

Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі
А. Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университеті
Электр энергетикасы және физика кафедрасы

Х.З. Темірханова

АВТОМАТТЫ БАСҚАРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

Оқу құралы

Қостанай, 2015

УДК 681.5.011
ББК 32.965я73
Т33

Рецензенттер:

Баймухамедов М.Ф.- техникалық ғылымдарының докторы, профессор
КӘТУ ғылыми және халықаралық байланыс жөніндегі проректоры
Есимханов С.Б. - техникалық ғылымдарының кандидаты,
инженерлік - техникалық факультетінің деканы
Курманов А.К.- техникалық ғылымдарының докторы, транспорт және
техникалық сервис кафедрасының профессоры

Авторы:

Темірханова Хадиша Запиевна, электр энергетикасы және физика
кафедрасының аға оқытушысы

Темірханова Х.З

Т 33 Автоматты басқарудың теориялық негіздері. Оқу құралы. – Қостанай :
А. Байтұрсынов атындағы ҚМУ, 2015.- 116 бет.

ISBN 978-601-7385-96-5

Оқу құралында автоматты басқарудың теориялық негіздерінің, соның ішінде басқару жүйелерінің классификациясы, автоматты басқарудың есептері, басқару заңдары, автоматты басқару жүйелері АБЖ-дің басқару принциптері нақты инженерлік есепті шығаруда алынған теориялық білімді қолдану және есептеу дағдысын меңгеру жолдары қарастырылған.

Оқулық инженерлік - техникалық мамандықтары бойынша білім алатын жоғары, арнайы оқу орындарының білім алушыларына арналған.

УДК 681.5.011
ББК 32.965я73

А. Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университетінің оқу-
әдістемелік кеңесімен баспаға ұсынылды 26.02.2015 ж. хаттама № 1

ISBN 978-601-7385-96-5

© Темирханова Х.З., 2015

Мазмұны

Кіріспе.....	5
1 Автоматиканың пайда болуының алғы шарттары және қазіргі уақытта өндірістік процестердің автоматтандырылу дәрежесі.....	7
1.1 Автоматиканының пайда болу тарихы	7
1.2 Автоматты басқарудың математикалық аппарат теориясы	8
2 Автоматты басқарудың теориялық негіздерінің негізгі түсініктері мен анықтамалары.....	12
2.1 Автоматты басқару теориясының негізгі есептері.....	12
2.1.1 Жұмыс операциялары және басқару операциялары. Басқару объектілері және олардың қасиеттері.....	12
2.1.2 Басқару жүйелерінің классификациясы.....	15
2.1.3 Автоматтық басқарудың есептері (жұмыс атқару алгоритмдері)....	16
2.1.4 Басқару заңдары. АБЖ-дің басқару принциптері.....	17
2.2 Функционалдық элементтердің топтастырылуы.....	20
2.2.1 Функционалдық сұлба түсінігі.....	20
2.2.2 Функционалдық сұлбада функционалдық элементтердің белгіленуі.....	21
2.2.3 Тұйықталмаған және тапсыру әсеріне қатысты тұйықталған АБЖ-нің беріліс функциясын анықтау.....	22
3 Автоматы басқару жүйелерінің (АБЖ) математикалық моделі.....	24
3.1 АБЖ-нің статистикалық және динамикалық қозғалыс режимдері... 24	
3.1.1 АБЖ-нің статистикалық және динамикалық қозғалыс режимдері... 24	
3.1.2 Элементтер мен жүйелердің статикалық режимдегі математикалық өрнектелуі.....	25
3.1.3 Элементтер мен жүйелердің динамикалық режимдегі математикалық өрнектелуі.....	26
3.1.4 Типтік динамикалық буын ұғымы. Типтік динамикалық буындарды топтастыру.....	36
3.1.5 Құрылымдық сұлба. Құрылымдық сұлбаларды түрлендіру (ықшамдау) ережелері.....	48
3.1.6 АБЖ элементтінің статикалық және динамикалық сипаттамаларын анықтау мысал.....	53
4 Автоматты басқару жүйесін зерттеу әдістері.....	58
4.1 Сызықты автоматты басқару жүйесін зерттеу әдістері.....	58
4.1.1 САУ топтастырылуы.....	58
4.1.2 АБЖ-нің әдеттегі дифференциалды теңдеуінің сипаттамасы.....	59
4.2 Сызықтық емес АБЖ зерттеу әдістері.....	62
4.2.1 Сызықсыз АБЖ ұғымы. Сызықсыздықтың классификациясы.....	62
5 Автоматты жүйелердің тұрақтылығы.....	67
5.1 АБЖ тұрақтылығы туралы түсінік. АБЖ есептерін талдау.....	67
5.1.1 Тұрақтылық ұғымының әдістері.....	67

5.1.2	Раусс-Гурвиц бойынша тұрақтылықтың алгебралық белгісі.....	68
5.1.3	Михайлов белгісі.....	69
5.1.4	Тұрақтылықтың амплитуда-фазалық Найквист белгісі.....	72
5.1.5	Тұрақтылық аймағының анықтамасы.....	74
6	Автоматтық басқару жүйесінің сапасы.....	80
6.1	АБЖ-ны басқару сапасы.....	80
6.2	АБЖ-ның басқару сапасының статикалық тәртіптегі, орнатылған динамикалық тәртіптегі, өтпелі тәртіптегі көрсеткіштері және интегралдық сапа көрсеткіші.....	83
6.3	АБЖ-ның синтез сапасы.....	85
7	Сызықтық АБЖ-дағы кездейсоқ әрекеттер.....	89
7.1	Кездейсоқ әрекеттер.....	89
7.2	Стационарлы кездейсоқ функцияны түрлендіру.....	90
8	Үйлесімді басқарудың тапсырмалары.....	93
8.1	Үйлесімді жүйенің ерекшеліктері мен жалпы сипаттамасы.....	93
8.2	Үйлесімді автоматты басқарудың қойылым тапсырмалары.....	94
9	Басқарма жүйесі дамуының қазіргі үрдістері.....	96
9.1	Автоматты басқарманың қазіргі теориясының негізгі мәселелері....	96
9.2	Қазіргі АБЖ.....	97
10	Буындар мен жүйелердің жиіліктік сипаттамаларын тұрғызу.....	105
10.1	Жиіліктік беріліс функциясын анықтап, жиіліктік беріліс функциясының нақты және жорамал құраушыларын белгілеу.....	105
10.2	Жиіліктік беріліс функциясының нақты және жорамал құраушыларын есептеп, есептеулер нәтижелерін кестеге келтіру....	105
10.3	АФС, АЖС, ФЖС графиктерін тұрғызу әдістері.....	106
10.4	ЛАЖС және ЛФЖС графиктерін тұрғызу әдістері.....	107
10.5	Жеке тапсырмалар.....	108
	Қолданылған әдебиеттер тізімі.....	116

Кіріспе

Қазіргі уақытта адамның барлық материалдық және рухани қажеттігі - үй - жайы, киім - кешегі, тамағы, көлігі, байланыс және жол - қатынас, кино, телидидар т.б. құрал - жабдықтары электр энергиясын пайдалану және қолдану арқылы өндіріледі, іске асырылады. Электр энергиясы адамзат қолданатынындағы басқа энергия түрлерімен салыстырғанда әмбебап энергия болып отыр. Өйткені, электр энергиясын басқа энергияларды түрлендіру арқылы оңай алуға, аса көп шығынсыз алыс қашықтықтарға жеткізуге және тұтынушылар арасында оңай таратуға болады. Электр энергиясын пайдалану электрлік және магниттік құбылыстардың нәтижесінде жүзеге асатын жана технологиялық үдерістерді туғызады. Мысалы, электролиз, материалдарды токпен өңдеу, электромагниттік әдістермен қазбаларды байыту т.б.

Электрлік қондырғыларды *басқару деп оларды* электр энергиясы көзіне қосуды, одан ажыратуды және электр энергиясын немесе механикалық шамаларды реттеу арқылы қондырғылардың жұмыс әрпілердің өзгертуді айтады. Жұмыс кезінде әр түрлі себептерден қондырғының түзік жұмысына қауып төндіретіндей, кернеудің өте азайып немесе тоқтың өте көбейіп, айналу жылдамдығының өсіп етуі сияқты жағдайлардың болуы мүмкін. Сондықтан оларды апаттық немесе қондырғының бүтіндігіне қауіп төндіретін шамалардан қорғаудың қажеттігі келіп туады.

Қазіргі кезде электрлік қондырғыларды басқару және қорғау үшін қолданылатын аппараттардан неғұрлым көп тарағандары әр түрлі контакторлар (түйістіргіштер), жылулық релелер, автоматты ажыратқыштар, электромагниттық релелер, (уақыт, минимал кернеу, максимал ток релелері және басқалары), магниттік жүргізіп жібергіштер т.с.с. болып табылады. Аталған аппараттардың барлығында да тізбек кернеу көзіне түйіспелер арқылы қосылып, одан түйіспелер арқылы ажыратылады. Сондықтан мұндай аппараттар *түйіспелік аппараттар деп аталады*. Түйіспелік аппараттардың басты кемшілігі түйіспелердің арасында олар түйіскен немесе ажыраған кезде электрлік ұшқынның пайда болатындығы. Ұшқын тудыратын жоғары температураның әсерінен түйіспелер эрозияға ұшырайды, үстерінде бедір-бұдыр пайда болады. Кедір-бұдыр түйіспелік ауданды азайтады және түйіспелік кедіргені өсіреді. Бұл түйіспенің бүлінуіне әкеліп соғады.

Түйіспелік аппараттармен қатар, электрлік қондырғыларды басқару және қорғау үшін түйіспесіз аппараттар да қолданылады. Бірақ олар түйіспелік аппараттарға қарағанда құрылыс жағынан күрделі және қымбат болғандықтан, кеңінен қолданым таппай отыр.

Өндірістік және технологиялық процестерді автоматтандыру электрондық, иондық аспаптарды кеңінен қолдану арқылы жүргізіледі. Олар осы процестерді реттеуге бақылау және басқаруға арналған.

Электронды есептегіш машиналарының қарқынды дамуы автоматтық басқару жүйелерін жетілдіруге және халық шаруашылығына аса қажетті ғылыми, экономикалық т.б. есептерді шешуге мүмкіндік береді. Ақпаратты алуға, өңдеуге, жеткізіп беруге және кескіндеуге арналған электр техникасы

құрылғылары автоматтың басқару жүйелері техникалық құралдарының маңызды элементтері болып табылады.

Тұтынатын энергия көлемі бойынша бірінші орын өндіріске жатады. Электрэнергия көмегімен миллиондаған механизмдер мен станоктар қозғалысқа келтіріледі, ғимараттар жарықтандырылады, өндірістік процестерді автоматты басқару жүзеге асырылады.

1 Автоматиканың пайда болуының алғы шарттары және қазіргі уақытта өндірістік процестерінің автоматтандырылу дәрежесі

1.1 Автоматиканың пайда болу тарихы

Мақсаты: Автоматиканың пайда болуының алғы шарттарын және өндірістік процестердің қазіргі уақытта автоматтандыру дәрежесін анықтау

Жоспар:

1.1.1 Автоматты басқарудың теориялық негіздерінің құрылуы

1.1.2 Автоматты басқарудың математикалық аппараты теориясы

1.1.1 Автоматты басқарудың теориялық негіздерінің құрылуы

Автоматтық басқару аумағындағы бірінші теориялық жұмыстар ХІХ ғасырдың аяғында пайда болды, ол кезде өндірісте бу машиналары кең қолданыс тапқан. Осы реттеуіштерді жобалау және баптау барысында инженер – тәжірибешілер қиындықтарға тап болды. Осы кезеңде бірқатар зерттеулер жүргізіліп, алғаш бу машинасы мен оның реттеуіші біртұтас динамикалық жүйе ретінде математикалық әдістермен талданды. 20 – шы ғасырдың орта кезіне дейін бу машиналардың және қазандардың реттеуіштер теориясы қолданбалы механиканың бөлімі ретінде дамыды. Сонымен қатар электротехникада автоматтық құрылғыларды есептеу және талдау әдістері өндіріп шығарды. Автоматты басқарудың теориялық (АБТ) жеке ғылыми және оқу пәні ретінде 1940 жылдан 1950 жылға дейінгі кезеңде құрылды. Осы кезеңде алғашқы монографиялар мен оқулықтар басылып шығарылды, бұл басылымдарда физикалық табиғаты алуан түрлі автоматтық құрылғылар тұтас әдістермен қарастырылды. Қазіргі кезде АБТ - сы басқару теориясының негіздері (операцияларды зерттеу, систематехника, ойындар теориясы, көпшілікке қызмет көрсету теориясы) деп аталатын пәннің жаңа бөлімдерімен қатар өндірісті басқаруды жетілдіру және автоматтандыруда маңызды рөл атқарады.

АБТ басқару жүйелер элементтерінің жұмыс атқару теориясымен бірігіп, ғылымның аса кең саласын – *автоматиканы* құрады. Автоматика, өз кезегімен, *техникалық кибернетиканың* бөлімдерінің бірі боп табылады. Техникалық кибернетика басқаратын электрондық есептеуіш машиналарын пайдаланып құрылған күрделі технологиялық процестерді (ТПБАЖ) және кәсіпорындарды басқарудың автоматтандырылған жүйелерін (КБАЖ) зерттейді.

Автоматтандыру ғылыми техникалық прогресстің басты бағыттарының бірі және өндірістің тиімділігін арттырудың маңызды құралы боп табылады. Қазіргі заманғы өнеркәсіптік өндіріс: масштабтардың өсуімен, технологиялық үрдістердің күрделенуімен, бөлек агрегаттар мен қондырғылардың қуатының артуымен, критикалық мәндерге жуық интенсивті және жоғарыжылдамды режимдерді қолданумен, сонымен қатар өнім сапасына талаптардың артуымен қондырғылар мен айналадағы ортаны қорғаумен сипатталады. Күрделі техникалық объектілердің үнемді, сенімді және қауіпсіз жұмыс атқаруы тек қана жоғары деңгейде жетілдірілген техникалық құралдар көмегімен жүзеге

асырылады. АБТ – сын білмей оларды өңдеу, өндіру, монтаждау, баптау және пайдалану мүмкін емес.

Өндірісті автоматтандыруда қазіргі заманғы тенденциялар:

- басқаруда ЭЕМ-ды кең қолдану;
- ішіне өлшеу, бақылау және реттеудің микропроцессорлық құралдарын орналастырған машиналар мен қондырғыларды өндіріп шығару;
- микро ЭЕМ -лары бар орталықтандырылған басқару құрылымдарына көшу;
адам – машиналық жүйелерді еңгізу;
- жоғары сапалы техникалық құралдарды қолдану;
- автоматты басқару жүйелерін жобалау.

1.1.2 Автоматты басқарудың математикалық аппарат теориясы

Автоматты басқару жүйесін (АБЖ) зерттеу және математикалық сараптама жасау, оны алдын ала ойлап типтік элементтерге бөліп, олардың арасындағы физикалық өзара байланысын шығарып және осы байланыстарды белгілі бір сұлбалы шартты формада көрсетсе елеулі түрде жеңілдейді.

АБЖ әртүрлі сипаты бойынша бірнеше бөлікке бөлінуі мүмкін: бөліктерге тағайындау, ақпаратты түрлендіру алгоритміне, конструктивті оқшаулыққа. АБЖ құрылымдық сұлбасы және құрылымы келесі типтерге бөлінеді:

- *функциональды;*
- *алгоритімді;*
- *конструктивті.*

Бұдан түсінетініміз:

құрылым дегеніміз- белгілі бір нәрсенің құрамына қарай байланысқан бөлшектері;

құрылымдық сұлба – құрылымның графикалық бейнесі.

Автоматтық басқару теориясында көбінесе *функциональды және алгоритімді* құрылымдармен (сұлбалармен) жұмыс жасайды. Сол себепті оларды толығырақ қарастырайық.

Функционалды және алгоритімді сұлбалар шартты бейнелі элементтер мен буындардан (көбінесе тіктөртбұрыш түрінде) және әр түрлі байланыстар мен сырттан берілген әсерді білдіретін бағыттаушы сызықтардан тұрады. Әр сызық әдетте белгілі бір дабылды немесе әсерді білдіреді. Әр сызықтың жанында оның физикалық ауқымы және берілген әсердің сипаттамасы көрсетіледі.

Әдетте, алғашында АЖБ-ның функционалды сұлбасы құрастырылады, сонан соң алгоритімділығын.

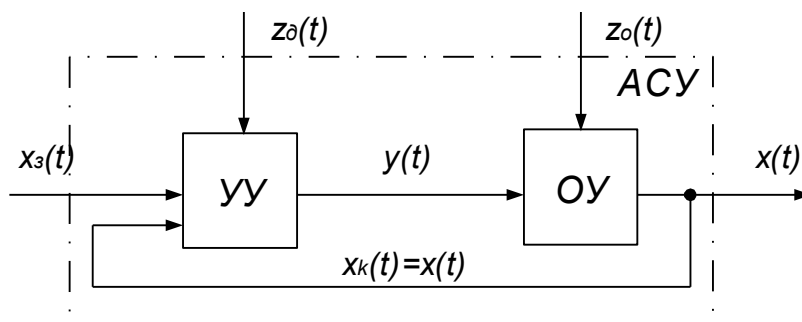
Құрылымдық сұлба жоғарғы және төменгі дәрежелі дәріптеуден құрылады. АЖБ-ның басты немесе үлкейтілген бөлшектері ғана көрсетілген сұлба *жиынтық* деп аталады (1 сурет).

Функционалды құрылым (сұлба) – АЖБ-ның жеке бөлшектерінің функциясын қайтарушы құрылымы (сұлбасы).

Олар мынадай функциялар болуы мүмкін:

- *басқарушы нысанның жағдайы жайында ақпарат;*

- дабылды түрлендіру;
- дабылды салыстыру және т.с.с.



1 сурет. АБЖ-ның жиынтық құрылымдық сұлбасы

Функционалдық құрылым АБЖ-ның функционалдық сұлба сапасының бөлшектерінде көрсетіледі. Құрылымның атауы оның белгілі бір функцияны орындауына байланысты беріледі. Мысалы:

- құрылғы;
- күшейткіш;
- салыстыру блогы;
- басқару блогы;
- орындаушы құрылғы және т.с.с.

2 суретте АБЖ-ның функционалдық сұлбасына мысал келтірілген. Онда келесі функционалдық құрылғылар көрсетілген:

Қ – құрылғы – дабыл қабылдауға арналған, белгілі бір әсерге;

СЭ – салыстыру элементі – дабыл қабылдау үшін жұмыс жасайды, басқару ауқымынан пропорционалдық ауытқу $x(t)$ -дан берілген әсер $x_3(t)$ -ға дейін;

НҚ – нақтылаушы құрылғы – басқарудың сапасын арттыруға арналған;

КТБ – күшейтпелі-түрлендіруші блок – дабылды күшейтуде және оған белгілі бір пішін беруде қолданылады;

РО – реттеуші орган – реттелуші ортаға белгілі бір әсер тигізуде қолданылады (*РО* мысалдары: вентиль, тиек, тиристор және т.с.с.);

ОҚ – орындаушы құрылғы - реттеуші органды іске келтіру кезінде қолданылады (*ОҚ* мысалдары: электрқозғалтқыш, электромагнит және т.с.с.).

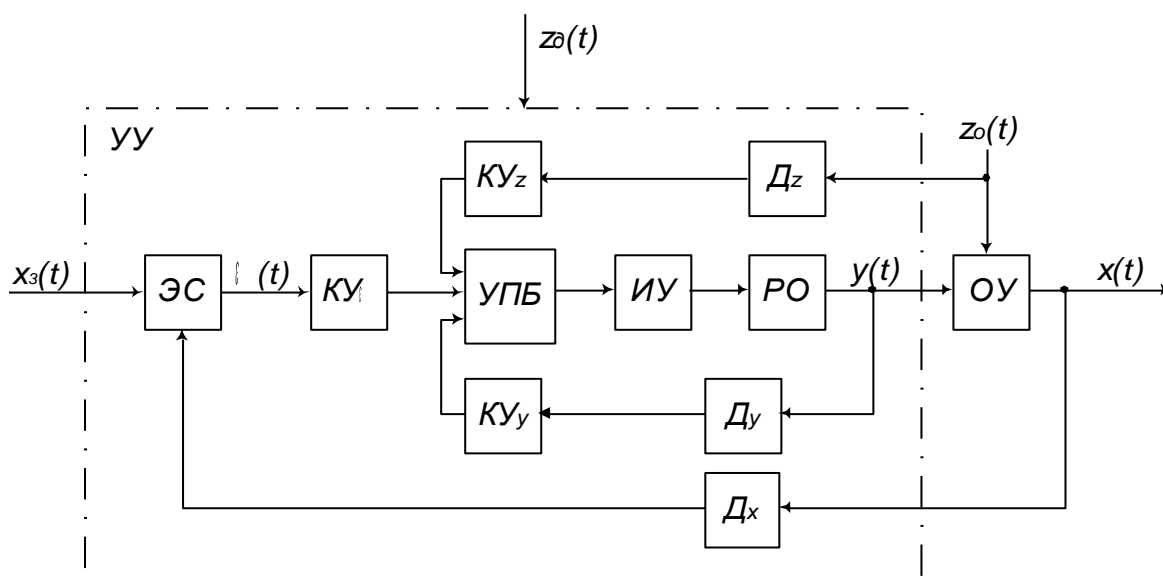
Алгоритмдік құрылым (сұлба) – АБЖ-ның алгоритмдік сипаттағы ақпараттын түрлендіріп және өзімен бірге өзара байланысқан алгоритмдік буындардың құрылымын (сұлбасы) к+ өрсетеді.

Мұндағы алгоритмдік буын – АБЖ-ның алгоритмдік құрылымының бөлшегі, анықталған математикалық немесе логикалық алгоритмнің дабылын түрлендіруші.

Егер алгоритмдік буын бір ғана қарапайым математикалық немесе логикалық операцияны орындаса, онда оны қарапайым алгоритмдік буын деп

атайды. Сұлбаларда алгоритмдік буындарды тіктөртбұрыштармен белгілейді, олардың ішіне өзіне сай дабыл түрлендіруші операторлар жазылады. Кейде операторлардың орнына формальды түрде ауқымды кіріс, шығыстары немесе графикалық өтімділік функциясы жүргізіледі. Алгоритмдік буындарды келесі түрлерге бөледі:

- статикалық;
- динамикалық;
- арифметикалық;
- логикалық.



2 сурет . АБЖ-ның функционалдық сұлбасы

Статикалық буын – буын, кірген дыбысты сол мезетте түрлендіріп шығару(инерциясыз). Кіріс және шығыс дыбыстарының статикалық буын арасындағы байланыс әдетте алгебралық функциямен жазылады. Статикалық буындарға әр түрлі инерциясыз түрлендіргіштер жатады , мысалы резистивтік бөлгіш кернеуі . За суретінде алгоритмдік сұлбасында статикалық буынның шартты бейнесі корсетілген.

Динамикалық буын – кіріс дыбысының шығыс дыбысына интегралдық және дифференциалдық операцияларының уақыт тәуелділігімен түрленеді .

Динамикалық буынның кіріс және шығыс дыбыстарының арасындағы байланыс қарапайым дифференциалдық теңдеуімен жазылады .

Динамикалық буындар классына АБЖ-ның элементтері жатады , қандайда бір энергия немесе зат түрлерін жинай алатын қасиеті бар , мысылы , электрикалық конденсатор негізіндегі интегратор.

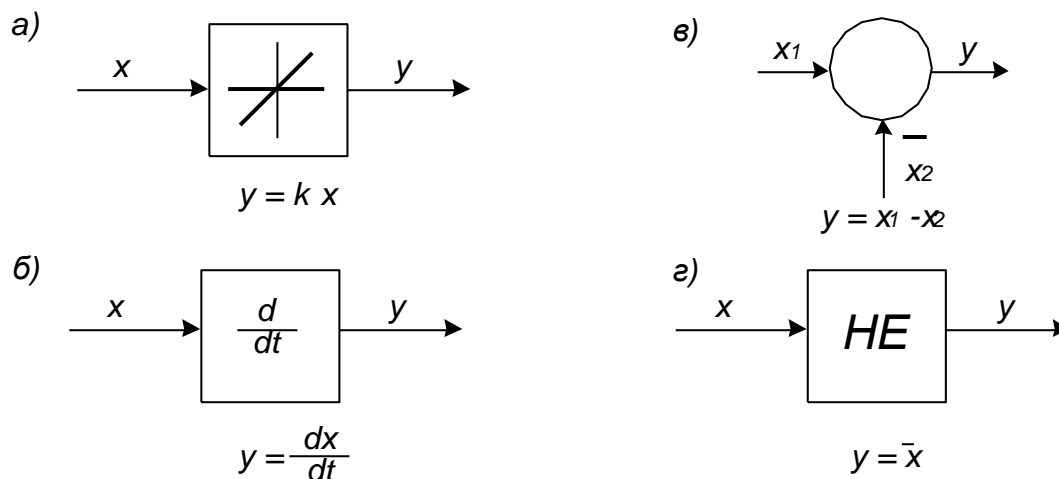
Арифметикалық буын – арифметикалық операциялардың бірден бірін орындаушы буын : жинақтауыш , шегергіш , көбейткіш , бөлгіш.

Арифметикалық буын автоматта өте жиі кездеседі – алгебралық жинақтауыш дыбыстырының қызметін атқаратын буынды , жинақтағыш деп атайды.

Логикалық буын – қандайда бір логикалық қызмет жасайтын буын: логикалық көбейткіш («ЖӘНЕ»), логикалық жинақтау («НЕМЕСЕ»), логикалық қайтарым («ЕМЕС») және т.с.с.

Логикалық буынның кіріс және шығыс дыбыстары әдетте дискретті және олар логикалық айнымалы түрінде қарастырылады.

3 суретте қарапайым алгоритмдік буындардың шартты бейнелері көрсетілген.



Шартты бейнелері:

а– статикалық;

б – динамикалық;

в – арифметикалық;

г – логикалық.

3 сурет. Қарапайым алгоритмдік буындардың шартты бейнесі

Конструктивтік құрылым (сұлба) - АБЖ–ның нақты сұлбалы, конструктивті және басқада қайтарымды құрылымдарының (сұлба) орындалуы.

Конструктивтік сұлбаларға жататындары: кинематикалық құрылғының сұлбасы , электрикалық байланыстың принципіалды және монтаждық сұлбасы және т. б. АТБ АБЖ–ның математикалық модельдерімен жұмыс жүргізетіндіктен, функционалдық және алгоритмділікке қарағанда конструктивтік сұлбалар оларды аз дәрежеде қызықтырады.

Бақылау сұрақтары:

1. Неліктен автоматизациялау ғылыми - техникалық үдеріс саласында маңызды рөл атқарады ?
2. АБЖ қандай белгілермен классификацияланады?
3. Буындардың қандай түрлері болады?
4. АБЖ – ның қандай құрылымдары бар (сұлбалары)?

2 Автоматты басқарудың теориялық негіздерінің негізгі түсініктері мен анықтамалары

2.1 Автоматты басқару теориясының негізгі есептері

Мақсаты: Басқару объекті ұғымының маңызын, оның қоршаған ортамен байланысын, басқару объектісіне әсер ететін шамаларды анықтау, басқарудың автоматтандырылған жүйесін автоматтық басқару жүйесінен ажырата білу; жұмыс атқару алгоритмі ұғымын және автоматтық басқарудың есептерін түсіну; басқару заңы түсінігін және АБЖ-дің әрекет ету принциптерін ұғу.

Жоспары:

2.1.1 Жұмыс операциялары және басқару операциялары. Басқару объектілері және олардың қасиеттері

2.1.2 Басқару жүйелерінің классификациясы

2.1.3 Автоматтық басқарудың есептері. (жұмыс атқару алгоритмдері)

2.1.4 Басқару заңдары. АБЖ-дің басқару принциптері

2.1.1 Жұмыс операциялары және басқару операциялары. Басқару объектілері және олардың қасиеттері

Кез келген технологиялық процесті орындау үшін және талап етілген қасиеттері мен сапасы бар дайын өнім алу үшін 2 түрлі операция орындау қажет: *жұмыс операциялары* және *басқару операциялары*. Кез келген технологиялық процестің мақсаты – берілген қасиеттері бар дайын өнімді алу.

Жұмыс операциялары – технологиялық процесті табиғат заңдарына сәйкес орындау үшін қажетті әрекеттер. Жұмыс операциялардағы адам еңбегін машиналар мен механизмдер еңбегімен ауыстыру *механизация* деп аталады.

Басқару операциялар – жұмыстың басталу, аяқталу операциялары, режимнен режимге ауысу операциялары, қажетті шикізат және энергетикалық қорларды бөліп беру және т.б. Басқару операцияларындағы адам еңбегін машиналар мен механизмдер еңбегімен ауыстыру *автоматизация* деп аталады. Басқару операцияларын орындайтын машиналар немесе механизмдер *автоматтар* деп аталады.

Басқару объектісі (БО) – технологиялық процесті орындайтын техникалық құралдар, еңбек құралдары және т.б. жиынтығы. Қоршаған орта бірқатар технологиялық процестердің жүруіне әсерін тигізеді, бұл жағдайда осы әсерлерді басқару қоршаған орта басқару объектісінің құрамына кірмейді. Барлық басқару объектілері бірқатар қасиеттерге ие болады.

Жүктеме – тапсырылған технологиялық процесті жүргізу үшін объектіде жұмсалатын энергия немесе зат қоры. Ол орнатылған күрделі объектінің өнімділігін немесе өткізу қасиетін сипаттайды. Жүктеме неғұрлым баяу өзгерсе, және оның өзгеру диапазоны неғұрлым аз болса, объектіні басқару соғұрлым оңай болады.

Сыйымдылық – объектінің жинап сақтаған заты немесе энергия қоры. Объектінің сыйымдылығы оның мөлшеріне байланысты.

Сыйымдылық коэффициенті – реттелетін шаманы бір өлшем бірлігіне өзгерту үшін, объектіге берілетін немесе одан алынатын энергия немесе заттың мөлшері. Ол келесі түрде анықталады:

$$K_c = \frac{c}{x} \quad \text{немесе} \quad K_c = \frac{\Delta c}{\Delta x}, \quad (1)$$

мұндағы c (Δc) – объектінің сыйымдылығы (сыйымдылығының өсімшесі);
 x (Δx) – реттелетін шаманың мәні (өсімшесі).
 K_c – ге кері шаманы объектінің ұйытқыға *сезгіштігі* деп атайды.

K_c неғұрлым үлкен болса, объектінің сыйымдылығы соғұрлым үлкен болады және реттелетін шама соғұрлым баяу өзгереді, яғни объектінің ұйытқы әсерлерге сезгіштігі соғұрлым төмен болады.

Сыйымдылықсыз объект – сыйымдылығы өте аз объект.

Бір сыйымдылықты объект – деп беру және тұтыну арасындағы тепе – теңдік бұзылғанда реттелетін шаманың сыйымдылығы барлық нүктелерде бір уақытта және бірдей өзгередетін объектіні атаймыз.

Көп сыйымдылықты объект – құрамында термиялық, екі немесе бірнеше сыйымдылығы бар объект.

Өздігінен түзетілу – объектіні сыртқы ұйытқылар кезінде жаңа орнатылған режимге өздігінен кіру қабілеті. Өздігінен түзелуі бар объектіде энергияның берілуі және жұмсалуды арасындағы сәйкессіздік 0-ге ұмтылады, ал реттелетін шама – жаңа орнатылған мәнге. Өздігінен түзілу қабілетіне ие болмайтын объектіні *астатикалық* деп атайды. Өздігінен түзетулерсіз объектілерді реттеу қиынға соғады, ал кейбір жағдайларда мүмкін емес. Объектінің өздігінен түзетілуге қабілеті *өздігінен түзетілу дәрежесімен* сипатталады:

$$\rho = \frac{dg}{dx_0}, \quad (2)$$

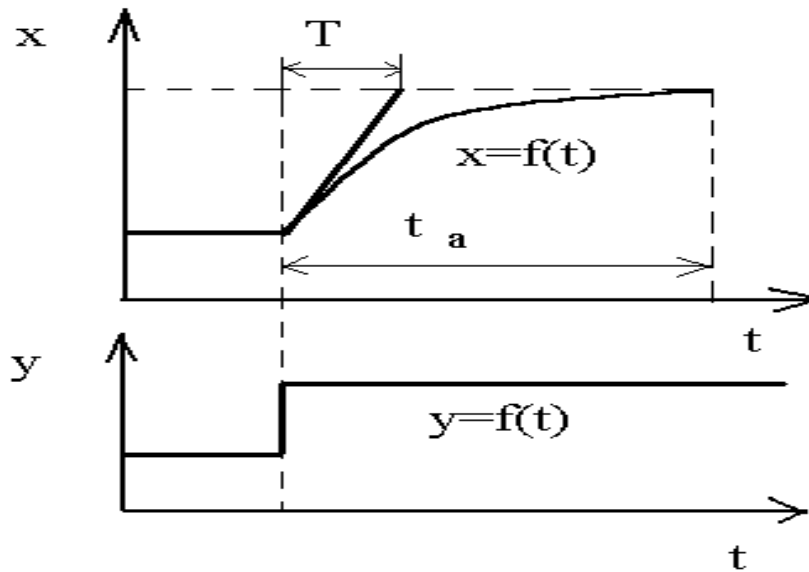
мұндағы g – заттың (энергияның) берілуі арасындағы қатынас айырымы.

Инерттілік – кедергілердің болуы нәтижесінде энергияны жинауға және жұмсауға қабілеті нашар. Инертті объектіде реттелетін шама бір мезетте өзгермейді. Реттелетін шаманың артта қалуы *кешігу* деп аталады.

τ_n *Толық кешігу уақыты* τ_m *транспорттық және* τ_u *инерттік кешігу уақыттардың қосындысынан тұрады.*

Транспорттық кешігу – реттеу әсерінің жүргізілуіне қарамастан, реттелетін шаманың өзгермеген уақыты.

Сыйымдылықтық (инертті) кешігу объектінің сыйымдылықтарының термиялық, гидравликалық және басқа кедергілермен анықталады және реттелу сапасына кері әсерін тигізеді. Көп сыйымдылықты объектілер транспорттық және сыйымдылықты кешігулерге ие болады, ал бір сыйымдылықты – тек қана транспорттық кешігуге.



4 сурет. Үскеру қисығы

Үскеру уақыты – реттеуші әсердің жүз пайыздық лездік өзгеруі кезінде және оның әрекеті тұрақты болған кезде реттелетін шама нөлден берілген мәнге дейін өзгертін уақыт. 4 суретте $x = f(t)$ объектінің үскеру қисығы келтірілген, мұндағы x – реттеуші әсер,

t_a - өтпелі процестің ұзақтығымен анықталатын үскеру уақыты.

Объектінің сыйымдылығы өскен сайын, үскеру уақыты артады.

Объектінің уақыт тұрақтылығы T - бұл өздігінен түзелу болмағандағы объектінің үскеру уақыты. Үскеру уақыты

$$t = \eta T, \quad (3)$$

мұндағы η - қарастырылған режимдегі жүктеменің максималды жүктемеге қатынасына тең болатын жүктеме коэффициенті.

T уақыт тұрақтылығы келесі қатынас бойынша γ сезгіштікпен және өздігінен түзетілу дәрежесімен байланысады:

$$T = \frac{1}{\gamma\rho} \quad (4)$$

Басқаруға мүмкіндігі болу үшін басқару объектісінде бір немесе бірнеше басқару органдары (реттеуші органдар) бар. Олардың көмегімен басқару объектісіне зат немесе энергияның берілуін алдын ала орнатылған жұмыс регламентіне сәйкес өзгертуге болады. Басқару объектісінің күйі көптеген көрсеткіштермен немесе параметрлермен сипатталады. Негізгі көрсеткіш – ол басқарылатын шама, осы шама үшін басқару мақсаты анықталады. Физикалық табиғатына тәуелсіз, бұл шама $y(t)$ деп белгіленеді. Автоматтық басқарудың

негізгі мақсаты шығу шамасы *тапсыратын әсердің* (кірмелік шаманың) арасындағы теңдікті қамтамасыз ету болып табылады. Кірмелік шама $x(t)$ деп белгіленеді. Жұмыс процесінде басқару объектісіне алуан түрлі сыртқы және ішкі факторлар әсер етеді – *ұйтқу әсерлері (ұйтқулар)*, оларды $f(t)$ деп белгілейміз. Осы ұйтқулар реттелетін шаманы өзгеруіне және шықпалық шаманы берілген мәнінен ауытқуына әкеп соғады. Осы ұйтқуды келесі түрде белгілейміз:

$$\varepsilon = x_0 - y, \quad (5)$$

мұндағы x_0 – шығу шамасының берілген мәні;
 y – шығу шамасының әрекеттік мәні.

Ескеретін жағдай, ұйтқу әсерінің шамасына байланысты, ε нөлден кіші болуы да, нөлден үлкен болуы да мүмкін. *Басқарушы әсерлер* (оларды $u(t)$ деп белгілейміз) шықпалық шаманы берілген мәнге қайтаруға ұмтылады, олардың шамасы мен таңбасы шықпалық шаманың ауытқуының шамасы мен таңбасына байланысты болады.

2.1.2 Басқару жүйелерінің классификациясы

Басқару объектісі мен басқару операцияларын орындайтын автоматтық құрылғылардың жиынтығы *басқару жүйесі* деп аталады. Басқару жүйесін құру үшін ең алдымен технологиялық процесті механизациялау қажет. Басқару жүйелерін: *басқарудың автоматтандырылған жүйелері (БАЖ) және автоматтық басқару жүйелері (АБЖ) деп бөлуге болады.*

Басқарудың автоматтандырылған жүйелері деп-басқару операцияларының бір бөлігін автоматтық құрылғылар, ал басқа бөлігін (әдетте аса жауапты басқару операциялары) адам орындайтын жүйелерді айтамыз.

Автоматтық басқару жүйелері басқару операцияларының барлығын автоматтық құрылғылар орындайтын басқару жүйелерін айтамыз.

Бірөлшемді (бір ғана «кіріс-шығыс»басқару арнасы бар жүйелер) деп ішінде бір кірмелік және бір шығу шамалары белгіленетін басқару жүйелерін атайды. Көпөлшемді деп бірнеше кірмелік және шығу шамалары бар басқару жүйелерін атайды.

АБЖ сондай-ақ, жүйелердің арналуын және құралымын, қолданатын энергия түрін, қолданатын басқару және жұмыс атқару алгоритмдерін және т.б. сипаттайтын басқа да принциптер және көрсеткіштер бойынша топтастырылады, мысалы:

- тапсырушы әсердің уақыт ішінде өзгеру сипатына байланысты: туралаушы, бағдарламалық, қадағалаушы;

- әсер ету тізбегінің конфигурациясына байланысты: әсерлерінің тұйықталмаған тізбегімен (тұйықталмаған жүйе), әсерлерінің тұйықталған тізбегімен (тұйықталған жүйе), әсерлерінің аралас тізбегімен (аралас жүйе);

- басқару әсерін өндіріп шығару әдісіне байланысты: ізденіссіз, ізденісті;

- жүйеде әрекет ететін сигналдар түріне байланысты: үздіксіз, дискретті;

- орнатылған режимде басқарылатын шаманың ұйтқу әсерінің шамасынан тәуелділігінің дәрежесіне байланысты: статикалық, астатикалық;
- АБЖ-нің элементтерін өрнектейтін дифференциалдық теңдеулердің түрі бойынша: сызықты, сызықсыз;
- басқару әсерін өндіріп шығаратын энергия көзінің түріне байланысты: тура әрекетті, тура әрекетсіз.

2.1.3 Автоматтық басқарудың есептері (жұмыс атқару алгоритмдері)

Технологиялық өндірісте алуан түрлі функцияларды орындау үшін арналған көп санды машиналар, механизмдер және қондырғылар қолданылады. Осы шамаларды басқару белгілі мақсаттарға жету үшін бағытталған. Объектінің қалыпты жұмыс атқаруына сәйкес болатын шықпалық шаманың өзгеру тізбегін анықтайтын ережелер, шарттар немесе математикалық тәуелділіктер жиынтығы *жұмыс атқару алгоритмі (ЖА)* деп аталады. Жұмыс атқару алгоритмі шындық басқару мақсатын кескіндейді, ұсынады және объектінің жұмыс атқаруы процесінде шықпалық шамасының өзгеруінің техникалық, экономикалық және басқа талаптарының негізінде анықталады.

Негізгі болып келесі жұмыс атқару алгоритмдер есептелінеді:

1) *тұрақтандыру алгоритмі* – бұл объектінің басқарылатын шаманың мәнін өзгеріссіз сақтап тұратын жұмыс атқару алгоритмі: $y(t) \approx const. \approx$ белгісі басқарылатын шама берілген деңгейде кейбір қатемен сақталатының көрсетеді. Тұрақтандыру жүйелері өндірістік автоматикада кең таралған. Оларды технологиялық объектілердің күйін анықтайтын әр түрлі физикалық шамаларды тұрақтандыру үшін қолданады.

2) *бағдарламалық басқару* – объектінің басқарылатын шамасы алдын ала тапсырылмаған бағдарлама бойынша өзгертін жұмыс атқару алгоритмі. Осы жұмыс атқару алгоритмін жүзеге асыратын жүйелер *бағдарламалық* деп аталады. Бағдарлама уақыт ішінде (уақыттық бағдарламалық басқару) және кеңістікте (кеңістіктік бағдарламалық басқару) тапсырылуы мүмкін. Бағдарламалық басқару жүйелерінің басты мақсаты – бағдарламаны қажетті нақтылықпен қайта өндіру.

3) *қадағалау жүйелері* – шығу шамасы кіру шамасының өзгеруін қайталайтын және бұл жерде соңғысының өзгеру заңы алдын ала белгісіз болатын жұмыс атқару алгоритмі. Қадағалау жүйелерінің негізгі мақсаты – ұйтқылардың бар болғандағы кіру шамасын нақты қайта өндіру боп табылады.

4) *экстремум ізденісінің алгоритмі* – объект күйінің және ұйтқының өзгерулері бойынша шықпалық шамасының айнымалысын іздеп табу және қалпында ұстауды ұйғарады.

5) *тиімді басқару алгоритмі* – объектінің кіру, шығу шамалары және оның айнымалы күйлері шектеулі болғанда, өтпелі режимде басқару объектісі жұмысының ең жақсы шарттарына жетуді ұйғарады.

6) *адаптация алгоритмі* – объектінің шығу шамасының өзгеруі кезінде объект жұмысының берілген сапасы сақталады, және бұл жерде жүйе өзінің параметрлерін және құрылымын өзгертуі мүмкін.

7) *басқару алгоритмі* – қалай басқару объектісінің жұмыс атқару алгоритіміне, солай динамикалық қасиеттеріне байланысты болады. Бұл байланыс алуан түрлі математикалық тәуелділіктермен ұсынылуы мүмкін:

$$u(t) = A [y(t), f(t)]^T, \quad (6)$$

мұндағы A – тәуелділік түрін анықтайтын оператор.

2.1.4 Басқару заңдары. АБЖ-дің басқару принциптері

Басқару объектісінің басқару әсері мен шығу шамасы арасындағы байланысты орнататын математикалық тәуелділік *басқару заңы* деп аталады. Басқару заңдары: *позициялық (релелік) және үздіксіз* деп бөлінеді.

Позициялық (релелік) заң – басқарылатын шама берілген шеткі мәнге жеткенде ғана басқару әсері пайда болатын басқару заңы. Және бұл жерде шығу шамасының қай шеткі мәнге жеткеніне байланысты басқару әсері белгілі бекітілген мәнді (позицияны) қабылдайды. Позициялық заңдарда реттелетін параметрдің белгілі мәндерінде реттеуші әсер екі немесе үш бекітілген мәндерді қабылдайды және сәйкесінше *екіпозициялық және үшпозициялық* деп аталады. *Екіпозициялық* заңдарда объектінің сыйымдылығы неғұрлым көп болса, реттелу соғұрлым жақсы жүргізіледі. Екіпозициялық реттелу объектісінің кемшілігіне реттелудің жоғары нақтылығы және үлкен қуаты, яғни артық қуат талап етілгенде реттеуді жылдам жүргізу мүмкін болмауы жатады. *Үшпозициялық* заңдарда реттеуші органның аралық күйі бар. Бұл күйде объекттің жүктемесі қалпында болғанда және реттелетін шаманың тапсырылған мәнінде объекттің тұтынуына сәйкес болатын мөлшерде объектіге энергия немесе заттың берілуі жүзеге асырылады. Үшпозициялық заң екіпозициялық заңға қарағанда аса сапалы реттеуді жүзеге асырады.

Үздіксіз басқару заңдарында реттелетін шама берілген мәннен ауытқыған кезде реттеу сигналы орындаушы мүшеге үздіксіз беріледі. Үздіксіз әсерлі реттеуіштерде басқару әсері шығу шамасының тапсырылған әсерден ауытқуынан, оның интегралынан және уақыт ішінде бірінші туындысына сызықты тәуелді болады. Келесі үздіксіз басқару заңдарын ажыратады:

1) *пропорционалдық заң (П-заң)* – басқару әсерінің шамасы шықпалық шамасының берілген мәннен ауытқуына пропорционалды:

$$u = k_p \varepsilon \quad (7)$$

мұндағы k_p – беріліс коэффициенті;

$\varepsilon = x_0 - y$ – шығу шамасының берілген мәннен ауытқуы

2) *интегралдық заң (И-заң)* - басқару әсерінің шамасы шығу шамасының берілген мәнінен ауытқуының интегралына пропорционалды:

$$u = \frac{k_p}{T_u} \int_0^t \varepsilon dt \quad (8)$$

мұндағы T_u – интегралдық тұрақтысы және уақыттық өлшемге ие болады.

3) *дифференциалдық заң (Д-заң)* - басқару әсерінің шамасы шығу шамасының берілген мәнінен ауытқуының уақыт ішінде бірінші туындысына пропорционалды:

$$u = k_p T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (9)$$

мұндағы T_d – дифференциалдық тұрақтылық және уақыттық өлшемге ие болады.

4) *дифференциалды – интегралдық заң (ПИ заңы)* – басқару әсерінің шамасы шығу шамасының берілген мәнінен ауытқуына және шықпалық шамасының берілген мәннен ауытқуының интегралына пропорционалды болады:

$$u = k_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon dt \right) \quad (10)$$

5) *пропорционалды – дифференциалдық заң (ПД заңы)*- басқару әсерінің шамасы шығу шамасының берілген мәнінен ауытқуына және шықпалық шамасының берілген мәннен ауытқуының уақыт ішінде бірінші туындысына пропорционалды болады:

$$u = k_p \left(\varepsilon + T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \right) \quad (11)$$

6) *пропорционалды – интегралды – дифференциалдық заң (ПИД-заңы)* - басқару әсерінің шамасы шықпалық шамасының берілген мәннен ауытқуына, шықпалық шамасының берілген мәннен ауытқуының интегралына және шықпалық шамасының берілген мәннен ауытқуының уақыт ішінде бірінші туындысына пропорционалды болады:

$$u = k_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \right) \quad (12)$$

Басқару заңы басқару объектісінің қасиеттеріне байланысты таңдап алынады.

Автоматтық басқару жүйелерін құру негізінде басқарудың ортақ негізгі принциптері жатыр. Қазіргі кезде басқарудың үш негізгі принциптері қолданылады: *тұйықталғанның басқару принциптері, ұйтқуды компенсациялау принципі және ауытқу бойынша басқару принципі.*

Тұйықталмаған басқару принциптерінің – басқару заңдарды таңдау жолымен жұмыс атқару алгоритімі негізінде құралады. Бұл заңдар басқару объектісінің қасиеттерін ескере отырып, басқару құрылғысының әрекетін анықтайды. Бұл жерде басқарылатын шаманың шындық мәні және ұйтқудың әрекеті ескерілмейді. Жұмыс атқару алгоритмі жеке құрылғылармен тапсырылуы мүмкін.

Ұйтқуды өтеу принципінің (ұйтқы принципі бойынша басқару принципі, Понселе-Чиколев принципі) маңызы басқару құрылғысы басқару объектісіне әсер ететін ұйтқуды төтейтін етіп басқару әсерін құрайды. Бұл принцип ұйтқудың әсерін өтеуге мүмкіндік береді және де ұйтқудың әр түріне жеке компенсациялау құрылғысын қолдану қажет.

Ауытқу бойынша принципінің (кері байланыс принципі, тұйықталған контур бойынша басқару принципі) маңызы басқарылатын шама оның берілген мәнінен ауытқыған жағдайда ғана басқару әсері құралады. Басқару объектінің тапсырылған жұмыс атқару алгоритмі мен шықпалық шымасының шындық мәнін салыстырғаннан кейін ғана басқару алгоритмі басқару блогымен құралады. Ол үшін басқару объектісінің шықпалық шамасынан басқару блогына сұлбаға қосымша байланыс енгізеді, бұл қосымша байланыс *кері байланыс* деп аталады. Осы басқару принципінің артықшылығы кері байланыстың бар болуымен түсіндіріледі.

Кері байланыс – сигналдың кемшілігі оның бөлігінің элементінің кірісіне немесе алдыңғы элементтердің кез – келгеніне қайтарып берілуі. Бұл басқару принципінде сигнал басқару объектісінің шығысынан басқару блогының кірісіне кері беріледі, яғни басқару контурын тұйықтайды. Өзінің әрекеті бойынша кері байланыс бірнеше түрге бөлінеді. Егер кері байланыс тізбегі бойынша әсер тапсырыс әсерінен қосылатын болса, онда ол *оң* кері байланыс деп аталады. Егер кері байланыс тізбегі бойынша әсер тапсырыс әсерінен алынатын болса, онда ол *теріс* кері байланыс деп аталады. Ауытқу бойынша басқару принципі бойынша жұмыс істейтін жүйелер өзімен теріс кері байланысы бар жүйелерді ұсынады. Реттеуішпен басқару объектісіне қатысты құралған кері байланыс *басты* деп аталады. Реттеуіштің өзінде болған кері байланыс *жергілікті* деп аталады. Орнатылған және өтпелі режимдерде әрекет ететін кері байланыс *қатты* деп, ал тек қана өтпелі режимде әрекет ететін кері байланыс *иілгіш* деп аталады.

Бақылау сұрақтары:

1. Қандай операциялар жұмыс операциялары, ал қандай басқару операциялары деп аталады?
2. Механизация және автоматтандыру деп нені атайды?
3. Басқару объектісі деп нені айтады? Оның қасиеттері қандай?

4. Қандай басқару жүйесі автоматтандырылған деп, ал қандай басқару жүйесі автоматтық деп аталады?
5. Қандай жағдайда басқару жүйесі бір өлшемді деп, ал қай жағдайда көп өлшемді деп аталады?
6. Жұмыс атқару алгоритмі дегеніміз не?
7. Қандай жұмыс атқару алгоритмдері білесіз және олардың мәні неде?
8. Басқару заңы дегеніміз не?
9. Қандай басқару заңдарын білесіз және олардың мәні неде?
10. Қандай басқару принциптерін білесіз және олардың мәні неде?

2.2 Функционалдық элементтердің топтастырылуы

Мақсаты: функционалдық элементтермен орындалатын функциялары және функционалдық сұлба түсінігін ұғып білу

Жоспары:

2.2.1 Функционалдық сұлба түсінігі және функционалдық элементтердің топтастырылуы

2.2.2 Функционалдық сұлбада функционалдық элементтердің белгіленуі

2.2.3 Тұйықталмаған және тапсыру әсеріне қатысты тұйықталған АБЖ-нің беріліс функциясын анықтау.

2.2.1 Функционалдық сұлба түсінігі және функционалдық элементтердің топтастырылуы

Басқару жүйелерінің барлығы белгілі функцияларды орындайтын жеке элементтерден (құрылғылардан) тұрады және *функционалдық элементтер (құрылғылар)* деп аталады. Орындайтын функциясы бойынша барлық функционалдық элементтерді келесі топтарға бөлуге болады:

- *Тапсырушы элементтер (ТЭ)* – тапсырма орнату үшін қызмет атқарады, x_0 эталонды шаманы өндіріп шығарады, ол шамамен басқырылатын шаманың шындық мәні y салыстырылады, басқару объектісінің жұмыс атқару алгоритмін тапсырады.

- *Қабылдайтын, өлшеуші, сезгіш элементтер (ҚЭ, ӨЭ, СЭ)* – белгілі физикалық табиғаты бар, сигнал түріндегі басқарылатын шаманың шындық мәні туралы ақпаратты қабылдау үшін қызмет атқарады.

- *Салыстыру элементтері (СЭ)* – $x_0(t)$ тапсырманы және $y(t)$ басқарылатын шаманың шындық мәнін салыстыру үшін арналған, осы элементтің шығысында салыстыру, нәтижесі $\varepsilon = x_0 - y$ шығады. Ол үшін салыстырылатын шамалардың екеуінің де физикалық табиғаты бірдей болу қажет.

- *Басқарушы элементтер (БЭ)* – басқару алгоритіміне сәйкес $u(t)$ басқару сигналын құрайды.

- *Орындаушы элементтер (ОЭ)* – $u^1(t)$ басқару сигналын басқару объектісіне оның реттеуші органы арқылы әсер ететін басқару әсеріне түрлендіреді. Егер басқару объектісінің реттеуші органы механикалық орын

ауыстыруды қажет етсе, онда мұндай орындаушы элемент *орындаушы механизм (ОМ) немесе сервожетек* деп аталады.

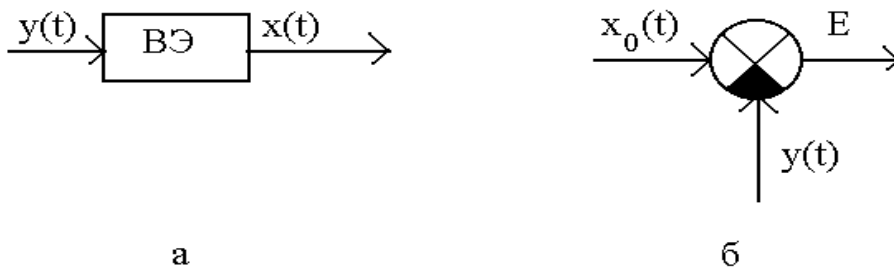
- *Түзеткіш элементтер (КЭ)* – реттеу процесінің динамикалық қасиеттерін жақсартады және АБЖ-нің құрамына қажет тұрған кезде енгізіледі. Бұл элементтер жүйенің кез келген жеріне енгізілуі мүмкін.

Әр функционалдық элемент элементарлы функцияны орындайды. Бұл функцияның мәні – белгілі физикалық табиғаты бар сигналдар түріндегі ақпаратты қабылдау, түрлендіру және тасымалдау. Басқару жүйелерінің жұмысын талдау ыңғайлы болу үшін функционалдық элементтерді бір бағытталған әрекетті құрылғылармен ұсынады, яғни сигналды бір бағытта: кірістен шығысқа қарай тасымалдайтын құрылғылар. Автоматиканың көпшілік шындық элементтері осы қасиетке ие.

2.2.2 Функционалдық сұлбада функционалдық элементтердің белгіленуі

Функционалдық элементтермен және олардың арасындағы байланыстармен ұсынылған басқару жүйесінің сұлбасы *функционалдық сұлба* деп аталады.

Барлық функционалдық элементтердің (салыстыру элементінен басқа) бір кірісі және бір шығысы бар және функционалдық сұлбаларда тік төртбұрышпен белгіленеді.



5 сурет. Функционалдық сұлбалардың шартты белгіленуі:
а – функционалдық элемент; б – салыстыру элементі.

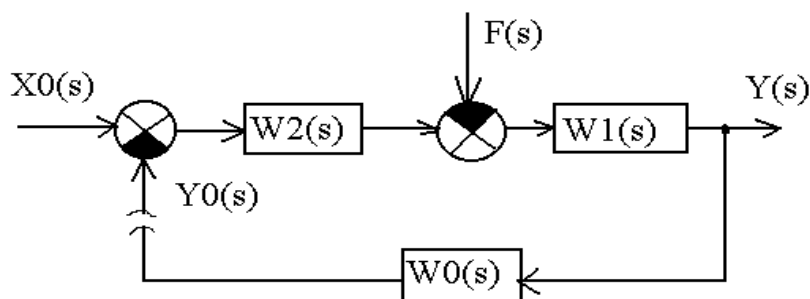
Бұл тік төртбұрыштың ішіне қысқартылған түрде сол элементтің атқаратын функциясы белгіленеді (5а суреті). Салыстыру элементінің екі кірісі және бір шығысы болады және ол функционалдық сұлбаларда дөңгелек боп белгіленеді (5б суреті). Функционалдық сұлбаны құру үшін функционалдық элементтерді, олардың кірмелік және шығу шамаларын белгілеу керек, және сигналдың бір элементтен келісіге тасымалдану бағытын көрсетіп, сол шамаларды шартты белгілермен ұсыну керек. Әр сызық әдетте бір сигналға немесе бір әсерге сәйкес келеді.

Функционалдық сұлбада функционалдық элементтердің аталуымен қатар, автоматтық басқару жүйесінде сәйкес функцияларды орындайтын нақты құрылғыларды және әр элементтің кірісі мен шығысындағы нақты физикалық шамаларды белгілеп көрсетеді. Функционалдық сұлба тек қана автоматтық басқарудың негізін құрайтын элементтерді және олардың арасындағы

байланыстарды белгілейтін автоматтық басқару жүйелерді формализациялаудың бірінші қадамы болып табылады.

2.2.3 Тұйықталмаған және тапсыру әсеріне қатысты тұйықталған АБЖ-нің беріліс функциясын анықтау

АБЖ-нің беріліс функцияларын оның құрылымдық сұлбасы бойынша құрастырады. Құрылымдық сұлбаны ықшамдау және оны зерттеу үшін ыңғайлы түрге келтіру мақсатында құрылымдық сұлбалардағы буындардың байланыс түрлерін ескеріп, сондай-ақ түрлендіру ережелерін қолданып,



6 сурет. Құрылымдық сұлба

сұлбаны түрлендіреді. Құрылымдық сұлбаны 6 суретте көрсетілген түрге келтіреді, мұндағы $W1(s)$ – басқару объектісінің беріліс функциясы; $W0(s)$ – қабылдаушы элементтің беріліс функциясы және $W2(s)$ – басқару объектісіне басқару әсерін құрайтын элементтердің беріліс функциясы. Сызықты жүйелерде суперпозиция принципі, яғни объектіге әсердің тәуелсіздігі орын алады және де әр әсердің әрекеті қосылады. Есептеулер үшін, әдетте, тұйықталмаған жүйенің беріліс функциясы мен тапсырыс әсеріне және ұйтқу әсеріне қатысты тұйықталған жүйенің беріліс функциялары қолданылады.

Тұйықталмаған жүйенің беріліс функциясы.

Бұл жағдайда жүйенің беріліс функциясын анықтағанда реттеу контуры, суретте толқынды сызықтармен көрсетілгендей, ажыратылған деп ұйғарамыз. Тұйықталмаған жүйенің беріліс функциясы келесі түрде ұсынылады:

$$W(s) = \frac{Y0(s)}{X0(s)} = W1(s)W2(s)W0(s). \quad (13)$$

Берілген беріліс функция жүйенің өзіндік динамикалық қасиеттерін сипаттайды, тұйықталмаған және тұйықталған АБЖ-нің сипаттамалық көпмүшесін алу үшін қолданады.

Тапсыру әсеріне қатысты тұйықталған жүйенің беріліс функциясы. Жүйеге тек тапсырыс әсері ғана әрекет етеді, ал басқа әсерлер болмайды,

яғни $f(t)=0$ деп ұйғарылады. Тапсыру әсеріне қатысты тұйықталған жүйенің беріліс функциясы келесі түрде болады:

$$W_x(s) = \frac{Y(s)}{X_0(s)} = \frac{W_1(s)W_2(s)}{1+W_1(s)W_2(s)W_0(s)} = \frac{W_1(s)W_2(s)}{1+W(s)} \quad (14)$$

$W_x(s)$ беріліс функциясы жүйенің тапсыру әсерін тасымалдауын және оны реттелетін шамамен қайта өндіруін сипаттайды.

Ұйтқу әсеріне қатысты тұйықталған жүйенің беріліс функциясы. Жүйеге тек ұйтқу әсері ғана әрекет етеді, ал басқа әсерлер болмайды, яғни $x_0(t)=0$ деп ұйғарылады. Ұйтқу әсеріне қатысты тұйықталған жүйенің беріліс функциясы келесі түрде болады:

$$W_f(s) = \frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{W_1(s)}{1+W_1(s)W_2(s)W_0(s)} = \frac{W_1(s)}{1+W(s)} \quad (15)$$

$W_f(s)$ беріліс функциясы $y(t)$ реттелетін шамаға $f(t)$ ұйтқудың ықпалын көрсетеді. Ұйтқу реттелетін шаманы тапсырылған мәнінен ауытқытады және де тапсыру әсерінің қайта өндіру нақтылығын төмендетеді, демек, реттеу процессіне зиянды әсерін тигізеді. Тигізетін бұл әсердің дәрежесі $W_f(s)$ шамасымен анықталады: бұл шама неғұрлым 0-ге жақын болса, соғұрлым әсер төмен болады.

Бақылау сұрақтары:

1. Функционалдық элементке анықтама беріңіз.
2. Элементтерді атқаратын функциялары бойынша топтастырыңыз.
3. АБЖ-нің құрамына қай кезде түзеткіш элементтер еңгізіледі?
4. Қандай сұлба функционалдық сұлба деп аталады?
5. Функционалдық элементтердің неше кірісі мен шығысы бар?
6. Функционалдық сұлбаларда функционалдық элементтер қалай белгіленеді?
7. Функционалдық сұлбаларды қалай құрастырады?
8. Функционалдық сұлбаларда не кескінделеді?
10. Тұйықталмаған АБЖ-нің беріліс функциясы қандай теңдеумен анықталады?
11. Тапсыру әсеріне қатысты тұйықталған АБЖ-нің беріліс функциясын анықтаған кезде қандай ұйғарымдар ұсынылады?
12. Тапсыру әсеріне қатысты тұйықталған АБЖ-нің беріліс функциясын анықтаған кезде қандай теңдеумен анықталады?
13. Ұйтқу әсеріне қатысты тұйықталған АБЖ-нің беріліс функциясын анықтаған кезде қандай ұйғарымдар ұсынылады?
14. Ұйтқу әсеріне қатысты тұйықталған АБЖ-нің беріліс функциясын анықтаған кезде қандай теңдеумен анықталады?

3 Автоматы басқару жүйелерінің (АБЖ) математикалық моделі

3.1 АБЖ-нің статистикалық және динамикалық қозғалыс режимдері

Мақсаты: АБЖ-нің статистикалық және динамикалық қозғалыс режимдері арасындағы айырмашылықтарды анықтау. АБЖ-нің статикалық қозғалыс режимінің ерекшеліктерін және статикалық сипаттамаларды минеризациялау (сызықтандыру) амалдарын оқып білу.

Жоспары:

3.1.1 АБЖ-нің статистикалық және динамикалық қозғалыс режимдері

3.1.2 Элементтер мен жүйелердің статикалық режимдегі математикалық өрнектелуі. Статикалық сипаттама

3.1.3 Элементтер мен жүйелердің динамикалық режимдегі математикалық өрнектелуі

3.1.4 Типтік динамикалық буын ұғымы. Типтік динамикалық буындарды топтастыру

3.1.5 Құрылымдық сұлба. Құрылымдық сұлбаларды түрлендіру (ықшамдау) ережелері.

3.1.6 АБЖ-ның статикалық және динамикалық сипаттамасына анықтамалық мысал

3.1.1 АБЖ-нің статистикалық және динамикалық қозғалыс режимдері

АБЖ-нің статистикалық және динамикалық қозғалыс режимдері.

Шығу шамасының уақыт ішінде өзгеру сипаты бойынша автоматтық басқару жүйесінің келесі қозғалыс режимдерін ажыратады:

- *статикалық*;

- *динамикалық*.

Статикалық режим – шығу шамасы уақыт ішінде өзгермейтін, яғни $y(t) = const$ болатын элемент немесе жүйенің күйі.

Статикалық режим (немесе тепе теңдік күйі) кірмелік әсерлер уақыт ішінде тұрақты болған кезде ғана орын алатыны белгілі. Статикалық режимдегі кірмелік және шықпалық шамалары арасындағы байланысты алгебралық теңдеулермен өрнектейді.

Динамикалық режим – шығу шамасы уақыт ішінде үздіксіз өзгереді, яғни $y(t) = var$ болатын элемент немесе жүйесінің күйі.

Кірмелік әсерді бергеннен кейін элементте берілген күйді немесе шықпалық шаманың берілген өзгерісінің орнатылу процестері өткен кезде динамикалық режим орын алады. Осы процестер жалпы жағдайда дифференциалдық теңдеулермен өрнектеледі.

Динамикалық режимдер өз кезегімен:

- *орнатылмаған (өтпелі)*;

- *орнатылған (квазиорнатылған) деп бөлінеді.*

Орнатылмаған (өтпелі) режим – кірістік әсердің өзгеруі басталған мезетінен шығу шамасы сол әсердің заңы бойынша өзгере бастаған мезетке дейін орын алатын режим.

Орнатылған режим – шығу шамасы кірмелік әсердің заңымен өзгере бастағаннан кейін орын алатын режим, яғни өтпелі процесс аяқталғаннан кейін басталады. Орнатылған режимде элемент мәжбүрлі қозғалыс орындайды. Статикалық режимде $x(t) = const$ болғандағы орнатылған (мәжбүрлі) режимнің дербес жағдайы болып табылады.

3.1.2 Элементтер мен жүйелердің статикалық режимдегі математикалық өрнектелуі. Статикалық сипаттама

Статикалық режимдегі элементтер мен АБЖ-лердің беріліс қасиеттері статикалық сипаттамалар көмегімен өрнектеледі.

Элементтің статикалық сипаттамасы – орнатылған статикалық режимдегі элементтің у шықпалық шамасы x кірмелік шамадан тәуелділігі:

$$y = f(x) = y(x)$$

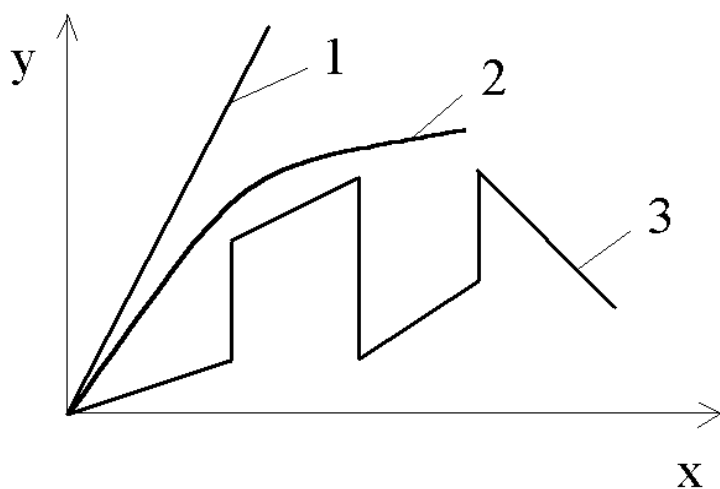
Нақты элементтің статикалық сипаттамасы аналитикалық түрде (мысалы, $y = kx^2$) немесе график түрінде берілуі мүмкін. Әдетте кірмелік және шықпалық шамалары арасындағы байланыс – бірімәнді. Осындай байланыс бар элемент *статикалық (позициялы)* деп аталады. Бір мәнді байланысы жоқ элемент – *астатикалық* деп аталады.

Элементтер статикалық сипаттамаларының түрі бойынша келесіге бөлінеді:

- *сызықты*;
- *сызықты емес*.

Сызықты элемент – статикалық сипаттамасы сызықты функция түрінде болатын элемент: $y = b + ax$ (7 суреттің 1 графигі) .

Сызықты емес элемент – статикалық сипаттамасы сызықты болатын элемент. Сызықты емес статикалық сипаттама әдетте дәрежелік функциялар, дәрежелік полиномдар, бөлшекті рационалды функциялар және аса күрделі функциялар түрінде өрнектеледі.



7 сурет. Статикалық сипаттамалардың түрлері

Сызықты емес элементтер өз кезегінде бөлінеді:

- айқын емес сызықты емес статикалық сипаттамасы бар элементтері бар;

- айқын сызықты емес статикалық сипаттамасы бар элементтері бар.

Айқын емес сызықты емес (тегіс сызықты емес) статикалық сипаттама:

– үздіксіз дифференциалдау функциясымен сипатталатын функция. Тәжірибеде бұл математикалық шарт $y = f(x)$ (7 суреттің 2 графигі) функциясының графигі тегіс пішінді болатының көрсетеді. X кірмелік шаманың шектелген өзгеру диапазонында бұл сипаттама жуықтап сызықты функциямен ауыстырылуы (аппроксимациялануы) мүмкін. Сызықты емес функцияны жуықтап сызықты функциямен ауыстыру *линеаризация* деп аталады. Сызықты сипаттаманы линеаризациялау заңды болады, егер элементтің жұмысы процесінде оның кірмелік шамасы $x = x_0$ кейбір мәннің айналасында аз диапазонда өзгерсе. Линеаризациялаудың ең қарапайым әдісіне орталандыру әдісі жатады. Бұл әдіс жеткілікті тегіс сипаттама аналитикалық функциямен ауыстыра алынбайтын жағдайда қолданылады. Кішігірім ауытқулар (өсімшелер) әдісі координаттары (x_0, y_0) болатын O нүктесінің аумағындағы $y(x)$ сызықты емес сипаттаманы осы нүктеде жанама түзумен ауыстыруға негізделген. Егер статикалық сипаттама аналитикалық сипаттамамен өрнектелетін болса, ал линеаризация $y(x)$ функциясын таңдалған жіктеу нүктесі үшін Тейлор қатарына жіктеу жолымен орындалады.

Айқын сызықты емес статикалық сипаттама – бірімәнді функциямен немесе сынулары мен үзіктері бар функциямен өрнектелетін сипаттама (7 суреттің 3 графигі).

3.1.3 Элементтер мен жүйелердің динамикалық режимдегі математикалық өрнектелуі

АБЖ-нің динамикалық қозғалыс режимінің ерекшеліктерін және АБЖ-ді дифференциалдық теңдеулердің, уақыттық сипаттамалардың, беріліс функциялардың және жиіліктік сипаттамалардың көмегімен өрнектеу.

Элементтер мен жүйелердің динамикалық режимдегі математикалық өрнектелуі: дифференциалдық теңдеулер, операторлы түрдегі дифференциалдық теңдеулер, уақытты сипаттамалардың, беріліс функциялардың және жиіліктік сипаттамалар: амплитудалы-жиіліктік (АЖС), фаза- жиіліктік (ФЖС), амплитудалы-фазалық (АФС), логарифмдік амплитудалы- жиіліктік (ЛАЖС) және логарифмдік фаза- жиіліктік (ЛФЖС).

Элементтер мен жүйелердің динамикалық режимдегі беріліс қасиеттерін *динамикалық сипаттамалар* көмегімен өрнектейді.

Динамикалық сипаттамалардың келесі түрлерін ажыратады:

- қарапайым дифференциалдық теңдеу;
- уақытты сипаттамалар;
- беріліс функция;
- жиіліктік сипаттамалар.

• *Қарапайым дифференциалдық теңдеу* элементтер мен жүйелерді өрнектеудің ең жалпы және толық түрі болып табылады.

Бір кірмелік $x(t)$ және бір шықпалық $y(t)$ сигналы бар элемент үшін қарапайым дифференциалдық теңдеу жалпы жағдайда келесі түрде ұсынылады:

$$\Phi[y(t), y'(t), \dots, y^{(n)}(t); x(t), \dots, x^{(m)}(t), t] = 0, \quad (13)$$

мұндағы t – тәуелсіз айнымалы (әдетте уақыт)

Нақтылы жүйелер үшін $m \leq n$. Бұл элементтің динамикасының (қозғалысының) теңдеуі. Қозғалыс деген сөзі кең мағынаны береді, бұл жерде қозғалыс деп сигналдық кез келген өзгерісін айтамыз.

Дифференциалдық теңдеу болады:

- *сызықты*;

- *сызықты емес*.

Сызықты дифференциалдық теңдеу – Φ функциясы өзінің барлық аргументтеріне қатысты сызықты болатын теңдеу, яғни $y(t), y'(t), \dots, y^{(n)}(t); x(t), \dots, x^{(m)}(t), t$.

Сызықты емес дифференциалдық теңдеу – Φ функциясында $y(t), x(t)$ айнымалыларының және олардың туындыларының көбейтінділері, дербестері, дәрежелері және т.б. болса. Мысалы $r(t)c \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t) - \mathbf{1}(t) = 0$.

Φ функциясына (*дифференциалдық теңдеу*) параметрлер деп аталатын шамалар кіреді. Олар $(y(t), y'(t), \dots, y^{(n)}(t); x(t), \dots, x^{(m)}(t), t)$ аргументтерін өзара байланыстырады және элементтің қасиеттерін мөлшерлі жағынан сипаттайды. Мысалы, параметрлерге дененің салмағы, активті кедергі, өткізгіштің индуктивтілігі және сыйымдылығы және т.б. жатады.

Нақтылы элементтердің көбісі сызықты емес дифференциалдық теңдеулермен өрнектеледі, осылар АБЖ-нің кейінгі таңдауын қиындатады. Сондықтан сызықты емес теңдеулерден келесі түрдегі сызықты теңдеулерге көшуге тырысады:

$$a_0 \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y(t) = b_0 \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_m x(t). \quad (14)$$

Барлық нақтылы элементтер үшін $m \leq n$ шартты орындалады. Теңдеудегі $a_0, a_1 \dots a_n$ және $b_0, b_1 \dots b_m$ коэффициенттері *параметрлер* деп аталады. Кейде параметрлер уақыт ішінде өзгереді, онда *стационарлы емес* немесе *айнымалы параметрі* бар элемент деп аталады. Бірақ кейінгі тақырыптарда тек қана тұрақты параметрі болатын элементтерді қарастырамыз.

Егер сызықты дифференциалдық теңдеу құрған кезде элементтің статикалық сипаттамасының линеаризациясы жүзеге асырылса, онда ол тек қана линеаризация нүктесінің аумағы үшін қолданылады және айнымалылардың ауытқуларында жазылады. Бірақ жазуларды ықшамдау мақсатынды линеаризацияланған теңдеулерде айнымалылардың ауытқуларын

алдыңғы сызықты емес теңдеулердегі белгілермен белгілейміз, бірақ Δ белгісін жазбаймыз.

Сызықтық теңдеудің аса маңызды тәжірибелік қасиеті – орынбасу принципін қолдану мүмкіндігі. Бұл принципке сәйкес элементке $x_i(t)$ бірнеше кірмелік сигналдарының әсерінен пайда болатын $y(t)$ шығу шамасының өзгеруі $x_i(t)$ әр сигналмен бөлек шақырылған $y_i(t)$ шығу шамаларының өзгеруінің қосындысына тең болады.

Сызықтық теңдеулердің жазылуын ықшамдау үшін дифференциалдау операциясын p белгісімен (дифференциалдау операторы) ауыстырамыз, ал интегралдау операциясын $\frac{1}{p}$ белгімен.

Дифференциалдық теңдеудің жазылуының операторлық түрін аламыз:

$$a_0 p^n y(t) + a_1 p^{n-1} y(t) + \dots + a_n y(t) = b_0 p^m x(t) + b_1 p^{m-1} x(t) + \dots + b_m x(t) \quad (15)$$

Оның жазылуын ықшамдау үшін және келесі түрде ұсынуға болады:

$$(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n) y(t) = (b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m) x(t) \quad (16)$$

- *Уақытты сипаттамалар.*

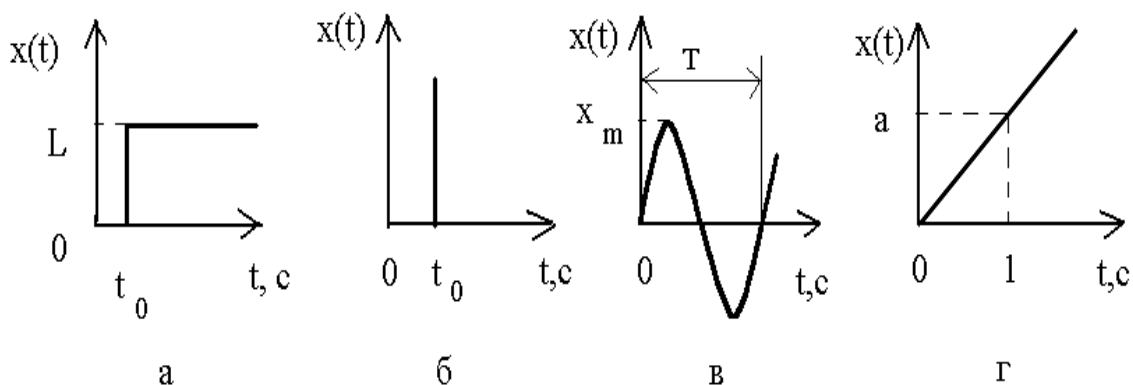
Дифференциалдық теңдеу элементтің динамикалық қасиеттері туралы толық мәлімет бермейді, бірақ бұндай мәліметтерді $y(t)$ функциясы, яғни осы теңдеудің шешімі береді. Алайда бір дифференциалдық теңдеу бастапқы шарттарға және $x(t)$ кірмелік әсердің сипатына байланысты болатын шешімдер жиынтығына ие болуы мүмкін. Осы себептер әртүрлі элементтердің динамикалық қасиеттерін салыстырған кезде ыңғайсыз болады. Сондықтан элементтің осы қасиеттерін *нөлдік* бастапқы шарттар бойынша және *типтік* әсерлердің (бірлік саталы, дельта-функция, гармоникалық, сызықты) беруі бойынша алынған дифференциалдық теңдеудің тек қана *бір* шешімімен сипаттау қабылданды.

Бастапқы шарттар деп $t = t_0$ уақыт мезетінде және осы уақытқа дейін сыртқы әсерлер болған жоқ деген шартпен шығу шамасының және оның барлық туындыларының мәнін түсінеді.

Бастапқы шарттар *нөлдік* деп аталады, егер келесі шарт орындалса:

$$y(0) = y'(0) = y''(0) = \dots = y^{(n)}(0) = 0 \quad (17)$$

Сатылы әсер – нөлден кейбір мәнге дейін бір мезетте өсіп, әрі қарай тұрақты болып қалатын әсер. (8 а сурет)



8 сурет. Типтік әсерлер:

а – сатылы; б – импульсті; в – гармоникалық; г – сызықты.

Сатылы әсерге келесі функция сәйкес келеді:

$$x(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \text{ болғанда;} \\ L, & t \geq 0 \text{ болғанда} \end{cases} \quad (18)$$

Жүйелерді талдау және есептеу кезінде $L = 1$ болатын сатылы әсерді қолдану ыңғайлы. Оны *бірлік сатылы әсер* деп атап, $1(t)$ деп белгілейді. Бірлік сатылы әсерді өрнектейтін математикалық өрнек:

$$1(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \text{ болғанда;} \\ 1, & t \geq 0 \text{ болғанда} \end{cases} \quad (19)$$

Тұрақтандыру жүйелерінің параметрлерін зерттеген кезде сатылы әсер жиі қолданылады, өйткені осы әсерлер тұрақтандыру жүйелерінің шын мәніндегі кірмелік (тапсыру және ұйтқу) әсерлеріне жақын келеді. Нөлдік бастапқы шарттар бойынша бірлік сатылы функцияға буынның реакциясы өтпелі функция деп аталады, және оның $h(t)$ деп белгілейді. Өтпелі функцияның графикалық көрінісі *өтпелі сипаттама* деп аталады.

Импульстік әсерлер – биіктігі жеткілікті шамада үлкен және a_0 ауданы бар ұзақтығы аз (сынақтағы жүйенің инерттілігімен салыстырғанда) болатын тіктөртбұрыш пішінді бірлік импульс (8б сурет). АБЖ-дің математикалық талдауы кезінде *Дирактың дельта – функциясымен* өрнектелетін *бірлік импульстік әсер* пайдаланылады

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \text{ болғанда;} \\ \infty, & t > 0 \text{ болғанда, бұл жерде } \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1. \end{cases} \quad (20)$$

Соңғы екі өрнек дельта-функцияны шексіз үлкен биіктігі, шексіз аз ұзақтығы және бірлік ауданы бар импульс ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Дельта-функцияны сондай – ақ :

$$\delta(t) = \frac{d1(t)}{dt}. \text{ бірлік сатылы әсердің туындысы ретінде анықтауға болады.}$$

Буынның импульстік функцияға қалыпты реакциясы *импульстік өтпелі функция* немесе *салмақтық функция* (салмақ функциясы) деп аталады және $\varpi(t)$ деп белгіленеді.. Импульстік өтпелі функциясының графикалық көрінісі импульстік өтпелі сипаттама деп аталады.

Гармоникалық әсер функциясымен өрнектелетін синусоидал пішінді сигнал (8 сурет)

$$- x(t) = x_m \sin \omega t, (-\infty < t < \infty) \quad (21)$$

мұндағы x_m – сигналдың амплитудасы;

$\omega = 2\pi / T$ – шеңберлік жиілік;

T – сигналдың периоды.

$t = 0$ уақыт мезетінде әрекет ете бастайтын гармоникалық сигналды бірлік сатылы функция арқылы өрнектейді:

$$x(t) = 1(t) x_m \sin \omega t, (0 \leq t < \infty) \quad (22)$$

Сызықты әсер – $x(t) = 1(t) a_1 t, (0 \leq t < \infty)$ функциясымен өрнектелетін әсер (8г сурет). a_1 коэффициенті $x(t)$ әсердің өсу жылдамдығын сипаттайды.

- *Беріліс функциясы.*

АБЖ-лерді өрнектеу және талдау әдістерінің аса кең таралғаны операцияндық әдіс (операцияндық есептеу әдісі).

$$F(s) = Z \{ f(t) \} = \int_0^{\infty} f(t) e^{-pt} dt. \quad (23)$$

Оның негізінде үздіксіз функциялары үшін Лапластың тікелей интегралдық түрлендіруі жатыр. Бұл түрлендіру t шындық айнымалы функциясы мен $s = \sigma + j\omega$ комплекстік айнымалы функциясының арасындағы сәйкестікті орнатады. Лаплас интегралына кіретін $f(t)$ функциясын оригинал деп, ал интегралдау нәтижесін - $F(s)$ функциясын – *Лаплас бойынша $f(t)$ функциясының көрінісі* деп атайды. Түрлендіру тек $t < 0$ болғандағы нөлге тең болатын функциялар үшін орындалады. Автоматтық басқару теориясында осы шарт $f(t)$ функциясын $1(t)$ бірлік сатылы функцияға көбейтумен қамтамасыз етіледі.

Лаплас түрлендіруінің нөлдік бастапқы шарттар бойынша аса маңызды қасиеттеріне жатады:

$$Z \{ f'(t) \} = sF(s); Z \{ \int f(t)dt \} = F(s) / s. \quad (24)$$

АБТ-сында операциондық әдіс кең қолданыс тапты, өйткені, оның көмегімен элементтер мен жүйелердің динамикалық қасиеттерін өрнектейтін ең ықшамды түрі болып табылатын *беріліс функциясын* анықтайды.

Дифференциалдық теңдеуге Лапласстың тура түрлендіруін қолданып, алгебралық теңдеу аламыз:

$$D(s)Y(s) = K(s)X(s), \quad (25)$$

мұндағы $D(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n$ - өздік оператор (сипаттамалық полином (көпмүше),
 $K(s) = b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m$ - кірмелік оператор.

Беріліс функция түсінігін еңгіземіз.

Беріліс функциясы – нөлдік бастапқы шарттар бойынша шықпалық шаманың көрісінің кірмелік шаманың көрінісіне қатынасы:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}. \quad (26)$$

Онда (16) теңдеуіне және белгілеулерді ескере отырып, беріліс функцияның өрнегі келесі түрде ұсынылады:

$$W(s) = \frac{K(s)}{D(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}. \quad (27)$$

Беріліс функция $W(s)$ шексіздікке айналатын s айнымалысының мәнін *беріліс функциясының полюсі* деп атаймыз. Бұл жерде өзіндік $D(s)$ оператордың түбірлері полюстер болып табылатыны анық.

Беріліс функция $W(s)$ нөлге айналатын p айнымалысының мәні *беріліс функциясының нөлі* деп атаймыз. Бұл жерді $K(s)$ кірмелік оператордың түбірлері нөлдер болып табылады.

Егер коэффициент $a_0 \neq 0$, онда беріліс функциясының нөлдік полюсы болмайды $s = 0$, және онымен сипатталатын элемент астатикалық деп аталады, ал осы элементтің беріліс функциясы $s = 0$ ($t = \infty$) болғанда *беріліс коэффициентке* тең болады: $k = W(0) = \frac{b_m}{a_n}$.

S комплекстің айнымалының таза жорамал мәні бойынша ($s = j\omega$) беріліс функциясы жиіліктік беріліс функциясы деп аталады және $W(j\omega)$ деп белгіленеді.

Жиіліктік сипаттамалар түрі бойынша барлық элементтер екі топқа бөлінеді:

- минималды-фазалық;

- минималды емес-фазалық.

Минималды-фазалық элемент – $W(s)$ беріліс функциясының барлық полюстері мен нөлдері теріс нақты бөліктерге ие болатын элемент.

• *Жиіліктік сипаттамалар.*

Жиіліктік сипаттамалар сыртқы гармоникалық әсерлермен орнатылған гармоникалық тербелістер режиміндегі элементтер мен жүйелердің беріліс сипаттамаларын өрнектейді. Олар АБТ-сында қолданыс тапты, өйткені нақтылы ұйтқылар және оларға әкелетін немесе АБЖ-нің реакциясы гармоникалық сигналдардың қосындысы ретінде ұсынылуы мүмкін. Жиіліктік сипаттамалардың мәнін және түр өзгешеліктерін қарастырайық. Сызықтық элементтің кірісі $t = 0$ уақыт мезетінде жиілігі ω : $x(t) = x_m \sin \omega t$ гармоникалық әсер берілді делік (9а сурет).

Өтпелі процес аяқталғаннан кейін мәжбүрлі тербелістер режимі орнатылады және $y(t)$ шықпалық шама $x(t)$ кірмелік шаманың заңымен өзгереді, бірақ y_m басқа амплитудамен және кірмелік шамаға қатысты уақыт өсі бойынша φ фазалық ығысуы болады: $y(t) = y_m \sin(\omega t + \varphi)$, (9б сурет). Осыған ұқсас, бірақ басқа ω жиілікте тәжірибе өткізсек, y_m амплитуданың және φ фазалық ығысудың өзгергенін көруге болады, яғни олар жиілікке тәуелді. Сондай –ақ басқа элементтер үшін y_m және φ -дің ω жиіліктен тәуелділігі өзгеше екеніне көз жеткізуге болады. Сондықтан осы тәуелділіктерді элементтердің динамикалық қасиеттері ретінде қарастыруға болады.

АБТ-да аса жиі келесі жиіліктік сипаттамалар қолданылады:

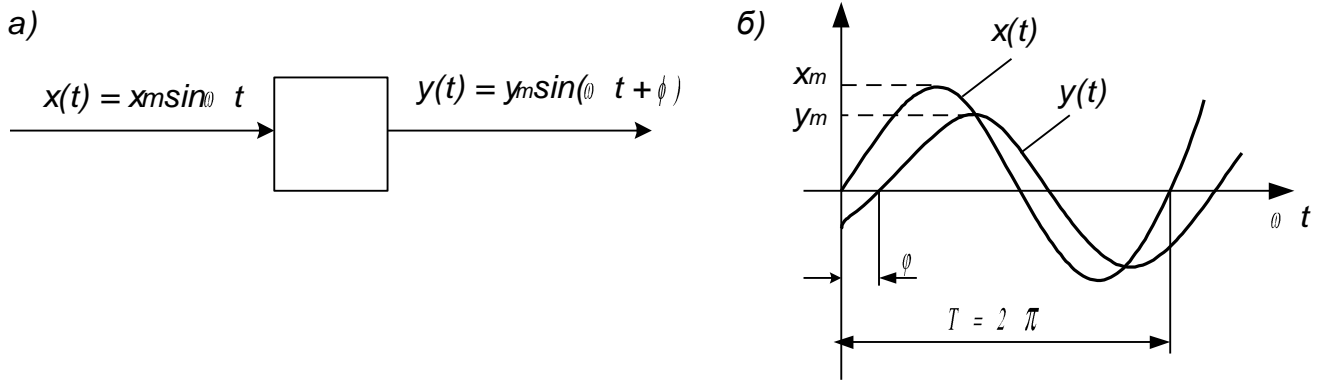
- амплитуда - жиіліктік сипаттама (АЖС);
- фаза - жиіліктік сипаттама (ФЖС);
- амплитуда - фазалық сипаттама (АФС);
- логарифмдік - жиіліктік сипаттамалар (ЛЖС).

Амплитудалық жиіліктік сипаттама (АЖС) – шығыс және кіріс сигналдардың амплитудаларының қатынасының жиілікке тәуелділігі:

$$A(\omega) = \frac{y_{\max}}{x_{\max}}. \quad (28)$$

АЖС элемент әртүрлі жиіліктердегі сигналдарды қалай өткізетіндігін көрсетеді.

Фазалық жиіліктік сипаттама ФЖС – кіріс және шығыс сигналдарының арасындағы ығысудың жиіліктен тәуелділігі. ФЖС элемент әртүрлі жиіліктерде шығыс сигналының фаза бойынша қалай кешігуін немесе өзінің туындысын көрсетеді:



9 сурет. Жиіліктік сипаттамалардың мәнін түсіндіретін сұлба және қисықтар:

- а – кірмелік және шықпалық сигналымен сызықты элемент;
- б – кірмелік және шықпалық шамалардың сәйкестігі.

Фазалық жиіліктік сипаттама ФЖС – кірмелік және шықпалық сигналдың арасындағы ығысудың жиіліктен тәуелділігі. ФЖС элемент әртүрлі жиіліктерде шығыс сигналының фаза бойынша қалай кешігуін немесе өзінің туындысын көрсетеді:

$$\varphi(\omega) = \varphi_2(\omega) + \varphi_1(\omega), \quad (29)$$

мұндағы $\varphi_1(\omega)$ - кіріс сигналының фазасы;
 $\varphi_2(\omega)$ - шығыс сигналының фазасы.

Амплитудалық және фазалық сипаттамаларды бір ортақ сипаттамаға біріктіруге болады – *амплитуда-фазалық сипаттама (АФС)*. АФС өзімен $j\omega$ комплексті айнымалының функциясын ұсынады (көрсеткіштік түрі)

$$W(j\omega) = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)}, \quad (30)$$

мұндағы $A(\omega)$ – функцияның модулі;
 $\varphi(\omega)$ – функцияның аргументі.
 ω_i жиіліктің әр белгіленген мәніне $W(j\omega_i)$ комплекстік саны сәйкес келеді

Бұл санды жазықтықта $A(\omega_i)$ ұзындығы бар және $\varphi(\omega_i)$ бұрылу бұрышы бар векторымен ұсынуға болады. Сигналдың кірмелік сигналдан артта қалуына сәйкес келетін $\varphi(\omega)$ – ның теріс мәндерін шықпалық нақты өстің оң бағытынан сағат тілінің бағыты бойынша санау керек. Жиілік 0-ден шексіздікке өзгерген кезде $W(j\omega)$ векторы координаттар басынан шеңбер бойымен айналады, бұл жерде бір уақытта вектордың ұзындығы өзгереді. Вектордың ұшымен сызылған қисық – АФС-ға жатады. Сипаттаманың әр нүктесіне жиіліктің белгілі мәні сәйкес келеді.

$W(j\omega)$ векторының нақты және жорамал өстеріне проекциясы сәйкесінше *нақты және жорамал жиіліктік сипаттамалар (жиіліктік беріліс функциясының құрамдасы)* деп аталады және сәйкесінше $Re(\omega)$, $Im(\omega)$ деп белгіленеді. Бұл АФС-ны алгебралық түрде жазуға мүмкіндік береді:

$$W(j\omega) = Re(\omega) + j Im(\omega). \quad (31)$$

АФС, сондай-ақ кез келген комплексті шаманы тригонометриялық түрде ұсынуға болады:

$$W(j\omega) = A(\omega) \cos \varphi(\omega) + j A(\omega) \sin \varphi(\omega). \quad (32)$$

Өртүрлі жиіліктік сипаттамалардың арасындағы байланыс:

$$A(\omega) = | W(j\omega) | = \sqrt{Re^2(\omega) + Im^2(\omega)}, \quad (33)$$

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = \arctg \frac{Im(\omega)}{Re(\omega)}. \quad (34)$$

Минималды-фазалық элементтер $A(\omega)$ амплитудалық сипаттамасы бірдей болатын, бірақ полюсі немесе нөлінің ең болмағанда біреуінің шындық мәні оң болатын кез келген басқа элементпен салыстырғанда, минималды $\varphi(\omega)$ фазалық ығысу береді. Минималды-фазалық элементтердің практикалық есептеулер үшін маңызды қасиеті бар, олардың жиіліктік беріліс функциясы - $A(\omega)$, $Re(\omega)$ және $Im(\omega)$ үш құраушылардың бірімен анықталады. Бұл минималды-фазалық жүйелердің талдау және синтез есептеулерін жеңілдетеді.

АБЖ-дің практикалық есептеулерінде (электрондық есептеуіш машиналарды қолданусыз) логарифмдік координаттар жүйесінде құрылған жиіліктік сипаттамаларды қолдану ыңғайлы. Оны *логарифмдік* сипаттамалар деп атайды. Олардың қисықтығы төменрек, сондықтан бірнеше тұзусызықты кесінділерден құралған сынық сызықтармен ауыстырылуы мүмкін. Және де осы кесінділерді бірнеше қарапайым ережелер көмегімен оңай құруға болады. Кесінділердің түйіскен нүктелеріне сәйкес келетін жиіліктер *сынулы жиіліктері* деп аталады және ω_u деп белгіленеді. Сонымен қатар логарифмдік координаттар жүйесінде элементтердің әр түрлі қосылыстарының сипаттамаларын табу оңай, өйткені қарапайым сипаттамаларды көбейту мен бөлуіне логарифмдік сипаттамалардың ординаттарының қосуына және алуына сәйкес келеді.

Логарифмдік сипаттамалардың жиілік өсі бойынша өлшем бірлігі ретінде декада қабылданды.

Декада – жиілігі 10 есе өзгертін жиіліктер интервалы (ω_i жиіліктің кез келген мәні мен оның $10\omega_i$ он еселік мәні аралығында орналасқан жиіліктер интервалы).

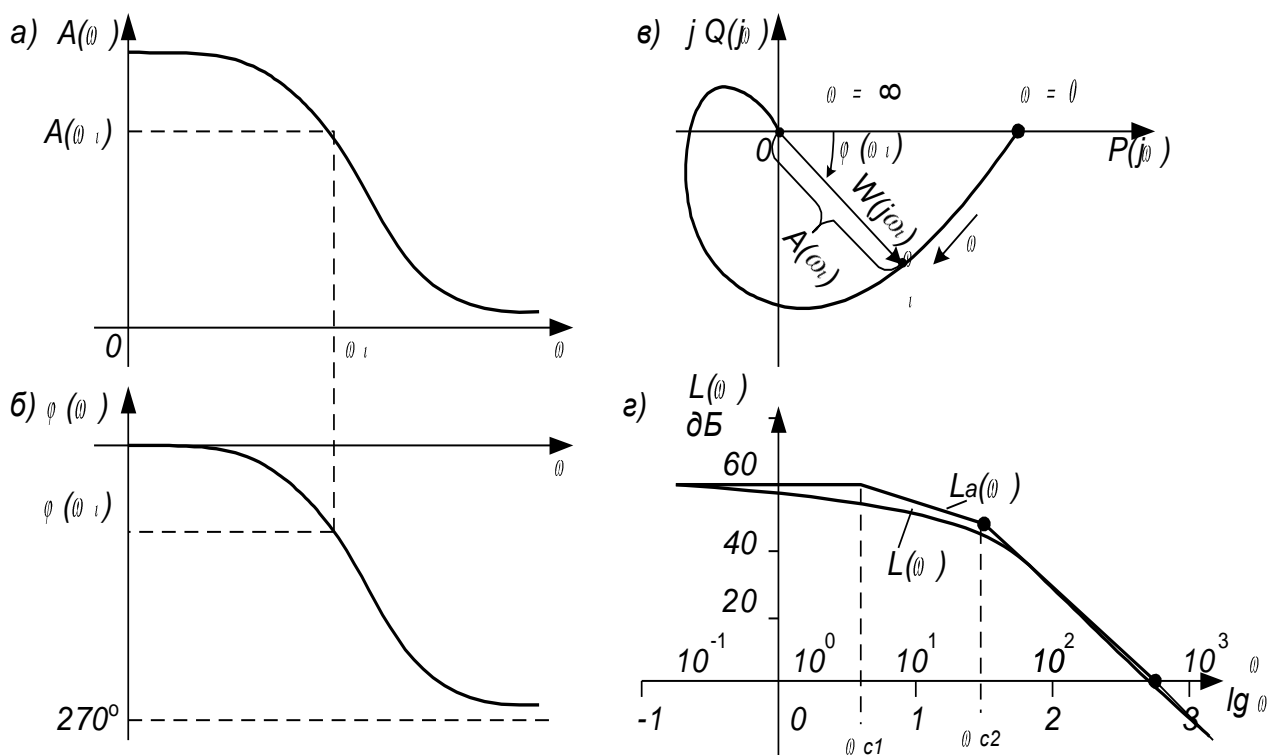
Әдетте есептеулерде *логарифмдік амплитудалық жиіліктік сипаттаманы (ЛАЖС)* қолданады:

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) \quad (35)$$

Олардың ординаталары логарифмдік бірліктерде – *белла (Б)* немесе *децибелла (дБ)* өлшенеді.

Белл – екі сигналдың қуаттарының өлшем бірлігі.

10 суретте жиіліктік сипаттамаларының құру мысалдары көрсетілген.



10 сурет. Жиіліктік сипаттамалар:

a – амплитудалық; *б* – фазалық; *в* – амплитуда-фазалық; *г* – логарифмдік АЖС.

Егер бір сигналдың қуаты екінші сигналдың қуатынан 10 есе артық (кіші) болса, онда осы қуаттар 1 Б, ($\lg 10 = 1$) ажыратылған. Гармоникалық сигналдың қуаты оның амплитудасының квадратына пропорционалды болғандықтан, онда бұл бірлікті амплитудалар қатынасын өлшеу үшін қолданған кезде логарифмнің алдында «2» көбейткіші пайда болады. Мысалы, егер кейбір жиілікте $A(\omega) = 100$ болса, онда кірмелік және шықпалық сигналдардың қуаттары 100^2 есе өзгереді, яғни $2 \lg 100 = 4$ Б немесе 40 дБ сәйкесіне және $L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 40$ дБ.

ЛАЖС-сының кесінділерінің көлбеуі децибелл декадаға (дБ/дек) өлшенеді, олар 20 дБ/дек-ға еселік, оң және теріс көлбеуге ие болады. ЛАЖС-ны құру масштабы – *логарифмдік*.

Қажетті жиілік диапазоны қамтылу үшін, ордината осі абцисса өсін кез келген жерде қиып өтеді (өйткені абцисса өсінің нөлі шексіздікте жатыр: $(\lg 0 = -\infty)$).

Логарифмдік фаза-жиіліктік сипаттаманы (ЛФЖС) ЛАЖС-ның абсцисса өсімен бірдей, ол ордината өсіне сызықты масштабтағы $\varphi(\omega)$ бұрышты градууста немесе радианда координаттар жүйесінде құрады. Бірдей жиіліктердегі фаза өзгеруін амплитуда өзгеруімен салыстыруға болатындай етіп, ЛФЖС-ны әдетте ЛАЖС-ның астында құрады. ЛФЖС-ның құру масштабы – *жартылай логарифмдік*.

3.1.4 Типтік динамикалық буын ұғымы. Типтік динамикалық буындарды топтастыру

АБЖ-де қолданылатын функционалдық элементтердің конструктивтік орындалуы және жұмыс атқару принциптері әртүрлі болады. Бірақ әртүрлі функциялар элементтердің кірмелік және шықпалық шамаларын байланыстыратын материалдық өрнектер тұтастығы (бірлігі) *типтік буындардың* шектелген санын атап көрсетуге мүмкіндік береді. Әрбір типтік буынға кірмелік және шықпалық шамалары арасындағы математикалық қатыс сәйкес келеді. Егер бұл қатынас элементтері болса (мысалы, дифференциалдау, коэффициентке көбейту), онда буын *элементарлы* деп аталады.

Бірінші және екінші ретті қарапайым дифференциалдық теңдеулермен өрнектелетін буындар *типтік динамикалық буындар* деп аталды.

Типтік динамикалық буындар АБЖ сұлбаларының негізгі құрамдас бөліктері болып табылады, сол себепті олардың сипаттамаларын білу жүйелерді талдауды жеңілдетеді.

$$a_0 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_2 y(t) = b_0 \frac{dx(t)}{dt} + b_1 x(t). \quad (36)$$

Дифференциалдық теңдеулердің әртүрлі дербес түрлерін қарастырсақ, типтік динамикалық буындарды топтастыру ыңғайлы болып табылады.

Осы теңдеудің коэффициенттерінің мәндері және аса жиі қолданылатын буындардың аталуы 1 кестеде келтірілген.

Жиірек қолданылатын буындардың беріліс және өтпелі функциялары 2 кестеде келтірілген.

Элементарлы буындарға сондай-ақ келесі буындарды жатқызуға болады:

- консервативтік буын, беріліс функциясы:

$$W(s) = \frac{k}{T_2^2 s^2 + 1}; \quad (37)$$

- баяулауы бар интегралдайтын буын, беріліс функциясы:

$$W(s) = \frac{k}{s(Ts + 1)}; \quad (38)$$

- изодромды буын, беріліс функциясы:

$$W(s) = \frac{k}{s}(Ts + 1); \quad (39)$$

- жылдамдататын буын бірінші ретті беріліс функциясы:

$$W(s) = Ts + 1; \quad (40)$$

(36) теңдеудің коэффициенттерінің мәндері.

1 кесте. Аса жиі қолданылатын буындардың аталуы және коэффициенттерінің мәндері

№	Буынның аталуы	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	Ескерту
1	Инерционсыз (пропорционалды)	0	0	1	0	k	
2	1-ші ретті инерционды (апериодты)	0	T	1	0	k	
3	2-ші ретті инерционды (апериодты)	T_2^2	T_1	1	0	k	$T_1 \geq 2T_2$
4	2-ші ретті инерционды (тербелмелі)	T_2^2	T_1	1	0	k	$T_1 < 2T_2$
5	Идеалды интегралдайтын	0	1	0	0	k	
6	Идеалды дифференциалдайтын	0	0	1	k	0	
7	Реалды дифференциалдайтын	0	T	1	k	0	

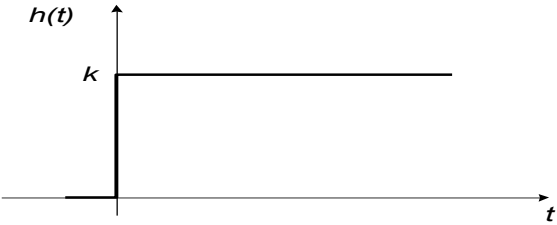
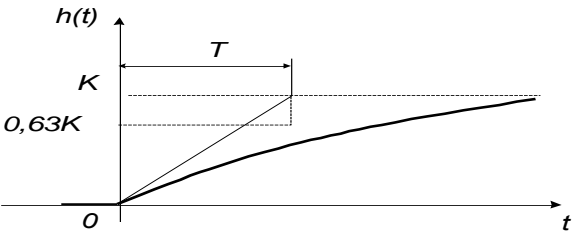
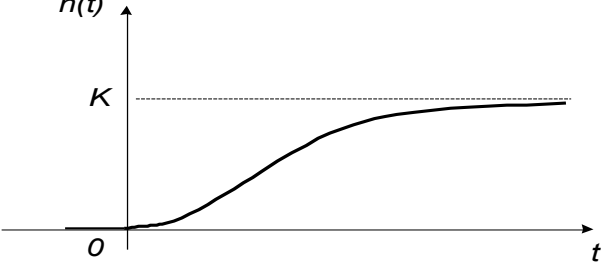
- жылдамдататын буын екінші ретті беріліс функциясы:
 $T_1 < 2T_2$ болғанда

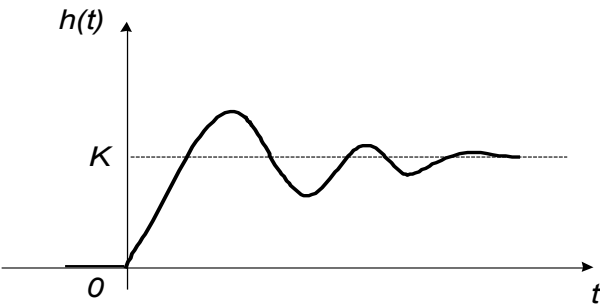
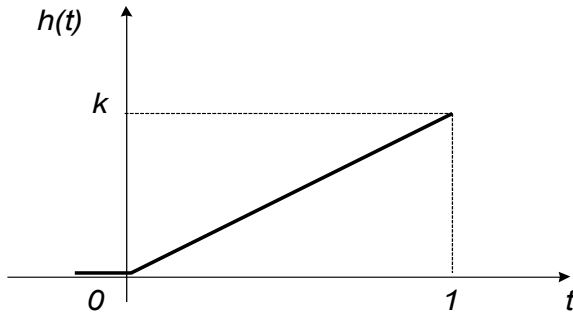
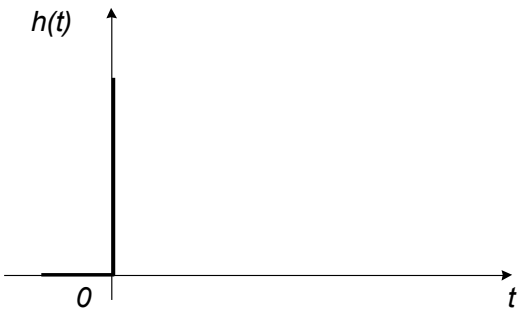
$$W(s) = k(T_2^2 s^2 + T_1 s + 1) \quad (41)$$

$T_1 \geq 2T_2$ болған жағдайда буын элементарлы топқа жатпайды және де келесі беріліс функциялармен ұсынылады:

$$W(s) = (T_1s + 1)(T_2 + 1). \quad (42)$$

2 кесте. Жиірек қолданылатын буындардың беріліс және өтпелі функциялары

№	Буынның аталуы және оны өрнектейтін теңдеу	Беріліс функция $W(s)$	Өтпелі функция $h(t)$
1	Инерционсыз (пропорционалды) $y(t) = kx(t)$	k	$k1(t)$ 
2	1-ші ретті инерционды (апериодты) $T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$	$\frac{k}{Ts + 1}$	$k(1 - e^{-t/T})1(t)$ 
3	2-ші ретті инерционды (апериодты) $T_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$ $T_1 \geq 2T_2$	$\frac{k}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1}$ $T_1 \geq 2T_2$ немесе $\frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$ немесе $\frac{k}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1}$ $1 \ll \xi < \infty$	$k(1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} e^{-t/T_3} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} e^{-t/T_4})1(t),$ мұндағы $T_3 + T_4 = T_1$; $T_3 T_4 = T_2^2$. 

4	<p>2-ші ретті инерционды (тербелмелі)</p> $T_2^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$ $T_1 < 2T_2$	$\frac{k}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1}$ $T_1 < 2T_2$ <p>немесе</p> $\frac{k}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}$ $\xi > 1$	$k \left[1 - \frac{1}{\beta T_2} e^{-\alpha t} \sin(\beta t + \varphi) \right] 1(t),$ <p>мұндағы $\beta = \sqrt{1 - \xi^2} / T_2$; $\varphi = \arccos \xi$; $\xi = T_1 / 2T_2$.</p> 
5	<p>Идеалды интегралдайтын</p> $\frac{dy(t)}{dt} = kx(t)$	$\frac{k}{s}$	$k1(t)$ 
6	<p>Идеалды дифференциалдайтын</p> $y(t) = k \frac{dx(t)}{dt}$	ks	$k\delta(t)$ 
7	<p>Реалды дифференциалдайтын</p>	$\frac{ks}{Ts + 1}$	$\frac{k}{T} e^{-t/T}$

	$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \frac{dx(t)}{dt}$		
8	Кешігу буыны $y(t) = x(t - \tau)$	$e^{-s\tau}$	

Типтік буындардың жиіліктік сипаттамаларын алу үшін олардың беріліс функцияларын пайдаланады. Келесі буындардың жиіліктік сипаттамаларын қарастырайық:

- *Инерционсыз (пропорционалды) буын:*
жиіліктік беріліс функция:

$$W(j\omega) = k \quad (43)$$

жиіліктік беріліс функциясының нақты құраушысы:

$$\operatorname{Re}(\omega) = k \quad (44)$$

жиіліктік беріліс функциясының жорамал құраушысы:

$$\operatorname{Im}(\omega) = 0 \quad (45)$$

жиіліктік беріліс функциясының модулі (АЖС):

$$A(\omega) = 0 \quad (46)$$

жиіліктік беріліс функциясының аргументі (ФЖС):

$$\varphi(\omega) = 0 \quad (47)$$

ЛАЖС:

$$L(\omega) = 20 \lg k \quad (48)$$

Абцисса өсіне $20 \lg k$ арақашықтықта паралельді өтеді;
 ЛФЖС абцисса өсіне сәйкес келеді.

- Инерционды 1-ші ретті (апериодты) буын:
 жиіліктік беріліс функция:

$$W(j\omega) = \frac{k}{1 + j\omega T} = \frac{k(1 - j\omega T)}{1 + \omega^2 T^2} \quad (49)$$

жиіліктік беріліс функциясының нақты құраушысы:

$$\operatorname{Re}(\omega) = \frac{k}{1 + \omega^2 T^2} \quad (50)$$

жиіліктік беріліс функциясының жорамал құраушысы:

$$\operatorname{Im}(\omega) = -\frac{k\omega T}{1 + \omega^2 T^2} \quad (51)$$

жиіліктік беріліс функциясының модулі (АЖС):

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \quad (52)$$

жиіліктік беріліс функциясының аргументі (ФЖС):

$$\varphi(\omega) = 0 \quad (53)$$

ЛАЖС:

$$L(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{1 + \omega^2 T^2}, \quad (54)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{және де: } L(\omega) &= 20 \lg k, \quad 0 < \omega T \ll 1 \quad \text{болғанда} \\ L(\omega) &= 20 \lg k - 20 \lg \omega T, \quad \omega \gg 1 \quad \text{болғанда} \end{aligned} \right\} \quad (55)$$

ЛАЖС құру үшін сынылу жиілігін (2 кесінділердің түйісу жиілігін) келесі теңдеуге сәйкес табу қажет:

$$\omega_u = \frac{1}{T} \quad (56)$$

Кесік жиілігі апериодтық буын үшін келесі теңдеу арқылы табылады:

$$\omega_c = \frac{1}{k} \quad (57)$$

ЛФЖС:

$$\varphi(\omega) = -\arctg \omega T. \quad (58)$$

- Инерционды 2-ші ретті (апериодты) буын:
жиіліктік беріліс функция:

$$W(j\omega) = \frac{k}{1 - (\omega T)^2 + j2\xi T\omega} \text{ немесе } W(j\omega) = \frac{k}{(1 + j\omega T_1)(1 + j\omega T_2)} \quad (59)$$

жиіліктік беріліс функциясының модулі (АЖС):

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 - (\omega T)^2 + 4\xi^2 T^2 \omega^2}} \text{ немесе } A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + (\omega T_1)^2} \sqrt{1 + (\omega T_2)^2}} \quad (60)$$

жиіліктік беріліс функциясының аргументі (ФЖС):

$$\left. \begin{aligned} \varphi(\omega) &= -\arctg \frac{2\xi T\omega}{1 - (T\omega)^2}, \quad 0 \leq \omega \leq \frac{1}{T} \text{ болғанда} \\ \varphi(\omega) &= -\pi - \arctg \frac{2\xi T\omega}{1 - (T\omega)^2}, \quad \frac{1}{T} \leq \omega \leq \infty \text{ болғанда} \end{aligned} \right\} \quad (61)$$

ЛАЖС құру үшін (56) теңдеуі бойынша сынылу жиіліктерін T_1 және T_2 уақыт тұрақтылығы үшін және $20 \lg k$ шамасын есептеп шығару керек.

Буынның ЛАЖС:

$$L(\omega) = L_1(\omega) + L_2(\omega), \quad (62)$$

мұндағы $L_1(\omega)$, $L_2(\omega)$ – екі тізбектеп қосылған апериодты 1-ші ретті буындардың ЛАЖС

ЛФЖС ФЖС –дан тек жиілік өсінің логарифмдік шкаласымен ажыратылады.

- Инерционды 2-ші ретті (тербелмелі) буын:
жиіліктік беріліс функция:

$$W(j\omega) = \frac{k}{1 - (\omega T)^2 + j2\xi T\omega} \quad (63)$$

жиіліктік беріліс функцияның нақты құраушысы:

$$\operatorname{Re}(\omega) = \frac{k(1 - \omega^2 T^2)}{(1 - \omega^2 T^2)^2 + (2\xi\omega T)^2} \quad (64)$$

жиіліктік беріліс функциясының жорамал құраушысы:

$$\operatorname{Im}(\omega) = -\frac{2k\xi\omega T}{(1 - \omega^2 T^2)^2 + (2\xi\omega T)^2} \quad (65)$$

жиіліктік беріліс функциясының модулі (АЖС):

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(1 - \omega^2 T^2)^2 + (2\xi\omega T)^2}} \quad (66)$$

жиіліктік беріліс функциясының аргументі (ФЖС):

$$\varphi(\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{2\xi T \omega}{1 - (T\omega)^2} \quad (67)$$

ЛАЖС:

$$L(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{(1 + \omega^2 T^2)^2 + (2\xi\omega E)^2} \quad (68)$$

ЛФЖС ФЖС –дан тек жиілік өсінің логарифмдік шкаласымен ажыратылады.

- Идеалды интегралдайтын буын:

жиіліктік беріліс функция:

$$W(j\omega) = \frac{k}{j\omega} = -j \frac{k}{\omega} = \frac{k}{\omega} e^{-j\frac{\pi}{2}} \quad (69)$$

жиіліктік беріліс функциясының нақты құраушысы:

$$\operatorname{Re}(\omega) = 0 \quad (70)$$

жиіліктік беріліс функциясының жорамал құраушысы:

$$\operatorname{Im}(\omega) = -\frac{k}{\omega} \quad (71)$$

жиіліктік беріліс функциясының модулі (АЖС):

$$A(\omega) = \frac{k}{\omega} \quad (72)$$

жиіліктік беріліс функциясының аргументі (ФЖС):

$$\varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2} \quad (73)$$

ЛАЖС:

$$L(\omega) = 20\lg A(\omega) = 20\lg k - 20\lg \omega \quad (74)$$

Абцисса өсін $\omega_c = k$ (кесік жиілігі) нүктесінде қиып өтетін және -20 дБ/дек көлбеуі бар түзу сызықты өсімен ұсынады;

ЛФЖС жиіліктен тәуелсіз және $-\frac{\pi}{2}$ қашықтықта абцисса өсіне паралельді өтеді.

- Идеалды дифференциалдайтын буын:

жиіліктік беріліс функциясы:

$$W(j\omega) = kj\omega = k\omega e^{-j\frac{\pi}{2}} \quad (75)$$

жиіліктік беріліс функциясының нақты құраушысы:

$$\operatorname{Re}(\omega) = 0 \quad (76)$$

жиіліктік беріліс функциясының жорамал құраушысы:

$$\operatorname{Im}(\omega) = k\omega \quad (77)$$

жиіліктік беріліс функциясының модулі (АЖС):

$$A(\omega) = k\omega \quad (78)$$

жиіліктік беріліс функциясының аргументі (ФЖС):

$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} \quad (79)$$

ЛАЖС:

$$L(\omega) = 20\lg A(\omega) = 20\lg k + 20\lg \omega \quad (80)$$

$$\omega_c = k \quad (81)$$

интегралдайтын буынның кесік жиілігінде абцисса өсін қиып өтетін түзу сызық, $+20$ дБ/дек көлбеуі бар.

ЛФЖС: жиіліктен тәуелсіз және абцисса өсіне ара-қашықтықта $\frac{\pi}{2}$ паралельді өтеді.

- Реалды дифференциалдайтын (баяулауы бар дифференциалдайтын буын): жиіліктік беріліс функция:

$$W(j\omega) = \frac{kj\omega}{1 + j\omega T} \quad (82)$$

жиіліктік беріліс функциясының модулі (*АЖС*):

$$A(\omega) = \frac{k\omega}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \quad (83)$$

жиіліктік беріліс функциясының аргументі (*ФЖС*):

$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \arctg \omega T \quad (84)$$

ЛАЖС:

$$L(\omega) = 20 \lg k + 20 \lg \omega - 20 \lg \sqrt{1 + \omega^2 T^2} \quad (85)$$

Бұл екі кесінділерден сынық қисық. Бірінші кесінді абцисса өсін (57) кесік жиілігінде қиып өтеді және оның көлбеуі +20 дБ/дек-ға тең, (56) сынылу жиілігінде *ЛАЖС* абцисса өсіне паралельді болып, $L(\omega) = 20 \lg \frac{k}{T}$ биіктігінде орналасады.

ЛФЖС *ФЖС*-дан айырмашылығы тек жиілік өсінің логарифмдік шкаласында.

- *Кешігу* буыны:

жиіліктік беріліс функция:

$$W(j\omega) = e^{-j\omega\tau} = \cos \omega\tau - j \sin \omega\tau \quad (86)$$

жиіліктік беріліс функциясының нақты құраушысы:

$$\operatorname{Re}(\omega) = \cos \omega\tau \quad (87)$$

жиіліктік беріліс функциясының жорамал құраушысы:

$$\operatorname{Im}(j\omega) = \sin \omega\tau \quad (88)$$

жиіліктік беріліс функциясының модулі (*АЖС*):

$$A(\omega) = 1 \quad (89)$$

жиіліктік беріліс функциясының аргументі (ФЖС):

$$\varphi(\omega) = -\omega\tau \quad (90)$$

ЛАЖС:

$$L(\omega) = 20\lg 1 = 0 \quad (91)$$

ЛФЖС ФЖС-дан айырмашылығы тек жиілік өсінің логарифмдік шкаласында.

- Консервативтік буын (керітартна буын):

жиіліктік беріліс функциясы:

$$W(j\omega) = \frac{k}{1 - (\omega T)^2} \quad (92)$$

бұл функцияның графигі ω жиілігі 0-ден плюс шексіздікке дейін өзгергенде екі түзу түрінде ұсынылады: ω жиілігі 0-ден $\omega_0 = \frac{1}{T}$ резонансты жиілікке дейін өзгергенде бірінші жарты түзу нақты оң жарты өсінде $\omega = k$ нүктесінде басталып, шексіздікке оң бағытта жүреді; ал екінші жарты түзу $\omega_0 = \frac{1}{T}$ минус шексіздікте басталып, $\omega \rightarrow 0$ теріс нақты жарты өсінен координаттар басына жүреді;

жиіліктік беріліс функциясының нақты құраушысы:

$$\operatorname{Re}(\omega) = \frac{k}{1 - (\omega T)^2} \quad (93)$$

жиіліктік беріліс функциясының жорамал құраушысы:

$$Jm(\omega) = 0 \quad (94)$$

АЖС $\omega = \omega_0$ жиілігінде үзіледі, бұл амплитуданың шексіз өсуіне сәйкес келеді;

ФЖС $\omega = \omega_0$ жиілігінде фазаны 0 –ден $-\pi$ -ге дейін ырғып өзгертеді;

ЛАЖС $\omega_u = \frac{1}{T}$ сынылу жиілігінде үзіледі;

ЛФЖС $\omega_u = \frac{1}{T}$ сынылу жиілігіде фазаның 0 –ден $-\pi$ -ге дейін ығысуына ие болады.

- Кешігуі бар интегралдайтын буын (нақтылы интегралдайтын буын):
жиіліктік беріліс функция:

$$W(j\omega) = \frac{k}{\omega(1 + j\omega T)} \quad (95)$$

жиіліктік беріліс функциясының модулі (АЖС):

$$A(\omega) = \frac{k}{\omega\sqrt{1+\omega^2T^2}} \quad (96)$$

жиіліктік беріліс функциясының аргументі (ФЖС):

$$\varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg}\omega T \quad (97)$$

ЛАЖС:

$$L(\omega) = 20\lg\left[\frac{k}{\omega\sqrt{1+(\omega T)^2}}\right] = 20\lg k - 20\lg \omega - 20\lg \sqrt{1+(\omega T)^2} \quad (98)$$

Бұл екі кесіндіден тұратын сынық қисық. Бірінші кесінді абсцисса өсін (81) сәйкес жиілігінде қиып өтеді және оның көлбеуі +20 дБ/дек-ға тең, (56) сынылу жиілігінде ЛАЖС - 20 дБ/дек-ға сынады және көлбеуі - 40 дБ/дек – ға тең болады

ЛФЖС ФЖС-дан айырмашылығы тек жиілік өсінің логарифмдік шкаласында.

- Изодромды буын:

жиіліктік беріліс функциясы:

$$W(j\omega) = \frac{k(1+j\omega T)}{j\omega} \quad (99)$$

жиіліктік беріліс функциясының модулі (АЖС):

$$A(\omega) = \frac{k\sqrt{1+(\omega T)^2}}{\omega} \quad (100)$$

$$\text{ЛАЖС } L(\omega) = 20\lg \frac{k(1+\omega T)}{\omega} = 20\lg k - 20\lg \omega + 20\lg \sqrt{1+(\omega T)^2} \quad (101)$$

Бұл екі кесіндіден тұратын сынық қисық. Бірінші кесінді абсцисса өсін (81) кесік жиілігінде қиып өтеді және оның көлбеуі +20 дБ/дек-ға тең, (56) сынылу жиілігінде ЛАЖС + 20 дБ/дек-ға сынады және жиілік өсіне паралельді болады. ЛФЖС ФЖС-дан айырмашылығы тек жиілік өсінің логарифмдік шкаласында. Сондай жолмен басқа да буындардың жиіліктік сипаттамаларын табуға болады.

Бақылау сұрақтары:

1. АБЖ-нің қандай қозғалыс режимдерін білесіз?

2. Статикалық режимдегі элементтер мен жүйелер қалай өрнектеледі? Ал динамикалық режимдегі элементтер мен жүйелер қалай өрнектеледі?
3. Қандай типтік әсерлерді білесіз?
4. Бастапқы шарт деп қандай шарттар аталады?
5. Қандай бастапқы шарттар нөлдік, ал қайсысы нөлдік емес деп аталады?
6. Беріліс функцияға және жиіліктік беріліс функцияға анықтама беріңіз.
7. Беріліс функцияны көрсеткіштік, алгебралық және тригонометриялық түрде жазыңыз.
8. Қандай жиіліктік сипаттамаларды білесіз? Олар қалай құрылады?
9. Қандай масштаб логарифмдік, ал қандай жартылай – логарифмдік деп аталады?
10. Қандай буын элементарлы деп аталады?
11. Типтік динамикалық буындардың беріліс функциясының теңдеуін жазыңыз.
12. Типтік динамикалық буындардың уақытты және жиіліктік сипаттамаларын қарастырыңыз.
13. АБЖ-нің қандай сұлбасы құрылымдық деп аталады?

3.1.5 Құрылымдық сұлба. Құрылымдық сұлбаларды түрлендіру (ықшамдау) ережелері

АБЖ-ді талдау үшін олардың *құрылымдық сұлбалары* пайдаланылады. Функционалдық элементтері типтік динамикалық буындармен ұсынылған басқару жүйесінің сұлбасы *құрылымдық сұлба* деп аталады. Құрылымдық сұлбаларда барлық әсерлерді лапластық көріністер түрінде ұсыну қажет. Күрделі құрылымдық сұлбаларды ықшамдау үшін арнайы түрлендіру ережелерін қолданады. Құрылымдық сұлбалардың эквиваленттіге түрлендірудің негізгі шарты – жүйенің динамикалық сипаттамаларын өзгертпеу.

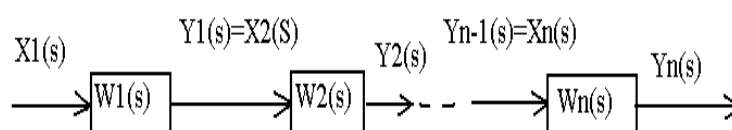
Үш негізгі ереже, буындардың мына үш типтік қосылыстарына қатысты:

- тізбектелген;
- параллелді;
- параллелді-кездеспелі.

Егер осы қосылыстар бағытталған әсерлі элементтерден құралса, онда бұндай қосылыс статикалық және динамикалық сипаттамалары қосылыстың қасиеттеріне эквивалентті болатын бір элементпен ауыстырылуы мүмкін.

Осы буындардың типтік қосылыстарын олардың беріліс функциялары белгілі деп қарастырайық.

• Буындардың тізбектелген қосылысы – алдыңғы тұрған буынның шықпалық шамасы келесі буынның кірмелік шамасы болып табылатын екі немесе одан көп буындар қосылысы (сурет 11).



11 сурет. Динамикалық буындардың тізбектелген қосылысы

Буындардың тізбектелген қосылысына эквивалентті буынның $W(s)$ беріліс функциясын табайық. Эквивалентті буынның ізделетін беріліс функциясы:

$$W(s) = \frac{Y_n(s)}{X_1(s)} = \frac{Y_n(s)}{X_n(s)} \cdot \frac{X_n(s)}{X_{n-1}(s)} \cdot \dots \cdot \frac{X_2(s)}{X_1(s)} = \frac{Y_n(s)}{X_n(s)} \cdot \frac{Y_{n-1}(s)}{X_{n-1}(s)} \cdot \dots \cdot \frac{Y_1(s)}{X_1(s)} =$$

$$W_n(s) \cdot W_{n-1}(s) \cdot \dots \cdot W_1(s) = \prod_{i=1}^n W_i(s). \quad (102)$$

Буындардың тізбектелген қосылысының жиіліктік беріліс функциясы:

$$W(j\omega) = \prod_{i=1}^n W_i(j\omega) = \prod_{i=1}^n A_i(\omega) e^{j\phi_i(\omega)} = e^{j\sum_{i=1}^n \phi_i(\omega)} \prod_{i=1}^n A_i(\omega) \quad (103)$$

Осы өрнектен буындардың тізбектелген қосылысында олардың АЖС қосылатынын, ал ФЖС көбейтілетінін көреміз.

Буынның тізбектелген қосылысының логарифмдік жиіліктік сипаттамалары:

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = \sum_{i=1}^n 20 \lg A_i(\omega) = \sum_{i=1}^n L_i(\omega), \quad (104)$$

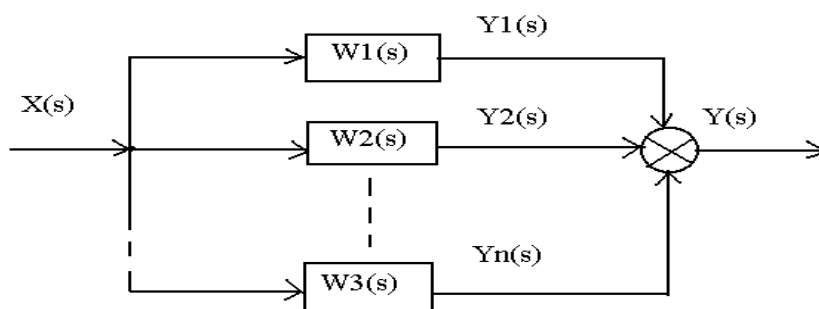
яғни буындардың тізбектелген қосылысының ЛАЖС, олардың ЛАЖС – ның қосындысына тең болады.

Бұл жағдайда статикалық сипаттама сызықты болады, оның абцисса өсіне көлбеу бұрышы

$$\alpha = \text{arctg } k. \quad (105)$$

• Буындардың параллелді қосылысы – барлық буындардың кірмелік шамасы бірдей болып, ал олардың шықпалық шамалары қосылатын екі немесе одан көп буындардың қосылысы. (12 сурет)

Буындардың параллельді қосылысына эквивалентті буынның $W(s)$ беріліс функциясын анықтайық. Эквивалентті буынның беріліс функциясы:



12 сурет. Динамикалық буындардың параллелді қосылысы

Эквивалентті буынның беріліс функциясы:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i(s)}{X(s)} = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i(s)}{X_i(s)} = \sum_{i=1}^n W_i(s). \quad (106)$$

Паралельді қосылыстың жиіліктік беріліс функциясы:

$$W(j\omega) = \sum_{i=1}^n W_i(j\omega) \quad (107)$$

Әр жиілік үшін параллелді қосылыстың АФС векторы қосылысқа кіретін буындардың АФС векторларының қосындысына тең, демек қосылыстың векторының нақты және жорамал өсітеріне проекциясы сәйкесінше жеке векторлардың проекцияларының қосындысына тең:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{Re}(\omega) &= \sum_{i=1}^n \operatorname{Re}_i(\omega), \\ \operatorname{Im}(\omega) &= \sum_{i=1}^n \operatorname{Im}_i(\omega), \end{aligned} \right\} \quad (108)$$

осының негізінде жазылады:

$$\left. \begin{aligned} A(\omega) &= \sqrt{\operatorname{Re}^2(\omega) + \operatorname{Im}^2(\omega)}, \\ \varphi(\omega) &= \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im}(\omega)}{\operatorname{Re}(\omega)}. \end{aligned} \right\} \quad (109)$$

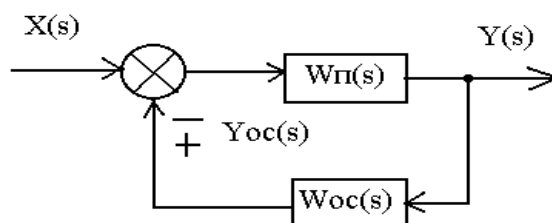
Статикалық сипаттамалары белгілі буындардың параллелді қосылысының статикалық сипаттамасын құру үшін, осы сипаттамаларды бір координаттар жүйесінде құрып кіріс шамасының бірдей мәндері үшін олардың ординаталарын қосу керек.

• *Буындардың параллельді – қарама-қарсы қосылысы (буындардың параллелді – қарама-қарсы қосылысы кері байланысы бар буындар қосылысы – бір буынның шығыс шамасы сол буынның кірісіне басқа буын арқылы берілетін буындар қосылысы. (13 сурет).*

Буындардың параллелді – қарама-қарсы $W(s)$ эквивалентті буынның $W(s)$ беріліс функциясын анықтайық. Буындардың параллелді – қарама-қарсы қосылысының шығыс шамасы келесі өрнектерден табылады:

$$\left. \begin{aligned} y &= \phi_m \varepsilon = \phi_m (x - y_0), \\ y_0 &= \phi_{кб}, \end{aligned} \right\} \quad (110)$$

мұндағы ϕ_m , $\phi_{кб}$ – сәйкесінше тура тізбектің және кері байланыс тізбегінің статикалық сипаттамалары.



13 сурет. Динамикалық буындардың параллелді – қарама-карсы қосылысы

Осы теңдеулер жүйесін у-ке қатысты есептеп шығарып және буындарды олардың беріліс функцияларымен ұсынып аламыз:

$$Y(s) = \frac{W_m(s)}{1 \pm W_m(s)W_{кб}(s)} X(s), \quad (111)$$

мұндағы $W_m(s)$ және $W_{кб}(s)$ – буындардың параллелді – қарама-карсы қосылысының сәйкесінше тура тізбектің және кері байланыс тізбегінің статикалық сипаттамалары.

Теңдіктің екі жағында $X(s)$ - ке бөліп келесіні аламыз:

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{W_m(s)}{1 \pm W_m(s)W_{кб}(s)} \quad (112)$$

$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$ болатынын ескеріп, буындардың параллелді – қарама-карсы қосылысының беріліс функциясын табамыз:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{W_m(s)}{1 \pm W_m(s)W_{кб}(s)} \quad (113)$$

Беріліс функцияның бөлімінде оң кері байланыс болғанда «-» белгісі, теріс кері байланыс болған кезде «+» белгісі қойылады.

Буындардың параллелді – қарама-карсы қосылысының жиіліктік беріліс функциясы:

$$W(j\omega) = \frac{W_m(j\omega)}{1 \pm W_m(j\omega)W_{кб}(j\omega)} \quad (114)$$

$W_{кб}(s) = 1$ болған жағдайда *бірлік кері байланыс* деп аталады, ал бірлік кері байланысы бар буындардың параллелді – қарама-қарсы қосылысының беріліс функциясы:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{W_m(s)}{1 \pm W_m(s)} \quad (115)$$

Бірлік кері байланысы бар буындардың параллелді – қарама-қарсы қосылысының жиіліктік беріліс функциясы:

$$W(j\omega) = \frac{W_m(j\omega)}{1 \pm W_m(j\omega)} = \text{Re}(\omega) + j\text{Im}(\omega) \quad (116)$$

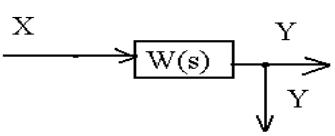
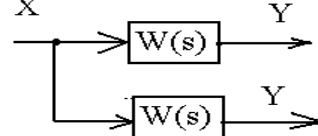
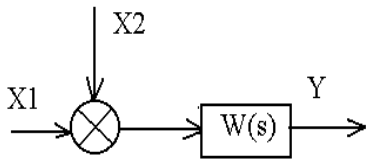
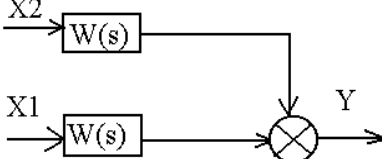
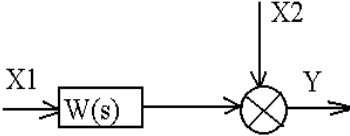
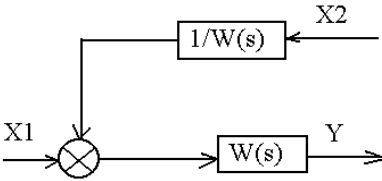
Егер буындардың параллелді – қарама-қарсы қосылысының жиіліктік функциялары үшін, қосылысқа кіретін буындардың жиіліктік функциялары мен байланысының қарапайым аналитикалық өрнектері болмаса, онда практикада қосылыстың АФС-ның нақты және жорамал құраушыларын табу үшін арнайы номограммаларды қолданады.

Қарастырылған ережелер көмегімен буындар арасында қиылысқан байланыстары жоқ кез келген құрылымдық сұлбаны қарапайым түрде келтіруге болады. Егер де сұлба көпконтурлы болса және қиылысқан байланыстары болса, онда бұл ережелерді тек осы қиылысқан байланыстарды жойғаннан кейін ғана қолдануға болады.

Қиылысқан байланыстарды жою үшін 3 кестеде келтірілген құрылымдық сұлбаларды түрлендірудің қосымша ережелерін қолданады.

3 кесте. Құрылымдық сұлбаларды түрлендірудің қосымша ережелері

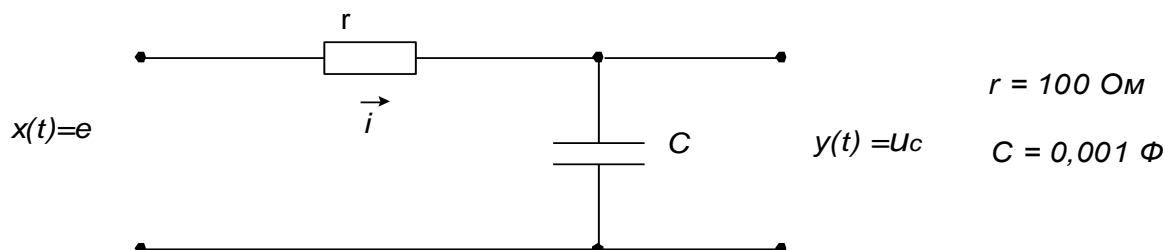
№	Операция	Бастапқы сұлба	Түрлендірілген сұлба
1	Тармақталу түйіндерін алмастыру		
2	Сумматорларды алмастыру		
3	Тармақталу түйінін арқылы көшіру буын ілгері		

4	Тармақталу түйінін арқылы көшіру		
5	Сумматордың түйінін арқылы көшіру		
6	Сумматорды түйінін арқылы көшіру		

Құрылымдық сұлбалардың басқа да дербес түрлендіру ережелерін қолдануға болады.

3.1.5 АБЖ элементінің статикалық және динамикалық сипаттамаларын анықтау мысал

АБЖ-нің элемент үшін (төртбұрышта), оның сұлбасы мен параметрлері 14 суретте көрсетілген, келесі статикалық және динамикалық сипаттамаларын табамыз: дифференциалдық теңдеу, өтпелі функцияны, беріліс функцияны, беріліс коэффициентті, жиіліктік (амплитудалық-фазалық, амплитудалық, фазалық, логарифмды амплитудалық) сипаттамалары.



14 сурет. Элементтің сұлбасы мен параметрлері

Элементтің дифференциалдық теңдеуін құрастыру

Сызықтық электрлік тізбектер заңы бойынша келесі теңдеулерді жазамыз:

$$r i + u_c = e ; \quad (117)$$

$$i = c \frac{du_c}{dt}. \quad (118)$$

Тоқтың мәнін (118) теңдеуден (117) қойсақ, дифференциалдық теңдеуі:

$$rc \frac{du_c}{dt} + u_c = e. \quad (119)$$

Параметрлерің r және c төртұшты элементтің (119) нақты дифференциалдық теңдеуі:

$$0,1 \frac{du_c}{dt} + u_c = e. \quad (120)$$

Элементтің өтпелі функциясын табамыз

Төртұштың кіру сигналы бір сатылы әсерлікке тең деп аламыз. $e = 1(t)$. Онда оның шығу сигналы өтпелі функцияға тең болады $u_c = h(t)$.

(120) теңдеуінде айтылғаны есебімен оны келесі түріне келтіреміз:

$$0,1 \frac{dh(t)}{dt} + h(t) = 1(t). \quad (121)$$

Өтпелі функцияның мәжбүрлі құраушысын (121), теңдеуден табымыз оның туындысы

$$dh(t)/dt = 0, h_g(t) = 1 \quad (122)$$

Сипаттамалық теңдеу (121) дифференциалдық теңдеуге сәйкес келетін құрастырамыз

$$0,1p + 1 = 0 \quad (123)$$

Сипаттамалық теңдеудің буыны $p = -10$.

Өтпелі функцияның еркін құраманы теңдеу бойынша анықтаймыз

$h_c(t) = \sum_{k=1}^n C_k e^{p_k t}$, егер $n = 1$ және $p_1 = -10$, аламыз:

$$h_c(t) = C_1 e^{-10t} \quad (124)$$

Өтпелі функцияны табамыз егер оның (122) мәжбүрлі және (124) еркін құрамаларын соммаласақ

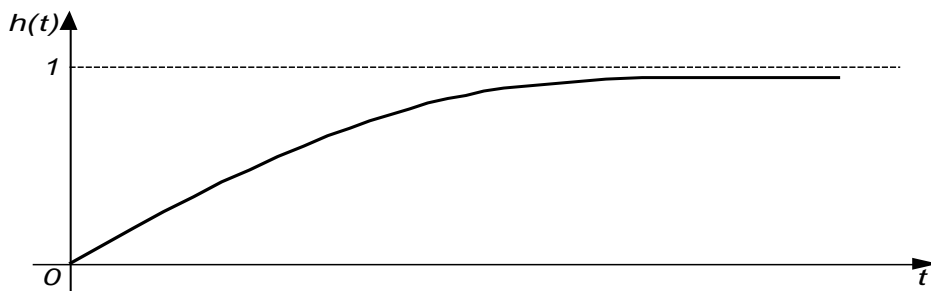
$$h(t) = h_g(t) + h_c(t) = 1 + C_1 e^{-10t}. \quad (125)$$

(125) теңдеуден ноль бастапқы шарттар бойынша ($h(0) = 0$) коэффициент $C_1 = -1$ анықтаймыз

Осы коэффициенттің мәнін (125) теңдеуге қойсақ, элементтің ізделіп отыратын өтпелі функциясын табамыз:

$$h(t) = 1 - e^{-10t}. \quad (126)$$

15 суретте элементтің өтпелі функцияның графигі көрсетілген



15 сурет. Элементтің өтпелі функцияның графигі

Элементтің беріліс функциясын табу.

Дифференциалдық теңдеуде (120) оң және сол жақты полиномдардың дәрежесі келесі $m = 0$ және $n = 1$. Онда осы теңдеунің коэффициенттері

$$b_0 = 1; a_0 = 0,1; a_1 = 1.$$

Осы коэффициенттер және теңдеу бойынша

$W(p) = \frac{K(p)}{D(p)} = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n}$ элементтің ізделіп отыратын беріліс функциясын табамыз:

$$W(p) = \frac{1}{0,1p + 1}. \quad (127)$$

Элементтің беріліс коэффициентін табу.

Элементтің ізделіп отыратын коэффициентін келесі теңдеу бойынша анықтаймыз

$$k = W(0) = \frac{b_m}{a_n} \text{ егер } b_0 = 1 \text{ және } a_1 = 1 \text{ тең: } K = \frac{1}{1} = 1. \quad (128)$$

немесе (127) теңдеуден егер $p=0$ тең:

$$K = W(0) = \frac{1}{0+1} = 1. \quad (129)$$

Элементтің жиіліктік сипаттамаларын анықтау.

Элементтің амплитуда-фазалық жиіліктік сипаттамасын (АФЖС) келесі теңдеуден табамыз $W(j\omega) = W(p)|_{p=j\omega}$ оған беріліс функциясын қойсақ (127) егер $p = j\omega$:

$$W(j\omega) = \frac{1}{0,1j\omega + 1} = \frac{1 - 0,1j\omega}{1 + (0,1\omega)^2} = \frac{1}{1 + 0,01\omega^2} - j \frac{0,1\omega}{1 + 0,01\omega^2}. \quad (130)$$

АФЖС түрі кешенді жазықтығы 16 а суретте келтірілген (130) теңдеуден нақты және жорамал жиіліктік сипаттамалар

$$P(\omega) = \frac{1}{1 + 0,01\omega^2}; \quad (131)$$

$$Q(\omega) = -\frac{0,1\omega}{1 + 0,01\omega^2}. \quad (132)$$

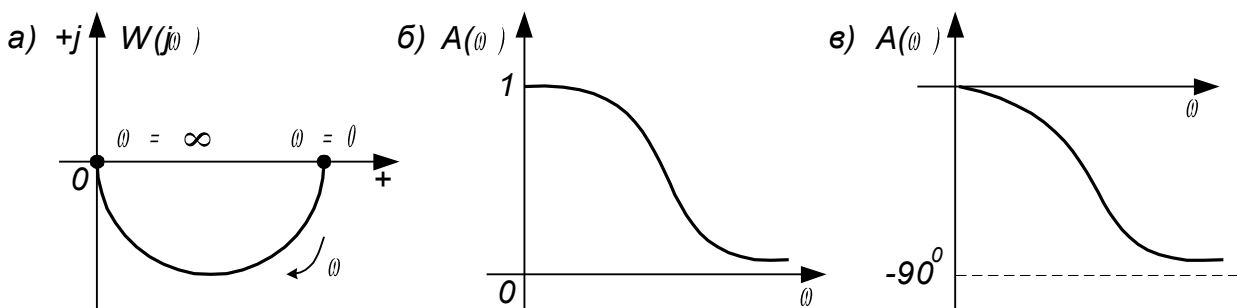
Осы сипаттаманың мәндерді теңдеуге қойсақ:

$A(\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)}$, и $\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)}$, амплитудалық және фазалы жиіліктік сипаттамаларға ізделіп отыратын теңдеуін табамыз:

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,01\omega^2}}; \quad (133)$$

$$\varphi(\omega) = \arctg(-0,1\omega). \quad (134)$$

Амплитудалық және фазалы жиіліктік сипаттамалар 16 б, в. суретте көрсетілген



16 сурет. Элементтің жиілікті сипаттамалары:
а – амплитудалы – фазалы; б – амплитудалық; в – фазалық.

Бақылау сұрақтары:

1. Құрылымдық сұлбаларды түрлендірудің үш басты ережелерін (буындар арасындағы қиылысу байланыстарысыз) атаңыз?
2. Буындардың: тізбектелген, параллелді және параллелді-кездеспелі қосылыстарының эквивалентті беріліс функциясын анықтайтын теңдеулерді жазыңыз.
3. Буындардың: тізбектелген, параллелді және параллелді-кездеспелі қосылыстарының жиіліктік сипаттамалары қалай анықталады.
4. Құрылымдық сұлбаларды (буындар арасында қиылысқан) түрлендірудің қосымша ережелерін атаңыз.
6. АБЖ-ның қозғалыс режимдерін білесіз бе?
7. Статикалық режимінде жүйе мен элементтер қалай суреттеледі? Динамикалық режимінде ше?
8. Типтік әрекеттенуді білесіз бе?
9. Алғашқы шарттар қалай аталады?
10. Беріліс функциясын көрсеткіштік, алгебралық, тригонометриялық түрде жазыңыз.
11. Жиілікті сипаттамаларды білесіз бе? Олар қалай тұрғызылады?
12. Логарифмді масштабты қалай атайды, ал жартылай логарифмді қалай атайды?
13. Элементарды буынды қалай атайды?
14. АБЖ-ның қандай сұлбасын құрылымдық деп атайды?

4 Автоматты басқару жүйесін зерттеу әдістері

4.1 Сызықты автоматты басқару жүйесін зерттеу әдістері

Мақсаты: Толассыз және дискретті АБЖ моделін оқыту

Жоспары:

4.1.1 САУ топтастырылуы

4.1.2 АБЖ-нің әдеттегі дифференциалды теңдеуінің сипаттамасы

4.1.1 САУ топтастырылуы

АБЖ жүйеге әсер етуі бойынша, дабыл түрлерінің тәуелділігіне байланысты: **толассыз және дискретті** болып бөлінеді.

Толассыз АБЖ- толассыз(аналогты) әсер етеді, дабылдың әрбір кезеңінің уақытында анықталатын жүйе.

Дискретті АБЖ – тым болмағанда бір дискретті әсер ететін, дабылдың кейбір кезеңінің уақытында анықталатын жүйе.

Дискретті АБЖ мысалы:өзінің құрамында есептеуіш құрылғысы бар: микропроцессорлар, басқарғыштар, электронды есептеуіш машиналарынан тұрады.

АБЖ басқарылатын аумақтық орнатылған режимінің тәуелділік дәрежесінің кері ықпалына байланысты: статикалық және астатикалық болып бөлінеді.

Статикалық АБЖ – басқарылатын аумақтың тәуелділігі бекітілген режимде кері ықпал келтіретін аумағы бар жүйе.

Астатикалық АБЖ – басқарылатын аумақтың тәуелділігі бекітілген режимде кері ықпал келтіретін аумағы болмайтын жүйе.

Дифференциалдық теңдеудің түрлеріне, АБЖ сипаттайтын элементтеріне байланысты: **Сызықтық және сызықтық емес** болып бөлінеді.

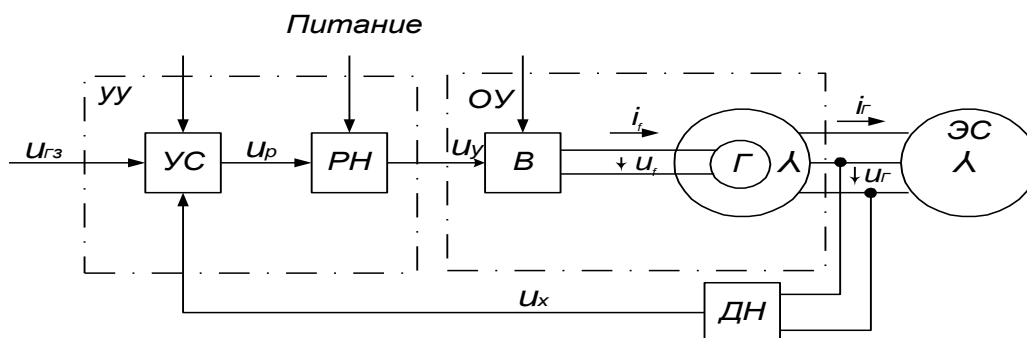
Сызықтағы АБЖ – барлық элементтері сызықтық дифференциалдық немесе алгебралық теңдеуін сипаттайтын жүйе.

Сызықтық емес АБЖ – тым болмағанда бір элемент сызықтық емес дифференциалдық немесе алгебралық теңдеуін сипаттайтын жүйе.

АБЖ энергия көзінің тиесілі тәуелділігі, басқаратын ықпал көмегімен өзгешеленуі: **түзу әрекет және түзу емес әрекет** болып бөлінеді.

Түзу әрекеттің АБЖ – басқаратын ықпал жасайтын энергия нысанын басқару көмегімен құралатын жүйе. Оған қарапайым тұрақтандыру жүйесі (деңгейдің, шығынның, қысымның және т.б) қабылдайтын элементтің иіктіректі жүйесі арқылы тікелей атқарушы органға (қалқалағышты, қақпақты және д т.) әсер етеді.

Түзу емес әрекеттің АБЖ – басқаратын ықпал жасайтын қосымша энергия көзінен құралатын жүйе. Мысалы: АБЖ синхронды қоздыру генераторымен (17 сурет) басқару қуаты u_y (басқарылатын ықпал) реттегіш қуаты КР жасалатын, қосымша азықтандыру көзінен алатын энергия.



17 сурет. Автоматты басқару жүйесінің синхронды қоздырғыш генераторының құрылымы

Жүйенің мақсаты - тұрақты кернеудің статор орамасының тұжырымдарында генератордағы токтың өзгеріс жолын оның қоздырғыш орамасында қолдау $x(t)$ басқарылатын аумағымен жүйеде u генератордың кернеуі болып табылады. Дабыл u_x ($x_k(t)$ бақылау әсері) белгісі, пропорционал u_G кернеуінің, кернеуінің құрылғысымен КҚ өндіріледі және СҚ салыстыру құрылғысымен беріледі, ол u_G (беруші ықпалымен) $x_3(t)$ тапсырмасымен салыстырылады. Белгінің және аумақтың дабыл тәуелділігінің келісілмеуі u_p кернеу реттегіш РН дабыл басқармасы u_y құрайды (басқыратын ықпал $u(t)$) қоздырғыштың тоғының жоғарылауына немесе төмендеуіне i_f қоздырғыштың шығысына әсер етеді В. Бұл қоздырушы ток генератордың кернеуін анықтайды u_G кернеуін анықтайды. Негізгі кері ықпал $z_o(t)$ i_G генератордың жүктемесінің тізбегінде электр жүйесімен ЭЖ байланыс қатарында болып табылады. Басқару нысанының БҚ сапасында берілген жүйе бойынша синхронды генераторды СГВ қоздырғышымен қарауға болады. Басқаратын құрылғыға БҚ салыстыру құрылғысы СҚ және КР кернеу реттегіш жатады.

4.1.2 АБЖ-нің әдеттегі дифференциалды теңдеуінің сипаттамасы

Әдеттегі дифференциалдық теңдеу АБЖ элементінің өткізетін сипаттамасының ең ортақ және толық пішіні болып табылады. Бір кіріс дабыл сигналы бар элемент үшін $x(t)$ және бір кірісі $y(t)$ әдеттегі дифференциалдық теңдеудің жағдайы үшін түрлері мынадай:

$$\Phi[y(t), y'(t), \dots, y^{(n)}(t); x(t), \dots, x^{(m)}(t), t] = 0, \quad (135)$$

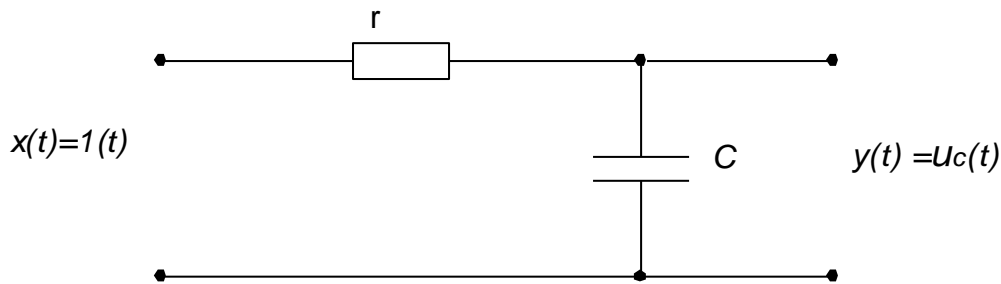
мұндағы t – тәуелсіз айнымалы (әдеттегі уақыт)
шынайы жүйе үшін $m \leq n$.

Бұл элементтің динамика(қозғалыс) теңдеуі. Қозғалыс кең мағынада, қашанда қозғалыстың астында кез келген дабыл өзгерісі болатынын түсіндіреді. Дифференциалдық теңдеу: (135) **сызықтық және сызықтық емес** болу мүмкін

Сызықтық дифференциалдық теңдеу – Φ функциясы барлық аргументтеріне сызықтық қарым-қатынаста болатын теңдеу. $y(t), y'(t), \dots, y^{(n)}(t); x(t), \dots, x^{(m)}(t), t$.

Мысалға алар болсақ, төртпюлюсті сызықтық элементінің өткізетін ерекшелігіне байланысты сызықтық дифференциалдық теңдеу мына түрде сипатталады:

$$rc \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t) - \mathbf{1}(t) = 0. \quad (136)$$

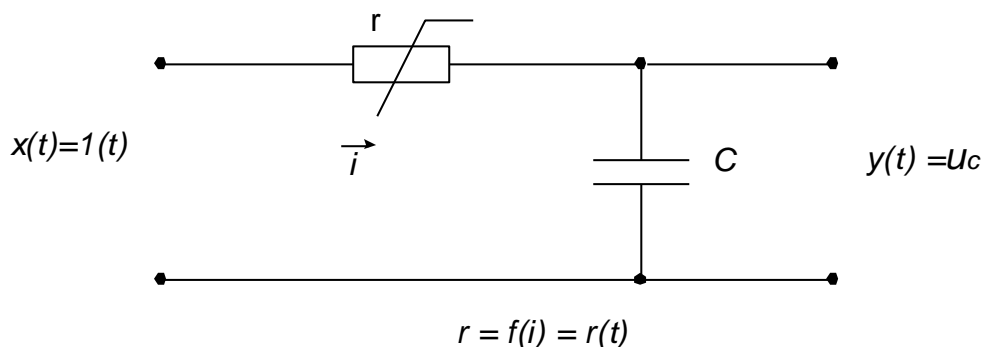


18 сурет. Төртпюлюсті сызықтық элемент сұлбасы

Сызықтық емес дифференциалдық теңдеу – Φ функциясы көбейтінді мазмұны, жеке, дәреже және т.б айнымалы $y(t), x(t)$ және олардың туындысы болатын теңдеу.

Мысалы, төртпюлюсті сызықтық емес резистордың өткізетін ерекшелігі (сурет 19) *сызықтық емес* дифференциалдық теңдеуі түрінде сипатталады:

$$r(t)c \frac{du_c(t)}{dt} + u_c(t) - \mathbf{1}(t) = 0. \quad (137)$$



19 сурет. Төртпюлюсті сызықтық емес резистор сұлбасы

Сонымен қатар Φ функциясына (дифференциалдық теңдеу) параметрлер деп аталатын көлемдерде кіреді. Олар өзара аргументтермен байланысып ($y(t), y'(t), \dots, y^{(n)}(t); x(t), \dots, x^{(m)}(t), t$) және элементтің ерекшелігін сандық жағынан сипаттайды. Мысалы, параметрлерге дененің массасы, активтік кедергі, индуктивтілік және өткізгіштің сыйымдылығы және т.б жатады.

Көбіне шынайы элементтер болып, сызықтық емес дифференциалдық теңдеу сипатталады, бұл бірталай АБЖ кейінгі анализін күрделендіреді. Сол себептен сызықтық емес түрден сызықтық түрге көшуге тырысады:

$$a_0 \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y(t) = b_0 \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_m x(t). \quad (138)$$

Барлық шынайы элементтер үшін $m \leq n$ шарты орындалады.

$a_0, a_1 \dots a_n$ және $b_0, b_1 \dots b_m$ коэффициенттері теңдеуде параметрлер деп аталады. Кейде параметрлер уақыт бойынша өзгереді, сол кезінде элементтер тұрақсыз немесе айнымалы параметрлер деп аталады. Оған мысалы, төрт полюстілік жатады, 19 суретінде сұлбасында келтірілген. Бірақ кейінгі талқылауларда тек қана *тұрақты* параметрлерді қарастырамыз.

Егер дифференциалдық сызықтық теңдеуді құрастырғанда элементтің статикалық мінездемесінің сызықтықтары жүзеге асса, онда ол әділ түрде бар болғаны сызықтандыру нүктелерінің айналасында x және y , x_0 және y_0 айнымалы ауытқуларында жазыла алады:

$$\Delta y = y - y_0; \quad (139)$$

$$\Delta x = x - x_0. \quad (140)$$

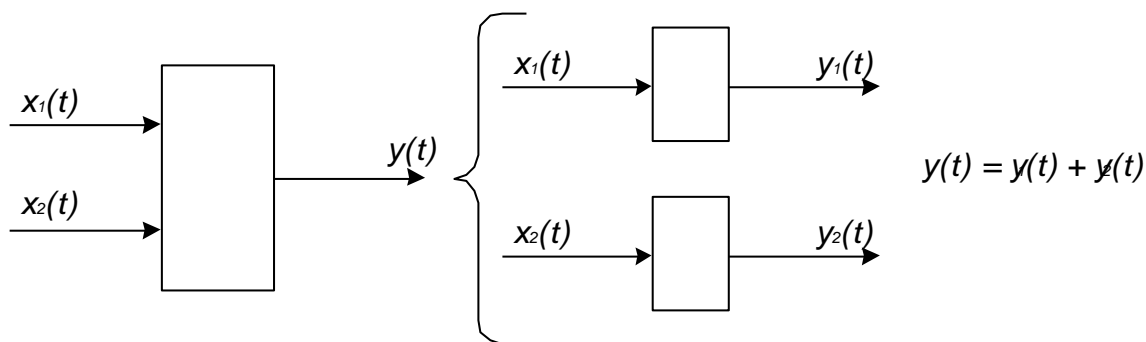
Ендеше осы белгілерді есепке ала отырып мына түрді қабылдаймыз:

$$\Delta y = k \Delta x, \quad (141)$$

мұнда $k = y'(x_0)$ – элементтің өткізгіш коэффициенті,
оның статикалық режимдегі өткізетін ерекшелігін сипаттайды

Алайда, жазбаларды жеңілдету мақсатында, айнымалыларды ауып кетулерді сызықтандыру теңдеулерін бұрынғы символдар бойынша белгілейміз немесе бастапқы сызықтық емес теңдеумен, бірақ Δ символынсыз.

Сызықтық теңдеудің маңызды тәжірибелік құндылығына (138) қабаттасу ұстанымы мүмкіндігін қолдану, $y(t)$ шыға беріс аумағының өзгеруіне сәйкес элементке бірнеше кіріс дабылдарының $x_i(t)$ пайда болуы, шыға беріс аумағының $y_i(t)$ өзгерісінің жиынтығына тең жеке әрбір дабыл шақырушы $x_i(t)$ болып табылады. (20 сурет).



20 сурет. Қабаттасу ұстанымының суреттемесі

Бақылау сұрақтары:

1. Автоматты басқару жүйелері қандай белгілерге топтастырылады?
2. Қандай АБЖ толассыз деп аталады?
3. Қандай АБЖ дискретті деп аталды?
4. Әдеттегі дифференциалдық теңдеу қалай құралады?

4.2 Сызықтық емес АБЖ зерттеу әдістері

Мақсаты: сызықсыз жүйелер, сызықтық айырмашылықтары болатын ерекшеліктерді анықтау; сызықтық емес негізгі көрсеткіштерді зерттеу; сызықсыз дифференциалдық теңдеулердің шешу тәсілдерін қарастыру; сызықсыз жүйелердің негізгі әдістерін зерттеу.

Жоспар:

4.2.1 Сызықсыз АБЖ ұғымы. Сызықсыздықтың классификациясы

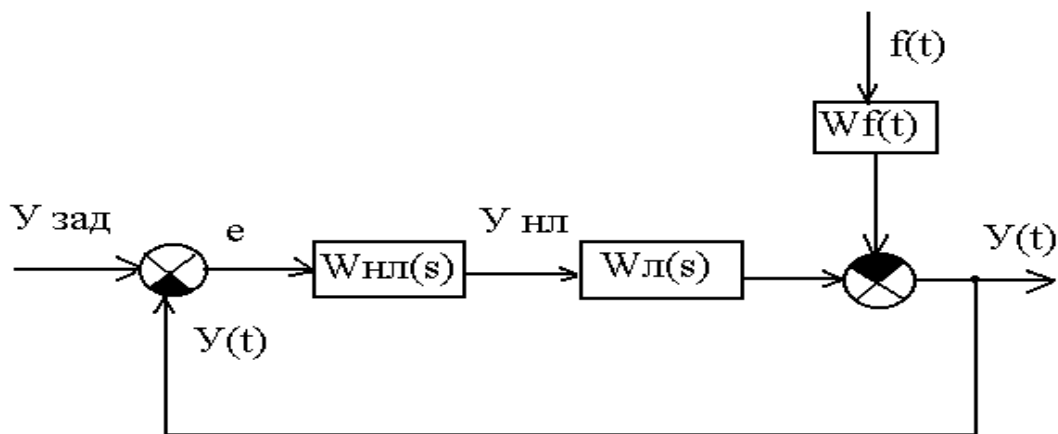
4.2.1 Сызықсыз АБЖ ұғымы. Сызықсыздықтың классификациясы

Сызықсыз деп - қозғалыстың серпіні, сызықсыз дифференциалдық теңдеумен суреттелген автоматтық басқару жүйесін атайды. Егер АБЖ-ның бір буыны сызықсыз статикалық сипаттамаға ие болса, онда АБЖ толығымен сызықсыз болып саналады. Сызықсыз АБЖны көбінесе екі жүйенің бөліктерінің тізбектей жалғаулар түрінде таныстыруға болады: сызықтық және сызықсыз (көрсетілгендей 21 сурет)

$W_d(s)$ – сызықтық жүйелердің элементтері $W_{нл}(s)$ - сызықтық емес жүйелердің элементтері. $W_f(s)$ - басқару элементтері

САУ жүйелерінің көбісі сызықсыз. Сызықсыздықтарды екі топқа бөлуге болады: тегіс болмысы жоқ немесе тегіс болмысы бар.

Тегіс болмыс сызықсыздықтарға бөлімше аргументтінің өзгерісінің диапазоны, сызықты жүйенің мәндеріне жақын келетін, және де ол бөлімшелердің мәнін сызықтық мәндермен ауыстыруға болатын сызықсыздықтар жатады.



21 сурет. Сызықсыз АБЖ сызбасы

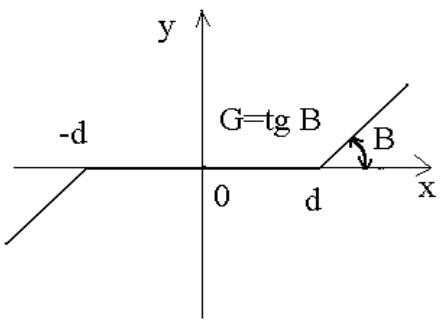
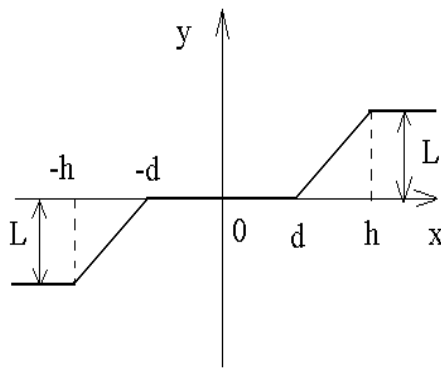
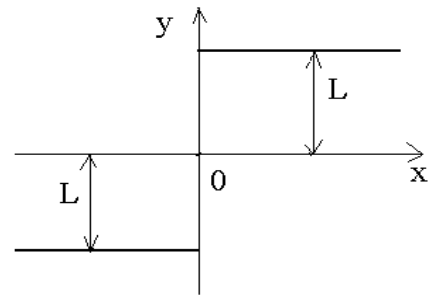
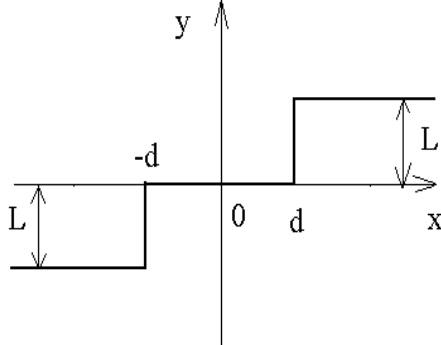
Мұндай диапазонда алынған АЖБ аргументтерін сызықтық деп санауға болады және де оларды сызықтық АБЖ тәріздес талдау жасауға болады.

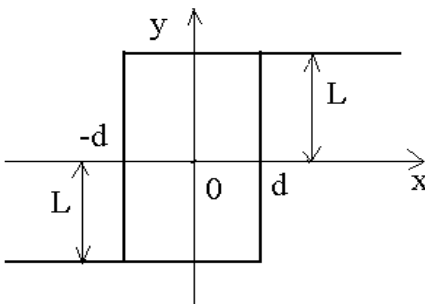
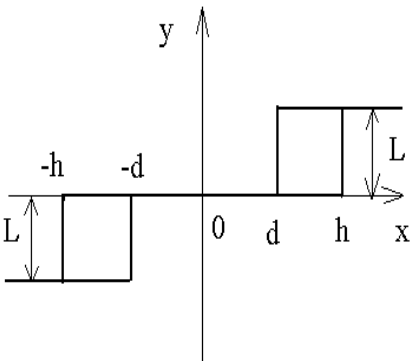
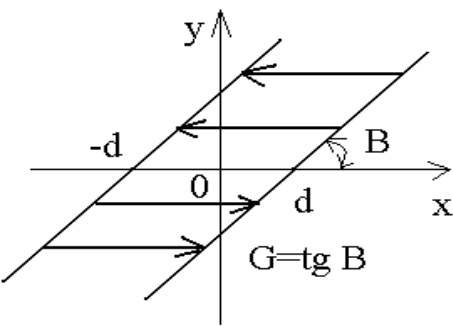
Елеулі сызықсыздықтар, әдетте, бөлшектелген немесе бір мәнді емес функциялармен немесе оралымдары бар функциялармен сипатталады. Кез келген кіріске әсер етуші мәндерінің ауысуы барлық жағдайларда сызықсыз. Елеулі сызықсыздықтар өте көп. Бұндай сызықсыздықтардың көпшілігі 4 кестеде көрсетілген

Кестеде көрсетілген мысалдардағы буындар толықтыққа талпынбайды. Мұндай сызықсыз сипаттамалардың элементтері басқа да физикалық әсерлерден иемдене алады. Сызықсыз АБЖ сызықтық АБЖ-мен салыстырғанда күрделірек және де түрлі динамикалық процестермен сипатталады. Сызықсыз АБЖ қозғалысының мінезі, нөлдік бастапқы шарттарынан бағынышты болады. Яғни, сызықсыз АБЖ-ның қозғалысы сызықтық АБЖ-мен берілген кезде, сызықтық АБЖ-ның сыртқы ашынуларымен салыстырғанда, белгілі амплитуданың тұрақты амплитудалары – автотербелістер, АБЖ-ның конструктивті ерекшелігін сипаттайды.

4 кесте. Негізгі сызықсыздықтардың 2-ші тобы

Атауы	Статикалық мінездеме түрі	$y = f(t)$	Шынайы құрылғы (мысал)
Қаныққан аймақ		$y = \frac{L}{d}x, x \leq d$ $y = L, x > d$ $y = -L, x < -d$	Электрлік күшейткіштер

<p>Сезгішсіз -дік аймағы</p>		$y = G(x + d),$ $x < -d$ $y = 0, x \leq d$ $y = G(x - d),$ $x > d$	<p>Механика лық күшейткіш -тер</p>
<p>Сезгішсіз -дік және қаныққан аймақ</p>		$y = -L, x < -h$ $y = \frac{L}{h-d}(x + d),$ $-h < x < -d$ $y = 0, x \leq d$ $y = \frac{L}{h-d}(x - d),$ $d < x < h$ $y = L, x > h$	<p>Гидравлик алық және пневматик алық күшейткіш -тер</p>
<p>Идеалды екіорынды реле</p>		$y = L, x > 0$ $y = -L, x < 0$	<p>Идеалды екіорынды электр құрылғыла рдың көрсеткіш тері</p>
<p>Сезгіштік сіз аймақты идеалды реле</p>		$y = -L, x < -d$ $y = 0, x \leq d$ $y = L, x > d$	<p>Идеалды үшорынды электрома гнитті құрылғыла рдың көрсеткіш тері</p>

<p>Екіорынды реле</p>		$\left. \begin{aligned} y = L, x > d \\ y = -L, x < -d \end{aligned} \right\} \text{егер } x_t^1 > 0$ $\left. \begin{aligned} y = L, x > -d \\ y = -L, x < -d \end{aligned} \right\} \text{егер } x_t^1 < 0$	<p>Реле. Шынайы екіорынды ионды қосқыш элемент</p>
<p>Үшорынды реле</p>		$\left. \begin{aligned} y = L, x < h \\ y = 0, -d < x < h \\ y = -L, x < -d \end{aligned} \right\} \text{егер } x_t^1 > 0$ $\left. \begin{aligned} y = L, x > d \\ y = 0, -h < x < d \\ y = -L, x < -h \end{aligned} \right\} \text{егер } x_t^1 < 0$	<p>Шынайы үшорынды қосқыш элемент</p>
<p>Люфт, саңылау немесе кұрғақ сырғанау</p>		$\left. \begin{aligned} y = G(x - d), \\ x_t^1 > 0 \\ y = G(x - d) \\ x_t^1 < 0 \end{aligned} \right\}$	<p>Әр түрлі люфт, саңылауы немесе кұрғақ сырғанауы бар механикалық беріліс</p>

Сызықсыз АБЖның тұрақтылығын сызықты АБЖ тәріздес қарастыруға болмайды. Сызықсыз АБЖ тұрақты бола алады кіші (егер бастапқы қоздырғыштар аз болса) және тұрақсыз үлкен (егер бастапқы қоздырғыштар берілген шарттан асып кетсе). Сызықсыз АБЖ тұрақты аймаққа иемдене алады, және тепе-теңдік жағдайда мәндері реттеле тұрып, асимптотты тұрақтылыққа ие болады. Ол бір немесе бірнеше автотербелісті тұрақты аймаққа ие болуы мүмкін. Сызықсыз АБЖ кіші автотербелісте тұрақсыз ал үлкенде тұрақты автотербеліске ие. Сызықсыз АБЖ тұрақсыз аймақ болуы мүмкін. Сызықсыз АБЖның қасиеттері дифференциалды теңдеумен сипатталады. Олар: фазалы портрет, гармоникалық линеаризация әдісі, припастау әдісі және статикалық линеаризация.

Бақылау сұрақтар:

1. Қандай автоматты басқару жүйелері сызықсыз деп аталады?
2. Қандай дифференциалды теңдеумен АБЖның қозғалысы сипатталады?
3. Сызықсыздықтардың қандай түрлері бар?
4. Сызықсыздықтардың негізгі түрлерін және шынайы құрылғыға мысал көрсетіңіз?
5. Сызықсыз АБЖның қозғалыс сипаты неге тәуелді?
6. Сызықсыз жүйеде қандай жағдайда автотербелістер пайда болады?
7. АБЖның тұрақтылығы қалай шешіледі?
8. Сызықсыз АБЖ қандай қасиетке ие бола алады?

5 Автоматты жүйелердің тұрақтылығы

5.1 АБЖ тұрақтылығы туралы түсінік. АБЖ есептерін талдау

Мақсаты: Автоматты жүйе көрсеткіштерінің мақсаттарын, сызықтық жүйенің тұрақтылығын білу; Кіріс әсерлері алынғаннан кейінгі АБЖның тұрақтылығын есептеу тәсілдері (зертханалық әдіс) . Сипаттамалық теңдеудің түбірінің орналасқанына байланысты тұрақтылығын табу ережесі. АБЖ тұрақтылығының шарттары: алгебралық критериялары, яғни Раус және Гурвица. АБЖның тұрақтылығын Михайлов, Найквист критериялары бойынша логарифмдік қасиеттерін табу.

Жоспар:

5.1.1 Тұрақтылық ұғымының әдістері

5.1.2 Раусс-Гурвиц бойынша тұрақтылықтың алгебралық белгісі

5.1.3 Михайлов белгісі

5.1.4 Тұрақтылықтың амплитуда-фазалық Найквист белгісі

5.1.5 Тұрақтылық аймағының анықтамасы

5.1.1 Тұрақтылық ұғымының әдістері

АБЖ кез келген процессті басқаруға жасалған немесе агрегат жұмысқа қабілетті болу керек. Сонымен қатар көрсеткіштерді керекті шектерде ұстап тұру қасиетіне ие болу керек. Жүйенің жұмысқа қабілеттілігі оның тұрақтылығымен анықталады.

Тұрақтылық - бұл жүйенің бастапқы күйге немесе оған жақын күйге оралу қабілеттілігі.

Тұрақсыз АБЖ тепе теңдік жағдайына оралмайды, керісінше бұл жағдайдан алыстай береді. Тұрақтылығы жоқ жүйе басқару міндеттерін орындай алмайды және де нөлдік немесе кері тиімділікке ие болады. Тұрақсыз жүйе басқару нышанын апаттық жағдайға ұшыратуы мүмкін. Сондықтан жүйенің тұрақтылығы, автоматты басқарудың басты мәселесі болып табылады.

АБЖ тұрақсыздығының мәселесін қарастырайық. АБЖ тұрақсыздығы бұрыс немесе қатты кері байланыстан пайда болады. Соның әсерінен гормоникалық тербілістер режимінде жүйеге тоқтаусыз энергия келуде (таусылуда). Жүйенің энергиясы артуда сондықтан оған тиесілі режимді параметрлер де артуда. Мысалы: реттелетін шама. Мұндай оқиға **резонанс** деп аталып кетті.

АБЖ басты кері байланысының бұрыс әсерінің салдары:

- АБЖның басты кері байланысы дұрысты бұрысқа айналдырып, барлық жүйенің көрсеткіштерін тұрақсыздандырады

- АБЖның көпшілік элементтері инерциялы тұйықталып (мысалы: басқару нысаны), соның әсерінен тербеліс режиміндегі жүйе сигналы басты кері байланыс, кіріс сигналынан біршама артта қалып бір фазада қалып қояды. Бұл байланыстың конструктивтіні теріске айналдырып, тербеліс режиміндегі белгілі бір жиілікте дұрыс жұмыс істеп тұрады. Бұл жүйенің тұрақсыздануына әкеледі.

5.1.2 Раусс-Гурвиц бойынша тұрақтылықтың алгебралық белгісі

Егер жүйе дифференциалдық теңдеулермен берілген болса, тұрақтылықты бағалау үшін Раусс және Гурвиц белгілерін қолданған ыңғайлы. Екі белгілер де есептеу әдістері бойынша айырмашылығы жоқ, сондықтан, олардың қосымшалар аймағын біріктіріп Раусс-Гурвиц белгісі деп атаймыз.

Жүйе дифференциалдық теңдеумен берілген:

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = f(t) \quad (142)$$

Жүйенің тұрақтылығы үшін барлық коэффициенттер a_0, a_{n-1} , анықтауыш Δ_n және оның барлық диагональді минорлары оң болғаны қажетті де жеткілікті. Егер ең болмағанда бір анықтауыш теріс болса, жүйе тұрақсыз. Егер бір анықтауыш нольге тең, қалғандары оң болса, онда жүйе тұрақтылық шекарасында.

Анықтауыш Δ_n есептелуі мүмкін:

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix} = a_n \Delta_{n-1} \quad (143)$$

Басты анықтауыштанлынған диагональді минорлар:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= |a_1| \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 \\ \Delta_3 &= \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 + a_3 \cdot a_4 \cdot 0 + \\ &+ a_0 \cdot a_1 \cdot a_5 - 0 \cdot a_2 \cdot a_5 - a_0 \cdot a_3^2 - a_1 \cdot a_4 \cdot a_1 \\ \Delta_4 &= \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} = a_4 \Delta_3 \end{aligned} \quad (144)$$

Анықтауыштар келесі түрде құрылады: анықтауыштың бас диагоналында екіден бастап барлық коэффициенттер жазылады, яғни a_1 -ден a_{n-1} -ге дейін диагональ үстінен диагональді коэффициенттерден кейін тұрған өсу номерлі коэффициенттер жазылады, диагональ астынан - диагональді коэффициенттен алдын орналасқан кему номерлі коэффициенттер.

Анықтауыштар $\Delta_1, \dots, \Delta_n$ Гурвиц анықтауыштары деп аталады.

Практикада Раусс-Гурвиц белгісі бойынша тұрақтылықты тиімді бағалау үшін және есептеу қолайлы болу үшін төрттен жоғары емес ретті жүйелерді зерттеген жөн.

Мысал:

Дифференциалдық теңдеу берілген

$$2y'''(t) + 4y''(t) + 5y'(t) + 3y(t) + y(t) = f(t) \quad (145)$$

Гурвиц анықтауыштары есептелінеді:

$$\Delta_1 = |4| = 4 > 0$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 4 & 3 \\ 2 & 5 \end{vmatrix} = 4 \cdot 5 - 2 \cdot 3 = 14 > 0$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 4 & 3 & 0 \\ 2 & 5 & 1 \\ 0 & 4 & 3 \end{vmatrix} = 4 \cdot 5 \cdot 3 + 2 \cdot 4 \cdot 0 + 3 \cdot 1 \cdot 0 - 0 \cdot 5 \cdot 0 - 2 \cdot 3 \cdot 3 - 4 \cdot 1 \cdot 4 = 26 > 0$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 4 & 3 & 0 & 0 \\ 2 & 5 & 1 & 0 \\ 0 & 4 & 3 & 0 \\ 0 & 2 & 5 & 1 \end{vmatrix} = 1 \cdot \Delta_3 = 26 > 0 \quad (146)$$

Жүйе тұрақты, себебі барлық коэффициенттер және сәйкес ретті анықтауыштар оң. Тұрақтылықтың жиіліктік белгілері.

5.1.3 Михайлов белгісі

Зерттелуші жүйенің дифференциалдық теңдеуі негізінде сипаттама теңдеу алынды делік:

$$a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0 = 0 \quad (147)$$

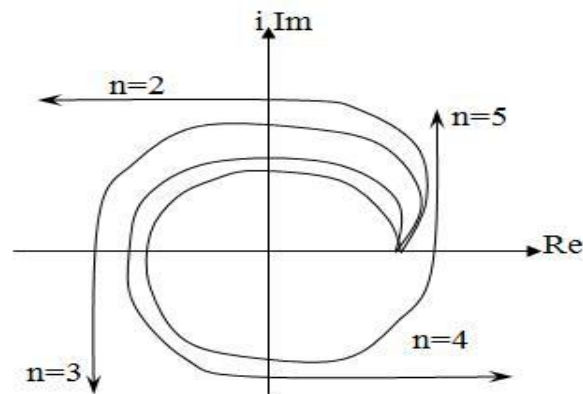
айнымалы түрінде комплексті функциясы құрылады:

$$a_n (i\omega)^n + a_{n-1} (i\omega)^{n-1} + \dots + a_1 i\omega + a_0 = D(i\omega) \quad (148)$$

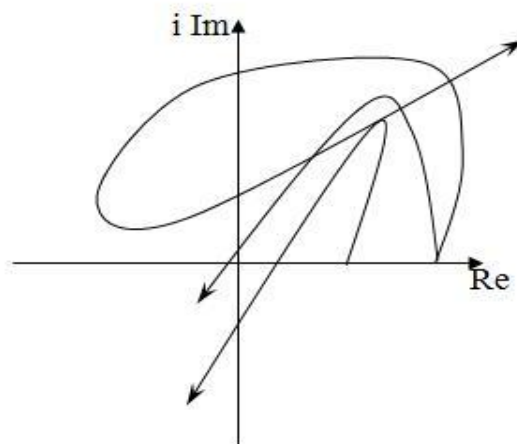
Бұл функция комплексті айнымалы жазықтығындағы вектор түрінде көрсетілуі мүмкін. $0 \leq \omega \leq \infty$ өзгергенде $D(i\omega)$ функциясының векторы өз ұзындығын ω мәніне тәуелді түрде өзгерте отырып координаталар басынан айналады. Векторлар ұшын қосатын қисық Михайлов годографы деп аталады. Жүйе тұрақтылығы үшін годограф жиіліктің ω 0-ден ∞ -ке дейін өзгеруіне байланысты оң нақты жартыюстен бастап сипаттама теңдеуінің раті қанша болса сонша квадрантты еш жерде қиылыспай және нольге ұмтылмай сағат тіліне қарсы өткені қажетті де жеткілікті.

Басқаша айтқанда, Михайлов векторы $D(i\omega)$ жиіліктің ω 0-ден ∞ -ке дейін өзгеруіне байланысты сағат тіліне қарсы $\frac{\pi}{2}$ бұрышпен бұрылыс жасайды, мұнда n - сипаттама теңдеудің реті.

Егер жүйе тұрақсыз және оң жартыжазықтықта m түбірге ие боса, онда Михайлов векторы жиіліктің 0-ден ∞ -ке дейін өзгеруінде сағат тіліне қарсы $(n-2m)\pi/2$ бұрышқа бұрылыс жасайды.

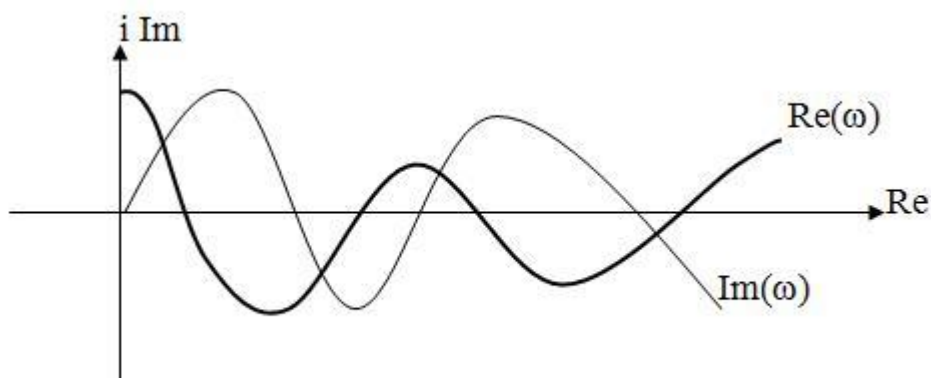


22 сурет. Тұрақты жүйелер үшін Михайлов годографы



23 сурет. Тұрақсыз жүйелер үшін Михайлов годографы

Михайлов белгісінің туындысы ретінде кезектесу белгісі саналады. Жүйе тұрақты, егер сипаттама теңдеудің нақты және жорамал бөліктерінің түбірлері бір бірімен кезектессе.



24 сурет. Кезектесу белгісі

Мысал

Жүйенің сипаттама теңдеуі берілген:

$$p^5 + p^4 + 11p^3 + 5p^2 + 18p + 4 = 0 \quad (149)$$

Кезектесу критеріі көмегімен тұрақтылықты зерттеу керек.

Комплексті айнымалы функциясын құрайық:

$$D(i\omega) = (i\omega)^5 + (i\omega)^4 + 11(i\omega)^3 + 5(i\omega)^2 + 18(i\omega) + 4 = \text{Re}(\omega) + i\text{Im}(\omega)$$

$$\text{Re}(\omega) = \omega^4 - 5\omega^2 + 4$$

$$\text{Im}(\omega) = \omega(\omega^4 - 11\omega^2 + 18)$$

Нақты және жорамал бөліктердің түбірлерін нольге теңестіру арқылы табамыз:

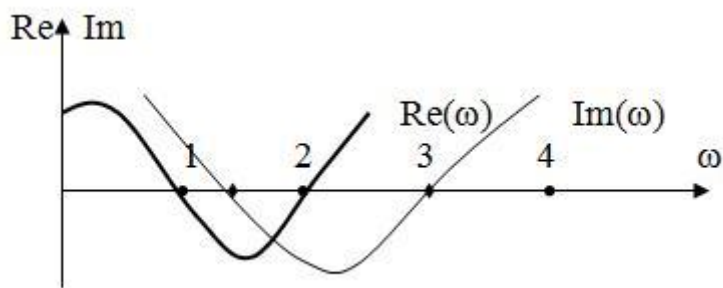
$$\text{Re}(\omega) = \omega^4 - 5\omega^2 + 4 = 0; \omega_{1,2} = \pm 1; \omega_{3,4} = \pm 2$$

$$\text{Im}(\omega) = \omega(\omega^4 - 11\omega^2 + 18) = 0; \omega_1 = 0; \omega_{2,3} = \pm 1,4; \omega_{4,5} = \pm 3$$

Нақты және жорамал бөліктердің түбірлері сәйкесінше келесіге тең:

$$\text{Re}(\omega) = 0; \omega_{1,2} = \pm 1; \omega_{3,4} = \pm 2$$

$$\text{Im}(\omega) = 0; \omega_1 = 0; \omega_{2,3} = \pm 1,4; \omega_{4,5} = \pm 3$$



25 сурет. Теңдеумен сипатталатын жүйе тұрақты

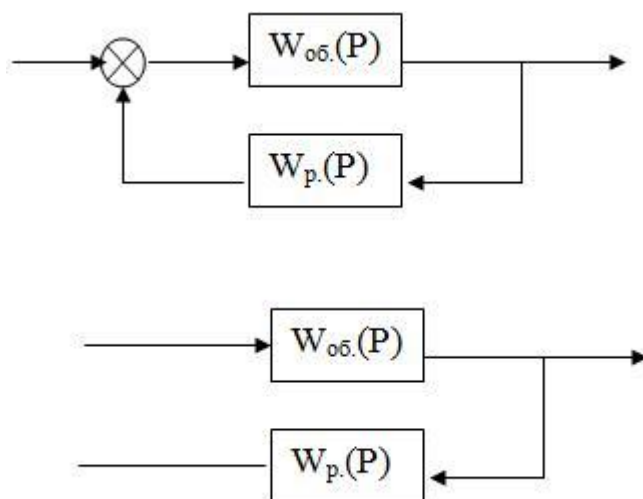
Суретте көрсетілгендей, нақты және жорамал бөліктердің түбірлері кезектеседі, берілген сипаттама теңдеуімен сипатталатын жүйе тұрақты.

5.1.4 Тұрақтылықтың амплитуда-фазалық Найквист белгісі

Тұрақтылықтың амплитуда-фазалық Найквист белгісі жабық жүйенің тұрақтылығын ашық жүйенің амплитуда-фазалық сипаттамасы бойынша зерттеуге мүмкіндік береді.

Найквист белгісі бойынша, егер ашық жүйе тұрақты немесе орташа болса, онда жабық жүйе ашық жүйенің амплитуда-фазалық сипаттамасы жиілік ω ($-\infty$)-тен ∞ -ке дейін өзгергенде $(1; i0)$ координаталы нүктені алмаған дағдайда тұрақты болады.

Егер ашық жүйе тұрақсыз болса, онда жабық жүйе ашық жүйенің амплитуда-фазалық сипаттамасы жиілік ω 0-ден ∞ -ке дейін өзгергенде $(1; i0)$ координаталы нүктені, ашық жүйенің сипаттама теңдеуінің қанша түбірі оң жарты жазықтықта жатса, сонша рет алған жағдайда тұрақты болады.



25 сурет. Жүйенің құрылымдық сұлбасы:

а) жабық жүйе; б) ашық жүйе

$W_{кр.}(P)$ - нысананың беріліс функциясы;

$W_p(P)$ - реттегіштің беріліс функциясы.

(1; i0) нүктені m рет алу деп $[W_{\text{раз.}}(i\omega)-1]$ вектордың жиілік ω 0-ден ∞ -ке дейін өзгергенде m бұрышқа бұрылуын түсінеміз.

Жүйенің дифференциалдық теңдеуі келесідей ұсынылуы мүмкін:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = \\ = b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x(t) \end{aligned} \quad (150)$$

Нольдік бастапқы шартта бұл теңдеудің Лаплас түрлендірілуі келесідей түрде ұсынылады:

$$\begin{aligned} (a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0) Y(P) = \\ = (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0) X(P) \end{aligned} \quad (151)$$

немесе

$$A(P)Y(P) = B(P)X(P) \quad (152)$$

Ашық жүйенің беріліс функциясы келесідей түрде ұсынылуы мүмкін:

$$W_{\text{р.с.}}(P) = W_{\text{о.б.}}(P) \cdot W_p(P) = \frac{B(P)}{A(P)} \quad (153)$$

Жабық жүйенің беріліс функциясы

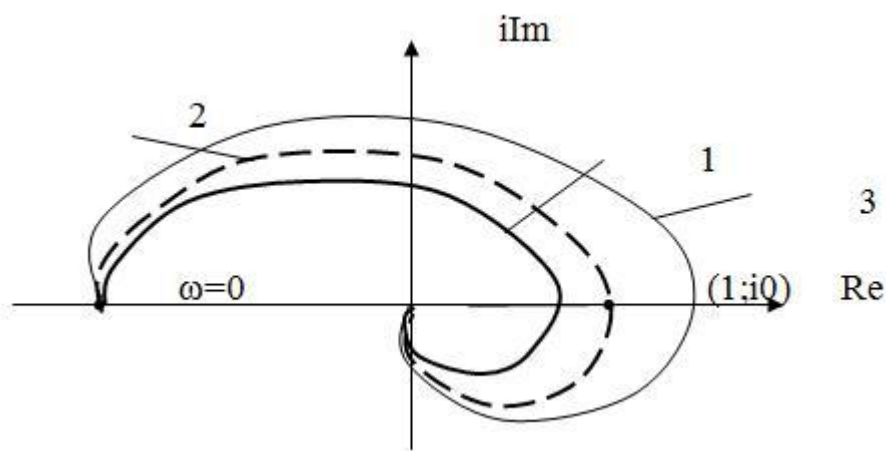
$$\begin{aligned} W_{\text{з.с.}}(P) &= \frac{W_{\text{о.б.}}(P)}{1 + W_{\text{о.б.}}(P)W_p(P)} = \frac{W_{\text{о.б.}}(P)}{1 + W_{\text{р.с.}}(P)} = \frac{W_{\text{о.б.}}(P)}{1 + \frac{B(P)}{A(P)}} = \\ &= \frac{A(P)W_{\text{о.б.}}(P)}{A(P) + B(P)} \end{aligned} \quad (154)$$

Ашық жүйенің сипаттама теңдеуі, беріліс функциясының бөлімі:

$$A(P) = 0 \quad (155)$$

Жабық жүйенің сипаттама теңдеуі:

$$A(P) + B(P) = 0 \quad (156)$$



АФС- лары:

1- тұрақты жүйенің АФС;

2 - орта жүйенің АФС:

3 - тұрақсыз жүйенің АФС.

27 сурет. Ашық жүйенің амплитуда-фазалық сипаттамалары

5.1.5 Тұрақтылық аймағының анықтамасы

Түзу сызықты жүйенің сипаттама теңдеуі мынадай түрде:

$$A_0 p^n + A_1 p^{n-1} + \dots + A_{n-1} p + A_n = 0 \quad (157)$$

Бұл жерде екі A_1 және A_{n-1} -ден басқа коэффициенттердің барлығы берілуі мүмкін делік.

A_1 және A_{n-1} координаталарының жазықтығын бейнелейік. Жазықтықтағы $A_1 > 0$ және $A_{n-1} > 0$ жағдайында кез келген нүктені аламыз. A_1 және A_{n-1} нүктелеріне сәйкес мәндерін сипаттама теңдеуіне қоямыз. Сипаттама теңдеуінің түбірлері жорамал осінің оң және сол жағында жатады, осыған тәуелді тұрақты және тұрақсыз аймаққа жатқызуға болады. Бірінші квадратта барлық мүмкін нүктелерді қарастыра отырып екі аймақты бөлуге болады, мұнда A_1 және A_{n-1} -дің барлық мүмкін мәндерінде сипаттама теңдеуінің түбірлері жорамал осінің оң және сол жағында жатады.

Түбір жорамал осінде жату шартында алынған шекаралық қисық тұрақтылық аймағының шекарасы деп аталады. Тұрақтылық аймағын тұрақты және тұрақсыз аймақтарға бөлу - D - бөлу. Жорамал осінің параметрлер жазықтығында кескінделуін көрсететін қисық D - бөлу деп аталады.



28 сурет. Тұрақтылық аймағының бөлінуі

Осылайша, D - бөлу деп түзу сызықты жүйенің сипаттама теңдеуінің коэффициенттер кеңістігінің аймақтарға бөлінуін атаймыз. Бұлардың әрбірінде теңдеу, комплексті айнымалы жазықтығының жорамал осінің сол жағында орналасқан бірдей түбірге ие.

Практикалық есептерде бір немесе екі параметрді қарастыру арқылы шектеледі. Бір параметрлі жазықтықтағы D - бөлінуі Басқалардың берілген мәндері бойынша тұрақтылыққа тек бір ғана параметрдің әсерін анықтау қажет болса, бұл параметр орнына нақты бөлігі зерттелуші параметрге тең комплексті шаманы енгізген жөн. A - зерттелуші параметр болсын. Сипаттама теңдеуді келесі түрге келтіруге болады:

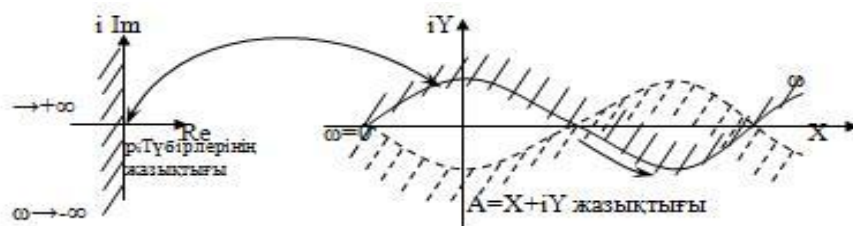
$$S(P) + A \cdot R(P) = 0$$

$$A = -\frac{S(P)}{R(P)} \quad (158)$$

A - комплексті сан делік. Тұрақтылық аймағының шекарасын орнату үшін $P = i\omega$ орнына қоямыз және жорамал бөлікті нақты бөліктен айырамыз:

$$A = A(i\omega) = -\frac{S(i\omega)}{R(i\omega)} = X(\omega) + iY(\omega) \quad (159)$$

Әр түрлі ω мәндерін енгізе отырып, A комплексті жазықтыққа жорамал өсін кескіндейтін $A(i\omega)$ векторының қисығын сызамыз яғни D - қисығы A жазықтығының D - бөлінуі.



29 сурет. Бір комплексті параметр жазықтықтағы D - қисығы

Штрихтау әдісі

Түбірлер жазықтығынды штрихтау тұрақты аймаққа (сол жақ) бағытталған. $A=X+iY$ жазықтығының D - қисығында, ω $-\infty$ -тен $+\infty$ -ке дейін қозғалысында қисықтың да сол жағын осы қозғалысқа байланысты штрихтау керек. Жазықтықтың штрихтар бағытталған түбірлердің сол жарты жазықтығының кескінделуі болып табылады.

Мысал

Сипаттама теңдеуі берілген. Бір параметрлі жазықтықтағы тұрақтылық аймағын табу керек.

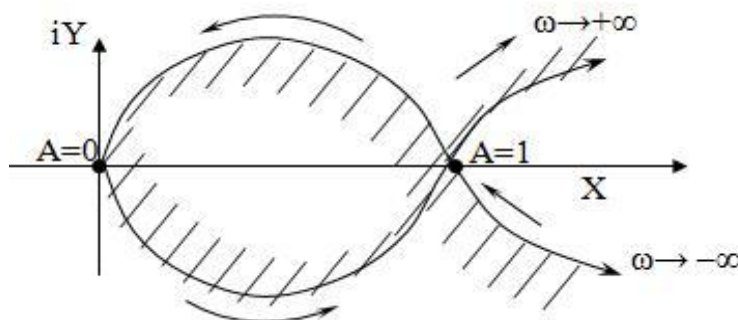
$$p^3 + p^2 + p + A = 0 \quad (160)$$

Теңдеуде A параметрін сол жаққа бөліп аламыз:

$$A = -p^3 - p^2 - p \quad (161)$$

$p = i\omega$ мәнін қоямыз, нақты және жорамал бөліктерін жеке бөлеміз:

$$\begin{aligned} A(i\omega) &= i\omega^3 + \omega^2 - i\omega = X + iY \\ X &= \omega^2; \\ Y &= \omega^3 - \omega = \omega(\omega^2 - 1) \end{aligned} \quad (162)$$



30 сурет. Тұрақтылық аймағы

D -бөлуді қолдану: басқару жүйесін синтездеуде уақыт тұрақтысының өзгеруінің мүмкін болатын шегін анықтау.

Екі параметрлі жазықтықтағы D - бөлінуі

Жүйенің сипаттама теңдеуі келесі түрде берілуі мүмкін:

$$A \cdot S(P) + B \cdot Q(P) + R(P) = 0 \quad (163)$$

A және B екі параметр жазықтығында тұрақтылық аймағын табу керек. $p=i\omega$ айнымалы ауыстыру жүргіземіз:

$$\left. \begin{aligned} S(i\omega) &= X_1 + iY_1 \\ Q(i\omega) &= X_2 + iY_2 \\ R(i\omega) &= X_3 + iY_3 \end{aligned} \right\} \quad (164)$$

Мұнда $\left. \begin{aligned} S(i\omega) \\ Q(i\omega) \\ R(i\omega) \end{aligned} \right\}$ - коэффициенттері А және В-ға тәуелсіз полиномдар.

Олардың мәндерін сипаттама теңдеуге қоямыз:

$$AX_1 + BX_2 + X_3 + i(AY_1 + BY_2 + Y_3) = 0 \quad (165)$$

Нақты және жорамал бөліктерін ажыратып оларды нолге теңестіреміз:

$$\left\{ \begin{aligned} \text{Re} &= AX_1 + BX_2 + X_3 = 0 \\ \text{Im} &= AY_1 + BY_2 + Y_3 = 0 \end{aligned} \right. \\ \left\{ \begin{aligned} AX_1 + BX_2 &= -X_3 \\ AY_1 + BY_2 &= -Y_3 \end{aligned} \right. \quad (166)$$

Алынған жүйені А және В-ға қатысты шеше отырып келесіні аламыз:

$$A = \frac{\begin{vmatrix} -X_3 & X_2 \\ -Y_3 & Y_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} X_1 & X_2 \\ Y_1 & Y_2 \end{vmatrix}} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{X_2 Y_3 - X_3 Y_2}{X_1 Y_2 - X_2 Y_1}$$

$$B = \frac{\begin{vmatrix} X_1 & -X_3 \\ Y_1 & -Y_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} X_1 & X_2 \\ Y_1 & Y_2 \end{vmatrix}} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{X_3 Y_1 - X_1 Y_3}{X_1 Y_2 - X_2 Y_1} \quad (167)$$

Ерекше түзулер - бұл теңдеуден алынған сызықтар:

$$AX_1 + BX_2 + X_3 + i(AY_1 + BY_2 + Y_3) = 0 \quad (168)$$

$\omega=0$ және $\omega=\infty$ қою арқылы.

Үлкен мүше жағдайында коэффициентті нолге теңестіре отырып, $\omega=0$ үшін ерекше түзу теңдеуін аламыз. Еркін мүшені нолге теңестіре отырып, $\omega=\infty$ үшін ерекше түзу теңдеуін аламыз.

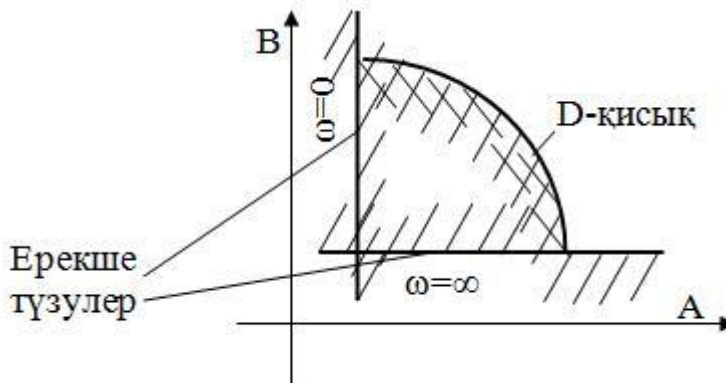
Штрихтау ережесі

Штрихты басу үшін D- қисық бойымен $\omega = -\infty$ -тен $\omega = +\infty$ -ке қарай басты анықтаушықа Δ байланысты қисықтың сол немесе басқа бөлігін штрихтай отырып жылжыған жөн.

$$\Delta = \begin{vmatrix} X_1 & X_2 \\ Y_1 & Y_2 \end{vmatrix} \quad (169)$$

Егер $\Delta > 0$ болса, онда қисықтың сол жағы штрихталады, егер $\Delta < 0$ болса, қисықтың оң жағы штрихталады.

Анықтаушының таңбасы тек қисық пен ерекше түзулер қиылысқанда өзгереді. D-қисық $-\infty \leq \omega \leq +\infty$ жағдайында екі рет қарама-қарсы бағытта өтетін болғандықтан, ол екі рет, бірақ екеуі де бір жағынан штрихталады.



31 сурет. Екі айнымалы жазықтығындағы тұрақтылық аймағы

Мысалы:

Сипаттама теңдеу берілген. Екі параметр жазықтығында тұрақтылық аймағын табу керек.

$$p^3 + Ap^2 + Bp + 1 = 0 \quad (170)$$

Айнымалыларды алмастырамыз:

$$\begin{aligned} p &= i\omega \\ -i\omega^3 - A\omega^2 + Bi\omega + 1 &= 0 \\ (-A\omega^2 + 1) + i(-\omega^3 + B\omega) &= 0 \end{aligned} \quad (171)$$

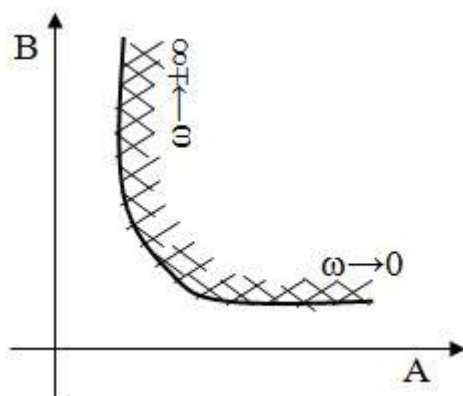
Теңдеулер жүйесін аламыз:

$$\begin{cases} -A\omega^2 + 1 = 0 \\ -\omega^3 + B\omega = 0 \end{cases} \quad (172)$$

Бұдан:

$$\begin{aligned} X_1 &= \omega^2 & Y_1 &= 0 \\ X_2 &= 0 & Y_2 &= \omega \\ X_3 &= 1 & Y_3 &= -\omega^3 \end{aligned} \quad (173)$$

$A = \frac{1}{\omega^2}$; $B = \omega^2$, яғни $AB=1$, бұл әр түрлі таңбалы параболаның теңдеуіне сәйкес.



32 сурет. Екі параметр жазықтығындағы тұрақтылық аймағы

Бақылау сұрақтары:

1. Тұрақтылық деген не?
2. Тұрақтылықты зерттеу әдістері. Ол неге негізделген?
3. Тұрақты АБЖ қозғалысының графигін салыңыз
4. Түбірге байланысты АБЖ тұрақтылығының теңсіздігі қалай орындалады?
5. Тұрақтылық орындалу үшін қандай міндеттер орындалу керек?
6. Тұрақтылықтың қандай критерийлері алгебралық, тербелістік?
7. Раус критериялары бойынша АБЖ тұрақтылығын анықтау үшін не істеу керек?
8. Раус кестесі бойынша, n-ші қатардағы сипаттамалық теңдеуінде баған саны қанша?
9. Раус критериясы үшін тұрақтылық шарты қандай?
10. Гурвиц критериясы бойынша АБЖ тұрақтылығын анықтау үшін не істеу керек?
11. Гурвиц критериясы бойынша тұрақтылық шартын орындандар.
12. Михайлов критериясы бойынша тұрақтылық шартын орындандар
13. Найквист критериясының бірінші және екінші жағдайы үшін тұрақтылық шартын орындандар.

6 Автоматтық басқару жүйесінің сапасы

Мақсаты: Жиынтық әсердегі тәртіпте орнатылған АБЖ-ның жұмыс жасау дәлдігін анықтау жолдарымен танысу; сапаның динамикалық көрсеткіштерімен танысу

Жоспары:

6.1 АБЖ-ны басқару сапасы.

6.2 АБЖ-ның басқару сапасының статикалық тәртіптегі, орнатылған динамикалық тәртіптегі, өтпелі тәртіптегі көрсеткіштері және интегралдық сапа көрсеткіші.

6.3 АБЖ-ның синтез сапасы.

6.1 АБЖ-ны басқару сапасы

АБЖ-ның жұмыс сапасы – жалпы жүйенің жұмыс істеу әсерін және қасиеттерінің жиынтығы қамтамасыз ету. АБЖ-ның сапалық көрсеткіші – осы жиынтықтың қасиеттерінде сандық түрде көрсетілген. Осылайша АБЖ-ны мынадай көрсеткіштік сапада сипаттауға болады, жүйенің салмағы ретінде, заттың шекті сырт өлшемі, құны, сенімділігі, төзімділігі және т.с.с. Бұл көрсеткіштер АБЖ-ның сапасын кең мағынада сипаттайды. Ал АБТ-да бұл көрсеткіштер сапасы, әдеттегідей, кең мағынада қарастырылмайды: жүйенің тек *статикалық* және *динамикалық* қасиеттерін қарастырады, $x(t)$ ауқымындағы басқаруды қолдаудағы дәлдікті сипаттаушы, берілген $x_3(t)$ деңгейіне сәйкесінше орнатылған және өтпелі тәртіптерде, яғни басқару үдерісінің әсерін сипаттаушы. АБЖ-ның сапасын тар мағынада түсіну үшін «АБЖ-ны басқару сапасы» термині қолданылады. Басқаша айтқанда:

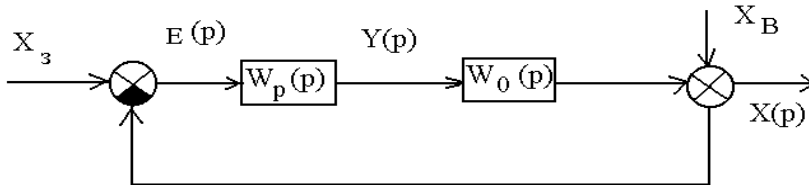
АБЖ-ны басқару сапасы – АБЖ-ның жиынтық қасиеті, ауқымындағы басқаруды қолдаудағы дәлдікті сипаттаушы, берілген деңгейіне сәйкесінше орнатылған және өтпелі тәртіптерде қолданылады. совокупность свойств САУ, характеризующих точность поддержания управляемой величины на заданном уровне в установившихся и переходных режимах. АБЖ-ның көрсеткіштік басқару сапасы деп осы жиынтықтың қасиеттерінің сандық түрде көрсетілуін айтады.

АБЖ-ның дәлділік түсінігін қарастырайық. АБЖ-ның бірконтурлы үлгісі үшін жалпыланған құрамдас сұлбасын құрауға болады (33-сурет). Басқару нысаны бір $X_3(p)$ айнымалы басқарумен сипатталады, жанағы берілген $X_3(p)$ деңгейін тұрақтандыруды қажет етеді. $X(p)$ айнымалысын тұрақтандыру $X_B(p)$ ауытқуына әсер етеді. $X(p)$ стабилизациялық айнымалысына $X_B(p)$ күдігі туады. $X(p)$ стабилизациялық айнымалысының ауытқуы, $Y(p)$ басқару әрекетінің жүйедегі мақсатының өзгеруіне күдік әкеледі, яғни реттегішпен құрылатын (басқару құрылғысымен). Реттегіштің кірісінде дайын функциямен $W_p(p)$ келісу дыбысы $\varepsilon(p)$ (қателер) жұмыс жасайды. Бұл дыбыс берілген әрекет $X_3(p)$ пен басқару шамасы $X(p)$ тендік нәтижесінде өшеді. Қосу принципі дұрыс шығыс шаманың $X(p)$ жалпы өзгерісі, қосылған жағдайда кіріс әрекеттері $X_3(p)$ және $X_B(p)$, өзгеріс санына тең, әрбір әрекетке жеке-жеке құрастырушы. Мында АБЖ – ның динамикалық теңдеуі қысқа түрде:

$$X(p) = X_3(p)\Phi_3(p) + X_B(p)\Phi_B(p) \quad (174)$$

немесе керсінше түрде:

$$X(p) = X_3(p) \frac{W_p(p)W_o(p)}{1+W_p(p)W_o(p)} + X_B(p) \frac{1}{1+W_p(p)W_o(p)}. \quad (175)$$



33 сурет. Бірқонтурлы АБЖ

АБЖ атауы теңдік ұстамынан құрылады: $x(t) = x_3(t)$ берілген және күдікті әрекеттердің кез келген өзгерісінде. Яғни АБЖ берілген $x_3(t)$ әрекетін қосу керек және күдікті әрекеттерге қозғалыс беру. Бірде реттегіш пен басқару объектісі инерция әсерінен екі функцияда да АБЖ қателікпен орындалады, $\varepsilon(t) = x_3(t) - x(t)$, және АБЖ – ның дәлме-дәлдігін сипаттайды. Көптеген белгі қатесі $\varepsilon(t)$ қаншалықты аз болса, Абж – ның дәлме-дәлдігі *соғұрлым* жоғары, яғни *оның сапасы*. Бірқонтурлы типтік АБЖ үшін, динамикалық теңдеуі операторлық түрде дыбыс қателігі үшін де:

$$\varepsilon(p) = X_3(p) - X(p). \quad (176)$$

Басқару шамасының көрсетілуін қойдық $X(p)$ берілгенін күрделірек аламыз:

$$\varepsilon(p) = \frac{1}{1+W_p(p)W_o(p)} \left[X_3(p) - X_B(p) \right] \quad (177)$$

Мына анықтамада, реттегіштің күшейткіш қасиеті өскен сайын ($W_p(p)$), динамика мен статикада қателік $\varepsilon(p)$, яғни $\varepsilon(t)$ кем болады. Анықтамадағыдай (өшіру) көп мағыналы қателер $\varepsilon(t)$ түрлендіргіш заңындағыдай сыртқы әрекеттердің өзгеруі өз алдына қиын тапсырма қабылдайды, онда АБЖ дәлме-дәлдігі мынадай қателерді бағалай алады: **статикалық**, **динамикалық орнатылған** және **өтпелі** АБЖ – ның жұмыс тәртібі.

• **АБЖ-ның статикалық жұмыс тәртібінде** статикалық жүйеде ғана қателіктер болады! **Статикалық АБЖ** – статикалық элементтерге

жататын жүйе басқару нысаны мен реттегіш. Статикалық тәртіптегі мынадай элементтерде (т.с.с. егер $p = 0$):

$$W_O(0) = k_o; \quad W_P(0) = k_p, \quad (178)$$

мұндағы k_o, k_p – реттегіш және басқару нысанының табыстама коэффициенттері.

Табыстама функциясының мағынасын ескере тұра, біз статикалық тәртіпте қате табамыз:

$$\varepsilon(0) = \frac{1}{1 + k_p k_o} [K_3(0) - X_B(0)]. \quad (179)$$

Осы формуланы сұрыптай келе келесі нәтижені шығаруға болады: АБЖ-ның статикалық тәртіптегі дәлдігі неғұрлым жоғары болса, алшақ тұрған АБЖ-ның табыстама коэффициенті ($k = k_p k_o$) соғұрлым үлкен болмақ.

Статикалық жүйенің дәлдігін **статизм коэффициентімен** бағалау қабылданған.

$$s = \frac{\Delta x_{зам}}{\Delta x_{раз}}, \quad (180)$$

мұндағы $\Delta x_{раз}$ - орнатылған x ауқымды басқарылымның өзгеруі нәтижесінен

ауытқуы, мысалы, ашық тұрған жүйеге берілген x әсері;

$\Delta x_{зам}$ - орнатылған x ауқымды басқарылымның өзгеруі, тұйық жүйеге берілген x әсері.

Жүйенің дәлдігі – қанағаттандырылады, егер жүйенің статизм коэффициенті $s = 0,1 - 0,01$, ал ашық жүйедегі табыстама коэффициенті $k = 10 - 100$ болса.

• **Орнатылған динамикалық тәртіп** өтпелі үдеріс аяқталғаннан соң іске асады. Бұл тәртіпте басқару ауқымы мен қателік дыбысы тек еріксіз құрамды қабылдайды, яғни сыртқы күштер әсерінен ғана өзгереді. АБЖ-ның қасиетіне тәуелділігінен, қойылған нүкте және сыртқы күштердің әсері келесі үлгідегі қателіктерге әкеледі:

- қателік нөлге тең;
- қателік тұрақты ауқымға тең;
- қателік шексіз өседі.

АБЖ-ның құрылымы өз алдына былайша сипатталады:

- ашық жүйедегі АБЖ-ның k табыстама коэффициенті;
- астатизм жүйесінің реті интегралдан шыққан идеал ν саны ашық жүйедегі АБЖ-ның буыны ($\nu = 0$ – статикалық жүйе; $\nu \geq 1$ – астатикалық жүйе). И, ПИ, ПИД реттегіштері тәжірибедегідей қолданыс табады, астатизм реті $\nu = 1$, бірақ $\nu = 2$ болуы да мүмкін. Орнатылған динамикалық тәртіпте статикалықтақыдай келесі ережелер орын алады: берілген әсердің басқару жүйесінің көмегімен орындалуы және сыртқы қайтарымына дәл берілуі

неғұрлым жоғары болса, соғұрлым табыстама коэффициентінің реттегіші артады.

6.2 АБЖ-ның басқару сапасының статикалық тәртіптегі, орнатылған динамикалық тәртіптегі, өтпелі тәртіптегі көрсеткіштері және интегралдық сапа көрсеткіші

• **Өтпелі тәртіпте** АБЖ-ның дәлдігін *тура* және *жанама* көрсеткіштік сапа арқылы бағалайды.

Тура көрсеткіштік сапасы жүйедегі сыртқы күштердің әсерінен болған өтпелі үрдістің графигімен анықталады.

Жанама көрсеткіштік сапасы тендеудің сипаты түбірінің немесе жүйенің жиілігі сипатының көмегімен анықталады.

АБЖ-ның компьютерлік модельдеуінің күшті құрылғылары қазіргі таңда кең қолданысқа ие, олар өтпелі үрдісті тез және дәл есептейді, яғни жүйенің дәлдігін **тура көрсеткіштік сапасы** арқылы бағалайды. Өтпелі үрдіс түрлері тербелмелі, апериоттық және монотонды болып ажыратылады. Аталған үш процесстердің әрқайсысының артықшылығы мен кемшілігі бар, басқару нысанына осы не өзге түр процессін ерекше ескере отырып табыс етеді. Мысалы, электромеханикалық жүйелерде, өзге: электрлік жүйелер, еріксіз жылдам күштер болып табылады, сондықтан АБЖ-ның құрылысын таңдауда аperiодтық және монотондық процесстерге жетуге ұмтылады.

АБЖ-ның тура көрсеткіштік басқару сапасына (бірконтурлық жүйе үшін) жататындар: қайта реттеу, сөну дәрежесі, өту процессінің ұзақтығы (*реттеу уақыты*) және тербеліс.

Өту процессінің сатылы өзгерісінің $x_3(t)$ әсерлі сапа көрсеткіші үшін шақырылады:

- **Қайта реттеу σ** – басқарылу ауқымы $x(t)$ мен бірінші максималды ауытқудың қатынасының мәнінен $x(\infty)$ мына мәнге дейінгі аралық:

$$\sigma = \frac{x_m - x(\infty)}{x(\infty)} \cdot 100 = \frac{A_1}{x(\infty)} \cdot 100, \% \quad (181)$$

Қайта реттеу мәні 30-40%-дан аспаса, онда басқарылым сапасы қанағаттанарлық болып саналады.

- **Сөну (өшу) дәрежесі** мына формуламен анықталады:

$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = 1 - \frac{A_3}{A_1} \quad (182)$$

Егер $\psi = 0,75 - 95$ болса, онда жүйедегі тербелістің сөну интенсивтілігі қанағаттанарлық болып есептеледі.

- **Өту процесінің ұзақтығы (реттелу уақыты) t_n** – сатылы әрекеттердің моментінен басқарылу ауқымының $x(t)$ ауытқуы мен оның жаңа орнатылған мәні $x(\infty)$ берілген кейбір δ_n сандарынан кем болу моментіне дейінгі уақыт

интервалы, яғни мына шартының орындалуы моментіне дейінгі уақыт интервалы

$$|x(t) - x(\infty)| \leq \delta_n \quad (183)$$

Ойластырылған автоматикада δ_n ауқымын әдетте $x(\infty)$ орнатылған мәнің 5%-на тең деп қарастырады. $[\delta_n = 0,05 x(\infty)]$.

- **Тербелістігі** N – t_n өтпелі процесс уақытындағы өтпелі басқарылым ауқымы $x(t)$ мен оның орнатылған мәніне тең сандар.

$x_e(t)$ әрекеттердің келіспеушілігінен туындаған объекттерді басқару үшін келесі сапалық көрсеткіштер енгізіледі:

- **Қайта реттелу (тербелістігі)** σ – екінші (кері) максималды ауытқудың A_2 бірінші максималды ауытқуға A_1 қатынасы ауқымға тең:

$$\sigma = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100 = \frac{A_2}{x_m - x(\infty)} \cdot 100, \% \quad (184)$$

- **Реттелудің динамикалық коэффициенті** R_d – бірінші максималды ауытқудың сол шақырылған келіспеушіліктегі басқармалы объектінің ауқымының басқармалы ауытқуына қатынасы ауқымға тең:

$$R_d = \frac{x_m}{k_o} \cdot 100, \% \quad (185)$$

мұндағы k_o – басқармалы объектінің табыстама коэффициенті.

R_d коэффициенті реттеуіштің басқарушы объектіге әсерінің қаншалықты екенін көрсетеді

Өту процесінің ұзақтығы (реттелу уақыты) t_n – сатылы әрекеттердің моментінен басқарылу ауқымының $x(t)$ ауытқуы мен оның жаңа орнатылған мәні $x(\infty)$ берілген кейбір δ_n сандарынан кем болу моментіне дейінгі уақыт интервалы, яғни (9.1) шарт орындалатын сәтке дейін. Ойластырылған автоматикада δ_n ауқымын әдетте $x(\infty)$ орнатылған мәнің 5%-на тең деп қарастырады. $x(+0) [\delta_n = 0,05 x(+0)]$.

• Жоғарыда қарастырылған тура сапа көрсеткіштерінің тек біреуі ғана АБЖ-ның қандай-да бір қасиетін анықтайды, өтпелі процестің тек бір ғана сипатын анықтайды. Онымен қоса, күрделі реттегіштің барлық көрсеткіштері мен қарама-қайшылықтағы төмендегідей сипатпен анықталады: параметрлердің өзгерісі кейбір көрсеткіштердің сапасын арттырса, кейбіреулерінің сапасын төмендетеді. Бұл мәселе реттегіштің параметрлерін таңдауда қиындық тудырады. Сондықтан инженерлік тәжірибеде **сапаның интегралдық көрсеткіштері(бағасы)** кең қолданылады.

Сапаның интегралдық– кейбір басқармалы ауқымның функциясынынан әдетте қателік дабылына $\varepsilon(t)$ дейінгі уақыт интегралы (0-ден $+\infty$ дейін):

$$Q = \int_0^{\infty} f_0 \mathbb{I}(t), t \bar{dt}. \quad (186)$$

Интеграл астындағы f_0 функциясы мынадай түрде алынады, интеграл тұйық жүйеде жүйенің сапасын жақсы сипаттауы және функцияның коэффициентін оңай жіберуі үшін қолданылады. Интеграл үйлесімді болуы үшін, f_0 функциясына абсолютты емес мәндер жиынын $x(t)$ немесе $\varepsilon(t)$ енгізеді, ал олардың ауытқуын соңғы орнатылған мәндермен анықтайды.

Сызықты интегралдық баға жай интегралдық сапа болып табылады:

$$Q_L = \int_0^{\infty} \mathbb{I}(\infty) - x(t) \bar{dt}, \quad (187)$$

Яғни $x(\infty)$ тура тұйықталған және $x(t)$ қисық тұйықталған өтпелі процестер ауданы. Интегралдық бағалау динамикалық ауытқудың ауқымын қалай есептесе, қызмет ету уақытының ұзақтығын да дәл солай есептейді. Сондықтан бағалау сапасы төмендеген сайын процестің басқару сапасы жоғарылайды.

Q_L сызықтық интегралының жеткіліксіздігін бағалауына жататыны, сол оны тек қана әдейі тербелмейтін, қайталанбайтын өту процессінде қолданады. Айнымалы белгі қисығының саналған интегралы, қайталанбайтын қисық саналған интегралынан әлде қайта кіші болады. (бірақ өтпелі процесс сапасы бұл жағдайда жоғары).

Байланыста, өтпелі тербелмелі процесстер үшін мынадай интегралдық бағалаулар тағайындалады, интегралдық функциясының айнымалы белгісі осы не басқа амалмен жойылған. Мұндай бағалауға жататыны, мысалы, **модульдық интегралдық бағалауыш** :

$$Q_M = \int_0^{\infty} |x(\infty) - x(t)| dt. \quad (188)$$

Барлық қарастырылған интегралдық көрсеткіштер, тек сапаны бағалау үшін ғана емес, сондай-ақ АБЖ-ның реттегіш параметрлерінің қолайлы мағынасын анықтауда қолданылады. Қолайлы деп мынадай мағынаны айтады, егер интегралдық көрсеткіші минимумға сәйкес келсе: $Q \rightarrow \min$.

Интегралдық бағалауыштар сапасы құрамдастыру өлшемдеріне жатады сондай-ақ, олар құрылымдағы төзімділік қорын, шапшаңдық пен орнатылған қателікті бағалайды. Әр түрлі жұмыстағы шартты интегралдық көрсеткіштерге негізделген, идеал жүйеден шынайы жүйеге өту процессінің жай ауытқуын сипаттайды.

6.3 АБЖ-ның синтез сапасы

Автоматты басқару теориясында шығарылатын, барлық математикалық есептерді екі үлкен классқа қосуға болады: **анализ есептері** мен **синтез есептері**.

Анализ есептерінде жүйенің құрамы толығымен белгілі, жүйенің барлық параметрлері берілген, және оның кейбіреуі не статикалық не динамикалық қасиеттерін бағалауды қажет етеді. Анализ есептеріне төзімділікті анықтау және жүйенің басқару сапасын бағалау жатады.

Синтез есептерін анализ есептеріне қарама-қайшы түрде қарастыруға болады: онда берілген басқарудың көрсеткіштік сапасының құрылымы мен жүйенің параметрлерін анықтауды қажет етеді. Мысалы, синтездің қарапайым есептеріне, АБЖ-ның ашық табыстама коэффициентіндегі берілген қателік немесе интегралдық бағалауыштың минимум шарты анықтауды қажет етеді.

АБЖ-ның синтезі – берілген басқару сапасының көрсеткіштерінің құрылымы мен жүйенің параметрлерін анықтау рәсімі. Жалпы алғанда жүйені жобалауда жүйенің алгоритмдық және функционалдық құрылымын анықтау қажет, яғни жалпы синтездің есептерін шығару.

Алгоритмдік құрылымын (**теориялық синтез**) анықтау математикалық әдістер мен нақты математикалық түрде жазылуды қажет етеді.

Функционалды құрылымын (**техникалық синтез**) анықтауда нақты физикалық элементтерге таңдау жасалады және олардың өзара статикалық және энергетикалық сипатта келісуі. Бұл рәсім әзірге қатаң математикалық негіздерді қажет етпейді, сондықтан бұл инженерлік шығармашылық саласына жатады.

Алгоритм құрылымының *көрінген элементі* функционалдық құрылымының физикалық блок түріндегі кескінін бере алады, яғни көп жағдайда синтездің есептерінде ең бірінші АБЖ-ның алгоритмдік құрылымын анықтау арқылы шешу мүмкін емес, сосын осы арқылы – функционалдық құрылымын. Сондықтан синтездің есептерін көп жағдайда келесідей түрде шешеді:

1) Біріншіден, белгілі *OU* басқару нысанын қарап шығып, АБЖ-ның жұмыс шартты мен тағайындауға қажет, тізімдемелерше топтамадағыдай құрылғының жүйедегі функционалды қажет элементтерін таңдайды: *реттегіш орган, орындағыш құрылғы ИУ, қабылдағыш құрылғы*. Бұл АБЖ-ның элементтері басқару объектісімен бірге функционалды жүйе құрылғысының *өзгермейтін бөлігін* тәрбиелейді.

2) Осыдан, негізгі қажеттіліктері АБЖ-ның статикалық және динамикалық қасиеттері арқылы функционалды жүйе құрылғысының *өзгермелі бөлігін* анықтайды, бұған жататындары: *үдеткіш – түрлендіргіш блок, түзеткіш құрылым*.

Осылайша, алгоритмды және функционалды құрылғыларды анықтау рәсімі бір-бірімен тығыз ауысып тұрады. АБЖ құрылғысының соңғы шешімі, бір жағынан басқару сапасымен ымыраға келу негізінде қабылданады және басқаша қарапайым не сенімділікте.

АБЖ-ны жобалауының соңғы бөлімі *параметрлік оңтайландыру* болып келеді - таңдалған реттегіштің күйтте параметрлерін анықтау.

Осы уақытта кең етек алған синтездің келесідей сұрақтары:

- жүйе сипаттамасының оңтайлы және динамикалық синтезі;
- берілген жүйелік құрамның синтез параметрлері;
- берілген көрсеткіштік сапаның дәлде құрылым жүйесінің.

Оңтайлы динамикалық сипаттағы жүйенің синтезі, әдетте, вариациялық есептерді шешуде түйіледі, қабылданған өлшеммен ең ең оңтайлы басқару және басқарудың теориялық минимум қателігін сәйкесінше қамтамасыз ету.

Жүйе параметрлерінің синтезі берілген құрылым мен дәлделік құрылғы жүйесінің синтезімен берілген көрсеткіштік сапаны инженердің тапсырмасы ретінде қарастыруға болады, АБЖ құрылымының түйілуінде яғни онда техникалық орындалулардың қажеттілігін қамтамасыз етеді. Инженерлік синтезде АБЖ, бірінші ретте, қажет дәлме-дәлділік және өтпелі процесстегі қолайлы мінезді қамтамасыз етуге ұмтылады. Бұл жағдайда көптеген мүмкін шешімдердің, нақты шарттылық пен талап етуге ие біреуі таңдалады.

Жүйе параметрлерінің синтезінде берілген басқару және реттегіш жүйе құрылымында әдетте басқару объектісі беріледі. Егер реттегіш құрылымы мен дәлде құрылғы берілсе, онда синтездің тапсырмасы дәлде құрылғы мен реттегіш параметрлер таңдауына дейін қысқарады. АБЖ параметрлерін таңдау үшін жанама байланыстар кең қолданылады, түбірлерін анықтауда сипаттамалар арасында орнатылған (төзімділік дәрежесі, сөну, тербелмелігі т.с.с) және АБЖ-ның өту сипаттамасы, сондай-ақ нөлдер мен полюстер және өтпелі сипаттамалар арасында бар еріксіз байланыстар. Берілген жүйенің құрылымының параметрлерін таңдаудың ең бір белгілі әдісі: түбірлерді анықтауда қолданылатын сипаттамалар; стандартты коэффициенттер әдісі.

Құрылғыны құрау синтезі жағдайында, жүйенің негізгі бөлігі берілген деп есептеледі, әдеттегідей орнын алады. Құрау буындарын синтездеуді қажет етеді, яғни олардың сұлбаларымен параметрлерін таңдау керек. Нәтижесінде АБЖ-ның коррекциясы міндетті түрде қамтамасыз етілу керек: төзімділік қоры қажет, орнатылған тәртіптегі басқару нақтылығы және динамикалық тәртіптегі басқару сапасы.

Синтез тапсырмасын орындағаннан кейін әдетте жүйені синтездеу анализі жүреді, яғни жүйе көрсеткіштердің төзімділігі мен басқару сапасына ие ма екенін тексереді.

Синтездің тапсырмаларын шешу үшін, мысалы, бірконтурлы АБЖ-ның (сурет) алгоритмдық құрылғысында болуға міндетті: $W_o(p)$ басқару объектісінің беру функциясы, *возмущение, действующее на выходе объекта*, $X_B(p)$ объектен шығу кезіндегі күдікті қозғалыс. Алгоритмдік құрылғы синтезінің тапсырма шешімінің нәтижесі $W_p(p)$ нақты берілген реттеуіш функция болу керек, яғни *құрылым параметрлеріне* ие. Реттегіш құрылым параметрлері көрсеткіштік сапа реттегішіне келесідей түрде әсер етеді:

- k_{II} коэффициентінің өсуі реттегіштің пропорционал бөлігі σ қайта реттегіштің, өту процессінің t_n уақытының өсуіне әкеледі, және өшу дәрежесінің кемуіне Ψ .

- Реттегіштің интегралдық бөлігінің k_{II} коэффициентінің өсуі өту процессінің уақытының t_n кемуіне және қайта реттегіштің σ өсуіне әкеледі.

- Реттегіштің дифференциалдық бөлігінің k_D коэффициентінің өсуі өту процессінің уақытының t_n кемуіне және қайта реттегіштің σ өсуіне әкеледі.

Бақылау сұрақтары:

1. АБЖ-ның жұмыс сапасы дегеніміз не? АБЖ-ның көрсеткіштік жұмыс сапасы?
2. АБЖ-ның көрсеткіштік басқару сапасы мен АБЖ-ның басқару сапасы дегеніміз не?
3. АБЖ-ның қате бойынша дәлме-дәлдігін қандай тәртіпте бағалауға болады? Неге?
4. АБЖ-ның басқару сапасын статикалық тәртіпте қалай бағалайды?
5. АБЖ-ның басқару сапасын орнатылған динамикалық тәртіпте қалай бағаланады ?
6. АБЖ-ның басқару сапасы өтпелі тәртіпте қалай бағаланады ?
7. АБЖ-ның басқару сапасы интегралдық көрсеткіштік басқару сапасының көмегімен қалай баланады?
8. АБЖ синтезінің тапсырмалары немен аяқталады?

7 СЫЗЫҚТЫҚ АБЖ-ДАҒЫ КЕЗДЕЙСОҚ ӘРЕКЕТТЕР

Мақсаты: (функцияның) кездейсоқ әрекеті түсінігін түсіну; кездейсоқ дыбыстарды түрлендіру амалдары.

Жоспары:

7.1 Кездейсоқ әрекеттер

7.2 Стационарлы кездейсоқ функцияны түрлендіру

7.1 Кездейсоқ әрекеттер

Ықтималдық теориясын бөледі (күрделі өсу ретінде): кездейсоқ жағдайлар, кездейсоқ шамалар және кездейсоқ процесстер.

Кездейсоқ жағдайдағы А деп берілген шарт бойынша болуы да не болмауы да мүмкін жағдайды айтады.

Кездейсоқ шама X деп кездейсоқ пайда болған барлық оқиғалардың бірінғай ортақ жиынын атайды. Бұл шамалар дискретті және үзіліссіз болуы мүмкін. Реттеуші практикаларда негізінен үзіліссіз кездейсоқ шамалар кездеседі. Олар келесі статистикалық мәндермен сипатталады:

- $F(x)$ кездейсоқ шаманың анықталу заңы;
- $f(x)$ кездейсоқ шаманың ықтималдылық тығыздығы;
- кездейсоқ шаманың математикалық күтілімі;
- кездейсоқ шаманың депрессиясы;
- кездейсоқ шаманың орташа квадраттық ауытқуы;
- кездейсоқ шаманың орташа квадраты.

Кездейсоқ процесс деп кез-келген мезетте кездейсоқ шаманы сипаттайтын уақыт функциясын атайды. Кездейсоқ процесстер сондай-ақ статистикалық мәнде зерттеледі, яғни көптеген тәжірибелерді тағайындауда және өңдеуде. Кездейсоқ процессті шынайыландыру деп әрбір тәжірибелерден жеке алынған кездейсоқ процесстің графиктерін атайды. Ол өздігінен кездейсоқ деп аталмайды, өйткені шынайыландыру алдын-ала болған фактты сипаттап түсіндіреді. Сансыз көп келтірілген шынайыландырулар кездейсоқ процесстердің бір бөлшегі ретінде қарастырылады. Осындай түсіндірмеде $x(t)$ мәнінің барлық мағыналарын да шынайыландырудың қиылысу ансамблі деп қарастырамыз. Кездейсоқ процесстер статистикалық сипатына қарай мынадай түрлерге бөлінеді: бір өлшемді (яғни бір ғана қиылысуға тиесілі) және көп өлшемді (екі не одан да көп қиылысуларға тиесілі). Сондай-ақ бір өлшемді сипаттамалар кез-келген кездейсоқ шамалар секілді және олар қиылысулар арасындағы байланысты сипаттай алмайды. Барлық қиылысуларға арналған O -ға тең математикалық күтілім процесі орталықтандырылған деп аталады. Көп өлшемділерден көбінесе екі өлшемді, яғни екі қиылысты сипаттайтын, соның ішінде өз алдына екі қиылыстың математикалық күтілімін сипаттайтын корреляцияланған функция қолданылады.

Стационарлы деп статистикалық сипаттамалары уақыт өлшемінің басталуына тәуелсіз кездейсоқ процессті атайды.

Эргодикалық деп шаманың орташа ықтималдылығы орташа уақыт аралығына тең және бір ғана бірақ ұзақ шынайыландыруға арналған кездейсоқ статистикалық процесс.

Кездейсоқ процесстің *корреляционды (автокорреляционды) функциясы* деп екі айнымалы мәндерінің әр жұбына қалауынша берілген уақыт моментінің корреляционды моментке теңелген орталықтандырылған кездейсоқ процессті атайды. Корреляционды функция кездейсоқ шамалар арасындағы ықтималды келісімді сипаттай алады.

Спектрлі тығыздық $S(\omega)$ – кездейсоқ процесстің Фурье корреляционды функциясының түрленуі.

7.2 Стационарлы кездейсоқ функцияны түрлендіру

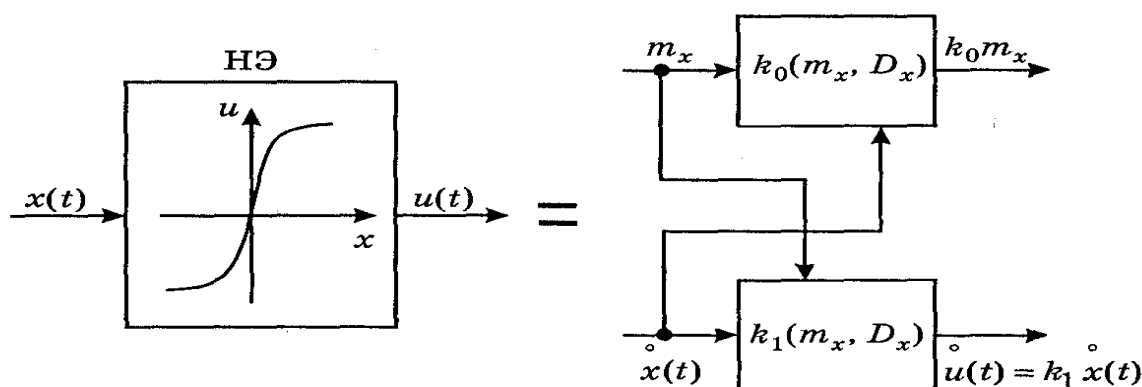
Сызықты жүйедегі сигналдарда өту кезіндегі спектрлі тығыздықтың түрленуі

АБЖ-ға спектрлі тығыздықтар берілсін: $S_x(\omega)$ - берілген әрекеттің; $S_f(\omega)$ - келеңсіздік (ақау). $S_y(\omega)$ шыққан шаманың спектрлі тығыздығын табу керек. Ол үшін жиілікті беріліс функциясынан және спектрлі шамадан шығатын комплексті жиілікті спектрді $\Delta_m(j\omega)$ сипаттаймыз. Егер кездейсоқ процесстер тәуелсіз болса, онда олардың спектрлі тығыздықтары сәйкесінше нөлге тең болады. Бұл жағдайда спектрлі тығыздықтардың түрлендіру формуласы жеңілдетіледі.

Сызықты емес элементтерді статистикалық сызықтандыру

Сызықты емес элементтерді сызықтандыру. Статистикалық сызықтандыру кезінде сызықты емес элементтердің кіріс және шығыс сигналдары стационарлы кездейсоқ процесс сияқты математикалық күтілім және орталықтанған мәндер жиыны, сондай-ақ орташа квадраттар мәні соңғы депрессия мәніне тең.

Сызықты емес элемент санағын жеңілдету мақсатында екі қоссызықты элементтермен алмастырылады. (34-сурет).



34 сурет. Сызықсыз элементтерді қоссызықты элементтермен алмастыру

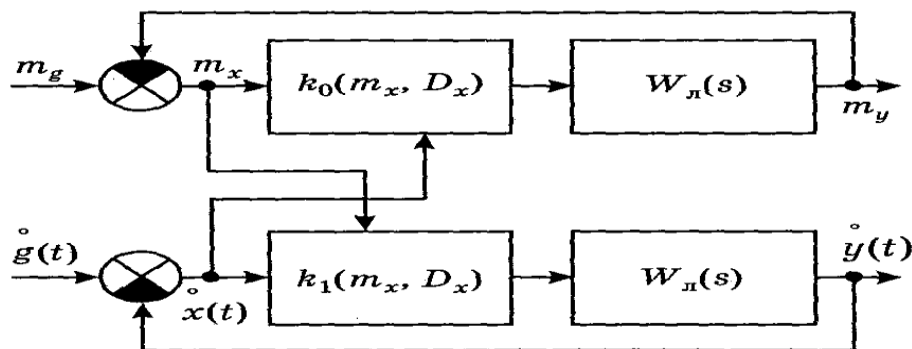
Осы эквивалентті сызбаның элементі қисық сызықты деп аталады, себебі оның сызықтандыруының статистикалық коэффициенті m_x және D_x сызықты емес элементтердің кіріс сигналының статистикалық сипаттамасына тәуелді. Сызықты емес элементтердің барлық түрлері үшін мына есептеуінің қалыпты заңы бар стационарлы процесстер функциясы тағайындалады және олар анықтамалық әдебиетте қолданылады. Әдетте бұл функциялардың әр түрлі әдістерге арналған екі нұсқасы беріледі:

1. Математикалық күтілімнің нақты сызықтық емес элементтің шығыс сигналдарының теңдігінен шығу, сондай-ақ дисперсиялық теңдікке сәйкес.

2. Нақты сызықтық емес элементтердің шығу шамасы мен оның эквивалентті моделі арасындағы орташа квадратты минимумының әртүрлілігі.

Сызықты емес жүйені сызықтандырудың статистикалық есебі.

Сызықты емес элементті оның эквивалентті моделімен алмастыру ұсынылады, нәтижесінде белгілі бір контурлы САР-дың құрылыс сұлбасы екі өзара байланысқан және түр жағынан ұқсас қос сызықты құрылыс сұлбасына айналады. Олардың біріншісі - математикалық күтілімнің түрленуін қабылдамайды, ал екіншісі - орталықтанған құрылымды қабылдамайды. (35-сурет).



35 сурет. АБЖ-ның бір контурлы құрылыс сұлбасының екі қос сызықты құрылыс сұлбасына ауысуы

Мына әрбір сұлба үшін бір-бір теңдеу жазылады және математикалық күткіш m_x және дисперсия D_x сәйкес шығарады. Бірінші сұлба үшін шекті функция мәні теориясындағыдай теңдеу жазуға болады, ал екіншіге – сызықтық САР-дағындай, дисперсия үшін теңдеу.

Бақылау сұрақтары:

1. Кездейсоқ жағдай дегеніміз не ?
2. Кездейсоқ шама дегеніміз не ?
3. Кездейсоқ шамалар қандай статикалық сипаттамамен сипатталады?
4. Кездейсоқ процесс дегеніміз не?
5. Қандай кездейсоқ процесс, стационар кездейсоқ процесс деп аталады ?
6. Қандай кездейсоқ процесс эргодикалық кездейсоқ процесс деп аталады ?
7. Спектрлік тығыздық дегеніміз не ?
8. Сызықты емес жүйені сызықтандыру қандай үлгімен орындалады ?

8 Үйлесімді басқарудың тапсырмалары

Мақсаты: үйлесімді басқару тапсырмаларын шешу әдістерін және функцияның экстремум түсінігін оқу.

Жоспары:

8.1 Үйлесімді жүйенің ерекшеліктері мен жалпы сипаттамасы.

8.2 Үйлесімді автоматты басқарудың қойылым тапсырмалары.

8.1 Үйлесімді жүйенің ерекшеліктері мен жалпы сипаттамасы

Үйлесімді деп ең жақсы техно-экономикалық мағынадағы жүйе аталады. Оның негізгі ерекшелігіне басқарудың екі мақсатын бір дегенде автоматты түрде шешетін жүйе жатады.

Басқарудың негізгі мақсаты – берілген мағына және бұл шамадағы ауытқуларды басқару шамасымен ұстап тұру.

Үйлесімділік мақсаты – ең жақсы сапалы басқарумен қамтамасыз ету үйлесімді критери (ҮК) деп аталатын анықтама кейбір техно – экономикалық көрсеткіштердің экстремумды өсуін атайды.

Үйлесімді жүйе ҮК түріне бағыныштылығына байланысты екі классқа бөлінеді: статикалық жүйедегі үйлесімділік және динамикалық жүйедегі үйлесімділік.

Статикалық жүйедегі үйлесімділіктегі ҮК функция параметрлері немесе басқару әрекеті болып табылады. Бұл критери жұмыс жүйесінің статикалық тәртібінде экстремумға ие, сонымен қоса статикалық сипаттама, басқару әрекетінің үйлесімділігінен ҮК бағыныштылығынан айырылады, келтірілмеген үлгіде араласуы мүмкін. Үйлесімді жүйе мына экстремумды тауып ұстап тұруы қажет. Осындай жүйелер қолданылады, егер ашынулар, көрсетілген мінездемені орнынан қозғайтын, салыстырмалы ақырын ауыспалы үдерістің ұзақтығы салыстырмалы жүйеде өзгереді. Сонда жүйе анду экстремум іс жүзінде статикалық режимінде үлгеру болады. Мынадай шарттар әншейін иерархияның сырттағы сатысында орындалады.

Динамикалық жүйедегі үйлесімділік, функция уақытынан функцияны үйлесімді критеридің функционалдығын көрсету арқылы ажыратылады. Бұл дегеніміз уақыт функциясын беріп, функционалдын сандық мағынасын аламыз. Бұл жүйелер сыртқы әрекеттер салыстырмалы тез ауысуынан аңысып кетуі мүмкін, бірде, жібергіш шектеулер. Сондықтан, олар төменгі дәреже басқаруында қолданылады.

Динамикалық жүйедегі үйлесімділік үшін басқарудың негізгі мақсаты әдетте $x(O)$ алғашқы жағдай және кейбір $x(T)$ соңғы жағдайы ауысу тапсырмасының кескінделген нүктесі ретінде жасалады. Алғашқы жағдайды үйлесімді траекторияның сол жақ соңы десек, ал соңы – оң жақ. Бұл берілгендер бірге алынған және шекті шарты бар. Басқару тапсырмалары шекті шарт түрімен ерекшеленуі мүмкін.

Шектеулік деп қосымша шартты атайды, жанағы басқару әрекеттері мен басқару шамаларын қанағаттандыруға міндетті.

Шектеуліктердің түрлері:

- *шартсыз (табиғи) шектеулер* - объекті басқарудағы процесстер үшін физикалық заңдардағы күштерді қолданады, кейбір шамалар мен олардың функциялары белгілі теңдік не теңсіздікден шекарадан шыға алмайтындығын көрсетеді;

- *шартты (табиғи емес) шектеулер* – шамалар немесе функциялардан осындай қажеттіліктерді көрсетеді, олар ұзақ және қауіпсіз объект эксплуатациясының белгілі теңдік немесе теңсіздік шарттарының шекарасынан шықпауы керек.

Шектеулер, түрлерінен тәуелсіз, айтылған теңдік – классикалық деп, ал теңсіздік – классикалық емес деп аталады.

8.2 Үйлесімді автоматты басқарудың қойылым тапсырмалары

Берілген шектеулер басқару әрекеттерінде, басқарғыш шамалар, сондай-ақ басқару объектісіндегі берілген теңдеулер, үйлесімді критери және шекті шарттарда үйлесімді басқару және үйлесімді траектория немесе үйлесімді алгоритмді басқаруды анықтау қажет, берілген үйлесімді критеридің экстремумын қамтамасыз ету керек. Бірінші тапсырманың шешуін ашық АБЖ-ға әкеледі, екіншінің шешімі- тұйық АБЖ – ға.

Үйлесімді басқарудың тапсырмаларын шешу үшін оңтайландырудың келесідей әдістері қолданылады: Эйлер-Лагранж, динамикалық программалау Р. Бельман, Л.С. Понтягиннің максимум принципі.

Шартсыз экстремум функциясының тапсырмасында небір шектеулер қолданылмайды, бұл жетіспеушілік болып табылады, шектеулердің қолданылмауы әдетте тапсырманың зертханалық мағынасын бөледі.

Шартты экстремум тапсырмасында (Эйлер-Лагранж әдісі) жаңа функционалды құрылымы, яғни белгісіз функция ұстанымын шығарады ол Лагранж көбейткіштері деп аталады. Осыған орай, бұл тапсырма шартсыз экстремум функция тапсырмасына айналады. Осыдан, Эйлер теңдеуі экстремалдар үшін құрылғандай болу керек, және Лагранж көбейткіштері үшін сияқты да.

Шектеулі изопериметрлік тапсырмада, қабылданған шартты экстремум тапсырмалары белгілі бір уақыт интервалына ие.

Динамикалық программалау әдісінің негізіне үйлесімділік ұстанымы жатқызылған. Оған кез келген үйлесімді траекторияның соңғы бөлігі сәйкес (ақырғы аралық нүктеден бірден сол соңғы нүктеге дейінгі процесс а) өзінің шекті шарттары үшін өзімен өзі үйлесімді траектория болады.

Максимум принципі - үйлесімді процесстер мен жүйені есептеу әдісі, және үйлесімділіктің қажетті шартын білдіреді.

Бақылау сұрақтары:

1. Қандай жүйе үйлесімді деп аталады?
2. Басқарманың негізгі мақсаты не болып табылады?
3. Оңтайландырудың мақсаты не болып табылады?
4. Сіз үйлесімді жүйенің қандай түрлерін білесіңдер?
5. Шектеулер деп не аталады?
6. Қандай шектеулер болады?
7. Қойылымның және үйлесімді автоматты басқарманың мақсатының шешімінің әдіс-айлалары.

9 Басқарма жүйесі дамуының қазіргі үрдістері

Мақсаты: АБЖ қазіргі даму ерекшелігін оқыту

Жоспары:

9.1 Автоматты басқарманың қазіргі теориясының негізгі мәселелері.

9.2 Қазіргі АБЖ.

9.1 Автоматты басқарманың қазіргі теориясының негізгі мәселелері

Теориялық автоматты басқарманың классикалық (ТАБ) есептерді оңтайландыруға және бейімделуге сәйкес аз қарастырылады. Бұл қолайлы бағдарлама технологиялық үдеріс режимінің өзгерісінің үйлесімді, реттегіштің тапсырма берілген ықпалында жобалаудың белгілі сатысында танымал саналған. Осы бағдарламада басқарма тапсырмасын орындау бағдарламалық тұрақтандыру әрекеті жасалды. Бұл ретте тек қана тапсырылған әрекеттен аз ауытқу, және ауыспалы үдерістерге қарамастан өзге өлшемдерге оңтайландырылды.

XX ғасырдың 50 жылдың аяғымен 60 жылдың басында Л.С. Понтрягиннің еңбегі пайда болды (максимум қағидалары), Р. Беллманның (динамикалық бағдарламалау), Р. Калманың (қолайлы фильтрлеу, басқару және бақылау), автоматты басқарудың қазіргі теориясын салудың, ортақ қабылданған анықтамалардың түсінігі әзірше жоқ. Автоматтық басқарудың қазіргі теориясының біршама сипаттамалық белгілеріне сонымен қатар үдерісті сипаттау, кеңістік жағдайы, бейімділік басқарудың даму теориясы, толық емес негізсіз ақпаратты басқаруы болып саналады.

Қазіргі теориялық автоматты басқарманы ТАБ ерекше классикалықтан бөлуге болады, ғылыми-техникалық прогрессті есепке алуды талап ету, қазіргі және болашақты автоматтандыру. Осындай маңызды талап ету барлық қорларды (энергетикалық, ақпараттық, есептеуіштік) оңтайлы қолдану басты жиынтық ақырғы мақсаттың табысы үшін сақтау болып табылады. Мысалы машинаның жаңаша жұмыс режимінде жіберу немесе шығу, агрегат, минимальді шығындар бекеті, 3 аяда тапсырынды навигациялық нүктенің табысы тапсырынды уақытта тапсырынды курспен отынның ең төменгі шығыны. Осы оңтайландыру байланысы «үлкен», басқару үдерісін шынайы уақытта жүзеге асыру, қазіргі теориялық автоматты басқарудың өзекті мәселесіне айналды. Бұл ортақ мәселе үлкен мәселелер қатарын, олардың шешімінің тапсырмасын және әдісін тудырады. Бәрінен бұрын, көрсетілген оңтайландыру негізсіз ақпараттың толық игерушілігін басқарма үдерістің немесе нысанның математикалық қалыбын сұрайды. Осындай үлгінің қолданылуы тек қана жобалау кезеңінде ғана емес, сонымен қатар жүйенің қызмет ету үдерісінде, қазіргі теориялық автоматты басқарманың белгілі мінездік сипаттары болып табылады.

Үйлесімді басқару бар болғаны ақпаратты үйлесімді өңдеу болуы мүмкін. Сол себепті үйлесімді (және субоптимальды) бағалау (фильтрлеу) динамикалық үдерістердің құрамдас қазіргі теориялық автоматты басқаруы болып табылады. Маңыздысы параметрлік сәйкестендіру (параметрлік және

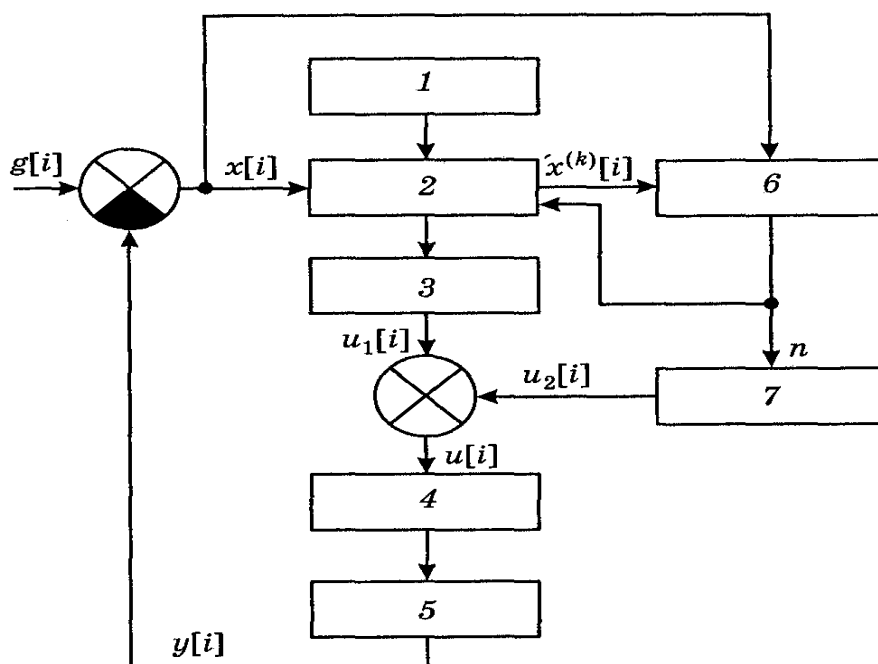
мінездемелік бағалау тәжірибелік деректеме бойынша) шынайы масштабтағы уақытындағы эксплуатациялық режим ОУ орындалуы.

Қазіргі теориялық автоматты басқарманың орталық бөлігі болып,шынында үйлесімді және субоптимальді басқару «үлкен» детерминирдендірілген немесе ықтималдық сызықтық емес үдеріс болып табылады.Шынайы үйлесімді автоматты басқару толық емес негізсіз ақпарат шартында тек қана жұмыс істеу қызметінің жүйесінің үдерісі ағымдағы жабдықтар және туындалған жағдайда болуы мүмкін.Демек,қазіргі теориялық автоматты басқару үйлесімді бейімделген (субоптимальды) басқару үлкен деңгейде қаралуы қажет.Бұдан басқа,қазіргі теориялық автоматты басқару сақтық қорда сақтауды және құрылымдық қамтамасыз ету сенімділігін қарастыру қажет(әсіресе автоматты реконфигурация жүйесінен бас тартқанда).

9.2 Қазіргі АБЖ

АБЖ үйлесімді бейімделу өзін ұйымдастырылу үйлесімді реттегіш экстраполяциясы негізінде. АБЖ функционалдык сұлбасы мынадай келесі элементтерден тұрады: (36 сурет)

- блок жаді(1);
- блок бағалауы (2);
- орындалатын блоктар(3, 7);
- экстраполятор нөлдік тәртіпте(ЦАП) (4);
- жалпыланған реттегіш нысан(5);
- автоматтық іздеу тәртібіндегі математикалық үлгі блогі (6).



36 сурет. АБЖ Функционалдык үйлесімді бейімделу сұлбасы өзін ұйымдастырушылық үйлесімді реттегіш экстраполяциясы негізінде

Жұмыс істеу қағидасы бойынша АБЖ бұл дискретті уақыт цикліндегі жүйе түрінде қаралады. Кіру аумағына өзін ұйымдастырушылық үйлесімді реттегіш экстраполяциясы $x(t)$ келіспеушілік белгісі дабылы $g(t)$ тапсырма ықпалы және шыға беріс әсерінің арасында $y(t)$ нысанның аумағымен қызмет етеді. Бұл дабыл әрбір кадам бойынша өлшенеді. Айтылмыш АБЖ тұңғыш рет бейімделу басқарманы негізсіз ОР белгісіз құрылымы арқылы, жоғары деңгейдегі құрылымдық және параметрлік бейімделу қамтамасыз етілетін бәрінен бұрын бақылаушының қолдану есебінен Калмана-Бьюси сүзгіш түрінде, экстраполяция және математикалық үлгі тәртіп ізденіс құрылымы қолдану есебінен болды.

Синергетикалық үйлесімді АБЖ

«Синергетика» атауы гректің «синергос» сөзінен «бірге әсер етуші» деген мағынаны және ортақ ғылыми бағыт береді, табиғаттың әр түрінше сызықтық емес динамикалық жүйесінің бірлескен ықпалын оқытады. Синергетикалық теорияның базалық жағдайы келесідей жасалады:

- Синергетикалық жүйеде өзін ұйымдастырушылық үдерісінде бостандық дәрежесінің саны кішілеуі мүмкін, басқарылатын бөлшектеп байланыстыру фазалық кеңістікте, бөліну жолымен тек қана бірнеше координат, қалғандары да осыған жалғаса береді. Осылай аталатын макроайнымалы және динамикалық жүйенің негізгі ерекшеліктері, жеңілдетілген біріктіріме үлгі жасап шығаруға мүмкіндік береді.

- Осы үдерістің нәтижесі өзін ұйымдастырушылық фазалық кеңістіктегі білім осылай аталатын алуан түрлі инвариантты аттрактор, траектория жүйесіне тарту болып табылады.

- Әрбір аттрактор өзінің аймағында фазалық кеңістікте тартуға ие болады, басқа сырттың аймақтарынан ажыратылған. Бағытталған өзін ұйымдастыру қалаулы аттрактор шығысы, алгоритм өзгерісінің лайықты таңдауының өзгерісінің басқаратын ықпал координат жүйесінің функциясы есебінен қамтамасыз етіледі.

Аналитикалық конструкциялау біріктіріме реттегіш келесі кезеңдерден тұрады:

1) Есептерді қою. Басқару нысаны сызықтық емес дифференциалдық жүйесінде сипатталады. Басқарма заңын тауып алуға талап қойылады, аударма бейнелеуші нүкте жөнсіз бастапқы жағдай ең алдымен алуан түрлі инвариантты аймақ болатын, содан соң алдағы асимптотикалық әрекет алуан түрлі қалаулы жағдайды бойлай, координат басындағы жекелікті қамтамасыз етеді.

2) Айнымалы біріктіріме макроайнымалы функция. Бұл функциялар әр түрлі тәсілде құрылуы мүмкін, жобалаудың негізгі есебі және оларды іздеу болып табылды. Бұл іздеу үлкен деңгейде эвристикалық мінезді тасиды.

3) Қолайлы басқарудағы заңды табу оңтайлы есептің шешімінсіз-ақ өндіріп шығарады. Макроайнымалы $|J(t)|$ өзгерісі қолайлы болып саналады, төмендететін осылай аталатын атқосшы қолайлы функционал, жекелік, жақсартылған квадраттық бағалау түріне ие болады. Аз дегенде осындай функционалауға асимптотикалық тырысатын нөлдік экспонентке жеткізеді, функционалдық тендеу

деп аталатын ортақ шешім болып саналады. Содан кейін макроайнымалы уақыттан туындыны анықтайды, күрделі функциядан теңдеу нысанының күші анықталады. Бұл туынды және өзін макроайнымалы функционалдық теңдеуге қойып, осы жерден ізделініп отырған заңды қолайлы басқаруды табады. Атқосшы қолайлы функционал есеппен және сонымен қатар өлшем сапасын табуға көмектеседі, синтезделетін жүйе оңтайландырылады. Ол үлкен дәрежедегі координаттарға ие болады, жылдам әр ететін маңызды қатынас көрсеткіштерінің сапасын жақсартады, қайтадан реттегіш, тербелістердің демпирлеулері және т.б болып саналады. Айрықша бұл құндылық ерекше ауытқу аймағында бейнеленген нүктелерді берген жағдайда пайда болады.

Автоматты басқарудың зияткерлік жүйесі

Жүйенің жарыққа шығуы, толық емес шарттағы жұмыс үшін бағыт көрсетеді немесе анық емес ақпарат, анықталмаған ішкі қапалану және функционерлеу ортасы, дәстүрлі емес жұмылдыратын басқаратын әдістерді қолдануға жақындау және жасанды парасат технологиясын талап етеді. Осындай жүйелер зияткерлік басқару жүйелерімен аталатын, жаңа класс тәрбиелейді. Бұл түсінік ХХ ғасырдың 80 жылдарында шыға бастады. Сапасына байланысты 4 зияткерлік технология бөлінеді:

- Тәжірибелік жүйе технологиясы, білімді жөндеуге бағыт көрсету анық формамен өнім ережесінің түрінде ұсыну;
- Анық емес логика технологиясы, логика-лингвистикалық үлгіні бағыт көрсетіп жөндеу өнім ережесінің көмегімен білімді ұсыну;
- Нейросеттік құрылым технологиясы анық емес формамен білімді ұсыну, архитектуралық тордың жасырын, нейрон және байланыс параметрінде;
- Ассоциациялық жад технологиясы, білім жөндеудің анық емес формасын бағдарлау гипербетті түрі көпөлшемді кеңістік белгісінде ұсынады.

Осы жерден, жекелік көрінеді, негізгі айырым сипаты зияткерлік жүйенің автоматты басқаруы білімді түзету жүйесінің мүмкіндігі, нәтижесі тәжірибемен зерттелген, адамның ойлау қабілетінің дұрыс болуы жатады. Білім бірнеше класка күрделі жағайға апаруына жол береді, Поспелова Д.А танымал жағдайға байланысты басқару теориясы басқаруды талап ететін болып оның ғылыми мектебінде есептелінеді. Озық үрдістердің біріне аймақтағы білімді жөндеу әр түрлі зияткерлік интеграциясынан тұрады және оның артықшылықтарының тіркесінен тұрады.

Автоматты басқарудағы зияткерлік жүйе ұйымы келесі қағидалар бойынша жүргізіледі :

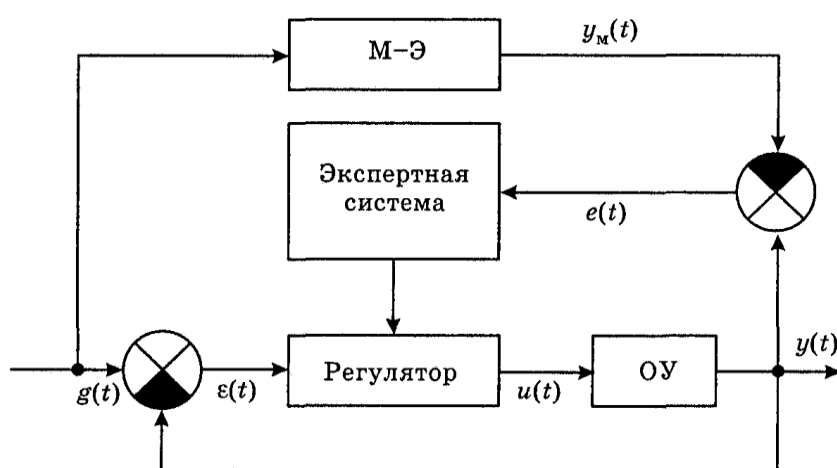
- автоматты басқарудың зияткерлік жүйесі ақпараттық әрекеттестік ақпараттық канал байланысын қолданғандағы сыртқы әлемнің шынайылығы;
- қолдағы болжамның өзгерісі сыртқы әлемнің және жекеменшік тәртіп жүйесі;
- иерархиялық құрылымның көпдеңгейлі мінезі ережеге сәйкес: зияткерліктің жоғарылауы және талап ету төмендеуінің иерархиялық дәрежесінің нақтылық өлшемінің жоғарылауы ;

- жұмыс істеу қызметінің сақталуы иерархияның ажырау кезіндегі жоғарғы деңгейі;

- зияткерліктің жоғарылауы және жекеменшік тәртіпті жетілдіру.

Автоматты басқарудағы сараптамалық ақпараттық жүйе

Бейімделген АБЖ мәлім, бұл жүйелер әр түрлі сұлбалар бойынша құрылуы мүмкін, Айрықша нәтижелі осы жағдай (10.2 сурет) сұлба болып, параметрлік ООС қағидасын қолдану арқылы, Ляпунованың екінші әдісі және эталондық үлгі саналады. Реттегіш сапасында екі АБЖ негізгі контурында әдеттегіше сызықтық ПИД-реттегіші қолданылады.



37 сурет. Ақпараттық АБЖ ерекше сараптамалық нәтижесінің сұлбасы

Ортақ жағдайда сарапшы жүйе зияткерлік бағдарлама ретінде түсіндіріледі, логикалық қорытынды істеуге қабілетті білім негізінде нақты пән аймағында және анықталған есеп шешімін қамтамасыз етеді. Сарапшы реттегіштің жұмысы (38 сурет) шартты түрде бұзу 3 кезең архитектурасына лайықты, 39 суретінде көрсетілген.

Бірінші кезеңде АБЖ жобалау есебі шешіледі:

- ОУ үлгісінің құрылымын таңдау;

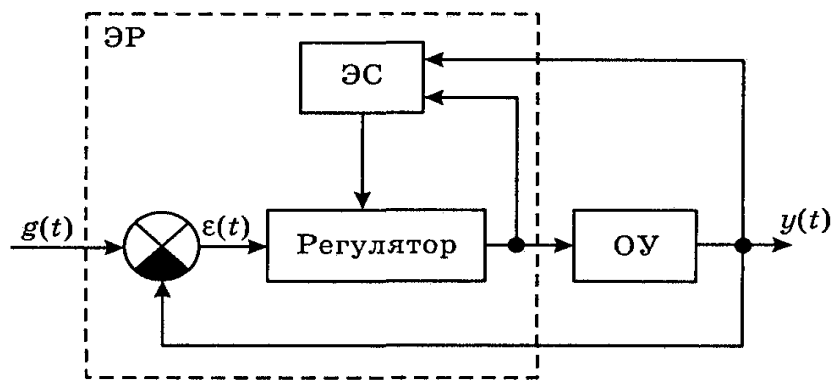
- ОУ параметрінің анықтамасы әдісі бойынша сәйкестендірілуі;

- басқару заңын таңдау;

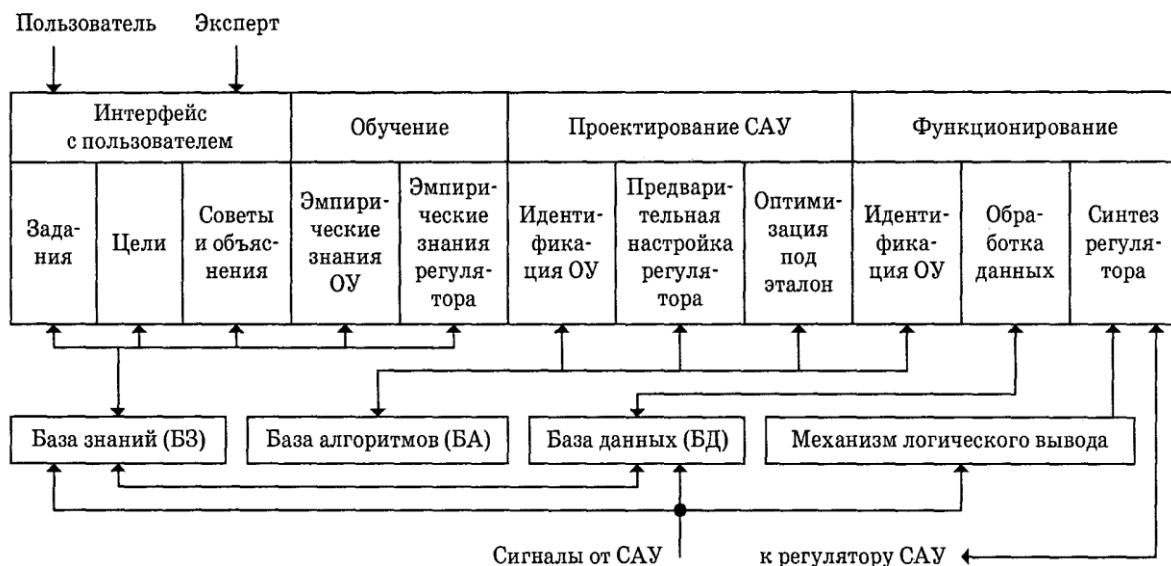
- басқару заңын алдын-ала икемдеу параметрі;

- басқару заңының соңғы синтездеу параметрі алдын-ала дайындалған қолданушымен сапа өлшемі, нәтижесінде кеңістік сапасының аясында "жұмыстың нүктесі" анықталады.

Екінші кезеңде есепті оқыту мақсаты параметрдің өзгерісінің "жұмыстың нүктесінің" маңайында шешіледі. Бұл жерде ағымдағы эмпирикалық автоматты басқару жүйесінің динамикалық ерекшелігі түрінде сапалы тәуелділікте өзгеріс арасында параметрі үлгі нысаны және реттегіші бойынша, бір жағынан, сапа өлшемін басқаша қалыптастырады.



38 сурет. Сарапшы реттегіш жұмысының сұлбасы



39 сурет. Сарапшы реттегіштің архитектуралық жұмысы

Үшінші кезеңде толассыз өтіп кеткен үдерістерді аңду болады, және келесі есептер белсенді түрде өзіне диагностика жасайды:

- құрылғылармен өлшеп жөндеу;
- Аналитикалық әдіс сияқты АБЖ бағалау өлшемі, және негізгі эмпиризмдік білімдер ОУ туралы;
- реттегіш параметрін дұрыстау, және оны бағалау;
- басқару заңының өзгерісі (қажеттілік жағдайында)

Кез келген сарапшы жүйесінің құрылуының негізгі мәселесі білім базасын өңдеу жеткілікті тар және айқын пән аймағы болып саналады, 2-ші кезеңде шешілуі мүмкін:

- 1) Сарапшы білімді пәндік аймақ жайлы нысандау және құрылымдау (ТАБ);

2) Осы білімдегі нысандау жасанды зияткерлік үлгінің көмегімен көрсетіледі

Алгоритмдер базасы сәйкестендіру ережесін ұстанады, берілген тәжірибелік математикалық жүйенің үлгісін алуға немесе нақтылауға рұқсат етеді, немесе математикалық аппарат арқылы білдіреді.

Нейросеттік жүйелер және реттегіштер.

Жоғары жылдам әсер ету параллельдеудің кіріс ақпарат есебінен оқытудың нейрондық байланысымен ыңғайлы өзінің биологиялық прототипімен бұл технологияны аса пішінді етеді, сәйкестендіру нысанының басқармасына байланысты өзін оқытатын үйлесімді автоматты басқару құрылғысын құру үшін. Бірнеше көп таралған құрылғы, негізгі ерекшеліктерін өзіне жинаған, өзіне лайық нейрондық байланысымен, нейрондық жүйенің тіке таралуы көпқатарлы жүйе болып табылады, ішкі динамиканың жоқтығын сипаттайды және кез келген дәлмедәлділігі нейронның санының жасырын қабаттарда жүзеге асыруын анықтайды. Көп қатарлы нейрондық байланысты тура таралуына байланысты оқыту рәсімі деп атайды. Жоғарғы деңгейде талап ету оқыту байланысын мысалдардың үлкен көлемде керектігін анықтайды. Оқыту жүргізілетін мысалдар тобы *мысалдар парақшасы* деп аталады.

Автоматты басқару жүйесінің ассоциативтік жады.

Ассоциация - көрініс, бір тамаша ұқсастыққа, қанаттастыққа немесе қарама-қайшылыққа шақыртады. Ассоциативтік жад – ақпаратты сақтау құрылғысы, ассоциация негізінде ақпаратты беруге және қалпына келтіруге берілген белгілері бойынша, ерекше ізделініп отырған ақпараттарды қарауға рұқсат етеді. Бұл ақпарат жуық мінездемеге ие болады.

Ассоциативтік жад пирамидалық, матрицалық және өзін ұйымдастырушылық болуы мүмкін.

Пирамидалық (иерархиялық) ассоциативтік жад кіріс векторының бірнеше белгілеріне қарай топтастырылады, оның топтастырылған бір тобына қатысы бар. Содан кейін бұл топта вектордың басқа белгілерінің топтастырылуына байланысты, бұл үдерісте барлық белгілеріне толық сәйкес келіп бір топтастырылған топ қайталанады.

Матрицалық ассоциативтік жад – бұл пирамидалық ассоциативтік жадтың кездейсоқ жағдайы, тек қана топтастырудың бір кезеңіне ие болады.

Өзін ұйымдастырушылық жадтың құрылымы ақпаратты аттрактор түрінде сақтайды, мысалы, осцилляторлық нейробайланыста. Кіріс векторының тәуелділігіне байланысты жүйе біреуінен шығады. Ассоциативтік жад динамикалық түрдің бірнеше уақыт шамасында ақпарат оған сақталады.

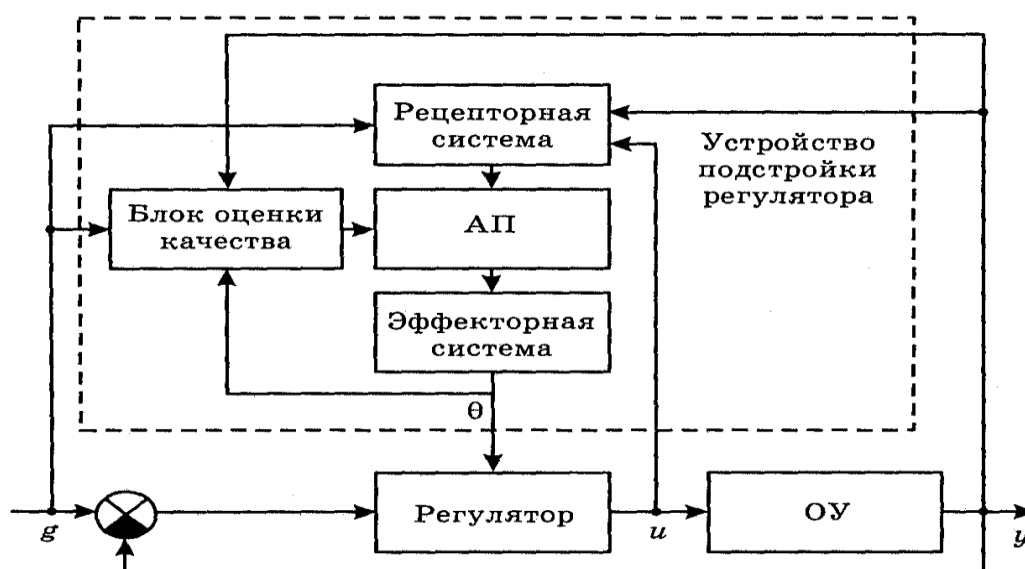
Жадты оқыту – бұл кіріс ақпараттың тәуелділігіне байланысты ішіндегі жад қалыптасатын үдеріс. Бұл үдерістерді басқару рұқсат ету немесе тиым салу дабылдың өндірілуі жадта жазылады. Ішіндегі жады кез келген векторына немесе сол векторға ғана түсуі әрқалай өзгеріп отырады.

Басқару жүйесіндегі ассоциативтік жад екі бөлімнен тұратын, кіріс векторын оқытады. Бірінші бөлімі ақпаратты реттегіштен шығу және

құрылғының кері байланысы, ал екіншісі - реттегіш параметрі немесе басқаратын ықпал мәнін, талап ететін өлшем сапасын қамтамасыз етеді. Басқару режимінде вектордың бірінші бөлігінде екіншісі қалпына келтіреді. Осылайша, оперативтік сәйкестендіру және бейімделушілік жүзеге асады.

Зияткерлік жүйенің ассоциативтік жадын шартты түрде тәуелділігіне байланысты бірінші және екінші түрге бөлуге болады, болжап болатын немесе болжап болмайтын белгісіздігіне сәйкес шартында жұмыс істейді ме. Болжап болатын белгісіздік заң өзгерісінің негізсіз ақпараты мәлім болғанда уақыт функциясының басқару координаттары орнындағы жағдайда болады.

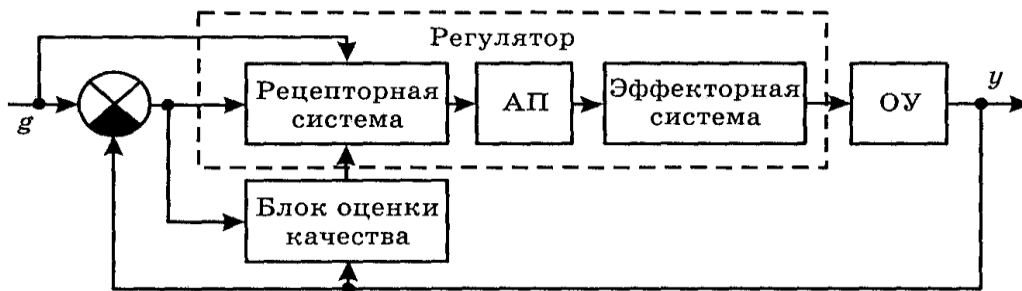
АБЖ ассоциативтік жадының бірінші түрінің функционалдық сұлбасы 40 суретте көрсетілген



40 сурет. АБЖ ассоциативтік жадының бірінші түрі

АБЖ ассоциативтік жадының екінші түрі (41 сурет) рецепторлық жүйе, ассоциативтік жад және эффекторлық жүйе реттегіш сапасының негізгі басқару контурына тікелей кіреді.

Бұндай жүйеде білімнің қалыптасуы ассоциативтік жадтың оқыту кезеңіне оператормен жүзеге асады. Ассоциативтік жад кіріс векторының дабыл жиынтығы құрылғымен және басқару ықпалымен сәйкес келетін орындалған оператор. Ассоциативтік жадты оқып болғаннан соң, мүмкіндік жағдайы бойынша адамды ауыстырады. Кіріс векторы бойынша, ОУ жағдайы және кіріс ықпалы бойынша ақпарат қабылдайтын, ассоциативтік жад ОУ-ға басқару ықпалын жасайды, өзгеріс бейімделушілігін қамтамасыз етіп, ОУ параметрі және құрылымы сияқты болады



41 сурет. АБЖ ассоциативтік жадының екінші түрі

Жанама басқарудағы есеп ОУ-дың бірнеше толық жағдайын оқытуды талап етеді. Сапа өлшемінің орындалуы барысында сәйкес келетін блок, нысанның жағдайына қарай топтастырылып, ақпараттық жазылуға ассоциативтік жадты оқытылуына рұқсат береді.

АБЖ ассоциативтік жадының артықшылықтары келесілерден тұрады:

- ассоциативтік жад басқарма бойынша барлық мүмкін емес шешімдерді аккумуляциялайды, тек қана негізгі қажетті көлем жадын қысқартады.;

- ассоциативтік жад рұқсат алуды деректерлерге биік жылдамдықпен жасауға қояды;

- АБЖ ассоциативтік жадымен сапалы деңгейде топтастырылу жағдайы жүйесін жеткілікті түрде өткізіп, басқаруды белгілі нысанға келтіру үшін, ағымдағы жағдай жүйесіне сәйкес келетін және шынайы уақытта берілген сапа өлшемі, ОУ жылдам ауысатын параметрлері және құрылымы үшін.

Базадағы барлық жоғары саналған жүйелердің роботтандырылған жүйенің және майысқак өндірістік жүйенің зерттемесі өндіріледі.

Бақылау сұрақтары:

1. Автоматты басқарудың классикалық теориясы қазіргі теориялық автоматты басқарудан қалай өзгешеленеді?
2. Бейімделуші үйлесімді АБЖ өзін ұйымдастырушы қолайлы реттегіш экстраполяциясы негізінде қандай ерекшеліктері болады ?
3. Синергетикалық үйлесімді АБЖ қандай ерекшеліктері бар?
4. АБЖ зияткерлік жүйесінің қандай ерекшеліктері бар?
5. Автоматты басқарудағы сараптамалық ақпараттық жүйенің қандай ерекшелігі болады?
6. Нейросеттік жүйе және реттегіштің қандай ерекшеліктері бар?
7. Автоматты басқару жүйесінің ассоциативтік жады қалай ерекшеленеді?

10 Буындар мен жүйелердің жиіліктік сипаттамаларын тұрғызу

Мақсаты: амплитудалы-фазалық, амплитудалы-жиіліктік, фазалы-жиіліктік сипаттамаларын, логарифмдік амплитудалы-жиіліктік және логарифмдік фаза-жиіліктік сипаттамаларын белгілі беріліс функция бойынша тұрғызуды үйрену.

Жоспары:

10.1 Жиіліктік беріліс функцияны анықтап, жиіліктік беріліс функцияның нақты және жорамал құраушыларын белгілеу.

10.2 Жиіліктік беріліс функцияның нақты және жорамал құраушыларын есептеп, ω жиіліктің нөлден плюс шексіздікке дейін ($0 < \omega < +\infty$) түрлі мәндерінде амплитудасы мен фазасын есептеп, есептеулер нәтижелерін кестеге келтіру.

10.3 АФС, АЖС, ФЖС графиктерін тұрғызу.

10.4 ЛАЖС және ЛФЖС графиктерін тұрғызу.

10.5 Жеке тапсырмалар

10.1 Жиіліктік беріліс функцияны анықтап, жиіліктік беріліс функцияның нақты және жорамал құраушыларын белгілеу

Есепті шығару мысалы:

Шарты: Беріліс функциясы: $W(s) = \frac{K}{1+T_1s}$, мұндағы $K = 5$, $T_1 = 0,1$ с түрінде

берілген буынның амплитудалы-фазалық жиіліктік, амплитудалы-жиіліктік, фазалы-жиіліктік сипаттамаларын, логарифмдік амплитудалы-жиіліктік және логарифмдік фаза-жиіліктік сипаттамаларын белгілі беріліс функция бойынша тұрғызу керек.

Шешуі:

1. K және T_1 мәндерін беріліс функциясына қойып, келесіні аламыз:

$W(s) = \frac{5}{1+0,1s}$. $s = j\omega$ -ға ауыстырып, жиіліктік беріліс функциясын аламыз. Осы

жиіліктік беріліс функциядағы нақты және жорамал құраушыларын анықтау үшін бөліміндегі жорамал бірліктен айырылу қажет. Ол үшін бөлімі мен алымын бөліміне кешенді-түйіндес болатын санға көбейтіп, аламыз:

$$W(j\omega) = \frac{5}{1+0,1j\omega} = \frac{5(1-0,1j\omega)}{(1+0,1j\omega)(1-0,1j\omega)} = \frac{5-0,5j\omega}{1+0,01\omega^2} = \frac{5}{1+0,01\omega^2} - j\frac{0,5\omega}{1+0,01\omega^2}.$$

Жиіліктік беріліс функцияның нақты және жорамал құраушыларының мәндерін айырып аламыз:

$$\operatorname{Re}(\omega) = \frac{5}{1+0,01\omega^2};$$

$$\operatorname{Im}(\omega) = -\frac{0,5\omega}{1+0,01\omega^2}.$$

10.2 Жиіліктік беріліс функцияның нақты және жорамал құраушыларын есептеп, ω жиіліктің нөлден плюс шексіздікке дейін ($0 < \omega < +\infty$) түрлі

мәндерінде амплитудасы мен фазасын есептеп, есептеулер нәтижелерін кестеге келтіру

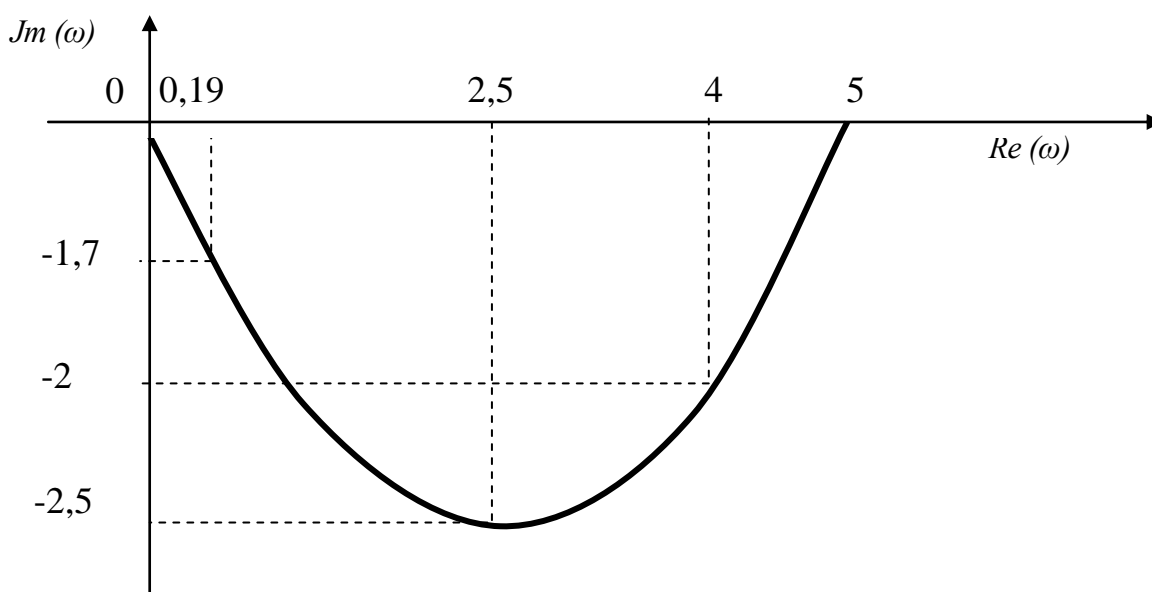
Жиіліктік сипаттамаларын тұрғылу үшін кестені толтыру қажет. Ол үшін ω жиіліктің $0 \leq \omega \leq +\infty$ аралығында жататын бірнеше мәндері үшін жиіліктік беріліс функция нақты және жорамал құраушыларының мәндерін, сондай-ақ өткен тақырыптардан формуласы бойынша амплитуданың мәндерін және тақырыбы формуласы бойынша фазаның мәндерін анықтау қажет.

5 кесте

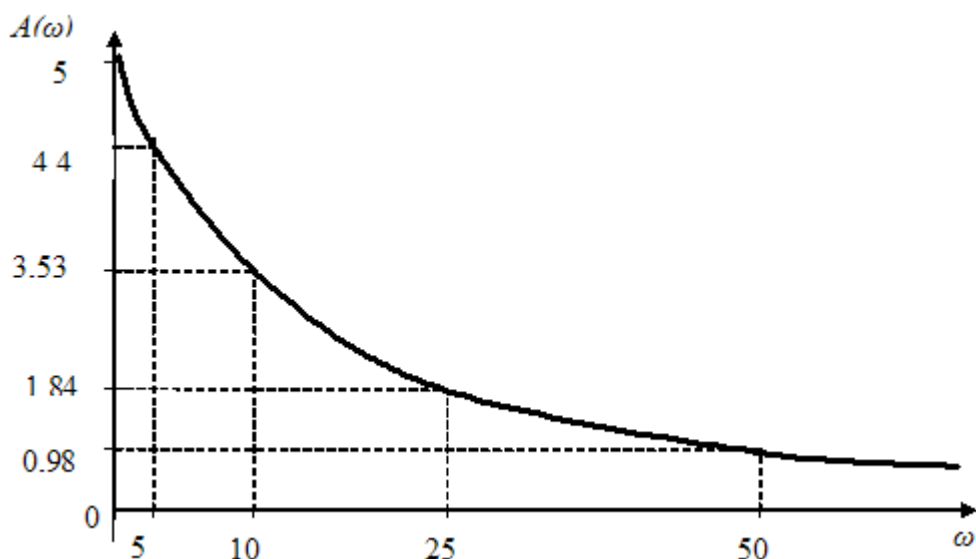
ω	0	5	10	25	50	200	500	$+\infty$
$Re(\omega)$	5	4	2,5	0,68	0,19	0,012	0,0019	0
$Im(\omega)$	0	-2	-2,5	-1,72	-0,96	0,249	0,099	0
$A(\omega)$	5	4,4	3,53	1,84	0,98	0,24	0,099	0
$\varphi(\omega), \text{град.}$	0	-26,56	-45	-68,4	-78,8	-87,2	-89,9	-90

10.3 АФС, АЖС, ФЖС графиктерін тұрғызу

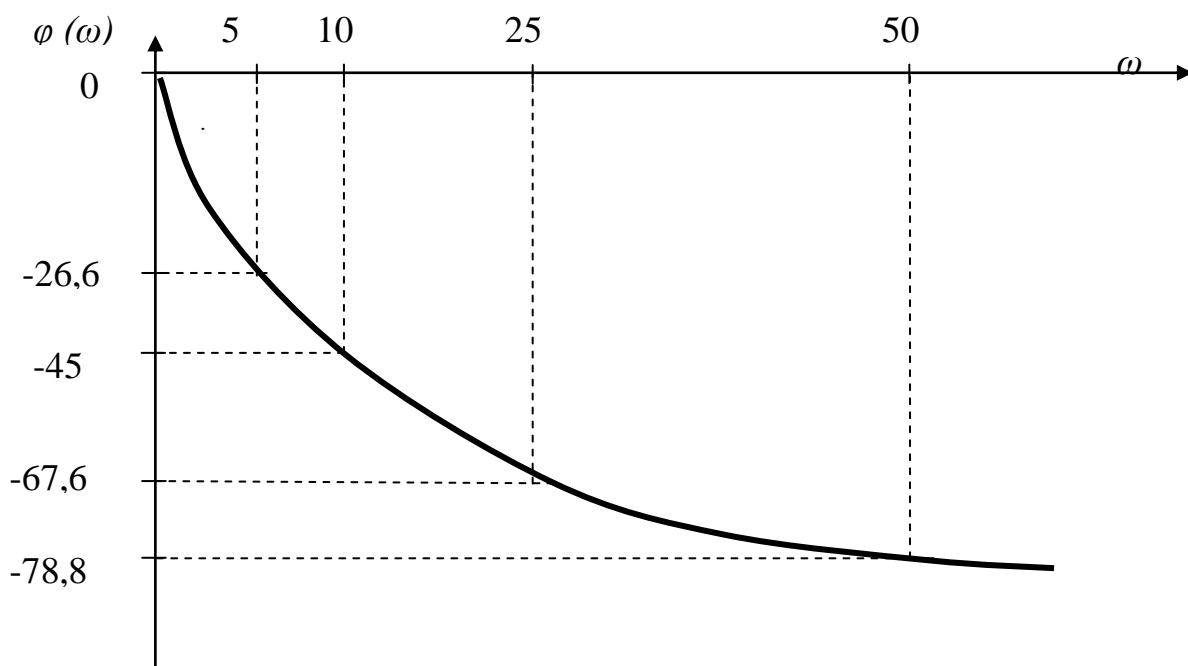
Есептеулердің нәтижелері бойынша жиіліктік сипаттамаларын тұрғызамыз:



42 сурет. Амплитуда – фазалық сипаттама



43 сурет. Амплитуда – жиіліктік сипаттама



44 сурет. Фаза – жиіліктік сипаттама

10.4 ЛАЖС және ЛФЖС графиктерін тұрғызу

Берілген беріліс функция 1-ші ретті аperiодтық буынға сәйкес келеді. ЛАЖС тұрғызу үшін тақырыбы формуласын қолдануға болады:

$$A(\omega) = 20 \lg \frac{K}{\sqrt{1+T_1^2 \omega^2}} = 20 \lg \frac{5}{\sqrt{1+0,01 \omega^2}}, \text{ бірақ, 1-ші ретті аperiодтық}$$

буынның стандартты сипаттамасын қолданған жөн. Асимптоталық ЛАЖС екі кесіндіден тұрады: бір кесінді абцисса өсіне паралельді болады және абцисса өсінен $20 \lg K = 20 \lg 5 \approx 13,98$ дБ биіктігінде орналасады, екінші кесіндінің

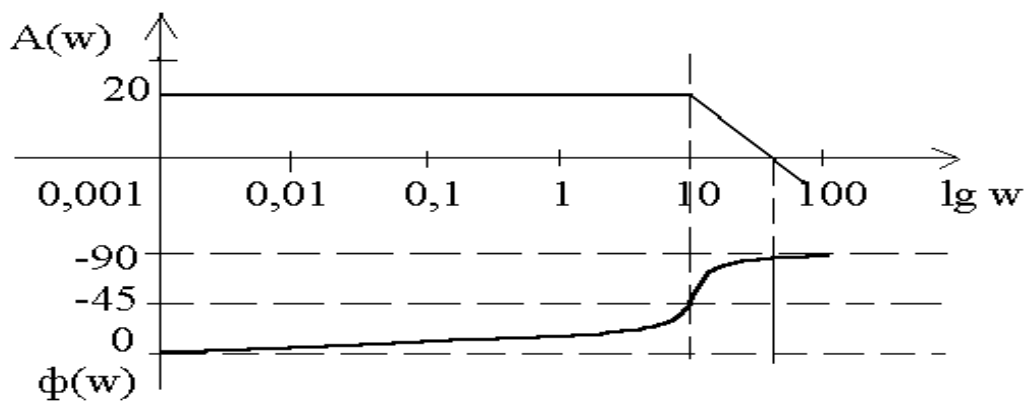
көлбеуі – 20 дБ/дек-ға тең болады. Осы кесінділердің түйісетін жиілігі тақырыбы формуласы бойынша анықталады және $\omega_u = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,1} = 10$ тең болады.

ЛФЖС тұрғызу үшін тақырыбы формуласын қолданамыз: $\varphi(\omega) = -\arctg T\omega$ АФС, АЖС және ФЖС тұрғызғандағы жиіліктің мәндерін беріп, кестені толтырамыз:

6 кесте

ω	0	5	10	25	50	200	500	$+\infty$
$T\omega$	0	0,5	1	2,5	5	20	50	$+\infty$
$\varphi(\omega)$, град.	0	-26,56	-45	-68,2	-78,69	-87,1	-88,85	-90

Жиіліктің алынған мәндерін жоғарыдағы мәндерімен салыстырсақ, ЛФЖС-ның ФЖС-дан айырмашылығы тек абцисса өсінің логарифмдік масштабында ғана екенін байқаймыз. ЛАЖС пен ЛФЖС тұрғызамыз.



45 сурет. ЛАЖС және ЛФЖС

Қорытынды: Жиіліктік сипаттамалардың барлығы тұрғызылды.

Бақылау сұрақтар:

1. ЛФЖС тұрғызу үшін қандай мәліметтер керек?
2. ФЖС тұрғызу үшін ше?
3. $Re(\omega)$ мәні дегеніміз не?

10.5 Жеке тапсырмалар

Нұсқа нөмері сынақ кітапшасының соңғы екі санына сәйкес келеді.

ЖТ 1.

$W(s)$ беріліс функциясы кестеде берілген буынның амплитудалық - жиілік, фазалық – жиілік, амплитудалық – фазалық сипаттамаларын құру керек.

7 кесте. Соңғысының жұп алдындағы сан

Соңғы сан	Беріліс функция	К	T ₁ , с	T ₂ , с
0	$W(s) = \frac{K}{s(1+T_1s)}$	100	0,5	-
1	$W(s) = \frac{Ks}{1+T_1s}$	200	0,1	-
2	$W(s) = \frac{K}{(1+T_1s)(1+T_2s)}$	150	0,3	0,1
3	$W(s) = \frac{K}{(1+T_1s)(1+T_2s)}$	80	0,4	0,1
4	$W(s) = \frac{K}{s+T_1s^2}$	50	0,2	-
5	$W(s) = \frac{Ks}{T_1^2s^2+1}$	100	0,5	-
6	$W(s) = \frac{K(1-T_1s)}{(1+T_1s)(1+T_2s)}$	80	0,4	0,5
7	$W(s) = \frac{K(1+T_1s)}{(1+T_2s)}$	90	0,4	0,3
8	$W(s) = \frac{Ks}{1-T_1s}$	200	0,2	-
9	$W(s) = \frac{K}{s(1-T_1s)}$	180	0,9	-

8 кесте. Соңғысының тақ алдындағы сан

Соңғы сан	Беріліс функция	К	T ₁ , с	T ₂ , с
0	$W(s) = \frac{K}{s(1-T_1s)}$	200	0,2	-
1	$W(s) = \frac{Ks}{1-T_1s}$	100	0,5	-
2	$W(s) = \frac{K}{(1+T_1s)(1-T_2s)}$	150	0,1	0,2
3	$W(s) = \frac{K}{(1-T_1s)(1+T_2s)}$	180	0,2	0,1
4	$W(s) = \frac{K}{s-T_1s^2}$	150	0,6	-
5	$W(s) = \frac{Ks}{T_1^2s^2-1}$	90	0,3	-

6	$W(s) = \frac{K(1-T_1s)}{(1+T_2s)}$	80	0,5	0,1
7	$W(s) = \frac{K(1-T_1s)}{(1-T_1s)(1+T_2s)}$	190	0,4	0,2
8	$W(s) = \frac{Ks}{1+T_1s}$	300	0,2	-
9	$W(s) = \frac{K}{s(1+T_1s)}$	200	0,9	-

ЖТ 2.

$W(s)$ беріліс функциясы мына түрде болады:

- жұп соңғысының алдындағы сан: $W(s) = \frac{K(1+T_1s)}{s(1+T_2s)(1+T_3s)(1+T_4s)}$;
- тақ соңғысының алдындағы сан: $W(s) = \frac{K(1+T_1s)(1+T_4s)}{s^2(1+T_2s)(1+T_3s)}$,

Буынның логарифмдік амплитудалық - жиілік және логарифмдік фазалық – жиілік сипатамаларын құру керек.

9 кесте

Соңғы сан	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
T_1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8
T_2	0,3	0,3	0,5	0,12	0,15	0,25	0,001	0,1	0,005	0,25
T_3	0,5	0,04	0,02	0,01	0,01	0,1	0,4	0,25	0,2	0,005
T_4	0,02	0,1	0,04	0,6	0,02	0,05	0,2	0,002	0,01	0,04

ЖТ 3.

Сызықты буындардың тек қана тізбектелген, паралельді және кездеспелі – паралельді қосылыстарын пайдаланып, динамикалық буындар қосылысының беріліс функциясын анықтау керек. Беріліс функциялары келесі түрде берілген:

10 кесте

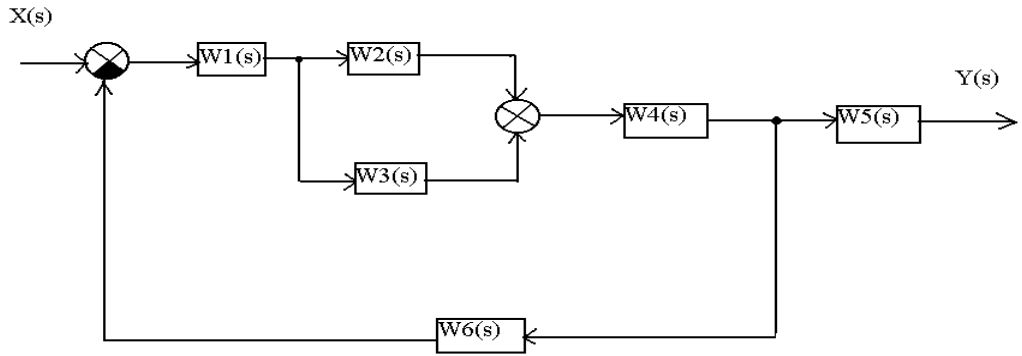
Жұп соңғысының алдындағы сан	Тақ соңғысының алдындағы сан
$W1(s) = \frac{50}{s}$	$W1(s) = \frac{100}{s}$
$W2(s) = \frac{10}{1+0,4s}$	$W2(s) = \frac{50}{1+0,2s}$
$W3(s) = 40s$	$W3(s) = 25s$
$W4(s) = \frac{60}{s(1+0,1s)}$	$W4(s) = \frac{16}{s(1+0,3s)}$

$W5(s) = \frac{100}{0,01s^2 + 1}$	$W5(s) = \frac{20}{0,04s^2 + 1}$
$W6(s) = \frac{80}{(1 + 0,5s)(1 + 0,04s)}$	$W6(s) = \frac{180}{(1 + 0,2s)(1 + 0,01s)}$

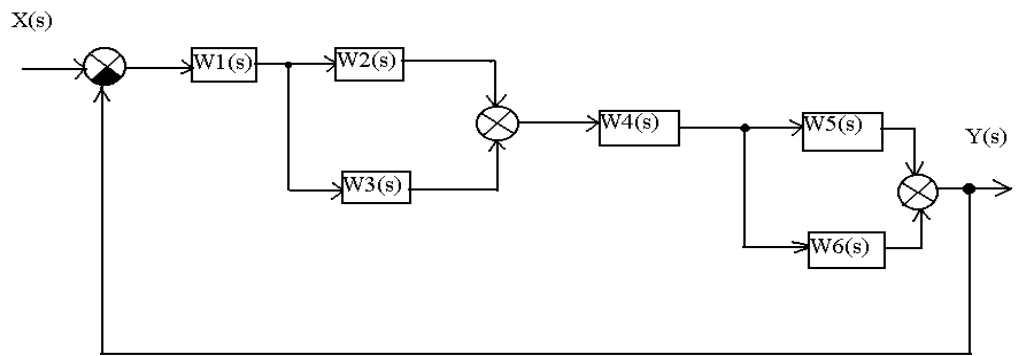
11 кесте. Буындар өзара келесі сұлба бойынша қосылған

Соңғы саны	Буындардың қосылу сұлбасы
0	
1	
2	

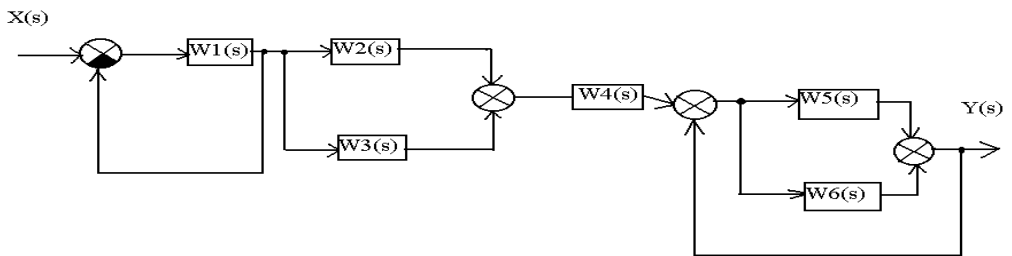
3



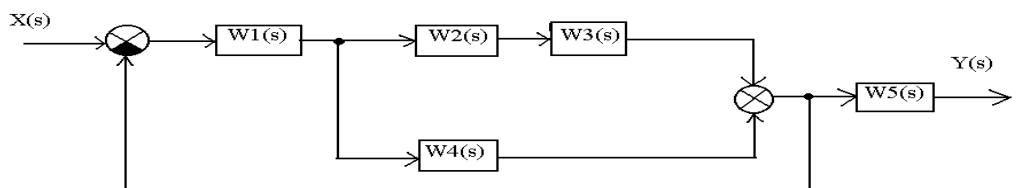
4



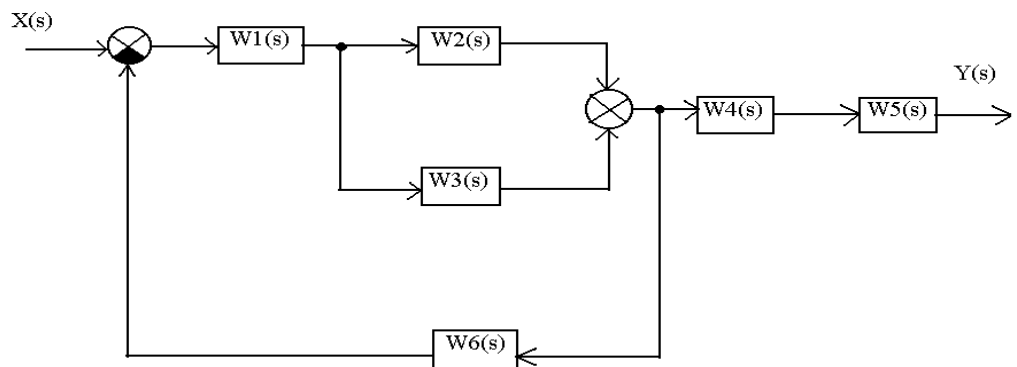
5

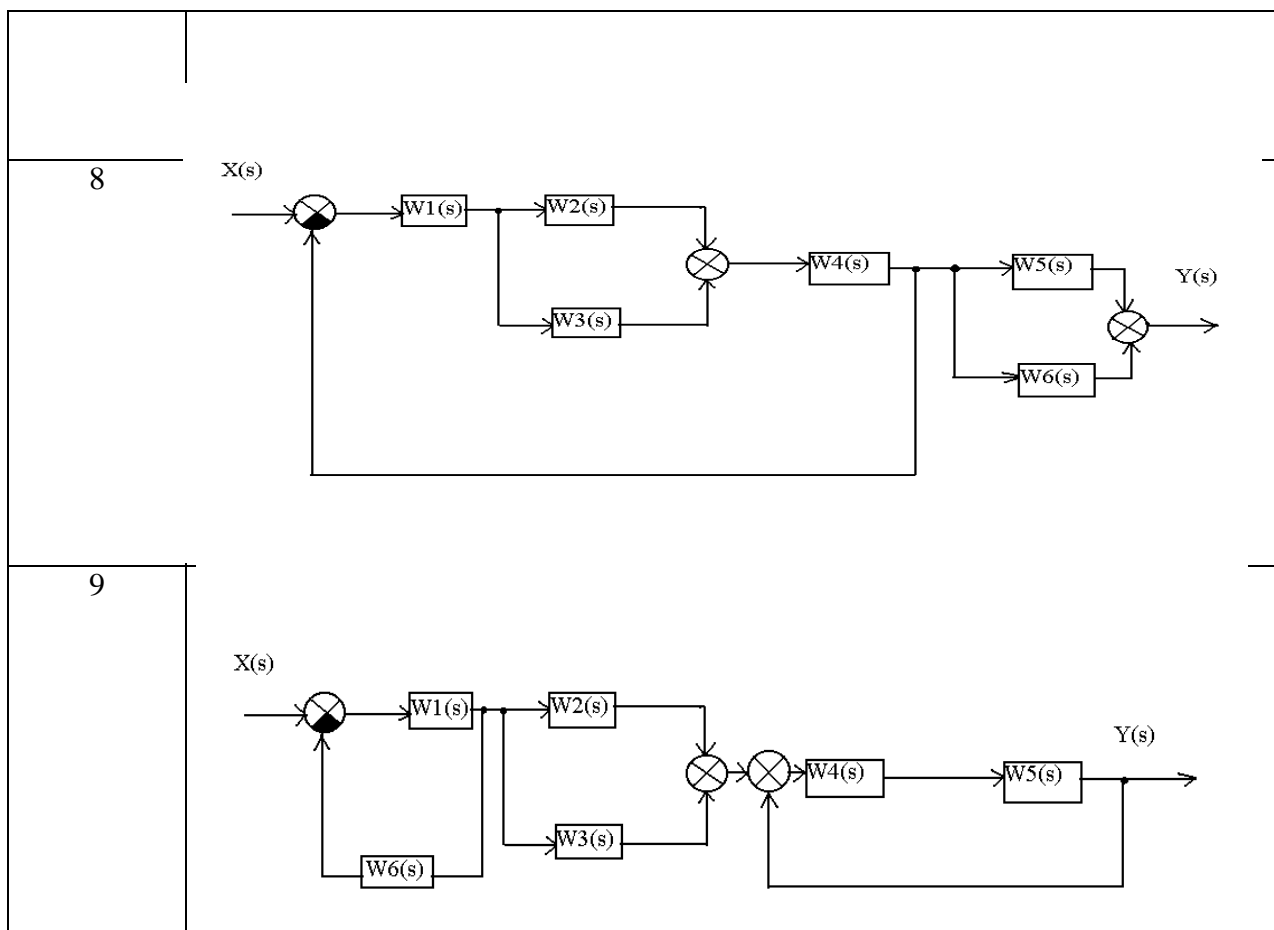


6



7





ЖТ 4.

Жүйенің $D(s)$ сипаттамалық теңдеуінің түрі: $a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4$

(сипаттамалық теңдеудің коэффициенттері кестеде берілген). Келесі баламаларды:

а) Раус; б) Гурвиц; в) Михайлов пайдаланып, автоматтық басқару жүйесінің орнықтылығын анықтау керек.

12 кесте. Соңғысының алдындағы жұп сан

Соңғы саны	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a_0	0,1	0,2	0,03	0,4	0,5	0,6	0,05	0,6	0,7	0,08
a_1	0,3	0,3	0,5	0,12	0,15	0,25	0,01	0,1	0,05	0,25
a_2	0,5	0,04	0,02	0,01	0,01	0,1	0,4	0,25	0,2	0,05
a_3	0,02	0,1	0,04	0,6	0,02	0,05	0,2	0,02	0,01	0,04
a_4	10	4	20	100	200	50	15	45	60	90

13 кесте. Соңғысының алдындағы тақ сан

Соңғы саны	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a_0	0,1	0,2	0,3	0,04	0,05	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8
a_1	0,3	0,03	0,5	0,12	0,15	0,25	0,01	0,1	0,5	0,25
a_2	0,05	0,4	0,02	0,1	0,1	0,1	0,4	0,25	0,02	0,05
a_3	0,12	0,1	0,4	0,6	0,02	0,5	0,2	0,02	0,1	0,4
a_4	100	40	250	10	210	65	150	415	160	190

ЖТ 5.

Тұйықталған АБЖ-нің орнықтылығын Найквист баламасы бойынша анықтау. Тұйықталмаған жүйенің $W(s)$ беріліс функциясы келесі түрде берілген:

14 кесте

Соңғысының алдындағы жұп сан		Соңғысының алдындағы тақ сан	
Соңғы саны	Тұйықталған АБЖ-нің беріліс функциясы	Соңғы саны	Тұйықталмаған АБЖ-нің беріліс функциясы
0	$W(s) = \frac{40}{s(1+0,2s)}$	0	$W(s) = \frac{150}{s^2(1+0,5s)}$
1	$W(s) = \frac{25}{(1+0,1s)(1+0,5s)}$	1	$W(s) = \frac{250}{s^2(1-0,1s)(1+0,15s)}$
2	$W(s) = \frac{50}{s^2(1-0,1s)(1-0,5s)}$	2	$W(s) = \frac{50}{(1+0,15s)(1-0,25s)}$
3	$W(s) = \frac{100s}{(1+0,1s)}$	3	$W(s) = \frac{200}{s(1+0,15s)}$
4	$W(s) = \frac{500s}{(1+0,5s)^2}$	4	$W(s) = \frac{20}{s(1+0,15s)}$
5	$W(s) = \frac{20}{s^2(1+0,15s)}$	5	$W(s) = \frac{500}{(1+0,5s)^2}$
6	$W(s) = \frac{200}{s(1-0,15s)}$	6	$W(s) = \frac{100(1-0,05s)}{(1+0,1s)}$
7	$W(s) = \frac{50}{(1+0,15s)(1+0,25s)}$	7	$W(s) = \frac{50}{s^2(1+0,1s)(1+0,5s)}$
8	$W(s) = \frac{250}{s^2(1+0,1s)(1+0,15s)}$	8	$W(s) = \frac{25}{(1-0,1s)(1-0,5s)}$
9	$W(s) = \frac{150}{s^2(1-0,5s)}$	9	$W(s) = \frac{40}{s(1-0,2s)}$

ЖТ 6.

ЖҮТ 2 пайдаланып (өзі өз нұсқасы), логарифмдік жиіліктік сипаттамалар көмегімен автоматтық басқару жүйесінің орнықтылығын анықтау керек.

ЖТ 7.

D жіктеу қисығын құрып, жүйенің $a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4$ сипаттамалық теңдеуіне сызықты түрде кіретін μ реттелетін параметріне қатысты орнықтылық аумағын анықтау керек.

15 кесте. Соңғы жұп сан

Соңғы сан	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a_0	0,1 μ	0,2	0,3	0,04	0,05 μ	0,6 μ	0,5 μ	0,6	0,7	0,8
a_1	0,3 μ	0,03 μ	0,5	0,12	0,15	0,25	0,01 μ	0,1 μ	0,5	0,25
a_2	0,05	0,4 μ	0,02 μ	0,1	0,1 μ	0,1	0,4	0,25 μ	0,02 μ	0,05
a_3	0,12	0,1	0,4	0,6 μ	0,02	0,5	0,2	0,02	0,1	0,4 μ
a_4	10	40	2 μ	10 μ	20	5 μ	15	45	60 μ	90 μ

16 кесте. Соңғы тақ сан

Соңғы сан	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a_0	0,1 μ	0,2 μ	0,03 μ	0,4 μ	0,5 μ	0,6	0,05	0,6	0,7	0,08
a_1	0,3	0,3	0,5 μ	0,12	0,15	0,25 μ	0,01	0,1	0,05	0,25
a_2	0,5 μ	0,04	0,02	0,01 μ	0,01	0,1 μ	0,4 μ	0,25 μ	0,2	0,05 μ
a_3	0,02	0,1	0,04	0,6	0,02	0,05	0,2	0,02 μ	0,01 μ	0,04
a_4	1	4 μ	20	15	20 μ	50	150 μ	450	65 μ	95 μ

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Мартыненко И.И. и др. Автоматика и автоматизация производственных процессов. М. Агропромиздат 1985 г.
2. Основы автоматического регулирования и управления. Под ред. Пономарева В.М. и Литвинова А.П. Учебн. Пособие для неэлектротехн. специальностей вузов. М., Высшая школа, 1974.
3. Сборник задач по теории автоматического регулирования. Под ред. В.А. Бесекерского. М., Физматгиз, 1963.
4. Майзель М.М. Автоматика, телемеханика и системы управления производственными процессами. Учеб. пособие для студентов вузов. М., Высшая школа, 1972.
5. Колесов Л.В. Основы автоматики. М. Колос 1984 г.
6. Ямпольский В.С. Основы автоматики и электронно-вычислительной техники. М. Просвещение 1991 г.
7. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. М. Машиностроение 1983 г.
8. Бохан Н.И., Фурунжиев Р.И. Основы автоматики и микропроцессорной техники. Мн. Ураджай 1987 г.
9. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория автоматического регулирования. М.: Наука 1975 г.
10. Пугачев В.С. Основы автоматического управления. М.: Наука 1974 г.
11. Теория автоматического управления: Учеб. Для вузов/С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев и др.; Под ред. В.Б. Яковлева. М.: Высшая школа, 2003 г.