

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Т.Бәсенов атындағы Сәулет, құрылыс және энергетика институты

«Энергетика» кафедрасы



SATBAYEV
UNIVERSITY

Жәкен Әділет Қанатұлы

Шынжырлы конвейер үшін ортақ түрлендіргіші бар көпқозғалтқышты
асинхронды ЭЖ жасау

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Мамандығы 5В071800 - Электр энергетикасы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Т.Бәсенов атындағы Сәулет, құрылыс және энергетика институты

«Энергетика» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

«Энергетика»

кафедрасының меңгерушісі м.а.

ассоц.профессор, PhD

 Е.А.Сәрсенбаев

«15» 05 2019 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Шынжырлы конвейер үшін ортақ түрлендіргіші бар
көпқозғалтқышты асинхронды ЭЖ жасау»

Мамандығы 5B071800 - Электр энергетикасы

Орындаған

Жәкен Ә. Қ.

Пікір беруші

АЭЖБУ аға оқытушысы

техн. ғыл. канд.

 С.Ә. Юсупова
(қолы)

Ғылыми жетекші

сениор-лектор

 Ә.О. Бердібеков
(қолы)

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Т.Бәсенов атындағы Сәулет, құрылыс және энергетика институты

«Энергетика» кафедрасы

5B071800 - Электр энергетикасы

БЕКІТЕМІН

«Энергетика»

кафедрасының меңгерушісі м.а.

ассистент профессор, PhD

 Е.Ә.Сәрсенбаев

«28» 01 2019 ж.

Дипломдық жұмыс орындауға ТАПСЫРМА

Білім алушы Жәкен Әділет Қанатұлы

Тақырыбы: Шынжырлы конвейер үшін ортақ түрлендіргіші бар

көпқозғалтқышты асинхронды ЭЖ жасау.

Университет ректорының 2018 жылғы «30» 10 №1210-б бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2018 жылғы «14» мамыр

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: екіқозғалтқышты асинхронды электржетек; қозғалтқыштың номиналды кернеуі 380В; номиналды қуаты 2.2кВт; айналу жылдамдығы 880 айн/мин; асқын жүктемелік момент 64 н*м;

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) электржетектің механикалық бөлігінің есебі

б) шынжырлы конвейер көпқозғалтқышты электржетегі

в) асинхронды қозғалтқыштың математикалық моделі

г) Электрқауіпсіздігі және экономикалық тиімділік есебі

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):

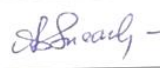
Сызбалық материалдар 9 слайдпен көрсетілген

Ұсынылатын негізгі әдебиет: 12 атау

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге көрсету мерзімдері	Ескерту
Механикалық бөлім	26-30 наурыз 2019ж.	неоқ
Электржетек элементтері	23-28 сәуір 2019ж.	неоқ
Қозғалтқыштың математикалық моделі	2-8 мамыр 2019ж.	неоқ

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Негізгі бөлім	Ә.О.Бердібеков, сениор-лектор	28.04.2019	
Экономика бөлімі	Ә.О.Бердібеков, сениор-лектор	05.05.2019	
Электр қауіпсіздігі бөлімі	Ә.О.Бердібеков, сениор-лектор	05.05.2019	
Норма бақылаушы	Н.Е.Балғаев, сениор-лектор	14.05.2019ж	

Ғылыми жетекші  (қолы) Ә.О. Бердібеков

Тапсырманы орындауға алған білім алушы  (қолы) Ә.К. Жәкен

Күні " 10 " наурыз 2019 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
СӨТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

РЕЦЕНЗИЯ

Дирмаинов
(жұмыс түрінің атауы)

Мәкен Әрімет Қанатұлы
(білім алушының Т.А.Ә.)

Электроника және робототехника (53071800)
(мамандық атауы және шифр)

Тақырыбы: Микроконтроллерлер мен өлшем құрылғылары

Барлық қажеттіліктерді қамтамасыз ететін және

Орындалды:

а) сызбалық бөлім 5 бет
б) түсіндірме жазба 65 бет

ЖҰМЫС БОЙЫНША ЕСКЕРТУЛЕР

<u>Мәкен</u>	<u>Әрімет</u>	<u>Қанатұлы</u>	<u>Мәкен</u>	<u>Әрімет</u>
<u>ортан</u>	<u>Қанатұлы</u>	<u>Бейс</u>	<u>Мәкен</u>	<u>Қанатұлы</u>
<u>Бейс</u>	<u>Қанатұлы</u>	<u>Мәкен</u>	<u>Қанатұлы</u>	<u>Мәкен</u>

Жұмысты бағалау

<u>Бітірілген</u>	<u>жұмыстың</u>	<u>мазмұны</u>	<u>мен</u>	<u>құрамы</u>
<u>көлемі</u>	<u>өлу</u>	<u>мазмұны</u>	<u>мен</u>	<u>бағдарламалық</u>
<u>сәйкес</u>	<u>арнайы</u>	<u>қорытындылар</u>	<u>—</u>	<u>КМЕ, БМБ, өзіндік</u>
<u>амалдарына</u>	<u>сай</u>	<u>дұрыс</u>	<u>илемдер</u>	<u>қабилетін</u>
<u>Мәкен</u>	<u>Әрімет</u>	<u>Бітірілген</u>	<u>жұмыстың</u>	<u>мақсат</u>
<u>мазмұны</u>	<u>«</u>	<u>өте</u>	<u>мақсат</u>	<u>(95)</u>

Рецензент

АЭЖБУ
«Электроника және робототехника»
Кафедрасының аға оқытушысы,
техн. ғыл. канд.

С. Юсупова
« » 20... ж.



ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
ПІКІРІ

Дипломын тапсырған
(жұмыс түрінің атауы)

Незкен Әбдісәт
(білім алушының Т.А.Ә.)

5B071800 - Электр энергетикасы
(мамандық атауы және шифры)

Тақырыбы:

Шыңғыстау конвейер үшін ортақ
механикалық және электр энергетикасы
аспектіндегі АН-ін негіздеу

Дипломын тапсырған негізгі бөліміне кіретін
конвейер жетекшісінің механикалық және
электр энергетикасының элементтерін
есептеу мен таңдау жетекшісінің көп қос-
талынатын бауына байланысты күрделі
түрдегі қозғалыс қарастырып отырып
осы тапсырманы, негізгі тапсырманы осы
тапсырманы орындау бауына
бөлімдер тапсырмаларын орындау кезінде
де өзінше тапсырманы істеу қабілетін көрсетті.

Негізіне 80% - ға бағаланады, ал дипломның
Незкен Ә. Электр энергетика бакалавры
бөлімдеріне алуға мәртебесі деп есептеймін.

Ғылыми жетекші

сенсор-лектор
(қызметі, дәрежесі, атауы)

Әбдісәт
(қолы)

Ә. О. Бердібеков

«15» 05 2019 ж.

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

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

Автор: Жәкен Әділет Канатұлы

Название: Шынжырлы конвейер үшін ортақ түрлендіргіші бар көпқозғалтқышты асинхронды ЭЖ жасау.doc

Координатор: Абдисаттар Бердибеков

Коэффициент подобия 1:10,1

Коэффициент подобия 2:1

Тревога:45

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

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

Обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
14.05.19

Дата

.....
Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

..... допустить к защите

..... 14.05.19

Дата

.....

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

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

Автор: Жәкен Әділет Қанатұлы

Название: Шынжырлы конвейер үшін ортақ түрлендіргіші бар көпқозғалтқышты асинхронды ЭЖ жасау.doc

Координатор: Абдисаттар Бердибеков

Коэффициент подобия 1: 10,1

Коэффициент подобия 2: 1

Тревога: 45

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

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

Обоснование:

допускается к зачислению

15.05.2019

Дата

А.С.Сидоров

Подпись Научного руководителя

АНДАТПА

Дипломдық жұмыстың мақсаты шынжырлы конвейердің асинхронды электржетегін басқаруға арналған жиіліктің жалпы түрлендіргішімен екі қозғалтқышты асинхронды электржетекті әзірлеу болып табылады.

Дипломдық жұмыста $U/f=\text{const}$ реттеу заңын жүзеге асыру арқылы жиілік түрлендіргіш-асинхронды қозғалтқыш жүйесі бойынша шынжырлы конвейердің электржетегін әзірлеу мәселелері қарастырылды. Электр жетегінің негізгі сұлбалары мен жүйелері толық қарастырылған.

Дипломдық жобалауда технологиялық талаптарды қамтамасыз ету үшін ЖТ-АҚ жүйесі бойынша көпқозғалтқышты электржетекті өңдеу және жобалау сұрақтары, жиілік және кернеу арқылы оптималды басқару заңдары және өндірістерде қолданылатын жиілік түрлендіргіштердің түрлері қарастырылған .

АННОТАЦИЯ

Целью дипломной работы является разработка двухдвигательного асинхронного электропривода с общим преобразователем частоты, предназначенного для управления асинхронным электроприводом цепного конвейера.

В дипломном работе рассмотрены вопросы разработки электропривода цепного конвейера по системе ЧП-АД с реализацией закона регулирования $U/f=\text{const}$. Подробно рассмотрены основные схемы и системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

ANNOTATION

The aim of the thesis is to develop a two-motor asynchronous electric drive with a common frequency converter, designed to control the asynchronous electric drive of the chain conveyor.

In the thesis work addressed the development of the electric drive of the chain conveyor system of emergency-BP with the implementation of the law of regulation $U / f = \text{const}$. The main circuits and systems of the frequency-controlled asynchronous electric drive are considered in detail.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Шынжырлы конвейердің электржетек тұрғыдан технологиялық сипаттамалары	9
1.1 Шынжырлы конвейердің технологиялық ерекшеліктері	9
1.2 Көпқозғалтқышты конвейер электржетегінің механикасы	14
1.3 Асинхронды қозғалтқыштың кернеу жиіліктігін өзгерту негіздері	19
1.4 Көпқозғалтқыштық электр жетектерінде пайдаланылатын жиілікті түрлендіргіштердің жіктелуі	27
2 Конвейердің көпқозғалтқышты электр жетегін өндеу	
2.1 Өлемдегі замануи электр жетектер саласының дамылуы	37
2.2 Көпқозғалтқышты шынжырлы конвейердің жетектеріне қойылатын негізгі талаптар	44
2.3 Асинхронды көп қозғалтқышты электржетегінің механикалық сипаттамаларын есептеу	46
2.4 Шынжырлы конвейердің көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру	49
2.5 Асинхронды қозғалтқыштың математикалық моделі	51
2.6 Екіқозғалтқышты асинхрондық электр жетегін модельдеу	55
3 Еңбекті қорғау	
3.1 Электр тогына түсіп қалмау шаралары	58
3.2 Жарықтандыруды есептеу	58
3.3 Қорғаныс жерлемені есептеу	
4 Экономикалық бөлім	62
4.1 Жиілік түрлендірігіш арқылы басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегіне құруға жұмсалатын шығындарды есептеу	62
4.2 Экономикалық тиімділікті есептеу	62
Қорытынды	64
Қолданылған әдебиеттер тізімі	65

КІРІСПЕ

Шынжырлы конвейердің конструкциясы тарту органының функциясын орындайтын шынжырдың болуын көздейді.

Біздің елімізде құс фабрикаларында, тау-кен өндірістерінде шынжырлы конвейерлер кең тараған. Мысалы, аспалы шынжырлы конвейер технологиялық процестің барлық кезеңдерінде құстарды тасымалдауға арналған.

Ұзындығы мен жүктемесіне байланысты шынжырлы конвейер бір немесе бірнеше жетектермен және тарту құрылғыларымен жабдықталады. Қазір көбінесе шынжырлы конвейерлердің жетектері асинхрондық қозғалтқышпен (АҚ) жабдықталады. Бұл жалпы тенденция: қазіргі кезде көптеген өндіріс орындарында ең көп қолданылатын қозғалтқыштардың бірі АҚ болып табылады. Себебі, айналу жылдамдықтары және қуаттары бірдей асинхронды қозғалтқыш пен тұрақты токты қозғалтқышты салыстыратын болсақ, мұнда АҚ-ның салмағы 1,5-2 есе жеңіл, бағасы арзан, оны жасауға түсті металл аз кетеді, оны пайдалану қарапайым және сенімді.

Жалпы электржетекке және бір қозғалтқышқа байланысты тиімділеу талаптарын ажыратып алудың қажеттілігі бар. Бұдан тиімділеу сипаттамаларының санын анықтау, бірінші шығындарға және пайдалану шығындарына үнемділік, өнімділік және сенімділік жалпыэлектржетекке байланысты болады.

Алдыңғы кездерде АҚ көбінесе реттелмейтін электржетектерде қолданыс тапқан. Бірақ жартылай өткізгішті құрылғылардың дамуына, соның ішінде күштік тиристордың және транзисторлардың пайда болуына байланысты көптеген күштік түрлендіргіш құрылғылары пайда бола бастады. Қазір көбінесе АҚ-ның айналу жылдамдығын реттеу үшін жиілік түрлендіргіштері қолданылады.

Жиілік түрлендіргіштер басқарудың аса оңайға түспейтін алгоритмін жүзеге асыруға, ПӘК-тің реттеуге, қозғалтқышты қорғауға, жүктемеге байланысты жұмыс режимін оптималдауға және де көптеген функцияларды орындауға мүмкіндік береді.

Жиіліктік басқарылатын жетектің динамикалық қасиеттерін зерттеу, оның басқару тәсілдерін, эксплуатациялық қасиеттерін және басқа да қарастырылатын мәселелерді тек жиілік түрлендіргіш - қозғалтқыш (ЖТ-АҚ) жүйесін зерттеу арқылы ала аламыз.

Ұсынылып отырған дипломдық жұмыста, құс фабрикаларындағы тірі құс жасушаларын ілу учаскесіне жылжыту үшін шынжырлы конвейердің екі қозғалтқышты реттелетін асинхрондық жетегі қарастырылған.

1 Шынжырлы конвейердің электржетек тұрғыдан технологиялық сипаттамалары

1.1 Шынжырлы конвейердің технологиялық ерекшеліктері

Конвейер туралы жалпы мәліметтер.

Шынжырлы конвейер-бұл бір немесе екі шексіз сақиналы шынжырлардың айналымы есебінен жүктерді тасымалдау құралы. Мұндай транспортер жоғары беріктігімен, тозуға төзімділігімен және өнімділігімен ерекшеленеді, ол әртүрлі жүктерді тасымалдауға бейімделеді.

Жұмыс істеу принципі жетекші және созылатын барабанның айналасына сақиналы шынжырдың айналасына негізделген. Шынжырдың жетекші дөңгелектен тартылуы есебінен білікке айналдыру сәті беріледі. Шынжырларды жұмыс тармағы бойынша сызықтық ауыстыру барысында оған бекітілген қырғыштар, қораптар немесе контейнерлер пайдалы жүкті жылжытады.

Қырғыш типті шынжырлы конвейерде қырғыштармен жабдықталған жұмыс тармағы бар. Ол қорапта қозғалады. Бұл сусымалы және жартылай сұйық субстанцияларды жылжытуға мүмкіндік береді. Қырғыштар толығымен немесе толығымен батырылады және жүкті өзіне тартады. Жұмыс тармағының соңында шығатын келтеқұбыр орналастырылады, ол арқылы тасымалданатын субстанция транспортерден кетеді. Басқа түрлерде пайдалы жүктеме қораптарда, шөміштерде, контейнерлерде немесе шынжырға бекітілген ашық алаңдарда орналастырылады. Мұндай құрылғылар сұйық жүктерді жылжыта алады.

Конвейердің жетекті органы өте мықты, үлкен физикалық жүктемелерге де, температураның едәуір ауытқуына да төтеп бере алады. Бұл конвейерлердің осы класына металлургиялық, химиялық және машина жасау кәсіпорындарының ыстық цехтары мен үлкен қуатты және көлемді стационарлық мұздатқыш қондырғыларға жол ашады.

Шынжыр кез келген бағытта бүгілуі мүмкін, сондықтан конвейер конфигурациясы өндіріс қажеттілігінен таңдалуы мүмкін.

Шынжырлы конвейердің құрылысы.

Конвейердің конструкциясына кіретін негізгі түйіндер:

1. Жетекті секция. Бұл жетекші білік пен жетекші тістегершігі бекітілген рама. Мұнда жетекші білікке айналатын моментті беретін тістегеріш типті электр мотор - жетек және редуктор орналасқан.

2. Керме секциясы. Бұл раманың жетекші соңына қарама-қарсы. Жүргізілетін білік және тістегершігі арнайы жүктелген кронштейнге бекітілген. Жетекші біліктің қашықтығы құрт жетегінің көмегімен реттеледі. Жүргізілетін білік жүргізушіден одан әрі қозғалатын болса, шынжырдың тартылуы соғұрлым жоғары.

3. Аралық секция. Жетекті және созылатын секциялар арасындағы раманың секциялары болып табылады. Конвейердің едәуір ұзындығы кезінде онда тісті дөңгелекті ұстап тұратын шынжырлары бар пассивті тірек біліктер орнатылуы мүмкін. Бұл шынжырдың салбырауын болдырмауға мүмкіндік береді. Тірек біліктердің санын инженерлік есептеу жүргізу және транспортер сызбасын құру кезінде анықтайды. Қырғыш типті құрылғыларда тірек біліктерде қажеттілік жоқ.

4. Жұмыс органы. Бұл шынжырдың өзі. Оның буындары велосипед тізбегі сияқты соғылған, дәнекерленген немесе құрама болады. Қырғышты тізбекті тасымалдауыштарда тізбекке өнімнің массасында қозғала отырып, оны соңынан тартатын перпендикулярлы қалқандар бекітіледі.

Шынжырлы конвейердегі жүк жұмыс тармағынан жоғарыдан да, алаңдарда, контейнерлерде және т.б., сондай - ақ төменнен да-ілемектерде немесе магнитті аспаларда орналастырылуы мүмкін.

Шынжырлы конвейерлердің түрлері.

Шынжырлы конвейерлер конструкцияларының әртүрлілігі арасында келесі негізгі түрлер бөлінеді:

1. Тік конвейерлер. Пайдалы жүктемені деңгейден тік немесе тік бұрышта деңгейге көтеруге арналған (1.1 суретте).



1.1-сурет - Тік конвейердің сыртқы көрінісі

Олар орны ауыстырылатын материалды немесе заттарды орналастыру үшін қармағыштармен, контейнерлермен немесе ашық алаңдармен жабдықталады. Олардың артықшылығы-аз алып отырған алаң және жүкті үздіксіз беру мүмкіндігі. Мұндай құрылғыларды басқару, лифттерге қарағанда,

оператордың немесе автоматтандырылған жүйенің тұрақты араласуын талап етпейді.

2. Көлденең конвейерлер. Ұсақ дисперсті де, кесекті де сусымалы немесе жартылай сұйық субстанцияларды тасымалдау үшін қолданылады. Ұсақ дисперсті материалдарды жылжыту үшін шаңнан қорғалған жабық тізбекті конвейерлер қолданылады. Көлденең конвейерлер сондай-ақ ұшаларды мұздатқыштарда жылжыту, бөлшектерді негізгі құрастыру конвейеріне беру үшін қолданылады (1.2 суретте).



1.2-сурет - Көлденең конвейердің сыртқы көрінісі

3. Көлбеу конвейерлер. 45° дейін еңіске жол беріледі. Жүктің биіктіктен құлауын болдырмау үшін қорғаныш ернеулермен жабдықталады (1.3 суретте).



1.3-сурет - Көлбеу конвейердің сыртқы көрінісі

Шынжырлы конвейерлерге, мысалы, пластиналы, қырғыш, шөмішті конвейерлер және т. б. жатады.

Шынжырлы конвейерлер өнімді өңдеу түріне байланысты шынжырдың әр түрлі қадамы болуы мүмкін, ең азы $\frac{1}{2}$ дюйм, ең үлкені қос 1 дюйм.

Аспалы шынжырлы конвейердің конструкциясы көлденең сияқты тігінен жүрістің кез келген конфигурациясын мүмкін етеді, ал тиісті өлшемнің қолданылуы құстың барлық түрлерін тасымалдауға мүмкіндік береді. Ол сондай-ақ салмағы 25 кг дейінгі аспалы конвейердің көмегімен бөлшектерді тасымалдау қажет болған кезде басқа мақсаттарға да пайдаланылады. Стандартты аспалы конвейер 1" қадаммен көтергіш шынжырға негізделеді.

Конвейер жеке көтергіш конструкцияға немесе жобадағы нұсқаулар бойынша ғимараттың құрылымына ілінуі мүмкін.

Аспалы конвейердің құрамына: жетек, тартқыш құрылғы, 90° және 180° бұрылыстар, тік бағыттаушылар, тік бұрылыстар, тізбекті арбалар, үзенгілер, қосылыстар кіреді. Шынжырлы конвейер техникалық шарттарға сәйкес жеке орындалған көтергіш конструкцияға ілінген.

Егер ол бірнеше қозғалтқышпен жабдықталған болса, оларды тиісті жиілік түрлендіргішіне қосу қажет. Қозғалыс редукторлық қозғалтқышымен қозғалысқа келтірілетін нейлон шынжырларының көмегімен жүзеге асырылады.

Қолдану салалары.

Оның беріктігі, үлкен айналымды моментті беру қабілеті, термотөзімділік және басқа да қасиеттерінің арқасында шынжырлы транспортерлер әртүрлі салаларда лайықты танымалдылыққа ие.

Олардың ішінде:

- металлургиялық комбинаттар;
- құрылыс материалдарын өндіру жөніндегі кәсіпорындар;
- химиялық зауыттар;
- ауыл шаруашылық кәсіпорындары;
- азық-түлік пен тамақ өнімдерін өңдейтін, сақтайтын және өндіретін компаниялар;
- әртүрлі профильдегі машина жасау кәсіпорындары, шынжырлы конвейерлердің көмегімен бөлшектерді, жартылай фабрикаттарды және бұйымдарды өз құрастыру желілерінде жылжытатын.

Шаңданатын және улы субстанциялардың орнын ауыстыру кезінде герметикалық шаңнан қорғайтын қораптар пайдаланылады.

Шынжырлы транспортерлердің артықшылықтары мен кемшіліктері.

Экономиканың түрлі салаларында ұзақ пайдалану барысында шынжырлы конвейерлердің артықшылықтары байқалды:

- жоғары айналу моментін беруге мүмкіндік беретін және жоғары өнімділікті қамтамасыз ететін беріктілік;
- жабдықтың әртүрлі мөлшерлері мен қуаттарының қолжетімділігі;

- шаңданатын және денсаулыққа зиянды жүктерді қауіпсіз тасымалдау мүмкіндігі;

- физикалық және температуралық жүктемелерге жоғары төзімділік.

Конвейерлердің осы түріне тән және бірқатар кемшіліктер:

- үлкен салмағы мен өлшемдері;
- жоғары шуыл және діріл деңгейі;
- шынжырлы жетектің тозған бөлшектерін жөндеу немесе ауыстыру үшін тұрақты техникалық қызмет көрсету қажеттілігі.

Жалпы артықшылықтары шынжырлы конвейерлерді әртүрлі салаларда жүктерді тасымалдауды ұйымдастыру үшін экономикалық тиімді және ақылға қонымды таңдау жасай отырып, кемшіліктерін өтейді.

Шынжырлы конвейердің ерешеліктері:

- жекелеген элементтердің құрылысы, сондай-ақ оларды қосу принциптері пайдаланушылардың қажеттіліктеріне байланысты конвейердің пішіні мен жүрісін әртүрлі қамтамасыз етеді;

- қарапайым дизайн элементтерді тез және оңай ауыстыруға және бүкіл конвейерді арттыруға мүмкіндік береді;

- негізгі элементі – тасушы шынжыры бар конвейердің құрылысы әр түрлі тасымалдаушы элементтерді қолдануға мүмкіндік береді – пластина, қырғыш, шөміш, таспа т.б.;

- қарапайым және "мөлдір" құрылым жабдықты қажетті тазалықта және қызмет көрсетуде қарапайымдылықта ұстау мүмкіндігін қамтамасыз етеді;

- жоғары сапалы материалдарды қолдану жабдықтың сенімді және ұзақ мерзімді жұмысын қамтамасыз етеді.

Жұмыс процестерін және шынжырлы конвейердің құрылғысын зерттеу қазіргі уақытта өте өзекті тақырып болып табылады, өйткені кез келген кәсіпорынның көлік және технологиялық желілері бір-бірімен байланысты және бірыңғай жүйе болып табылады, ал қазіргі заманғы кәсіпорындарға тән өндірістің ағынды әдісі жүктерді немесе бұйымдарды бір технологиялық операциядан екіншісіне конвейерлік беруге негізделген.

Сондықтан шынжырлы транспортерлер технологиялық процестің құрамдас және ажырамас бөлігі болып табылады, олар өндірістің ырғақтылығын қамтамасыз етеді, еңбек өнімділігін арттыруға және өнім шығаруды ұлғайтуға ықпал етеді.

Жалпы жағдайда технологиялық процестің сипатына байланысты электржетек жүйесі жүктерді тасымалдаудың талап етілетін жылдамдығын қамтамасыз етуді және қажет болған жағдайда әртүрлі конвейерлер жылдамдығының мәндерін келісуді, сондай-ақ жабдықтың технологиялық және авариялық бұғатталуын жүзеге асыруға тиіс.

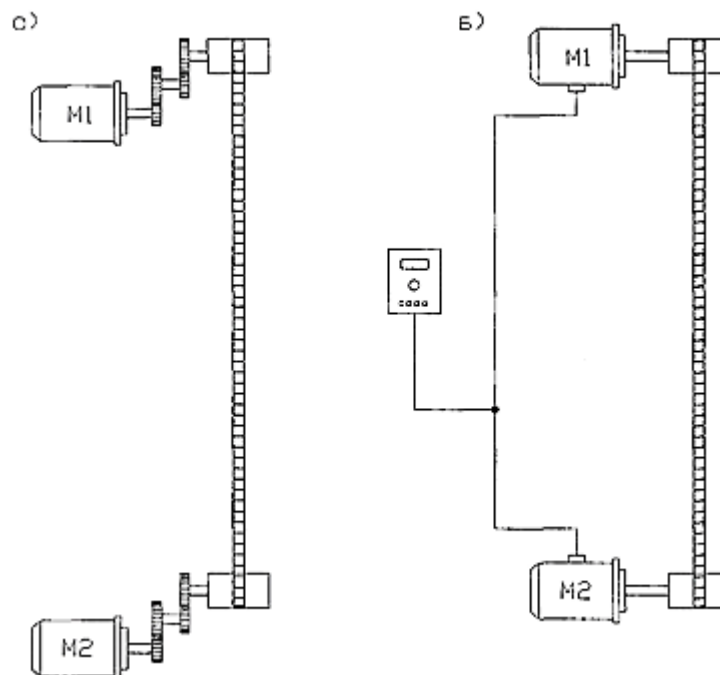
1. 2 Көпқозғалтқышты конвейер электржетегінің механикасы

Электржетегінің негізгі кинематикалық мәселелері.

Шынжырлы конвейерде бірнеше жетекті станциялар болған кезде оларды орнату орны бірнеше станция қозғалтқыштарының тарту күші шамамен бір қозғалтқышты электр жетегінің күшіне тең болатындай етіп тартымдық күшінің диаграммасы бойынша таңдалады.

Электржетегінің әр жұмыс циклының элементтері пайда болады, олар: іске қосылу, әрі қарай тұрақталынған жылдамдықпен қозғалуы және берілген орын ауыстыру жолы біткен мезетте тоқтатуы немесе тежелуі.

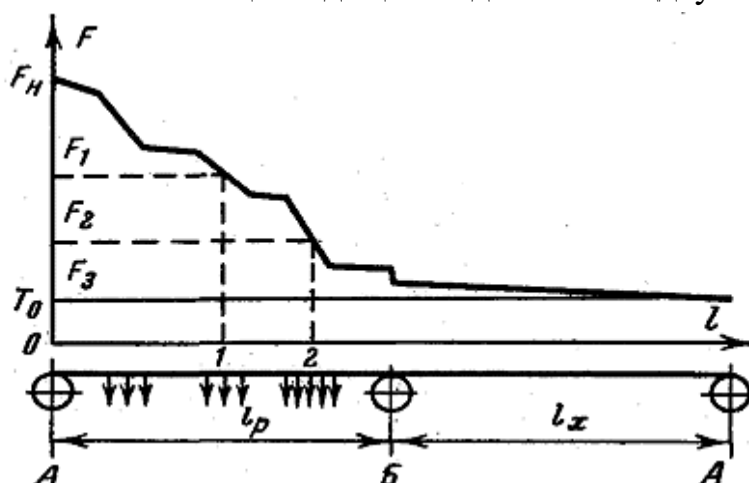
Әдетте қозғалтқыш өндірістік механизмді, бөлек элементтері әртүрлі жылдамдықпен қозғалатын берілістер жүйесі бойынша іске қосады. Орындаушы механизмі айналмалы қозғалатын шынжырлы конвейерлі көпқозғалтқышты жетектің жобалы кинематикалық сұлбасы 1.4 суретте көрсетілген.



1.4- сурет - Шынжырлы конвейерлі көпқозғалтқышты жетектің кинематикалық схемасы

Тартымдық күшінің диаграммасын құру үшін конвейердің трассасы барлық көтерулері мен түсірулері, иілігуі, жетекті және тарту станциялары сызылады. Содан кейін, егер конвейердің ең аз жүктелген учаскесінен жүрсе, әрбір элементте шығындарды есепке алу жүргізіледі және тартқыш органның барлық ұзындығы бойынша тартылуы алынады (1.5 сурет).

Күш салу және конвейердің тарту органында тартылу бойынша қозғалтқышты және механикалық жабдықты алдын ала таңдау жүргізіледі.



А-жетек станциясы; Б-тарту станциясы.

1.5 - сурет - Шынжырлы конвейердегі тартымдық күшінің диаграммасы

Конвейердің жетек қозғалтқышының қуаты мынадай формула бойынша анықталады:

$$P = (F_H - T_0) \cdot v / \eta \cdot 10^{-3}, \quad (1.1)$$

мұндағы F_H - тартқыш органның жүгіруші учаскесіндегі күш, Н;

T_0 - тартқыш органындағы тартымдық күші, Н;

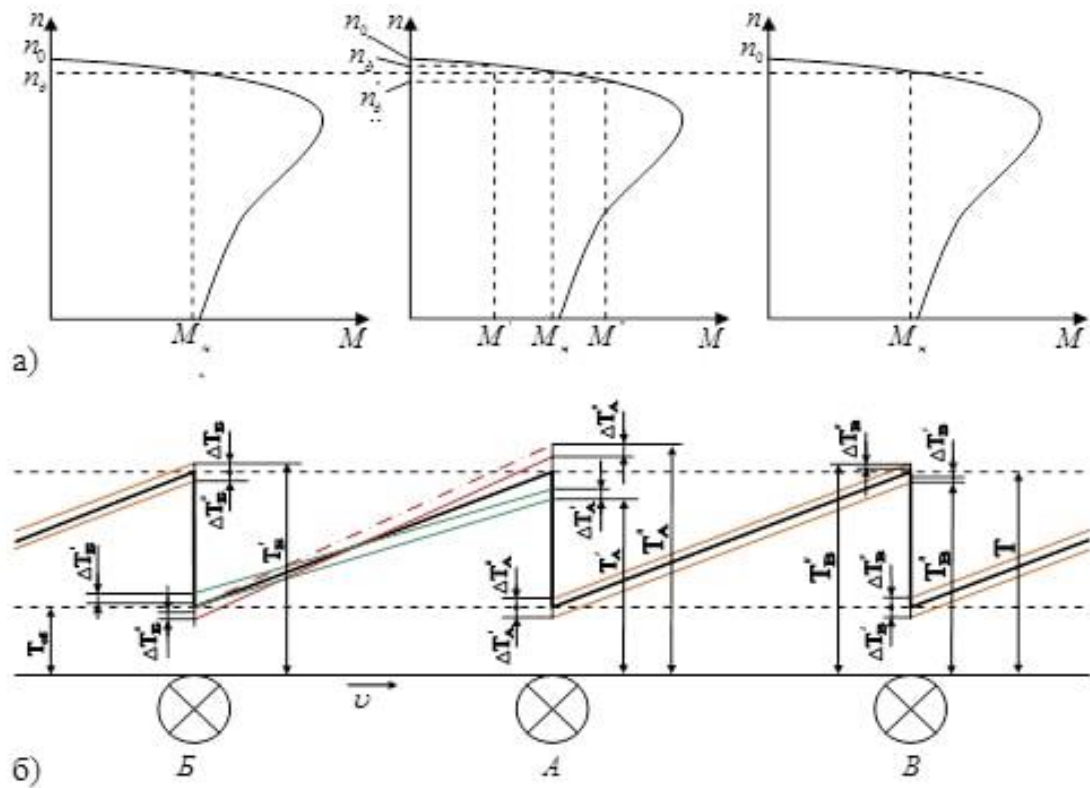
v - тартқыш органының қозғалу жылдамдығы, м / с;

η - жетекті механизмның ПӘК.

Қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларының сәйкессіздігінен туындауы мүмкін жетектердің жүктемесін бөлудің біркелкі еместігін есепке алуды конвейер жұмысының неғұрлым ауыр режимдері кезінде тартқыш органда тартуларды анықтағаннан кейін жүргізу орынды, өйткені қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларының айырмашылықтарының әсері конвейердің жұмыс режиміне байланысты емес тұрақты жұмыс істейтін фактор болып табылады. Осыған байланысты, көп қозғалтқышты конвейердің электр қозғалтқыштары жүктемесінің әркелкілігі жетек жылдамдығының сәйкес келмеуіне және шынжырдың керілуіне әкеледі.

Алайда, жетекті станцияның қуатын түпкілікті таңдау үшін әрбір тармақ үшін тартымдық күштің нақтыланған диаграммасын құру қажет екенін ескеру қажет. Бұл нақтылау барлық учаскелердің күш-жігерінің сомасы бір қозғалтқышты жетек кезіндегі күшке тең болмауы мүмкін мән-жайдан туындаған, бұл тартқыш орган қимасының азаюымен және тиісінше көп қозғалтқышты жетек кезіндегі үйкеліске шығындардың төмендеуімен анықталады.

Үш қозғалтқышты шынжырлы конвейердің қозғалтқышының n жылдамдығының өзгеруі механикалық сипаттамаларда (1.6,а сурет), ал асинхронды электр жетектері арасындағы тартымдық күштерді бөлу 1.6,б суретте көрсетілген.



1.6- сурет -Үш қозғалтқышты шынжырлы конвейердің электржетектері арасындағы тартымдық күштерді бөлу және айналу жылдамдығының өзгеруі

Жетек құрылғыларының қозғалтқыштары дамытатын айналу жылдамдығының, сырғу және моменттер 1.6 сурет бойынша анықталатын тартымдық күштерге сәйкес өрнектер бойынша есептеледі:

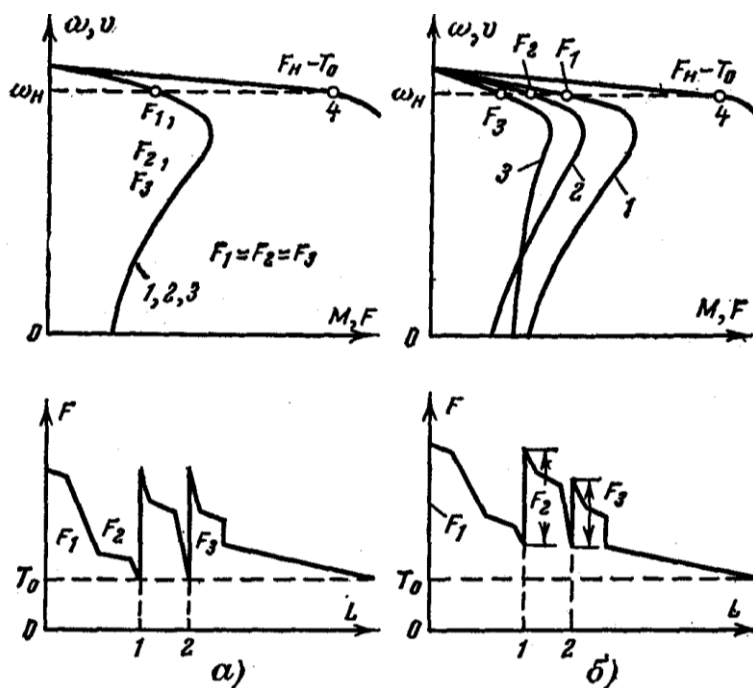
а) жетекке жүктемені азайту кезінде

$$\Delta n'_\partial = \frac{(n'_\partial - n_\partial)}{n}, s' = \frac{(n_0 - n'_\partial)}{n_0}, M' = \frac{M_H}{S_H} s. \quad (1.2)$$

б) жетекке жүктемені арттыру кезінде

$$\Delta n'_\partial = \frac{(n_\partial - n'_\partial)}{n}, s' = \frac{(n_0 - n'_\partial)}{n_0}, M' = \frac{M_H}{S_H} s. \quad (1.3)$$

Электржетек конвейер қозғалысының кедергісін еңсеру үшін қажетті барынша тартымдық күшін қамтамасыз етуі тиіс. Егер, мысалы, жетекті станциялардың саны үшке тең және барлық қозғалтқыштар бірдей тартымдық күштерді қамтамасыз ету шарты қойылса, онда қозғалтқыштарды 0 нүктесімен сипатталатын жерде және тиісінше одан 0-1 және 0-2 қашықтықта орнату керек (1.7,а сурет).



1.7- сурет - Шынжырлы конвейердің тарту органында жүктемені бөлу графиктері

Механикалық сәйкес келген жағдайда конвейердің жұмысы кезінде олардың әрқайсысы шамалап бірдей тартымдық күшін $(F_H - T_0)/3$ құрады.

Шынжырлы конвейерлерде көп қозғалтқышты жетектерді қолдану тартқыш органның жүктемесін едәуір азайтады, соның салдарынан механикалық жабдық неғұрлым жеңіл таңдалуы мүмкін. Конвейердегі жетекті станциялардың оңтайлы саны электр жетегінің және механикалық жабдықтың құнын бір мезгілде ескеретін нұсқаларды техникалық-экономикалық салыстыру жолымен таңдалады.

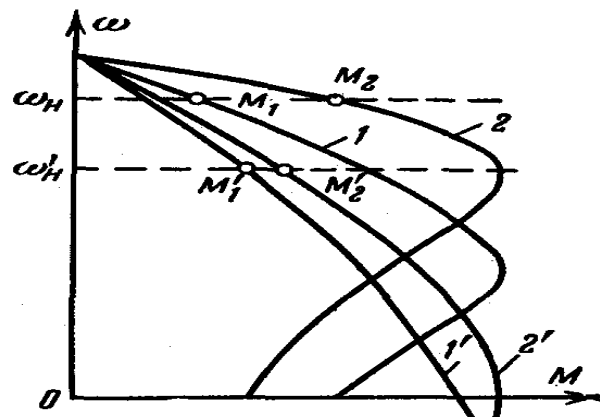
Қозғалтқыштардың сипаттамалары бірнеше рет бірдей болмаған жағдайда, әрбір машина есептіден өзгеше тарту күшін жасай алады. 1.7,а суретте келтірілген механикалық сипаттар үш қозғалтқыштардың қуаты бірдей параметрлер, ал 1.7,б суретте - әртүрлі параметрлері бар қозғалтқыштардың сипаттамалары. Қозғалтқыштар жасайтын момент 4 жиынтық сипаттамасын құру арқылы анықталады.

Конвейердің барлық қозғалтқыштарының роторлары тартқыш органмен тығыз байланысты болғандықтан, олардың жылдамдығы тізбектің қозғалыс

жылдамдығына сәйкес келеді, ал жиынтық күш $F_H - T_0$ тең. Әрбір қозғалтқыштың тарту күші көлденең тік, номиналды жылдамдыққа сәйкес келетін және 1, 2, 3 және 4 сипаттамаларын кесіп өту арқылы оңай алуға болады. 1.7,а және б суреттерде, қозғалтқыштардың механикалық сипаттарынан басқа, тартымдық күшінің диаграммалары келтірілген. Тартқыш орғанда қозғалтқыштардың әртүрлі сипаттамалары кезінде конвейер қозғалтқыштары дамытатын тартқыш күштердің әртүрлілігіне негізделген қосымша тартылу құрылуы мүмкін.

Конвейердің жетекті станцияларының қозғалтқыштарын тандау кезінде олардың сипаттамаларын тексеру және мүмкіндігінше олардың толық сәйкес келуіне қол жеткізу қажет.

1.8 суретте конвейердің екі қозғалтқышты электр жетегінің механикалық сипаттамалары келтірілген. 1 және 2 сипаттамалары табиғи болып табылады, тиісінше 1' және 2' сипаттамалары қозғалтқыш роторының тізбегіне қосымша кедергі енгізілген кезде алынған. Қозғалтқыштар дамытатын жиынтық момент пен тарту күші қатты 1, 2 кезінде де, жұмсақ 1'2' сипаттамаларда да бірдей болады. Алайда жұмсақ сипаттамалар кезінде қозғалтқыштар арасындағы жүктеме неғұрлым қолайлы бөлінеді.



1.8-сурет - Сипаттамаларының әртүрлі қаттылығы кезінде конвейер қозғалтқыштары арасындағы жүктемені бөлу

Қозғалтқыш білігіне жүктеме реакциясының жалпыланған механикалық күші түсірілген. Даламбер принципіне сәйкес, ол қозғалтқыштың ауа саңылауындағы ағынның көмегімен пайда болған электромагниттік моментпен теңестіріледі және ол жалпы жағдайда статикалық және динамикалық екі құраушыдан тұрады

$$M = M_{CT} + J * \frac{dw}{dt} \quad (1.4)$$

Статикалық құраушының моменті әртүрлі қасиеттерге ие болуы және ол әртүрлі уақыт функциялары, бұрыштық жылдамдық, бұрылу бұрышы және т.б.

сипатталуы мүмкін. Бірақ жиіліктік басқару теориясында көбінесе тек қана жылдамдыққа тәуелді моменттерді және статикалық моментті қарастырады.

Бұдан былай қозғалтқыш моментін электромагниттік момент деп түсінеміз, ал қозғалтқыштың механикалық шығындарын статикалық моментке жатқызамыз.

Осыдан электржетектің күштік тізбегінің іс әрекеті толығымен және біртұтас екі жалпыланған күштермен анықталады - ЖТ-ң екі ЭҚК-і екі тәуелсіз айнымалылармен амплитуда, жиілік жүктеме моментімен анықталады.

1.3 Асинхронды қозғалтқыштың кернеу жиіліктігін өзгерту негіздері

Егер жиілік түрлендіргіштен керектенбейтін, бөлек асинхронды қозғалтқышты (АҚ) зерттейтін болсақ, онда біз тек қозғалтқыштың өзіне тән қасиеттерін қарастыратын едік. Жиіліктік басқарылатын жетектің динамикалық қасиеттерін зерттеу, оның басқару тәсілдерін, эксплуатациялық қасиеттерін және басқа да қарастырылатын мәселелерді тек жиілік түрлендіргіш - қозғалтқыш (ЖТ-АҚ) жүйесін зерттеу арқылы ала аламыз.

Қозғалтқыштың айнымалы магнит өрсінің бұрыштық жылдамдығы тек қана статор тогының жиілігімен анықталады

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{z_p} * f_1 \quad (1.5)$$

мұндағы z_p - жұп полюстер саны.

Ротордың бұрыштық жылдамдығы $\omega = \omega_1(1-s)$ өріс жылдамдығынан жалпы жағдайда өте аз жүктемеге тәуелді s сырғанау шамасына өзгешелінеді. Сондықтан, қозғалтқыш жылдамдығын егер сырғанауды ескермесек, онда статор тогының жиілігімен анықталады.

Статор тогы жиілігі орнына тәжірибелік түрде оған пропорционалды салыстырмалы параметрін қолданған жөн

$$\alpha = \frac{f_1}{f_{1h}} \quad (1.6)$$

Яғни, статор тогы жиілігінің оның тұрақты номинал мәніне қатынасы.

Жоғарыда айтылғанға сәйкес, бұл қатынас статор тогы жиілігінің өзгеруін ғана емес қозғалтқыш жылдамдығының терең реттелуін сипаттайды, сондықтан жиіліктік басқарудың негізгі салыстырмалы параметрі болып табылады.

Статорға түсірілетін кернеу, оның орамаларында индукцияланған қарсы ЭҚК E_1 мен және статор орамаларының кедергілеріндегі кернеудің түсуімен теңестіріледі:

$$U_1 = E_1 + I_1 Z_1 \quad (1.7)$$

Қозғалтқышта энергияның берілуі электромагниттік индукция арқылы жүзеге асады - кірістегі электр энергиясы шығысында механикалыққа түрленеді. Бұл түрлену қозғалтқыштың магнит ағынымен жүзеге асады.

Қозғалтқыштың жұмыстық ағыны ротор және статор орамдарындағы токтар арқылы жасалынатын нәтижелі магнит қозғаушы күшпен анықталады:

$$\Phi = \kappa_{a\omega} \omega_1 I_{0\mu} = k_{a\omega} \omega_1 I_0 \sin \varphi_0 \quad (1.8)$$

Статор тогы магниттеуші токпен, болаттағы шығынды есептейтін токтың активтік құраушысы мен және ротор тогымен анықталады.

$$I_1 = I_0 + I_2 \quad (1.9)$$

мұндағы I_2 статор тізбегіне келтірілген ротор тогы.

Ротор тогы қозғалтқыш білігіне түсірілген жүктеме моментімен анықталады. Ол ротордағы электрлік шығындар арқылы қозғалтқыштың электромагниттік момент өрнегі арқылы анықтауға болады:

$$P_{m_2} = M\omega_\Delta = m_2 r_2 I_2^2 \quad (1.10)$$

мұндағы $\omega_\Delta = \omega_1 - \omega$ - ротордың абсолютті сырғанауы, яғни ротор және айналмалы өрістің бұрыштық жылдамдықтарының айырмасы.

Сондықтан, ротор тогы

$$I_2 = \sqrt{\frac{M\omega_\Delta}{m_2 r_2}} \quad (1.11)$$

жүктеме моментіне, абсолютті сырғанауға және қозғалтқыштың конструктивтік параметрлеріне тәуелді.

АҚ-тың кернеу жиіліктік өзгерту заңдылықтары.

Асинхронды қозғалтқыштың (АҚ) жылдамдығын реттеудің қазіргі уақытта кең қолданылатын және перспективалы тәсілдерінің бірі жиіліктік тәсіл. Оның принципі мынада: АҚ-ң коректенетін кернеуінің жиілігін $\omega_0 = 2\pi f_1 / z_p$ өрнегіне сәйкес өзгертіп, оның синхронды жылдамдығымен, әртүрлі жасанды сипаттамаларын алуға болады. Бұл тәсіл жоғары қатаңдықта сипатталған кең қолданылатын жатық реттеуді қамтамасыз етеді. Жиілікті тәсіл сонымен бірге тағы да маңызды қасиеттермен ерекшеленеді. АҚ-ның жылдамдығын реттеген кезде, мысалы реостатты реттеуге қарағанда оның сырғанауы өспейді. Сонымен бұл реттеу тәсілінде сырғанау шығыны аз болады. Осыған байланысты жиіліктік тәсіл үнемді болады.

АҚ-ның жұмысын жақсы пайдалану үшін және оның жұмысы жоғары энергетикалық көрсеткіштерге ие болу үшін - қуат коэффициенті, пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК), асқын жүктемелік қасиеттерін жоғарылату үшін коректендіретін кернеудің жиілігімен бірге оның мәнін өзгертуіміз керек.

Тәжірибеде кеңінен қолданатын негізгі жиіліктік басқару заңы, бұл кернеуді жиілікке пропорционалды реттеу.

АҚ-ның статорына берілетін кернеу мен жиілік арасындағы қатынасты, көбінесе қозғалтқыштың M_k - максималдық моменті мен M_c – жүктеме моментінің қатынасынан анықталатын асқын жүктемелік қасиетінің сақталу шартынан λ таңдалады

$$\lambda = \frac{M_k}{M_c} = const \quad (1.12)$$

Егер статордың актив кедергісін ұйғарсақ және $x_k \sim f_1, \omega_0 \sim f_1$ екендігін ескерсек (1.12) - өрнегін мына түрде жазуға болады

$$\lambda = \frac{3U_{\phi}^2}{2\omega_0 x_k M_c} = A \frac{U_{\phi}^2}{f_1^2 M_c} = const \quad (1.13)$$

мұндағы A - f_1 жиілігіне тәуелсіз тұрақты.

(1.13) f_1 және f_{1k} жиіліктерінің мәндері үшін келесі қатынас сақталуы тиіс

$$\frac{U_{\phi i}^2}{(f_{1i}^2 M_{ci})} = \frac{U_{\phi k}^2}{(f_{1k}^2 M_{ck})} \quad (1.14)$$

мұндағы $M_{ci}, M_{ck} - f_{1i}, f_{1k}$ жиіліктеріне сәйкес АҚ-тың жылдамдықтарының жүктеме моменті.

Осыдан АҚ-ның жылдамдығын жиіліктік реттеу тәсілі кезіндегі кернеуді өзгертудің негізгі заңы пайда болады

$$\frac{U_{\phi i}}{U_{\phi k}} = \frac{f_{1i}}{f_{1k}^2} = \sqrt{\frac{M_{ci}}{M_{ck}}} \quad (1.15)$$

(1.15) өрнегінің көмегімен кернеуді өзгертудің жеке заңдары және $M_{жс}$ жүктеме моментінің жылдамдыққа байланысты жиілігін аламыз. $M_c = const$ тұрақты болғанда (1.15)-ге сәйкес

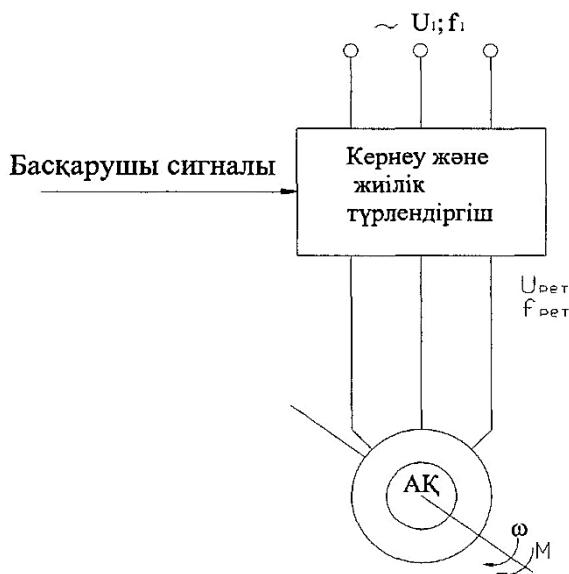
$$\frac{U_{\phi}}{f_1} = const \quad (1.16)$$

яғни, статордағы кернеу оның жиілігіне пропорционалды өзгеруі керек.

(1.15) сәйкес жүктеме моментінің вентиляторлық сипаттамасы келесі түрде болады

$$\frac{U_{\phi}}{f_1^2} = const \quad (1.17)$$

1.9 суретте электржетегін жиілікті басқарудың оңайлатылған сұлбасы келтірілген. Жетектің қажетті элементі ретінде жиілікті түрлендіргіш алынған. Оның кірісіне желінің стандартты кернеуі U_1 , (220, 380В және т.б.) беріледі. Өндірістік жиілік $f_1 = 50\text{Гц}$, оның шығысынан айнымалы кернеу- $U_{\text{рет}}$, реттелетін жиілік - $f_{\text{рет}}$ алынады. Олардың мәндері (1.16)-(1.17) формулаларымен анықталған қатынастар болады. Шығыс жиілігін реттеу және түрлендіргіш кернеуі басқарылатын сигнал көмегімен жүзеге асырылады.



1.9-сурет - Жиіліктік реттелу кезіндегі асинхронды электржетектің сұлбасы

Мұндағы өзгеріс АҚ-ның жылдамдығының өзгерісін анықтайды. 1.9 суретте реттелетін АҚ ретінде, роторы қысқа тұйықталған АҚ көрсетілген, ол көбінесе жетектің осы жүйесінде қолданылады.

Жиілікті өзгертудің оптималдық заңы.

Қозғалтқышқа байланысты айнымалы ток жетектерімен жиілікті басқару сұрақтары ретінде басқару процесінде қозғалтқыш қоректенетін жиілік пен амплитуда арасындағы қатынастарды анықтау болып табылады. Қозғалтқыштың айналатын магнит өрісінің амплитудасына байланысты осы қатынастың мәні анықталады. Басқада техникалық есептеулер сияқты, бұл зерттеудің мақсаты да тиімді, ыңғайлы, пайдалы шешімге келу болады. Токтың қозғалтқышқа байланысты жиілікті басқару теориясы даму үстінде. Алдымен тиімділеу түсінігінің шартын анықтап алуымыз керек. Кез келген ғылыми дәлелденеген жүйе тиімді болады. Тиімді басқару шарттарын құрастыру тиімділеу белгілерін таңдауға байланысты болады, ал тиімділеу белгілерінің мазмұны нақты шарттардан алынады және техниканың дамуымен өзгеруі мүмкін. Қозғалтқыш құрылысына және оның басқару режиміне байланысты тиімділеу талаптарын анықтауымыз қажет. Бірақ та мәселенің тиімді шешімі екеуіне байланысты балады. Егер құрылым көпөлшемді фазалық кеңістіктегі мүмкін болатын

ауыстырушылықтар бетін анықтайтын болса, онда басқару осы кеңістікте бейнеленген қозғалыс траекториясын анықтайды. Тәжірибеде есеп шешімін жеңілдету үшін екі бөлікке бөлген ыңғайлы: машинаның тиімді параметрлерін анықтау және осы машинамен басқарудағы тиімді режимдерді анықтау. Қиын есептерді практикалық түрде шешілетін етіп жасауға болады, егер машинаның құрылымдық параметрлері тиімді үлгімен тек бір жеке жағдайда анықталса, яғни кернеу жиілігі және амплитуданың номиналды мәні арқылы. Сонда бұл номиналды режимді барлық реттеу диапазонында пайдалану мүмкіндігін басқарудан талап ету жеткілікті болады. Бірақ та бұл жағдайда машина құрылымынан динамикалық талаптар анықталмай қалады, ол оның басқару кезіндегі максималды тез әсер етуін қамтамасыз етеді. Бұл талаптар басқа жағдайларда жинақталады, мысалы: қозғалтқыш роторының инерция моментінің іске қосу моментіне қатынасы; бұл жағдайда динамикалық талаптар арнайы, тереңдетілген зерттеулерді талап етеді, ол қызуға байланысты болады. Динамикалық талаптар онша емес белгілі жағдайларда қойылған сұрақты анықталған деп есептеуге болады.

Келесі сұрақ - жалпы электржетекке және бір қозғалтқышқа байланысты тиімділеу талаптарын ажыратып алудың қажеттігі. Бұдан тиімділеу сипаттамаларының санын анықтау, бірінші шығындарға және пайдалану шығындарына үнемділік, өнімділік және сенімділік жалпыэлектржетекке байланысты болады. Бұл осы жағдайда көп кездеседі, өйткені қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыш арзан, үнемді, қарапайым және сенімді жетек бөлігі болады.

Бөлектенген қозғалтқышқа байланысты жиілікпен және амплитудамен басқарудың тиімді режимін анықтау келесі сұрақтардан маңызды мәнге ие болады:

1) қозғалтқыштың сенімділігін қамтамасыз ету үшін қозғалтқыш материалдарының- механикалық, электрлік, магниттік, жылулық асқын жүктемеленуін болдырмау;

2) өнімділікті арттыру үшін басқарудың өтпелі үрдістері кезінде максималды пайда ету.

Оптималды басқару - машинаның қызуын шектеу үшін шығындардың минимумын қамтамасыз ету, бірінші шарттың салдары болып табылады.

Жиілік пен жүктеменің барлық мәндерінде АҚ-ның оптималды жұмыс режимін қамтамасыз ету үшін қозғалтқыштың салыстырмалы кернеуін, салыстырмалы жиіліктің салыстырмалы моменттің түбірасты мәніне көбейтіндісіне пропорционалды өзгерту керек

Бұл жиіліктік басқару заңы келесі түрде

$$\frac{U}{U_H} = \frac{f}{f_H} * \sqrt{\frac{M}{M_H}} \quad (1.18)$$

немесе салыстырмалы бірлікте

$$\gamma = \alpha \sqrt{\mu} \quad (1.19)$$

мұндағы $\gamma = \frac{U}{U_H}$ - салыстырмалы кернеу;

$$\mu = \frac{M}{M_H} \text{ - салыстырмалы момент.}$$

Мұндағы жиілікті басқару заңы (1.18) келесі қарапайым жинақылықтан алынады [3]. Кернеуді реттеуді орындау әртүрлі жиілікте статикалық асқын жүктемелену коэффициентін $\lambda = M_K/M_H$ бірдей болып қалатындай етіп реттеу қажет. Бұдан аударатын момент Φ - ағын квадратына пропорционалды өзгертіндіктен, оған келесі орындалу қажет:

$$\frac{\Phi'^2}{\Phi''^2} = \frac{M'}{M''} \quad (1.20)$$

Бірінші жуықтауда (статордың активті кедергісін есепке алмағанда)

$$\frac{U'}{U''} = \frac{\Phi' f'}{\Phi'' f''} \quad (1.21)$$

Осы (1.20) және (1.21) бір-бірімен салыстырғаннан (1.18) теңдеуі шығады. (1.18) заңымен басқарғанда АҚ-жүргізу келесі қарапайым қатынастармен сипатталады [3].

Қозғалтқыш ағыны моменттің квадраттық түбіріне пропорционал өзгереді:

$$\frac{\Phi}{\Phi_H} = \frac{M}{M_H} \quad (1.22)$$

Статор тогының активті құраушысы:

$$\frac{I_{1a}}{I_{1aH}} = \frac{\Phi}{\Phi_H} * \frac{M}{M_H} \quad (1.23)$$

Қозғалтқыштың пайдалы қуаты:

$$\frac{P}{P_H} = \frac{f}{f_H} * \frac{M}{M_H} \quad (1.24)$$

Салыстырмалы сырғанау:

$$\frac{s}{s_H} = \frac{f_{1H}}{f_1} = \alpha \quad (1.25)$$

Пайдалы әсер коэффициенті:

$$\eta = \frac{P_H}{P_H * P_{Э.Н} * \frac{f_{1H}}{f_1} + P_{Г.Н} + P_{В.Н} * \frac{f_{1H}}{f_1} + P_{mp} \frac{M_H}{M} * \sqrt{\frac{f_{1H}}{f_1}}}, \quad (1.26)$$

мұндағы номинал жиіліктегі $P_{Э.Н}$, $P_{Г.Н}$, $P_{В.Н}$ және P_{mp} мыстағы шығындар, болаттағы гистерезис шығындары, болаттағы құйынды ток шығындары және механикалық шығындар.

Статор тогының векторының жағдайы, статикалық жүктеме коэффициент қозғалтқыш, білігіне максималды момент қатынасы және кернеу барлық қозғалтқыштың бұрыштық жылдамдығында және жиілігінде өзгеріссіз қалады, абсолютті сырғанау тұрақты мәнге ие болады. АҚ-ның жұмыс шарты келесі түрде түсіндіріледі. Егер АҚ f_{1H} жиілікте M моментпен және U_H қысқаштағы кернеумен жаңа M мәніне U кернеуіне f_1 жиілігіне өзгертсек, яғни (1.18) теңдеу қанағаттанатындай етіп, онда қозғалтқыш тәжірибе жүзінде $\cos \varphi$ -да, абсолютті сырғанауда және асқын жүктемелену коэффициенті өзгермей жұмыс істейді, ал оның ПӘК-ті (1.26) теңдеумен анықталады, тек f/f_{1H} жиіліктің өзгеруіне тәуелді болады және қозғалтқыштың магнит тізбегі қанығуы өте үлкен болмаса біліктегі моменттің M/M_H өзгеруіне тәуелді болмайды.

(1.18) реттеу заңын оны жүзеге асыру тәсілдеріне байланысты әртүрлі қарастыруға болады. Бірініші жағдайда оны жабық циклда басқару және қозғалтқыш нақтылы жиілікте жұмыс істесе кернеуді өзгерту қалай болатындығын қарастырамыз. Бұдан (1.18) - формула кернеудің жаңа мәнін анықтауды ерекше атап өтеді. Егер жиіліктің төмендеуімен айналдыру жылдамдығының жиілігі де сәйкесті түрде төмендесе қозғалтқыш ағынын осы деңгейде ұстап тұрудың мәні жоқ. Оны тек ескі нақтылы статикалық жүктеме коэффициентін сақтап қалу үшін төмендетуге болады. Ағынды азайту қозғалтқыштағы болат шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Тұйықталмаған басқару кезіндегі жаңа жиілікке ауысқанда, кернеу тұрақты болып қалады, ол жүктемеге байланыссыз және (1.18)-формуласы келесі жаңа жиілік пен кернеуге өткенше ешқандай әсер етпейді, яғни оның мәнін (1.18)—формула бойынша қайтадан құрастыру керек. Бірақ та (1.18)-заңының мұндай қысқа түсіндірілуі оның барлық мағынасын ашып бермейді және тұйықталған циклмен басқару процесіне өтудің жалпы жағдайына қарастыруға мүмкіндік туады. (1.18)-формуланың жаңа түсіндірілуіне байланысты статикалық деп түсінбей, ротормен дамыған толық электромагнитті момент деп түсінеміз. Бұл моменттің статистикалық құрастырушылары әртүрлі сипатта болады, тек жылдамдық функциясынан басқа жинақталған мағынада (1.18) - функциясының сипаттамалық және принципіалдық ерекшелігі кернеуді реттеу болып табылады және қозғалтқыш ағыны үздіксіз, сәйкестік түрде қозғалтқыш білігіне

байланысты жүктеме моментінің өзгеруі болады. Мысалы, қозғалтқышқа бір тұрақты жиілік берілсе (1.18)-(1.24) формаларына сәйкес

$$\frac{U}{U_H} = \frac{\Phi}{\Phi_H} = \sqrt{\frac{M}{M_H}} \quad (1.27)$$

Яғни, кернеу және ағын, жүктеме моментінің шамасына түбір квадратына пропорционалды өзгереді, яғни жалпы жағдайда динамикалық құраушысы келесі түрде болады.

$$M_j = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1.28)$$

Бұдан жинақталған реттеу заңының ерекшеліктері шығады. Статистикалық асқын жүктемелену коэффициенті статистикалық тұрақтылық қорының мағынасын жоғалтады, сондықтан жүктеменің өсуіне байланысты ағын мен момент те өседі. Екінші ерекшелігі, ағын үздіксіз жүктемемен өзгеріп отырады. Егер қалыпты жағдайда қозғалтқыш ағыны момент өсуіне байланысты азайса, онда (1.27) режимінде бос жүріс кезінде ол нольге тең болады және жүктеме моментінің өсуіне байланысты өзгереді. Осыған байланысты бұл режимде қозғалтқыш минимальды шығынмен және жоғары ПӘК-пен жұмыс істейді. Қалыпты жағдайда болаттағы шығындар жүктеменің азайуына байланысты біраз өседі, ал қарастырылған режимде шығындар азаяды. АҚ-ны реттеудің физикалық мағынасын (1.18) - жинақталған формуласынан қарастырайық. Бұл формулада АҚ-ның кірісіндегі кернеу жиілігі мен амплитуданың өзгеретіндігін көрсетеді.

Бұдан бұл формула ЖТ-ның басқару сипаттамасын өрнектейді, онда кернеу жиілігі мен амплитуда шығыс шамалар болып табылады, ал қозғалтқыш білігіндегі өлшенетін момент кірісі басқаратын шама болады.

Басқа жағынан қарағанда, анықталған шарттарда қозғалтқыштың моменті мынандай теңдеуге тәуелді болады:

$$M' = C_\theta \lambda'^2 * \frac{1}{(b^2 + c^2 \alpha^2) \frac{\beta}{r'_2} + (d^2 + e^2 \alpha^2) \frac{r'_2}{\beta} + 2r_1 \alpha} \quad (1.29)$$

Мұнда тәуелсіз кіріс айнымалылары кернеудің жиілігі мен амплитуда болып табылады, олар және a параметрлерімен өрнектеледі, ал шығысы - қозғалтқыш M моменті.

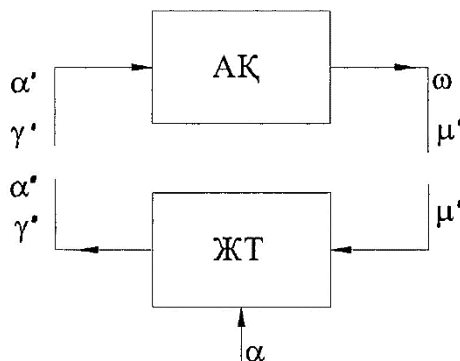
$$C_\theta = \frac{m_1 U_H^2}{\omega_{1H}} \quad (1.30)$$

Бұл екі теңдеу жүйесін физикалық түрде түсіндіруге болмайды, әйтпесе екі элементтен тұратын тұйықталған жүйе түрінде (1.10 сурет): (1.29)-теңдеумен

сипатталған басқарылатын объект - АҚ және (1.19) - теңдеуімен сипатталатын басқарушы қондырғы - ЖТ жинақталған басқару тізбегі ретінде қарастыруға болады. Немесе

$$\frac{\gamma''}{\alpha''} = \sqrt{\frac{M''}{M_H}} \quad (1.31)$$

Жүйенің түйісу шарты, яғни қозғалтқышпен ЖТ-ны бір тұйықталған тізбекке біріктіру, қозғалтқыш кірісіндегі жиілікті түрлендіру шығысындағы кернеу жиілігі мен амплитудасының теңдеуімен анықталады: $\gamma' = \gamma''$, $\alpha' = \alpha''$.



1.10-сурет- Тұйықталған жүйе

ЖТ-ның кірісіндегі және қозғалтқыш шығысындағы моменттер теңдігімен анықталады $\mu' = \mu''$.

Жүйеге екі сырқы пайдалы әсерлер қолданған- қозғалтқыш білігіне динамикалық және статикалық кедергілер моменті және ЖТ- ның екінші кірісіндегі басқаратын әсерлер.

1.4 Көпқозғалтқыштық электр жетектерінде пайдаланылатын жиілікті түрлендіргіштердің жіктелуі

Бір жиілікті электр энергиясының айнымалы тогын, басқа жиіліктегі айнымалы тогына түрлендіруді жүзеге асыратын жартылай өткізгішті түрлендіргіш - жиілік түрлендіргіші (ЖТ) деп аталады. Жиілік түрлендіргіші қуат, кернеу, кіріс және шығыс кернеуінің фаза саны, түрлендіру сұлбасы, т.б. бойынша топтастырылады. Түрлендіру жұмысы және оны техника-экономикалық сипаттамасы негізінен түрлендіру сұлбасымен анықталады.

Түрлендіру сұлбасынан тәуелді болатындар:

- 1) шығыс кернеуінің параметрі;
- 2) кіріс және шығыс бойынша түрлендіргіштің қуаттылық коэффициенті;
- 3) коректендіретін желіден пайдаланған айнымалы токтың қисығының пішіні;

- 4) түрлендіргіштің сыртқы (жүктемелік) сипаттамасы;
- 5) пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК).

Жиілік түрлендіргіштер кіріс және шығыс кернеуінің белгіленген қатынасымен және реттелетін жиілігімен орындалады. Жиілікті реттеуге арналған түрлендіргіштер АҚ-ның жылдамдығын реттеу үшін электржетек аймағында кеңінен пайдаланылады. Жиілік түрлендіргіштің топтастырылуынан негізгі екі класы болады:

- 1) тұрақты тоқты аралық буыны бар түрлендіргіштер;
- 2) жүктеме тізбегіне және коректендіретін желіге тікелей байланысты түрлендіргіштер (тікелей байланысты түрлендіргіштер).

Соңғы уақытта жиілікті түрлендіргіштің басқа типі үлкен даму үстінде - ол статикалық түрлендіргіштер. Бұлай аталу себебі жүйе статикалық элементтер мен қондырғылардан, яғни жартылай өткізгіштік құралдар, конденсаторлар т.б. құралған.

Статикалық жиіліктік түрлендіргіштер жаңа күшті жартылай өткізгіштік құралдардың, яғни тиристор және транзисторлардың пайда болуына байланысты тез даму үстінде. Жиілікті статикалық реттелетін түрлендіргіштер құру жоғары техника-экономикалық көрсеткіштермен анықталады, олар реттелінетін жиілікті электржетектерден тұрады. Реттеу жүйесінің ПӘК-ті көтеріледі және оның жылдамдығы да, жұмыс істегенде шу болмайды.

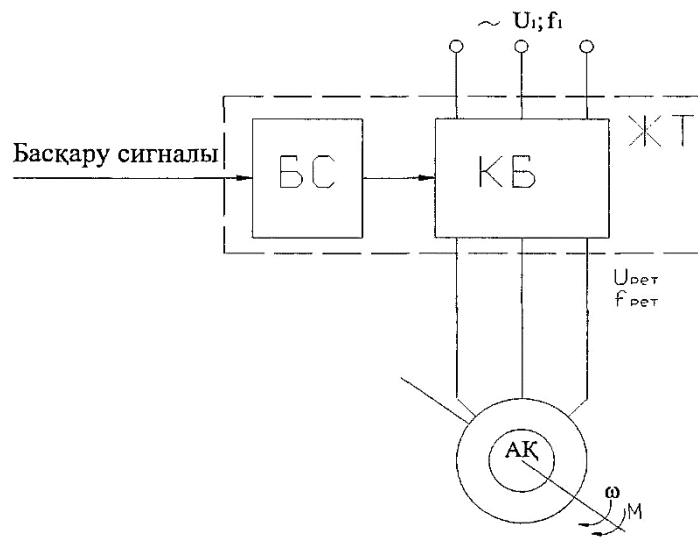
Барлық статикалық жиілікті түрлендіргіштер екі топқа бөлінеді:

- 1) тікелей байланысты түрлендіргіштер (ЖТ);
- 2) тұрақты тоқты аралық буыны бар түрлендіргіштер.

Тікелей байланысты түрлендіргіш өз сұлбасында реверсивтік түрлендіргіштерге ұқсас орындалған. Мұндай түрлендіргіштердің негізгі күштік бөлігі тиристор топтарының қарсы-параллельді қосылуы болып табылады, олардың әрқайсысы түзеткішпен немесе инвертор режимімен жұмыс істеуі мүмкін. Көбіне, мұндай түрлендіргіштер табиғи коммутацияланатын тиристорларда орындалады және шығыс кернеуінің жиілігі коректендіруші торап жиілігінен аз жиілігі болады. Бұл жағдай оның электржетек аймағында кеңінен қолдануына келтіреді.

Тікелей байланысты түрлендіргіштің кіріс және шығыс кернеулерінің фазасының саны олардың топтастырылуының негізгі белгісі болады. Бұл белгілі бір дәрежеде түрлендіргіш сұлбасын құру құрылымын анықтайды. Бұл кластың көпфазалы түрлендіргіші техника-экономикалық сипаттамаға ие болады және кеңінен қолданылады.

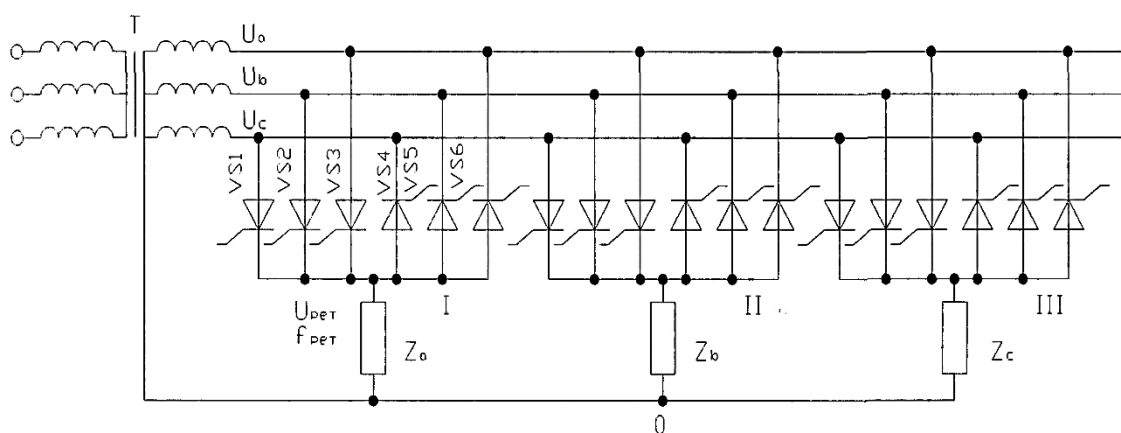
Тікелей байланысты ЖТ-ның оңайлатылған функционалдық сұлбасы 1.11 суретте көрсетілген.



1.11-сурет - Тікелей байланысты жиілік түрлендіргіштің функционалдық сұлбасы

ЖТ жалпы күштік бөлім КБ және басқару сұлбасынан БС тұрады. ЖТ-ның күштік бөлігіне, электр энергиясын U_1 стандартты кернеудің айнымалы тогына түрлендіретін және f_1 жиілікті $U_{дет}$ реттелетін кернеудің айнымалы тогына және $f_{дет}$ жиілігімен түрлендіретін тиристорлар кіреді, кейбір жағдайларда трансформаторларды пайдаланады. Басқару сұлбасы ЖТ-ң күштік бөлігін тиристорлармен басқаруды қамтамасыз етеді. Олар уақыттың керекті бір мезгілінде тиристордың басқарушы электродына берілетін импульстар көмегімен жүзеге асады.

Тікелей байланысты үшфазалы ЖТ-ң кең тараған тиристорлық сұлбасының бірі 1.12 суретте көрсетілген.



1.12-сурет - Тікелей байланысты үшфазалы ЖТ-ның сұлбасы

Сұлба үш бірдей тиристорлар құрамынан тұрады, олар Z_a үшфазалы жүктемені қоректендіреді. Әрбір құрам 6 тиристордан тұрады, олардың үшеуі Т трансформатордың екінші реттік орамымен анодтармен біріктірілген, басқа

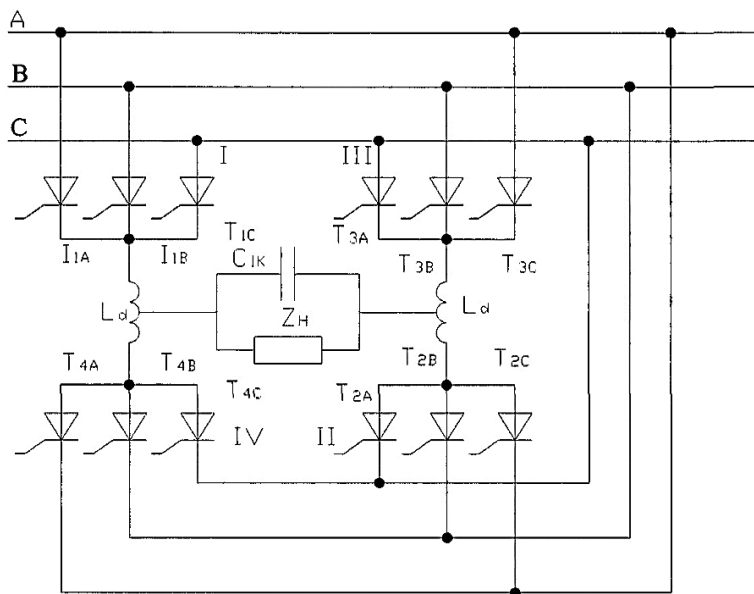
үшеуі сол орамға катодпен біріктірілген. Сұлбада нөлдік өткізгіш бар, ол Т трансформатордың нөлдік нүктесін және үшфазалық жүктеменің жалпы нүктесімен байланыстырады. Сондықтан 5-суреттегі сұлба көбінесе нөлдік деп аталады. Бұл сұлбаның әрбір фазасы басқаларға тәуелсіз жұмыс істейді. Сондықтан оның іс-әрекет принципін түсіну үшін фазалардың біреуін қарастыру керек. Мысалы, *A* фазасын *I* тиристор тобымен басқарылады. Трансформатордың екінші орамының фазалық кернеуі синусоидалық заңмен өзгереді деп жорамалдайық.

1.12 суреттегі сұлбаның іс-әрекетінің принципі ЖТ-тің активті-индуктивті жүктеме жағдайындағыдай болып қалады, олар АҚ-ның статорлық орамасы болады. Бұл жағдайда ЖТ тиристорларының жұмыс процесі ғана қиындайды және жүктемедегі кернеудің пішіні өзгереді. 1.12 суреттегі сұлбаның анықталған кемшілігі ол жүктеменің және трансформатордың нөлдік шығысының бар болуының қажеттілігі. Сондықтанда практикада ЖТ-нің көпірлік сұлбасы кеңінен қолдануда, мұнда нөлдік өткізгіш болмайды. 1.12 суреттегі сұлба көпірлік бола алады, егер ондағы нөлдік өткізгішті алып тастасақ. Бұл жағдайда ЖТ-тің әрбір фазасы басқаларға байланыссыз жұмыс істей алмайды және басқа фаза жұмыстарының сәйкестігін талап етеді.

Тікелей байланысты және табиғи коммутациялы вентильді түрлендіргіштер сұлбасы қарапайым және салыстырмалы кіші масса габариттік көрсеткішке ие. Оның кемшілігі гармоникалық құрамының шығыс кернеуінің төменгі сапасы болып табылады. Сонымен бірге олар төменгі жиілікті кернеу алу үшін қолданылады.

Қажеттілігіне байланысты жоғарғы жиілікті кернеу алуға да болады.

1.13 суретте үшфазалы-бірфазалы жасанды коммутациялы түрлендіргіш сұлбасы көрсетілген.



1.13-сурет - Үшфазалы-бірфазалы жасанды коммутациялы түрлендіргіш сұлбасы

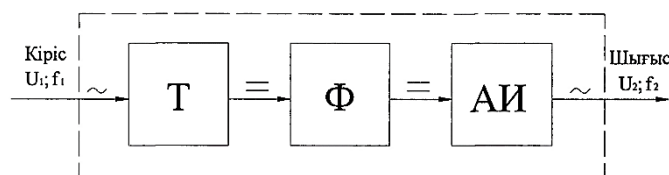
Бұл түрлендіргіштің шығысында орналастырылған C_k конденсаторы әсерінің көмегімен жүзеге асырылады.

Бұл сұлбаның жұмыс принципі мынадай. Жүктеме тогын I , II және III, IV тиристорлар топтары кезектесіп өткізеді. Тиристорлардың ішкі топтық коммутациясы, мысалы I топтың T_{1A}, T_{1B}, T_{1C} тиристорлары қоректендіруші тораптың кернеуі әсерімен өтеді.

Конденсатор C_{1k} тәжірибе жүзінде тиристор топтары арасындағы коммутацияны бірден жүргізеді, осыған байланысты жүктемеге келіп түсетін ток полярлығын өзгертеді. L_d және L'_d - тегістеуші реакторларды қосқанда олардың индуктивтіліктері топаралық коммутация контурында қатыспайды, өйткені C_{1k} конденсаторындағы коммутациялаушы ток реактордың әрбір жартылай орамында өзара қарымталанатын ағын ілінісін пайда етеді. Конденсатор сыйымдылығы параллельді ток инверторы үшін берілген шарттардан таңдалуы тиіс. Тиристорлардың жасанды коммутациялау және тікелей байланысты жиілікті түрлендіргіштер кең

Қолданыс таппады, өйткені олар техника-экономикалық көрсеткіштері жағынан аралық тұрақты токтық буыны бар жиілікті түрлендіргіштермен салыстырғанда нашар.

Тұрақты токты аралық буыны бар жиілік түрлендіргіштің құрылымдық сұлбасы 1.14 суретте келтірілген.



1.14-сурет - Тұрақты токты аралық буыны бар жиілік түрлендіргіштің құрылымдық сұлбасы

U_1 - айнымалы кернеу f_1 - жиілікпен T - түзеткіштің кірісіне түседі. Түзетілген кернеу Φ -фильтрмен тегістеледі және $АИ$ - автономды инвертор кірісіне түседі. Оның реттелетін U_2 - шығыс кернеуі және f_2 -жиілігі бар. Бұл кластық түрлендіргіштерде шығыс кернеудің жиілігі қоректендіретін желі жиілігіне тәуелсіз болады. T - түзеткіш сұлбасы көбінесе оның шығыс кернеуін реттеу талаптарын қамтамасыз ететін шарттан таңдалады. Өндірістік желіден түрлендіргіштерді қоректендіргенде T - түзеткіш көбінесе үш фазалы көпірлі сұлбамен орындалады. Түзеткіштің шығысындағы толықсуды азайту үшін Φ - сүзгіші орнатылады.

Егер, $АИ$ -буыны кернеу инверторы сұлбасымен орындалса, онда филтрге қажеттілік кернеу инверторының жұмысының ерекшелігіне байланысты болады. Мұндай жүктемеде қайтарылуы жүргізіледі. Қарастырылып отырған түрлендіргіште тұрақты ток көзі түрлендіргіш болғандықтан, қайтқан энергияны

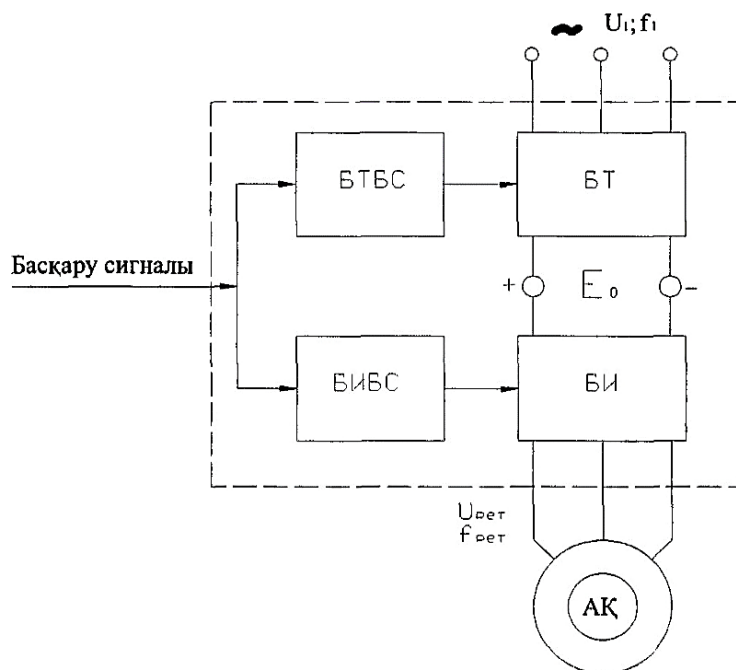
қабылдау функциясын сыйымды шығысы бар кәдімгі фильтр орындайды. Фильтр шығысына қосылған конденсатор сыйымдылығы, тек талап етілген толықсу деңгейін қамтамасыз ету шартынан алынады. Ол инвертордың кері диоды арқылы индуктивті жүктеу элементтерімен энергияның периодты қайтарылуымен байланысты болады.

Егер *АИ*-буыны ток инверторы сұлбасымен орындалса, онда Φ -фильтрдің инвертирленетін токтың үздіксіздігін қамтамасыз ететін индуктивті шығысы болуы керек. Бұл жағдайда фильтрдің шығыс индуктивтілігі, ережеге сай, инверторлық буынға тікелей байланысты болады және оның жобалануында L_d - тегістейтін реактордың индуктивтілігі түрінде есептеледі. Көп жағдайда мұндай түрдегі түрлендіргіштерде фильтр Γ -үлгілі құрылымға ие болады. Ол Γ - үлгілі LC - фильтрінен құрастырылған. Жиілікті түрлендіргішке қойылатын талаптарға байланысты *АИ*-буыны әртүрлі сұлбалармен орындалады. Шығыс кернеудің белгіленген жиілігін және кернеудің синусоидальдылығының жоғары талаптары ток инверторын сұлба бойынша орындайды.

Жоғары жиілікті (1кГц және жоғары) түрлендіргіш *АИ*-буынының көбінесе резонасты сұлба бойынша орындайды. Шығыс кернеудің жиілік диапазонымен реттелетін түрлендіргіш, жүктеме қозғалтқышының коректенуі үшін *АИ*-буыны кернеу инверторы сұлбасымен орындалуға арналған.

Сондықтан, бұларда инверторлық буында шығыс фильтр болмайды немесе аздаған қуаттылықпен фильтр енгізіледі.

Тұрақты токты аралық буыны бар ЖТ-ның функционалдық сұлбасы 1.15 суретте көрсетілген.



1.15-сурет -Тұрақты токты аралық буыны бар ЖТ-ның функционалдық сұлбасы

ЖТ-ның бұл түріндегі күштік бөлімі екі негізгі блоктан тұрады: басқарылатын түзеткіш (БТ) және басқарылатын инвертор (БИ). Желінің U_1 , - кернеуі, f_1 стандартты жиілігі БТ-ның кірісіне беріледі, U_1 айнымалы кернеуін E_0 -тұрақтысына түрлендіреді. Бұл кернеуді БИБС басқару сұлбасы көмегімен кең шектерде реттеуге болады. Түзетілген және реттелген E_0 -кернеуі БИ-кірісіне беріледі, ол тұрақты ток кернеуі E_0 -ді үшфазалы айнымалы U_{pet} кернеуіне f_{pet} реттелетін жиілікке түрлендіреді.

БИ-дегі f_{pet} шығыс кернеуінің жиілігі БИБС басқару сұлбасынан басқару сигналының функциясы ретінде беріледі. Енді басқарылатын инвертор жұмысына толығымен тоқталайық. Мұнда БТ көмегімен оның кірісіне тұрақты ток кернеуі E_0 беріледі.

Мұндай ЖТ-да кейде реттелінбейтін түзеткіштер пайдаланылады, онда реттеу функциясын БИ орындайды.

Вентильдер тоқтарының коммутация тәсілдеріне байланысты инверторлар автономды және желімен басқарылатын болып бөлінеді.

Желімен басқарылатын инверторлар, вентильден вентильге тоқтың коммутациялануын корек көзіндегі айнымалы тоқ кернеуімен қамтамасыз етіледі.

Автономды инверторларда тоқ өзгеруі үшін қосымша элементтер пайдаланылады - конденсаторлар және индуктивтілік катушкалары жиілікті басқарылатын электр жетектеріне көбінесе автономды инверторлар пайдаланылады. Енді соларды қарастырайық.

Автономды инверторлар екі класқа бөлінеді: кернеу және тоқ инверторлары.

Кернеудің автономды инверторы (КАИ) қоректендіру көзі ретінде кернеу көзін пайдаланады. Егер КАИ басқарылатын түзеткіштен қоректенсе, онда түзеткіштің шығысында үлкен сыйымдылықты конденсатор орналастырады.

Қорытындысында КАИ қатаң сыртқы сипаттамаға ие болады, яғни жүктеме тоғының өзгеруіне КАИ кернеуі былайша айтқанда іс жүзінде өзгермейді.

Осындай қасиеттердің салдарынан КАИ –ды пайдаланғандағы басқарылатын әсерлер асинхронды қозғалтқышта жиілік және кернеу болып табылады.

Тоқтың автономды инверторлар (ТАИ) тоқ көзі қасиетімен байланысты, осыған байланысты қоректену тоқ көзі алынады.

ТАИ-ды пайдаланғанда АҚ басқарылатын әсерлі жиілік және стантор тоғы болады.

Автономды инверторлардың әр бір түрі жиілікті бақаратын асинхронды электр жетекте өзінің пайдалану аймағы болды.

КАИ-дың ерекшелігі - оның шығыс кернеуінің жиіліктен және жүктеме моментіне тәуелсіздігі. Бұл жиілікті реттеудің қажетті заңдарын құрастыруды оңайлатады.

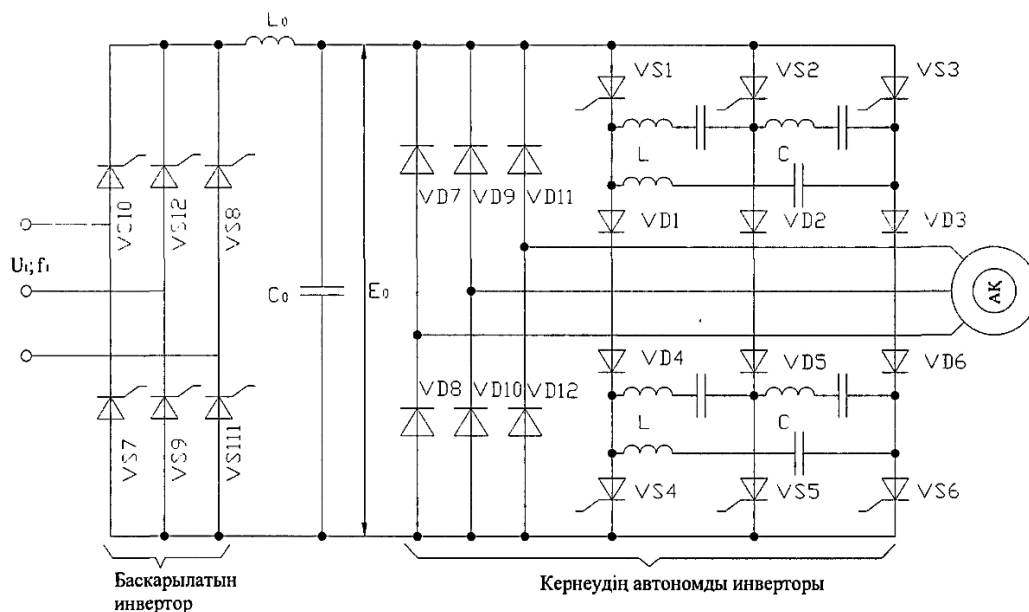
Жеке өтпелі процесстермен жұмыс істейтін электр жетекте АҚ-ны желіге энергия беру арқылы тежегенде ЖТ -тер ТАИ -ды пайдаланады. Бұл үшін басқарылатын түзеткіш инверторлық режимге ауыстырылады және түзеткіш токтың бағытын сақтағанда энергия желіге беріледі.

Мұнда ТАИ -дың КАИ алдындағы ерекшелігі жатыр.

Энергияны желіге бергенде желімен қосымша инвертор пайдаланады, олар басқарылатын түзеткішке параллель қосылған болады.

Асинхронды электржетектің күштік бөлігінің кең тараған КАИ-дың тәжірибелік сұлбасы 1.16 суретте көрсетілген.

Бұл сұлбаны VS7-VS12 тиристорлары БТ- басқарылатын түзеткіш құрады. БТ-шығысында L-фильтр реакторы қосылады, сонымен бірге C-конденсаторы да қосылады, олар VD7-VD12 диодтарымен бірге реактивті қуаттылықты қамтамасыз етеді. VS1-VS6 тиристорлары инвертордың негізгі сұлбасын құрастырады. Ол жоғарыда қарастырылған.

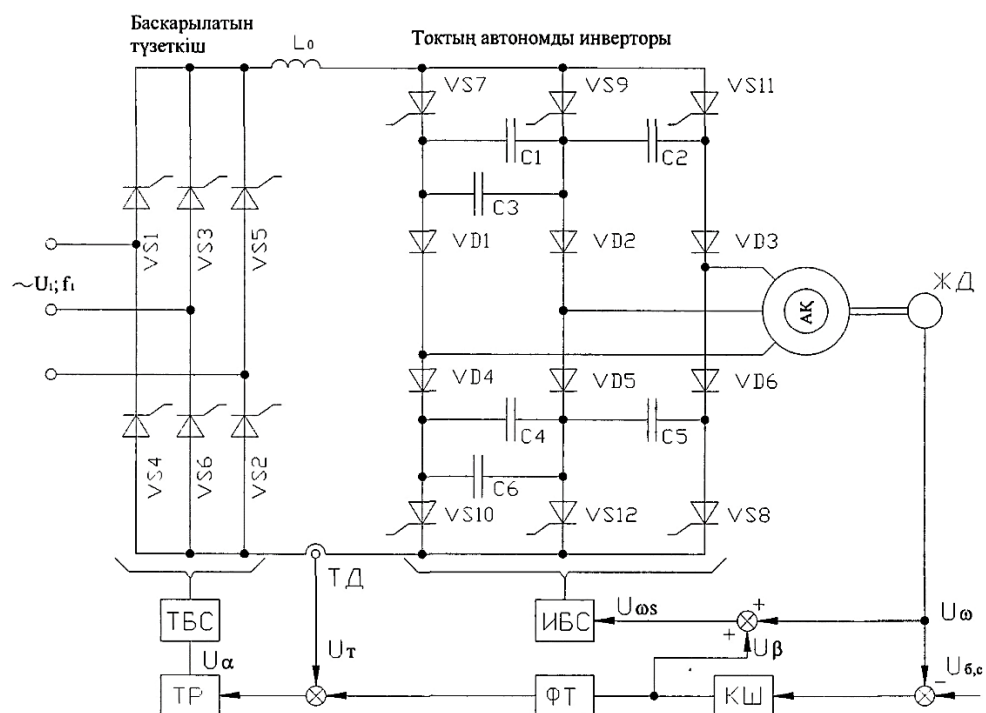


1.16-сурет - ТАИ және тұрақты токты аралық буыны бар ЖТ-ның тәжірибелік сұлбасы

C-конденсаторы, L-индуктивтілігі VD1-VD6 диодтарымен бірге жасанды өзгерту тізбегін құрады, ол VS1- VS6 негізгі тиристорларының жабылуын қамтамасыз етеді. ЖТ-ның шығысындағы кернеу амплитудасы БТ шығысындағы E_0 – дің өзгерісімен реттеледі. Ал оның жиілігі VS1- VS6 тиристорның өзгеру жиілігімен анықталынады. Ол басқарылатын инвертордың басқару сұлбасымен (БИБС) беріледі. 1.16-суретте келтірілген ЖТ-ның сұлбасы кең таралғанымен, тәжірибеде ЖТ-ң басқа да басқару сұлбалары, тиристорлардың жасанды коммутациялары немесе шығыс кернеунің формаларына сай тұрақты токты аралық буыны бар ЖТ-лар және КАИ қолданыс тапқан. Бұлар БТ сұлбаларымен ерекшелінеді. Бірақ та олардың жұмыс істеуінің жалпы принципі сол қалпында қалады. КАИ -мен асинхронды электржетектің

сапалы статикалық және динамикалық сипаттамасында әртүрлі кері байланыс АҚ жылдамдығы бойынша қолданылады. Мұндай электржетектің құрылымдық сұлбасы және оның қасиеттері қарастырылған. Жиілікті басқарылатын асинхронды электржетектің дамуы АҚ-ң жиілікті-токты басқаруын пайдаланумен байланысты. Оның жүзеге асырылуы үшін ЖТ сұлбасында қарастырылмаған КАИ пайдаланылады, ал ТАИ, қорытындысында АҚ әсері реттелінетін ток ретінде статор орамына түседі, токқа кері байланыс көмегімен және жылдамдық берілген жоғары сапамен электржетектің статикалық және динамикалық сипаттамалары құрылады.

Мысал үшін 1.17 суретте АҚ-ның ТАИ жиілікті-токты басқарудың жабық жүйесінің оңайлатылған сұлбасы көрсетілген.



1.17-сурет - ТАИ асинхронды электр жетегі сұлбасы

Тиристорлар, диодтар, конденсаторлар және ТАИ 1.17 суреттегі сұлба үшін де сол қалпында қалады. Сұлбаның басқа элементтері келесі мәнге ие: басқарылатын түзеткіш сұлбасы БТС және басқарылатын инвертордың сұлбасы БИС, басқарылатын түзеткіш БТ және ТАИ; ТР-статор тоғын реттегіш; ТБС-статор тоғының бергіші; ЖД-жылдамдық бергіші; КШ-күшейткіш шектегіш; ФТ-функциональды түрлендіргіш.

Сұлба жұмысы келесі үлгімен іске асады. $U_{\omega c}$ берілетін сигнал ТАИ тиристорының қосылу жиілікпен анықтайды және осыған байланысты статор тоғының жиілігін де анықтайды. $U_{\omega c}$ берілген сигналдан U^{ω} -жылдамдық бойынша кері байланыс сигналын алып тастасақ U^{β} -сигнал пайда балады, ол

ротордың қатысты жиілігіне $\beta = f_2 / f_{ном}$ -ға пропорционалды. Бұл АҚ-ң сырғанауына келесі қатынаспен байланысты $\beta = \alpha S$, мұнда $\alpha = f_1 / f_{ном}$.

U^β сигналы, U^ω сигналымен бірге КШ арқылы өтіп БИС шығысына түседі. ТАИ шығысындағы жиілік сигналымен $U^\omega_s = U^\omega + U^\beta$ анықталады. БИС келесі үлгімен құрастырылған, КШ сызықты зонада істеп тұрғанда ТАИ шығысындағы жиілік тұрақты болады және жүктемеге $U^\omega_s = U_{6с}$ тәуелді болмайды. Бұдан қозғалтқыш қатаң механикалық сипаттамаға ие болады.

U^β сигналы ФТ арқылы өткеннен кейін ток реттеу контурының берілетін сигналы болады. Берілетін сигналдың тез өзгеруінен немесе АҚ-ның асқын жүктемесі кезінде КШ шектеу зонасына кіреді, яғни U^β шығыс сигналымен ток тапсырмасын және деңгейін сақтап тұрады.

Токтың тұрақты мәнімен бұл режимде қозғалтқыш кез келген жылдамдықта жұмыс істей алады, яғни АҚ-ның механикалық сипаттамасы абсолютті жұмсақ болады.

Желіге энергия берілуімен АҚ-ны тежеуде ТАИ түзету режиміне өтеді, ал БТ инвертордың желімен басқарылуына өтеді. ЖТ-ның екі қарастырылған түрлерін салыстырайық- тікелей байланысты және тұрақты ток буынымен ЖТ. Тікелей байланысты ЖТ-ның негізгі ерекшелігі қарапайым күштік сұлбасында, мұнда элементтер саны аз болады, сондықтан оның жұмысы басқарылатын түзеткішті, өткізетін тізбекті сонымен бірге реактивті қуаттылық контурының элементтерін талап етпейді. Осыған сәйкес оның жұмыс істеу сенімділігі тұрақты ток буынды ЖТ-ға қарағанда жоғары болады. Бірақ та, оның өте мәнді кемшілігі де бар, ол шығатын реттелінген жиіліктің максималды мәні, тәжірибе жүзінде қоректендіретін желі жиілігіне 40%-аспайды, бұл оның реттелінетін электржетекте пайдалану аймағын шектейді.

Аралық тұрақты токты буынды ЖТ-ң дамуы оған кең импульсті модуляция (КИМ) инвенторларын пайдалануымен байланысты. Бұл инвентарлардың ерекшеліктері оларда кернеу мен жиілікті реттеудің мүмкіндігі ғана емес. Шығыс тогының синусойдаға жақын пішінін алу болып табылады. Бұл АҚ-ның жылдамдығын реттеудің үлкен диапазонын қамтамасыз етеді және бір уақытта ток шығынын азайтады. КИМ инвенторын ЖТ сұлбасында пайдалануда басқарылмайтын түзеткіш қолданылуы мүмкін, бұл ЖТ сұлбасын оңайлатады және ЖТ-ның қуаттылық коэффициенті 1-ге жақын алуға мүмкіндік береді. КИМ сұлбасы шығыс кернеуінің реттелуінің диапазонын қамтамасыз етеді және ЖТ-ң қуаттылық коэффициенті де қамтамасыз етеді. ЖТ және КИМ-нің кемшілігі ол ЖТ-ның күштік бөлігінің қиындығының қажеттілігі және ПӘК-тің ЖТ қуат шығынына байланысты азайуы балады.

АҚ-ны басқарудың жиілікті тәсілінің жалпы көрсеткішіне тоқталайық. Жиілікті басқару үнемді болып есептеледі, себебі АҚ жылдамдығын реттеу бұл жүйеде роторлық тізбектегі сырғанаудың көп шығынына келтірмейді. Бұл

жүйеде реттеу үлкен диапозонда жүзеге асырылады. АҚ үлкен де, кіші де, жылдамдыққа ие бола алады. Бұдан реттейтін сипаттамалар жоғары қатандыққа ие болады, ал АҚ-ның асқын жүктемелік қабілеттілігіне ие болады.

Көп жағдайларда реттеудің жақсы көрсеткіштеріне ажыратылған жүйеде жетуге болады. Электржетекке қойылатын жоғары талаптарға сай кері байланыстарды пайдалану қажет, яғни реттеудің тұйықталған жүйесін қабылдауға болады. Жылдамдықты реттеудің алынған диапазоны ажыратылған жүйеде 5-10 құрайды, ал тұйықталған жүйеде оның мәні 1000 және одан да көп болады. Басқарудың жиілікті тәсілінің жоғары көрсеткіштері қазіргі уақытта кең қолданылуда.

Қорытып айтқанда, жиілікті басқарылатын асинхронды электржетекті пайдалануы мүмкін. Жиілікті электржетекті кеңінен қолдану көбінесе статикалық ЖТ-ң өнеркәсіптік шығарылуына мүмкіндік туғызады.

2 Конвейердің көпқозғалтқышты электр жетегін өндеу

2.1 Әлемдегі замануи электр жетектер саласының дамылуы

Құрастыру және технология аймақтарында соңғы жылдары ретелетін электржетегін жасауға көптеген жұмыстары жүргізіліп жатыр.

Жақын арада электржетектің дамуын анықтайтын үш фактор аталып өтілген:

- жаңа күштік электрондық аспаптарын жасау, осының негізінде түрлендіру сұлбаларын жүзеге асыру;
- күштік электронды құрылғылармен біргелікте жұмыс істейтін жаңа электрқозғалтқыштарды жасау;
- МП-құрылғылар мен микроэлектрониканы кең қолдану. Аппараттық құрылғыларының деңгейін анықтайтын бұл үш факторға, төртінші факторды, яғни, жасалынатын электржетектің сапасын анықтайтын - қазіргі кездегі реттеу теориясының дамуын толықтыру керек.

Электржетектің даму тенденциясы жартылай өткізгішті техникамен тікелей байланысты. Ол жалпы электржетектің негізі болатын энергия түрлендіргіштердің техникалық деңгейін анықтайды. Бұл аймақтың негізгі мәселесі, асқын жүктемелік қабілетке ие болатын және бірнеше арзан жартылай өткізгішті аспаптарын жасау болып табылады.

Электржетек жүйесінде мынандай жаңа жартылай өткізгішті аспаптары қолданыс табуда: жабылушы тиристорлар, биполярлы транзисторлар, бекітпесі оқшауланған транзисторлар.

Айнымалы ток және тұрақты ток электржетектерінің экономикалық көрсеткіштері салыстыруында жоғары жиілікті түрлендіру техникасының қымбаттылығына байланысты қазіргі кезде айнымалы ток электржетегі қымбат болып отыр. Транзисторлы және тиристорлы инверторларды басқару техникасының қарқынды дамуы және инверторлар негізінде орындалған, жиілікті және кернеуді реттеу жүйелерінің пайда болуы, сипаттамалары кем болмайтын айнымалы ток электржетегін жасауға мүмкіндік берді.

АҚ-ның конструкциясы бойынша бағасы төмен және қарапайым олардың массасы тұрақты ток қозғалтқышына (ТТҚ) қарағанда 35-65%-ға аз. Оларды қорғаныс дәрежесі IP 44 етіп жасау оңай, ал ТТҚ-ның қорғаныс дәрежесі IP 23.

Айнымалы ток электржетегінің төменгі жылдамдықтарының біркелкі еместігі оның қолданылуын шектейтінін атап өткен жөн. General Electric компаниясы (АҚШ) жасап шығарған АҚ электржетегінде бұл кемшіліктер жоқ. Оларда моментті пайда етуші ток күшін реттеу және жылдамдық номиналдыдан аспайтын кезде, тұрақты қуатпен және номиналды жылдамдыққа дейін тұрақты моментпен жұмыс істейтін магнит ағынын бөлек реттеу жүзеге асырылады.

Электржетектердің жылдамдықтарының реттеу диапазонын кеңейту үшін үлкен рұқсат ету қабілетіне ие датчиктер қолданылады. Мысалы, BBC фирмасы электржетектерін дискреттілігі 80000 импульс/айн. жасалған арнайы датчиктермен жабдыкталады.

Кейде жылдамдықты өлшеудің екі санақтық құрылғыларның қолданылады. Осылай етіп Indramant фирмасы АҚ-ны бас қозғалыс электржетегін жасап шығарады. Онда екі датчик қолданылған: айналу жиілігінің, оған 0-ден 10^3 -дейінгі диапазонда жұмыс істейтін, рұқсат ету қабілеті $0,001^\circ$ -ға (36000 импульс/айн) тең дәл датчигі және айналым жиілігі 10^4 мин⁻¹ - ден жоғары нобайлы датчик. Солай етіп айнымалы токты электржетегі қарқынды дамуда. Алайда айнымалы ток электржетегінің жалпы санының өсуіне қарамастан, ТТ электржетектері әлі көп уақыт басым мәнге ие болады.

Қазіргі электржетектерінде көп таралған пропорционалды-интегралды және пропорционалды-интегралды-дифференциалды реттегіштермен қатар жаңа басқару принциптерін қолданатын жүйелер кең тараған:

- айнымалы құрылымды;
- сырғымалы режимді;
- эталонды модельді және күй бақылаушы.

Жоғары динамикалық сипаттамаларды алу үшін айнымалы ток электржетегін микропроцессорлы техника құрылғылар көмегімен жүзеге асырылатын векторлық басқарылатын етіп жасайды. Алайда АҚ-ты электржетектерін векторлық басқару, момент пен ағынды пайда ететін ток құраушыларын тәуелсіз реттеу сияқты артықшылармен қатар, ротор актив кедергісінің температуралық өзгерісіне өте сезімтал болып келеді. АҚ-ны жетектерін векторлық басқарудың қазіргі жүйелерінде ораманың актив кедергісінің өзгеруін қарымталау МП-техниканың құрылғылары көмегімен қамтамасыздандырады.

Шетел мамандары электржетектерін қорғау мен диагностиқаға көп көңіл бөледі. Аналогтық қорғаныс жүйелерінің жұмыс істеу принципі электржетегіндегі жылулық процестердің нақты модельдерін қолданатын сандық қорғаныс жүйелерімен ауыстыру тенденциясы байқалады.

Тәжірибелер нәтижесінде сандық жүйе, аналогты жүйеге қарағанда эффективті деген қорытынды шығады. Айнымалы ток электржетектерінің ақауларын диагностиқа жүйесіне сандық басқару модулін диагностиқа және АҚ-ты электржетегінің күштік бөлігін диагностиқа кіреді.

Сандық басқару модулін диагностиқа үшін көмекші микро-ЭЕМ қолданылған. Күштік бөлігін диагностиқа үшін электржетегін реттеу датчиктері қолданылған. Берілген диагностиқа жүйесі келесі ақауларды анықтауға мүмкіндік береді:

- бөлек тиристорлардың іске қосылуы;
- АҚ-ның бір фазасының қосылмай қалуы;

- негізгі тиристорлардың біреуінің өшірілмей қалуы;
- фазалық ток датчиктерінің біреуінен нөлдік сигнал. Тұрақты ток электржетектерін диагностиау сәйкес түрде жүзеге асырылады.

Қазіргі уақытта біркристалды МП-лар және микроЭЕМ, жартылай өткізгішті күштік түрлендіргіш техникасын барлық жерде қолданады. 8 разрядты МП-лар 80 жылдар басында кең таралған еді. Бірақ соңғы жылдары жоғарғы сапалы басқару жүйелері үшін 16, 32, 64, 128 разрядты МП-лар қолданылады.

МП-лы электржетегінің бағаларының жоғарылауы да айқын байқалады. Бұл электржетектерін жасаушылардың жаңа, демек, сенімді және кеңейтілген функционалдық мүмкіндікке ие элементін базаларды қолданумен түсіндіріледі. Мысал ретінде USSD фирмасын келтіруге болады. Ол толығымен комплектленген, жұмысқа дайын электржетектерін жеткізеді және олардың сенімділігі мен сапасына көп көңіл бөледі. Сапа жеткізушілердің санын шектеумен қамтамасыз етіледі, өнімнің жасалынуы процесінде сенімділігі жоғары қымбат электронды құрауышты қолдану және бақыланылуы. USSD фирмасы 16 разрядты ОМЭЕМ "Intel 8096" негізінде жасалған, басқару жүйесімен жаңа электржетектерінің жасалынғанын айтты.

Электржетегінің құрылымы бағдарламалық құрылғылармен, дисплейді пулытың көмегімен жүзеге асырылады. Түйіндесетін буындар халықаралық стандарттарға сай жасалынған, яғни, структуралық құрылымын құруды оңайлатады. Оны икемді қолдану жолы арқылы МП-жүйесінің кіріс/шығыс порттарының саны азайтылған, айнаруды реттеудің дәлдігі 1%-тен кем еместігін қамтамасыздандырады. Жылдамдық бойынша кері байланысты сандық датчигі қолданылады. МП-техника құрылғыларының қолданылуын анализдей отырып келесілерді белгілейік. МП-жүйелерімен басқарылатын электржетектерінде көбінесе кеңінен 16-разрядты МП "Intel 8096" және "Intel 80186" қолданылады.

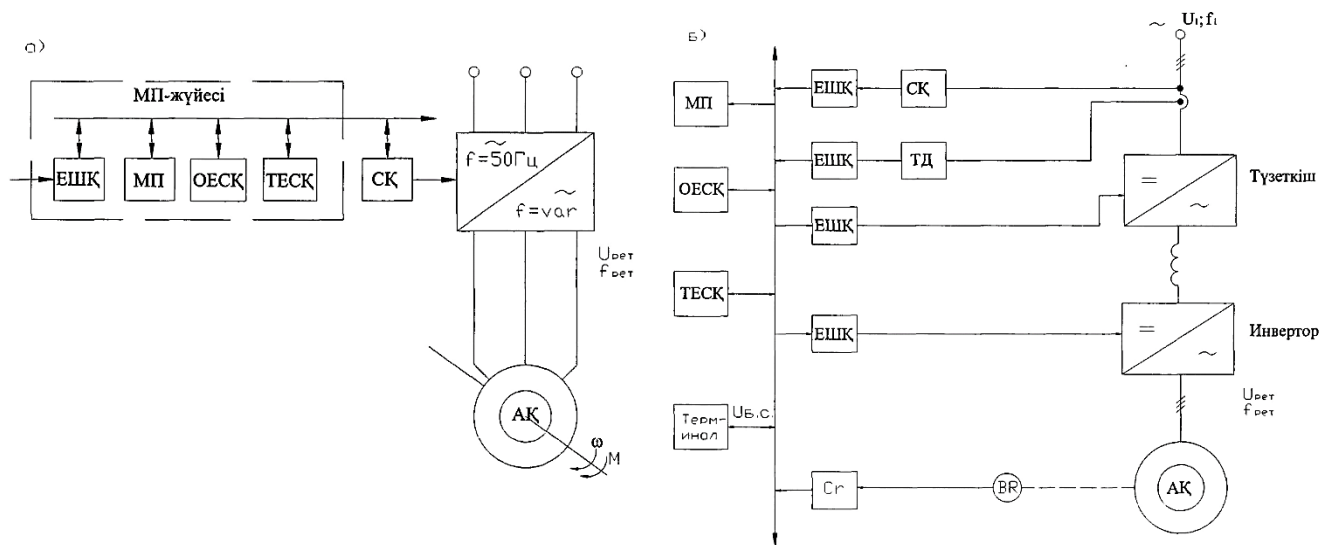
Электр энергиясын жиіліктік түрлендіретін электржетектердегі МП-жүйесі тұйықталған және тұйықталмаған басқару жүйелерінде қолданады.

Тұйықталмаған жүйеде (2.1,а сурет) берілетін сигналға байланысты МП-жүйесіне ТЕСҚ-дан кезекті басқаратын ақпаратты таңдау функциясы жүктеледі және күштік түрлендіргішке беріледі.

Сұлбадада келесі құрылғылары көрсетілген: ТЕСҚ-тұрақты есте сақтау құрылғысы; ОЕСҚ-оперативті есте сақтау құрылғысы; МП-микропроцессор; ЕШҚ-енгізу-шығару құрылғысы; СҚ-синхрондаушы қондырғы.

Тұйықталған жүйелерде (2.1,б сурет) реттеуді МП минималды аппаратты құрылғыларды пайдалану арқылы контурлы сандық реттеуді және қиын басқару заңдарын бағдарламалық жолмен іске асыруға мүмкіндік береді. МП іс жүзіндегі және берілген жылдамдықты салыстырады, АҚ-ны коректендіру үшін жиілік түрлендіргіштің шығыс кернеуін реттеуге үйлесімдікті қолданады. Жоғары реттеу сапасын қамтамасыз ететін асинхронды ЭЖ-ң аса күрделі жүйелерінде, МП түрлендіргіштің талап ететін жиілігін жылдамдық бойынша қателікті ғана

емес ток бойынша кері байланысты да есептейді. Осыған байланысты әртүрлі режимде максимал моментпен немесе ПӘК және $\cos\varphi$ 0-ден максимал жылдамдыққа қозғалтқыштың жұмыс істеуіне мүмкіндік беретін басқарылатын сырғанау режимі анықталады.



2.1-сурет - Жылдамдығы жиіліктік басқарылатын асинхронды электржетектің тұйықталмаған (а) және тұйықталған (б) МП-жүйесінің функционалдық сұлбасы

Жиіліктік басқарылатын электржетектердегі МП-жүйесіне келесі функцияларды қоюға болады:

- 1) Кері байланыс және тапсырма сигналына тәуелді басқарушы сигналдарын беру және қалыптастыру. Арнайы бағдарламалардың болуы адаптивті реттелуді іске асыруды жүзеге асыруды мүмкіндік береді;
- 2) Ақпаратты өңдеу. АСТ-да (АЦП) аналогты сигналдар сандық сигналдарға түрленеді, әртүрлі датчиктердің дискретті өзгеретін импульстарын МП оқиды, жылжытады және параллельді кодта өңдеуге қолайлы сандық мәнге түрлендіреді;
- 3) Басқарылатын МП-ң бағдарламаланатын таймері көмегімен синхрондау (уақыттың);
- 4) Бақылау және қорғау. Бағдарламалық жолмен негізгі айнымалылардың үздіксіз бақылануы және бақыланатын шамалардың рұқсат етілген шектерінен асқан жағдайда МП ЭЖ-ны өшіруге сигнал береді немесе оны басқа жұмыс режиміне аударады.
- 5) Арнайы бағдарламалар көмегімен ЭЖ-жүйесін диагностикалау.

Көп қозғалтқышты жетек конвейерлердің үлкен ұзындығында қолданылады. Бірнеше жетекті станцияларды пайдалану механизмдердегі үлкен кернеулерден, учаскелердің шамадан тыс жүктелуінен құтылуға, тартқыш органның габариттерін және тартымдық күштің шамасын азайтуға мүмкіндік

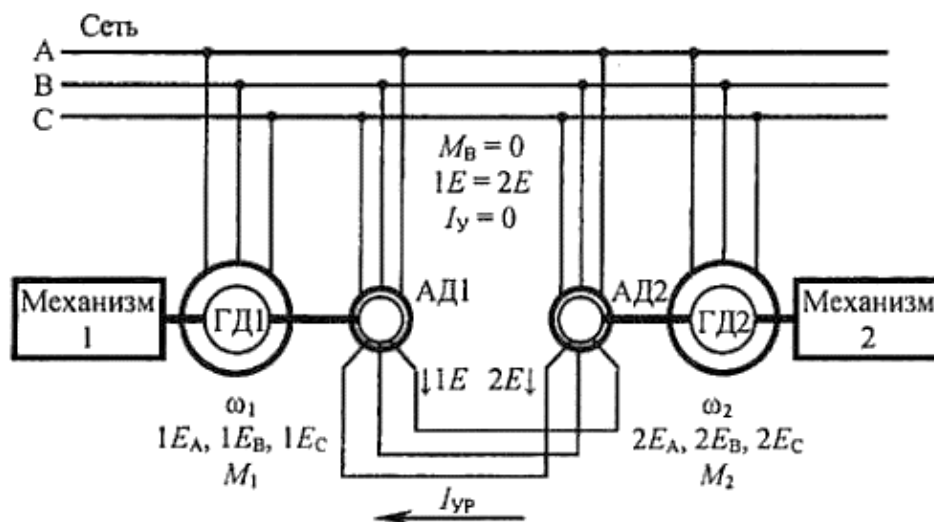
береді. Бұл ретте әрбір жетекті станцияның тартқыш органы барлық конвейер емес, тек бір учаскенің статикалық кедергісіне пропорционалды күш береді.

Конвейердің көп қозғалтқышты жетек ретінде қолдануға келетін жетектерге шолу жасайық. Соңғы жылдары, энергияны үнемдеу мақсатымен синхронды айналуы бар электржетегін қолдану кең тарап келеді.

Жетегі бірдей жылдамдықтармен айнаруды талап ететін бірдей қозғалтқыштардан (екі және одан да көп) тұратын механизмдер бар. Мұнаралық крандардың, ажыратқыш көпірлер жармаларының, шлюздердің қақпарларының, конвейерлердің механизмдері мысал бола алады, онда электр қозғалтқыштардың келісілген айналуы талап етіледі, ал олардың механикалық білікпен қосылуы мүмкін емес. Бұл жағдайда "электр білігі" деп аталатын асинхронды қозғалтқыштардың роторлары арасындағы электр байланысы қолданылады [8].

"Электр білігі" принципі бойынша іске асырылған бірнеше арнайы сұлбалар бар":

- қосалқы АҚ бар "электр білігінің" сұлбасы 2.2 суретте көрсетілген.



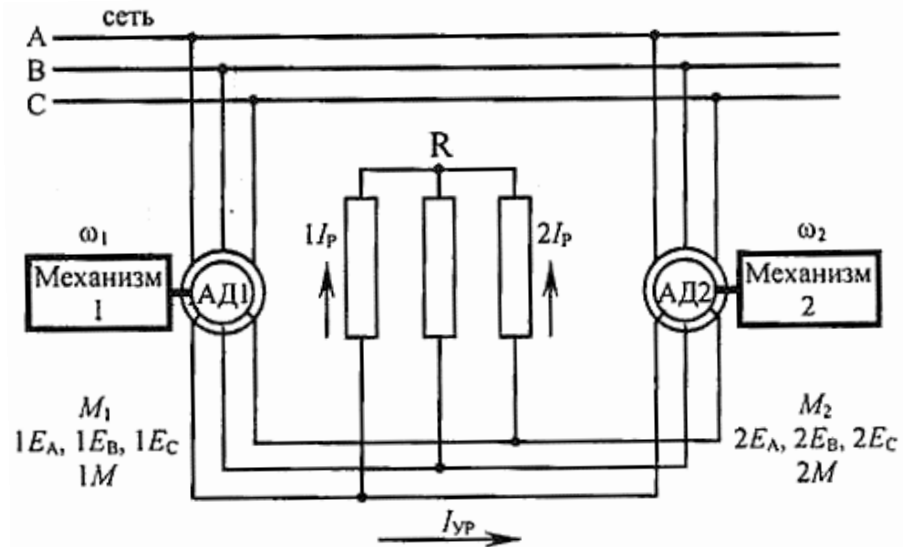
2.2- сурет - Қосалқы АҚ бар "электр білігінің" сұлбасы

Сұлбаның құрамына "1 механизм" және "2 механизм" қозғалысқа әкелетін екі басты қозғалтқыш (ГД1, ГД2) кіреді. Оларда бірдей сипаттамалары бар.

"ГД1" және "ГД2" әрбір білігінде фазалық роторлары электр қосылған "АД1" және "АД2" қосалқы асинхронды қозғалтқыштар құрастырылды. Қосалқы электр қозғалтқыштарының қуаты басты қуаттан едәуір аз. ГД статорларының орамдары фазалардың тура кезектесуімен желіге, ал қосалқы — кері тізбектермен қосылған. Механизмдерге жүктемелердің теңсіздік кезінде, роторлардың ω_1 және ω_2 айналу жылдамдықтары ерекшеленеді, ЭҚК-і пайда болады, оның әсерінен теңестіруші токтар туғызатын моменттер M_1 , M_2 пайда болады, олар бір-біріне қарама-қарсы әрекет етеді (себебі Ленц заңы), яғни ω_1 және ω_2 теңескенше дейін.

Артықшылықтары: үлкен тиімділік және қатаң механикалық сипаттама.

- резисторлары бар "электр білігінің" сұлбасы 2.3 суретте көрсетілген.

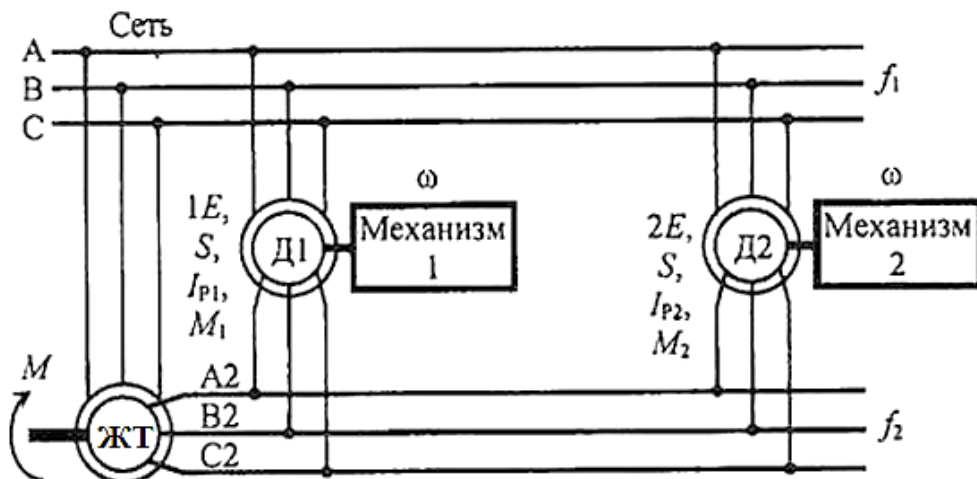


2.3 -сурет - Резисторлары бар "электр білігінің" сұлбасы

Сұлба құрамына екі жетекші фазалық роторлы асинхронды қозғалтқышы кіреді (АД1, АД2) және резисторлар (R). Сұлба қосалқы АҚ сұлбаға ұқсас жұмыс істейді.

Сұлбаның кемшіліктері (алдыңғымен қарағанда): тиімділігі төмен, өйткені қосалқы моменттері M_1 және M_2 айтарлықтай аз болуы; ротор тізбегінде резисторларды сипаттамалары қаттылығын азайтады және қосымша электр энергиясының шығынын тудырады.

- қос қоректендірудің "электр білігінің" сұлбасы 2.4 суретте көрсетілген.



2.4 -сурет - Қос қоректендірудің "электр білігінің" сұлбасы

Сұлбаның құрамына екі жетекші фазалық роторлы асинхронды қозғалтқышы кіреді (Д1, Д2) және жиілік түрлендіргіш (ЖТ). ЖТ, Д1 және Д2-н статорлық орамалары желіге қосылған, ал роторлық - электрлік байланыста.

ЖТ айналған кезінде роторлардағы жиілік сырғуға пропорционалды болады, барлық машиналардың айналу жылдамдығы бірдей және $\omega = \frac{2\pi}{p}(f_1 - f_2)$ тең болады. Бұл механизмдердегі жүктемелер тең болған кезінде әділ.

Бір механизмнің (мысалы, біріншісі) жүктемесі ұлғайған кезде оның сырғуы ұлғаяды, ал жылдамдығы төмендейді. Сонымен қатар, жаңа сырғуы кезінде Д1 роторының ЭҚК ұлғаяды, бұл ротор тогының ұлғаюна әкеледі, яғни оның моментіне де. Жүйе бастапқы күйге оралады және келісілген жұмыс істейтін болады.

Жұмыс істейтін механизмдердің жылдамдығын өзгерту шектерін кеңейту үшін, жиілікті өзгертетін құрылғыны орнатуға болады (мысалы, механикалық вариаторды). Бұл АҚ жылдамдығын өзгертпей механизмдердің келісілген жылдамдығының шамасын орнатуға (таңдауға) мүмкіндік береді.

Қарастырылған сұлбаларды келісілген жұмыс істейтін механизмдердің кез келген саны үшін қолдануға болады, схеманың жұмыс істеу принципі өзгермейді. Олардың барлығы ортақ кемшілікке ие: айналу машиналардың көбеюі немесе фазалық роторлы АҚ қолдану.

2.2 Көпқозғалтқышты шынжырлы конвейердің жетектеріне қойылатын негізгі талаптар

Технологиялық талаптан туындаған көпқозғалтқышты конвейердің электр қозғалтқыштарының синхронды айналуы негізінен екі тәсілмен қамтамасыз етіледі: электр қозғалтқыштар біліктерінің механикалық қосылуы және электр қозғалтқыштар орамдарының электрлік қосылуы.

Көп қозғалтқышты электр жетегі бар үлкен ұзындықтағы конвейерлер кезінде олардың арасындағы жүктемені қайта бөлу және оның ұзындығы бойынша шынжырдың созылу біркелкілігін қамтамасыз ету мақсатында жекелеген қозғалтқыштарды автоматты реттеу міндеті қойылады.

Көпқозғалтқышты электржетек кең таралған. Мысал ретінде, көптеген транспорттық-көтеру қондырғыларда, электровоздарда, илектеу орнағының біліктерін орын ауыстырушы қондырғыларда, реверсивті орнақтардың біліктерінің индивидуалды жетектерінде, шахтылық көтеру машиналарында, конвейерлерде, тоқыма станоктарында, қағаз жасау жетектерінде және т.б. жерлерде қолданылады.

Қозғалтқыштардың біргелікте жұмыс істеуі электржетегінің толығырақ келесі түрлерінде кездеседі:

1. Қатаң механикалық байланыс. Бұл кезде қозғалтқыштар ортақ білікте қатаң байланысқан болып жұмыс механизмінің екі жағында немесе екеуі де бір

жағында орналасады. Бұған қозғалтқыштардың барлығының біліктері бір білікке шкив (тістегеріш) көмегімен келтірілген жағдайда жұмыс істеуі де кіреді.

2. Жартылай қатаң байланыс. Бұл кезде қозғалтқыштар арасындағы байланыс өңделіп жатқан өнім арқылы немесе қандай да бір басқа байланыс арқылы жүзеге асырылады. Қозғалтқыштар бір-бірімен тікелей емес, бірақ механизмнің қандай да бір бөлігімен немесе қандайда бір беріліс қондырғыларының көмегімен байланысқан. Бұлардың ішіне электрлік тартым машиналары және көтерім машиналары кіреді. Бұл жағдайда қозғалтқыштардың айналу жылдамдығы бірдей немесе тұрақты қатынаста болу керек. Алайда бұл жетек шарттары бойынша айналу жылдамдықтары арасында уақытша немесе ұзақ уақыттық сәйкессіздіктер болуы мүмкін. Мұндай сәйкессіздік өңделіп жатқан өнімнің созылғыштығы, иілгіштігі салдарынан немесе кездейсоқ тежелу салдарынан болуы мүмкін.

3. Механикалық байланыс жоқ. Механикалық байланыс орнына қозғалтқыштар арасында тек, қана "электрлік білік" сұлбасы бойынша электрлік байланыс орнатылады. Мұның ішіне тәуелсіз жетек те кіреді, мұнда механикалық байланыс та, арнайы электрлік байланыста болмайды.

Кейде көпқозғалтқышты жетекті қолданудың негізі жақсы реттегіштік сипаттамаларды алу болады. Кейбір кездері машина әртүрлі уақытта әртүрлі қуатты қажет етеді. Мысалы, ортадан тепкіш конденсациялық сорап жылдың суық мезгілдерінде төмендетілген қуат және өнімділікпен жұмыс істейді. Мұндай жағдайда бір білікте жартылай номиналды қуатты екі қозғалтқыш орнатуға болады. Немесе конструктивтік ойластыру нәтижесінде, орын тапшылығына байланысты бір үлкен қозғалтқышты екі немесе бірнеше кіші қозғалтқыштармен ауыстыру керек болса.

Көпқозғалтқышты жетекті қолдануға келесілер негіз бола алады:

1) кеңістік тапшылығы үлкен габаритті бір машинаны қолданбай, оның орнына бірнеше габариті кішкентай қозғалтқыштарды қоюды қажет етеді;

2) бір ірі немесе стандартқа сай емес қозғалтқышты қолдану экономикалық немесе конструктивті тұрғыдан қарағанда тиімді емес;

3) бірнеше қозғалтқыштың роторларының инерция моменттерінің қосындысы баламалы қозғалтқыш роторының инерция моментінен аз;

4) көпқозғалтқышты жетек конструктивтік және эксплуатациялық тұрғыдан қарағанда көпсекциялы машиналарда (тоқыма, қағаз жасаушы, баспаханалық) және суық және ыстық илектеудің үзіліссіз орнақтарында бірқозғалтқыштыға қарағанда тиімдірек болады;

5) көпқозғалтқышты жетекте бөлек секциялар әртүрлі және тәуелсіз реттелетін жылдамдықтармен жұмыс істей алады;

6) бір қозғалтқыштың зақымдалу жағдайында қалғандарымен жұмыс істеуге болады, сондықтан резервтеу мәселесі де көпқозғалтқышты жетекті қолдайды.

Күс өнімін өндейтін автоматты желідегі көпқозғалтқышты электржетекке қойылатын талаптар:

1) Жылдамдық және момент мәндерінің шектелуімен қозғалтқыштардың жатық синхронды іске қосылуы қамтамасыз етілуі керек. Іске қосылудың ұзақтылығы 2–40 сек. аралығында.

2) Электрқозғалтқыштардың жатық синхронды тежелуі қамтамасыз етілуі керек. Тежелудің ұзақтылығы 30–5 сек. аралығында.

3) Барлық қозғалтқыштардың бірқалыпты жатық синхронды реттелуін қамтамасыз ету керек. Реттеу диапазоны $D=1-3$.

4) Қозғалтқыштарды қысқа тұйықталудан, асқын жүктемеден, фазаның айырылуынан, фазалардың симметриясыздығынан қорғалуды қамтамасыз ету керек.

5) Жиілік түрлендіргішті қысқа тұйықталу токтарынан және максимал асқын жүктемелік токтарынан қорғауды қамтамасыз етілуі керек.

6) Электржетектің басқарылуы басқару қалқанынан және жұмыс орнында болуы керек (өндірістік цехта).

7) Басқару жүйесінің қорғаныс дәрежесі халықаралық стандарттарға сай дымқыл ауадан қорғалуы тиіс.

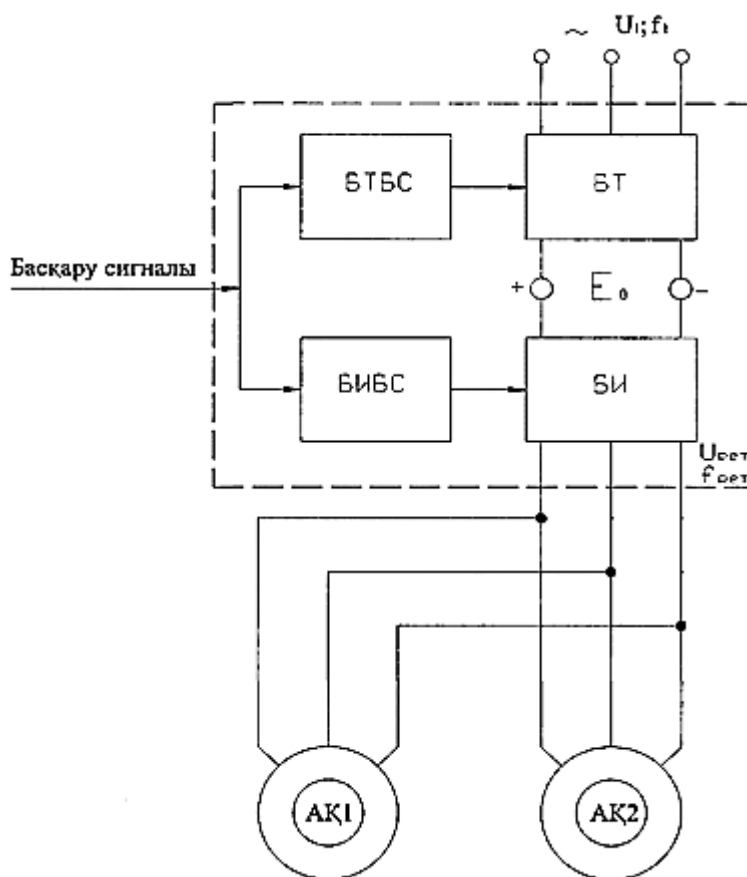
Көрсетілген талаптарды іске асырған кезде келесіні ескеру қажет: көп қозғалтқышты электржетегі қозғалтқыштардың бірінің моменті талап етілетін мәнге қатысты өзгеруі атқарушы органның қозғалысын анықтайтын электржетектің қосынды моментінің өзгеруіне әкеледі, бұл оның статикалық және динамикалық режимдерде жұмысын реттеудің сапасы нашарлатады. Осыған орай, реттелетін көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін құрудың негізгі міндеті электр қозғалтқыштарды басқарудың, талап етілетін деңгейде электржетектің қосынды моменттің ұстай отыра, қажетті тәсілін ұйымдастыру болып табылады.

Бірақ қозғалтқыштарды бір жиілікті түрлендіргішке топтап қосу кезінде асинхронды қозғалтқыштар тек механикалық ғана емес, электрлік де байланысқан болып табылады, оның нәтижесінде АҚ параметрлерінің сәйкес келмеуі басқару сапасына елеулі әсер етуі мүмкін.

Бір аттас параметрлер теңсіздіктің әсерін, қозғалтқыштардың электрмагниттік моменттерін реттеу сапасына зерттеуді, компьютерлік модельдеу әдісімен өткіземіз.

2.3 Асинхронды көп қозғалтқышты электржетегінің механикалық сипаттамаларын есептеу

Ұсынылып отырған ортақ жиілік түрлендіргіш арқылы басқарылатын екіқозғалтқышты асинхронды электржетегінің сұлбасы 2.5 суретте көрсетілген.



2.5 -сурет - Ортақ жиілік түрлендіргіш арқылы басқарылатын екіқозғалтқышты асинхронды электржетектің сұлбасы

ЖТ-ның бұл түріндегі күштік бөлімі екі негізгі блоктан тұрады: басқарылатын түзеткіш *БТ* және басқарылатын инвентор *БИ*. Желінің U_1 - кернеуі, f_1 стандартты жиілігі *БТ*-ның кірісіне беріледі, U_1 , айнымалы кернеуін E_0 -тұрақтысына түрлендіреді. Бұл кернеуді *БИБС*, басқару сұлбасы көмегімен кең шектерде реттеуге болады. Түзетілген және реттелген E_0 -кернеуі *БИ*- кірісіне беріледі, ол тұрақты ток кернеуі E_0 -ді үшфазалы айнымалы $U_{рет}$ кернеуіне $f_{рет}$ реттелетін жиілікке түрлендіреді. *БИ*-дегі $f_{рет}$ шығыс кернеуінің жиілігі *БИБС* басқару сұлбасынан басқару сигналының функциясы ретінде беріледі.

Мысал ретінде құс фабрикасындағы қолданылатын шынжырлы конвейердің электржетегін қарастырайық. Екіжетекті 4МТКФ(Н)112L6 типті асинхрондық қозғалтқыштармен жабдықталған (сипатталары 2.1 кестеде).

2.1- кесте - Қысқа тұйықталған роторлы АҚ параметрлері

Номиналды кернеу, В	380
Номиналды қуат, кВт	2.2

Асқын жүктемелік момент, Нм	64
Айналу жылдамдығы, айн/мин.	880
Статордың номинал тогы, А	6.8
Статордың бос жүріс тогы, А	4.81
Статордың активті кедергісі, Ом	2.97
Ротордың статор орамына келтірілген активті кедергісі, Ом	5,48
Ротордың момент инерциясы J, кгм ²	0.035

Қысқа тұйықталған роторлы АҚ-ның механикалық сипаттамасын есептейік және құрайық. Ол үшін алдымен қозғалтқыштың номиналды параметрлерін каталогтық мәліметтер бойынша табайық.

Қозғалтқыштың номиналды бұрыштық жылдамдығы

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3.14 \cdot 880}{30} = 92.1 \text{ c}^{-1} \quad (2.1)$$

Қозғалтқыштың номиналды моменті:

$$M_n = \frac{P_{НОМ}}{\omega_n} = \frac{2200}{92.1} = 23.9 \text{ Нм}, \quad (2.2)$$

мұндағы $P_{НОМ}$ - қозғалтқыштың номиналды қуаты, Вт.

Қозғалтқыштың бос жүрістегі бұрыштық жылдамдықты табу:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_{1НОМ}}{z_p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,6 \text{ рад/с} \quad (2.3)$$

мұндағы p_n - қозғалтқыштың жұп полюстер саны.

Анықталатын номиналды сырғанау:

$$s_n = \frac{(\omega_0 - \omega_n)}{\omega_0} = \frac{(104.6 - 92.1)}{104.6} = 0.12 \quad (2.4)$$

АҚ-ның асқын жүктемелік коэффициентін анықтау

$$\lambda_m = M_{кр} / M_n = 64 / 23.9 \approx 2.7, \quad (2.5)$$

мұндағы $M_{кр}$ - қозғалтқыштың максималдық моменті, Нм.

АҚ-ның максималдық сырғанауы:

$$s_{кр} = s_{НОМ} (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0.12 \cdot (2.7 + \sqrt{2.7^2 - 1}) = 0.62 \quad (2.6)$$

Қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары $M(s)$ тәуелділіктері арқылы, белгілі Клосс өрнегімен есептелінеді:

$$M(s) = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}} \quad (2.7)$$

Табылған $M_{кр}$ және $s_{кр}$ мәндерін (2.7) қоямыз және АҚ-ның механикалық сипаттамаларын төменгі формуламен тұрғызамыз

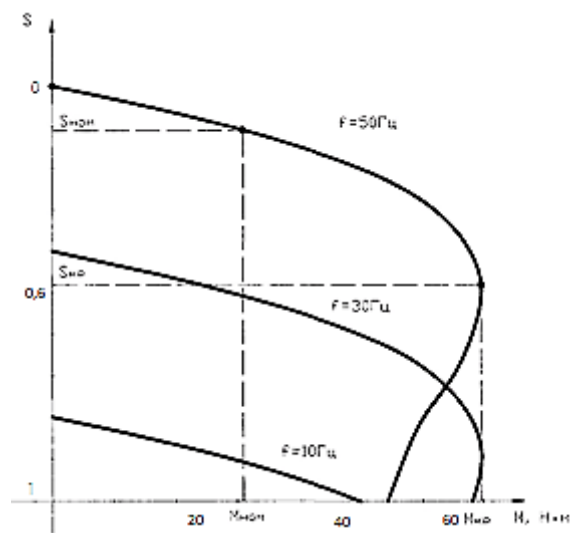
$$M = \frac{2 \cdot 64}{\frac{s}{0.62} + \frac{0.62}{s}} \quad (2.8)$$

(2.8) формуласына $s=0 \div 1$ дейінгі мәндерді қойып 2.2 кестені толтырамыз.

2.2- кесте – $M=f(s)$ тәуелдігін кұрудың мәндері

s	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
M	0	20.1	37.4	50.2	58.3	62.6	64	63.5	62	59.8	57.4

Алынған s және M мәндері бойынша АҚ-ның табиғи ($f_{ном}=50$ Гц) механикалық сипаттамасы тұрғызылады. Дәл осылай есептеулер жүргізу арқылы жиіліктің әрбір мәніне механикалық сипаттама тұрғызуға болады: $f=30$ Гц және $f=10$ Гц жиіліктеріндегі механикалық сипаттамалары (2.6 суретте).



2.6- сурет - АҚ-ның механикалық сипаттамалары

Суреттегі графиктеріне талдау жасасақ, 50 және 30Гц жиіліктерде максималдық моменттер бірдей, ал 10Гц жиілікте іске қосу моменті біршама төмендеген. Бірақ, барлық механикалық сипаттамалардың қатандығы бірдей. Бұл жиілік арқылы жетектің жылдамдығын реттеудің артықшылығын дәлелдейді.

2.4 Шынжырлы конвейердің көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру

Қозғалтқыштарды бір жиілікті түрлендіргішке топтық қосу кезінде асинхронды қозғалтқыштар тек механикалық ғана емес, сонымен қатар электрлік байланысқан болып табылады, соның салдарынан АҚ параметрлерінің сәйкес келмеуі басқару сапасына елеулі әсер етуі мүмкін.

Еске сала кетсек, конвейер жетектерінің жылдамдық диапазоны аз, сондықтан қарапайым және кең таралған басқару вольт/жиілікті әдісімен іске асырылады.

Қазіргі заманғы асинхронды электр жетектерді реттеу диапазоны вольт/жиіліктік басқару әдісі кезінде, әдетте 1:40 құрайды, бұл конвейерлер үшін жеткілікті болып табылады.

Сонымен қатар, $U/f=\text{const}$ заңын қабылдап, вольт/жиіліктік басқару жүктеменің осы түріне қажетті максималды моменттің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

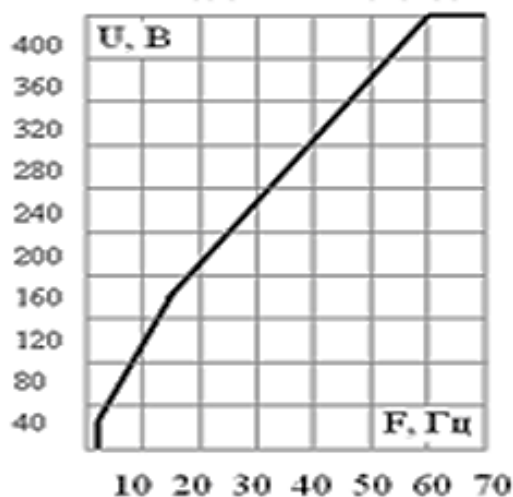
Стандартты орындаудағы асинхронды қысқа тұйықталған қозғалтқыштардың өздері жоғары іске қосу қасиеттеріне және асқын жүктеу қабілетіне ие емес. Іс жүзінде бұл жиілік түрлендіргішінің параметрлерін теңшеу арқылы қол жеткізіледі.

Бұл анықтаушы параметрлерге келесі жатады:

- момент қарымталау функциясы;
- вольт / жиілік сипаттамасы;
- жылдамдық / тежеу уақыты.

Қарымталау функциясы, қозғалтқыштың старт кезінде және төменгі жылдамдықтарында жұмыс істеген кезінде, моментті ұлғайтуға мүмкіндік береді. Оны орындау кезінде белгіленген қарымталау коэффициентіне сәйкес инвертордың шығыс кернеуін түзету жүзеге асырылады.

Вольт/жиілік сипаттамасының параметрлерін анықтай отырып, төменгі жиіліктерге сызықтық пропорционалды тәуелділікке қарағанда жоғары кернеу мәніне сәйкес қойылады (2.7 сурет). Сипаттаманың мұндай түрі үлкен бастапқы моментті талап ететін жүктемелерге арналған.



2.7- сурет - Вольт/жиілік сипаттама

Қөпқозғалтқышты электржетегін жиілікті басқаратын микропроцессорлық басқару қондырғыларының бірі - сериялы шығарылатын VLT2880 (Danfoss фирмасының) түрлендіргішін қабылдайық. Ол жиілікті реттелетін айнымалы ток электржетегін басқаруға арналған.

ЖТ-қысқа тұйықталған асинхронды электр қозғалтқыштардың жылдамдықтарын сенімді реттейді, ол қазіргі IGBT-технологиясының негізінде жасалған және ең жаңа бағдарламалық қамсыздандыруды қолданады. Оның жұмыс істеуі статор орамына келтірілген кернеу мен жиілікті өзгерту принципіне негізделген.

ЖТ жоғары динамикалық сипаттамалар, айналу жиілігін бір қалыпты ұстап тұру дәлдігі, айналдыру моментінің тұрақтылығы, жылдамдығын реттеудің кең диапазонды.

Бұдан мынандай нарықтық артықшылықтар:

1) Бір жиілік түрлендіргішті үш асинхронды қозғалтқышқа қолданып, арзанырақ және үнемді асинхронды электрқозғалтқышын қолданып, реттеудің жоғарырақ сапасын алуға болады.

2) Жиілік түрлендіргішті қалаған механизмнің жетегінің қалаған асинхронды қозғалтқышына қолданып, көптеген артықшылықтарды жылдамдықты реттеуден алуымызға болады.

Техникалық сипаттамалары: басқарылатын электрқозғалтқыштың қуаты 0.4—370 кВт; қоректендіруші үшфазалық кіріс кернеуі 380-480 В (50-60Гц); шығыс жиілігінің өзгеру диапазоны 0.01 Гц-ке рұқсат етілген 0-440Гц; асқын жүктемелік қабілеті 150%/1мин. — тұрақты момент үшін; қорғаныс дәрежесі IP00-IP54; температуралық жұмыс диапазоны -10°...+50°.

Қорғаныс функциясы: асқын жүктемеден, асқын кернеуден, төмен кернеуден, жерге тұйықталудан, асқын температурадан, IGBT-дағы қысқа тұйықталудан, максималды токтан және т.б. қорғаудың 15 түрінен.

2.5 Асинхронды қозғалтқыштың математикалық моделі

Matlab ортасында зерттеу үшін d, q координаттары жүйесіндегі нақты үшфазалы машинаның екі фазалы моделін қолданамыз [8,10].

Егерде ($\omega_{\text{кc}} = \omega_{\text{эл1}}$) статор өрісімен синхронды айналатын x, y координаталар жүйесінде, x осін ротордың ағын ілісу векторымен үйлестірсек, онда d,q координаталар жүйесі үшін тән қатынастарды ескере отырып, келесі операторлық түрінде теңдеулер жүйесін келтіруге болады

$$\begin{aligned} U_{1d} &= R_{\text{э}} \cdot (T_{\text{э}}p + 1) \cdot I_{1d} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} - \omega_{\text{кc}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1g}, \\ U_{1g} &= R_{\text{э}} \cdot (T_{\text{э}}p + 1) \cdot I_{1g} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d} + \omega_{\text{кc}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d}, \\ 0 &= (T_2p + 1) \cdot \Psi_{2d} - L_m \cdot I_{1d}, \\ \omega_{\text{кc}} &= \omega \cdot z_p + \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2} \cdot \frac{I_{1g}}{\Psi_{2d}}, \\ M_{\text{эм}} &= \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1g}, \\ \omega &= \frac{1}{J \cdot p} \cdot (M_{\text{эм}} - M_c), \end{aligned} \quad (2.9)$$

мұндағы $R_{\text{э}}$ – эквивалентті активтік кедергісі;
 $T_{\text{э}}$ – эквивалентті электромагниттік уақыт тұрақтысы;
 R_2' – статор орамына келтірілген ротор орамасының активті кедергісі;

I_{1d}, I_{1q} – статордың эквиваленттік токтары;

Ψ_{2d} – эквивалентті ротор контурының ағын ілісуі;

L_m – магниттік контурының өзаралық индуктивтілігі;

L_1 – статордың индуктивтілігі;

L_2 – ротордың индуктивтілігі;

$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2}$ – қозғалтқыштың шашырауы коэффициенті.

4MTF(H) сериялы АҚ үшін орамдық деректері мен жиіліктік-реттелетін электр жетегінің кейбір динамикалық параметрлері 2.3 кестеде келтірілген [11].

2.3- кесте - [11] бойынша қабылданған АҚ параметрлері

$R_1,$ Ом	$R_2',$ Ом	$X_1,$ Ом	$X_2',$ Ом	$T_{1\text{э}},$ с	$T_2,$ с	$T_{m1},$ с	$T_{m2},$ с
2,97	5,48	3,11	2.13	0,002	0,0415	0,0261	0,0184

Қалған модельдеуге қажетті жетіспейтінін параметрлерін есептейік.
Эквивалентті активтік кедергісін анықтау

$$R_3 = R_1 + R_2' = 2.97 + 5.48 = 8.45 \text{ Ом.} \quad (2.10)$$

Эквивалентті электромагниттік уақыт тұрақтысы

$$T_3 = \frac{1}{\omega_0 \cdot z_p \cdot s_{kp}} = \frac{1}{104.6 \cdot 3 \cdot 0.62} = 0.0051 \text{ с} \quad (2.11)$$

Статордың және ротордың индуктивтіліктері

$$L_1 \cong L_2 = \frac{1}{2 \cdot z_p \cdot f_H} \cdot \frac{U_H}{I_H \left(\sqrt{1 - (\cos \varphi_H)^2} - \cos \varphi_H \cdot s_H / s_{kp} \right)} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3 \cdot 50} \cdot \frac{220}{6.8 \cdot \left(\sqrt{1 - (0.7)^2} - 0.7 \cdot \frac{0.12}{0.62} \right)} = 0.187 \text{ Гн} \quad (2.12)$$

Статор мен ротордың шашырау индуктивтілігі

$$L_{1\sigma} \cong L_{2\sigma} = \frac{1}{4z_p \cdot f_H} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_H}{I_H} \right)^2 - R_3^2} = \frac{1}{4 \cdot 3 \cdot 50} \cdot \sqrt{\left(\frac{380}{5 \cdot 6.8} \right)^2 - 8.45^2} = 0.012 \text{ Гн} \quad (2.13)$$

Магниттеу контурының өзаралық индуктивтілігі

$$L_m = L_1 - L_{1\sigma} = 0.187 - 0.012 = 0.175 \text{ Гн} \quad (2.14)$$

Эквивалентті ротор контурының ағын ілісуі

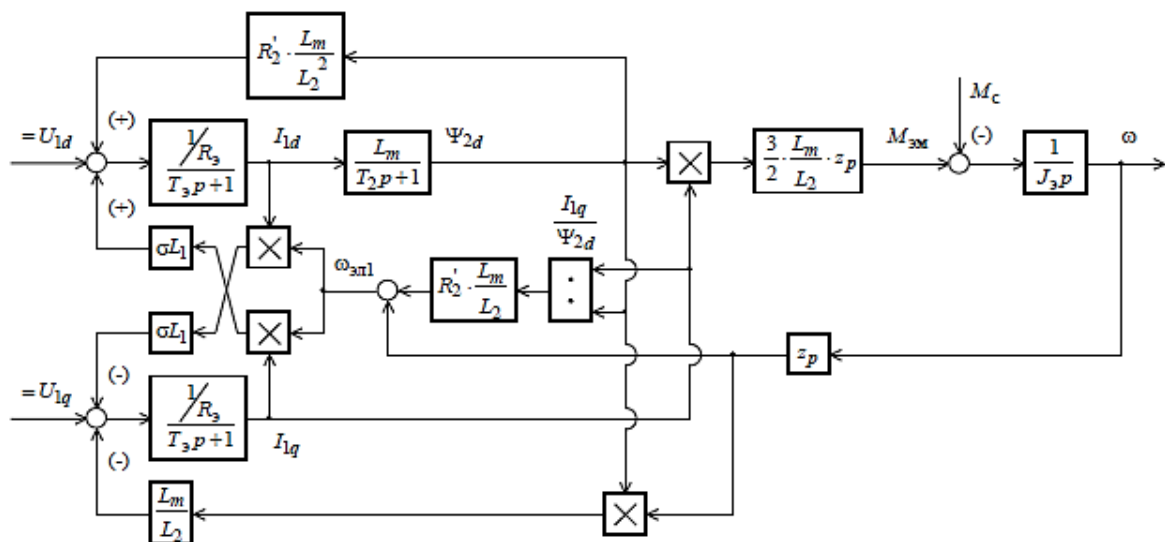
$$\Psi_{2d} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 4.81 \cdot 0.175 = 1.19 \text{ Вб} \quad (2.15)$$

Есептелген АҚ параметрлерін 2.4 кестеге еңгіземіз.

2.4 -кесте – АД алмастыру схемасының есептелген параметрлері

$R_3,$ Ом	$T_3,$ с	$L_1,$ Гн	$L_2,$ Гн	$L_{1\sigma},$ Гн	$L_{2\sigma},$ Гн	$L_m,$ Гн	$\Psi_{2d},$ Вб
8,45	0,0051	0,187	0,187	0.012	0.012	0,175	1,19

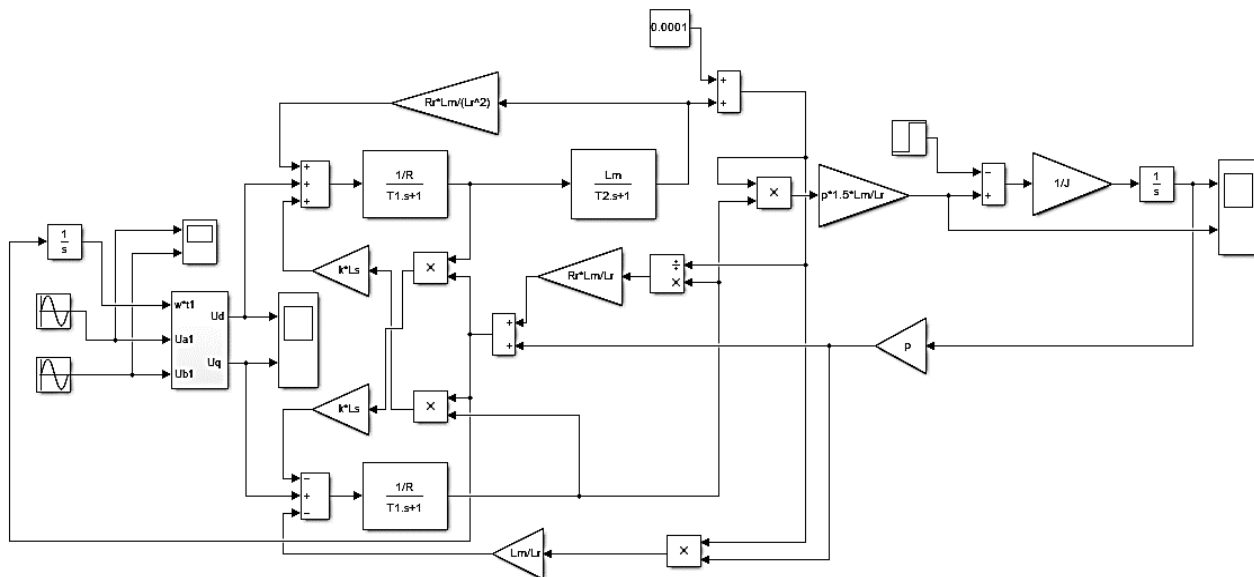
(2.9) теңдеулер жүйесіне, ротордың ағынын ілісудің нәтижелік векторы бойынша бағытталған d, q координаталарының айналмалы жүйесінде орындалған, 2.8 суретте келтірілген қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың құрылымдық сұлбасы сәйкес келеді.



2.8 -сурет – d, q координаталарының айналмалы жүйесіндегі қысқа тұйықталған роторлы асинхронды электрқозғалтқыштың құрылымдық сұлбасы

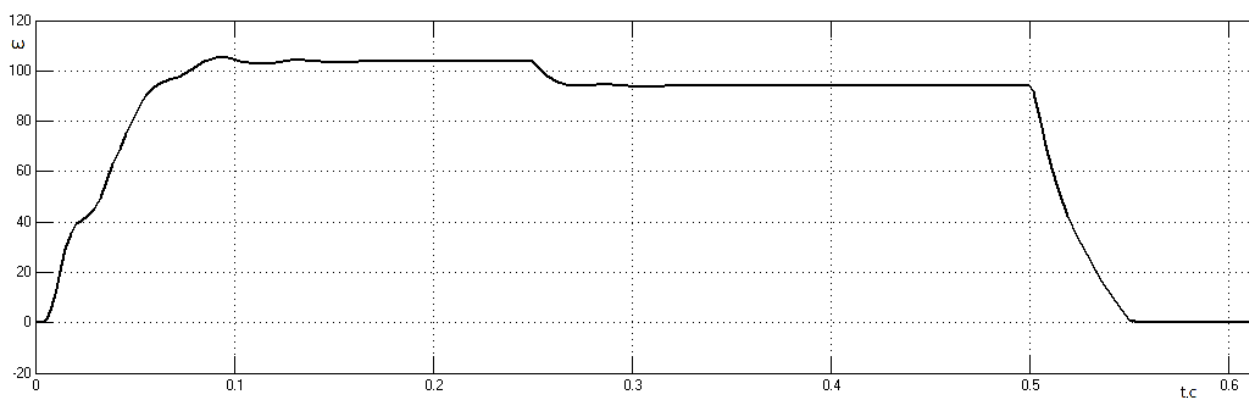
Құрылымдық сұлба ішкі кері байланыстарды қамтиды, оның ішінде бас кері байланыс АҚ-ң жылдамдығы бойынша орындалған. Құрылымдық сұлбаға сүйеніп Matlab Simulink-дегі 2.9 суретте көрсетілген моделі сәйкес келеді.

Имитациялық моделінің жұмысқа қабілеттілігін тексеру үшін, қозғалтқышты аз жүктемемен (10% номиналдық моменттен) іске қосамыз, содан 0,25 с кейін номиналды жүктемеге дейін ұлғайтамыз және 0,5 с уақыттан кейін қозғалтқышты желіден ажыратамыз.



2.9- сурет – Активті жүктемесі бар АҚ-тың имитациялық моделі

Алынған график (2.10 суретте) күтілімге сәйкес келеді, демек, жүктеме моделі дұрыс жұмыс істейді.



2.10- сурет – $\omega(t)$ тәуелділік графигі

Әзірленген математикалық модельдің адекваттығын тексеру өтпелі процесс сапасының тікелей көрсеткіштерін анықтайық:

- t_p - минималды уақыттан кейін реттелетін шама белгіленген мәнге жақын берілген дәлдікпен қалады, $t_p=0,075$ с;
- $\omega_{уст}$ - орнатылған жылдамдық мәні, $\omega_{уст}=104,7$ рад/с;
- Δ - алдын ала $\omega_{уст}$ белгіленген мәнінен процентпен алынады, $\Delta=\pm 5\%$;
- t_{max} - бірінші максимумға жету уақыты, $t_{max}=0,098$ с;
- ω_{max} - жылдамдықтың бірінші максимумы, $\omega_{max}=106,83$ рад/с;
- t_H - өтпелі процестің өсу уақыты, басынан бастап өтпелі процестің графигімен бірінші белгіленген мәндер сызығымен қиылысу сәтіне дейін, $t_H=0,084$ с;
- σ - қайта реттеу–ең жоғары ауытқу пайызбен көрсетілген белгіленген мән,

$$\sigma = \frac{\omega_{max} - \omega_{уст}}{\omega_{уст}} \cdot 100\% = \frac{106,83 - 104,7}{104,7} \cdot 100\% = 2,02\%.$$

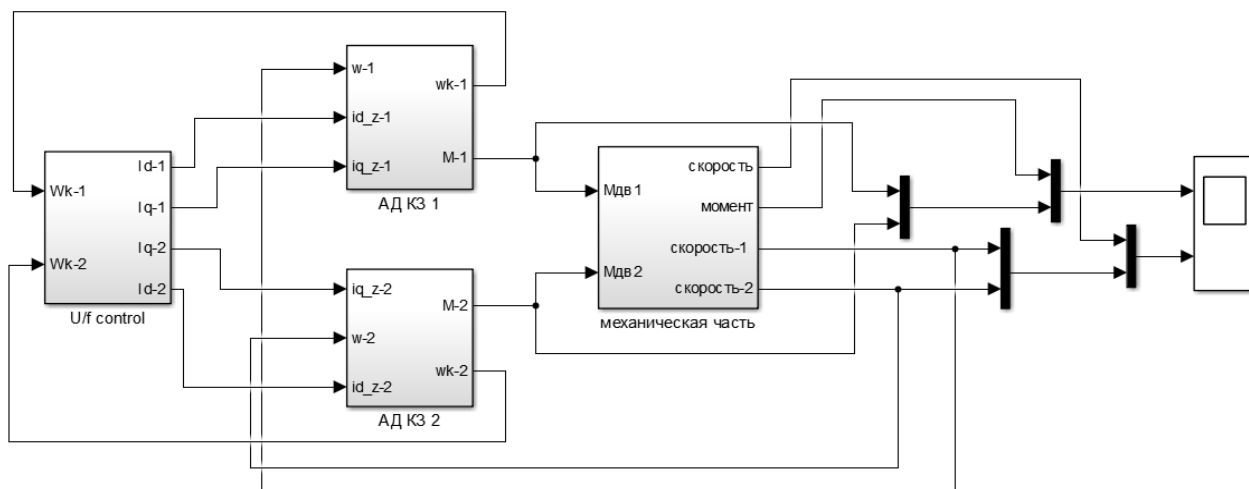
Есептеулерді талдау – математикалық сипаттама бойынша әзірленген-олардың толық сәйкестігін көрсетеді, бұл айнымалы токтың электржетегін зерттеуде әзірленген модельді пайдалану мүмкіндігін береді.

2.6 Екіқозғалтқышты асинхрондық электр жетегін модельдеу

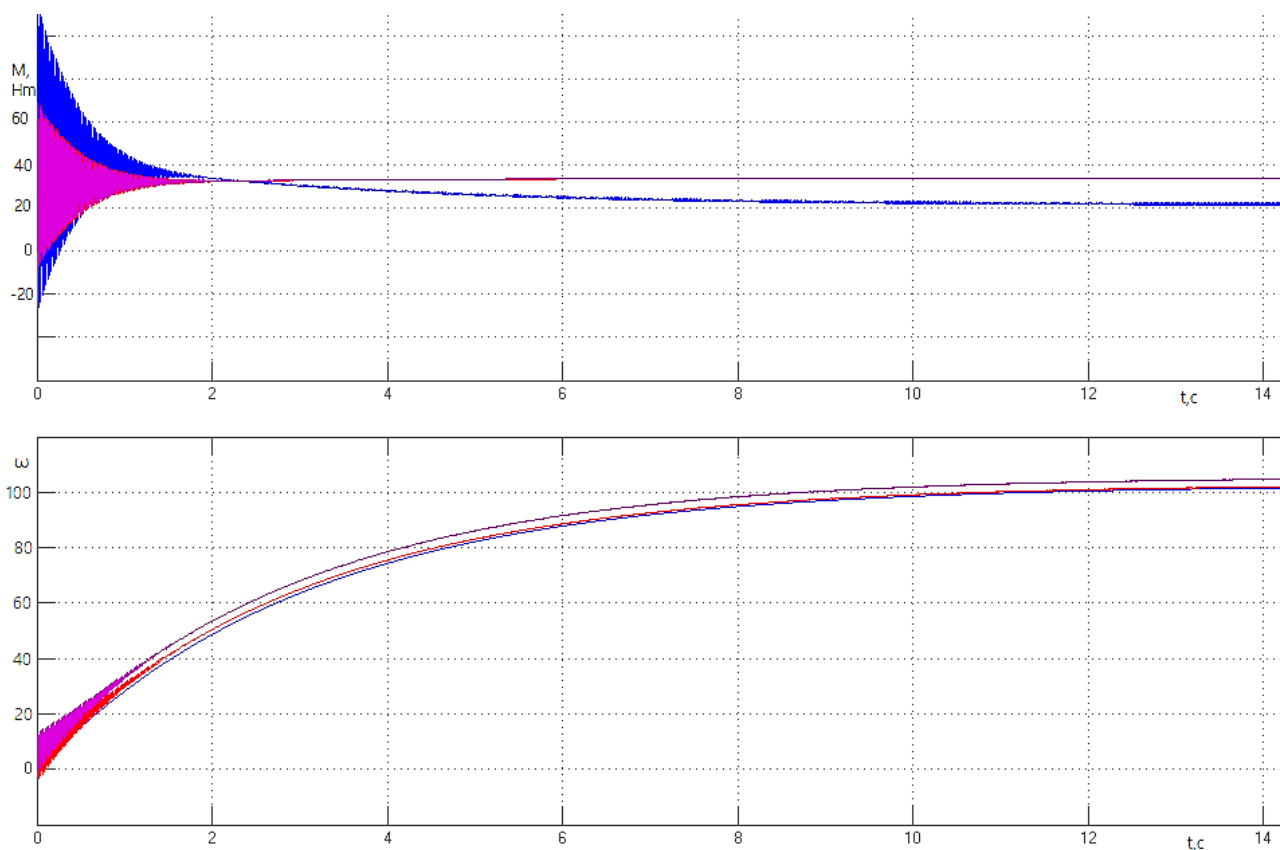
Электр жетегінің моделі скалярлы басқару кезінде кернеуді (U/f control), асинхронды қозғалтқыштардан (АД КЗ 1 және АД КЗ 2) және механикалық бөліктен тұратын 2.11 суретте көрсетілген. Кері байланыс тек бір АҚ-ң жылдамдығы бойынша атқарылады.

Электр жетегінің динамикалық сипаттамалары скалярлы басқару кезіндегі 2.12 суретте келтірілген.

Осы басқару тәсілінде барлық жұмыс учаскесіндегі жылдамдықтың тұрақты үйлеспеуі байқалады, бұл қанағаттарлық емес нәтиже. Оның үстіне, тұрақталған учаскеде моменттердің айырмашылығы да жоғары.



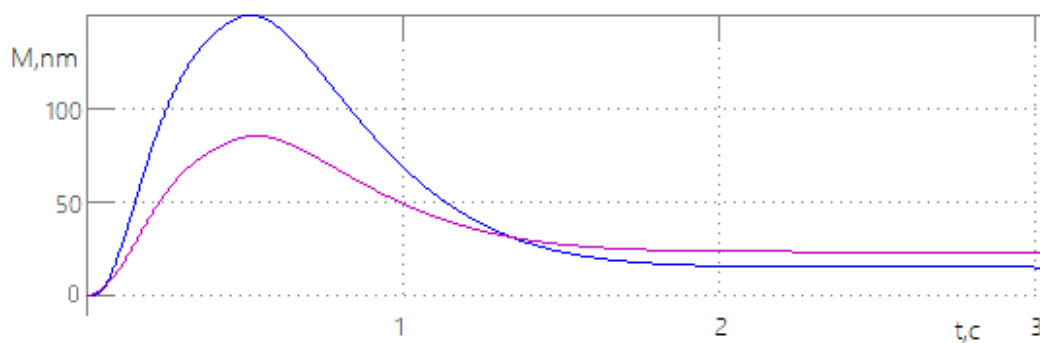
2.11- сурет - Екі қозғалтқышты электр жетегінің скалярлық басқарудағы имитациялық моделі



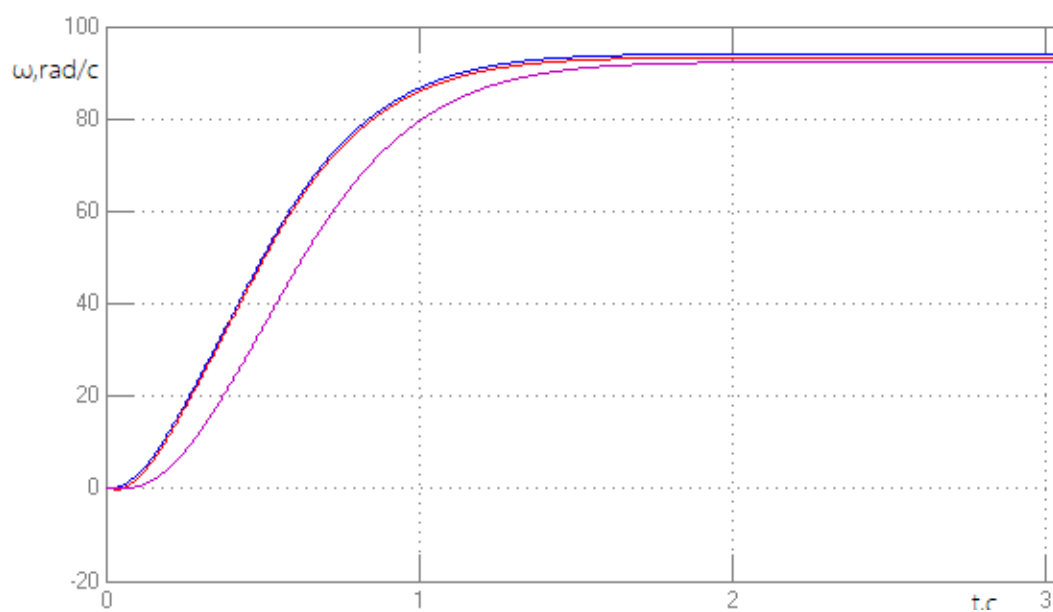
2.12- сурет - Екі қозғалтқышты электр жетегінің скалярлық басқарудағы $M=f(t)$ және $\omega=f(t)$ динамикалық сипаттамалары

Енді, АҚ-ң әрқайсына жылдамдық бойынша кері байланыс қарастырып (екі жылдамдық датчиктерін орнатып), имитациялық модельдеуін жүргізейік.

Алынған графиктері 2.13-2.15 суреттерде берілген.

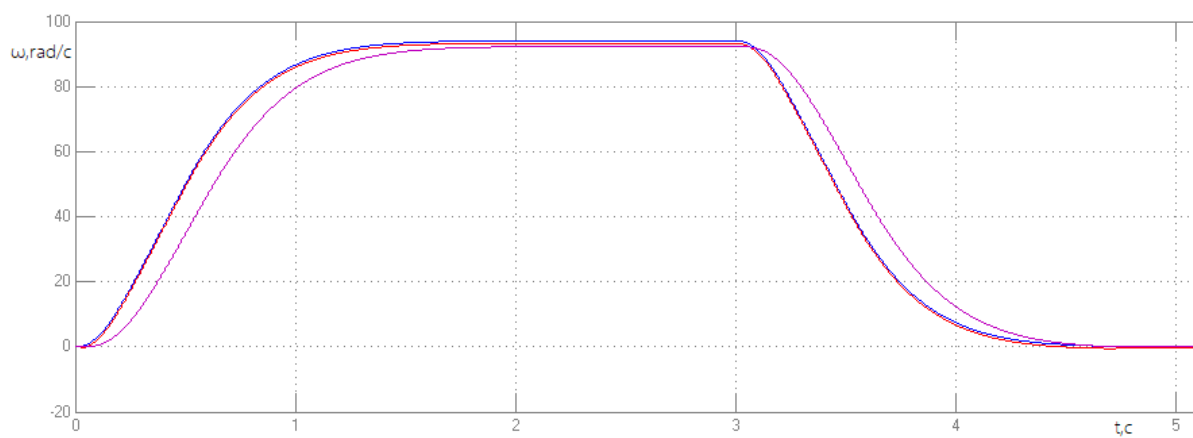


2.13- сурет – Толық жүктемеде іске қосу кездегі моменттер



графиктері

2.14 -сурет – Толық жүктемеде іске қосу кездегі жылдамдық графиктері



2.15 -сурет – Толық жүктемеде іске қосу және тежеу кездердегі жылдамдық графиктері

Графиктерден көрініп тұр, зерттелген екіқозғалтқышты электр жетегіміз қанағаттандыратын нәтижеге ие.

3 Электр қауіпсіздігі бөлімі

3.1 Электр тогына түсіп қалмау шаралары

Электрқозғалтқыштардың беріктігі мен қауіпсіздігін арттыру мақсатында фабрика едендері бетонсыз болып келеді, электр өткізгіштігі төмен болады. Жабдықтардың ішіне ылғал кіруі мүмкін болғандықтан, фабрика жабдықтары жұмысын жабық істейді. Қолданылатын кабельдер мен сымдар жабдықтардың пайдалану шартына сәйкес келуі қажет. Қоршалған және оқшауланған ток өткізетін бөліктерде сақтандыру сындарын өткізіп тұру қажет. Электр тогының зақымдануынан сақтау үшін жерге қосылған нейтралды жүйені қолданады.

Қол аспаптар, тірек қалқандары, пультер мен шкафтар, электр машинаның корпусы қорғағыштың жерге қосылған сым электр құралдарының металды ток өткізбейтін бөліктері болып саналады.

Электр құралдарының корпусы үшін жерге бір ұшымен қосылған нейтрал қорғағыш сым бар. Бір ұшы жерге қосылған табиғи сым ретінде ғимараттық темір-бетонды фундаментті қолданған. Бір ұшы жерге қосылған құрылғы түрі - контурлы 10,8 метр жер тереңдігінде орналастырылған, суммарлық ұзындығы 40 метрге жақын, 20х4мм тік болатты электрод көмегімен қосылған диаметрі 0,05 метр және 3 метр болатын құбыр түріндегі 12 көлденең электродтардан жасалған. Көлденең электродтар контур бойынша орналастырылған.

Бір ұшы жерге қосылған табиғи сымды есепке ала отырып жерге қосылған қорғағыш сымды қолдану нәтижесінде жерге қосылған сымның қарсы тұруы мүмкін мәні $R_3=40$ метр аспайды.

3.2 Жарықтандыруды есептеу

Адамдар қабылдайтын сыртқы әлемнің хабары, көру мүшелері арқылы түседі. Сондықтанда көру мүшесі арқылы хабалдың сапасын көбінесе жарықтандырумен байланысты. Қанағаттандырылмайтын жарықтандыру хабарды бұрмалауы мүмкін, бұдан басқа көруді және ағзаларды болдырады. Дұрыс жарықтандырмау жарақаттың себебі болуы мүмкін: жаман жарықтандырылған қауіпті аймақ, соқырғылатын шамдар мен олардың ақ дақтары, кенеттік көлеңкелер жұмыс істейтіндердің хабардар етуін нашарлатады немесе толығымен жоғалтады.

Пайдалануды жіберілген дұрыс емес қателіктер, өрт пен қауіпті цехтарында жарықтандыруды құрған және жобалаған кезде жіберілген

кателіктер жарылысқа немесе сәтсіз оқиғаларға әкелуі мүмкін. Одан басқа қанағаттандырылмайтын жарықтандыруда еңбек өнімділігі төмендейді және тауар жарамсыздығы көбейеді.

Жарық ағымының әдісі арқылы жарықтандыру есебін келтіреміз:

$$F_n = \frac{E_n * K_3 * Z * Sn}{N * \eta}, \quad (3.1)$$

мұндағы E_n -минималды нормативті жарықтандыру, 50лк;

S -жарықтандырылған ауданы, m^2 ;

Z -минималды жарықтандыру коэффициенті 1,2;

K_3 -запас коэффициенті 1,5.

η коэффициент кестеден анықталады сәуле жарық ағымының коэффициентіне тәуелді қабырға мен төбе және жүту I -көрсеткішінің мәні:

$$i = \frac{A * B}{H_p * (A + B)} \quad (3.2)$$

мұндағы, $A=25m$, $B=15m$ - ғимарат өлшеміне тән;

H_p -шам орнату биіктігі, 3м деп қабылдаймыз.

$$i = \frac{25 * 15}{3 * (25 + 15)} = \frac{375}{120} = 3.125$$

Жарық ағымы $F_n=1200$ болатын шамның мынандай газ тобын ЛДЦ-40 таңдаймыз.

Ғимарат индекстерін есептеп, шам түрін таңдап және төбе, қабырға мен еден коэффициенттерін кестеден келтіреміз және жарық техникалық анықтама мен кітаптардан аламыз. Жарық ағымының қолдану коэффициенттерінің мәнін табуға болады. СНиП П-4-79 бойынша жарықтандырудың минималды талабы анықталады. Шам сандары ең тиімді орналасуымен таңдалады.

Қажетті шам сандарын анықтаймыз:

$$N = \frac{50 * 375 * 1.2 * 0.5}{1200 * 0.5} = 18$$

Цех ғимаратының ені мен ұзындығы үлкен болса, онда таңдалған шам сандарын 4-ші қатарға 6 шамнан орналастырамыз.

3.3 Қорғаныс жерлемені есептеу

Жерлемелі қорғау дегеніміз, құрылымы ток сымымен қосылған арнайы құрал, кернеуде болып қалуы мүмкін, онда потенциалы төмендеуі қабілетті.

Электржабықтардың металл корпустары мен құрылымдарын қолданған кездегі электрлік жарақаттарды болдырмау үшін жерлендіру қолданылады. Жерлендіруші жабдықтың есебі жабдыққа сәйкес орналастырылған максималды кедергісіне байланысты.

Кернеуі 1000 В-тан жоғары электрқондырғыларында жерлеріндіру желісіндегі нейтралды кедергісі жылдың барлық мезгілінде 0,5 Ом көп болмауы керек, яғни $R_{доп} \leq 0,5$ Ом.

Табиғи жерлендіргіш болмағандықтан, кедергісі $R_l \leq R_{доп} \leq 0,5$ Ом жасанды жерлендіргіш қолданылады.

Үлестік есептік кедергісін анықтайық

$$\rho_r = \rho \cdot \phi \quad (3.3)$$

мұнда ρ - жердің үлестік кедергісі, Ом·м,

ϕ - климаттық коэффициент (климаттық зоналарға сәйкес арнайы анықтамалықтан қараймыз).

Жер түрін анықтаймыз – қарсыласуы $\rho = 100$ Ом·м, зонаға сәйкес климаттық коэффициент $\phi = 1,5$. Онда үлестік есептік кедергісі болады:

$$\rho_r = \rho \cdot \phi = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (3.4)$$

Жерлендіру түрін және өлшемдерін таңдаймыз. Жасанды жерлендіргіш түтікшелі немесе стерженді ұзындығы $l = 3$ м және диаметрі $d = 0,05$ м. Жерлендіргіштен жер бетіне дейінгі арақашықтықты есепте $h = 0,8$ м деп аламыз.

Бірлік түтікшелі жерлендіргіштің кедергісін есептейміз:

$$R_0 = \frac{\rho_r}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right) \quad (3.5)$$

мұнда $H = h + \frac{l}{2} = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3$ (м) – жер бетінен жерлендіргіш ортасына дейін.

Жоғары көрсетілген мәліметтерді қолдана отырып, аламыз:

$$R_0 = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) = 40,795 \text{ (Ом)}$$

Параллельді бірлік қосылған жерлендіргіштердің саны:

$$n = \frac{R_0}{R_{доп} \cdot \eta} \quad (3.6)$$

мұнда η - топтық жерлендіргішті қолдану коэффициенті.

Анықтамалық мәліметтерге сәйкес параллель қосылған бірлік жерлендіргіштердің саны екіден кем болмауы керек. Біз бірлік жерлендіруге есептегендіктен анықтамалық кестелерден $\eta = 1$ таңдаймыз.

Онда:

$$n = \frac{40,795}{0,5 \cdot 1} = 81,59 \approx 82$$

Қосылу желісінің ұзындығы:

$$L = a(n-1) \quad (3.7)$$

мұнда $a = 3$ м - тік жерлендіргіштердің арасындағы арақашықтық.

$$L = 3(82 - 1) = 243 \text{ м.}$$

Кедергісі R_n қосылысы сызығын есептейміз:

$$R_n = \frac{\rho_r}{2\pi \cdot L} \ln \frac{2L^2}{d \cdot h} \quad (3.8)$$

мұнда $d \times b$ енді қосылатын желінің эквивалентті диаметрі. Есепте қабылдаймыз $b = 15$ см болғанда $d = 0,95b$.

Онда:

$$R_n = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 243} \ln \frac{2 \cdot 243^2}{0,95 \cdot 0,15 \cdot 0,8} = 1,357 \text{ (Ом)}$$

Барлық табылған мәліметтерге қарап қосылысу сызығын ескере отырып барлық жерлендіргіш қондырғыны есептей аламыз:

$$R = \frac{R_0 R_n}{R_0 \eta_n + R_n n \eta} \quad (3.9)$$

$$R = \frac{40,795 \cdot 1,357}{40,795 \cdot 1 + 1,357 \cdot 82 \cdot 1} = 0,364 \text{ (Ом)}$$

Сонымен, жасанды топтық жерлендіргіштің мәні берілгеннен бірнеше төмен (0,5 Ом), бұл қауіпсіздікті арттырады.

4 Экономикалық бөлім

4.1 Жиілік түрлендірігіш арқылы басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегіне құруға жұмсалатын шығындарды есептеу

Бұл жобаны құру және жобалау үшін 3 ай керек.

Жиілік түрлендірігіш арқылы басқарылатын асинхронды электржетекті құруға қажетті жабдықтар 4.1 -ші кестеде көрсетілген.

Электр жетегін басқару үшін электротехникалық қондырғылар (трансформаторлар, амперметрлер, ажыратқыштар), екі айналмалы ток электрқозғалтқышы, кабельдік өнімдер, автономды кернеу инверторы, саймандар (вентильдер, конденсаторлар және т.б.).

4.1 -кесте - Жиілік түрлендірігіш арқылы басқарылатын асинхронды электржетекті құруға қажетті капиталды шығындар

Қондырғы атауы	Өлшеу бірліктері	Саны	Бағасы, тг	
			Бірліктер	Жалпы
Импульсті реттегіш	к-т	1	200 000	200 000
Электр жетегін басқару құралдары	к-т	1	5000	5000
Күштік кабель	м	20	120	2400
Монтажды кабель	м	15	45	675
Қондырғының толық құны: 203075тг.				

Қондырғыны монтаждауға кететін шығындар капиталды шығындар бағасынан 25%-ті құрайды:

$$Ш_{\text{монт.}} = Ш_{\text{қонд.}} \cdot 0,25 \quad (4.1)$$

$$Ш_{\text{монт.}} = 203075 \times 0,25 = 50768,75 \text{ тг.}$$

Электр жетегін өндіруге және енгізуге кететін толық капиталды шығындар (салым):

$$K_c = Ш_{\text{қонд.}} + Ш_{\text{монт.}} = 203075 + 50768,75 = 253843,75 \text{ тг.}$$

4.2 Экономикалық тиімділікті есептеу

Электроэнергия шығындарын құрайтындар:

$$P_{\text{эл}} = \sum W \cdot t \cdot k \cdot n \cdot m, \quad (4.2)$$

мұндағы ΣW – электрқондырғы мен реттеу техникасы пайдаланатын соммалық қуат.

Ол келесідей анықталады (2 АҚ-ң соммалық қуаты 4,4 кВт + реттеу жүйесінің қуаты 0,1кВт/сағ, соммасы – 4,5кВт/сағ болады).

T – бір күндік жұмыстың уақыт саны – 16 сағат;

k – қуатты пайдалану коэффициенті – 0,85;

n – басқаратын комплекстер саны – 1;

m – бір жылдағы жұмыс істеу күндер саны – 300.

$$P_{эл} = 4,5 * 16 * 0,85 * 1 * 300 = 10200 \text{ кВт/жыл.}$$

Электр энергиясының құны $C_{эл} = 18,84$ теңге/кВт, олай болса жылдық электрэнергия шығыны мынаны құрайды:

$$C_{эл.э.} = P_{эл} * C_{эл} \quad (4.3)$$

$$C_{эл.э.} = 10200 * 18,84 = 192168 \text{ тг.}$$

Бірақ энергияны 30%-70%-ке дейін үнемдей алатын реттегішті қолданудың арқасында, электроэнергия шығыны мынаған тең болады:

$$C_{эл.э.2} = 192168 * 0,5 = 96084 \text{ тг}$$

Онда $192168 - 96084 = 96084$ тг экономикалық пайданы құрайды.

Қайырып алу уақыты келесі формуламен анықталады:

$$T_c = \frac{K_c}{Э_n} = \frac{253843,75}{96084} = 2,6 \text{ жыл} \quad (4.4)$$

мұндағы T_c - қайырып алу мерзімі;

K_c -капиталдық салым, тенге;

$Э_n$ - экономиялық пайда, тенге.

Осылай біз 2,6 ж капиталды қайырып аламыз.

Бұл дегеніміз - ортақ жиілік түрлендіргіш арқылы басқарылатын асинхронды электржетегін еңгізу экономика тұрғысынан өте тиімді болады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Осы дипломдық жұмыста шынжырлы конвейердің технологиялық ерекшелігіне және электржетегінің механикасына негізделіп ортақ жиіліктік түрлендіргіші арқылы басқарылатын екіқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру мәселелері қарастырылған. Бүгінгі күні шынжырлы конвейерлерге қатысты аталған мәселелер әлі де толық дамытылған емес.

Жұмыста асинхрондық қозғалтқышының айналу жиілігін реттеу тәсілдері мен кернеу жиіліктігін өзгерту негізгі заңдылықтары қарастырылып, асинхрондық электржетектерінде қолданылатын жиілік түрлендіргіштер мен заңдылықтарға замануи шолу жасалған.

Көпқозғалтқышты шынжырлы конвейердің жетектеріне қойылатын негізгі талаптардан аттанып замануи екіқозғалтқышты асинхрондық жетектің жылдамдығын реттеу жүйесі таңдалып, оның математикалық моделі өнделіп, толығырақ Matlab Simulink ортасында имитациялық модельдері зерттелген. Нәтижесінде алынған, электржетектің динамикалық сипаттамалары оңтайлы болып, тәжірибеде қолдануға ұсынатындай дәрежеге ие.

Еңбекті қорғау бөлімінде конвейер орналасқан цехтағы электрқауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселелері қарастырылған: жерлеме мен жарықтандыру құралдары есептелген.

Экономиялық бөлім тарауында ортақ жиілік түрлендіргіші арқылы басқарылатын асинхронды электржетегін құруға және енгізуге кететін капиталды шығындар, оның экономикалық тиімділігі анықталған.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Баев, А.П. Современные системы управления асинхронным электроприводом /А.П. Баев, А.С. Исаков //Науч.-техн.вестн. С.-Петерб. нац. исс. ун-та информ. технологий, механики и оптики». – СПб.: 2018. – Т.6. – С.30–34.
- 2 Ф и р а г о, Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
- 3 Драчев, Г.И. Теория электропривода. Примеры расчетов: Учеб.пособие для студентов / Г.И. Драчев, А.Н. Шишков, С.М. Бутаков и др. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2010. – 192 с.
- 4 Краснов, И.Ю. Обеспечение плавного разгона и торможения промышленных механизмов /И.Ю. Краснов [и др.] //Изв. Томс. политехн. ун-та. – 2011. Т. 319. – № 4. – С.122–127.
- 5 Драчев, Г.И. Теория электропривода: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2012. – 168 с.
- 6 Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб. пособие для вузов / И. И. Алиев – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2002. – 225с., ил.
- 7 Козаченко, В.Ф. Микроконтроллерные системы управления электроприводами: современное состояние и перспективы развития [Электрон. ресурс] /В.Ф.Козаченко. – Режим доступа: [http: //www.motorcontrol.ru /publications /controllers.pdf](http://www.motorcontrol.ru/publications/controllers.pdf)
- 8 Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. М.: УО РАН, 2000. – 653 с.
- 9 Удут, Л. С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: Учеб. пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. Ч.8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: – Томск: Изд-во ТПУ. 2010. – 448 с.
- 10 Терёхин, В.Б. Компьютерное моделирование систем электропривода постоянного и переменного тока в Simulink: Учеб. пособие /В.Б. Терёхин, Ю.Н. Дементьев. – Томск: Изд-во Томс. политехн. ун-та. 2013. – 307 с.
- 11 Акимов, Л.В. Динамические параметры асинхронных двигателей частотно-регулируемых электроприводов. / Л.В. Акимов, В.О. Котляров, Д.Г. Литвиненко - Електротехніка і електромеханіка. Харьков, 2011. №3. -с.10-14.
- 12 Дементьев, Ю.Н. Электрический привод: Учеб.пособие./Ю.Н. Дементьев, А.Ю.Чернышев, И.А.Чернышев – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 232 с.