

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

Нұржанов Азамат Сәкенұлы

«Берілген бақылау сапасы үшін үздіксіз басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі»

Дипломдық жобаға
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B070200-Автоматтандыру және басқару

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы



ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ

Кафедра меңгерушісі,
физика-математика кандидаты,
қауымдастырылған профессор

Н.У.Алдияров

« » _____ 2022 ж.

«Берілген бақылау сапасы үшін үздіксіз басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі» тақырыбына

Дипломдық жобаға
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5В070200 –«Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Орындаған:

Нұржанов Азамат Сәкенұлы

Пікір беруші:

Ғылыми жетекші:

техника ғылымдарының

техника ғылымдарының

доцент

кандидаты, ассистент -

Иманов И.Е.

профессор

« » _____ 2022 ж

Орынбет М.М.

« » мамыр 2022 ж.



Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Автоматтандыру және басқару» кафедрасы

5B070200 - «Автоматтандыру және басқару» мамандығы



**Дипломдық жобаны дайындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Нұржанов Азамат Сәкенұлы

Жобаның тақырыбы: «Берілген бақылау сапасы үшін үздіксіз басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі»

Университет ректорының бұйрығымен бекітілген

№ «489-П/Ө» "24" желтоқсан 2021 ж.

Орындалған жұмыстың өткізу мерзімі «17» мамыр 2022 ж.

Түсініктеме жазбаның талқылауға берілген сұрақтарының тізімі мен қысқаша диплом жұмысының мазмұны:

а) кіріспе;

б) технологиялық бөлім, арнайы бөлім;

Графикалық материалдардың тізімі (міндетті түрде қажет сызбалар көрсетілген): функционалдық сұлба

Ұсынылған негізгі әдебиеттер:

[1] Бесекерский В. А. Цифровые автоматические системы. Москва, 1976.

[2] Воронов А. А. Основы теории автоматического управления.




Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем. Москва: Издательство «Энергия», 1980.

[3] Воронов А. А. Основы теории автоматического управления. Особы линейных системы. Киев: Высшая школа, 1986. - 87 с.

Дипломдық жобаны даярлау
КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, қарастырылған сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекшіге, Кеңесшілерге өткізу мерзімі	Ескерту
Технологиялық бөлім	6.04.22	
Арнайы бөлім	4.05.22	

Аяқталған дипломдық жобаның және оларға
қатысты диплом жобасы бөлімдерінің кеңесшілері мен нормалық
бақылаушының қолтаңбалары

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні,тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Технологиялық бөлім	Орынбет М.М. техника ғылымдарының кандидаты, ассистент-профессор	4.05.22	
Арнайы бөлім	Орынбет М.М. техника ғылымдарының кандидаты, ассистент-профессор	4.05.22	
Нормалық бақылаушы	Н.С.Сарсенбаев техн.ғыл.канд., ассистент-профессор	16.05.22	

Ғылыми жетекшісі _____ Орынбет М.М.
Тапсырманы орындауға қабылдаған білім алушы _____ Нұржанов А.С.

Күні « 24 » желтоқсан 2021 ж.

СЫН – ШКІР

Дипломдық жоба

Нұржанов Азамат Сәкенұлы

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Тақырыбы: Берілген бақылау сапасы үшін үздіксіз басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі

Орындалды:

а) графикалық бөлім __ бет;

б) түсініктеме жазбасы __ бет.

ЖОБАҒА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Берілген дипломдық жоба сапаға үздіксіз әсер ететін басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі үшін басқару теориясының шарттарын қолдану жайында .

Технологиялық бөлімде автоматты басқару жүйесін синтездеу, оның алгоритмдік құрылым синтезінің қағидалары толықтай түсіндірілген.

Арнайы бөлімде қиыстырылған жүйенің құрылымдық сұлбасы қарастырылған. Жүйе элементтерінің, алшақ салынған жүйенің және тұйық жүйелердің беріліс функциясы толығымен табылған. Жүйені бірнеше белгілер бойынша зерттеу жұмысы және жүйенің керекті графиктары толығымен көрсетілген.

Жұмыста кейбір грамматикалық қателер кездеседі.

Қорынтыдылай келіп тапсырылған тақырып: 5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бакалавр академиялық дәрежесіне толығымен сай және оны орындаған Нұржанов Азамат Сәкенұлы аталынған мамандық бойынша бакалавр академиялық дәрежесі беруге сәйкес деген пікір білдіремін. Жалпы 80%, В (жақсы) бағасына бағаланып, бакалаврлық дәрежесіне лайық деп санаймын.

Сын шікірі берген:

Техникалық ғылым кандидаты, доцент

А.А. Мараби атындағы ҚазҰУ

Тұмаев И.Е.

2022 ж

«



КОЛДАНАЛЫҚ
РЕЦЕПТ
ҚОҒАМ

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
ПІКІРІ**

Дипломдық жобаға
Нұржанов Азамат Сәкенұлы
5В070200 - Автоматтандыру және басқару

Тақырыбына: Берілген бақылау сапасы үшін үздіксіз басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі

Аталған дипломдық жобада үздіксіз басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі қарастырылған.

Өнеркәсіптік өндірістің әртүрлі салаларында үздіксіз басқару жүйелері кеңінен таралған. Сондықтан дипломдық жұмыстың тақырыбы қазіргі таңда өзекті.

Дипломдық жұмысты орындауына берілген бақылау сапасы үшін үздіксіз басқару жүйесінің құрылымдық синтезін құруға тапсырма жүктелген.

Жұмыс барысында қиыстірілген жүйенің құрылымдық сұлбанын құрастыруы көрсетілген. Әрбір жүйе элементтеріне тоқталып, олардың сапа көрсеткіштері мен ерекшелігіне тоқталған. Берілген бақылау сапасы үшін басқару жүйелерінің құрылымдық синтезін, түзетпелген жүйенің құрылымдық схеманы қарастырып оның құрылымдық синтезін толықтай қарастырылған. Автоматты реттеудің жүйелеріне динамикалық қасиеттерін қамтамасыз етулер үшін орнықтылық, статикалық дәлдіктің қоры және ауыспалы үрдістің сапасы бойынша талап көрсетілген.

Студент дипломдық жобаны жасауда өздігінен жұмыс істеу қабілетін көрсете алды. Нұржанов Азамат Сәкенұлы алдына қойған инженерлік есептерді шеше алатынын, әдебиеттермен жұмыс істей алатындығын көрсетті.

Студент Нұржанов Азамат Сәкенұлы, 5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бойынша «бакалавр» академиялық дәрежесіне ұсынылуға лайық деп есептеймін.

Ғылыми жетекші
Техника ғылымдарының кандидаты,

Ассистент - профессор

(қызметі, ғыл. дәрежесі, атағы)

Орынбет М.М.

« 4 » маусым 2022 ж.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Нұржанов Азамат Сәкенұлы

Тақырыбы: Берілген бақылау сапасы үшін үздіксіз басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі

Жетекшісі: Марат Орынбет

1-ұқсастық коэффициенті (30): 0.6

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0

Әріптерді ауыстыру: 55

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Нұржанов Азамат Сәкенұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Берілген бақылау сапасы үшін үздіксіз басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі

Научный руководитель: Марат Орынбет

Коэффициент Подобия 1: 0.6

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 55

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Нұржанов Азамат Сәкенұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Берілген бақылау сапасы үшін үздіксіз басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі

Научный руководитель: Марат Орынбет

Коэффициент Подобия 1: 0.6

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 55

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата

проверяющий эксперт

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс 45 беттен, оның ішінде 14 схема, 6 график, 3 кестеден тұрады. Жұмыс барысында 20 әдебиет көзі пайдаланылды.

Дипломдық жұмысты жазу барысында сапаға үздіксіз әсер ететін басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі үшін басқару теориясының шарттарын қолдану жайында. Дипломдық жұмыс қолданбалы болып табылады және инженерлік практикада қолданылуы мүмкін, жылдамдық, дәлдік және қайта реттеу бойынша тиісті сапа көрсеткіштерімен жұмыстың тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін, оның динамикалық байланыстарының талаптары мен параметрлеріне техникалық тапсырманы талдауды қолдануға болады.

Дипломдық жұмыстың мазмұнына кіріспе, жалпы бөлім, арнайы бөлім, қорытынды және пікір кіреді.

Түйін сөздер: Автоматты басқару жүйесі, құрылымдық синтез, тұйық жүйе

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа состоит из 45 страниц, в том числе 14 схем, 6 графиков, 3 таблиц. В работе использовано 20 источников литературы.

О применении условий теории управления для структурного синтеза систем управления, непрерывно влияющих на качество при написании дипломной работы. Дипломная работа носит прикладной характер и может быть применена в инженерной практике, для обеспечения стабильности работы с соответствующими показателями качества по скорости, точности и дерегулированию может быть использован анализ технического задания на требования и параметры его динамических связей.

Содержание дипломной работы включает введение, общую часть, специальную часть, заключение и отзыв.

Ключевые слова: автоматическая система управления, структурный синтез, замкнутая система.

ABSTRACT

The thesis consists of 45 pages, including 14 diagrams, 6 graphs, 3 tables. The paper uses 20 sources of literature.

On the application of the conditions of control theory for the structural synthesis of control systems that continuously affect the quality when writing a thesis. The thesis is of an applied nature and can be applied in engineering practice, to ensure the stability of work with appropriate quality indicators for speed, accuracy and deregulation, an analysis of the terms of reference for requirements and parameters of its dynamic relationships can be used.

The content of the thesis includes an introduction, a general part, a special part, a conclusion and a review.

Keywords: automatic control system, structural synthesis, closed system.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	9
1 ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БӨЛІМ	10
1 Сызықты басқару жүйесін синтездеу	10
1.1 АБЖ синтездеу туралы негізгі ұғымдары	10
1.2 АБЖ алгоритмдік құрылым синтезінің жалпы қағидалары	11
1.3 Кешігусіз жүйелердің құрылым - параметрлік ықшамдауы	19
1.4 АБЖ синтездеудің жиіліктік әдісі	26
2 АРНАЙЫ БӨЛІМ	29
2.1 Киыстірілген жүйенің құрылымдық сұлбаның құрастыруы	29
2.1 Алшақ салынған жүйенің берілуінің ортақ коэффициенті	30
2.2 Күшейткіштің берілу коэффициентін анықтау	30
2.3 Жүйенің элементтерінің беріліс функцияларының анықтауы	31
2.4 Алшақ салынған жүйенің беріліс функциясын анықтау	32
2.5 Тұйық жүйенің беріліс функциясын анықтау	32
2.6 Берілетін әсер бойынша тұйық жүйенің беріліс функциясы	33
2.7 Берілетін әсер туралы тұйық жүйенің беріліс функциясының телері	34
2.8 Жүйенің орнықтылығын зерттеу	34
2.8.1 Гурвиц белгісі бойынша жүйені зерттеу	34
2.8.2 Михайлов белгісі бойынша жүйені зерттеу	36
2.8.3 ЛЖС негізінде Найквиста белгісі бойынша жүйенің зерттеуі	37
2.8.4 ЛЖС жүйенің керекті құрастыруы	38
2.8.5 Тұйық жүйенің керекті беріліс функциясын анықтау, өтпелі үрдісті құрастыру және реттеу үрдісінің сапасын талдауын орындау	48
ҚОРЫТЫНДЫ	
ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР	
ҚОЛДАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	

КІРІСПЕ

Басқару объектісі өлі және тірі табиғатта болады, көбінде техникалық құрылым болып табылады. Сонымен бірге басқару өз кезегінде адам көмегімен, сол сияқты техникалық құрылыммен іске аса алады.

Басқару адамды қатысынсыз іске асатын автоматты басқарумен деп аталады.

Дипломдық жұмыстың орындаулары мақсат реттеуді тап қалған сапаға үздіксіз әсердің басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі үшін басқаруды теорияның жағдайларының қолдануы болып табылады.

Дипломдық жұмыс қолданбалы сипат және инженерлік тәжірибеде бола алады, жылдамдыққа, дәлдік және қайта реттеу бойынша тиісті сапа көрсеткіштері бар жұмыстың орнықтылығының қамтамасыз етуі үшін РАЖ құрылымға техникалық тапсырманың талдауы, талаптардың өндіруі және оның динамикалық буындарының параметрлері кезеңде қолданылуы мүмкін.

Қандай да болмасын объектпен басқару - бұл объектегі үрдістердің тиісті ағымның қамтамасыз етуін мақсаты бар оған әсердің үрдісі немесе оның күйін тиісті өзгерісі. Басқарулар негізі болып басқару мақсатымен сәйкес объектінің күйі туралы мәліметті өңдеу болып табылады.

Басқару объектісі тірі емес табиғатқа ие болуы мүмкін, көбінесе техникалық құрылым болуы мүмкін (ұшақ, станок т.с.с.), сол сияқты тірі табиғатқада жатқызамыз (адамдардың ұжымы, жануарлар т.с.с.). Сонымен бірге басқару өз кезегінде өзі адамша іске аса алады, (ұшқыш ұшақпен басқарады), сол сияқты техникалық құрылыммен (ұшақпен автопилот басқарады).

Адамның қатысуынсыз іске асатын басқару автоматты басқару деп аталады.

Жаттығу жұмыстары орындаулар мақсат реттеуді тап қалған сапаға үздіксіз әсердің басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі үшін басқаруды теорияның теориялық жағдайларының қолдануы болып табылады.

Жаттығу жұмыстары қолданбалы сипатта болады және инженерлік тәжірибеде техникалық есептің анализін жасау кезеңінде қолданылуы мүмкін, АРЖ талаптарды өндіру және берілген жылдамдық, дәлдік және қайта реттеу бойынша тиісті сапа көрсеткіштерімен жұмыстың орнықтылығын қамтамасыз етуі үшін оның динамикалық үзбелерінің параметрлерін қолдану.

1 ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БӨЛІМ

1 СЫЗЫҚТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН СИНТЕЗДЕУ

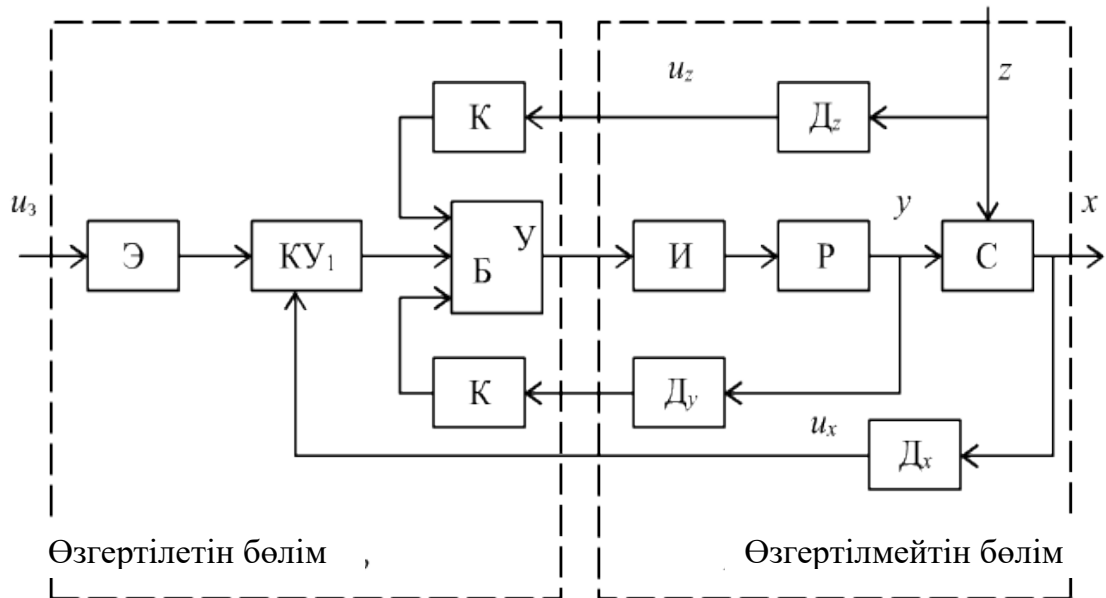
1.1 АБЖ СИНТЕЗДЕУ ТУРАЛЫ НЕГІЗГІ ҰҒЫМДАРЫ

Автоматты басқару теориясындағы математикалық есептер талдау және автоматты жүйелердің синтезінің есептерінен тұрады. Талдау есебінде түгелімен жүйенің құрылымы белгілі, жүйенің барлық параметрлері берілген, және оның бір статикалық немесе динамикалық қасиетін бағалау қажет. Синтездің есептерін талдаудың кері есептері сияқты қарауға болады, өйткені оларда берілген сапа көрсеткіштері бойынша құрылымды және жүйенің параметрлерін анықтау керек. Мысалы, синтездің ең оңай есептерімен интегралды қатенің тап қалған қатеге немесе минимумы бойынша тұйықталмаған контурдың беріліс коэффициентінің анықтайтын есептер болып табылады.

Автоматты жүйенің синтезі деп құрылымды процедурасын және жүйенің параметрлерін берілген сапа көрсеткіштері бойынша анықтауды атайды. Синтез жобалау және жүйені құрастыруындағы ең маңызды кезең болып табылады. Жүйені жобалауда алгоритмдік және функционалдық (толық синтездің есебі) құрылымды анықтау керек. Жүйенің алгоритмдік құрылымдарын (немесе оның бөлігін) айқын математикалық формада жазылған талаптар негізінде математикалық әдістер көмегімен табады. Сондықтан алгоритмдік құрылымды іздеп табудың процедурасын теориялық синтез немесе басқару жүйесінің аналитикалық құрастырулары деп атайды.

Функционалдық құрылымның синтезі немесе жүйенің техникалық синтезі нақты элементтердің таңдауында болады. Жобалаудың бұл кезеңінде қатал математикалық негізі жоқ және инженерлік өнердің облысында жатады.

Толық синтездің есебінің шешімінің тізбегі әр түрлі бола алады. Кей қарапайым жағдайларда есепті идеалды тізбекте шешуге болады: алдымен математикалық әдістер көмегімен жүйенің алгоритмдік құрылымын анықтау қажет, содан кейін сәкес конструктивті элементтерді таңдау керек. Күрделі жағдайларда конструктивті элементтерді таңдап алу қиындықтарға әкеледі, өйткені басқару құралдарының шектелген номенклатурасында қажетті алгоритм қасиеттерімен құрылымдары болмауы мүмкін. Сондықтан синтездің есебін көптеген жағдайларда келесі түрде шешеді. Бастапқыда, сериялы жабдықтың тізбелері бойынша жүйенің функционалді қажетті элементтерін: (РО) реттейтін орган, (АК) атқарушы құрылым, (Д) датчиктерді оның жұмысының шартын есепке ала және жүйенің тағайындалуының талаптарына сүйене отырып таңдайды. Бұл элементтер басқару объектісімен бірге жүйенің өзгермейтін бөлігін құрайды.



1 Сурет - Синтезделетін жүйенің функционалды құрылымы

Содан соң талаптар негізінде статикалық және динамикалық қасиеттерімен өзгеретін бөлігін анықтайды, оған күшейткіш - түрлендіретін блок (УБ) және әр түрлі түзететін (КУ) құрылымдар кіреді.

Өзгеретін бөліктің алгоритмдік құрылымын қажетті таңдаулы функционалді элементтер қасиеттерін есепке алып табады, бұл бөліктің техникалық іске асыруы үйреншікті унифицирленген реттеуіштер және әр түрлі түзететін және орнын толтыратын құрылымдардың қолдануымен іске асады. Осылайша, барлық жүйенің алгоритмдік және функционалдық құрылымдарын анықтау үрдістері бір-бірімен тығыз байланысты.

Басқару жүйесінің жобалауының қорытынды кезеңдері параметрлік тиімділік болып табылады - таңдаулы реттеуіштің бейімдеуші параметрлерінің есептеуі.

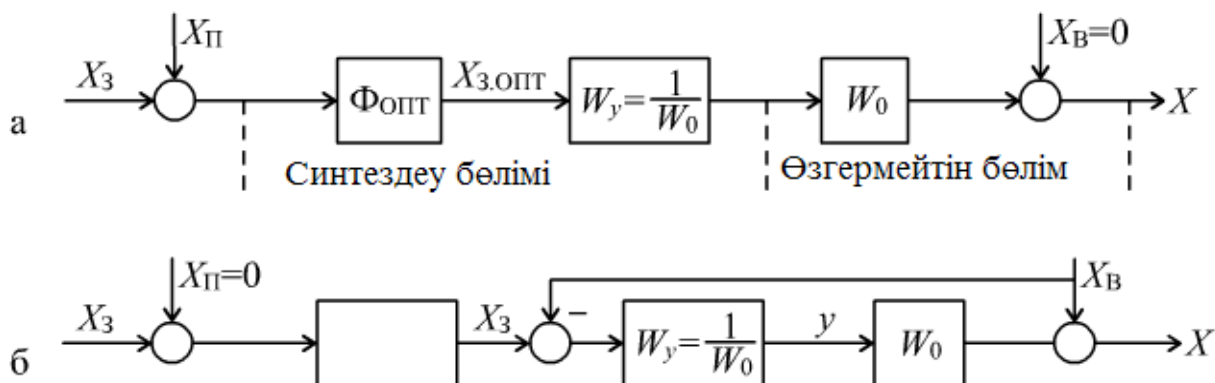
Синтез есебінің шешімдерін жасағаннан кейін әдетте синтезделген жүйенің анализін жасайды: қажетті дәлдік, орнықтылық және сапа көрсеткіштеріне ие болуын тексереді.

Синтез және жүйелерді талдаудың барлық кезеңдерінде ЭЕМ қолдану орынды. ЭЕМде жүйелерінің пішіндеуі құрылымдар және параметрлердің варианттарының үлкен санын зерттеп және синтез есебінің шешімін үдетуге мүмкіндік береді.

1.2 АБЖ алгоритмдік құрылым синтезінің жалпы қағидалары

1. Жүйенің идеалды құрылымы. Алгоритмдік құрылым синтезінің есебін шешу үшін басқару объектісінің $W_0(p)$ беріліс функциясы, объектінің кіріс және шығысында жұмыс істейтін қоздырулар y_ε және x_ε және сонымен бірге

тапсырма және өлшеу каналдарында пайда болатын x_n бөгеуілдер белгілі болуы керек.



2 Сурет - Идеалды тұйықталмаған жүйенің алгоритмдік құрылымы

Ең оңай жағдайда объектіде қоздырушы әсерлер болмағанда, басқаруды тұйықталмаған схема 2-ші сурет бойынша жүзеге асыруға болады. Егер басқарылатын құрылғының беріліс функциясын $W_y(p)$

$$W_y(p) = 1/W_0(p), \quad (1)$$

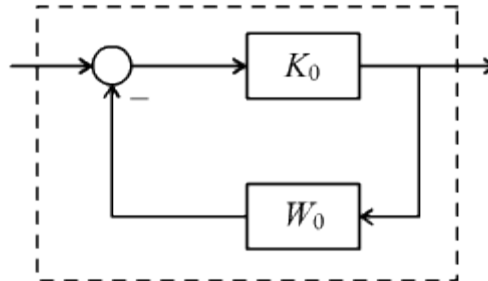
тең деп алсақ, онда объектінің инерциялығының толық (құрылымдық) өтемі қамтамасыз етіледі және басқару жүйесі объектінің шығысында тез берілетін әсерді $x_{з.опт}$ шығарады. $x_{з.опт}$ тапсырмасы $\Phi_{опт}(p)$ беріліс функциясы бар арнайы сүзгісімен қалыптасады, ол былайша таңдалады, сүзгі барлық құралған x_3 сигналдарды жақсы өткізу керек және x_n бөгеуіл басым болмауы керек.

Егер объектіге өлшенетін x_ε қоздыру әсер етсе, онда теория жағынан қоздырудың толық өтеуімен идеалды тұйықталмаған басқару жүйесін синтездеуге болады 2-ші сурет, б көрсетілген. Объектінің толық өтелу инерттілігін қамтамасыз ететін беріліс функциясы (1) x_ε қоздырудың өтеуіне де жақсы болып келеді. (1) шарттарды орындағанда шынымен де әрдайым $W_y(p)W_0(p) = 1$ тең, сондықтан да x_y объектінің шығысындағы пайдалы құраушысы x_ε қоздыруына толығымен теңестіріледі.

АБЖ идеалды алгоритмдік құрылымын модельдеу кезіндегі негізгі қиындық объектінің кері беріліс функциясының іске асуы болып келеді. Объектінің кері беріліс функциясының моделі ретінде келесі үзбелердің қосылуын ұсынуға болады, 3-ші суретте көрсетілген:

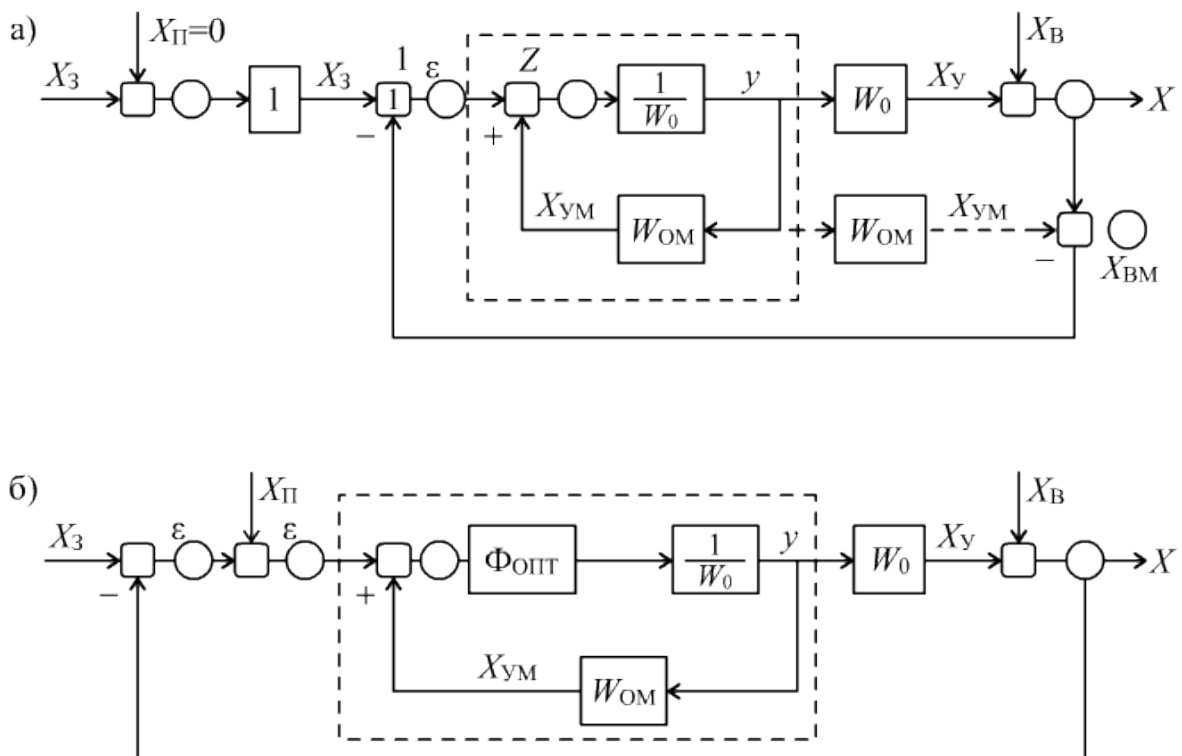
k_0 беріліс коэффициенті үлкен болғанда үзбелердің эквиваленті беріліс функциясының қосылулары келесі түрде болады

$$W(p) = k_0 / (1 + k_0 W_0(p)) \approx 1 / W_0(p) \quad (2)$$



3 Сурет - Кері беріліс функциясының моделі $1/W_0$

Егер x_ε қоздыруды өлшеуге болмаса, онда идеалды тұйықталған жүйенің құрылымын табу үшін $W_0(p)$ объектінің моделі көмегімен x_ε қоздырудың жанама ойын пайдалануға болады 4-ші. а-суретте көрсетілген:



4 Сурет - Идеалды тұйықталған жүйенің алгоритмдік құрылымы

анық, егер:

$$W_{ом}(p) = W_0(p) \quad (3)$$

модельдің шығысында анықталатын (штрихталған бағдар) сигнал

$$x_{эм} = x - x_{ум} = (x_y + x_э) - x_{ум} = x_э \quad (4)$$

$x_э$ жанама өлшенген қоздыру болса және оны 2-ші б суреттегі схемадағыдай $1/W_0(p)$ беріліс функциясымен басқарылатын құрылғыға енгізгенде идеалды тұйықталмаған құрылымды жаңадан алуға болады. Оған құрылымдық түрлендіргіштер ережесі бойынша $x_{ум}$ сигналын басқарушы құрылғының кірісіне ауыстыруға болады және екінші сумматорға салуға болады. Сонда басқарушы құрылғы $1/W_0(p)$ ішкі оң кері байланыспен қамтылған болады, ал бірінші сумматордан кейінгі сигнал қатенің сигналына $\xi = x_э - x$ сәйкес келеді. Соңғысы жүйенің тұйықталғанын және беріліс функциясы бар болатын (штрих тік төртбұрыш) реттеуішімен кері байланысқан теріс қағидасына сәйкес жұмыс істейтін білдіреді:

$$W_{pu}(p) = \frac{y(p)}{\xi(p)} = \frac{1/W_0(p)}{1 - W_{ом}(p)/W_0(p)} \quad (5)$$

Модель мен объектінің дәл келсе реттегіш (5) $k_p = \infty$ -мен пропорционалды түрінде жұмыс істейді, ол қоздыру және тапсырма арнасымен нолдік қателікке сай болып келеді. Жалпы жағдайда, егер $x_э \neq 0$ және $x_n \neq 0$ болса идеалды тұйықталған жүйенің алгоритмдік құрылымы 7.4-ші б суретте жоғарыда түсіндірілген эвристикалық жолмен екі құрылымдардың белгілерін өз бойында тіркестіреді. Бұл идеалды құрылымда реттегіште ішкі оң кері байланыс, $1/W_0$ үзбесі, $W_{ом}$ және оптималды сүзгі $\Phi_{опт}$ болады. Идеалды тұйықталған реттегіштің беріліс функциясы

$$W_{pu}(p) = \frac{y(p)}{\xi_1(p)} = \frac{\Phi_{опт}(p)}{1 - \Phi_{опт}(p)} \cdot \frac{1}{W_0(p)} \quad (6)$$

$\Phi_{opt}(p)$ үзбесі сыртқы қоздырулардың ұтымды сүзгілеуді жүзеге асырады және $x_{z.opt}$ ұтымды тапсырманы істеп шығарады. $1/W_0(p)$ объектінің кері моделі оның инерциялылығының орнын толтырады, ал $W_{om}(p)$ түзу моделі объектінің шығысындағы x_y құраушысын есептейді.

Идеалды қосу жүйесімен бірге объектінің кері моделі түріндегісі басқару жүйесінің параметрлік және құрылымдық синтезінің принципіалды негізі болып келеді, ал тәсіл объектінің инерттілігін өтеу әдісі деп аталады.

Синтездеудің практикалық есептерінде көбінесе бөліктік (параметрлік) өту қолданылады - объектінің тұрақты уақыттарының бір екеуін жою. Ол үшін инерциаллық объектімен тізбектей

$$W_0(p) = k_0 / (T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1) \dots (T_{0n} + 1), \quad (7)$$

мұндағы $T_{01} > T_{02} > T_{03} > \dots > T_{0n}$ беріліс функциясымен бірінші-екінші реттік тіркейтін үзбені қосады

$$W_k(p) = k_k (T_{k1}p + 1)(T_{k2}p + 1), \quad (8)$$

Ол үшін $T_{k1} = T_{01}$; $T_{k2} = T_{02}$; $k_k = 1/k_0$

2. Кешігуі бар объектіге арналған идеалды реттегіш. Кешігуі бар инертті объектілерге арналған идеалды реттегіштің құрылымын және беріліс функциясын анықтайық, оны қорытылған беріліс функциясымен сипаттауға болады:

$$W_0(p) = W'_0(p) e^{-p\tau_0}, \quad (9)$$

Мұндағы $W_0(p)$ - объектінің инерциялық бөлігін сипаттайтын бөлшекті – рационалды функция; τ_0 – объектінің таза кешігуі. Егер (9)-ды (6) қойсақ реттегіштің беріліс функциясында $e^{+p\tau_0}$ көбейткіші пайда болады. Сондықтан да, шығарылған реттегіш құрылымын оңайту мақсатымен және оның техникалық іске асуын оңайту үшін идеалды жүйе кешігумен берілетін қоздыруды қосуға жол беру керек, яғни

$$\Phi_{xz}(p) = \Phi_{opt}(p) = \Phi'_{opt}(p) e^{-p\tau_0}, \quad (10)$$

мұндағы $\Phi'_{онт}(p)$ - x_3 және x_n сигналдар үшін ұтымды сүзгі. Сонда, (7.6) сәйкес, кешігуі бар объекттер үшін идеалды реттеуішті аламыз

$$W_{pi}(p) = \frac{\Phi'_{онт}(p)}{1 - \Phi'_{онт}(p)e^{-p\tau_0}} \frac{1}{W'_0(p)}, \quad (11)$$

ол Ресквиктің реттеуіші деп аталады.

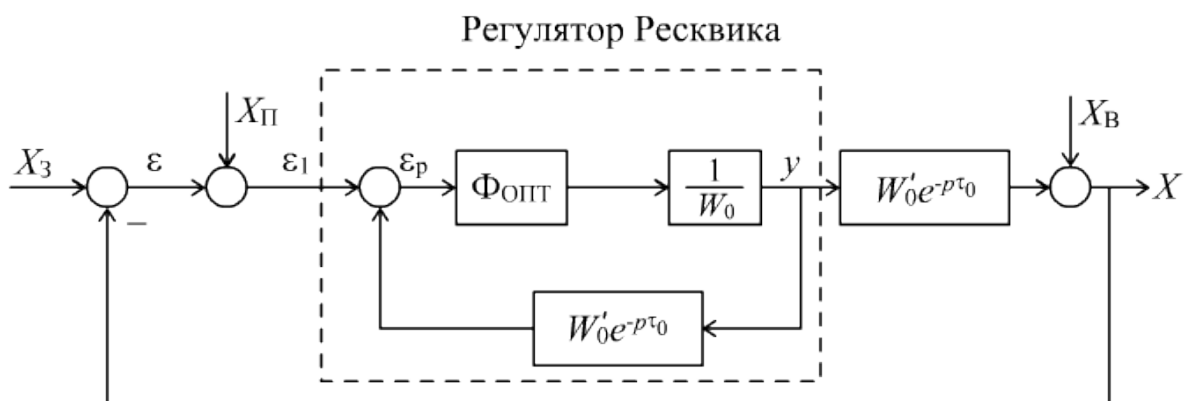
5-ші суретте көрсетілген құрылымға (11) өрнек сәйкес келеді. Ресквик таза кешігуі бар үзбе реттеуішінің ішкі кері байланысы, объектінің шығысында y басқарылатын әсердің тағы бір өзгеруінен қандай сигнал пайда болуын болжайды. Өйткені бұл байланыстар оң, онда болжалатын сигнал оған тең объектінің нақты шығыс сигналына үнемі (бейтарап қалдырады) орнын толтырады. Қорытынды сигнал ξ_p тек қана алғашқы уақыт кезінде сыртқы әсерлер x_3 , x_n немесе $x_в$ өзгерістерінен кейін шығады. Осылайша, негізгі контурдан таза кешігуі τ_0 шығарылады.

Ресквик реттеуішімен жүйенің елеулі кемшілігі оның объектінің кешігуінің аз вариацияларына сын көзімендігі болып табылады.

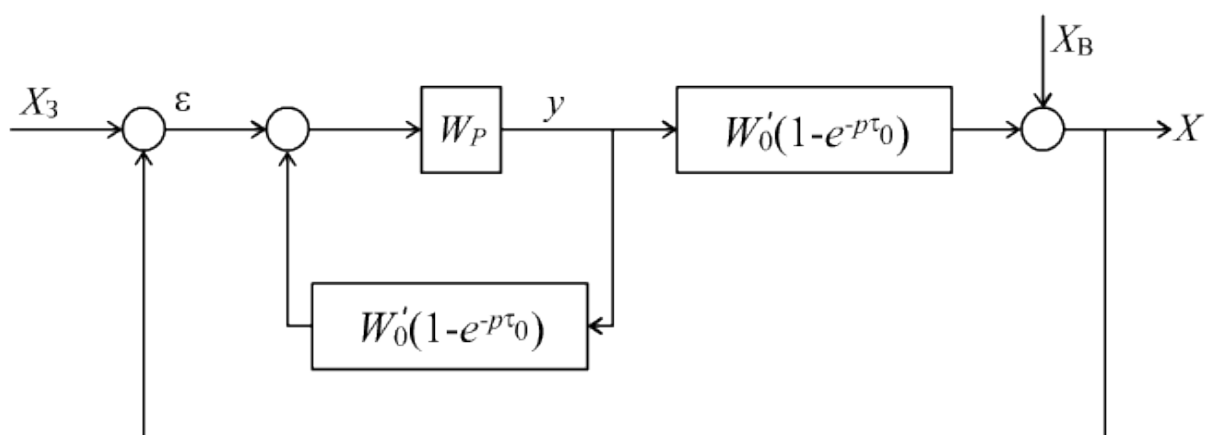
Объектінің кешігуін бейтараптандыру идеясын сонымен бірге бір үлгідегі реттеуіштерді қамтитын Смит упредителі арқылы жүзеге асырылады 7.6-шы суретте көрсетілген.

$(k_p \rightarrow \infty)$ үлкен беріліс коэффициентінде Смит упредителі бар реттегіші Ресквик реттегішіне $\Phi_{онт} = 1$ эквивалентті болып келетініне көз жеткізуге қиын емес:

$$\begin{aligned} W_{смит}(p) &= \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)W'_0(p)(1 - e^{-p\tau_0})} = \\ &= \frac{1}{1/W_p(p) + W'_0(p)(1 - e^{-p\tau_0})} \approx \frac{1}{1 - e^{-p\tau_0}} \frac{1}{W'_0(p)} \end{aligned} \quad (12)$$



5 Сурет - Ресквик реттегіш базасындағы кешігумен объектіні басқару жүйесінің идеалды құрылымы



6 Сурет - Смит упредителі негізінде кешігумен объектіні басқару жүйесінің идеалды құрылымы

Смиттің упредителімен жүйені жеңілдетуді техникалық тұрғыда жүзеге асыру оңайға соғады, өйткені объекттің кері беріліс функциясын модельдеуге керек болмайды.

3. Тұрақтанған және абайлаушы жүйелердегі инварианттылығының жүзеге асыруы. Автоматты жүйесінің синтезінің бас мақсаттарының бірі орналастырылған және өтпелі тәртіптердегі тиісті дәлдігінің қамтамасыз етуі болып табылады. Орналастырылған тәртіптердегі жүйелерінің дәлдігі астатизмның реті және алшақ салынған нобайдың коэффициентін үлкейте жақсартуға болады. Сонымен бірге, әдеттегідей бірақ, орнықтылықтың қоры азаяды, тербелмелілік үлкееді және өтпелі тәртіптердегі жүйесінің дәлдігі азады. Орналастырылған және өтпелі тәртіптердегі дәлдігі шарттарының арасындағы қарама-қайшылықтарды жою тиімді құралымен инварианттылықтың жүзеге асыруы өтем сыртқы әсер жолымен қызмет көрсетеді.

"Инварианттылық" бір физикалық шаманың екіншісіне тәуелсіздігін білдіреді. АБТ-да шығыс (басқарылатын шама немесе қатенің сигналы) шамаларының кіріс әсерлерінен тәуелсіздіктерді қарайды. Тұрақтану

жүйелердегі қоздырушы әсерден басқарылатын шаманың тәуелсіздіктерін алуға ұмтылады, абайлаушы жүйелерде - берілетін әсерден қате сигналының тәуелсіздігі.

АБЖ инварианттылық әсер бойынша басқару арқылы жетеді, басқарылатын әсер қоздыратын әсердің өзгеруіне байланысты құрылады. Егер қоздырушы әсер өлшенетін болса, басқару принципі қолданылатыны анық. Қоздыру бойынша басқару принципті әдетте (құрамалы жүйе) ауытқулар бойынша басқарумен бірге қолданылады.

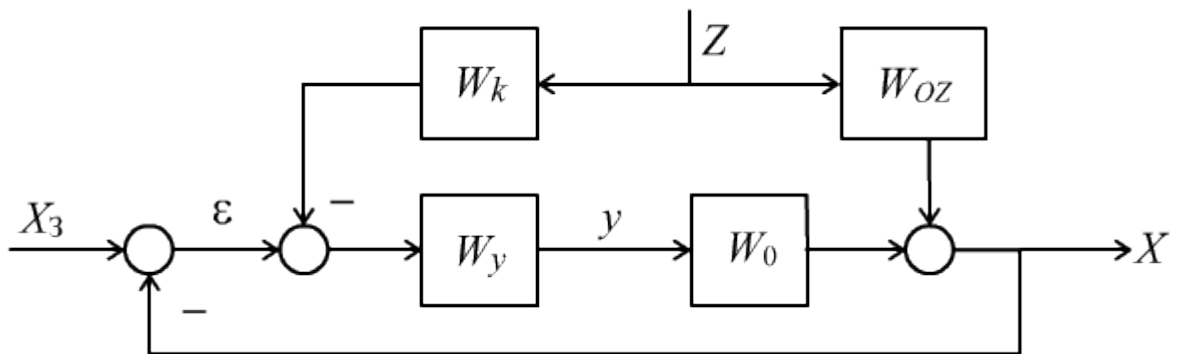
Тұрақты комбинирленген жүйенің алгоритмдік құрылымын қоздыру бойынша өтеуші байланыспен қарастыруға болады 7.7-ші суретте көрсетілген. Өтеу байланысы шығыс шамасына таңбамен әсер етеді, ол әрдайым шығысқа қоздырудың әсерінің таңбасына кері болады. Қоздыру бойынша жүйенің беріліс функциясы

$$\Phi_{xz}(p) = \frac{x(p)}{z(p)} = \frac{W_{0z}(p) - W_k(p)W_y(p)W_0(p)}{1 + W_y(p)W_0(p)} \quad (13)$$

мұндағы $W_0(p)$ және $W_{0z}(p)$ - сәйкесінше басқарушы және қоздырушы әсер бойынша объектінің беріліс функциялары;

$W_y(p)$ – бағдарлаушы құрылымның беріліс функциясы;

$W_k(p)$ - орнын толтыратын құрылымның беріліс функциясы.



7 Сурет - АБЖ аралас құрылымның басқару әсеріндегі байланыс
Компенсациясы

Басқарылатын шама $x(t)$ қоздыруға $z(t)$ тәуелді емес, егер (13) беріліс функциясы нөлге тең болса

$$\Phi_{xz}(p) = 0 \quad (14)$$

егер оның алымы нөлге тең болса бұл болуы мүмкін. Қоздыруға карағанда тұрақтандырылатын шаманың инварианттылығының шарты осыдан

$$W_{0z}(p) - W_k(p)W_y(p)W_0(p) = 0 \quad (15)$$

(15) шарт, қоздырушыдан $x(t)$ шаманың тәуелсіздігінің табысы үшін қоздырушы $z(t)$ бойынша жұмыс істеген екі параллель каналдардың динамикалық қасиеті бірдей болуы үшін керектігін білдіреді.

(15) сәйкес, өтейтін құрылымның беріліс функциясы.

$$W_k(p) = W_{0z}(p) / W_y(p)W_0(p) \quad (16)$$

Абайлаушы жүйелерде берілген қоздырудан қате сигналының тәуелсіздігіне жету керек. Схемалар үшін 8-суретте әсермен $x(t)$ және қатенің сигналы $\xi(t)$ аралығында беріліс функция келтірілген:

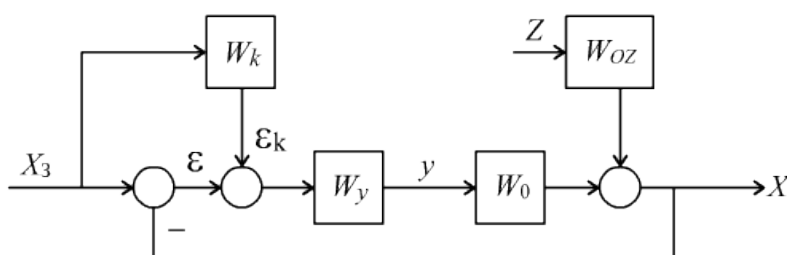
$$\Phi_{\xi z}(p) = \frac{1 - W_k(p)W_y(p)W_0(p)}{1 + W_y(p)W_0(p)} \quad (17)$$

(17) функцияны нөлге теңестіре отырып берілген әсерге байланысты аңду қатесінің инварианттылығының шартын табамыз

$$1 - W_k(p)W_y(p)W_0(p) = 0 \quad (18)$$

бұдан өтуші құрылымның керекті беріліс функциясы шығады

$$W_k(p) = 1 / W_y(p)W_0(p) \quad (19)$$



8 Сурет - Берілетін әсер бойынша өтеуші байланысымен АБЖ
комбинирленген құрылымы

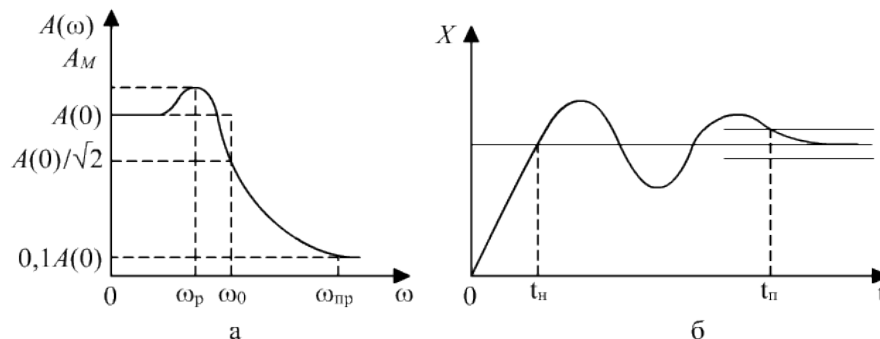
(13) және (17) беріліс функциялардың түрі бойынша өтеуші байланыстардың кіріспесі жүйенің мінездемелік полиномын өзгертпейтінін орнатуға болады, сондықтан оның орнықтылығына ықпал етпейді.

Егер беріліс функция физикалық іске асырушылықтың шартына қанағаттандырса, онда жүйеде абсолютті инварианттылықтың табысы болуы мүмкін. Егер жуықтап жүзеге асырылатын болса, онда жүйесінде жартылай инварианттылық іске асырылады.

1.3 Кешігусіз жүйелердің құрылым - параметрлік ықшамдауы

1. Амплитудалық сипаттаманың ықшамдауының критеріі және әдіс.

Басқару жүйелерін таза кешігу боламайтын объекттермен жобалауда ең үлкен екі критерилерді қолдануға болады - (МҰ) модульдік ұтымдылық және (СҰ) симметриялық ұтымдылық. Модульдік ұтымдық критеріі, ол тағы да амплитудалық немесе техникалық ұтымдылық критеріі деп те аталады, $X_3 - X$ арнасы бойынша тұйықталған жүйенің амплитудалық сипаттамасының пішініне келесі талаптарды орындауда негізделген: сипаттама кең диапазонды жиілікте көлденең болу керек және бірге тең болу қажет; сипаттаманың құламалы бөлігі барынша үлкен тіке құлау керек 9,а суретте көрсетілген:



9 Сурет - Тұйықталған жүйенің сипаттамасы: а-амплитудалы, б - өтпелі

Басқаша айтқанда, модульді ұтымдылық критеріі түзетілетін жүйе өзінің жиіліктік беріліс қасиеттерімен $\omega_{нр} = \omega_0$ өткізу сызығымен тіктөртбұрышты жиіліктік сипаттамасы бар (үзік сызықтармен берілген) төменгі жиілікті идеалды сүзгіге жақындауын талап етеді. Кірісте жоғарғы жиілікті бөгеуіл бар болса ω жиілігін біршама үлкен етіп таңдайды, бірақ та мәмілелік шарт бойынша барлық істейтін сигналдардың бірегей сүзгілуі. МҰ критеріі бойынша жүйенің күйге келтіруі аз қайта реттеуін қамтамасыз етер еді және 1,б суретте келесі сапа көрсеткіштері бойынша өтпелі үрдістің тез ағуы жеткілікті:

$$\sigma < 9\%; \quad t_n < 5/\omega_0; \quad t_p < \pi\omega_0 \quad (20)$$

Сапа көрсеткіштерінің жоғарғы шектері іс жүзінде іске аспайтын аласа жиіліктің тамаша сүзгісіне сәйкес келеді. Идеалды сүзгінің тік төртбұрышты мінездемесінің формасы бойынша жақын амплитудалық мінездемесінде, Баттервота сүзгісі бар, оның А.Ж.С:

$$A_\zeta(\omega) = |W_\zeta(j\omega)| = 1/\sqrt{(1+T\omega)^{2n}} \quad (21)$$

Іс жүзінде $n = 2 - 8$ ретпен әдетте сүзгілерді пайдаланады.

АБЖ тербелмелі моделі (6.16) беріліс функциямен демпирлеу коэффициентте $\xi = 0,7$ амплитудалы сипаттаманы алатынына көз жеткізуге қиын емес.

$$A_c(\omega) = 1/\sqrt{1+T^4\omega^4}, \quad (22)$$

$n = 2$ сүзгінің тиісті жиілік жағдайында.

Одан да жоғары реттегі ($n > 2$) жүйені түзеуде МҰ критеріі бойынша екінші ретті жақын емес модельдің көмегінсіз де жасауға болады. Ол үшін тұйық жүйенің беріліс функциясын

$$\Phi(p) = b_m / (a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n) \quad (23)$$

қалыпты түрге алып келеді

$$\Phi(\bar{p}) = B_m / (\bar{p}^n + A_1 \bar{p}^{n-1} + \dots + A_{n-1} \bar{p} + 1) \quad (24)$$

мұндағы $\bar{p} = pT_M = p/\omega_0$ - Лаплас операторы, тиісті өлшемсіз уақытқа $\bar{t} = t/T_M$ сәйкес келетін ;

T_M -масштаб көбейткіші, тең

$$T_M = 1/\omega_0 = \sqrt[n]{a_0/a_n}; \quad (25)$$

$$A_1 = \frac{a_1}{a_0} T_M, \dots, A_{n-1} = \frac{a_{n-1}}{a_0} T_M^{n-1}, \quad B_m = \frac{b_m}{a_n} \quad (26)$$

өлшемсіз коэффициенттер.

Амплитудалық мінездемелің керекті формасын қамтамасыз ету үшін тік төртбұрыштыға жақын мөлшерленген (7.24) қалыпты функцияның коэффициенттерін (кесте 7.1) Баттерворттың үйреншікті полиномдарымен сәйкес таңдайды. Тура осындай коэффициенттерінің тіркестерінде сүзгінің амплитудалық мінездемесі (7.21) түрге келеді, және де $T = T_M$, ал салыстырмалы жиілік $\Omega_0 = \omega_0 T = 1$ амплитудалық функцияның $0,7$ тең мәніне сәйкес келеді, (егер $B_M = 1$).

Масштаб көбейткіші T_M өтпелі үрдістің формасына ықпал етпейді және жүйенің жылдамдығының қорытылған шарасымен қызмет көрсетеді. Оның мәнін жылдамдықтың тиісті тез әсер ететін көрсеткіштерінен 9-б суретте t_u және t_n таңдауға болады:

$$t_u \approx nT_M, \quad t_n \approx 2nT_M, \quad (27)$$

мұндағы n - Баттерворттың полиномының реті.

Баттерворттың сүзгісінің параметрлері тербелмелі үлгіге қарай

$$A_1 = 2\xi = 1/\sqrt{kT_{01}}, \quad T_M = T = \sqrt{T_{01}/k}. \quad (28)$$

Жүйелердегі баттерворттың үйреншікті полиномдарымен таңдалған параметрлер

$$\sigma = 10 - 15\%. \quad (29)$$

1 Кесте - Баттерворт сүзгісінің коэффициенттері

n	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
2	1,4	0	0	0	0	0	0
3	2	2	0	0	0	0	0
4	2,61	3,41	2,61	0	0	0	0
5	3,24	5,24	5,24	3,24	0	0	0
6	3,86	7,46	9,13	7,46	3,86	0	0
7	4,5	10,1	14,6	14,6	10,1	4,5	0
8	5,12	13,1	21,8	25,7	21,8	13,1	5,12

Көрсетілген мәндер t_u және t_n (23) алымында оператормен қосылатындар P болып табылмайтын кезде ғана қатал шыдайды. Әйтсе де мұндай жүйелер үшін де Баттерворттың коэффициенттерінің мәндерімен пайдалануға болады. Сонымен бірге өтпелі үрдістің сапасының жақсылығы қамтамасыз етіледі.

2. Реттеудің типтік контурының ұтымдылығы.

Келесі объекттердің басқаруы үшін кешігу қолданылатын бір үлгідегі реттеуіштердің бейімдеуші параметрлерінің есептеуі үшін амплитудалық мінездеменің ықшамдауын айтылған әдіс қолданамыз:

$$W_0(p) = k_0 / p (T_{01}p + 1), \quad (30)$$

$$W_0(p) = k_0 / (T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1), \quad (31)$$

$$W_0(p) = k_0 / p (T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1), \quad (32)$$

$$W_0(p) = k_0 / (T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1)(T_{03}p + 1), \quad (33)$$

мұндағы, $T_{01} < T_{02} < T_{03}$ және де ең кіші тұрақты уақыттан T_{01} көбейткіш жағдайда азырақ тұрақты уақыттармен T_{01} әлі бірнеше инерция үзбелерін жуықтап алмастырады.

Әдетте (30)-(33) модельдерімен басқару жүйелерін реттеуінің бір үлгідегі контурдың (кернеуді реттеу, тоқ және айналу жиілігінің контуры) электр қозғағыш кіретін объекттердің сипаттамасы үшін пайдаланады.

(30)-(33)-тың реттік номері мен түріне байланысты, және де олардың тұрақты уақыттарының қатынасы, реттеудің контурын түзеу МҰ критеріі немесе СҰ критеріі бойынша іске асады 2 кестеде көрсетілген.

Реттеуіштердің нақтылы сапа көрсеткіштерінің алуын қамтамасыз ететін бейімдеуші параметрлерін k'_p және T'_θ кепілдік беретін деп атаймыз.

Егер екінші ретті (31) объектіде $T_{02} \leq 4T_{01}$ болса, онда МҰ критеріі артық көреміз. Критеридің талаптарын орындау үшін ПИ реттегішті қолданады

$$W_p(p) = k'_p (T'_u + 1) / T'_u p \quad (34)$$

Интегралдаудың тұрақты уақытында объектінің ең көп тұрақты уақытына тең кезінде

$$T'_u = T_u = T_{02}. \quad (35)$$

Осылайша, бұл ең көп тұрақты уақыттың толық өтелуіне жетеміз. Тұйықталмаған контурдың беріліс функциясы мынадай түрде болады

$$W(p) = W_p(p)W_0(p) = k'_p k_0 / [T'_u p (T_{01} p + 1)] \quad (36)$$

және тербелмелі модельдің тұйықталмаған контурының беріліс функциясымен сәйкес келеді, оған МҰ критеріі $\xi = 0,7$ шартына келеді. Тербелмелі модель үшін бұрын келтірілген формулалармен сәйкес бұдан $kT_{01} = 1/4 \xi^2$; $T_{01} = T/2\xi$ табамыз

$$k = 1/4 \xi^2 T_{01} = 1/2 T_{01}. \quad (37)$$

Қарастырылып отырған ПИ реттегіші бар контурдың

$$k = k_p k_0 / T_u \text{ и } T_u = T_{02}, \quad (38)$$

ескерсек, (35) басқа МҰ үшін түзетудің екінші шартын аламыз

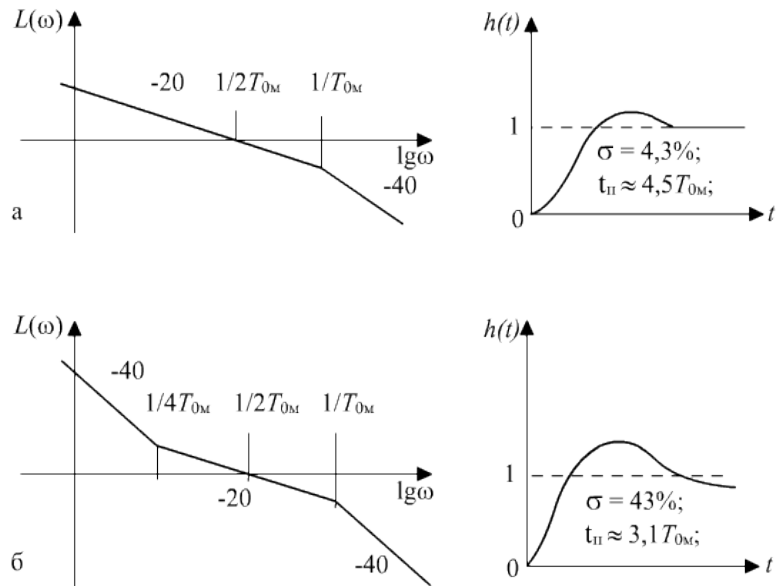
$$k'_p = k_p = T_{02} / 2k_0 T_{01}. \quad (39)$$

2 Кесте - Кешігусіз объекттер үшін кепілдік беретін бір үлгідегі реттеуіштердің бейімдеуші параметрлері

W(p) Объектің беріліс функциясы	Қолдану шарты	Критерий	Реттегіш параметрі		
			k'_p	T'_u	T'_∂
$\frac{k_0}{(T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1)}$	$T_{02} \leq 4T_{01}$	МО	$\frac{T_{02}}{2k_0 T_{01}}$	T_{02}	–
$(T_{01} < T_{02})$	$T_{02} \geq 4T_{01}$	СО	$\frac{T_{02}}{2k_0 T_{01}}$	$4T_{01}$	–

2 кесте жалғасы

$\frac{k_0}{p(T_{01}p+1)(T_{02}p+1)}$	$T_{02} \ll T_{01}$	CO	$\frac{1}{2k_0T_{01}}$	$4T_{01}$	-
	$T_{01} < T_{02}$	CO	$\frac{1}{2k_0T_{01}}$	$4T_{01}$	T_{02}
$\frac{k_0}{(T_{01}p+1)(T_{02}p+1)(T_{03}p+1)}$ $(T_{01} < T_{02} < T_{03})$	$T_{03} \leq 4T_{01}$	MO	$\frac{T_{03}}{2k_0T_{01}}$	T_{03}	T_{02}
	$T_{03} \geq 4T_{01}$	CO	$\frac{T_{03}}{2k_0T_{01}}$	$4T_{01}$	T_{02}
	$T_{02} \geq 4T_{01}$	CO	$\frac{T_{02}T_{03}}{8k_0T_{01}^2}$	T_{02}	$4T_{03}$



11 Сурет - Бірқонтурлы реттеу жүйесінің жиіліктік және өтпелі сипаттамалары

11 а - суретте тұйықталмаған контурдың ЛАЖС $L(\omega)$ және МҰ орнатылған ПИ реттегіші бар тұйықталған жүйенің өтпелі сипаттамасы $h(t)$ көрсетілген. Осылайша, тұйықталған контурдың беріліс функциясы мынадай түрде болады

$$\Phi(p) = 1 / (2T_{01}^2 p^2 + 2T_{01}p + 1) \quad (40)$$

Егер объект астатикалық болса, онда $T'_u \neq T_{01}$ шарты бар ПИ реттегішімен тұйықталмаған контурдың беріліс функциясы мынадай болады

$$W(p) = k'_p \frac{T'_u p + 1}{T_u p} \cdot \frac{k_0}{p(T_{01} p + 1)} \quad (41)$$

Оған тұйық жүйенің беріліс функциясы сәйкес келеді

$$\Phi(p) = \frac{k'_p k_0 (T_u p + 1)}{T_u T_{01} p^3 + T_u p^2 + k_p k_0 T_u p + k_p k_0} \quad (42)$$

(42) функция бөліміне Баттерворд қатынасын қолдансақ, ПИ реттегіштің келесі түзетулерін алуға болады:

$$k'_p = k_p = 1/2k_0 T_{01}; \quad T'_u = T_u = 4T_{01}, \quad (43)$$

және де $T_M = 2T_{01}$

(41) және(42) алынған түзетулер бойынша беріліс функциялар мына түрде болады

$$W(p) = \frac{4T_{01} p + 1}{8T_{01}^2 p^2 (T_{01} p + 1)}, \quad (44)$$

$$\Phi(p) = \frac{4T_{01} p + 1}{8T_{01}^3 p^3 + 8T_{01}^2 p^2 + 4T_{01} p + 1}. \quad (45)$$

(44) беріліс функциясына 11-б суретте көрсетілгендей симметриялы ЛАЖС $L(\omega)$ сәйкес келеді, сондықтан күйге келтірулерді таңдауға айтылған жол симметриялық ұтымдылықтың атауы болып табылады.

$$\sigma \approx 43\%; \quad t_n \approx 3,1T_{01}; \quad t_n \approx 14,7T_{01}. \quad (46)$$

ЭЕМде АБЖ модельдеу әр түрлі күйге келтірулерде қорытынды жасауға мүмкіндік береді:

1. Беріліс коэффициенттің k_p үлкеюі өсіп келе жатуды уақыттың кішірейтуіне t_n және қайта реттеуді σ жоғарылатуға алып келеді.
2. Тұрақты интегралдауды үлкею уақыттың үлкеюіне t_n және σ төмендетуге алып келеді.
3. x_s берілетін әсердің өзгеруін, яғни абайлаушы жүйелерді жан жақты зерттейтін МҰ критеріі жүйені ұтымдау кезінде қолайлы.
4. СҰ критеріін жүйені түзетуде қолдану қажет, олар әрдайым y_s қоздырушы әсерлерге, яғни тұрақтанған жүйелерде әсер етеді.
5. Екі критеріде $y_s - x$ қоздыру арнасы арқылы бірінші максималды ауытқудың $x_{макс}$ бірдей мәндерін қамтамасыз етеді.

1.4 АБЖ синтездеудің жиіліктік әдісі

Синтездің жиіліктік әдісі керекті ЛАЖС құрастыруда негізделген. Керекті ЛАЖС сапа көрсеткіштерінің өте ұтымды байланысының қамтамасыз етулері үшін ω_c кесу жиілігінде -20^0 дБ/дек құламасы болу керек. Керекті ЛАЖС төмен жиілікті және жоғары жиілікті бөліктерді құрастыру АБЖ нақты бөлігінде қолданғанда құрылуы мүмкін. Кейбір типтік ЛАЖС 12-ші сурет көрсетілген.

Керекті ЛАЖС нұсқауларына келесі жүйелер сәйкес 12-ші суретте:

1. (техникалық ұтымдылық) тербелмелі буын алып келетін жүйелер. Керекті ЛАЖС мұндай жағдайда 1 түрдегі теңдеудің беріліс функциясы және кескін жиілігінің теңдеулері сияқты болады.

$$W(s) = \frac{K}{s(T_2s + 1)}; \quad \omega_c = K \quad (47)$$

Бұл жерде $K = 1/aT_2$, $a = 2$ болғанда қайта реттеуді $\sigma = 4,3\%$ беретін техникалық ұтымдылықты аламыз. Өтпелі үрдітің минималды - өтпелі уақыты $t_n = 9,5T_2$ болуы мүмкін.

Құрылым және келтірілген байланыстар сол сияқты (немесе жүйеге негізінен, немесе оның тұрақтануды ішкі контурында) тұрақтанудың жүйелеріне сәйкес келеді.

2-ші реттің астатикалық жүйелері (2-ші қисық). Беріліс функция және кесік жиілігінің теңдеулері мынадай.

$$W(s) = \frac{K(\tau s + 1)}{s^2(T_2 s + 1)}; \quad \omega_c = K\tau \quad (48)$$

Егер мұндай беріліс функцияда $K = 1/8T_2$ және $\tau = 4T_2$ қамтамасыз етсе, бірақ қоздырушы әсердің жан-жақты зерттеуі басқару бойынша бірдей өтпелі үрдістің ұзақтығының техникалық ұтымдылығымен жанында ең төменгі және тұрақты уақытпен T_2 анықталады, онда өтпелі үрдістің көрсеткіштері жанында симметриялық ұтымдылыққа $\sigma = 4,3\%$ сәйкес келеді. Ұқсас жүйелерді әсерлердің салыстырмалы аз үдеулерінде қолдану керек.

2. 1-ші реттің астатикалық жүйелері (3-ші қисық). Осы жағдайда беріліс функция және кесіктің жиілігінің теңдеулері осындай

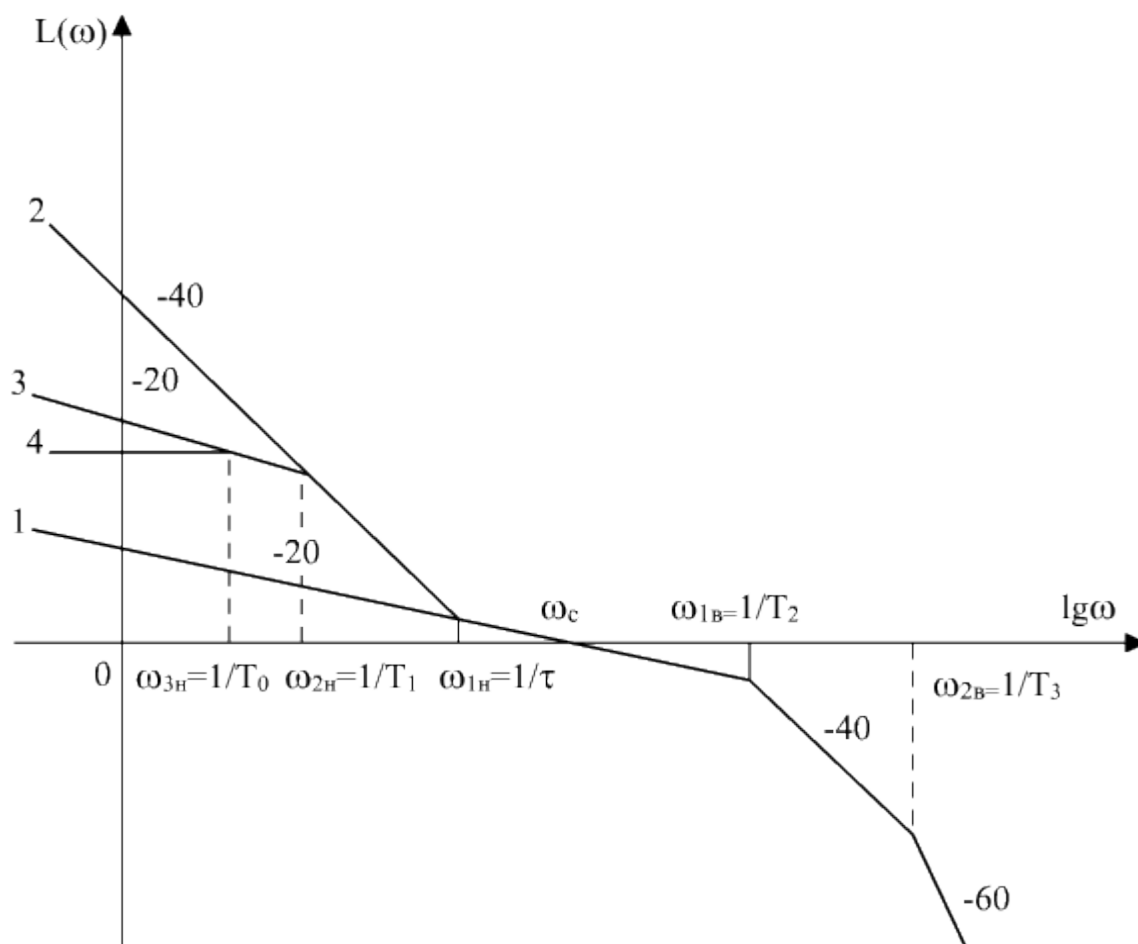
$$W(s) = \frac{K(\tau s + 1)}{s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}; \quad \omega_c = K \frac{\tau}{T_1} \quad (49)$$

Бұл жерде $T_1 > \tau > T_2$ және T_1 ЛАЖС бұрылыстары аласа жиіліктерде ($\omega_{2\pi} = 1/T_1$) анықтайды.

Мұндай жоспардың жүйелері фаза бойынша орнықтылықтың үлкен қорларын алады және кішірек қайта реттеу ($\sigma < 30\%$).

4. АБЖ статикалық құрылымдары (4-ші қисық). Беріліс функция және кесіктің жиілігі өрнектермен анықталады:

$$W(s) = \frac{K(\tau s + 1)}{(T_0 s + 1)(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}; \quad \omega_c = K \frac{\tau}{T_1 T_0} \quad (50)$$



12 Сурет - ЛАЖС-ң түрлі варианттары

Мұндай құрылымдар жан-жақты зерттеуді жоғарылатылған дәлдік сыртқы әсер талап етпейтін жүйелер үшін қолайлы.

Кесіктің жиілігі ω_c және мүмкін қайта реттеу σ беріліс функциялардың параметрлерінің таңдауының варианттарының жиынында алдын ала бағалауға кереге алды.

Кесіктің жиілігі өтпелі үрдістің уақытымен t_n бірмәнді бағаланады және кеңес берілген тәуелділіктер бойынша есептеледі:

Егер $\sigma < 5\%$, онда жанында $\omega_c = 4\pi/t_n$, онда $\omega_{1\varepsilon} \geq 2\omega_c$.

Өтпелі үрдістің уақыты бар кесігінің жиілігінің $\sigma > 5\%$ байланысы үшін сызықты емес және Солодовникова графикалар бойынша анықталады.

Керекті ЛАЖС қалған параметрлерін жақындатылған әсерлер бойынша есептейді:

$$\omega_c \geq \frac{2\pi}{t_n} \left(\frac{\sigma\% + 45}{20} - 2 \right) \geq \frac{0,314}{t_n} (\sigma\% + 5) \quad (51)$$

$$\omega_{1\varepsilon} \geq \omega_c \frac{M+1}{M} = \frac{1}{T_2} \quad \text{и} \quad \omega_{1\kappa} \leq \omega_c \frac{M-1}{M} = \frac{1}{\tau}, \quad (52)$$

мұндағы $M \approx 0,02(\sigma\% + 40)$

Керекті 1 типтегі ЛАЖС үшін $M \approx 1$ және $\omega_{1\varepsilon} = 2\omega_c$ қабылдайды.

Керекті 2 типтегі ЛАЖС үшін $\omega_{1\varepsilon} = 2\omega_c$ және $\omega_{1\kappa} = 0,5\omega_c$ қабылдайды.

M параметрдің анықтауынсыз $\omega_{1\varepsilon} \geq 2\omega_c$ және $\omega_{1\kappa} \approx 0,1\omega_{1\varepsilon}$

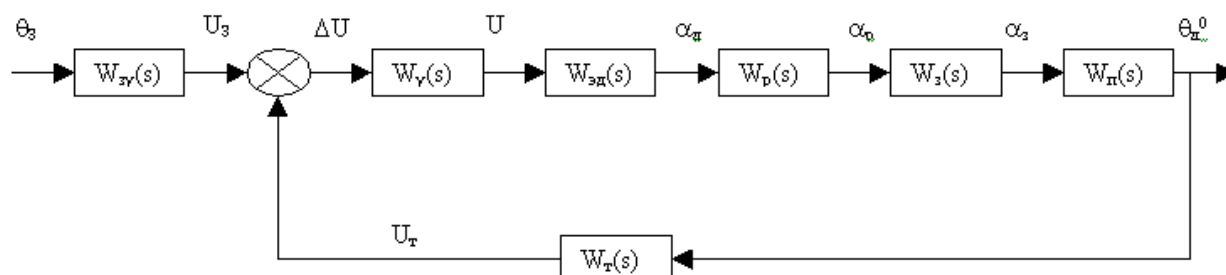
қабылдайды. Сонымен бірге $T_0 > T_1 > \tau > T_2 > T_3$.

Ішкі байланыстардан бас кері байланыстан басқа болатын көп контурлы АБЖ өте жайылған. Мұндай жүйелерді контурлап синтездеу ұтымды, ішінен бастап сыртқысымен бітіру. Бұл әдіс АБЖ синтезінің қол астындағы деген атқа ие болды.

2 АРНАЙЫ БӨЛІМ

Жүйенің құрылымдық сұлбаның құрастыруы

13 суретте түзетпелген жүйенің құрылымдық сұлбасы көрсетілген.



13 Сурет - Түзетпелген жүйенің құрылымдық схемасы

мұнда:

$W_{3ᵛ}(S)$ – берілетін құрылымның беріліс функциясы;

$$W_{3ᵛ}(s) = K_{3ᵛ}$$

$W_y(S)$ – күшейткіштің беріліс функциясы;

$$W_y(s) = K_y = \frac{K_{\text{ОБЩ}}}{K_{\text{ДВ}} \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_{\text{П}} \cdot K_T}$$

$W_{\text{эд}}(S)$ – қозғаушының беріліс функциясы;

$$W_{\text{ДВ}}(s) = \frac{K_{\text{ДВ}}}{S(T_M \cdot T_{\text{Э}} \cdot S^2 + T_M \cdot S + 1)}$$

$W_p(S)$ – редуктордың беріліс функциясы;

$$W_p(s) = K_p$$

$W_3(S)$ – жапқыштың беріліс функциясы;

$$W_3(s) = K_3$$

$W_{\text{п}}(S)$ – бу құбырының беріліс функциясы;

$$W_{\text{П}}(s) = K_{\text{П}} \cdot e^{-\tau s}$$

$W_T(S)$ – жылу жұптың беріліс функциясы;

$$W_T(s) = \frac{K_T}{T_T \cdot S + 1}$$

Θ_3 – бу температураның берілген мәні;

$\Theta_{\text{д}}$ – бу температураның жұмыс істейтін мәні;

U_3 – берілетін құрылымның шығуындағы кернеу;

ΔU – шығудағы кернеу оның құрылымын салыстырамын;

U – күшейткіштің шығуындағы кернеу;

U_T – жылу жұптың шығуындағы кернеу;

Схеманың барлық элементтері дәйекті түрде тұйықтаған, сондықтан алшақ салынған жүйенің ортақ беріліс функциясы құрылымдық схеманың элементтері беріліс функцияларының шығармасына беріспейді:

$$W(s) = W_y(s) \cdot W_{дв}(s) \cdot W_p(s) \cdot W_3(s) \cdot W_{II}(s) \cdot W_T(s)$$

$$W(s) = K_y \cdot \frac{K_{дв}}{S(T_M \cdot T_3 \cdot S^2 + T_M \cdot S + 1)} \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_{II} \cdot e^{-\tau s} \cdot \frac{K_T}{T_T \cdot S + 1}$$

$$W(S) = \frac{K_{общ} \cdot e^{-\tau s}}{S(T_M \cdot T_3 \cdot S^2 + T_M \cdot S + 1)(T_T \cdot S + 1)} \quad (53)$$

мұнда,

$$K_{общ} = K_y \cdot K_{дв} \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_{II} \cdot K_T \quad (54)$$

2.1 Алшақ салынған жүйенің берілуінің ортақ коэффициенті

$$K_{общ} \geq \frac{\dot{U}_3 \cdot 100\%}{E \cdot \Theta_3 \cdot K_{3y}} \quad (55)$$

мұнда,

$E = 4\%$ - жылдамдық бойынша орналастырылған қате $\dot{U}_3 = 0,08$ В/с кезінде;
 $K_{3y} = 0,5 \cdot 10^{-4}$ – берілетін құрылымның берілуін коэффициенті;
 $\Theta_3^0 = 80^0$ – бу температурасы;

$$K_{общ} \geq \frac{\dot{U}_3 \cdot 100\%}{E \cdot \Theta_3 \cdot K_{3y}} = \frac{0,08 \cdot 100}{4 \cdot 80 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}} = 500 \text{ 1/с}$$

2.2 Күшейткіштің берілу коэффициентін анықтау

$$K_y = \frac{K_{общ}}{K_{дв} \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_{II} \cdot K_T}$$

мұнда,

$K_{общ} = 500$ 1/с – күшейткіштің берілудің ортақ коэффициенті;
 $K_{дв} = 0,9$ об/(с·В) – қозғаушының берілукоэффициенті;
 $K_p = 1/i$ – редуктордың берілукоэффициенті, $i = 200$ – редуктордың беріліс қатынасы;

$K_3 = 5$ °С/угл.град – жапқыштың берілу коэффициенті;

$K_{II} = 0,7$ – бу құбырыны берілу коэффициенті;

$K_T = 0,5 \cdot 10^{-4}$ В/°С – сезгіштік;

$$K_y = \frac{K_{\text{ОБЩ}}}{K_{\text{ДВ}} \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_{\text{П}} \cdot K_T} = \frac{500}{0,9 \cdot \frac{1}{200} \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}} = 6,35 \cdot 10^8$$

2.3 Жүйенің элементтерінің беріліс функцияларының анықтауы

$W_{\text{ЗУ}}(S)$ – берілетін құрылымның беріліс функциясы;

$$W_{\text{ЗУ}}(s) = K_{\text{ЗУ}} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ В}^0\text{С}$$

$W_y(S)$ – күшейткіштің беріліс функциясы;

$$W_y(s) = K_y = 6,35 \cdot 10^8$$

$W_{\text{ЭД}}(S)$ – қозғаушының беріліс функциясы;

$$W_{\text{ДВ}}(s) = \frac{K_{\text{ДВ}}}{S(T_M \cdot T_{\text{Э}} \cdot S^2 + T_M \cdot S + 1)}$$

мұнда,

$K_{\text{ДВ}} = 9 \text{ об}/(\text{с} \cdot \text{В})$ – қозғаушының берілу коэффициенті;

$T_M = 0,3 \text{ с}$ – механикалық тұрақты уақыты;

$T_{\text{Э}} = 0,08 \text{ с}$ – электр тұрақты уақыты;

Бір үлгідегі буындардың түріндегі бөлімнің көрсетеміз $S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)$

мұнда,

$$T_{1,2} = \frac{T_M}{2} \pm \sqrt{\frac{T_M^2}{4} - T_M T_{\text{Э}}}$$

$$T_1 = 0,195 \text{ с}$$

$$T_2 = 0,005 \text{ с}$$

$$W_{\text{ДВ}}(s) = \frac{K_{\text{ДВ}}}{S(T_1 \cdot S + 1) \cdot (T_2 \cdot S + 1)} = \frac{9}{S(0,195S + 1)(0,005S + 1)}$$

$W_p(S)$ – редуктордың беріліс функциясы;

$$W_p(s) = K_p = 1/i = 1/200 = 0,005$$

$W_3(S)$ – жапқыштың беріліс функциясы;

$$W_3(s) = K_3 = 5^0 \text{С}/\text{угл.град.}$$

$W_{\text{П}}(S)$ – бу құбырының беріліс функциясы;

$$W_{\text{П}}(s) = K_{\text{П}} \cdot e^{-\tau s} = 0,7e^{-0,009s}$$

мұнда,
 $K_{\Pi} = 0,7$ – бу құбырының берілу коэффициенті;
 $\tau = 0,009$ с – таза кешігу уақыты;

$W_T(S)$ – жылу жұптың беріліс функциясы;

$$W_T(s) = \frac{K_T}{T_T \cdot S + 1} = \frac{0,5 \cdot 10^{-4}}{0,05S + 1}$$

мұнда,
 $K_T = 0,5 \cdot 10^{-4}$ В/°С – сезгіштік;
 $T_T = 0,05$ с – тұрақты тоқ;

2.4 Алшақ салынған жүйенің беріліс функциясын анықтау

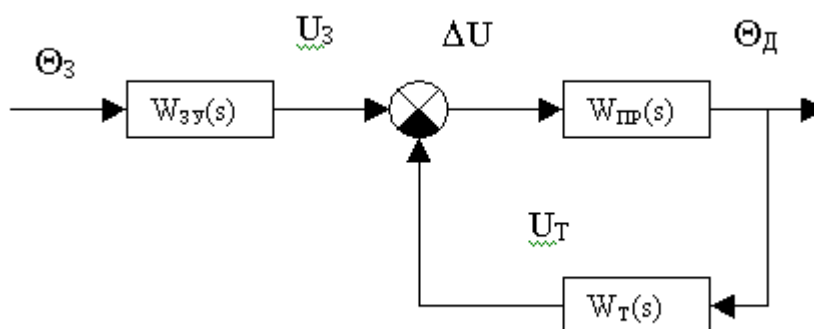
$$W(S) = \frac{K_{\text{ОБЩ}} \cdot e^{-\tau S}}{S(T_M \cdot T_{\text{Э}} \cdot S^2 + T_M \cdot S + 1)(T_T \cdot S + 1)}$$

$$W(S) = \frac{K_{\text{ОБЩ}} \cdot e^{-\tau S}}{S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T_T S + 1)}$$

$$W(S) = \frac{500 \cdot e^{-0,009S}}{S(0,195S + 1)(0,005S + 1)(0,05S + 1)}$$

2.5 Тұйық жүйенің беріліс функциясын анықтау

Тұйық жүйенің құрылымдық схемасы 14-ші суретте көрсетілген:



14 Сурет - Тұйық жүйенің құрылымдық схемасы

мұнда,
 $W_{3y}(S)$ – берілетін құрылымның беріліс функциясы;

$W_{\text{ПР}}(S)$ – шынжырдың түзу беріліс функция;

$$W_{\text{ПР}}(s) = \frac{W(s)}{W_T(s)}$$

$W_T(S)$ – жылу жұптың беріліс функциясы;

Θ_3 – бу температураның тап қалған мәні;

Θ_d – бу температураның жұмыс істейтін мәні;

U_3 – берілетін құрылымның шығуындағы кернеу;

ΔU – шығудағы кернеу оның құрылымын салыстырамын;

U – күшейткіштің шығуындағы кернеу;

U_T – жылу жұптың шығуындағы кернеу;

2.6 Берілетін әсер бойынша тұйық жүйенің беріліс функциясы

$$\Phi_d(s) = \frac{\Theta_d(s)}{\Theta_3(s)}$$

$$\Phi_d(s) = W_{3V}(s) \frac{W_{\text{ПР}}(s)}{1 + W_{\text{ПР}}(s)W_T(s)} = W_{3V}(s) \frac{\frac{W(s)}{W_T(s)}}{1 + W(s)} = \frac{W_{3V}(s)W(s)}{W_T(s)(W(s) + 1)}$$

$$\Phi_d(s) = \frac{W_{3V}(s)W(s)}{W_T(s)(W(s) + 1)}$$

мұнда,

$W(s)$ – алшақ салынған жүйенің беріліс функциясы.

$$W(S) = \frac{K_{\text{ОБЩ}} \cdot e^{-\tau S}}{S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T_T S + 1)}$$

$$W_{3V}(s) = K_{3V}$$

$$W_T(s) = \frac{K_T}{T_T \cdot S + 1}$$

$$\Phi_d(s) = \frac{K_{3V} \frac{K_{\text{ОБЩ}} \cdot e^{-\tau S}}{S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T_T S + 1)}}{\left(\frac{K_T}{T_T \cdot S + 1} \right) \left(\frac{K_{\text{ОБЩ}} \cdot e^{-\tau S}}{S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T_T S + 1)} + 1 \right)}$$

$$\Phi_D(s) = \frac{K_{3V} K_{ОБЩ} \cdot e^{-\tau s} (T_T S + 1)}{K_T [K_{ОБЩ} + S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T_T S + 1)]}$$

сондықтан:

$$K_T = K_{3V}$$

$$\Phi_D(s) = \left[\frac{K_{ОБЩ} \cdot e^{-\tau s} (T_T S + 1)}{K_{ОБЩ} \cdot e^{-\tau s} + S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T_T S + 1)} \right]$$

мұнда,

$K_{ОБЩ} = 500$ 1/с – күшейткіштің берілуін ортақ коэффициенті;

$\tau = 0,009$ с – таза кешігу уақыт;

$T_1 = 0,195$ с }
 $T_2 = 0,005$ с } - тұрақты уақыттар
 $T_T = 0,05$ с }

2.7 Берілетін әсер туралы тұйық жүйенің беріліс функциясының қателері

$$\Phi_{XY}(s) = \frac{X(s)}{\Theta_3(s)}$$

мұнда, $X(s)$ – қатенің суреті;

Θ_3 – бу температурасының берілген мәні;

$$\Phi_{XY}(s) = \frac{W_{3V}(s)}{W(s) + 1}$$

мұнда,

$W(s)$ – алшақ салынған жүйенің беріліс функциясы;

$$W(S) = \frac{K_{ОБЩ} \cdot e^{-\tau s}}{S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T_T S + 1)}$$

$$W_{3V}(s) = K_{3V}$$

$$\Phi_D(s) = \frac{K_{3V}}{\left(\frac{K_{ОБЩ} \cdot e^{-\tau s}}{S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T_T S + 1)} + 1 \right)}$$

$$\Phi_D(s) = \frac{K_{3V} S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T_T S + 1)}{K_{ОБЩ} \cdot e^{-s\tau} + S(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T_T S + 1)}$$

мұнда,

$K_{ОБЩ} = 500$ 1/с – күшейткіштің берілу ортақ коэффициенті;

$\tau = 0,009$ с – таза кешігу уақыты;

$T_1 = 0,195$ с }
 $T_2 = 0,005$ с } - тұрақты уақыттар
 $T_T = 0,05$ с }

2.8 Жүйенің орнықтылығын зерттеу

2.8.1 Гурвиц белгісі бойынша жүйені зерттеу

Басқару жүйесінің орнықтылықтары үшін матрицаның барлық анықтауыштары болуы керек келесі сипаттамалық теңдеудің коэффициент қосып жасалған:

$$D(p) = 1 + W(s)|_{s=p} = 0$$

$$D(p) = \frac{K_{ОБЩ} \cdot e^{-p\tau}}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_T p + 1)} = 0$$

$$p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_T p + 1) + K_{ОБЩ} \cdot e^{-p\tau} = 0$$

$e^{-p\tau}$ Макларен тізбегіне қоямыз: $e^{-p\tau} = 1 - p\tau + \frac{(p\tau)^2}{2!} - \frac{(p\tau)^3}{3!} + \dots$

екі бірінші мүшелерді аламыз.

$$e^{-p\tau} = 1 - p\tau$$

$$p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_T p + 1) + K_{ОБЩ}(1 - p\tau) = 0$$

Бір үлгідегі түрге алған мінездемелік теңдеуді келтіреміз:

$$(T_1 T_2 T_T) p^4 + (T_1 T_T + T_2 T_T + T_1 T_2) p^3 + (T_T + T_1 + T_2) p^2 + (1 - K_{ОБЩ} \cdot \tau) p + K_{ОБЩ} = 0$$

мұнда,

$K_{ОБЩ} = 500$ 1/с – күшейткіш берілудің ортақ коэффициенті;

$\tau = 0,009$ с – таза кешігу уақыты;

$T_1 = 0,195$ с

$$\left. \begin{array}{l} T_2 = 0,005 \text{ c} \\ T_T = 0,05 \text{ c} \end{array} \right\} - \text{тұрақты уақыттар}$$

Сонда

$$a_0 = T_1 T_2 T_T = 4.88 \cdot 10^{-5} \text{ c}^3$$

$$a_1 = T_1 T_T + T_2 T_T + T_1 T_2 = 0.011 \text{ c}^2$$

$$a_2 = T_1 + T_2 + T_T = 0.25 \text{ c}$$

$$a_3 = 1 - K_{\text{ОБЩ}} \cdot \tau = -3.5$$

$$a_4 = K_{\text{ОБЩ}} = 500 \text{ c}^{-1}$$

$a_i > 0$ тұрақты шарты керек, $i = 0$.кез келген үшін. n – орындалмайды. Гурвиц критериясы бойынша тексерейік:

$$\begin{pmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.011 & -3.5 & 0 & 0 \\ 4.88 \cdot 10^{-5} & 0.25 & 500 & 0 \\ 0 & 0.011 & -3.5 & 0 \\ 0 & 4.88 \cdot 10^{-5} & 0.25 & 500 \end{pmatrix}$$

Матрицаның барлық анықтауыштарын табамыз:

$$\Delta_1 = a_1 = 0,011$$

$$\Delta_2 = a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 = 0,00275$$

$$\Delta_3 = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 - a_0 \cdot a_3^2 - a_1^2 \cdot a_4 = -0.071$$

$$\Delta_4 = a_1 \cdot \Delta_3 = -0,00078$$

Анықтауыштар Δ_3 және Δ_4 аз және Гурвицтің белгілеріне қанағаттандырмайды. Демек жүйе аумалы.

2.8.2 Михайлов белгі бойынша жүйені зерттеу

Төртінші реттің сызықты жүйесі үшін орнықты керек және қисық суреттейтін Михайлова векторы 0 жиіліктің өзгерісінде шексіздікке дейін бұрышқа 360° қайрылу үшін жеткілікті болды.

Михайловасының қисығының құрастырулары үшін алған алдыңғы тармақтағы сипаттамалық полиномын қолданамыз.

$$D(p) = a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4$$

Сипаттамалық полиномда $p = j\omega$ алмастыруын орындаймыз және сипаттамалық кешенді аламыз:

$$D(p) = a_0 (j\omega)^4 + a_1 (j\omega)^3 + a_2 (j\omega)^2 + a_3 (j\omega) + a_4$$

$$D(\omega) = a_0 \omega^4 - a_1 j \omega^3 - a_2 \omega^2 + a_3 j \omega + a_4$$

Нақты бөлік:

$$X(\omega) = a_0 \omega^4 - a_2 \omega^2 + a_4$$

Жорамал бөлік

$$Y(\omega) = -a_1 \omega^3 + a_3 \omega$$

мұнда,

$$a_0 = T_1 T_2 T_T = 4.88 \cdot 10^{-5} \text{ c}^3$$

$$a_1 = T_1 T_T + T_2 T_T + T_1 T_2 = 0.011 \text{ c}^2$$

$$a_2 = T_1 + T_2 + T_T = 0.25 \text{ c}$$

$$a_3 = 1 - K_{\text{ОБЩ}} \cdot \tau = -3.5$$

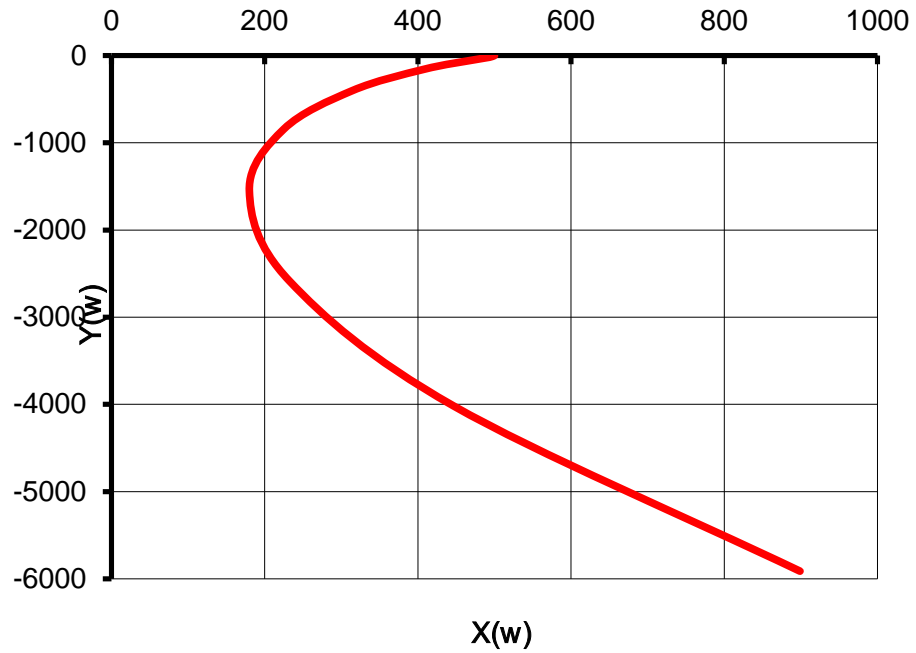
$$a_4 = K_{\text{ОБЩ}} = 500 \text{ c}^{-1}$$

Жиіліктің әр түрлі мәндерімен $X(\omega)$ и $Y(\omega)$ есептейміз 2.1 кестеде көрсетілген:

2.1 Кесте Жиіліктің әр түрлі мәндерімен $X(\omega)$ и $Y(\omega)$ есебі

ω	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80
$X(\omega)$	50	493.7	475.4	707.8	314.5	224.9	180	232.4	446.6	898.8
)	0	8	9	1	3	3		5	9	5
$Y(\omega)$	0	-	-46	-158	-402	-844	-	-2586	-4018	-5912
)		18.88					150			
							0			

Михайлов қисығы осы кестелерді негізде салады 2.1. суретте көрсетілген.

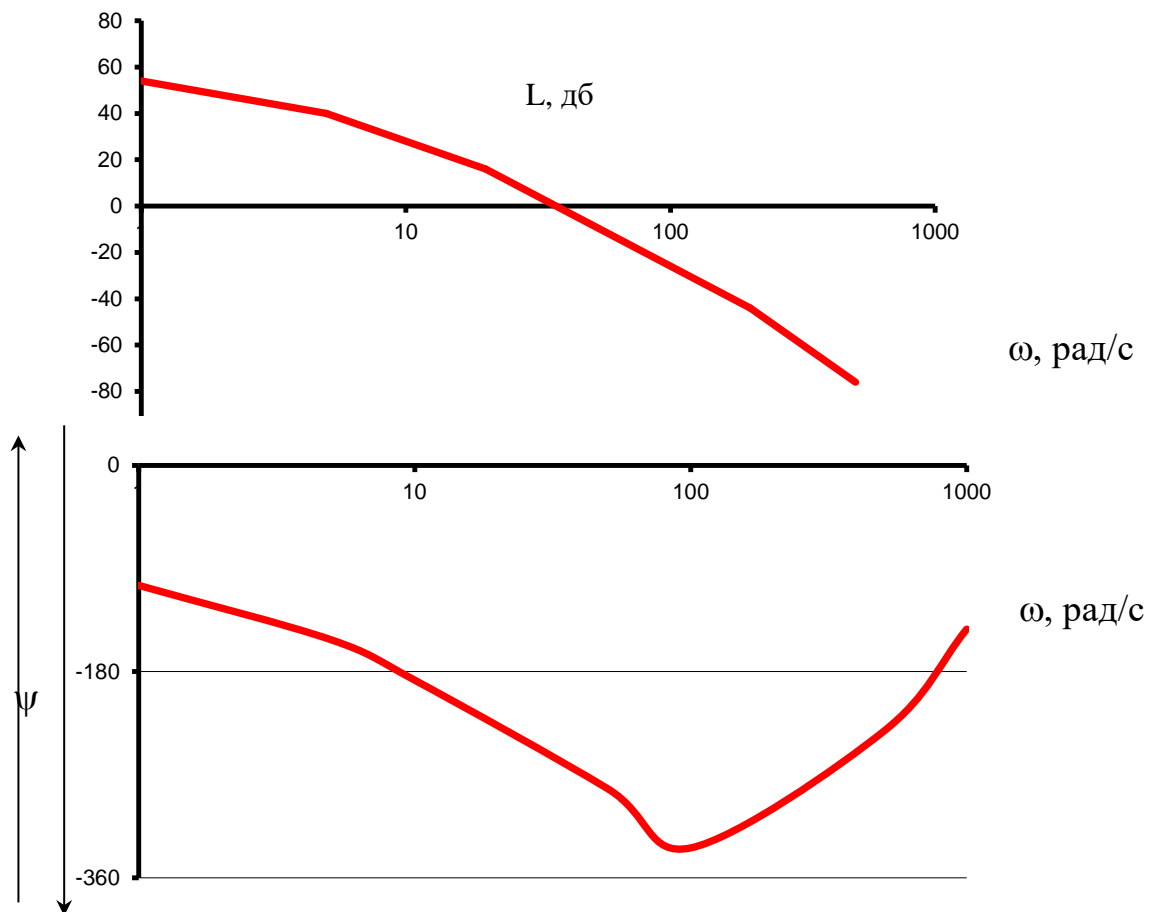


15 Сурет - Михайлов қисығы

Біз годографтан үлкеюі бар Михайлова қисығын үлкейгенін көреміз ω шексіздікке дейін кемиді, демек 360 градустардың бұрышын сипаттамайды. Қортындылай келгенде, жүйе орнықты.

2.8.3 ЛЖС негізінде Найквиста белгі бойынша жүйенің зерттеуі

Жүйе алшақ салынған жүйенің беріліс функциясының логарифмдік амплитудалық сипаттамасы, егер орнықты теріс мәндер фазалық мінездеме мәнге жетуге қарағандасы ертерек қабылдайтын болады -180^0 . Бізде $L=0$ егерде $\omega = 31$ рад/с, $\psi = -180^0$, $\omega = 8$ рад/с. Қортындылай келгенде, жүйе аумалы 16 суретте көрсетілген.



16 Сурет - Алшақ салынған ЛЖС жүйенің беріліс функциясы

2.8.4 ЛЖС жүйенің керекті құрастыруы

Керекті ЛЖС құрастыруы 2 кезеңнен тұрды: ЛЖС келген, ЛЖС орналастырылатын.

Жүйенің орналастырылатын ЛЖС құрастыруы.

Жүйенің орналастырылатын ЛЖС алшақ салынған жүйенің беріліс функциясы бойынша саламыз.

$$W_p(S) = \frac{K_{\text{ОБЦ}} \cdot e^{-\tau S}}{S^r (T_1 S + 1)(T_2 S + 1)(T_T S + 1)}$$

мұнда,

$K_{\text{ОБЦ}} = 500$ 1/с – күшейткіш берілудің ортақ коэффициенті;

$\tau = 0,009$ с – таза кешігу уақыты;

$T_T = 0,05$ с – жылу жұптар тұрақты уақыты;

$T_1 = 0,195$ с , $T_2 = 0,005$ с – тұрақты электр қозғағышының уақыттары;

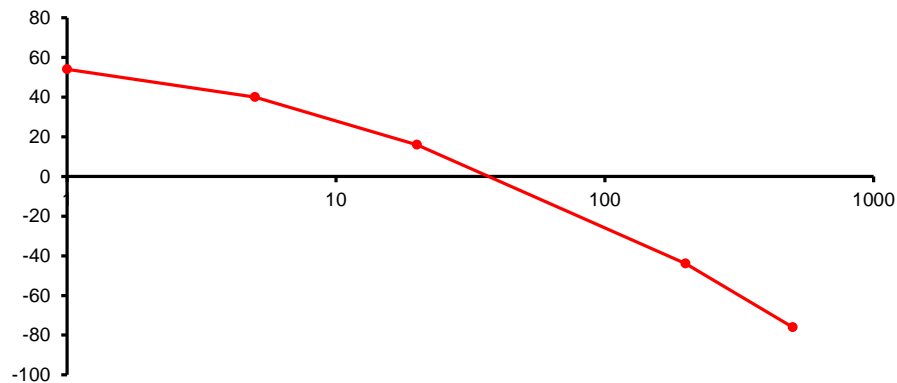
Түйіндіретін жиіліктер:

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = 5.13 \text{ рад/с} \quad Lg(\omega_1) = 0.71 \text{ дек}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{T_2} = 200 \text{ рад/с} \quad Lg(\omega_2) = 2.3 \text{ дек}$$

$$\omega_T = \frac{1}{T_T} = 20 \text{ рад/с} \quad Lg(\omega_T) = 1.3 \text{ дек}$$

Біз орналастырылатын ЛЖС графигі 2.3-ші тарауларға құрастырдық., оның тағы бір ретін қарап шығамыз 17 суретте көрсетілген:



17 Сурет - Орналастырылатын ЛЖС графигі

Жүйенің керекті ЛЖС құрастыруы:

а) ЛЖСтың төмен жиілікті бөлімшесі ω_1 дейін керекті орналастырылатын ЛЖСтың төмен жиілікті бөлімшесімен дәл келеді.

б) Керекті ЛАХ орташа жиіліктегі бөлімше қайта реттеуді тап қалған шаманың орындауы үшін орнықтылықтың тиісті қорларының қамтамасыз етуді шартынан жүргізіледі – σ және реттеулер уақыт – t_p .

$$\sigma = 28 \%$$

$$t_p = 0.75 \text{ с}$$

Керекті ЛЖСтың орташа жиіліктегі бөлімшесі кесіктің жиілігінде жиілік өсін кесіп өтеді ω_{cp} және 20 дБ/дек тең көлбеумен өтеді. Кесіктің жиілігі Солодовникованы номограммаға сәйкес анықталады.

$$t_p = \frac{x}{\omega_{cp}} \quad \omega_{cp} = \frac{x}{t_p}$$

$$\omega_{CP} = \frac{3.9 \cdot \pi}{0.75} = 16.34 \text{ рад/с}$$

$$Lg(\omega_{cp}) = 1.21 \text{ дек}$$

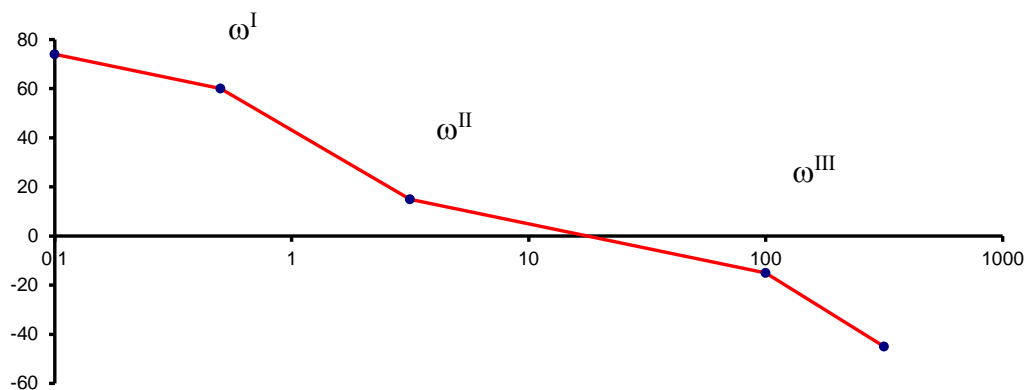
Кесіктің жиілігінен орташа жиіліктегі бөлімшенің созылымдығы амплитуда орнықтылықтың қорын анықтайды және Бессекерскийдің номограммасы бойынша болады.

$$\sigma = 28 \%$$

$$L_h = 15 \text{ дб.}$$

в) Керекті ЛЖСтың орташа жиіліктегі бөлімшесі 60 дб/дек-ші ЛЖСты көлбеу болатын кесіндінің төмен жиілікті бөлімшесімен түйіндестіреді.

г) Керекті ЛЖСының жоғары жиілікті бөлімшесі орналастырылатын ЛЖСтың параллель жоғары жиілікті бөлімшесіне жүргізіледі.



18 Сурет - ЛЖС

Алшақ салынған керекті жүйенің беріліс функциясының анықтауы
Түйіндестіретін жиіліктерді анықтаймыз.

$$\omega^I = 0.5 \text{ рад/с}$$

$$\omega^{II} = 3.16 \text{ рад/с}$$

$$\omega^{III} = 100 \text{ рад/с}$$

Тұрақты уақыттарды анықтаймыз:

$$T^I = 1/\omega^I = 2 \text{ с}$$

$$T^{II} = 1/\omega^{II} = 0.32 \text{ с}$$

$$T^{III} = 1/\omega^{III} = 0.01 \text{ с}$$

Алшақ салынған жүйенің керекті беріліс функциясын аламыз:

$$W_{ж}(S) = \frac{K_{общ} \cdot (T''S + 1)^2 \cdot e^{-\tau \cdot S}}{S \cdot (T' S + 1)^2 (T''' S + 1)^3}$$

мұнда,

$K_{общ} = 500$ 1/с – күшейткіштің берілуін ортақ коэффициент;

$\tau = 0,009$ с – таза кешігуді уақыт;

Киыстіру құрылымының беріліс функциясының анықтауы

Түзететін құрылымның біртіндеп түрін таңдаймыз.

Сонда

$$W_{ж}(s) = W_{р}(s) \cdot W_{пкы}(s)$$

мұнда,

$W_{ж}(s)$ – керекті беріліс функция

$W_{р}(s)$ – орналастырылатын беріліс функция

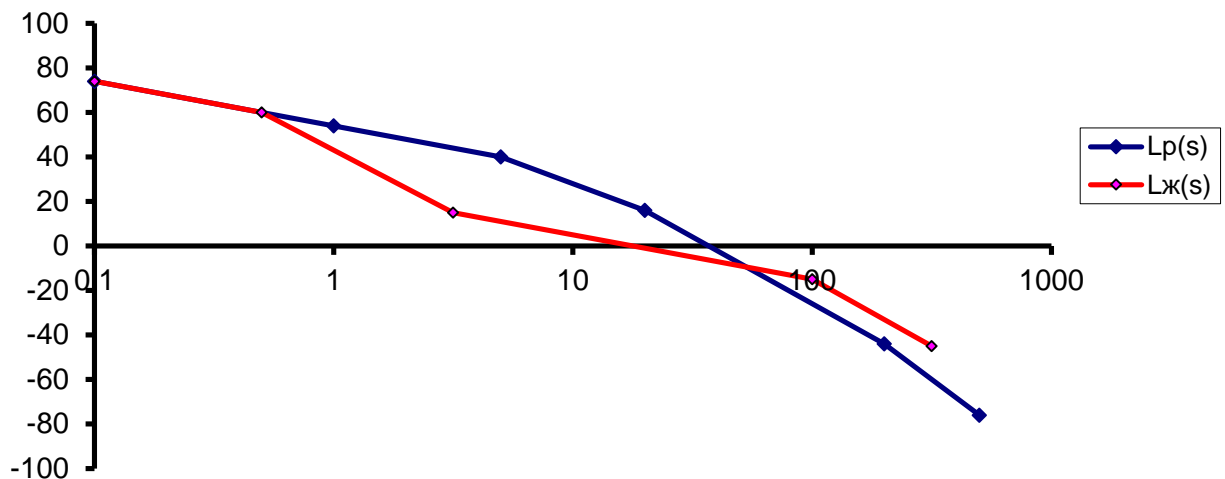
$W_{пкы}(s)$ – түзететін құрылымның беріліс функциясы

ЛАХ өтеміз

$$L_{ж}(s) = L_{р}(s) + L_{пкы}(s)$$

$$L_{пкы}(s) = L_{ж}(s) - L_{р}(s)$$

Түзететін құрылымның ЛАЖ құрастырулары үшін керекті және орналастырылатын жүйелердің ЛАЖ айырымы алуға болады 19-суретте көрсетілген.



19 Сурет - Орналастырылатын және керекті ЛАЖ графика

Өндіріп аламыз:

а). ω^I Жиілікке дейін график бөлімшесі – $(-20) - (-20) = 0$ дб/дек
көлбеумен өтеді.

б). ω^I до ω^{II} Жиілікке дейін график бөлімшесі – $(-60) - (-20) = -40$ дб/дек
көлбеумен өтеді.

в). ω^{II} до ω_1 Жиілікке дейін график бөлімшесі – $(-20) - (-20) = 0$ дб/дек
көлбеумен өтеді.

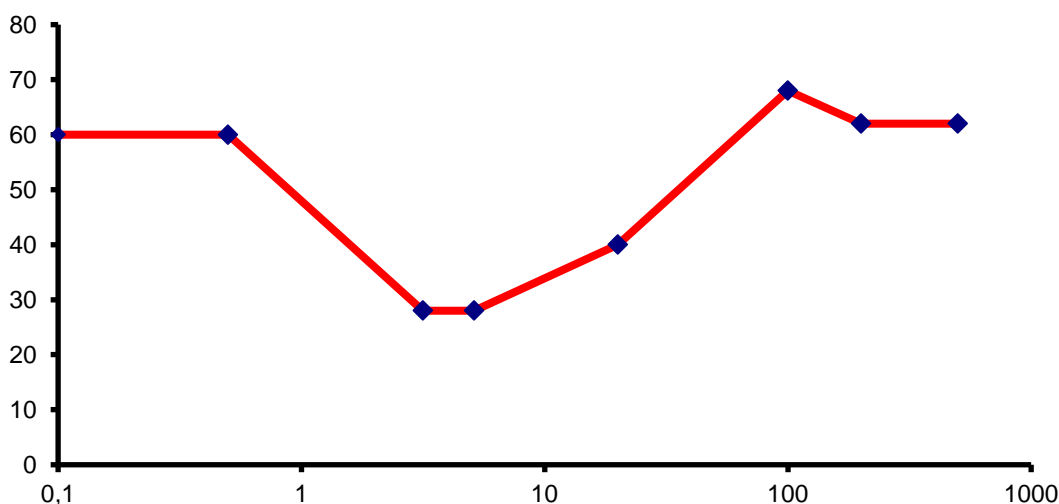
г). ω_1 до ω_T Жиілікке дейін график бөлімшесі – $(-20) - (-40) = 20$ дб/дек
көлбеумен өтеді.

е). ω_T до ω^{III} Жиілікке дейін график бөлімшесі – $(-20) - (-60) = 40$ дб/дек
көлбеумен өтеді.

ж). ω^{III} до ω_2 Жиілікке дейін график бөлімшесі – $(-80) - (-60) = -20$ дб/дек
көлбеумен өтеді.

з). ω_2 – Жиілікке дейін график бөлімшесі – $(-80) - (-80) = 0$ дб/дек
көлбеумен өтеді.

Ауыспалы үрдістің графигін аламыз 20 суретте көрсетілген:



20 Сурет - Ауыспалы үрдістің графигі

Мұнда,

$$\omega^I = 0.5 \text{ рад/с}$$

$$T^I = 2 \text{ с}$$

$$\omega^{II} = 3.16 \text{ рад/с}$$

$$T^{II} = 0.32 \text{ с}$$

$$\omega_1 = 5.13 \text{ рад/с}$$

$$T_1 = 0.195 \text{ с}$$

$$\omega_T = 20 \text{ рад/с}$$

$$T_T = 0.05 \text{ с}$$

$$\omega^{III} = 100 \text{ рад/с}$$

$$T^{III} = 0.01 \text{ с}$$

$$\omega_2 = 200 \text{ рад/с}$$

$$T_2 = 0.005 \text{ с}$$

$$\tau = 0,009 \text{ с}$$

Түзететін құрылымның беріліс функциясын анықтаймыз:

$$W_{ПКУ}(S) = \frac{(T''S + 1)^2 \cdot (T_1S + 1) \cdot (T_T S + 1) \cdot (T_2S + 1)}{(T^I S + 1)^2 \cdot (T''' S + 1)^3}$$

2.8.5 Тұйық жүйенің керекті беріліс функциясын анықтау, өтпелі үрдісті құрастыру және реттеу үрдісінің сапасын талдауын орындау

Тұйық жүйенің керекті беріліс функциясын алу үшін келесі формуланы пайдаланамыз.

$$\Phi_{Ж}(s) = \frac{W_{ПР}(s) \cdot W_{ЗУ}(s)}{1 + W_{Ж}(s)}$$

мұнда,

$W_{Ж}(s)$ – керекті алшақ салынған жүйенің беріліс функциясы;

$W_{ЗУ}(s) = K_{ЗУ} = K_T$ – берілетін құрылымның беріліс функциясы;

$W_{ПР}(s)$ – шынжырдың түзуі беріліс функциясы;

мұнда,

$$W_{Ж}(S) = \frac{K_{ОБЩ} \cdot (T'' S + 1)^2 \cdot e^{-\tau \cdot S}}{S \cdot (T^I S + 1)^2 (T''' S + 1)^3}$$

мұнда,

$K_{ОБЩ} = 500$ 1/с – күшейткіш берілуінің ортақ коэффициенті;

$\tau = 0,009$ с – таза кешігу уақыты;

$T^I = 2$ с

$T^{II} = 0.32$ с

$T^{III} = 0.01$ с

$$W_{ЗУ}(s) = K_{ЗУ} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ В}^0\text{С}$$

$$W_{ПР}(s) = \frac{W_{Ж}(s)}{W_T(s)}$$

мұнда,

$W_T(s)$ – жылу жұптың беріліс функциясы;

$$W_T(s) = \frac{K_T}{T_T S + 1}$$

мұнда,

$K_T = K_{ЗУ} = 0,5 \cdot 10^{-4}$ – сезгіштік;

$T_T = 0,05$ – жылу жұптар тұрақты уақыты;

Аламыз:

$$W_{IP}(s) = \frac{W_{Ж}(s)}{W_T(s)} = \frac{W_{Ж}(s) \cdot (T_T S + 1)}{K_T}$$

$$\Phi_{Ж}(s) = \frac{W_{IP}(s) \cdot W_{3Y}(s)}{1 + W_{Ж}(s)} = \frac{\frac{W_{Ж}(s) \cdot (T_T S + 1)}{K_T} \cdot K_{3Y}}{1 + W_{Ж}(s)} = \frac{W_{Ж}(s) \cdot (T_T S + 1)}{1 + W_{Ж}(s)}$$

$$\Phi_{Ж}(s) = \frac{\frac{K_{ОБЩ} (T^II S + 1)^2 e^{-\tau \cdot S}}{S(T^I S + 1)^2 (T^III S + 1)^3} \cdot (T_T S + 1)}{1 + \frac{K_{ОБЩ} (T^II S + 1)^2 e^{-\tau \cdot S}}{S(T^I S + 1)^2 (T^III S + 1)^3}} = \frac{K_{ОБЩ} (T^II S + 1)^2 e^{-\tau \cdot S} \cdot (T_T S + 1)}{S(T^I S + 1)^2 (T^III S + 1)^3 + K_{ОБЩ} \cdot (T^II S + 1)^2 \cdot e^{-\tau \cdot S}}$$

Тұйық жүйенің беріліс функцияларын алды:

$$\Phi_{Ж}(s) = \frac{K_{ОБЩ} (T^II S + 1)^2 e^{-\tau \cdot S} \cdot (T_T S + 1)}{S(T^I S + 1)^2 (T^III S + 1)^3 + K_{ОБЩ} \cdot (T^II S + 1)^2 \cdot e^{-\tau \cdot S}}$$

мұнда:

$K_{ОБЩ} = 500$ 1/с – күшейткіштің берілу ортақ коэффициенті;

$\tau = 0,009$ с – таза кешігу уақыты;

$T^I = 2$ с

$T^{II} = 0.32$ с

$T^{III} = 0.01$ с

$T_T = 0,05$ – жылу жұптар тұрақты уақыты;

$e^{-\tau s}$ Ауыспалы үрдістің құрастырулары үшін $(-\tau s + 1)$ алмастырамыз

$$\Phi_{Ж}(s) = \frac{K_{ОБЩ} (T^II S + 1)^2 (T_T S + 1)(-\tau S + 1)}{S(T^I S + 1)^2 (T^III S + 1)^3 + K_{ОБЩ} \cdot (T^II S + 1)^2 (-\tau S + 1)}$$

Шарттардан қайта реттеуді шамау үшін керек σ болды.

$$\sigma = \frac{y(t_m) - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100$$

мұнда,

$y(t_m)$ – тап қалған мәннен басқарылатын шаманың максимал ауытқуы;
 $y(\infty) = \Theta_3^0 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$ – бағдарлаушы шаманың тап қалған мәні;

$$y(t_m) = \frac{\sigma \cdot y(\infty)}{100} + y(\infty) \leq 102.4$$

Тап қалған мәнге реттеуді сәйкес келу үшін уақыт шарт орындалуы керек:

$$\frac{y(t_p) - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100 \leq 5$$

мұнда,

$y(t_p)$ – бағдарлаушы шаманың мәні уақыттың табысы, реттеуді тең уақытта $t_p = 0.75 \text{ с}$.

$$y(t_p) = \frac{5 \cdot y(\infty)}{100} + y(\infty) \leq 84$$

ҚОРЫТЫНДЫ

Автоматты реттеуді жүйесіне қосымша болып тіркелген әсер реттелетін шаманың өзгеруін енгізеді. Уақыт бойынша реттелетін шаманың өзгерісі жүйенің қасиеттері мен әсерге тәуелді болатын сипаттама өтпелі үрдісті анықтайды.

Шығуында бағдарлаушы сигналдың өзгерісінің заңы тура барынша үлкен жаңадан өндіруі керек болған абайлаушы жүйемен жүйе болып табылады, немесе реттелетін шама ашулар тәуелсіз тап қалған деңгейде сүйеуі керек болатын автоматты тұрақтануды жүйемен ауыспалы үрдіс бойынша жүйенің жұмысының сапасы туралы соттауға болатын динамикалық сипаттамамен көрінеді.

Жүйе қосымша тіркелген кез келген әсер өтпелі үрдіс шақырады. Қарастыруға дегенмен сол жүйенің динамикалық қасиеттерін анықталу шарт толығырақ құратын бір үлгідегі әсерлермен шақыратын өтпелі үрдістер әдетте кіреді.

Мысалы, бір үлгідегі әсерлердің санына секіріс тәрізді және сатылы түрдің жүйенің қосындысында немесе жүктеменің секіріс тәрізді өзгеріс пайда болатын ескертпе дабылдарын жатады; ауыспалы үрдістен уақытпен салыстырғанда импульстер өзімен ұсынатын аз ұзақтықтардың екпінді әсерінің ескертпе дабылы.

Жүйенің әр түрлі өзгертін жұмыс жағдайларындағы реттеуін есепті орнықтылықтың нақтылы қорымен ие болуы керек сапалы орындау үшін.

Уақыт өткенде ауыспалы үрдіс автоматты реттеу орнықты жүйелерінде орналастырылған күйді баяулап басталады. Орналастырылған күйде де, ауыспалы тәртіпте де демалыс реттелетін шамасы қате болып табылған және қойылған есептердің орындауын дәлдікті мінездейтін кейбір шамаға өзгерістің керекті заңынан айырмашылығы болады. Орналастырылған күйдегі қателері жүйенің статикалық дәлдіктерін анықтайды және үлкен жаттығу мәндерін алады. Автоматты реттеуді жүйенің жобалауына сондықтан техникалық тапсырманың құрастыруында статикалық дәлдік көрсетілетін талаптар бөлек ерекшеленеді.

Үлкен жаттығу мүддесі ауыспалы үрдістегі жүйенің тәртібін ұсынады. Ауыспалы үрдістің көрсеткіштерімен ауыспалы үрдістің уақытына орналастырылған мәннің сызығының жанында реттелетін шаманың тербелістерінің ауыспалы үрдістің уақыты, қайта реттеу және сандары болып табылады.

Ауыспалы үрдістің көрсеткіштері автоматты реттеуді жүйенің сапаларын мінездейді және жүйенің динамикалық қасиет көрсетілетін ең маңызды талаптардың бірлері болып табылады.

Сондықтан, автоматты реттеудің жүйелеріне динамикалық қасиеттерін қамтамасыз етулер үшін орнықтылық, статикалық дәлдіктің қоры және ауыспалы үрдістің сапасы бойынша талап көрсетуі керек.

Демек, қарастыруға жағдайлары әсер ол қашан бір үлгідегі сигналмен және бір үлгідегіге болып табылмайды уақыттың тап қалған функциясы бар сигналы

сияқты қарала алмай түйістіре алмайтын және кездейсоқ үрдіс болып табылған ықтимал мінездемелерді ендіреді. Сонымен бірге әдетте ұғым арқылы орташа квадраттық қатенің жүйесінің динамикалық беріктігі бағаланады. Демек, жүйенің керекті динамикалық қасиеттерін алулар үшін кездейсоқ тұрақты үрдістердің әсер болатын автоматты реттеулердің жүйелерінің жағдайында орташа квадраттық қатенің шамасына нақтылы талаптар көрсетуі керек.

ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР

АРЖ	Автоматты реттеу жүйесі
АТ	Атқарушы құрылым
ЭЕМ	Электронды есептеу машинасы
АБЖ	Автоматты басқару жүйесі
МҰ	Модульдік ұтымдылық
СҰ	Симметриялық ұтымдылық
ПИ	Пропорционды-Интегралды
ЛАЖС	Логарифмдік амплитудалық фазалық жиілік сипаттамасы
ТҰАБЖ	Технологиялық үдерісті автоматты басқару жүйесі
ЭҚЕ	Электро қондырғылардың ережелері

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Бесекерский В.А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. -М.: Наука,1975-122с.
- 2 Бесекерский В. А. Цифровые автоматические системы. –М.: Наука,1976-125с.
- 3 Болнокин В. Е., Чинаев П. И. Анализ и синтез систем автоматического управления на ЭВМ. – М.: Радио и связь,1986-127с.
- 4 Вавилов А. А., Имаев Д. Х. Машинные методы расчета систем управления. – Л.: Изд-во ЛГУ,1981-130с.
- 5 Воронов А. А. Основы теории автоматического управления. Автоматического регулирование непрерывных линейных систем. – М.:Энергия,1980-145с.
- 6 Воронов А. А. Основы теории автоматического управления. Особы линейных системы. – М.: Энергия,1981-150с.
- 7 Воронов А. А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. – М.: Наука,1979-167с.
- 8 Динамика систем управления ракет с бортовыми вычислительными машинами/Под ред. М. С. Хитрюка, С. М. Федорова. – М.:Машиностроение,1976-177с.
- 9 Задачник по теории автоматического управления/Под ред. А. С. Шаталова. – М.: Энергия,1979.-156с.
- 10 Иващенко Н. Н. Автоматическое регулирование. – М.: Машиностроение,1979-134с.
- 11 Кочетков В. Т., Половко А. М., Понамарев В. М. Теория систем телеуправления и самонаведения ракет. – М.: Наука,1964-189с.
- 12 Красовский А. А., Поспелов Г. С. Основы автоматики и технической кибернетики. – М.: Госэнергоиздат,1962-198с.
- 13 Крутько П. Д . Обратные задачи динамики управляемых систем . – М.: Наука,1987-233с.
- 14 Кулешов В. С., Лаконта Н. А. Динамика систем управления манипуляторами. – М.: Энергия,1971-235с.
- 15 Курош А. Г. Курс высшей алгебры. – М.: Наука, 1975-123с.
- 16 Макаров И. М. Меньевский Б. М. Линейные автоматические системы. – М.: Машиностроение,1982-233с.
- 17 Математическое основы теории автоматического регулирования . Т. 1, 2/Под ред. Б. К. Чемоданова. – М.: Высшая школа,1977-132с.
- 18 Мееров М. В. Исследование и оптимизация многосвязных систем управления. – М.: Наука,1986-143с.
- 19 Медведев В. С. Лесков А. Г., Ющенко А. С. Системы управления манипуляционных роботов. - М.: Наука 1978-165с.
- 20 Михайлов Ф. А. Теория и методы исследования нестационарных линейных систем. М.: Наука,1986-154с.