

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

Утиманов Дастан Нурлубайұлы

Тұрақты тоқты электржетекшінің АБЖ синтездеу тапсырылған  
көрсеткіштерімен реттеу

Дипломдық жобаға  
**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

5B070200—«Автоматтандыру және басқару» мамандығы

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

«    » мамыр 2022 ж.

«Тұрақты тоқты электржетекшінің АБЖ синтездеу тапсырылған  
көрсеткіштерімен реттеу» тақырыбына

Дипломдық жобаға

**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

5B070200 –«Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Орындаған:

Утиманов Д.Н.



Сыңаркеремес беруші:

Техника ғылымдарының кандидаты, доцент

Аль-Фараби атындағы ҚазҰУ

ТЕХНИКАЛЫҚ  
ФАКУЛЬТЕТІ

Уманов И.Е.

«    » мамыр 2022 ж.

Ғылыми жетекші:

Техника ғылымдарының

кандидаты, ассистент-

профессор

М.М.Орынбет

«    » мамыр 2022 ж.

Алматы 2022

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Автоматтандыру және басқару» кафедрасы

5B070200 - «Автоматтандыру және басқару» мамандығы



**БЕКІТЕМІН**

Кафедра меңгерушісі

Физика-математика

ғылымдарының кандидаты

Қауымдастырылған профессор

Н.У.Алдияров

«      » мамыр 2022 ж.

### Дипломдық жобаны дайындауға ТАПСЫРМА

Білім алушы Утиманов Дастан Нурлубайұлы

Жобаның тақырыбы: «Тұрақты тоқты электржетекшінің АБЖ синтездеу тапсырылған көрсеткіштерімен реттеу»

Университеттің «24» желтоқсан 2021 жылғы ғылыми кеңесінің № 489-П/Ө шешімімен бекітілген.

Орындалған жұмыстың өткізу мерзімі «17» мамыр 2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: дипломалды практикасындағы жиналған мәліметтер.

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, құрылымдық сұлба




Ұсынылған негізгі әдебиеттер: 1) Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление электроприводами: Учеб. пособие для студентов вузов. -М.: Высшая школа, 1979.

Дипломдық жобаны даярлау

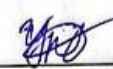
**КЕСТЕСІ**

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

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

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Технологиялық бөлім	М.М.Орынбет техника ғылымдарының кандидаты, ассистент-профессор	4.05.22	
Арнайы бөлім	М.М.Орынбет 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  Утиманов Д.Н.

Күні «26» желтоқсан 2021 ж.

## АНДАТПА

Дипломдық жобада тұрақты тоқты электржетегінің жылдамдығын реттейтін құрылым жасалған және зерттелді. Бірінші бөлімде электржетектерінің жалпы сипаттамалары берілген. Тұрақты тоқты қозғалтқыштың реттеу жүйесі зерттелінді. Жүйенің орнықтылығы алгебралық Гурвиц, Раус критериясы және жиіліктік Михайлов және Найквист критериясы көмегімен анықталынды.

## **АННОТАЦИЯ**

Тема дипломного проекта разработка и исследования структуры регулирования скорости электропривода постоянного тока. В первой главе описан общий обзор электроприводов. Разработан и исследован система регулирования двигателя постоянного тока. Устойчивость системы была определена с помощью алгебраического критерия Гурвица, Рауса, частотных критериев Михайлова и Найквиста.

## **ABSTRACT**

Subject graduation project development and studies of the structure subordinate variable speed DC motor. The first chapter describes an overview of the electric drives. Developed and studied slave control system of the DC motor. The stability of the system was determined using the algebraic Hurwitz criterion, frequency criteria Mikhailov.

## МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	9
1 ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БӨЛІМ	11
1.1 Жалпы мағлұматтар	11
1.2 Жетектердің жіктелуі және оған қойылатын талаптар	12
1.3 Тұрақты ток электр қозғалтқыштарындағы коммутация	14
1.4 Тұрақты ток электр қозғалтқыштарын қоздыру әдістері	14
1.5 Тұрақты ток электр қозғалтқыштарын іске қосу	15
1.6 Тұрақты ток электр қозғалтқыштарының айналу жиілігін басқару	15
1.7 Тұрақты ток қозғалтқыштарын тежеу	16
1.8 Тұрақты ток қозғалтқышының жылдамдығын якір тізбегіндегі кедергінің өзгеруімен реттеу әдісі	18
1.9 Электр жетектерін реттеу жүйесі	20
1.10 Тұрақты ток жетегінің артықшылықтары	22
1.11 Жүйелерді синтездеу әдістері	23
2 АРНАЙЫ БӨЛІМ	27
2.1 Реттеу жүйесінің жалпы құрылымы	27
2.2 Тұрақты ток қозғалтқышының құрылымы	27
2.3 Электр жетегін басқару жүйесінің синтездеу принциптері	28
2.4 Ішкі контурды есептеу	29
2.5 Гурвиц критериясы бойынша орнықтылықты	36
2.6 Раус критериясы бойынша орнықтылық	37
2.7 Михайлов критериясы бойынша орнықтылық	37
2.8 Найквист критериясы бойынша орнықтылық	39
2.9 Matlab ортасындағы жүйе моделі	40
ҚОРЫТЫНДЫ	44
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	47



## КІРІСПЕ

Кез-келген жұмысшы машина жұмысшы мүшелерден тұрады, ал олар технологиялық процессті тікелей жүзеге асырады. Технологиялық машиналардың атқарушы мүшелері көп жағдайда қозғалыс жылдамдығын басқаруды қажет етеді. Атқарушы мүше қозғалыс процесінде үйкеліс күшімен, қысыммен, материалдар деформациясымен, т.б. байланысты кедергіге ұшырайды. Технологиялық операцияны орындау үшін машинаның атқарушы мүшесі қажетті жылдамдықпен механикалық қозғалыс жасауы керек және кедергі күшін жеңуі тиіс. Ол үшін оған жетек деп аталатын құрылғыдан энергия беріледі. Жетек – ең көп тараған басқару объектісі.

Автоматтық басқару теориясында шешілетін барлық мәселелерді екі үлкен класқа біріктіруге болады: талдау және синтез (жобалау) мәселесі. Талдау мәселесіне жататындар: орнықтылықты анықтау, түрлі орнатылған режимде жүйенің дәлдігін есептеу, өтпелі процестер қисығын құру, жүйе жұмысының сапасын бағалау. Синтез басқару жүйесін жобалау мен құрастыру сатысының маңыздысы болып табылады. Жалпы жағдайда жүйелерді жобалау кезінде алгоритмдік және функционалдық құрылымын анықтау қажет, яғни толық синтездеу мәселесін шешу керек. Жүйенің алгоритмдік құрылымын (немесе оның бөлігін) математикалық әдістер көмегімен және нақты математикалық түрде жазылған талаптар негізінде табылады. сондықтан алгоритмдік құрылымды іздеу процедурасын көбінесе теориялық синтез немесе басқару жүйесінің аналитикалық құрастырылуы деп аталады. Функционалдық құрылымды синтездеу немесе техникалық синтез физикалық табиғаты мен іргелес элементтердің статикалық және энергетикалық сипаттамаларының сәйкесуін ескере отырып нақты элементтерді таңдаудан тұрады. Осы жобалау сатысында қатаң математикалық негіз жоқ және инженерлік өнер облысына жатады. Алгоритмдік және функционалдық құрылымды анықтау процесстері бір-бірімен байланысты. Өз арасында кезектестіре отырып оларды бірнеше рет орындау сирек кездеспейді. Жүйе құрылымы туралы соңғы шешім дәлдік пен сапа, қарапайымдылығы мен сенімділігі, және басқа көрсеткіштер арасындағы компромисс негізінде қабылданады, яғни синтез – көп нұсқалы процесс. Басқару жүйесінің соңғы жобалау сатысы – параметрлік оптимизация – таңдалған реттегіштің және синтезделетін бөліктің түзетуші құрылғысының баптаулы параметрлерін есептеу. Синтез мәселесін шешкен соң әдетте синтезделетін жүйені талдау орындалады: құрылған жүйенің қажетті дәлдік, орнықтылық және сапа көрсеткіштерін анықтау. Егер бастапқы талаптар толық орындалмаса, синтезделетін бөлік нақтыланады және түзетіледі, талдау процедурасы қайта жүргізіледі. Синтезбен талдаудың барлық салаларында аналогтық және сандық есептеу машиналары (ЕМ) қолданылады. Жүйені есептеуіш машиналарда үлгілеу құрылым мен параметрлердің үлкен мөлшерін зерттеуге және синтез мәселесін тезірек шешуге мүмкіндік береді.

Қазіргі заманғы электржетектер автоматизацияның жоғарғы деңгейін сипаттайды. Көптеген қазіргі жоғары дәлдікті электржетектер есептегіш машиналар арқылы басқарылады. Оларды басқарып отыратын құрылғылар, негізінен, микроэлектрониканы қолдану негізінде құрылған. Басқару аналогтық техникамен қамтамасыз етіледі және көптеген аз қуатты жауапты электржетектермен, мысалы роботтар мен манипулятордың механизм электржетектері. Электржетектің барлық қуат диапазонында технологиялық үрдістерді программалық басқару қолданыс тапқан.

Әрине, реттелетін электржетектер кеңінен қолданылады және қарапайым реттелмейтін ауыспалы тогы бар электржетектер де қолдана береді. Ол міндетті түрде өндіріс желіден қорек көзін алу керек. Дегенмен, басқарылатын құрылғылар және де осындай электржетектер жұмыс сенімділігіне қойылатын шарттардың артып отыруына, энергетикалық көрсеткіштерді жоғарлату, механизм арасында блоктарды күрделендіруге байланысты жаңарып отырады.

# 1 ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БӨЛІМ

## 1.1 Жалпы мағлұматтар

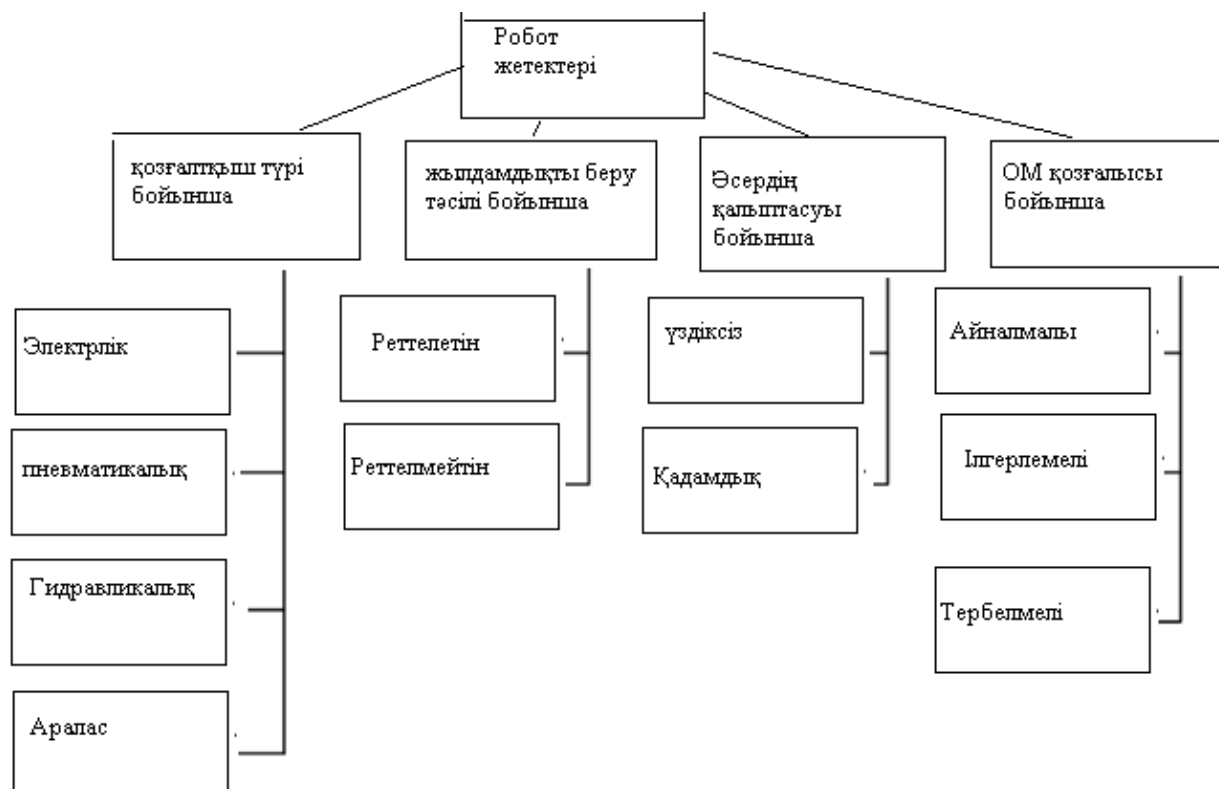
Жетек–бұл басқарылатын электрлік-, пневмо- немесе гидромеханикалық жүйе. Ол электрлік энергияны (пневматикалық, гидравликалық) механикалыққа және керісінше түрлендіреді және осы процесті басқарады.

Жетек роботты не оның түйіндерін қозғалысқа келтіретін техникалық құралдар жиынтығы болып табылады.

Жетек төмендегілерді қамтамасыз етуі керек:

- Басқару сигналдарын қажетті дәлдікпен өңдеу;
- Өтпелі процестер жылдамдығы мен апериодтық сипаттамасын реттеу;
- Робот қозғалысын басқару жүйесінің тез әрекеттілігін ұлғайтатын жоғары тез әрекеттілік;
- Өтпелі режимдерде қызмет ету;
- Реверс пен тежеуді қамтамасыз ету, ұзақ уақыт тежелген күйде тұру;
- Салмағы мен өлшемі аз;
- Жоғары сенімділікті қамтамасыз етеді.
- жетектер роботты техникада және роботты техникалық жүйелерде кең қолданылады.

1.1 - суретте робот жетектерінің жіктелуі көрсетілген.



1.1 – Сурет. Робот жетектерінің жіктелуі

Төменде электрлік, гидравликалық және пневматикалық жетектердің кейбір ерекшеліктері қарастырылады.

Электрлік жетек жоғары тезәрекеттілікке және дәлдікке, шағын қозғалтқышқа, үлкен айналу моментіне, жоғары сенімділікке және төменгі шу деңгейіне ие. Қуат үлкейгенде жетектің салмағы мен өлшемдері ұлғаяды. Айналмалы қозғалыстың іргелмеліге түрленуі күрделі механикамен байланысты.

Гидравликалық жетек жоғары меншікті қуатымен және кіші инерциялылығымен, ерекшеленеді, артық жүктемеленуден оңай қорғайды, ілгерлемелі мен айналмалы қозғалысты оңай жүзеге асырады. Алайда оның ПӘК-і төмен, насостық құрылғыны қажет етеді.

Пневматикалық жетек қарапайымдылығы мен жоғары сенімділігімен ерекшеленеді, жоғары жыдамдықты дамытады, тежелген күйде шексіз ұзақ уақыт тұра алады, салмағы мен құны төмен. Алайда мұндай жетектер қуат бойынша шектелген, қозғалыс жылдамдығы нашар басқарылады, позициялау тіректер бойынша жүргізіледі.

Робот жетектерін жобалау ерекшеліктері:

1) Робот жететері локальдік басқару жүйесі ретінде жасалады. Қозғалтқыш пен түрлендіргіштің негізгі параметрлерін (қуат, айналу, момент жылдамдығы) таңдау робот жетегін өңдеудің тек бірінші сатысы болып табылады.

2) Робот жетегінің негізі – басқару алгоритмін қосқандағы басқару жүйесі. Қазіргі уақытта көп жағдайларда типтік реттегіштер (ПИД) қолданылады.

3) Робот жетектері өтпелі режимдерде жұмыс істейді, яғни оның маңызды сипаттамаларына динамикалық орнықтылық, дәлдік, тезәрекеттілік, өтпелі процестер көрсеткіштері жатады.

4) Әдетте робот жетектері параметрлері жақсы анықталған бір байланысты жүйелермен жұмыс істейді.

5) Робот жетектері роботтытехника жүйелерінің құрамына қызмет жетек ретінде қосылады, яғни олар жоғары деңгейлі басқару жүйесінің сигналдарын тез және дәл өңдейді.

## 1.2 Жетектердің жіктелуі және оған қойылатын талаптар

Электрлік тұрақты ток қозғалтқыштары жылдамдықты басқарудың үлкен диапазоны, айналу жылдамдығының үлкен дәлдігі, жылдамдықтың номиналдан жоғарыға реттелуі қажет етілетін электр өткізгіштерде қолданылады.

Электрлік тұрақты ток қозғалтқышы электромагниттік индукция құбылысына негізделген. Электротехника негіздерінен белгілі, магнит өрісіне орналасқан токты өткізгішке сол қол ережесімен аңқалатын күш әсер етеді:

$$F = BIL, \quad (1.1)$$

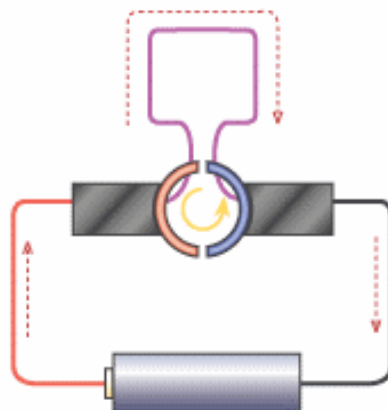
мұнда  $I$  - өткізгіш бойымен ағатын ток,

$B$  – магниттік өріс индукциясы;

$L$  – өткізгіш ұзындығы.

Өткізгішпен машинаның магниттік күштік сызықтарын қиған кезде онда өткізгіш тогына қатысты қарсы бағытталған электр қозғаушы күш пайда болады, сондықтан ол кері немесе қарсы әсер етуші (қарсы-ЭҚК) деп аталады. Қозғалтқыштағы электрлік қуат механикалыққа түрленеді және қыздырғыш өткізгіштерге бөлшектеп жұмсалады.

Құрастырмалық түрде барлық электрлік тұрақты ток қозғалтқыштары әуе саңылауымен бөлінген индуктор мен якірден тұрады.



1.2 – Сурет. Электрлік тұрақты ток қозғалтқышы

Электрлік тұрақты ток қозғалтқышының индукторы машинаның қозғалмайтын магниттік өрісін құру үшін арналған және станинадан, негізгі және қосымша полюстерден тұрады. Станина негізгі және қосымша полюстерді бекітеді және машинаның магниттік тізбегінің элементі болып табылады. Негізгі полюстерде магниттік өріс түзетін қозу орамдары, ал қосымша полюстерде коммутация шарттарын жақсартатын арнайы орам орналасады.

Тұрақты ток қозғалтқышының якірі жеке беттерден жиналған магниттік жүйеден, пазаға енгізілген жұмысшы орамнан және жұмысшы орамға тұрақты ток әкелетін коллектордан тұрады.

Коллектор қозғалтқыш білігіне отырғызылған және бір-бірінен оқшауланған мыс пластиналардан таңдалған цилиндр болып табылады. Коллекторде якір орамы секцияларының ұштары дәнекерленген ойық-томпақтар бар. Коллектордан токты шешу коллектормен сырғымалы түйіспені орындайтын щеткелер көмегімен жүзеге асады. Щеткалар оларды белгілі бір жағдайда ұстап тұратын және щетканы коллектор бетіне қажетті басыын қамтамасыз ететін щетка ұстағыштарға бекітіледі. Щеткалар мен щетка ұстағыштар электр қозғалтқыш корпусымен байланысты траверсте бекітілген.

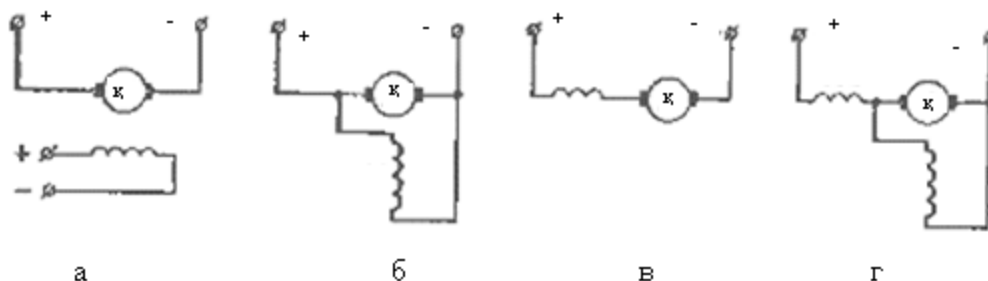
### 1.3 Тұрақты ток электр қозғалтқыштарындағы коммутация

Тұрақты ток электр қозғалтқыштары жұмыс істегенде щеткалар айналмалы коллектордың бетімен сырғи отырып бір коллекторлық пластинадан екіншісіне тізбектей өтеді. Бұл кезде якір секциялары параллель қосылады және олардағы ток өзгереді. Токтың өзгеруі орамдар щеткамен қысқа уақытқа тұйықталған кезде болады. қайта қосу мен олмен байланысты процесс коммутация деп аталады.

Коммутация кезінде қысқа тұйықталған орам секциясында магниттік өріс әсерінен өзіндік индукцияның ЭҚК-і енгізіледі. Нәтижелеуші ЭҚК қысқа тұйықталған секцияда щетканың түйіспелік бетінде ток тығыздығының әркелкі таралуын тудыратын қосымша ток тудырады. Бұл жағдай щеткамен коллектордың ұшқындауының негізгі себебі болып саналады. Коммутация сапасы щетканың жиектерімен ұшқындау дәрежесі бойынша бағаланады және ұшқындау дәрежесінің шкаласымен анықталады.

### 1.4 Тұрақты ток электр қозғалтқыштарын қоздыру әдістері

Электрлік машиналарды қоздыру деп оларда электрлік қозғалтқыш жұмысы үшін қажетті магниттік өріс құруды айтады. Тұрақты ток электр қозғалтқыштарын қоздыру сұлбалары суретте көрсетілген.



а - тәуелсіз, б - параллель, в - тізбекті, г – аралас.

#### 1.3 – Сурет. Тұрақты ток электр қозғалтқыштарын қоздыру сұлбалары

Тұрақты ток электр қозғалтқыштарын қоздыру тәсілдері төрт топқа бөлінеді:

1. қоздыру орамы бөтен қорек көзінен қоректенетін тәуелсіз қоздырумен.
2. қоздыру орамы якір орамына параллель қорек көзінен қоректенетін параллель қоздрумен
3. қоздыру орамы якірлік ораммен тізбекті қосылған тізбекті қоздырумен.
4. қоздыру орамдары тізбектей де, параллель де болатын аралас қоздыруы бар қозғалтқыштар.

## 1.5 Тұрақты ток электр қозғалтқыштарын іске қосу

Қозғалтқышты іске қосқан кезде якір қозғалмайды және якірдегі қарсыЭҚК мен кернеу нөлге тең, сондықтан  $I_p = U / R_{я}$ .

Якір тізбегінің кедергісі үлкен емес, сондықтан бастапқы ток номиналдыдан 10-20 есе асады. Бұл якір орамында үлкен электродинамикалық күштерді және оның қатты қызып кетуін тудыруы мүмкін, сондықтан қозғалтқышты қосу іске қосу реостаттары – якір тізбегіне қосылған белсенді кедергілер көмегімен жүргізіледі.

Қуаты 1 кВт-қа дейінгі қозғалтқыштар тікелей қосылады.

Іске қосу реостаттарының шамасы рұқсат іске қосу қозғалтқышының тогы бойынша таңдалады. Реостат электр қозғалтқышты қосуды жақсарту үшін баспалдақтық етіп жасалады.

Іске қосудың басында реостаттың барлық кедергісі енгізіледі. Якір жылдамдығының өсуімен қосушы токтарды шектейтін қарсы-ЭҚК пайда болады. әр баспалдақ сайын реостат якір тізбегінен біртіндеп шығара отырып якірге берілетін кернеуді ұлғайтады.

## 1.6 Тұрақты ток электр қозғалтқыштарының айналу жиілігін басқару

Тұрақты ток электр қозғалтқыштарының айналу жиілігі:

$$n = \frac{U - I_{я}R_{я}}{k_c \Phi}$$

мұнда  $U$  - қорек кернеуі;

$I_{я}$  – якір тогы;

$R_{я}$  – якір тізбегінің кедергісі;

$k_c$  – магниттік жүйені сипаттайтын коэффициент;

$\Phi$  – электрлік қозғалтқыштың магниттік ағымы.

Формуладан көрініп тұрғандай, тұрақты ток электр қозғалтқыштарының айналу жиілігін үш жолмен басқаруға болады: электр қозғалтқыштың қозу ағымын өзгертумен, электр қозғалтқышқа берілетін кернеуді өзгертумен, якір тізбегіндегі кедергіні өзгертумен.

Алғашқы екі әдіс көп таралған, ал үшіншісі сирек қолданылады: ол үнемді емес, қозғалтқыш жылдамдығы жүктеме тербелісінен тәуелді.

Тұрақты ток электр қозғалтқыштарын қоздыру тогының шамасын реостат немесе белсенді кедергісін, мысалы, транзистор көмегімен өзгертуге болатын кез-келген құрылғы көмегімен реттеуге болады. Тізбектегі кедергі ұлғайғанда қоздыру тогы азаяды, айналу жиілігі ұлғаяды. Магниттік ағым әлсіздегенде механикалық сипаттамалар шынайыдан жоғары орналасады (яғни реостат жоқ кездегі сипаттамалардан жоғары). Қозғалтқыштың айналу жиілігін көтеру щеткалар ұшқынын күшейтеді. Сонымен қатар, электр қозғалтқыш әлсізденген

ағыммен жұмыс істегенде оның жұмысының орнықтылығы кемиді, әсіресе біліктегі айнымалы жүктемелер кезінде. Сондықтан жылдамдықты реттеу шектері номиналдыдан 1,25-1,3-тен аспайды.

Кернеу өзгерісімен реттеу тұрақты ток көзін, мысалы, генератор немесе түрлендіргішті қажет етеді. Мұндай реттеу электрлік жетектің барлық өндірістік жүйелерінде қолданылады: генератор – тұрақты ток қозғалтқышы (Г - ТТҚ), электромашиналық күшейткіш - тұрақты ток қозғалтқышы (ЭМК - ТТҚ), магниттік күшейткіш - тұрақты ток қозғалтқышы (МК - ТТҚ), тиристорлік түрлендіргіш - тұрақты ток қозғалтқышы (Т - ТТҚ).

### **1.7 Тұрақты ток қозғалтқыштарын тежеу**

Тұрақты ток қозғалтқыштары бар электрлік жетектерде тежеудің үш әдісі қолданылады: динамикалық, рекуперативтік және қарсы қосумен тежеу.

Тұрақты ток қозғалтқышын динамикалық тежеу қозғалтқыш якірінің орамдарын қысқаша тұйықтап немесе резистор арқылы жүзеге асыруға болады. бұл кезде тұрақты ток қозғалтқышы қордағы механикалық энергияны электрлікке түрлендіре отырып генератор ретінде жұмыс істей бастайды. Бұл энергия якір орамы тұйықталған кедергіде жылу түрінде бөлінеді. Динамикалық тежеу электр қозғалтқышының нақты аялдамасын қамтамасыз етеді.

Тұрақты ток қозғалтқышын рекуперативтік тежеу желіге қосылған электр қозғалтқыш идеал бойдақ жүріс жылдамдығынан асатын жылдамдықпен атқарушы механизммен айналған кезде орндалады. Сонда қозғалтқыш орамына берілген ПӘК желі кернеуінен асып түседі, қозғалтқыш орамында ток бағытын қарама-қарсыға өзгертеді. Электр қозғалтқыш энергиясын желіге бере отырып генераторлық режимде жұмыс істеуге өтеді. Бір уақытта оның білігінде тежегіш момент пайда болады. мұндай режим жүкті түсірген кезде көтергіш механизмдерінің жетектерінде, сонымен қатар қозғалтқыш жылдамдығын реттеу кезінде және тұрақты ток қозғалтқышының тежеу процестерінде алынуы мүмкін.

Тұрақты ток қозғалтқышын рекуперативтік тежеу ең тиімді әдіс болып табылады, себебі бұл жағдайда электр энергиясы желіге қайтарылады. Металл кескіш станоктардың электрлік жетектерінде бұл әдіс Г-ТТҚ мен ЭМК-ТТҚ жүйелерінде жылдамдықты реттеуде қолданылады.

Тұрақты ток қозғалтқышын қарсы қосумен тежеу якір орамындағы кернеу мен токтың полярлығын өзгерту жолымен жүзеге асырылады. Якір тогы мен қоздыру орамының магниттік өрісінің өзара әрекеттесуі кезінде электрлік қозғалтқыштың айналу жиілігінің азаюымен азаятын тежегіш момент түзіледі. Айналу жиілігі нөлге дейін азайғанда электр қозғалтқыш желіден ажыратылды, әйтпесе ол кері бағытқа бұрылады.

Жылдамдықты реттеу машиналар мен механизмдердің атқарушы мүшелерінің қозғалыс жылдамдығын реттеу мақсатында қозғалтқыш



жылдамдығын мәжбүрлі өзгерту болып табылады. жалпы жағдайда қозғалтқыш жылдамдығын реттеу – бұл берілген деңгейде жылдамдықты ұстап тұру – екі әдіспен орындалуы мүмкін – параметрлік және тұйықталған жүйелерде.

Параметрлік әдісте реттеу электрлік қозғалтқыш тізбектерінің қандай да бір параметрлерін немесе басқа қосымша элементтер, мысалы: резистор, конденсатор, индуктивтілікті қосу есебінен қорек кернеуін өзгертумен алынады. Мұндай реттеудің сапасы әдетте онша жоғары болмайды.

Жоғары сапалы көрсеткіштері бар жылдамдықты реттеу процесі қажет болғанда тұйықталған жүйелер қолданылады, мұнда қозғалтқышқа әсер әдетте қозғалтқышқа берілетін кернеудің, не осы кернеудің жиілігінің өзгеруімен жүргізіледі. Ол үшін түрлі күштік тұрақты және айнымалы ток түрлендіргіштері қолданылады.

Жылдамдықты сандық қатынаста реттеу алты негізгі көрсеткіштермен сипатталады.

1) Реттеу диапазоны максимал  $\omega_{\max}$  және  $\omega_{\min}$  жылдамдықтардың қатынасымен анықталады:  $D = \omega_{\max} / \omega_{\min}$  қозғалтқыш білігіндегі жүктеменің өзгеру шектері берілгенде.

Түрлі жұмысшы машиналар түрлі реттеу диапазондарын қажет етеді. Сонымен, прокаттық станоктар диапазондармен сипатталады  $D = 20-50$ , станоктар  $D = 3-4$ -ден  $D = 50-1000$ , қағаз жасағыш машиналар  $D = 20$  және т.б.

2) Жылдамдықты реттеу бағыты табиғиға қатысты алынған жасанды сипаттамалардың орналасуымен анықталады. Егер олар табиғидан жоғары орналасса, онда жылдамдық негізгіден жоғары қарай реттеледі, егер төмен орналасса – негізгіден төмен. Жасанды сипаттамалардың табиғидан жоғары не төмен орналасуы екі зоналық реттеуді қамтамасыз етеді.

3) Жылдамдықты реттеу бәсеңдігі берілген диапазонда алынған жасанды сипаттамалар санымен анықталады: олар көп болған сайын жылдамдықты реттеу бәсеңдей береді. Бәсеңдік екі жақын сипаттамалардың жылдамдықтарының қатынасы ретінде анықталатын коэффициентпен бағаланады:

$$k_{\text{пл}} = \omega_i - \omega_{i-1}, \quad (1.2)$$

мұнда  $\omega_i$  және  $\omega_{i-1}$  –  $i$ -ші және  $(i-1)$ -ші жасанды сипаттамалардың жылдамдықтары.

Ең үлкен бәсеңдік кернеу мен жиілік түрлендіргіштерін қолданатын тұйық жүйелерде кездеседі, кішкентай бәсеңдік әдетте реттеудің параметрлік әдістеріне сәйкес келеді. Жылдамдықты баяу реттеуде технологиялық процесс сапалы өтеді, өндірілетін өнім сапасы жақсарады, электр жетегінің өнімділігі жоғарылайды, т.б.

4) Технологпен берілген реттеулі жылдамдықтың тұрақтылығы электр қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының қаттылығынан тәуелді. Біршама қатты механикалық сипаттаманы тек тұйықталған электр жетектерінде алуға болады. Тұйықталмаған электр жетегінде және өте төмен жылдамдық пен

кедергі моменті тербелістерінде жылдамдықтың үлкен тербелістері жүзеге асады.

5) Қозғалтқышқа жіберілетін жүктеме жылдамдықты реттеу кезінде күштік бөліктегі ағатын токтан тәуелді. Бұл ток номинал мәннен аспауы керек. Кері жағдайда қозғалтқыш қыза бастайды. Жіберілетін ток атқарушы мүшенің механикалық сипаттама түрі мен жылдамдықты реттеу әдісіне тәуелді.

6) Реттеу үнемділігі реттелетін электр жетегіне кететін капиталдық және эксплуатациялық шығындармен анықталады. Капиталдық шығындар мүмкіндігінше аз болуы керек, немесе кері жағдайда электр жетегін сатып алу мерзімі нормативтен аспауы керек.

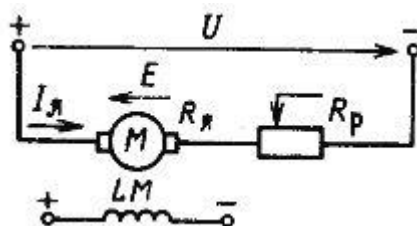
Жылдамдықты реттеу үнемділігі көрсеткіштерін есептеу кезінде реттеу диапазонындағы реттелетін жылдамдық саны, түрлі жылдамдыға қозғалтқыш білігіндегі белсенді қуаттар, түрлі жылдамдықтағы қуат шығындары, әр реттелетін жылдамдықтағы жұмыс уақыты, электр қозғалтқыш тұтынатын реактивті қуаттар ескеріледі.

Тәуелсіз қозатын тұрақты ток қозғалтқышының электромеханикалық сипаттамасы теңдеуінен оның бұрыштық жылдамдығын реттеудің үш әдісі болуы мүмкін екені шығады:

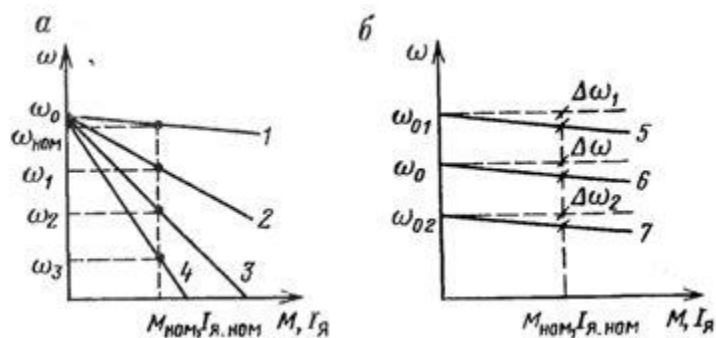
- 1) якір тізбегіндегі реостат кедергісінің өзгеруі есебінен реттеу;
- 2) қозғалтқыштың қоздыру ағымының  $\Phi$  өзгеруі есебінен реттеу;
- 3) қозғалтқыш якірінің орамына берілетін кернеудің  $U$  өзгеруі есебінен реттеу. Якір тізбегіндегі ток  $I_a$  пен қозғалтқышпен дамитын момент  $M$ , оның білігіндегі жүктеме шамасынан ғана тәуелді.

### 1.8 Тұрақты ток қозғалтқышының жылдамдығын якір тізбегіндегі кедергінің өзгеруімен реттеу әдісі

Бұл жағдай үшін қозғалтқышты қосу сұлбасы 1.4-суретте, ал электромеханикалық және механикалық сипаттамалар 1.5-суретте көрсетілген.



1.4 – Сурет. Тәуелсіз қозатын тұрақты ток қозғалтқышының қосылу сұлбасы



1.5 – Сурет. Якір тізбегінің түрлі кедергі (а) және кернеу (б) мәндеріндегі тұрақты ток қозғалтқышының механикалық сипаттамалары

Якір тізбегіндегі реостат кедергісін өзгерте отырып номинал жүктемеде жасанды сипаттамаларда электр қозғалтқыштың түрлі бұрыштық жылдамдықтарын алуға болады -  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ .

Осы әдісті негізгі техника-экономикалық көрсеткіштер көмегімен талдау жасайық. Осы реттеу әдісінде кең диапазондағы сипаттамалар қаттылығы өзгеретіндіктен номиналдының жартысынан аз жылдамдықта қозғалтқыштың жұмыс тұрақтылығы шұғыл нашарлайды. Осы себеппен жылдамдықты реттеу диапазоны шектеледі ( $D=2-3$ ).

Бұл әдісте жылдамдықты негізіден азайтуға болады, бұл электромеханикалық және механикалық сипаттамаларды дәлелдейді. Жоғары реттеу бәсеңдігін қамтамасыз ету қиын, себебі көп мөлшерде реттеу баспалдақтары және сәйкесінше контакторлардың үлкен мөлшері қажет болады. қозғалтқышты ток бойынша толық пайдалануға (қыздыру) бұл жағдайда тұрақты жүктеме моментімен реттеу кезінде қол жеткізеді.

Қарастырылған әдістің кемшілігі – реттеу кезіндегі үлкен мөлшерде қуат жоғалтулары, ол бұрыштық жылдамдықтың салыстырмалы өзгеруіне пропорционал. Артықшылығы – басқару сұлбасының қарапайымдылығы мен сенімділігі.

Реостаттағы аз жылдамдықтағы үлкен қуат жоғалтуларды ескере отырып бұл реттеу әдісін қысқа уақыттық және қайталама-қысқа уақыттық жұмыс режимдері бар жетектер үшін қолдануға болады.

Тұрақты ток қозғалтқышының бұрыштық жылдамдығын реттеудің екінші әдісі қоздыру орамы тізбегіне қосымша реостатты енгізу есебінен магниттік ағым шамасының өзгеруімен жүреді. Ағым әлсірегенде жүктемеде де, бойдақ жүріс кезінде де қозғалтқыштың бұрыштық жылдамдығы өседі, ал ағым күшейгенде азаяды. Жылдамдықтың қозғалтқыштың тек қанығу жағына қарай ұлғаюы да мүмкін.

Ағымның кемуімен жылдамдық өскенде тұрақты ток қозғалтқышының рұқсат моменті гипербола заңымен өзгереді, ал қуат тұрақты болып қалады. Бұл әдіс үшін жылдамдықты реттеу диапазоны  $D=2-4$ .

Қозғалтқыш ағымының түрлі мәндері үшін механикалық сипаттамалар 1.5(а) және 1,5(б) -суреттерде көрсетілген, номинал ток аралығында сипаттамалар жоғары қаттылыққа ие екені көрініп тұр.

Тұрақты ток қозғалтқышының қоздыру орамдарының индуктивтілігі үлкен. Сондықтан реостат кедергісінің баспалдақтық өзгеруі кезінде қоздыру орамындағы ток пен ағым экспоненциалдық заңмен өзгереді. Осыған байланысты бұрыштық жылдамдықты реттеу баяу жүреді.

Бұл реттеу әдісінің артықшылықтарына оның қарапайымдылығы мен жоғары үнемділігі жатады.

Бұл реттеу әдісі жетектерде механизмнің бойдақ жүріс кезінде жылдамдығын ұлғайту үшін қосымша қолданылады.

Үшінгі жылдамдықты реттеу әдісі қозғалтқыш якірінің орамына берілетін кернеудің өзгеруінен тұрады. тұрақты ток қозғалтқышының бұрыштық жылдамдығы жүктемеден тәуелсіз якірге берілетін кернеуге тура пропорционал өзгереді. Барлық реттелетін сипаттамалар қатты болғандықтан, олардың қаттылық дәрежесі барлық сипаттамалар үшін өзгермей қалады, қозғалтқыш жұмысы барлық бұрыштық жылдамдықтарда тұрақты болып қалады, сәйкесінше, жылдамдықты реттеудің кең диапазоны жүктемеге тәуелсіз қамтамасыз етіледі. Бұл диапазон 10 тең және арнайы басқару сұлбалары есебінен кеңейі мүмкін.

Осы әдіспен бұрыштық жылдамдықты негізгіге қатысты азайтып не кішірейтуге болады. жылдамдықты өсіру кернеуі реттелетін энергия көзімен қозғалтқыштың Уном мүмкіндіктерімен шектелген.

Егер энергия көзі қозғалтқышқа келген кернеудің үздіксіз өзгеруін қамтамасыз етсе, онда жылдамдық реттеу баяу жүреді.

Бұл реттеу әдісі үнемді, себебі тәуелсіз қозатын тұрақты ток қозғалтқышының бұрыштық жылдамдығын реттеу якірдің күштік тізбегінде ешқандай қуат шығынысыз жүреді. Жоғарыда аталған барлық көрсеткіштер бойынша бұл әдіс бірінші және екіншілермен салыстырғанда жақсы.

## **1.9 Электр жетектерін реттеу жүйесі**

Қазіргі уақытта электр жетектерде реттеу жүйелерін құру кезінде тізбекті коррекция немесе бағыныңқы реттеу көп қолданылады.

Оның мәні келесідей.

Реттеу объектісі кіріс параметрлері үлкен объект координаталары, мысалы, ток, кернеу, ЭҚК, магниттік ағым, момент, жылдамдық, күй болып табылатын тізбектей байланысқан түйіндер түрінде болады.

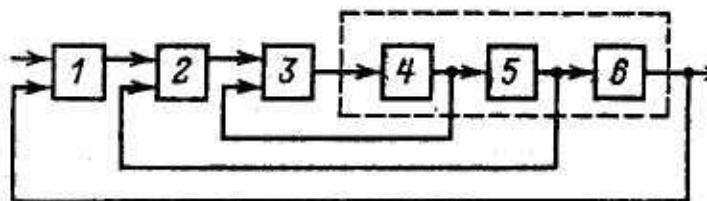
Осы координаталардың әрбірін басқару үшін объектпен кері байланыспен тұйықталған контур құратын жеке регулятор ұйымдастырылады.

Регуляторлар тізбекті жалғанады, сондықтан бірінің шығысы басқасының кірісі болып табылады.

Бұл кезде тұйық реттеу контурлары регулятор мен бір басқару түйінінен тұратын ішкі басқару контуры бар жүйе құрады, бірінші сыртқы контур ішкі контур мен объекттік келесі түйінінен тұрады, екінші сыртқы контур бірінші және басқару объектісінің келесі түйінінен тұрады, т.с..

Әр сыртқы контурдың шығыс сигналы ішіндегі келесі контур үшін бастапқы болып табылады. сонымен, әр ішкі реттеу контуры сәйкес сыртқыға бағынады.

Көрсетілгендер 1.6-суретте түсінікті, сыртқы контур реттегіш 1 пен басқару объектісі түйінінен 6 тұрады, оған бағыныңқы ішкі контур регулятор 2 мен басқару объектісі түйінінен 5 және соңғы бағыныңқы ішкі контур реттегіш 3 пен басқару объектісі түйінінен 4 түзілген. Кейбір жағдайларда басқару объектісі 1.6-суретте көрсетілгендей өте күрделі құрылымға ие. Ішкі және тоғысатын байланыстар бар, тізбекті түзету принципі таза түрде қолданылмайды. Бұл жағдайда регуляторларға компенсациялаушы сигналдар беріледі, принцип басқару объектісінің жеке бөліктеріне таралады немесе құрылымдық түрленулер жүреді, объект координатының функциясы болып табылатын қандай да бір жалпыланған координата реттеледі.



1-3 – реттегіштер;

4-6 – басқару объектісі түйіндері

1.6 – Сурет. Реттеу жүйесінің құрылымы

Бағынып реттеудің параллель түзетумен салыстырғанда артықшылығы – координатаны шектеуді оңайлату, объектінің іске қосылу мерзісін қысқарту, кең мүмкіндіктерінде түрлі объектілерді басқару түйіндерін унификациялау.

Кемшілігі – жүйеге тура басқару объектісінің түйіні арқылы емес, ішкі контурлар арқылы тізбекті әсер етумен байланысты тезәрекеттілік бойынша ұтылу мәселесі.

Көп жағдайларда бұл кемшілік электр жетектерін қолдануда байқалмайды, ал аталған артықшылықтар шешуші маңызға ие.

Әдетте басқару объектісі математикалық түрде сипатталады және белгілі беріліс функцияларымен бөлінеді. Көбінесе тұйық және тұйықталмаған басқару жүйелерінің қажетті беріліс функциялары белгілі. Ол басқару объектісінің динамикасына қойылатын талаптармен таңдалады.

Бағынып реттеу принципі регуляторлардың беріліс функцияларын іздеуді жеңілдетеді.

## 1.10 Тұрақты ток жетегінің артықшылықтары

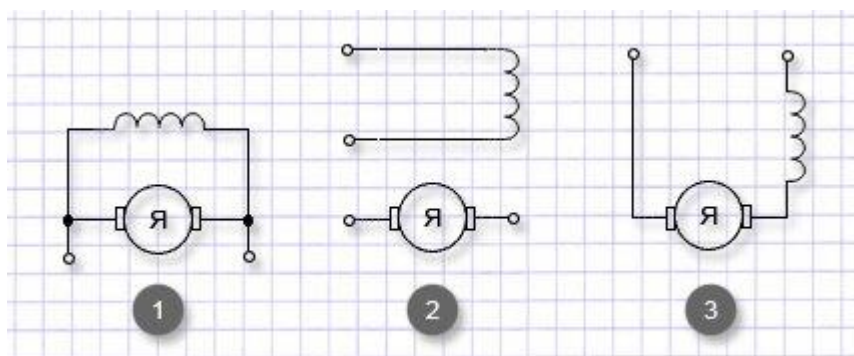
Асинхрондық электр қозғалтқышы бар айнымалы ток электр жетегі жыл сайын белгілі бола бастады. Асинхрондық қозғалтқыштар жағында құрастырма қарапайымдылығы, сенімділік, ұзақтығы және жоғары энергетикалық көрсеткіштері бар.

Сондай-ақ, осы қозғалтқыштарға қажет айнымалы ток энергиясын өндіру де, түрлендіру де, еш жоғалтусыз үлкен қашықтықтарға беру де өте оңай.

Дегенмен де, тұрақты ток жетектері өз позицияларын жақында көрсетпейді. Мұнда мәселе автономдық көздерден электр энергиясын алатын электр жетектерінің кей түрлерін «айнымалыға» ауыстыруға болмайтындығында емес.

Тұрақты ток электр жетегі айнымалы ток электр жетегінің қасында екі үлкен артықшылыққа ие. Осы артықшылықтардың бірі – тұрақты қозғалтқыштың түрлі электромеханикалық сипаттамаларын қалыптастыру мүмкіндігі.

Мысалы, қоздыру орамын тізбекті не тәуелсіз қосу кезінде қозғалтқыштың айналу жиілігінің якір тізбегіндегі токтан тәуелділігінің қатты сипаттамасын алуға болады (1.7 сурет (1) және (2)).



1.7 – Сурет. Якір тізбегіндегі токтан тәуелділігі

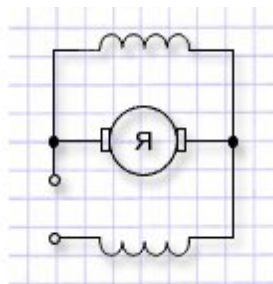
Егер қоздыру орамы якірлік ораммен тізбектей (1.7 сурет (3)) қосылса, онда жетекке берілген жүктеме азайғанда жылдамдық шұғыл өсетін қызық электромеханикалық сипаттама қалыптасады.

Қозғалтқыш айналымдарының жиілік қисығы ордината осіне асимптотикалық жуықтайды, сондықтан жүктеме жоқ кезде тізбекті қозатын тұрақты ток қозғалтқышы «таратуға» да бара алмайды, яғни механизмге қауіпті жылдамдықпен жұмыс істей бастайды.

Мұндай электромеханикалық сипаттама электрлік тасымалдау, мысалы трамвай және троллейбустар үшін сәйкес келеді. Мұндай жағдайларда қозғалтқыштан жоғары қосу моменті талап етіледі, ал жылдамдық өте үлкен

болған кезде үлкен электромеханикалық момент керек болмай қалады – жүктеме өте аз.

Тұрақты ток қозғалтқышының шығысы «шашырап» кетпес үшін тасымалдау электромеханикалық сипаттаманы қамтамасыз ету үшін аралас қозу сұлбасы қолданылады. Яғни, қозу орамының бөлігі якірлік орамға тізбектей, қалған бөлігі параллель қосылады. Сонда қозғалтқыштың моменті үлкен, ал жүктеме болмаған кезде жылдамдық шектеледі.



1.8 – Сурет. Аралас қозу сұлбасы

Тұрақты ток электр жетегінің тағы бір артықшылығын айтып кету керек: кең реттеу диапазоны мен оның іске асуының оңайлығы. Сонымен, кез-келген жүктемеде, қозғалтқыш білігінің қажетті айналу жылдамдығын қамтамасыз етуге әбден болады. оны жасаудың әдістері де жеткілікті.

Жылдамдықты қоздыру орамына қосымша кедергі, якірлік тізбекке кедергі енгізіп, осы әдістерді біріктіріп реттеуге болады.

Бірақ, тұрақты ток электр жетегін ең эффективті басқаруға тиристорлық-импульстік реттеу жүйелерін ендірумен қол жеткізуге болады. бұл жүйе мұндай жетектердің артықшылықтарын бағалауға және максимал эффективті энергетикалық көрсеткіштермен жұмыс жүргізуге мүмкіндік береді.

### 1.11. Жүйелерді синтездеу әдістері

Физикалық үрдістердің көрсеткіштері, әсерлер сигналдары ақпараттан тұрады. Мысалы, радиотехникада электрлік сигналдар көмегімен дыбыстар ал теледидарда бейне беріледі. Ақпараттан тұратын көрсеткіштерді ақпараттық деп атайды. Ақпарат деп басқа жүйеге (элементке) қатынас түрінде берілген жүйе (элемент) туралы мәліметтер, берілгендер жиынтығын айтуға болады. Осылайша, сигнал ретінде электрлік кернеу болса, осы сигналдың ақпараттық көрсеткіші ретінде амплитудасы болады. Басқару кезіндегі ақпараттық ағын келесі мәліметтердің таратушысы болып табылады, онсыз басқару мүмкін емес:

- Басқару мақсаттары;
- Органың қозуы;
- Басқару объектісінің күйі;
- Объект сипаттамалары.

Ақпараттың толықтылығына және сипатына қатысты басқарудың келесі принциптері іске асырылады:

- тұйықталмаған басқару принципі;
- компенсация принципі – қоздырумен басқару;
- кері байланыс принципі – ауытқу бойынша басқару;
- аралас басқару;
- бейімді басқару.

Соңғы уақытта автоматты басқару теориясының дамуымен байланысты өзін - өзі реттейтін бейімді автоматты басқару жүйесі (АБЖ) пайда болды. Бейімді АБЖ басқару объектісі қасиеттеріне және сыртқы шарттарының өзгерісіне автоматты түрде бейімделеді ол АБЖ көрсеткіштері мен құрлымын өзгерту жолымен басқарудың қажетті сапасын қамтамасыз ете алады. Осы жүйенің ерекшелігі басқару объектісі қасиетінің өзгерісі туралы ақпараттарды ағымдағы идентификация жолымен алуда болады. Идентификация кезінде неше түрлі ақпараттар арқылы және басқару объектісі бақылау негізінде АБЖ математикалық моделі құрылады және айқындалады.

Осыған байланысты тек қана бейсызықты математикалық моделдер көмегімен ғана АБЖ анализдеу және синтездеудің нақты шешімін және басқарудың тиімді заңын алуға болады. Ол үшін бейсызықты басқару теориясының тәсілдері қолданылады. Кейбір жағдайларда осы тәсілдер бастапқы шарттардың кең диапазонындағы әртүрлі әсерлер болғанда жүйенің құбылысы туралы сапалы анықтамаларды алуға мүмкіндік береді. Жалпы жағдайда бейсызықты жүйелердің талдау мүмкіндіктері шектеулі, себебі математикада бейсызықты дифференциалдық теңдеулер үшін жалпы аналитикалық шешімдер жоқ.

Көптеген нақты АБЖ физикалық үрдістердің күрделілігі салдарынан, сонымен қатар, құрастырушы механикалық, электрондық, электромеханикалық компоненттерінің конструктивті ерекшеліктері салдарынан бейсызықты дифференциалдық теңдеулерімен сипатталады.

Синтездеу әдісі қажетті қасиеттерге ие автоматты басқару жүйесін құру үшін қолданылады. Синтез есептерін шешу кезінде АБЖ алдын ала өзгермейтін бөлікке бөледі, мысалы, басқару объектісі (БО) және өзгертін бөлім – басқару құрылғысы (БК). Синтез әдісін қолдана отырып, қажетті қасиетті АБЖ алу үшін қажетті құрылымды және БК буындарының сипаттамаларын алу қажет.

#### *Сызықты үздіксіз АБЖ реттеу заңдары*

Басқару жүйесін анализдеу және синтездеу есептері АБЖ орнықтылығын қамтамасыз етеді. Осыған реттегішті енгізу арқылы қол жеткізуге болады. Реттегіштің жалғануымен және реттегіштің параметрлерін таңдаумен жүйенің орнықтылығын қамтамасыз етуі мүмкін және қатыстық қайта реттеу, орнату уақыты, өтпелі сипаттаманың максимум уақыты, орнықты қателік сияқты сапа көрсеткіштерін қамтамасыз ету мүмкін. *Реттегіш деп – басқару үрдісінің сапасын және орнықтылығын қамтамасыз ететін автоматиканың құрылғысын айтады.* Реттеу көрсеткіштерін және орнықтылықты талдау үшін



жоғарыда қарастырылған АБЖ уақыттық және жиіліктік сипаттамалары қолданылады.

Тәжірибе жүзінде реттеу заңы бойынша реттегіштің 5 түрі қолданыста кең тараған, олар: пропорционалдық, интегралдық, пропорционалдық-интегралдық, пропорционалдық-дифференциалдық және пропорционалдық-интегралдық-дифференциалдық.

*Пропорционалдықта* (П реттегіші) бір баптау параметрі бар. Оның беріліс функциясы (БФ) пропорционалды типтік динамикалық буынның (ТДБ) беріліс функциясына сәйкес келеді.

Реттегіштің беріліс функциясына кіретін коэффициенттерді *баптау параметрлері* деп атайды.

*Интегралдық* (астатикалық) немесе И-реттегішінде де баптау параметрі біреу. Оның беріліс функциясы астатикалық ТДБ беріліс функциясына сәйкес келеді.

И-реттегішті АБЖ орнықты режимде жоғары дәлдікке ие, бірақ осы жағдайда жүйе тербеліске бейімді және тезәрекеттігі төмендей түседі.

*Пропорционалдық-интегралдық* немесе ПИ-реттегішінде баптау параметрі екеу. Реттегіштің осы түрі өнеркәсіптік автоматты басқару жүйелерінде жиі қолданылады.

Оның беріліс функциясы ПИ- реттегіші құрылымына салынған элементтердің параллель қосылған пропорционалды және интегралды құрастырушыларының қосындысына тең. Демек, ПИ - реттегішінің интегралды құраушысы істен шықса, онда ол П-реттегіші ретінде жұмыс жасай береді, ол оның жұмысының сенімділігін арттырады. И - реттегіші жүйе орнықтылығының қорын төмендетеді.

*Пропорционалдық-дифференциалдық* немесе ПД-реттегішінде реттеудің екі параметрі бар.

ПД-реттегіштерінің кейбір құрылымында баптау параметрі  $T_D$  1-ден 200с диапазон аралығында өзгереді.

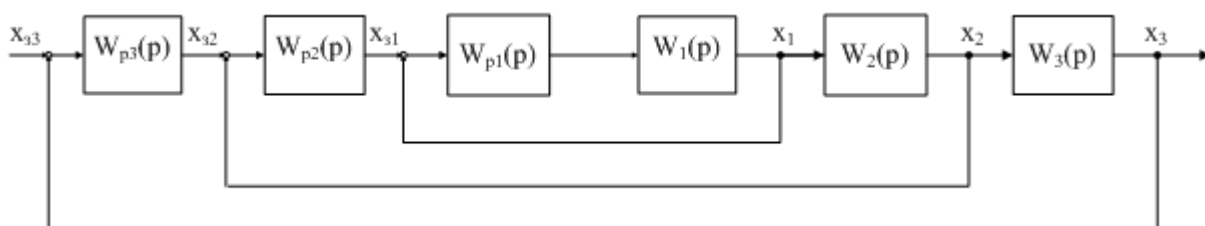
*Пропорционалдық-интегралдық-дифференциалдық* немесе ПИД-реттегішінде баптау параметрі үшеу.

Реттегіш түрін немесе реттеу заңын таңдау қиын. Объектінің беріліс функциялары бойынша реттегіштің қажетті түрін және оны жөндеудің тиімді параметрлерін анықтауға мүмкіндік беретін диаграммалар түрлері және эмпирикалық формулалары бар. Бірақ, тәжірибеде іріктеу әдісі жиі пайдаланылады: кезекпен реттегішті таңдайды, жұмыс сапасын және орнықтылыққа тексереді, және егер алынған нәтижелер қанағаттандырылмаса, онда одан күрделі реттегішті таңдайды. Статикалық объект өздігінен түзелу қасиетіне ие, сондықтан оның реттегішсіз реттеу параметрі экспонента бойынша уақыт өтісімен өзгере отырып тұрақты мәнге келеді. П-реттегішті АБЖ статикалық қателік, ал ПИД-реттегішті АБЖ (ең күрделі және қымбат) минималды динамикалық қателік және реттеу уақыты бар.

## 2 АРНАЙЫ БӨЛІМ

### 2.1 Реттеу жүйесінің жалпы құрылымы

Жетектерді басқару үшін кең таралған құрылым болып бағынышты реттеу жүйесі саналады. бағынышты реттеу жүйесінің жалпы құрылымы 2.1-суретте көрсетілген.



2.1 – Сурет. Реттеу жүйесінің жалпы құрылымы

Бағынышты реттеу жүйесінің артықшылығы – әр контурды тәуелсіз сатылық баптау мүмкіндігі. Кемшілігі – объект белгілі бір құрылымға ие болуы керек.

### 2.2 Тұрақты ток қозғалтқышының құрылымы

Тұрақты ток қозғалтқышының жылдамдығын бағынышты реттеу жүйесін жасау келесі теңдеулерге негізделген құрылымдық сұлба құрудан басталады:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= \frac{c_e \Phi I_{я} - M_c}{J}, \\ \frac{dI_{я}}{dt} &= \frac{U_{я} - c_e \omega \Phi - R_{я} I_{я}}{L_{я}}, \\ \frac{d\Phi}{dt} &= \frac{U_{в} - \frac{2R_{в} p w}{L_{в}} \Phi}{2 p w}. \end{aligned} \quad (2.1)$$

### 2.3 Электр жетегін басқару жүйесінің синтездеу принциптері

Электрлік жетекте (ЭЖ) басқару объектісі (БО) тұрақты ток қозғалтқышы (ТТҚ) болып табылады. Оның шығыс координаты – айналу жиілігі. Аралық координаты – якір кернеуі  $U_{я}$ , якір тогы  $i_{я}$ , сондай-ақ қозғалтқышпен дамиды айналу моменті. Якір кернеуі желі мен ТП арасындағы трансформатор арқасында максимал рұқсат мәнмен шектеледі. Сонымен қатар кернеу  $U_{ТП \max}$  бұрыштың шектелуімен шектелуі мүмкін  $\alpha_{\min}$ : егер  $\alpha_{\min}=10^0$ , онда сигнал  $U_p$

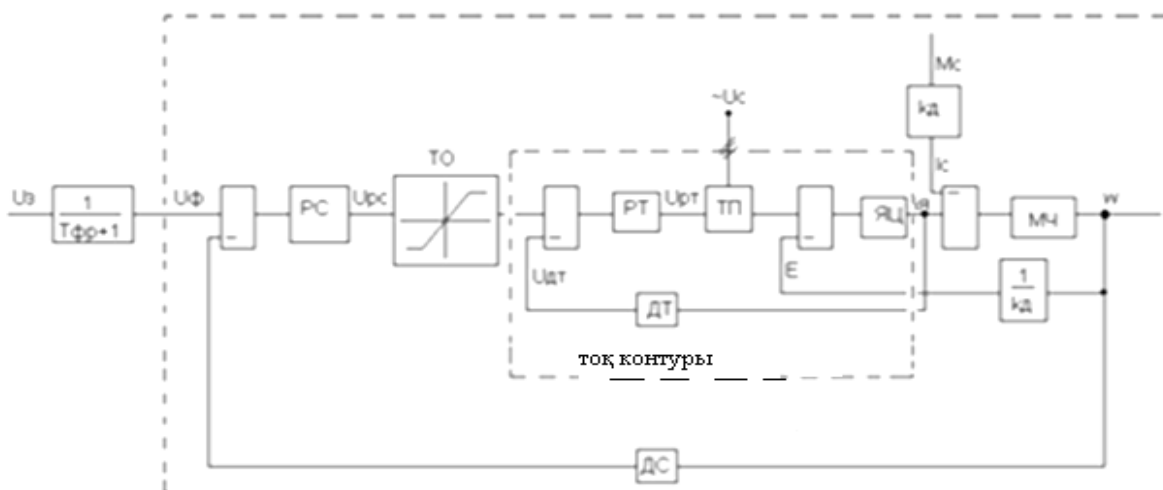
қанша үлкен болғанымен  $\alpha_{\min} 10^0$ -нан кіші бола алмайды. Сондықтан кернеу  $U_{\text{ТП}}$  оңай шектеледі және якірлік тізбекте ұлғая алмайды.

Якір тогы мен айналу моменті өзара байланысты:  $M=c\Phi_{\text{я}}$ . Сондықтан айналу моментін шектеу токты шектеу дегенді білдіреді. Қозғалтқыштың айналу моментін шектеу айналу моментін қозғалтқыш білігінен жұмысшы механизмге беру тізбегінде бұзылулардан қашу үшін қажет. Айналу моментін шектеу сондай-ақ қозғалтқышты қосқанда өте үлкен үдеулер жіберілмес үшін қажет, бұл механикалық зақымдануды тудырады. Осыдан токты максимал рұқсат мән бойынша шектеу мәселесі қойылады.

Сәйкесінше, синтезделетін АРЖ ЭЖ екі контурды бұруы керек: 1-ші ішкі контур – токты өз реттегішімен реттеу контуры; 2-ші контур – қозғалтқыштың айналу жиілігін реттеу контуры.

АБР кірісінде сүзгі симметриялық оптимумға баптау кезінде қайта басқаруды жою үшін қолданылуы мүмкін.

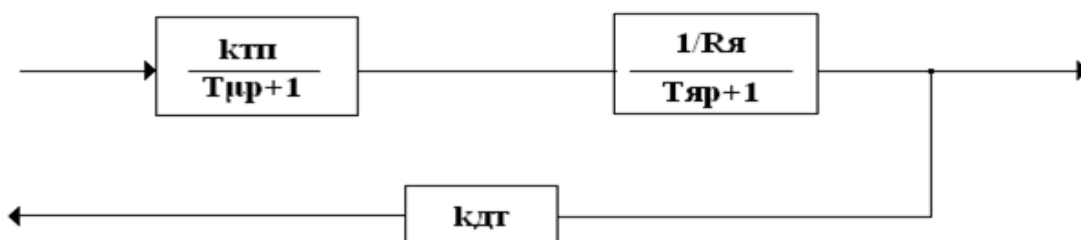
Жоғарыда айтылғандардың бәрін ескеріп, синтезделетін АРЖ құрылымдық сұлбасы келесідей болады:



2.2 – Сурет. АРЖ құрылымдық сұлбасы

## 2.4 Ішкі контурды есептеу

Өзгермейтін бөлік:

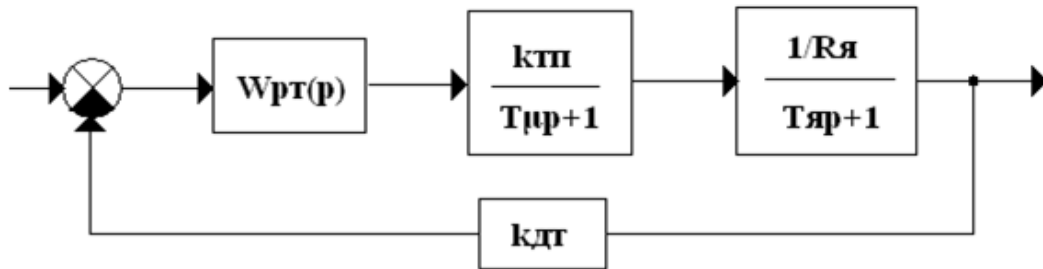


Осы өзгермейтін бөлік көптеген басқару объектілеріне тән, біздің жағдайда тұрақты токты қозғалтқыштың якорлы тізбегіне

$$W_{mn}(p) = \frac{k_{mn}}{T_{\mu}p + 1} \text{ - тиристорлы түрлендіргіш;}$$

$$W_{я}(p) = \frac{1/R_{я}}{T_{яp} + 1} \text{ - якорлы тізбек, } T_{\mu} \ll T_{я};$$

кд- тоқ датчигі:



Өзгермейтін бөліктің беріліс функциясы

$$W_{oy}(p) = \frac{k_{ng}}{T_{\mu}p + 1} \cdot \frac{1/R_z}{T_{яp} + 1} \cdot k_{\text{дм}} = \frac{k_{ng} k_{\text{дм}} (1/R_z)}{(T_{\mu}p + 1)(T_{яp} + 1)}$$

Статикалық қателік болмау үшін ПИ реттегішін таңдаймын. ПИ реттегішінің беріліс функциясы:

$$W_{\delta\delta}(\delta) = k_{\delta\delta} \left(1 + \frac{1}{\delta}\right) = \frac{k_{\delta\delta} (\delta + 1)}{\delta}$$

Сонда тұйықталған автоматты реттеу жүйесінің беріліс функциясы келесідей болады:

$$W_{раз}(p) = W_{oy}(p)W_{pm}(p) = \frac{k_{mn}k_{\text{дм}}(1/R_z)k_{mn}(T_{pm}p + 1)}{(T_{\mu}p + 1)(T_{яp} + 1)T_{pm}p + 1}$$

$$W_{раз}(p) = \frac{k_{mp}(1/R_z)k_{pm}}{(T_{\mu}p + 1)T_{pTp}} = \frac{k_{дт}(1/R_z)k_{pT}}{(T_{\mu}p + 1)T_{яp}}$$

$$\begin{aligned}
W(p) &= \frac{W_{PA3}(p)}{1 + W_{PA3}(p)k_{DT}} = \frac{\frac{k_{TP}(1/R_y)k_{PT}}{(T_\mu p + 1)T_y p}}{T_y p(T_\mu p + 1) + \frac{k_{TP}(1/R_y)k_{PT}k_{DT}}{(T_\mu p + 1)T_y p}} = \frac{k_{TP}(1/R_y)k_{PT}}{T_y p(T_\mu p + 1) + k_{TP}(1/R_y)k_{PT}k_{DT}} = \\
&= \frac{k_{TP}(1/R_y)k_{PT}}{T_y T_\mu p^2 + T_y p + k_{TP}(1/R_y)k_{PT}k_{DT}} = \frac{\frac{1}{k_{DT}}}{\frac{T_y T_\mu}{k_{TP}(1/R_y)k_{PT}k_{DT}} p^2 + \frac{T_y}{k_{TP}(1/R_y)k_{PT}k_{DT}} p + 1}
\end{aligned}$$

Жалпы ішкі контурдың беріліс функциясы

$$\begin{aligned}
W(p) &= \frac{W_{PA3}(p)}{1 + W_{PA3}(p) * k_{DT}} = \frac{\frac{k_{TP}k_{DT}(1/R)k_{PT}(T_{PT}p + 1)}{(T_\mu p + 1)(T_y p + 1)T_{PT}p}}{1 + \frac{k_{TP}k_{DT}(1/R)k_{PT}(T_{PT}p + 1)}{(T_\mu p + 1)(T_y p + 1)T_{PT}p}} = \\
&= \frac{k_{TP}(1/R)k_{PT}(T_{PT}p + 1)}{T_y T_{PT} T_\mu p^3 + (T_\mu + T_y)T_{PT}p^2 + T_{PT}p + k_{TP}k_{DT}(1/R)k_{PT}(T_{PT}p + 1)} = \\
&= \frac{k_{TP}(1/R)k_{PT}(T_{PT}p + 1)}{\frac{T_y T_{PT} T_\mu}{k_{TP}k_{DT}(1/R)k_{PT}} p^3 + \frac{(T_\mu + T_y)T_{PT}}{k_{TP}k_{DT}(1/R)k_{PT}} p^2 + \frac{T_{PT}(k_{TP}k_{DT}(1/R)k_{PT} + 1)}{k_{TP}k_{DT}(1/R)k_{PT}} p + 1}
\end{aligned}$$

$T_\mu$  уақыт тұрақтысы бойынша:

$$W_{B2}(p) = \frac{1}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1}$$

Сәйкес дәрежеде коэффициенттерді салыстыра отырып тұйықталған АРЖН беріліс функциясы келесідей болады.

$$\left. \begin{aligned}
2T_\mu^2 &= \frac{T_y T_\mu}{k_{TP}(1/R_y)k_{PT}k_{DT}} \\
2T_\mu &= \frac{T_y}{k_{TP}(1/R_y)k_{PT}k_{DT}}
\end{aligned} \right\}$$

Демек, екі теңдеулеріміз де бірдей, сондықтан кез келгенінен  $k_{PT}$  табамыз:

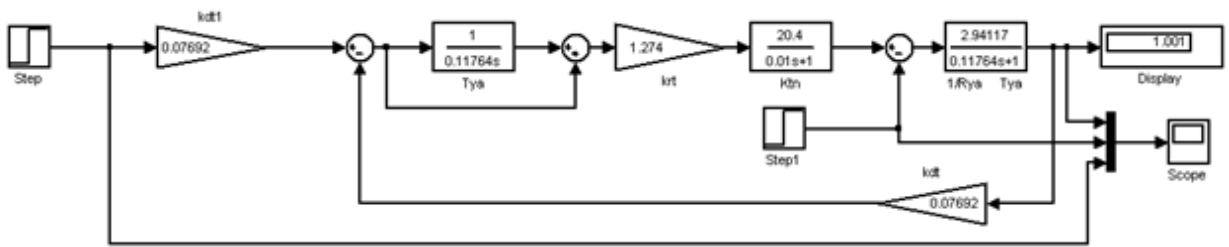
$$k_{PT} = \frac{T_y}{2\dot{O}_\mu k_{\dot{O}I} (1/R_y)k_{\dot{A}\dot{O}}} = \frac{0,11764}{2 * 0,01 * 20,4 * (\frac{1}{0,34}) * 0,07692} = 1,274$$

Енді тиімді АРЖң беріліс функциясын табамыз:

$$W_{II}(\delta) = \frac{1/k_{\Delta\delta}}{2\delta_{\mu}^2 \delta^2 + 2\delta_{\mu} \delta + 1} = \frac{1/0.07692}{2 * 0,01^2 * \delta^2 + 2 * 0,01 * \delta + 1} = \frac{13}{0,0002 * \delta^2 + 0,02 * \delta + 1}$$

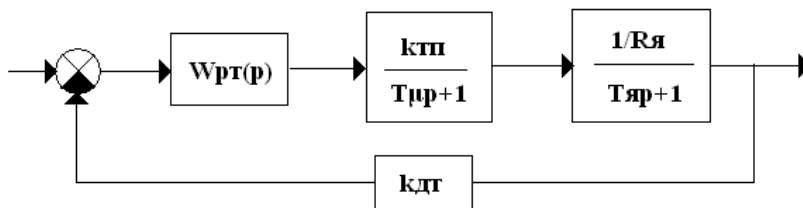
Егер жүйеміз екінші ретті болса, онда беріліс функциясынан табылған демфирлеу коэффициентін табамыз.

Ішкі контурды модельдеу



2.3 – Сурет. Ішкі контур

Ішкі контур:



$T_{PT}=T_{я}$  шартын қабылдамай ішкі контурдың беріліс функциясын анықтаймыз:

ПИ реттегішінің беріліс функциясы

$$W_{PT}(p) = k_{PT}(1 + (1/T_{PT}p)) = \frac{k_{PT}(T_{PT}p + 1)}{T_{PT}p}$$

Тұйықталмаған ішкі контурдың беріліс функциясы:

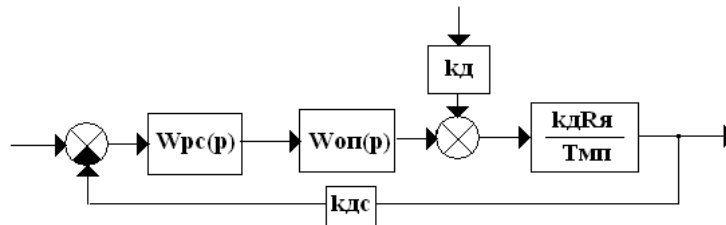
$$W_{PA3}(p) = W_{OY}(p) * W_{PT}(p) = \frac{k_{TP} * k_{DT} * (1/R) * k_{PT}(T_{TP}p + 1)}{(T_{\mu}p + 1)(T_{я}p + 1)T_{TP}}$$

Тұйықталған ішкі контурдың беріліс функциясы:

$$\begin{aligned}
W(p) &= \frac{W_{PA3}(p)}{1 + W_{PA3}(p) * k_{дт}} = \frac{\frac{k_{ТР}k_{дт}(1/R)k_{РТ}(T_{РТ}p + 1)}{(T_{\mu}p + 1)(T_{Я}p + 1)T_{РТ}p}}{1 + \frac{k_{ТР}k_{дт}(1/R)k_{РТ}(T_{РТ}p + 1)}{(T_{\mu}p + 1)(T_{Я}p + 1)T_{РТ}p}} = \\
&= \frac{k_{ТР}(1/R)k_{РТ}(T_{РТ}p + 1)}{T_{Я}T_{РТ}T_{\mu}p^3 + (T_{\mu} + T_{Я})T_{РТ}p^2 + T_{РТ}p + k_{ТР}k_{дт}(1/R)k_{РТ}(T_{РТ}p + 1)} = \\
&= \frac{k_{ТР}(1/R)k_{РТ}(T_{РТ}p + 1)}{\frac{T_{Я}T_{РТ}T_{\mu}}{k_{ТР}k_{дт}(1/R)k_{РТ}}p^3 + \frac{(T_{\mu} + T_{Я})T_{РТ}}{k_{ТР}k_{дт}(1/R)k_{РТ}}p^2 + \frac{T_{РТ}(k_{ТР}k_{дт}(1/R)k_{РТ} + 1)}{k_{ТР}k_{дт}(1/R)k_{РТ}}p + 1}
\end{aligned}$$

Нәтижесінде үшінші ретті беріліс функциясын алдық:

$$W_{Б3}(p) = \frac{1}{8T_{\mu}^3 p^3 + 8T_{\mu}^2 p^2 + 4T_{\mu} p + 1}$$



$$W_{ОВ}(p) = W_{ОП}(p)W_{МЧ}(p) = \frac{k_{д}R_{Я} / k_{дт}}{(2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu} p + 1)T_{М} p}$$

Реттегішсіз беріліс функциясын табамыз.

Сонда беріліс функциясы

$$W(p) = \frac{0,4}{0,00224 \delta^4 + 0,0544 \delta^3 + 0,39 \delta^2 + 1,07 \delta + 1}$$

Осы беріліс функциясымен талдау жасаймыз

2 Control System пакет көмегімен талдау жасау

$$W(s) = \frac{0,4}{0,00224 \delta^4 + 0,0544 \delta^3 + 0,39 \delta^2 + 1,07 \delta + 1}$$

– жүйеміздің беріліс функциясы

□ Уақыт сипаттамасын Control System пакет көмегімен аламыз:

$$W(s) = \frac{0,4}{0,00224 \delta^4 + 0,0544 \delta^3 + 0,39 \delta^2 + 1,07 \delta + 1}$$

*Control System* пакет көмегімен уақыт сипаттамаларын алу үшін *step* және *impulse* функцияларын қолданамыз:

1) Беріліс функциясын жазамыз

*Tf* команда көмегін қолданамыз:

```
>> sys = tf ([0,4], [0,00224 0,0544 0,39 1,07 1])
```

*Transfer function:*

4

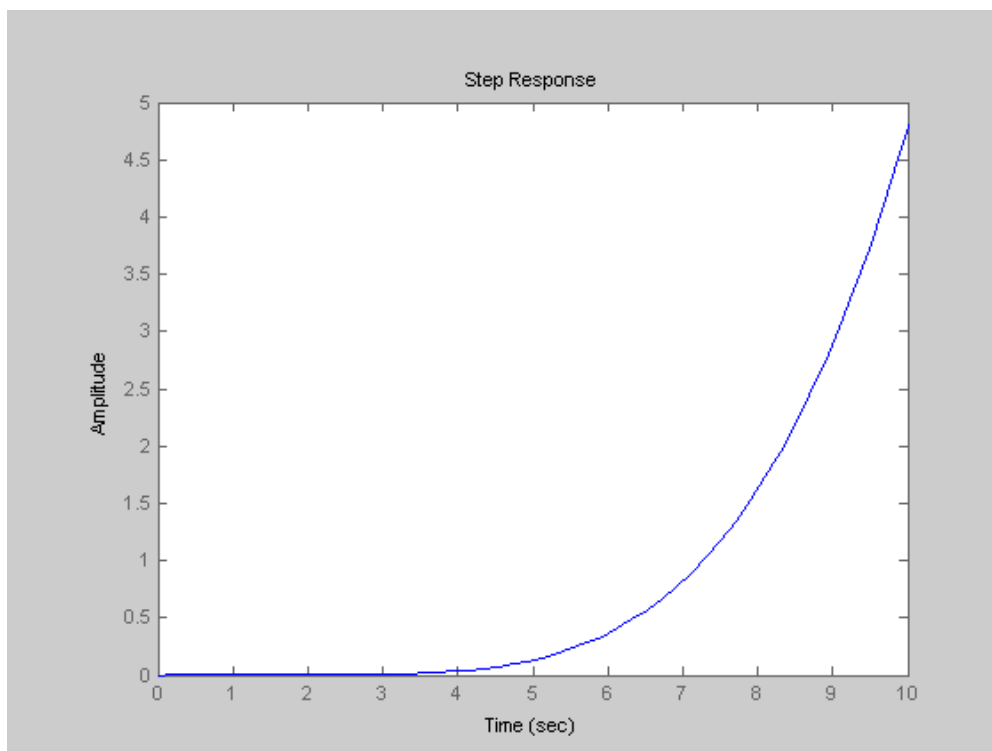
---

$$224 s^7 + 544 s^5 + 39 s^3 + s^2 + 7 s + 1$$

2) Уақыт сипаттамасын саламыз

- өтпелі – *step* команда көмегімен:

```
>> step (sys)
```

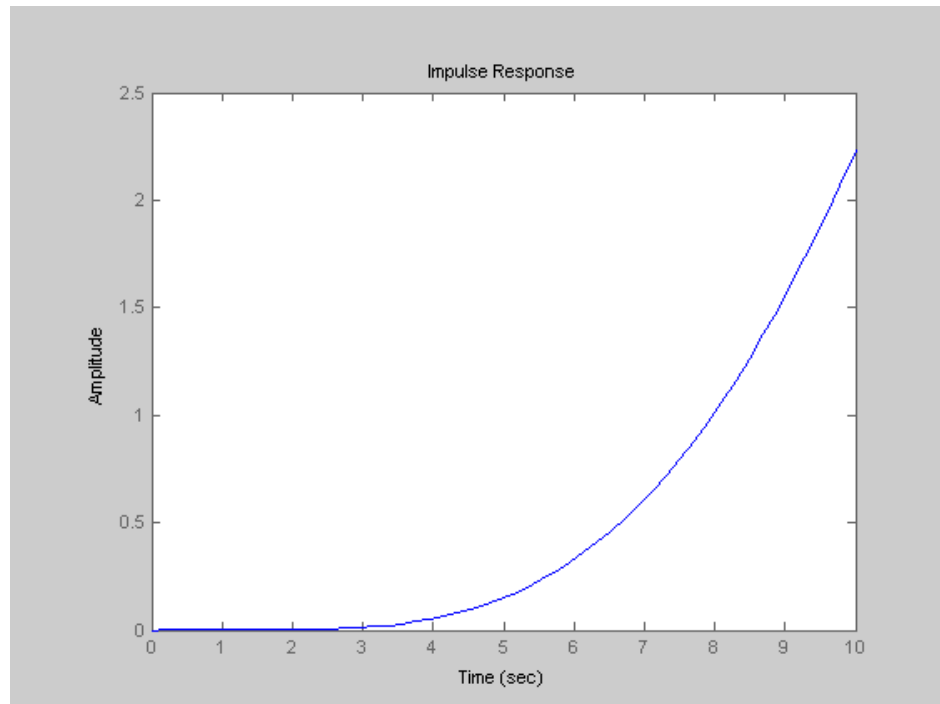


2.8 – Сурет. Өтпелі сипаттамасы

- импульстік – *impulse* команда көмегімен:

```
>> impulse (sys)
```

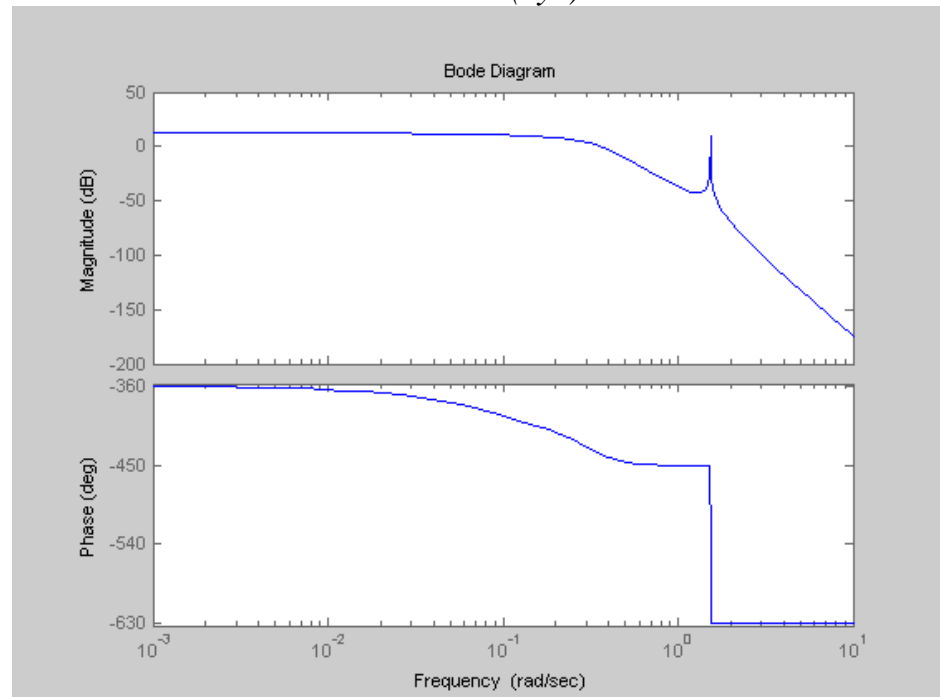




2.9 – Сурет. Импульстік сипаттама

Логарифмдік амплитудалы және фазалы жиіліктік сипаттама *Control System* пакетінде *bode* функция көмегімен орындалады:

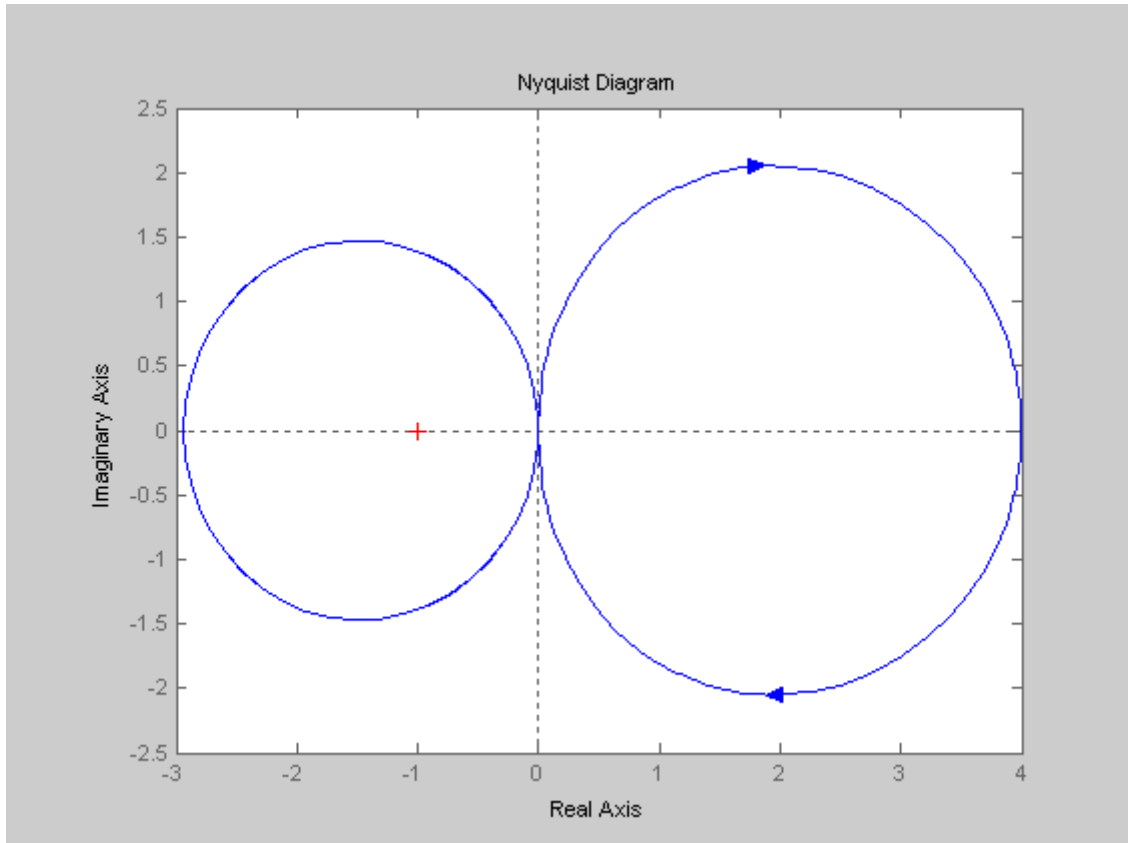
```
>> bode (sys)
```



2.10 – Сурет. Логарифмдік амплитудалы және фазалы жиіліктік сипаттама

Амплитуда фазалы жиіліктік сипаттама *nyquist* функция көмегімен алынады:

```
>> nyquist (sys)
```



2.11 – Сурет. Амплитуда фазалы жиіліктік сипаттама

ПИ реттегішін қарастырамыз:

$$W_{PC}(p) = k_{PC} \left(1 + \frac{1}{T_{PC}p}\right) = \frac{k_{PC}(T_{PC}p + 1)}{T_{PC}p}$$

Сонда ішкі контур үшін тұйықталмаған АРЖнің беріліс функциясы келесідей болады:

$$W(p) = W_{OY}(p)W_{PC}(p) = \frac{\frac{1}{k_{DT}} k_{PC} k_D R_Y (T_{PC}p + 1)}{(2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu}p + 1)T_M T_{PC} p^2}$$

Тұйықталған АРЖнің беріліс функциясы:

$$\begin{aligned} W(p) &= \frac{W_{PA3}(p)}{1 + k_{DC} W_{PA3}(p)} = \frac{k_{PC} k_D R_Y (T_{PC}p + 1)}{k_{DT} (2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu}p + 1)T_M T_{PC} p^2 + k_{DC} k_{PC} k_D R_Y (T_{PC}p + 1)} = \\ &= \frac{k_{PC} k_D R_Y (T_{PC}p + 1)}{\frac{2T_{\mu}^2 T_M T_{PC} k_{DT}}{k_{DC} k_{PC} k_D R_Y} p^4 + \frac{2T_{\mu} T_M T_{PC} k_{DT}}{k_{DC} k_{PC} k_D R_Y} p^3 + \frac{T_M T_{PC} k_{DT}}{k_{DC} k_{PC} k_D R_Y} p^2 + T_{PC}p + 1} \end{aligned}$$

Нәтижесінде жалпы беріліс функциясы:

$$W(s) = \frac{19.35}{0.000018s^4 + 0.00576s^3 + 0.319s^2 + s} = \frac{A(s)}{B(s)}$$

Сипаттама теңдеуі:

$$D(s) = A(s) + B(s) = d_4s^4 + d_3s^3 + d_2s^2 + d_1s + d_0$$

$$D(s) = 0.000018s^4 + 0.00576s^3 + 0.319s^2 + s + 19.35$$

**1) Гурвиц критериясы бойынша матрица құраймыз:**

$$\begin{vmatrix} d_3 & d_1 & 0 & 0 \\ d_4 & d_2 & d_0 & 0 \\ 0 & d_3 & d_1 & 0 \\ 0 & d_4 & d_2 & d_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.00576 & 1 & 0 & 0 \\ 0.000018 & 0.319 & 19.35 & 0 \\ 0 & 0.00576 & 1 & 0 \\ 0 & 0.000018 & 0.319 & 19.35 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_1 = d_3 = 0.00576 > 0$$

$$\Delta_2 = d_3d_2 - d_4d_1 = 0.001819 > 0$$

$$\Delta_3 = d_1(d_3d_2 - d_4d_1) - d_0d_3^2 = 0.001177 > 0$$

$$\Delta_4 = d_0 \cdot \Delta_3 = 0.022775 > 0$$

Матрицаның барлық анықтауыштары оң, сондықтан да жүйе орнықты.

**2) Енді Раус критериясы бойынша орнықтылықты анықтаймыз:**

Сипаттама теңдеуі белгілі.:

$$D(s) = d_4s^4 + d_3s^3 + d_2s^2 + d_1s + d_0$$

$$D(s) = 0.000018s^4 + 0.00576s^3 + 0.319s^2 + s + 19.35$$

Раус кестесін құраймыз.

	1	2	3
	$c_{11} = d_4$	$c_{21} = d_2$	$c_{31} = d_0$
	$c_{12} = d_3$	$c_{22} = d_1$	$c_{32} = 0$
$\lambda_3 = \frac{c_{11}}{c_{12}}$	$c_{13} = c_{21} - \lambda_3 c_{22}$	$c_{23} = c_{31} - \lambda_3 c_{32}$	$c_{33} = 0$
$\lambda_4 = \frac{c_{12}}{c_{13}}$	$c_{14} = c_{22} - \lambda_4 c_{23}$	$c_{24} = c_{32} - \lambda_4 c_{33}$	$c_{34} = 0$
$\lambda_5 = \frac{c_{13}}{c_{14}}$	$c_{15} = c_{23} - \lambda_5 c_{24}$	$c_{25} = c_{33} - \lambda_5 c_{34}$	$c_{35} = 0$

	1	2	3
	0.000018	0.319	19.35
	0.00576	1	0
$\lambda_3 = 0.003125$	0.315875	19.35	0
$\lambda_4 = 0.018235$	0.647152	0	0
$\lambda_5 = 0.4881$	19.35	0	0

Раус кестесінің бірінші баған элементтері оң, Раус критериясы бойынша жүйе орнықты.

### 3) Енді Михайлов критериясы бойынша тексереміз

Сипаттама теңдеуі

$$D(s) = d_4s^4 + d_3s^3 + d_2s^2 + d_1s + d_0$$

$$D(s) = 0.000018s^4 + 0.00576s^3 + 0.319s^2 + s + 19.35$$

Нақты және жорамал бөлікті табамыз:

$$s = j\omega$$

$$D(j\omega) = 0.000018(j\omega)^4 + 0.00576(j\omega)^3 + 0.319(j\omega)^2 + j\omega + 19.35$$

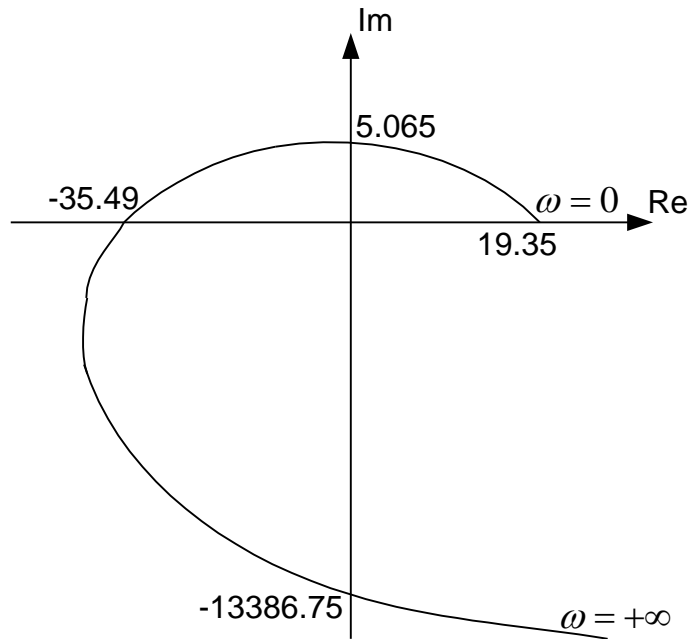
$$D(j\omega) = 0.000018\omega^4 - 0.00576j\omega^3 - 0.319\omega^2 + j\omega + 19.35$$

Нақты және жорамал бөлік:

$$\text{Re} = 0.000018\omega^4 - 0.319\omega^2 + 19.35$$

$$\text{Im} = \omega - 0.00576\omega^3$$

$\omega$	0	7.8 17	13. 176	132.9	$+\infty$
Re	19. 35	0	-35 .49	0	$+\infty$
Im	0	5.0 654	0	-133 86.75	$-\infty$



2.4 – Сурет. Михайлов годографы

Михайлов критериясы:

Сызықты жүйе орнықты болу үшін жиілігі  $\omega$  0-ден  $\infty$  дейін өзгерісі кезінде  $D(j\omega)$  векторы ешбір жерде нөлге айналмай, координата басы айналасында сағат тіліне қарсы  $n \frac{\pi}{2}$  бұрышқа бұрылса, мұндағы  $n$  - сипаттама теңдеуінің дәрежесі, онда осы жеткілікті және қажетті.

Зерттелінді жүйе орнықты, себебі годограф ретпен төрт квадрантты басып өтіп, соңғы квадрантта шексіздікке қмтылды.

#### 4) Келесі Найквист критериясы бойынша орнықтылықты анықтау

Ол үшін жалпы беріліс функциясының нақты және жорамал бөлігін аламыз:

$$W(j\omega) = \frac{19.35}{(0.004j\omega + 1)(0.015j\omega + 1)(0.3j\omega + 1)j\omega}$$

АФС:

$$W(\omega) = \frac{19.35}{\sqrt{0.004^2 \omega^2 + 1} \cdot \sqrt{0.015^2 \omega^2 + 1} \cdot \sqrt{0.3^2 \omega^2 + 1} \cdot \omega}$$

ФЖС:

$$\varphi(\omega) = -\arctg T_\phi \omega - \arctg T_3 \omega - \arctg T_0 \omega - \frac{\pi}{2}$$

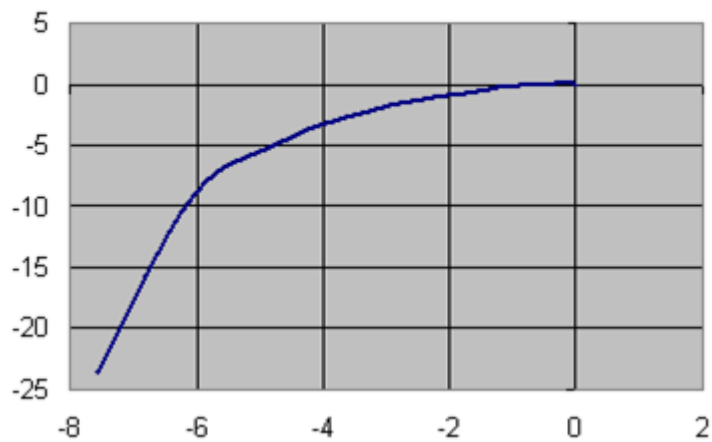
$$\varphi(\omega) = -\arctg 0.004\omega - \arctg 0.015\omega - \arctg 0.3\omega - \frac{\pi}{2}$$

	$W(\omega)$	$\varphi(\omega)$	$x$	$y$
	$+\infty$	- 1,5708	$-\infty$	$-\infty$
0	0,80 6196	- 3,00871	- 0,79909	- 0,10681
0	0,20 2484	- 3,34773	- 0,1982	0,04 1445
0	0,08 5989	- 3,57322	- 0,0781	0,03 5973
0	0,04 5354	- 3,75753	- 0,03702	0,02 6202
0	0,02 6926	- 3,91592	- 0,01925	0,01 8828
0	0,01 724	- 4,05445	- 0,01054	0,01 3641
0	0,01 1643	- 4,1768	- 0,00594	0,01 0012
0	0,00 8186	- 4,28571	- 0,00339	0,00 7452
0	0,00 5942	- 4,38338	- 0,00192	0,00 5623
00	0,00 4427	- 4,47157	- 0,00106	0,00 4299
10	0,00 337	- 4,55174	- 0,00054	0,00 3327
20	0,00 2614	- 4,62504	- 0,00023	0,00 2604
30	0,00 206	- 4,69242	- 4,1E-05	0,00 2059
40	0,00 1645	- 4,75465	6,95 E-05	0,00 1644
50	0,00 1331	- 4,81237	0,00 0133	0,00 1324
60	0,00 1088	- 4,86608	0,00 0167	0,00 1075
70	0,00 0898	- 4,91623	0,00 0182	0,00 088
80	0,00 0748	- 4,96319	0,00 0186	0,00 0725
90	0,00 0628	- 5,00726	0,00 0182	0,00 0601
00	0,00 0531	- 5,04871	0,00 0175	0,00 0501
10	0,00 0452	- 5,08778	0,00 0166	0,00 042
20	0,00 0387	- 5,12466	0,00 0155	0,00 0354
30	0,00 0333	- 5,15953	0,00 0144	0,00 03
40	0,00 0288	- 5,19255	0,00 0133	0,00 0256
50	0,00 0251	- 5,22385	0,00 0123	0,00 0219
60	0,00 0219	- 5,25357	0,00 0113	0,00 0188

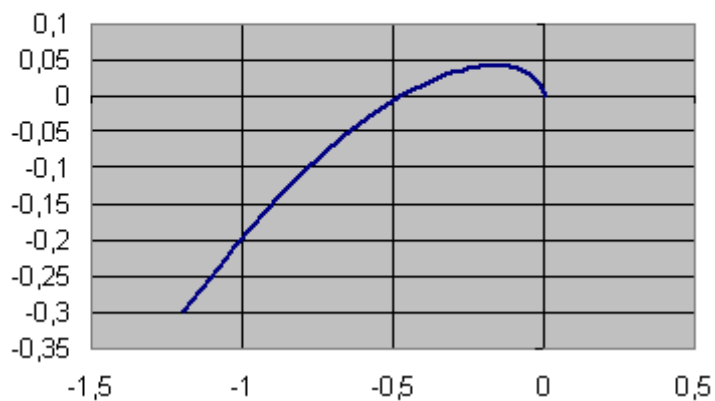
70	0,00 0192	- 5,28181	0,00 0104	0,00 0162
80	0,00 0169	- 5,30868	9,5E -05	0,00 014
90	0,00 015	- 5,33427	8,71 E-05	0,00 0122
00	0,00 0133	- 5,35867	7,99 E-05	0,00 0106
$\infty$	0	$-2\pi$	0	0

Жүйенің амплитуда фазалық сипаттамасы

Жүйе годографы



Жүйе годографының үлкейтілген бөлігі



2.5 – Сурет. Жүйе годографы

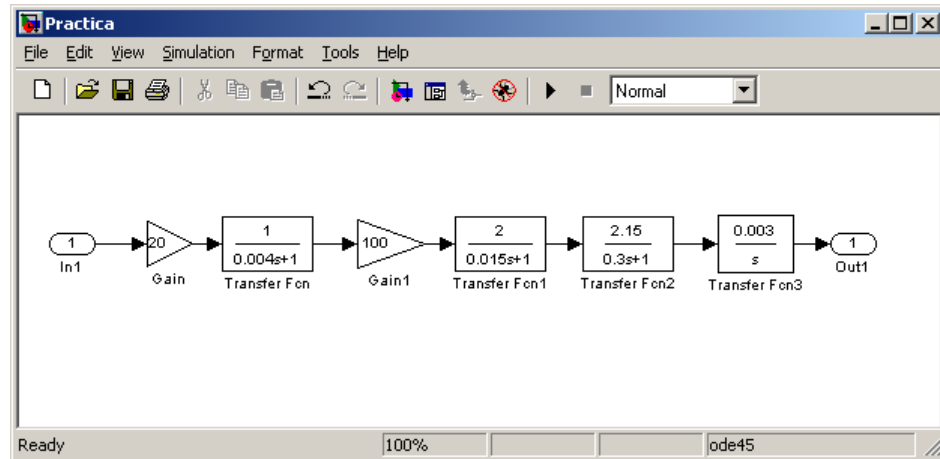
Найквист критерийі келесідей тұжырымдалады:

- егер тұйықталмаған АБЖ орнықты немесе орнықтылық шекарасында тұрса, онда тұйықтау нәтижесінде алынған АБЖ орнықты болуы үшін, 0-ден  $\infty$  аралығында  $\omega$  өзгерісі кезінде кешенді жазықтықта координатасы  $(-1, j=0)$

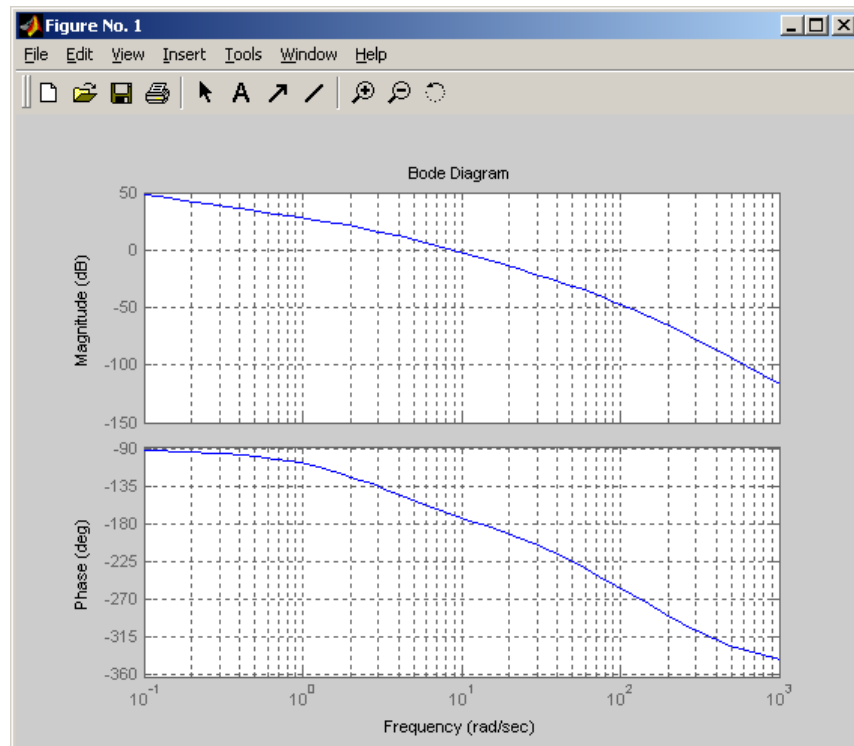
болатын нүктені тұйықталмаған жүйенің АФЖС қамтымауы қажетті әрі жеткілікті болады;

- егер тұйықталмаған жүйе орнықсыз болса, ал оның БФ жорамал остің оң жағында  $m$  полюсі болса, онда тұйықталған жүйенің орнықтылығы үшін, 0-ден  $\infty$  аралығында  $\omega$  өзгерісі кезінде кешенді жазықтықта координатасы  $(-1, j=0)$  болатын нүктені тұйықталмаған жүйенің АФЖС  $m$  рет қамтуы қажетті әрі жеткілікті.

## 5) Енді блоктан құраймыз



2.6 – Сурет. Matlab ортасындағы жүйе моделі



2.7 – Сурет. Боде диаграммасы



Фаза бойынша орнықтылық қоры:  $\Delta\Theta = 12$

Модуль бойынша орнықтылық:  $\Delta H : 20 \lg \Delta H = 7.5 \Rightarrow \Delta H = 2.37$

б) *Control System* пакет көмегімен талдау жасау

$$W(s) = \frac{19.35}{0.000018s^4 + 0.00576s^3 + 0.319s^2 + s}$$

– жүйеміздің беріліс функциясы

□ Уақыт сипаттамасын *Control System* пакет көмегімен аламыз:

$$W(s) = \frac{19.35}{0.000018s^4 + 0.00576s^3 + 0.319s^2 + s}$$

*Control System* пакет көмегімен уақыт сипаттамаларын алу үшін *step* және *impulse* функцияларын қолданамыз:

3) Беріліс функциясын жазамыз

*Tf* команда көмегін қолданамыз:

```
>> sys = tf([19.35], [0.000018 0.00576 0.319 1])
```

*Transfer function:*

.....

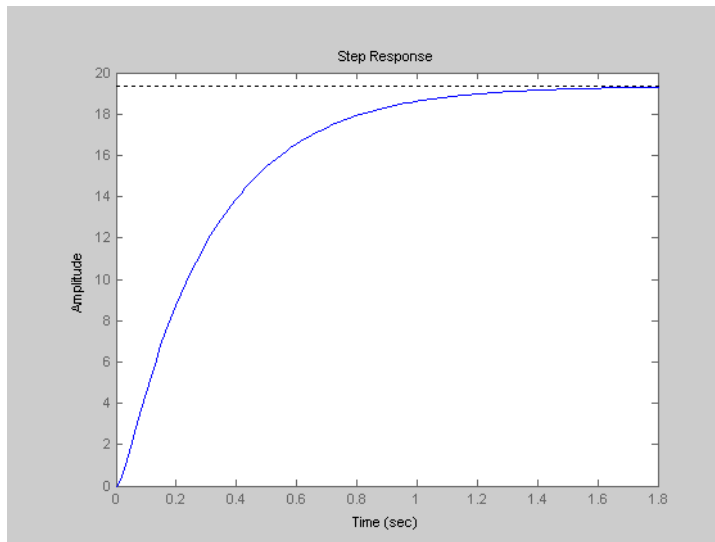
19.35

-----  
 $1.8e-005 s^3 + 0.00576 s^2 + 0.319 s + 1$

4) Уақыт сипаттамасын саламыз

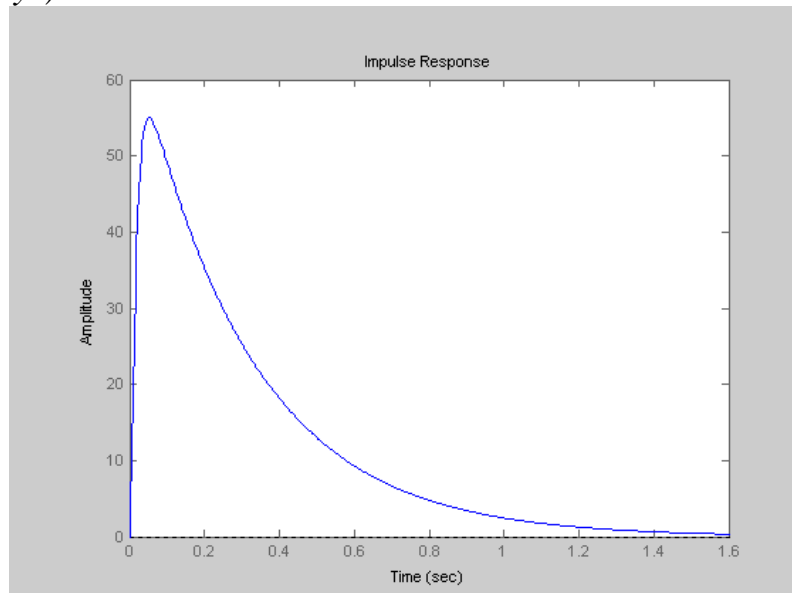
- өтпелі – *step* команда көмегімен:

```
>> step(sys)
```



2.8 – Сурет. Өтпелі сипаттамасы

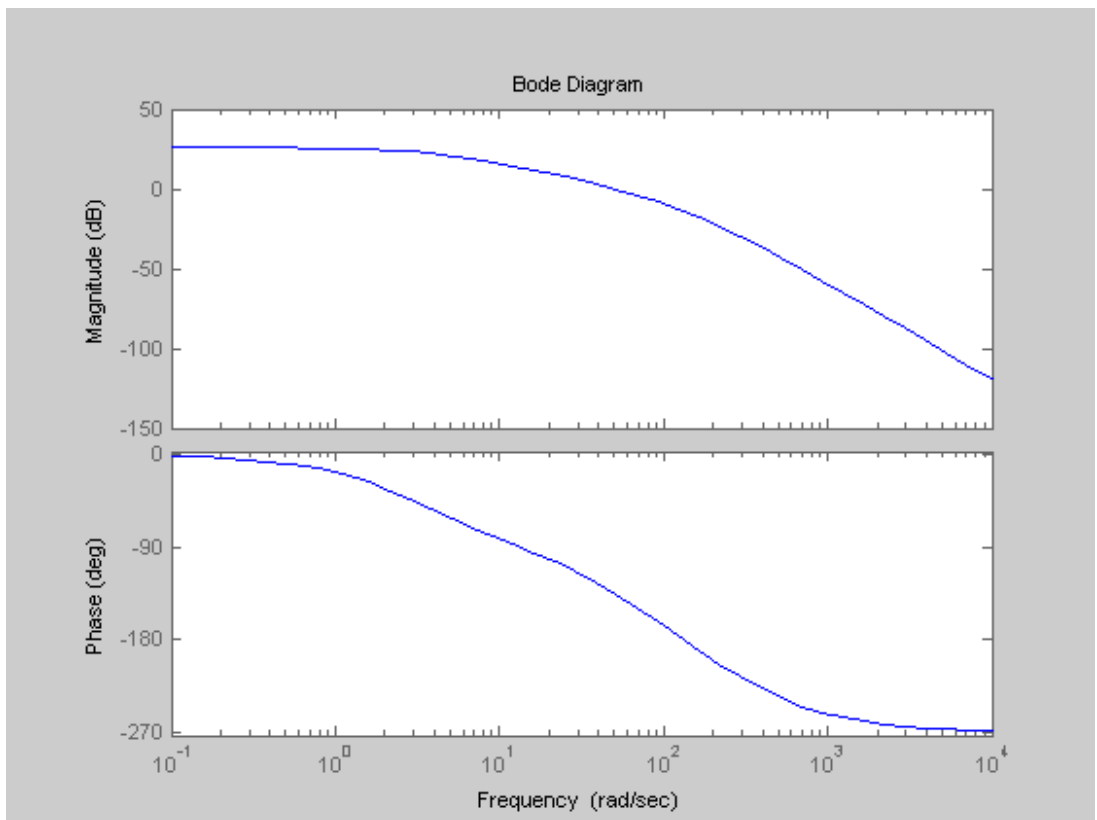
- импульстік – *impulse* команда көмегімен:  
 >> *impulse (sys)*



2.9 – Сурет. Импульстік сипаттама

Логарифмдік амплитудалы және фазалы жиіліктік сипаттама *Control System* пакетінде *bode* функция көмегімен орындалады:

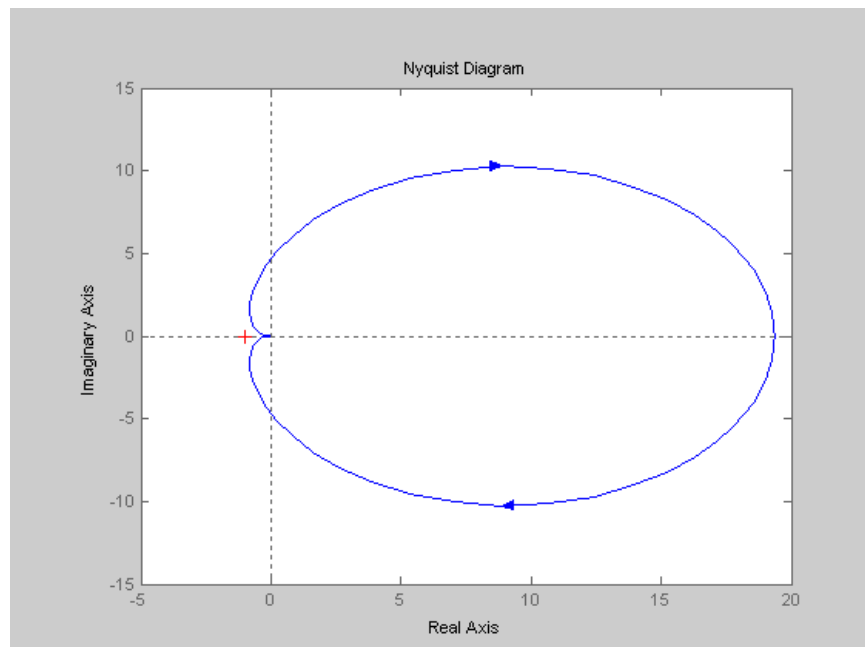
>> *bode (sys)*



2.10 – Сурет. Логарифмдік амплитудалы және фазалы жиіліктік сипаттама

Амплитуда фазалы жиіліктік сипаттама *nyquist* функция көмегімен алынады:

>> *nyquist (sys)*



2.11– Сурет. Амплитуда фазалы жиіліктік сипаттама

АФЖС оң және теріс жиіліктер үшін де құралады.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Электржетектің дамуындағы басқа артықшылығы кеңею және оның функциясының күрделенуі. Ол технологиялық басқару үрдісі мен сәйкесінше басқару жүйесін күрделендіру, динамикалық және дәлдік көрсеткіштерге талаптардың жоғарлауы, тезәрекеттіліктің ұлғаюы, сенімділік, үнемділік, габариттің төмендеуі, т.б. байланысты.

Қазіргі заманғы электржетектер автоматизацияның жоғарғы деңгейін сипаттайды. Көптеген қазіргі жоғары дәлдікті электржетектер есептегіш машиналар арқылы басқарылады. Оларды басқарып отыратын құрылғылар, негізінен, микроэлектрониканы қолдану негізінде құрылған. Басқару аналогтық техникамен қамтамасыз етіледі және көптеген аз қуатты жауапты электржетектермен, мысалы роботтар мен манипулятордың механизм электржетектері. Электржетектің барлық қуат диапазонында технологиялық үрдістерді программалық басқару қолданыс тапқан.

Әрине, реттелетін электржетектер кеңінен қолданылады және қарапайым реттелмейтін ауыспалы тогы бар электржетектер де қолдана береді. Ол міндетті түрде өндіріс желіден қорек көзін алу керек. Дегенмен, басқарылатын құрылғылар және де осындай электржетектер жұмыс сенімділігіне қойылатын шарттардың артып отыруына, энергетикалық көрсеткіштерді жоғарлату, механизм арасында блоктарды күрделендіруге байланысты жаңарып отырады.

Синтездеу әдісі қажетті қасиеттерге ие автоматты басқару жүйесін құру үшін қолданылады. Синтез есептерін шешу кезінде АБЖ алдын ала өзгермейтін бөлікке бөледі, мысалы, басқару объектісі және өзгертін бөлім – басқару құрылғысы. Синтез әдісін қолдана отырып, қажетті қасиетті АБЖ алу үшін қажетті құрылымды және БҚ буындарының сипаттамаларын алу қажет.

Дипломдық жоба тапсырмасы бойынша тұрақты тоқты электржетегінің жылдамдығын бағынышты реттейтін құрылым жасалған және зерттелді. Соның ішінде, тұрақты тоқты қозғалтқыштың бағынышты реттеу жүйесі зерттелінді. Жүйенің орнықтылығы алгебралық Гурвиц, Раус критериясы және жиіліктік Михайлов және Найквист критериясы көмегімен анықталынды.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А.Елисеева и А.В.Шинянского- М.: Энергоатомиздат,1983.
2. Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление электроприводами: Учеб. пособие для студентов вузов. -М.: Высшая школа, 1979.
3. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И.Х.Евзеров, А.С. Горобец, Б.И.Мошкович и др.; Под ред. Канд. Техн. Наук В.И.Перельмутера. - М.: Энергоатомиздат,1988
4. Системы автоматизированного управления электроприводами: Учеб.пособие /Г.И.Гульков, Ю.Н.Петренко, Е.П. Раткевич, О.Л.Симоненкова; Под общ.ред.Ю.Н.Петренко. – Мн.: Новое знание, 2004.
5. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 2003.
6. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. М.:Энергоиздат, 1981.
7. Москаленко В.В Электрический привод: Учеб, пособие для студ. образовательных учреждений сред. проф. образования. - М.: Мастерство: Высшая школа, 2000
8. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1992.
9. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1986.
10. Башарин А.В. и др. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. – Л: Энергия, 1971.
11. Гайдук А.Р. Системы автоматического управления. Примеры, анализ и синтез. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2006.
12. Гайдук А.Р. Основы теории систем автоматического управления. Учебное пособие. М.: «Учлитвуз», 2005.
13. Гайдук А.Р. Непрерывные и дискретные динамические системы. Учебное пособие. М.: «Учлитвуз», 2004.
14. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: «Наука», 1975, 768 стр.
15. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Основы автоматического управления» для направления «Приборостроение», (УГАТУ, кафедра АП, составитель Юлдашбаев Ш.А.).
16. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления, // под ред. Бесекерского В.А. – М.: «Наука», 1978, 512 стр.
17. Шавров А.В., Коломнец А.П. Автоматика.- М.: Колос, 1999.
18. Зимодро А.Ф. А.Ф., Скибенекий Г.Л. Основы автоматизики.- Л.: Энергоатомиздат, 1984.
19. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика».В 2-х ч. Ч.1. Теория линейных систем

автоматического управления / Под. Ред. А.А.Воронова.-М.: Высшая школа, 1986.

20. Основы теории электрических аппаратов: Учеб. для вузов по спец. «Электрические аппараты»/ И.С.Таев, Б.К.Буль, А.Г.Годжелло и др.; Под ред. И.С.Таева.- М.: Высшая школа, 1987.

21. Брюханов В.Н., Косов М.Г. Теория автоматического управления./М.: Высшая школа. 1999.

22. Карнаухов Н.Ф. Электромеханические и мехатронные системы/ Ростов н/Д: Феникс, 2006.-320с.

23. Шоланов К.С. Основы мехатроники и робототехники. Учебное пособие.: Алматыб изд-во «ЭВЕРО»,2005. -128 с.

24. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов/Ю.РК. Розанов, Е.М. Соколов.- М.: Изд.центр «Академия»,2004.-272 с.

25. Сафонов Ю.М. Электроприводы промышленных роботов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.176с.

26. Дорф Р. Современные системы управления.- М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004.-832 с.

27. Брусничкин Д.Э., Захорович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины. – М.:Высш. шк., 1991.–421с.

28. Волков П.И. Электромашинные устройства автоматики. – М.: Высш.шк., 1986.-356с.

29. П.С.Сергеев Проектирование электрических машин. Издательство «Энергия», 1970 г

30. М.М. Кацман. Проектирование электрических машин. М. Энергоатомиздат, 1984 г.

31. Ключев В.И.: «Теория электропривода», Москва, Энергоатомиздат, 1985 г.

32. Драчев Г.И.: «Теория электропривода», Челябинск, ЮУрГУиздат, 2002 г.

33. Борцов Ю. А, Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992.

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Утиманов Дастан

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Тұрақты тоқты электржетекшінің АБЖ синтіздеу тапсырылған реттеу көрсеткіштерімен.

**Научный руководитель:** Марат Орынбет

**Коэффициент Подобия 1:** 6.6

**Коэффициент Подобия 2:** 6.6

**Микропробелы:** 1

**Знаки из других алфавитов:** 27

**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: *допущен к защите*

*Дата 15.05.2022*

проверяющий эксперт

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ  
ПІКІРІ**

Дипломдық жобаға  
Утимапов Дастан Нурлубайұлы  
5В070200 - Автоматтандыру және басқару

Тақырыбына: Тұрақты тоқты электржетекшінің АБЖ синтездеу тапсырылған көрсеткіштерімен реттеу

Аталған дипломдық жобада электржетекшінің АБЖ синтездеу тапсырылған көрсеткіштерімен реттеу қарастырылған.

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


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

Жұмыс барысында қиыстірілген жүйенің құрылымдық сұлбаның 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. Утимапов Дастан Нурлубайұлы алдына қойған инженерлік есептерді шеше алатынын, әдебиеттермен жұмыс істей алатындығын көрсетті.

Студент Утимапов Дастан Нурлубайұлы, 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.  
(колы)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 ж.



## СЫН – ПІКІР

Дипломдық жоба

Утиманов Дастан Нурлубайұлы

5В070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Тақырыбы: Тұрақты тоқты электржетекшінің АБЖ синтездеу тапсырылған көрсеткіштерімен реттеу

Орындалды:

а) графикалық бөлім \_\_ бет;

б) түсініктеме жазбасы \_\_ бет.

### ЖОБАҒА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Берілген дипломдық жоба тұрақты тоқты электржетегінің жылдамдығын реттейтін құрылымды жасау және зерттеу жайында.

Технологиялық бөлімде жеткелердің жіктелуі, тұрақты ток электр қозғалтқыштарымен жұмыс жасау туралы жазылған.

Арнайы бөлімде электр жетегінің басқару жүйесін синтездеу, ішкі контурды есептеу туралы қарастырылған. Гурвиц, Найквист, Раус, Михайлов критерийлері бойынша орнықтылық зерттелді.

Жұмыста кейбір грамматикалық қателер кездеседі.

Қорытындылай келіп тапсырылған тақырып: 5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бакалавр академиялық дәрежесіне толығымен сай және оны орындаған Утиманов Дастан Нурлубайұлы аталынған мамандық бойынша бакалавр академиялық дәрежесі беруге сәйкес деген пікір білдіремін. Жалпы 80%, В (жақсы) бағасына бағаланып, бакалаврлық дәрежесіне лайық деп санаймын.

Сын – пікір беруші:

Т.Майлов И.Е., техникалық ғылым кандидаты, доцент

ҚазҰТУ-ның Қарағанды филиалындағы ҚазҰҰ



Т.Майлов И.Е.

2022 ж

