

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

«Энергетика» кафедрасы

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

Альмурашов Алибек Жеңісұлы

Кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қолдана отырып, электр жетектерінің
басқару әдістерін талдау және салыстыру

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

«Энергетика» кафедрасы

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
«Энергетика» кафедрасының
меңгерушісі
PhD, қауымдастырылған профессор
_____ Е.А.Сарсенбаев
«___» _____ 2024 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қолдана отырып, электр жетектерінің басқару әдістерін талдау және салыстыру»

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

Орындаған:

А.Ж.Альмурашов

Пікір беруші

Ғылыми жетекші

Аға-жетекші

«Алматылифт» АҚ бас директоры
_____ Н.Ж.Кураков

_____ Ә.О.Бердібеков

«___» _____ 2024 ж.

«___» _____ 2024 ж.

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

«Энергетика» кафедрасы

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

БЕКІТЕМІН

«Энергетика» кафедрасының

меңгерушісі

PhD, қауымдастырылған профессор

_____ Е.А.Сарсенбаев

«___» _____ 2024 ж.

**Дипломдық жұмысты орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Альмурашов Алибек Жеңісұлы.

Тақырыбы Кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қолдана отыры, электр жетектерінің басқару әдістерін талдау және салыстыру.

Университеттің академиялық мәселелер жөніндегі проректорының 04.12.2023 ж. № 548-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «14» маусым 2024 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер тізімі:

а)) Кері байланыс құрылғыларының типтік қолданбалары және технологиялары;

б) Электр жетегінде қолданылатын кері байланыс датчиктерінің техникалық;

в) Кері байланыс датчиктерінің түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдауды математикалық модельдеу;

Сызба материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызба материалдары слайдтарда көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет

1 Тұрақты тоқты электр жетектерін басқару жүйелерінің анализі және синтезі/ ред. В. А. Елисеев. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1984. – 84 б.

2 Беляев А. В. 0,4 кВ желілерінде аппаратуры, қорғау және кабельдерді таңдау. – Л.: Энер-гоатомиздат, 1988. – 176 б.

3 Вешеневский С. Н. Электр жетектегі қозғалтқыштардың сипаттамалары. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.

4 Голован А. Т. Электр жетектің негіздері. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 344 б.

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі | Ғылыми жетекшіге көрсету мерзімдері | Ескерту |
|---|-------------------------------------|---------|
| Кері байланыс құрылғыларының типтік қолданбалары және технологиялары | 15.01.2024 ж. | |
| Электр жетегінде қолданылатын кері байланыс датчиктерінің техникалық бақылауы | 04.03.2024 ж. | |
| Кері байланыс датчиктерінің түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдауды математикалық модельдеу | 15.04.2024 ж. | |

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған
қолтаңбалары

| Бөлімдер атауы | Кеңесшілердің аты-жөні, (ғылыми дәрежесі, атағы) | Қол қойылған күні | Қолы |
|---|--|-------------------|------|
| Кері байланыс құрылғыларының типтік қолданбалары және технологиялары | Бердібеков Ә.О, магистр, аға оқытушы | | |
| Электр жетегінде қолданылатын кері байланыс датчиктерінің техникалық бақылауы | Бердібеков Ә.О, магистр, аға оқытушы | | |
| Кері байланыс датчиктерінің түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдауды математикалық модельдеу | Бердібеков Ә.О, магистр, аға оқытушы | | |
| Норма бақылау | Бердібеков Ә.О, магистр, аға оқытушы | | |

Ғылыми жетекшісі _____
(қолы)

Ә.О.Бердібеков

Тапсырманы орындауға алған студент _____ А.Ж. Альмурашов
(қолы)

Күні «__» _____ 2024ж

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдау болып келеді. Сонымен қатар кері байланыс датчигі индуктосиннің сыйымдылық электр жетектерін басқару моделі құрылды және аналитикалық есептеу әдісі ұсынылды. Сыйымдылық потенциалына әсер ететін факторлар мен басқаруы теориялық талдау арқылы элементтер әдісін біріктіру зерттелді.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе представляет собой анализ методов управления электроприводом с использованием различных типов датчиков обратной связи. При этом создана модель управления индуктозиновым емкостным электроприводом датчика обратной связи и предложен аналитический метод расчета. Факторы, влияющие на потенциал мощности и управление ею, изучались путем объединения метода элементов посредством теоретического анализа.

ANNOTATION

This thesis is an analysis of electric drive control methods using different types of feedback sensors. At the same time, a feedback sensor inductosin capacitive electric drive control model was created and an analytical calculation method was proposed. Factors affecting the capacity potential and its management were studied by combining the elements method through theoretical analysis.

МАЗМҰНЫ

| | | |
|-----|---|----|
| | Кіріспе | 7 |
| 1 | Теориялық бөлім | 9 |
| 1.1 | Электржетектерінің тағайындалуы және түрлері | 9 |
| 1.2 | Уақыт, жылдамдық, ток және қалып датчигі | 11 |
| 1.3 | Кері байланыс құрылғыларының типтік қолданбалары және технологиялары | 13 |
| 1.4 | Жылдамдық пен абсолютті позиция туралы кері байланыс | 15 |
| 1.5 | Индуктосин типті кері байланыс датчиктері | 20 |
| 2 | Электр жетегінде қолданылатын кері байланыс датчиктерінің техникалық бақылауы | 23 |
| 2.1 | Индуктосиндегі сыйымдылық потенциалын талдау | 23 |
| 2.2 | Электромагниттік электржетектердің кері байланысы және оны басқару | 25 |
| 2.3 | Күшейткіш кері байланыс датчигі (транзистор) орналасқан электр желісін есептеу | 29 |
| 2.4 | Жартылай қарымталған асылғының анкерлік телімін механикалық есептеу | 30 |
| 3 | Кері байланыс датчиктерінің түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдауды математикалық модельдеу | 36 |
| 3.1 | Холл ЭҚК датчигі арқылы тұрақты ток қозғалтқышының | 36 |
| 3.2 | электромагниттік моментін өлшеу | |
| | Кері байланыс моменті электромагниттік электр жетегінің | 38 |
| 3.3 | сипаттамаларының схемалық диаграммасы | |
| | Ағымдық кері байланысы бар УП-Д жүйесінің динамикалық қасиеттері | 45 |
| | Қорытынды | 48 |
| | Пайдаланылған әдебиеттер тізімі | 49 |

КІРІСПЕ

Электр жетегі (ЭЖ) өнеркәсіпте, ауыл шаруашылығында, көлікте, коммуналды шаруашылықта және механикалық энергияның қолданылуымен тұрмыста әртүрлі технологиялық және өндірістік үрдістерді жүзеге асыруды қамтамасыз ететін электромеханикалық жүйе түрінде болады. ЭЖ тағайындалуы жұмыс машиналарының орындаушы мүшелерінің және механизмдердің қозғалысын қамтамасыз етуден және осы қозғалысты басқарудан тұрады. Басқа сөзбен, ЭЖ технологиялық және өндірістік үрдістерді жүзеге асырудың энергетикалық негізі бола тұрып, көп жағдайда олардың сапасын, энергетикалық және техника-экономикалық көрсеткіштерін анықтайды.

Ғылыми-техникалық прогресс, автоматтандыру және технологиялық және өндірістік үрдістерді комплексті механикаландыру заманауи ЭЖ-нің тұрақты дамуы мен жетілдірілуін анықтайды. Бірінші кезекте бұл әртүрлі жартылайөткізгішті күштік түрлендіргіштер мен микропроцессорлы басқару құралдарын қолданумен автоматтандырылған ЭЖ-ні кеңінен енгізуге байланысты. Электр машиналары мен аппараттарының, айнымалы координата датчиктерінің және ЭЖ-те қолданатын басқа да компоненттердің жаңа типтері ұдайы пайда болады. Орындалатын ЭЖ функцияларының кеңеюі мен күрделендірілуі, оларда жаңа элементтер мен құрылғылардың қолданылуы, технологиялық үрдістерді автоматтандыру жүйелеріне ЭЖ-нің кеңінен қосылуы оларды жобалаумен, монтаждаумен, жөндеумен және эксплуатациясымен айналысатын мамандардың жоғарғы деңгейлі дайындығын қажет етеді. Олар ЭЖ-те жүретін негізгі физикалық заңдылықтарды, оның мәндерін, құрылғыларды, жұмыс істеу принципін, компоненттерінің қасиеттері мен сипаттамаларын жақсы білуі керек, ЭЖ басқару сұлбаларын түсінуі керек және олардың элементтерін таңдай білуі, сондай-ақ ЭЖ техника-экономикалық жұмыс көрсеткіштерін анықтай білуі қажет.

Дипломдық жұмыстың өзектілігі. Желдету жүйелері ауадағы зиянды және қауіпті заттардың жоғары концентрациясының жиналуына жол бермей, шахта ауасындағы оттегінің қажетті концентрациясын сақтай отырып, шахтадағы ауаны жаңартуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, желдету шахта ішіндегі температураны бақылауға көмектеседі. Желдету жүйесінің дұрыс жұмыс істеуі немесе желдету жүйесінің жеткіліксіз қуаты шаң, көмірқышқыл газы, көміртегі тотығы, жанғыш газдар, химиялық күйдіргіш заттар кіретін ауадағы зиянды заттардың рұқсат етілген концентрациясының едәуір артуына әкелуі мүмкін. Қызметкерлерге улану түріндегі айқын зияннан басқа, ауадағы жанғыш заттардың жоғары концентрациясы жарылыс пен өртке әкелуі мүмкін. Тек ауа мен жоғары температураның болуы қызметкерлердің жұмыс істеуі үшін адам төзгісіз және қауіпті жағдай туғызады. Ауадағы жоғары температура мен қаустикалық заттардың жоғары мөлшері де жабдыққа зиян келтіреді, оның қызмет ету мерзімін азайтады.

Осылайша, шахталардың желдету жүйелерін әзірлеу және жетілдіру қазіргі заманғы технологиялар мен инженерлік шешімдердің көмегімен шешілуі тиіс өзекті міндет болып қала береді. Сондықтан да қазіргі кезде мұздану мәселесі дүниедегі өзекті мәселелердің бірі болып отыр.

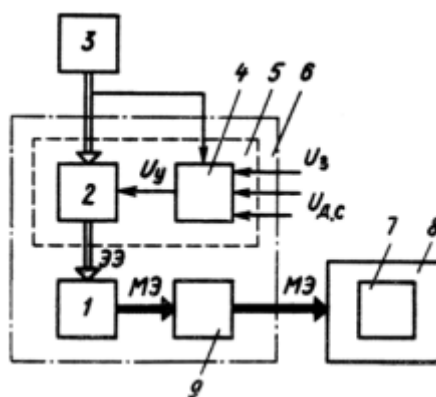
Жұмыстың мақсаты. Дипломдық жұмыста кері байланыс датчиктерінің түрлерін қарастырып және оның ішінде ортадан тепкіш желдеткіштің сипаттамаларын алып, соған сәйкес қозғалтқыш түрін тандап, есептеулер жүргізу арқылы MATLAB ортасында жиілікті реттелетін электр жетегінің моделін жасау болып табылады.

Талдаудың қосымша мақсаты алдыңғы зерттеулерді нақтылау және растау болып келеді. Осы мақсатта қолайлы жағдайлар зерттелген өлшеу орындарында алынған және талданатын ақпарат көлемі айтарлықтай ұлғайтылады.

1 Теориялық бөлім

1.1 Электржетектерінің тағайындалуы және түрлері

Өзінің негізгі функциясын – жұмыс машиналары мен механизмдерінің орындаушы органдарын қозғалысқа келтіруді және сол қозғалысты басқаруды орындау үшін электржетектерінің (ЭЖ) өзіне бір-бірімен өзара байланысқан және өзара әсерлесетін электротехникалық, электромеханикалық және механикалық элементтер мен құрылғылардың жиынтығын қосады. Мұндай электромеханикалық жүйе электр жетегі атауын алған. ЭЖ жалпы құрылымдық сұлбасы 1.1-суретте көрсетілген, мұнда қалыңдатылған сызықтармен күштік энергия каналдары, ал жіңішке сызықтармен аз қуатты (акпараттық) тізбектер көрсетілген.



1.1 – сурет- ЭЖ жалпы құрылымдық сұлбасы

Кез-келген электржетектің 6 негізгі элементі тұтынылатын электр энергиясы есебінен механикалық энергияны өндіретін, яғни электромеханикалық энергия түрлендіргіші болып табылатын электр қозғалтқышы (1) болып табылады. ЭЖ кейбір жұмыс режимдерінде электрқозғалтқыш жұмыс машинасының орындаушы органынан механикалық энергияны ала отырып энергияны кері түрлендіруді де жүзеге асырады. Механикалық энергия электрқозғалтқыштан ауыстыратын құрылғы 9 (механикалық, гидравликалық, электромагниттік) арқылы жұмыс машинасының 8 орындаушы органына 7 беріледі, осының есебінен ол қажетті механикалық қозғалыс жасайды. Ауыстыратын құрылғы функциясы электрқозғалтқыштың және орындаушы органның қозғалыс параметрлерінің келісілген болуына негізделеді. ЭЖ дамуының прогрессивті бағыты электрқозғалтқыштың орындаушы органмен тікелей байланысуы болып табылады, ол «электржетек-жұмыс машинасы» комплексінің техника-экономикалық жұмыс көрсеткіштерін көтеруге мүмкіндік береді. Электр энергиясы ЭЖ-не электрэнергия көзінен 3 келеді.

Электрқозғалтқышқа қажетті параметрлермен электр энергиясын алу үшін және қозғалтқыш пен электрэнергия көзінің арасындағы бұл энергия

ағынын басқару үшін күштік түрлендіргіш 2 қосылады. ЭЖ-де басқару және автоматтандыру функциялары аз қуатты басқару блогымен 4 жүзеге асырылады. Бұл блок орындаушы органның қозғалыс сипатын беретін U_3 кіріс сигналының көмегімен және жұмыс машинасының технологиялық үрдісінің жүзеге асуы, орындаушы органның қозғалыс сипаты, ЭЖ жеке түйіндерінің жұмысы қауіпті жағдайлардың туындауы және т.б. жайында ақпарат беретін бірқатар $U_{д.с}$ қосымша сигналдар көмегімен U_y басқару сигналын өндіреді. Түрлендіргіш 2 басқару блогымен 4 бірге электржетекті басқару жүйесін 5 құрайды. Сонымен, электр жетегі деп өзара әсерлесетін электрлік, электромеханикалық және механикалық түрлендіргіштерден, сондай-ақ басқарушы және ақпараттық құрылғылар мен түйіндесу құрылғыларынан тұратын, жұмыс машиналарының орындаушы органдарын қозғалысқа келтіруге және технологиялық үрдісті жүзеге асыру мақсатында осы қозғалысты басқаруға арналған электромеханикалық жүйені айтамыз.

ЭЖ-де тұрақты және айнымалы ток үздіксіз және дискретті жылжумен айналмалы және ілгерілемелі қозғалысты электрқозғалтқыштар қолданылады; цилиндрлі, бұрамдықты және планетарлы редукторлар түріндегі механикалық түрлендіргіштер және винт-гайка жылжуы, тізбектік және белдікті берілістер, гидравликалық және электрмагниттік жалғастырғыштар; өзіне басқарылатын түзеткіштерді, ток пен кернеу инверторларын жиілік пен кернеу реттегіштерін, кернеуді импульсты реттегіштерді қосатын электрлік күштік түрлендіргіштер; құрамына командоаппараттар, логикалық элементтер блогы, реттегіштер, күшейткіштер, микропроцессорлар және басқарушы электронды машиналар кіретін басқару құрылғылары. Көріп тұрғанымыздай, ЭЖ жүзеге асырылуы әртүрлі болуы мүмкін, бұл оның классификациясында көрінеді. ЭЖ қозғалыс сипатына қарай, күштік түрлендіргіштің жүзеге асырылу түрі мен әдісіне, қолданылатын электрқозғалтқыштар санына, электрэнергия көздерінің түрлеріне, басқару әдісіне, механикалық берілістің бар немесе жоқ болуына және т.б. қарай классификацияланады. ЭЖ классификациясы егжей-тегжейлі [3] қарастырылған, осы жерден оның маңызды құраушыларын бөліп көрсетейік.

Қозғалыс сипаты бойынша ЭЖ айналмалы және ілгерілемелі қозғалысты болып ажыратылады, сонымен қатар олардың жылдамдықтары реттелетін және реттелмейтін бола алады, ал қозғалыстың өзі үздіксіз және дискретті, бір бағытты, екі бағытты (реверсивті) немесе тербелмелі (ілгері-кейінді) бола алады.

Қолданылатын қозғалтқыштар санына байланысты топтық, жеке және өзара байланысқан ЭЖ ажыратылады. Топтық ЭЖ оның бір қозғалтқышы бір машинаның бірнеше орындаушы органдарын немесе бірнеше жұмыс машинасының бір орындаушы органын қозғалысқа келтірілуімен сипатталады. Жеке ЭЖ жұмыс машинасының бір орындаушы органының қозғалысын қамтамасыз етеді. Өзара әсерлесетін ЭЖ бірге бір немесе бірнеше орындаушы органдарда жұмыс істейтін электрлік немесе

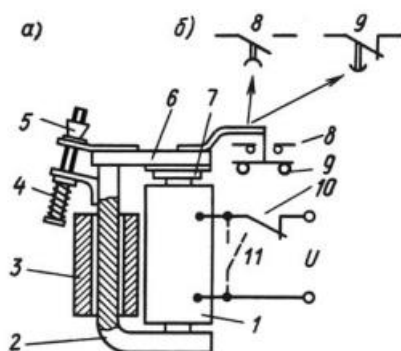
механикалық байланысқан екі немесе бірнеше жеке ЭЖ-тер түрінде болады. Сонымен қатар, егер қозғалтқыштар бір-бірімен механикалық түрде байланысқан және ортақ білікке жұмыс істесе, онда ол көпқозғалтқышты ЭЖ деп, ал егер қозғалтқыштар электр тізбектерімен байланысқан болса, онда ЭЖ электрлік білік деп аталады. Электрлік күштік түрлендіргіш түріне байланысты алуан түрлі ЭЖ ажыратылады. Егер оған тән қасиет ретінде электрэнергия көзінің кернеуін түрлендіру тәсілін алсақ, күштік түрлендіргіштердің төрт түрін ажыратуға болады: айнымалы ток кернеуін тұрақты (түзетілген) ток кернеуіне түрлендіретін басқарылатын және басқарылмайтын түзеткіштер; кері түрлендіруді орындайтын инверторлар; айнымалы ток кернеуінің параметрлерін өзгертетін айнымалы ток кернеуі мен жиілігін түрлендіргіштер; тұрақты токтың шығыс кернеуінің әртүрлі модуляция түрімен тұрақты ток кернеуін импульсты түрлендіргіштер. Осы барлық күштік түрлендіргіштер әртүрлі элементтік базада, дәлірек айтсақ, электр машинасын, магнитті күшейткіштер, ионды және жартылайөткізгішті элементтер қолданылуымен орындалуы мүмкін. Заманауи күштік түрлендіргіштер ереже бойынша жартылайөткізгішті болып табылады, және оларда, негізінде, күштік транзисторлар, диодтар, тиристорлар және олардың түрлері қолданылады. Қарастырылған айтарлықтай толық емес классификациядан көріп тұрғанымыздай, ЭЖ нақты жүзеге асырылуы алуан түрлі болуы мүмкін [4]. Сондай-ақ кез-келген электржетегінің жұмысы кейбір ортақ заңдылықтарға бағынады, бұл негізі осы кітапта қарастырылған ЭЖ теориясының пәні болып табылады.

1.2 Уақыт, жылдамдық, ток және қалып датчигі

Электр жетегін, оның ішінде ажыратылған түрін қолдану үшін оның жылдамдығы, тогы, кезеңі және координаты, сондай-ақ уақыты туралы ақпаратты білу маңызды. Мұндай ақпаратты беретін электрлік сигнал түріндегі құрылғыға датчик атауы берілген.

Уақыт датчигі. Датчик ретінде, уақыт принципі бойынша ЭЖ басқару сызбасын жасау кезінде түрлі уақыттық реле – элеткромагнитті, моторлы, электронды, анкерлі және механикалық түрлері қолданылады. Олардың әрекет ету қағидалары мен негізгі техникалық сипаттамасына қысқаша тоқталайық. Электромагнитті уақыт релесі (1.2 - сурет) катушка орнатылған 1 магнит өткізгіштің қозғалмайтын бөлігінен 2 және магнитті жүйенің қозғалмалы бөлігі – байланыстырғыштары 8, 9 бар якорьдан б тұрады. Катушкада қуат кернеуі жоқ кезде якорь б серіппе 4 көмегімен көтерілген күйде ұсталады. Уақыт релесі құрылымының ерекшелігі – оның магнитөткізгіште 2 ауыр мыс түтікшесі 3 (гильза) болады, бұл катушканы қуат көзінен ажыратқан кезде уақытты ұстап тұруды қамтамасыз етеді. Бұл процессті жан-жақты қарастырайық.

Уақыт релесі кәдімгі электрлі магнитті реле түрлері секілді, байланыстырғыштың 10 тұйықталуы кезінде катушкаға $1 U$ кернеуін бере отырып, қосылады. Мұнымен қатар, якорь 6 білікке жақындай түсіп, уақытты ұстамай, байланыстырғыштардың 8, 9 қосылуын жүзеге асырады. Уақытты қажетті мөлшерде ұстап тұру якорьдың бастапқы қалпына баяу келу жағдайын қамтамасыз етеді, себебі қайта басталған магнит тасқынының кернеуін катушкадан алу кезінде гильзада 3 құйынды ток пайда болады, бұл өзінің магнитті тасқынымен негізгі қуатты ұстап тұруға мүмкіндік береді (Ленц ережесі). Басқаша айтқанда, гильзаның болуы магнитті тасқынның түсуін, яғни якорь және байланыстырғыш жүйенің бастапқы (өшірілген) қалыпқа келуін баяулатады (демпферлейді). Тұйықталған байланыстырғыштардың ажыратылуы және ажыратылған байланыстырғыштардың тұйықталуы кезінде уақытты ұстап тұру осылайша қамтамасыз етіледі (1.2, б - сурет).

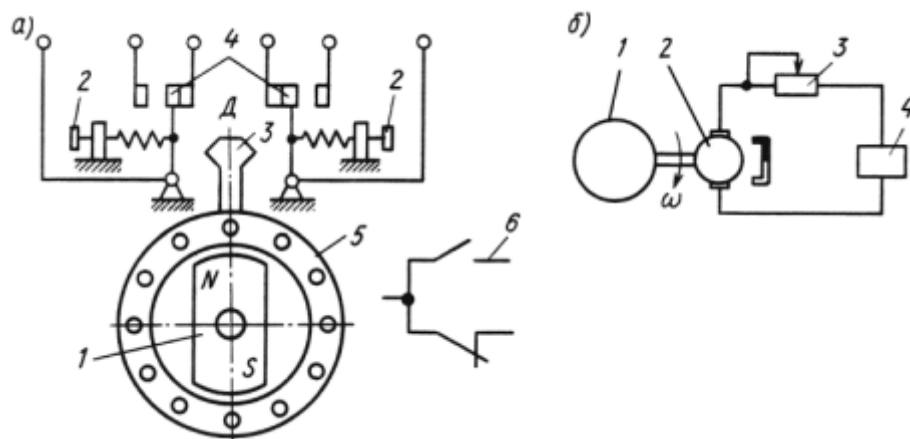


1.2 – сурет- Электромагнитті уақыт релесі

Жылдамдық датчигі. ЭЖ жылдамдығы туралы ақпаратты түрлі жылдамдықдатчиктеріменқатар, қозғалтқыштыөзіненде алуға болады. Тұрақты немесе ауыспалы ток двигательдерінің жылдамдығы олардың электр қозғаушы күшін анықтайды. Сөйтіп, электр қозғаушы күшті пайдалана отырып,ЭЖжылдамдығытуралыақпарат алуға болады [5].

Жылдамдық бақылаудың электрлі механикалық релесі (ЖБР) асинхронды двигатель қағидасы бойынша жұмыс істейді. Мұндай реленің роторы (1.3, а - сурет) жылдамдықты өлшейтін двигательдің білігімен байланыстыратын тұрақты магнит 1 болып саналады. Тұрақты магнит, тиіннің торы секілді орамасы бар алюминді цилиндр 5 ішіне орналастырылады. Бұл цилиндр ось айналасыменбұрышқа аздапқисайып бұрылуы және тіреуіш 3 контактілерінің 4 және 6 көмегімен қосылуы мүмкін. Двигатель жылжымайтын болса, тіреуіш орташа қалыпта болады және реле түйіспелері қалыпты күйде тұрады. Двигательді айналдыру кезінде тіпті жылдамдығы аз магниттің 1 өзінде айналдыру кезі орын алады, осының әсерінен цилиндр 5 бұрыладыжәне тіреуіш 3 көмегімен түйіспелердің 4 қайта қосылуын қамтамасыз етеді. Двигательдің нөлге жақын жылдамдығы кезінде, цилиндр орташа қалыпқа келеді және түйіспелер 4 өзінің қалыпты

жағдайына өтеді. Реле түйіспелері қосылатын жылдамдық, орнатылған бұрандалардың 2 қалпымен анықталады.



1.3 – сурет- Жылдамдық бақылаудың электрлі механикалық релесі

Жылдамдықты бақылау релесі двигатель жылдамдығы нөлге дейін төмендеген уақытта оны желіден ажырату талап етілген кезде, тежеу процесін автоматтандыру кезінде пайдалануға қолайлы.

Ток датчигі. Реле-түйістіргіш тұйықталмаған сызбада датчик ретінде, негізінен ток релесі пайдаланылады. Оның орамдарының саны аз, қалың сымнан жасалған катушкасы тікелей бақыланып отыратын ток двигателінің тізбегіне қосылады. Осы токпен, іске қосылу немесе төмендеу деңгейіне жеткен кезде ток релесі контактілерінің коммутациясы орын алады [5-6].

Қалып датчигі. ЭЖ басқарудың тұйықталған сызбасында кеңінен пайдаланылатын қалып датчигіне (датчик положение) түрлі типтегі жолдық және шеткі ағытқыштар (выключатель) жатады. Шеткі ағытқыштар атқарушы жұмыс органдарының жұмыс аумағынан шығып кетуін болдырмайды (мысалы, көтергіш кран көпірінің кран жолының аумағынан шығып кетуі). Жолдық ағытқыштар атқарушы органдардың белгілі жолдар нүктесінде, сызбада басқару командасын беру үшін пайдаланылады (мысалы, лифт кабинасының қабатқа келу кезіндегі секілді).

1.3 Кері байланыс құрылғыларының типтік қолданбалары және технологиялары

Дипломдық жұмыстың бұл бөлімінде қарастыранымыз электронды айнымалы жылдамдық жетектеріне (дискілеріне) қосылған электр қозғалтқыштарына орнатылған кері байланыс құрылғылары туралы пайдалы ақпаратпен қамтамасыз ету болып табылады. Сонымен қатар бұл бөлім кері байланыс түрлерін, жалпы терминологияны, ажыратымдылықты және кодерлерден күтілетін позициялық дәлдікті қамтиды.

Орналасқан жерді немесе жылдамдықты дәл бақылау маңызды болатын жүйелерде позиция немесе жылдамдық сенсоры қажет болады. Орын мен жылдамдық сенсорларының көптеген түрлері бар болса да, осы нұсқаулықта сипатталған құрылғылар заманауи айнымалы жылдамдық жетегімен бірге пайдаланылуы мүмкін құрылғылармен шектелген. Айнымалы ток қозғалтқышын басқару үшін қозғалтқыштың жылдамдығын және қозғалтқыштағы ағынның орнын анықтау қажет. Әр түрлі сенсорсыз басқару схемалары бар, олар қозғалтқыш токтарын өлшеу арқылы осы шамаларды бағалай алады, бірақ жоғары сапалы өнімділік үшін әдетте позиция немесе жылдамдықты кері байланыс құралы қолданылады. Тұрақты ток қозғалтқышын басқару үшін тек қозғалтқыштың жылдамдығын анықтау қажет [7]. Тағы да, сенсорсыз басқару якорь тогы мен кернеуін өлшеу арқылы мүмкін болады, бірақ жылдамдықты дәл бақылау үшін жылдамдықты кері байланыстыру құрылғысы әлі де қажет.

Сенсорсыз басқару көптеген тартымдылыққа ие болғанымен, көптеген практикалық жүйелерде сыртқы басқару контурының немесе қауіпсіздік корпусының бөлігі ретінде қозғалтқыш білігінің қозғалысын тікелей өлшеу қажет. Сондықтан сенсорлар көптеген электр жетек жүйелерінің маңызды элементі болып табылады және жоғары өнімді жүйелердің өнімділігін анықтауда маңызды рөл атқарады.

Сондай-ақ, электр жетек жүйелерімен торап ақауларының айтарлықтай саны позицияны немесе жылдамдық сенсорын таңдауға немесе орнатуға байланысты екенін атап өткен жөн.

Кері байланыс құрылғылары қозғалтқыш білігінде жоғары өнімділікті қажет ететін, электр жетектен жабық цикл жұмысын немесе нақты орналасуды қажет ететін кез келген қолданбада қолданылады. Төменде кері байланыс құрылғылары жиі қолданылатын кейбір қолданбалар берілген:

- Мөлдір басады;
- Робототехника;
- Көлік жүйелері;
- Қолданбаларды басып шығару;
- КСБ (компьютерлік сандық басқару) машиналары;
- Көтергіштер/көтергіштер;
- Сынақ қондырғылары.

Таңдалған кері байланыс құрылғысының түрін келесі факторлар анықтайды:

- Кері байланыс дәлдігі қажет;
- Құны;
- Қоршаған ортадағы беріктік;
- Кабель ұзындығы;
- Шуға қарсы;
- Кері байланыс деректерін тасымалдайтын кабельдер саны.

Кері байланыс технологиялары, кері байланыс сигналдары келесі форматтарда келеді:

- Аналогтық сигналдар;
- Цифрлық импульстік сигналдары;
- Сериялық байланыс;

1.4 Жылдамдық пен абсолютті позиция туралы кері байланыс

Айнымалы ток қозғалтқышын басқарудағы жағдай сияқты позиция мен жылдамдық туралы кері байланыс қажет болса, позицияға кері байланысты беретін сенсорды пайдалануға болады, содан кейін белгіленген үлгі уақытында орынның өзгеруі ретінде жылдамдық туралы кері байланысты алуға болады. Тұрақты ток қозғалтқышын басқарудағы жағдай сияқты, тек жылдамдықпен кері байланыс қажет болса, тек жылдамдықпен кері байланыс беретін құрылғыны пайдалануға болады [7]. Айналмалы немесе сызықтық қозғалысты өлшеу үшін позициялық кері байланыс сенсорының көптеген түрлері бар.

Айналмалы қозғалтқышты басқару үшін әдетте айналмалы кері байланыс құрылғысы пайдаланылады, бірақ сызықты қозғалтқышты басқару үшін сызықтық кері байланыс құрылғысы қолайлы. Осы нұсқаулықтың қалған бөлігінде берілген сипаттамалар негізінен позиция сенсорының әрбір түрінің айналмалы нұсқасына қатысты.

Абсолютті позицияның кері байланыс диапазоны позицияны бірегей түрде анықтауға болатын қозғалысты анықтайды. 1.1 - кестеде әртүрлі қолданбалар үшін қажетті абсолютті позиция кері байланыс диапазонының кейбір мысалдары келтірілген.

Кейбір позициялық кері байланыс сенсорлары қуат қосылған бойда абсолютті позиция ақпаратын бере алады. Басқаларды бастапқы күйге жылжыту қажет болуы мүмкін, содан кейін абсолютті позицияны беру үшін бастапқы нүктеден позицияның өзгеруін қадағалау керек.

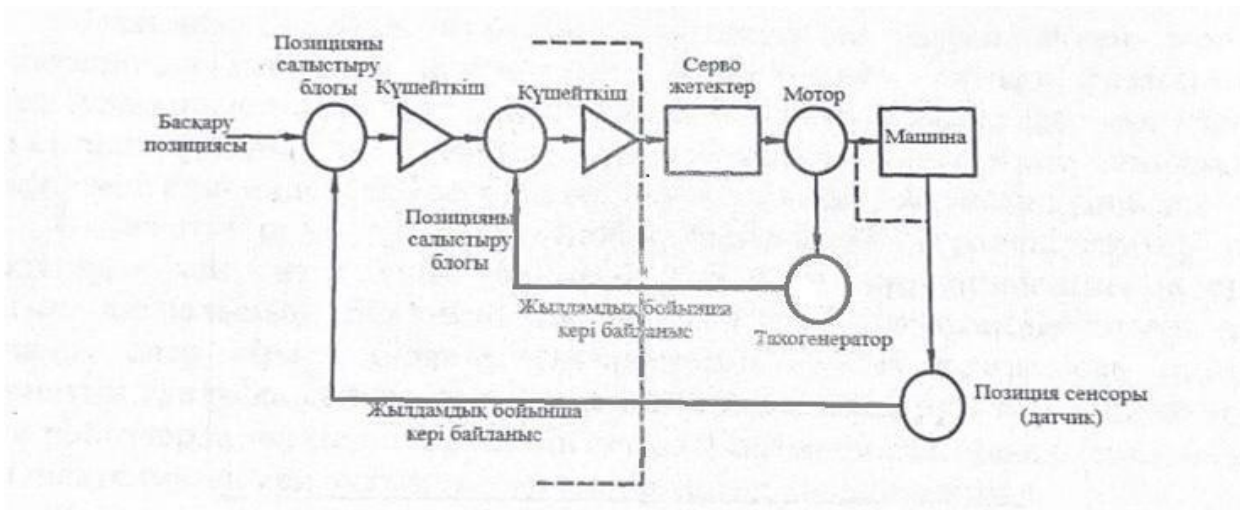
1.1 – кесте. Әртүрлі қолданбалар үшін қажетті кері байланыс ауқымы

| | |
|---|--|
| Қолдану | Абсолютті позицияның кері байланыс диапазоны |
| Айналмалы асинхронды қозғалтқышты басқару | Тек қосымша позиция. Абсолютті позиция қажет емес |
| Айналмалы синхронды қозғалтқышты басқару | Бір электрлік айналымға тең абсолютті позиция диапазоны (яғни, 6 полюсті қозғалтқыш үшін механикалық айнарудың 120°) |
| Айналмалы позицияны басқару | Барлық қажетті позициялар арасындағы қозғалысқа тең абсолютті позиция. |

| | |
|---|---|
| СЫЗЫҚТЫҚ АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШ | Тек қосымша позиция. Абсолютті позиция қажет емес. |
| СЫЗЫҚТЫҚ СИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ БАСҚАРУ | Мотор полюстерінің бір қадамына эквивалентті абсолютті сызықтық позиция диапазоны болады |
| СЫЗЫҚТЫҚ ПОЗИЦИЯНЫ БАСҚАРУ | Барлық қажетті позициялар арасындағы қозғалысқа тең абсолютті сызықтық позиция диапазоны болады |
| | |

Орнату позициялау жүйесіндегі беру жетегі екі схема бойынша жүзеге асырылуы мүмкін: қатысуымен немесе бақыланатынға сәйкес машинаның жұмыс органының жағдайы туралы кері байланыстың болмауы [8].

1.4-суретте жылдамдық пен кері байланысы бар датчиктің беріліс электр жетегін басқару диаграммасы көрсетілген.



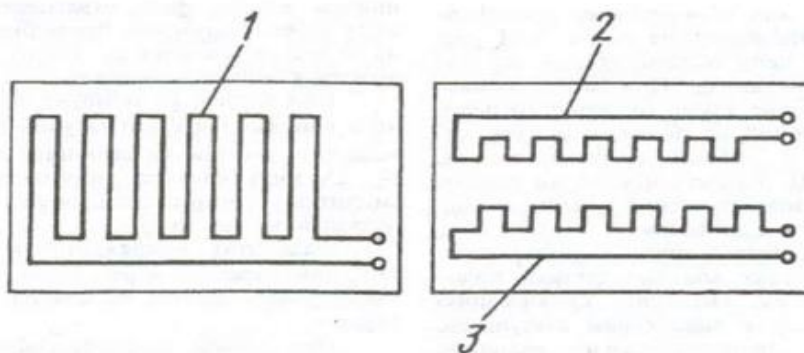
1.4 – сурет- Жылдамдық пен кері байланысы бар датчиктің беріліс электр жетегін басқару

Кері байланыс блогының функциясы басқару жүйесіне үздіксіз беруді қамтиды, машинаның жұмыс органының нақты жағдайы туралы ақпарат береді. Сандық басқарылатын машиналарда қолданылатын кері байланыс датчиктері олардың жұмыс істеу принципіне негізделген болады және олар абсолютті және циклдік болып екі топқа бөлінеді.

Кері байланыс бар датчиктер сызықты немесе айналмалы типті болуы мүмкін. Сызықтық датчиктерде әртүрлі физикалық табиғаттың қималары бар сызғыш және импульстік пішінді сигнал беретін оқу элементі кіреді (1.5 - сурет). Бұл типтегі құрылғылар қолмен басқарылатын станоктарда жұмыс бөліктерінің орнын цифрлық индикациялау үшін де, сандық басқарылатын машиналарда позициялау режимінде жетектерді басқару үшін де автономды түрде қолданылады [9-11]. Бірдей өлшеу принциптеріне сүйене отырып,

сандық басқарылатын сервожетектер сызықтық немесе айналмалы кері байланыс сенсорлары арқылы жасалады.

Сандық басқарылатын машиналар мен роботтар үшін сервоэлектрлік жетегінің маңызды элементтерінің бірі орын ауыстыру сенсоры немесе, әдетте, айналмалы немесе сызықтық орын ауыстыру түрлендіргіші болып табылады.



1.5 – сурет - Сызықтық датчиктерде кері байланыс

Механикалық орын ауыстыру түрлендіргіші жүріп өткен жолға пропорционал периодты сигналдарды (синусоидалы сигнал фазасының амплитудасының немесе импульстар санының өзгеруі) шығарады. Әрі қарай бұл сигналдар алдын ала күшейту, пішіндеу, интерполяция және индикация блоктарына еніп өңделеді; Бұл блоктар оқу және өлшеу жүйесін құрайды.

Өлшенетін орын ауыстыру мәніне байланысты түрлендіргіштер тар шекті және кең шекті болып бөлінеді. Тар шекті түрлендіргіштер әдетте шығыс сигналының бір периодында есептелетін түрлендіргіштер деп аталады, олар бірден бірнеше миллиметрге дейінгі қозғалысқа немесе бұрыштық градусқа сәйкес келуі мүмкін. Сандық басқаруы бар станоктарда және роботтарда негізінен өлшеу диапазоны айтарлықтай үлкен немесе жай ғана шектелмеген кең ауқымды түрлендіргіштер қолданылады.

Жұмыс принципіне қарай кең ауқымды түрлендіргіштер сыйымдылық, магниттік, индуктивті және фотоэлектрлік болып бөлінеді.

Конструкциясы мен технологиялық конструкциясы өте қарапайым болатын сыйымдылық түрлендіргіштері шығыс сигналдарды сандық басқару жүйелері үшін сигналдардың стандартты сериясына түрлендірудің қиындығына байланысты шектеулі қолдануды тапты (ұнтақтау машиналарында). Сондықтан олар негізінен бірнеше микрон мөлшеріндегі шамаларды өлшеу үшін қолданылады [12].

Магниттік түрлендіргіштердің ақпарат тасымалдаушысы – эталондық өлшем бойынша белгілі бір қадаммен периодты түрде қайталанатын магнит өрісі. Сызықтық орын ауыстырулардың магниттік түрлендіргіштері үшін ферромагниттік материалдардың арнайы құрамынан жасалған таспа немесе стержень үлгілі шара бола алады. Магниттік өлшемді жылжытқанда ақпарат екі магниттік бастарға беріледі. Шығыс сигналдарының пішіні синусоидалы. Дизайн тұрғысынан магниттік түрлендіргіштер қарапайым, бірақ стандартты

өлшемді жасау технологиясы өте күрделі. Бұл олардың ± 5 мкм/м дейінгі төмен дәлдігін түсіндіреді.

Индуктивті түрлендіргіштер айналмалы, бұрандалы және индуктосинді болуы мүмкін. Айналмалы трансформаторларға сельсиндер, резолюторлар және айналмалы трансформаторлар жатады; Түрлендіргіштің бұл түрі ең кең қолданбаны тапты.

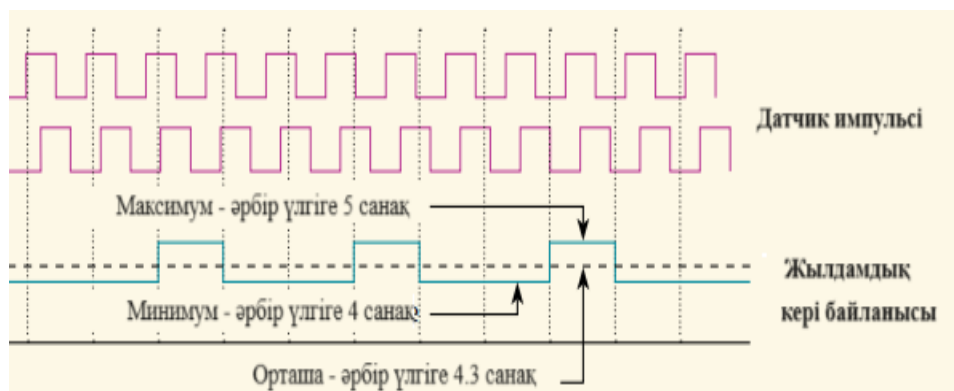
Бұрандалы тісті түрлендіргіште негізгі өлшем тірек, бұранда немесе арнайы беріліс болып табылады. Шығуда фазаға сезімтал жоғары жиілікті синусоидальдық сигналды тудыратын индуктивті бастар дизайнда өте күрделі болып келеді [13].

Индуктосиндер сызықты немесе дөңгелек болуы мүмкін; дизайн бойынша олар бұрандалы тісті түрлендіргіштерге қарағанда айтарлықтай қарапайым болып келеді.

Сызықтық индуктосин – сызғыш, оның бір жағында сызғыштың табанынан диэлектрик қабатымен оқшауланған мыс фольгадан жасалған жалпақ баспа орамасы бар. Орам тұрақты қадамы 2 мм болатын «меандр» пішініне ие.

Кері байланыс құрылғысының позиция рұқсаты мен позиция дәлдігін шатастырмау керек. Ажыратымдылық құрылғының анықтауы үшін қажетті номиналды орын позицияның өзгеруі қозғалысын анықтайды. Дәлдік, керісінше, кері байланыс позициясының нақты позициядан максималды ауытқу өлшемі болып табылады. Потенциометрден алынған аналогтық кері байланыс сигналы позицияны өлшеу үшін шексіз дерлік ажыратымдылыққа ие, бірақ кодтаушының рұқсаты берілген қозғалыс үшін өндірілген импульстар санымен шектеледі. Позиция дәлдігі әрқашан дерлік ажыратымдылықтан төмен екенін ескеру маңызды [14].

Позиция рұқсатымен қойылған ең көрнекті шектеу жылдамдықты басқару жүйесіндегі максималды мүмкін болатын өсу болып табылады, онда жылдамдық белгіленген үлгі кезеңіндегі позицияның өзгеруін есептеу арқылы позицияның кері байланысы құрылғысынан алынады. Тұрақты жылдамдықпен айналатын әрбір таңдау кезеңінде импульстардың нақты бүтін санын шығару міндетті емес. Нәтиже әр жолы есептелетін импульстар үлгідегі сандардың орташа санынан жоғары және төмен бүтін мән арасында өзгереді. 1.6 - суретте келтірілген мысалда бір кезеңдегі санаулардың орташа саны 4, 3 құрайды, бірақ әр кезеңде 4 немесе 5 санақ көрінеді. Бұл жылдамдық кері байланысында толқынды тудырады, ол бір үлгі кезеңінде бір кодтаушы санын беретін жылдамдыққа тең. Жылдамдық реттегіші кері байланыста көрінетін толқынды түзетуге тырысады және акустикалық шуды тудыратын жоғары жиілік моментінің құрамдас бөлігін жасайды.



1.6 – сурет – Датчик импульсі арқылы алынған жылдамдық туралы кері байланыс

Жылдамдық реттегішінің күшеюі артқан сайын толқындар мен шу күшейеді. Бір таңдау кезеңіне бір санауды беретін жылдамдық бір периодқа $R/360$ айналым қозғалысына баламалы, мұнда R - кері байланыс құрылғысының градуостағы рұқсаты. Демек, егер үлгі уақыты ($T_{сек}$) секундтарда болса, бұл жылдамдық келесі түрде беріледі:

Секундына айналымдағы жылдамдық

$$U_{сек} = (R/360)/T_{сек} \quad (1.1)$$

сонымен қатар

Минутына айналымдағы жылдамдық (айн/мин)

$$U_{мин} = ((R/360)/T_{сек}) \cdot 60 = R/(6 \cdot T_{сек}) \quad (1.2)$$

1.2 теңдеуде берілген жылдамдық 1 минутта позициядан басқару контурының жылдамдығының кері байланыс толқыны болып табылады. Жылдамдықты өлшеу $T_{сек}$ секунд үлгі уақытымен орындалғанда, бір айналымға R градус рұқсатымен кері байланыс құрылғысы пайда болады. Есептелген мән қозғалтқыш білігінде көрінетін жылдамдық толқыны емес. Қозғалтқыш индуктивтілігі мен жүктеме инерциясы толқынның көп бөлігін жұтады, тек шағын құрамдас қалады. Мән кері байланыс құрылғыларын салыстыру үшін пайдаланылуы мүмкін. Бұл жылдамдық толқыны нақты жылдамдықпен өзгереді және жылдамдық нөлге жақындаған сайын нашарлайды деген кең таралған қате түсінік. Бұлай емес, өйткені жылдамдық толқыны әрқашан 1.2 теңдеумен анықталады, өйткені әр таңдау кезеңінде санаудың нақты бүгін саны болатын деңгейде жылдамдық абсолютті тұрақты болып қалатын екіталай.

1.2 теңдеуден көрініп тұрғандай, жылдамдық реттегішінің жауабына зиянды әсер ететін үлгі уақытын ұлғайту немесе шығындарды қосуға бейім позиция сенсорының ажыратымдылығын арттыру арқылы жылдамдықты

кері байланыс толқынын азайтуға болады. Импульс енін өлшеу кейде кері байланыс толқынының жылдамдығын азайту үшін пайдаланылады, бірақ бұл ұсынылмайды, өйткені жүйе төмен жылдамдықтарда детерминирленген емес болады және әдетте импульстік жиектерде болатын электр шуы, жетектегі қуатты электронды ауыстыруға байланысты, жылдамдықтың кері байланысында үлкен ауытқуларды тудыруы мүмкін.

1.5 Индуктосин типті кері байланыс датчиктері

Индуктосиндер сызықты немесе дөңгелек болуы мүмкін. Түрі (типті) бойынша олар бұрандалы тісті түрлендіргіштерге қарағанда айтарлықтай қарапайым болып келеді.

Сызықтық индуктосин – сызғыш, оның бір жағында сызғыштың табанынан диэлектрик қабатымен оқшауланған мыс фольгадан жасалған жалпақ баспа орамасы бар. Орам тұрақты қадамы 2 мм болатын «меандр» пішініне ие. Орамның қадамы - екі іргелес көлденең өткізгіштердің орталықтары арасындағы қашықтық болып келеді. Конвертер басы сызғыштың бір бөлігіне ұқсайды, оның бүйірінде мыс фольгадан жасалған, бір-біріне қатысты 1/4 қадамға ығысқан және болат негізден оқшауланған екі секциялы жалпақ баспа орамалары соңғысына қарағанда диэлектрикті болып кееді. Сызықтық индуктосиндер әрқашан металдан (әдетте болаттан) жасалады.

Дөңгелек индуктосин екі дискіден (ротор мен статор) тұрады, олардың бірі білікте айналады, ал екіншісі қозғалмайды. Бір-біріне қараған дискілердің соңғы беттерінде орамдар сызықтық индуктосинге ұқсас тұрақты қадамы бар «меандр» түрінде қолданылады. Дискілерді оқшаулағыш материалдардан (керамика, шыны) және металдан (болат, алюминий қорытпасы, шойын) жасауға болады [13-14].

Индуктосиндерді коректендіретін кернеулерді беру әдісіне байланысты түрлендіргіштің шығыс сигналдары әртүрлі пішінде болуы мүмкін.

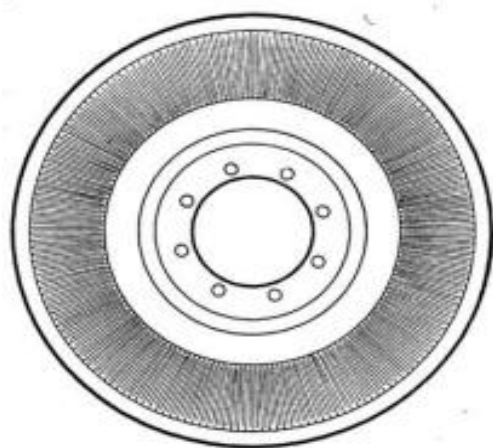
Егер басына кернеу берілсе, онда периодты түрде өзгертін сигнал коректендіру кернеулеріне қатысты фазада ығысады немесе сигнал коректендіру кернеулерінің амплитудалық мәндерінің қатынасымен белгіленген позицияға жеткенде фазада 180 өзгереді.

Егер сызғышқа кернеу берілсе және сигнал басынан алынса, онда екі сигнал бір-біріне қатысты 90° -қа ығысады және сызғышқа қатысты бас қозғалғанда функционалдық тәуелділікке ие болады. Сызықтық индуктосиннің техникалық сипаттамасы 1.2 – кестеде келтірілген.

Аналогтық сенсорлардың ішінде ең жоғары орналасу дәлдігі арқылы алуға болады, амплитудалық режимде жұмыс істейтін «Индуктосин» типті датчиктерді пайдалану. Жалпылама түрін алсақ, мұндай датчиктер сызықтық дөңгелек датчик дискісі 1.7-суретте көрсетілген.

Кесте –1.2 Сызықтық индуктосиннің техникалық сипаттамасы

| Сипаттамалар | Мәндері |
|---|-----------|
| Сызықты түрлендіру диапазоны, $m \cdot 10^{-3}$ | 60 |
| Нақтылығы | 3, 4, 5 |
| Габариттік өлшемі, мм | 250×59×10 |
| Массасы, кг | 1,1 |



а)

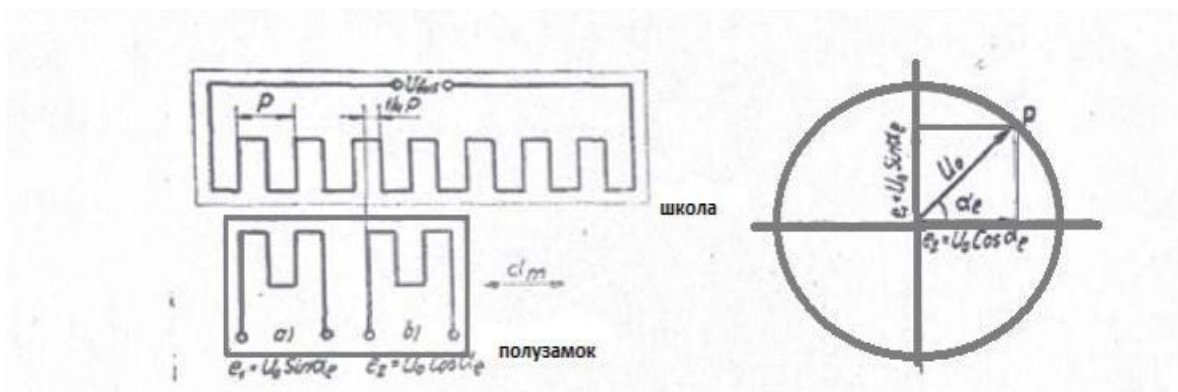


б)

1.7 – сурет – Сызықтық дөңгелек датчик дискісі

Дөңгелек индуктосин оқшаулағыш материалдан жасалған екі дискіден тұрады, олардың бірі – статор – станокта бекітілген, ал екіншісі – ротор – машинаның жылжымалы элементімен кинематикалық байланысқан (1.5, б – сурет). Ротор өлшенген бұрышпен статорға қатысты айналады. Бір-біріне қарама-қарсы орналасқан дискілердің соңғы беттерінде орамдар басып шығарылады, олар нақты анықталған фронтальды бөлімдері бар ток өткізетін өткізгіш пластиналар сериясы болып табылады. Құрылымдық жағынан, индуктосиннің екі негізгі көп полюсті орамасы және бір қосалқы орамасы бар .

«Индуктосин» типті кері байланыс датчигінің жұмыс істеу принципі 1.8 -суретте көрсетілген. Датчиктің сырғытпасында геометриялық түрде жылжыған екі басып шығарылған орам бар және электрлік 1/4 қадаммен анықталып 90° -қа ығысады.



1.8 – сурет- «Индуктосин» типті кері байланыс датчигінің жұмыс істеу принципі

Дөңгелек индуктосиннің жұмыс істеу принципі статор орамаларын айнымалы токпен қоректендіру кезінде роторда ЭҚК индукциялануы мүмкін, оның амплитудасы мен фазасы (немесе тек амплитудасы немесе тек фазасы) статорға қатысты ротордың айналу бұрышы болады [15].

Фазалық режимде бастапқы орамдарға бірдей амплитудалық кернеулер берілген кезде, бірақ фаза бойынша 90 градусқа ауысқанда, индуктосин айналмалы өріс режимінде жұмыс істейді. Бұл жағдайда қайталама орамда индукцияланған ЭҚК амплитудасы өзгеріссіз қалады, ал фаза орамдардың бір-біріне қатысты қозғалысының функциясы болып табылады.

Бұл режимде ротордан алынған кернеу тұрақты амплитудаға ие, ал фаза индуктосиндік дискілердің салыстырмалы орналасуының көп мәнді сызықтық функциясы болып табылады, яғни кернеу ротордан жойылады:

$$U_{шығ} = k \cdot U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha) \quad (1.3)$$

мұндағы α - ротордың айналу бұрышы (фаза сигналы).

Бұл фазадағы ақпарат тиісті байланыс сілтемелері арқылы қашықтыққа берілуі мүмкін. Бұл жағдайда эталондық кернеуді беру де қажет. Бұл кернеулердің фазалық айырмашылығы дискілердің немесе сызғыштардың салыстырмалы орналасуы туралы ақпаратты, яғни бұрыштық және сызықтық қозғалыстар туралы анықтау қажет.

Индуктосиндерді өндіру технологиясының жетілдірілуі, әсіресе жұқа фольгамен қапталған диэлектрлік пленкалардың өнеркәсіптік дамуы көп қабатты орамдары бар индуктосиндерге ауысуға мүмкіндік берді, оларды пайдалану шығыс сигналының дәлдігі мен қуатын арттырады, индуктосиннің функционалдығы, сонымен бірге олардың өлшемдерін кішірейту.

Бірқатар елдерде индуктосинді миниатюризациялау жұмыстары жүргізілуде. Осыған байланысты модульдік индуктосиндер деп аталатындар пайда болды, олардың мәні олардың көпқабатты орамдарының тісті өзек ойықтарына салынуында, әрбір тіс элементінде орама қабаты мен өзек

кабаты бар екенін анықтады. Бұл индуктосиндер статор мен ротор орамдары арасындағы жоғары ағындық байланысқа және ферромагниттік аймаққа байланысты шығыс сигналының жоғарылау деңгейіне ие. Модульдік индуктосиндер көпқабатты орамдары бар индуктосиндерге қарағанда дәлдік жағынан төмен, бірақ өлшемдері айтарлықтай кішірек - олардың диаметрін 30-60 мм-ге дейін азайтуға болады.

2 Электр жетегінде қолданылатын кері байланыс датчиктерінің техникалық бақылауы

Жоғары дәлдіктегі ротордың орны туралы ақпарат әдетте векторлық алгоритмге негізделген жоғары өнімділікті басқару үшін маңызды болып табылатын тұрақты магнитті синхронды қозғалтқыштарда қажет. Сондықтан индуктосин - тұрақты магнитті синхронды қозғалтқыш позициясының датчигі үшін ең жақсы таңдау. Сыйымдылық потенциалы индуктосиндік бұрышты өлшеу жүйесіндегі тиімсіз потенциалдың маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Индуктосиннің тиімді потенциалы нөлге жақындағанда, шығыс потенциалындағы сыйымдылық потенциалының үлесі айтарлықтай артады. Нәтижесінде нөлдік позиция дәлдігі айтарлықтай әсер етеді. Қате потенциалы мен тиімді потенциал әрқашан бір уақытта болады, сондықтан оны сандық түрде өлшеу және зерттеу қиын. Бұл дипломдық жұмыста индуктосиннің сыйымдылық желісінің моделі құрылды және аналитикалық есептеу әдісі ұсынылды. Сыйымдылық потенциалына әсер ететін факторлар мен басу стратегиясы теориялық талдау мен ақырлы элементтер әдісін біріктіру арқылы зерттелді. Сонымен қатар, осы жұмыста қатенің осы бөлігін дәл өлшеуді жүзеге асыратын сыйымдылық потенциалының қателіктерді бөлу әдісі ұсынылды. Теориялық есептеудің және соңғы элементтерді талдаудың дәлдігі эксперимент нәтижелерімен расталды.

2.1 Индуктосиндегі сыйымдылық потенциалын талдау

Бұрышты өлшеу жүйесінің негізгі құрамдас бөлігі ретінде бұрыштық позиция сенсорының өнімділігі бүкіл бұрышты өлшеу жүйесінің жұмыс тұрақтылығына, түрлендіру жылдамдығына және өлшеу дәлдігіне тікелей әсер етеді [1,2,3]. Айналмалы индуктосин – көп полюсті электромагниттік индукциялық бұрыштық позиция сенсоры, оның катал қоршаған ортаға төзімділігі, орнатудың төмен дәлдігі талаптары, жоғары дәлдік, жылдам жұмыс жылдамдығы, күшті антиэлектромагниттік кедергі қабілеті және төмен құны бар [4,5,6]. Арнайы көп полюсті құрылым индуктосинге айналмалы трансформатор және холл позициясының сенсоры сияқты басқа электромагниттік өлшеу элементтеріне қарағанда әлдеқайда жоғары дәлдікке қол жеткізуге мүмкіндік береді [7,8]. Басқа оптикалық сенсорлармен салыстырғанда индуктосин экстремалды ортада күштірек бейімделгіштік пен сенімділікке ие [9,10].

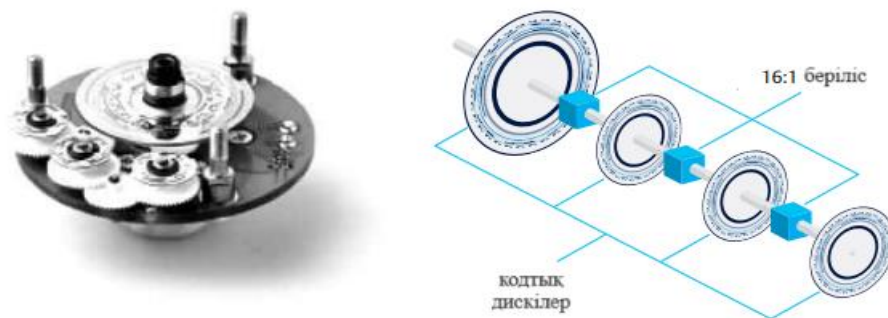
Ғарыштық техниканың үздіксіз дамуымен бұрышты өлшеу жүйесінің дәлдігі әртүрлі салаларда қажеттілік артып отыр [11,12,13]. Сондықтан өлшеу дәлдігін қалай жақсарту керек - индуктосин қазіргі кезде кездесетін басты мәселе. Индуктосиннің өлшеу дәлдігі негізінен нөлдік позиция дәлдігімен анықталады [14,15]. Индуктосиннің нөлдік позиция қателігін анықтайтын негізгі факторлар орнату қатесі, өткізгіштің таңбалануының ауытқуы, тиімсіз

өткізгіштің қосылу потенциалы және сыйымдылық потенциалы сияқты сыртқы факторлардан басқа [16]. Олардың ішінде өткізгіштің таңбалауының ауытқуы негізінен өндіріс процесімен анықталады, ал тиімді емес өткізгіштерді біріктіру кез келген құрылымда болдырмау қиын. Сондықтан индуктосин жүйесінің дәлдігін арттырудың ең тиімді әдісі сыйымдылық потенциалын азайту болып табылады [17].

Сыйымдылық потенциалы статор мен ротор арасындағы ілінісу сыйымдылығы арқылы жасалады, ал ток ілінісу сыйымдылығы арқылы контурды құрайды, шығыс соңында қателік потенциалды тудырады [18,19]. Қате потенциалының фазасы мен тиімді потенциал бірдей дерлік, бұл индуктосиннің нөлдік позиция дәлдігіне зиянды және қиын ажыратылады. Индуктосинді зерттеудің бастапқы кезеңінде ғалымдар осы қателік факторына назар аударды және сыйымдылық қосылысын азайту үшін көптеген шараларды ұсынды [20]. Бұл шаралар өткізгіштерді әртүрлі тәсілдермен қосуға негізделген, бұл орамалардың ұштарын қиындатып, біріншілік және қайталама орамалардың электромагниттік байланысына сөзсіз әсер етті [18].

Бұл зерттеуде индуктосиннің сыйымдылық потенциалының генерациялау принципі және әсер етуші факторлары талданды. Индуктосиннің сыйымдылық желісінің моделі құрылды және теориялық есептеуді ақырлы элементтер әдісімен біріктіру арқылы сыйымдылық потенциалын басу шаралары зерттелді. Соңында тәжірибелік өлшеу теориялық есептеудің және соңғы элементтерді талдаудың дұрыстығын тексеретін сыйымдылық потенциалды қателерді бөлу технологиясы арқылы жүзеге асырылды.

Айналмалы индуктосин шеңбер бойымен таралады, ал статордың синус және косинус орамдары кеңістікте жарты полюстік қашықтықпен ерекшеленеді. Синусоидалы орама мен ротор өткізгішінің орны толығымен сәйкес келгенде, косинус орамасы 2.1-суретте көрсетілгендей ротор өткізгішінің ортасында орналасады. Ротор орамасына синусоидалы қоздыру тогы әсер еткенде, екі фазалы орамдар статор өзара ортогональды индукцияланған потенциалдарды тудырады.



2.1 – сурет- Индуктосиндегі сыйымдылық потенциалының генерация принципі

$$\begin{cases} U_1 = U_m \cdot \sin \omega t \\ U_{2s} = U_0 \cdot \cos \omega t \cdot \sin \theta \\ U_{2c} = U_0 \cdot \cos \omega t \cdot \cos \theta \end{cases} \quad (2.1)$$

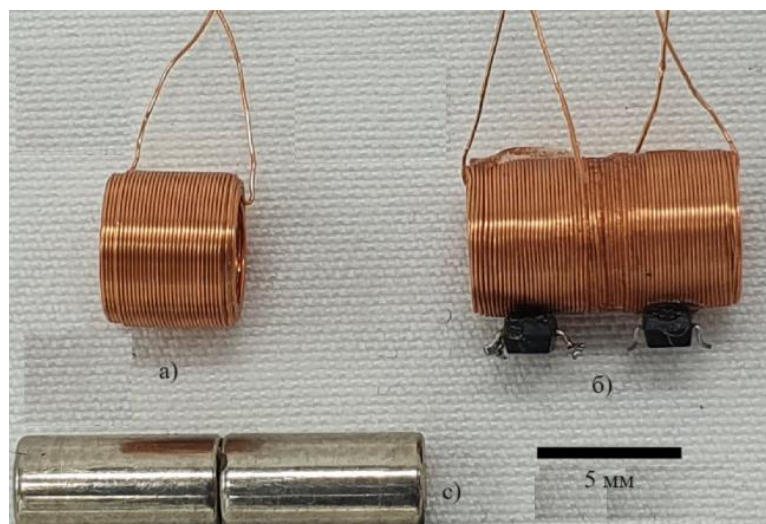
Бұл 2.1 теңдеу индуктосиннің шығыс эффективті потенциалын көрсетеді. Бірақ статор мен ротор орамдары арасында пластина тәрізді конденсатор құрылымының пайда болуына байланысты токтың аз бөлігі статор мен ротор өткізгіші арасындағы үлестірілген сыйымдылық арқылы өтеді және статор орамасында тиімсіз потенциалды тудырады.

Жалпы айтқанда, индуктосиндегі тиімді потенциалдың амплитудасы бөлінген сыйымдылық тудыратын тиімсіз потенциалға қарағанда әлдеқайда жоғары. Дегенмен, ротор полюстік қашықтықтың бұрышын айналдырған сайын, статор орамасының тиімді потенциалы нөлдік позиция арқылы өтеді, ал сыйымдылық потенциал бұрыштың өзгеруіне соншалықты сезімтал емес. Сондықтан статор орамасының индукцияланған потенциалы нөлге жақындағанда, шығыс потенциалындағы сыйымдылық тиімсіз потенциалдың үлесі айтарлықтай артады. Сыйымдылық потенциалы индуктосиннің нөлдік позициялық қателігін арттыратынын көруге болады, бұл индуктосин бұрышын өлшеу жүйесінің дәлдігіне елеулі әсер етуі мүмкін.

2.2 Электромагниттік электржетектердің кері байланысы және оны басқару

Алынған кері байланыс датчикіміз сипатталған екі магнитті қозғалтқышқа негізделген. Электр жетектердің алдыңғы конструкцияларында күш жасау үшін бір катушкалар мен магнит пайдаланылды. Бұл жетектердің өнімділігі магнит пен катушканың орталықтары тураланған кезде пайда болатын нөлдік күшке байланысты шектелген. Әдеттегі шешім - магнитті катушкаға қатысты нүктеге жылжыту ең үлкен күш тудыруы мүмкін. Бұл магниттің жалпы ығысуын тек бір магниттік полюстің күш тудыратын аймағының бір бөлігімен шектейді.

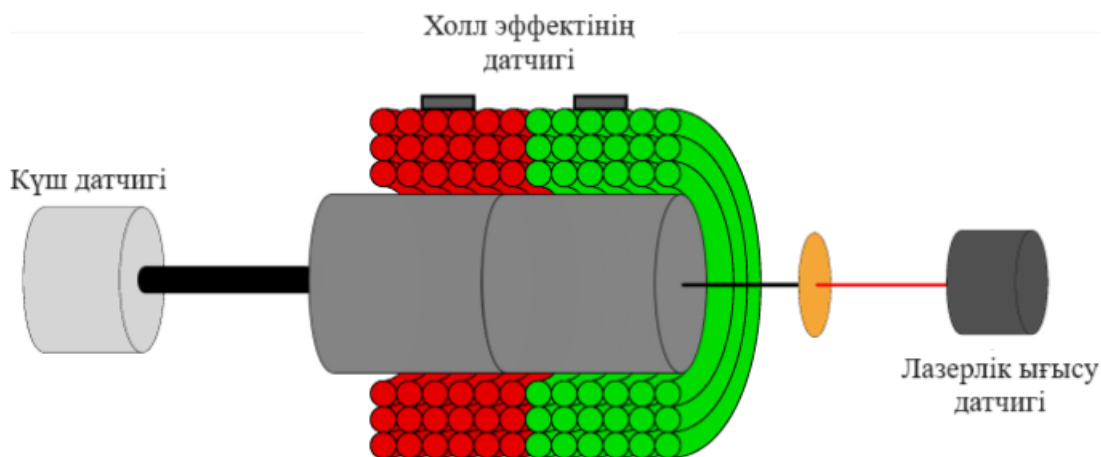
Бұл мәселені шешу үшін ұлғайтылған орын ауыстыру кезінде күш қолдануға мүмкіндік беретін бірнеше катушкалар пайдаланылды. Бұл бір соққыға берілетін максималды энергияны арттыра отырып, ең жоғары ток пен шығындарды азайтады. Электр жетек диаметрі 3,5 мм және ұзындығы 7 мм, қарама-қарсы магнит өрістерімен байланысқан екі неодим N50-ден жасалған. Катушкалар ұзындығы 4,5 мм, сыртқы диаметрі 5,4 мм және ішкі диаметрі 3,6 мм болатын 32 осьтік бұрылыспен және 6 радиалды бұрылыспен диаметрі 0,12 мм мыс сымнан жасалған.



2.2 – сурет- Жалғыз катушка (а), екі Холл датчигі орнатылған катушкалар жинағы (б) және қарама-қарсы магниттік полюстермен қосылған екі магниті бар магниттік жинақ (с)

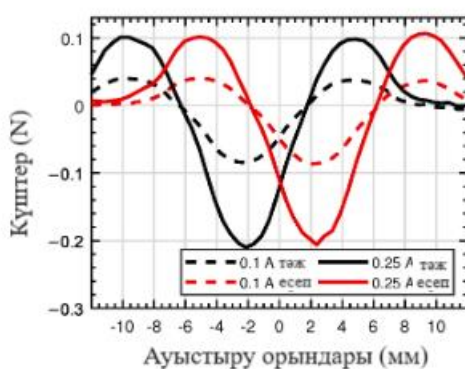
Электр жетектің статикалық өнімділігі пайдалы орын ауыстыру кезінде пайда болатын күшті өлшеу арқылы тексеріледі. 2.3 - суретте статикалық сипаттамаларды өлшеу үшін қолданылатын құрылғы көрсетілген. 2.3 - суретте магнитті емес білік арқылы *ATI Nano17 ti* күш датчигіне бекітілген магниттік жинақ көрсетілген. Күш қондырғы механикалық сырғытпаның жылжымалы элементіне бекітіліп, катушка бекітіледі. Құрылымды пайдалы ығысу бойымен 0,5 мм қадаммен жылжыту үшін механикалық сырғытпа пайдаланылады. Кішігірім диаметрлі тесіктердің тереңдігін өлшеудегі шектеулерге байланысты бекітілген нысанадан магниттің ығысуын өлшеу үшін сыртқы лазерлік орын ауыстыру датчигі (*Keyence IL-100*) пайдаланылады.

Әрбір ығысу кезінде екі катушка бағдарламаланатын тұрақты ток көзі (*Rigol DP832*) арқылы қажетті тұрақты токқа тәуелсіз түрде қуатталады, содан кейін шығыс күші өлшенеді. Бұл процесс электр жетекті толығымен жылжыту үшін қайталанады. Тәжірибе 0,1 және 0,25 А тұрақты токта екі рет жүргізіледі, нәтижелерін 2.4 – суреттен көруге болады. 2.3 - суретте симметриялық профильдің ортасы сыртқы шыңдардан шамамен екі есе үлкен шамаға ие екі симметриялы қабаттасатын күш профилін көрсетеді. Екі катушканың қабаттасатын профильдері кез келген орын ауыстыруда күш тудыруға мүмкіндік береді, өйткені шамалардың қосындысы ешқашан нөлге жетпейді.

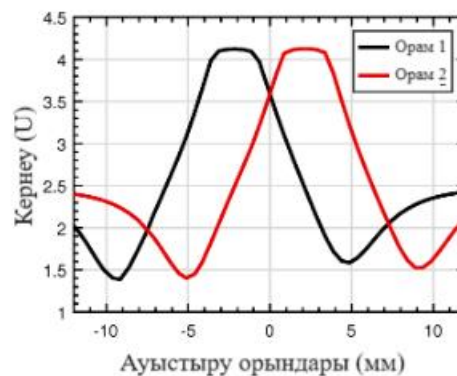


2.3 – сурет- Катушканы сынау құрылғысы

Катушканы сынау құрылғысы күш датчигіне бекітілген магнит, орын ауыстыру лазерлік орын ауыстыру датчигі және осьтен тыс магнит өрісін өлшейтін Холл датчигі арқылы өлшенеді



а)



б)

2.4 – сурет- Элек жетегі қозғалған кезде 0,1 А және 0,25 А екі катушкалар тудыратын өлшенетін күш (а) және жетек қозғалған кезде магнит өрісін өлшейтін Холл датчиктерінің шығыс сигналы (б)

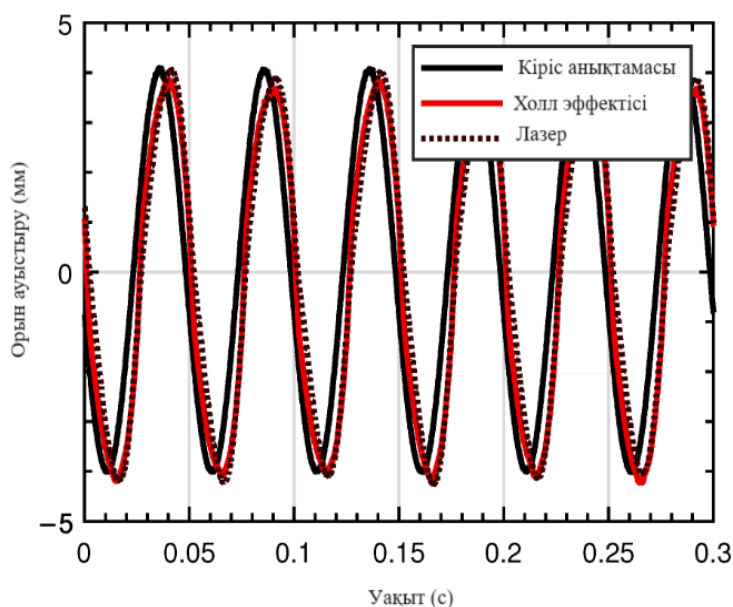
Қолданыстағы желілік электромагниттік қанат электр жетектері жалпақтау профиліне қол жеткізу үшін ашық циклды басқаруды пайдаланады. Кішкене іске қосу ығысуына байланысты магниттік күш ең аз өзгеріске ие болады. Бірнеше катушкаларды пайдалану жұмыс орнын ауыстыру диапазонын арттырады, бірақ дәл басқару үшін жетектің кері байланысын қажет ететін қанаттың жүрісі бойымен магниттік күштің көбірек өзгеруіне әкеледі. Осы қажеттілікті қанағаттандыру үшін әрбір катушканың

осьтен тыс магнит өрісін өлшеу үшін екі сызықтық Холл әсерінің датчигі таңдалды.

Бұл датчиктер магнит өрісіне пропорционал сызықтық аналогтық кернеу шығысын қамтамасыз етеді, оны аналогты-сандық түрлендіргіш (АСТ) көмегімен өлшеуге болады. 2.3 - суретте көрсетілген сызықтық Холл әсерінің датчиктері (SS39ET) қоректену кернеуінің орта нүктесінде болатын кернеуді шығарады. Бұл тәжірибеде Холл датчиктері үшін 5 В көзі қолданылды, нәтижесінде шамамен 2,5 В көрсеткіш көрсетілді. Бұл магнит өрісінің бағытын да, шамасын өлшеуге мүмкіндік береді. 2.4, б-суретте Холл әсерінің датчигінің шығыс кернеуі электр жетектің ығысу функциясы ретінде көрсетілген.

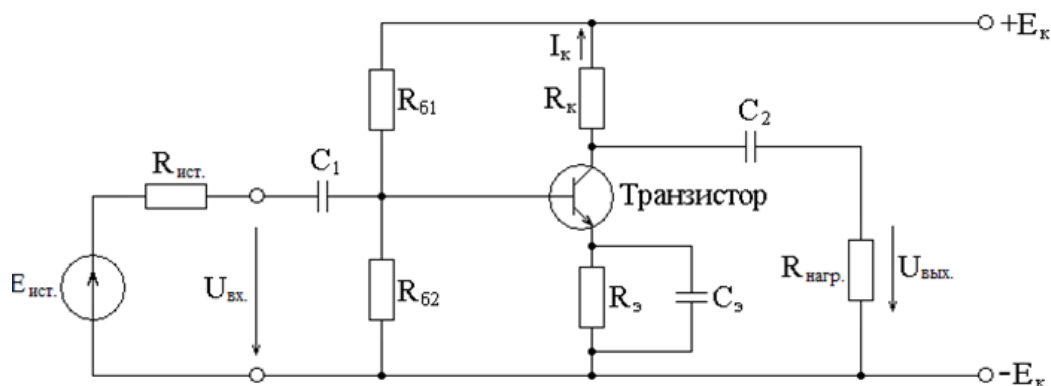
Кері байланыс және басқару жүйесінің әдістерін тексеру үшін жұмыс кезінде өлшеулерді растау үшін қосалқы жетек динамикалық сынақ стендінде сынақтан өтті. Динамикалық сынақ орнату магнитке механикалық жүктеме жасамай, магниттің катушкалардың ішінде еркін сырғып кетуіне мүмкіндік беретін момент датчигі жойылған кезде болады [21-23].

Кері байланыс шарты ретінде есептелген позицияны пайдаланып, анықтамалық кіріс сигналын бақылау үшін пропорционалды контроллер пайдаланылады. Нәтижелерін 2.5 – суреттен көруге болады. Бұл тәжірибедегі анықтамалық кіріс сигналы жиілігі 20 Гц және амплитудасы ± 4 болатын синус толқыны болады. Лазерлік орын ауыстыру Холл әсерінің датчигі арқылы магниттің есептелген орны туралы сенімді ақпаратты қамтамасыз етті.



2.5 – сурет- Холл әффектісін пайдалана отырып, тербелмелі 20 Гц анықтамалық кірістен кейінгі және лазерлік орын ауыстыруды уақыт бойынша салыстыру

2.3 Күшейткіш кері байланыс датчигі (транзистор) орналасқан электр желісін есептеу



2.6 – сурет- Күшейткіш кері байланыс датчигі (транзистор) орналасқан электр желісі

Максималды рұқсат етілген параметрлерді бағалау және транзисторды таңдау

Біз күшейткіш кері байланыс датчигі транзисторды үш параметр негізінде таңдаймыз:

– транзистордың коллекторы мен эмитенті арасындағы рұқсат етілген ең жоғары кернеу 20% маркамен таңдалады:

$$U_{кэ.доп} \geq 1,2 \times E_k = 1,2 \times 17 = 20,4 \text{ В};$$

– максималды рұқсат етілген коллекторлық ток:

$$I_{к.доп} \geq 2 \times I_{нагр.т} = \frac{2 \times U_{вых.т}}{R_{нагр.}} = \frac{2 \times 6}{120} = 100 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 100 \text{ мА};$$

– максимальды жұмыс жиілігі $f_{max} \geq 20000 \text{ Гц}$.

Үлкен статикалық ток күшейту $\beta = h_{21э} = 100 \dots 250$ болатын КТ3102А типті n-p-n транзисторын таңдайық. Анықтамалық кітапта бұл коэффициенттің ең төменгі және ең үлкен мәндері берілген. Есептеулер үшін $\beta_{min} = 100$ ең аз мәнді таңдаңыз.

Транзистордың тұрақты ток режимін есептеу

Алдымен транзистордың кіріс (базалық) және шығыс (коллекторлық) тізбектерінің тогы мен кернеуі үшін жұмыс нүктелерін таңдаймыз. Тұрақты ток режимі резисторлармен қамтамасыз етіледі: $R_{б1}$, $R_{б2}$, $R_{э}$, $R_{к}$, олардың кедергісін табу керек. Күшейткіш кері байланыс датчигі (транзистор)

орналасқан электр желісі бар схема бойынша күшейткіш сатысының графикалық есебі 2.7 - суретте көрсетілген.

Коллектордың тыныштық тогы

$$I_{к0} = 1,2 \cdot I_{нагр.м} = 1,2 \cdot \frac{U_{вых.т}}{R_{нагр}} = 1,2 \cdot \frac{6}{120} = 60 \cdot 10^{-3} A = 60 mA.$$

$I_{к0} = 60$ мА деп қабылдаймыз.

Коллектор-эмиттердың тыныштық кернеуі:

$$U_{кэ0} = (1,0 \dots 1,2) \times (U_{вых.т} + U_{насыщ.}) = (1,0 \dots 1,2) \times (6 + 0,7 \dots 1,0) = 6,7 \dots 8,4 B,$$

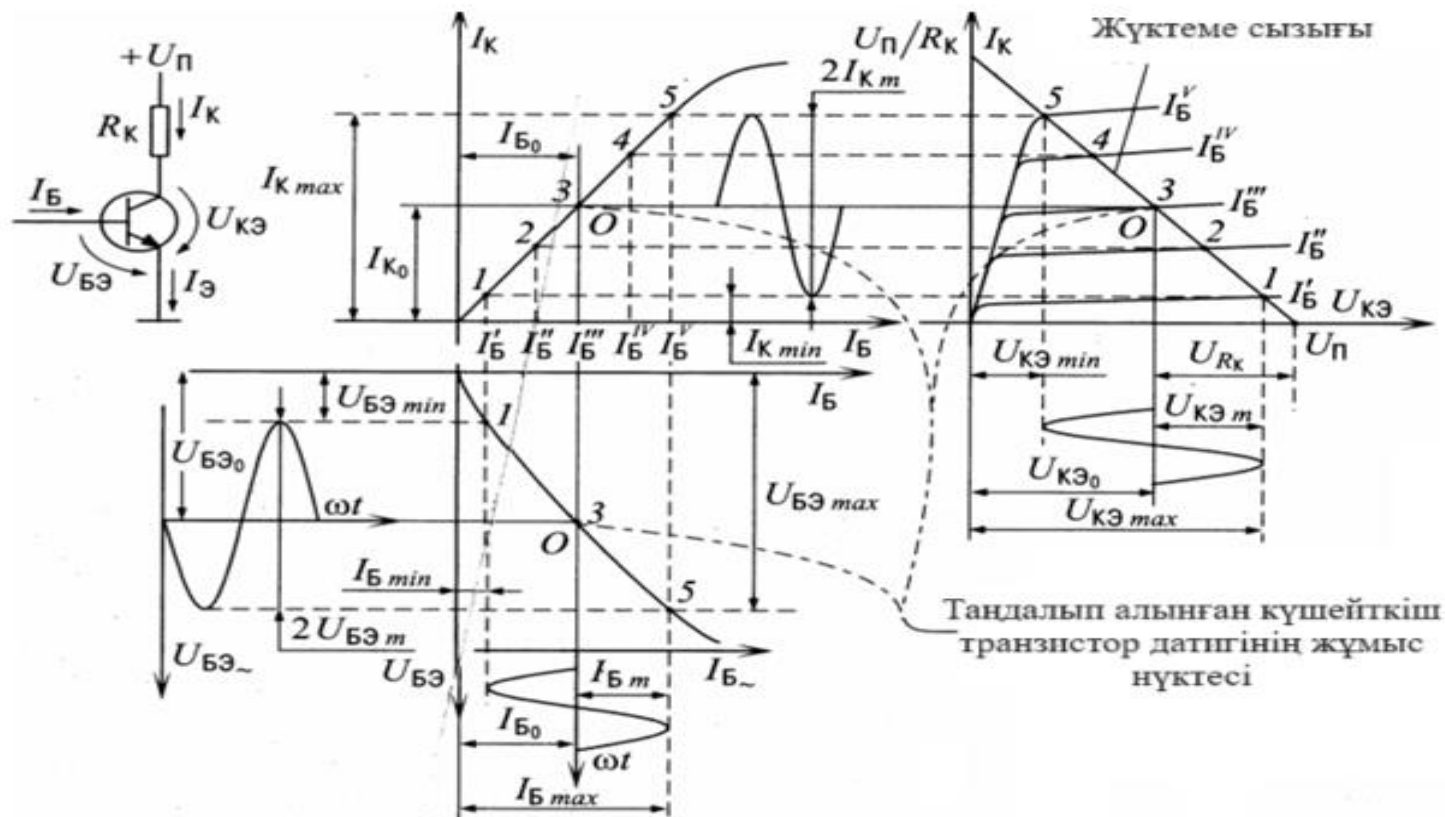
мұндағы $U_{насыщ.}$ – транзистордың қанығу кернеуі.

Кремний транзисторлары үшін $U_{насыщ.} = 0,7 \dots 1,0 B$, ал германий транзисторлары үшін – $U_{насыщ.} = 0,3 \dots 0,6 B$ деп қабылдаймыз.

Басқаша алсақ $U_{кэ0} \leq E_k / 2$ болады.

$U_{кэ0} = 8 B$ деп қосымша қабылдаймыз.

Максималды рұқсат етілген кернеу $U_{кэ.дон} \geq 1,2 \times E_k = 1,2 \times 17 = 20 B$. Тағдалған күшейткіш кері байланыс датчигі (транзистор) $U_{кэ.дон} = 50 B$, яғни біздің шартқа сай келеді.



2.7 – сурет- Күшейткіш кері байланыс датчигі (транзистор) орналасқан электр желісі бар схема бойынша күшейткіш сатысының графикалық есебі

Транзисторлық базалық тыныш ток:

$$I_{\bar{\sigma}0} = I_{\kappa0} / \beta_{\min} = 60 / 100 = 0,6 \text{ мА}.$$

$U_{\bar{\sigma}0}$ базасындағы тыныштық кернеуі $I_{\bar{\sigma}0}$ базасының тыныштық тоғына сәйкес транзистордың кіріс сипаттамасынан табылады. Бізде транзистордың кіріс сипаттамасы жоқ, сондықтан төмен қуатты транзисторлар үшін кремний транзисторлары үшін $U_{\bar{\sigma}0} = 0,6 \dots 1,1 \text{ В}$, германий транзисторлары үшін $U_{\bar{\sigma}0} = 0,2 \dots 0,6 \text{ В}$ қабылдау үлкен қателік болмас еді.

Таңдалған транзистор КТ3102А кремний (транзистордың белгілеуіндегі «К» әрпімен көрсетілген), сондықтан біз $U_{\bar{\sigma}0} = 0,7 \text{ В}$ қабылдаймыз.

Транзистордың коллекторлық және эмитенттік тізбегіндегі резисторлардың кедергілері:

$$R_{\kappa} + R_{\bar{\sigma}} = \frac{E_{\kappa} - U_{\kappa\bar{\sigma}0}}{I_{\kappa0}} = \frac{17 - 8}{60 \cdot 10^{-3}} = 150 \text{ Ом};$$

$$R_{\kappa} = \frac{R_{\kappa} + R_{\bar{\sigma}}}{1,2} = \frac{150}{1,2} = 125 \text{ Ом}, \text{ примем } R_{\kappa} = 130 \text{ Ом};$$

$$R_{\bar{\sigma}} = \frac{E_{\kappa} - U_{\kappa\bar{\sigma}0}}{I_{\kappa0}} - R_{\kappa} = 150 - 130 = 20 \text{ Ом}, \text{ примем } R_{\bar{\sigma}} = 22 \text{ Ом}.$$

Бөлгіш ток $I_{\text{дел}}$ болатындай $R_{\bar{\sigma}1}$ және $R_{\bar{\sigma}2}$ кернеу бөлгіш резисторларының кедергісін таңдау ұсынылады. төмен қуатты стадияларда транзистордың базалық тогын 8...10 есеге, ал жоғары қуатты күшейткіштерде 2...3 есеге артты. Сонда Кирхгофтың екінші заңы бойынша жазылған теңдеуден $I_{\bar{\sigma}0}$ тыныш базалық токты біле отырып, біз таба аламыз:

$$R_{\bar{\sigma}2} \cdot I_{\text{дел}} = U_{\bar{\sigma}0} + R_{\bar{\sigma}} \cdot I_{\kappa0} = 0,7 + 22 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 2,02 \text{ В};$$

$$R_{\bar{\sigma}2} = \frac{U_{\bar{\sigma}0} + R_{\bar{\sigma}} \cdot I_{\kappa0}}{I_{\text{дел}}} = \frac{U_{\bar{\sigma}0} + R_{\bar{\sigma}} \cdot I_{\kappa0}}{(8 \dots 10) \cdot I_{\bar{\sigma}0}} = \frac{2,02 \text{ В}}{10 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 337 \text{ Ом}.$$

Бірнеше стандартты мәндерден ең жақын резистор мәнін алайық $R_{\bar{\sigma}2} = 330 \text{ Ом}$.

Содан кейін формула арқылы $R_{\bar{\sigma}1}$ мәнін есептейміз:

$$R_{\bar{\sigma}1} = \frac{E_{\kappa}}{I_{\text{дел}}} - R_{\bar{\sigma}2} = \frac{17 \text{ В}}{6 \cdot 10^{-3} \text{ А}} - 330 = 2833 - 330 = 2503 \text{ Ом}.$$

Бірнеше стандартты мәндерден ең жақын резистор мәнін алайық $R_{\bar{\sigma}1} = 2500 \text{ Ом} = 2,5 \text{ кОм}$.

. Айнымалы ток режимін есептеу

Транзистордың кіріс кедергісі $r_{ex} = h_{11}$ немесе оның кіріс сипаттамасына сәйкес $I_{\bar{o}} = f(U_{\bar{o}\bar{a}})$ (2.7 - сурет):

$$r_{ex} = h_{11} \cong \frac{2 \cdot U_{ex.m}}{I_{\bar{o}.max} - I_{\bar{o}.min}} \cong 100 \text{ Ом}.$$

Күшейткіш кіріс тоғының айнымалы құрамдас бөлігі үшін кернеу бөлгіш резисторлардың эквивалентті кедергісі:

$$R_{\bar{o}} = \frac{R_{\bar{o}1} \cdot R_{\bar{o}2}}{R_{\bar{o}1} + R_{\bar{o}2}} = \frac{2500 \cdot 330}{2500 + 330} = 291,5 \text{ Ом}.$$

Күшейткіштің кіріс кедергісі:

$$R_{ex} = \frac{R_{\bar{o}} \cdot r_{ex}}{R_{\bar{o}} + r_{ex}} = \frac{291,5 \cdot 100}{291,5 + 100} = 74,5 \text{ Ом}.$$

Күшейткіштің бос режимдегі шығыс кедергісі, яғни. жүктемесіз жұмыс істейді:

$$R_{вых.XX} = \frac{R_{\kappa}}{h_{22} \cdot R_{\kappa} + 1} \approx R_{\kappa} = 125 \text{ Ом}, \text{ так как } h_{22} \cdot R_{\kappa} \ll 1.$$

Бос жүріс кезіндегі жүктеме күшейткішінің коэффициенті

$$K_{UXX} = -\frac{U_{вых.mXX}}{U_{ex.m}} = -\frac{I_{\kappa.m} \cdot R_{вых.XX}}{I_{ex.m} \cdot R_{ex}} = -\frac{I_{\kappa.m} \cdot R_{вых.XX}}{I_{\bar{o}.m} \cdot r_{ex}} = -\frac{\beta \cdot R_{\kappa}}{h_{11} \cdot (h_{22} \cdot R_{\kappa} + 1)} \approx -\beta \frac{R_{\kappa}}{h_{11}};$$

$$K_{UXX} = -\frac{U_{вых.mXX}}{U_{ex.m}} \approx -\beta \frac{R_{\kappa}}{h_{11}} = -100 \cdot \frac{125}{100} = -125,$$

мұндағы $U_{вых.m}$ – жүктемедегі кернеу амплитудасы, $U_{ex.m}$ – күшейткіш кірісіндегі кернеу амплитудасы (2.7 - сурет).

Күшейткіш кернеу көзінің $R_{уст}$ және жүктеме $R_{нагр}$. жүктемесінің кедергілерін ескере отырып, күшейткіштің күшейту мәнін анықтайық.

Күшейткіштің кіріс кернеуі:

$$U_{ex.m} = E_{уст.m} \cdot \frac{R_{ex}}{R_{уст} + R_{ex}} = 1,6 \cdot \frac{74,5}{1000 + 74,5} = 0,111 \text{ В}.$$

Күшейткіштің шығыс кернеуі:

$$U_{\text{вых.т}} = \left| K_{UXX} \cdot U_{\text{ex.т}} \cdot \frac{R_{\text{нагр}}}{R_{\text{вых.ХХ}} + R_{\text{нагр}}} \right| = \left| -125 \cdot 0,111 \cdot \frac{120}{125 + 120} \right| = 6,8B.$$

Кернеудің күшейткіш коэффициенті:

$$K_U = \frac{U_{\text{вых.т}}}{E_{\text{ист.т}}} = K_{UXX} \cdot \frac{R_{\text{ex}}}{R_{\text{ист}} + R_{\text{ex}}} \cdot \frac{R_{\text{нагр}}}{R_{\text{вых.ХХ}} + R_{\text{нагр}}} = -\frac{6,8}{1,6} = -4,25.$$

Транзисторлық коллектордың ток амплитудасы:

$$I_{\text{к.т}} = \frac{U_{\text{вых.тХХ}}}{R_{\text{вых.ХХ}}} = \frac{|K_{UXX}| \cdot U_{\text{ex.т}}}{R_{\text{к}}} = \frac{|-125| \cdot 0,111}{125} = 0,111A.$$

Жүктеме резисторындағы ток амплитудасы:

$$I_{\text{вых.т}} = I_{\text{к.т}} \cdot \frac{R_{\text{вых.ХХ}}}{R_{\text{вых.ХХ}} + R_{\text{нагр}}} = 0,111 \cdot \frac{125}{125 + 120} = 56,6 \cdot 10^{-3} = 56,6mA.$$

Транзисторлық базалық ток амплитудасы:

$$I_{\text{б.т}} = I_{\text{ex.т}} \cdot \frac{R_{\text{б}}}{R_{\text{б}} + r_{\text{ex}}} = 1,49 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{291,5}{291,5 + 100} = 1,11 \cdot 10^{-3} A = 1,11mA,$$

мұндағы $I_{\text{ex.т}} = \frac{U_{\text{ex.т}}}{R_{\text{ex}}} = \frac{0,111B}{74,5\Omega} = 1,49 \cdot 10^{-3} A = 1,49mA.$

Токтың күшейткіш коэффициенті:

$$K_I = \frac{I_{\text{вых.т}}}{I_{\text{ex.т}}} = \beta \cdot \frac{R_{\text{б}}}{R_{\text{б}} + r_{\text{ex}}} \cdot \frac{R_{\text{вых.ХХ}}}{R_{\text{вых.ХХ}} + R_{\text{нагр}}} = 100 \cdot \frac{291,5}{291,5 + 100} \cdot \frac{125}{125 + 120} = 38,$$

мұндағы $\frac{I_{\text{к.т}}}{I_{\text{б.т}}} = \beta;$

Қуаттың күшейткіш коэффициенті:

$$K_P = |K_U \cdot K_I| = |4,25 \cdot 38| = 161,5.$$

. C_1 , C_2 ілінісу конденсаторларының сыйымдылықтарын және S_e эмиттер тізбегіндегі шунттаушы конденсатордың сыйымдылығын есептеу.

C_1 , C_2 сатылы ілінісу сыйымдылықтары тұрақты ток сатылары арасында немесе күшейткіштің көзі мен бірінші сатысы арасында, соңғы саты мен жүктеме арасында ажыратуға арналған. S_e конденсаторы күшейту кезеңдерінде айнымалы ток кері байланысын жоюға арналған. Бұл конденсаторлардың сыйымдылықтарын келесі формулалар арқылы есептейміз:

$$C_1 = \frac{10}{2\pi f_{\min} (R_{\text{вх}} + R_{\text{уст}}) \sqrt{M_{\text{иск}} - 1}} =$$

$$= \frac{10}{6,28 \cdot 250 \cdot (74,5 + 1000) \sqrt{1,2 - 1}} = 4,2 \cdot 10^{-6} \Phi = 4,2 \text{ мк}\Phi ;$$

$$C_2 = \frac{10}{2\pi f_{\min} (R_{\text{нагр.}} + R_{\text{к}}) \sqrt{M_{\text{иск}} - 1}} =$$

$$= \frac{10}{6,28 \cdot 250 \cdot (120 + 125) \sqrt{1,2 - 1}} = 18,4 \cdot 10^{-6} \Phi = 18,4 \text{ мк}\Phi ;$$

$$C_3 = \frac{10}{2\pi f_{\min} R_3} = \frac{10}{6,28 \cdot 250 \cdot 330} = 19,3 \cdot 10^{-6} \Phi = 19,3 \text{ мк}\Phi .$$

Өсуге жақын конденсатор сыйымдылықтарының стандартты мәндерін алайық:

$$C_1 = 4,7 \text{ мк}\Phi \times 10 \text{ В}; \quad C_2 = 20,0 \text{ мк}\Phi \times 10 \text{ В}; \quad C_3 = 20,0 \text{ мк}\Phi \times 10 \text{ В},$$

Күшейткіштің тиімділігін есептеу

Каскадтың шығыс пайдалы қуаты:

$$P_{\text{вых}} = \frac{0,5 \cdot U_{\text{вых.т}}^2}{R_{\text{нагр.}}} = \frac{0,5 \cdot 6,8^2}{120} = 0,193 \text{ Вт} = 193 \text{ мВт}..$$

Қуат көзі тұтынатын қуат:

$$P_{E_k} = I_{k0} \cdot E_k + I_{\text{дел.}}^2 (R_{\sigma 1} + R_{\sigma 2}) + I_{\sigma 0}^2 \cdot R_{\sigma 1} =$$

$$= 60 \cdot 10^{-3} \cdot 17 + (6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (2500 + 330) + (0,6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2500 = 1,123 \text{ Вт}.$$

Өрнектен каскадтың тиімділігін анықтаймыз:

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{E_k}} \cdot 100\% = \frac{0,193}{1,123} \cdot 100\% = 17,2\% .$$

3 Кері байланыс датчиктерінің түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдауды математикалық модельдеу

3.1 Холл ЭҚК датчигі арқылы тұрақты ток қозғалтқышының электромагниттік моментін өлшеу

Статикалық режимде біліктегі электр қозғалтқышының моменті электромагниттік моментті жоғалту моменті бойынша аз болады.

$$M_{\partial} = M_{ЭМ} - M_0 \quad (3.1)$$

Электромагниттік момент қоздыру ағыны мен якорь тогының көбейтіндісіне пропорционал:

$$M_{ЭМ} = c \cdot \Phi \cdot I_{я} \quad (3.2)$$

мұндағы Φ - қозғалтқыштың магнит ағыны;
 $I_{я}$ - якорь тізбегінің тогы;
 c - пропорционалдық факторы.

Жоғалту сәті, өз кезегінде, қозғалтқыштың айналу жылдамдығына байланысты. Алайда, егер бұл тәуелділік әлсіз өрнектелсе, онда бірінші жуықтау ретінде жоғалту сәтінің қандай да бір тұрақты мүшенің әсерін ескере отырып, оны елемеуге болады.

$$M_0 = const \quad (3.3)$$

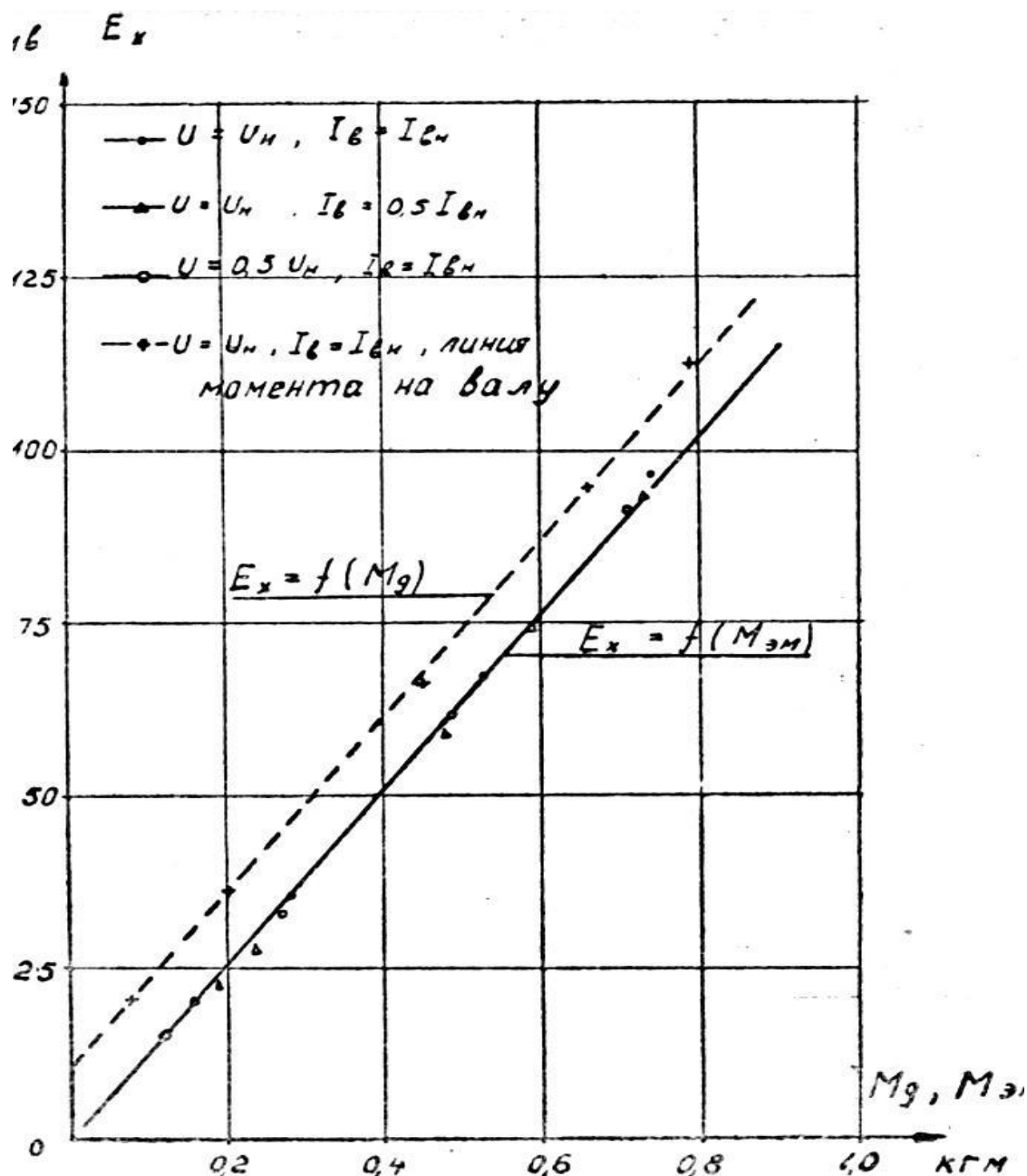
Холл датчигі арқылы якорь тогына пропорционал токты өткізіп, оны ауа саңылауының магнит өрісіне орналастыра отырып, оның қарқындылығы магнит ағынына пропорционалды, біз электромагниттік моменттің шамасын сипаттайтын шығыс кернеуін аламыз [24].

Бұл сигнал сонымен қатар біліктілік моментін жеткілікті дәлдікпен сипаттайды.

Ток сигналы датчик кірісіне якорь тізбегінің шунтынан берілуі мүмкін. Жартылай өткізгіш институтының пайдаланылған сенсорлары үшін кірісті қосымша полюстер орамасының сериялық қоздыру орамынан алынған кернеудің төмендеуімен қамтамасыз ету жеткілікті болды.

Сенсордың кеңістіктік орналасуын таңдау маңызды емес. Басқа авторлардан айырмашылығы, біз сенсорды тірек пен машинаның қамытының арасына орналастыру нұсқасын қарастырдық, ол мыналарды қамтамасыз етеді:

- 1) механикалық зақымданудан қорғау;
- 2) якорь реакциясының әсері аз.



3.1 – сурет- Электр қозғалтқышының моментінің режимі

3.1 - суретте қозғалтқыштың әртүрлі жұмыс режимдерінде датчиктің шығыс кернеуінің электромагниттік моментке тәуелділігі көрсетілген.

Момент мәндері есептеу арқылы алынды. Графиктен көрініп тұрғандай, тәжірибе нүктелері түзу сызыққа қанағаттанарлық сәйкес келеді.

Өкінішке орай, қозғалтқыш білігіндегі айналу моментін тікелей өлшеуге мүмкіндігі болмады. Нүктелі сызық сонымен қатар номиналды режим үшін Холл ЭҚК-нің біліктегі моментке тәуелділігін көрсетеді. График жоғарыдағы болжамдардың дұрыс екенін көрсетеді [25-27].

3.2 Кері байланыс моменті электромагниттік электр жетегінің сипаттамаларының схемалық диаграммасы

Жасалған электр жетек тізбегі күріште көрсетілген. 5. Электр машинасының күшейткіші ЭМУ-12 генератор ретінде жұмыс істейді. Жылдамдықты реттеу тәуелсіз қоздыру арқылы ПНФ-10 қозғалтқышының якорь орамасының терминалдарындағы кернеу арқылы жүзеге асырылады. Қозғалтқыш білігіндегі жүктеме моменті кедергіде жұмыс істейтін ПНФ-10 жүктеме генераторымен имитацияланады.

Номиналдыдан аспайтын жүктемелерде механикалық сипаттамалардың қаттылығын алу үшін сызықты көпір арқылы негізгі орамға байланысты қозғалтқыштың ЭҚК бойынша кері байланыс қолданылады.

Белгілі болғандай, R_i сәйкес таңдалған кезде көпір диагоналындағы кернеу қозғалтқыштың ЭҚК, яғни оның айналу жылдамдығына пропорционалды. Көпірдің бір қолы болып табылатын $R_{дл} + R_{сл}$ қосымша сериясын өңдеудің жалпы кедергісі Холл сенсорының кірісіне берілетін ток сигналын қабылдауға да қызмет етеді. Магниттік қоздыру ағыны датчикке оның жазықтығына және қамыт пен полюс арасындағы саңылауға перпендикуляр енетіндіктен, шығыс кернеуі якорь тогы мен магниттік қоздыру ағынының көбейтіндісіне пропорционал болады, яғни электромагниттік момент. Алынған сигнал шекті күшейту блогына беріледі. Егер бұл түйіннің кіріс сигналы көрсетілген мәннен аспаса, электромагниттік қозғалтқыштар (ЭМҚ) басқару орамасындағы ток өте аз ток орамасы жетектің жұмыс режиміне айтарлықтай әсер етпейді; Белгілі бір мәннен асып кеткеннен кейін кіріс сигналы негізгі орамға қарама-қарсы қосылған ЭМҚ басқару орамасындағы токтың күрт өсуін тудырады. ЭМҚ магнитсіздендіріліп, қозғалтқыштың айналу жылдамдығы күрт төмендейді.

Жүйеде деп аталатын болуы керек. Күшейтуді шектеу блогының өте кішкентай өлшемдері бар екенін және оны қозғалтқыштың терминал қорабына орналастыруға болатынын ескереміз. Жетектің механикалық сипаттамаларының жалпы теңдеуін шығару кезінде әдеттегі болжамдар жасалды, атап айтқанда:

1) ЭМҚ жетек қозғалтқышының айналу жылдамдығының тұрақтылығы;

2) Барлық тізбектер мен компоненттердің параметрлерінің тұрақтылығы;

3) ЭМҚ якорь реакциясының толық өтелуі;

4) Гистерезис контурының болмауы;

5) Магниттелу қисығының түзулігі.

Электр жетектің тұрақты күйінде жұмыс істегенде келесі теңдеулер арқылы анықталады:

$$E_{Г} = E_{Д} + I_{Д} \cdot R = c_e \cdot n + I_{Д} \cdot R \quad (3.4)$$

$$a \cdot w_{\Sigma} = w_3 \cdot i_3 - w_c \cdot i_c - w_m \cdot i_m \quad (3.5)$$

$$E_{\Gamma} = K \cdot a \cdot w_{\Sigma} \quad (3.6)$$

Күшейту-шектеу бірлігінің сипаттамаларына сәйкес кері байланыс сигналы $СМ_{\text{д}}$ - $E_{\text{хо}}$ мәндерінің айырмашылығымен анықталады. Мұнда $С$ - ЭҚК және E моменті арасындағы пропорционалдық коэффициенті. Айналу моменті бойынша кері байланыс жұмыс істей бастайды.

Коэффициенттерді келесідей анықтаймыз:

- Электр жетек орамасының күшейткіш коэффициенті

$$K_{\text{эл жет}} = K \cdot \frac{W_{\text{эл жет}}}{r_{\text{эл жет}\Sigma}} \quad (3.7)$$

- Жылдамдықты кері байланыс орамасының күшейткіш коэффициенті

$$K_{\text{жыл}} = \beta \cdot K \cdot \frac{W_{\text{жыл}}}{r_{\text{жыл}\Sigma}} \quad (3.8)$$

- Моменттің кері байланыс орамасының күшейткіш коэффициенті

$$K_{\text{момент}} = K \cdot \frac{W_{\text{момент}}}{r_{\text{момент}\Sigma}} \quad (3.9)$$

мұндағы β – көпірдің беріліс коэффициенті

ЭҚК генераторының теңдеуі:

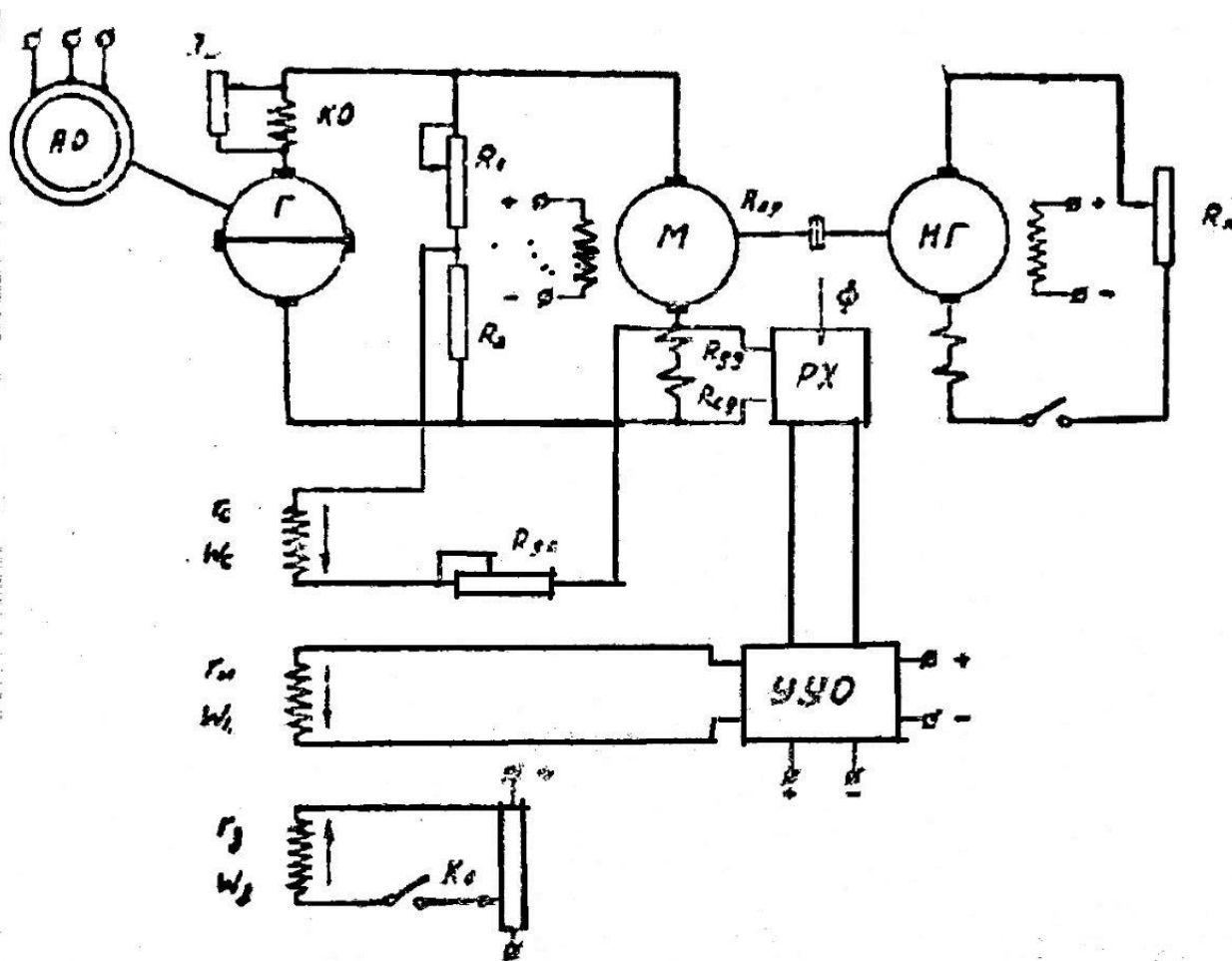
$$E_{\Gamma} = K_{\text{эл жет}} \cdot U_{\text{эл жет}} - K_{\text{жыл}} \cdot E_{\text{д}} - K_{\text{момент}} \cdot C \cdot M_{\text{д}} + K_{\text{момент}} \cdot E_{\text{хо}} \quad (3.10)$$

Қарапайым түрлендірулерден кейін электр жетектің механикалық сипаттамаларының жалпы теңдеуін аламыз:

$$n = \frac{K_{\text{эл жет}} \cdot U_{\text{эл жет}} + K_{\text{момент}} \cdot E_{\text{хо}}}{c_e \cdot (1 + K_{\text{жыл}})} - \frac{M_{\text{д}}}{c_e \cdot c_m} \cdot \frac{K_{\text{момент}} \cdot C + R}{1 + K_{\text{жыл}}} \quad (3.11)$$

3.11 теңдеу барлық кері байланыс жұмыс істейді деп есептеліп шығарылады. Осылайша ол моментті шектеу режимін сипаттайды. Жүктеме шектелген момент мәнінен аспағанда, моменттің кері байланысы жұмыс істемейді және 3.11 теңдеуінде $K_{\text{момент}}=0$ деп алып, теңдеуді келесідей қабылдауға болады.

$$n = \frac{K_{\text{эл жет}} \cdot U_{\text{эл жет}}}{c_e \cdot (1 + K_{\text{жыл}})} - \frac{M_D}{c_e \cdot c_M} \cdot \frac{R}{1 + K_{\text{жыл}}} \quad (3.12)$$

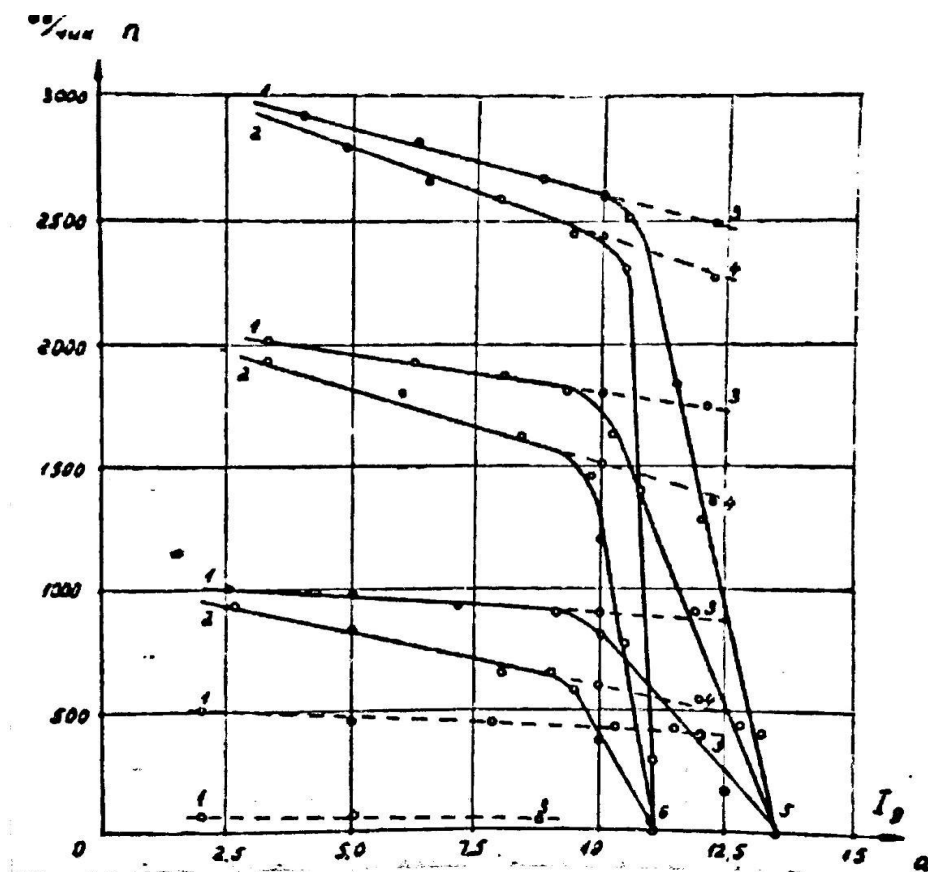


3.2 – сурет- Электромагниттік электр жетегінің қондырғысының схемасы

Жоғарыда келтірілген талдаудың нәтижелері 3.2-суреттегі схемаға сәйкес эксперименттік қондырғы алынған. Әртүрлі жұмыс режимдері үшін ұсынылған электр жетектің статикалық сипаттамалары 3.3-суретте келтірілген. Онда 1-3 сандар берілген жылдамдық кері байланысына сәйкес сипаттамаларды көрсетеді, бірақ момент шектеусіз болып келеді. 1-5 сипаттамалар жылдамдықтың кері байланысы мен моменттің шектеу режиміне сәйкес келеді. Ашық контурлы басқару жүйесі 2-4

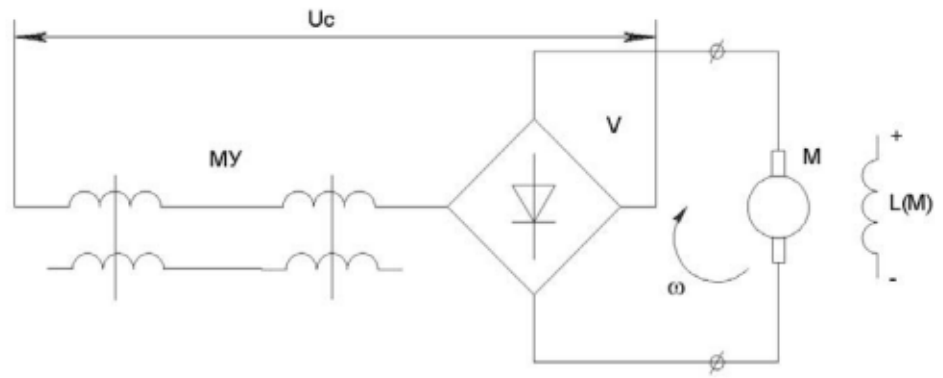
сипаттамалармен сипатталады. 2-6 қисықтары ашық контурлы басқару жүйесіне момент шегін енгізу әсерін бейнелейді [28].

Төменгі сипаттаманың қаттылығы 1-3 оны кеңейту үшін арнайы шараларсыз 40-50-ге жететін жылдамдықты басқарудың айтарлықтай ауқымын көрсетеді. Айналым моменттің шектелуі айтарлықтай күрт және ашық контурлы басқару жүйесінде күрт өзгерісте болады. Бұл табиғи нәрсе, өйткені жылдамдықты кері байланысты күшейту кезінде күшейтуді шектейтін құрылғы жетек жылдамдығы төмендеген кезде жетек орамасының үлкен амперлі бұрылыстарын бейтараптандыруы керек.

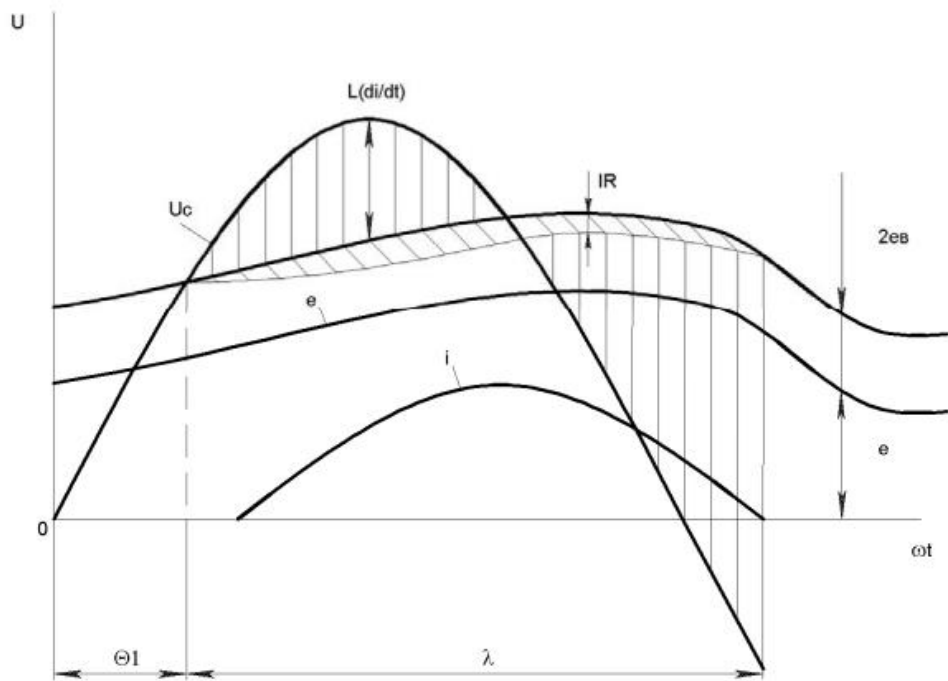


3.3 – сурет- Электромагниттік электр жетегінің сипаттамаларының схемалық диаграммасы

Қозғалтқыштың түрлендіргіштен тәуелсіз қоздыру арқылы қуаттандыру жағдайында, ЭМҚ-ды қосқанда үзіліссіз және үздіксіз қозғалтқыш тоғының режимдері пайда болады. 3.4, а- суретте ЭМҚ бар ең қарапайым жүйе көрсетілген. Қозғалтқыш М амоменты ЭМҚ-дан V түзеткіш көпір арқылы қоректенеді. 3.4, б-суретте желілік кернеудің U_c , ток i , қозғалтқыштың кері ЭҚК «Е» және кернеудің $I \cdot R_d$ төмендеуінің лездік мәндерінің графиктері көрсетілген.



a)



б)

3.4 – сурет- ЭМҚ кернеулері мен токтарының электрлік схемасы және диаграммалары

Дифференциалдық теңдеу 3.4, б - суретінен алынады, егер кез келген уақыт моментіне Кирхгоф теңдеуін жазсақ:

$$U_M \cdot \sin(\Theta_1 - \omega t) = e + 2 \cdot e_B + i \cdot R_D + L \cdot \frac{di}{dt} \quad (3.13)$$

R_D бөліп аламыз:

$$T \cdot \frac{di}{dt} + i = I_M \cdot \sin(\Theta - \omega t) - \frac{e + 2 \cdot e_B}{R_D} \quad (3.14)$$

Мұндағы $T = \frac{L}{R_D}$; $I_M = \frac{U_M}{R_D}$

ЭҚК $e=c \cdot \omega$ жылдамдығы арқылы көрсету арқылы қозғалыс теңдеуін және РПТ-те теңдеулер жүйесін аламыз. Қозғалтқышты қоректендіретін ЭМҚ түрлендіргіші бар жүйеде келесідей болады:

$$T \cdot \frac{di}{dt} + i = \left[I_M \cdot \sin(\Theta - \omega t) - \frac{2 \cdot e_B}{R_D} \right] \cdot 1(\omega t - \Theta) - \frac{c}{R_D} \cdot \omega \quad (3.15)$$

$$T_M \cdot \frac{d\omega}{dt} = \frac{R_D}{c} \cdot i - \frac{R_D}{c^2} \cdot M_c \quad (3.16)$$

мұндағы T_M – қозғалтқыштың электромеханикалық уақыт тұрақтысы;
 R_D – қозғалтқыштың кедергісі.

Кесте 3.1- Магниттік күшейткіштердің параметрлері

| Қосылу схемасы | K_i | K_u | X |
|--------------------|-------|-------|---|
| Бірфазалы көпірлік | 1,27 | 0,9 | 1 |
| Үшфазалы көпірлік | 1,73 | 1,35 | 2 |

Жүктеме кедергісі моменті мен жылдамдығының берілген мәніне сәйкес қозғалтқыш қуаты анықталады:

$$P_{\partial \max} = \lambda \cdot \frac{M_H \cdot \omega_{p \max}}{\eta_p} \quad (3.17)$$

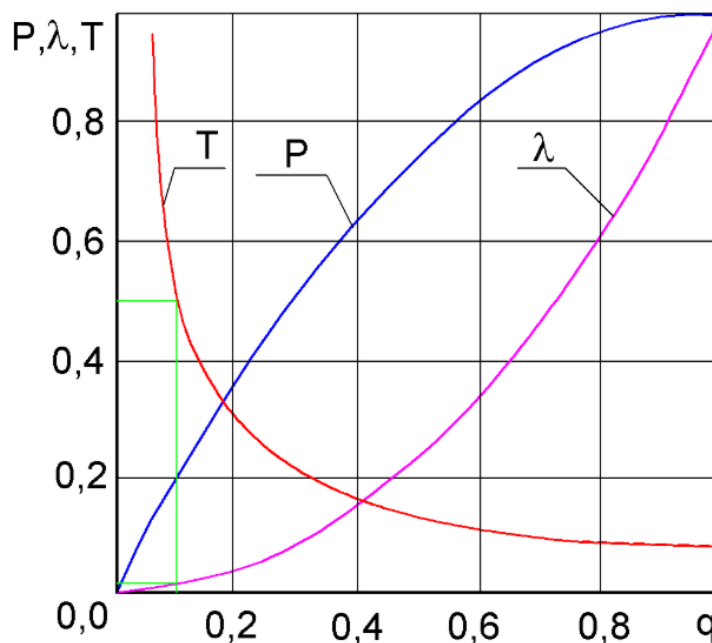
мұндағы λ – қуат резервінің коэффициенті. Арнайы шынжыр табанды көліктердің нысанасын жылдам жеделдету және оның айналу мүмкіндігі үшін алынады және ол $\lambda=4 \div 6$;

ω_p – беріліс қорабының шығысындағы бұрыштық жылдамдық $\omega_{p \min}$ диапазонында орнатылған $\omega_{p \max}$ дейінгі шама. Арнайы мақсаттағы шынжыр табанды көліктер үшін электр жетегі нысананы тегіс басқаруды қамтамасыз етуі керек. Көлденең жазықтықта ω_{\min} -ден бастап бұрыштық жылдамдықтар диапазонында $\omega=0,04 \div 0,06$ 1/с, $\omega=0,06 \div 0,18$ 1/с кезінде

өрескел бағыттау және $\omega=0,30\div 0,60$ 1/с кезінде тасымалдау режимі [2] етіп алынады.

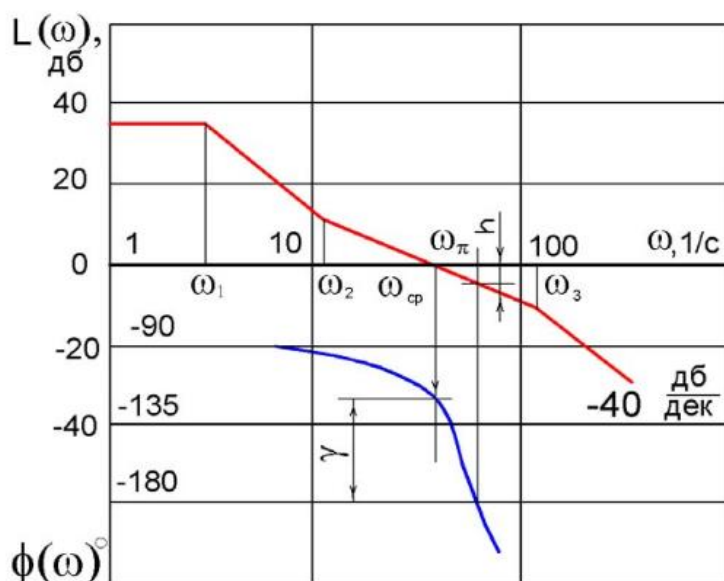
η_p – беріліс қорабының тиімділігі. Станоктың горизонтальға орналасуына байланысты оның мәні $0,6\div 0,9$ аралығында.

3.5-суреттегі графиктерге сәйкес алынған P мәні үшін q , λ және T түзету коэффициенттері табылады.



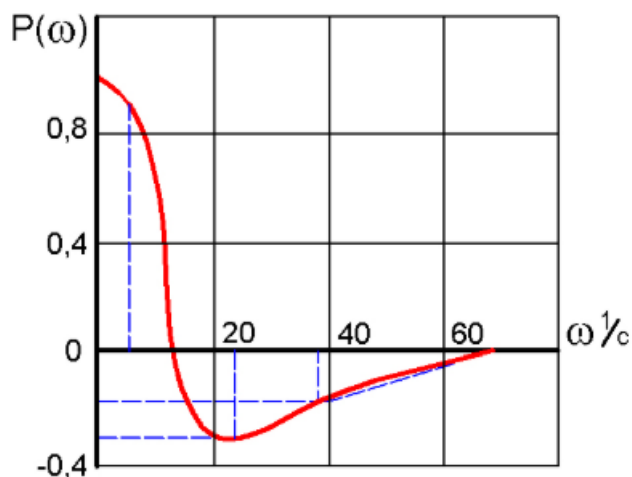
3.5 – сурет- Кері байланыс датчиктерінің түзету коэффициенттерінің мәндері: $P=0,2$; $q\approx 0,11$; $T\approx 5$; $\lambda\approx 0,02$ үшін алынған нәтижелер

3.13-ші теңдеуге сәйкес электр жетектерінің тұйықталған жүйесі үшін кері байланыс датчиктерін қолдана отырып Найквист критериясын аламыз.



3.5 – сурет- Электр жетектерінің тұйықталған жүйесі үшін Найквист критериясы

Ал қуаттың жиіліктің сипаттамасын алсақ, келесідей болады.

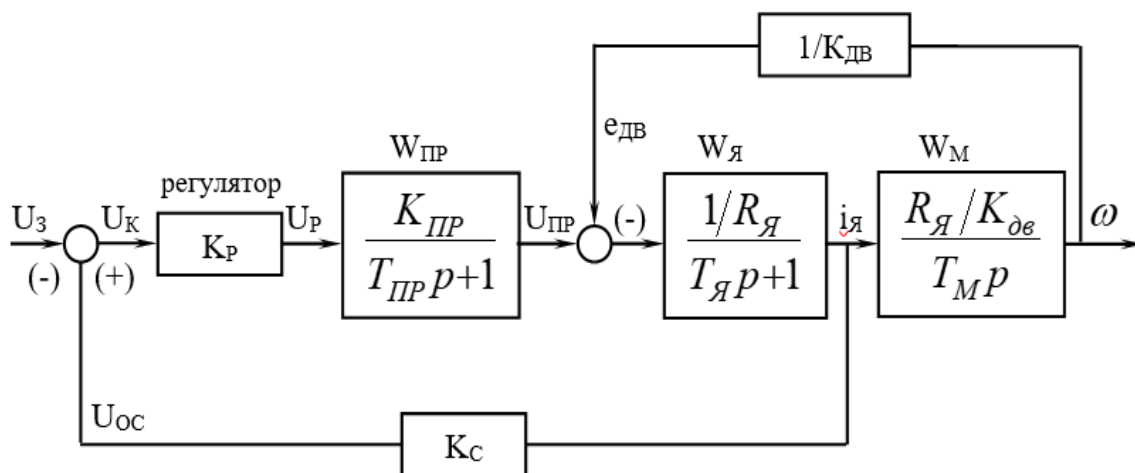


3.6 – сурет- Электр жетегінің қуатының жиіліктік сипаттамасы

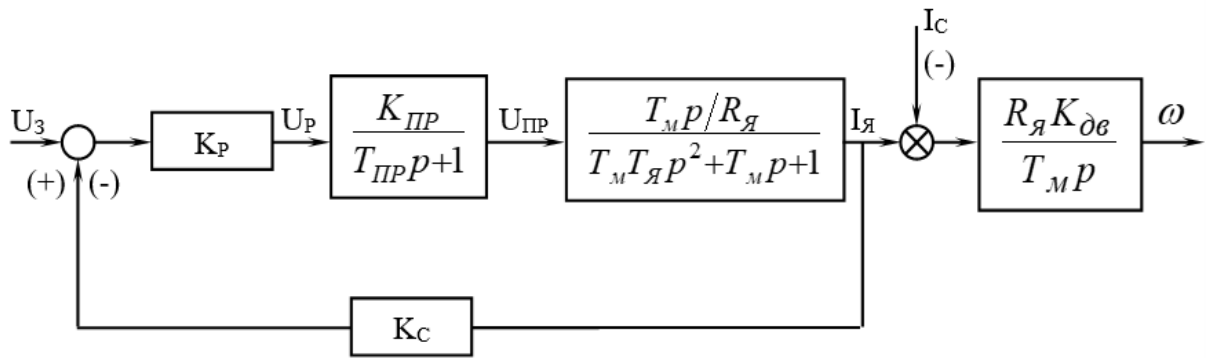
3.3 Ағымдық кері байланысы бар УП-Д жүйесінің динамикалық қасиеттері

Ағымдағы кері байланыс жүйесінің құрылымдық схемасы 3.7 –суретте көрсетілген. Мұнда плюс белгісі оң кері байланысты білдіреді, ал минус белгісі теріс кері байланысты білдіреді [29].

Қозғалтқыштың ЭҚК бойынша кері байланысты $W_{я}$ якорь тізбегінің беріліс функциясының шығысына көшірсек, содан кейін $W_{я.З.А.М}$ -ға барсақ, 3.8-суретте көрсетілген құрылымдық сұлбаны аламыз.



3.7 – сурет- Ағымдағы кері байланысы бар УП - Д жүйесінің құрылымдық схемасы: плюс белгісі оң кері байланыс, ал минус белгісі теріс.



3.8 – сурет- Ағымдағы кері байланыспен УП - Д құрылымдық жүйесі

Егер түрлендіргіштің инерциясын елемейтін болсақ, онда ашық контурлық токтың берілу функциясы

$$W_m = \frac{K_p K_{np} (1/R_y) T_m p}{T_y T_m p^2 + T_m p + 1} \quad (3.18)$$

Тұйықтал,ан контур тоғының беріліс функциясы

$$W_{3.m} = \frac{K_p K_{np} (1/R_y) T_m p}{T_y T_m p^2 + T_m p (1 \pm K_{\Sigma m} / R_y) + 1}, \quad (3.19)$$

мұндағы $K_{\Sigma m} = K_p K_{np} K_m$ - күшейткіш жүйесінің қосынды коэффициенті.

Жоғарыдағы теңдеуде плюс белгісі енді теріс пікірді, ал минус белгісі оң кері байланысты білдіреді [30].

Жүйе жылдамдығын тасымалдау функциясы

$$W = \frac{W_{3.m} R_y / K_{dv}}{T_m p} = \frac{K_p K_{np} K_{dv}}{T_y T_m p^2 + T_m p (1 \pm K_{\Sigma m} / R_y) + 1} \quad (3.20)$$

мұндағы $K_{dv} = 1/K\Phi$ - қозғалтқыштың беріліс коэффициенті.

Өтпелі процестердің сипаты сипаттамалық теңдеудің түбірлеріне байланысты

$$T_{я}T_{м}p^2 + T_{м}p(1 \pm K_{\Sigma m}/R_{я}) + 1 = 0 \quad (3.21)$$

Тербелмелі байланыс үшін өтпелі процестің сипатын демпферлік коэффициент және табиғи тербеліс жиілігі арқылы бағалауға болатыны белгілі.

(3.20) типтік тербелмелі буынның берілу функциясымен салыстыру

$$W_{к} = \frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1},$$

үшін өрнектерді аламыз:

- тұйық жүйенің демпферлік коэффициенті

$$\xi_{з} = \xi (1 \pm K_{\Sigma m}/R_{я}), \quad (3.22)$$

мұндағы $\xi = 0,5\sqrt{T_{м}/T_{я}}$ - ашық контурдың өшу коэффициенті;

$\psi_{з} = \psi_{раз}$ өзіндік тербеліс жиілігі

(3.22)-ден оң кері байланыс (теңдеудегі минус таңбасы) демпферлік коэффициентті төмендетеді, демек, өтпелі процесс тербелмелі болады. Теріс кері байланыс, керісінше, жүйенің тербелісін азайтады (өседі).

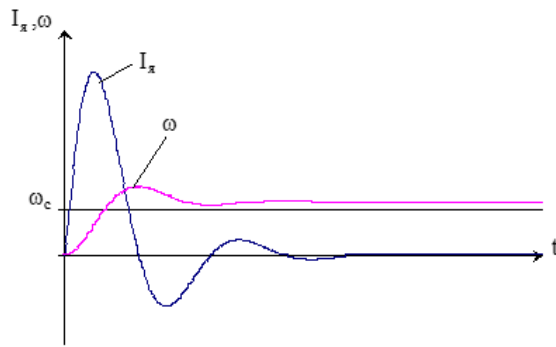
Жүйенің жалпы коэффициентінің $K_{\Sigma m} = K_{р}K_{np}K_{т}$ динамикадағы жүйенің мінез-құлқына әсерін талдап көрейік:

- $K_{\Sigma m} < R_{я}$ компенсацияға дейін емес режимі, бұл ретте сипаттамалық теңдеудің (3.21) р кезіндегі коэффициенті оң және жүйе тұрақты, бірақ тербеліс артады;

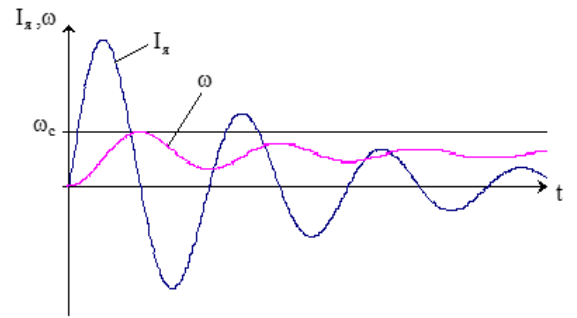
- $K_{\Sigma m} = R_{я}$ толық компенсация режимі. Бұл жағдайда (3.21) р үшін коэффициент нөлге тең және жүйеде сөндірілмеген гармоникалық тербелістер пайда болады;

- $K_{\Sigma m} > R_{я}$ артық компенсация режимі. Бұл жағдайда (3.21) р үшін коэффициент теріс болады, жүйе тұрақсыз болады – дивергентті өту процесі.

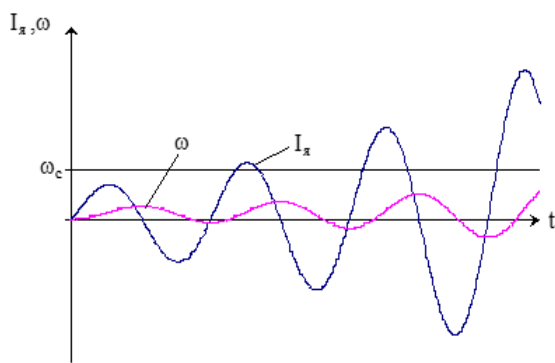
Сонда кері байланыс датчиктерінің түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдауды математикалық модельдеу нәтижесін 3.9 – суреттегі графиктерден көре аламыз.



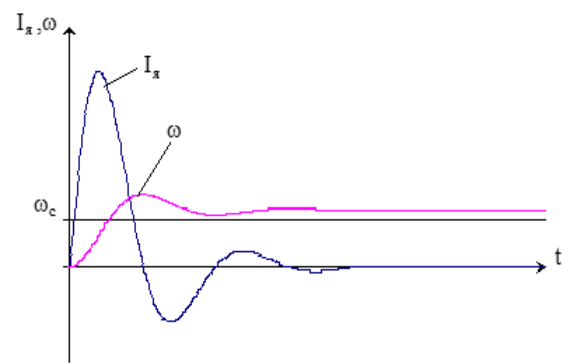
а)



б)



в)



г)

а) – $K_{\Sigma m} = 0,5R_{я}$; б) – $K_{\Sigma m} = R_{я}$; в) – $K_{\Sigma m} = 1,3R_{я}$; г) – ашық жүйеде қозғалтқышты тікелей іске қосу.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыста алынған зерттеулер мен математикалық модельдеу нәтижелері бойынша келесі қорытындылар жасауға болады:

1) Жартылай өткізгіштер әзірлеген ЭМҚ датчиктері моментті кері байланысты қажет ететін автоматтандырылған электр жетектерінде практикалық қолдануды таба білдік.

2) Холл ЭМҚ датчиктері өте кішкентай ауа саңылауларына орналастырылуы мүмкін, жеткілікті икемді, берік және қанағаттанарлық сипаттамалары бар екенін қарастырып есептіктер жүргіздік.

3) Механикалық зақымдануды болдырмау және якорь реакциясының әсерін азайту үшін полюс пен қамыт арасына Холл ЭМҚ датчиктерін қойған жөн деп шешім қабылдадық.

4) Холл ЭМҚ сенсорын пайдаланып авторлар әзірлеген күшейту-шектеу құрастыру блогы және коэффициенттері есептеліп, сипаттамалары бар электр жетекті алуға жарамды инерциясыз шағын өлшемді құрылғы болып табылады.

5) Ұсынылған электр жетек жүйесі қанағаттанарлық статикалық динамикалық сипаттамаларға ие.

Өңделетін материалдың реттелетін кернеуі бар электр жетектерінде Холл датчиктерін пайдалану мүмкіндіктерін, бірнеше айналу жылдамдығын сәйкестендіру жүйелерін зерттеу қызықты болды.

Таңдалған асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары есептелген және каталог мәндеріне сәйкес салынған. Сондай-ақ, MatLab Simulink бағдарламалық жасақтама ортасында электр қозғалтқышын іске қосу кезінде өтпелі процесті модельдеу аяқталды. Маңызды артықшылығы - жұмыс режимдерін оңтайландыру мүмкіндігі, автоматтандыру деңгейін арттыру, сондай-ақ іске асырудың қарапайымдылығы мен ыңғайлылығы.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Тұрақты тоқты электр жетектерін басқару жүйелерінің анализі және синтезі/ ред. В . А . Е л и с е в . – М.: Моск. энерг. ин-т, 1984. – 84 б.
- 2 Беляев А. В. 0,4 кВ желілерінде аппаратуры, қорғау және кабельдерді таңдау. – Л.: Энер- гоатомиздат, 1988. – 176 б.
- 3 Вешеневский С. Н. Электр жетектегі қозғалтқыштардың сипаттамалары. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.
- 4 Голован А. Т. Электр жетектің негіздері. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 344 б.
- 5 Р МЕМСТ50369-92. Электр жетектері. Терминдер мен анықтамалар. Ресейдің Мемлекеттік стандарты.
- 6 Ильинский Н. Ф. Электроприводы постоянного тока с управляемым моментом. – М.: Энергоиздат, 1981. – 144 б.
- 7 Ильинский Н. Ф., Козаченко В. Ф. Электр жетектің жалпы курсы: – М.: Энер- гоатомиздат, 1992. – 544 б.
- 8 Ключев В. И. Электр жетектің теориясы. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 б.
- 9 Ковчин С. А., Сабинин Ю. А. Электр жетектің негіздері. – СПб.: Энергоатомиздат, 1994. – 496 б.
- 10 Жиынтықтық электр жетектері: Анықтамалық / И.Х . Евзеров , С . Горобец , Б . И . Мошкович және басқалар; ред. В . М . Перельмутер . – М.: Энерго атомиздат, 1988. – 319 б.
- 11 Марголин Ш. М. Дифференциалды электр жетектер – М.: Энергия, 1975. – 168 б.
- 12 Москаленко В. В. Автоматтандырылған электр жетегі. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 416 б.
- 13 Москаленко В. В. Электр жетегі. – М.: Высш. шк., 1991. – 430 б.
- 14 Автоматтандырылған электр жетегінің негіздер/ М. Г. Чиликин , М. М. Соколов , В. М. Терехов , А. В. Шинянский . – М.: Энергия, 1974. – 568 б.
- 15 СТ КазНІТУ – 09 – 2023, Работы учебные, общие требования построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала. Алматы КазНІТУ, 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес
акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

«Энергетика» кафедрасы

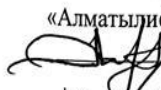
6B07101 – «Энергетика» мамандығы
ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНУ им.К.И.Сатпаева»
Институт энергетики
и машиностроения
ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
«Энергетика» кафедрасының
менгерушісі
PhD, қауымдастырылған профессор
Е.А.Сарсенбаев
«19» 06 2024 ж.

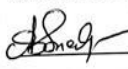
ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қолдана отырып, электр жетектерінің басқару әдістерін талдау және салыстыру»

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

Орындаған:  А.Ж.Альмурашов

Пікір беруші
«Алматылифт» АҚ бас директоры
 Н.Ж.Кураков
«04» 06 2024 ж.

Ғылыми жетекші
Аға-жетекші
 Ә.О.Бердібеков
«06» 06 2024 ж.

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

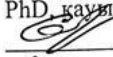
«Энергетика» кафедрасы

6B07101 – «Энергетика» мамандығы

БЕКІТЕМІН

«Энергетика» кафедрасының
менгерушісі

PhD, қауымдастырылған профессор

 Е.А.Сарсенбаев

«25» 01 2024 ж.

**Дипломдық жұмысты орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Альмурашов Алибек Жеңісұлы.
Тақырыбы Кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қолдана отыры, электр жетектерінің басқару әдістерін талдау және салыстыру.
Университеттің академиялық мәселелер жөніндегі проректорының 04.12.2023 ж. № 548-
П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «14» маусым 2024 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер тізімі:

а) Кері байланыс құрылғыларының типтік қолданбалары және технологиялары;

б) Электр жетегінде қолданылатын кері байланыс датчиктерінің техникалық;

в) Кері байланыс датчиктерінің түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдауды математикалық модельдеу;

Сызба материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызба материалдары слайдтарда көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиет

1 Тұрақты тоқты электр жетектерін басқару жүйелерінің анализі және синтезі/ ред. В

.А. Ел и с еев . – М.: Моск. энерг. ин-т, 1984. – 84 б.

2 Беляев А. В. 0,4 кВ желілерінде аппаратуры, қорғау және кабельдерді таңдау. – Л.: Энер-гоатомиздат, 1988. – 176 б.





3 Вешеневский С. Н. Электр жетектегі қозғалтқыштардың сипаттамалары. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.

4 Голован А. Т. Электр жетектің негіздері. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 344 б.


Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі | Ғылыми жетекшіге көрсету мерзімдері | Ескерту |
|---|-------------------------------------|---------|
| Кері байланыс құрылғыларының типтік қолданбалары және технологиялары | 15.02.2024 ж. | неоқ |
| Электр жетегінде қолданылатын кері байланыс датчиктерінің техникалық бақылауы | 04.03.2024 ж. | неоқ |
| Кері байланыс датчиктерінің түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдауды математикалық модельдеу | 15.04.2024 ж. | неоқ |

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған қолтаңбалары

| Бөлімдер атауы | Кеңесшілердің аты-жөні, (ғылыми дәрежесі, атағы) | Қол қойылған күні | Қолы |
|---|--|-------------------|---|
| Кері байланыс құрылғыларының типтік қолданбалары және технологиялары | Бердібеков Ә.О, магистр, аға оқытушы | 12.05.24 |  |
| Электр жетегінде қолданылатын кері байланыс датчиктерінің техникалық бақылауы | Бердібеков Ә.О, магистр, аға оқытушы | 22.05.24 |  |
| Кері байланыс датчиктерінің түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдауды математикалық модельдеу | Бердібеков Ә.О, магистр, аға оқытушы | 29.05.24 |  |
| Норма бақылау | Бердібеков Ә.О, магистр, аға оқытушы | 05.06.24 |  |

Ғылыми жетекшісі  (қолы) Ә.О.Бердібеков

Тапсырманы орындауға алған студент  А.Ж. Альмурашов

Күні « 05 » 02 2024ж

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Альмурашов Алибек Женисулы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдау және салыстыру

Научный руководитель: Абдисаттар Бердибеков

Коэффициент Подобия 1: 1.9

Коэффициент Подобия 2: 0.6

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 5

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

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

Дата 19.06.2021



проверяющий эксперт

Бердибеков А.О.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Альмурашов Алибек Женисулы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдау және салыстыру

Научный руководитель: Абдисаттар Бердибеков

Коэффициент Подобия 1: 1.9

Коэффициент Подобия 2: 0.6

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 5

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 19.06.2024

Заведующий кафедрой Энергетики
Сурсалбаев Е.А.

Тақырыбы: «Кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қарастыра отырып,
Электр жетектерінің басқару әдістерін талдау және салыстыру»

6В07101 – Энергетика
(шифр және мамандық атауы)

Альмурашов Алибек Жеңісұлы
(Студенттің аты-жөні)

Дипломдық жұмысына
(жұмыс түрінің атауы)

СЫН ПІКІР

Кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қолдана отырып, электр жетектерінің басқару әдістерін талдау және сипаттау. Нақтылап айтатын болсақ, кері байланыс датчигі индуктосиннің сыйымдылық электр жетектерін басқару моделі құрылды және аналитикалық есептеу әдісі көрсетілді.

Кері байланыс датчиктерінің түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдауды математикалық модельдеу дипломдық жұмыс үш басты бөлімнен тұрады, сонымен қоса қорытынды және қолданылған әдебиеттер тізімі келтірілген.

Жалпы дипломдық жұмысты орындау барысында түлектің өз ойымен жазып, есептеулерін есептеп шығарғаны байқалады.

Жұмыс бойынша ескерту:

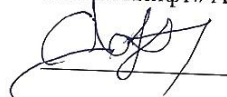
Ескерту ретінде, грамматикалық қателіктер, тыныс белгілері дұрыс қойылмай кеткендігін және қазақша аудармалары кейбір жерлерде дұрыс аударылмағандығын айтуға болады. Жалпы дипломдық жұмысы талаптарға сәйкес жазылған.

Жұмысты бағалау

Жоғарыда айтылғандарды қорыта келе, Альмурашов Алибектің дипломдық жұмысы А «өте жақсы» (90 балл) бағасына, ал автор – энергетика бакалавры академиялық дәрежесін иемденуге лайық деп бағалаймын.

Сын-пікір беруші

«Алматылифт» АҚ бас директоры

 Н.Ж.Кураков

(колы)

«04» 06 2024 ж.

Альмурашов Алибек Жәнісулы

6В07101 - Энергетика

"Кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қолдана отырып, электр жетектерінің басқару әдістерін талдау және салыстыру"
дипломдық жұмысына

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ШКІРІ

Осы дипломдық жұмыста студент Альмурашов Алибек, кері байланыс датчиктерінің әртүрлі түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдады. Сонымен қатар кері байланыс датчигі индуктосиннің сыйымдылық электр жетектерін басқару моделі құрылды және аналитикалық есептеу әдісі ұсынды. Сыйымдылық потенциалына әсер ететін факторлар мен басқаруы теориялық талдау арқылы элементтер әдісін біріктіру зерттеді

Дипломдық жұмыс үш басты бөлімнен тұрады, олар кері байланыс құрылғыларының типтік қолданбалары және технологиялары, электр жетегінде қолданылатын кері байланыс датчиктерінің техникалық бақылауы, кері байланыс датчиктерінің түрлерін қолдана отырып, электр жетектерін басқару әдістерін талдауды математикалық модельдеу және қолданылған әдебиеттер тізімі келтірілген.

Қорытынды мен ұсыныстардың айғақтылығы және нақтылығы бойынша дипломдық жұмыстағы алдына қойылған мәселені шешу дәрежесі жоғары, зерттеу толығымен аяқталған.

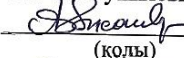
Диплом жазушы Альмурашов Алибек теориялық дайындығын жеткілікті көрсетті, практикамен ұштастыра білді, алдына қойылған тапсырмаларды өздігінен шешіп, жұмысты өте жақсы меңгерді.

Дипломдық жұмыс қойылатын талаптарға сәйкес келеді және мемлекеттік аттестациялық комиссияның отырысында қорғауға жіберіледі. Ал, түлек Альмурашов Алибек «Энергетика» мамандығы бойынша «бакалавр» академиялық дәрежесіне лайықты және дипломдық жұмысын В «жақсы» 80 баллмен бағалаймын.

Ғылыми жетекші

Техника ғылымдарының магистрі,
«Энергетика» кафедрасының

Аға оқытушысы

 Ә.О.Бердібеков
(қолы)

« 11 » 06 2024 ж.

Ф КазНИТУ 706-16. Отзыв научного руководителя