

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

Әби Гүлнұр Баймұратқызы

Қозғалтқыштың жылдамдығын автоматты реттеу жүйесін зерттеу

Дипломдық жобаға
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ

Кафедра меңгерушісі

Физ-мат. ғыл.д-ң кандидаты,
ассоциир. профессор

_____ Н.У. Алдияров
«27» мамыр _____ 2021 ж.

«Қозғалтқыштың жылдамдығын автоматты реттеу жүйесін зерттеу»
тақырыбына

дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Орындаған

Әби.Г.Б

Ғылыми жетекші

техника және

технологиялар

магистрі, лектор

_____ Қ.Б.Мүсілімов

«24» мамыр 2021 ж.

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Автоматтандыру және басқару» кафедрасы

5B070200 - Автоматтандыру және басқару

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

Физ-мат. ғыл.д-ң

кандидаты, ассоциир.

профессор

_____ Н.У. Алдияров

«27» _____ мамыр _____ 2021 ж.

Дипломдық жобаны дайындауға

ТАПСЫРМА

Білім алушы Әби Гүлнұр Баймұратқызы

Жобаның тақырыбы: «Қозғалтқыштың жылдамдығын
автоматты реттеу жүйесін зертеу»

Университеттің «24» 11 2020 жылғы ғылыми кеңесінің
№2131-бшешімімен бекітілген.

Орындалған жұмыстың өткізу мерзім «1» маусым 2021 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: дипломалды практикасындағы
жиналған мәліметтер.

Түсініктеме жазбаның талқылауға берілген сұрақтарының тізімі мен
қысқашадиплом жұмысының мазмұны:

а) кіріспе;

б) технологиялық бөлім, негізгі

бөлім; в) математикалық моделдеу

бөлімі;

Графикалық материалдардың тізімі (міндетті түрде қажет сызбалар
көрсетілген): автоматтық сұлбасы, принципиалдық сұлбасы, құрылымдық
сұлба

Ұсынылған негізгі әдебиеттер

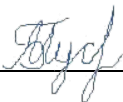
[1] Расчет автоматических систем. Под редакции А.В.Фатеева. М., Высшая
школа, 1973г..

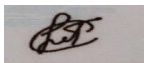
Дипломдық жобаны даярлау
КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, дайындалатын сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге өткізу мерзімі	Ескерту
Технологиялық бөлім	3 ақпан 2021ж.	
Негізгі бөлім	27 наурыз 2021ж.	

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
Техникалық бөлім	Қ.Б.Мүсілімов, техника және технологиялар магистрі, лектор		
Негізгі бөлім	Қ.Б.Мүсілімов, техника және технологиялар магистрі, лектор		
Математикалық моделдеу бөлімі	Қ.Б.Мүсілімов, техника және технологиялар магистрі, лектор		
Нормалық бақылаушы	Н.С. Сәрсенбаев, ассистент профессоры, техн.ғыл.канд-ты		

Ғылыми жетекшісі  Қ.Б.Мүсілімов

Тапсырманы орындауға қабылдаған білім алушы  Г.Б.Әби

Күні «27» қаңтар 2021 ж.

АҢДАТПА

Энергетикалық нысандарды, өндірісіндегі процесстерді автоматтандырылған жүйе арқылы басқару заманауи талап болып табылады, осы орайда бізде де келесі амалдар орындалды: Технологиялық бөлімінде автоматтандырылған жүйе, оны реттеу әдістері және де оған қойылатын талаптар қарастырылған.

Негізгі бөлімде автоматтандырылған тұрақты ток қозғалтқыш жылдамдығына толықтай талдау жасалынып, тиімділігі мен шығындары талданған.

Эксперименталды бөлімінде автоматтандырылған тұрақты ток қозғалтқышының математикалық моделі жасалынып, MATLAB жүйесінде көрсетілген.

АННОТАЦИЯ

Управление энергообъектами, производственными процессами посредством автоматизированных систем является современным требованием, при этом у нас выполнены следующие подходы: в технологической части предусмотрены автоматизированная система, методы ее регулирования и требования к ней.

В основной части проведен полный анализ скорости автоматизированного двигателя постоянного тока, проанализированы эффективность и затраты.

В экспериментальной части разработана математическая модель автоматизированного двигателя постоянного тока и показана в системе MATLAB.

ANNOTATION

The management of power facilities and production processes through automated systems is a modern requirement, and we have implemented the following approaches: the technological part provides for an automated system, methods of its regulation and requirements for it.

In the main part, a complete analysis of the speed of an automated DC motor is carried out, efficiency and costs are analyzed.

In the experimental part, a mathematical model of an automated DC motor is developed and shown in the MATLAB system.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	9
1	Технологиялық бөлім	11
1.1	Электр машиналары	11
1.2	Тұрақты ток қозғылтқышы	13
1.3	Тұрақты ток қозғалтқышының жұмыс принципі	15
2	Негізгі бөлім	18
2.1	Тұрақты ток қозғалтқышын қоздыру әдістері	18
2.2	Тұрақты ток қозғалтқышының электр күйінің теңдеулері	26
2.3	Тұрақты ток машиналарының механикалық сипаттамасы	27
3	Моделдеу бөлімі	29
3.1	Модель параметрлерін есептеу	29
3.2	Matlab ортасындағы зерттеу нәтижелері	36
3.3	Қозғалтқыштың басқару жүйесін Matlab ортасында зерттеу	44
	Қорытынды	50
	Қолданылған әдебиеттер тізімі	51

КІРІСПЕ

Көптеген салаларда технологиялық жабдықтардың өнімділігі көп жағдайларда оның автоматтандыру деңгейімен анықталады, оның негізгі буыны электр жетегі болып табылады. Прогресс ғылым мен техниканың сандаған салаларында (машина жасау, микроэлектроника, көлік, ғарыш техникасы, тау-кен және қайтадан өңдеу және т.б.) оның маңызды рөлін көбірек көрсетеді.

Автоматтандырылған электр жетегі көбінесе жеке құрылғы ретінде қарастырылмайды, ол автоматтандырудың иерархиялық құрылымының маңызды буыны болып табылады. Автоматтандырылған электр жетегінің мәні электрлік болат балқытатын қондырғыларда және сандық басқарылатын металл кесетін станоктарда, робот-техникалық кешендерде және автоматты желілерде айқын көрінеді. Электр жетегінің құрылғысы мен жұмысын түсіну – бұл, ең алдымен, ондағы физикалық процестерді түсіну, микро және электр электроникасы саласындағы заманауи техникалық шешімдерді, сондай-ақ заманауи бағдарламалық жасақтаманы салыстыру мүмкіндігі. Бұл қызметі автоматтандырылған электр суларын және оны басқару жүйесін пайдаланатын қондырғыларды жобалаумен, дайындаумен және пайдаланумен тікелей байланысты барлық адамдарға қажет.

Тұрақты ток машиналарын қолдану өте кең. Олар металлургия мен химияда реттелетін тұрақты электр жетектерін (илемдеу машиналарының, экскаваторлардың, жүк көтергіш машиналардың жетектері), электролиз және гальваникалық қондырғыларды қуат көзі ретінде пайдаланады. Көптеген жағдайларда тұрақты ток генераторлары қоздыру орамаларын беру үшін синхронды машиналардың қоздырғышы ретінде қолданылады. Тұрақты ток генераторлары автономды көліктерде, кемелерде және ұшақтарда электр энергиясының көзі ретінде кең таралған. Бұл көбінесе олардың көлік құралдарындағы резервтік көздермен – аккумуляторлармен параллель жұмыс істеу мүмкіндігіне байланысты. Сыртқы сипаттамасы бар аралас қозудың тұрақты ток генераторлары электрмен дәнекерлеу үшін қолданылады.

Тұрақты ток қозғалтқыштарының таралуы жылдамдықты терең және тегіс реттеу және қажетті механикалық сипаттамаларды алу мүмкіндігімен, төмен жылдамдықпен жеткілікті жоғары жылдамдықпен жұмыс істеу мүмкіндігімен, сондай-ақ үлкен іске қосу моментімен және шамадан тыс жүктемемен байланысты. Қатты механикалық сипаттамалары бар тәуелсіз және аралас қозуы бар қозғалтқыш реттелетін металлургиялық электр жетектерінде, мысалы, илектеу орнақтарының білікшелерінің жетектерінде қолданылады. Тұрақты токтың ірі қозғалтқыштары кемелердегі еспелі бұрандаларды және қуатты қондырғыдан электр энергиясын беретін ауыр жүк автомобильдеріндегі мотор-дөңгелектерді айналдырады. Көптеген көліктерде, кемелерде, ұшақтарда көмекші құрылғылар тұрақты электр қозғалтқыштарымен жұмыс істейді. Тұрақты және аралас қоздыру қозғалтқыштарының жұмсақ механикалық сипаттамалары бар. Олар электровоздар, тепловоздар, трамвайлар,

троллейбустар және т.б. тартқыш қозғалтқыштар ретінде қолданылады, мұнда үлкен массалардың инерциясын жеңу үшін үлкен іске қосу моменті және жоғары жылдамдықпен қозғалу кезінде аз момент қажет. Тұрақты ток қозғалтқыштарының осындай қасиеттері көтеру-тасымалдау құрылғыларының жетектерінде (крандар, лифтілер) және экскаваторларда қолданылады. Жалпы өнеркәсіптік қолданыстағы тұрақты ток машиналарына қосымша көптеген арнайы машиналар бар. Олардың құрылымдық ерекшеліктері бар, бірақ энергияның өзгеру сипаты бойынша олар тұрақты ток машиналарының түріне жатады. Олардың кейбірін атап өтуге болады. Мысалы, төмен қуатты тұрақты ток машиналарында (ватт фракцияларынан ондаған-жүздеген Ваттқа дейін) қоздыру магнит өрісін құру үшін тұрақты магниттерді қолдануға болады. Тұрақты магниттерден қозатын тұрақты ток генераторлары көбінесе жылдамдық сенсорлары – тахогенераторлар ретінде қолданылады. Тұрақты магнитті тұрақты қозғалтқыштар автоматика жүйелерінде атқарушы қозғалтқыштар ретінде қолданылады.

Жұмыстың мақсаты: қозғалтқыштың жылдамдығын автоматты реттеу жүйесін зерттеу. Берілген автоматты басқару жүйесін құрылымдық жүйені зерттеуді қарастыру болып табылады.

Жүйені зерттеу кезінде оның математикалық сипаттамасы, оның тұрақтылығын анықтау , түзету құрылғысының синтезін жүргізу зерттеу мәселелері қарастырылады.

1 ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БӨЛІМ

1.1 Электр машиналары

Электр энергиясының басқа энергия түрлеріне қарағанда бірқатар артықшылықтары бар. Бұл оның кеңінен қолданылуын анықтайды. Негізгі артықшылықтардың бірі-механикалық энергияға тиімді түрлендіру мүмкіндігі, сонымен қатар механикалық энергияны электр энергиясына түрлендіру мүмкіндігі. Бұл электромеханикалық түрлендіргіштер арқылы жүзеге асырылады, олардың ішінде ең маңызды орынды электр машиналары алады.

Электр машиналары - бұл электр энергиясын механикалық немесе механикалық энергияны электр энергиясына айналдыратын құрылғылар. Бірінші жағдайда мұндай электр машинасы электр қозғалтқышы деп аталады, екіншісінде – электр генераторы.

Электр машиналары қайтымдылық қасиетіне ие. Сол себепті, бірдей машина электр қозғалтқышы да, генератор да жұмыс істей алады. Егер электр машинасының білігін бұратын болса, онда оның электр орамасының қысқыштарында электрлік потенциалдар айырмасы пайда болады, ал электр қабылдағышы қосылған кезде электр тогы пайда болады. Осылайша, бұл машина механикалық энергияны электр энергиясына айналдырады, яғни электр генераторы болып саналады. Екінші жағынан, егер осы машинаның электр орамасы электр көзіне қосылса, онда онда болып жатқан процестер нәтижесінде электромагниттік момент пайда болады, оның әсерінен машинаның білігі айналады және жетек механизмін айналдырады. Бұл жағдайда машина электр энергиясын механикалық энергияға айналдырады, яғни электр қозғалтқышы болып табылады.

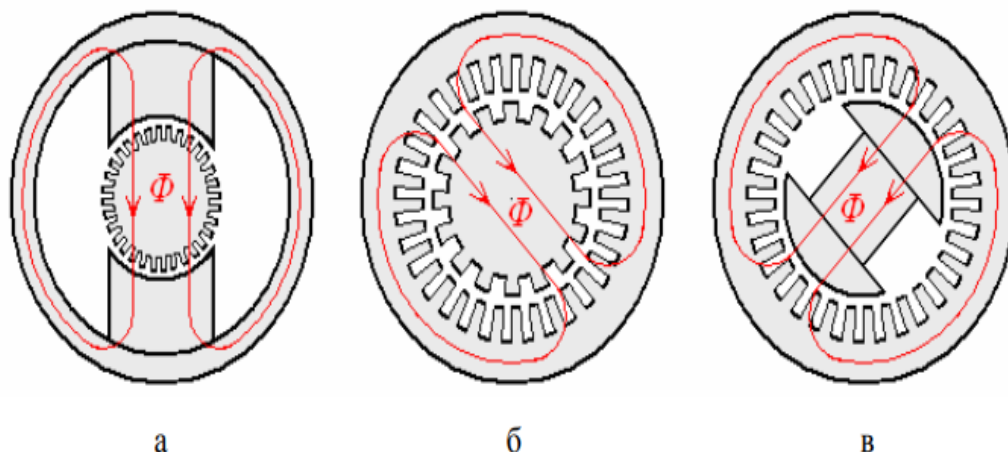
Электр машиналарының жұмысы магнит өрісінің көріністеріне негізделген. Атап айтқанда, электромагниттік момент электр машинасында пайда болған магнит өрісінің ток тұйықталатын электр орамасымен әрекеттесуі кезінде пайда болады (магнит өрісінің күші). Электр машинасы жұмыс істеген кезде оның орамалары магнит өрісіне қатысты қозғалады. Бұл жағдайда орамаларда ЭМӨ индукцияланады (магнит өрісінің индукциялық әсері). Магнит өрісінің осы көріністерінің бірлескен әрекеті электр машинасының қасиеттері мен сипаттамаларын анықтайды. Осылайша, электр машиналарының дизайны белгілі бір қарқындылықтағы магнит өрісі пайда болатын және кеңістікте қажетті түрде таратылатын магниттік тізбекке негізделген.

Электр машинасында жасалған магнит өрісінің табиғаты әртүрлі болуы мүмкін. Магнит өрісі тұрақты болуы мүмкін, оны тұрақты магнит немесе тұрақты ток орамасы жасайды. Магнит өрісі айнымалы болуы мүмкін, оны айнымалы токпен бекітілген Электр орамасы немесе электр машинасының айналмалы бөлігінде орналасқан тұрақты ток орамасы жасай алады. Магнит өрісімен әрекеттесетін электр орамасындағы Ток тұрақты немесе айнымалы болуы мүмкін. Магнит өрісінің сипатына, машинаның магниттік тізбегінің

конфигурациясына, оның орамаларындағы электр тогының сипатына байланысты барлық электр машиналарын түрлерге бөлуге болады:

1. Тұрақты ток электр машиналары;
2. Асинхронды электр машиналары;
3. Синхронды электр машиналары;
4. Арнайы электр машиналары.

Тұрақты ток электр машиналарында магнит өрісі тұрақты электр тогы бар қоздыру орамасымен жасалады. Бұл магнит өрісі кеңістікте белгілі бір жолмен бөлінеді және уақыт өте келе өзгермейді.[1]



а-тұрақты ток машинасы; б-асинхронды қозғалтқыш;
в-синхронды машина

Сурет 1.1 - Электр машиналарының магниттік тізбектері

Асинхронды электр қозғалтқышында (Сурет 1.1б) магнит өрісі үш фазалы электр тогымен бекітілген үш фазалы электр орамасымен жасалады. Мұндай магнит өрісі кеңістікте біркелкі айналады. Айналмалы магнит өрісі роторда орналасқан екінші орамамен әрекеттесіп, механикалық жұмыс орындалатын айналмалы электромагниттік момент жасайды.

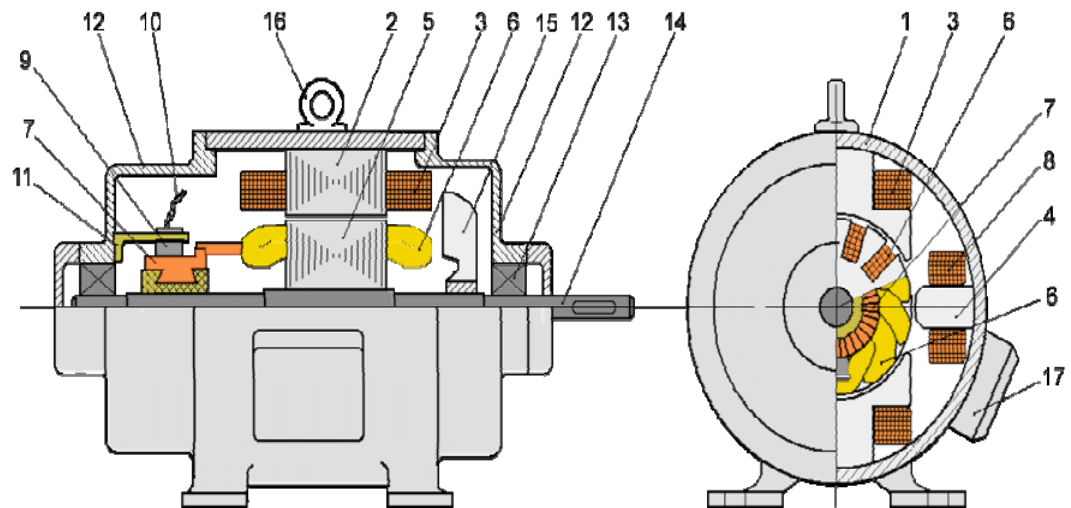
Синхронды электр машинасында (сурет-1.1в) магнит өрісі айналмалы бөлігінде орналасқан тұрақты токпен қоздыру орамасымен жасалады. Бұл жағдайда тұрақты магнит өрісі якорьмен бірге айналады және синхронды машинаның статорында орналасқан үш фазалы электр орамасымен өзара әрекеттеседі.

Арнайы электр машиналарына магнит өрісін құру және орамалардың құрылысы машиналардың алдыңғы түрлерінен айтарлықтай ерекшеленетіндерін жатқызуға болады.

1.2 Тұрақты ток электр машиналары

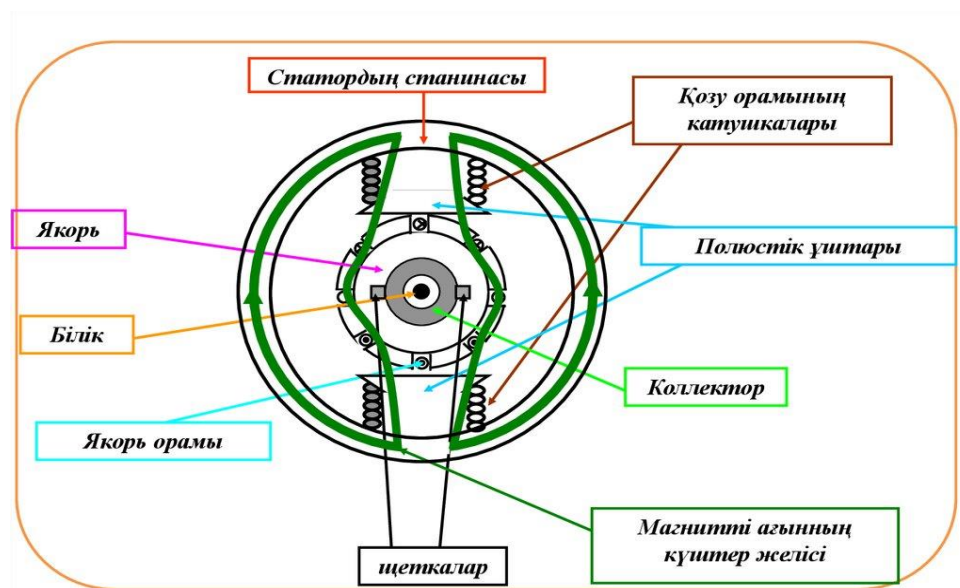
Тұрақты ток электр машинасында тұрақты токтың электр энергиясын механикалық энергияға (тұрақты ток қозғалтқышы) немесе керісінше (тұрақты ток генераторы) түрлендіру жүзеге асырылады. Тұрақты электр машиналары қайтымдылық принципіне ие. Сондықтан тұрақты ток қозғалтқышының құрылысы тұрақты ток генераторының құрылысынан түбегейлі ерекшеленбейді.

1.1-суретте жалпы өнеркәсіптік қолдануға арналған тұрақты ток машинасының типтік құрылысы көрсетілген. Тұрақты ток машинасының негізгі бөліктері - статор және ротор. Статор – машинаның қозғалмайтын бөлігі, ротор – айналатын бөлігі. Тұрақты ток машинасының схемалық бейнесі 1.2-суретте көрсетілген. Статор (1) станинадан тұрады, ол болат қуыс цилиндр болып табылады, ол машинаның механикалық қаңқасы болып табылады және сонымен бірге магниттік тізбектің бөлігі болып табылады. (2) негізгі полюстері қоздыру орамасымен (3) станинаның ішкі бетіне бекітілген. Негізгі полюстерде орналасқан қоздыру орамасының катушкалары солтүстік және оңтүстік полюстер кезектесетін етіп қосылады. Негізгі полюстердің (4) арасында қосымша полюстер болуы мүмкін, олар машинаның жұмысын жақсартуға қызмет етеді. Қосымша полюстердің орамасы тұрақты ток машинасының ротор (якорь) тізбегіне қосылады. Тұрақты ток машинасының роторы якорь деп аталады. Якорь (5) бұл электрлік болат парақтарынан алынған цилиндр. Якорьдың сыртқы бетінде оларға якорь орамасы (6) салынған бойлық ойықтар бар. Якорь статордың ішіне орналастырылады және одан кішкене ауа саңылауымен бөлінеді. Станина, полюстер мен якорь өзегі магниттік тізбекті құрайды, оның бойында машинаның магниттік ағыны жабылады. 3-суретте магнит өрісінің екі сызығы көрсетілген. Айналмалы якорь орамасын сыртқы электр тізбегімен және якорь тогының коммутациясымен қосу үшін щетка-коллекторлық қондырғы (7) қолданылады. Цилиндрлік коллектор бір-бірінен оқшауланған жеке мыс коллекторлық тақталардан (1) тұрады. Әрбір коллекторлық тақта тиісті якорь орамасының бөліміне қосылған. Коллектор машина білігіне бекітіліп, якорьмен бірге айналады.[2]



1-станина; 2-полюс; 3-қоздыру орамасы; 4-қосымша полюс; 5-якорь; 6-якорь орамасы; 7-коллектор; 8-қосымша полюстерді орау; 9 щеткалар; 11-щетка ұстағыш; 12-мойынтірек қалқаны; 13-мойынтірек; 14-білік; 15-желдеткіш; 16-рым болты; 17-клеммді қорабы

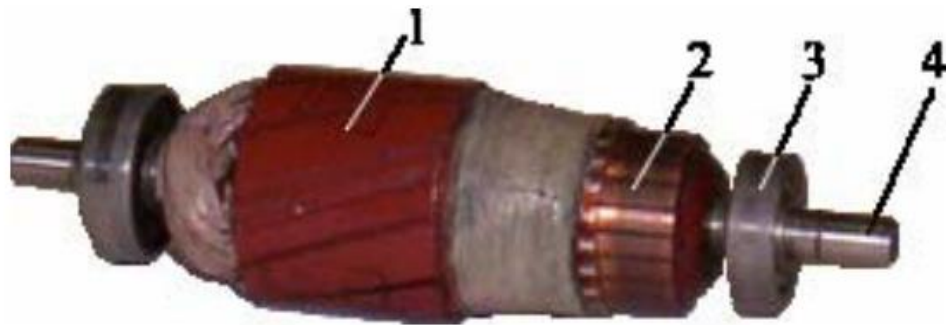
Сурет 1.2 - Тұрақты ток электр машинасының құрылысы



Сурет 1.3 - Тұрақты ток қозғалтқышының құрылысы

Коллектордың сыртқы бетіне щетка ұстағыштарға орнатылған жылжымайтын электр щеткалары бекітіледі. Машина жұмыс істеп тұрған кезде коллектор жылжымалы электр байланысын қамтамасыз ете отырып,

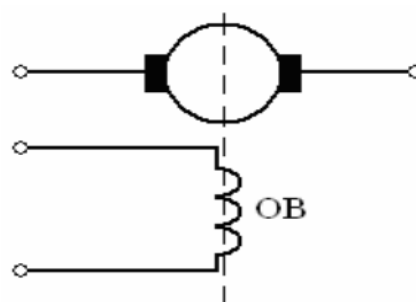
щетка бойымен сырғиды. Төмен қуатты тұрақты ток машинасының якорінің жалпы көрінісі 1.4 -суретте көрсетілген.



1-орамасы бар якорь өзегі; 2-коллектор; 3-мойынтірек; 4-білік

Сурет 1.4 - Тұрақты ток машинасының якорі

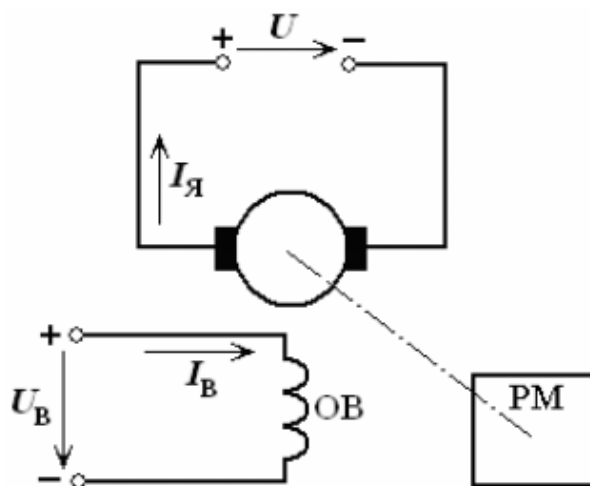
Электр тізбектеріндегі тұрақты ток машинасының шартты белгісі 1.5-суретте көрсетілген.



Сурет 1.5 - Электр тізбектерінің схемаларындағы тұрақты ток машинасының шартты белгісі

1.3 Тұрақты ток қозғалтқышының жұмыс принципі

Тұрақты ток қозғалтқышын қосу схемасы 6-суретте көрсетілген. Мұнда РМ-электр қозғалтқышымен басқарылатын жұмыс механизмі. Тұрақты ток қозғалтқышының қоздыру орамасы U_B тұрақты кернеу көзіне қосылған. I_B қоздыру орамасының тұрақты тогы Φ_B магнит ағынымен тұрақты магнит өрісін жасайды. Магнит ағыны машинаның магниттік тізбегінде 3-суреттегі нүктелі сызықтармен көрсетілген жолдармен жабылады. Магниттік қоздыру ағыны тұрақты ток қозғалтқышының якор орамасына енеді.



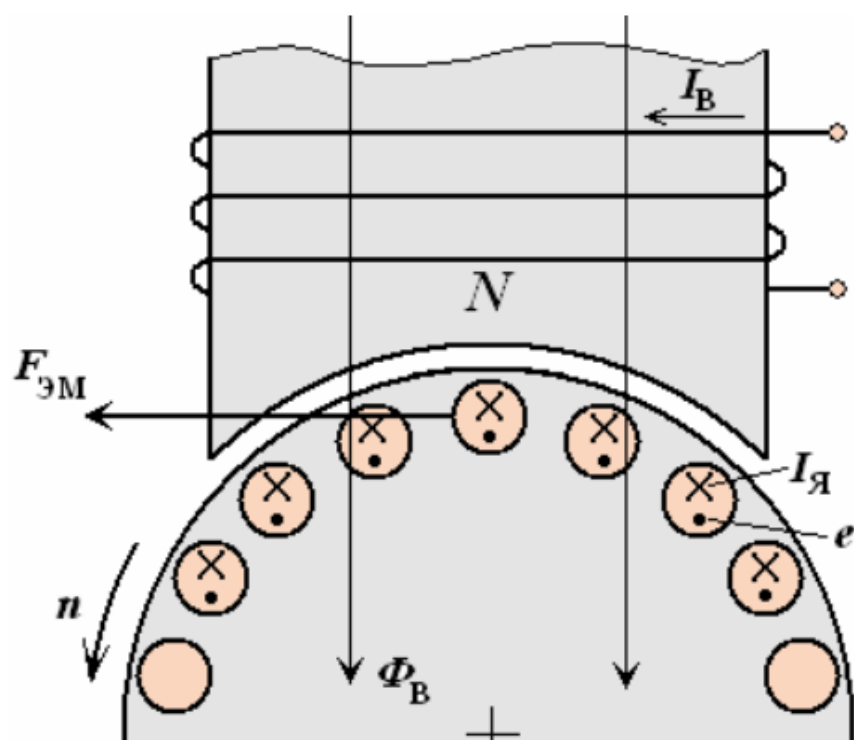
Сурет 1.6 - Тұрақты ток қозғалтқышын қосу схемасы

Якорь орамасы сонымен қатар U тұрақты кернеу көзіне қосылған, оның әсерінен I_a якорь тогы пайда болады. Жылжымалы щетканың байланысы арқылы якорь тогы оның орамасына бір полюстің аймағында орналасқан өткізгіштердегі бағыты әрдайым тұрақты болатындай етіп беріледі (солтүстік полюстің астында – бір бағытта, оңтүстігінде – басқа бағытта). Магнит өрісінің күш әсерінің құбылысына сәйкес электромагниттік күш қоздыру магнит өрісінде орналасқан ток пен якорь орамасының өткізгіштеріне әсер етеді. Күш әрекетінің бағыты сол қолдың ережесімен анықталады.[3]

1.7-суретте солтүстік полюстің астындағы қоздыру магнит өрісінде орналасқан якордың жоғарғы бөлігі схемалық түрде көрсетілген. Якорь орамасы дөңгелек қиманың бірнеше өткізгіштерімен жеңілдетілген.

Якорь орамасының өткізгіштеріндегі токтың бағыты оны тұрақты кернеу көзіне қосу полярлығымен анықталады. 1.7-суретте арматура орамасының тогы суреттің жазықтығының бағытына сәйкес келетін крестпен көрсетілген. Магнит ағынының бағыты қоздыру орамасындағы токтың бағытымен анықталады (қоздыру орамасының қосылу полярлығы). 1.7-суретте көрсетілген қоздыру магнит ағынының және якорь тогының бағыттарында сол жаққа бағытталған электромагниттік күш якорь орамасының өткізгіштеріне әсер етеді. Якорь орамасының әр өткізгішіне әсер ететін күштер N айналу жиілігімен якорьді айналдыратын электромагниттік момент жасайды. Осылайша, қозғалтқышқа тартылған электр тогының энергиясы механикалық энергияға айналады.[4]

Қозғалтқыштың айналу бағытын өзгерту үшін якорь орамасының немесе қоздыру орамасының қосылу полярлығын өзгерту жеткілікті. ТТҚ якорі айналған кезде якорь орамасының өткізгіштері қоздыру магнит өрісінде қозғалады. Бұл жағдайда ЭҚК якорь орамасында индукцияланады, оның бағыты оң қол ережесімен анықталады. Қозғалтқышта бұл ЭМӨ якорының тогы мен кернеуіне қарама-қарсы бағытталған және қолданылатын кернеуді өтейді.



Сурет 1.7 - Тұрақты тоқ қозғалтқышының жұмыс принципі

2 НЕГІЗГІ БӨЛІМ

2.1 Тұрақты ток машиналарын қоздыру әдістері

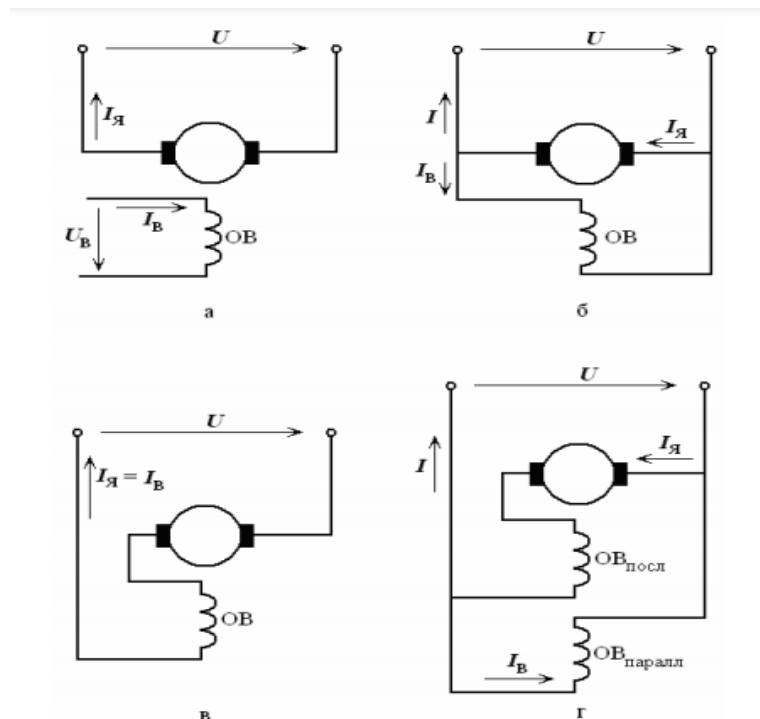
Тұрақты ток машиналарының маңызды жіктеу ерекшелігі-қозғалтқыштардың да, генераторлардың да барлық негізгі сипаттамалары тәуелді болатын негізгі магнит өрісін қоздыру әдісі. Тұрақты ток машиналарын қоздырудың төрт әдісі бар: тәуелсіз, параллель, жүйелі және аралас қозу. 8-суретте әр түрлі қоздыру әдістерімен якорь орамасы мен қоздыру орамасының қосылу схемалары көрсетілген. Схемаларда көрсетілген токтардың бағыттары генератор режиміндегі машинаның жұмысына сәйкес келеді.

Тәуелсіз қозу кезінде (сурет. 2.1а) қоздыру орамасы U_B кернеуімен тәуелсіз көзден қуат алады. Генераторға қосылған электр қабылдағыштың тогы I_a якорьының тогына тең. Параллель қозуы бар генераторда (сурет-2б) қоздыру орамасы якорь қысқыштарына қосылған. Қоздыру тогы генератордың қысқыштарындағы кернеумен анықталады,

$$I_B = \frac{U}{R_B}, \quad (2.1)$$

мұндағы, R_B - қоздыру орамасының кедергісі;

U - генератор қысқыштарындағы кернеу.



Сурет 2.1 - Тұрақты ток машиналарын қоздыру әдістері

Бұл жағдайда қоздыру, якорь және қабылдағыш токтарының арақатынасы Кирхгофтың бірінші заңымен анықталады:

$$I_{\text{я}} = I + I_{\text{в}}, \quad (2.2)$$

Мұндай ТТМ-дағы қоздыру орамасы үлкен бұрылыстары бар жұқа сымнан жасалған және үлкен электр кедергісіне ие. [5]

Жүйелі қозуы бар генераторда (сурет-2.1в) қоздыру орамасы якорь орамасымен қатар қосылады. Бұл ретте якорьдың, қозудың және қабылдағыштың токтары өзара тең:

$$I_{\text{я}} = I = I_{\text{в}}. \quad (2.3)$$

Жүйелі қоздыру орамасы үлкен секциялы сымнан аз бұрылыстармен орындалады және аз электр кедергісіне ие. Жүйелі қоздыру орамасының төмен кедергісі якорь тізбегіндегі ток пен кернеудің қатынасына аздап әсер етеді.

Аралас қозуы бар генератор (сурет-2.1г) екі қоздыру орамасы бар: параллель және жүйелі.

Параллель, жүйелі және аралас қозуы бар генераторлар өздігінен қозатын генераторлар деп аталды, өйткені олардың қоздыру орамалары өз якорь қысқыштарымен қоректенеді.[6]

Тұрақты ток қозғалтқыштарының жылдамдығын реттеу

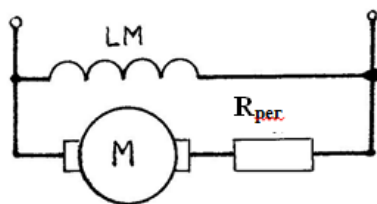
Тұрақты ток қозғалтқышының электромеханикалық және механикалық сипаттамаларының теңдеулері сипаттамалардың түріне қандай параметрлер әсер ететінін анықтауға мүмкіндік береді және оларды реттеу үшін пайдалануға болады:

$$n = \frac{U - I_a R_a}{k_e \Phi}; n = \frac{U}{k_e \Phi} - \frac{M R_a}{k_e k_m \Phi^2}. \quad (2.4)$$

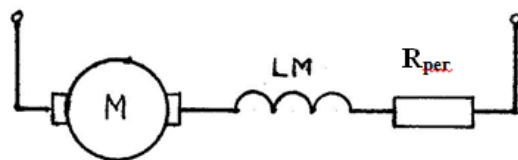
Осы теңдеулерге сүйенсек, үш параметр механикалық және электромеханикалық сипаттамалардың түріне әсер етуі керек: $R_{\text{я}}$ якорь тізбегінің кедергісі, U кернеуі, магнит ағыны Φ . [7]

Якорь тізбегінің кедергісін өзгерту арқылы жылдамдықты реттеу

Якорь тізбегіне қосымша кедергілерді енгізу (сурет-2.2) жүктеме кезінде жылдамдықтың төмендеуіне әкеледі, сондықтан осы кедергінің жоғарылауымен сипаттамалары түсінікті болады.



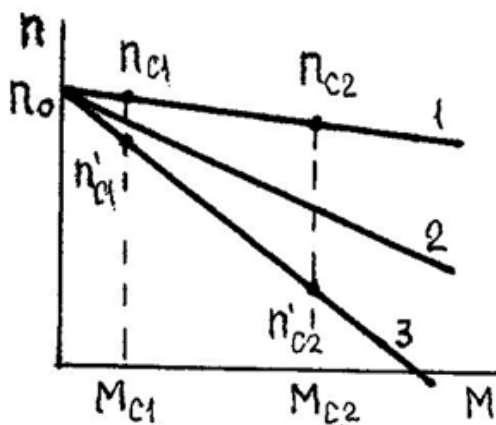
а



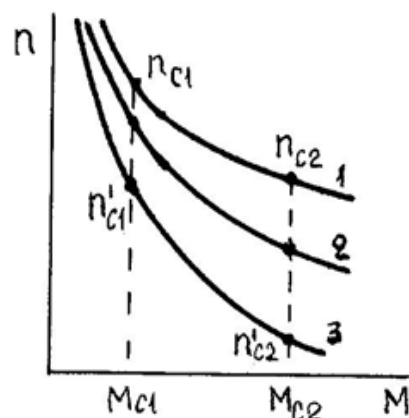
б

Сурет 2.2 - Тұрақты ток қозғалтқыштарының тізбегіне қосымша кедергілерді қосу схемалары: а-тәуелсіз қозған кезде; б-жүйелі қозған кезде

Реттеу тұрақты емес диапазонмен жүзеге асырылады: жүктеме неғұрлым аз болса, ауқым соғұрлым аз болады. Реттеу сатылы болып келеді, сондықтан да тегіс реттеуді құру үшін көптеген қадамдар қажет болады, бірақ олар сәйкес келмейді, өйткені ол орнатуды ұтымсыз түрде арттырады.[8]



а



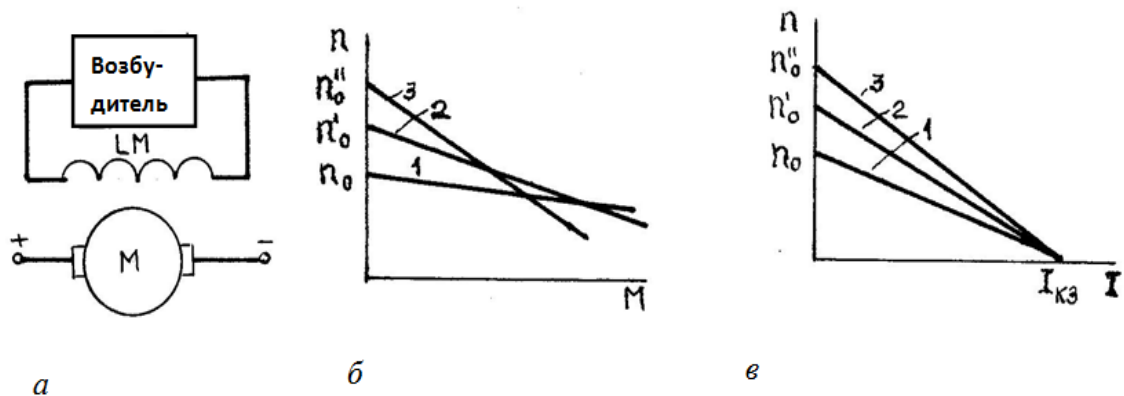
б

Сурет 2.3 - Тұрақты ток қозғалтқыштарының реттеу сипаттамалары: А-тәуелсіз қозған кезде; б-жүйелі қозған кезде

Реттеу сипаттамаларында жұмыс істеу кезінде энергияның үлкен шығыны болады, сондықтан реттеу үнемді емес. Реттеу диапазонының жоғарылауымен сипаттамалардың қаттылығы төмендейді, жұмыс тұрақтылығы да төмендейді, яғни жүктеме моментінің шамалы ауытқуымен жылдамдық айтарлықтай өзгереді. Реттеу бір аймақты, тек төмен. Бұл әдіс жұмыс жылдамдығын қатаң сақтауды қажет етпейтін дискілерде төмен жылдамдықты қысқа мерзімді алу үшін қолданылады (мысалы, жүк көтергіш машиналар). Қазіргі уақытта реттеудің бұл әдісі іс жүзінде қолданылмайды.

Магнит ағынының өзгеруімен жылдамдықты реттеу

Бұл әдіс, әдетте, тәуелсіз қозуы бар қозғалтқыштарда қолданылады. Магнит ағыны реттелетін түзеткіштерді пайдалану кезінде немесе қоздыру орамасының тізбегіндегі қарсылықты реттеу арқылы алуға болатын қоздыру тогының өзгеруіне байланысты өзгереді. Соңғы әдіс төмен қуатты қозғалтқыштарда қолданылады. Шағын жүктеме моменттері аймағында магнит ағынының әлсіреуі жылдамдықтың өсуіне әкеледі, себебі қозғалтқыштың ЭҚК азаяды және токтың өсуін өтеу үшін қосымша үдеу қажет.



Сурет 2.4 - Қоздыру тогын реттейтін схема (а); механикалық (б) және жылдамдық (в) сипаттамалары

Үлкен жүктеме аймағында жылдамдық қозғалтқыш моментінің төмендеуіне байланысты төмендейді. Реттеу диапазоны 2-ден 4-ке дейін болуы мүмкін, реттеу тегіс, әсіресе реттелетін түзеткіштерді қолданған кезде, бір аймақ (тек жоғары), үнемді, өйткені күрделі шығындар салыстырмалы түрде аз және қосымша пайдалану шығындары іс жүзінде жоқ. Жұмыс тұрақтылығы жеткілікті жоғары, бірақ ағынның әлсіреуімен ол аздап төмендейді. Реттеудің бұл әдісі қуаттың тұрақтылығымен ғана мүмкін, сондықтан жылдамдықтың жоғарылауымен жүктеме моментінің рұқсат етілген мәні төмендейді. Жасанды сипаттамадағы рұқсат етілген сәт якорь тізбегінің номиналды тогымен анықталады:

$$M = K_m \Phi_n I_{aN}, \quad (2.5)$$

Табиғи және жасанды сипаттамадағы ЭМӨ үшін теңдеулер арқылы біз аламыз:

$$E_e = K_e \Phi_n \omega_n = U_N - I_{aN} R_a, \quad (2.6)$$

$$E_e = K_e \Phi_n \omega_u = U_N - I_{aN} R_a, \quad (2.7)$$

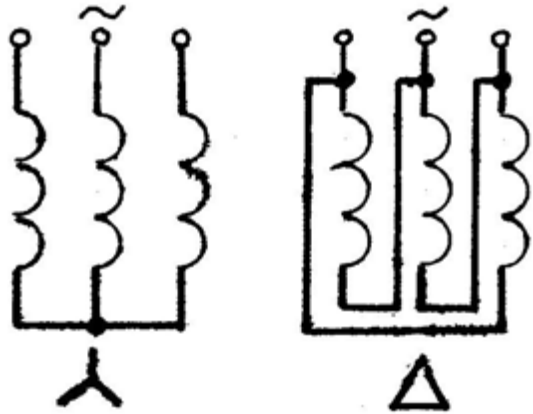
Осы жерден аламыз:

$$M \text{ және } \omega_u = M_N \omega_N = P_N, \quad (2.8)$$

Осылайша, реттеу тұрақты қуатпен жүретінін байқаймыз.

Асинхронды қозғалтқыш

Асинхронды қозғалтқыштың екі орамасы бар: статор және ротор, электрлік Болаттың статор және ротор пакеттерінің ойықтарына салынған. Статор орамасы үш фазалы, статор пакетінің ойықтарында біркелкі бөлінеді.

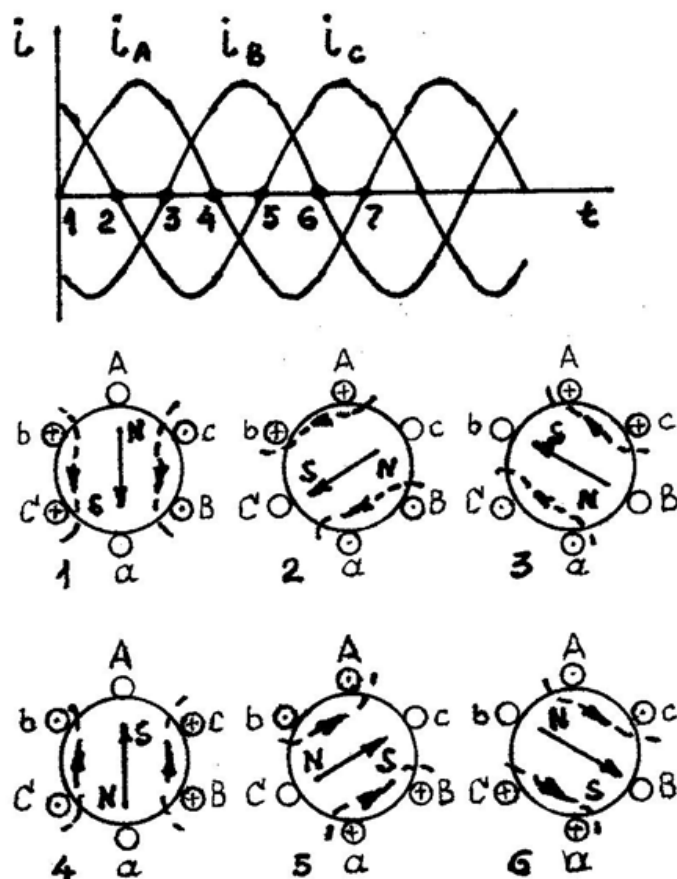


Сурет 2.5 - Статор орамаларын қосу схемалары

Үш фазалы ток желісіне қосылған статор орамасы айналмалы магнит өрісін жасайды. Мұның қалай болатынын қарастылады. Статорда тиісті үш фазалар салынуы, олардың осі 120° бұрышпен орналасады. Секциялар бойынша үш фазалы ток өтеді (сурет-2.5). 1-6 уақыт моменттері үшін жүйенің күйі қарастырылады (сурет-2.5). Схемаға сәйкес, кезең ішінде магнит ағыны толық айналымды жасайды. Егер жиілікті көбірек алса, онда өрістің айналу жиілігі үлкен болады. Өрістің айналу жиілігі (ол синхронды таралу жиілігі деп аталады) және полюстер жұптарының санына байланысты:

$$n_0 = 60 * \frac{f_1}{p}. \quad (2.9)$$

мұндағы f_1 -статор тогының жиілігі; p -полюстер жұптарының саны.



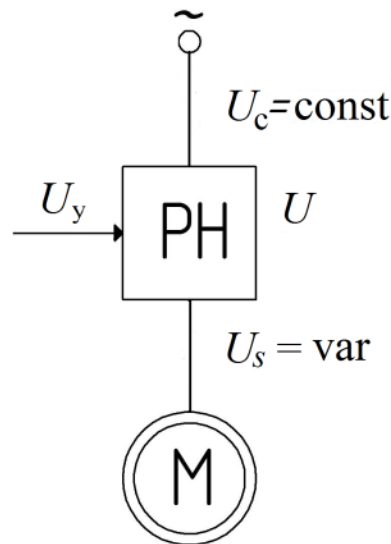
Сурет 2.6 - Айналмалы магнит өрісін алу принципі

Асинхронды электр қозғалтқыштарының жылдамдығын реттеу

Айнымалы ток жетектерінің жылдамдығын реттеу мәселесі өте актуалды. Асинхронды қозғалтқыш негізінде қазіргі заманғы кең реттелетін электр жетектерін дамыту қазіргі уақытта реттелетін электр жетектерін дамытудың маңызды бағыттарының бірі болып табылады.

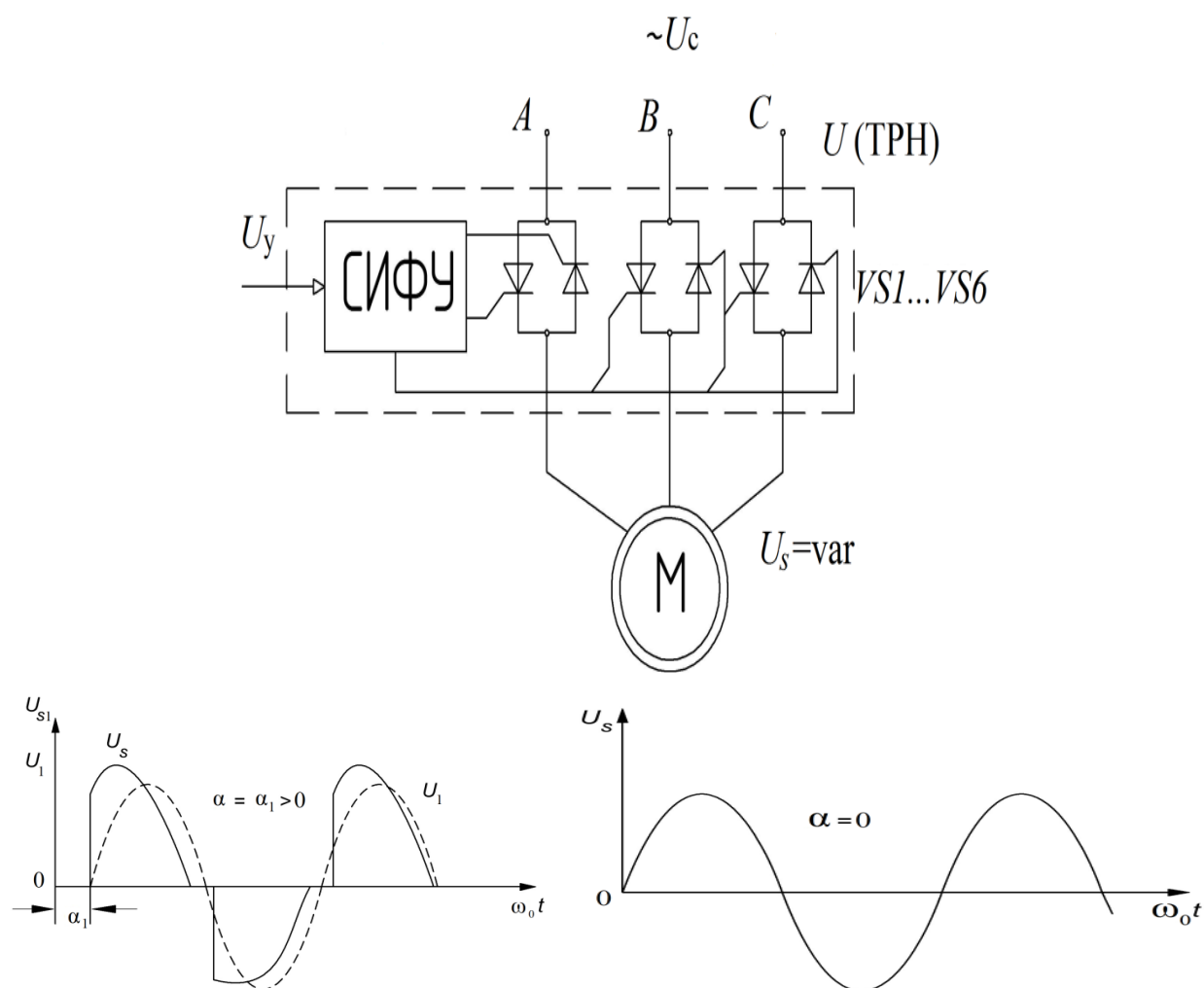
Реттеуге болатын асинхронды қозғалтқыштардың параметрлері: полюстер жұптарының саны, статор беретін кернеудің жиілігі мен амплитудасы, ротор мен статордың кедергісі.

Асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығын кернеуді өзгерту арқылы реттеу үшін салыстырмалы түрде қарапайым техникалық құралдар қолданылады. Осы мақсатта $U_c = \text{const}$ стандартты кернеуі бар айнымалы ток желісі арасында (сурет-11) және қозғалтқыш кернеу реттегішін (КР) орнатады, оның шығу кернеуі $U_s = \text{var } U_y$ басқару сигналын беру арқылы реттеледі. РН ретінде әртүрлі құрылғыларды қолдануға болады – магниттік күшейткіштер, автотрансформаторлар, тиристорлық кернеу реттегіштері (ТКР). Қазіргі уақытта ТКР жақсы массалық көрсеткіштер мен жоғары тиімділікке байланысты ең көп таралған.



Сурет 2.7 - АҚ және кернеу реттегіші бар жетектің функционалдық схемасы

ТКР симметриялы және асимметриялы болып бөлінеді. Қан қысымының әр фазасында симметриялы ТКР (сурет-2.7, а) қарама-қарсы параллель қосылған тиристорлардың жұбы (VS1...VS6) немесе СИФТЕН басқарылатын бір симмистор орнатылады. Мұнда тұрақты токтың клапан жетегінде қолданылатын бірдей басқару принципі қолданылады, атап айтқанда: тиристорлардың ашылу моментінің нөлдік нүктеге қатысты өзгеруі. $\alpha = 0$ кезінде (сурет-2.7, б) тиристорлар толығымен ашық және желінің кернеуі АҚ-ға қолданылады. $\alpha = \alpha_1 > 0$ кезінде оң және теріс полярлықтың синусоидалық бөлімдерінен тұратын U_s кернеуі АҚ-ға қолданылады. Мұндай кернеудің жеңілдетілген түрі 2.7-в суретте көрсетілген, осы U_1 кернеуінің алғашқы гармоникасының кернеуі де көрсетілген.



Сурет 2.8 - Тиристорлы кернеу ретегішінің (а) схемасы және реттеу бұрышының әртүрлі мәндеріндегі АҚ статорындағы кернеу нысаны (б, в)

Қозғалтқыштың жұмсақ табиғи сипаттамасы болуы тиіс. Жылдамдық деңгейі жиынтыққа берілген тапсырманың кернеу мәнімен анықталады. Кері байланыс кернеуі тахогенератордан жылдамдық бойынша беріледі. U_3 және $U_{тг}$ тапсырмасының кернеулерін салыстыру нәтижесінде U_y импульсті-фазалық басқару жүйелерінің басқару кернеуі пайда болады. Басқару кернеуі неғұрлым көп болса, тиристорлардың ашылу бұрышы соғұрлым аз болады, сондықтан қозғалтқыштың кернеуі соғұрлым жоғары болады. Білікке жүктеме өзгерген кезде жылдамдық өзгереді, бұл $U_{тг}$, U және α өзгеруіне әкеледі, демек, қозғалтқыш статорының кернеуі. U_3 кернеуінің шамасын өзгерту арқылы қажетті деңгей алуға болады. 1:10 реттеу диапазоны жақсы тұрақты және тегіс болуы мүмкін. Орнату жиілікке қарағанда әлдеқайда арзан, бірақ қозғалтқыштың жұмсақ сипаттамаларына ие болу керек, ал төмен жылдамдықта роторда өте үлкен шығындар пайда болады, бұл машинаның қызып кетуіне әкелуі мүмкін. Бұл схемалар төмендетілген жылдамдықты

салыстырмалы түрде қысқа мерзімді алу үшін қолданылады. Қазіргі уақытта олар тек қозғалтқыштарды тегіс іске қосу құрылғыларында қолданылады.

2.2 Ауыстыру схемасы және тұрақты ток машиналарының электр күйінің теңдеулері

Электромагниттік процестерді және тұрақты ток машиналарының сипаттамаларын есептеу және талдау үшін машинаны электрлік ауыстыру схемасы мен электр күйінің тиісті теңдеулері арқылы модельдеу қажет.

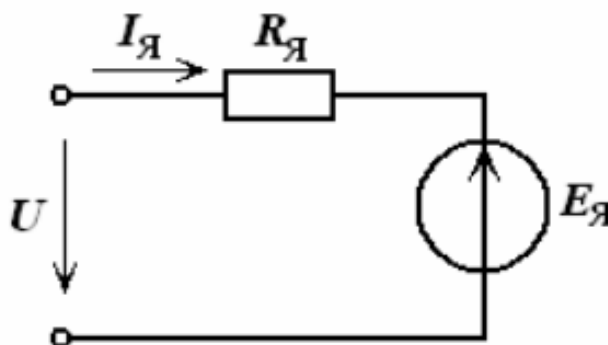
Ауыстыру схемасын жасау кезінде ТТМ якорінде болатын негізгі процестерді көрсету қажет. Атап айтқанда, якорь орамасы соңғы өлшемді сымнан жасалған (диаметрі мен ұзындығы) белгілі бір белсенді $R_{\text{я}}$ кедергісі бар. Бұл якорь орамасындағы кернеудің төмендеуіне және генераторда да, қозғалтқышта да жылу түрінде энергияның қалпына келтірілмейтін жоғалуына әкеледі. Якорь орамасының кедергісі $R_{\text{я}}$ кедергісі бар идеалды резистормен алмастыру тізбегінде ескеріледі.

Тұрақты ток қозғалтқышында якорь оның орамасында айналған кезде, токқа бағытталған және қолданылатын кернеуді ішінара теңестіретін ЭМӨ индукцияланады. Бұл ЭҚК идеалды көзін алмастыру схемасына енгізу арқылы ескеріледі. Осылайша, қозғалтқыш якорының орамасына қолданылатын көздің кернеуі кедергісіндегі $R_{\text{я}}$ кернеудің төмендеуімен және кері ЭҚК $E_{\text{я}}$ шамасымен теңестіріледі:

$$U = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} R_{\text{я}}, \quad (2.10)$$

(2.9) теңдеу тұрақты ток қозғалтқышының якорь тізбегінің электрлік күйінің теңдеуі деп аталады.

Электр күйінің осындай теңдеуіне сәйкес келетін алмастыру схемасы 2.8-суретте көрсетілген.



Сурет 2.9 - Тұрақты ток қозғалтқышының ауыстыру схемасы

(2.9) теңдеудің екі бөлігін де $I_{\text{я}}$ тоқына көбейтіп, тұрақты ток қозғалтқышының қуат теңдеуін аламыз:

$$UI_{\text{я}} = E_{\text{я}}I_{\text{я}} + I_{\text{я}}^2R, \quad (2.11)$$

$$\text{немесе } P_{\text{эл}} = \Delta P_{\text{я}} + P_{\text{эм}}. \quad (2.12)$$

мұндағы $P_{\text{эл}} = UI_{\text{я}}$ -электр энергиясы көзінен қозғалтқыш зәкірі тұтынатын электр қуаты;

$\Delta P_{\text{я}} = I_{\text{я}}^2R$ – якорь орамасындағы электр қуатының жоғалуы;

$P_{\text{эм}} = E_{\text{я}}I_{\text{я}}$ – механикалық энергияға түрлендірілетін қозғалтқыштың электромагниттік қуаты.[9]

2.3 Тұрақты ток қозғалтқышының механикалық сипаттамасы

Қозғалтқыш білігіне жүктеме моментінің өзгеруімен оның жұмыс режимі өзгереді. Бұл айналу жиілігін өзгертеді. N - нің білік жүктемесінің моментіне тәуелділігі қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы ($n=f(M)$) деп аталады.

Бұл тәуелділікті талдау үшін якорь орамасының ЭМӨ , электромагниттік момент және тұрақты ток қозғалтқышының якорь тізбегінің электрлік күйінің теңдеуін анықтайтын аналитикалық өрнектерді қолдану қажет:

$$E_{\text{я}} = C_e \Phi_{\text{в}} n;$$

$$M_{\text{эм}} = C_M I_{\text{я}} \Phi_{\text{в}}; \quad (2.13)$$

$$U = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} R_{\text{я}}.$$

Қозғалтқыш жұмыс істеп тұрған кезде жүктеме кедергісі моменті жоғарылап, қозғалтқыш жасаған сәттен үлкен болды делік. Бұл жағдайда қозғалтқыш баяулайды, яғни. айналу жиілігі төмендейді. Содан кейін теңдеуге сәйкес айналу жиілігіне пропорционал арматура орамасындағы ЭМӨ азаяды. Бұл якорь тогының өзгеруіне әкеледі. Электр күйінің теңдеуіне сүйене отырып,

$$I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}, \quad (2.14)$$

Осылайша, тұрақты кернеу көзі мен якорь тізбегінің кедергісі кезінде айналу жылдамдығының төмендеуі антиэдтердің төмендеуіне және якорь тогының жоғарылауына әкеледі.

сәйкес арматура тогының жоғарылауы қозғалтқыш жасаған электромагниттік моменттің өсуіне әкеледі. Жұмыс режимінің мұндай өзгеруі қозғалтқыштың айналу моменті қарсылықтың тежеу моментіне тең мәнге жеткенге дейін жүреді. Бұл жағдайда қозғалтқыш жаңа тұрақты режимде жұмыс істейді, ол бастапқы жылдамдықтан аз, бірақ момент жоғарылайды.

Сипатталған процесс тұрақты ағынның қозғалтқышының маңызды қасиетін анықтайды-өзін-өзі реттеу, яғни айналу жылдамдығын автоматты түрде өзгерту кезінде жүктеме кедергісінің өзгертін сәтіне тең моментті дамыту мүмкіндігі.

Осылайша, қозғалтқыш білігіндегі m моментінің жоғарылауымен N жылдамдығы төмендейді. Момент пен моменттің арақатынасын сандық бағалау үшін механикалық сипаттаманың аналитикалық өрнегі қолданылады:

$$n = \frac{E_{\text{я}}}{C_e \Phi_{\text{в}}}, \quad (2.15)$$

Электр күйінің теңдеуінен өрнектеп, аламыз:

$$n = \frac{U - R_{\text{я}} I_{\text{я}}}{C_e \Phi_{\text{в}}}, \quad (2.16)$$

Якорь тогы білігіндегі моментпен анықталады:

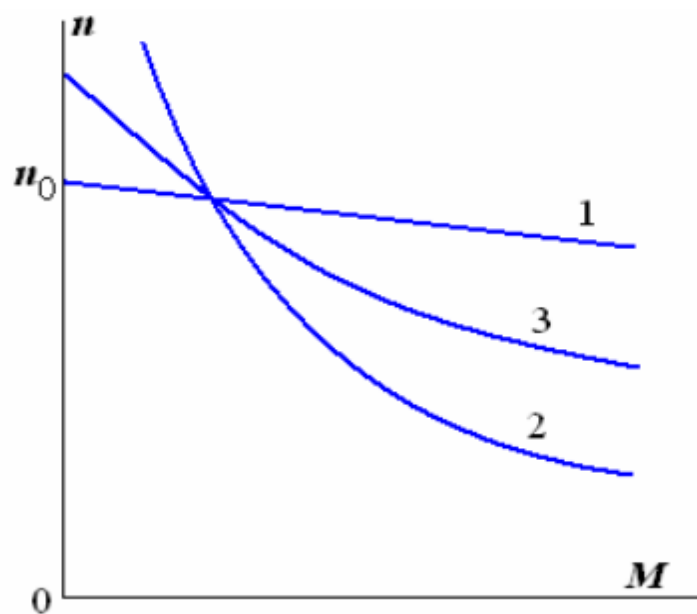
$$I_{\text{я}} = \frac{M}{C_M \Phi_{\text{в}}}, \quad (2.17)$$

Содан кейін механикалық сипаттаманың өрнегі келесідей болады:

$$n = \frac{U}{C_e \Phi_{\text{в}}} - \frac{R_{\text{я}}}{C_e C_M \Phi_{\text{в}}^2} M. \quad (2.18)$$

Көріп отырғандай, тұрақты кернеу көзі мен магниттік ағынмен (қоздыру тогы) қозғалтқыш білігіне m моментінің жоғарылауымен N айналу жиілігі төмендейді.

Механикалық сипаттаманың түрі машинаны қоздыру әдісіне байланысты. Тәуелсіз және параллель қозу кезінде $\Phi_{\text{в}}$ магнит ағыны іс жүзінде өзгермейді және механикалық сипаттаманың графигі түзу сызық түрінде болады.[10]



Сурет 2.10 - Тұрақты ток қозғалтқыштарының механикалық сипаттамалары

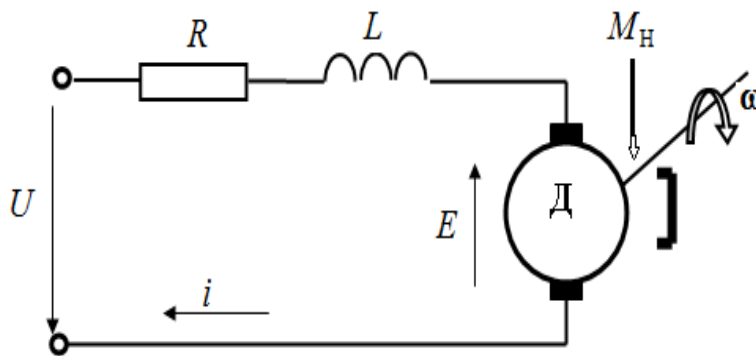
3 МОДЕЛЬДЕУ БӨЛІМІ

3.1 Модель параметрлерін есептеу

Автоматты реттеудің классикалық теориясы беріліс функциялары түрінде элементтер мен жүйелерді ұсынуға негізделген. Сондықтан кез-келген электромеханикалық жүйені зерттеу және жобалау кезінде беріліс функциялары мен жиілік сипаттамаларына негізделген модельдер жиі қолданылады. Мұндай модельдер түрінде жүйелерді ұсыну үшін құрылымдық схема қажет, әр математикалық операция тиісті беріліс функциясы бар белгілі бір сілтемеге сәйкес келеді.

Жүйенің, объектінің немесе элементтің берілу функциясын қатаң математикалық анықтау шығыс және кіріс айнымалыларының кескіндерінің қатынасы ретінде жазуды қажет етеді.

Тұрақты ток қозғалтқышын құрылымдық математикалық модель түрінде ұсыну ретін беріліс функциясының жиынтығы ретінде қарастырылады. Ол үшін тәуелсіз қозудың тұрақты ток қозғалтқышын ауыстыру схемасын қолданамыз (сурет-3.1).



Сурет 3.1 - Магнитоэлектрлік қозуы бар тұрақты ток қозғалтқышын ауыстыру схемасы

Қоздырушы және басқарушы әсері бойынша беріліс функцияларын анықтаймыз. Қозғалтқыш якорь тізбегінің кедергісімен R және индуктивтілігімен L анықталады. Қозғалтқыштың кірісіне кернеуі U (басқару) беріледі. Қозғалтқыш бұрыштық жиілікпен ω айналғанда, E айналу ЭМӨ пайда болады, ал M_H (ауытқу) жүктеме моменті электр қозғалтқышының білігіне әсер етеді. Қозғалтқыш M_d моментін дамытады. Шығыс мәніне біліктің бұрыштық айналу жиілігі ω алынады.

Қозғалтқыш келесі тендеулер жүйесіне сәйкес келеді.

$$\begin{cases} U = E + iR + Ldi / dt, \\ Jd\omega / dt = M_{\dot{a}} - \dot{I}_i, \\ M_{\dot{a}} = ci, \\ E = c\omega, \end{cases} \quad (3)$$

мұндағы c -тұрақты конструктивтік коэффициент (байланыс коэффициенті).

(3) теңдеулер жүйесін келесі түрде ұсынуға болады:

$$\begin{cases} U = E + (R + pL)I, \\ Jp\omega = M_{\dot{a}} - \dot{I}_i, \\ M_{\dot{a}} = cI, \\ E = c\omega. \end{cases} \quad (3.1)$$

Теңдеулер жүйесін (3.1) алгебралық жүйе ретінде қарастыруға болады. Беру функцияларын шығару үшін (3.1) теңдеулер аралық шамаларды алып тастау арқылы бір теңдеуге келтіріледі, ал барлық айнымалылар Лаплас бойынша олардың кескіндерімен ауыстырылады:

$$U \rightarrow U(p), I \rightarrow I(p), \omega \rightarrow \omega(p), M_n \rightarrow M_n(p), M_d \rightarrow M_d(p), E \rightarrow E(p).$$

$W_u(p)$ басқару үшін беріліс функциясын анықтаған кезде $M_n(p) = 0$ деп болжау керек, ал $W_b(p)$ ауытқу үшін беріліс функциясын анықтаған кезде $U(p) = 0$ деп болжау керек.

Көрсетілген әрекеттер тізбегін аяқтағаннан кейін біз аламыз:

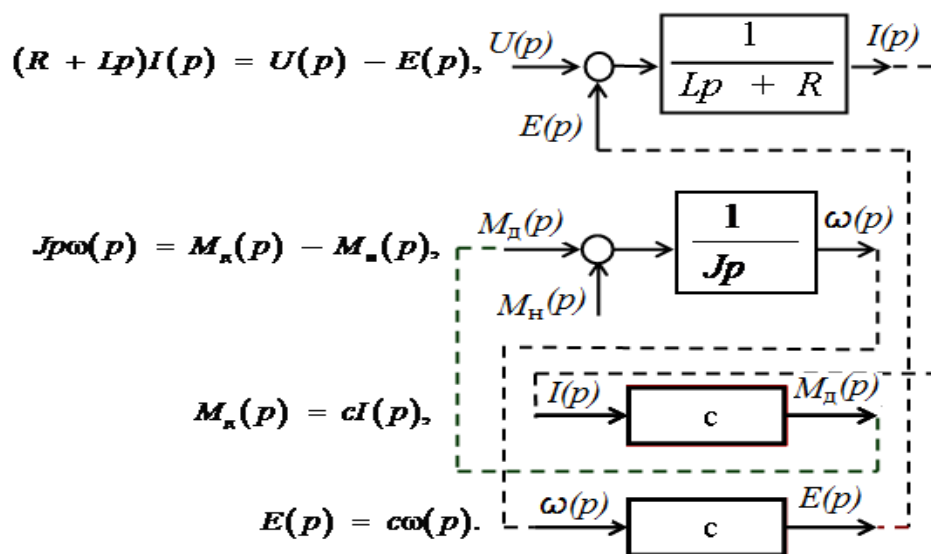
$$W_o(p) = \frac{\omega(p)}{U(p)} = \frac{c}{JLp^2 + JRp + c^2} = \frac{K_1}{\dot{O}_{\dot{y}} \dot{O}_{\dot{i}} \delta^2 + \dot{O}_{\dot{i}} \delta + 1}, \quad (3.2)$$

$$W_{\dot{a}}(\delta) = \frac{\omega(p)}{M_{\dot{i}}(\delta)} = \frac{Lp + R}{JLp^2 + JRp + c^2} = \frac{K_2(\dot{O}_{\dot{y}} \delta + 1)}{\dot{O}_{\dot{y}} \dot{O}_{\dot{i}} \delta^2 + \dot{O}_{\dot{i}} \delta + 1}, \quad (3.3)$$

$$\text{мұндағы } T_{\dot{y}} = L / R; T_{\dot{m}} = JR / c^2; K_1 = 1 / c; K_2 = R / c^2.$$

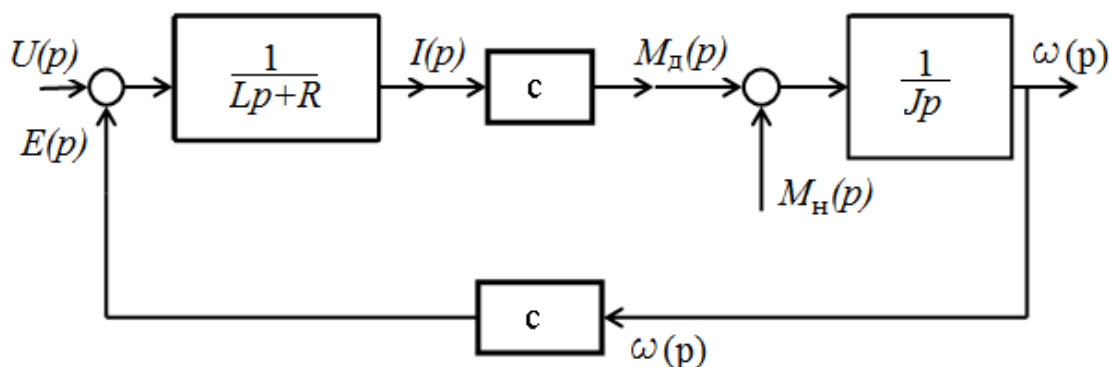
Егер аралық шамаларды сақтай отырып, электр жетегінің егжей-тегжейлі құрылымдық сызбасын жасау қажет болса, онда теңдеулер жүйесін (3.1) бір теңдеуге түрлендіру орындалмайды, ал әр теңдеудің өзіндік берілу функциясы бар. Біз теңдеулер жүйесін сол жақтағы теңдеулердің әрқайсысында Шығыс

мәні, ал оң жағында кіріс әсерлері болатындай етіп жазылады және беріліс функцияларын анықталынады (сурет-3.2).



Сурет 3.2 - Беріліс функциясын анықтау схемасы

Аралық айнымалылардың әрқайсысы теңдеулер жүйесіне екі рет кіреді, оның біріншісінде кіріс ретінде, ал екінші рет шығыс ретінде. Сол атаудағы кіріс және шығыс мәндерін (нүктелі сызықтар) біріктіре отырып, біз қозғалтқыштың құрылымдық схемасын алынады. Реттелген түрде ол 3.2-суретте көрсетілген.

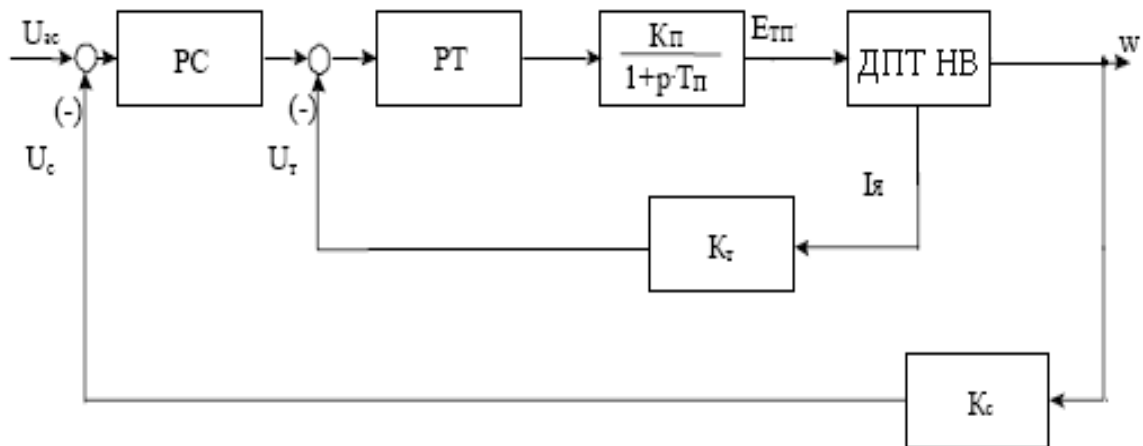


Сурет 3.3 - Тұрақты ток қозғалтқышының құрылымдық схемасы

Тұрақты ток қозғалтқышын тәуелсіз қоздыру айналу жиілігін бағынышты реттеу жүйесі

Бағынышты басқару жүйелері жабық басқару жүйесінің шығыс координатасын автоматты түрде реттеуге және тұрақтандыруға арналған. Тұрақты ток электр жетегі жағдайында қозғалтқыш білігінің айналу жиілігі шығыс айнымалы ретінде әрекет етеді.

Тұрақты ток қозғалтқышының жылдамдығын автоматты басқару жүйесі әдетте ток пен жылдамдықтың теріс кері байланысы бар қос тізбекті құрылымда жүзеге асырылады (сурет-3.4).



Сурет 3.4 - Ток пен жылдамдықтың теріс кері байланысы бар қос тізбекті құрылымы

Басқару жүйесінің ұқсас құрылымы "бағынышты" деп аталды, өйткені онда тізбектердің бірі (якорь тогының ішкі тізбегі) қозғалтқыштың жылдамдығын басқарудың сыртқы тізбегіне бағынады.

Реттеу контурларын оңтайландыруды (реттегіш коэффициенттерін баптау) ішкіліден сыртқыға рет-ретімен жүргізеді.

Жылдамдық реттегішін пропорционалды немесе пропорционалды-интегралды құрылым бойынша жасауға болады. Көрсетілген жағдайларда қозғалтқыш жылдамдығын реттеу сапасының әртүрлі көрсеткіштері байқалатын болады.

П-жылдамдық реттегішінің күшейту коэффициенті мына формула бойынша есептеледі:

$$W_{pc}(p) = k_{pc} = \frac{J_{\Delta} \cdot k_T}{c \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T}}, \quad (3.4)$$

мұндағы a_c —2-жылдамдық контурын оңтайландыру коэффициенті;

J_{Δ} —қозғалтқыш білігіне келтірілген баламалы инерция моменті (қозғалтқыш білігінің инерциясының екі еселенген моментін қабылдаймыз);

$k_T = \frac{U_{pc, макс}}{I_{\Delta, макс}}$ — ток бойынша кері байланыс коэффициенті.

ПИ-жылдамдық реттегішін қолданған жағдайда:

$$W_{pc}(p) = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p} \quad (3.5)$$

Күшейткіш коэффициенті сол күйінде қалады, ал уақыт тұрақтысы тең болады:

$$T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot a_T \cdot T_{\mu T}. \quad (3.6)$$

Бұл ретте жылдамдық контурының шығуында үлкен қайта реттеу байқалады (шамамен 43 %). Оны азайту үшін бірінші ретті апериодтық сүзгі жүйенің кірісіне жылдамдық реттегішінің тұрақты уақытына тең тұрақты уақытпен орнатылады:

$$W_{ф.вх}(p) = \frac{1}{T_{ф.вх} \cdot p + 1} = \frac{1}{T_{pc} \cdot p + 1}. \quad (3.7)$$

MATLAB Simulink бағдарламалық ортасында жылдамдық реттегішін орнатудың екі жағдайы да қарастылады.

Басқару жүйесінің параметрлерін есептейміз. Якорь тізбегінің уақыт тұрақтысы:

$$T_z := \frac{L}{R}$$

$$T_z = 6.949 \times 10^{-3}$$

Электржетектің баламалы инерция моменті:

$$J := 2 \cdot J_{dv}$$

$$J = 0.036$$

Кілттерді ауыстыру жиілігін орнатыңыз (опция бойынша) және тиристор түрлендіргішінің тұрақты уақытын есептеңіз:

$$F_{komm} := 1000$$

$$T_{tp} := \frac{1}{2 \cdot F_{komm}}$$

$$T_{tp} = 5 \times 10^{-4}$$

Түрлендіргіштің күшейту коэффициенті:

$$K_{tp} := \frac{c \cdot 1.5 \cdot w}{10}$$

$$K_{tp} = 31.28$$

Ток бойынша кері байланыс коэффициенті:

$$K_t := \frac{10}{2 \cdot I_n}$$

$$K_t = 0.446$$

Ток реттегішінің күшейту коэффициенті:

$$K_{rt} := \frac{T_z \cdot R}{K_{tp} \cdot K_t \cdot 2 \cdot T_{tp}}$$

$$K_{rt} = 0.51$$

Ток реттегішінің уақыт тұрақтысы:

$$T_{rt} := T_z$$

$$T_{rt} = 6.949 \times 10^{-3}$$

Жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенті:

$$K_c := \frac{10}{w}$$

$$K_c = 0.03$$

Жылдамдық реттегішінің пайдасы:

$$K_{rc} := \frac{J \cdot K_t}{c \cdot K_c \cdot 2 \cdot 2 \cdot T_{tp}}$$

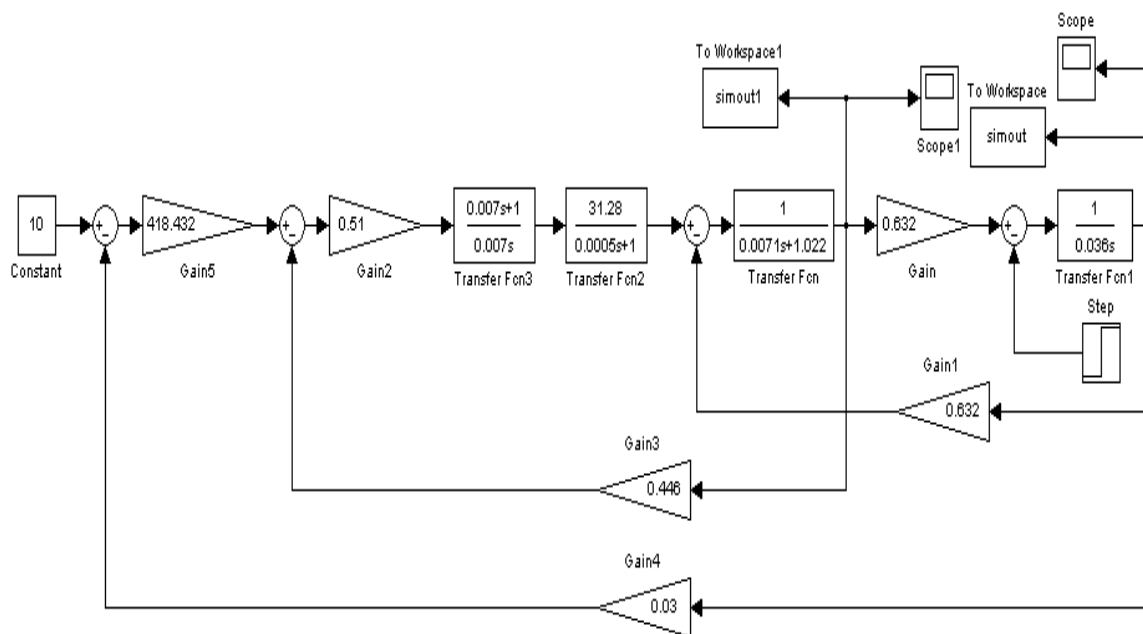
$$K_{rc} = 418.432$$

Тұрақты уақыты реттеуші жылдамдығы:

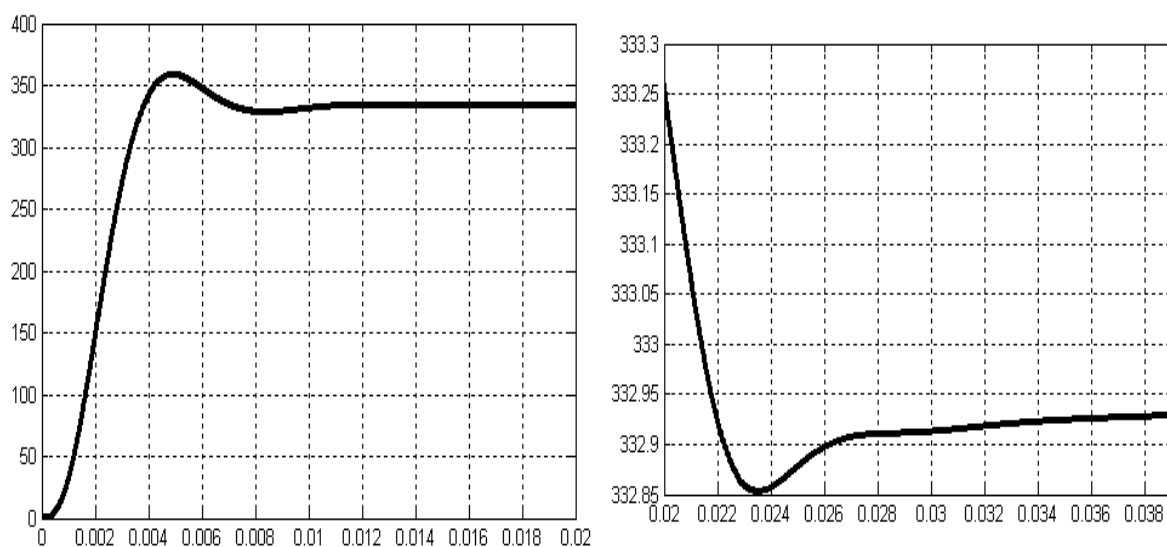
$$T_{rc} := 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot T_{tp}$$

$$T_{rc} = 4 \times 10^{-3}$$

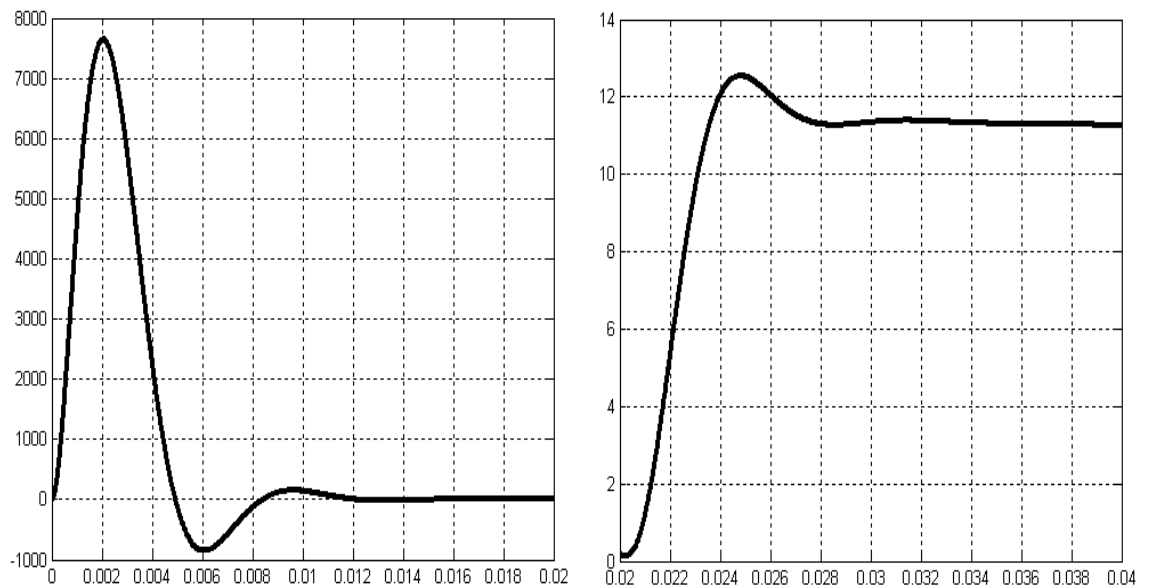
3.2 MATLAB ортасында зерттеу нәтижелері



Сурет 3.5 - П-жылдамдық реттегіші бар қос контурлы АБҚ моделі



Сурет 3.6 - Номиналды жүктемені іске қосу және сызу кезінде П-жылдамдық реттегіші бар АБЖ-дағы жылдамдықтың өтпелі процестері

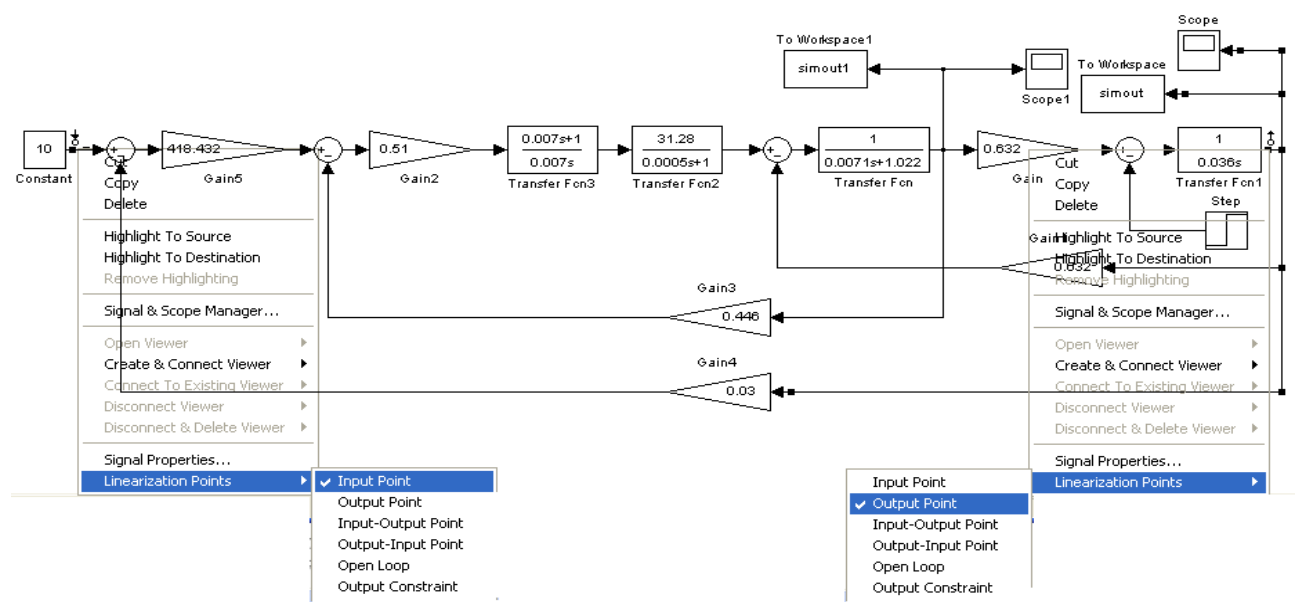


Сурет 3.7 - Ауыспалы процестер номиналды жүктемені іске қосу және сызу кезінде П-жылдамдық реттегіші бар АБЖ-дағы якорь тогы

Графиктерден П-жылдамдық реттегіші бар жүйенің салыстырмалы түрде аз түзетілгені байқалады, бірақ жүктеме түсірілгенде жылдамдықта статикалық қате пайда болады.

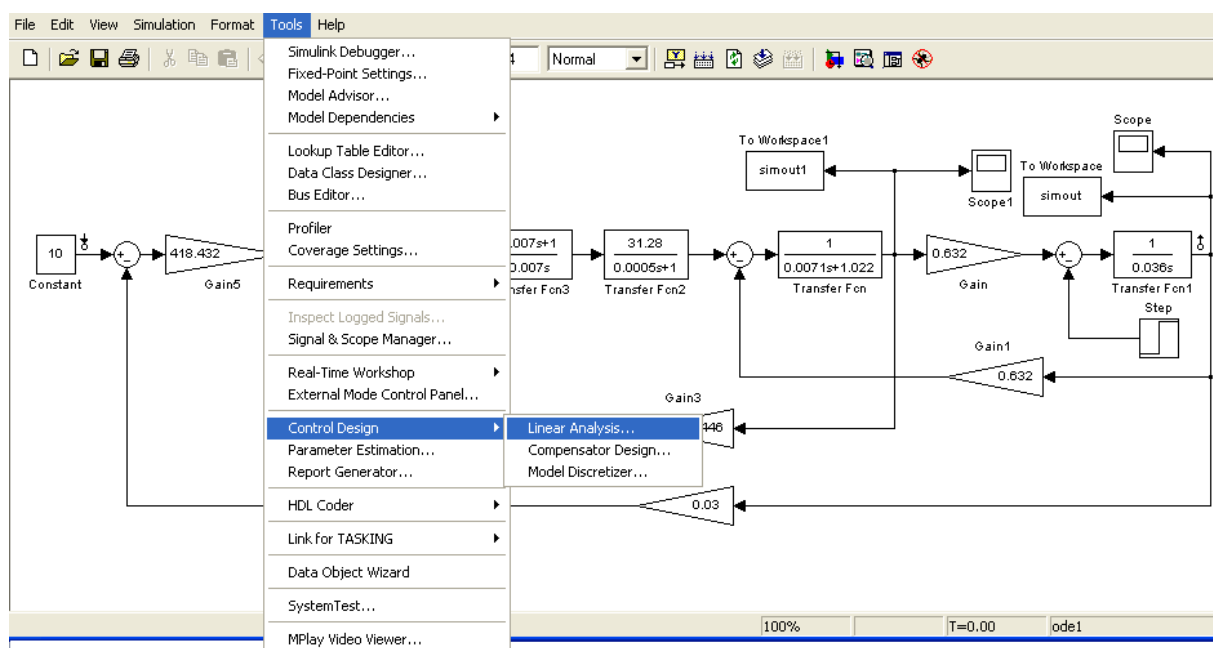
Сапа көрсеткіштерін автоматты түрде анықтау үшін MATLAB Simulink сызықтық жүйелерді талдау құралдарын қолданылады.

Бастау үшін қажетті аймақты тінтуірдің оң жақ батырмасымен басу арқылы жүйенің кірістері мен шығуларын тағайындалынады.[11]

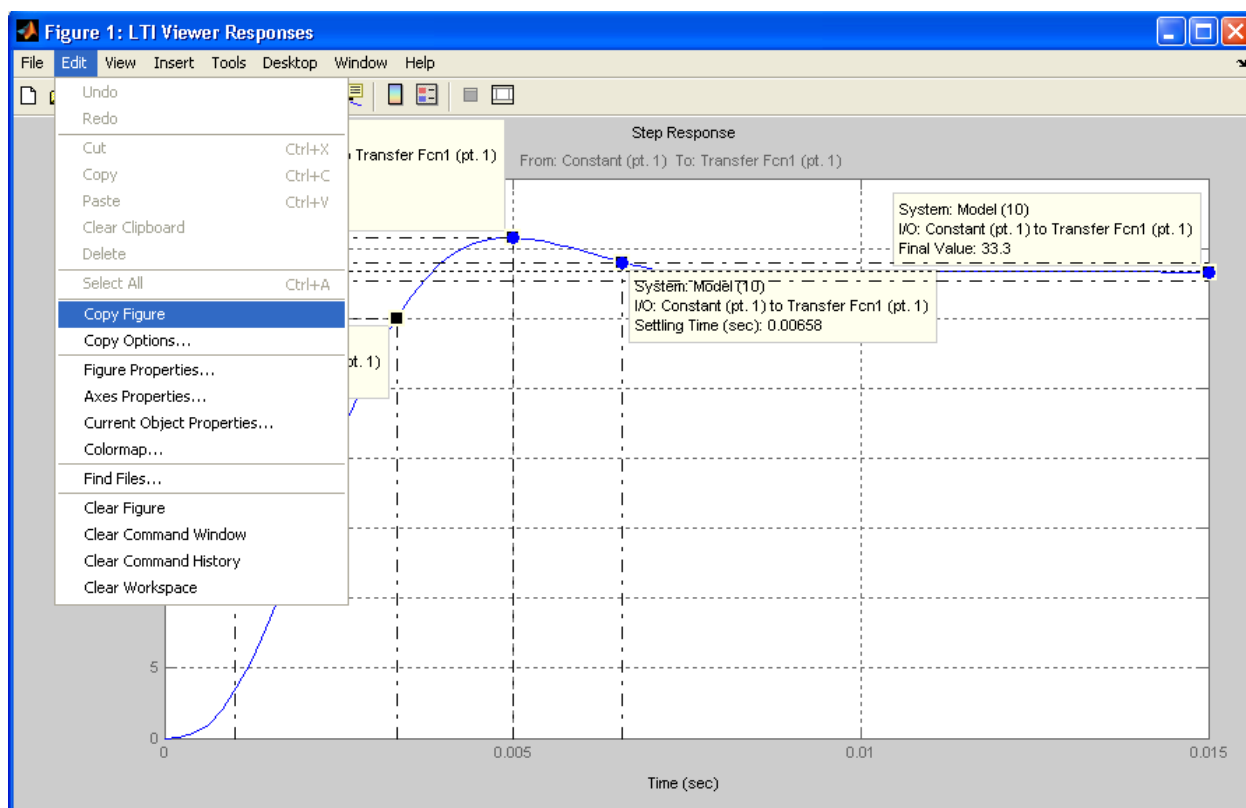


Сурет 3.8 – Жүйенің кірістері мен шығыстарын тағайындау

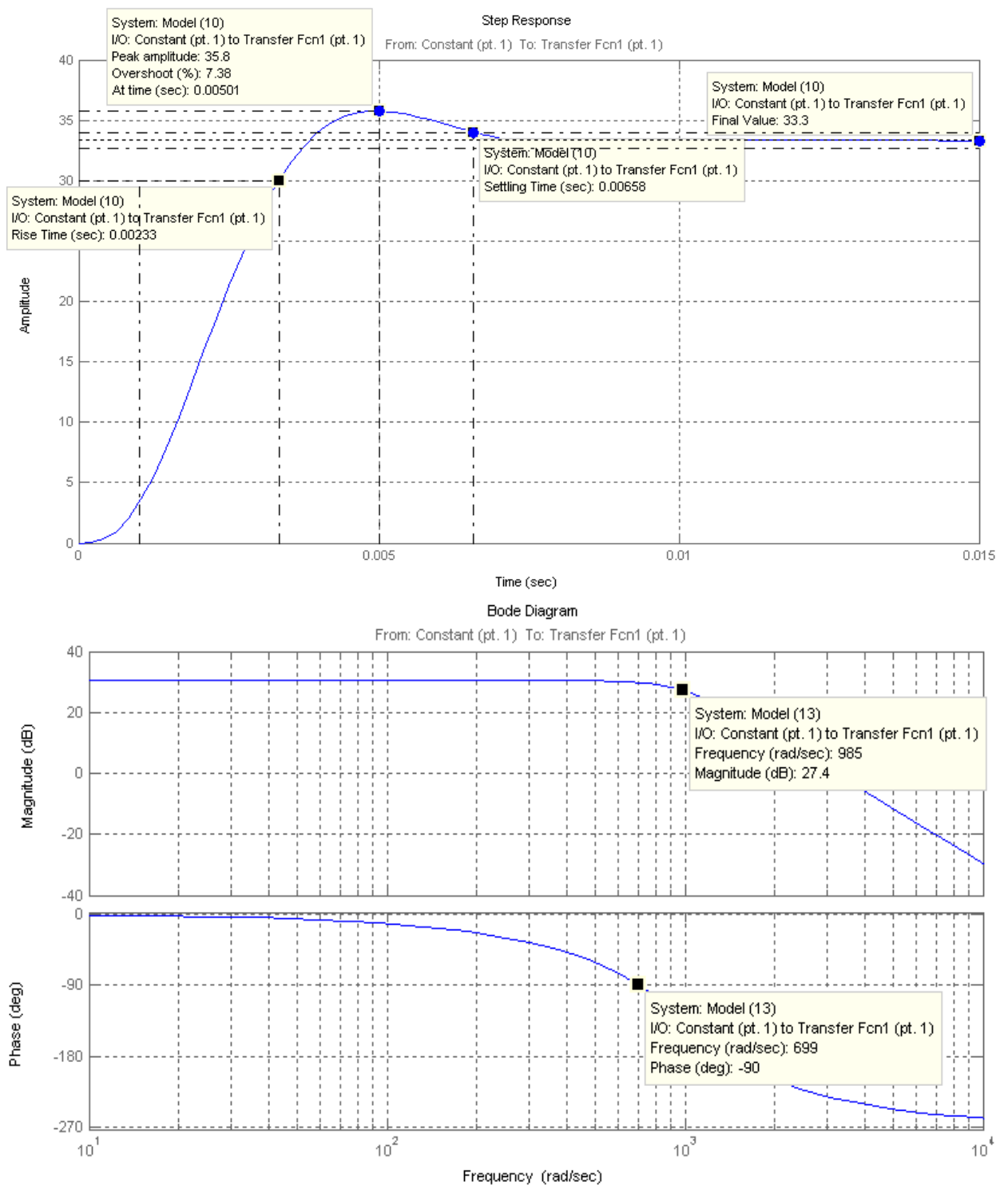
Содан кейін басқару дизайнынан сызықты талдау таңдалынады:



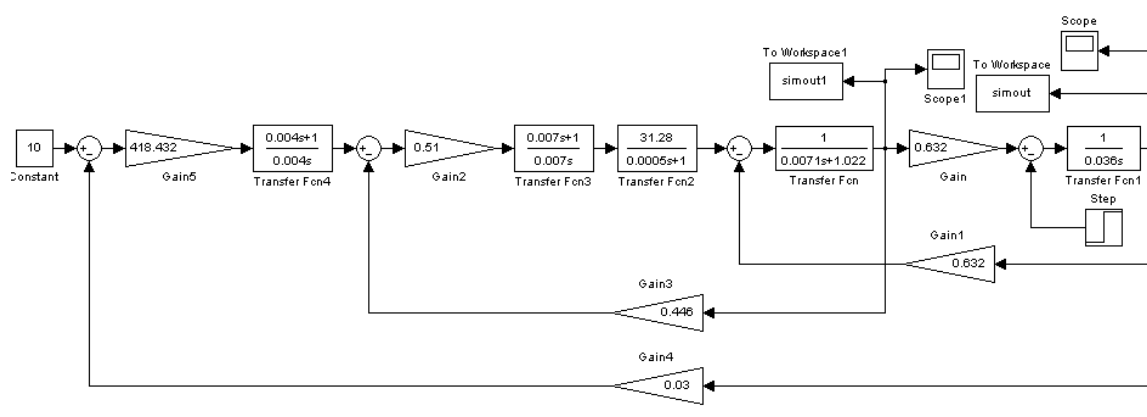
Сурет 3.9 – Жүйені сызықты талдау



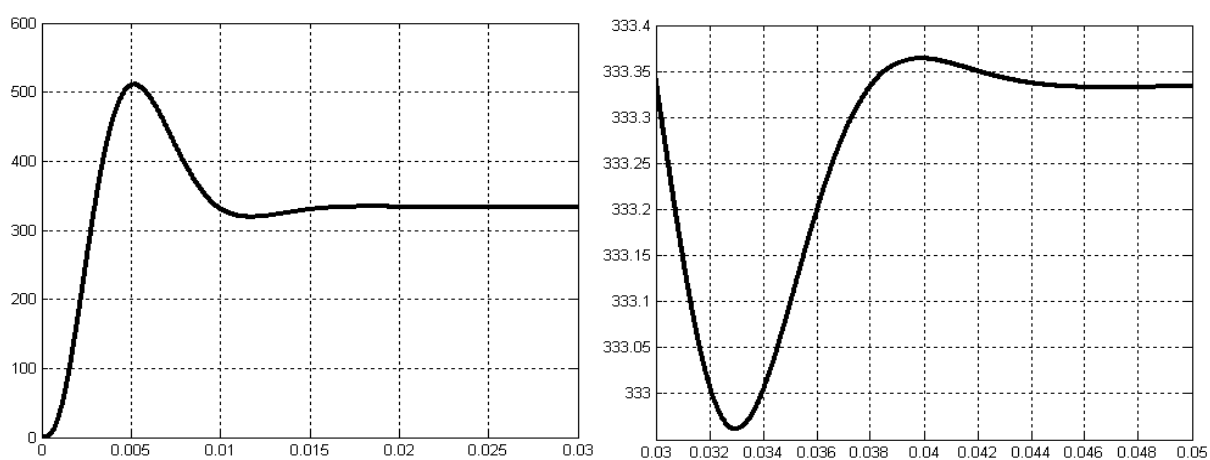
Сурет 3.10 – Сызықты талдаудың нәтижесі



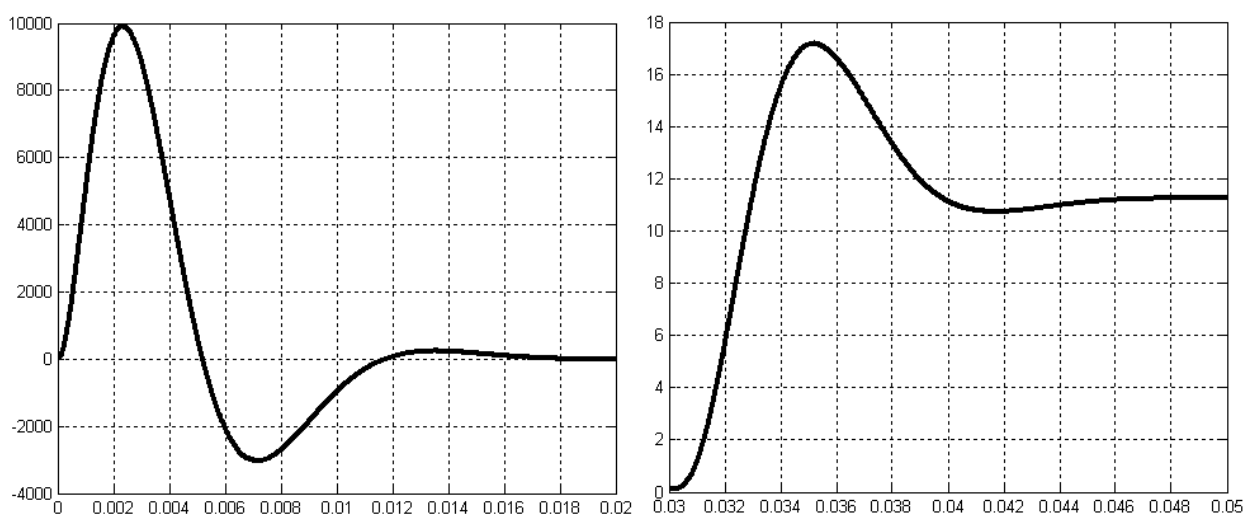
Сурет 3.11 – Жүйенің жиілік сипаттамалары



Сурет 3.12 - Пи-жылдамдық реттегіші бар қос контурлы АБЖ моделі

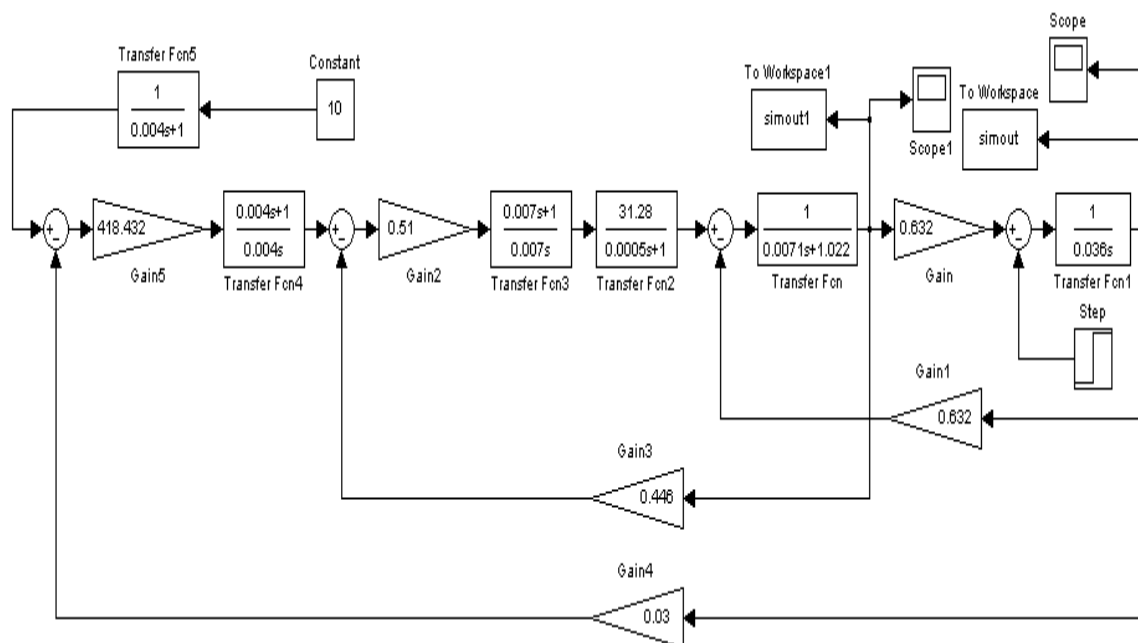


Сурет 3.13 - Номиналды жүктемені іске қосу және сызу кезінде жылдамдықты Пи реттегіші бар АБЖ-дағы жылдамдықтың өтпелі процестері

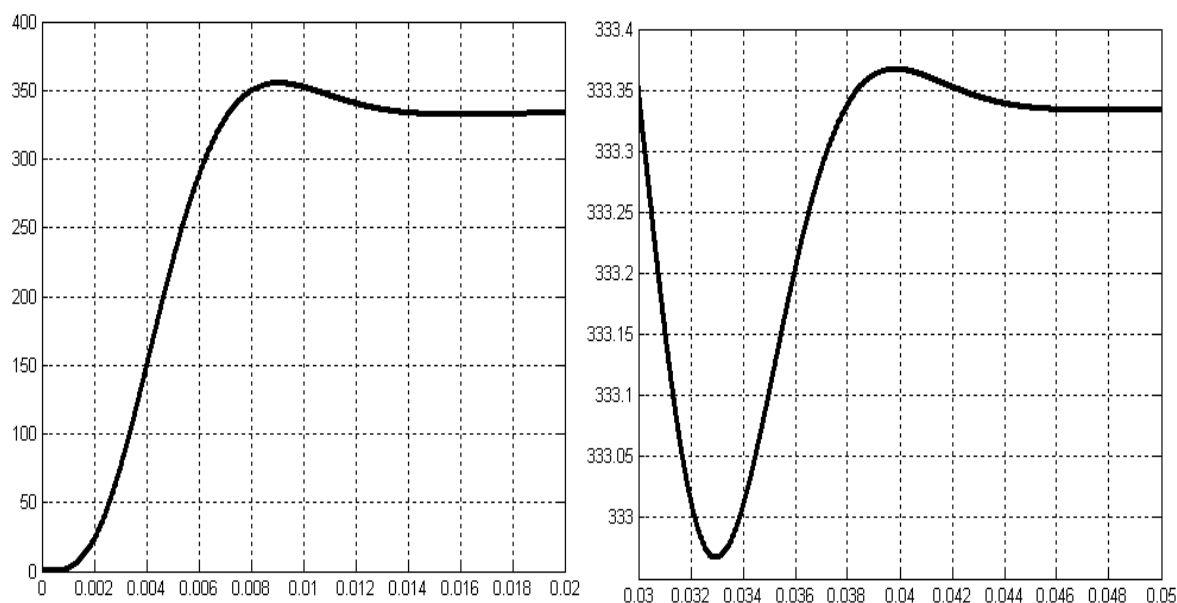


Сует 3.14 - Ауыспалы процестер номиналды жүктемені іске қосу және сызу кезінде жылдамдықты Пи реттегіші бар АБЖ-дағы якорь тогы

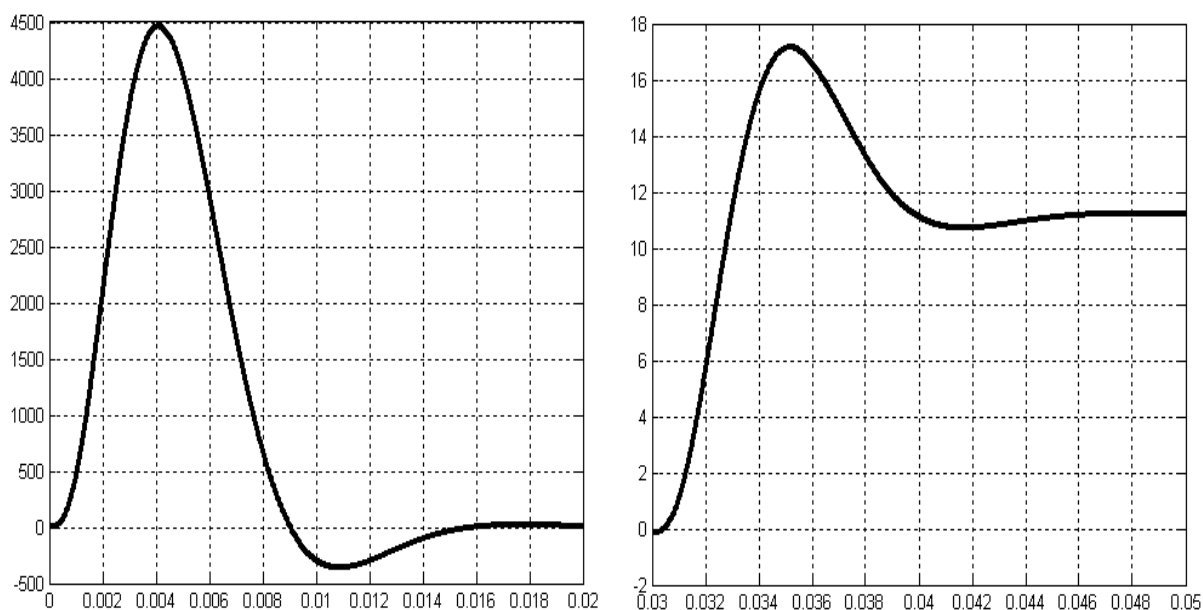
ПИ-жылдамдық реттегіші бар АБЖ-да жүктеме кезіндегі жылдамдық бойынша статикалық қате интегралды компоненттің есебінен жойылады, алайда жүйеде процестер үлкен қайта реттеумен жүреді. Бұл кемшілікті жою үшін біз электр жетегінің кірісіне аperiodтық сүзгіні орнатамыз.



Сурет 3.15 - Кіре берісте Пи-жылдамдық реттегіші және аperiodтық сүзгісі бар қос контурлы АБЖ имитациялық моделі

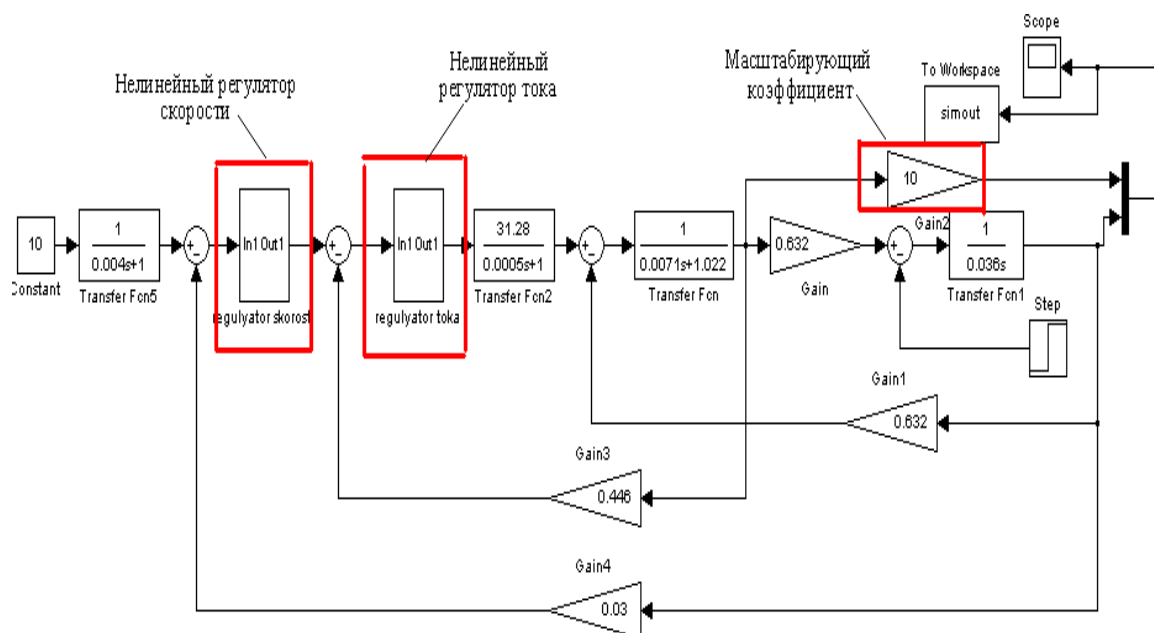


Сурет 3.16 - Номиналды жүктемені іске қосу және сызу кезінде ПИ-жылдамдық реттегіші және кіріс сүзгісі бар АБЖ-дағы жылдамдықтың өтпелі процестері

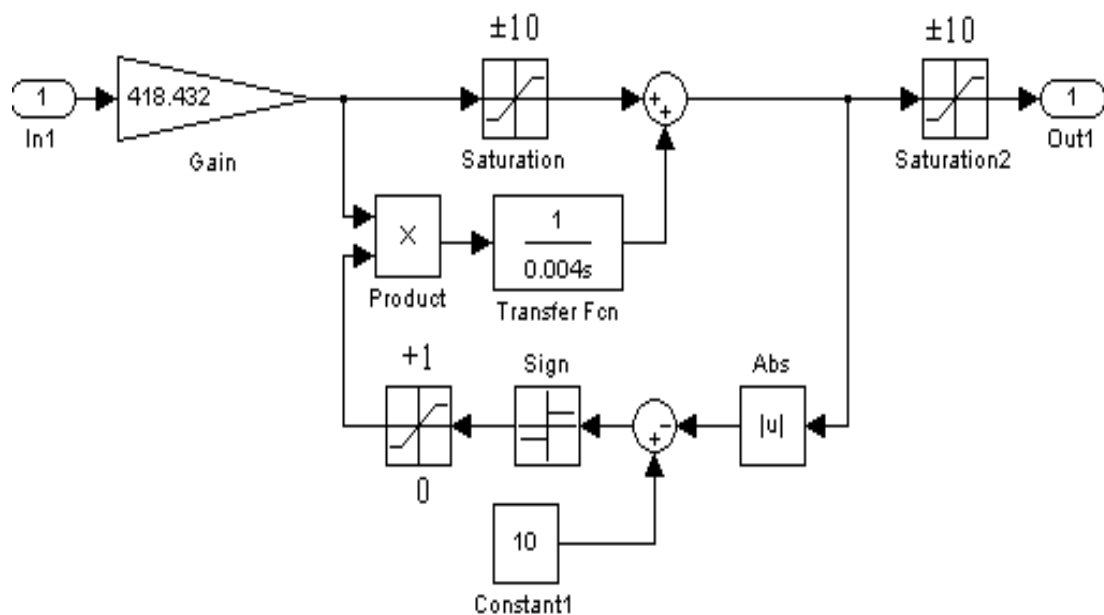


Сурет 3.17 - Ауыспалы процестер номиналды жүктемені іске қосу және сызу кезінде ПИ-жылдамдық реттегіші және кіріс сүзгісі бар АБЖ-дағы якорь тогы

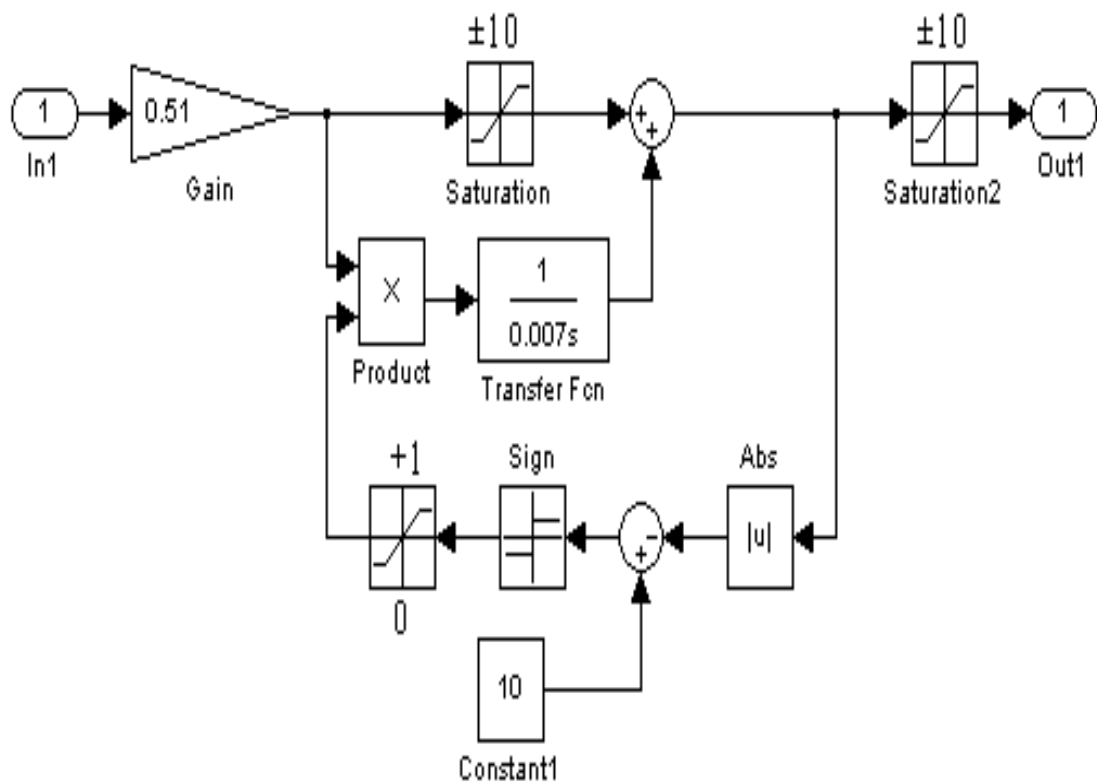
Модельдеу нәтижелері іске қосу кезінде токтың үлкен лақтырылуын көрсетеді. Іс жүзінде ток пен жылдамдықты реттегіштердің шығыс кернеулері қажетті деңгейде шектеледі. Бұл модельде реттегіштердің шығуын ± 10 В деңгейінде шектейміз, өйткені максималды күйге келтіру кезінде дәл осындай мән алынды.



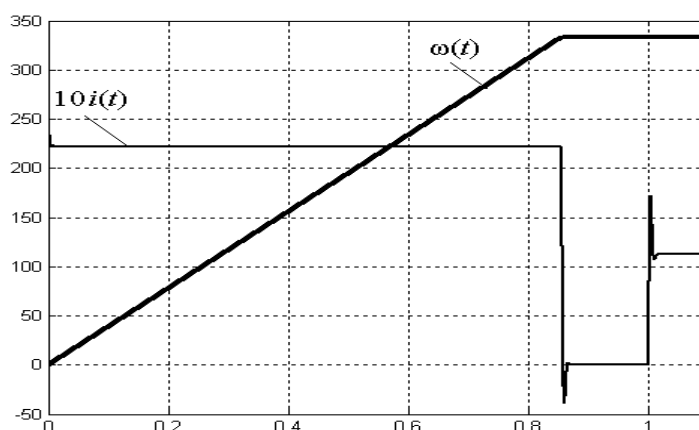
Сурет 3.18 - Сызықтық емес басқару жүйесінің моделі



Сурет 3.19 - Сызықтық емес жылдамдық реттегішінің моделі



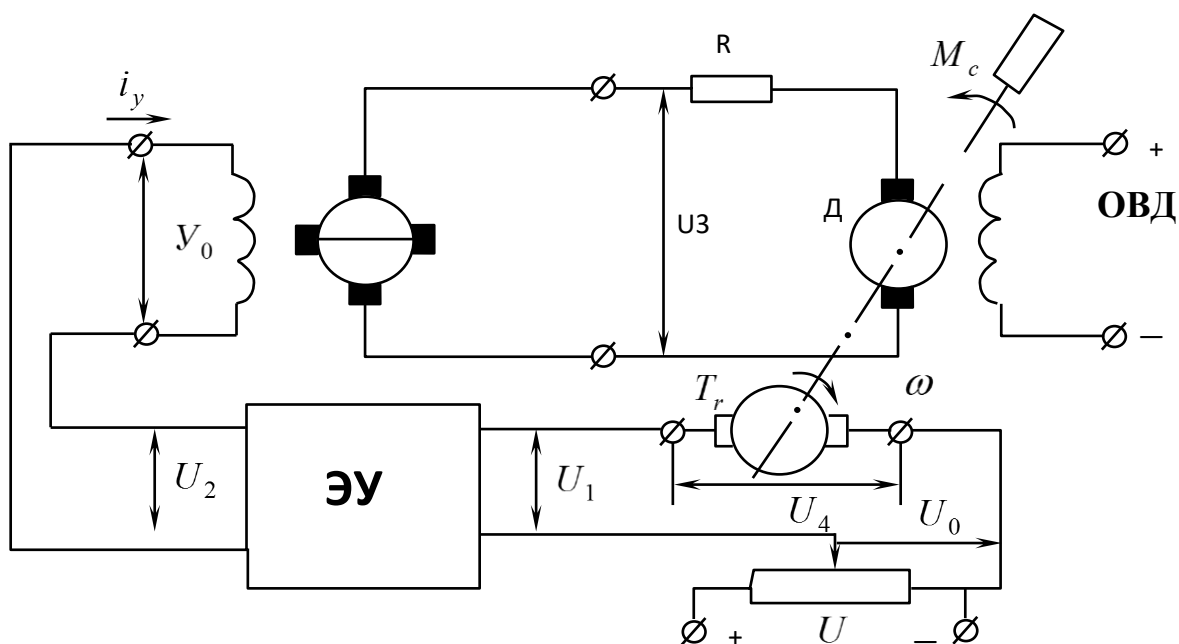
Сурет 3.20 - Сызықты емес ток реттегішінің моделі



Сурет 3.21 - Жылдамдыққа максималды тапсырма кезінде сызықты емес АБЖ-дағы өтпелі процестер

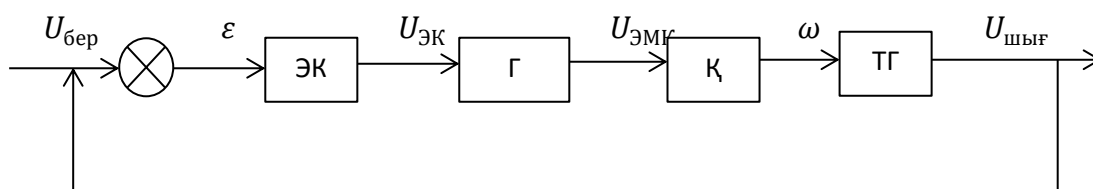
3.3 Қозғалқыштың басқару жүйесін MATLAB ортасында зерттеу

Қозғалқыштың басқару жүйесінің принципіалды схемасын төменгі суретте көрсетілеген.

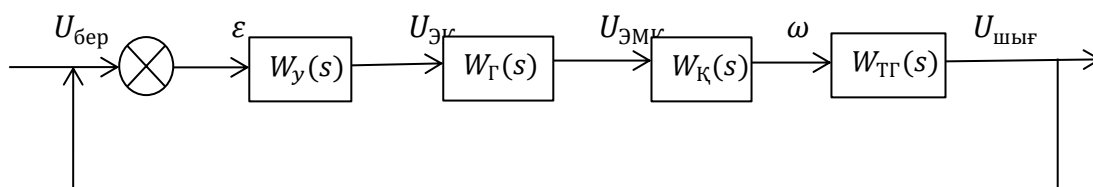


ЭК - электрондық күшейткіш; БО-ЭМК басқару орамасы;
ЭМК-электр машина күшейткіші; Д-қозғалтқыш; Тг-тахогенератор;
П-потенциометр.

Сурет 3.22 - Қозғалтқышты басқару жүйесінің принципіалды сұлбасы



Сурет 3.23 - Қозғалтқыштың айналу жиілігін басқару жүйесінің функционалдық схемасы



Сурет 3.24 - Қозғалтқыштың айналу жиілігін басқару жүйесінің құрылымдық схемасы

Осы жерден әр буынның беріліс функциялары:

$$W_y(s) = k_y; \quad (3.10)$$

$$W_\Gamma(s) = \frac{k_\Gamma}{(T_\Gamma + s)}; \quad (3.11)$$

$$W_K(s) = \frac{k_K}{(T_\Gamma + s)(T_M + s)}; \quad (3.12)$$

$$W_{ТГ}(s) = k_{ТГ}; \quad (3.13)$$

мұндағы $W_y(s)$ - күшейткіштің беріліс функциясы;

$W_\Gamma(s)$ - генератордың беріліс функциясы;

$W_K(s)$ - қозғалтқыштың беріліс функциясы;

$W_{ТГ}(s)$ - тахогенератордың беріліс функциясы;

ал, $k_y = 106$, $k_\Gamma = 26$, $k_K = 0,0325$, $k_{ТГ} = 0,225$ сәйкесінше күшейткіштің, генератордың қозғалтқыштың, тахогенератордың күшейту коэффициенттері;

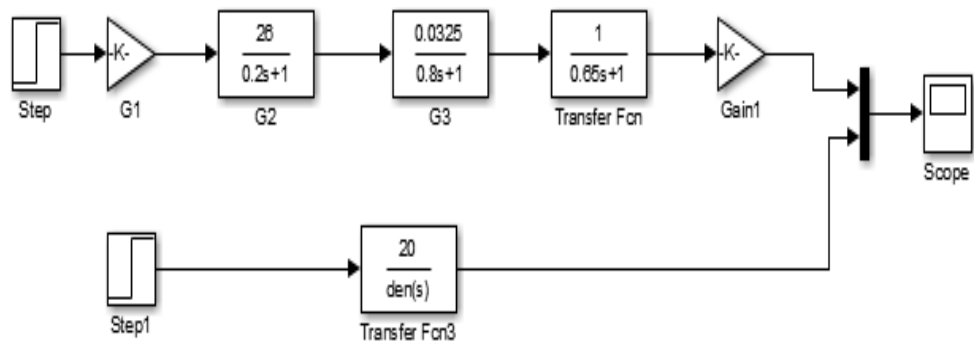
$T_\Gamma = 0,2$ – генератордың қоздыру тізбегінің уақыт тұрақтысы,

$T_\Gamma = 0,08$ – қозғалтқыштың якорь тізбегінің уақыт тұрақтысы,

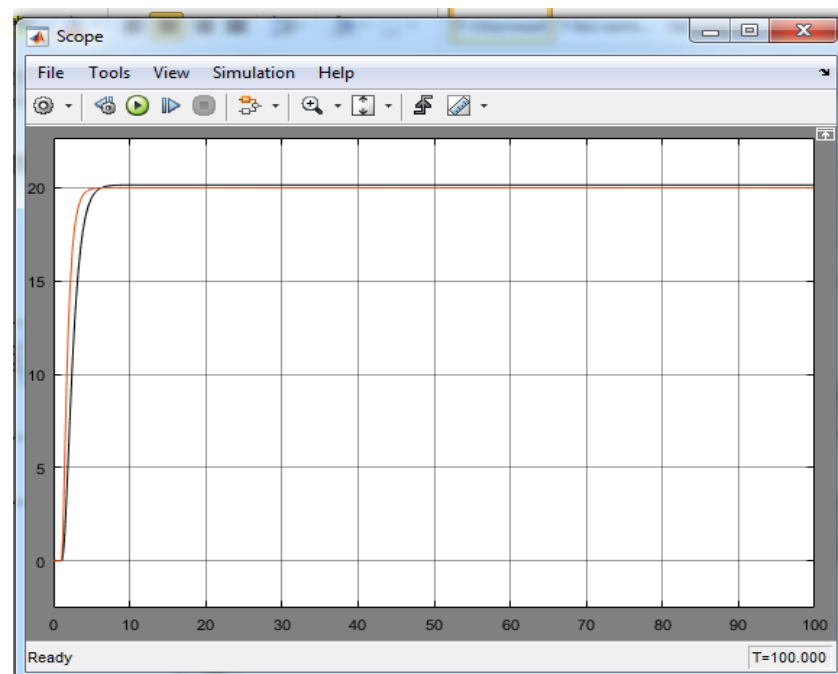
$T_M = 0,65$ – электромеханикалық уақыт тұрақтысы.

Құрылымдық схемаларды түрлендіру ережелеріне сүйене отырып, қозғалтқыштың жылдамдығын басқарудың ашық жүйесінің эквивалентті берілу функциясы алынады. [12]

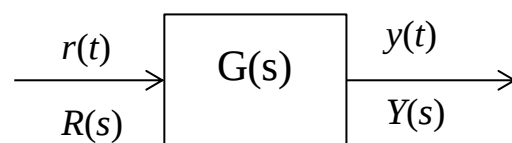
$$W(s) = W_y(s) * W_\Gamma(s) * W_K(s) * W_{ТГ}(s) = k_y * \frac{k_\Gamma}{(T_\Gamma + s)} * \frac{k_K}{(T_\Gamma + s)(T_M + s)} * k_{ТГ} \quad (3.14)$$



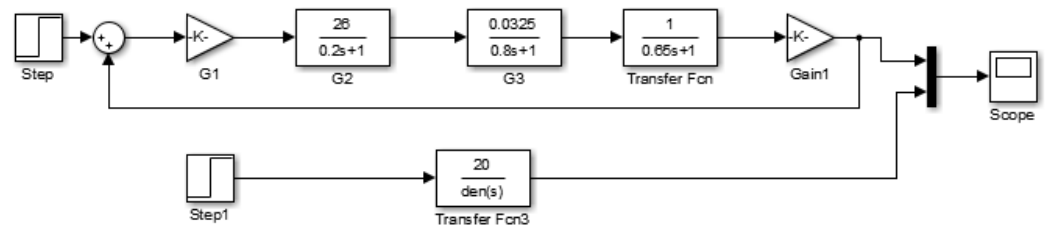
Сурет 3.25 - Ашық тізбек үшін эквивалентті беріліс функциясы



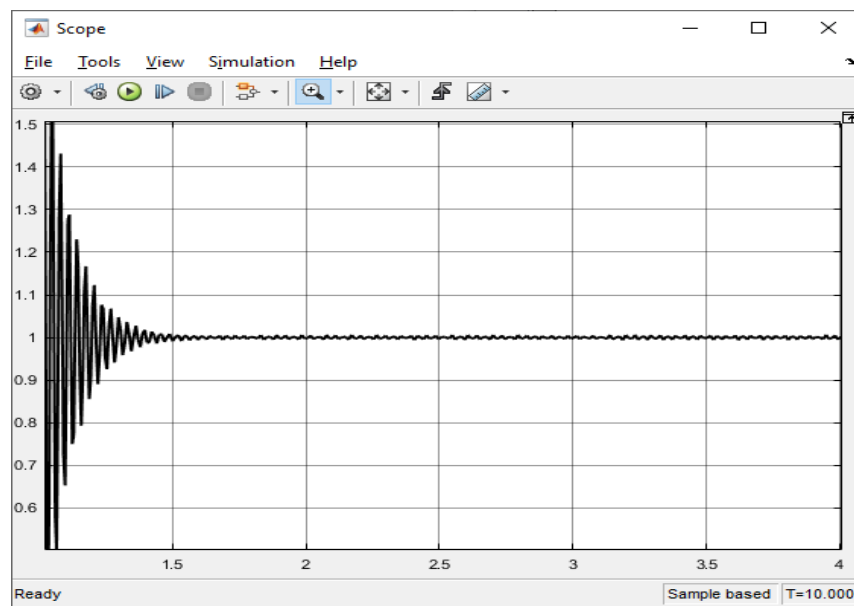
Сурет 3.26 - Ашық жүйені модельдеу нәтижесі



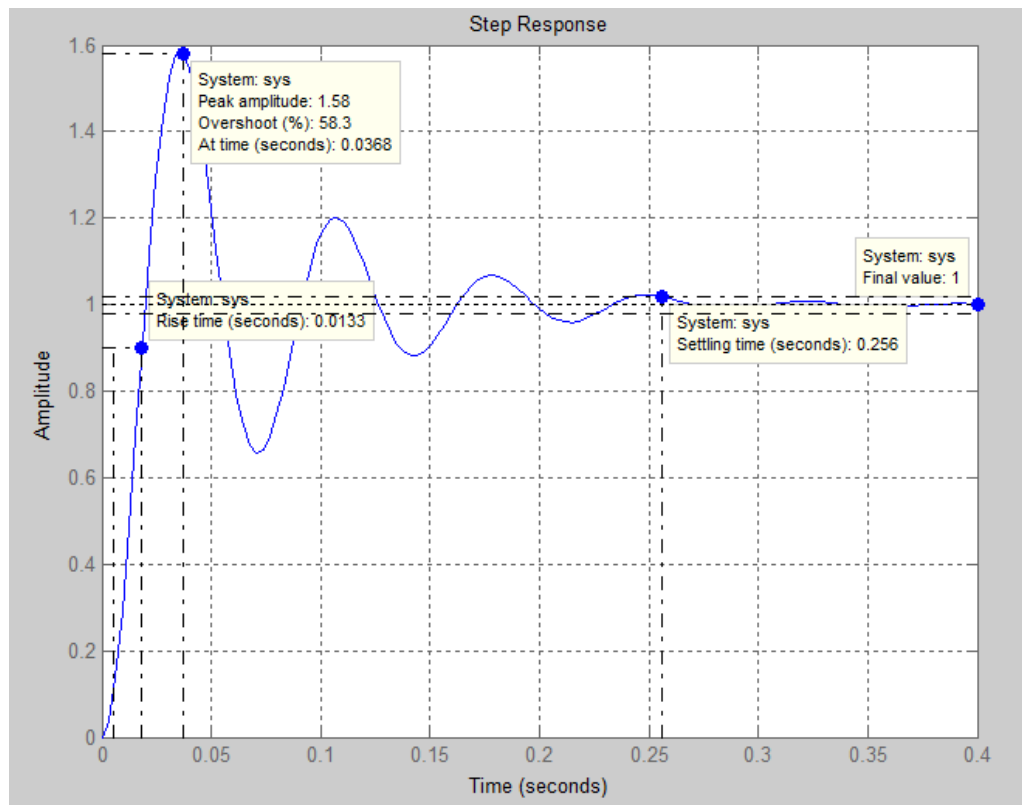
$$G(s) = \frac{Y(s)}{R(s)}$$
 ашық жүйенің негізгі әсерге қатысты беріліс функциясы.



Сурет 3.27 - Жабық тізбек үшін эквивалентті беріліс функциясы



Сурет 3.28 - Жабық жүйені модельдеу нәтижесі



Сурет 3.29 - Жабық жүйенің өтпелі процесі

Осылайша, келесі тікелей сапа бағалары алынды:

- Peak Response: қайта реттеу бағасын алуға мүмкіндік береді (overshoot),
 $P_{OV} = 58,3\%$, бірінші максимумға жету уақыты,
 $T_p = 0.0368$ sec;

- Реттеу уақыты: реттеу уақыты, $T_{set} = 0.256$ sec;

- Көтерілу уақыты: өсу уақыты, $T_R = 0.0133$;

- Тұрақты күй (қорытынды мән): тұрақты күй, $y_{ss} = 1$.

Әдепкі бойынша, MATLAB ортасында реттеу уақыты, $T_{set} =$, қате 2%, ал өсу уақыты, T_R , өтпелі процестің 10-нан 90% - на дейін.

Сапаны тікелей бағалау тізбесіне сәйкес:

- Тербеліс саны, $M = 3$.

-Тербеліс: $\mu = \frac{1.21-1}{1.58-1} * 100\% = 36.2\%$

-Тербеліс жиілігі: $\omega = \frac{2\pi}{0.093-0.025} = 92.3$

- Бірінші максимумға жету уақыты, $T_p = 0.0368$ sec.

Сапаны бағалаудың осы нәтижелері бойынша біздің жүйенің әлемдік немесе қалаған стандарттың белгілі бір талаптарына қаншалықты сәйкес келетіні анықталады:

Төмендегі 1-кестеде көрсетілген.

1 Кесте-сапа бағаларының нақты мәндерін қажетті талаптармен салыстыру

№	Сапаны бағалау		тікелей	түбірлі	Қажетті талаптар	Талаптарға сәйкестігі
1	Реттеу уақыты	T_{set}	0.256	0.26	0.25	сәйкес
2	Қайта реттеу	P_{OV}	58.3%		10-30%	сәйкес келмейді
3	Тербеліс саны	M	3		1,2	сәйкес келмейді
4	Тербеліс	μ	36.2%	5.88	$2.5 \leq \mu \leq 5$	сәйкес келмейді
5	Тербеліс жиілігі	ω_{osc}	92.3			
6	Бірінші максимумға жету уақыты	T_p	0.0368			
7	Өсу уақыты	T_R	0.0133			

1-кестеде келтірілген сапа бағаларын талдау өтпелі кезең инженердің қалаған талаптарын қанағаттандырмайтындығын көрсетеді. Сондықтан реттеушіні құру қажет болады. Талаптарға сәйкес, жақсы нәтижеге қол жеткізу үшін осы реттегішті синтездеу керек.[13]

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыста қозғалтқыштың жылдамдығын автоматты басқару жүйесі зерттелді. Жүйенің математикалық моделі жасалды, ол жүйеде болып жатқан процестерді нақты дәлдікпен көрсетеді. Жұмыста АБЖ сигналдық графигі құрастырылды, ол бойынша дифференциалдық теңдеулер жүйесі құрастырылды. Бұл теңдеулердің кейбіреулері сызықты емес болғандықтан, олар сызықты болды. Есептеулерді жеңілдету үшін жүйе жедел түрде жазылды, сонымен қатар өлшенген сигнал графигі және құрылымдық схема түрінде математикалық модельдің суреттері салынды. Сондай-ақ, негізгі оператор мен контурды беру функциясы есептелді. Өлшемді тексеру олардың дұрыс есептелгенін растады.

Барлық жиілік сипаттамалары үшін тек ашық жүйе үшін өтпелі процестерді салынды. Жабық тізбектің беріліс функциясының және ашық тізбектің эквивалентті беріліс функциясының алынған графигіне салыстырмалы талдау жасалынды - олардың эквиваленттілігі туралы қорытындыға келді.

Жүйелердің сапасын анықтау үшін ең маңызды аспект - өтпелі талдау. Оның арқасында біз жүйенің жылдамдығы мен сапасын тұтастай анықтаймыз, оның тұрақтылық дәрежесін түсінеміз, қажетті нәтижелерге сенімді және қауіпсіз қол жеткізуге болады!

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Расчет автоматических систем. Под редакцией А.В.Фатеева. М., Высшая школа, 1973 ж.
- 2 И.М. Макаров, Б.М.Манский. Линейные автоматические системы. М., Машиностроение., 1977ж.
- 3 Е.А. Бесекерский, Е.П. Попов. Теория систем автоматического регулирования. М., Наука., 1975ж.
- 4 Е.П. Попов . Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. М., Наука., 1978ж.
- 5 Е.П. Попов. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. М., Наука., 1979
- 6 Е.М. Юревич. Теория автоматического управления. Л., Энергия., 1969ж.
- 7 Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. под ред. В.А. Бесекерского. М., Наука., 1978ж.
- 8 Васильев Д.В., Чуич В.Г. Системы автоматического управления. М., Высшая школа, 1967ж.
- 9 Ключев, В.И., Теория электропривода: учебник для вузов / В.И. Ключев. – М. Энергоатомиздат, 1985. – 560 б.
- 10 Москаленко, В.В. Электрический привод / В.В. Москаленко. – М.Мастерство, 2000.
- 11 Онищенко, Т.Б. Автоматизированный электропривод промышлен-ных установок / Т.Б. Онищенко. – М. : Изд. РАСХН, 2001.
- 12 Чиликин, М.Г. Теория автоматизированного электропривода: учеб-ное пособие для вузов / М.Г. Чиликин, В.И. Ключев, А.С. Сандлер. – М. : Энер-гия, 1979. – 616 б.
- 13 Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – М. : Энергоиздат, 1981. – 576 б.

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Әби Гүлнұр

Название: Қозғалтқыштың жылдамдығын автоматты реттеу жүйесінде зерттеу

Координатор: Нурлан Сарсенбаев

Коэффициент подобия 1: 3,2

Коэффициент подобия 2: 0

Замена букв: 32

Интервалы: 17

Микропробелы: 13

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- ☒ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

..27.05.2021..

Дата .



Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Әби Гүлнұр

Название: Қозғалтқыштың жылдамдығын автоматты реттеу жүйесінде зерттеу

Координатор: Нурлан Сарсенбаев

Коэффициент подобия 1: 3,2

Коэффициент подобия 2: 0

Замена букв: 32

Интервалы: 17

Микропробелы: 13

Белые знаки: 0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

.....

.....

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

.....

.....

Дата

*Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения*

