувчиларининг ўзаро нисбатлари орқали характерланади.

Ҳозирги замон АХМ лари икки гуруҳга бўлинади: оддий аналогия бўйича қурилган машиналар ва мураккаб аналогия бўйича қурилган машиналар. Биринчи гуруҳ машиналарда машина ўзгарувчилари ва ечиладиган дастлабки тенглама ўзгарувчилари ўртасидиги боғланиш ўзгармас коэффициентлар орқали амалга оширилса, иккинчи гуруҳ машиналарда бу алоқа ошкор кўринишда бўлмай, балки мураккаб тасвирга эга бўлади. Иккинчи гуруҳ АХМ ларга квазианалог машиналар мисол бўла олади. Бу машиналарда моделловчи занжирлар ҳолати олинадиган натижа нуқтаи назаридан объект тенгламасига эквивалент тенгламалар орқали тавсифланади.

1—2-§. Аналог ҳисоблаш машинасида масалаларни электрон моделлаш принциплари

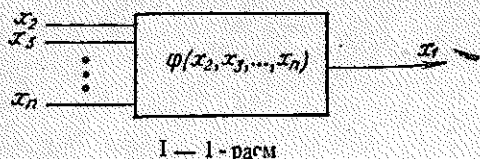
Электрон моделлаш—аналог ҳисоблаш машинасида масалалар ечиш усули бўлиб, у моделловчи занжирларни синтезлаш ва улардан қидириладиган натижаларни олиш учун фойдаланиш усуллариининг мажмуасидир. Аналог ҳисоблаш машинасида электрон моделлаш усуллари асосан икки хил бўлади;

- 1) бевосита электрон моделлаш усули,
- 2) қидирув усуллари.

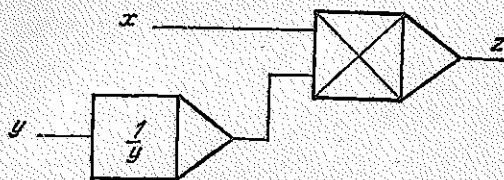
1. Бевосита электрон моделлаш усули. Маълумки, умумий ҳолда математик боғланишлар қуйидаги функция кўринишида берилади:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, \quad (1-1)$$

бу ерда $x_1, x_2, \dots$ — ўзгарувчилар.



1 — 1-расм



1 — 2-расм.

Бирорта ўзгарувчи, масалан, x_1 нинг бошқа ўзгарувчиларнинг узлуксиз ўзгаришидаги қийматини узлуксиз ҳисобловчи аналог ҳисоблаш қурилмасини (АҲҚ) синтезлаш талаб қилинади, деб фараз қилайлик.

Агар (1—1) тенгламани x_1 ўзгарувчига нисбатан ечиш мумкин бўлса, қидирилатган ўзгарувчига нисбатан ошкор бўлган қуйидаги функцияни ола-миз:

$$x_1 = \varphi(x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1-2)$$

(1—2) боғланишни амалга ошириш учун АҲҚ (1—1-расм) кириш йўлига $x_2, x_3, \dots, x_n$ ўзгарувчиларнинг қийматлари берилади ва улар устида функция кўринишига мувофиқ ўзгартиришлар бажарилади.

Ошкор кўринишда берилган алгоритмни амалга оширувчи моделловчи қурилмалар бир ёқлама йўналишли (таъсирли) очиқ қурилмалардир. Кириш йўли қийматларининг ўзгариши чиқиш йўли ўзгарувчиларининг синхрон ўзгаришига олиб келади.

Мисол. Қуйидаги функцияни ошкор кўринишда амалга оширувчи АҲҚ ни синтезлаш, лозим:

$$z = \frac{x}{y} \quad (1-3)$$

(1—3) ифодани кўпайтма шаклида ёзамиз:

$$z = x \cdot \frac{1}{y} \quad (1-4)$$

Бу боғланишни бажариш учун битта кўпайтирувчи қурилма ва $\frac{1}{y}$ функцияни амалга оширувчи битта функционал қурилма керак (1—2 расм).

Шундай қилиб, икки ўзгарувчини бўлиш амали иккита чизикли бўлмаган АҲҚ ларни ўз ичига олувчи схема ёрдамида бажарилади. Бу эса, биринчидан, кўп ускуна харажатларига, иккинчидан, бўлиш амалини бажаришда хатоликлар содир бўлишига олиб келади. Ундан ташқари, ошкор функцияларни амалга оширувчи АҲҚлар схема параметрларига ва таъминловчи кучланишлар ўзгаришига жуда таъсирчан бўлади.

Кўп ҳолларда ошкор функцияларни амалга оширувчи ҳисоблаш қурилмалари мураккаб бўлиши мумкин. Масалан, учта биринчи даражали чизикли тенгламалар системасини ошкор ҳолда ечиш учун 50

дан ортиқ жамлаш, кўпайтириш, бўлиш қурилмалари талаб қилинади.

Иккинчи даражали ўзгармас коэффициентли оддий дифференциал тенглама мисолида дифференциал тенгламаларни ошкор ҳолда АХҚлар ёрдамида ечиш мумкинлигини кўрайлик:

$$a \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + cx = 0, \quad x(0) = 0, \quad x'(0) = A \quad (1-5)$$

(1-5) дифференциал тенгламани ошкор ҳолда ечиш учун қуйидаги қатор амалларни бажариш лозим:

1) $aK^2 + bK + c = 0$ характеристик тенглама илдизларини аниқлаш:

$$K_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}; \quad (1-6)$$

2) b^2 ва $4ac$ қийматларни таққослаш ва дифференциал тенглама ечими кўринишини аниқлаш.

Бу ерда учта ҳол бўлиши мумкин:

а) $b^2 > 4ac$

$$x = c_1 e^{K_1 t} + c_2 e^{K_2 t}; \quad (1-7)$$

б) $b^2 < 4ac$

$$x = c_3 e^{-\frac{b}{2a}t} \sin\left(\frac{\sqrt{4ac - b^2}}{2a}t + \varphi\right); \quad (1-8)$$

в) $b^2 = 4ac$

$$x = (c_4 + c_5 t) e^{-\frac{b}{2a}t} \quad (1-9)$$

$c_1 \div c_9$ ва φ ўзгармаслар бошланғич шартлардан аниқланади.

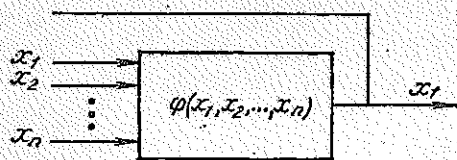
(1-7) ÷ (1-9) ифодаларга $c_1 \div c_6$ ва φ нинг ҳисобланган қийматларини қўйиб, мос ҳолда қуйидаги боғланишларни оламиз:

$$x = \frac{A}{k_1 - k_2} (k_1 e^{K_2 t} - k_2 e^{K_1 t}) \quad (1-10)$$

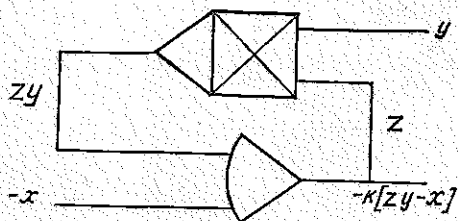
$$x = \frac{Ae^{-\frac{b}{2a}t}}{\sin\left(\arctg \frac{1}{b} \sqrt{4ac - b^2}\right)} \sin\left(\sqrt{4ac - b^2} \frac{c}{2a} + \arctg \frac{1}{b} \sqrt{4ac - b^2}\right); \quad (1-11)$$

$$x = Ae^{-\frac{b}{2a}t} \left(1 + \frac{b}{2a}t\right) \quad (1-12)$$

Бу боғланишларни амалга ошириш маълум миқдорда ҳар хил функционал АХҚларни ҳамда схема тузувчи операторнинг катта ҳажмдаги хизматини талаб қилади. Ундан ташқари, берилган дифференциал тенглама ечимининг кўриниши маълум бўлиши шарт. Ҳозирги вақтда дифференциал тенгламаларнинг чегараланган туркумигина ана-



1—3- расм.



1—4- расм.

литик ечимга эга. Юқорида айтилган сабабларга кўра дифференциал тенгламаларни ошкор кўринишда ечиш амалий маънога эга эмас. (1—1) функцияни қидирилаётган ўзгарувчига нисбатан ечиб бўлмаса, ёки ошкор кўринишда берилган функцияни АХМда амалга ошириш мумкин бўлмаса, ошкормас функция усулидан фойдаланилади.

$x_1 = \psi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ошкормас функцияни амалга оширувчи қурилма умумий ҳолда 1—3- расмда кўрсатилган. Бу расмдан кўриниб турибдики, юқоридаги ошкормас функцияни амалга ошириш учун тескари боғланишли берк қурилма ишлатилади. Қурил-

ма чиқиш йўлидан унинг бирорта кириш йўлига берилаётган x_1 катталиқ қолган кириш йўлларига $x_2, x_3, \dots, x_n$ катталиклар берилаётган вақтда функцияни нолга айлантиришга интилади. Тургун режимда x_1 катталиқ қидирилаётган ўзгарувчига мос келади.

Мисол. Бўлиш амалини ошкормас кўринишда бажарувчи қурилма синтезлаш лозим:

$$z = \frac{x}{y}. \quad (1-13)$$

Бу боғланишни ошкормас кўринишга келтирамиз:

$$zy - x = 0. \quad (1-14)$$

Бу тенгламанинг икки тарафига $\frac{z}{K}$ функцияни ($K \rightarrow \infty$) қўшиб қуйидагини оламиз:

$$zy - x + \frac{z}{k} = \frac{z}{K}. \quad (1-15)$$

Бу боғланишни амалга оширувчи схема 1—4-расмда берилган. $K \rightarrow \infty$ бўлгани учун $\frac{z}{K} \rightarrow 0$. Шунинг учун чиқиш йўлида ҳосил бўлувчи z катталиқ тургун режимда (1—15) боғланишнинг, демак, (1—14) боғланишнинг бажарилишини таъминлайди. Бу схемада фақат битта чиқиш бўлмаган қурилма ишлатилиб, жамлаш, инвертирлаш ва кучайтириш амалий кучайтиргич бажаради. Амалий кучайтиргичнинг тузилиш принциплари II бобда батафсил ёритилган. Бу схемадан иккита жуда муҳим қонда келиб чиқади.

1. Ошкормас кўринишда берилган ҳар қандай тенгламалар АХМ да берк контурга киритилган катта кучайтириш коэффициентли амалий кучайтиргич ёрдамида ечилади.

2. Қўлайтириш амалига тескари бўлган бўлиш амалини бажариш учун амалий кучайтиргичнинг тескари боғланиш занжирига тўғри функцияни бажарувчи қурилмани улаш лозим. Бу қоида универсал ҳисобланиб, у ҳар қандай функцияга тааллуқлидир.

АХМларда эрки ўзгарувчилар сифатида машина вақти ишлатилиши сабабли интеграллаш ва дифференциаллаш амаллари АХМларда фақат вақт бўйича бажарилади. Бундан қуйидаги хулоса келиб чиқади: АХМларда ўзгарувчига нисбатан дифференциаллашни ошкор кўринишда амалга ошириб бўлмайди.

2. Қидирув усуллари. Моделловчи қурилмаларни синтезлаш ва улардан фойдаланишнинг қидирув усуллари икки хил ҳисоблаш процессини акс эттиради:

1) Қандайдир яқинлашиш x_k бўйича қидирилаётган ечимга яқинроқ яқинлашиш x_{k+1} ни қуйидаги ифодадан ҳосил қилиш:

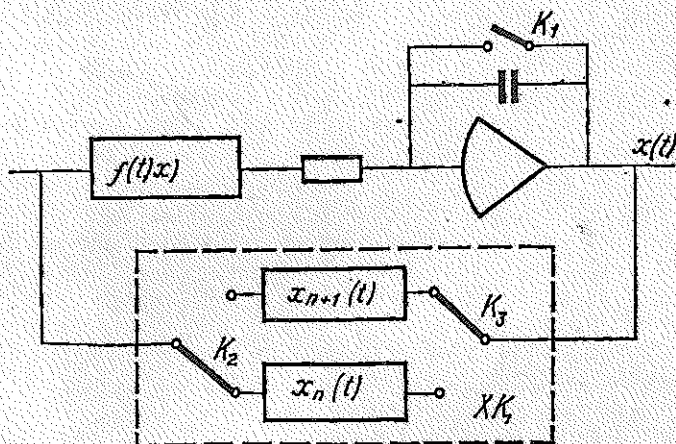
$$x_{k+1} = -x_k + \psi(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Бу ифода итерацион ҳисоблаш процессини акс эттиради.

2) Аниқроқ яқинлашиш x_{k+1} ни ҳосил қилиш мақсадида қуйидаги ифодадан яқинлашиш x_k бўйича фарқ ϵ_k ни баҳолаш

$$\epsilon_k = x_k - \psi(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Бу ифода ечимни вариацион қидириш процессини акс эттиради. Қидирув усуллари бевосита моделлаш усули ёрдамида ечилиши мумкин бўлган тенгламаларга ҳам татбиқ этиш мумкин. Бу — бевосита моделлаш принципи бўйича синтезланган моделлар турғун бўлмаган ҳолларда мақсадга мувофиқдир. Бунда муҳим омил — оддийроқ блоклардан алгоритмик бир неча бор фойдаланиш ҳисобига бевосита моделлаш усулига нисбатан ускуна сарфини камайтириш имкони бор.



I — 5. расм.

Мисол. Қуйидаги тенгламани ечиш талаб қилинсин:

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x); \quad x(0) = x_0.$$

Умуман, итерацион процессни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$x_{n+1}(t) = x_0 + \int_0^t f(\tau, x_n) d\tau, \quad \tau_n \leq \tau \leq \tau_{n+1}.$$

$x_{n+1} \rightarrow x(t)$, $n \rightarrow \infty$ бўлганда яқинлашишнинг зарур шarti. Бу процессни бажарувчи моделда (1—5-расм) асосий блоklar қатори хотира қурилмаси (ХҚ) зарур ҳисобланади.

Аналог хотира қурилмада K_2 ва K_3 калитлар вазиятига қараб «ёзиш» ёки «ўқиш» режимлари амалга оширилади. K_3 калит ёрдамида ҳар бир интеграллаш интервали Δt дан сўнг интегратор бошланғич шarti қайта тикланади. Калитлар синхрон ишлайди ҳамда уларнинг қайта уланиш вақтини нисбатан ҳисобга олинмайди деб фараз қилинади. Ҳисоблаш процессини автоматлаштириш учун бошқариш қурилмаси талаб қилинади. Шундай қилиб, итерацион принцип бўйича синтезланган модель тескари боғланиши хотира қурилмаси ёрдамида амалга оширилган алгоритмик берк системадир.

Вариацион қидириш процессини амалга ошириш учун ечимга етарли яқин бўлган функциялар тўпламини тиклай оладиган бошқарилувчи қурилма зарур ҳисобланади. Вариацион усулларнинг афзаллиги ечиладиган тенгламалар (чизиқли бўлмаганлари ҳам шу ҳисобда) катта доирасини ўз ичига олувчи яқинлашиш соҳасининг кенглигидадир.

Умумий ҳолда алгоритмик моделловчи қурилма структураси икки асосий қисмдан: берилган математик ўзгартиришларни бажарувчи моделдан ҳамда ечим қидирувчини амалга оширувчи қурилмадан иборат. Булардан биринчиси — ечувчи (моделловчи) қисми дастлабки тенгламанинг берилган ва қидириладиган ўзгарувчилари орасидаги мавжуд математик боғлиқликни моделлайди. Бунинг учун у керакли ечувчи элементлар тўпламига эга ва, демак, қидириладиган ечим ҳақидаги ҳамма информацияларни ўз ичига олади. Шу билан бир қаторда, у дастлабки тенгламанинг модели эмас, балки ечимнинг бирор варианты бўйича янги, қидириладиганига яқинроқ вариант ёки фарқни олишга имкон берувчи ўзгартирувчининг очиқ схемасидир.

Моделловчи қурилманинг иккинчи қисми моделловчи қисмидаги ахборотларни «ажратиб олиш» процессини амалга оширишга мўлжалланган ва у бошқариш алгоритмининг бажарувчи элементларга, асосан, логик элементларга эга бўлиши шарт. Бу қисм бошқариш қисми деб юритилади.

АҚМда қидирув усуллари ёрдамида ечиладиган масалаларга чекли тенгламалар, оддий дифференциал тенгламалар учун чегаравий масалалар, тенгсизликлар системаси, Фредгольм интеграл тенгламалари киради. Шу усуллар ёрдамида олдиндан чегаравий шартларга эга бўлган оддий дифференциал тенгламаларга келтириладиган хусусий ҳосилали тенгламаларнинг кўп турлари ечилади.

II БОБ. АҲМ СТРУКТУРАСИ ВА ТАРКИБИ

II — 1-§. Аналог ҳисоблаш машиналари асосий қисмларининг таркиби ва вазифалари

Ўзининг тарихий ривожланишидан то ҳозирги вақтгача моделлаш мавзулари билан фарқланувчи икки хил аналог ҳисоблаш машиналари (АҲМ) мавжуддир.

Бу машиналарнинг биринчи хили ечилиши керак бўлган математик тенгламаларни амаллар бўйича моделласа, иккинчи хили текшириладиган физикавий системани алоҳида таркибий қисмлари бўйича моделлайди. Бошқача қилиб айтганда, биринчи хил машиналарда математик моделлаш, иккинчи хилида эса физикавий моделлаш амалга оширилади. Биринчи хил машиналар «структуравий АҲМ» номи билан юритилиб, улар ҳар бири бирор математик амални, яъни қўшиш, кўпайтириш, интеграллаш, дифференциаллаш, функцияни ўзгартириш ва бошқа амалларни бажарувчи алоҳида амалий блоклардан таркиб топган бўлади.

Иккинчи хил АҲМ «модель-аналог» номи билан юритилиб, моделлашда уни ташкил қилувчи қисмларни бўлақларга ажратиш алоҳида математик амаллар бўйича эмас, балки физикавий элементлар бўйича бажарилади. Ушбу китобда фақат «структуравий АҲМ»лар тўғрисида гап юритилади.

АҲМ амалий блокларининг сони ва турлари унинг ҳисоблаш имкониятларини белгилайди. Блоклар сони қанча кўп бўлиб, уларнинг математик имкониятлари қанчалик турлича бўлса, машина шунча мураккаб масалаларни еча олади. Бу ерда масаланинг мураккаблиги деганда уни ечиш учун зарур бўлган математик амалларнинг сони тушунилади. Шунга мувофиқ АҲМларни учта гурплага ажратиш қабул қилинган:

I группа — кичик АҲМлар (20 блоккача),

II группа — ўрта АҲМлар (20 — 60 блок),

III группа — катта АҲМлар (60 дан кўп блок).

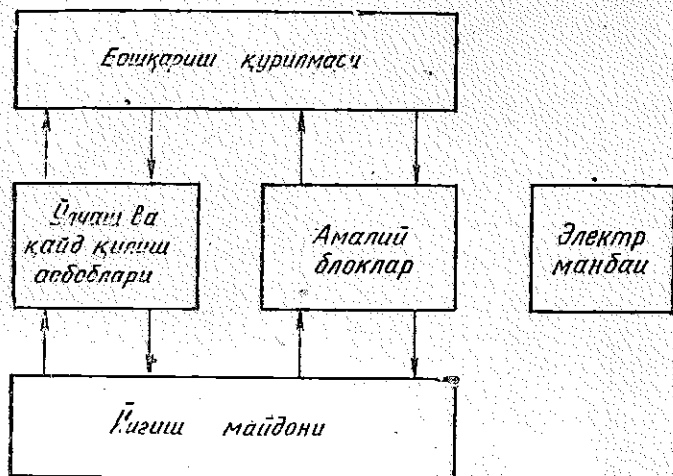
Ундан ташқари, катта АҲМларда машинада ишлашни енгиллаштирувчи қўшимча қурилмалар ҳам бўлади. Буларга автоматик рақамли программалаш ва контрол қурилмалари, кучланишни автоматик ўлчаш ва қайд қилиш қурилмалари ва бошқалар кириди.

АҲМларни ташкил қилувчи асосий функционал қисмларга қуйидагилар кириди.

1) Амалий блоклар — булар математик амалларни бажаришга мўлжалланган бўлади.

2) Йиғиш майдони — электр ўтказгичлар ёрдамида амалий блоклар орасидаги керакли уланишни таъминлайди. АХМ ларнинг баъзиларида йиғиш майдони олиб қўйиладиган бўлади. Бу эса масала ечилаётган вақтда иккинчи масалани йиғиш йўли билан АХМ лардан самарали фойдаланишга имкон беради.

3) Бошқариш қурилмаси — АХМ ларнинг барча қисмларининг вақт бўйича бирга ишлашини таъминлайди. АХМ ларда ишловчи оператор бошқариш пулти ёрдамида дастлабки шартларни киритиш, масалани



II — 1. расм. }

ечиш, ечишни автоматик тўхтатиш, машинани дастлабки ҳолатига қайтариш каби режимларда ишлаш учун бошқариш қурилмасини созлайди.

4) Ўлчаш ва қайд қилиш асбоблари — вольтметр каби стрелкали ўлчаш асбоблари, рақамли вольтметрлар, шлейф осциллографлари ва бошқалар.

5) Электр манбаи — машинанинг барча қисмларининг ишлаши учун керак бўлган электр кучланишларини олиш учун хизмат қилади. АХМ ларда кучланишнинг турғунлигига катта аҳамият берилади, чунки масалани ечишда кучланиш номиналлариининг ўзгариши хатоликларга олиб келади.

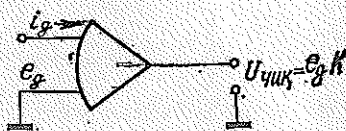
II — 1-расмда юқорида санаб ўтилган қурилмаларни ўз ичига олувчи АХМ блок-схемаси берилган.

II — 2-§. Амалий кучайтиргич

Амалий кучайтиргич (АК) кўпгина амалий блоklarнинг таркибий элементи ҳисобланиб, электр кучланишини кучайтириш учун хизмат қилади. II — 2-расмдаги амалий кучайтиргич схемасида ед — кириш

йўлидаги кучланиш, $U_{\text{чик}}$ — чиқиш йўлидаги кучланиш, κ — амалий кучайтиргичнинг кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти.

Аналог ҳисоблаш машиналарида ишлашда амалий кучайтиргичнинг қўйидаги хусусиятлари борлигини билиш муҳим ҳисобланади.



II — 2-расм.

1. АК кириш ва чиқиш йўлларидаги кучланишлар ишоралари ҳар хил. Бу муҳим хусусият ҳисобланиб, унга кучайтиргичларни лойиҳалашда амалий кучайтиргични атайин тоқ сонли (одатда учта) поғоналардан қуриш йўли билан эришилади.

2. АКнинг кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти жуда катта: $\kappa \geq 4 \cdot 10^4$, баъзи юқори сифатли АХМларда бу катталиқ 10^8 га етади.

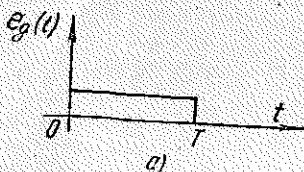
3. АКнинг чиқиш йўлидаги кучланишнинг ўзгариш соҳаси — $E_{\text{мах}} \leq U_{\text{чик}} \leq E_{\text{мах}}$ диапазон билан чегараланган. Машина ўзгарувчилари ўзгариш интервалларининг чегараланганлиги масалани АХМда ечишга тайёрлашда математик ўзгарувчиларни шундай масштаблашни талаб қиладики, бунда уларга мос келувчи электр кучланишлари шу диапазондан чиқиб кетмайдиган бўлиши лозим, чунки бу диапазондан ташқарида математик амаллар бажарилишида аниқсизликлар киритувчи чизиқли бўлмаган бузилишлар пайдо бўлади. Одатда, лампали АХМларда $E_{\text{мах}} = 100$ В, ярим ўтказгичларда эса 10 В ёки 50 В.

4. АКнинг кириш йўли (a нуқта) «потенциал ерга уланган». Бу сўз бирикмаси кучайтиргичнинг кириш йўли кучланиши жуда кичиклигини ва a нуқтанинг электр потенциали схеманинг «ер» деб аталувчи умумий нуқтаси потенциалига тажрибада мос келишини билдиради. a нуқта потенциалининг сони қийматини баҳолаш учун $U_{\text{чик}} = -e_g \kappa$

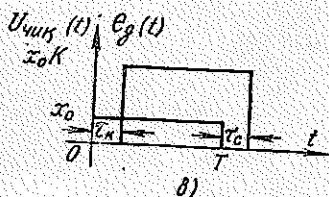
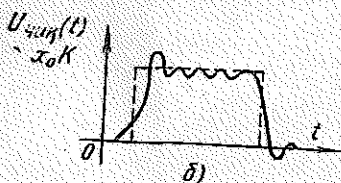
ифодадан фойдаланамиз. Бундан $e_g = -\frac{U_{\text{чик}}}{\kappa}$. Чиқиш йўли кучланишининг энг катта қиймати $U_{\text{чик}} = 100$ В ва кучайтириш коэффициенти-нинг энг кичик қиймати $\kappa = 4 \cdot 10^4$ га кўра $e_g = -2,5$ мВ ни оламиз.

5. АК шундай лойиҳаланганки, унда кириш йўли токи i_g тажрибада нолга тенг, яъни биринчи поғона ток ишлатмайди. Кириш йўли токи Ом қонуни бўйича ҳисобланади: $i_g = \frac{e_g}{R_{\text{кир}}}$ ва АКнинг кичик бўлган кириш йўли кучланиши $e_g(t)$ ҳамда жуда катта кириш йўли қаршилиги $R_{\text{кир}}$ ларга боғлиқ бўлади. $R_{\text{кир}}$ нинг сон қиймати АКнинг кириш йўли контактлари орасидаги изоляция қаршилиги билан аниқланади.

6. АК инерцион хусусиятга эга. Бу хусусият $U_{\text{чик}}(t)$ чиқиш йўли ўзгарувчиси $e_g(t)$ кириш йўли ўзгарувчисининг оний ўзгаришини қайтармаслигида кўринади. Ўзгарувчанлар орасидаги бу тафовут кириш йўли кучланишининг ўзгариш тезлиги ошиши сари кучаяди. II — 3-расм a да кириш йўли ўзгарувчиси тўғри тўртбурчаклик зина шаклида кўрсатилган



$$e_g(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ x_0 & 0 \leq t \leq T \\ 0 & t > T \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{учун,} \\ \text{учун,} \\ \text{учун.} \end{array}$$



П-3- расм.

Кучайтиргичнинг x_0 к чиқиш йўли катталлиги бирданига эмас, балки бирор вақт ўтгандан сўнг пайдо бўлади (П-3-расм, б). Ундан ташқари, чиқиш йўли ўзгарувчисининг шакли кириш йўли ўзгарувчисининг шаклидан фарқ қилади. Бунинг сабаби шундан иборатки, $U_{чик} = -e_g$ к кўринишдаги кириш ва чиқиш йўллари ўзгарувчиларининг боғлиқлиги тақрибийдир ва $e_g(t)$ ўзгариш тезлиги камайган сари аниқроқ бўлаверади. АКнинг электрон схемасидаги электрик процессларнинг ба- тафсил тадқиқоти чиқиш йўли билан кириш йўли ўзгарувчиларини боғловчи дифференциал тенгламага олиб келади.

Кучайтиргичнинг инерцион хусусиятини АК «кечкикиш» ҳамда «сўнгги таъсир» хусусиятларига эга деган ҳолда тақрибан ҳисобга олиш мумкин, П-3-расм, в да шундай идеаллашган тақрибий кўриниш берилган. Чиқиш йўли ўзгарувчиси кириш йўли ўзгарувчисини бирор τ_k кечикиш билан шакл бўйича тақлид этади. Кириш йўли ўзгарувчиси таъсири тугагандан сўнг (T вақт пайтида) ҳам АКнинг чиқиш йўлида бирор τ_c вақт давомида кучланиш сақланади. Бу вақт ораллиги «сўнгги таъсир» вақти деб аталади.

7. Кўпгина АКларда «ноль дрейфи» кучланиши мавжуд. Бу кучланиш чиқиш йўли кучланишининг ҳатто кучайтиргич кириш йўли қисқичлари қисқа туташганида (яъни $e_g = 0$) ҳам секин ўзгаришида намоён бўлади. Лампа эмиссион қобилиятининг, манба номиналининг, температуранинг, атроф-муҳит намлигининг ўзгаришлари ва бошқа бир қанча факторлар «ноль дрейфи» сабабчилари ҳисобланади. «Ноль дрейфи» АХМда ҳисоблаш хатоликлари манбаидир. Масалаларни АХМларда ечишда вақт-вақти билан кучайтиргичлар нолининг кетишини текшириб туриш ва керак бўлган ҳолларда олдиндан кўзда тутилган махсус қурилмалар ёрдамида нолга келтириш лозим. Катта бўлмаган аниқликка эга бўлган АХМ учун чиқиш йўлида ноль дрейфи 10 минут ичида 1—2 мВ дан ошishi керак эмас. Ноль дрейфи пайдо бўлмайдиган АКлар схемалари ҳам мавжуддир.

Бундан кейин блоклар ёрдамида бажариладиган математик амалларни аниқлаш мақсадида амалий кучайтиргичли АХМ блокларида электрик процессларни тадқиқот қилиш масаласи туради. Математик тавсифни соддалаштириш мақсадида АК ишлаши тақрибан, идеаллашган ҳолда ҳисобга олинади. Кўпинча АКни чексиз катта кучайтириш

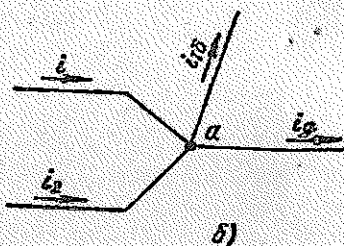
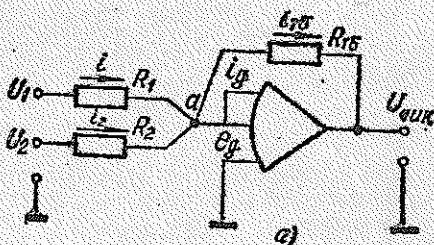
коэффициентига эга, инерцион хусусиятга ва ноль дрейфига эга эмас деб ҳисоблаймиз. Сўнгра бундай идеаллаштириш юзага келтириладиган хатоликлар ўрганилади.

II — 3-§. Жамлаш блоки.

II — 4-расмдаги электрик схема кириш йўллари кучланишларини бир вақтда бирорта ўзгармас коэффициентларга кўпайтирилган ҳолда жамлашга имкон беради. Бу хусусиятни схемадаги электрик процессни таҳлил қилиш асосида кўрсатамиз ҳамда коэффициентлар қийматини схема элементлари параметрлари орқали аниқлаймиз.

Схема иккита кириш ва битта чиқиш йўлига эга. U_1 ва U_2 кириш йўллари кучланишлари R_1 ва R_2 резисторлар орқали АК кириш йўлига берилади. АК R_{16} резистор ёрдамида манфий тескари боғланиш билан қамраб олинган.

Умуман, агар чиқиш йўли ўзгарувчиси яна схеманинг кириш йўлига берилса, бу схема тескари боғланиш билан қамраб олинган дейилади. Чиқиш йўли катталигини кириш йўлига узатувчи элементлар тўплами тескари боғланиш занжирини ҳосил қилади. Бизнинг ҳолда тескари боғланиш занжири хизматини R_{16} резистор бажаради. Чиқиш йўлидан кириш йўлига берилувчи ўзгарувчи кириш йўли кучлани-



II - 4 = расм.

шининг натижавий катталигини кўпайтирса, боғланиш мусбат дейилади. Кириш йўли ўзгарувчисининг натижавий катталигини камайтиришга олиб келадиган тескари боғланиш манфий деб юритилади. Кўрилатган ҳолда тескари боғланиш манфий, чунки АК ишора ни тескари-сига ўзгартириш (инвертирлаш) хусусиятига эга.

Схеманинг II — 4-расм, б да каттароқ кўрсатилган а тугунини батафсил кўриб чиқамиз. Электр занжирининг ҳар қандай тугуни учун Кирхгоф қонунини татбиқ этиш мумкин. Бу қонунга мувофиқ тугунга оқиб кираётган тоқларнинг алгебраик йиғиндиси нолга тенг. Шунга биноан а тугун учун қуйидаги тоқлар тенгламасига эга бўламиз:

$$i_{16} + i_g = i_1 + i_2,$$

бу ерда i_{16} — а тугундан R_{16} тескари боғланиш резистори орқали ўтаётган ток; i_{16} — а тугундан АК кириш йўлига ўтаётган ток; i_1 — R_1 резистор орқали ўтаётган ток; i_2 — R_2 резистор орқали ўтаётган ток.

Энди ҳар бир токни резистор қаршилиги ва улар учларидаги потенциаллар орқали Ом қонуни бўйича ифодалаймиз:

$$\frac{eg - U_{\text{чик}}}{R_{\text{тб}}} = \frac{U_1 - eg}{R_1} + \frac{U_2 - eg}{R_2},$$

бу ерда $eg = -\frac{U_{\text{чик}}}{\kappa} \approx 0$ — АК кириш йўлларидаги кучланиш. $e_d = 0$ қийматини қўйсак, қуйидаги келиб чиқади:

$$U_{\text{чик}} = -\frac{R_{\text{тб}}}{R_1} U_1 - \frac{R_{\text{тб}}}{R_2} U_2, \quad (\text{II} - 1)$$

Агар $\alpha_1 = \frac{R_{\text{тб}}}{R_1}$, $\alpha_2 = \frac{R_{\text{тб}}}{R_2}$ деб белгиласак, у ҳолда

$$U_{\text{чик}} = -(\alpha_1 U_1 + \alpha_2 U_2).$$

Шундай қилиб, II — 4-расмдаги схема U_1 , U_2 ўзгарувчиларни α_1 , α_2 ўзгармас коэффициентларга кўпайтирган ҳолда жамлашни амалга оширишligи исботланди.

Энди кириш йўллари сони n га тенг бўлган умумийроқ жамлаш схемасини кўрамиз. Бундай схема учун тоқлар тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$\sum_{j=1}^n \frac{U_j - eg}{R_j} = \frac{eg - U_{\text{чик}}}{R_{\text{тб}}} \quad (\text{II} - 2)$$

$eg \approx 0$ ни ҳисобга олган ҳолда кўпайтмалар йиғиндиси кўринишидаги математик ифодани ҳосил қиламиз:

$$U_{\text{чик}} = -\sum_{j=1}^n \alpha_j U_j \quad (\text{II} - 3)$$

бу ерда $\alpha_j = \frac{R_{\text{тб}}}{R_j}$ — j -кириш йўли бўйича узатиш коэффициенти деб аталади. Шунга эътибор бериш керакки, жамлагичнинг узатиш коэффициенти ўлчовсиз катталик бўлиб, қаршилиқлар нисбати кўринишида ифодаланади.

Узатиш коэффициентини бошқача, яъни қаршилиқлар орқали эмас, балки жамлагичнинг кириш ва чиқиш йўллари кучланишлари орқали ифодалаш мумкин. Агар жамлагичнинг биттасидан ташқари ҳамма кириш йўллари кучланишлари нолга тенг бўлса, яъни

$$U_j = \begin{cases} 0 & j \neq m, \\ U_m \neq 0 & j = m, \end{cases}$$

бўлса, у ҳолда (II — 3) формула $U_{\text{чик}} = -\alpha_m U_m = -\alpha_m U_{\text{кыр}}$ га ўзгаради, ундан

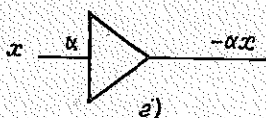
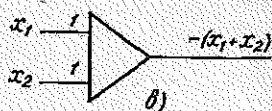
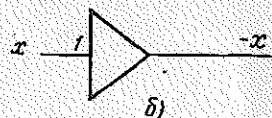
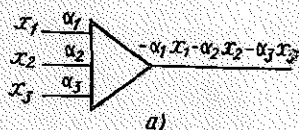
$$\alpha_m = \left| -\frac{U_{\text{чик}}}{U_{\text{кыр}}} \right|$$

Бошқа сўз билан айтганда, жамлагичнинг бирор кириш йўли бўйича узатиш коэффициенти қолган бошқа кириш йўли кучланишларининг нолга тенглиги шарида чиқиш йўли кучланишининг кириш йўли кучланишига нисбатининг абсолют қийматиدير.

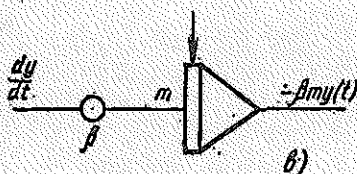
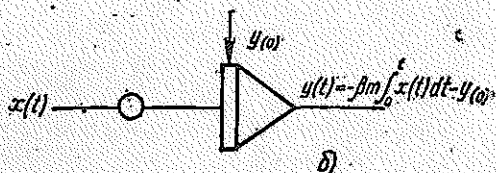
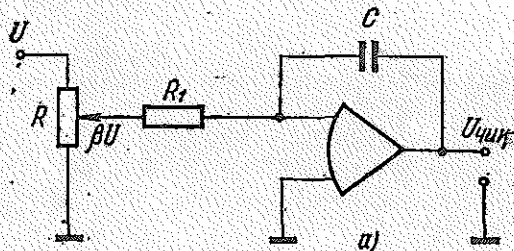
Структуравий схемаларда жамлагич II — 5-расмда кўрсатилганидек учбурчаклик шаклида тасвирланади. II — 5-расм *a* да учта кириш йўлли жамлагич берилган. Узатиш коэффициенти ҳар бир кириш йўли атрофида кўрсатилади. II — 5-расм, *b* даги схеманинг узатиш коэффициенти бирга тенг, шунинг учун у схема кириш йўли ўзгарувчиси ишорасини ўзгартиради, холос. Масалани АХМда ечилаётганда бирорта ўзгарувчининг ишорасини ўзгартиришга тез-тез эҳтиёж туғилиб туради. Шунинг учун ҳар бир схема ҳатто махсус — инвертор номини олган. Инвертордан фойдаланиб, айириш амалини доимо қўшиш амалига келтириш мумкин. II — 5-расм, *c* да иккита кириш йўлига эга бўлган жамлагич кўрсатилган. II — 5-расм, *e* да битта кириш йўлли схема тасвирланган. Бу кириш йўли ўзгарувчисини ўзгармас коэффициентиға қўпайтиришни бажарувчи схема масштаб кучайтиргич деб аталади.

II — 5-расмдаги жамлагичларнинг узатиш коэффициентлари ўзгармас, белгиланган сонлар. Жамлагичнинг бирорта кириш йўли бўйича эркин узатиш коэффициентини олиш учун шу кириш йўлиға потенциометрни II — 6-расм, *a* дагидек улаш керак.

Кириш йўлида потенциометри бўлган жамлагичнинг ишлашини кўриб чиқамиз. Кириш йўли кучланиши потенциометр ёрдамида



II - 5 = расм.



II - 6 = расм.

$\frac{r}{R}$ — нисбатда бўлинади, бу ерда R — потенциометрнинг тўла қаршилиги r — умумий нуқтадан потенциометр сурилмасигача бўлган бўлакнинг қаршилиги. Потенциометрнинг чиқиш йўлидаги кучланиши кейинги схема учун кириш йўли кучланиши ҳисобланади, яъни кучайтиргичнинг чиқиш йўлида $U_{\text{чик}} = -\frac{r}{R} \cdot \frac{R_{\text{т6}}}{R_1} U$ ёки $U_{\text{чик}} = -\beta \alpha U$ кучланишга эга бўламиз, бу ерда $\beta = \frac{r}{R}$ — потенциометрнинг узатиш коэффициенти деб аталади. Сурилманинг ўрнига қараб β катталик $0 \leq \beta \leq 1$ оралиқда ўзгаради. Жамлагичнинг умумий узатиш коэффициенти потенциометр билан бирга $0 \leq \alpha\beta \leq \alpha$ чегараларида ўзгаради.

Структуравий схемаларда потенциометр ҳалқача кўринишида тасвирланади, бу ҳалқача атрофига узатиш коэффициентининг қиймати ёзиб қўйилади. II — 6-расмда мисол тариқасида кириш йўлида потенциометри бўлган жамлагичлар кўрсатилган. Агар жамлагичда кириш йўллари сони n та ва ҳар бир кириш йўлида потенциометр бўлса, бу жамлагич қуйидаги ифодани бажаради:

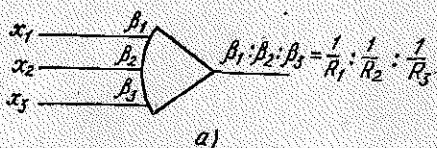
$$U_{\text{чик}} = - \sum_{j=1}^n \beta_j \alpha_j U_j \quad (\text{II} - 4)$$

Манфий тескари боғланиш билан қамраб олинган АК жуда муҳим бир хусусиятга эга, у ҳам бўлса кучайтиргич кириш йўли ўзгарувчиларининг алгебраик йиғиндиси нолга тенгличададир. Бунда кучайтиргич манфий тескари боғланиш занжири бўйича чиқиш йўлидан кириш йўлига ўтувчи ўзгарувчига нисбатан ошкор бўлмаган тенгламани ечади. Бу хусусиятни қандай намоён бўлишини кўриш учун (II — 1) тенгламани қуйидаги кўринишга келтириш кифоя:

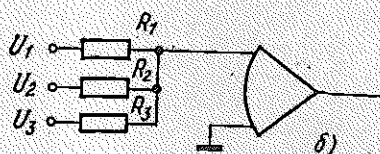
$$\frac{U_{\text{чик}}}{R_{\text{т6}}} + \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} = 0 \quad (\text{II} - 5)$$

Бу тенглама кириш йўли ўзгарувчиларининг алгебраик йиғиндисидан иборат бўлиб, $U_{\text{чик}}$ га нисбатан ошкор бўлмаган шаклга эга.

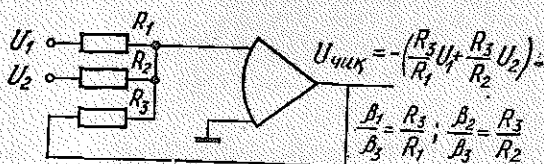
Кўпинча кучайтириш коэффициенти катта бўлган кучайтиргичлардан АҚМлар схемаларида мустақил фойдаланилади ва структуравий схемаларда II — 7-рasm, а дагидек белгиланади. Бу АКнинг қандайдир бошқа амалий блокнинг таркибий қисми эмаслигини ва алоҳида амалий блок вазифасини бажаришини билдиради. Ҳар қандай амалий блок каби АК бу ҳолда мустақил ҳисоблаш функциясига эга, яъни АК кириш йўллари кучланишлари йиғиндисининг ишораси тескарисига ўзгартирилади ва узатиш коэффициентида кўпайтирилади. Бошқача сўз билан айтганда, АК масштаб кучайтиргичи хизматини бажаради.



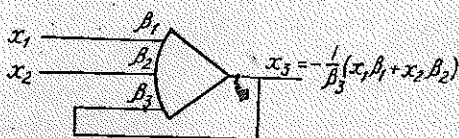
a)



б)



б)



в)

П-7 = расм.

П-7-расм, б да П-7-расм, а даги схеманинг эквиваленти берилган. $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ коэффициентлар қуйидаги нисбатларни қаноатлантиради:

$$\beta_1 : \beta_2 : \beta_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

Агар П-7-расм, а дагидек АК чиқиш йўлидан манфий тескари боғланиш ташкил қилинса, иккита кириш йўлли жамлагич ҳосил қилинади. Бунда тескари боғланиш резистори вази-фасини кириш йўлидаги R_3 резистор бажаради. АХМларда тескари боғланиш резистори вази-фасини кириш йўли резисторларидан бири бажарувчи бундай жамлагич П-7-расм, а да тас-вирланган.

П-4§. Интеграллаш блоки.

П-8-расмда тасвирланган схема $U(t)$ кучланишнинг кириш йўли катталигини t ўзгарувчи бўйича интеграллашни бажаришини исботлаймиз, бу ерда t — физикавий катталиқ — вақт.

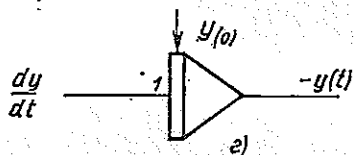
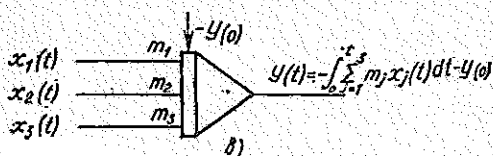
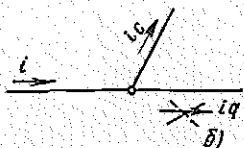
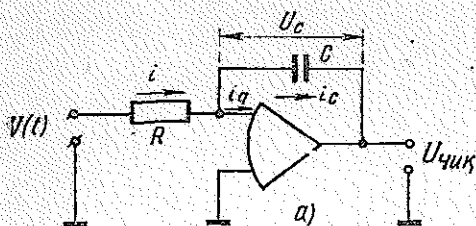
Схема С сиғимли конденсатор воситасида манфий тескари боғланиш орқали қамраб олинган АКдан иборатдир, $U(t)$ кириш йўли ўзгарувчиси R резистор орқали бериледи.

Физиканинг «Электр» бўлиmidан иккита муҳим ҳолни эслаймиз: Q — конденсатор заряди катталиги (электр миқдори) конденсаторнинг сиғимига ҳамда конденсаторга қўйилган U_c кучланишга тўғри пропорционал: $Q = C U_c$; i — электр ток электр миқдорининг ўзгариш тезлигидан иборат:

$$i = \frac{dQ}{dt}$$

П-8-расм, а даги схемада С конденсатор орқали ўтаётган ток қуйидагича ифодаланади:

$$i_c = \frac{dQ}{dt} = C \frac{d(eg - U_{\text{чирк}})}{dt}$$



II-8 = расм.

Кирхгоф қонунига мувофиқ a нуқта учун тоқлар тенгламаси $i = i_c$ ни ёзиш мумкин. Тоқларни кучланиш орқали ифодалаймиз:

$$\frac{U_{\text{кпр}} - eg}{R} = C \frac{d(eg - U_{\text{чик}})}{dt} \quad (\text{II} - 6)$$

бу ерда $eg = -U_{\text{чик}}/\kappa = 0$.

$eg = 0$ қийматни (II-7) га қўйиб, $U_{\text{чик}}(t)$ га нисбатан дифференциал тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\frac{dU_{\text{чик}}(t)}{dt} = -m U_{\text{кпр}}(t), \quad (\text{II} - 8)$$

бу ерда $m = \frac{1}{RC}$. II-8-расмдаги схеманинг чиқиш йўлидаги катталиқ $U_{\text{чик}}(t)$ бўлгани учун (II-8) тенгламани эквивалент интеграл шаклида ёзиш мақсадга мувофиқдир:

$$U_{\text{чик}}(t) = -m \int_0^t U_{\text{кпр}}(t) dt + U_0, \quad (\text{II} - 9)$$

бу ерда m — интеграллаш доимийси.

Шундай қилиб, II-8-расм, a даги схема ҳақиқатан ҳам кириш йўли ўзгарувчисини t (вақт) ўзгарувчи бўйича интеграллашни бажаради ёки, бошқача қилиб айтганда, (II-8) дифференциал тенгламанинг ечимини тиклайди. Интеграллаш доимийсининг математикавий ва физикавий маъноларини аниқлаймиз. Бунинг учун чиқиш йўли кучланишининг вақт пайти нолга тенг бўлгандаги қийматини кўриб чиқамиз

$$U_{\text{чик}}(0) = -m \int_0^0 U_{\text{кпр}}(t) dt + U_0$$

ёки

$$U_{\text{чик}}(0) = U_0.$$

Демак, математика нуқтаи назардан интеграллаш доимийси $U_{\text{чик}}(t)$ ўзгарувчининг вақт пайти нолга тенг бўлганидаги қийматидир. Физикавий нуқтаи назаридан эса $t = 0$ пайтда кучайтиргичнинг чиқиш

йўлида чекланган кучланишнинг пайдо бўлиши конденсаторнинг олдиндан U_0 кучланишига зарядланганлигини билдиради.

Энди интеграллашнинг умумийроқ схемасини кўриб чиқамиз. Интегратор n та кириш йўлига эга бўлсин ва уларга $U_1, U_2, \dots, U_j, \dots, U_n$ кучланишлар таъсир қилсин. Кирхгоф қонунига мувофиқ қуйидаги тоқлар тенгламаси ўринлидир:

$$\sum_{j=1}^n \frac{U_j - e_d}{R_j} = C \frac{d(e_d - U_{\text{чик}})}{dt}. \quad (\text{II} - 10)$$

e_d катталиқ кичик, шунинг учун $U_{\text{чик}}(t)$ қуйидаги дифференциал тенгламани қаноатлантиради:

$$\frac{dU_{\text{чик}}}{dt} = - \sum_{j=1}^n \frac{U_j(t)}{R_j C} \quad (\text{II} - 11)$$

(II — 11) тенгламани интеграллаймиз

$$U_{\text{чик}}(t) = - \int_0^t \sum_{j=1}^n m_j U_j(t) dt + U_0 \quad (\text{II} - 12)$$

ёки интегралнинг чиқиқилиги сабабли,

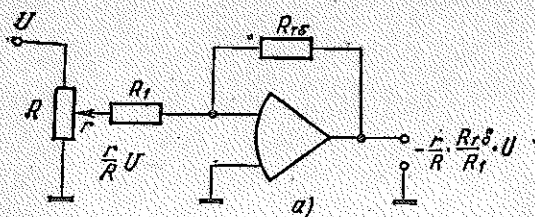
$$U_{\text{чик}}(t) = - \sum_{j=1}^n m_j \int_0^t U_j(t) dt + U_0, \quad (\text{II} - 13)$$

бу ерда $m_j = \frac{1}{R_j C}$ интеграторнинг j -кириш йўли бўйича узатиш коэффициентини деб аталади. (II — 12) ва (II — 13) формулалардан келиб чиқадики, бир неча кириш йўлли интегратор интеграллаш амали билан бир вақтда жамлашни ҳам бажаради. Структуравий схемаларда интеграторларни II — 5-расм, в ва II — 8-расм, г лардагидек белгилаш қабул қилинган.

Интеграторнинг узатиш коэффициентини жамлагич узатиш коэффициентидан фарқли ўлароқ $[m^{-1}]$ катталиқка эга, чунки R нинг катталиги $[Ом]$, C нинг катталиги эса $[m \cdot A \cdot B^{-1}]$ яъни (тезлик, Ампер, Вольт $^{-1}$). Интеграторнинг бундай узатиш коэффициенти m , коэффициентлар қиймати катталигининг интеграллаш муддати билан боғлиқлигини кўрсатади. Интеграторнинг узатиш коэффициенти интегратор чиқиш йўли кучланишининг ўзгаришига таъсир қилади.

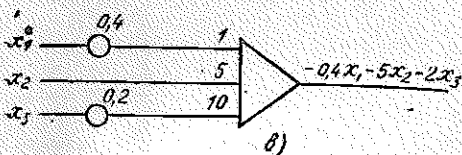
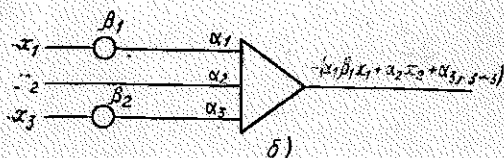
Жамлагич кириш йўлига уланганидек, интегратор кириш йўлига потенциометр улаш ёрдамида узатиш коэффициентининг бирорта белгиланган диапазондаги ҳар қандай сон қийматини ўрнатиш мумкин. Интегратор кириш йўлида β узатиш коэффициентига тенг бўлган потенциометр бўлса, натижавий узатиш коэффициенти $m\beta$ бўлади (II — 9-расм), бу ерда $0 \leq \beta \leq 1$. Структуравий схемаларда потенциометрли интеграторлар II — 9-расм, б, в дагидек тасвирланади.

АХМларда ишлаганда интеграторнинг узатиш коэффициентини, интеграллашнинг бошланғич шартларини бера билиш ҳамда интегра-



торнинг ҳар хил режимларда ишлаш хусусиятларини тушуна билиш лозим. Бу ҳақда батафсил тўхтаб ўтамиз.

1. Коэффициентларни ўрнатиш режими. Интеграторнинг талаб қилинган узатиш коэффициентларини ўрнатиш жамлагичнинг коэффициентларини ўрнатишдек бажарилади. Кириш йўлига қандайдир белгиланган $U_{\text{кпр}}$ кучланиши берилади, чиқиш йўлида эса потенциометр сурилмаси жойини ўзгартириб $mU_{\text{кпр}}$ кучланишга эришилади, бу ерда m — талаб қилинган коэффициент. Бу режимда интегратор автоматик равишда ёки оператор ёрдамида жамлагичга айланади (II—10-рasm), яъни интеграторнинг тескари боғланиш

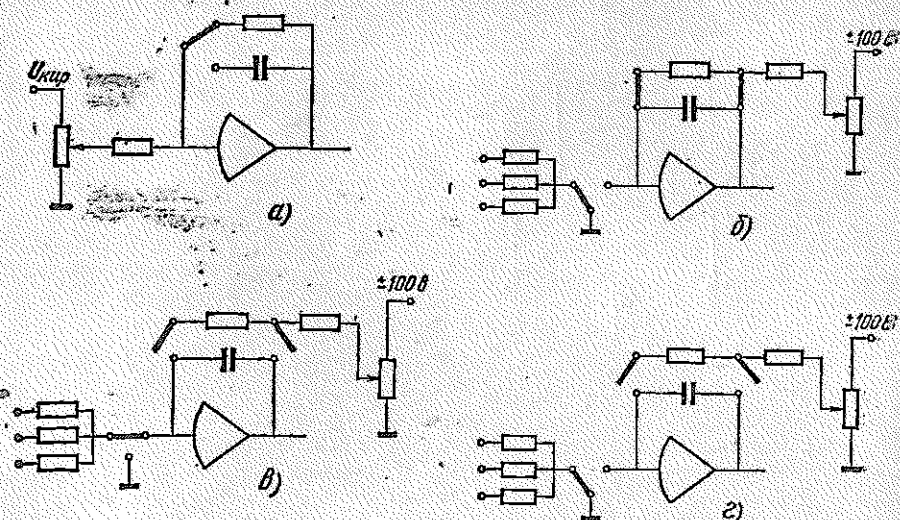


II—9-рasm.

конденсатори шундай узатиш коэффициентининг сон қийматини таъминловчи қаршиликка эга бўлган резистор билан алмаштирилади. Бу маънода 1 мкФ сифимли конденсатор 1 МОм қаршиликли резисторга эквивалентдир. Агар бундай интеграторни жамлагичга айлантириш бажарилмаса, интегратор чиқиш йўлидан чизикли ўсувчи, кириш йўли ўзгармас катталигининг интегралидан иборат кучланиш олинади. Бу шароитларда талаб қилинган узатиш коэффициентини ўрнатиш қийин.

2. Бошланғич шартларни бериш режими (дастлабки ҳолат режими). Бошланғич шартлар шу ном билан юритилувчи потенциометрлар ёрдамида берилади. Потенциометр чиқиш йўлидан олинadиган электр кучланиши конденсаторни талаб қилинган кучланиш катталигига зарядлайди. Интеграторнинг ишлашига бошқа схемаларнинг таъсирини йўқ қилиш учун ҳамма кириш йўлларидаги резисторлар узилади ва уларнинг умумий нуқтаси автоматик равишда ерга уланади (II—10-рasm, б). Интеграторнинг бошланғич шартлар ўрнатилган ва кириш йўлларидаги резисторлар узук вақтдаги ҳолати интеграторнинг дастлабки ҳолати дейилади.

3. Интеграллаш режими. «Пуск» сигнали бўйича бошланадиган бу режимда бошланғич шартлар берувчи потенциометрлар автоматик равишда узилиб, кириш йўлларидаги резисторлар кучайтиргичга уланади (II—10-рasm, в) ва интеграллаш процесси бошланади.



II—10- расм.

4. Ечимни қайд этиш режими. Бу режимга биноан интеграллаш процесси тўхтатилади ва ўзгарувчиларнинг қийматлари тўхтатиш пайтида қандай бўлса, шундайлигича сақланади. Ечимни қайд қилиш режимида оператор машина ўзгарувчилари қийматини ўлчаши мумкин. Бу режимдан АХМ блокларининг уланиш схемасини ўзгартириш лозим бўлиб қолганда ҳам фойдаланилади. Интеграторларни бу режимга ўтказишда кириш йўли занжирлари автоматик равишда узилади, чиқиш йўли кучланишларининг қиймати ўзгармайди, конденсатор эса зарядланган ҳолда машина ўзгарувчиси қийматини сақлайди (II — 10-расм, г). «Пуск» сигнали бўйича интеграллаш процесси ечим қайд қилинган ҳолдан давом эттирилади. «Дастлабки ҳолат» сигнали бўйича машина бошланғич шартлар бериш режимига ўтади.

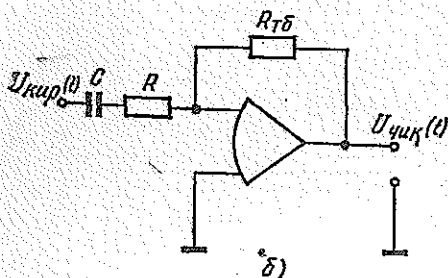
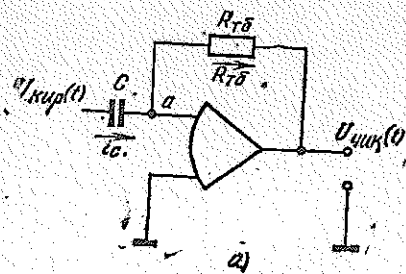
II — 5-§. Дифференциаллаш блоки.

II — 11-расм, а даги схема $U_{\text{кпр}}(t)$ кириш йўли ўзгарувчисини дифференциаллайди. Буни исботлаш учун а тугун учун Кирхгоф тенгламасини ёзамиз: $i_c = i_R$. Токларни уларнинг кучланишлари орқали ифодалари билан алмаштирсак, қуйидаги тенгламани оламиз

$$C \frac{d(U_{\text{кпр}} - e_g)}{dt} = \frac{e_g - U_{\text{чпк}}}{R}, \quad (\text{II} - 14)$$

$$e_g = -\frac{U_{\text{чпк}}}{R} \approx 0 \text{ ни ҳисобга олсак, қуйидаги ҳосил бўлади:}$$

$$U_{\text{чпк}}(t) = -RC \frac{dU_{\text{кпр}}}{dt} \quad (\text{II} - 15)$$



II—11-расм.

Шундай қилиб, II—11-расм, а даги схеманинг кириш йўли ўзгарувчисини дифференциаллаш қобилиятига эга эканлиги исботланди. Дифференциаллашнинг юқорида кўрилган схемасидан амалда кам фойдаланилади. Бунга асосий сабаб — дифференциаллаш амалининг номақбул хусусияти — ҳалақитларни кучайтиришдир.

Ҳақиқатан ҳам, реал кучланишларда ҳар доим ҳалақитларнинг юқори частотали ташкил этувчилари бўлади. Дифференциалловчи амалий кучайтиргич кириш йўли кучланишида $U_x = A \sin \omega t$ ҳалақитларининг юқори частотали ташкил этувчилари бўлсин деб фараз қилайлик. Унда ҳалақитлар таъсирида ҳосил бўлган мос чиқиш йўли кучланиши қуйидагича бўлади:

$$U_{\text{чнқ}} = -RC \frac{dU_x}{dt} = RC A \omega \cos \omega t, \quad (II-16)$$

яъни, масалан $RC = 1$ да чиқиш йўли кучланиши амплитудаси кириш йўли кучланиши амплитудасига нисбатан ω марта кўпаяди. Агар $A = 0,05$ В, $f = 100$ Гц, яъни $\omega = 2\pi f = 628$ с⁻¹ бўлса, $RC = 1$ да чиқиш йўлида ҳалақитлар амплитудаси 31,4 В ни ташкил этади. Шунинг ичун АХМ да ишлашда дифференциаллаш амалидан умуман фойдаланмасликка ҳаракат қилинади.

Амалда кўпроқ ишлатиладиган дифференциаллаш схемаларидан бири II—11-расм, б да кўрсатилган. Бу схемада конденсатор билан кетма-кет қилиб резистор уланган. Бу резисторнинг катта бўлмаган қаршилигида дифференциаллаш хатолиги деярли кўпаймайди, аммо бир вақтнинг ўзида юқори частотали ҳалақитларнинг кучланиши тушиши кўпаяди, бу эса чиқиш йўли ҳалақит кучланишларининг кескин камайишига олиб келади.

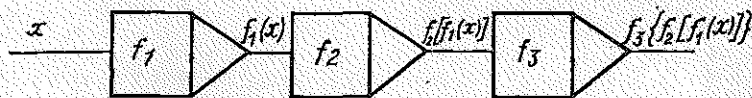
II — 6-§. Чизикли бўлмаган функциялар блоклари.

(функционал ўзгартгичлар)

Функционал ўзгартгичлар АХМларнинг бирор $y = f(x, z)$ функционал боғланишини очиқ кўринишда тиклаш блокларидир. Кўпгина АХМларда функционал ўзгартгичлар фақат битта ўзгарувчи функ-



a)



б)

П—12-расм.

цияни амалга оширади, чунки кўп ўзгарувчилардан ўзгартгичлар қуриш мураккабдир. Ўзгартгичлар П—12-расм, а да кўрсатилганидек белгиланади.

Ҳамма функционал ўзгартгичларни икки гурпуага ажратиш мумкин. Биринчи гурпуага берилган функционал боғланишни назарий аниқ тиклаш усули (шаблон усули) асосида қурилган функционал ўзгартгичлар қиради. Иккинчи гурпуага берилган функционал боғланишни тақрибан ифодалаш усули асосида қурилган функционал ўзгартгичлар қиради.

Иккинчи гурпуа функционал ўзгартгичлардан кенг ишлатиладигани — электрон функционал ўзгартгичлар тўғрисида батафсил тўхталиб ўтамыз. Бу функционал ўзгартгичларни қуришда чизиқли — бўлак ёки поғонали аппроксимация ёрдамида тақрибан боғлиқлик усулидан фойдаланилади. Функциянинг чизиқли — бўлак аппроксимациясига кўра аргумент ўзгаришининг диапазоли қисмларга бўлинади ва ҳар бир қисм ичида функция қийматининг аргумент қийматига ҳақиқий боғлиқлиги тақрибий чизиқли боғлиқлик билан алмаштирилади.

Агар бир аргументли чизиқли бўлмаган функция $y = f(x)$ берилган бўлса, уни бирор аниқлик билан қуйидаги кўринишда ифодалаш мумкин:

$$y = y_0 + b_0 x + \sum_{i=1}^n b_i (x - x_i^{\delta}), \quad (\text{П—17})$$

бу ерда y_0 — ўзгармас ташкил этувчи, b — чизиқли ташкил этувчининг ўзгармас коэффициенти.

$$b_i = \begin{cases} 0, & \text{агар } x \leq x_i^{\delta} \text{ бўлса,} \\ \text{const,} & \text{агар } x > x_i^{\delta} \text{ бўлса.} \end{cases}$$

x_i^{δ} — x нинг ҳар бир i -чизиқли қисмининг бошланишидаги қиймати.

П—13-расмда чизиқли бўлмаган функциянинг чизиқли-бўлак аппроксимациясига мисол келтирилган.

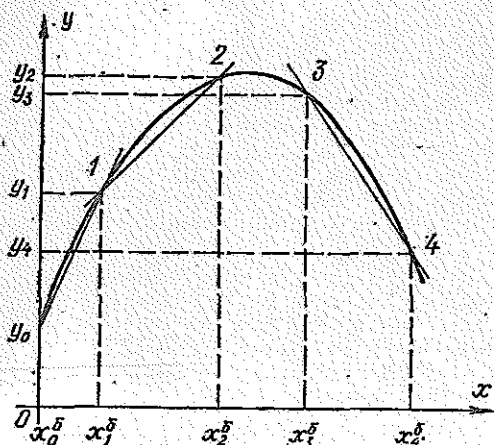
Чизиқли бўлмаган функциялар блокларида дастлабки ўзгарувчилар одатда, кучланиш кўринишида берилади ҳамда берилган функциялар кириш ва чиқиш йўллари кучланишлари орасидаги боғлиқлик кўрини-

шида тикланади, яъни $U_{\text{чик}} = f(U_{\text{кир}})$, U вақтда (II—17) боғлиқлик қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$U_{\text{чик}} = U_0 + A_0 U_{\text{кир}} + \sum_{i=1}^n \alpha_i (U_{\text{кир}} - U_{\text{кир}}^0), \quad (\text{II—18})$$

бу ерда

$A_0 = \frac{M_y}{M_x} B_0$, $\alpha_i = \frac{M_y}{M_x} b_i$, M_x , M_y — масштаб кўпайтирувчилари.



II—13-расм.

Блокда аппроксимацияланган функциянинг ҳар бир чизиқли қисмининг тикланиши алоҳида элементлар ёрдамида бажарилади ва бу элементларнинг чиқиш йўллари кучланишларини жамлаш орқали бутун функция ҳосил қилинади.

II—13-расм ва (II—18) ифодадан кўринадики, чизиқли бўлмаган функциялар блоки ўзининг таркибида қуйидагиларга эга бўлиши лозим:

1) U_0 — ўзгармас ташкил этувчини тиклаш элементи,

2) $A_0 U_{\text{кир}}$ — чизиқли ташкил этувчини тиклаш элементи,

3) аппроксимацияланган функциянинг $\alpha_i (U_{\text{кир}} - U_{\text{кир}}^0)$ чизиқли қисмларини тиклаш элементлари.

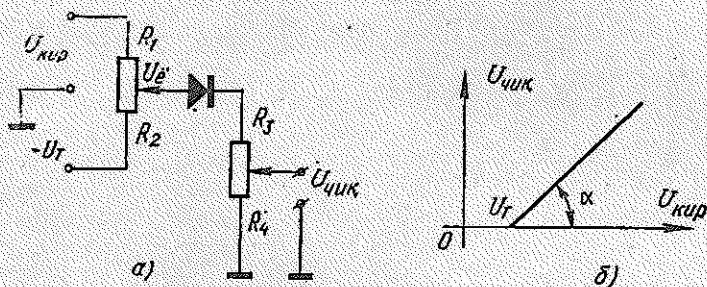
Аппроксимацияланган функциянинг чизиқли қисмларини тиклаш учун диод ўзгартгичлар кенг ишлатилади. II—14-расмда диод элементининг схемаси ва характеристикаси келтирилган. Кириш йўли кучланиши таянч кучланишидан кичик бўлган вақтларда диод анодининг кучланиши манфий бўлади. Диод берк ва чиқиш йўлида кучланиш ноль бўлади. Кириш йўли кучланишининг катталиги таянч кучланишига тенг ва ундан катта бўлган вақтларда диод очилади ва чиқиш йўли кучланиши кириш йўли кучланишига пропорционал ўзгаради. Ҳамма $U_{\text{кир}} > U_{\text{кир}}^0$ қийматлар учун кириш ва чиқиш йўллари кучланишлари орасидаги боғланиш қуйидаги кўринишда бўлади:

$$U_{\text{чик}} = \kappa U_{\text{кир}} - U_0, \quad (\text{II—19})$$

бу ерда

$$\kappa = t_g \alpha = \frac{R_2 R_4}{R_1 (R_3 + R_4) + R_2 (R_1 + R_2 + R_4)} \quad (\text{II—20})$$

$$U_0 = \frac{R_1 R_4}{R_1 (R_3 + R_4) + R_2 (R_1 + R_3 + R_4)} U_1$$

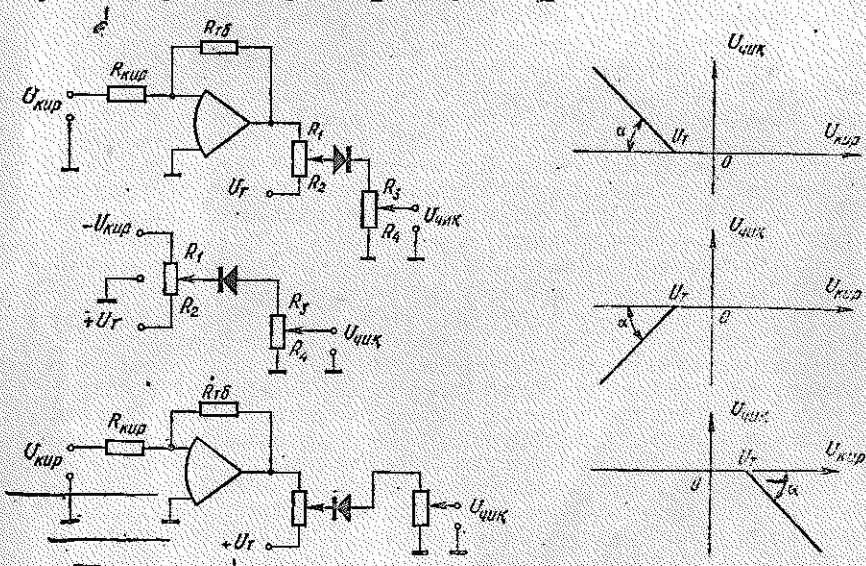


II—14-расм.

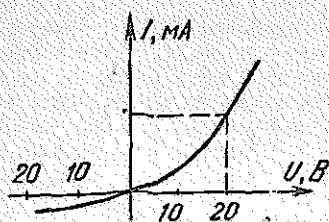
(II—19) формулани ҳосил қилишда диод характеристикаси идеал деб фараз қилинган, яъни диод $U_a = 0$ да очилади, $U_a < 0$ бўлганда $R_d = \infty$, $U_a > 0$ бўлганда $R_d = 0$.

Диод элементи характеристикасининг қиялигини R_3 ва R_4 резисторларнинг қаршиликларини ўзгартириш йўли билан янгилаш мумкин. Шундай қилиб, кўриб чиқилган диод элементи ёрдамида функциянинг биринчи квадрантда ётувчи қисmini тиклаш мумкин.

Иккинчи, учинчи ва тўртинчи квадрантларда характеристикаларни олиш учун кириш йўли сигнал ишорасини ўзгартириш (инвертирлаш) ёки чиқиш йўлида манфий потенциал бўлишини таъминлаш керак. Бунга диод, кириш йўли ва таянч кучланишларнинг тегишлича ула-ниши билан эришилади. Диод элементлари ва уларга тегишли харак-теристикалар II—15-расмда келтирилган.

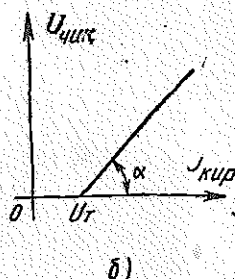
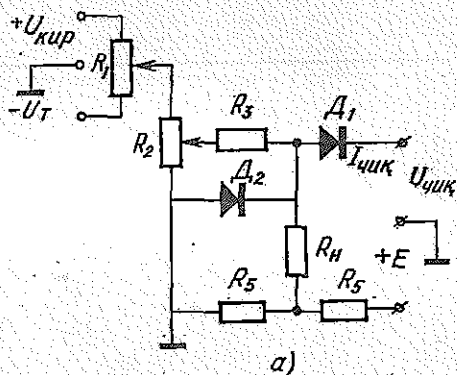


II—15-расм.



II—16-расм.

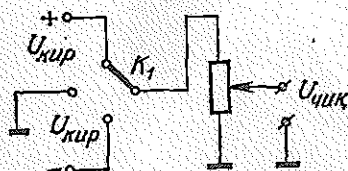
Агар диод элементларида ярим ўтказгичли диодлардан фойдаланилса, схемалар мураккаблашади, чунки уларда тескари ўтказувчанлик тоқларини четлаштиришни таъминлаш лозим (II—16-расм). II—17-расмда ярим ўтказгичли диод асосида йиғилган диод элементининг схемаси ва унинг характеристикаси келтирилган. D_1 диод—асосий, D_2 —ёрдамчи ҳисобланади. Схеманинг ишлашини кўриб чиқамиз. Агар A нуқтанинг потенциали нолдан катта бўлса, D_1 диоддан ток ўтади. Бунда ёрдамчи D_2 диодга қўйилган кучланиш ва бу диоднинг тескари токи ҳам кичик бўлади. Агар A нуқтанинг потенциали нолдан кичик бўлса, ёрдамчи D_2 диод очилади. Бу вақтда асосий D_1 диод R_5, R_6 бўлувчидан R_4 орқали берилаётган мусбат кучланиш ҳисобига берк бўлади. Бу ҳол бўлувчи диод вольт-ампер характеристикасининг бошланишидаги чизикли бўлмаган қисмини чиқариб ташлашга имкон беради.



II—17-расм.

Диод элементининг кўриб чиқилган схемаси адабиётда кўпинча «диодлари потенциал ерга уланган схема» деб аталади.

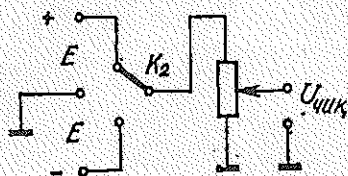
Блокда $A_0 U_{kup}$ чизикли ташкил этувчини тиклашда II—18-расмда тасвирланган схемадан фойдаланилади. Ўзгармас ташкил этувчи эса II—19-расмда берилган схема орқали тикланади.



II—18-расм.

K_1 ва K_2 калитларнинг вазиятига қараб чизикли ташкил этувчи ва U_0 ўзгармас ташкил этувчиларнинг ишоралари тегишлича ўзгаради.

II—20-расмда универсал электрон функционал ўзгартичнинг структураси



II—19-расм.

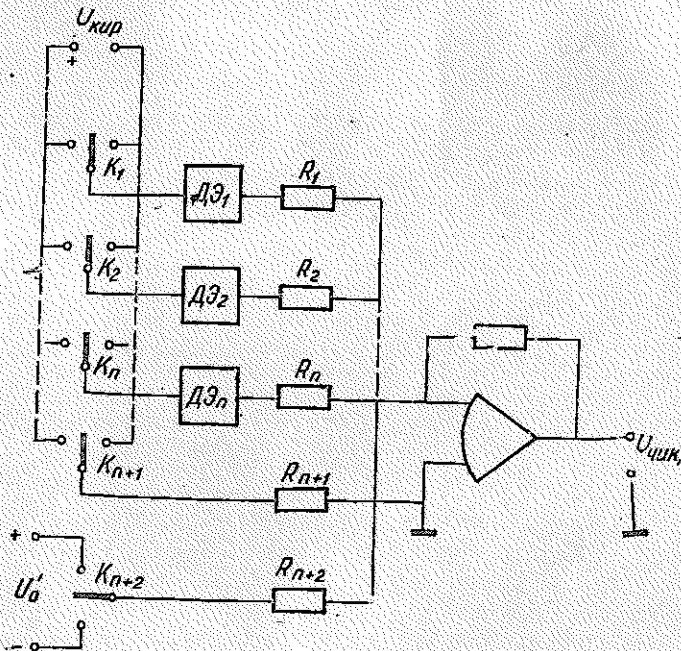
вий схемаси келтирилган. Бу функционал ўзгартгич (II — 18) ифода орқали тавсифланган [характеристикани тиклайди. Схема уч группа элементларидан иборат, уларнинг ҳар бири мос ҳолда (II — 18) тенгламанинг ўнг томонидаги биринчи, иккинчи ва учинчи ҳадларни тиклайди. Чиқиш йўли кучланиши ҳамма уч группа элементларининг чиқиш йўли кучланишларини жамловчи кучайтиргичдан олинади.

Биринчи группа U_0^1 кучланиш манбаи ва кучайтиргичнинг чиқиш йўлида U' нинг ишорасини ўзгартиришга хизмат қилувчи K_{n+2} калитдан иборат⁰. $\frac{R_0}{R_{n+2}}$ нисбатнинг қиймати $\frac{R_0}{R_{n+2}} U_0^1 = U_0$ бўладиган қилиб танлаб олинади.

Иккинчи группа кучайтиргичнинг махсус кириш йўлига керакли қутбликдаги $U_{квр}$ ни улайдиган K_{n+2} калитдан иборат.

$\frac{R_0}{R_{n+1}}$ нисбатнинг катталиги A_0 га тенг қилиб олинади ва жамлагич чиқиш йўлида $A_0 U_{квр}$ чизикли ташкил этувчи ҳосил қилинади.

Учинчи группа диод элементларидан ташкил этилади. Диод эле-



II—20-расм.

ментларининг кириш йўлларига $\pm U_{\text{ксп}}$ кучланиши берилади. Бу кучланиш диодлар уланиш қутбларининг ўзгариши билан биргаликда диод элементининг ҳар қандай квадрантда ишлашини таъминлайди. Ҳар бир диод элементи $\sum_{i=1}^n \alpha_i (U_{\text{ксп}} - U_{\text{ксп}i}^0)$ йиғиндининг битта ҳадини тиклай.

ди, яъни аргумент x нинг мумкин бўлган бўлиниш қисмларининг бирида ишлайди. $\frac{R_0}{R_i} (i=1, 2, \dots, n)$ нисбатни танлаш α_i коэффициентларининг керакли қийматларини таъминлайди.

Электрон функционал ўзгартгичнинг асосий характеристикаси берилган функцияни тиклашнинг ҳатолиги ҳисобланади. Бу ҳатолик қуйидаги асосий ташкил этувчилардан иборат бўлади:

1) кириш йўли сигналидаги ҳатоликлар;

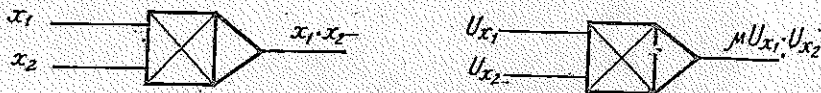
2) берилган чизиқли бўлмаган функцияни аппроксимациялашдаги ҳатоликлар;

3) аппроксимацияланган функцияни тиклаш ҳатоликлари.

Электрон функционал ўзгартгичларни ишлатиш тажрибаси аксариyat функционал боғланишлар $1 \div 1,5\%$ ҳатолик билан тикланишлари мумкинлигини кўрсатди. Аниқликни ошириш аргумент бўлиниши қисмлари сонининг кескин ошишига олиб келади ҳамда функционал ўзгартгичларда барқарорроқ элементларнинг ишлатилишини талаб қилади. Бу эса блок тузилишини анчагина мураккаблаштиради. Аргумент бўлиниш қисмлари сонининг кўпайиши ўз қаторида йиғинди ҳатоликларининг ошишига олиб келади.

II—7-§. Кўпайтириш ва бўлиш блоклари.

Кўпайтириш ва бўлиш қурилмалари сифатида икки ўзгарувчининг функционал ўзгартгичларидан фойдаланиш мумкин. Аммо кўпайтириш ва бўлиш амаллари билан амалда кўп иш кўрилганлиги учун уларни соддароқ воситалар орқали бажарувчи махсус блоклар яратиш мақсадга мувофиқ деб топилган.



II—21-расм.

Структуравий схемаларда кўпайтириш II—21-расмда тасвирланган.

Математик ўзгарувчилар x_i ва y_i орқали белгиланса, умумий ҳолда кўпайтириш ва бўлиш блоклари қуйидаги кўринишдаги функцияни тиклашни таъминлашлари керак.

$$z = a \frac{\prod_{i=1}^n x_i}{\prod_{i=1}^m y_i}, \quad (\text{II} - 21)$$

бу ерда a — мусбат ёки манфий ўзгармас катталиқ. Амалда (II — 21) боғланишни тиклаш соддароқ амалларни бажарувчи қурилмаларни поғона усули бўйича улаш орқали таъминланади. Бу амаллар қуйидагилар:

$$z = ax_1 x_2, \quad z = a \frac{x}{y}, \quad z = a \frac{x_1 \cdot x_2}{y}. \quad (\text{II} - 22)$$

Маълумки, x_i , y_i физикавий ўзгарувчилар ва X_i , Y_i машина ўзгарувчилари орасида $X_i = M_{xi} \cdot x_i$, $Y_i = M_{yi} \cdot y_i$ ифодалар орқали аниқланувчи боғланиш бор. У вақтда моделланувчи математик боғланишлар қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$z = \frac{d}{M_{x_1} M_{x_2}} X_1 X_2; \quad z = \frac{a M_y}{M_x} \cdot \frac{X}{Y}; \quad z = \frac{d M_y Y}{M_{x_1} M_{x_2}} \cdot \frac{X_1 \cdot X_2}{Y}. \quad (\text{II} - 23)$$

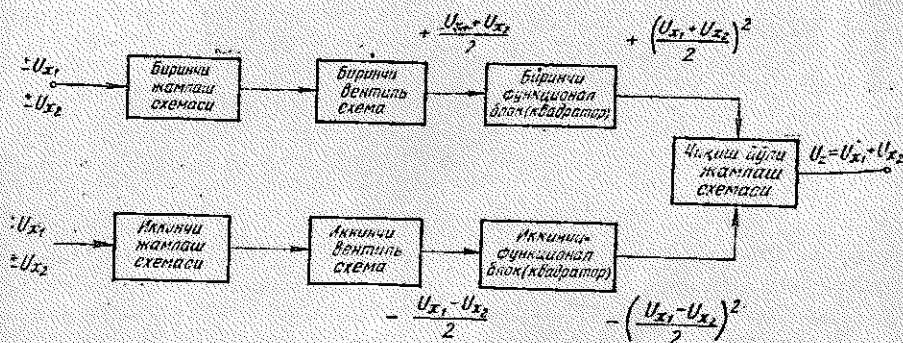
Кўпайтириш блокларининг қайта тикланишлик хусусиятидан фойдаланиб, улар ёрдамида бўлиш амалини бажариш мумкин. Масалан, бўлиш амалини бўлинувчини бўлувчига тескари катталиққа кўпайтириш йўли билан бажариш мумкин.

Даражага кўтариш амали қайта кўпайтириш йўли билан бажарилади, бирор илдиз остидан чиқариш даражага кўтариш блоклари ёрдамида бажарилади.

Амалда кенг ишлатиладиган кўпайтириш ва бўлиш блоклари схемаларида амаллар бевосита ёки билвосита усуллар бўйича тикланади. Билвосита усулларга асосланган блокларда кўпайтириш ёки бўлиш амали бошқа бир қанча математик амалларнинг натижаси ҳисобланади. Бошқа амалларга ўтиш математик анализнинг маълум муносабатларига асосланади ва, кўпинча, функционал ўзгартиришларнинг бажарилишини тақозо қилади. Масалан, иккита x_1 ва x_2 катталиқни бир-бирига кўпайтириш амалини қуйидаги формулаларнинг биридан фойдаланиб бажариш мумкин:

$$z = x_1 \cdot x_2 = \left(\frac{x_1 + x_2}{2} \right)^2 - \left(\frac{x_1 - x_2}{2} \right)^2,$$

$$z = x_1 \cdot x_2 = e^{\ln x_1 + \ln x_2}$$



II—22- расм.

$$z = x_1 \cdot x_2 = K \int x_1 dx_2 + K \int x_2 dx_1, \quad (\text{II} - 24)$$

$$z = x_1 \cdot x_2 = \frac{1}{2} \left[\cos (\arcsin x_1 - \arcsin x_2) - \cos (\arcsin x_1 + \arcsin x_2) \right].$$

Кўпайтириш амалини бажарувчи қурилмани яратишда, кўпинча, (II — 24) формулалардаги биринчи ифодадан фойдаланилади:

$$U_z = \left(\frac{U_{x_1} + U_{x_2}}{2} \right)^2 - \left(\frac{U_{x_1} - U_{x_2}}{2} \right)^2 = U_{x_1} \cdot U_{x_2};$$

бу ерда U_{x_1} , U_{x_2} — кўпайтириш блокининг кириш йўлига берилаётган кучланишлар. Бу ифодага биноан кўпайтиришни амалга оширувчи қурилманинг блок-схемаси II — 22- расмда берилган. Схема иккита каналдан иборат бўлиб, ҳар бир канал жамлаш схемаси, вентиль схемаси ва квадратор функционал блокни ўз ичига олади. Жамлаш схемаси вентиль схемаси билан бирга биринчи каналда $\frac{U_{x_1} + U_{x_2}}{2}$ мус-

бат ярим йиғиндига пропорционал, иккинчи каналда $\frac{U_{x_1} - U_{x_2}}{2}$ ман-
фий ярим айирмага пропорционал катталикларни ҳосил қилишга им-
кон беради. Жамлаш амалини ва кўпайтиришда иштирок этаётган
ҳадларнинг манфий қийматларини олишни амалий кучайтиргичлар
ёрдамида бажариш мумкин.

Квадратор биринчи каналда мусбат ярим йиғиндини, иккинчи ка-
налда эса манфий ярим айирмани квадратга кўтаришни таъминлайди.
Манфий ярим айирмани квадратга кўтаришда манфий ишора ярим
айирма квадрати олдида сақланади. Квадрат боғлиқликни таъминлов-
чи функционал блок диод элементлари асосида қурилиши мумкин.
Бу вақтда парабола тармоқлари чизиқли — бўлак эгри чизиқ кўрини-
шида берилади. Квадратга кўтариш амали чизиқли бўлмаган карбо-
рунд резисторлари (тиритлар, виллитлар) ёрдамида ҳам бажарилиши
мумкин. Бу ҳолда параболага яқин характеристикани олиш учун бу
резистор занжирига оддий чизиқли резисторлар кетма-кет ва парал-
лел уланади. Кўпайтириш қурилмасининг иккала каналини бирлашти-
рувчи жамлаш схемаси кўпайтмани ҳосил қилишни таъминлайди.

Юқорида айтиб ўтилганидек, бўлиш амалини бўлинувчини бўлув-
чига тескари бўлган катталikka кўпайтириш йўли билан бажариш
мумкин. Қуйидаги боғланишни амалга ошириш лозим бўлсин:

$$Z = C \frac{X}{Y}, \quad (\text{II} - 25)$$

бу ерда Z , X , Y — машина ўзгарувчилари; C — ўзгармас коэффи-
циент. Бу боғланишни амалга ошириш учун I — 2- расмдаги схемадан
фойдаланиш мумкин. Схемада гиперболик боғланишни тикловчи функ-
ционал блок ҳамда кўпайтирувчи ва масштаб блоклари ишлатилади.

Бўлиш амалини 1 — 2- § да баён қилинган ошкормас функциялар
усули ёрдамида ҳам бажариш мумкин (1 — 4- расм).

II — 8-§. Аналог ҳисоблаш машиналарининг аниқлиги

АХМ аниқлигининг ўлчови сифатида ўзгарувчи аниқ қиймат билан унинг масалани машинада ечишда олинган қиймати орасидаги айирма кўринишидаги хатолик хизмат қилади. Бу хатоликка сабаб бўлувчи асосий омиллар — амалий блокларнинг хатоликлари, халақитлар ва масалани ечишда танланган усулдир. Қуйида биз АХМ аниқлигига амалий блоклар хатоликларининг ва халақитларнинг таъсирини кўриб чиқамиз.

Математик амалларни бажариш аниқлиги АХМ амалий блокларининг асосий баҳоловчиси ҳисобланади. Юқорида кўрилган амалий блоклар идеал ҳисобланади, яъни бу блоклар идеал элементлардан — дрейфсиз кучайтириш коэффициенти чексиз катта бўлган инерциясиз амалий кучайтиргич, вақтга, температурага ва ташқи муҳит намлигига боғлиқ бўлмаган абсолют аниқ параметрли резистор ва конденсаторлардан иборат. Идеал блок математик амалларни абсолют аниқ бажаради. Идеал блокни қуриб бўлмаса ҳам, бу абстракт қурилма реал амалий блокларнинг хатоликларини баҳолашда қулайлик туғдиради. Реал амалий блокнинг хатолиги — идеал ва реал блоклар чиқиш йўллари кучланишларининг фарқидан иборат.

Реал амалий блокнинг аниқлиги уч хил хатолик орқали аниқланади — параметрик, структуравий (конструктив) хатоликлар ва халақитлар.

Амалий кучайтиргични ташкил этувчи радиоэлементларни ишлаб чиқаришдаги технологик хатоликлар параметрик хатоликлар манбаи ҳисобланади.

Иккинчи хил хатоликлар — структуравий хатоликлар — реал блокни ташкил этувчи элементларнинг конструктив хусусиятларидан келиб чиқади. Аввало бу хатоликлар АКлар билан боғлиқ, чунки улар электрон схемаларнинг ишлаш принципага асосан кучайтириш коэффициенти чексиз катта ва ноинерцион бўла олмайди.

Учинчи хил хатоликлар — халақитлар. Бу хатоликлар машина ўзгарувчилари ва математик ўзгарувчилар орасида қатъий мослиқнинг йўқлигида намоён бўлади. Халақитлар пайдо бўлишига сабабчи омилларни ички ва ташқи омилларга ажратиш мумкин. Ички омиллар АХМ ичида, унинг ҳар хил блокларида пайдо бўлган халақитлар билан боғлиқ. Бу халақитларга электр токи ва кучланишининг флюктуацияси сабаб бўлиб, флюктуацион халақитлар деб юритилади. Ички омилларга булардан ташқари яна машинанинг ишлашида АХМ блоклари билан уларнинг электр билан таъминлаш занжирлари орасидаги ўзаро электрик таъсирни ҳам киритиш мумкин. Машина ўзгарувчиларининг ўзгариш тезлиги ошган сари ўзаро электрик таъсир натижасидаги халақитлар кучая боради. Флюктуацион халақитларни тўла йўқотиб бўлмайди.

Юқорида кўрсатилган хатоликлар ҳар хил амалий блокларда бир хил намоён бўлмайди.

Жамлагичта содир бўладиган хатоликлар. Жамлагич (II — 3) га мос ҳолда қуйидаги йиғиндини бажаради:

$$U_{\text{чик}} = - \sum_{j=1}^n \frac{R_{\text{т}0}}{R_j} U_j.$$

Жамлагичда содир бўладиган хатоликни $R_{тб}$, R_j ($j = 1, 2, \dots, n$) ларнинг параметрик хатоликлари ва кириш йўли ўзгарувчилари халақитлари орқали тақрибан қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\Delta U_{чпк} \approx + \sum_{j=1}^n \frac{\delta R_{тб}}{R_j} U_j - \sum_{j=1}^n \frac{R_{тб} \delta R_j}{R_j^2} U_j - \sum_{j=1}^n \frac{R_{тб}}{R_j} \eta_j(t),$$

бу ерда $\delta R_{тб}$, δR_j — технологик хатоликлар;

$\eta_j(t)$ — кириш йўли ўзгарувчилари халақитлари.

Жамлагичнинг структуравий хатоликлари АК кучайтириш коэффициентининг чекланганлиги, АК ноль дрейфи ҳамда АК қурилган электрон схема хусусиятлари орқали аниқланади.

II—4-расмдан Кирхгоф қонунига мувофиқ a нуқта учун кириш йўли қаршилиги чексиз катта ва тўр токи $i_g \approx 0$ деб фараз қилинган ҳолда қуйидагини ёзиш мумкин:

$$i_1 + i_2 = i_{тб}$$

ёки

$$\frac{e_g - U_{чпк}}{R_{тб}} = \frac{U_1 - e_g}{R_1} + \frac{U_2 - e_g}{R_2}$$

Бу ифодага АК кучайтириш коэффициентининг чекланганлигини ҳисобга олган ҳолда $e_g = -\frac{U_{чпк}}{\kappa}$ қийматни қўйиб, қийин бўлмаган ўзгартиришлардан сўнг қуйидагини оламиз:

$$U_{чпк} = - \frac{\frac{R_{тб}}{R_1} U_1 + \frac{R_{тб}}{R_2} U_2}{1 + \frac{1}{\kappa} \left(1 + \frac{R_{тб}}{R_1} + \frac{R_{тб}}{R_2} \right)}$$

Умумий ҳол учун қуйидаги ифода ҳосил бўлади

$$U_{чпк} = - \frac{\sum_{j=1}^n \frac{R_{тб}}{R_j} U_j}{1 + \frac{1}{\kappa} \left(1 + \sum_{j=1}^n \frac{R_{тб}}{R_j} \right)} \quad (\text{II}-26)$$

Демак, АК кучайтириш коэффициенти K қанчалик катта бўлса, унинг чиқиш йўли кучланишига таъсири шунча кучсиз бўлади.

Жамлагичнинг АК ноль дрейфидан ҳосил бўладиган хатоликни аниқлаш учун II—2-расмдаги АК кириш йўлига қўшимча дрейфни қопловчи — $e_0(t)$ кучланиши берилган деб фараз қиламиз. Бу вақтда АК чиқиш йўлидаги кучланиш қуйидагича ифодаланади:

$$U_{чпк} = - [e_g - e_0(t)] K.$$

Бу ерда e_g ни (II-2) га қўйиб, $e_g = -\frac{U_{\text{чпк}}}{K}$ кичиклигини ҳисобга олсак, қуйидаги ифода ҳосил бўлади:

$$U_{\text{чпк}} = - \sum_{j=1}^n \frac{R_{\tau 6}}{R_j} U_j + e_0(t) \left(1 + \sum_{j=1}^n \frac{R_{\tau 6}}{R_j} \right),$$

бу ерда $e_0(t) \left(1 + \sum_{j=1}^n \frac{R_{\tau 6}}{R_j} \right)$ — ноль дрейфидан ҳосил бўладиган хатолик.

Жамлагичнинг структуравий хатоликларига чиқиш йўли кучланишининг кириш йўли кучланишига нисбатан кечикиши ҳам киради. Бу кечикиш сабаби юқорида кўриб ўтилган ўзгармас ток кучайтиргичнинг инерционлик хусусиятидир. Жамлагичларда ва масштаб кучайтиргичларида кечикиш узатиш коэффициентига боғлиқ бўлади ва тақрибан қуйидагича ифодаланади:

$$\tau = \tau_k \frac{1 + \alpha}{1 + K} \quad (\text{II} - 27)$$

бу ерда τ_k — АК кечикиши, K — АК нинг кучайтириш коэффициенти,

$\alpha = \left| \frac{U_{\text{чпк}}}{U_{\text{кпр}}} \right|$ — амалий блокнинг узатиш коэффициенти. Демак, (2.27)

га биноан, α қанчалик катта бўлса, амалий блок кечикиши шунча катта бўлади. Одатда, АХМда ишлашда узатиш коэффициентини 20 дан ортиқ олинмайди. АК бирор АХМ схемасида мустақил амалий блок сифатида ишлатилса, кечикиш энг катта ($\alpha = K$) бўлади.

Интегрожамлагичга содир бўладиган хатоликлар. Интегрожамлагичда содир бўладиган хатоликни параметрик хатоликлар ва ҳалақитлар орқали, (II-13) ни ҳисобга олган ҳолда, қуйидагича ифодалаш мумкин

$$\Delta U_{\text{чпк}} \approx - \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j C} \left[\left(\frac{\delta C}{C} + \frac{\delta R_j}{R_j} \right) \int_0^t U_j(t) dt + \int_0^t \eta_j(t) dt \right] - \Delta U_0,$$

бу ерда ΔU_0 — интегратор бошланғич шартини ўргатишдаги хатолик.

Интеграторнинг структуравий хатолигини аниқлаш учун АК кучайтириш коэффициенти чекланганлигининг таъсирини кўриб чиқамиз.

II-8-расм а даги схемада C конденсатор орқали ўтаётган ток қуйидагича ифодаланади:

$$i_0 = \frac{dQ}{dt} = C \frac{d(e_g - U_{\text{чпк}})}{dt}.$$

Кирхгоф қонунига мувофиқ а нукта учун тоқлар тенграмаси $i = i_c$ ни кучланишлар орқали ифодалаймиз

$$\frac{U_{\text{кпр}} - e_g}{R} = C \frac{d(e_g - U_{\text{чпк}})}{dt}.$$

Бу ифодада АҚ кучайтириш коэффициентининг чекланганлигини ҳисобга олган ҳолда, $e_g = -\frac{U_{\text{чик}}}{K}$ қийматни қўйиб, қийин бўлмаган ўзгартиришлардан сўнг қуйидагини оламиз:

$$\frac{dU_{\text{чик}}}{dt} = -\frac{K}{K+1} \frac{U_{\text{квр}}}{RC} - \frac{U_{\text{чик}}}{RC(K+1)}. \quad (\text{II}-28)$$

Бу тенгламанинг иккала томонини интегралласак ва $\frac{K}{1+K} \simeq 1$ деб ҳисобласак, қуйидаги ҳосил бўлади:

$$U_{\text{чик}}(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{квр}}(t) dt - \frac{1}{RC(K+1)} \int_0^t U_{\text{чик}}(t) dt,$$

бу ерда хатолик

$$\Delta U_{\text{чик}} = \frac{1}{RC(K+1)} \int_0^t U_{\text{чик}}(t) dt.$$

Охирги ифодалардан кўриниб турибдики, хатолик катталиги ҳам чиқиш йўли кучланиши сингари кириш йўли кучланишига боғлиқ экан. Структуравий хатоликнинг намоён бўлишига мисол тариқасида ўзгармас катталик $U_{\text{квр}} = 1$ нинг интегралланишини кўриб чиқайлик. Идеал интегратор чиқиш йўли кучланиши $U_{\text{чик}} = -\frac{\tau}{RC}$ бўлади. Реал интегратор чиқиш йўли кучланиши (II-28) дифференциал тенгламани $U_{\text{квр}} = 1$ бўлган вақтда ечиш йўли билан топилади

$$\frac{dU_{\text{чик}}}{dt} = -\frac{K}{K+1} \frac{1}{RC} - \frac{U_{\text{чик}}}{RC(K+1)}.$$

Бу тенгламанинг аниқ аналитик ечими қуйидагича:

$$U_{\text{чик}}(t) = -K \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{\tau}{RC(I+K)} \right] \right\}$$

Экспонентани қаторга ёямиз:

$$U_{\text{чик}}(t) = -K \left\{ 1 - 1 + \frac{t}{RC(I+K)} - \frac{t^2}{2(RC)^2(I+K)^2} + \dots \right\} \approx -\frac{K}{I+K} \cdot \frac{\tau}{RC} \approx -\frac{t}{RC}.$$

Биринчи ташлаб юборилган қатор ҳади $\frac{Kt^2}{2(RC)^2(I+K)^2}$ интеграллашнинг асосий хатолиги ҳисобланади. Интеграллаш процесси давомлироқ ва АҚ нинг кучайтириш коэффициенти кичик бўлган сари хатолик катта бўлади. Демак, интеграллаш давомийлигини чегаралаш зарур. Ҳар бир муайян АХМ учун унда ишлатиладиган АҚ хилига қараб аниқ интеграллаш муддати тавсия қилинади. Масалан, МН-14 машинада интеграллаш давомийлиги 10 000 с бўлса, МН-7 машинада бу муддат 150 с.

Интегрожамлагичнинг АҚ ноль дрейфидан ҳосил бўладиган хатоликни аниқлаймиз. Бунинг учун жамлагичнинг хатолиги аниқланган-

ни сингари АК кириш йўлига ноль дрейфини қопловчи қўшимча $e_0(t)$ кучланиш таъсир қилади деб фарз қиламиз. АК чиқиш йўли кучланиши $U_{чик} = -K [e_g - e_0(t)]$ бўлади, яъни $e_g = -\frac{U_{чик}}{K} + e_0(t)$. Буни (II.10) ифодага қўйиб, $\frac{U_{чик}}{K} \approx 0$ ни ҳисобга олсак, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$U_{чик}(t) = -\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i C} \int_0^t U_i(t) dt + e_0(t).$$

Охирги икки қўшилувчи интегротамлагичнинг ноль дрейфидан ҳосил бўлган хатоликни ташиқил этади:

$$\Delta U_{чик}(t) = -e_0(t) - \sum_{i=1}^n \frac{1}{RC} \int_0^t e_0(t) dt.$$

Демак, бу хатолик интеграллаш процессининг давомийлигига ва интегратор узатиш коэффициентининг катталигига боғлиқ.

Дифференциаллаш блокада содир бўладиган хатоликлар. Дифференциаллаш блокада содир бўладиган хатолик параметр хатоликлари ва ҳалақитлар орқали, (II—15) ни ҳисобга олган ҳолда, қуйидагича ёзиш мумкин.

$$\Delta U_{чик}(t) = (C\delta \cdot R + R\delta C) \frac{dU_{чик}}{dt} - RC \frac{d\eta(t)}{dt}.$$

Структуравий хатоликни аниқлаш учун АК кучайтириш коэффициенти чекланганлигининг таъсирини кўриб чиқамиз. II—11-расм a даги a нуқта учун Кирхгоф қондасига мувофиқ $i_c = i_R$ тенгламани ёзиб, тоқларни уларнинг кучланишлар орқали ифодаси билан алмаштираемиз:

$$C \frac{d(U_{кир} - e_g)}{dt} = \frac{e_g - U_{чик}}{R}$$

Бу ифодага АК кучайтириш коэффициентининг чекланганлигини ҳисобга олган ҳолда $e_g = -\frac{U_{чик}}{K}$ қийматни қўйиб, қийин бўлмаган ўзгартиришлардан сўнг қуйидагини оламиз:

$$\frac{RC}{K+1} \frac{dU_{чик}}{dt} + U_{чик} = -\frac{R}{K+1} RC \frac{dU_{кир}}{dt} \quad (II-29)$$

Демак, хатолик дифференциалланувчи функцияга боғлиқ экан. Мисол тариқасида $U_{кир}(t) = at$ функцияни дифференциаллашдан ҳосил бўлган хатоликни тадқиқ қилайлик. Идеал дифференциаллаш блоки чиқиш йўлида, (II—15) га биноан, ўзгармас кучланиш $U_{чик} = -\alpha RC$ бўлиши керак. Реал дифференциаллаш блоки чиқиш йўлидаги кучланиш қуйидаги дифференциал тенгламани $U_{чик}(0) = 0$ бошланғич шартига кўра интеграллаш йўли билан ҳосил қилинади:

$$\frac{RC}{K+1} \frac{dU_{чик}}{dt} + U_{чик} = -\frac{K}{K+1} \alpha RC.$$

Тенгламанинг ечими қуйидагича:

$$U_{\text{чик}}(t) = \frac{KRC\alpha}{K+1} [1 - \exp\left(-\frac{K+1}{RC}t\right)]$$

Бу ердан хатолик

$$\Delta U_{\text{чик}} \approx -\alpha RC \exp\left(-\frac{K+1}{RC}t\right).$$

Демак, дифференциаллаш блоки хатолиги вақт бўйича ўзгаради ва кириш йўли ўзгарувчисининг ўзгариш тезлиги ошган сари хатолик катталашади. Энг катта хатолик $t=0$ вақт пайтига тўғри келади ва $\Delta U_{\text{чик}}(0) = -\alpha RC$ бўлади. Вақт ўтиши билан хатолик камай боради ва бу камайиш АҚ кучайтириш коэффициенти катта бўлган сари тезлашади.

Ноль дрейфидан ҳосил бўлувчи хатоликни топиш учун АҚ кириш йўлига қўшимча дрейфни қопловчи — $e_0(t)$ кучланиш берилади деб фараз қиламиз. У вақтда АҚ кириш йўли кучланиши қуйидагича бўлади:

$$e_g = -\frac{U_{\text{чик}}}{K} + e_0(t)$$

Бу ифодани (II—14) ифодага қўйиб, $U_{\text{чик}} \approx 0$ ни ҳисобга олсак, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$U_{\text{чик}}(t) = -RC \frac{dU_{\text{кпр}}}{dt} + RC \frac{de_0(t)}{dt} + e_0 t.$$

Охириги икки қўшилувчи дифференциаллаш блокларнинг ноль дрейфидан ҳосил бўлган хатоликни кўрсатади.

Чизиқли бўлмаган функциялар блокларининг хатоликларини таҳлил қилиш учун электрон схемалардаги электрик процессларни мукамал тадқиқ қилиш лозим. Лекин бундай имкониятга эга эмасмиз. Кўпинча чизиқли бўлмаган функциялар блокларида ишлатиладиган элемент — ярим ўтказгичли ёки лампали диод ҳисобланади. Одатда, чизиқли бўлмаган функциялар блокларини лойиҳалашда диодларнинг ишлаши идеаллаштирилади. Бу ҳолда чизиқли бўлмаган функциялар блокларида ҳисобга олса бўладиган хатоликларни машина ўзгарувчиларининг кичик ўзгаришлари соҳасида кутиш мумкин.

Амалий блокларнинг хатоликларини таҳлил қилиш шунинг кўрсатадики, ҳар хил амалий блоклардаги хатоликлар, уларни келтириб чиқарувчи сабаблар бир хил бўлишига қарамасдан, улар бажариладиган математик амалларга боғлиқ ҳолда ҳар хил намоён бўлади. Масалан, жамлагич, интегратор ва дифференциаллаш блокларидаги структуравий хатоликлар кучайтириш коэффициенти ўсиши билан камаяди. Аммо дифференциаллаш блокларида хатоликлар машина иш бошлаган пайтда ҳосил бўлади, интеграторда вақт ўтиши мобайнида хатоликлар катталашади, жамлагичда эса хатоликлар вақтга боғлиқ эмас. Дифференциаллаш ва интеграллаш блокларининг халақитларга таъсирчанлиги ҳар хил. Бу таъсирчанликнинг ҳар хиллигига сабаб аввало дифференциаллаш ва интеграллаш амаллари математик мазмунининг бир-биридан катта фарқ қилишидир.

Кўпинча, аниқликнинг умумлаштирилган баҳоси — АХМ пухтали-
ги тушунчаси ишлатилади. АХМ пухталиги қуйидаги ифода орқали
ҳисобланади:

$$P = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\min}} \approx \frac{E_{\max}}{E_{\min}}.$$

бу ерда $E_{\max}$, $E_{\min}$ — машина ўзгарувчиларининг мос ҳолда макси-
мал ва минимал мумкин бўлган қийматлари.

$E_{\min}$ катталиги ҳар бир муайян АХМ учун тажриба йўли билан аниқ-
ланиб; машинадаги ҳалақитлар катталигига, амалий блоклар хатолик-
ларига ва ишлатиладиган ўлчаш асбоблари аниқлигига боғлиқдир. Хо-
зирги замон АХМ лари учун $E_{\max} = 100$ В бўлганда $E_{\min} = 0,1$ В,
яъни пухталик $P = 10^3$.

III-боб. АҲМ ДА МАСАЛАЛАРНИ ЕЧИШ УСУЛЛАРИ

III—1-§. Масалани аналог ҳисоблаш машиналарида ечиш учун тайёрлаш

Аналог ҳисоблаш машиналарида масалани ечиш учун программа-лаш деб юритилувчи қуйидаги тўрт босқичдан иборат тайёрлов процессини бажариш лозим:

- 1) берилган масалани таҳлил қилиш,
- 2) структуравий схемани ишлаб чиқиш,
- 3) математик ўзгарувчиларни машина ўзгарувчилари орқали масштаблаш,
- 4) коммутация схемасини ишлаб чиқиш.

Биринчи босқичда берилган масаланинг математик ифодаси таҳлил қилиниб, АҲМларда ечишга қулай бўлган шаклга келтирилади. АҲМнинг ҳисоблаш хусусиятлари кўпроқ Коши масаласи шаклида берилган оддий дифференциал тенгламаларни ечишга мосланган. Шунинг учун баъзи бир ҳолларда дастлабки қўйилишида оддий дифференциал тенгламалар билан боғлиқ бўлмаган масалаларни фақат махсус усуллар ёрдамида Коши масаласига эквивалент кўринишига келтириш йўли билан ечиш мумкин.

Иккинчи босқичда АҲМларнинг структуравий схемаси ишлаб чиқилади. Кўпгина ҳолларда бошланғич далиллар Коши масаласига эквивалент кўринишига келтирилганлиги учун АҲМларида асосий программалаш усули—оддий дифференциал тенгламаларни ечиш учун структуравий схемаларни тузиш усулидан иборат. Бу усуллар кейинги параграфларда батафсил ёритилган.

Учинчи босқичда АҲМда математик ўзгарувчилар масштаблар ёрдамида физикавий катталиклар—машина ўзгарувчилари кўринишига келтирилади.

АҲМларда математик эрксиз ўзгарувчиларга машина ўзгарувчилари—электр кучланиши мос келади. Математик эркли ўзгарувчиларга эса вақт мос келади. Масштаблар танлашга қуйидаги қарама-қарши талаблар қўйилади:

1) бирорта ҳам машина ўзгарувчиси ± 100 В интервал билан чегараланган (лампали машина учун) кучайтиргичнинг чизиқли ишлаш диапазонидан чиқиб кетмаслиги шарт;

2) машина ўзгарувчилари кўзга ташланувчан бўлишлари шарт. Бу деган сўз улар кичик бўлмасликлари ёки жуда тез ўзгармасликлари шарт; акс ҳолда уларни ўлчаш ёки ёзиш асбоблари билан етарли аниқликда қайд қилиш мумкин бўлмайди;

3) машина ўзгарувчилари вақт оралиғида кичик бўлиб қолишлари мумкин эмас, акс ҳолда АХМ блоклари хатоликларининг тасодиблиги сабабли масалани қайтадан ечишда натижалар такрорланмаслиги мумкин.

x, y, z математик эрксиз ўзгарувчилар АХМларда m_x, m_y, m_z масштаблар ёрдамида $U_x = m_x x, U_y = m_y y, U_z = m_z z$ электр кучланишлари орқали берилади. Масштаблар ($\frac{\text{вольт}}{\text{ўзгарувчининг ўлчов бирлиги}}$) ўлчов катталигига эга. Масштаблар ўзгармас катталик ҳамда ўзгарувчи t вақт функцияси кўринишида қўлланилади.

Масштаб турини танлаш математик ўзгарувчининг ўзгариш харақтерига боғлиқ. Ётарли даражада «текис» ўзгарувчиларга нисбатан ўзгармас масштаб қўлланилса, бошқа ҳолларда эса вақтга боғлиқ бўлган масштаблар танлаш лозим.

Ўзгармас масштабларни ҳисоблаш. Мисол тариқасида қуйидаги формула ёрдамида ўзгариш чегаралари маълум бўлган ўзгарувчиларининг масштабларини ҳисоблаймиз:

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \frac{100}{X_{\max}} \left[\frac{\text{вольт}}{\text{ўлчов бирлиги}} \right] \\ m_y &= \frac{100}{Y_{\max}} \left[\frac{\text{вольт}}{\text{ўлчов бирлиги}} \right] \end{aligned} \right\} \quad (\text{III} - 1)$$

Масофа $0 \leq S \leq 3900$ м, температура $150^\circ \leq T \leq 190^\circ$, бурчак тезланиши $20 \leq \omega \leq 10$ рад/с² берилган бўлсин. Масштаб ҳисоблашни жадвал кўринишида бажариш қулай ҳисобланади (1-жадвал).

1-жадвал

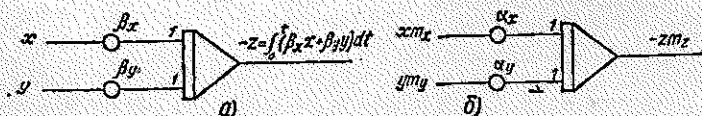
Ўзгарувчи	Ўзгарувчининг максимал абс- лют қиймати	Яхлитланган қиймати	Масштаб катталиги	Масштабнинг белгиланиши
S	3900 М	4000	$\frac{100}{4000} = 0,025 \text{ в/м}$	m_s
ω	20 рад/с ²	20	$\frac{100}{20} = 5 \frac{\text{Вс}^2}{\text{рад}}$	m_ω
T	190 град	200	$\frac{100}{200} = 0,5 \frac{\text{В}}{\text{град}}$	m_T

Жадвалда яхлитланган катталикларнинг ишлатилиши машина ўзгарувчиларидан математик ўзгарувчиларга ва аксинча ўтиш билан боғлиқ бўлган ҳисоблашларни енгиллаштиради.

Баъзан программалашда жадвалдаги иккинчи устунни ечилаётган масала ўзгарувчиларига боғлиқ ифодалар орқали бериш мумкин бўлади. Бундай «умумий кўринишдаги» масштаблаш фақат берилган далиллар билан фарқланувчи бутун бир масалалар туркумини ечишга имкон беради.

Машина ўзгарувчилари устида амаллар бажарилаётганда ўзгарувчиларнинг берилиш масштаблари амаллар кўриниши ва уларни маши-

нада бажарилиш усулларига боғлиқ бўлган маълум муносабатларни қониқтиришлари лозим. Шунинг учун ҳам масштабларни мувофиқлаштириш амалга оширилади. Бунга асосан берилган математик ифоданинг коэффициентлари АХМ амалий блокларининг ишлашини акс эттирувчи математик ифодалар коэффициентларига тенглаштирилади. Масштабларни мувофиқлаштириш потенциометр ҳамда масштаб кучайтиргичлари ёрдамида бажарилади.



III-1- расм.

Қуйидаги ифодани АХМда тиклаш керак бўлсин:

$$-z = \beta_x x + \beta_y y, \quad (\text{III}-2)$$

бу ерда β_x ва β_y — берилган мусбат сонлар. III-1- расм, а даги ўзгарувчини тикловчи схемада жамлагич кириш йўлидаги потенциометрлар x ва y ни β_x ва β_y га кўпайтиришга мўлжалланган. III-1- расм, б да структуравий схемага мос келувчи коммутация схемаси берилган. Бу схема машина ўзгарувчилари учун тузилган ва α_x , α_y узатиш коэффициентлари аниқланмаган. Бу коэффициентларни шундай танлаб олиш керакки, ўзгарувчи z га мос машина ўзгарувчиси m_z масштабида бўлсин. Схемадан қуйидагини ёзиш мумкин:

$$-m_z z = \alpha_x m_x x + \alpha_y m_y y, \quad (\text{III}-3)$$

бунинг икки томонини m_z га бўлганимиздан сўнг қуйидаги ҳосил бўлади:

$$-z = \frac{\alpha_x m_x}{m_z} x + \frac{\alpha_y m_y}{m_z} y. \quad (\text{III}-4)$$

(III-2) ва (III-4) ифодаларнинг бир хил ўзгарувчилари олдидаги коэффициентларини таққослаб қуйидагини топамиз

$$\beta_x = \frac{\alpha_x m_x}{m_z}; \quad \beta_y = \frac{\alpha_y m_y}{m_z};$$

ёки

$$\alpha_x = \beta_x \frac{m_z}{m_x}; \quad \alpha_y = \beta_y \frac{m_z}{m_y}; \quad (\text{III}-5)$$

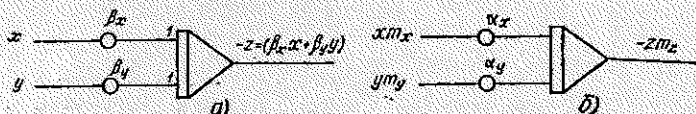
Берилган математик ифодадаги ҳамда структуравий схемада белгиланган β_x ва β_y коэффициентлар структуравий коэффициентлар деб аталади.

Шундай қилиб, хулоса қилиш мумкинки, масштаб коэффициенти структуравий коэффициентнинг кириш ва чиқиш йўллари ўзгарувчилари нисбатига кўпайтмасига тенг.

Қуйидаги ифодани АХМда бажариш керак бўлсин:

$$z = - \int_0^t (\beta_x x + \beta_y y) dt, \quad (\text{III—6})$$

бу ерда β_x ва β_y — берилган бирор мусбат сонлар, x ва y — эркли ўзгарувчининг (t нинг) бирор функциялари. III—2-рasm, а да бу ифодани бажарувчи интегратор кўрсатилган, III—2-рasm, б да эса унинг коммутация схемаси берилган.



III—2-рasm.

Коммутация схемасидан қуйидагини ёзиш мумкин

$$zm_z = - \int_0^t (\alpha_x m_x x + \alpha_y m_y y) dt. \quad (\text{III—7})$$

Икки томонини m_z га бўлиб қуйидагини ҳосил қиламиз:

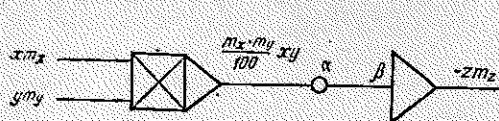
$$z = - \int_0^t \alpha_x \frac{m_x}{m_z} x + \alpha_y \frac{m_y}{m_z} y) dt. \quad (\text{III—8})$$

Бу тенгликнинг коэффициентларини берилган тенглама коэффициентлари билан таққослаб қуйидагиларни топамиз:

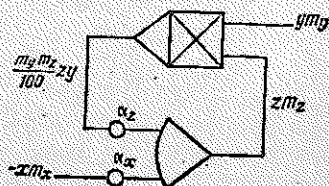
$$\alpha_x = \frac{m_z}{m_x} \beta_x; \quad \alpha_y = \frac{m_z}{m_y} \beta_y. \quad (\text{III—9})$$

$z = -\gamma xy$ кўпайтириш амалини бажариш керак бўлсин, бу ерда γ — бирор мусбат сон. Амал III—3-рasmдаги коммутация схемаси ёрдамида бажарилади. Электр кучланишларини боғловчи тенгламани ёзамиз

$$m_z z = \alpha \beta \frac{m_x m_y}{100} xy \quad (\text{III—10})$$



III—3-рasm.



III—4-рasm.

Бу тенгликнинг махражидаги 100 сони кўпайтириш блокининг схема масштабига мос келади. Бу тенгламанинг икки томонини m_z га бўлиб ҳамда коэффициентларини берилган ифода коэффициентлари билан таққослаб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\alpha\beta = \frac{100}{m_x m_y} \gamma. \quad (\text{III—11})$$

$z = \gamma \frac{x}{y}$ бўлиш амалини бажариш керак бўлсин, бу ерда γ — бирор мусбат сон. Бўлиш амали ошкормас функция усули билан бажарилса, берилган ифода қуйидагича ёзилади:

$$\frac{1}{\gamma} zy - x = 0 \quad (\text{III—12})$$

ва z га нисбатан ечилади. III—4-расмда бўлишни амалга оширувчи коммутация схемаси берилган. АҚ кириш йўллари ўзгарувчиларининг алгебраик йиғиндиси нолга тенг бўлганлиги сабабли схемадан қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\alpha_z \frac{m_z m_y}{100} zy - \alpha_x m_x x = 0. \quad (\text{III—13})$$

Бу тенгламанинг икки томонини $\alpha_x m_x$ га бўлиб ва коэффициентларини (III—12) тенглама коэффициентлари билан таққослаб қуйидагини оламиз:

$$\frac{\alpha_x}{\alpha_z} = \frac{m_z m_y}{100 m_x} \gamma. \quad (\text{III—14})$$

Эрксиз ўзгарувчиларни масштаблашда математик қийматларнинг максимал қийматларини ечимни АХМ да тиклашдан олдин аниқлаш керак бўлади. $x(t)$ ўзгарувчи $[0, t)$ оралигида ўзининг максимал қийматига оралиқ чегарасида ёки оралиқ ичида ётиши мумкин.

Масштабни танлашда ўзгарувчиларнинг ўзгариш чегараларига нисбатан етарли асосланган бирор хулосага келиш қийин бўлса, контрол усулларга мурожаат қилинади. Бу усулга асосан хатолар масалани машинада контрол ечиб кўриб аниқланади ва йўқотилади. Агар контрол ечишларда баъзи машина ўзгарувчилари ± 100 В диапазонидан чиқиб кетса, бу ўзгарувчиларнинг масштабларини камайтириш ва аксинча, машина ўзгарувчилари кичик диапазонда ўзгарса, бу ўзгарувчиларнинг масштабларини ошириш лозим. Мана шу йўллар билан ечимни тиклашдаги етарли аниқликка эришилади.

Мураккаб ҳодисаларни моделлашда ўзгарувчининг ўзгариш диапазони аналог схемалар имкониятидан ортиқ бўлиши ёки схемада секин ва тез ўзгарувчи процессларнинг, кетма-кет тикланиши ҳоллари учраши мумкин. Бу ҳолларда ўзгармас масштаб коэффициентларидан масаланинг ечилиш шартлари бўйича ўзгарувчи масштаб коэффициентларига ўтиш лозим. Ўзгарувчи масштаблашга биноан математик ўзгарувчилар ўзгармас масштаблар қўлланиши қулай бўлган бошқа математик ўзгарувчиларга алмаштирилади.

Эркин ўзгарувчини масштаблаш. АХМларда эркин ўзгарувчи физикавий катталиқ—вақтдан иборат бўлади ва берилган эркин ўзгарувчи бирлигига бир секунд машина вақти тўғри келади, яъни

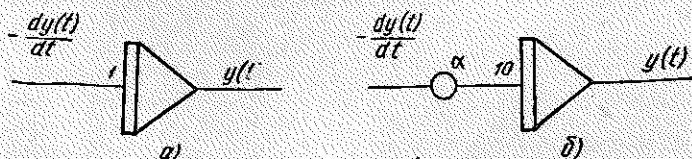
$$m_t = 1 \left[\frac{\text{секунд}}{\text{ўзгарувчининг ўлчов бирлиги}} \right]$$

Ечилаётган масаланинг эрки ўзгарувчиси вақт бўлса, масштаб ўлчовсиз катталиikka айланади. Агар $m_t = 1$ бўлса, АХМ ечимни табиий ёки реал вақт масштабида тиклайди, дейишади. Физика нуқтаи назаридан бу ҳол реал физикавий процесс ва уни АХМ да моделловчи ҳисоблаш процессининг бир хиллигига мос келади. АХМларда процессларни реал вақтда тиклаш имконияти реал системаларни бошқариш ёки хусусиятларини тадқиқ қилиш мақсадида уларни АХМлар билан туташтиришда муҳим аҳамиятга эга. Агар бирор процессни моделлаш вақти унинг реал физикавий системасидаги давомлигидан кичик бўлса, АХМ тезлатилган вақтда ишлайди, акс ҳолда АХМ секинлаштирилган вақтда ишлайди, дейишади. Бу вақтда мос ҳолда $m_t > 1$, $m_t < 1$ бўлади. Реал, тезлатилган ва секинлаштирилган вақтлар терминлари эрки ўзгарувчилар ролини бошқа физикавий катталиклар ўйнайдиган масалалар учун маънога эга эмас. Бу вақтда фақат масалани АХМда ечишнинг кўп ёки кам давом этишлиги, бошқача қилиб айтганда, ечиш суръати ҳақида гапириш мумкин.

Масалани АХМда ечиш суръатини ўзгартириш эрки ўзгарувчини масштаблашда марказий масала ҳисобланади. Машинада ечиш суръатини ўзгартириш интеграторларнинг узатиш коэффициентларини ўзгартиришгагина боғлиқ бўлиб, эрксиз ўзгарувчиларнинг масштабларини ўзгартириш талаб қилинмайди.

III—5-расм, а да кўрсатилган интеграторда чиқиш йўли ўзгарувчиси ($y(t)$) билан белгиланган. Табиийки, интегратор кириш йўли ўзгарувчиси $\frac{dy(t)}{dt}$, яъни $y(t)$ ўзгарувчининг ўзгариш тезлиги. Бу тезликни интегратор узатиш коэффициенти катталигини алмаштириш йўли билан ўзгартириш мумкин. III—5-расм, б да $y(t)$ ўзгарувчисининг ўзгариш тезлиги III—5-расм, а дагидан 10 марта катта бўлган интегратор тасвирланган. Ҳамма машина ўзгарувчиларининг ўзгариш тезликлари қанчалик катта бўлса, ечиш суръати шунча катта бўлади ва аксинча, ечиш суръати қанча кичик бўлса, машина ўзгарувчиларининг ўзгариш тезликлари шунча кичик бўлади. Ечиш суръатларининг ўзгаришлари фақат интеграторларнинг узатиш коэффициентлари билан боғлиқдир.

Демак, масалани ечиш суръатини m марта ўзгартириш учун, ёки бошқача қилиб айтганда, эрки ўзгарувчи масштабини $\frac{1}{m}$ марта ўз-



III—5- расм.

гарттириш учун ҳамма интегаторларнинг узатиш коэффициентларини $\frac{1}{m}$ марта ўзгарттириш лозим.

III — 2-§. Оддий дифференциал тенгламаларни программалаш

АХМ да бу тенгламаларни ечиш учун программалар тузишнинг учта асосий усулини кўрсатиш мумкин.

1. Умумий усул (ҳосила тартибини камайтириш усули).
2. Каноник шакл усули.
3. Ёрдамчи ўзгарувчи усули.

Ҳар бир усулнинг қўлланиш шартлари билан танишиб чиқамиз.

Умумий усул. Қуйидаги тенгламани программалаш лозим бўлсин:

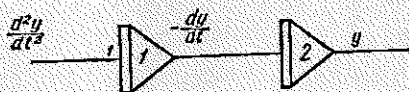
$$\frac{d^2y}{dt^2} + a \frac{dy}{dt} + a_0y = f(t) \quad (\text{III—15})$$

Бу тенгламанинг юқори тартибли ҳосиласини қолган қисмига тенглаштирамиз.

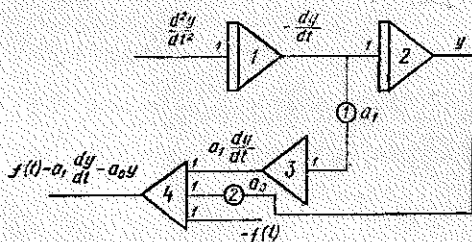
$$\frac{d^2y}{dt^2} = -a_1 \frac{dy}{dt} - a_0y + f(t). \quad (\text{III—16})$$

$\frac{d^2y}{dt^2}$ ҳосила мавжуд деб ҳисоблаб, нолинчи тартибли ҳосилани олиш учун етарлича интеграторларни кетма-кет улаймиз (III—6-расм). Бу схема ёрдамида (III—16) ифоданинг ўнг томонидаги ўзгарувчининг ҳамма ҳосиласини олиш мумкин. Кейинги босқичда $f(x)$ функция

билан ҳосилаларни мос коэффициентларга кўпайтириб қўшиш лозим. Натижада III—7-расмдаги схемани оламиз. (III—16) тенгламага биноан 4-кучайтиргичининг чиқиш йўли катталиги 1-интеграторнинг кириш йўли катталигига тенг. Демак, булар бир-бирига уланса контурберкилади ва АХМ (III—15) тенгламани еча бошлайди. Программалашни тугатиш учун 1-ва 2-интеграторларга бошланғич шартларни бериш лозим. Тенгламани АХМда ечиш программаси структуравий схемасининг тугал кўриниши III—8-расмда тасвирланган. Худди шу йўсинда қуйидаги кетма-кетликка роия қилинган ҳолда n -тартибли тенгламани ечиш учун программа тузилади.



III—6-расм.



III—7-расм



III—9-расм.

1. Тенгламанинг юқори тартибли ҳосиласи қолган қисмига тенглаштирилади.
2. Структуравий схемада сони тенглама тартибига тенг бўлган кетма-кет уланган интеграторлар тасвирланади.
3. Юқори тартибли ҳосилани мавжуд деб ҳисоблаб, уни биринчи интеграторнинг кириш йўлига берилади ва интеграторларнинг чиқиш йўлларида эрксиз ўзгарувчи ва унинг биринчи n ҳосилалари олинади.
4. Тенгламанинг ўнг томонини тикловчи схема ҳосил қилинади.
5. Тенгламанинг ўнг томонини тикловчи схеманинг чиқиш йўлидан биринчи интеграторнинг кириш йўлига тескари боғланиш ташкил этилади.
6. Интеграторларга бошланғич шартлар берилади. Бошланғич шарт ишораси интегратор чиқиш йўли ўзгарувчисининг ишорасига мос бўлиши шарт.

Дифференциал тенгламалар системаси ечимни тикловчи структуравий схемани тузишда умумий усул босқичларини бажариш кетма-кетлиги ўзгармайди. Умумий усул баъзан ҳосила тартибини пасайтириш усули деб ҳам юритилади.

Умумий усул ўнг томони маълум бўлган ҳамма тенгламалар учун яроқлидир. Аммо тажрибада ўнг томони x ўзгарувчи ва унинг $\frac{dx}{dt}$, $\frac{d^2x}{dt^2}$, ..., $\frac{d^m x}{dt^m}$ ҳосилаларидан ташкил топган қуйидаги кўринишдаги дифференциал тенгламалар учрайди:

$$\frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_n \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b \frac{dx}{dt} + b_0 x. \quad (\text{III} - 17)$$

АХМ ларда дифференциаторлар ишлатилмаслиги сабабли ҳосилаларни бевосита ҳосил қилиш имкониятига эга эмасмиз. Бу ҳолда умумий усул яроқсиз ҳисобланади ва программалашда каноник шакл ёки ёрдамчи ўзгарувчи усулларида фойдаланилади.

Каноник шакл усули. Бу усул тенгламанинг ўнг томонидан олинган ҳосила тартибининг тенгламанинг чап томонидан олинган ҳосила тартибидан кичик ёки унга тенг бўлиши шартини, яъни $m \leq n$ бўлишини талаб қилади.

(III — 17) тенгламанинг оператор шаклдаги кўриниши қуйидагича бўлади:

$$(p^n + a_n p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0) y_1 = (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0) x. \quad (\text{III} - 18)$$

Бу тенгламани каноник шаклга келтириш учун уни p га бўлиб, y_1 га нисбатан ечамиз

$$y_1 = b_n x + \frac{1}{p} \left[(-a_{n-1} y_1 + b_{n-1} x) \right] + \frac{1}{p} \left[(-a_{n-2} y_1 + b_{n-2} x + \dots \right.$$

$$+ \frac{1}{\rho} \left[(-a_1 y_1 + b_1 x) + \frac{1}{\rho} (-a_0 y_1 + b_0 x) \right] \dots \} \quad (\text{III} - 19)$$

бу ерда $m = n$ деб ҳисобланган.

(III—19) ни АҲМ да ечиш учун қуйидаги каноник кўринишга эга бўлган n тенгламани ҳамда боғланиш тенгламасини моделлаш лозим:

$$\left. \begin{aligned} p y_{n+1} &= -a_0 y_1 + b_0 x, \\ p y_n &= -a_1 y_1 + b_1 x + y_{n+1}, \\ &\vdots \\ p y_3 &= -a_{n-2} y_1 + b_{n-2} x + y_4, \\ p y_2 &= -a_{n-1} y_1 + b_{n-1} x + y_3, \\ p y_1 &= b_n x + y_2 \end{aligned} \right\} \quad (\text{III}-20)$$

Қуйидаги иккинчи тартибли тенглама мисолида бу усулнинг қўлланилишини кўриб чиқамиз

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x \quad (\text{III} - 21)$$

Оператор шаклида (III — 21) ни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$p^2 y + a_1 p y - a_0 y = b_1 p x + b_0 x. \quad (\text{III}-22)$$

Умумий усулдагидек ҳосила юқори тартибини тенгламанинг қолган қисмига тенглаймиз:

$$\rho^2 y = b_1 \rho x - a_1 y + b_0 x - a_0 y \quad (\text{III}-23)$$

ёки

$$p^2 y = p(b_1 x - a_1 y) + b_0 x - a_0 y. \quad (\text{III} - 24)$$

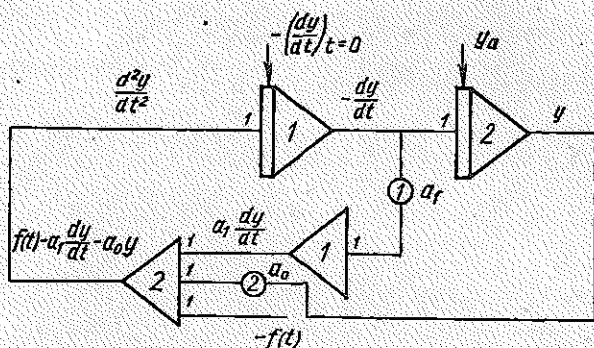
Бу тенгламанинг иккала томонини икки марта интегралласак, қуйидагини оламиз:

$$y = \frac{1}{p}(b_1 x - a_1 y) + \frac{1}{p^2}(b_0 x - a_0 y) \quad (\text{III}-25)$$

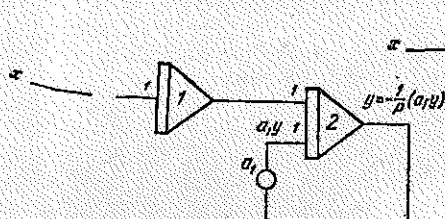
Программанинг структурaviй схемасини тузишни сони дифференциал тенглама тартибига тенг бўлган интеграторларни кетма-кет улашдан бошлаймиз. (III — 9-расм). Охириги интеграторнинг чиқиш йўлида нолинчи тартибли ҳосила мавжуд деб фараз қилинади, яъни охириги интегратор чиқиш йўли катталиги y билан белгиланади, x эса кириш йўлида уланмаган ҳолда тасвирланади.

— $\left(\frac{1}{p}\right) a_1 y$ ни олиш учун y чиқиш йўли катталигини a_1 га кўпайтириб, интеграллаш лозим (III — 10-расм). — $\left(\frac{1}{p^2}\right) a_0 y$ ни олиш учун y чиқиш йўли катталигини a_0 га кўпайтириб, икки марта интеграллаш лозим (III — 11-расм).

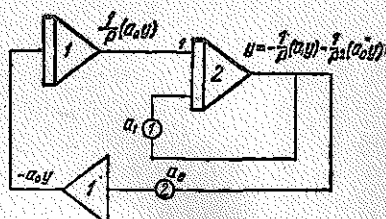
Шунга ўхшаш x бор ҳадлар ҳам олинади. $\left(\frac{1}{p}\right) b_1 x$ ва $\left(\frac{1}{p^2}\right) b_0 x$ ифодалар x ни мос ҳолда бир ва икки марта интеграллаб олинади. Тугал натижа III — 12-расмда тасвирланган.



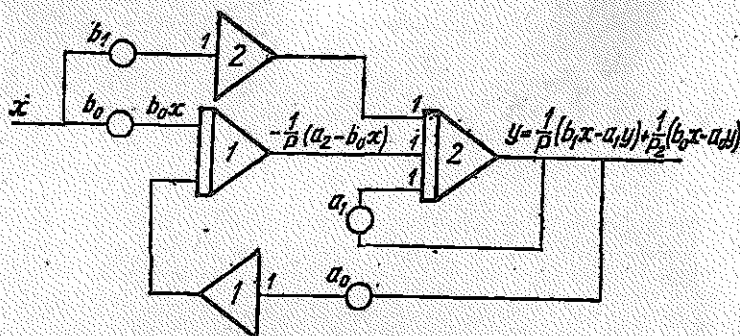
III—8- расм.



III—10- расм.



III—11- расм.



III—12- расм.

Умумий усулда нитегратор чиқиш йўллари катталиклари y ва унинг ҳосилалари бўлганликлари сабабли уларга бошланғич шартлар бериш қийинчилик туғдирмайди. Каноник шакл усулида охириги интегратордан бошқа интеграторларнинг бошланғич шартларини ҳисоблаш лозим. Бизнинг мисолимизда 1-интегратор бошланғич шarti (III — 24) тенгламани бир марта интеграллаб, ҳадлар жойини алмаштириш орқали олинади:

$$\frac{1}{p}(a_0 y - b_0 x) = (b_1 x - a_1 y) - p y \quad (\text{III} - 26)$$

Бу тенгламанинг ўнг томонидаги ҳамма ҳадларнинг бошланғич катталиклари маълум.

Каноник шакл усули ўнг томони ўзгарувчи тенгламани ва унинг ҳосилаларидан ташкил топган дифференциал тенгламаларни АХМда ечишнинг самарали усули ҳисобланади: ҳар бир амалий кучайтиргичда кириш йўли занжирлари сони учдан ошмайди, ишлатиладиган амалий кучайтиргичлар сони эса $n + 3$ дан ошмайди (n интегратор ва k купн билан учта инвертор).

Ёрдамчи ўзгарувчи усули. Бу усулга кўра тенглама ўнг томони ҳосиласи тартибининг тенглама чап томони ҳосиласининг тартибидан кичик ёки унга тенг бўлиши шарт ва бундан ташқари a_1 ва b_1 коэффициентлар ўзгармас бўлиши лозим. (III — 21) тенглама мисолида ёрдамчи ўзгарувчи усулининг қўлланилишини кўриб чиқайлик. Қуйидаги тенгламанинг ечимидан иборат бўлган z ёрдамчи ўзгарувчини киритамиз:

$$p^2 z + a_1 p z + a_0 z = x. \quad (\text{III} - 27)$$

Бу тенгламанинг икки тарафини b_0 га кўпайтирамиз:

$$b_0 p^2 z + b_0 a_1 p z + b_0 a_0 z = b_0 x. \quad (\text{III} - 28)$$

Энди (III — 27) тенгламани дифференциаллаб, b_1 га кўпайтирамиз, яъни $b_1 p$ га кўпайтирамиз:

$$b_1 p (p^2 z) + b_1 p (a_1 p z) + b_1 p (a_0 z) = b_1 p x. \quad (\text{III} - 29)$$

(III — 28) ва (III — 29) тенгламаларни қўшиб ўхшаш ҳадларини қавсдан ташқарига чиқарсак қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$(b_1 p + b_0) p^2 z + (b_1 p + b_0) a_1 p z + (b_1 p + b_0) a_0 z = b_1 p x + b_0 x. \quad (\text{III} - 30)$$

a_1 ва b_1 коэффициентлар ўзгармас бўлганлари учун амаллар тартибини ўзгартириш мумкин.

У ҳолда (III — 30) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

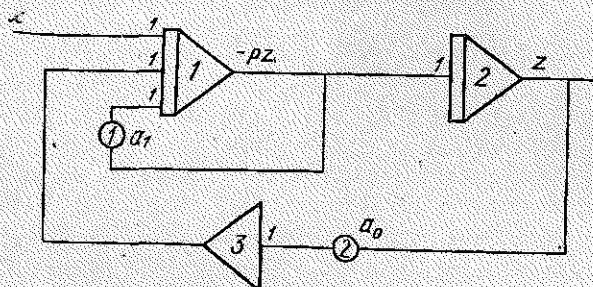
$$p^2 [(b_1 p + b_0) z] + a_1 p [(b_1 p + b_0) z] + a_0 [(b_1 p + b_0) z] = (b_1 p + b_0) x. \quad (\text{III} - 31)$$

Бу тенглама билан (III — 22) тенгламани таққосласак, уларнинг қуйидаги шарт бажарилганда ўзаро тенглигига ишонч ҳосил қилиш мумкин:

$$y = (b_1 p + b_0) z. \quad (\text{III} - 32)$$

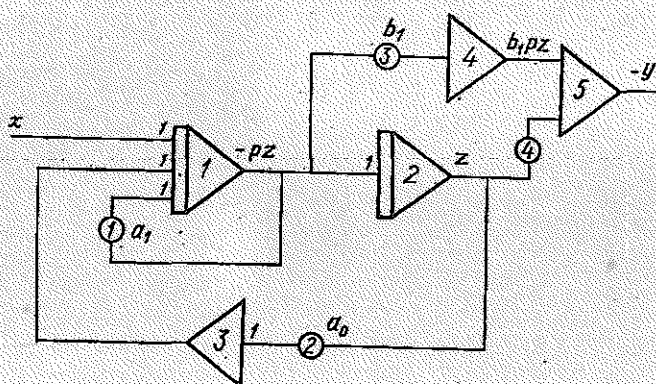
Бу тенглама биз излаётган y эрксиз ўзгарувчи билан (III — 27) тенгламани программалашда умумий усулни қўллаш билан осонгина топиловчи z ёрдамчи ўзгарувчини боғлайди. Ундан ташқари, бу тенгламанинг иккала томонини оддий дифференциаллаш йўли билан y функциянинг ҳар қандай ҳосиласи ва ўзгарувчи ҳосилалари ўртасидаги ўзаро нисбатни топиш мумкин.

Изланаётган y эрксиз ўзгарувчини топиш учун аввал (III — 27) тенглама учун умумий усулга кўра программа тузамиз. Программанинг



III—13- расм.

структуравий схемаси III — 13-расмда кўрсатилган. Шундай қилиб, биз z ўзгарувчи ва унинг биринчи икки ҳосиласига эга бўлдик. y ўзгарувчини олиш учун z ва унинг биринчи ҳосиласини шундай жамлаймизки, (III — 32) тенглама қаноатлансин. Натижавий структура схемаси III — 14-расмда берилган.



III—14- расм.

Ўзгарувчи z ва унинг ҳосиласи учун бошланғич шартлар қуйидаги тенгламалар системаси ёрдамида аниқланади.

$$\begin{aligned} b_1 p z + b_0 z &= y, \\ b_1 p^2 z + b_0 z &= p y, \\ p^2 z + a_1 p z + a_0 z &= x, \end{aligned} \quad (\text{III} — 33)$$

Бу системага y , py ва x функцияларнинг бошланғич қийматларини қўйиб, z ва pz ўзгарувчиларнинг бошланғич қийматларини топамиз.

Дифференциал тенглама ёрдамчи ўзгарувчи усули бўйича ечилганда n та интегратор ва кўпи билан учта жамлагич ишлатилиши талаб қилинади. Бу усулнинг камчилиги сифатида кириш йўли занжирларининг амалий кучайтиргичлар ўртасидаги нотекис тақсимланишини кўрсатиш мумкин.

III — 3-§. Алгебраик тенгламалар системасини моделлаш

Ҳозирги вақтда АҲМларда алгебраик тенгламалар системасини ечишнинг олтита усулини кўрсатиш мумкин: берилган системани бевосита моделлаш, алгебраик тенгламалар системасини оддий дифференциал тенгламалар системасига келтириш, сканирлаш (кўриб чиқиш), Гаусс-Зейдел итерация усули, минимумлаш усули ва градиент усули.

Бевосита моделлашда итерация усулининг қўлланилишини кўриб чиқайлик.

Қуйидаги чизиқли алгебраик тенгламалар системасини АХМда ечиш талаб қилинсин:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_j + f_i = 0 (i=1, 2, \dots, n) \quad (\text{III} - 34)$$

Бу система машинада териш ва ечиш учун қулай кўринишга келтирилади:

$$\left. \begin{aligned} -x_1 &= b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1n}x_n + \frac{1}{a_{11}}f_1; \\ -x_2 &= b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2n}x_n + \frac{1}{a_{22}}f_2; \\ &\vdots \\ -x_n &= b_{n1}x_1 + b_{n2}x_2 + \dots + b_{nn}x_n + \frac{1}{a_{nn}}f_n; \end{aligned} \right\} \quad (\text{III}-35)$$

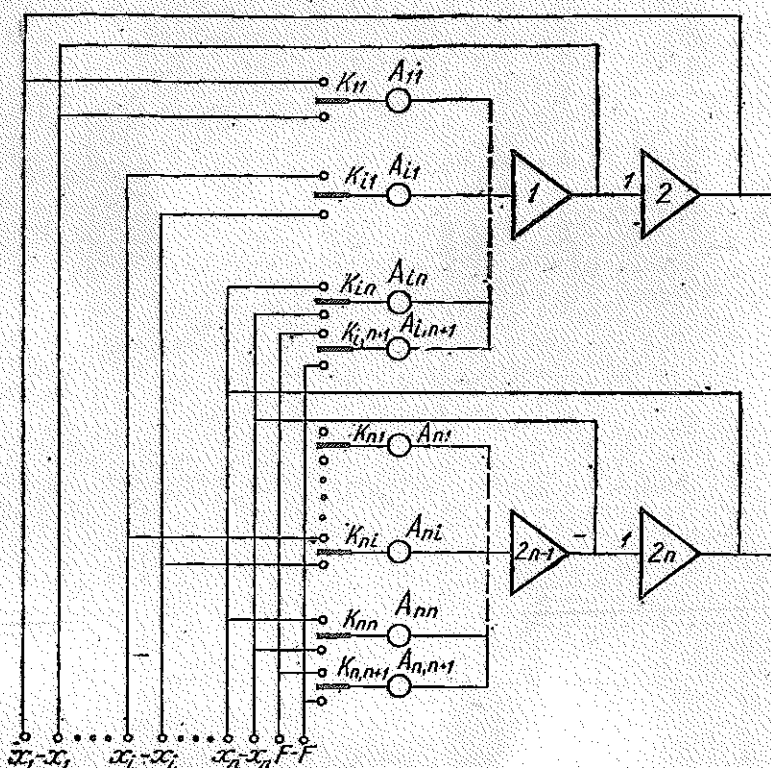
бу ерда $b_{ij} = 0$; $i = j$ бўлганда,

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_{ii}}; i \neq j \text{ бўлганда } (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

Масштаблаш бажарилгандан сўнг бу тенгламалар системи машина ўзгарувчиларида куйидагича ёзилади:

[illegible]

Агар бу система ўзгармас коэффициентлар блокига эга бўлган машиналарда ечилса, қулайлик учун уни тенгламаларнинг ўнг томонидаги коэффициентлар бирдан кичик бўладиган кўринишга келтириш керак. Бунинг учун тенгламалардаги ҳамма қўшилувчиларни коэффициентлари ичида энг каттасига бўлиб, i ўзгарувчини алгебраик қўшиш ёки айриш лозим.



111—16- расм.

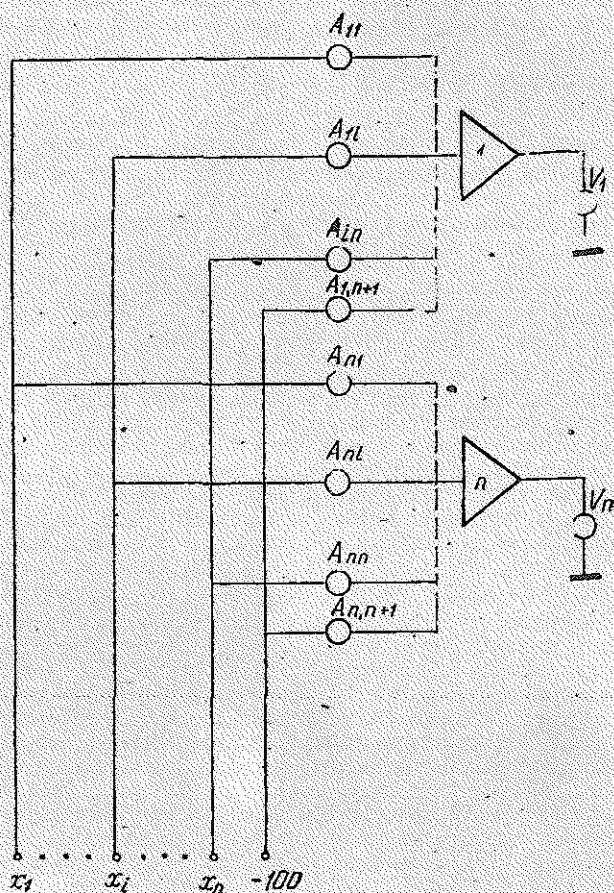
қўзғатилишига олиб келиши, яъни схема нотурғун бўлиб қолиши мумкин. Бу ҳолда схеманинг нотурғунлиги ечилаётган системанинг математик хусусиятларидан келиб чиқмайди, балки у машина тенг-ламасининг амалга оширилишига боғлиқдир. Шунинг учун алгебраик тенгламалар системасини АХМда ечишда турғунлиқни таъминлаш масаласига катта эътибор бериш зарур.

Гаусс-Зейделнинг итерация усули. Бу усулга асосан алгебраик чиқиқли тенгламалар системаси (III — 34) қуйидаги кўринишга келти- рилади:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + b_i = \varepsilon_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{III} - 38)$$

бу ерда ε_i , x_j — ўзгарувчиларни танлаш аниқлигини баҳоловчи ҳадлар.

Масалани ечиш — (III — 37) тенгламани қаноатлантирувчи x_j қиймат-ларни (III — 38) тенгламадаги ε_j қийматдан фойдаланган ҳолда танлаш-дан иборатдир.



III—17- расм.

Ҳамма x_i ўзгарувчиларни танлаш ва ўзгартириш ҳамма e_i қийматлар нолга тенг бўлмагунча кетма-кет амалга оширилади.

(III — 38) тенгламалар системасини моделловчи структуравий схема III — 17-расмда келтирилган. Кучайтиргичларнинг кириш йўлларида қидирилатган $x_1, x_2, \dots, x_n$ номаълумларни моделловчи кучланишлар берилди. Аввал x_1 ни моделловчи кучланиш биринчи жамловчи кучайтиргич чиқиш йўлининг кучланиши нолга тенг бўладиган қилиб ўзгартирилади. Кучайтиргичларнинг чиқиш йўлларидаги кучланишлар $U_1, U_2, \dots, U_n$ вольтметрлар ёрдамида контрол қилиб турилади. Кейин x_2 ни моделловчи кучланиш иккинчи жамлагич чиқиш йўлининг кучланиши нолга тенг бўлгунча ўзгартирилади. Бу вақтда биринчи жамлагич кучайтиргичи чиқиш йўлининг кучланиши нолдан фарқ қи-

лиши мумкин. Сўнгра кейинги ўзгарувчилар билан ҳам шунга ўхшаш процесс амалга оширилади. Ҳамма кучайтиргичларнинг чиқиш йўллари кучланишлари нолга тенг бўлган тақдирдагина масала ечилган ҳисобланади ва кучайтиргичларнинг кириш йўлларида ҳосил бўлган кучланишлар тенгламалар системаси илдизларига пропорционал бўлади.

Бу усулдан фойдаланилганда турғун ечимни (система яқинлаши-
шини) таъминлаш учун куйидаги шартларни қаноатлантириш лозим:

1) чиқиқли система матрицаси бош диагоналга нисбатан симметрик бўлиши шарт;

2) матрица мусбат аниқланган бўлиши, яъни унинг квадратик формаси нолдан катта бўлиши шарт.

Алгебраик тенгламалар системасини оддий дифференциал тенгламалар системасига келтириш. Чизиқли алгебраик тенгламалар системасини ечишнинг умумийроқ усулига биноан, турғунликни таъминлаш мақсадида, (III-37) алгебраик тенгламалар системадан қуйидаги дифференциал тенгламалар системасига ўтилади

$$\frac{dx_i}{dt} + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + b_i = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{III} - 39)$$

Маълумки, агар характеристик тенглама илдизларининг ҳақиқий қисмлари манфий бўлса, система турғун ҳисобланади ва ўтиш процесси тамом бўлиши билан x , ўзгарувчилар ўзгармас турғун қийматларни

қабул қилади. Демак, турғун режимда ҳамма $\frac{dx_i}{dt}$ ҳосилалар нолга тенг ва (III — 39) система дастлабки (III — 34) системага эквивалент бўлади. Шундай қилиб, турғун (III — 39) система учун x_i ўзгаришларнинг турғун режимидаги қийматлари (III — 34) алгебраик система илдизлари ҳисобланади. Аввалдан (III — 39) системанинг турғунлиги маълум бўлса, машинада бу дифференциал тенгламалар системаси ечилади.

Системанинг тургунлиги тўғрисида маълумот бўлмаган тақдирда дифференциал тенгламалар системасини тургун ечимни таъминловчи кўринишга келтириш усулларидадан фойдаланиш мумкин.

1-усул. Турғун ечимни олиш учун транспозицияланган (III — 39) системани транспозицияланган матрицага кўпайтириш лозим. Бу вақтда машинада ечиладиган тенгламалар системаси қуйидаги кўринишга келади:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} + a'_{11}x_1 + a'_{12}x_2 + \dots + a'_{1n}x_n + b'_1 &= 0; \\ \frac{dx_2}{dt} + a'_{21}x_1 + a'_{22}x_2 + \dots + a'_{2n}x_n + b'_2 &= 0; \\ \vdots &\vdots \\ \frac{dx_n}{dt} + a'_{n1}x_1 + a'_{n2}x_2 + \dots + a'_{nn}x_n + b'_n &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (\text{III}-40)$$

бу ерда $a'_{ik} = \sum_{j=1}^n a_{ij} a_{jk}$; $b_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} b_j$, ($\kappa_i i = 1, 2, \dots, n$) Бу усулнинг камчилиги — юқори даражали дастлабки тенгламаларни ўзгартиришнинг сермехнатлигидир.

II — усул. Бу усулга биноан (III—39) тенгламалар системаси ўзгармас параметрларга эга бўлган қуйидаги дифференциал тенгламалар системасига келтирилади:

$$\frac{dx}{dt} + S_i \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + b_i \right) = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{III} - 41)$$

Ўзгармас параметрларни вариациялаш йўли билан чиқиқли тенгламалар системасининг турғун ечимини олиш имконини таъминлаш мумкин.

III — усул. n даражали алгебраик тенгламалар системасининг турғун ечимини таъминлаш мақсадида b озод параметрли $2n$ даражали дифференциал тенгламалар системасини ечишга ўтиш амалга оширилади:

$$\left. \begin{aligned} b \frac{dx_i}{dt} - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{n+j} &= 0, \\ b \frac{dx_{n+i}}{dt} + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + x_{n+i} - b_i &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III} - 42)$$

b нинг етарлича катта қийматларида (III—42) дифференциал тенгламалар системаси АХМ да турғун ечилса ҳам даражанинг иккиланишини кўрсатиб ўтиш керак.

III—4-§. Интеграл тенгламаларни моделлаш

Баъзи бир интеграл тенгламаларни, чунончи, интеграллаш чегаралари берилган қуйидаги иккинчи тур интеграл тенгламани АХМда ечиш мумкин:

$$\varphi(x) = f(x) + \lambda \int_a^b \kappa(x, t) \varphi(t) dt, \quad (\text{III} - 43)$$

бу ерда $\varphi(x)$ — берилган функция; $f(x)$ — интеграл тенгламанинг озод ҳади; $\varphi(t)$ — маълум функция; $\kappa(x, t)$ — интеграл тенглама ядроси, икки ўзгарувчининг маълум функцияси.

Математикада (III—43) кўринишидаги тенгламалар иккинчи тур Фредгольм тенгламалари номини олган.

АХМда ўзгарувчан интеграллаш чегараларига эга бўлган қуйидаги иккинчи тур интеграл тенгламаларни ҳам ечиш мумкин:

$$\varphi(x) = f(x) + \int_0^x \lambda \kappa(x, t) \varphi(t) dt \quad (\text{III} - 44)$$

Бу тенгламалар иккинчи тур Вольтерра интеграл тенгламалари номини олган.

Иккинчи тур интеграл тенгламаларни қуйидаги усуллар ёрдамида ечиш мумкин:

- 1) интеграл тенгламаларни алгебраик чизиқли тенгламалар системасига келтириш усули;
- 2) итерация методи.

Иккинчи тур интеграл тенгламани алгебраик чизиқли тенгламалар системасига келтиришда $\varphi(x)$ функциянинг қиймати $x_0, x_1, \dots, x_n$ дискрет қийматлар учун изланиб, тенглама интеграли квадратура ифодаси билан алмаштирилади. Алгебраик тенгламалар системасининг даражаси функция қиймати изланаётган аргумент x нинг нуқталари сони орқали аниқланади.

Қуйидаги интеграл тенгламани ечиш талаб қилинсин:

$$\varphi(x) = f(x) + \int_a^b \kappa(x, t) \varphi(t) dt. \quad (\text{III}-45)$$

Аргумент x нинг ўзгариш чегараларини n та тенг бўлақларга ажратамиз. У вақтда ҳар бир x_i қиймат учун қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\varphi(x_i) \approx f(x_i) + \sum_{j=0}^n A_j \kappa(x_i, x_j) \varphi(x_j); \quad i = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (\text{III}-46)$$

бу ерда A_j — квадратура ифодаси коэффициентлари. Тўғри тўртбurchакликлар усулини қўллаб, K_i ва K_{i+1} нуқталар орасидаги интервалларни тенг қилиб олсак, квадратура коэффициентлари $A = \frac{b-a}{n}$ га тенг бўлади.

Демак, $\varphi(x_i) = y$ деб белгиласак, қуйидаги алгебраик тенгламалар системасини оламиз:

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= f(x_0) + \frac{b-a}{n} (b_{00}y_0 + b_{01}y_1 + \dots + b_{0n}y_n); \\ y_1 &= f(x_1) + \frac{b-a}{n} (b_{10}y_0 + b_{11}y_1 + \dots + b_{1n}y_n); \\ y_n &= f(x_n) + \frac{b-a}{n} (b_{n0}y_0 + b_{n1}y_1 + \dots + b_{nn}y_n), \end{aligned} \right\} \quad (\text{III}-47)$$

бу ерда $b_{ij} = K(x_i, x_j)$ — ўзгармас коэффициентлар. Бу алгебраик чизиқли тенгламалар системасини III—3-§ да баён қилинган усулларнинг бири ёрдамида ечиш мумкин.

Итерация усулининг моҳияти қуйидагича. Бу усулда $\varphi(x)$ функциянинг қиймати аргументнинг дискрет қийматлари $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ учун изланади. Ҳар бир аргумент қиймати учун $\varphi(x_i)$ функциянинг қиймати кетма-кет яқинлашиш йўли билан аниқланади.

$$\varphi_{k+1}(x_i) = f(x_i) + \int_a^b \kappa(x_i, t) \varphi_k(t) dt \quad (\text{III}-48)$$

Агар қуйидаги шарт бажарилса, x_i аргумент учун функция қиймати топилган ҳисобланади:

$$|\varphi_{k+1}(x_i) - \varphi_k(x_i)| \leq \varepsilon,$$

бу ерда ε — исталган аниқликка боғлиқ бўлган бирор кичик қиймат, (III — 44) ифодадан кўриниб турибдики, $\varphi(x_i)$ функциянинг $(k+1)$ яқинлашишини излаш учун аргумент ўзгаришининг бутун оралигида $\varphi_k(t)$ функциянинг k яқинлашишини билиш керак. Шунинг учун АХМ таркибида изланаётган функциянинг k яқинлашишини хотирлашга имкон берувчи блоклар бўлиши лозим.

Интеграл тенгламаларда озод ҳад $f(x)$ ва тенглама ядроси $\kappa(x, t)$ маълум функциялар ҳисобланади, уларни чизиқли бўлмаган блоклар ёки ўзгарувчи коэффициентлар блоклари ёрдамида амалга ошириш мумкин.

IV БОБ. ГИБРИД ҲИСОБЛАШ МАШИНАЛАРИ (ГҲМ)

IV — 1-§. Гибрид ҳисоблаш машиналарининг турлари.

ГҲМларни кириш йўли (дастлабки) ва чиқиш йўли (натижавий) ахборотларини ифодалаш усули, ахборотларни ҳисоблаш усули, ГҲМ таркибига кирувчи аналог ва рақамли ҳисоблаш машиналари ва қурилмаларининг турлари бўйича группалаш мумкин. Бирор аломатни танлаш ГҲМларни группалашдан кўзда тутилган мақсадга боғлиқ. Бизнинг фикримизча, биринчи икки аломат, яъни ахборотларни ифодалаш ва ҳисоблаш усулларида фойдаланган ҳолда ГҲМларни ишлаш асослари бўйича группалаш умумийроқдир.

Шунга асосан ҳозирги замон ГҲМларининг турларини тавсифлаймиз.

1. Информациyani тенг меъёردа аналог ва рақам шаклларида ифодалаш ҳамда ишлаш усулларида фойдаланиладиган аналог рақамли ҳисоблаш машиналари ва системалари. Бундай ГҲМлар ўзаро боғланиш системаси ривожланган универсал аналог ва рақамли ҳисоблаш машиналардан ташкил топади. Шунинг учун улар аналог-рақамли ҳисоблаш комплекслари деб юритилади ва мувофиқлаштирилган структурали классик ГҲМларга мансуб ҳисобланади.

2. Информациyani аналог шаклда ифодалаш ва ишлаш усуллари устунлик қилувчи гибрид ҳисоблаш машиналари. Улар универсал АҲМлар ҳамда уларнинг ишлашини бошқарувчи ёки айрим ҳисоблашларни бажаришга мўлжалланган махсус рақамли ҳисоблаш қурилмаларидан ташкил топган. Рақамли бошқариш қурилмалари ишлатилган тақдирда АҲМларда ечимни қайтариш ва бир давр маълумотларидан кейинги даврларда фойдаланиш учун хотирлашни амалга ошириш мумкин (ечимни даврлаштирадиган АҲМлар ёки итерацион АҲМлар).

Рақамли махсус ҳисоблаш қурилмаларидан фойдаланилганда асосий ҳисоблашлар АҲМда амалга оширилиб фақат махсус, ҳажм жиҳатдан катта бўлмаган ҳисоблашларнинг бир қисми рақамли қурилмада бажарилади. Бундай ГҲМларга рақамли махсус интегратор билан уланган АҲМ мисол бўла олади.

3. Информациyani рақам шаклида ифодалаш ва ишлаш усуллари устунлик қилувчи гибрид ҳисоблаш машиналари. Одатда, улар универсал РҲМлар ва махсус аналог ҳисоблаш қурилмалардан ташкил топган. Бу қурилмалар айрим ҳисоблашларни кичик аниқлик, аммо катта тезлик билан бажаришга мўлжалланган.

Резистор сеткалари тўпламидан иборат бўлган махсус аналог ҳисоблаш қурилмалари (сетка моделлар) билан уланган РҲМлар бу

хил ГХМларга мисол бўла олади. Бундай ГХМлар хусусий ҳосилали дифференциал тенгламалар системасини ечишга хизмат қилади.

Бошқа мисол тариқасида махсус аналог қурилмаларга (жамлагичлар, интеграторлар ва бошқалар) эга бўлган РХМ ларни кўрсатиш мумкин. Махсус аналог қурилмалари РХМ билан бир вақтда ҳисоблашларни бажаради, яъни берилган масалани ечиш тезлигини оширади.

4. Информация рақам шаклида ифодаланиб, аналог усулида ишланадиган гибрид ҳисоблаш машиналари. Буларга рақамли интегралловчи ва разрядли аналог ҳисоблаш машиналар киради.

Рақамли интегралловчи машиналарнинг асосий ечувчи элементи рақамли интегратор бўлиб, унинг хоналари¹ сони масала ечилишининг аниқлигига боғлиқ. Дифференциал тенгламани ечиш учун рақамли интеграторлар аналог ҳисоблаш машиналаридагидек ўзаро уланади.

Хонали аналог машиналарда ҳам ўзгарувчилар дискрет шаклда ифодаланади, аммо ҳар бир хона кучланишнинг тегишли катталиги билан тасвирланади ва ҳисоблаш амаллари ҳар бир хона устида аналог усули бўйича бажарилади.

5. Кириш ва чиқиш йўллариининг информациялари турли (аналог ва рақам) шаклда ифодаланиб, ҳисоблашлар аналог усулда бажариладиган гибрид ҳисоблаш қурилмалари. Бу хил қурилмалар махсус, асосан чизиқли бўлмаган функцияларни ҳисоблашда ишлатилади. Буларга информацияни ифодалаш шаклини ўзгартириш (аналог шаклдан рақамли шаклга ва тескарисига) процессида маълум функцияларни ҳисоблашни амалга оширувчи аналог-рақамли функционал (ҳисоблаш) ўзгартгичлар киради. Бир нечта аргументли функцияларни ҳисоблашда кириш йўли ўзгарувчиларнинг маълум қисми аналог шаклда, маълум қисми эса рақам шаклида ифодаланиши мумкин. Бундай қурилмаларнинг асосини аналог-рақам ва рақам-аналог ўзгартгичлари ташкил этади.

Қуйида ГХМларнинг кўпроқ учрайдиган хилларининг структураси ва ишлаш асослари кўриб чиқилади.

IV — 2-§. Аналог-рақамли ҳисоблаш комплекслари (мувозанатлаштирилган гибрид ҳисоблаш системалари ГХС)

Мувозанатлаштирилган ГХСларни лойиҳалашда ҳисоблаш воситаларини танлашнинг икки хил услубини кўрсатиш мумкин.

1. Стандарт АХМ ва умуммақсадларга мўлжалланган РХМлардан фойдаланиш.

2. Лойиҳаланадиган ГХС учун махсус яратилган АХМ ва РХМлардан фойдаланиш.

Иккинчи услуб мукаммалроқ ГХС ларни лойиҳалашга имкон беради ва шунинг учун истиқболли ҳисобланади.

Биринчи услуб бўйича лойиҳаланган ГХСлар ўз имкониятлари жиҳатидан махсус ишлаб чиқилганларидан қолишса ҳам, лекин уларни

¹ Хона (арифметикада) сонни позицион системада ёзганда рақамнинг тутадиган ўрни. Ўнли системада 1-хона рақамлари — бирлар, 2-хона рақамлари ўнлар ва ҳоказо (ред).

кам вақт ва кам харажат сарфлаб лойиҳалаш мумкин. Шунинг учун ҳам ҳозирги вақтда ишлатилаётган биринчи услуб бўйича лойиҳаланган ГХСларни кўплаб кўрсатиш мумкин.

Иккала услуб бўйича қурилган ГХСларнинг структуралари ва ишлаш принципларини кўриб чиқамиз.

Лойиҳаланадиган ГХСлар учун РХМ ва АХМ лар танлашда уларга қўйиладиган махсус талабларни ҳисобга олиш зарур.

АХМ структураси қуйидагиларни қаноатлантириши зарур:

а) ечимни қайтариш режимининг (ечимни даврлаштиришнинг) юқори частоталигини таъминлаши;

б) масала йиғишнинг қисман ёки тўла автоматлаштирилган бўлиши;

в) коэффициентларни (потенциометрларни) ўрнатиш автоматлаштирилган бўлиши;

г) ишлаш режимларини автоматик бошқариш имкониятлари бўлиши;

д) ечувчи элементларни группалаб ёки алоҳида бошқариш имконияти бўлиши;

е) оддий логик амалларни бажариши;

ж) ҳисоблаш ва бошқариш информацияларини узатиш учун РХМ билан боғланиши қулай бўлиши лозим.

РХМ структурасида:

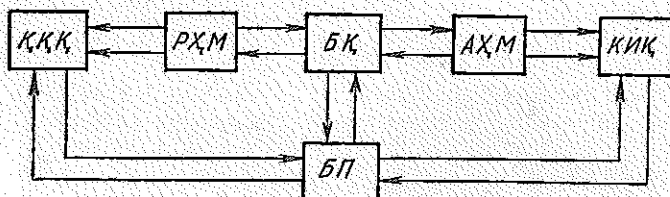
а) вақт тақсимлаш режимида ишлаш имконияти;

б) бажарилаётган программани системадаги бошқа ҳисоблаш машиналари сигнали бўйича ўзгартириш имконияти (бўлиниш режимининг кўп поғоналилиги);

в) РХМ команда системасини АХМ ишини бошқаришни ва у билан информация алмашишни таъминловчи махсус командалар билан тўлдириш имконияти;

г) сонларни қўзғалмас ва сурилувчи вергулли кўринишларда ифодаш имконияти бўлиши керак.

Мувоzanатлаштирилган ГХСларнинг умумлаштирилган структураси IV — 1-расмда кўрсатилган. Унинг таркибига қуйидагилар киради:



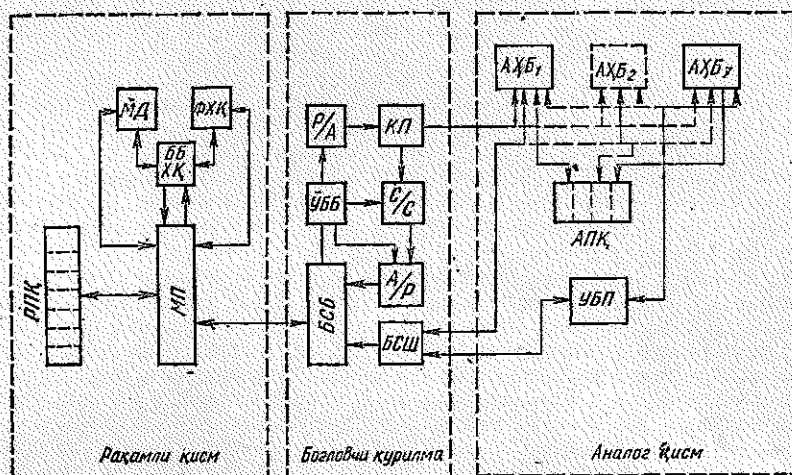
IV—1- расм.

универсал РХМ ва АХМ, аналог-рақамли ва рақамли-аналог ўзгартгичлардан, ГХСга мансуб бўлган қурилмаларнинг ишини бошқарувчи ва синхронловчи блоклардан ташкил топган боғловчи қурилма (БК), ечиш натижасини қайд қилувчи қурилма (ҚҚҚ — алфавит-рақамли босма қурилмалари, дисплейлар), ечиш процессини ва натижасини кузатиш ҳамда индикация қурилмалари (КИҚ — осциллографлар, элек-

тромагнит - ва рақамли вольтметрлар), ҳисоблаш системаси ишнини бошқариш пулти (БП). Бундай ГҲС ларнинг рақамли ва аналог қисмлари бир қанча РҲМ ва АҲМлардан ташкил топиши мумкин.

РҲМ ва АҲМ ишлашини БП орқали бошқариш БҚ ва синхронлаш блоклари орқали амалга оширилади.

ҚҚҚ ва КИҚлар тегишли ҳисоблаш машиналари ҳамда БП орқали бошқарилади.



IV—2- расм.

Ватанимизда иккинчи услуб бўйича қурилган мувозанатлаштирилган ГҲС га мисол қилиб ГҲС-100 ни кўрсатиш мумкин (IV—2-расм). Унинг таркибига гибридна системада ишлатиш учун махсус яратилган учинчи давр универсал РҲМ ва АҲМлар киради. ГҲС-100 универсал гибридна система ҳисобланади.

ГҲС-100 структураси модулли ҳисобланади, бу эса ечиладиган масалаларга қараб система ҳисоблаш қурилмаларининг оптимал таркибини танлаб олиш имкониятини беради.

ГҲС-100 нинг рақамли қисмини марказий процессор (МП), магнит дискаси (МД) даги ва феррит ҳалқадаги хотира қурилмалари (ФХҚ), турли киритиш-чиқариш қурилмалари, дисплей, график чиқувчиларни ўз ичига олувчи рақамли периферия қурилмалари (РПҚ) комплекси ташкил этади.

Системанинг аналог қисми 7 тагача аналог ҳисоблаш бўлимларини (АХБ₁, . . . АХБ₇), аналог периферия қурилмалари (АПҚ) ни, электрон-нур индикаторларни, рақамли вольтметрларни ва бошқаларни, аналог бўлимларни умумий бошқарув пулти (УБП) ни ўз ичига олади.

Ҳар бир АХБ параллел аналог процессорли АҲМдан иборат.

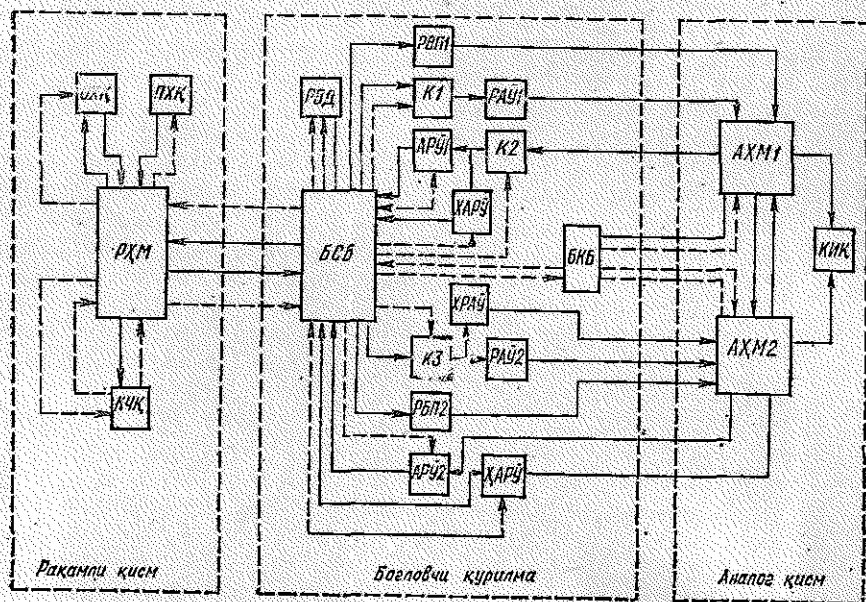
Ҳар бир АХБ ва ҳамма бўлимларнинг ГҲС рақамли қисми ва боғловчи қурилмаси билан биргаликда ҳамда автоном режимда ишлаш имконияти мавжуддир.

Ҳар бир АХБ да параллел логик элементлар, индикация, бошқариш ва бўлиниш тармоқлари, интеграторларни ҳамда саралаш ва сақлаш (С/С) қурилмаларини якка ва группалаб бошқариш блоклари, компараторлар, электрон калитлар ва функционал релелар, ечимни даврлаштириш блоклари, электрон селектор ва электрон потенциометр блоқи мавжудлиги ГХС-100 аналог қисмининг юқори даражада автоматлаштирилишини таъминлайди.

Ҳар бир АХБ нинг параллел логик элементлари системаси 8 та регистрдан, 2 та ўнли сўтчиғидан; 4 та дифференциатордан, 4 та якка вибратордан ва 48 та конъюнкция элементидан иборат. Уларнинг ўзоро ҳамда АХБ ечувчи блоклари билан боғланиши логик йиғув мойдонида амалга оширилади.

АХБ лар яхлит системага ташқари алоқа тармоқлари орқали боғланади. ГХС-100 нинг боғловчи қурилмаси рақамли ва аналог қисмлари орасида информация айирбошлашга хизмат қилишдан ташқари системанинг ишини бошқаради. У аналог-рақамли (А/Р), рақамли аналог (Р/А) ўзгартгич ва уларни бошқариш блоклари (ЎББ) дан-коммутация панели (КП) дан, саралаш ва сақлаш қурилмаси (С/С) дан, бошқариш ва синхронлаш блоқи (БСБ) дан ҳамда бошқарув сигналларини шакллантирувчи блок (БСШ) дан иборат. ГХС-100 да уни ташкил этувчи ҳамма қурилмалар иштирокида масалани ечиш махсус «гибрид масала» режимида амалга оширилади. Бу вақтда рақамли қисмининг ишлаши аналог қисмининг ишлашига мувофиқ бўлади. Шунинг учун ГХС-100 нинг РХМ структурасида АХМ билан информация, адрес, логик, бошқарув, синхронлаш сигналларини айирбошлашга хизмат қилувчи махсус каналлар кўзда тутилган. ГХС-100 қурилмаларининг ишини бошқариш ечиладиган масаланинг операцион системаси ва программасига мувофиқ амалга оширилади. Программда масала олдиндан рақамли ва аналог қисмларга бўлинган бўлади. Масаланинг рақамли қисми юқори савияли алгоритмик тилларнинг бирида (Фортран, Алгол) программаланади ва РХМ га киритилади. Масаланинг аналог қисми учун уни ечувчи структура схемаси тузилади ва АХМда (бир ёки бир нечта АХБларда) йиғилади. Масала аналог қисмининг программалаш процесси (структуравий схемани тузиш, масштаб коэффициентларини ҳисоблаш ва шунга ўхшашлар) автоматик равишда бажарилади. Бунинг учун математик таъминотда махсус аналог программалашни автоматлаштирувчи система (АПАС) кўзда тутилган.

Масалани ечишда ГХС нинг рақамли ва аналог қисмлари орасида информация ҳамда ечилаётган масала натижаларини айирбошлаш Р/А ва А/Р ўзгартгич блоклари ёрдамида бажарилади. Информация РХМ дан АХМ га Р/А блоқи орқали берилади. Бу блокнинг чиқиш йўллари коммутация панели (КП) ёрдамида АХБ ечувчи элементларининг мос кириш йўлларига уланган. Информация АХБ дан РХМга «КП — С/С — А/Р — БСБ — МП» канали бўйича берилади. С/С қурилмаси АХБ ечувчи элементининг чиқиш йўли кучланишининг А/Р блоқида рақам кодига ўзгартирилиши пайтидаги катталигини сақлашга мўлжалланган. ГХС-100 нинг турли қурилмалари томонидан амалларнинг бажарилишини вақт бўйича бирлаштириш мақсадида систе-



IV—3- расм.

мада қатор тадбирлар кўзда тутилган. Масалан, РХМда АХМ нинг ишини бошқарувчи командалар тез бажариладиган ва секин бажариладиган командаларга бўлинган. Тез бажариладиган командалар (бажарилиш вақти 10÷15 хотира қурилмасига мурожаат циклидан ошмайди) РХМ нинг бевосита контроллигида бажарилади, секин бажариладиганлари эса боғловчи қурилма контроллигида бажарилади. Бу эса РХМга гибрид масаланинг рақамли қисmini секин команда бажарилиши вақтида ечишга имкон беради.

АХМда логик қурилмаларнинг мавжудлиги уларнинг ишини программалаш йўли билан гибрид масалани вақт тақсимлаш режимида ечишни бошқаришга, марказий бошқаришга боғлиқ бўлмаган ҳолда қатор аналог моделларни приоритет бошқаришга, махсус программачаларни бажаришга, периферия қурилмаларини бошқаришга имкон беради.

Биринчи услуб бўйича қурилган ГХС ларга таркибда бошқарувчи РХМ, боғловчи қурилма ва АХМ комплекти бўлган аналог-рақамли ҳисоблаш системаси АРХС-2 мисол бўлади (IV—3- расм).

Бошқарувчи РХМ сифатида «Днепр-1» машинасидан, кейинчалик эса М-6000 дан фойдаланилган. Системанинг аналог қисми иккита кичик аналог ҳисоблаш машинаси МН-7 (АХМ-1) дан ва битта ўрта аналог ҳисоблаш машинаси МН-18 (АХМ-2) дан иборат. Боғловчи қурилма «Днепр-1» боғловчи қурилмаси ва ўзгартгич қурилма «УП-1» асосида яратилган. Боғловчи қурилманинг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, унда оддий чизиқли аналог-рақамли ва рақамли-аналог ўзгартгичлар билан бир қаторда ҳисобловчи ўзгартгичлар (ХАРУ, ХРАУ), шу жумладан кўпайтириш АРУ бор. Бундай ўзгартгичлар информация шаклини ўзгартириш ва маълум математик боғланишлар-

ни ҳисоблаш процессларини ўзида бирлаштиради. Уларда информация шаклини ўзгартириш классик алгоритмлари сақланади, ҳисоблаш алгоритмларини бажариш эса асосий қурилма, яъни АРУ ёки РАУ схемасини структуравий ўзгартириш ҳисобиға таъминланади.

Гибрид системаларида ҳисоблаш ўзгартгичларининг ишлатилиши математик амалларнинг бажарилиш вақти чекланганлиги сабабли РХМда ҳосил бўлувчи кечикиш катталигини камайтиришға имкон беради. Шунинг учун бундай ўзгартгичлар кўпроқ вақт ва хотирани талаб қилувчи математик ўзгарттиришларни (масалан, бир ва кўп ўзгарувчили чизиқли бўлмаган функцияларни) бажаришда ишлатилади. АХМларда бундай математик ўзгарттиришларни бажариш ускуна ҳажмининг ва хатоликларнинг сабабсиз ошишиға олиб келади.

Системада ишлатилган икки хил АХМ ечувчи элементлари элек-трик ва частота характеристикаларининг ҳар хиллиги боғловчи қурилмада икки комплект ўзгартгичлар бўлишини тақозо қилади.

Системада РХМ асосий бошқарувчи ва координацияловчи қурилма бўлиб, у АХМни бошқарувчи, информация шаклини ўзгартирувчи, рақамли бошқарувчи параметрларни (РБП) созловчи, АХМ режимларини контрол қилувчи командаларни шакллантиради. Бу командаларни РХМдан қабул қилиш ва системанинг тегишли қурилмаларига узатиш ишларини боғловчи қурилманинг бошқариш-синхронлаш блоки (БСБ) ва АХМ режимларини бошқариш-контрол блоки (БКБ) бажаради.

АРХС-2 қуйидагича ишлайди. РХМға программа киритилгандан ва АХМда структуравий схема йиғилгандан сўнг процесс АХМ интеграторларида бошланғич шартларни ўрнатишдан бошланади. Бошланғич шартларнинг рақамли коди $K1$, $K3$ коммутаторлар ва $PAУ1$, $PAУ2$ ўзгартгичлар орқали тегишли интеграторларға кучланиш кўринишида берилади. Кейин $РБП1$ ва $РБП2$ қурилмалари ёрдамида ечувчи элементларнинг керакли коэффициентларининг қийматлари ўрнатилади. Бу қийматлар резисторлар қаршиликларининг ва конденсаторлар сифмларининг қийматлари бўлиши мумкин. Шундан кейин $БКБ$ ёрдамида АХМлар ечиш режимига ўтказилади ва ишға туширилади. АХМларни масалани ечиш процессида керакли режимға ўтказиш ҳамда АХМларнинг режимларда бўлишини контрол қилиш $БКБ$ ишлаб чиққан сигналлар ёрдамида бажарилади. РХМ ва АХМ ўртасида информация айирбошлаш информация шаклини чизиқли ва ҳисоблаш ўзгарттиргичлари ёрдамида амалға оширилади.

Системада АХМ-1 интеграторларининг маълум группасини РХМ орқали улаш имконияти кўзда тутилган (АХМ — АРУ — РХМ — $PAУ$ — АХМ занжири бўйича). Бу эса АХМда ечиладиган масаланинг структуравий схемасини йиғиш процессини автоматлаштиришға имкон беради.

РХМда бўлиниш системасининг мавжудлиги:

1) ечувчи элементлар чиқиш йўлларининг кучланишлари рухсат этилган қийматларидан ошиб кетган тақдирда АХМда масштабларни программали ўзгартиришға;

2) ечувчи элементларнинг ишлаш қобилиятини контрол қилишға;

3) масала ечишда қўшимча программалар ва дастлабки маълумотлар киритишға;

4) система ҳамма қурилмаларининг синхрон ишлашини таъминлашга имкон беради.

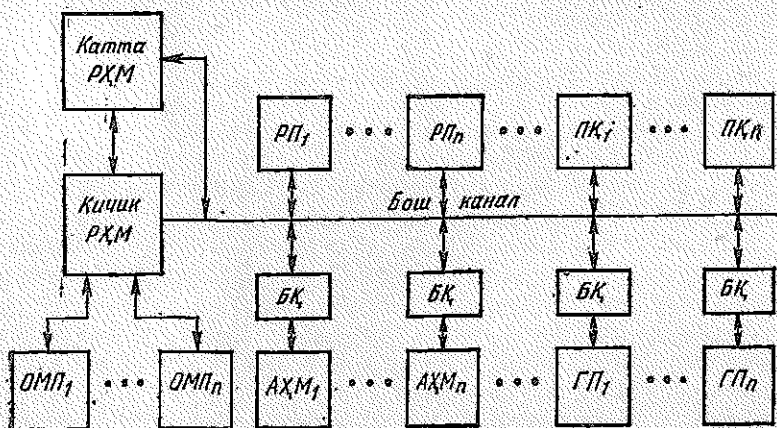
Қўрилатган система структурасида бир-биридан тезкорлиги, аниқлиги, ечувчи элементлари таркиби ва сони билан фарқланувчи АХМ1, АХМ2 ларнинг биргаликда ва автоном ишлаши кўзда тутилган. Бу машиналар биргаликда қизиқли бўлмаган мураккаб дифференциал тенгламалар системасини (22- даражагача) алоҳида тенгламаларини масала шартларига биноан ҳар хил аниқликда ва вақт масштабида тиклаш билан еча олади. Иккинчи режимда АХМ1 ни реал объектни имитация қилиш учун ишлатиб, АХМ2 да эса шу объектнинг тезлатилган вақт масштабидаги моделини олиш мумкин.

Ундан ташқари АРХС-2 технологик процессни ва физикавий тажрибани бошқариш системаларининг идентификация ва бошқариш оптимал алгоритмларини, рационал структураларини топиш имкониятини беради.

Қўриб чиқилган ГХСларда системанинг ишини бошқариш битта РХМ орқали бажарилганлиги учун улар бир поғонали ҳисобланади. Бундай структура бошқариш ва ҳисоблаш процессларини тўла ҳолда вақт бўйича бирлаштириш имконини бермайди. Бу ҳолда табиийки, ГХС унумдорлигидан етарлича фойдаланилмайди. Ундан ташқари, бир поғонали ГХС вақт тақсимлаш режимини ташкил қилиш бўйича чегараланган имкониятларга эга.

Юқорида камчиликлар кўп поғонали (иерархия) структурали ГХС да бўлмайди (IV—4- расм).

Бу ГХС *катта РХМ* (марказий процессор), қўшимча *кичик РХМ*, бир нечта АХМ, махсус рақамли ва гибрид процессорлар (РП, ГП) дан иборат. Бундай структурага мувофиқ *катта РХМ* да гибрид масаланинг рақамли қисми ечилади, *кичик РХМ* эса аналог, рақамли, гибрид процессорлар ва периферия қурилмаларини бошқариш ва улар билан *катта РХМ* ўртасида информация айирбошлаш масалаларини ба-



IV—4- расм.

жаради. Бу қатор ёрдамчи ва тайёрлов ишларни (АХМ йиғишни созлаш, тест контроли ва ш. ў.) марказий процессорсиз бажариш имкониятини беради. Бу вақтда марказий процессор бошқа масалани ечиши мумкин.

Қўрилаётган ГҲС да диспетчер ролини бажарувчи кичик РҲМ борлиги вақт тақсимлаш режимини амалга оширишга имкон беради. Бунинг учун системада оператор маҳаллий пулти (ОМП) кўзда тутилган бўлиб, у орқали масалани киритиш ва трансляция қилиш учун марказий процессорга узатиш, иш программаларини қабул қилиш ва натижани чиқариш, операторнинг ечиш процессига аралашishi каби ишлар амалга оширилади. Кичик ва катта РҲМ орасидаги боғланиш бевосита уларнинг оператив хотира қурилмалари орқали амалга оширилади. Кичик РҲМ ГҲС даги ҳамма қурилмаларнинг ишини координациялашни микропрограмма кўринишида амалга оширилган тегишли математик таъминот орқали бажаради.

IV—3. §. ГҲС процессорлари ўртасида масалани тақсимлаш

ГҲСда аналог ва рақамли процессорлар борлиги масалани ечишга тайёрлаш учун махсус талаблар қўяди. Асосий масала—ечилаётган умумий масалани рақамли, аналог ва гибрид (ГҲСда гибрид процессорлар бўлса) қисмларга оптимал тақсимлашдан иборат. Бу масаланинг тўғри ҳал қилиниши ечимнинг зарур аниқлигига эришилган ҳолда ГҲС унумдорлигидан максимал фойдаланишни таъминлайди. Бошқача қилиб айтганда, дастлабки масалани ГҲС процессорлари ўртасида шундай тақсимлаш керакки, уни ечишга минимал вақт сарф қилинсин ва берилган аниқлик таъминлансин.

Ҳозирча умумий ҳол учун гибрид масалани оптимал тақсимлашнинг қатъий усул ва алгоритмлари йўқ. Ҳар бир муайян ҳолда дастлабки масала тенгламасига ва бутун масала қатори унинг алоҳида қисмларининг ечилиш аниқлигига ва вақтига қўйилган талаблар синчиклаб таҳлил қилиниши лозим.

Шунга қарамасдан бу борада қуйидаги бир қанча умумий тавсияларни бериш мумкин (масалани берилган аниқликда минимал вақт сарфлаб ечишни таъминлаш талаб қилинганда).

1. Физикавий нуқтан назардан бутун процессни секин ўзгарувчи ва тез ўзгарувчи ташкил этувчиларга бўлиш мумкин бўлган кўпгина масалалар учун секин ўзгарувчи процессларни тавсифловчи тенгламаларни РҲМда, тез ўзгарувчиларини эса АХМда ечиш мақсадга мувофиқдир. Бундай масалаларга мисол тариқасида қаттиқ жисмнинг парвози ва парвоз этишида унинг ҳаракат траекториясини бошқаришни тавсифловчи тенгламалар системасини кўрсатиш мумкин. Бу ерда тез процессларга жисмнинг масса маркази атрофида ҳаракатини тавсифловчи тенгламалар гуруҳи мансуб бўлса, секинларига эса масса маркази ҳаракатининг тенгламалари мансубдир.

2. Параметрик оптимизация масаласи ечилганда, яъни мураккаб динамик системанинг берилган мақсад функциясининг (масалан, мақсадга эришишда энергия ва вақтни минимал сарфлаш, минимал таннарх, максимал унумдорлик, максимал фойда, максимал парвоз узоқ-

лиги) экстремал қийматларини таъминловчи маълум бурух параметрларнинг қийматларини топиш талаб қилинганда АХМда динамик объектни тавсифловчи дифференциал тенгламалар системасини интеграллашни бажариш, РХМда эса изланаётган параметрларнинг оптимал қийматларини топиш бўйича ҳамма ҳисоблаш ва логик амалларни бажариш мақсадга мувофиқдир.

3. Махсус РХМ ёрдамида динамик объектни бошқариш масаласи ўрганилаётганда ГХС аналог қисмида бошқарилувчи объектни, рақамли қисмида эса бошқарувчи РХМни моделлаш тақсимлашнинг оддийроқ варианты ҳисобланади. Бу ҳолда ГХС боғловчи қурилмаси ўрганилаётган система боғловчи қурилма ролини бажаради. Бу ҳолда ҳам юқорида 1 ва 2 бандлардаги мулоҳазаларга биноан объект моделининг тенгламалар системасини таҳлил қилиш зарур.

ГХСда ечиш лозим бўлган қуйидаги оддий дифференциал тенгламалар системаси мисолида масалани аналог ва рақам қисмларга ажратиш услубларидан бирини кўриб чиқайлик:

$$\frac{dx_1}{dt} = f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, t), \quad x_1(0); \quad (IV-1)$$

бу ерда f_1 — чизикли бўлмаган функциялар.

Шунга эътибор бериш лозимки, ГХС нинг энг катта унумдорлигига эришиш, асосан, АХМ нинг функционал имкониятларидан ва имконий тезкорлигидан қанчалик тўла фойдаланишга боғлиқ (берилган ечим аниқлигига риоя қилинган ҳолда).

Мувозанатлаштирилган ГХСда масала ечишда АХМ нинг учта иш режимини фарқлаш лозим: а) аналог қисмини тўхтатмаган ҳолда ҳисоблаш ва бошқариш информацияларини айирбошлаш билан масалани бир марта ечиш; б) ечишнинг охириги тактида ҳисоблаш ва бошқариш информацияларини айирбошлаш билан кўп марта ечиш; в) ечиш процессида ҳисоблаш ва бошқариш информацияларини айирбошлаш учун АХМни тўхтатиш билан бир марта ечиш.

ГХС нинг энг унумдорлигига эришиш учун биринчи режим ишла тилади. Бунда АХМнинг имконий тезкорлигидан максимал фойдаланиш учун қуйидаги муносабатга биноан АХМда ечимни олиш тезлигини АХМнинг ишлаш тезлиги билан мослаш зарур;

$$t_{\text{эвб}} (1 + \delta)n \leq T_{\text{АХМ}}, \quad (IV-2)$$

бу ерда $t_{\text{эвб}}$ — РХМ битта командасининг бажарилишига кетадиган эквивалент (ўртача) вақт; n — масала рақамли қисми ечилишининг бир қадамида РХМ программа командасининг ўртача сони; $T_{\text{АХМ}}$ — масала аналог қисмининг АХМда ечилишига кетадиган минимал вақт; δ — АХМ ва РХМ ўртасида информация айирбошлаш ва РХМ программасида аналог қисмини бошқариш командаларининг улушини харақтерловчи коэффициент.

(IV-2) муносабатдан кўриниб турибдики, АХМ имконий тезкорлигидан максимал фойдаланиш ва шу билан бирга ГХСнинг энг катта унумдорлигини таъминлаш учун δ нинг қийматини ҳамда n сонни камайитишга интилиш зарур. Бунга масалани рационал тақ-

симлаш ва рақамли қисмини ечишнинг оптимал саноқ усулини танлаш йўли билан эришилади.

Юқорида айтиб ўтилганидек, умумий ҳол учун масалани ГХСда оптимал тақсимловчи қатъий расмийлашган усуллар ва алгоритмлар йўқ. Аммо баъзи бир масалаларнинг муайян туркуми учун бундай усуллар яратилган. Булардан бирини, яъни узлуксиз технологик процессни моделлаш ва бошқариш масалалари туркумига мўлжалланган усулни кўриб чиқайлик.

Ўрганилаётган масалалар умуммақсадларга мўлжалланган РХМ ва АХМ ҳамда уларни боғловчи ҳисоблаш қурилмаларига эга бўлган мувозанатлаштирилган ГХСда ечишга мўлжалланган деб фараз қилинади. Боғловчи ҳисоблаш қурилмаси таркибига IV—2 § да кўрсатилганидек, информация шаклини чизиқли ўзгартиргичлардан ташқари махсус ҳисоблаш ўзгартгичлари комплекти киради. Бундай боғловчи ҳисоблаш қурилмасини махсус гибрид процессори каби қараш мумкин. Шундай қилиб, бу ГХС учта хил процессордан иборат: рақамли, гибрид ва аналог.

Тақсимлаш масаласини ифодалаш учун биринчи босқичда берилган масалани ечиш алгоритмлари тўплами ўрганилиб, уларга кирувчи умумлашган операторлар $\{A_j\}$ тўплами ажратилади ва тартибга солинади.

A_j га қуйидаги операторлар мисол бўлиши мумкин: чизиқли бўлмаган функцияларни ҳисоблаш, интеграллаш (вақт ва вақтдан иборат бўлмаган аргумент бўйича), тескари матрицани ҳисоблаш, алгебраик полиноми ҳисоблаш, узатма функцияни амалга ошириш, элементлар функцияларини ҳисоблаш (тригонометрик, экспоненциал, логарифмик), аналог-рақамли ва рақамли-аналог ўзгартиришлар ва шунга ўхшашлар. Бу ҳолда масалани тақсимлаш умумлашган операторлар тўплами $\{A_j\}$ ни ГХС процессорлари ўртасида оптимал тақсимлашдан иборат бўлади.

Иккинчи босқичда A_j операторларнинг (рақамли, гибрид, аналог) процессорларда амалга оширилиши вақтлари t_{ij} ва хатоликлари δ_{ij} нинг тахминий (ўрта ва статистик) қийматлари тўғрисидаги маълумотлар тартибга солинади. Натижада қуйидаги тўплам ҳосил қилинади:

$$T = \{t_{ij}\}, \Delta = \{\delta_{ij}\}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m. \quad (IV-3)$$

бу ерда n — умумлашган операторлар сони (кўрилатган ҳолда $m=3$).

Учинчи босқичда операторлар тўплами $\{A_j\}$ қуйидагича туркумланади: фақат қандайдир бир процессорда амалга оширилувчи операторлар; фақат уч процессордан қандайдир иккитасида амалга оширилувчи операторлар; ҳар қандай процессорда амалга оширилувчи операторлар. Масалан, информация шаклини ўзгартирувчи операторлар фақат боғловчи қурилмада (гибрид процессорда) амалга оширилиши мумкин ёки хотирлаш, бир саноқ системасидан бошқа саноқ системасига ўтказиш операторлари фақат рақамли процессорларда, умумий ҳисоблаш операторлари рақамли ва аналог процессорларда, элементар

функцияларни ҳисоблаш операторлари учала процессорда ҳам амалга оширилиши мумкин.

Бундай туркумлаш асосида A_i операторларнинг ГХС мос процессорларига боғланиш матрицаси тузилади:

$$R = \|r_{ij}\|, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (IV-4)$$

бу ерда r_{ij} — элементлар қиймати қуйидаги шартдан аниқланади.

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{агар } A_i \text{ оператор } j\text{- процессорда} \\ & \text{амалга оширилиши мумкин бўлса;} \\ 0, & \text{агар оператор } j\text{- процессорда} \\ & \text{амалга оширилиши мумкин бўл-} \\ & \text{маса} \end{cases} \quad (IV-5)$$

Тўртинчи босқичда умумлашган операторларнинг тегишли тақсимла- нишида l алгоритмнинг амалга оширилиш вақти ва хатоликларини аниқловчи математик боғланишлар чиқарилади.

l алгоритмнинг амалга оширилиши вақти қуйидаги муносабатдан олинади.

$$T_e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m e_{ij} r_{ij} t_{ij}, \quad (IV-6)$$

бу ерда e_{ij} — A_i операторнинг l - алгоритмга мансублик матрицаси элементи. Бу элементлар қиймати қуйидаги шартдан аниқланади:

$$e_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{агар } A_i \text{ оператор } l \text{ алгоритм} \\ & \text{таркибига кирса;} \\ 0, & \text{агар } A_i \text{ оператор } l \text{ алгоритм} \\ & \text{таркибига кирмаса.} \end{cases}$$

(IV—6) ифода умумлашган операторларнинг алгоритмлари вақт бўйи- ча кетма-кет бажарилади деган фараз асосида олинган. Амалда эса бир қанча операторлар ГХСда ҳар хил процессорларда параллел амал- га оширилади.

l алгоритмнинг амалга оширилиш хатолиги қуйидаги муносабат- дан аниқланади:

$$\Delta_l = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m e_{ij} r_{ij} \delta_{ij}. \quad (IV-8)$$

Бу ифодада ҳам баъзи бир операторларнинг параллел амалга ошири- лиши ҳисобга олинмайди. Ундан ташқари, операторнинг амалга оши- рилиш хатолигининг катталиги бу операторгача қайси операторлар қандай кетма-кетликда амалга оширилганлигига боғлиқ бўлади. Шу- нинг учун (IV—8) ифода соддалаштирилган ҳисобланади.

Бешинчи босқичда операторларни оптимал тақсимлаш мезони ва тақсимлаш масаласига қўйиладиган чеклашлар аниқланади. Тақсим- лаш мезони сифатида дастлабки масала ечилишининг минимал вақти, минимал хатолиги ёки минимал нархи кўрилиши мумкин. Мазкур ҳолда оптималлаштирилувчи катталик алгоритмнинг амалга оширилиш

вақти ҳисобланади. Шунинг учун (IV—6) ифодага асосан мақсад функциясини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$T_i = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m e_{ij} r_{ij} t_{ij} \quad (\text{IV—9})$$

Берилган масалани ечишга қуйидаги чеклашлар қўйилади:

1. Алгоритмларнинг амалга оширилиш хатолиги рухсат этилганидан ошиб кетмаслиги шарт, яъни

$$\Delta_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m e_{ij} r_{ij} \delta_{ij} \leq \Delta_{\text{грн}} \quad (\text{IV—10})$$

2. r_{ij} ва e_{ij} ўзгарувчилар (IV—5) ва (IV—7) ифодаларга биноан 0 ёки 1 қийматларни қабул қилиши мумкин:

$$0 \leq r_{ij} \leq 1; 0 \leq e_{ij} \leq 1 \quad (r_{ij}, e_{ij} — \text{бутун сонлар}) \quad (\text{IV—11})$$

3. Ҳар қандай A_i оператор тақсимлашнинг ҳар бир вариантида бир ва фақат бир процессорда амалга оширилиши мумкин, яъни

$$\sum_{j=1}^m r_{ij} = 1; i = 1, 2, \dots, n, \quad (\text{IV—12})$$

Шундай қилиб, оптимал тақсимлаш масаласини қуйидагича ифода-лаш мумкин: умумлашган операторларнинг ГҲС процессорлари ўртасида шундай тақсимотини топиш талаб қилинадики, (IV—9) мақсад функцияси минимумга айлансин ва (IV—10) (IV—12) шартлар бажарилсин. Бу комбинацион масала ҳисобланиб, чизиқли булево программалаш масалалари туркумига мансубдир. Бундай масалаларни ечиш учун тармоқ ва чегара усуллари қўлланилади.

Масалани ГҲС процессорлари ўртасида оптимал тақсимлаш натижаларига эга бўлингандан сўнг, масала қисмларининг ҳар бири маълум рақамли ва аналог программалаш усулларида биноан программаланади. Бунинг учун ҳозирги замон ГҲС ларида етарлича ривожланган математик таъминот мавжуд. Бу таъминотга юқори савияли алгоритмик тиллар (Алгол, Фортран), алоҳида машиналарга мўлжалланган тиллар (Алмо, Ассемблер), алоҳида гибрид-машиналарига мўлжалланган автокод, аналог программалашни автоматлаштириш системаси (АПАС), диагностик ва соzлаш программалари, операцион система, муайян масалалар туркумини ечувчи амалий программалар системаси киради. Бундай математик таъминотнинг мавжудлиги масалани ГҲС процессорлари ўртасида тақсимлаш процессини фақат масала ечиш олдида эмас, балки масалани ечиш вақтида ҳам максимал автоматлаштиришга имкон беради.

IV—4-§. «РХМ-сетка» гибрид ҳисоблаш системалари

Хусусий ҳосилали дифференциал тенгламалар билан тавсифланувчи кенг доирадаги масалалар тенгламадаги функцияларни чекля-айирма аппроксимациялаш усуллари асосида ечилади. Бу масалаларни

РХМ да ечиш кўп вақт талаб қилса, АХМда ечиш эса мураккаб аналог схемаларига олиб келади. Чизиқли бўлмаган чегара шартларига эга бўлган хусусий ҳосилали чизиқли бўлмаган дифференциал тенгламаларни АХМ да ечиш жуда қийин. Бундай тенгламалар ечиладиган АХМ, одатда, резистор ёки резистор-конденсатор сеткалардан (R -сеткалар, RC -сеткалар) тузилган схемалардан иборат бўлади.

Сеткали АХМларнинг ўзида бошланғич ва чегара шартларини ўрнатиш ва киритиш, ўзгарувчилар берилган соҳа параметрларини йиғиш, масалани ечиш натижаларини ўлчаш жуда қийин.

Юқоридаги қийинчиликлар РХМ ва сеткали АХМни бирлаштириш йўли билан аналог-рақамли ҳисоблаш системасини яратишга олиб келди.

Бундай системалар АХМнинг параллеллиги ва узлуксиз ишлашлиги ҳисобига масаланинг ечилиш вақтини камайтиришга, РХМда ҳисоблашларни бажариш ҳисобига аниқликни оширишга, сеткали РХМни бошқаришни автоматлаштиришга имкон беради.

Аналог-рақамли ҳисоблаш системалари «РХМ-сеткали АХМ» ёки, кўпинча, қисқача «РХМ-сетка» ГХС деб аталади.

Бундай системалар структурасини икки ўлчамли фазо учун Фурье тенгламасини ечиш мисолида кўрсатамиз:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{d^2\varphi}{dy^2} = a \frac{d\varphi}{dt}. \quad (IV-13)$$

Бу тенгламанинг бошланғич ва чегара шартлари қуйида ифодаланган:

$$\begin{aligned} \varphi|_{t=0} &= \varphi(x, y, 0); \\ \frac{d\varphi}{dn} \Big|_{\Gamma} &= F(x, y, \varphi, t); \\ \varphi|_{\Gamma} &= F_1(x, y, \varphi, t); \end{aligned} \quad (IV-14)$$

бу ерда Γ — φ функция изланаётган юзанинг чегараси; F, F_1 — қийматлари чегара нуқталарида маълум бўлган бирер функциялар; $\frac{d\varphi}{dn}$ — кўриляётган нуқтада дастлабки функциянинг Γ чегарага нормалар бўйича ҳосиласи.

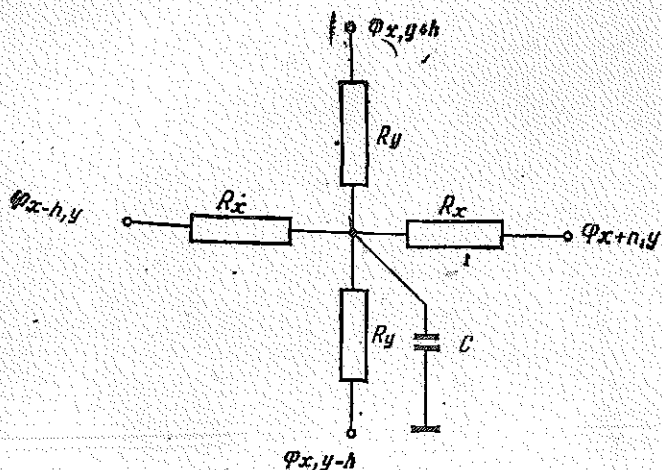
(IV—13) тенгламани ечиш кўп тарқалган «Дискрет фазо—узлуксиз вақт» да «Дискрет фазо—дискрет вақт» усуллари ёрдамида амалга оширилиши мумкин. Биринчи усулда ўрганилаётганда соҳа тўғри чизиқлар аппроксимацияланади ва (IV—13) тенгламанинг чап томони соҳанинг ҳар қандай нуқтаси учун қуйидаги кўринишга эга бўлган чекли-айирма тенгламалар системаси билан алмаштирилади:

$$\frac{d^2\varphi}{dx_1^2} = \frac{1}{h^2} (\varphi_{x, -h, y} + \varphi_{x+h, y} - 2\varphi_{x, y}); \quad (IV-15)$$

$$\frac{d^2\varphi}{dy^2} = \frac{1}{h^2} (\varphi_{x, y-h} + \varphi_{x, y+h} - 2\varphi_{x, y});$$

бу ерда h — x ва y бўйича дискретлаш қадами. Фурье тенгламасининг ўнг томони узлуксиз кўринишда берилади, (IV—15) ифодани

ҳисобга олган ҳолда (IV—13) дастлабки тенглама фақат вақт бўйича ҳосилага эга бўлган биринчи тартибли оддий дифференциал тенгламалар системаси билан алмаштирилади. Бундай тенгламаларни моделлаш RC-сетка ёрдамида бажарилади (IV—5-расм). RC-сеткали ГХС нинг структуравий схемаси IV—6-расмда кўрсатилган. Ҳисоблаш процесси қуйидагича бажарилади:



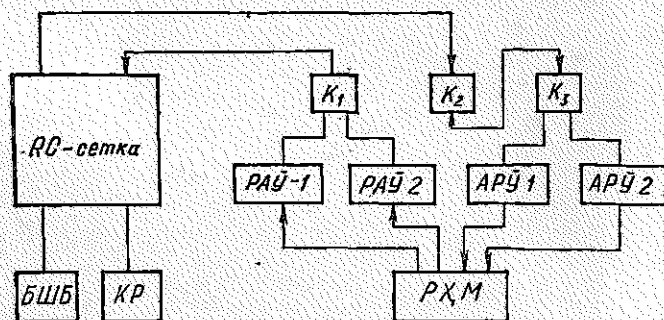
IV—5-расм.

1. Ечиш программаси ва дастлабки маълумотлар РХМ га киритилади. RC-сеткада эса моделланувчи тенгламалар йиғилади.

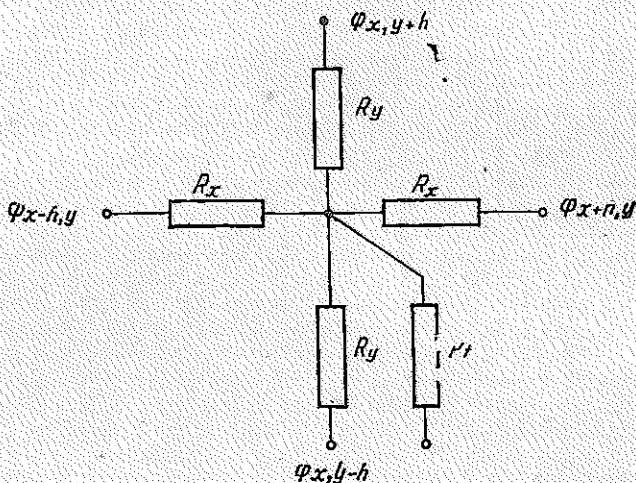
2. РХМ биринчи вақт оралиғи учун чегара шартлари қийматларини ҳисоблайди ва бу қийматлар РАЎ1 блоки орқали ҳамма чегара нуқталарга берилади. Шундан кейин масалани ечиш бошланади.

3. Биринчи вақт оралиғи охирида чегара нуқталар кучланишлари олинади ва уларнинг қийматлари К2 ва К3 коммутаторлар орқали АРЎ1 да кетма-кет ўзгартирилади ва РХМ га киритилади.

4. РХМ иккинчи вақт оралиғи учун чегара шартлари қийматларини ҳисоблайди ва бу қийматлар РАЎ2 блоки орқали RC-сеткага берилади, иккинчи вақт оралиғида ечиш процесси бошланади.



IV—6-расм.



IV—7. расм.

Кейин ҳамма процесслар шу тарзда такрорланади. Иккита $PA\mathcal{U}$ ($PA\mathcal{U}$ сони чегара нуқталар сонига мос келади) ва иккита $AP\mathcal{U}$ мавжудлиги ечиш процессини бўлмасдан, чегара шартлари қийматларини кетма-кет вақт оралиқлари учун беришга имкон туғдиради. Ҳақиқатан ҳам, бир $AP\mathcal{U}$ да чегара шартлари берилган вақтда, бошқасида кейинги вақт оралиғи учун чегара шартлари шаклланади. RC -сетка ишини тўла автоматлаштиришга унда конденсатор борлиги қийинчилик туғдиради.

(IV—13) тенгламани ечишда иккинчи усулнинг қўлланилиши R -сетка (IV—7 расм) ёрдамида моделлашни бажаришга имкон беради. Бу вақтда тенгламанинг чап томони (IV—15) тенгламалар системаси билан алмаштирилади, ўнг томони эса қуйидаги ифода билан апроксимацияланади:

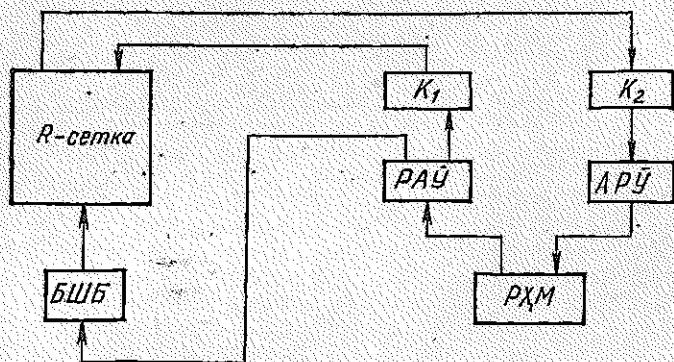
$$\frac{\partial \Phi_i^j}{\partial t} = \frac{1}{a} \frac{\Phi_{x,y,t} - \Phi_{x,y,t-\kappa}}{\kappa}, \quad (\text{IV—16})$$

бу ерда $t = \Delta t \cdot j = k \cdot j$, $j = 0, 1, 2, \dots, q$

R -сеткали $ГХС$ даги (IV—8-расм) ҳисоблаш процессининг юқорида кўрилганидан фарқи шуки, унда ҳар бир қадамда тугун нуқталардан (фақат чегара нуқталардан эмас) кучланиш олиниб, кейинги қадам бошланишида янги чегара шартлари билан бир қаторда сеткага киритилади. ■

Системанинг рақамли қисми муайян чегара шартларини ҳисоблашни, R -сетка тугунидан олинadиган оралиқ натижаларни сақлашни, ахборот шаклини ўзгартириш блокларини бошқаришни, R -сеткага информацияни автоматик равишда киритишни бажаради.

Бу $ГХС$ структураси олдингисидан оддийроқ сеткали $АХМ$ борлиги, иккинчи информация ўзгартгич йўқлиги билан фарқланади. Шу билан бирга бу ерда $PA\mathcal{U}$ сони R -сетканинг ички тугун ва чегара нуқталар умумий сонига, $AP\mathcal{U}$ коммутатор каналлари сони ички тугун нуқталар сонига мос бўлиши керак.



IV—8-расм

Кўриб чиқилган «РХМ-сетка» ГХС ларнинг таҳлили улардаги боғловчи қурилмаларнинг мураккаблигини кўрсатади. Уларни содда-лаштиришга аналог сеткалар ўрнига ўзгармас параметрли рақамли параллел сеткалар ишлатиб эришиш мумкин. Бу ҳолда информация шаклини ўзгартириш зарурати бўлмайди. ГХС иккала қисмлари орасида маълум айирбошлаш буфер хотира қурилмаси ёрдамида бажарилади.

IV—5-§. Рақамли интеграллаш машиналари

Рақамли интеграллаш машиналар (РИМ) махсус ҳисоблаш машиналари бўлиб, уларда масала интеграллаш ёрдамида ечилади. Бунинг учун ечиладиган масаланинг дастлабки тенгламалар системаси Шеннон тенгламалар системасига келтирилади:

$$\left. \begin{aligned} dy_k &= \sum_{p=0}^n \sum_{q=0}^m a_{pqk} y_p dy_q \\ y_0 &= 1, \quad y_1 = x; \\ dy_0 &= 0, \quad dy_1 = dx, \\ y_k(x_0) &= y_{ka} \\ k &= 2, 3, \dots, n \end{aligned} \right\} \quad (IV-17)$$

Бу ерда x — эркин ўзгарувчи, y_k — эрксиз ўзгарувчилар ($k = 1, 2, 3, \dots, n$); a_{pqk} — ўзгармас коэффициентлар.

Шеннон тенгламалари системасига мисол қилиб гипертрансцендент функциялари бўлмаган кўпгина оддий дифференциал тенгламалар, хусусий ҳосилали тенгламалар, ҳар хил турдаги алгебраик тенгламалар, функционал боғланишларни келтириш мумкин.

(IV—17) тенгламалар таҳлили кўрсатадики, улар фақат кўпайтириш ва жамлаш амалларига эга ва қандайдир функционал боғланишларни ўз ичига олмайди. Демак, бу тенгламаларни фақат икки хил

еҷувчи блоклар—интегратор ва сумматор ёрдамида интеграллаш мумкин. РИМ тузилиши ва ишлаши асосида симметрик шаклга келтирилган Шеннон тенгламалар системаси ётади:

$$\left. \begin{aligned} dz_k &= y_{pk} dy_{qk}, \\ dy_{pk} &= \sum_{l=1}^N A_{pk l} \cdot dz_l, \\ dy_{qk} &= \sum_{l=1}^N A_{qk l} \cdot dz_l, \\ dz_1 &= dx, \\ y_{pk}(x_0) &= y_0 k_0, \\ k &= 2, 3, \dots, n. \end{aligned} \right\} \quad (\text{IV—18})$$

Бу ерда $y_{pk} = y_{pk}(x)$ — интеграл остидаги функциялар; $y_{qk} = y_{qk}(x)$ — интеграллаш ўзгарувчилари; $z_k = z_k(x)$ — интеграллаш натижасида ҳолинадиган функциялар; N — интеграторлар сони; $A_{pk l}$, $A_{qk l}$ — ечиладиган масалага боғлиқ бўлган ҳолда 0 ёки 1 қийматларни қабул қилувчи ўзгармас коэффициентлар. Бу коэффициентлар ёрдамида масалани ечиш программаси берилади (интеграторлар коммутация программаси).

(IV—18) тенгламалар системасида A ўзгармас коэффициентлар эркин бўлмай ёки нолга ёки бирга тенг. Бу эса интегралларнинг ўсишини ўзгармас коэффициентга кўпайтиришни бажармаслик ҳисобига РИМ структурасини жиддий соддалаштиришга имкон беради. РИМ нинг асосий еҷувчи элементи рақамли интегратор бўлиб, у ҳар бир интеграллаш қадамида (яъни, $x = x_1$ дан $x = x_{i+1}$ гача бўлакда) интегралнинг ўсиш қийматини ҳисоблайди:

$$\Delta z_{i+1} = \int_{x_i}^{x_{i+1}} y_p(x) dy_q(x) \quad (\text{IV—19})$$

(бу ерда соддалик учун k индекси кўрсатилмаган).

(IV—19) ифода Стильтъес интегрални ҳисобланади. Умумий ҳолда Стильтъес бўйича саноқ интегралларнинг n -даражали аниқликдаги интерполяцион ифодаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\begin{aligned} \Delta z_{i+1} &= y_{pi} \Delta y_{q(i+1)} + \frac{1}{2} \Delta y_{p(i+1)} + \Delta y_{q(i+1)} + \\ &+ \sum_{\alpha=0}^n \sum_{\beta=\alpha+1}^{n-2-\alpha} a_{2\beta n} \left[\Delta y_{p(i+1-\alpha)} \Delta y_{q(i+1-\beta)} - \right. \\ &\left. - \Delta y_{p(i+1-\beta)} \Delta y_{q(i+1-\alpha)} \right]; \quad (n = 3, 4, 5, \dots) \end{aligned} \quad (\text{IV—20})$$

$\alpha_{\beta n}$ коэффициентларнинг қийматлари махсус ифодалар бўйича ҳисобланади ва справочникларда берилади.

Интеграл остидаги функциянинг ўсиши $\Delta y_{p(i+1)}$ ва интеграллаш ўзгарувчиси $\Delta y_{q(i+1)}$ қуйидаги ифодалар бўйича ҳисобланади:

$$\left. \begin{aligned} \Delta y_{p(i+1)} &= \sum_{j=1}^N A_{pj} \Delta z_{j(i+1)}^* \\ \Delta y_{q(i+1)} &= \sum_{j=1}^N A_{qj} \Delta z_{j(i+1)}^* \end{aligned} \right\} \quad (IV-21)$$

бу ерда

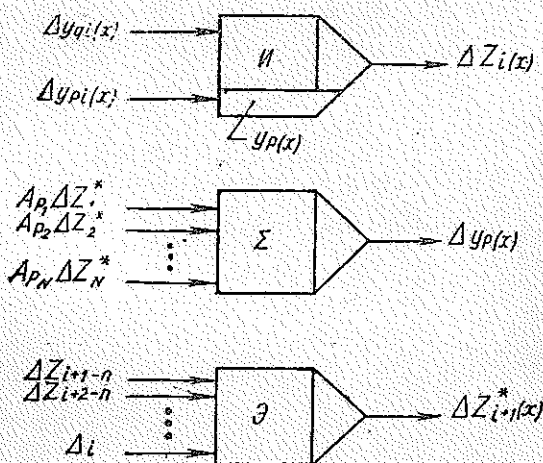
$$\Delta z_{j(i+1)}^* = \sum_{\alpha=1}^n (-1)^{\alpha-1} \frac{n!}{\alpha!(n-\alpha)!} \Delta z_{j(i+1-\alpha)} \quad (IV-22)$$

бир қадам олдинга экстраполяция қилинган Δz_{ji} орттирма ҳисобланади. (IV-20) — (IV-22) тенгламаларга қуйидаги

$$\left. \begin{aligned} y_{p(i+1)} &= y_{pi} + \Delta y_{p(i+1)}, \\ x_{i+1} &= x_i + \Delta x, \\ y_p(x_0) &= y_{p0}, \end{aligned} \right\} \quad (IV-23)$$

тенгламаларни қўшиб РИМ ишлаши асосида ётувчи Шеннон айирма тенгламасининг симметрик системасини оламиз.

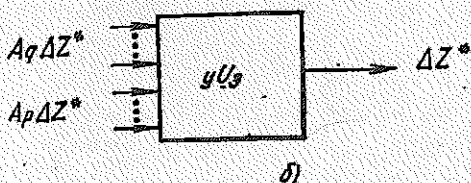
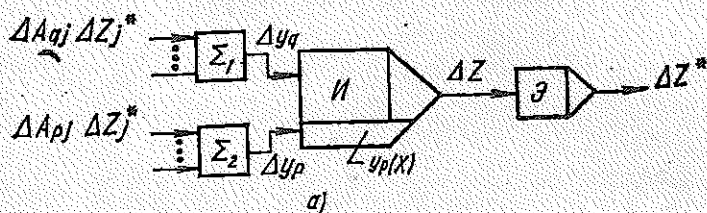
Юқорида айтилганларга биноан РИМ таркибига қуйидаги ечувчи элементлар кириши шарт (IV-9- расм). Стильтес бўйича санок интеграллаш ифодаси (IV-20) ни амалга оширувчи рақамли интегратор (И), IV-5 ифодага асосан интеграл остидаги функциянинг ва интеграллаш ўзгарувчисининг ўсишини шакллантирувчи сумматорлар



IV-9- расм.

(Σ), (IV-22) ифодага асосан интеграллар ўсишини бир қадам олдинга экстраполяция қилувчи экстраполяторлар (Э). Бу ечувчи элементлар экстраполяция типидagi битта умумлашган рақамли интеграторга бирлаштирилади (IV-10- расм, а).

Фойдаланиладиган санок интеграллаш алгоритми бўйича РИМ экстраполяцион машиналарга, ҳисоблаш процессини ташкил қилиш принципи

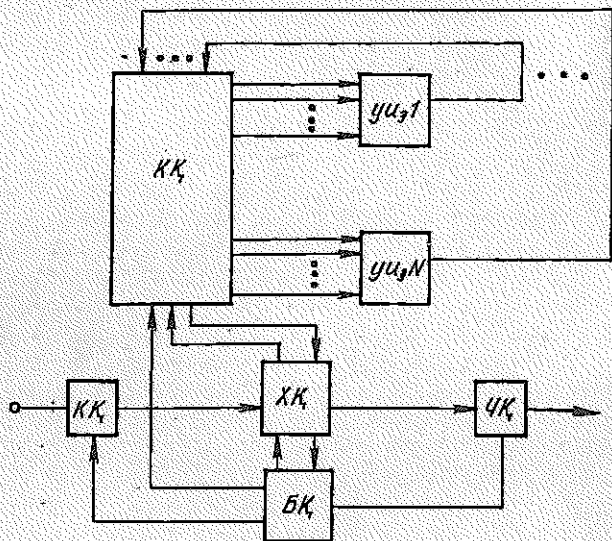


IV—10- расм.

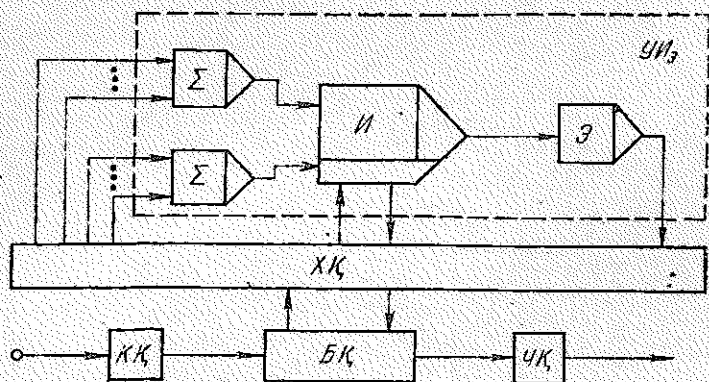
бўйича кетма-кет ва параллел машиналарга, орттирмаларининг шаклланишлари бўйича бир хонали ўсувчи ва кўп хонали ўсувчи машиналарга бўлинади; машина катталикларининг берилиш усули бўйича қўзғалмас вергулли РИМ ва сурилувчи вергулли РИМ бўлади.

Умумий суратда экстраполяцион кетма-кет ва параллел РИМ структураларини кўриб чиқамиз.

Параллел экстраполяцион РИМ да интеграллаш процесси ҳисоблашнинг параллел ишлаши туфайли ҳисоблашнинг юқори тезкорлиги таъминланади. Шу билан бирга параллел РИМ ларда N



IV—11- расм.



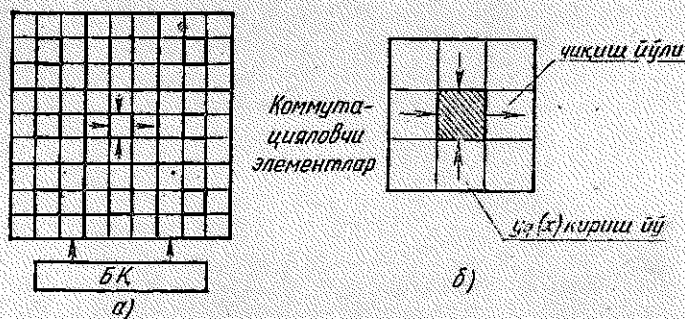
IV—12- расм.

умумлашган интеграторлар yU_2 нинг мавжудлиги талаб қилинади (N — Шеннон тенгламалари системаси тартиби).

Параллел экстраполяцион РИМ нинг структуравий схемаси IV—11-расмда келтирилган. Унинг таркибига N умумлашган интеграторлар (yU_2), хотира қурилмаси ($ХҚ$), коммутацияловчи қурилма ($КҚ$), информацияни киритиш ($КҚ$) ва чиқариш ($ЧҚ$) қурилмалари киради.

Параллел РИМ ларда программалаш аппаратура усулида амалга оширилади. Электрон $КҚ$ ёрдамида yU_2 ларнинг A_{pi} ва A_{qi} қийматларига (0 ёки 1) биноан исталган уланишлари амалга оширилади. Дастлабки информациянинг ҳисобланган оралиқ ва охири натижалари оддий $ХҚ$ да сақланади. Ҳамма қурилмаларнинг ишини $БҚ$ бошқаради. Кетма-кет экстраполяцион РИМ да (IV—12- расм) фақат битта ечувчи блок yU_2 бўлиб, унинг ёрдамида интеграллаш вақт бўйича кетма-кет бажарилади. Бу табиийки, параллел РИМ га нисбатан ҳисоблаш тезлигининг N марта камайишига олиб келади. Аммо ускуна ҳажми анча камайд. Кетма-кет РИМ ларда yU_2 ларнинг коммутацияси аппарат усули билан эмас, балки программа усули билан бажарилади. Бу РИМ структурасининг содда бўлишига олиб келади, чунки коммутация қурилмасига эҳтиёж қолмайди. Аммо, коммутация программасини сақловчи хотира қурилмасининг ҳажми ошади ва параллел РИМ дагига нисбатан кетма-кет РИМ да кенг-роқ доирадаги функцияларни бажарувчи $БҚ$ мураккаблашади. Қўрилган РИМ ларда информация параллел ҳамда кетма-кет кодларда ишланиши мумкин. Бу ҳолда РИМ да кетма-кет (бир хонали) ёки параллел (кўп хонали) ечувчи элементлар ишлатилади. Хонали ўсишлар билан ишловчи бундай РИМ лар рақамли дифференциал анализаторлар (РДА) деб ҳам юритилади. Уларда саноқ интеграллашнинг хомаки усули—тўғри тўртбурчаклик усули ишлатилади. Шунинг учун ҳисоблашларнинг аниқлигини ошириш мақсадида аниқроқ ифодаalar бўйича интеграллашни бажарувчи кўп хонали ўсишли РИМ дан фойдаланилади. Буларнинг структураси РДА структурасига қараганда мураккаброқдир. РИМ да ҳамма катталиклар қўзғалмас вергул

ва сурилувчи вергул кўринишида берилиши мумкин. Қўпинча, катталиклар қўзғалмас вергулли кўринишида берилади, чунки бу ҳолда соддароқ структура ҳосил бўлиб, ускуна харажатлари камаяди. Шу билан бирга қўзғалмас вергулли РИМ жиддий камчиликка эга. У ҳам бўлса, программалаш процессида ўзгарувчилар хона сеткаси-дан чиқиб кетмасликлари учун масштабланиш талаб қилинишидир. Бу камчиликни йўқотиш учун сурилувчи вергулли РИМ ишлатилади. Бунинг учун кетма-кет ўзгарувчилар нормал шаклга келтирилиб, уларни ечувчи элементлар орасидаги узатишлар мосланиши зарур. Бу, табиийки, РИМ ускуна ҳажмининг катталанишига олиб келади. Интерполяцион РИМ лар экстраполяцион РИМ лардан ўсишларнинг экстраполяциялари йўқлиги билан фарқ қилади. Уларда ҳисоблаш процесси ҳар бир интеграллаш қадамида интерацион усул билан бажарилади. Соддароқ структурали интерполяцион РИМ лар экстраполяцион РИМ ларга қараганда секин ишлайди. Қўрилган РИМ хиллари бир хил yU , лардан ва микрорадиоэлектроника схемалари асосида бажарилган элементар коммутаторлардан иборат бир жинсли структура кўринишида қуриш мумкин. IV—13-расмда ясси бир жинсли интеграл структура (а) ва бир қават коммутация элементлари билан қамраб олинган yU , дан ташкил топган стандарт блок (б) кўрсатилган. Бундай РИМ ларнинг структураси юқори мустақамликка, пухталиқка, юқори технологиқликка эга, габаритлари кичик ва оғирлиги кам бўлади. Шундай қилиб, юқорида айтилганларга асосланиб, РИМ лар программаланувчи структурали ҳисоблаш



IV—13-расм.

қурилмалари туркумига мансуб деб хулоса чиқариш мумкин. Бундай туркум машиналарида ҳисоблашнинг аппарат принципи амалга оширилади, яъни маълум элементар бўлмаган тугал математик амалларни, масалан, интеграллаш, жамлаш, функционал ўзгартиришлар ва шунга ўхшаш йирик ечувчи блоклар коммутация программаси берилади. Бу маънода РИМ структураси АХМ структурасига ўхшашдир. РИМ да масалани ечишга тайёрлаш методикаси (айниқса қўзғалмас вергулли РИМ учун) ҳам АХМ нинг методикаси билан

кўп умумийликка эга. Шу билан бирга РИМ да информациянинг рақамли шакли ва ишланиш усули қўлланилади. Шунинг учун улар гибрид ҳисоблаш машиналарига мансубдир. РИМ ларнинг РХМ билан бирга ГХС «РХМ—РИМ» тартибда ишлатилиши уларнинг функционал имкониятларини кенгайтиришга, программалашни ва бошқаришни автоматлаштиришга катта имкон очади. Бундай ГХС мувоzanатлаштирилган гибрид система «РХМ—АХМ» афзалликларига эга бўлган ҳолда, содда структурали ва кам ҳажмдаги ускунали боғловчи қурилмага эгадир, чунки бу ерда РХМ ва РИМ орасидаги информация айирбошлаш процессида информациянинг ифодаланиш шаклини ўзгартириш талаб қилинмайди.

IV—6- §. Хона-аналог ҳисоблаш системалари

Кейинги вақтларда унумдорлиги юқори бўлган ҳисоблаш техникаси воситаларини яратишда муҳим фикрлар пайдо бўлди. Буларнинг ичида масалаларнинг ечилиш аниқлигини ва юқори кўрсаткичли тезкорлигини таъминловчи хона-аналог ҳисоблаш системалари (ХАХС) номини олган гибрид ҳисоблаш техникасининг янги воситаларини алоҳида кўрсатиб ўтиш зарур. Бу системаларда масалани ечиш процесси хона аналогияси деб аталувчи принципга асосланган. Хона аналогияси принципининг моҳияти қуйидагича.

Маълумки, электрон аналог моделлашнинг асосий техникавий воситаси электр ёки электрон занжирлари бўлиб, бу занжирларда тоқлар, кучланишлар ёки бошқа электр катталикларнинг тақсимланиши тадқиқ қилинаётган объектдаги процессларни тавсифлашга хизмат қилувчи математик боғлиқликларга мос келади. Моделланувчи объект ҳолати, одатда, $z_1, z_2, \dots, z_n$ номаълум катталиклар тўплами ва $a_1, a_2, \dots, a_n$ берилган катталиклар тўплами билан белгиланади. z_i ва a_i катталикларни мос равишда z ва A векторларнинг компонентлари деб қараш мумкин. A векторлар орасидаги математик боғлиқликлар характериға қараб, объектларнинг алгебраик, дифференциал ва бошқа моделлари бўлади.

Аналог моделларда z ва A дастлабки ўзгарувчиларга тоқлар, кучланишлар ва бошқа электр катталиклар кўринишидаги машина катталиклари мос келиб, бу катталиклар моделдаги процессларни тасвирлайди ва дастлабки ўзгарувчилар билан маълум тарзда боғланган бўлади,

Моделловчи ва моделланувчи объектлардаги процессларни тавсифловчи математик ўзгарувчилар орасидаги боғланиш характериға қараб, аналог моделларни уч турга ажратиш мумкин:

- ошкора аналог принципи бўйича қурилган моделлар,
- ошкормас аналог принципи бўйича қурилган моделлар,
- квазианалог моделлар.

Биринчи тур моделларда моделланувчи объект ва модель шакл бўйича аналогик математик тавсифга эга бўлиб, моделланувчи объектнинг дастлабки ўзгарувчилари ва моделнинг машина ўзгарувчилари фақат ўзгармас масштаб коэффициентлари билан фарқ қилади.

Иккинчи тур моделларда дастлабки ўзгарувчилар билан машина ўзгарувчилари орасидаги боғланиш ўзгармас коэффициентлар орқали аниқланмайди, балки мураккаб кўринишда бўлади. Бу гурппага масалан, чизиқли бўлмаган масштабаш принципан фойдаланувчи моделларни киритиш мумкин. У ҳолда масштаб коэффициентлари номаълумлар функцияси ёки вақт функцияси кўринишида бўлади.

Учинчи турдаги моделларда эквивалентлик принципан фойдаланилади. Бу принципга асосан модель ва моделланувчи объект тенгламалар системаси ёрдамида тавсифланади. Бу тенгламалар системаси ўзгармас ёки ўзгарувчан масштаб коэффициентларига аниқлик билан объект параметрларининг ва машина ўзгарувчиларининг эквивалентлиги шартини ҳисобга олади.

Умумий ҳолда эквивалентлик шартлари шундай бўлиши мумкинки, уни амалга ошириш учун моделловчи занжирда олинadиган катталиклардан фойдаланилади. Бу катталиклар олдиндан маълум бўлмаганлиги сабабли эквивалентлик шартларини амалга ошириш учун, одатда, бараварлаштириш процесси деб юритилувчи маълум бошқариш процессини ташкил қилиш зарур. Бундай моделлар бошқарилувчи (бараварлаштирувчи) квазианалог моделлар деб аталади. Бу моделлар икки асосий қисмдан—квазианалог ва бошқариш қурилмасидан иборат бўлади.

Квазианалог моделлар объектларни алгебраик ва дифференциал тенгламалар ёрдамида моделлашда кенг қўлланилиб, улар ечилидиган масалалар доирасини кенгайтиришга имкон бери.

Шуни ҳисобга олиш зарурки, моделланувчи объект ва моделдаги процессларни тавсифловчи математик боғлиқликлар орасидаги бирор мослик нисбий ҳисобланади (йўл қўйилган фаразларга биноан). Бирорта объект моделини батафсил ва чуқур тавсифлаш бундай мослиқнинг бузилишига олиб келади ва бу ҳолда моделловчи занжир бошқа объектнинг аналог моделига айланади. Бу эса объект ва модель ўртасидаги тўлароқ мослик эвазига аниқлиқни оширишга имкон беради. Аммо, бу йўл модель ечувчи элементлари ва ўлчаш қурилмалари идеал бўлмаганлиги сабабли яроқсиздир.

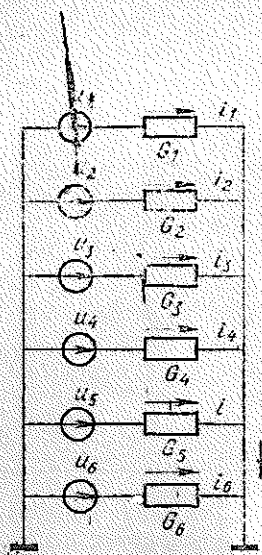
Шунинг учун аналог моделлар аниқлигини оширишнинг бошқа усули мавжуд бўлиб, бу усулга асосан моделловчи занжирларнинг яхлитлаштирилган математик тавсифи олиниб, занжир алоҳида элементларининг хатоликлари олинadиган натижа аниқлигига таъсир қилмайди.

Юқорида айтилганларни қуйидаги оддий мисолда кўриш мумкин. 0,323214 сонини 2 га кўпайтириш керак бўлсин. IV—14-расмда бу амални бажарувчи аналог модель кўрсатилган. $U = 0,323214$, $G = 2$ бўлган ҳолда назарий ҳолда $I = 0,646428$ ни оламиз. Аммо, амалда $\bar{U}$ ни бериш ва уни олиш уч-тўрт ўнли хоналар билан чегараланади ва, демак, кўрилатган амал схема элементлари идеал бўлмаганлиги сабабли бирор хатолик билан бажарилади.

Худди шу амални бажарувчи бошқа бир занжир IV—15-расмда берилган. Бу схемада кўпайувчи $U_1 \rightarrow U_0$ кучланиш манбалари ёрдамида хоналар кўринишида, кўпайтирувчи эса $G_1 = G_2 = \dots = G_6 = 2^1$ ўтказувчанликлар ёрдамида ўрнатилади. Бу ҳолда $i_1 = 6$, $i_2 =$



IV—14- расм.



IV—15- расм.

$=4$, $i_2 = 6$, $i_4 = 4$, $i_5 = 2$, $i_6 = 8$ тоқлар мос ҳолда кўпайтириш натижасининг хоналари (ўзгармас кўпайтирувчига аниқлик билан) ҳисобланади. Келтирилган мисолдан кўриниб турибдики, информациянинг хоналар кўринишида берилиши электрон занжирлар асосида қўрилган моделларда амалда хона сеткаси ўлчовига боғлиқ бўлган ҳар қандай аниқликни олишга имкон беради. Бу ерда моделланувчи объект билан моделнинг математик тавсифлари ўртасидаги мослик аналог ёки эквивалентлик принциплари асосида эмас, балки хона аналогияси ёки хона эквивалентлиги принциплари асосида ўрнатилади. Бу ҳолда модель одатдаги алгебраик, дифференциал ва ҳоказо тенгламалар ёрдамида эмас, балки уларнинг хона тасвирлари ёрдамида тавсифланади. Шундай қилиб, хона аналогияси принципи икки ёки ундан кўп объектлар ўртасида хона ўзгартаришлари асосида хоналар бўйича мосликни ўрнатишдан иборатдир. Бу принципга асосланган моделловчи қурилмалар хона-аналог моделловчи қурилмалар деб аталади. Бу қурилмалар дастлабки масалани хоналар сони билан аниқланувчи олдиндан берилган ҳар қандай аниқлик даражаси билан моделлай олади, улардаги юқори тезкорлик эса уларнинг аналог усулида ишлашлиги натижасидир.

Аналог моделларидагидек моделловчи объект билан моделланувчи объектнинг математик тавсифлари орасидаги боғланиш характери га кўра уч тур хона-аналог моделларини кўрсатиш мумкин:

- ошкор хона-аналог принципа қурилган ХА моделлар,
- ошкормас хона-аналог принципа қурилган ХА моделлар,
- хона-квазианалог моделлар.

Информацияни ишлаш принципи бўйича хона-аналог ҳисоблаш қурилмалари (ХАХҚ) ни қуйидаги уч турга ажратиш мумкин:

- Параллел ХАХҚ.
- Кетма-кет ХАХҚ.
- Параллел кетма-кет ХАХҚ.

Параллел ХАХҚ ларнинг ҳар бири аниқ математик амални бажарувчи универсал ечиш элементлари системасига асосланган. Бу системага жамлаш, интеграллаш, масштаблаш, инвертирлаш, универсал ҳамда махсус функционал ўзгартгич ва бошқа махсус қурилмалар киради. Бу элементларда информациянинг ишланиши хоналар бўйича параллел амалга оширилиб, уларнинг ўзаро уланиши, параллел АХМ лардагидек, масала турига мос келувчи структуравий схемага биноан бажарилади. Бундай ХАХҚ ларни ноалгоритмик ҳисоблаш қурилмаларига оид деб ҳисоблаш мумкин. Бу қурилмалар-

нинг асосий афзаллиги — юқори тезкорлигидир, чунки масала натижасини олиш вақти схемадаги ўтиш процесслари вақти билан аниқланади. Параллел ХАХҚ да ишлатиладиган ускуналар ҳажмининг катталиги уларнинг камчилиги ҳисобланади.

Кетма-кет ХАХҚ лари ҳам масала турига қараб бир-бири билан уланган ечувчи элементлар йиғмасидан иборат. Аммо, бу элементларда информация вақт бўйича кетма-кет ишланади. Бу ҳол ускуна ҳажмини анча камайтиришга олиб келса ҳам, алгебраик масалаларни ечиш вақтининг nt марта кўпайишига олиб келади. Бу ерда n — ишланадиган информация хоналари сонидан катта бўлган (умумий ҳолда) бирор коэффициент, t — бир хонанинг ишланиш вақти, u асосан схемадаги ўтиш процесси вақти билан аниқланади.

Параллел-кетма-кет РАХҚ да информация хона бўйича параллел кўринишда берилиб, вақт бўйича кетма-кет ишланади. Бу эса параллел РАХҚ га нисбатан ускуна ҳажмини камайтириш билан бирга, ечиш вақтининг кўпайишига олиб келса, кетма-кет РАХҚ га нисбатан ечиш вақтини камайтириш билан бирга ускуна ҳажмининг ошишига олиб келади. Бундай қурилмалар алгоритмик ҳисоблаш қурилмаларига оиддир, чунки уларда ечиш процесси бирор вақт мобайнида қадамлаб бажарилади.

Охирги икки тур РАХҚ, кўпинча, чекли тенгламалар системасини ечиш учун ишлатилса, параллел РАХҚ ларда дифференциал тенгламаларни ечиш кўпроқ самара беради.

У БОБ. АНАЛОГ ВА ГИБРИД ҲИСОБЛАШ ВОСИТАЛАРИ ЁРДАМИДА БАЪЗИ БИР ИЛМИЙ-ТЕХНИКАВИЙ МАСАЛАЛАРНИНГ ЕЧИЛИШИ

V—1- §. Кўп боғламли синхрон-автоном бошқарувчи системани синтезлаш

Кўп боғламли бошқарувчи системаларни синтезлашда ростланувчи параметри битта бўлган системаларда учрамайдиган масалаларни ҳал этиш лозим. Булардан бири—автономлик масаласига биноан ҳар бир $x_j(t)$ ростланувчи ўзгарувчи бўйича бошқариш процессларини ростланувчи ўзгарувчи бўйича бошқариш процессларидан боғлиқ бўлмаслик шартини топиш талаб қилинади, ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$; $i \neq j$). Бу масаланинг ечилиши кўп боғламли системадаги бошқаришнинг автоном процессларга ажратади. Натижада ҳар бир автоном системада бошқариш турғунлигини тадқиқот қилиш ва берилган бошқариш сифатига эришиш имконияти туғилади.

Синхрон-автоном бошқариш масаласида эса автономликни таъминлашдан ташқари ҳар бир вақт мобайнида ростланувчи катталиклар ўртасидаги маълум пропорцияларни сақлаш талаб қилинади, яъни $x_i(t) = c_i x_j(t)$; $i \neq j$; c_i — ўзгармас катталик.

Куйида мураккаб конструкция юкланишини автоматик бошқарувчи система мисолида кўп боғламли синхрон-автоном бошқарувчи системаларнинг структуравий хусусиятлари ва аналог ҳисоблаш воситалари ёрдамида тадқиқ қилиш натижалари келтирилган.

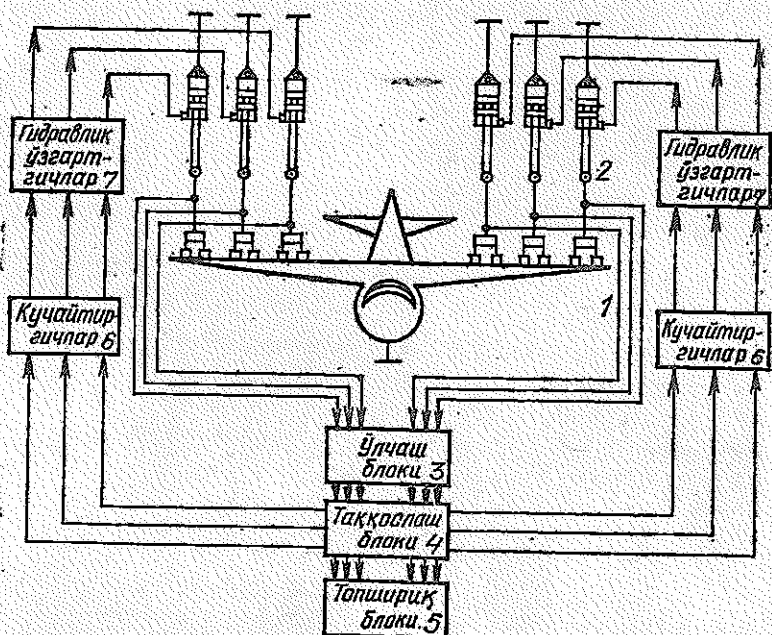
Маълумки, ҳар бир янги хил самолётни лойиҳалаш ва ишга тушириш процессида унинг ҳақиқий пухталигини аниқлаш мақсадида комплекс стенд синовлари ўтказилади.

Статик ва такрорий-статик (ҳорғинлик) натура синовлари, яъни тайёр самолёт планери конструкциясини ёки унинг йирик агрегатларини (қанот, фюзеляж кабиларни) синаш энг масъулиятли ҳисобланади. Бу хилдаги синовларни амалга оширувчи қурилма (V—1-расм) ҳар қайсиси ўз автоматик бошқариш системасига эга бўлган куч қўзғатгичлардан иборат.

Синаладиган конструкция 1 бошқарилувчи куч қўзғатгичлар 2 ёрдамида юкланади. Юк катталигига пропорционал бўлган чиқинчи сигналлари ўлчаш блоки 3 да ўлчаниб, таққослаш блоки 4 да топшириқ блоки 5 сигналлари билан таққосланади.

Номослик сигналлари кучайтиргичлар 6 ёрдамида кучайтирилиб, гидравлик ўзгартгичлар 7 орқали куч қўзғатгичларга берилади.

Синаладиган конструкция габаритлари, кўпинча, юкни битта тенг таъсир этувчи кучга олиб келишга имкон бермайди, чунки бунинг учун ҳаддан ташқари кўпол ричаглар системаси талаб қилинади.



V—1- расм.

Бир нечта тенг таъсир этувчи куч мавжуд бўлганида, яъни конструкцияни юкловчи бир нечта куч қўзгатгичлар мавжуд бўлганида уларнинг штоклари ҳаракатлари синхрон, конструкцияга таъсири эса автоном бўлиши шарт.

Куч қўзгатгичларнинг синхрон таъсири — ҳар бир вақт пайтида тенг таъсир этувчи кучлар орасида юк тақсимланиши эпюрасидан келиб чиқувчи маълум пропорцияларнинг сақланишидир. Синхронликнинг бузилиши юк эпюрасининг бузилишига олиб келади.

Куч қўзгатгичларнинг автоном таъсири *i*-куч қўзгатгич бошқариш системасининг, ҳамма куч қўзгатгичларнинг бир-бири билан конструкция орқали боғланганликларига қарамасдан, фақат *i*-кучнинг ўзгаришига сабаб бўлишидир. Автономликнинг йўқлиги конструкциядаги кучланишнинг қайта тақсимланишига олиб келиши мумкин ва, демак, синов шароитларининг эксплуатация шароитларидан фарқи катта бўлади.

Шундай қилиб, авиация конструкцияларини синаш асбоб-ускуналарини лойиҳалашда кўп боғламли синхрон-автоном бошқариш системасини синтезлаш масаласи туради.

Мураккаб конструкциялар пухталигининг натура синовларида бошқариш объектининг математик тавсифи

Ҳар қандай автоматик бошқариш системасини синтезлаш, одатда, унинг динамик хусусиятларини ўрганиш ва математик моделини тузишдан бошланади.

Ҳисоблаш ҳажмини камайтириш мақсадида объектни икки кетма-кет таркибий қисмдан иборат деб қараймиз.

Конструкция эластик деформация соҳасида синалади, яъни шакл ўзгариши ташқи кучга пропорционал ва деформациялар ташқи кучларнинг функциялари бўлади. Шунинг учун кучлар таъсири қўшилади ва ҳар бир кўчиш таъсир қилувчи кучларнинг чизиқли суперпозициясидан иборат бўлади:

$$y_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} P_j; \quad (V-1)$$

бу ерда y_i ($i = 1, 2, \dots, n$) — кўчишлар; P_j ($j = 1, 2, \dots, n$) — кучлар; a_{ij} — ўзаро таъсир коэффициентлари.

Ҳақиқатан, a_{ij} — j -нуқтага таъсир қилувчи бирлик куч $p_j = 1$ келтириб чиқарган i -нуқтанинг кўчиши. a_{ii} ва a_{ij} катталикларни мос ҳолда бош ва иккинчи даражали эластиклик деб юритилади.

(V—1) тенгламалар системасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$P_i + \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{a_{ii}} P_j = \frac{1}{a_{ii}} y_i, \quad (V-2)$$

ёки, матрица кўринишида,

$$[E + W\bar{M}]P = WY. \quad (V-3)$$

Бу ерда матрицалар W ва $\bar{M}$ қуйидаги кўринишга эга

$$W = \begin{vmatrix} \frac{1}{a_{11}} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{a_{11}} & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{a_{ii}} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & \frac{1}{a_{nn}} \end{vmatrix}, \quad \bar{M} = \begin{vmatrix} 0 & a_{12} & \dots & a_{1i} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 0 & \dots & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & 0 & \dots & a_{in} \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{ni} & \dots & 0 \end{vmatrix}.$$

вектор-устунлар P ва Y эса

$$P = \begin{vmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_i \\ \vdots \\ P_n \end{vmatrix}, \quad Y = \begin{vmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_i \\ \vdots \\ y_n \end{vmatrix}.$$

E — бирлик матрица, p ва y — мос ҳолда олинувчи ва бошқарувчи ўзгарувчи векторлар.

Структура нуқтаи назаридан W_{ii} — кўп боғламли объектнинг бош боғланиши деб юритилади ва кириш йўлидан i -бошқариш таъсирини i чиқиш йўлига ўтказувчи каналдан иборат, M_{ij} эса j -бошқарилувчи ўзгарувчига таъсири каналини ҳосил қилади ва тескари ўзаро боғланиш деб аталади.

(V—3) ифодани олинувчи ўзгарувчилар векторига нисбатан ечимиз:

$$P = [E - W\bar{M}]^{-1} WY, \quad (V-4)$$

бу ерда $[E + W\bar{M}]^{-1} W = H$ — объект оператори.

Бирлик хусусияти маълум бўлмаган конструкцияларни, масалан, самолёт планерини синашда a_{ii} ва a_{ij} коэффициентларни аналитик аниқлаш мумкин бўлмайди. Бу коэффициентларни аниқлашнинг бирдан-бир йўли тажриба ҳисобланади. Тажриба тартибини қуйидагича тавсифлаш мумкин.

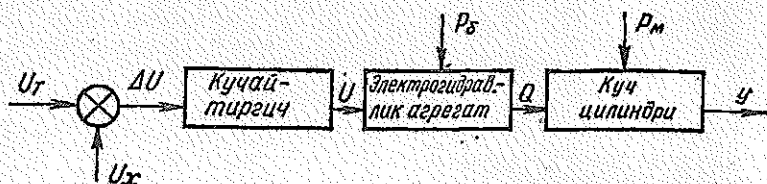
(V—1) тенгламалар системасини p_i кучнинг ўзгаришидаги орт-тирмаларда ёзамиз:

$$\sum_{j=1}^n \Delta y_{ij} = \sum_{j=1}^n a_{ij} \Delta p_{ij}; \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (V-5)$$

Шунга ўхшаш, (V—1) тенгламалар системасини қолган кучлар ўзгаришида ёзиб ва бир хил номаълумларни ўз ичига олувчи тенгламаларни алоҳида ажратсак, ҳар бири n тенгламали n та тенгламалар системасини ҳосил қиламиз. Матрица кўринишида бу тенгламалар системаси қуйидагича ёзилади:

$$\| \Delta P_{ij} \|_n \cdot \begin{pmatrix} a_{i1} \\ a_{i2} \\ \vdots \\ a_{ii} \\ \vdots \\ a_{in} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta y_{i1} \\ \Delta y_{i2} \\ \vdots \\ \Delta y_{ii} \\ \vdots \\ \Delta y_{in} \end{pmatrix} \quad (V-6)$$

бу ерда $\| \Delta p_{ij} \|_n$ — n даражали квадратик матрица. Бу тенгламалар системасини маълум усуллар ёрдамида ечиб, a_{ii} ва a_{ij} коэффициентларнинг қийматларини оламиз. Синашлар эластик деформация соҳасида олиб борилганлиги учун эластиклик матрицаси (унга тескари бўлган бикр матрицаси ҳам) доимо сонли ва симметрикдир.



V—2- расм.

Куч қўзғатгич электрогидравлик бошқарилувчи гидравлик куч цилиндридан иборат (V—2- расм).

Юклаш программаси топшириқ блокидан электрик сигнал жамлагичга берилади. Жамлагичда бу сигнал юкнинг ҳақиқий катталигига мос келувчи сигнал U_x билан солиштирилади. Номослик сигнали ΔU кучайтиргичга берилади ва у ерда электрогидравлик агрегатга берилувчи бошқариш сигнали U га айлантирилади. Электрогидравлик агрегат электрик сигнални куч цилиндрида суюқлик сарфи Q га айлантиради. Цилиндр чиқиш йўли параметри сифатида поршеннинг юриши y хизмат қилади. Умуман, гидроцилиндр ҳаракати чизиқли бўлмаган тенгламалар ёрдамида тавсифланади. Қатор фаразларни ҳисобга олган ҳолда куч қўзғатгичнинг узатиш функциясини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$W(p) = \frac{K}{p} = \frac{K_y K_{ea}}{F} \cdot \frac{1}{p}; \quad (V-7)$$

бу ерда K_y — кучайтиргичнинг узатиш коэффициенти; K_{ea} — гидравлик агрегатнинг узатиш коэффициенти; F — гидросцилиндр поршенининг юзи; p — дифференциаллаш оператори.

Умумий ҳолда куч қўзғатгичлар қуйидаги диагональ оператор матрицаси ёрдамида тавсифланади;

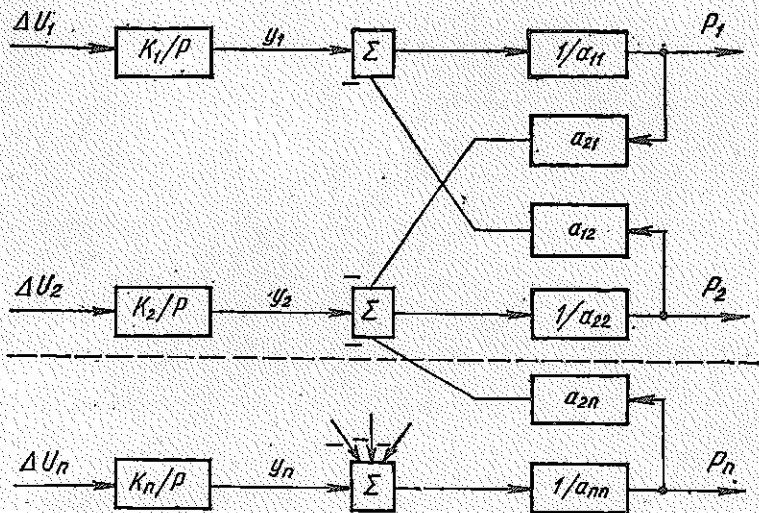
$$D(p) = \begin{vmatrix} D_{11}(p) & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & D_{22}(p) & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & D_{nn}(p) \end{vmatrix} \quad (V-8)$$

Шундай қилиб, бошқариш объектининг математик модели H ва $D(p)$ матрицалар ёрдамида тавсифланувчи кетма-кет уланган икки элементдан иборат (V—3- расм), яъни математик модели бу икки матрицанинг қўпайтмаси кўринишида ёзиш мумкин:

$$S(p) = HD(p) \quad (V-9)$$

қўпайтмадаги матрицаларнинг ёзилиш тартиби уланишдаги сигналлар келиши тартибига тескарисдир.

Синаладиган конструкция симметрик матрица H орқали тавсифланиб, объектининг ўзгармас қисмини ташкил этади. Куч қўзғатгичларнинг қўшилиши бошқариш объектининг симметриклигини бузмаслиги керак. Бунинг учун куч қўзғатгичлар операторларининг ҳамма-



V-3-расм.

сини бир хил қилиш лозим, яъни $D_i(p) = D_j(p)$. Бу ҳолда $D(p)$ матрица скаляр матрицага айланади ва бошқариш объекти матрица-си $S(p)$ симметрик оператор матрицага айланади.

Мураккаб конструкцияларни юкловчи тўла автоном кўп боғламли бошқариш системаси. Куч қўзгатгичлар штокларининг синхрон ҳаракатланишини таъминлаш учун ҳамма бошқариш системалари битта программа топширгичидан ишлаши керак.

Автономликни (тўла бўлмаган) ҳар қайси бошқариш каналининг кучайтириш коэффициентларини чексиз катталаштириш йўли билан амалга ошириш мумкин. Лекин каналлар сони ошган сари ҳамда a_{ii} , a_{ji} ва $\frac{1}{a_{ii}}$, $\frac{1}{a_{ji}}$ боғланишларни вужудга келтирувчи каналлар орасидаги ўзаро таъсирнинг кенг диапазонда ўзгариши кучайтириш коэффициентининг катта қийматини талаб қилади. Бу эса ўз навбатида бикрлик коэффициенти катта бўлган конструкцияли каналнинг тургунлик чегараларидан чиқишига олиб келади. Демак, бир вақтнинг ўзида $K_i \leq K_{\text{критик}}$ ва $K_i \rightarrow \infty$ шартларини бажариш мумкин эмас.

Синаладиган конструкциянинг бўлинмаслиги локал контурлар ёрдамида каналларнинг ўзаро таъсир даражаларини бараварлаштиришга имкон бермайди.

Тўла автономликка эришиш талаб қилинадиган, бўлинмайдиган (юкланувчи конструкция хилидаги) объектлар учун бошқарувчи модели кўп боғламли системани синтезлаш қулай ва содда ҳисобланади. Бундай система тўла автономликни ва юқори сифатли ростлаш таъминлаган ҳолда юқорида келтирилган чекланишларга олиб келмайди.

Бошқарувчи моделини синтезлаш учун тескари сператор усулидан фойдаланамиз. Бу усулда мсс объект ўзгарувчилари устида бажариладиган ўзгартиришларга тескари бўлган ўзгартиришлар амалга оширилади.

(V—10) га биноан объект оператори матрица кўринишида қуйидагича ёзилади

$$S(p) = [E + \bar{W}\bar{M}]WD(p). \quad (V-10)$$

Статик ва такрорий-статик юклашда фақат эластик кучлар таъсир қилганлиги сабабли синаладиган конструкцияни бошқариш объекти сифатида қабул қилиш мумкин. У вақтда куч қўзгатгичлар бошқариш системасининг ижро этувчи органи ҳисобланади.

Объект инерцион бўлмагани сабабли тескари оператор усулига биноан бошқарувчи модель қуйидаги тавсифга эга бўлади:

$$H^{-1} = W^{-1}[E + \bar{W}\bar{M}]. \quad (V-11)$$

Бошқарувчи моделини объект структураси маълум бўлган ҳолларда қуйидаги қоидалардан фойдаланиб синтезлаш мумкин:

1. Бошқарувчи моделда ўзаро боғланишларнинг структураси объектнинг ўзаро боғланишлари M_{ij} , M_{ji} каби бўлади.

2. Бошқарувчи моделининг ўзаро боғланишларидаги сигналларнинг йўналиши объектдагидек, кутблари эса объектнинг ўзаро боғланишларидаги сигналларнинг кутбларига тескари бўлади.

3. Бошқарувчи моделининг бош боғланишларида объектнинг бош боғланишлари операторлари $W_{ii}(p)$ га нисбатан тескари сператор $W_{ii}^{-1}(p)$ лар амалга оширилади.

4. Бошқарувчи моделининг бош боғланишларидаги сигналлар йўналиши объектдаги бош боғланишларнинг сигналлари йўналишига тескари бўлади.

Шу қоидалардан фойдаланиб синтезланган бошқарувчи модели юклашни бошқарувчи системанинг структуравий схемаси V—4-расмда берилган. Бу схемага биноан

$$\theta = P_0 - P, \quad (V-12)$$

$$y = K(p)^a,$$

$$\varepsilon = W^{-1}[E + \bar{W}\bar{M}]\theta.$$

Бу ердан система учун бошқариш қонуни қуйидагича ифодаланади:

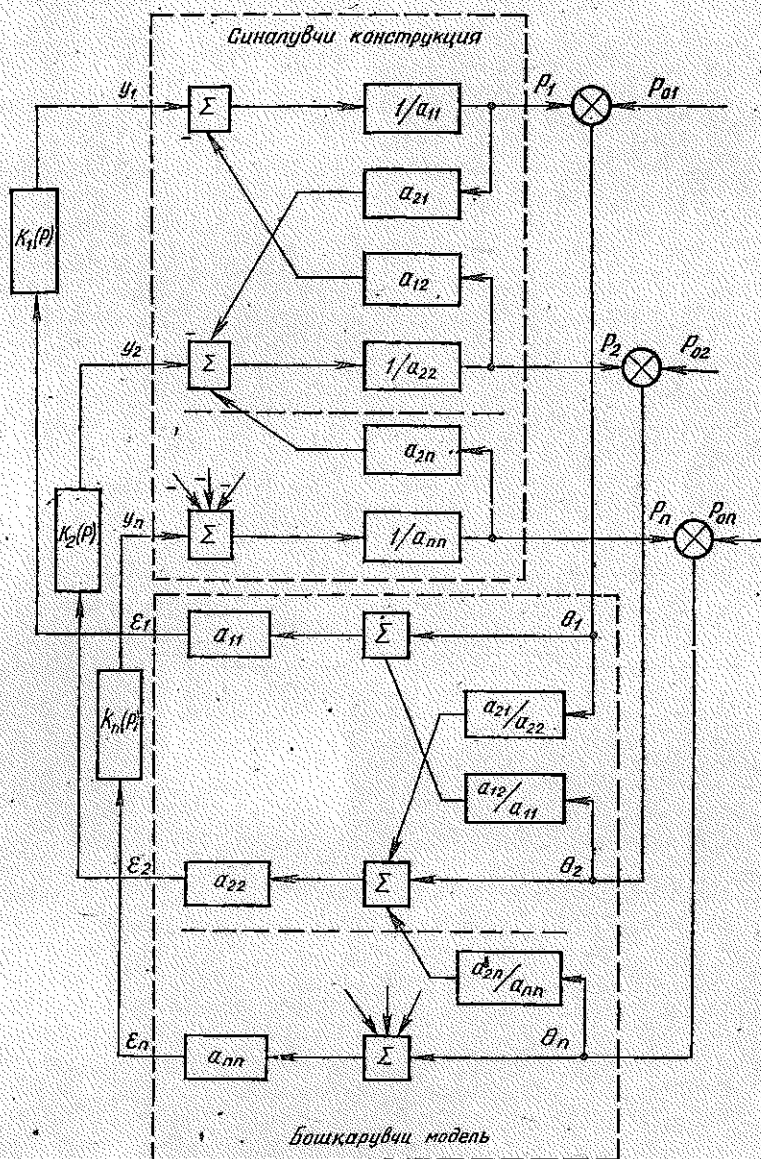
$$[E + A(p)]P = A(p) \cdot P_0, \quad (V-13)$$

бу ерда

$$A(p) = [E + \bar{W}\bar{M}]^{-1}WK(p)W^{-1}[E + \bar{W}\bar{M}] = H^{-1}K(p)H,$$

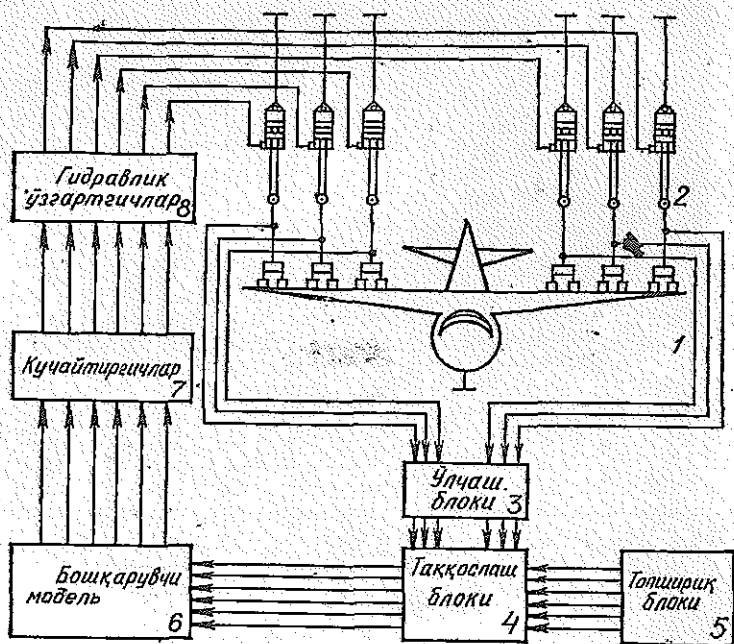
бу ерда H^{-1} матрица—объектнинг тескари модели; $K(p)$ —ижро этувчи органлар (куч қўзгатгичлар); H —объектнинг модели.

$K_i(p) = K_j(p)$ бўлган вақтда тўғри H ва тескари H^{-1} ўзгарувчилар ўзаро компенсациялашади.



V—4- расм.

Шундай қилиб, тесқари оператор усули билан синтезланган бошқарувчи модели юқлашни бошқариш системасида тўла автономлик ва синхронликка бошқарувчи моделда эластиклик матрицаси H^{-1} ни оддий моделлаш ва қуч қўзғатгичлар узатиш функцияларининг бир-дайлигини таъминлаш йўли билан эришиш мумкин. Бундай система-

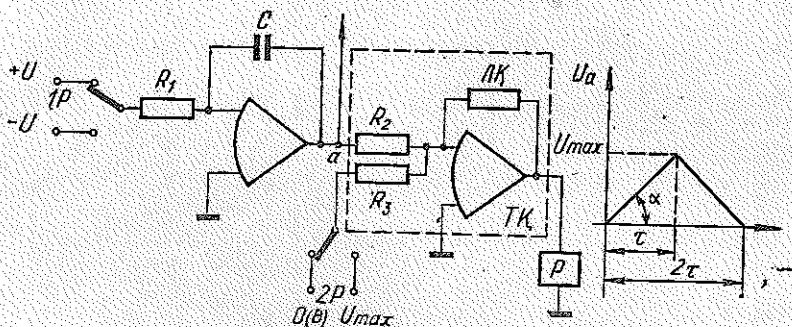


V—5- расм.

нинг блок-схемаси V—5- расмда келтирилган. Синаладиган конструкция 1 бошқарилувчи куч қўзғатгичлар 2 ёрдамида юкланади. Юк катталигига пропорционал чиқиш сигналлари ўлчаш блоки 3 да ўлчаниб, таққослаш блоки 4 да топширигич блоки 5 сигналлари билан таққосланади. Номослик сигналлари бошқарувчи модель 6 га берилади. Бошқарувчи моделда синаладиган конструкцияни тавсифловчи тенгламалар системасига тескари тенгламалар системаси моделланади. i -куч қўзғатгич штокнинг силжиши синаладиган конструкция орқали боғланиш бўлганлиги сабабли j -нуктадаги юкка таъсир қилса, тескари моделда бундай таъсир келтириб чиқарган i -номосланиш узлуксиз равишда j -куч қўзғатгич штокнинг силжишини ўзгартирувчи сигнал ишлаб чиқаради. Бу сигнал i -куч қўзғатгич штокнинг силжиши келтириб чиқарган юк ўзгаришини компенсациялайди.

Бошқарувчи модель чиқиш йўлининг сигналлари кучайтиригичлар 7 ёрдамида кўчайтирилиб, гидравлик ўзгартиригичлар орқали куч қўзғатгичларига берилади.

Мураккаб конструкцияларни юкловчи бошқариш системасини моделлаш. Юклашни бошқариш системасини моделлаш ва тажриба натижалари АН-24 самолётининг ярим қаноти мисолида қуйида келтирилган. Тадқиқот ишлари МН-7 ва МН-14 электрон моделлаш қурилмаларида амалга оширилган.



V—6- расм.

Топшириқ «манзил—учиш—қўниш» цикли асосида тузилган бўлиб, топшириқ блоки схемаси V—6- расмда берилган. Бу схемага биноан интегратор чиқиш йўлининг кучланиши $+U_{max}$ қийматига эришиши билан реле P ишга тушади ва кучайтиргичнинг биринчи кириш йўлига ўзгармас кучланиш, $+U$ кириш йўлига эса ноль кучланиши берилади. Юклашнинг керакли частотасига қиялик бурчаги α ни ва, демак, τ ни ўзгартириш йўли билан эришиш мумкин. Бу ўзгартириш эса қаршилиқ ёрдамида амалга оширилади.

Бир нечта топшириқ таъсирида юклашни бошқаришнинг синхронлигини таъминлаш шартларидан бири ҳамма каналнинг битта топширгич блокидан ишлашидир. Моделлашда бу шарт a нуқтага уланадиган кучланиш бўлувчилари ёрдамида таъминланади.

V—7- расмда юклашни бошқарувчи икки ўлчамли системани моделлаш схемаси келтирилган.

Бошқариш процессининг қиёсий тадқиқи қуйидаги структурали системаларда амалга оширилди:

1) бошқарувчи моделсиз; юклаш каналларининг кучайтириш коэффициентлари чекланган;

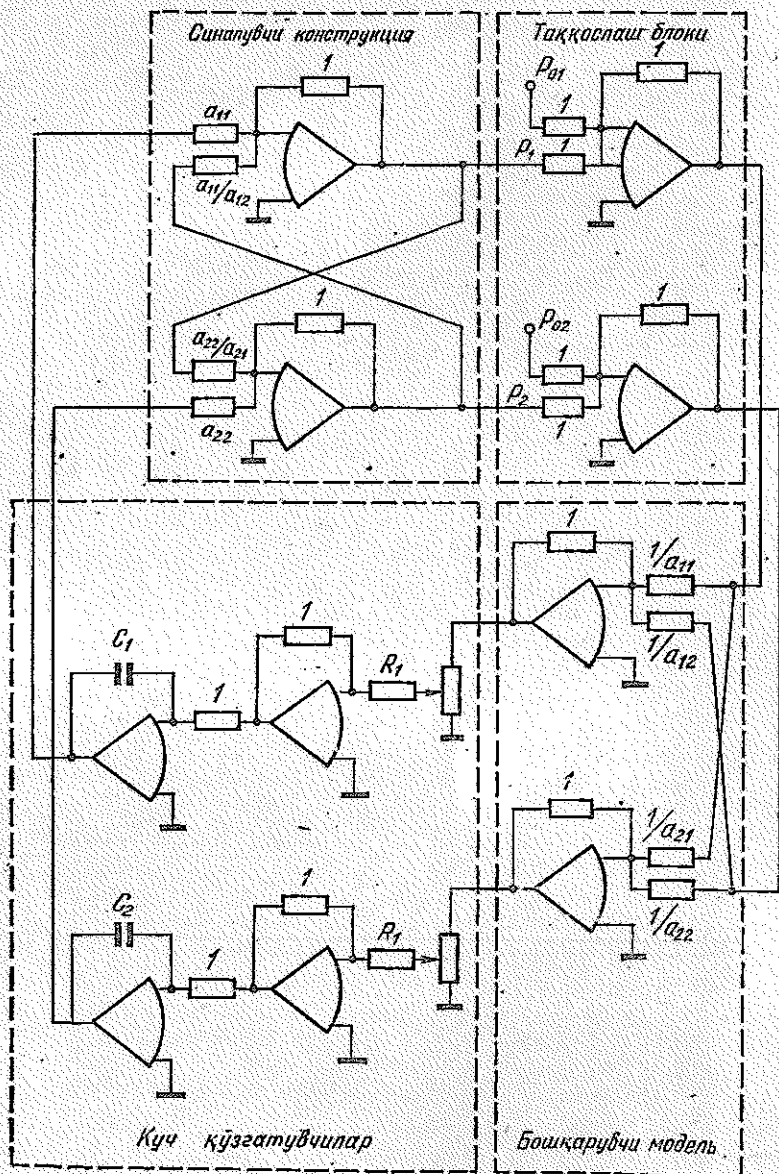
2) бошқарувчи моделсиз; юклаш каналларининг кучайтириш коэффициенти турғунлик шартларига кўра рухсат этилган максимал қийматга эга;

3) бошқарувчи модели.

Тадқиқот ишлари қуйидагиларни кўрсатди:

— бошқарувчи моделсиз, юклаш каналларининг кучайтириш коэффициенти чекланган системада куч қўзгатгичларнинг бир-бири билан синалаётган конструкция орқали боғланганликлари сабабли юклашнинг синхронлигини ва автономлигини таъминлаш мумкин эмас.

— бошқарувчи моделсиз, юклаш каналларининг кучайтириш коэффициенти турғунлик шартларига кўра мумкин бўлган максимал қийматли системада кучайтириш коэффициенти хар хил ($K_1 = 3$, $K_2 = 170$) қийматларига эга бўлди. Тўла автономлик таъминланмайди.



V-7- рasm.

— бошқарувчи модели системада бошқарувчи моделда объект (сигналувчи конструкция) нинг тескари оператори амалга оширилиши, куч қўзғатгичларнинг бундай узатиш коэффициентларига эга бўлишлиги $[K_1(p) = K_2(p)]$ каналлардаги кичик ва бир-бирига тенг бўлган кучайтиргич коэффициентларида ($K_1 = K_2 = 7$) тўла автономликни ва синхронликни таъминлайди.

V — 2- §. Кўп боғламли чизиқли бўлмаган объектларни автоматик бошқарувчи системаларни синтезлаш

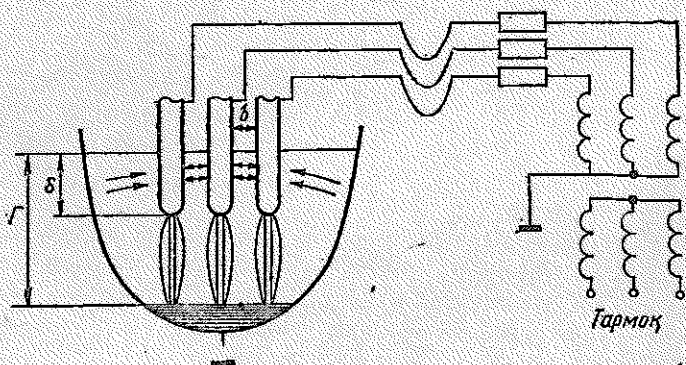
Кўп боғламли бошқарилувчи чизиқли бўлмаган объектда сигнал ўзгартгич билан узатиш занжирларининг ўзаро боғланишлари мураккаблиги туфайли сигналларнинг айланиши, силжиши ва ўзаро таъсири пайдо бўлади. Бу эса бошқарувчи системани синтезлаш масаласини қийинлаштиради. Қуйида руда-термик электр печнинг электрик режимларини бошқариш системаси мисолида кўп боғламли чизиқли бўлмаган системаларнинг структуравий хусусиятларини аналог ҳисоблаш машиналари ёрдамида тадқиқ қилиш натижалари келтирилган.

Маълумки, пўлат қуйиш саноатида муҳим ҳисобланган ферромарганец, силикомарганец, ферросилиций каби қотишмалар руда-термик электр ёй печларида олинади. Ҳозирги вақтда $50 \div 75$ кВА ва ундан ортиқ қувватга эга бўлган электр печлар мавжудлиги уларнинг катта фойдали иш коэффициентига эга бўлишини тақозо этади.

Руда-термик электр ёй печлар уч фазали кучланишга уланган қувватли электродлар туширилган ваннадан иборат (V — 8- расм).

Электр ёй юқоридан ташланадиган шихта билан кўмилган ҳолда ёнади. Шихта суюқланиб, ванна тубига тушади, суюқланиш процесси узлуксиз давом этади. Суюқланиш процессида шихтанинг қаршилиги камаяди ва печнинг фойдали иш коэффициентини ошириш учун электродларга берилаётган кучланишни камайтириш зарур. Электродлардаги ростлагичлар ҳар бир фазадаги ток кучининг ўзгармас бўлишини таъминлайди. Бунга эса электродларни вертикал силжитиш (электродларнинг шихтага кўмилиш чуқурлигини ўзгартириш) йўли билан амалга оширилади. Шихта тақсимланган ўтказувчанликка эга бўлгани учун бир фазадаги параметрнинг ўзгариши бошқа фазадаги параметрларнинг ўзгаришига олиб келади. Демак, руда-термик электр ёй печни параметрлари объект координатлари ва вақтга боғлиқ бўлган кўп боғламли чизиқли бўлмаган объект деб ҳисоблаган ҳолда, унинг электр режимини бошқариш масаласини ҳал этиш лозим.

Яна бир масала—электродларнинг кўмилиш чуқурлигини аниқлаш лозим. Бу масала юқорида айтилган иссиқликнинг катта фойдали иш коэффициентини таъминлаган ҳолда берилган қувватни сақлаш маса-



V—8- расм.

ласидан бевосита келиб чиқади. Электродларнинг етарли бўлмаган кўмилиш чуқурлиги унумдорликни камайтирса, ҳаддан ташқари кўмилиши эса нотургун электр режимига олиб келади. Электродларнинг учлари вақт ўтиши билан куйиши сабабли уларнинг оптималга яқинроқ кўмилиш чуқурлигини таъминлаш учун исталган вақтда электродларнинг учлари қаердалигини аниқловчи усул яратиш лозим.

Руда-термик электр ёй печнинг математикавий модели. Руда-термик ёй печларида суюқланиш процессини энергия ва модда ўзгариши деб қараш мумкин. Шунинг учун суюқланиш процессининг динамикасини тадқиқ қилишда информатсион нуқтан назардан ўзаро боғланган E энергия ва M моддий оқим бўйча бошқаришларни акс эттирувчи процесс моделларини ажратиш мақсадга мувофиқдир.

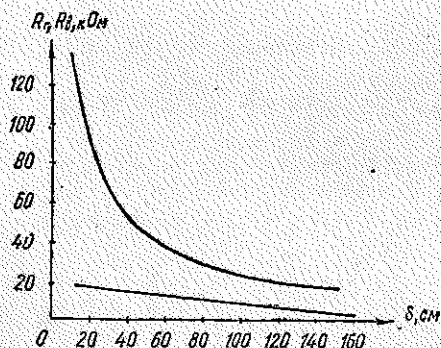
Кучланиш, электродларнинг ҳолати (кўмилиш чуқурлиги), печь ваннасининг қаршилиги, электродлардаги ток — энергия бўйча бошқаришни акс эттирувчи процесснинг модели ҳисобланса, моддий оқим бўйча бошқаришни акс эттирувчи процесс моделининг параметрларига шихтанинг параметрлари (намлиги, геометрик ўлчамлари ва бошқалар) ни, шихтанинг тўкилиш тезлигини, ваннанинг солиштира қаршилигини киритиш мумкин. Печь ваннасининг қаршилиги бу икки процесс моделини боғловчи параметр бўлиб хизмат қилади. Шунинг учун, ҳамда руда-термик ёй печларининг энергетик ва металлургик режимлари, одатда, электродларнинг ток оқимига кўрсатадиган қаршилигининг ўзгаришига нисбатан танланиши сабабли, печнинг электрик характеристикаларини ваннанинг қаршиликлари орқали ифодалаш мақсадга мувофиқдир. Печь ваннасининг қаршилигини унинг геометрик параметрлари орқали ифодаласак, электрик характеристикалар билан печь ваннасининг конструктив, металлургик ва электротехник параметрлари орасидаги чуқур боғланишни таъминлаймиз. Бу эса печнинг электрик режимларини автоматик бошқариш системасини синтезлашда муҳимдир.

Руда-термик печда энергия ажралишининг икки принципини — фақат ёй печга хос бўлган ва фақат қаршилик печига хос бўлган принципларни кўрсатиш мумкин, чунки иссиқлик энергияси қисман электр ёйида ва қисман юқори температурагача қизиган шихтадан ток ўтиши натижасида ажралади ($V-8$ расм). Печнинг туби ва штейн ерга уланганлиги сабабли штейндаги кучланишни ҳисобга оямасак ҳам бўлади ва штейнни уч фазали занжир (электрод—шлак—штейн) нинг умумий нуқтаси деб қараш мумкин.

Шундай қилиб, печнинг ваннасида ток қисман электродлар орасида горизонтал (I_r) ва қисман электродлар ва ерга уланган штейн орасида вертикал (I_v) йўналишларда оқади. Бу эса уч нурли юлдуз ва уч-бурчакликнинг параллел уланиши кўринишидаги мураккаб кўп қутб-лиликка мос келади.

Шлакли ваннада электроддан ҳар хил масофада кучланиш тушишининг қонуниятияга асосан тажриба ўлчашларини назария билан таққослаш натижалари қуйидагиларни кўрсатди:

1) руда-термик печь қаршилик режимида ишлайда, ёй режимининг роли жуда кичик;



V—9-расм.

2) токнинг асосий қисми ($67 \div 72\%$) электроддан ерга уланган штейнга «юлдуз» схемаси бўйича оқади.

V—9-расмда R_r горизонтал ва R_b вертикал қаршиликлар ўзгариши-нинг электродлар кўмилиш чуқурлигига боғлиқлик графиги берилган. R_r ва R_b қаршиликлари ҳисоблашда 16500 кВА қувватли руда-термик печнинг техникавий маълумотларидан фойдаланилди.

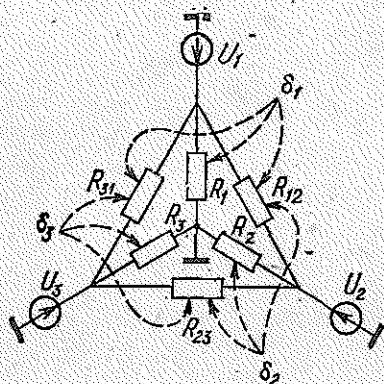
Электроднинг горизонтал йўналиши бўйича кесими эллипс шаклида қабул қилиниб, шихтанинг солиштирма қаршилиги печь ваннаси бўйича бир хил ва 1 Ом·смга тенг деб олинганда қуйидагига эга бўламиз:

$$R_r = \frac{4b}{\pi d \delta}; \quad R_b = \frac{4(\Gamma - \delta)}{\pi d^2};$$

ду ерда b — электродлар юзалари орасидаги масофа; d — электрод биаметри; Γ — шихта баландлиги.

Шихтанинг тақсимланган ўтказувчанликлари туфайли ҳар қандай электроднинг кўмилиш чуқурлиги бу электрод тагидаги шихта қаршилигига таъсир этибгина қолмай, балки бу электрод билан қўшни электродлар орасидаги шихта қаршилигини ҳам ўзгартиради. Ҳамма электродларнинг кўмилиш чуқурлиги бир вақтда ўзгарса, юқоридаги ўзаро таъсир жуда мураккаб кўринишда бўлади. Бу эса кўп боғламли объектларга хос хусусиятдир.

Юқорида айtilганларга асосан ва агар руда-термик печь шихтаси бир хил солиштирма қаршиликка эга бўлган инерционсиз объект деб ҳисобланса, руда-термик печнинг соддалаштирилган моделини V—10-расмда кўрсатилган эквивалент электрик занжири кўринишида қабул қилиш мумкин.

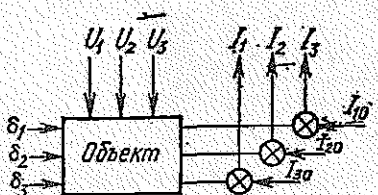


V—10-расм

R_{12}, R_{23}, R_{31} қаршиликлар—электродлар орасидаги шихтанинг қаршиликлари (горизонтал йўналишидаги) бўлиб, уларнинг ҳар бирининг катталиги икки ўзгарувчига—қаршиликни ўз ичига олиб турувчи электродларнинг кўмилиш чуқурлигига боғлиқ.

R_1, R_2, R_3 қаршиликлар—электродлар тагидаги шихтанинг қаршиликлари (вертикал йўналишдаги). Буларнинг катталиги мос ҳолда $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ ларга боғлиқ.

U_1, U_2, U_3 —уч фазали зажирнинг фаза кучланишлари.



V—11-расм.

Ҳозирги вақтда печнинг иши ток бўйича созланади. Токнинг берилган қиймати камайса, электродлар ваннага чуқурроқ туширилади (δ_i катталашади); δ_i ни ўзгартириб токнинг берилган қийматини сақлаш мумкин.

Шундай қилиб, ростланувчи катталиги ток, бошқариш таъсири электроднинг кўмилиш чуқурлиги

бўлган объектга эга бўлдиқ (V—11-расм).

V—10-расмдаги руда-термик электр печнинг соддалаштирилган моделидан δ, U, I лар орасидаги қуйидаги математик боғланишларни олиш мумкин:

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{\dot{U}_1}{R_1} + \frac{\dot{U}_1 - \dot{U}_2}{R_{12}} + \frac{\dot{U}_1 - \dot{U}_3}{R_{31}}, \\ i_2 &= \frac{\dot{U}_2}{R_2} + \frac{\dot{U}_2 - \dot{U}_1}{R_{12}} + \frac{\dot{U}_2 - \dot{U}_3}{R_{23}}, \\ i_3 &= \frac{\dot{U}_3}{R_3} + \frac{\dot{U}_3 - \dot{U}_1}{R_{31}} + \frac{\dot{U}_3 - \dot{U}_2}{R_{23}} \end{aligned}$$

Қуйидаги

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_0, \quad \dot{U}_2 = -\frac{1}{2}\dot{U}_0 + \frac{\sqrt{3}}{2}\dot{U}_0 j, \quad \dot{U}_3 = -\frac{1}{2}\dot{U}_0 - \frac{\sqrt{3}}{2}\dot{U}_0 j,$$

$$R_1 = \frac{\Gamma - \delta_1}{K_1}; \quad R_2 = \frac{\Gamma - \delta_2}{K_1}; \quad R_3 = \frac{\Gamma - \delta_3}{K_1};$$

$$R_{12} = \frac{1}{K_2(\delta_1 + \delta_2)}; \quad R_{23} = \frac{1}{K_2(\delta_2 + \delta_3)}; \quad R_{31} = \frac{1}{K_2(\delta_3 + \delta_1)};$$

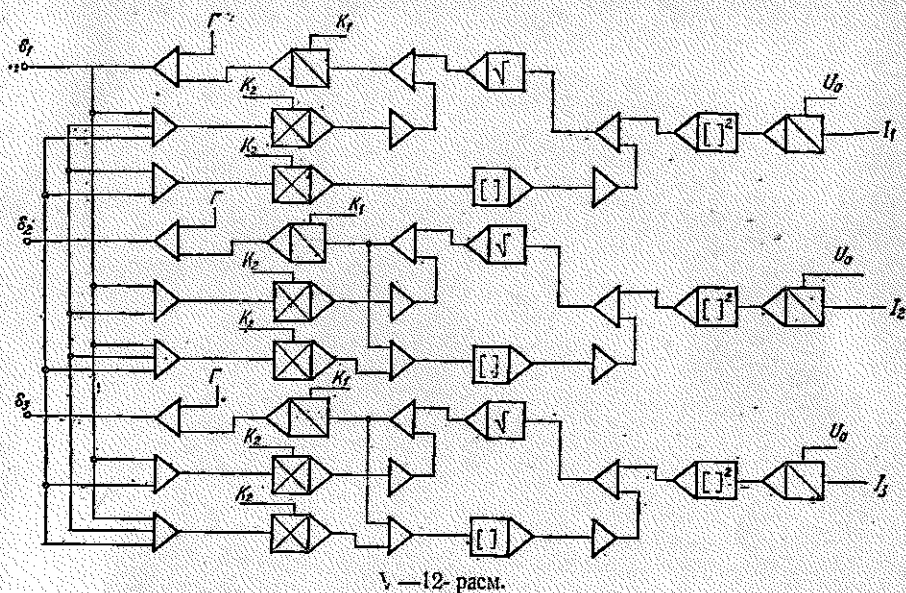
$$K_1 = \frac{\pi d_2}{4\rho}; \quad K_2 = \frac{\pi d}{8\delta\rho b}$$

ифодаларни ҳисобга олган ҳолда ҳақиқий ва мавҳум қисмларни ажратсак, токларнинг амалдаги (жорий) қийматларини олампиз:

$$I_1 = \frac{U_0}{2} \sqrt{2 \left[\frac{K_1}{\Gamma - \delta_1} + \frac{3}{2} K_2 (2\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) \right]^2 + \frac{3}{2} K_2 (\delta_3 - \delta_2)^2},$$

$$I_2 = \frac{U_0}{2} \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{K_1}{\Gamma - \delta_1} + 3 K_2 (\delta_1 + \delta_2) \right]^2 + \frac{3}{2} \left[\frac{K_1}{\Gamma - \delta_2} + K_2 (\delta_1 + 3\delta_2 + 2\delta_3) \right]^2},$$

$$I_3 = \frac{U_0}{2} \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{K_1}{\Gamma - \delta_3} + 3 K_2 (\delta_1 + \delta_3) \right]^2 + \frac{3}{2} \left[\frac{K_1}{\Gamma - \delta_3} + K_2 (\delta_1 + 2\delta_2 + 3\delta_3) \right]^2},$$



Демак, бирорта δ_i нинг ўзгариши учала токнинг ўзгаришига олиб келади. Бу ўзаро боғланишни яққол кўриш учун V — 10-расмдаги эквивалент электрик занжирига мувофиқ математик модель схемасини тузамиз (V — 12-расм). Бу моделда бизни қизиқтирган асосий параметрлар: бошқарилувчи (ростланувчи) ўзгарувчилар — I_i — тоқлар, U_0 — кучланиш ва δ_i — электроднинг кўмилиши катталиги (δ_i — бошқарилувчи объект кириш йўлининг параметрларидир).

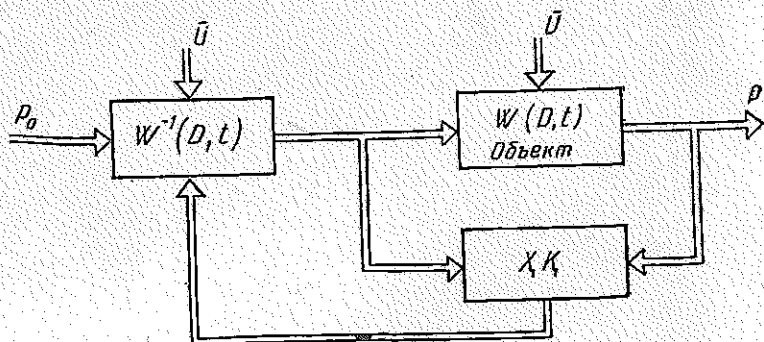
Руда-термик электр печни бошқариш системасигаги бошқариш модели. Руда-термик электр печь параметрлари ўзгарувчан, кўп боғламли чизиқли бўлмаган объект бўлгани учун унинг электр режимларини сифатли бошқарувчи система кўп боғламли ўзи ростланувчи бўлиши шарт.

Кўп боғламли ўзи ростланувчи бошқариш системасининг структуравий схемаси V — 13-расмда берилган. Бу расмда қуйидаги белгилашлар қабул қилинган: $W(P, t)$ — объект оператори; $ХҚ$ — тескари операторни ҳисоблаш қурилмаси. $W^{-1}(P, t)$ — тескари оператор; P_0 — фазаларнинг берилган қувватининг вектор-функцияси; P — фазаларнинг жорий қувватининг вектор-функцияси; D — электродларнинг кўмилиши катталигининг вектор-функцияси.

Печдаги иссиқлик режимининг симметриклигини таъминлаш мақсадида фазалар қуввати тенг қилиб олинади V — 13-расмдаги структуравий схемага биноан чиқиш йўли қуввати қуйидагича бўлади:

$$P = (W^{-1})(W) P_0.$$

Демак, тескари операторни иложи борица аниқроқ аниқлаш талаб қилинади. Умумий ҳолда тескари операторни аниқлаш мураккаб ҳи-

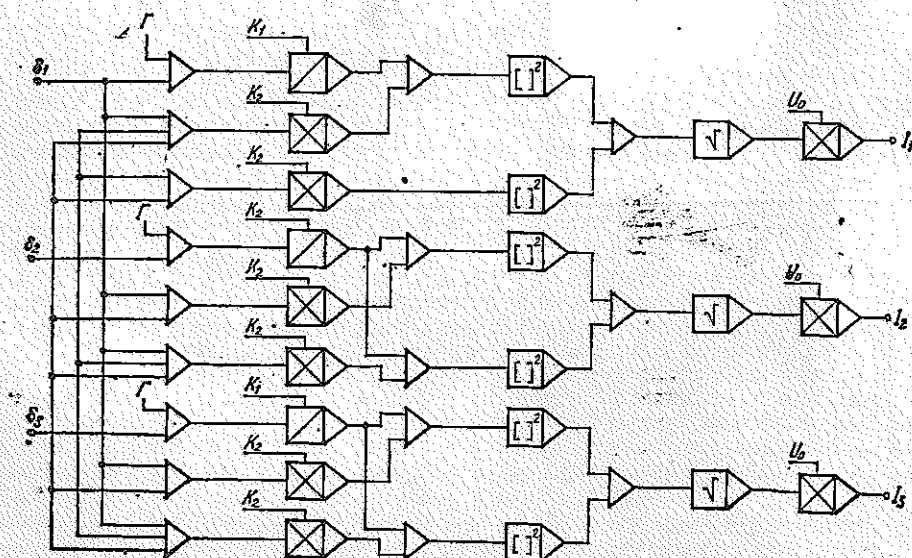


V—13-расм.

собланади. Лекин бизнинг ҳолда ўзгарувчан параметрлар фақат объектив инерционсиз қисмига тааллуқли бўлгани учун тескари операторни аниқлаш осонлашади.

Руда-термик электропечнинг математикавий моделининг структурасига биноан (V—12-расм) структуравий моделларни айлантириш усули ёрдамида тескари математикавий модель (бошқарувчи модель) структурасини топамиз (V—14-расм).

Руда-термик электр печнинг тескари математикавий модели структурасида чиқиш йўли параметрлари бўлиб электродларнинг кўмилиш чуқурлиги, кириш йўли параметрлари бўлиб ток ва кучланиш хизмат қилади. Демак, фазаларнинг тоқлари ва кучланишларини билган



V—14-расм.

ҳолда ҳамма вақт электродларнинг қўмилиш чуқурлигини аниқлаш мумкин.

МН-7 аналог ҳисоблаш машинасида ўтказилган тажрибалар структуравий моделларни айлантириш усули ёрдамида синтезланган бошқарувчи модель объект тескари операторини аниқ амалга оширишлигини кўрсатди.

V—3-§. Гибрид ҳисоблаш системасида идентификациялаш ва бошқариш масалаларининг ечилиши. Идентификациялаш алгоритмининг амалга оширилиши

Объект кириш ва чиқиш йўллариининг сигналлари бўйича унинг оптимал (маълум маънода) математик моделини тузиш—идентификациялаш-автоматик бошқариш системасини синтезлашда биринчи босқич ҳисобланади. Қуйида идентификациялашни гибрид ҳисоблаш системасида амалга ошириш мақсадида АРХС-2 да ўтказилган тажриба тафсилоти келтирилган.

Маълумки, АРХС-2 иккита МН-7 ва битта МН-18 аналог ҳисоблаш машиналарини ўз ичига олади. Программалар бошқариш системаси уларга АРХСнинг алоҳида ишлайдиган қурилмалари сифатида қарашга имкон беради. Шу сабабли иккала МН-7 аналог ҳисоблаш машиналаридан вақт доимийси $T_y = 0,1$ с бўлган реал объектни имитациялашда, МН-18 машинасида эса вақт доимийси $T_y = 0,1$ с бўлган чизиқли ва чизиқли бўлмаган умумлаштирилган системаларни синтезлашда фойдаланилади. Шунга биноан АРХСда чизиқли ва чизиқли бўлмаган динамик системаларни идентификациялаш программаси тузилади. Чизиқли бўлмаган системаларни идентификациялаш программаси чизиқли системаларниқидан қуйидагилар билан фарқ қилади:

1) параметрлар сони билан (чизиқли бўлмаган системалар учун ўзгарувчилар сони $10 + m$, бу ерда m — системанинг нозизиқли-даражаси);

2) кириш йўлининг синаш сигнали $x(t)$ ни амалга ошириш алгоритми билан;

3) ўртача квадратик четланиш глобал минимумини қидирув программаси мавжудлиги билан.

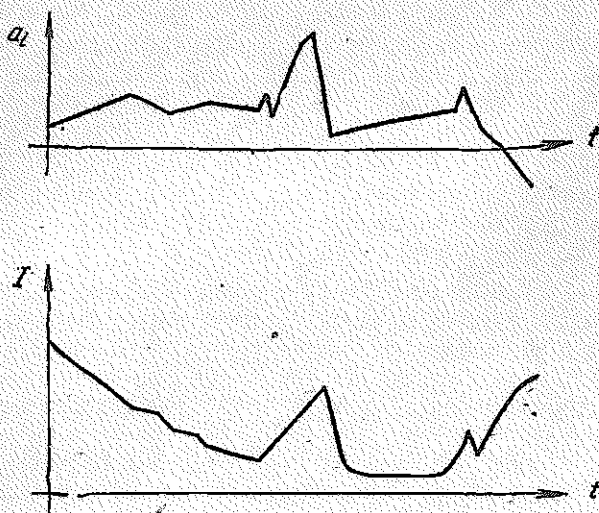
Локал минимумни қидирув алгоритми бўйича АРХСда тузилган чизиқли системани идентификациялаш программасининг ишлатилиши қуйидагиларни кўрсатди:

— идентификациялаш хатолиги 1,7% га тенг;

— модель параметрини баҳолаш хатолиги кичик хонанинг 2÷5 бирлигига тенг;

— параметрларнинг ҳар хил бошланғич қийматларидаги қидирув қадамлари сони 20 дан 200 гача ўзгаради.

Адаптив алгоритмнинг қўлланилиши идентификациялашдаги машина вақтини бирмунча қисқартиришга ва бошланғич параметрларнинг нийматига боғлиқ бўлмаган ҳолда кириш йўли синаш сигналининг тўла такти тамом бўлмасдан ўртача квадратик четланишнинг 5% ли соҳасига киришга имкон беради. V—15- расмда қидирув процессида

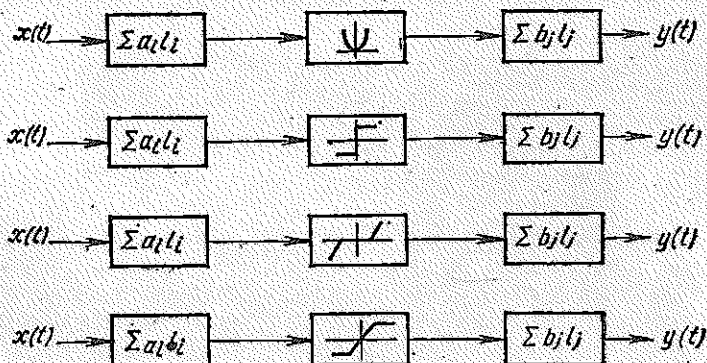


V—15- расм.

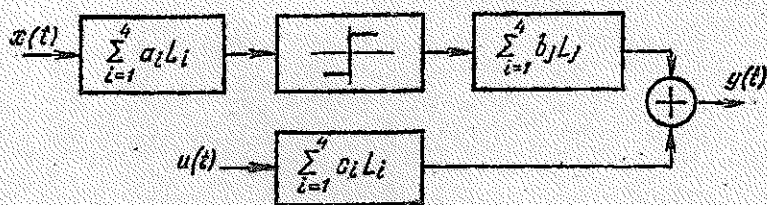
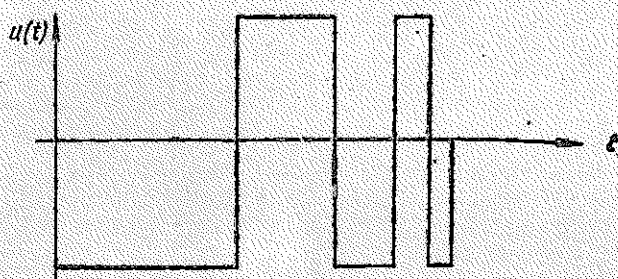
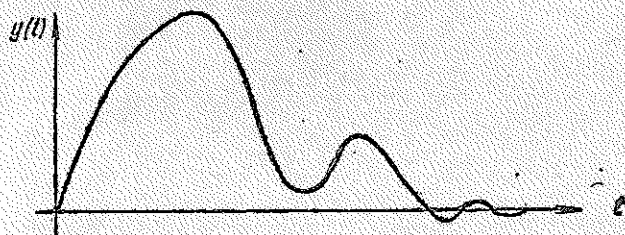
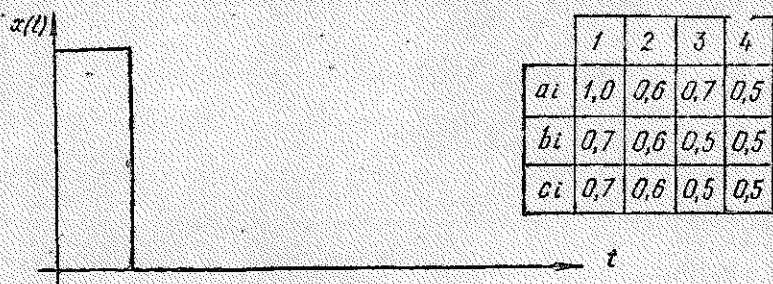
Параметрларнинг ва ўртача квадратик четланишнинг ўзгаришлари келтирилган.

Чизиқли бўлмаган системани идентификациялаш масаласи МН-18 машинасида чизиқли бўлмаган системани олдиндан моделлаб, тўла ечилди. Глобал минимумни қидирув алгоритми бўйича чизиқли бўлмаган системаларни (V—16- расм) идентификациялаш программасининг ишлатилиши қуйидагиларни кўрсатди:

- идентификациялаш хатолиги 3 % дан ошмайди;
- модель параметрининг баҳолаш хатолиги кичик хонанинг 5÷6 бирлигига тенг;
- қидирув қадамлари сони глобал қидирувда 20÷30 дан ошмайди.

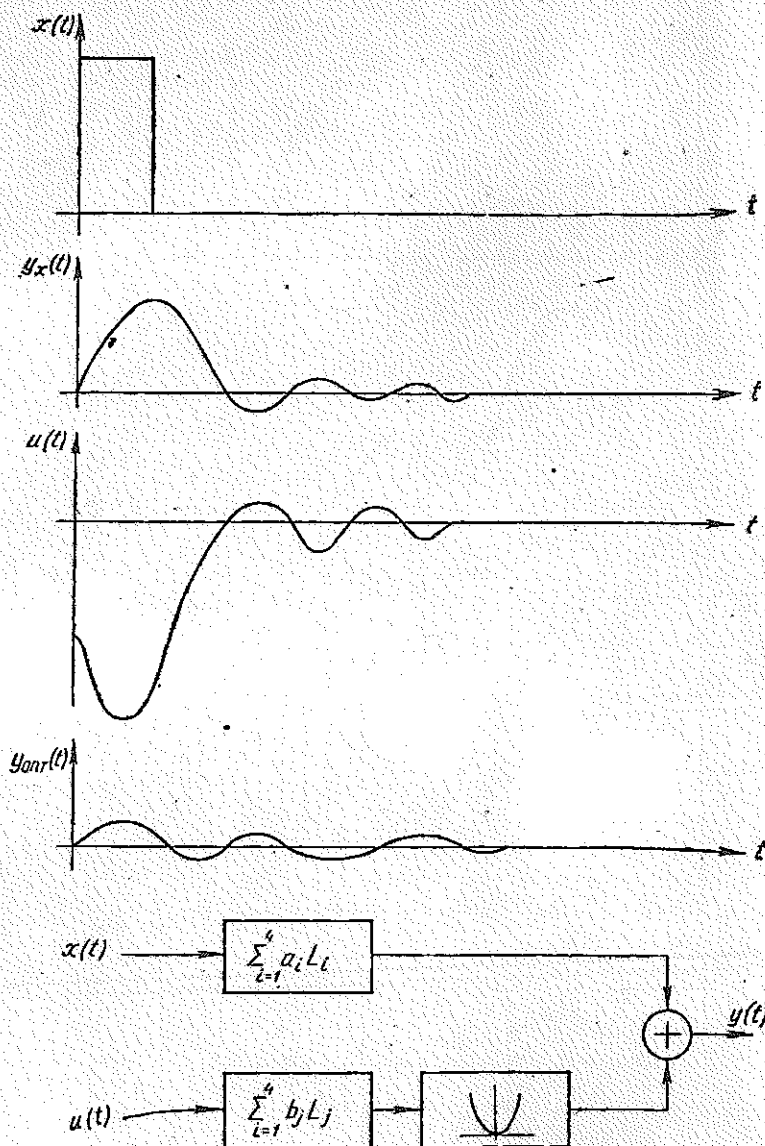


V—16- расм.



V—17-расм.

Адаптив алгоритмнинг қўлланилиши, чизикли системани идентификациялашдаги сингари, қидирув вақтини бирмунча қисқартиришга имкон берди. Ночизиклилик хусусияти маълум бўлган системалар учун 5% аниқлик талаб қилинганда идентификациялаш кириш йўли синаш сигнаlining тўла такти тамом бўлган вақтда тугалланади.



У—18- расм.

Оптимал бошқариш алгоритмининг амалга оширилиши. Оптимал бошқариш масаласини ечиш учун аввало ихтиёрий чизиқли ва чизиқли бўлмаган системаларни Лагерр филтрлари ёрдамида коэффициентлар тўплами кўринишига келтирилади. АРХС рақамли қисмига коэффициентлар киритилади ва машина бу коэффициентларни мос РБПларга программа ёрдамида узатиш билан динамик системани синтезлайди.

Системанинг характерига ва оптималлик мезони кўринишига қараб маълум оптимал бошқариш қидирув алгоритми танланади ва бу алгоритм бўйича АРХСда программа тузилади. Бошқариш системаси синтезлангандан сўнг МН-18 аналог ҳисоблаш машинасига нолинчи итерациянинг бошқариш таъсири берилади ва система чиқиш йўлидан олинган таъсирланиш ўзгартиришдан сўнг РХМ оператив хотира қурилмасига оптималлик функционалини ҳисоблаш учун узатилади. Оптималлик функционали қийматига қараб ё қидирув программасига ўтилади ёки кейинги қидирув қадамини амалга ошириш учун МН-18 аналог ҳисоблаш машинаси тўхтатилади. Оптимал бошқаришни қидирув алгоритми РХМ оператив хотира қурилмасида сақланади.

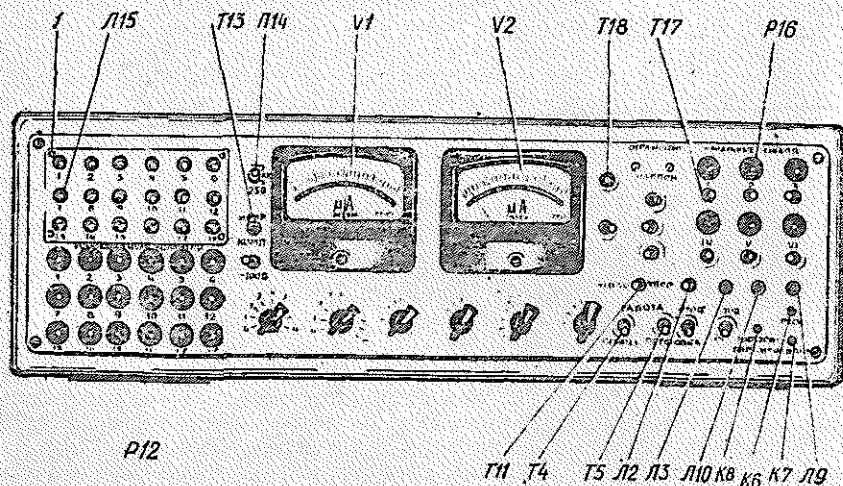
Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, ҳар хил системалар учун ҳар хил оптималлик функционали бўлганда ҳар хил оптимал бошқаришни қидирув алгоритми талаб қилинади. Тасвирланган алгоритмларнинг баъзи бир чизиқли (V—17-расм) ва чизиқли бўлмаган (V—18-расм) системаларни бошқаришда қўлланилиши қониқарли натижа берди.

Оптимал бошқариш алгоритмини қидириш тезлиги асосан ГХС аналог қисмида синтезланган моделнинг вақт доимийсига боғлиқ бўлади. ГХС аналог қисми тезкорлигини 100 марта ошириш тезкор процессларни оптимал бошқариш масаласини ечишга имкон беради ва эришилган оптимал бошқаришнинг муҳимлигини сақлайди.

МН-7М АНАЛОГ ҲИСОБЛАШ МАШИНАСИДА ИШЛАШ ТАРТИБИ

МН-7М аналог ҳисоблаш машинаси кичик структуравий АҲМлар туркумига мансубдир. Бу машина 18 та амалий кучайтиргичдан иборат бўлиб, улардан 16 таси жамлаш, интеграллаш, чизиқли бўлмаган функциялар блоки каби амалий блокларни тузиш учун ишлатилади, қолган иккитаси эса ёрдамчи ҳисобланади. Битта МН-7М машинасида чизиқли бўлмаган дифференциал тенгламалар системасининг 6- даражасигача ечиш мумкин. Масалани ечиш учун битта машинанинг амалий блоклари етишмаса, бир нечта машинани параллел ишлатиб, унинг ҳисоблаш имкониятини ошириш мумкин.

МН-7М аналог ҳисоблаш машинаси уч қисмдан иборат: асосий ечувчи блок, таъминот блоки манба ва электрон-нур индикатори. И—1-расмда машинани бошқарувчи ва унинг ишлашини контрол қилувчи элементлар жойлашган асосий блокнинг олд панели кўрсатилган. И—2-расмда эса МН-7М машинасининг коммутация майдо-ни берилган (форзадаги расмга қаранг).



И—1- расм.

1. Машинани тармоққа улаш (ёқиш)

Бунинг учун ВЭС-1 таъминот манбаи ва электрон-нур индикатори кучланиши 220 В ва частотаси 50 Гц бўлган электр тармоғига улангандан сўнг, ВЭС-1 таъминот манбаи олд панелининг чап томонидаги пастдаги тумблерни *СЕТЬ* вазиятига ўтказиш-лозим. Бу вақтда манбанинг олд панелининг чап ва ўнг бурчакларидаги юқоридаги сигнал лампалари ёнади. Бир-икки минутдан сўнг манбанинг олд панелининг ўнг томонидаги пастдаги тумблер *АНОД* вазиятига ўтказилади. Манбанинг олд панелидаги стрелкали вольтметр ёрдамида +100 В, +350 В, -190 В, -350 В ўзгармас кучланишларнинг борлигига ишонч ҳосил қилинади. Қолган барча уланишлар ҳамда машинада ишлаш асосий блокнинг бошқариш панелида жойлашган тумблерлар ва переключателлар ёрдамида бажарилади. Асосий блок олд панелининг пастдаги 220 В ва 26 В тумблерлари уланади, бу вақтда 220 В тумблернинг тепасидаги сигнал лампаси ёнади*. Шу билан машинани тармоққа улаш тугалланади. Машинани тармоқдан узиш (ўчириш) эса тескари тартибда бажарилади, яъни олдин — 26 В ва ~220 В тумблерлари, сўнггра таъминот манбаининг олд панелидаги *АНОД* ва ундан кейингина *СЕТЬ* тумблерлари ўчирилади.

2. Машинадаги амалий кучайтиргичларнинг нолларини ўрнатиш

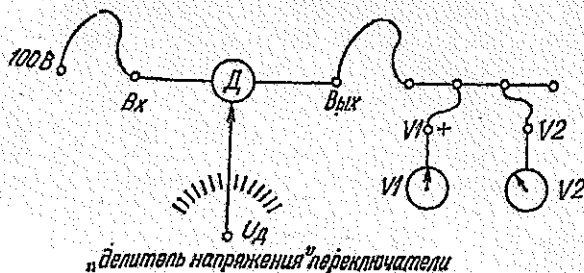
МН-7М машинасининг амалий кучайтиргичларида чиқиш йўли кучланишининг дрейфи мавжуд. Бу дрейф АК кириш йўлининг клеммаларини қисқа туташтирган ҳолда АК нинг чиқиш йўлида кучланишни ўлчаш орқали аниқланади. МН-7М машинасида АК нинг дрейфини йўқотиб бўлмайди. Дрейф таъсирини вақтинча сусайтириш учун машинада ишлаш процессида АК нинг чиқиш йўли кучланишини вақт-вақт билан ўлчаб, зарурат тугилганда АК ни созлаш керак. АК чиқиш йўли кучланишининг дрейфини вақтинча йўқотиш АК ларнинг нолларини ўрнатиш деб юритилади. АК нинг нолларини ўрнатиш асосий блокнинг бошқариш панелида жойлашган Т4 тумблернинг *УСТАНОВКА НУЛЯ*, Т5 тумблернинг *ПОДГОТОВКА* вазиятларида ўн саккизта ўзгарувчи резистор дасталари Р12 ёрдамида бажарилади. Ҳар қайси даста ёнида АК нинг унга тегишли номери ёзилган. АК нинг нолини ўрнатишда унинг чиқиш йўли кучланиши V_1 вольтметр ёрдамида ўлчанади. Бу вақтда тумблер Т13 *ИЗМЕРЕНИЕ* вазиятида бўлиши керак. Коммутация майдони ўнг томонининг пастда жойлашган $+V_1$ уя коммутация майдони паст томонининг ўртасида жойлашган ноли ўрнатилаётган АК нинг чиқиш йўли уясига коммутация шнури ёрдамида уланади. Р12 нинг тегишли дастасини айлантириб, олдин 2,5 В шкала бўйича (Р14 нинг пастки вазияти), сўнггра эса 0,1В шкала Р14 нинг юқори-

* 220 В тумблернинг уланиши фақат машинада масалани ечиш режимларидагина зарур ҳисобланади. Масалани ечишга тайёрлаш режимларида эса бу тумблерни уламаса ҳам бўлади.

ги вазияти бўйича V , вольтметрнинг кўрсатишига қараб АК чиқиш йўли кучланишининг нолга тенг бўлишига эришилади.

3. Ўзгармас кучланишларнинг берилиши

АХМ ларда математик константаларга ўзгармас кучланишлар мос бўлганлиги сабабли электр кучланишларнинг ихтиёрий ўзгармас қийматларини бера билиш ҳамда ўлчай билиш машинада ишлашда муҳим ҳисобланади. Ўзгармас кучланишларни кучланиш бўлувчиси ёки эталон кучланиш манбаи ёрдамида бериш мумкин. Ўзгармас кучланишларни кучланиш бўлувчиси ёрдамида бериш учун машинанинг коммутация майдонида И—3-расмда келтирилган схема йиғилади.



И—3- расм.

Схемада D ҳарфи билан уч ламеллик декадавий потенциометр ифодаланган бўлиб, унинг кириш йўли клеммаси BX уяси коммутация майдонидаги ёнида $+100$ В ёзилган уяларнинг бирига коммутация шнури билан уланади. Потенциометр чиқиш йўлининг клеммаси (BYX уяси) V_1 вольтметрнинг $+V_1$ уясига ва V_2 вольтметрнинг V_2 уясига уланади. Бу уялар коммутация майдонида жойлашган.

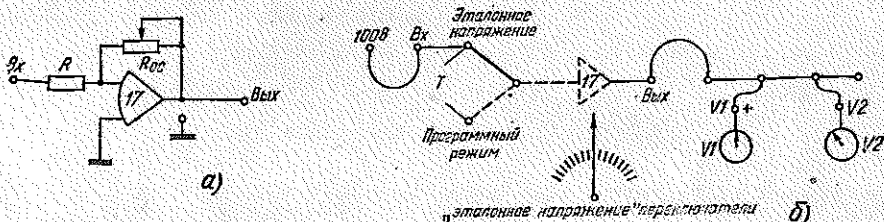
ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ переключатели асосий блокнинг олд панелида V_1 вольтметрнинг пастида жойлашган бўлиб, у ўз навбатида учта переключателдан иборат. Чапдаги переключателда бўлиниш қиймати $0,1$ га тенг, демак, бизнинг ҳолда 100 В берилганлиги сабабли, бўлиниш қиймати 10 В га тенг. Ўртадаги переключателда бўлиниш қиймати $0,01$ га тенг, бизнинг ҳолда 1 В га тенг. Ўнгдаги переключателда эса бўлиниш қиймати $0,01$ га тенг, бизнинг ҳолда $0,1$ В га тенг. Кучланиш бўлувчисининг узатиш коэффициенти учала переключатель кўрсатишларининг йиғиндисидан иборат бўлиб, катталиги бирдан ошмайди.

ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ переключатели ёрдамида электр кучланишларнинг ихтиёрий ўзгармас қийматлари берилиб, V_1 ва V_2 вольтметрлари билан ўлчанади.

Ўзгармас кучланишларнинг эталон кучланиши манбаи ёрдамида берилиши қуйдагича бажарилади. **ЭТАЛОННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ** манбаи МН-7М машинасида 17-номерли АК ёрдамида бажарилган бўлиб, (И—4- расм, а) тескари боғланиш резистори ролини уч ламел-

лик декадавий потенциометр бажаради. Эталон кучланишнинг исталган ишорасига қараб $+100\text{В}$ ёки -100В кучланиш ишлатилади. Чiqиш йўли эталон кучланишнинг исталган катталиги асосий блокнинг олд панелида V_2 вольтметр пастида жойлашган **ЭТАЛОННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ** переключатели ёрдамида потенциометрнинг узатиш коэффициентини ўзгартириш йўли билан олинади.

Ўзгармас кучланишларни манба ёрдамида бериш учун И—4-расм, б даги схема йигилади. **ЭТАЛОННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ—ПРОГРАММНЫЕ РЕЖИМ** тумблери **ЭТАЛОННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ** вазияти-



И—4-расм.

га ўтказилади ва бу тумблер ёнидаги **ЭТАЛОННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ** манбаининг VX клеммаси $+100\text{ В}$ клемма билан уланади. Эталон кучланиши манбаининг VYX чiqиш йўли клеммаси V_1 ва V_2 вольтметрларнинг кириш йўли уяларига уланади. $T4$ тумблер **УСТАНОВКА НУЛЯ** вазиятидан **РАБОТА** вазиятига ўтказилади. $T5$ тумблернинг вазияти ихтиёрий **ЭТАЛОННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ** переключатели ёрдамида электр кучланишларининг ихтиёрий ўзгармас қийматлари берилиб, V_1 ва V_2 вольтметрлар билан ўлчанади.

4. Жамлагичнинг ва интеграторнинг узатиш коэффициентлари қийматини ва ўзгариш диапазонларини аниқлаш

Амалий блокнинг бирор кириш йўли бўйича узатиш коэффициентини аниқлаш учун шу кириш йўлига маълум бир $U_{\text{кир}}$ ўзгармас кучланиши (масалани **ЭТАЛОННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ** манбаидан) берилиб, амалий блокнинг чiqиш йўлида $U_{\text{чик}}$ чiqиш йўли кучланиши ўлчанади. $\frac{U_{\text{чик}}}{U_{\text{кир}}}$ нисбат амалий блокнинг шу кириш йўли бўйича узатиш коэффициентига тенг бўлади. Амалий блокларнинг узатиш коэффициентлари $T4$ тумблернинг **РАБОТА** ва $T5$ тумблернинг **ПОДГОТОВКА** вазиятларида аниқланади. $T4$ ва $T5$ тумблернинг бу вазиятлари барча интеграторларнинг тескари боғланиш конденсаторлари (1 мкф) ўрнига уларга эквивалент (узатиш коэффициенти нуқтаи назаридан) 1 МОм қаршиликка эга бўлган резисторларни автоматик равишда улайди.

1-тартиб номерли жамлагичнинг 1-кириш йўли бўйича узатиш коэффициентини аниқлаш учун аввало бу жамлагичда 1-кириш йўли

ташқил қилинади, яъни 1-амалий кучайтиргичнинг умумий кириш йўли нуқтасига 1-тартиб номерли 0,1 мОм қаршиликка эга бўлган кириш йўли резисторининг уяси уланади. Ундан кейин йиғиш майдонининг марказий қисмида жойлашган *ВХОДЫ* сўзи ёзилган олтмиш тўрт кириш йўли уясида 1-уяга манадан $U_0 = 10$ В эталон кучланиши берилади.

V_2 вольтметр ёрдамида тескари боғланиш резисторларининг ҳар хил (1 мОм, 0,1 мОм) қийматларидаги 1-амалий кучайтиргич чиқиш йўлининг кучланиши ўлчанади. Ўлчашлар натижаси бўйича узатиш коэффициентлари ҳисобланади.

Бу процесс қолган амалий кучайтиргичларнинг кириш йўллари учун такрорланади. Зарурат туғилганда амалий блокларнинг кириш йўлига бериладиган кучланиш қийматини ўзгартириш мумкин.

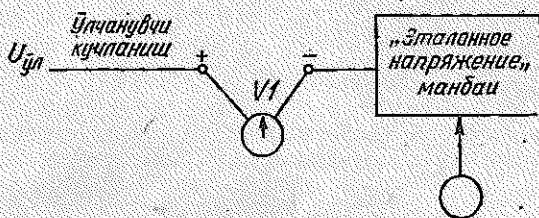
5. Амалий блокларнинг узатиш коэффициентларини ўрнатиш

АХМ коммутация схемасини йиғиш амалий блокларни ташқил қилишдан бошланади. Жамлагичлар ва интеграторлар учун «ташқил қилиш» — схемада кўрсатилган кириш йўлларини АҚ умумий нуқтасига улаш (кириш йўлини ташқил қилиш) ва тескари боғланишни ҳосил қилувчи радиоэлементларни улаш (тескари боғланишни ташқил қилиш)дан иборат. Коммутация схемасини йиғишдаги кейинги иш берилган схемага биноан амалий блоклар орасидаги боғланишларни ташқил қилишдан иборат.

Ҳамма зарур электрик уланишлар коммутация шнурлари ва скоба кўринишидаги ўтказгичлар ёрдамида коммутация майдонида бажарилади.

Коммутация майдони амалий блокларнинг кириш ва чиқиш йўллари уяларини ўз ичига олади. Машинада кириш йўллари уяларининг сони олтмиш тўртта. Коммутацияга қулайлик яратиш мақсадида ҳар бир амалий блокнинг чиқиш йўллари тўрт марта такрорланган.

Жамлагичларнинг узатиш коэффициентлари 0, 1; 0, 2; 0, 5; 1, 2; 5; 10; 50; интеграторларники эса 1; 2; 5; 10; 50; бўлганда кириш йўлларини ва тескари боғланишни тегишли ҳолда ташқил қилиш ёрдамида уларни ўрнатиш мумкин. Агар узатиш коэффициентларининг қийматлари юқоридагилардан фарқ қилса, уларни потенциометрлар ёрдамида ўрнатилади. 2; 6; 10; ... ; 46-уялар 0÷10 диапазондаги исталган узатиш коэффициентларини ўрнатишни таъминласа, 4; 8; 12; ... ; 48-уялар 0÷1 диапазондаги исталган узатиш коэффициентларини ўрнатишни таъминлайди. Узатиш коэффициентларини ўрнатиш аниқлиги электр кучланишини ўлчашдаги аниқликка боғлиқ. Электр кучланишини ўлчашнинг компенсацион усулидан фойдаланилса, коэффициентларни ўрнатиш аниқлигини ошириш мумкин. Бу усулга биноан сон қиймати аниқланиши лозим бўлган $U_{\text{ўлч}}$ ўлчанувчи электр кучланиши V_1 вольтметрнинг + V_1 кириш йўли клеммасига берилади (И—5-расм). V_1 вольтметр *Т13* тумблер ёрдамида *КОМПЕНСАЦИЯ* режимига ўтказилади, ундан кейин V_1 вольтметрнинг — V_1 кириш йўли

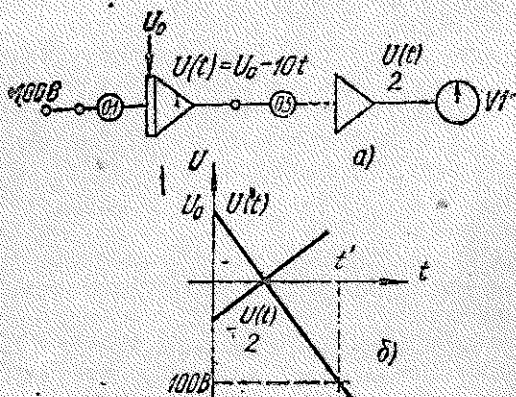


И—5-расм.

уяси ЭТАЛОННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ манбасига уланади. Переключателларнинг вазиятини ўзгартириш билан аввал 100 В, сўнгга 2,5 В ва ундан кейин 0,1 В шкала бўйича V_1 вольтметрнинг ноль кўрса-тишига эришилади. Бу ҳолда $U_{\text{улч}} = U$, бўлади U , нинг сон қиймати ЭТАЛОННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ манбаининг переключателлари вазияти бўйича аниқланади.

6. Интеграторнинг чизиқли диапазондан чиқиши

Амалий кучайтиргич чиқиш йўли кучланишининг чизиқли ўзгариш диапазони МН-7М машинасида ± 100 В интервал билан чегараланган. АК нинг бу диапазондан ташқарида ишлаши унинг электрон схема-ларидаги чизиқли бўлмаган бузилишлар келтириб чиқарган қўшимча ҳисоблаш хатоликларига сабаб бўлади. Машина ўзгарувчисининг ± 100 В диапазондан чиқиб кетиши масштаб танлашдаги хатоликлар-дан дарак беради. Оператор машинада ишлаш процессида ҳар бир АК нинг режимини шу кучайтиргичнинг чиқиш йўлига уланган неон лам-палари ёрдамида контрол қилиб туради. Лампа ёнган пайт АК чиқиш йўли электр кучланишининг ± 105 В га тенг бўлишига мос келади. Барча ўн саккизта неон лампаси асосий блок олд панелининг юко-рисида чап бурчакда жойлашган (Л 15). Улар умумий СИГНАЛИ-ЗАЦИЯ ПЕРЕГРУЗОК ёзуви билан таъминланган. Неон лампаси ёнган пайтда интеграторнинг чиқиш йўли кучланишини қайд қилиш учун И—7-расм, а даги схемадан фойдаланамиз. Интеграторнинг кириш йў-лига 0,1 узатиш коэффи-циентли потенциометр орқали +100 В кучланиш берилади. Интеграторнинг чиқиш йўлида $U(t) = U_0 - 10t$ машина ўзгарувчиси ҳосил бўлади, бу ерда U — бошланғич шарт. Ҳар қан-дай бошланғич шартда



И—6-расм.

шундай вақт келадики, у вақтда $U(t) > 100$ В бўлади. (И—6-рasm, б). Масалан, $U_0 = 0$ да бу вақт ўн секундга тенг бўлади. Неон лампасининг ёниш пайтига мос бўлган кучланиш 100 В дан катта бўлганлиги сабабли уни V_1 ёки V_2 вольтметрлар билан ўлчаб бўлмайди. Шунинг учун $U(t)$ ўзгарувчи 0,5 узатиш коэффициентли потенциометр орқали масштаб кучайтиргичга берилади. Бу ҳолда V_1 вольтметр ёрдамида интеграторнинг чиқиш йўлида $U(t)$ ўзгарувчини ўлчаш ўрнига масштаб кучайтиргичнинг чиқиш йўлида — $U(t)/2$ ўзгарувчиси ўлчанади.

7. Интеграторларда бошланғич шартларнинг берилиши

Интеграторларда бошланғич шартларнинг берилиши $T4$ ва $T5$ тумблерларнинг РАБОТА вазиятларида бажарилади. Коммутация майдонининг ўнг томонида пастда жойлашган интеграторлар бошланғич шартларининг уялари $V5, V6, V7, V8, V15, V16$ коммутация шнурлари ёки скобалар ёрдамида ўша ерда жойлашган, бошланғич шартларни берувчи I, II, III, IV, V, VI потенциометрларнинг чиқиш йўли уяларига уланади. Интеграторларнинг чиқиш йўллари коммутация шнурлари ёрдамида навбат билан вольтметрларнинг бирига уланади. Асосий блок олд панелининг ўнг томонида юқорида жойлашган НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ потенциометрлари дасталарининг ($P16$) ҳолатини ўзгартириб исталган бошланғич кучланишни олиш мумкин. Потенциометрнинг дасталари потенциометрнинг чиқиш йўллари уялари каби рим рақамлари билан номерланган ва ҳар бир дастанинг пастаида бошланғич шартнинг ишорасини берувчи тумблерлар $T17$ жойлашган.

8. Машинада масалани ечиш режимлари

Масалани ечиш машина учун $T4, T5$ тумблерларнинг РАБОТА вазиятида ишга туширилади.

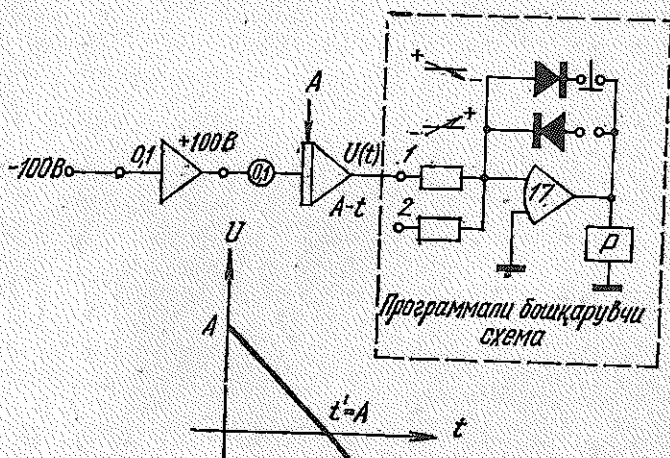
а) Масалан бир марта ечиш режимида $T11$ тумблер ОДНОКРАТН. вазиятида бўлиши керак. $T11$ тумблернинг бу вазиятини индикатор олд панелининг чап томонида жойлашган РЕЖИМ переключателининг вазияти билан мувофиқлаштириш лозим. Бунинг учун бу переключатель ҳам РЕЖИМ вазиятига ўтказилади. Машина $K6$ -ПУСК кнопкasi ёрдамида ишга туширилади. Бу кнопка босилганда $L9$ сигнал лампаси ёнади. Машина ўзгарувчисининг қийматини фиксация қилиш мақсадида ечиш процессининг бўлиниши $K7$ -ОСТАНОВ. кнопкasi ёрдамида бажарилади. $K7$ кнопка босилганда ечиш процесси бўлинади, $L9$ сигнал лампаси ўчади. $K6$ -ПУСК кнопкасини қайта босилганда ечиш процесси бўлинган жойидан давом эттирилади. $K8$ -ИСХОДНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ кнопкasi босилганда машинада бошланғич вазиятига қайтади, $L9$ сигнал лампаси ўчиб, $L10$ сигнал лампаси ёнади.

б) Машинанинг ечимни автоматик такрорлаш режимида ишлашни таъминлаш учун индикатордаги режимлар переключателини РЕЖИМ 2 вазиятига, асосий блок олд панелидаги $T11$ тумблерни эса ПОВТОР. вазиятига ўтказиш лозим.

в) Машина ўзгарувчисининг қийматини ўлчаш мақсадида ечиш процессининг бир секунддан кейин бўлинишини таъминлаш қуйдагича амалга оширилади. *К6-ПУСК* кнопки босилади. *Л9* сигнал лампаси ёниши билан *К7 ОСТАНОВ*—кнопкасини босиб, машина тўхтатилади. Машинани бошқариш схемаси шундай қурилганки машина 1 секунд ишлаб тўхтайдди. Машина ўзгарувчисининг $t = 1$ с га мос бўлган сон қиймати бирор вольтметр билан ўлчанади. Машина яна ишга туширилиши ва *Л9* сигнал лампаси ёниши билан *К7* кнопка ёрдамида машина тўхтатилади ва машина ўзгарувчисининг $t = 2$ с га мос бўлган сон қиймати ўлчанади ва ҳоказо.

9. Программали бошқарувчи схеманинг ишлаши

МН-7М аналог ҳисоблаш машинасида программали бошқарувчи схема ўн еттинчи амалий кучайтиргич асосида бажарилган. АҚ 17 ни ишга тушириш учун *ЭТАЛОННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ*—ПРОГРАММНЫЙ РЕЖИМ тумблери ПРОГРАММНЫЙ РЕЖИМ вазиятига ўтказилади. Шу тумблернинг ўнг томонидаги *ОСТАНОВ*—ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ тумблери эса *ОСТАНОВ* вазиятига ўтказилади. Бу эса программали бошқарувчи схеманинг *ВХ1* ёки *ВХ2* кириш йўлларида берилган ўзгарувчи ўз ишорасини ўзгартирган пайтда машина ишининг автоматик равишда бўлинишини таъминлайди. Асосий блок олд панелидаги *Т11* тумблери устидаги «+ —» тумблер ёрдамида АҚ 17 нинг тескари боғланишидаги диоднинг уланиш қутбини ўзгартириш мумкин (И—7-расм). Бу эса программали бошқарувчи схеманинг кириш йўлидаги ўзгарувчи ишораси ўзгаришининг икки ҳолини ажратишга имкон беради: ўзгарувчи ноль орқали қийматларнинг мусбат соҳасидан манфий соҳасига ва тескарисини мусбат соҳасидан манфий соҳасига ўтади. И—7-расмдаги схема сон қиймати интеграторнинг бошланғич шартига тенг бўлган t' вақт пайтида АХМ ишининг автоматик равишда бўлинишини таъминлайди.



И—7-расм.

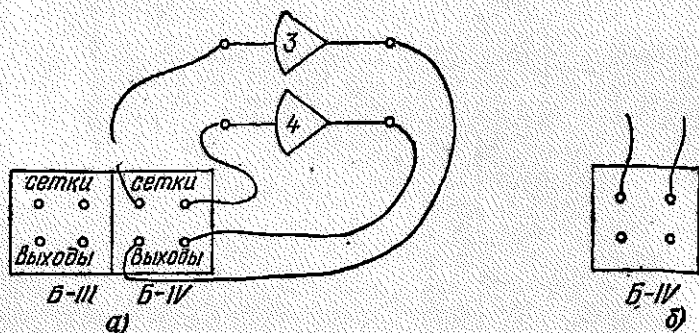
10. Бўлиш-кўпайтириш амалларининг бажарилиши

Бўлиш-кўпайтириш амаллари асосий блокнинг пастки томонида бошқарувчи панелининг тагида жойлашган БДУ-2 блокида бажарилади. Кўпайтириш амали $Z = 0,01 XY$ ифодаси ёрдамида бажарилади, бу ерда $X, Y, Z — \pm 100$ В диапазонда ўзгарувчи вақт функциялари. Бўлиш амали эса $Z = \frac{Y}{X}$ ифодаси ёрдамида бажарилади. Бу ерда X, Y, Z функциялари қуйидаги қийматларни қабул қилиши мумкин. $10 \text{ В} \leq X \leq 100 \text{ В}$; $y \leq 100 \text{ В}$; $Z \leq 100 \text{ В}$. Бўлиш-кўпайтириш блоки қуйидаги муносабат асосида қурилган

$$Z = 0,04 \left[\left(\frac{X+Y}{4} \right)^2 - \left(\frac{X-Y}{4} \right)^2 \right] = 0,01 XY.$$

Бу боғланишдаги квадратик ифодаларни амалга ошириш учун вольт-ампер характеристикалари оддий чизиқли резисторлар ёрдамида деформацияланувчи квадратик кўринишга яқин бўлган яримўткагичли резисторлар (варисторлар) ишлатилади. БДУ-2 блоки иккита кучайтиргичда қурилган бўлиб, бу кучайтиргичлар блокка штеккерлар ёрдамида уланади. Блокнинг олд панелида тўртта *МАСШТАБЫ* потенциометрлари, *ДЕЛЕНИЕ* ва *УМНОЖЕНИЕ* режимларини танловчи иккита переключатель, тўртта *КВАДРАТОРЫ* ва тўртта *ДЕФОРМАТОРЫ* потенциометрлари юқоридан пастга қараб жойлаштирилган. Ундан ташқари, блокнинг олд панелида чапда ва ўнгда учтадан «+», «X» ва «—» клеммалари бор. XY клеммани «+» ёки «—» клемма билан уланса, блокнинг чиқиш йўлида нормал ёки тескари ишорали кўпайтма олинади.

Кўпайтириш блокнинг ташкил қилиш учун И — 8-расм, а даги уланishларни бажариш керак. Бўлиш-кўпайтириш блокнинг 1 ва 2 кириш йўллари ва иккиланган чиқиш йўли уялари (И — 8-расм, б) йиғиш майдоннинг пасткида тўғри тўртбурчаклик рамкада жойлашган бўлиб, БIV ёзуви билан белгиланган. БIV нинг чиқиш йўли бўлиб тўртинчи амалий кучайтиргичнинг чиқиш йўли хизмат қилади. Кўпайтманинг ишораси блокнинг олд панелидаги уяларни маълум равишда коммутациялаш ёрдамида танланади. Бўлиш амалини бажаришда бўлиш-кўпай-



И—8-расм.

тириш блокининг 1 кириш йўлига бўлинувчи, 2 кириш йўлига бўлувчи берилади.

11. Чизиқли бўлмаган функцияларни тиклаш

Чизиқли бўлмаган функциялар БНК блокада тикланади. Бу блок схемаси иккита алоҳида қисмдан иборат:

а) кўпайтириш-бўлиш схемаси;

б) бир аргументли чизиқли бўлмаган функцияларни тиклаш схемаси.

Кўпайтириш-бўлиш схемаси юқоридаги БДУ-2 блокидек қурилган.

Кириш йўли кучланишини берилган функция қонуниятига бўйича ўзгартириш блокада чизиқли-бўлак аппроксимациялаш усули ёрдамида амалга оширилади, яъни тикланиши зарур бўлган $F(x)$ функцияни чизиқли бўлмаган блокада чекли сонли чизиқ бўлакларининг алгебраик йиғиндисини кўринишида ифодаланади

$$y = \left[F(0) + kx + \sum_{i=1}^{i=10} \alpha_i (x - x_{i0}) \right]$$

Демак, берилган функция кўриниши бўйича блокни созлаш чизиқ бўлакларининг абсцисса ўқида қиялик бурчагини (K ва α_i) ва чизиқ бўлакларининг абсцисса ўқи бўйича катталигини (x_{i0}) ўзгартириш ёрдамида бажарилади.

БНК блокнинг орқа томонида квадратларни танловчи переключателлар ($B2 \div B5, B7$), бешта потенциометрлар (1, 2 квадратлар, кўпайтма масштаби, 1, 2 деформаторлар), УМНОЖЕНИЕ, ДЕЛЕНИЕ режимларини танловчи иккита тумблер жойлашган. Блокнинг олд панелида 22 та потенциометр (ОГРАНИЧЕНИЕ по X , набор $F(x)$, $F(0)$ ва $K(x)$) жойлашган. Пастда эса ҳар бири 2 тадан 10 та клеммалар гуруҳи бор. Ҳар бир икки клеммани улаш мос кириш йўли кучайтириш коэффициентини тахминан 4 марта кўпайтиради. Ундан ташқари, блокнинг олд панелида 6 та клемма жойлашган. Улар ўртасида боғланишни амалга ошириш йўли билан блокнинг умумий кучайтириш коэффициентини ўзгартириш ҳамда кўпайтманинг нормал ёки тесқари нисорасини олиш мумкин.

12. Машина ўзгарувчиларини кўриш ва қайд қилиш

Масала ечиш процессида машина ўзгарувчиларини V_1, V_2 вольтметрлар ва И-6 индикатори ёрдамида кўриш ва қайд қилиш мумкин.

1. Вақт функцияси кўринишидаги машина ўзгарувчилари амалий блокларнинг маълум чиқиш йўллари коммутация майдонининг пастда жойлашган индикаторнинг вертикал 1 ва 2 кириш йўлларига коммутация қилиш ёрдамида кўрилади. Индикаторнинг олд панелидаги коммутатор тумблерини улаш билан иккита машина ўзгарувчисини бир вақтда кўриш имкониятига эришилади.

Вақт функцияси кўринишидаги машина ўзгарувчиларини кўриш масалани бир марта ва такрор ечиш режимларида амалга оширилади.

ди. Бу вақтда индикаторнинг развёртка вақти масала ечиш процессини тиклаш вақтидан катта бўлиши лозим. (Максимал развёртка вақти 250 с, масала ечиш процессининг вақти эса 150 с дан ошмаслиги тавсия қилинади.)

2. Аргументи вақт бўлмаган функция кўринишидаги машина ўзгарувчилари $U_1 = f_1(U_3)$, $U_2 = f_2(U_3)$ ни кўриш учун амалий блокларнинг маълум чиқиш йўллари индикаторнинг вертикал 1 ва 2 кириш йўлларига коммутация қилинади. Горизонтал кириш йўли Γ га машина ўзгарувчиси U_3 аргумент берилади. Кўриш фақат масалани бир марта ечиш режимида бажарилади.

3. Машина ўзгарувчиларини қайд қилиш вольтметрлар ёрдамида масала ечиш процессининг оддий ёки автоматик бўлиниш режимларида амалга оширилади. Электр кучланишни ўлчаганда вольтметр ёрдамида бевосита ўлчаш усулидан ёки ўлчашнинг компенсация усулидан фойдаланиш мумкин.

БАЪЗИ АНАЛОГ ҲИСОБЛАШ МАШИНАЛАРИНИНГ АСОСИЙ ТЕХНИКАВИЙ ХУСУСИЯТЛАРИ

МН-11 аналог ҳисоблаш машинаси

Ечиладиган тенгламанинг энг юқори даражаси	9
Функционал блокларнинг сони, дон:	
амалий кучайтиргичлар	47
кўпайтириш ва бўлиш блоклари	6
чизиқли бўлмаган универсал блоклар	—
чизиқли бўлмаган махсус блоклар	—
Ўзгарувчи катталикларнинг ўзгариш диапазони, В	± 100
Интеграллаш муддати, с	1000
	гача
Энг катта хатолик, %	1,0
Актив элементлар	электрон лампалар
Керакли қувват, кВт	5
Банд қиладиган майдони, м ²	4

МН-14 аналог ҳисоблаш машинаси

Ечиладиган тенгламанинг энг юқори даражаси	30
Функционал блокларнинг сони, дон:	
амалий кучайтиргичлар	80
кўпайтириш ва бўлиш блоклари	62
чизиқли бўлмаган универсал блоклар	20
чизиқли бўлмаган махсус блоклар	4
Ўзгарувчи катталикларнинг ўзгариш диапазони, В	± 100
Интеграллаш муддати, с	$1 \div 10^*$
Энг катта хатолик, %	0,3
Актив элементлар	электрон лампалар
Керакли қувват, кВт	15
Банд қиладиган майдони, м ²	6

МН-17М аналог ҳисоблаш машинаси

Ечиладиган тенгламанинг энг юқори даражаси	50
Функционал блокларнинг сони, дон:	
амалий кучайтиргичлар	80
кўпайтириш ва бўлиш блоклари	12

чизиқли бўлмаган универсал блоклар	16
чизиқли бўлмаган махсус блоклар	6
Ўзгарувчи катталикларнинг	
ўзгариш диапазони, В	± 100
Интеграллаш муддати, с	$0,1 \div 10^3$
Энг катта хатолик, %	1,0
Керакли қувват, кВт	12
Актив элементлар	электрон лам- палар
Банд қиладиган майдони, м ²	7

МНБ-1 аналог ҳисоблаш машинаси

Ечиладиган тенгламанинг энг юқори даражаси	12
Функционал блокларнинг сони, дона:	
амалий кучайтиргичлар	48
қўпайтириш ва бўлиш блоклари	4
чизиқли бўлмаган универсал блоклар	4
чизиқли бўлмаган махсус блоклар	4
Ўзгарувчи катталикларнинг	
ўзгариш диапазони, В	± 100
Интеграллаш муддати, с	400 гача
Энг катта хатолик, %	1,0
Актив элементлар	ярим ўтказ- гичли асбоб- лар
Керакли қувват, кВт	3,6
Банд қиладиган майдони, м ²	2

МН-7 аналог ҳисоблаш машинаси

Ечиладиган тенгламанинг энг юқори даражаси	6
Ўзгармас ток кучайтиргичлар сони, дона	18 (2 та ёр- дамчи)
Қўпайтириш блоклар, сони дона	4
Чизиқли бўлмаган блоклар сони, дона	4
Кириш йўли ва тескари боғланиш элементларининг уму- мий сони, дона	64
Ўзгарувчи катталикларнинг ўзгариш диапазони, В	± 100
Ўзгарувчи ток тармоғи катталиги	220 В, 50 Гц
Керакли қувват, кВт	кўпи билан 0,85
Банд қиладиган майдони, м ²	0,5
Габаритлари, мм:	

электрон моделнинг габарити	725x x455x x430
индикатор И-6 нинг габарити	217x x586x x392
Таъминот блоки ЭСВ-1 нинг габарити	x305x x485x x238
Массаси, кг	150

МН-10 аналог ҳисоблаш машинаси

Амаллар сони, дона:	
инвертирлаш ёки жамлаш амаллари сони	24 та- гача
интеграллаш билан бир вақтда жамлаш амаллари сони	10 та- гача
Шартли ўтиш амаллари сони	4 тагача
Тикланувчи типавий чизиқли бўлмаган боғланишлар сони, дона	6 та- гача
Кучланиш бўлувчида берилган ўзгармас коэффициентлар сони, дона	60 та
Ўзгармас коэффициентларнинг белгиланган қийматлари	0,1; 0,2; 0,4; 0,5; 1; 2; 4; 5; 10
Ўзгармас коэффициентларни ўрнатувчи кучланиш бўлув- чисининг шкаласи	0,01—10

Интеграллаш доимийсининг белгиланган қийматлари, с	0,1; 0,2; 0,5; 1
Интеграллаш доимийсининг хоҳлаганча ўрнатиладиган қийматлари, с	0,1—100
Интеграллаш процессининг муддати, с	200 гача
Чиқиш йўли кучланишининг ўзгариш диапазони, В	—25 дан +25 гача
Керакли қувват, Вт	250 дан катта эмас
Габаритлари, мм	460x x615x x445
Массаси, кг	250

МН-18 М аналог ҳисоблаш машинаси

Амалий кучайтиргичлар сони, дона	52
Ечиладиган тенгламанинг энг юқори даражаси	10
Ўзгарувчи катталикларнинг ўзгариш диапазони, В	± 50

Интеграллашнинг энг катта муддати, с	1000			
8 соат мобайнида кучайтиргичнинг ноль дрейфи, мкВ	± 300			
100 с мобайнида интеграллашнинг энг катта хатолиги, %	$\pm 0,3$			
	дан			
	катта			
	эмас			
Жамлаш ва интеграллашнинг энг катта хатолиги, %	$\pm 0,1$			
Асосий чизикли бўлмаган амалларнинг энг катта хатоли-				
ги, %	0,1—			
	—0,5			
Керакли қувват, кВт	0,7 дан			
	катта			
	эмас			
Ўзгарувчи ток тармоғи катталиги	220 В,			
	50 Гц			
Габаритлари, мм	1090х			
	х530х			
	х1710			
Массаси, кг	400			
АВК-2 аналог ҳисоблаш комплекси	АВК-2(1)	АВК-2(2)	АВК-2(3)	
Амалий кучайтиргичларнинг сони	68	68	76	
Ечиладиган тенгламанинг энг юқори				
даражаси	20	20	20	
Ўзгарувчи катталикларнинг ўзгариш				
диапазони, В		± 100		
Кучланишнинг берилишдаги ва ўл-				
чанишдаги энг катта хатолик, %	$\pm 0,15$	дан катта эмас		
Интеграллашнинг энг катта мудда-				
ти, с	10000			
Интеграллашнинг энг катта хатоли-				
ги, %	$\pm 0,1$	дан катта эмас		
Ўзгармас токни инвертирлашдаги энг				
катта хатолик, %	$\pm 0,01$	дан катта эмас		
Кўпайтириш ва даражага кўтариш				
амалларини бажаришдаги энг катта ха-				
толик, %	$\pm 0,1$	дан катта эмас		
Илдиз остидан чиқариш амалини ба-				
жаришдаги энг катта хатолик, %	$\pm 0,2$	дан катта эмас		
Тригонометрик функцияларни тик-				
лашдаги энг катта хатолик, %	$\pm (0,15—0,25)$	дан катта		
	эмас			
Ўзгармас коэффициентларнинг бери-				
лишидаги энг катта хатолик, %	$\pm 0,02$	дан катта эмас		
Тест кучланишларнинг берилишида-				
ги энг катта хатолик, %	$\pm 0,015$	дан катта эмас		
Кучайтиргичнинг ноль дрейфи, мкВ	25			
Бир фазали ўзгарувчи ток тармоғи				
катталиклари:				
кучланиши, В	220			

частотаси, Гц	400		
Уч фазали ток тармоғи катталари:			
кучланиши, В	380	220	
частотаси, Гц	50		
Керакли кувват, кВт	4,5	4,1	4,2
Массаси кг	862	742	842
Эксплуатация шарт-шароитлари:			
атроф ҳавосининг температураси, °С		5—35	
30°С температурадаги ҳавонинг нисбий намлиги %		80 гача	
атмосфера босими, сув. уст. мм		780 гача	
Тўхтамасдан ишлаш вақтининг ўртача қиймати, соат		150 дан кам эмас	
Тайёрлик коэффициенти		0,998 дан кам эмас	
Эксплуатацияга берилиш кунидан бошлаб хизмат муддатининг гарантия вақти, ой		12	

Ф О Й Д А Л А Н И Л Г А Н А Д А Б И Ё Т

1. Анисимов Б. В., Голубкин В. Н., Аналоговые вычислительные машины, М., Высшая школа, 1971.
2. Бекмуратов Т. Ф., Мусаев М. М., Насыров М. Ш., Шамсиев Т. Г. — Гибридные средства моделирования и управления, — Ташкент, «Фан» 1977.
3. Витенберг И. М. — Программирование аналоговых вычислительных машин. — М., Машиностроение, 1972.
4. Жук К. Д., Ганиев С. К. — Вычислительные устройства в многосвязных системах, — Ташкент, «Фан», 1971.
5. Кобринский Н. Е. — Математические машины непрерывного действия — М., Гостехиздат, 1954.
6. Қоған Б. Я. — Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования. — М., Физматгиз, 1963.
7. Корн Г., Корн Г. — Электронные аналоговые и аналогоцифровые вычислительные машины. — М., Мир, 1967, 1968 — т. I, II.
8. Левин Л. — Методы решения технических задач с использованием аналоговых вычислительных машин — М., «Мир» 1966.
9. Пухов Г. Е. — Методы анализа и синтеза квазианалоговых электронных цепей — Киев, «Наукова думка», 1967.
10. Справочник по аналоговой вычислительной технике, Под редакцией акад. АН СССР Г. Е. Пухова, — Киев, «Техника», 1975.
11. Тетельбаум И. М. — Электрическое моделирование — М., Физматгиз, 1959.
12. Томович Р., Карплюс У. — Быстродействующие аналоговые вычислительные машины — М., «Мир», 1964.
13. Урмаев А. С. — Основы моделирования на аналоговых вычислительных машинах М., «Наука», 1978.
14. Этерман И. И. — Математические машины непрерывного действия, Машгиз, 1957.

М У Н Д А Р И Ж А

Сўз боши	3
Кириш	5
I б о б. Аналог ҳисоблаш асослари	
I—1- §. Аналог ҳисоблаш машиналари ва моделлаш	7
I—2- §. Аналог ҳисоблаш машинасида масалаларни электрон моделлаш принциплари	9
II б о б. АХМ структураси ва таркиби	
II—1- §. Аналог ҳисоблаш машиналари асосий қисмларининг таркиби ва вазифалари	15
II—2- §. Амалий кучайтиргич	16
II—3- §. Жамлаш блоки	19
II—4- §. Интеграллаш блоки	23
II—5- §. Дифференциаллаш блоки	27
II—6- §. Чизиқли бўлмаган функциялар блоклари (функционал ўзгарткичлар)	28
II—7- §. Қўнайтириш ва бўлиш блоклари	34
II—8- §. Аналог ҳисоблаш машиналарининг аниқлиги	37
III б о б. АХМ да масалаларни ечиш усуллари	
III—1- §. Масалани аналог ҳисоблаш машиналарида ечиш учун тайёрлаш	44
III—2- §. Оддий дифференциал тенгламаларни программалаш	50
III—3- §. Алгебраик тенгламалар системасини моделлаш	56
III—4- §. Интеграл тенгламаларни моделлаш	61
IV б о б. Гибрид ҳисоблаш машиналари	
IV—1- §. Гибрид ҳисоблаш машина турлари	64
IV—2- §. Аналог-рақамли ҳисоблаш комплекслари (мувозанатлаштирилган гибрид ҳисоблаш системалари)	65
IV—3- §. ГХС процессорлари ўртасида масалани тақсимлаш	72
IV—4- §. «РХМ-сетка» гибрид ҳисоблаш системалари	76
IV—5- §. Рақамли интеграллаш машиналари	80
IV—6- §. Хона аналог ҳисоблаш системалари	86
V б о б. Аналог ва гибрид ҳисоблаш воситалари ёрдамида баъзи бир илмий-техникавий масалаларнинг ечилиши	
V—1- §. Қўп боғламли синхрон-автоном бошқарувчи системани синтезлаш	90
V—2- §. Қўп боғламли чизиқли бўлмаган объектларни бошқарувчи системаларни синтезлаш	101
V—3- §. Гибрид ҳисоблаш системасида идентификациялаш ва бошқариш масалаларининг ечилиши	107
1- илова. МН=7М аналог ҳисоблаш машинасида ишлаш тартиби	112
2- илова. Баъзи аналог ҳисоблаш машиналарининг асосий техникавий хусусиятлари	123
Фойдаланилган адабиёт	128