

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Коммерциялық емес акционерлік қоғамы
АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ

Электрмен жабдықтау және энергияның жаңғыртылатын көздері кафедрасы

Электр энергетика факультеті

Қорғауға жіберілді
ЭЖжЭЖК кафедрасы меңгерушісі
Ефимова О.Н., т.ғ.к., доцент

«_____» _____ 2017 ж.

МАГИСТЕРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ
түсіндірме жазбасы

Тақырыбы: Синхронды айналатын үш қозғалтқышты асинхронды
электр жетегін құру

Магистрант Омаров С.Т. МНВИЭнп-14
қолы (аты-жөні) тобы

Диссертация жетекшісі Тергемес К.Т.
қолы т.ғ.к., доцент (аты-жөні)

Пікір білдіруші Джаманбаев М.А.
қолы т.ғ.к., доцент (аты-жөні)

Алматы, 2017 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Коммерциялық емес акционерлік қоғамы
АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ

Электр энергетика факультеті

6M071800 – Электр энергетика мамандығы

Электрмен жабдықтау және энергияның жаңғыртылатын көздері кафедрасы
магистрлік диссертацияны орындауға

ТАПСЫРМА

Магистрант Омаров Саят Танирбердиұлы
(аты-жөні)

Диссертация тақырыбы Синхронды айналатын үш қозғалтқышты асинхронды
электр жетегін құру

университеттің Ғылыми кеңесінің № ____ « ____ » _____ бұйрығы
бойынша бекітілген

Аяқталған диссертацияны тапсыру уақыты « ____ » _____ 2017 ж.

Зерттеу мақсаты: автоматты реттеудің эффективті жүйесін жасау мен зерттеу,
синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің
эксплуатациялық мүмкіндіктерінің техникалық деңгейін жоғарылату мен кеңейту
және оның микропроцессорлық
басқарылуы.

Диссертациядағы әзірленуі тиіс мәселелер тізім немесе диссертацияның қысқаша
мазмұны:

Кіріспе. 1 Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі
жүйесінің қазіргі жағдайы 2. Синхронды айналатын көп қозғалтқышты
асинхронды электр жетегі математикалық моделі мен компьютерлік моделдеу. 2.3.
Ортақ роторлы байланысы және жиілік түрлендіргіші бар көп қозғалтқышты
асинхронды электр жетегін моделдеу. 3. Микропроцессорлық басқарылуымен қысқа
тұйықталған қозғалтқышы бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін
жасау мен зерттеу.

Негізгі ұсынылатын әдебиеттер

1. Тергемес К.Т. Многодвигательные асинхронные электроприводы чесальных
аппаратов с тиристорными преобразователями напряжения. Алматы. КБТУ, 2007.
– 104 б. 3. Тергемес К.Т. Технологические особенности процесса чесания шерсти на
многопрочесных чесальных аппаратах. Тауар, №2, 1998, 29-31 б.4. 2. Чиликин М.Г.,
Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – Л.: Энергоатомиздат, 1981. – 529 с. 3.
Кацман М.М. Электрические машины. – М.: Академия,
2006.

магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

№	Тарау аттары, әзірленетін сұрақтардың тізімі	Жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
1	Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі жүйесінің қазіргі жағдайы	29.10.2015 ж.	орындалды
1.2	Электрлік білігі бар көп қозғалтқышты электр жетегі	18.12.2015 ж.	орындалды
1.3	Электр жетектеріне қойылатын жалпы талаптар	25.02.2016 ж.	орындалды
2	Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі математикалық моделі мен компьютерлік моделдеу	15.05.2016 ж.	орындалды
2.1	Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі математикалық моделі	16.07.2016ж.	орындалды
2.2	Ортақ роторлы байланысы бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін компьютерлік моделдеу	13.10.2015 ж.	орындалды
2.3	Қысқа тұйықталған қозғалтқышы бар синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін компьютерлік моделдеу	29.02.2017 ж.	орындалды
3	Микропроцессорлық басқарылуымен қысқа тұйықталған қозғалтқышы бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін жасау мен зерттеу	20.04.2017 ж.	орындалды
3.1	Өндірістік логикалық контроллері бар КҚАЭЖ-нің басқарудың программалық жабдықтауын жасау	02.06.2017 ж.	орындалды

Тапсырманың берілген уақыты « 18 » 01 2016ж.

Кафедра меңгерушісінің м.а. Ефимова О.Н. т.ғ.к. доцент Ефимова О.Н.
(қолы) (аты-жөні)

Диссертация жетекшісі Тергемес К.Т. т.ғ.к., доцент Тергемес К.Т.
(қолы) (аты-жөні)

Орындалатын тапсырманы қабылдаған магистрант Омаров С.Т.
(қолы) (аты-жөні)

Аңдатпа

Бұл диссертациялық жұмыста қолданыста жүрген электрлік және механикалық байланысы бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетектері анализделініп қарастырылды. Қозғалтқыштардың айналу жылдамдығының реттеу диапазонын кеңейту мен біліктегі жүктеменің айырымын реттеу мақсатында, ары қарай зерттеу синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетектерін микроконтроллермен басқару қарастырылды. MATLAB қолдаңбалы бағдарламасы пайдалана отырып, көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің математикалық моделдерін әр түрлі режимдерде зерттеулер нәтижелеріне сүйене отырып, асинхронды электр жетегінің физикалық моделін микропроцессорлық басқару тиімділігі қарастырылды

Аннотация

В этой диссертационной работе анализированы существующие многодвигательные асинхронные электроприводы с электрическими и механическим связями. Для дальнейшего исследования обосновано и принято микроконтроллерное управление многодвигательных асинхронных электроприводов синхронного вращения с преобразователями частоты, с целью расширения диапазона регулирования скоростей и разности нагрузок на валах двигателей. Используя прикладную программу MATLAB были созданы математические модели многодвигательного асинхронного электропривода. Опираясь на результаты исследования математической модели было создано и исследовано физическая модель трехдвигательного асинхронного электропривода синхронного вращения с микропроцессорным управлением

Annotation

In this the dissertation work existing multi-motor asynchronous electric drives with electrical and mechanical connections are analyzed. For further research, the microcontroller control of multi-motor asynchronous electric drives of synchronous rotation with frequency converters is justified and accepted, in order to expand the range of speed regulation and the load difference on motor shafts. Using the MATLAB application program, mathematical models of a multi-motor asynchronous electric drive were created. Based on the results of the study of the mathematical model, the physical model of a three-motor asynchronous electric drive of synchronous rotation with microprocessor control

Мазмұны

Кіріспе.....	6
1 Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі жүйесінің қазіргі жағдайы.....	7
1 Механикалық білігі бар көп қозғалтқышты электр жетегі.....	7
2 Электрлік білігі бар көп қозғалтқышты электр жетегі.....	9
1.3 Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі өндіріс салаларында.....	13
1.4 Электр жетектеріне қойылатын жалпы талаптар.....	16
Қорытынды.....	19
2 Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі математикалық моделі мен компьютерлік моделдеу.....	20
2.1 Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі математикалық моделі.....	21
2.2 Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі жеңілдетілген моделі.....	24
2.3 Ортақ роторлы байланысы бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін компьютерлік моделдеу.....	25
2.4 Ортақ роторлы байланысы және жиілік түрлендіргіші бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін моделдеу.....	30
2.5 Қысқа тұйықталған қозғалтқышы бар синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін компьютерлік моделдеу.....	39
Қорытынды.....	43
3 Микропроцессорлық басқарылуымен қысқа тұйықталған қозғалтқышы бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін жасау мен зерттеу.....	44
3.1 Жиілік түрлендіргіші бар КҚАЭЖ өндірістік логикалық контроллермен жасау.....	46
3.2 FCI типті жиілік түрлендіргіштер.....	59
3.3 ПЛК 63 өндірістік контроллері және энкодерлер.....	62
3.4 Өндірістік логикалық контроллері бар КҚАЭЖ-нің басқарудың программалық жабдықтауын жасау.....	67
Қорытынды.....	70
Қысқартулар тізімі.....	71
Пайдаланған әдебиеттер тізімі.....	72

Кіріспе

Әр түрлі механизмдердің асинхронды электржетектерін синхронды айналдыру үшін электр білігі қолданылады. Ал оның бір түрі «жұмысшы электр білігі» жүнтүткіш аппараттардың, вибростолдардың, су шлюздерінің т.б. электржетегі ретінде қолданылған. Бірақ ЖЭБ жүйесіндегі электрқозғалтқыштар өздерінің номиналды жылдамдықтарының төмен айналады, әрі механикалық сипаттамаларының қатандығы, яғни статикалық режимде айналу тұрақсыздығы бұл жүйенің кемшілігін көрсетеді. Соңғы кезде мамандардың ЖЭБ жүйесін жетілдіру нәтижесінде көп қозғалтқышты электржетегі жүйесі құрылды.

Осы еңбекте ЖЭБ жүйесін жетілдіру үшін қолданған кернеу түрлендіргіштер, импульсті реттегіштер, жиілік түрлендіргіштер ЖЭБ жүйесіне қандай артықшылықтар әкелетіні толық қамтылған.

Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі жүйесін толықтай зерттеу мақсатында оның математикалық моделі мен физикалық моделі салыстырылып зерттелінеді. Математикалық моделін құруда кеңістіктегі есептеу шарттары негізге алына отырып негізгі параметрлерін есептейді. Осы параметрлер бойынша MATLAB бағдарламасында параметрлері физикалық модеоге жақын вртуалды моделін аламыз. Алынған үш қозғалтқышты асинхронды электр жетегктің моделінің қозғалтқыштары білігіне әр түрлі жүктеме беру арқылы олардың бұрыштық жылдамдықтары мен айналу моменттерінің қалай өзгеретінін көре аламыз. Эксперимент ортақ жиілік түрлендіргіші бар және жеке жиілік түрлендіргіші бар үш қозғалтқышты асинхронды электр жетегі жүйесіне үш режимде жүргізілетін болады: қалыпты, асқын жүктелу, жүктемені арттыру режимдері.

1 Бөлім. Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі жүйесінің қазіргі жағдайы

Өзара байланысқан көп қозғалтқышты асинхронды қозғалтқыштар күрделі сызықсыз басқару объектілері болып табылады, сондықтан керекті сипаттамамен көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін жасау үшін күрделі басқару жүйесі керек. Сол себепті синхронды айналатын көп қозғалтқышты реттелетін асинхронды электр жетегін жасау мен енгізу күштік электроника мен энергия түрлендіргіштері, микропроцессорлық техника мен айнымалы ток машиналарының математикалық теориясының дамуымен тығыз байланысты.

Шапшаң дамып жатқан күштік электроника және оның қамтитын облыстары 3-5 жыл сайын жаңарып, осы салада өзгерістер болып тұрады.

1.1 Механикалық білігі бар көп қозғалтқышты электр жетегі

Екі немесе одан да көп қозғалтқыштардың біліктерін механикалық жалғаған кезде статикалық режимде олардың бұрыштық жылдамдығы бірдей болады, ал электр жетегімен өсетін нәтижелік момент:

$$M = M_1 + M_2 + \dots + M_n = \frac{M_{k1}}{w_{01}} (w_{01} - w) + \frac{M_{k2}}{w_{02}} (w_{02} - w) + \dots + \frac{M_{kn}}{w_{0n}} (w_{0n} - w) \quad (1.1)$$

немесе

$$M = |\beta_1|(w_{01} - w) + |\beta_2|(w_{02} - w) + \dots + |\beta_n|(w_{0n} - w) \quad (1.2)$$

мұнда $|\beta_1|, |\beta_2|, |\beta_n|$; w_{01}, w_{02}, w_{0n} – механикалық сипатаманың қатаңдық модулі және сәйкесінше әр қозғалтқыштың бос жүрісінің бұрыштық жылдамдығы.

1.2 - формуладан екі қозғалтқышты электр жетектің механикалық сипаттамасын табамыз:

$$w = \frac{w_{01}|\beta_1| + w_{02}|\beta_2|}{|\beta_1| + |\beta_2|} - \frac{M}{|\beta_1| + |\beta_2|} \quad (1.3)$$

1.1-ші суреттерінде жұқа сызықпен тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының механикалық сипаттамасы көрсетілген. Әрбір өзара байланысқан қозғалтқыш мынандай сипаттамаға ие: $[w = f(M_{1,2})]$. Жтектің нәтижелік сипаттамасы $w = f(M)$ қалың сызықпен көрсетілген:

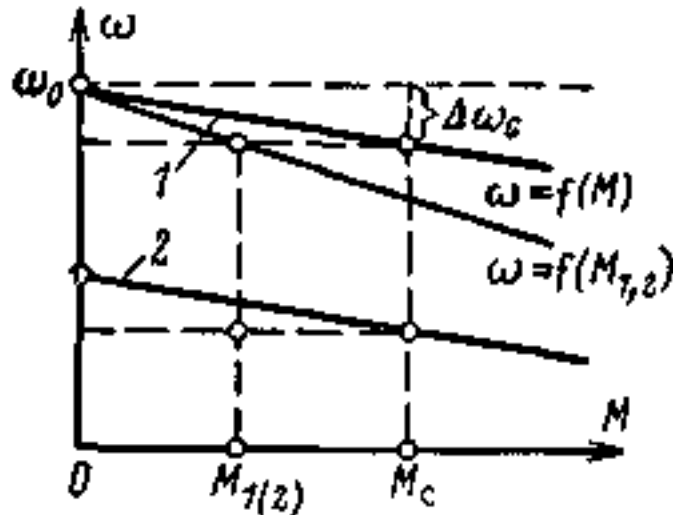
$$w_{01} = w_{02} ,$$

ал $|\beta_1| = |\beta_2|$ болғандықтан:

$$w = w_0 - M/2|\beta_1| \quad (1.4)$$

мұнда $w_0 = w_{01} = w_{02}$; $\beta_1 = \beta_2$.

1.3 - формуладан жетектің нәтижелік сипаттамасы w_0 нүктесі арқылы өтеді, нәтижелік сипаттамасының қатаңдығы жеке қозғалтқыштардың қатаңдығының суммасына тең.



1.1 сурет - Екі қозғалтқышты тұрақты тоқ жетегінің механикалық сипаттамасы

1.1 – суретте көрсетілгендей, жүктеме моменті $M = M_c$ екі қозғалтқыштың ортасында бірдей бөлінеді және олар бірдей жүктелген болып шығады.

Өзара байланысқан жетек реттелетін және реттелмейтін болуы мүмкін. Мысалы, егер тәуелсіз қоздыруы бар екі тұрақты тоқ қозғалтқышы параллельді жалғанса және жетектің жылдамдығын реттеу керек болса, онда берілген кернеуді өзгерту арқылы қол жеткізуге болады немесе басқа да белгілі әдістермен реттеуге болады. Төмендетілген кернеудегі жетектің 2 нәтижелік механикалық сипаттамасы 1-ші сипаттамаға параллель (1.1 сурет). Төменгі бұрыштық жылдамдықта және жетектің бірдей параметрлерінде жүктеменің бөлінуі де бірдей болады.

Механикалық біліктің тапсырмасы қашықтықта айналыс беру болып табылады. Мұндайда біліктің ұштарындағы айналу жылдамдығы бірдей. Осы уақытта берілетін айналу моментіне тәуелді біліктің бұралуы пайда болып, оған байланысты белгілі бір бұралу бұрышы орнатылады.

Осыған ұқсас жағдай «Электр білігі» жағдайында да байқалады. Мұнда механикалық біліктің орнына контактылы сақиналары бар екі асинхронды машиналар қолданылады, осының арқасында электрлік байланыс көмегімен олар келісімді айналады және қажетті айналу моментін электромагнитті жолмен береді. Электр білігі машиналарының арасында байланыстырушы

сымдардан басқа механикалық байланыстырушы элементтердің ешқайсысы жоқ.

Электр білігі жүйесінде контактылы сақиналары бар, орамдар мен фаза саны, кернеуі бірдей кез келген асинхронды машиналардың әрқайсысы жарамды. Көп жағдайда электр білігінің екі машинасының статоры мен роторында да үшфазалы ток орамдары бар; сонымен қатар тек статорда немесе роторда ғана үшфазалы орамдары бар машиналар да қолданылады, бұл уақытта машинаның басқа бөлігі бірфазалы ораммен және кейбір жағдайларда біріншіге қатысты 90° эл. ығысқан қосымша ораммен жабдықталған.

Электр білігінің жұмыс істеу принципін келесі түрде сипаттауға болады. Электр білігінің екі машинасында торап бірдей жиілікті, бірдей уақыттық және кеңістіктік фазалы жылжуы бар көлемі бойынша бірдей магнитті өрісті бағыттайды. Егер статор және ротор орамдарының қатыстық орналасуы екі машинада да бірдей болса, онда ротор орамдарында фаза бойынша сәйкес бірдей көлемді кернеу индукцияланады. Сондықтан оларды ротор тізбегінде ешқандай ток ақпайтындай етіп қосуға болады. Егер де ротордың біреуін белгілі бір бұрышқа бұрасақ, онда екі машинаның ротор кернеулері бір-біріне қатысты фаза бойынша жылжиды.

Кернеулер айырымы ΔU теңгеру токтарын тудырады, олардың магнитті өріспен өзара әсері айналу моменттерінің пайда болуына әкеледі. Бұл айналу моменттерінің бағыты өзінің пайда болу себебін жоюға және осыдан кейін механикалық біліктердің бұраушы моменттеріне ұқсас роторды алғашқы қалпына бұрауға ұмтылған.

Роторда пайда болатын токтар негізінен роторлар тізбегі таралуының реактивті кедергісімен шектеледі. Сондықтан ток ΔU қатысты ығысқан және теңестіру моменттерін тудырады. Яғни таралудың реактивті кедергісі «білік» қасиетінің пайда болуына да қатысады.

Роторлар кернеуі айналу жылдамдығына тәуелді және роторлар айналу өрісімен синхронды айналғанда жоғалады, яғни айналу моменттері айналу жылдамдығына да тәуелді және роторлардың өріспен синхронды айналуында жоғалады.

1.2 Электрлік білігі бар көп қозғалтқышты электр жетегі

Механикалық біліктің тапсырмасы қашықтықта айналыс беру болып табылады. Мұндайда біліктің ұштарындағы айналу жылдамдығы бірдей. Осы уақытта берілетін айналу моментіне тәуелді біліктің бұралуы пайда болып, оған байланысты белгілі бір бұралу бұрышы орнатылады.

Осыған ұқсас жағдай «Электр білігі» жағдайында да байқалады. Мұнда механикалық біліктің орнына контактылы сақиналары бар екі асинхронды машиналар қолданылады, осының арқасында электрлік байланыс көмегімен олар келісімді айналады және қажетті айналу моментін электромагнитті жолмен береді. Электр білігі машиналарының арасында байланыстырушы

сымдардан басқа механикалық байланыстырушы элементтердің ешқайсысы жоқ.

Электр білігі жүйесінде контактылы сақиналары бар, орамдар мен фаза саны, кернеуі бірдей кез келген асинхронды машиналардың әрқайсысы жарамды. Көп жағдайда электр білігінің екі машинасының статоры мен роторында да үшфазалы ток орамдары бар; сонымен қатар тек статорда немесе роторда ғана үшфазалы орамдары бар машиналар да қолданылады, бұл уақытта машинаның басқа бөлігі бірфазалы ораммен және кейбір жағдайларда біріншіге қатысты 90° эл. ығысқан қосымша ораммен жабдықталған.

Электр білігінің жұмыс істеу принципін келесі түрде сипаттауға болады. Электр білігінің екі машинасында торап бірдей жиілікті, бірдей уақыттық және кеңістіктік фазалы жылжуы бар көлемі бойынша бірдей магнитті өрісті бағыттайды. Егер статор және ротор орамдарының қатыстық орналасуы екі машинада да бірдей болса, онда ротор орамдарында фаза бойынша сәйкес бірдей көлемді кернеу индукцияланады. Сондықтан оларды ротор тізбегінде ешқандай ток ақпайтындай етіп қосуға болады. Егер де ротордың біреуін белгілі бір бұрышқа бұрасақ, онда екі машинаның ротор кернеулері бір-біріне қатысты фаза бойынша жылжиды.

Кернеулер айырымы ΔU теңгеру токтарын тудырады, олардың магнитті өріспен өзара әсері айналу моменттерінің пайда болуына әкеледі. Бұл айналу моменттерінің бағыты өзінің пайда болу себебін жоюға және осыдан кейін механикалық біліктердің бұраушы моменттеріне ұқсас роторды алғашқы қалпына бұрауға ұмтылған.

Роторда пайда болатын токтар негізінен роторлар тізбегі таралуының реактивті кедергісімен шектеледі. Сондықтан ток ΔU қатысты ығысқан және теңестіру моменттерін тудырады. Яғни таралудың реактивті кедергісі «білік» қасиетінің пайда болуына да қатысады.

Роторлар кернеуі айналу жылдамдығына тәуелді және роторлар айналу өрісімен синхронды айналғанда жоғалады, яғни айналу моменттері айналу жылдамдығына да тәуелді және роторлардың өріспен синхронды айналуында жоғалады.

1.2.1 Теңестіргіш электр білігі бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі (КҚАЭЖ)

Бір-бірінен тәуелсіз орнатылған екі жетекті қозғалтқыштың әрқайсысы өз жүктемесіне жұмыс істейді. Екі машиналы агрегат контактылы сақиналары бар асинхронды машиналармен байланысқан, олардың статорлары мен роторлары өзара электрлік байланыста. Бұл электр білігі орындалуының негізгі қалпы. Электрқозғалтқышының кез келген типі және басқа да күштік машиналар жетекті қозғалтқыштар бола алады. Электр білігі машиналарын екі топ машиналардың да айналу моменттерінің көбірек айырымдарын бере алатындай есептеу керек. Яғни электр білігі машиналарының габаритті қуаттары қажетті жүктемелі моменттердің абсолютті көлемі бойынша таңдалмайды.

Егер жетекті екі қозғалтқыштың жүктемелері әрқашан жуық өзгермеген болса, онда электр білігі машиналары қатысты үлкен емес таңдалуына болады. Кейбір жағдайларда бір жетекті қозғалтқыштың істен шығуында келісімді айналу сақталуы үшін көрсетіледі. Бұл жағдайда сәйкес электр білігі машиналарының одан да үлкендері керек.

Электр білігінің осындай орындалуына мысал ретінде көпірлік кранның жүрістік жетегі сұлба түрінде бейнеленген. Көпірдің екі жағының да жүрістік механизмі жетекті қозғалтқыш және теңестіргіш машинамен байланысқан. Қозғалыстың әр түрлі кедергілерінде қажетті жетекті моменттердің айырымы электр білігі машиналарымен теңестіріледі.

Басқа мысал ретінде гидроэлектростанцияның подпорлы сатысының бөгетін алуға болады. Мұнда жапқылар жеке электрқозғалтқыштарымен іске қосылады. Әр жетекті қозғалтқыш тағы бір асинхронды машинамен байланысқан және де бір жапқы қатысты келісімді айналмалы машиналар электр теңестіру білігі ретінде жұмыс істейді. Мұнда машиналар сәйкес жетекті қозғалтқыштың істен шығуы жағдайында да келісімді жұмыс істеуін қамтамасыз етуге есептелген.

1.2.2 Жұмысшы электр білігі бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі (КҚАЭЖ)

Электр білігі машиналары жетекті қозғалтқыштың функцияларын және айналу моменттерін теңестіруді бір уақытта орындай алады ма деген сұрақ туады. Мұндай қондырғы әбден мүмкін, егер электр білігінің қозғалтқыштар роторларының тізбегіне жұлдыз түрінде жалғанған жалпы кедергіні қоссақ. Осы жүйедегі айналу моментінің пайда болу принципін қысқаша қарастырайық. Теңестіргіш электр білігі машиналары бірдей жылдамдықпен айналғанда және олардың роторлар орамдарының осьтері бірдей кеңістікті орын алғанға дейін ешқандай айналу моментін мүлдем туғызбайды. Мұндайда қозғалыс күйлері индукцияланған кернеу роторларында бірдей фазаға ие.

Ротор тізбегінде екі машинаның да біратты фазалары қарсы қосылғандықтан кернеулері өзара жойылады. Роторлары нүктесізденеді және айналу моменті пайда болмайды. Сонымен теңестіргіш электр білігі айналу моментін тек машинаның екі тобының да роторлар кернеулерінің фазалары сәйкес болмағанда ғана тудырады.

Жұмысшы электр білігі жағдайында жеке жетекті қозғалтқыштары болмайды. Сондықтан қозғалтқышты айналу моменті екі жүктемелік момент өзара абсолютті тең болғанда және роторлардың фазалық кернеулерінің айырымы жойылғанда пайда болатындай жағдайды қамтамасыз ету қажет. Мұны жалпы роторлы кедергі көмегімен жүзеге асыруға болады.

Электр білігінің әр машинасы мұндайда ротор орамы кедергіге қосылған контактылы сақиналары бар қалыпты электр қозғалтқышы ретінде айналу моментін тудырады. Осымен қатар айналу моменттерін теңестіру қасиеттері де сақталады, өйткені роторлар орамдарының арасындағы электрлік байланыс теңестіргіш білікте сияқты мұнда да сақталады.

Жұмысшы электр білігінің қолданылу аймағының табиғи шекаралары бар. Айнарудың жұмыс жылдамдығы электр білігі машиналары өрісінің синхронды айналу жылдамдығының 80-90%-інен аспауы керек, өйткені ротор тізбегіндегі синхронды айналу жылдамдығы кезінде ешбір кернеулер индукцияланбайды және сондықтан айналу моменттері пайда болмайды.

Жұмысшы электр білігінде роторлар кедергілерінің көлемі жүктемемен өрістің синхронды айналу жылдамдығымен қажетті дистанция сақталатындай келісімді болу керек.

Сипатталған қондырғы жуық тұрақты жүктемелі моменті бар бірқатар жетектер үшін өзін жақсы көрсетті. Мысалы, көтеру крандары, көпірлік крандар үшін және кейбір жағдайларда станокты құрылғылар үшін де. Әсіресе ол жиірек текстильді өндірістегі түту агрегаттары жетегі үшін қолданылады.

Жұмысшы білікке қарағанда теңестіргіш білікті таңдау жүктеме тербелісі аса үлкен немесе ротор кедергілерінде пайда болатын қосымша шығындар экономикалық тиімсіз болған жағдайлардың барлығында жүзеге асады.

1.2.3 Дистанционды электр білігі бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі (КҚАЭЖ)

Теңестіргіш электр білігінің арнайы түрлерінің бірі – дистанционды электр білігі – аса маңызды орын алады. Жиі тәжірибеде қосымша жетекті бас жетекпен келісімді жұмысын қамтамасыз ету қажеттілігі туады. Мысалы, токарлы станоктарға жиі суппортты беру жылдамдығы бас жетектің айналу жылдамдығымен тұрақты сәйкес болуы қажет, бұл резьба дәл кесу үшін қажет. Шпиндель мен суппорттың жетек қуаттарының айырмашылығы үлкен болғандықтан, суппорт үшін индивидуалды жетекті қозғалтқыш тіпті қарастырылмаған және суппорттың орын ауысуына қажет барлық қуат дистанционды электр білігі арқылы беріледі.

Білік машиналарының біреуі – датчик бас жетекті қозғалтқышпен байланысқан, ал басқасы – қабылдағыш – суппортпен байланысқан. Мұнда біз датчик және қабылдағыш туралы айтамыз, өйткені дистанционды электр білігі жағдайында теңестіргіш білікке қарама-қарсы ретінде энергия ағынының өзгермейтін бағыты қарастырылған. Датчик қажетті қуатты негізінен бас жетектен алады. Қабылдағыш қозғалтқыш сияқты жүктемені айналдырады. Токарлы станокта датчик пен қабылдағыштың орналасуын көрсетеді.

Дистанционды электр біліктері текстиль және қағаз өндірісінде, сонымен бірге басқа да көптеген өндірістерде жиі қолданылады.

Мұндай қондырғы жуық тұрақты жүктемелі моменті бар бірқатар жетектер үшін өзін жақсы көрсетті. Мысалы, көтеру крандары, көпірлік крандар үшін және кейбір жағдайларда станокты құрылғылар үшін де. Біршама кемшіліктері (әлсіз синхронизациялау мүмкіндігі, тербеліске бағынышты және төмен энергетикалық көрсеткіштері) болса да, ол әсіресе жиірек текстильді өндірістегі түту агрегаттары жетегі үшін қолданылады.

Сонымен қатар қазіргі уақытта реттелетін синхронизациялау моменті бар көпқозғалтқышты электржетектері қолданылған түту аппараттары тәжірибелі еш жерде жоқ.

Автоматтандырылған электржетектің осы берілген қадамында жұмысшы электр білігі жүйесінің техника-экономикалық көрсеткіштерін біршама жақсарту, жоғары синхронизациялау мүмкіндігі бар көпқозғалтқышты электржетек жүйесін өңдеу және қозғалтқыштардың айналу жылдамдығын автоматты реттеу мүмкіндіктері туады.

1.3 Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі (КҚАЭЖ) өндіріс салаларында

Мұндай қондырғы жуық тұрақты жүктемелі моменті бар бірқатар жетектер үшін өзін жақсы көрсетті. Мысалы, көтеру крандары, көпірлік крандар үшін және кейбір жағдайларда станокты құрылғылар үшін де. Біршама кемшіліктері (әлсіз синхронизациялау мүмкіндігі, тербеліске бағынышты және төмен энергетикалық көрсеткіштері) болса да, ол әсіресе жиірек текстильді өндірістегі түту агрегаттары жетегі үшін қолданылады.

Сонымен қатар қазіргі уақытта реттелетін синхронизациялау моменті бар көпқозғалтқышты электржетектері қолданылған түту аппараттары тәжірибелі еш жерде жоқ.

Автоматтандырылған электржетектің осы берілген қадамында жұмысшы электр білігі жүйесінің техника-экономикалық көрсеткіштерін біршама жақсарту, жоғары синхронизациялау мүмкіндігі бар көпқозғалтқышты электржетек жүйесін өңдеу және қозғалтқыштардың айналу жылдамдығын автоматты реттеу мүмкіндіктері туады.

Қазіргі кезде жұмыс істеп тұрған отандық және шетелдік өндірістің көптараулы түту аппараттарында электржетек ретінде негізінен «жұмысшы электр білігі» (ЖЭБ) жүйесі пайдаланылады, оның кейбір мәнді кемшіліктері бар, олар әлсіз синхронизациялау қабілеттілігі, тербелістерге жақындығы және төмен энергетикалық көрсеткіштер. Сонымен қатар, қазіргі таңда реттелетін синхронизациялау моменті бар көп қозғалтқышты электржетектері пайдаланылатын отандық және шетелдік өндірістің түту аппараттары тіпті жоқ.

«ТЕСКТИМА», «ПЛАТТ», «БЕФАМА» және «ТЕМАТЕКС» фирмаларымен шығарылатын екі, үш тараулы аппараттардың көбісі трансмиссиялық білік арқылы түту аппараттарының жұмыс органдарымен байланысты бір қозғалтқышты электржетекпен жабдықталған. Гарнитураны тазалау, толтыру кезінде жылдамдықты реттеу үшін арнайы вариаторлар қолданылады. Жұмыс органдарының синхронизациясы редукторлар және белдікшелі берушілер көмегімен қамтамасыз етіледі. Бірақ та, түту аппараттарының құрамына кіретін жеке түту машиналары бір-бірінен 8-12 метр қашықтықта орналасқан, ол ұзындығы мен диаметрлерін көбейту, тіректі

мойынтіректердің санын өсіру және т.б. қажеттілігінен механикалық біліктерді қолдануды қиындатады. Бірнеше индивидуалды жетектерді қолдану кезінде (мысалы, ЧТ-2Ш, ЧТ-3Ш және т.б.) олардың келісілген жұмыстарының шарттары қолданылатын электржетектерінің ұқсастығы есебінен қамтамасыз етіледі. Айналу жиіліктерінің келісушілігі жүктеулердің әр түрлілігіне байланысты, ол әдетте технологиялық себептер бойынша эксплуатация кезінде тұрақсыз. Келісілген айналуға қатысты талаптарды, орнатылған (түту үрдісі), және де өткізу (іске қосу, тежелу) режимінде де таза электрлік әдіспен орындауға болады. Мысалы, «БЕФАМА» , «ТЕКСИМА» фирмаларының түту аппараттарында және «ОРЕЛТЕКМАШ» зауытының аппараттарында ЭЖБ жүйесі қолданылады. Қозғалтқыш біліктеріндегі жүктемелердің әртүрлі мәндерінде олардың роторларының қосылған орамаларының арасында теңгермелі токтар өтеді, олар статорлардың магнитті алаңдарымен өзара әрекеттесе отырып, біліктердің келіспеуін азайтуға септігін тигізетін теңестіргіш моменттерін құрайды. Бұл түту аппараттарының электржетектері, мысалы, CR-24, CR- 33, Н-372, АЧ-220-Ш, АЧ-221-Ш және біздің еліміздің шұға комбинаттарында пайдаланылатын тағы да басқалар.

Түту агрегаттарының құрамына үш машина кіреді:

- самовестен, тарауалдыдан, бірінші негізгі тараудан, сығу біліктері және таспа құраушыдан тұратын бірінші машина;
- таспа төсеушіден, екінші негізгі тараудан және таспа құраушыдан тұратын екінші машина;
- таспа төсеушіден, үшінші негізгі тараудан және ровницалы күймешеден тұратын үшінші машина.

Машиналардың әрқайсысы үш қозғалтқышты бірегей жүйесіне біріктірілген ЖЭБ жеке электрқозғалтқышымен қозғалысқа келтіріледі. Машина құрылымындағы агрегаттың типіне байланысты жұмыс механизмдерінің құрамында өзгерістер болуы мүмкін: өлшеудің, алынбалы және қоректенуші біліктердің және т.б. ерекше құрылуы. «БЕФАМА» фирмасының түту агрегатында ЖЭБ жүйесінің сатылы іске қосылуынан басқа, электржетегінің жылдамдығының өзгеруі қарастырылған, басқарудың алып шығатын пульты бар.

Түту агрегатының электржетегінің ерекшелігі қозғалтқыш жылдамдықтарының синхронизациясы жұмысшы электр білігінің жүйесін пайдаланумен технологиялық параметрлері бойынша кері байланыстарды енгізусіз машиналардағы ішкі электрлік байланыстардың есебінен болады. Негізі мұнда айналу жиіліктерінің кері байланыстары бойынша тұрақты немесе айнымалы ток қозғалтқыштарының кез келген бақылаушы жүйесін қолдануға болады.

Бірақ та ЖЭБ жүйесінің айналу жылдамдықтарының синхронизациясының басқа жүйелері алдында біршама артықшылығы бар, оның мәні мұндай жүйелердің эксплуатациясының барлық талаптарын орындау кезіндегі жұмыстың сенімділігі мен үнемділігі, эксплуатациясы мен қарапайымдылығы.

ЖЭБ жүйесі бойынша көп қозғалтқышты электржетектерінің негізгі талаптары – пайдаланылатын қозғалтқыштар мен біліктердегі олардың жүктемелерінің параметрлерінің ұқсастығы. Сонымен қатар, жұмыс жылдамдықтарының диапазондарының шектелуі және өткізу үрдістерінің режимдеріне белгілі бір талаптар қойылады. Технологиялық параметрлердің электржетек жұмысы салдарынан әсері минималды, ол қозғалтқыштардан GD^2 артатын маховик моменттері (GD^2) бар тараулардың жұмыс дабылдарының қатысты үлкен инерциялығы салдарынан. Бірақ та қуаты 5,5 кВт болатын ЖЭБ жүйесінің қозғалтқыш біліктеріндегі мұндай үлкен инерциялық жалпы агрегатты іске қосу мен тоқтататын негізгі талаптарды ерекшелейді. Жүйенің іске қосылуы шамамен 60с.

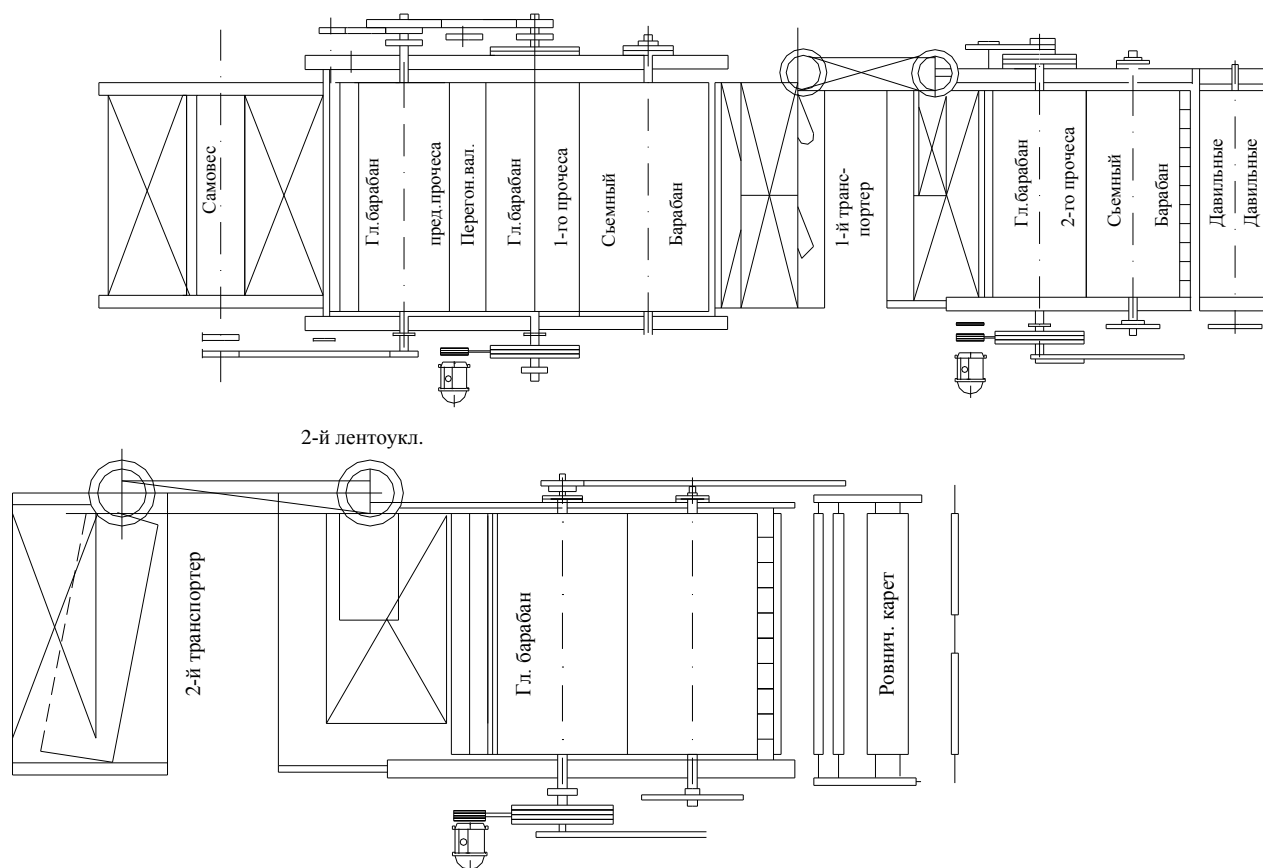
Түту агрегатының технологиялық үрдістерінің талаптарын ескере отырып, түту агрегатының жетекті қозғалтқыштарының ерекшеленетін жүктемелі массаларында жұмысы үшін реттелетін екі қозғалтқышты ЖЭБ сызбаларының бірнеше варианттары жасалған. Сызбалар синхрондалатын момент пен айналу жиілігін басқарудың кейбір элементтерін қоса отырып, қолда бар электржетегінің минималды өзгерістерін қарастырады. Түту аппаратының барлық жұмыс органдарының айналу жиілігін бір мезгілде реттеу кезінде оның өнімділігі ровница қозғалысының жылдамдығына сәйкес қажетті деңгейде өзгереді және бұл жағдайда берілетін шикізаттың қажетті санын ұстана отырып, қоректенуші біліктердің жылдамдығын жеке реттеу қажет. Соның салдарынан қоректенуші біліктердің басты алынбалы дабылдардың электржетек жүйесімен байланысты жеке реттеуші электржетегі болуы керек. Мұнда қоректенуші біліктердің жетектерін автоматты басқару және қолмен – оператордың тапсырысы бойынша болатынын қарастыру керек.

Біліктердің айналу жиілігінің өзгерісін автоматтандыру үшін агрегаттың шығу өнімінің сапасы бойынша жүйедегі кері байланыс қажет. Бірақта қазіргі уақытта автоматты реттеу жүйелерінде пайдалану мүмкін болатын ровница немесе таспа сапасының бергіші әзірше жоқ (мысалы, таспаның белгілі бар алаңының ақауларын электронды есептегіш немесе таспа қалыңдығын өлшеуіш). Сондықтан қазіргі сатыда сөз өңделетін материалдың типі мен сапасына байланысты тараулар дабылдарының жылдамдықтарын синхронды өзгертуге және осылайша ровницаның қажетті сапасын сақтай отырып максималды өнімділікке қол жеткізуге мүмкіндік беретін электржетектің ашылған АРЖ туралы болып отыр.

Бұл аппараттарда синхронды іске қосуға, синхронды жұмысқа және барлық түткіштердің бас барабандарының тоқтауына технологиялық талаптардың сақталуы синхронизация жүйесі болмауына байланысты қиындайды.

«CR-24» үштүткішті түту аппараттарының кинематикалық сұлбасы 1.1-суретте келтірілген. Әр түту машинасы ЖЭБ жүйесіне қосылған жеке қозғалтқыштан (M1, M2, M3) қозғалысқа келеді. Одан басқа бірінші қозғалтқыш үшін қосымша жүктеме болып өз салмағы, алдын ала түткіш,

бірінші транспортер; екіншісі үшін – басатын біліктер, (көп аппараттарда басатын біліктер бірінші қозғалтқышпен қозғалысқа келеді), екінші транспортер; үшіншісі үшін – ровничалы кареткалар.



1.2 сурет – Үштүткішті түту аппаратының кинематикалық сұлбасы

Электржетек жүйесі үш-төрт сатылы синхронды іске қосуды, фазалық роторы бар үш синхронды қозғалтқыштың синхронды жұмысын және статорларды ораудың симметриялық емес режимінде синхронды тежелуді қарастырады. Электржетектер екі, үш қозғалтқышты ЖЭБ жүйесінің классикалық сызбасын сипаттайды және түту құралдарының жұмыс механизмдерінің ерекшеліктерімен байланысты келесідей ерекшеліктері бар:

- қозғалтқыш біліктеріндегі үлкен инерциялық массалары (қозғалтқыш роторларының инерциялық массаларынан жүз есе асатын);
- әрбір тараудың қозғалтқыштарындағы әртүрлі жүктемелер;
- қозғалтқыштардың бір-бірінің орналасуынан және басқару шкафынан біршама алыстығы.

1.4 Электр жетектеріне қойылатын жалпы талаптар

Статистикалық зерттеу мәліметтерне қарағанда ленталық конвейерлердің тоқтауы мен электр қозғалтқыштардың істен шығуының негізгі себептері:

- технологиялық тізбек жүрісінде қозғалтқыштардың бірқалыпсыз жүктелуі;

- қозғалтқыштардың білігінде жүтеменің үлкеюі немесе кішіреюі, апаттық режимдегі лентаның үзілуіне және синхронды айнарудың үзілуіне байланысты.

Негізгі себептердің бірі электрлік сипатта, өйткені электр жетектері мен оның басқарылуының жетілмегеніне байланысты және қозғалтқыштардың өз біліктеріндегі бірыңғай емес жүктемелерді игере алмауы.

Конвейер тек біршама уақытан кейін ғана толық қуатта жұмыс істейді, себебі тау жыныстары бірден біркелкі берілмейді. Осының салдарынан конвейерлер толық қуатында жұмыс істемейді. Егер электр қозғалтқыштарының эффектілігі оның типіне, айналу жылдамдығына, қозғалтқыштың жүктелу уақытына және де қуатына байланысты екенін ескеретін болсақ, онда қозғалтқыштың жүктемесінің 50%-ға дейін төмендеуі, темірдегі шығындардың өсуіне байланысты оның эффектілігі жылдам төмендей бастайды.

Аналитикалық зерттеулердің нәтижелерін есере отырып, жасалынып отырған синхронды айналатын көп қозғалтқышты электр жетегі келесі талаптарға жауап беруі тиіс:

- электржетегі қозғалтқыштарының тегіс синхронды бастау мен синхронды тоқтауды қамтамасыз етуі тиіс;

- электр жетегі жүйесіндегі қозғалтқыштардың жылдамдықтарын сәйкесінше реттеу;

- динамикалық жұмыс жағдайларында және созылмалы жұмыс режимдерінде негізгі барабанның және басқа да таспалы жұмыс конвейерлер органдарын синхрондық айналуын қамтамасыз ету үшін электр жетегінің синхронизациялау қабілеті ұзартылады;

- конвейердегі электр қозғалтқыштарының жылдамдығын лентадағы тау жыныстарына байланысты реттеу энергия үнемділігін қамтамасыз етуі тиіс;

- қозғалтқыштарды жөндеу мен реттеу кезінде жеке жұмыс істеу мүмкіндігі;

- Асқын жүктелу мен тізбектегі қысқа тұйықталу кезінде қозғалтқыштармен басқару жүйесінің автоматты қорғанысы;

Машиналардың әрқайсысы үш қозғалтқышты бірегей жүйесіне біріктірілген ЖЭБ жеке электрқозғалтқышымен қозғалысқа келтіріледі. Машина құрылымындағы агрегаттың типіне байланысты жұмыс механизмдерінің құрамында өзгерістер болуы мүмкін: өлшеудің, алынбалы және қоректенуші біліктердің және т.б. ерекше құрылуы. «БЕФАМА» фирмасының түту агрегатында ЖЭБ жүйесінің сатылы іске қосылуынан басқа, электржетегінің жылдамдығының өзгеруі қарастырылған, басқарудың алып шығатын пульты бар.

Түту агрегатының электржетегінің ерекшелігі қозғалтқыш жылдамдықтарының синхронизациясы жұмысшы электр білігінің жүйесін пайдаланумен технологиялық параметрлері бойынша кері байланыстарды енгізусіз машиналардағы ішкі электрлік байланыстардың есебінен болады. Негізі мұнда айналу жиіліктерінің кері байланыстары бойынша тұрақты немесе айнымалы ток қозғалтқыштарының кез келген бақылаушы жүйесін қолдануға болады.

Бірақ та ЖЭБ жүйесінің айналу жылдамдықтарының синхронизациясының басқа жүйелері алдында біршама артықшылығы бар, оның мәні мұндай жүйелердің эксплуатациясының барлық талаптарын орындау кезіндегі жұмыстың сенімділігі мен үнемділігі, эксплуатациясы мен қарапайымдылығы.

ЖЭБ жүйесі бойынша көп қозғалтқышты электржетектерінің негізгі талаптары – пайдаланылатын қозғалтқыштар мен біліктердегі олардың жүктемелерінің параметрлерінің ұқсастығы. Сонымен қатар, жұмыс жылдамдықтарының диапазондарының шектелуі және өткізу үрдістерінің режимдеріне белгілі бір талаптар қойылады. Технологиялық параметрлердің электржетек жұмысы салдарынан әсері минималды, ол қозғалтқыштардан GD^2 артатын маховик моменттері (GD^2) бар тараулардың жұмыс дабылдарының қатысты үлкен инерциялығы салдарынан. Бірақ та қуаты 5,5 кВт болатын ЖЭБ жүйесінің қозғалтқыш біліктеріндегі мұндай үлкен инерциялық жалпы агрегатты іске қосу мен тоқтататын негізгі талаптарды ерекшелейді. Жүйенің іске қосылуы шамамен 60с.

Түту агрегатының технологиялық үрдістерінің талаптарын ескере отырып, түту агрегатының жетекті қозғалтқыштарының ерекшеленетін жүктемелі массаларында жұмысы үшін реттелетін екі қозғалтқышты ЖЭБ сызбаларының бірнеше варианттары жасалған. Сызбалар синхрондалатын момент пен айналу жиілігін басқарудың кейбір элементтерін қоса отырып, қолда бар электржетегінің минималды өзгерістерін қарастырады. Түту аппаратының барлық жұмыс органдарының айналу жиілігін бір мезгілде реттеу кезінде оның өнімділігі ровница қозғалысының жылдамдығына сәйкес қажетті деңгейде өзгереді және бұл жағдайда берілетін шикізаттың қажетті санын ұстана отырып, қоректенуші біліктердің жылдамдығын жеке реттеу қажет. Соның салдарынан қоректенуші біліктердің басты алынбалы дабылдардың электржетек жүйесімен байланысты жеке реттеуші электржетегі болуы керек. Мұнда қоректенуші біліктердің жетектерін автоматты басқару және қолмен – оператордың тапсырысы бойынша болатынын қарастыру керек.

3 бөлімде жасалынған жиілік түрлендіргіші бар синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетектері жоғарыдағы талаптарға толықтай жауап береді.

Қорытынды

Бірінші бөлімді қорытындылай келе, асинхронды қозғалтқыштардың барлық мүмкін болатын біліктердің байланысын талдап көрсетілді. Әрбірінің өзінің технологиялық ерекшелігіне байланысты, қолданылатын ортасы болады. Осы диссертациялық жұмыстың мақсатына сәйкес жұмысшы электр білігі жүйесінде синхрондаушы мүмкіндік жоғары екені анық көрінеді.

Қазіргі кезде жұмыс істеп тұрған отандық және шетелдік өндірістің көптараулы түту аппараттарында электржетек ретінде негізінен «жұмысшы электр білігі» (ЖЭБ) жүйесі пайдаланылады, оның кейбір мәнді кемшіліктері бар, олар әлсіз синхронизациялау қабілеттілігі, тербелістерге жақындығы және төмен энергетикалық көрсеткіштер. Сонымен қатар осы бөлімде көп қозғалтқышты асинхронды электр жетектеріне қойылатын талаптар атап көрсетілді.

2 Бөлім. Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі (СА КҚАЭЖ) математикалық моделі мен компьютерлік моделдеу

Әр түрлі энергия түрлендіргіштері бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетектерінде электромагниттік және электромеханикалық процестерді нақты сипаттау өзара байланысты үш өлшемді электрлік және магниттік тізбектерде, айнымалы магниттік өткізгіштігінің жиынтығынан қиындайды.

КҚАЭЖ-де қозғалтқыштар саны көп болған сайын, көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін сипаттау қиындай береді.

Модельдеудің неізгі мақсаты нақты жүйені, машина немесе оның онымен бірге байланыста болатын жеке элементтерін қоса алғанда нақты жүйенің қасиеті мен сипаттамасын беретін жүйені алу болып табылады.

Математикалық моделдеуде модель мен түпнұсқа физикалық табиғатымен ерекшеленеді, бірақ теңдеулер түрінде бірдей болып сипатталады. Басқару объектісінің математикалық моделі дегеніміз – алгебралық немесе дифференциалдық теңдеулер, теңсіздіктер, логикалық шарттар және т.б. объектіде жүріп жатқан процестің табиғатын түсіндіретін теңдеулер жүйесі.

Математикалық модельдің басты қасиеті оның құрылымдылығы, яғни зерттеліп отырған объектінің ең керек тұстарын көрсету болып табылады[9].

Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің виртуалды моделін жасаудағы неізгі мақсат, жұмыстың нәтижесінде алынған неізгі теоретикалық жағдайларды тексеру.

Қазіргі уақытта әр түрлі электромеханикалық жүйелерді зерттейтін және моделдейтін көптеген виртуалды программалар жасалынған. Қолданбалы пакеттер неізінде жасалынған заманауи компьютерлік технологиялар жартылай өткізгішті электр жетегін жобалауға байланысты сұрақтарды терең зерттеуге мүмкіндік береді.

Олар моделдеу технологиясын саны жағынан жетілдіруге, сапасы жағынан жақсартуға мүмкіндік береді және оны виртуалды әрекетке келтіреді. Осы виртуалды лабораторияда керекті зерттеулер жүргізу арқылы сапалы нәтижелер алу мүмкіндігі бар.

Бүгінгі күнде компьютерлік моделдеу қолданбалы техникалық пакеттерді меңгеру мен оның және компьютердің демонстрациялық мүмкіндіктерін пайдалану болып табылады. Сондықтан, қазіргі уақытта қолданушының программалау қабілетін қажет етпейтін, математикалық моделдеудің әр түрлі сатыларында кең тараған көптеген программалық өнімдер жасалынған.

Компьютерлік технологиялар нарығын талдау барысында, математикалық моделдеу программалық құралдарын анализдеп «Matlab» математикалық жүйесінің Simulink визуалды – имитациялық моделдеудің кеңітілген пакеті таңдалып алынды[11].

«Matlab» математикалық жүйесінің артықшылығы болып оның

қолданушыға өз кодтарына осы программалау тілінде еркін жұмыс істеуіне мүмкіндік беретін ашық архитектурасы.

Ол ғылыми техникалық есептер жасау мен программалаудағы ең үздік және жоғары эффектілі тілдерінің бірі, интуитивті көрнекі-бағдарланған талдау құралы, сәйкестендіру, құрылыс және модельдеу жүйелері және әр түрлі құрылғыларды программалауда өте ыңғайлы.

«Matlab» жүйесінің нұсқасы Simulink толықтырулар пакетімен бірге берілген, және динамикалық жүйелерді математикалық модельдеуге арналған жеке блоктардан (компоненттерден) тұрады. Ол көзбен бағдарланған бағдарламалау принциптерін жүзеге асырады, яғни ол қажетті блоктарын оңай теруге және жүйені немесе құрылғының моделін жасау мақсатында оларды қосуды жеңілдетеді.

Сонымен қатар, жүйелер немесе құрылғылар модельдерінің жұмысын сипаттайтын күрделі жағдай теңдеуі автоматты түрде жасалады.

2.1 Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі (СА КҚАЭЖ) математикалық моделі

ЖЭБ қозғалтқыштарының статор және ротор әр фазасының контурлары үшін жоғарыда келтірілген жіберілістер есебімен Максвелл теңдеулері әділетті болады:

$$\begin{aligned}
 U_{nsa} &= i_{nsa} R_1 + \frac{d\psi_{1nsa}}{dt}; \\
 U_{nsb} &= i_{nsb} R_1 + \frac{d\psi_{1nsb}}{dt}, \\
 U_{nsc} &= i_{nsc} R_1 + \frac{d\psi_{1nsc}}{dt}, \\
 U_{nra} &= i_{nra} R_2 + \sum_{n=1}^3 i_{nra} R_g + \frac{d\psi_{nra}}{dt}, \\
 U_{nrb} &= i_{nrb} R_2 + \sum_{n=1}^3 i_{nrb} R_g + \frac{d\psi_{nrb}}{dt}, \\
 U_{nrc} &= i_{nrc} R_2 + \sum_{n=1}^3 i_{nrc} R_g + \frac{d\psi_{nrc}}{dt}, \\
 &\dots
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

мұндағы n – қозғалтқыштар саны,

R_1, R_2, R_g – сәйкес статорлы, роторлы және жүйенің жалпы роторлы тізбектерінің кедергілері,

ψ – фазалардың ағын ілінісі.

Орамдардың ағын ілінісі машиналардың барлық орамдар токтарының өзара әсерімен анықталады. Мысалы, статор және ротордың бір А фазасы үшін:

$$\begin{aligned}\psi_{1nA} = & L_{1nA} * i_{1nA} + L_{11nAB} * i_{1nB} + L_{11nAB} * i_{1nc} + \\ & + L_{12nAa} * \cos \varphi_{nAa} * i_{2na} + L_{12Ab} * \cos \varphi_{nAb} * i_{2nb} + \\ & + L_{12nAc} * \cos \varphi_{nAc} * i_{2nc};\end{aligned}\quad (2.2)$$

$$\begin{aligned}\psi_{2na} = & L_{2na} * i_{1nA} + L_{12nab} * i_{1nb} + L_{12nac} * i_{1nc} + L_{2na} * i_{2na} + \\ & + L_{22nab} * i_{2nb} + L_{22nac} * i_{2nc},\end{aligned}$$

мұндағы $L_{1nA} = L_{1nB} = L_{1nc} = L_{1n} = L_1$ – қозғалтқыш статорының фаза индуктивтілігі,

$L_{2na} = L_{2nb} = L_{2nc} = L_{2n} = L_2$ – ротордың фаза индуктивтілігі,

$L_{11nAB} = L_{11nAC} = L_{11nBC} = L_{11n} = L_{11}$ – машиналар статорларының кез келген екі орамдары арасындағы өзара индуктивтілік,

$L_{22nab} = L_{22nac} = L_{22nbc} = L_{2n} = L_2$ – роторлардың кез келген орамдарының арасындағы өзара индуктивтілік,

$L_{12nAa} = L_{12nBb} = L_{12nCc} = L_{12n} = L_{12}$ – статор және ротор орамдарының арасындағы максималды өзара индуктивтілік.

Егер ЖЭБ қозғалтқыштарының А және а немесе В және в орамдары осьтерінің арасындағы бұрышты мынылар арқылы белгілесек:

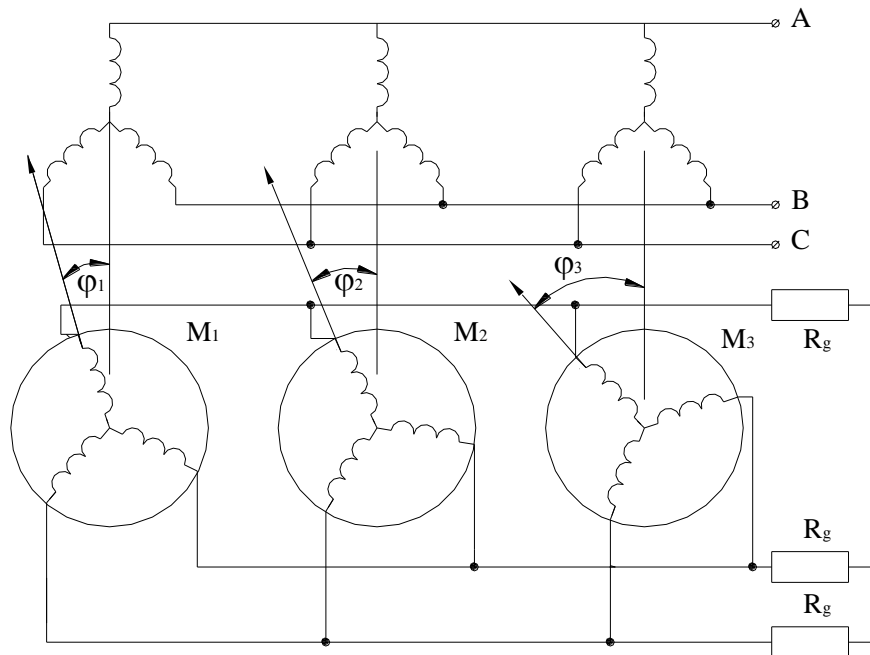
$$\varphi_{naA} = \varphi_{nAa} = \varphi_n; \varphi_{nab} = \varphi_{nba} = \varphi_n - 120^0; \varphi_{naC} = \varphi_{nCa} = \varphi_n + 120^0;$$

$$\varphi_{nbA} = \varphi_{nAb} = \varphi_n + 120^0; \varphi_{nbB} = \varphi_{nBb} = \varphi_n; \varphi_{nbC} = \varphi_{nCb} = \varphi_n - 120^0; \quad (2.3)$$

$$\varphi_{ncA} = \varphi_{nAc} = \varphi_n - 120^0; \varphi_{nBc} = \varphi_{nCb} = \varphi_n + 120^0; \varphi_{ncC} = \varphi_{nCc} = \varphi_n,$$

онда келтірілген белгілеулер есебімен, n -ші қозғалтқыштың статорлар және роторларының барлық фазаларының ағын ілінісі үшін теңдеулер мынандай түрге келеді:

$$\begin{aligned}
\psi_{1nA} &= L_{1n} * i_{nA} + L_{11n} * i_{nC} + L_{11n} * i_{nB} + L_{12n} * \cos \varphi_n * i_{na} + L_{12n} * \\
&* \cos(\varphi_n + 120^0) * i_{nb} + L_{12n} \cos(\varphi_n - 120^0) * i_{nc}; \\
\psi_{1nB} &= L_{11n} * i_{nA} + L_{1n} * i_{nB} + L_{12n} * i_{nc} + L_{12n} * \cos(\varphi_n - 120^0) * i_{na} + \\
&+ L_{12n} * \cos \varphi_n * i_{nB} + L_{12n} * \cos(\varphi_n + 120^0) * i_{nC}; \\
\psi_{1nC} &= L_{11n} * i_{nA} + L_{11n} * i_{nB} + L_{11n} * i_{nC} + L_{12n} * \cos(\varphi_n + 120^0) * i_{na} + \\
&+ L_{12n} * \cos(\varphi_n - 120^0) * i_{nB} + L_{12n} \cos \varphi_n * i_{nc}; \\
\psi_{2na} &= L_{22n} * i_{na} + L_{22n} * i_{nb} + L_{22n} * i_{nc} + L_{12n} * \cos \varphi_n * i_{nA} + L_{12n} * \\
&* \cos(\varphi_n - 120^0) * i_{nB} + L_{12n} * \cos(\varphi_n + 120^0) * i_{nC}; \\
\psi_{2nb} &= L_{22n} * i_{na} + L_{22n} * i_{nb} + L_{22n} * i_{nc} + L_{12n} * \cos(\varphi_n + 120^0) * i_{nc} + \\
&+ L_{12n} * \cos \varphi_n * i_{nb} + L_{12n} * \cos(\varphi_n - 120^0) * i_{nc}; \\
\psi_{2nc} &= L_{22n} * i_{na} + L_{22n} * i_{nb} + L_{22n} * i_{nc} + L_{12n} * \cos(\varphi_n - 120^0) * i_{nA} + \quad (2.4) \\
&+ L_{12n} * \cos(\varphi_n + 120^0) * i_{nB} + L_{12n} * \cos \varphi_n * i_{nC}.
\end{aligned}$$



2.1 сурет - Әр түрлі жүктемедегі қозғалтқыштардың үшқозғалтқышты ЖЭБ жүйесі

Алынған теңдеулер 2.1-суретпен сәйкес ағын ілінісіндегі нақты жүйені сипаттайды. Алынған теңдеулерді ықшамдау үшін нақты үшфазалы асинхронды қозғалтқышты эквивалентті екіфазалы жалпыланған машинаға

келтіру қажет. Мұндайда электрлік контурлар саны, яғни электромагнитті процестерді сипаттайтын теңдеулер саны азаяды.

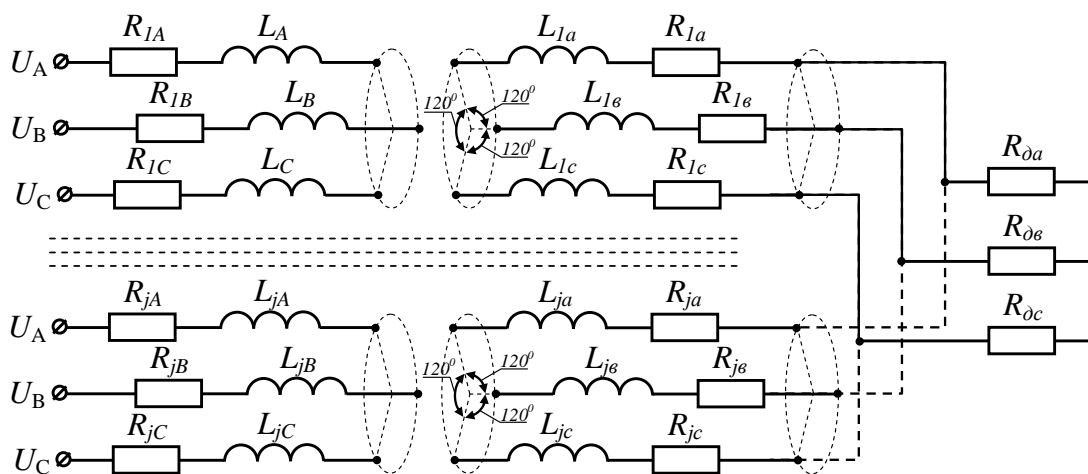


Рисунок 2.2 - КҚАЭЖ үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың электрлік сызбасы

2.2 Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі (СА КҚАЭЖ) жеңілдетілген моделі

Роторларының электрлік байланысы салдарынан жүйе қозғалтқыштарының өзара байланысы өзінің спецификалық ерекшеліктерін өтпелі процестер жүруі кезінде, яғни іске қосу, тоқтату және жұмыс кезінде жүктеменің шапшаң өзгеруіне әсер етеді.

КҚАЭЖ құрамында қозғалтқыштар көп болған сайын, электр жетегіндегі өтпелі процестерді анализдеу қиындай береді. Сәйкессіздік $\Delta\varphi_{1,2,3}$ бұрышының шамасының өзгеруі және олардың жұмыс барысында өзгеруі үлкен практикалық қызығушылықты тудырады.

Айнымалы ағын кезінде келтірілген электрлік және ЭЖБ механикалық балансы теңдеуі динамикалық процестердің аналитикалық зерттеуін қиындатады. Статикалық тепе-теңдік нүктесінде шағын ауытқу саласындағы теңдеулерді сызықтандыру жүйесі жүйедегі өтпелі процестерді анализдеуді біршама жеңілдетеді.

$S = 0 \div S_m$ кезінде СА КҚАЭЖ жүйесіндегі әрбір асинхронды қозғалтқыш жекеше механикалық сипаттаманың тікелей бөлімінде келесі теңдеу формулаларымен сипатталады:

$$\begin{aligned}
(1 + T_{\vartheta 1} P) M_1 &= \beta_1 (\omega_0 - \omega_1); \\
(1 + T_{\vartheta 1} P) M_2 &= \beta_2 (\omega_0 - \omega_2); \\
(1 + T_{\vartheta 2} P) M_3 &= \beta_3 (\omega_0 - \omega_3),
\end{aligned}
\tag{2.5}$$

мұнда $\beta_{1,2,3} = \frac{2M_{m1,2,3}}{\omega_0 S}$ – сызықтандырылған механикалық сипаттаманың қатаңдық модулі;
 $T_{\vartheta 1,2,3} = \frac{1}{\omega_{\text{өзл}} S_{m1,2,3}}$ – қозғалтқыштың электромагниттік тұрақты уақыты.

Роторлардың күштік электрлік байланысы арқасында СА КҚАЭЖ жүйесіндегі өзара байланысты болып шығады. Сонымен қатар берілген жүйені жеңілдету үшін күштік роторлық байланысты жеке қозғалтқыштардың роторларының қадамын бір-біріне қарағандағы бұрыштық орналасу арқылы білдіруге ұсынылады. Мысалы:

$$\Delta\omega_{12} = \pm K_{12}(\varphi_1 - \varphi_2), \quad \Delta\omega_{13} = \pm K_{13}(\varphi_1 - \varphi_3), \quad \Delta\omega_{23} = \pm K_{23}(\varphi_2 - \varphi_3). \tag{2.6}$$

Сонда, КҚАЭЖ қозғалысының және асинхронды қозғалтқыштардың сызықтандырылған теңдеуін келесі түрде жазуға болады[66]:

$$\begin{aligned}
(1 + \frac{1}{\omega_{0\vartheta 1} S_{m1}} P) M_1 &= \frac{2M_{m1}}{\omega_0 S_{m1}} [\omega_0 - \omega_1 - (\Delta\omega_{12} + \Delta\omega_{13})]; \\
M_1 - M_{c1} &= J_1 p \omega_1; \\
(1 + \frac{1}{\omega_{0\vartheta 2} S_{m2}} P) M_2 &= \frac{2M_{m2}}{\omega_0 S_{m2}} [\omega_0 - \omega_2 - (\Delta\omega_{21} + \Delta\omega_{23})]; \\
M_2 - M_{c2} &= J_2 p \omega_2; \\
(1 + \frac{1}{\omega_{0\vartheta 3} S_{m3}} P) M_3 &= \frac{2M_{m3}}{\omega_0 S_{m3}} [\omega_0 - \omega_3 - (\Delta\omega_{31} + \Delta\omega_{32})]; \\
M_3 - M_{c3} &= J_3 p \omega_3,
\end{aligned}
\tag{2.7}$$

мұнда M_1, M_2, M_3 и $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ (н·м, рад/сек) – сәйкесінше, қозғалтқыштың моменттері мен жылдамдықтары;

M_{c1}, M_{c2}, M_{c3} (н·м) – сәйкес қозғалтқыштардың білігіндегі статикалық жүктеме моменті;

J_1, J_2, J_3 (кг·м²) – қозғалтқышпен байланысқан элементтердің келтірілген инерция моменті;

$\Delta\omega_{12}, \Delta\omega_{13}, \Delta\omega_{23}$ (рад/сек) – қозғалтқыштар арасындағы бұрыштық жылдамдықтарының сәйкессіздігі.

Жоғарыда келтірілген КҚАЭЖ сызықтандырылған тендеуі динамикалық және статикалық жұмыс режимдерін моделдеу мен анализдеуге мүмкіндік береді.

2.3 Ортақ роторлы байланысы бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін (КҚАЭЖ) компьютерлік моделдеу

Электр жетегін басқарудың негізгі құралдарына бағдарламаланған контроллерлер, микроконтроллерлер, микропроцессорлар және микро ЭЕМ жатады. Олардың көмегімен технологиялық тапсырмалар орындалады. Контроллердің базалы модульдері және кеңейтілу модульдері бар. Базалы модуль көмегімен берілген қолданылу аймағының функционалды бағдары есебімен локальды электржетегін басқарудың барлық тапсырмалары орындалады. Кеңейтілудің интеллектуалды модульдерінің көмегімен бірнеше электржетектерін тізбектей немесе параллельді басқару – позициялау, жылдамдықтарды және жағдайларды синхронизациялау, технологиялық айнымалыларды басқару және т.б. тапсырмалары орындалады.

Механизмдерді үйлесімді басқару үшін уақыт, объект күйі, дайындығы, жұмыстың белгілі тізбектілігі, үлгісі бойынша әр түрлі басқару алгоритмдері қолданылады.

Бірінші жағдайда технологиялық процестің орындалуына алдын ала есептеуге сәйкес процестің жеке учаскілері арасында орнатылған және бөлінген белгілі уақыт аралығы белгіленеді. Мұндайда агрегат құрамында механизм жұмысының уақыттық диаграммасы қалыптасады. Уақыттық диаграмма шекаралық мәндердің кестесі түрінде технологиялық контроллердің «ТК» басқару бағдарламасына енгізіледі, ол берілген уақытта басқару әсерлерін сәйкес электржетектің жұмыс режимін өзгертуге береді. Электржетектің жұмыс уақыты таймер немесе санағышпен белгілейді.

Екінші жағдайда механизмдер қозғалысы электржетектердің шығыстық координаттарына тәуелді орындалады. Мысал ретінде токарлы, фрезерлі және т.б. станоктардағы шпиндель айналымына беріген берімді ұстап тұратын жүйені келтіруге болады. Электржетектері үшін басқару әсерлері олардың жұмыс режимдеріне тәуелді болатын белгілі басқару заңдары бойынша қалыптасады. Электржетектерін басқару жүйелері атқарушы органның (АО) қозғалысын, яғни ұстауын, механизмдер және машиналардың жеке буындарының қозғалысын басқару арқылы берілген кеңістіктік траектория бойынша қамтамасыз етеді. Әр буын орын ауыстыруларды бақылау үшін электржетегімен және датчиктермен қамтылады.

Электржетегін қосып-ажыратудың немесе оның жұмыс режимін өзгертудің басқару әсерлері технологиялық дайындыққа жету моменттерінде берілуі мүмкін. Технологиялық дайындық, мысалы АО-ның берілген күйге орын ауысуымен немесе АО әсері көмегімен технологиялық параметрдің (қысым, масса, заттардың қоспалар құрамы және т.б.) берілген деңгейіне жетуімен анықталады.

Кейбір технологиялық агрегаттарда үлгі бойынша басқару жүйелері (көшірме жүйелері) қолданылады. Машинаның АО-ның орын ауыстыру бағдарламасы көшірмелердің әр түрінің көмегімен, мысалы тегіс үлгілермен беріледі, олардың сипаты АО қозғалысының талап етілген траекториясына дәл сәйкес.

Қазіргі автоматтандыру жүйелері әр типті есептеу құралдарынан (ЕҚ) тұрады. Оларға өнеркәсіп компьютерлері, технологиялық контроллерлер, біркристалды микроконтроллерлер, енгізілген бірплаталы компьютерлер.

Жүйелерді құрудың әртүрлі сұлбалары бар: технологиялық агрегаттармен централизациялы және децентрализациялы басқару. Бірінші жағдайда агрегаттарды басқару бір есептеу құралымен орындалады. Процессор басқарудың жеке каналдарына кезекпен қызмет етеді. Екінші жағдайда әр электржетегі өзінің ЕҚ-мен жинақталады. Орталық ЕҚ болмайды немесе оған диспетчер мен супервизор функцияларын беру үшін енгізіледі. ЕҚ-нің бағдарламалық қамтылуы басқару жүйелерінің жұмысын үйлестіретін диспетчер, жұмыс, оператор пультіне қызмет ету және диагностикалық бағдарламаларынан тұрады.

Жылдамдықты және біліктің бұрыштық ығысуын өлшеу импульстік датчик арқылы іске асырылады. Импульстік ығысу датчигі біліктің айналу бұрышын оған пропорционал импульске түрлендіреді. Бұл импульстер РТ таймер кірісіне және логикалық элементтер негізінде құрастырылған сұлбалық таймердің кірісіне беріледі. Бұл сұлбалық таймер ЭЕМ өзінің негізгі бағдарламасы бойынша есеп жүргізетін уақытына тең уақыт кешігуін іске асырады, яғни роторлардың сәйкес келмеу жағдайын есептеу және статор тізбегінде тиристорлық кернеу түрлендіргіші бар екі асинхронды қозғалтқыштардың синхронды айналуын басқару.

Технологиялық агрегатты басқару жүйелерінде есептеу құралдары келесідей функцияларды орындайды: жинау және берілгендерді бірінші реттік өңдеу; процесті бақылау; процесті басқару – стабилизация және оптимизация; қосымша функциялар.

КҚАЭЖ, ТКТ бар КҚАЭЖ, ЖТ бар КҚАЭЖ жүйелері 9-шы, 12-ші реттік дифференциалдық теңдеулермен сипатталады және тек есептік әдістермен зерттеледі. Ал есептік әдістер компьютерлік моделдеуді қолдануға негізделген.

КҚАЭЖ жүйесінің компьютерлік моделі – әр түрлі қызметтік программалармен толықтырылған (мысалы, сурет салып өзгертетін уақыт бойынша графикалық образы бар) математикалық модельдердің программалық іске асуы[Герман Галкин].

Барлық қозғалтқыштардың синхронды айналуын қамтамасыз ететін, роторлық тізбектерінде электрлік байланысы бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің мүмкін болатын барлық жұмыс режимдерін моделдеуді MATLAB қолданбалы пакеті көмегімен жасаймыз.

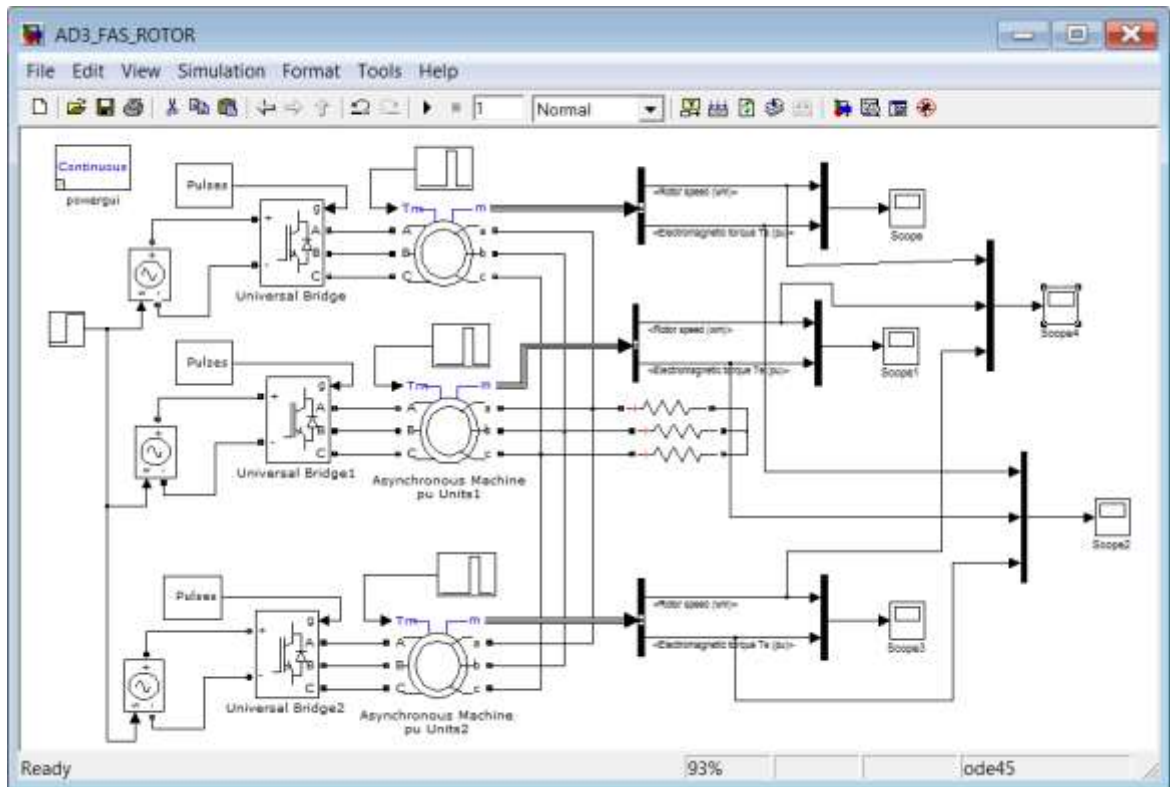
MATLAB қолданбалы пакетінде есептің шешімін жеңілдету үшін (2.7) теңдеулер жүйесіндегі айнымалыларды келесідей аламыз:

$$\omega_1 = x(1); \quad \omega_2 = x(4); \quad \omega_3 = x(7);$$

$$M_{\omega_1} = x(2); \quad M_{\omega_2} = x(5); \quad M_{\omega_3} = x(8); \quad (2.8)$$

$$\omega_{\omega_1} = x(3); \quad \omega_{\omega_2} = x(6); \quad \omega_{\omega_3} = x(9).$$

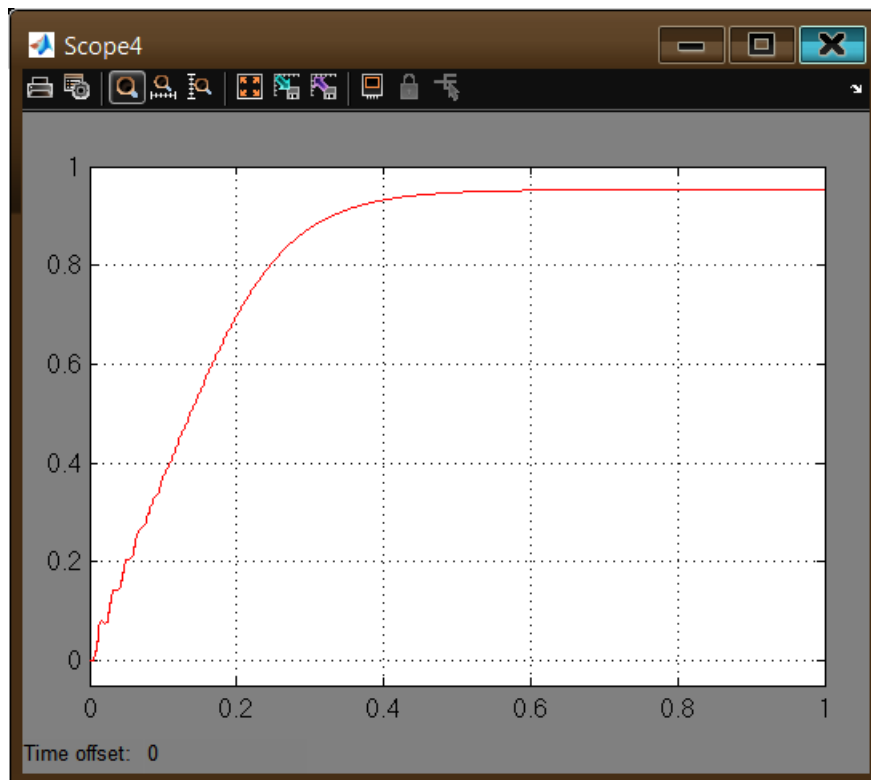
Және СА КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесі моделін Simulink-те жасаймыз 2.3 сурет.



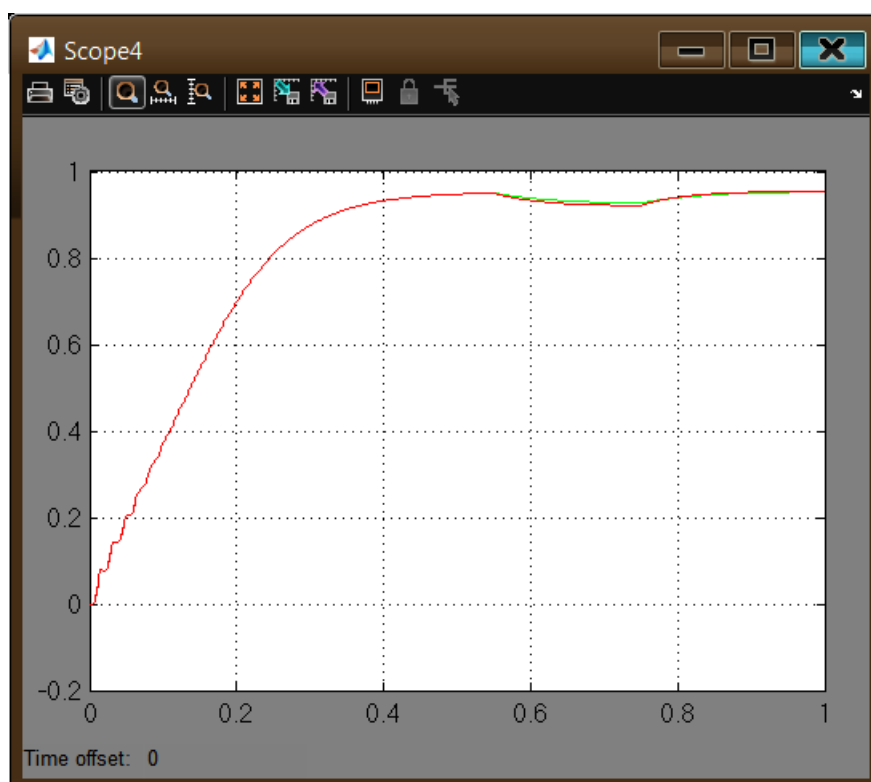
2.3 сурет – СА КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің MATLAB бағдарламасында алынған структуралық моделі

2.4 және 2.5 суреттерде MATLAB 1.0 программалық пакетіндегі Simulink кеңейтулерінде алынған сәйкесінше осциллограммалар моделі мен есептеу бағдарламасы көрсетілген. 2.4 суретте бос жүріс режиміндегі іске қосу процесі көрсетілген, ал 2.5 суретте жүктеме режиміндегі график бейнеленген.

Төмендегі суреттерден өте аз уақыт аралығында(0,1с) жүктеме режимінде айналу жылдамдығының орнықталатынын көреміз $w_1=w_2=w_3$. Кері байланыс арқасында үш қозғалтқышта синхронды айналатынын, яғни бір – біріне байланысты бұрыштық жылдамдықтарын түзейтінін байқаймыз.



2.4 сурет - Қозғалтқыш жылдамдығының өтпелі процесс графигі (іске қосу режимі)



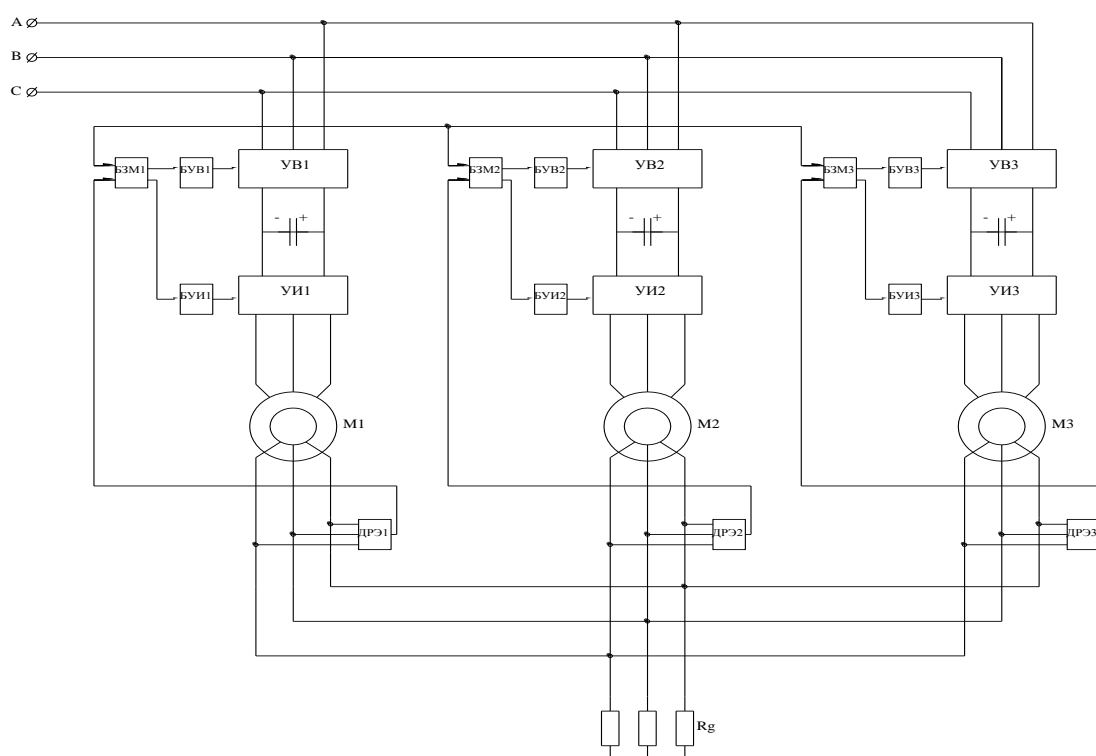
2.5 сурет - Қозғалтқыш жылдамдығының өтпелі процесс графигі (жүктеме режимі)

2.4 Ортақ роторлы байланысы және жиілік түрлендіргіші бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін (КҚАЭЖ) моделдеу

ЖЭБ жүйесінде жиілікті түрлендіргіштерді қосу сұлбаларының бірі 2.6 - суретте көрсетілген. ЖЭБ жүйесіндегі жиіліктің жалпы түрлендіргішін қолдану кең диапазонда жылдамдықты жалпы реттеу жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Мұндайда асинхронды электрқозғалтқыштарының синхронды айналды роторлы тізбектердегі қозғалтқыштардың электрлік байланысы есебінен ұсталады. Қозғалтқыштардың жүктемелерінің айырмашылығы үлкен емес шектерде жіберіледі, шамамен $M_{c1} \approx 1,2M_{c2}$, яғни 20% шектерінде.

Мұндай сұлбалар жалпы жүктемесі бар көп қозғалтқышты электржетектерде ұсынылады, мысалы тізбекті конвейерлер, вагонаударғыштар және т.б.

Берілген сұлбада жалпы жиілікті түрлендіргіш сәйкес басқару блоктары бар басқарылатын түзеткіштен және басқарылатын инвертордан тұрады. Түрлендіргіш қуаты қозғалтқыштардағы және олардың орнатылған қуатына тәуелді.



2.6 сурет– Жиілік түрлендіргішті ЖЭБ функционалдық сұлбасы

Жиілік түрлендіргіші бар үш қозғалтқышты электр жетегі жүйесінің динамикасын сипаттайтын дифференциалды теңдеулерді келесі түрде жазуға болады:

Бірінші қозғалтқыш үшін:

$$\begin{cases} p\Delta\omega_1 = \frac{1}{\beta T_{\text{м1}}} M_1 - \frac{1}{\beta T_{\text{м1}}} M_{c1}; \\ pM_1 = \frac{\beta_1}{T_{\text{э1}}} \Delta\omega_{01} - \frac{\beta_1}{T_{\text{э1}}} \Delta\omega_1 - \frac{1}{T_{\text{э1}}} M_1; \\ p\Delta\omega_{01} = \frac{k_{\text{пч1}}}{T_{\text{пч1}}} \Delta u_{\text{PC1}} - \frac{1}{T_{\text{пч1}}} \Delta\omega_{01}; \\ p\Delta u_{\text{PC1}} = p\Delta u_{\text{з1}} k_{\text{PC1}} - k_{\text{о.с1}} k_{\text{PC1}} p\Delta\omega_1 + \frac{\Delta u_{\text{з1}}}{T_{\text{PC1}}} - \frac{k_{\text{о.с1}}}{T_{\text{PC1}}} \Delta\omega_1, \end{cases} \quad (2.9)$$

$$\text{мұнда } \Delta u_{\text{з1}} = \Delta u_{\text{з}} + k_{\text{о.р.с1}} (\Delta\omega_2 - \Delta\omega_1) - k_{\text{о.р.с3}} (\Delta\omega_1 - \Delta\omega_3).$$

Сәйкесінше екінші және үшінші қозғалтқыштар үшін тағайындалған басқару сигналдары:

$$\Delta u_{\text{з2}} = \Delta u_{\text{з}} + k_{\text{о.р.с2}} (\Delta\omega_3 - \Delta\omega_2) - k_{\text{о.р.с1}} (\Delta\omega_2 - \Delta\omega_1); \quad (2.10)$$

$$\Delta u_{\text{з3}} = \Delta u_{\text{з}} + k_{\text{о.р.с3}} (\Delta\omega_1 - \Delta\omega_3) - k_{\text{о.р.с2}} (\Delta\omega_3 - \Delta\omega_2).$$

Екінші және үшінші қозғалтқыштар үшін дифференциалдық теңдеулер бірінші қозғалтқыштағыдай анықталады.

Асинхронды жиілікті-реттелетін электр жетегінің қажетті статикалық және динамикалық құрылымдарын қалыптастыруы тек қана олардың координаттарын реттеу тұйықталған жүйеде болуы мүмкін. Жылдамдық бойынша реттеу диапазонын жоғарылату үшін осы жүйеге жылдамдық бойынша теріс кері байланысты енгізу қажет. Сондықтан математикалық сипаттамадағы электр жетегінің өтпелі процесстері кері байланыс болып саналады.

Келісілмеу жылдамдықтары бойынша кері байланысы бар және жалпы беріліс сигналымен қозғалтқыштар арасындағы өзара байланысы есебімен құрастырылған ЖТ бар КҚАЭЖ құрылымдық сұлбасы жиілік түрлендіргіштері бар үш қозғалтқышты электр жетегінің жылдамдығы бойынша кері байланыс коэффициенттерін есептеу әдістемесін жасауға мүмкіндік береді, сонымен қатар MatLab1.0 бағдарламасында синхронды айналатын жиілік түрлендіргіші бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі жұмысының мүмкін режимдерін үлгілеу.

Осылайша, Жиілік түрлендіргіші бар үш қозғалтқышты электр жетегі жүйесінің динамикасын сипаттайтын дифференциалды теңдеулер жүйесі келесідей түрге келеді:

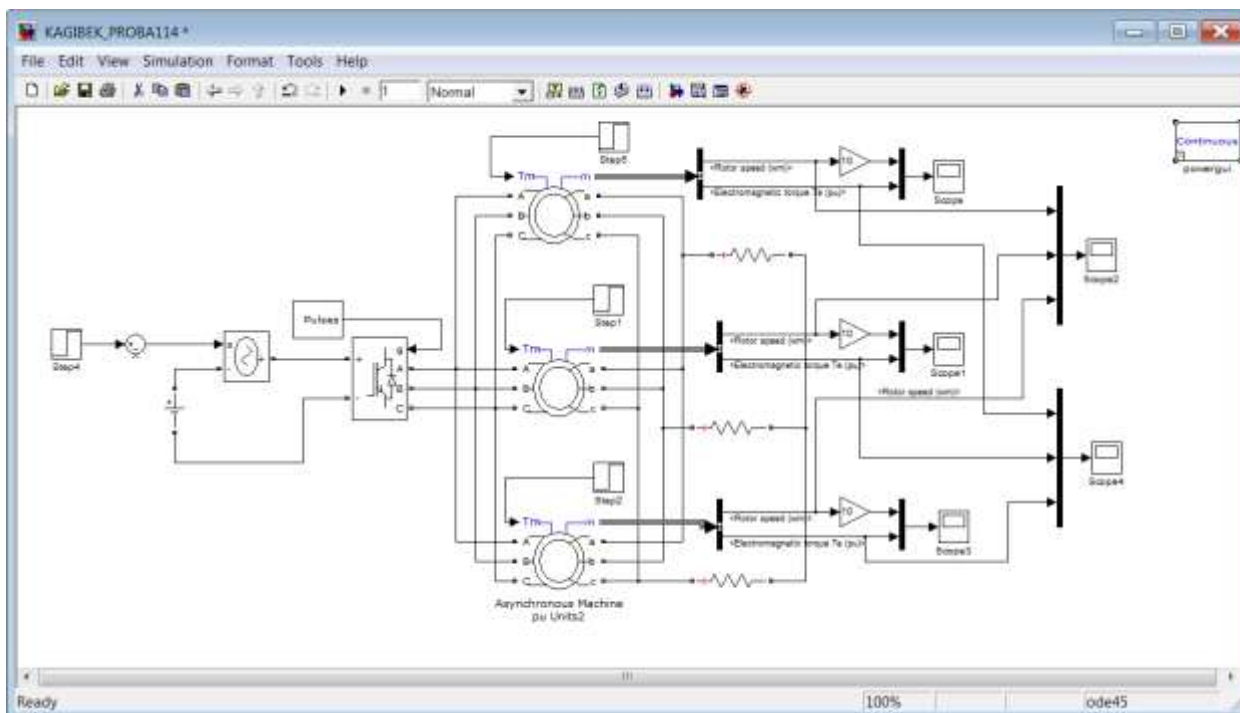
$$\left\{ \begin{aligned}
p\Delta\omega_1 &= \frac{1}{\beta_1 T_{m1}} M_1 - \frac{1}{\beta_1 T_{m1}} M_{c1}; \\
pM_1 &= \frac{\beta_1}{T_{\omega 1}} \Delta\omega_{01} - \frac{\beta_1}{T_{\omega 1}} \Delta\omega_1 - \frac{1}{T_{\omega 1}} M_1; \\
p\Delta\omega_{01} &= \frac{k_{\Pi\omega 1}}{T_{\Pi\omega 1}} \Delta u_{PC1} - \frac{1}{T_{\Pi\omega 1}} \Delta\omega_{01}; \\
p\Delta u_{PC1} &= \frac{k_{PC1} k_{o.p.c1}}{\beta_2 T_{m2}} (M_2 - M_{c2}) - \frac{k_{PC1} (k_{o.p.c1} + k_{o.p.c3} + k_{o.c1})}{\beta_1 T_{m1}} (M_1 - M_{c1}) + \\
&+ \frac{k_{PC1} k_{o.p.c3}}{\beta_3 T_{m3}} (M_3 - M_{c3}) + \frac{\Delta u_3}{T_{PC1}} + \frac{k_{o.p.c1}}{T_{PC1}} \Delta\omega_2 - \frac{k_{o.p.c1} + k_{o.p.c3} + k_{o.c1}}{T_{PC1}} \Delta\omega_1 + \frac{k_{o.p.c3}}{T_{PC1}} \Delta\omega_3; \\
p\Delta\omega_2 &= \frac{1}{\beta_2 T_{m2}} M_2 - \frac{1}{\beta_2 T_{m2}} M_{c2}; \\
pM_2 &= \frac{\beta_2}{T_{\omega 2}} \Delta\omega_{02} - \frac{\beta_2}{T_{\omega 2}} \Delta\omega_2 - \frac{1}{T_{\omega 2}} M_2; \\
p\Delta\omega_{02} &= \frac{k_{\Pi\omega 2}}{T_{\Pi\omega 2}} \Delta u_{PC2} - \frac{1}{T_{\Pi\omega 2}} \Delta\omega_{02}; \\
p\Delta u_{PC2} &= \frac{k_{PC2} k_{o.p.c2}}{\beta_3 T_{m3}} (M_3 - M_{c3}) - \frac{k_{PC2} (k_{o.p.c2} + k_{o.p.c1} + k_{o.c2})}{\beta_2 T_{m2}} (M_2 - M_{c2}) + \\
&+ \frac{k_{PC2} k_{o.p.c1}}{\beta_1 T_{m1}} (M_1 - M_{c1}) + \frac{\Delta u_3}{T_{PC2}} + \frac{k_{o.p.c2}}{T_{PC2}} \Delta\omega_3 - \frac{k_{o.p.c2} + k_{o.p.c1} + k_{o.c2}}{T_{PC2}} \Delta\omega_2 + \frac{k_{o.p.c1}}{T_{PC2}} \Delta\omega_1; \\
p\Delta\omega_3 &= \frac{1}{\beta_3 T_{m3}} M_3 - \frac{1}{\beta_3 T_{m3}} M_{c3}; \\
pM_3 &= \frac{\beta_3}{T_{\omega 3}} \Delta\omega_{03} - \frac{\beta_3}{T_{\omega 3}} \Delta\omega_3 - \frac{1}{T_{\omega 3}} M_3; \\
p\Delta\omega_{03} &= \frac{k_{\Pi\omega 3}}{T_{\Pi\omega 3}} \Delta u_{PC3} - \frac{1}{T_{\Pi\omega 3}} \Delta\omega_{03}; \\
p\Delta u_{PC3} &= \frac{k_{PC3} k_{o.p.c3}}{\beta_1 T_{m1}} (M_1 - M_{c1}) - \frac{k_{PC3} (k_{o.p.c3} + k_{o.p.c2} + k_{o.c3})}{\beta_3 T_{m3}} (M_3 - M_{c3}) + \\
&+ \frac{k_{PC3} k_{o.p.c2}}{\beta_2 T_{m2}} (M_2 - M_{c2}) + \frac{\Delta u_3}{T_{PC3}} + \frac{k_{o.p.c3}}{T_{PC3}} \Delta\omega_1 - \frac{k_{o.p.c3} + k_{o.p.c2} + k_{o.c3}}{T_{PC3}} \Delta\omega_3 + \frac{k_{o.p.c2}}{T_{PC3}} \Delta\omega_2. \quad (2.11)
\end{aligned} \right.$$

Өзара байланысқан көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің құрылымдық сұлбасын құрастыру үшін оны жылдамдық, жағдайы және қорек көзі бойынша элементтерімен жабдықтап, ішкі қайтымды байланысы бар асинхронды электр жетегінің құрылымдық сұлбасын пайдаланамыз. Роторлық байланыстар келісілмеу бұрыштарының әртүрлілігінен инерционды-дифференциалдаушы буынмен имитацияланды.

ЖТ бар КҚАЖЭ электрмагниттік үйлесімділігін қамтамасыздандырудың тиімді шарасы тораптық дроссельді қолдану болып саналады. Ол тораптан тұтылатын токта (екіншіден бесіншіге дейін және одан жоғары) жоғары сапалы гармониктерді төмендету есебіне жиілік түрлендіргіштерімен тұтынылатын қуат коэффициентінің жоғарлауына себеп туғызады. Қоректенетін тораптарда өтпелі үрдістер кезіндегі токтардың серпілістерінен ЖТ бар КҚАЭЖ-нің және тораптың күштік бөлімі қорғанысын іске асырады. 1 метр және одан да ары арақашықтықта технологиялық үрдістердің шарттары бойынша орнаттылатын көп қозғалтқышты электр жетегі жағдайында тораптық дроссельдің ерекше қажеттілігі.

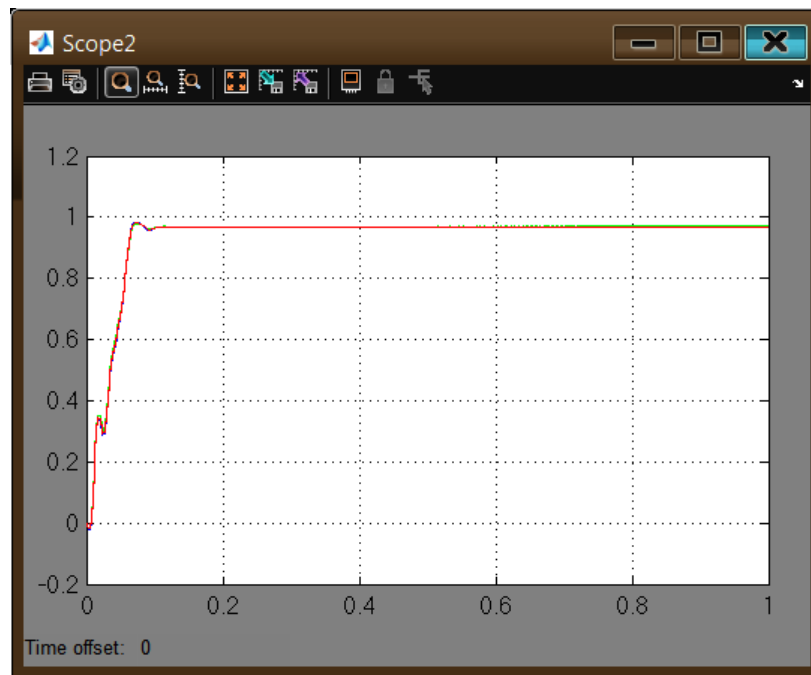
Күштік түзеткіштің сүзгіші бар тұрақты ток дросселі қуат коэффициентін жақсартады және жоғары гармониктерді 10-16% - ға жояды. 500 В/мкс мәнге дейін du/dt шектеу үшін КҚЭЖ қозғалтқыштарының үлкен арақашықтығы кезінде ендік-импульстік модуляция (ЕИМ) инверторы шығыс кернеуінің жылдамдығын өсуінің шектеу үшін әрбір инвертордың шығысында орнатылатын шығыс дросселдерін қолданылады. Қозғалтқыштардың орамының оқшаулану қорғанысы оларды 100 м дейін қосу кезіндегі тесілуден қамтамасыз етіледі.

MATLAB-та алынған ортақ роторлы байланысы және ортақ жиілік түрлендіргіші бар КҚЭЖ үш қозғалтқышты жүйедегі құрылымдық моделінің іске қосу, жүктемені арттыру және қалпына келтіру режимдерін зерттеу барысында, жиілік пен момент графигін саралай отырып, 0,5 сек. уақыттан бастап жүктеме өзгерген кезде, аздаған тербелістер болса да, қозғалтқыштар бірқалыпты синхронды айналуын жалғастырады.

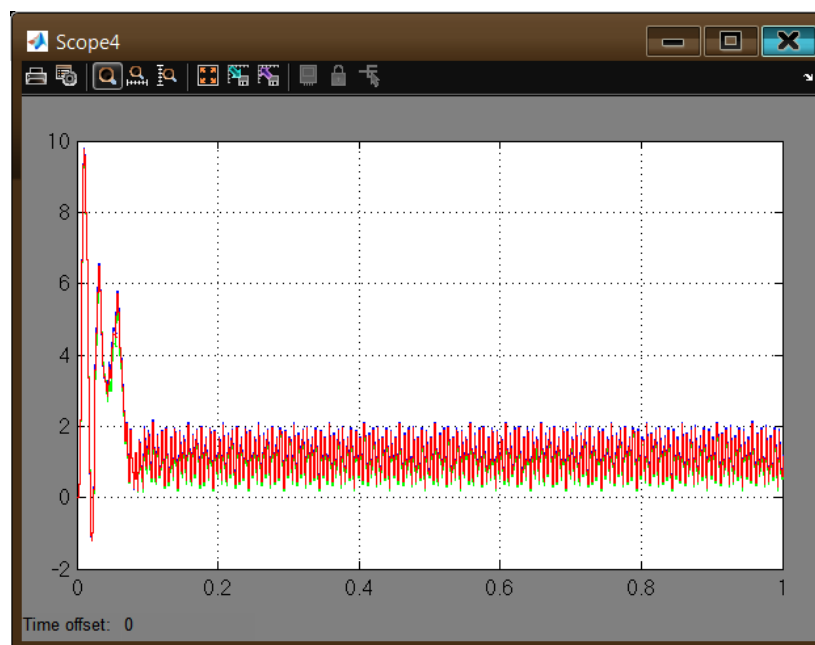


2.7 сурет – MATLAB-та алынған ортақ роторлы байланысы және жиілік түрлендіргіші бар КҚЭЖ үш қозғалтқышты жүйедегі құрылымдық моделі

Төменде 2.7 суреттегі ортақ жиілік түрлендіргіші бар модельдің іске қосу, жүктемені арттыру және қалпына келтіру режимдеріндегі жиілігі мен моменттерінің графигі келтірілген.

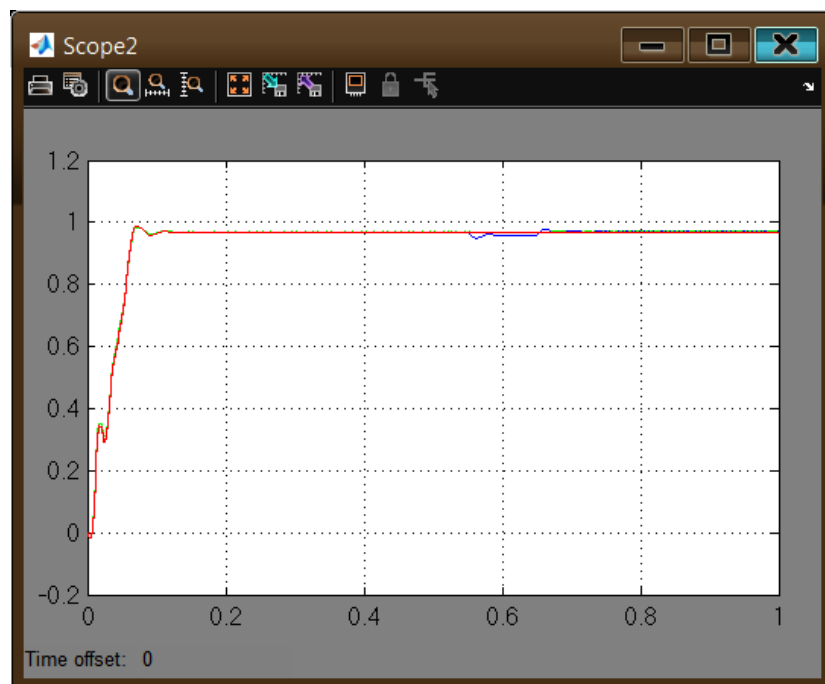


а) жиілік

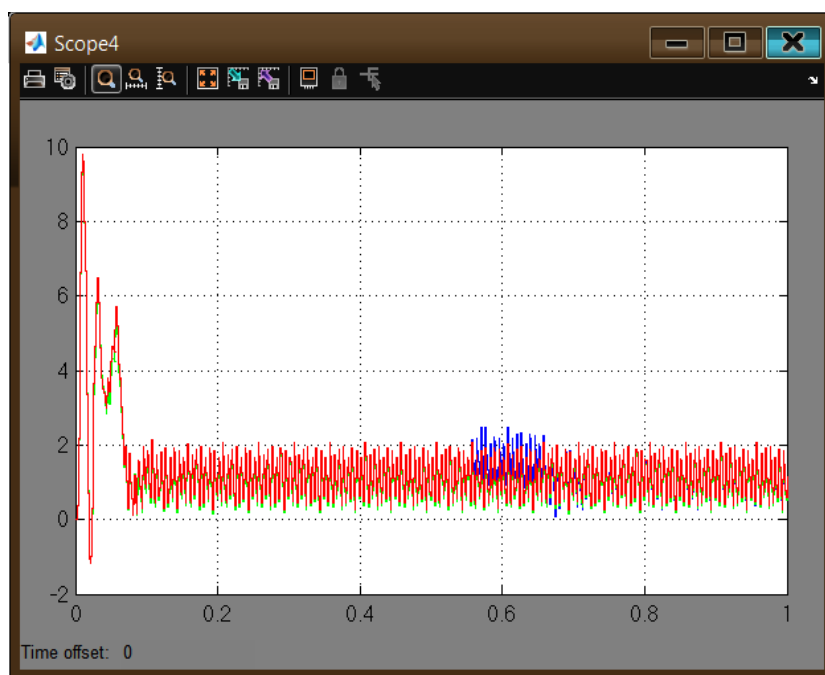


б) момент

2.8 сурет - Ортақ роторлы байланысы және жиілік түрлендіргіші бар КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің іске қосу режимінің графигі

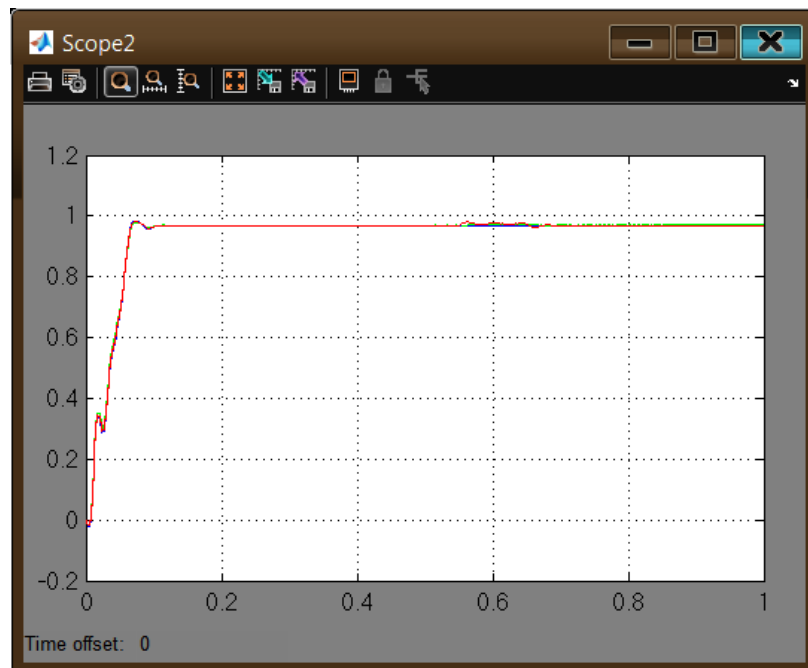


а) жиілік

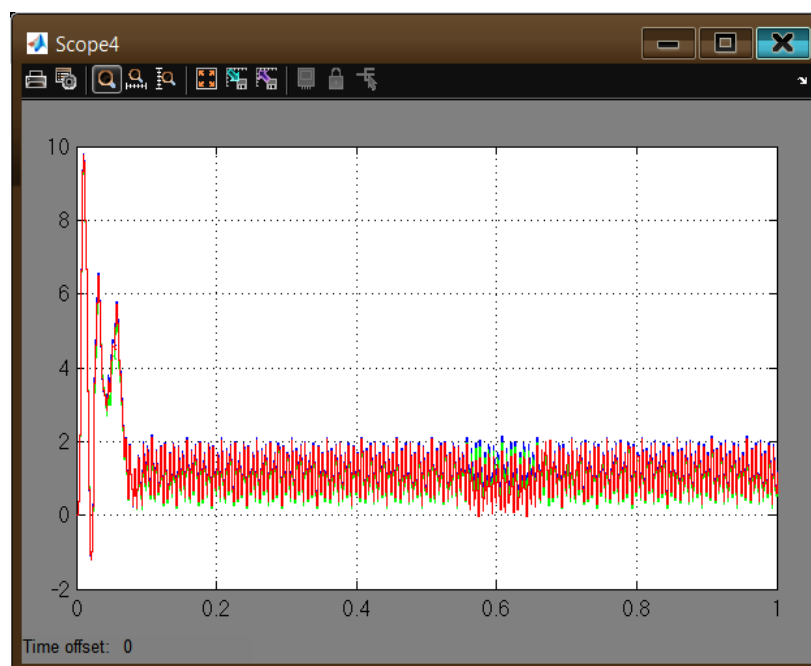


б) момент

2.9 сурет - Ортақ роторлы байланысы және жиілік түрлендіргіші бар КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің үшінші қозғалтқышта жүктемені арттыру режимінің графигі

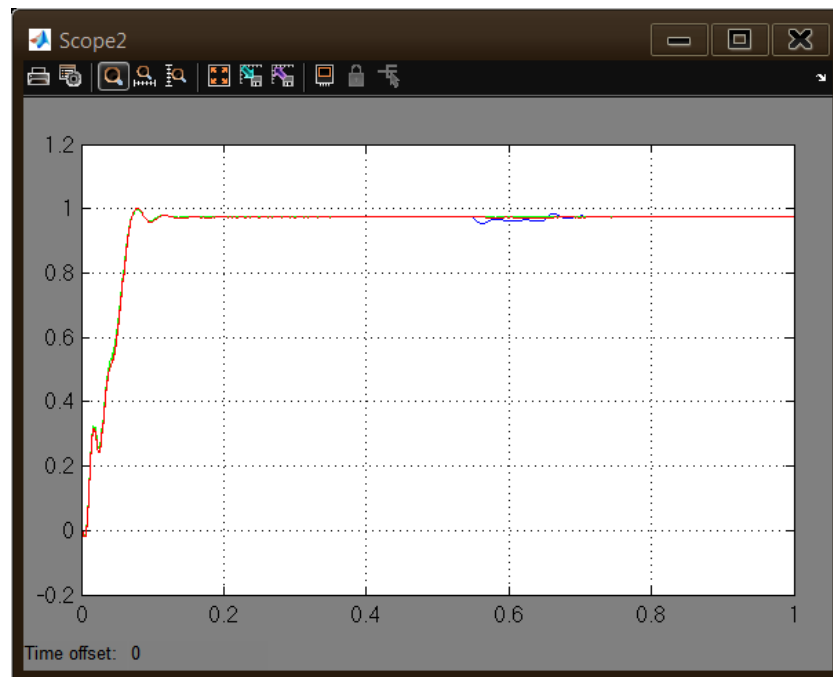


а) жиілік

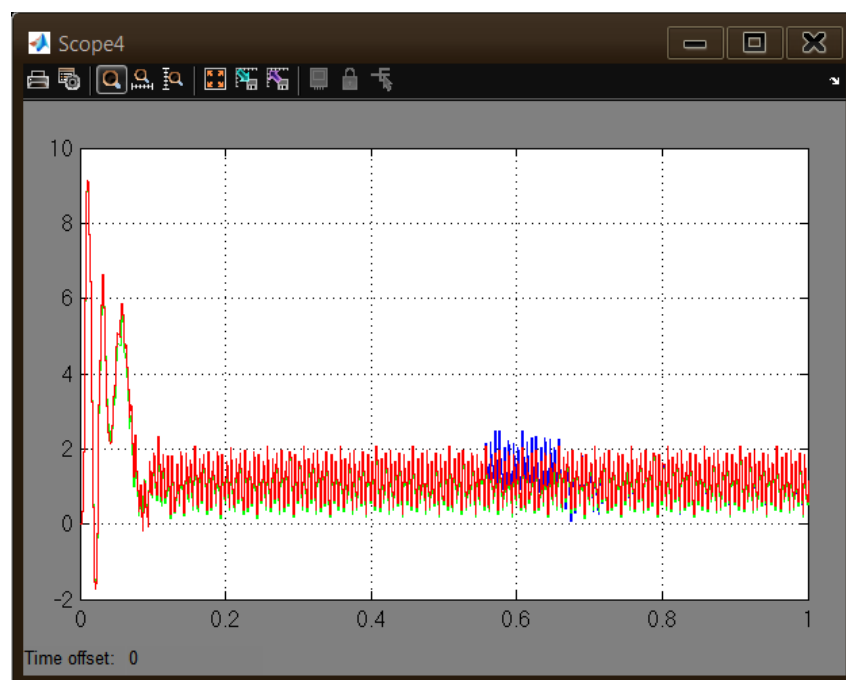


б) момент

2.10 сурет - Ортақ роторлы байланысы және жиілік түрлендіргіші бар КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің үшінші қозғалтқышта жүктемені кеміту режимінің графигі

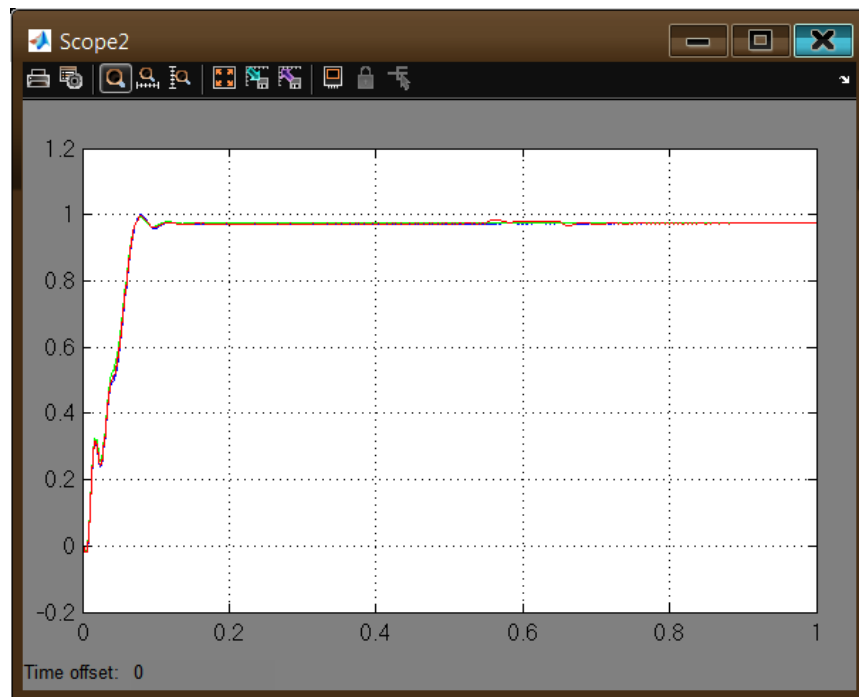


а) жиілік

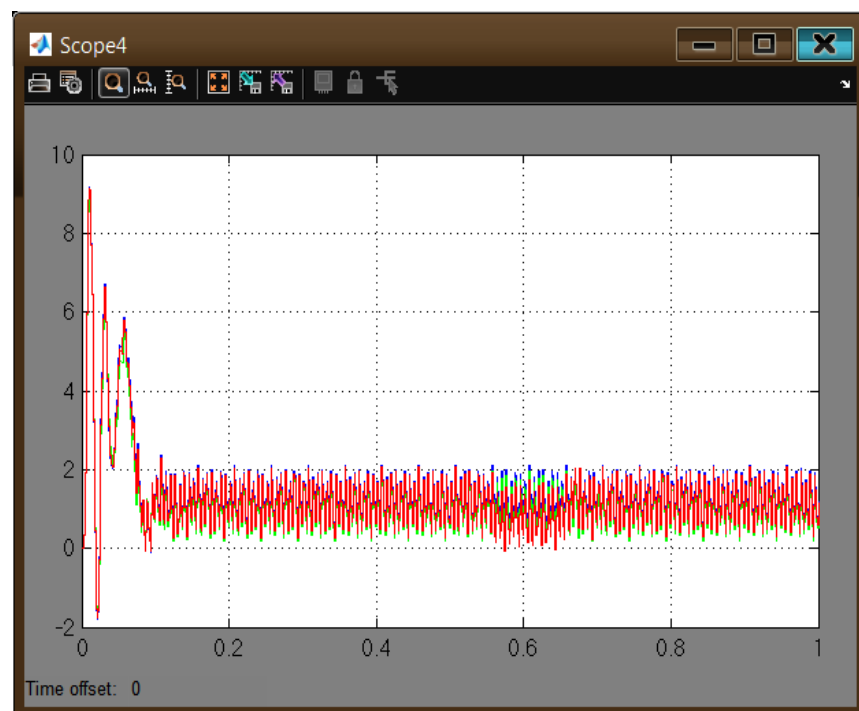


б) момент

2.11 сурет - Ортақ роторлы байланысы және жиілік түрлендіргіші бар КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің бірінші қозғалтқышта кедергінің мәні 0,1 Ом кезіндегі жүктемені арттыру режимінің графигі



а) жиілік



б) момент

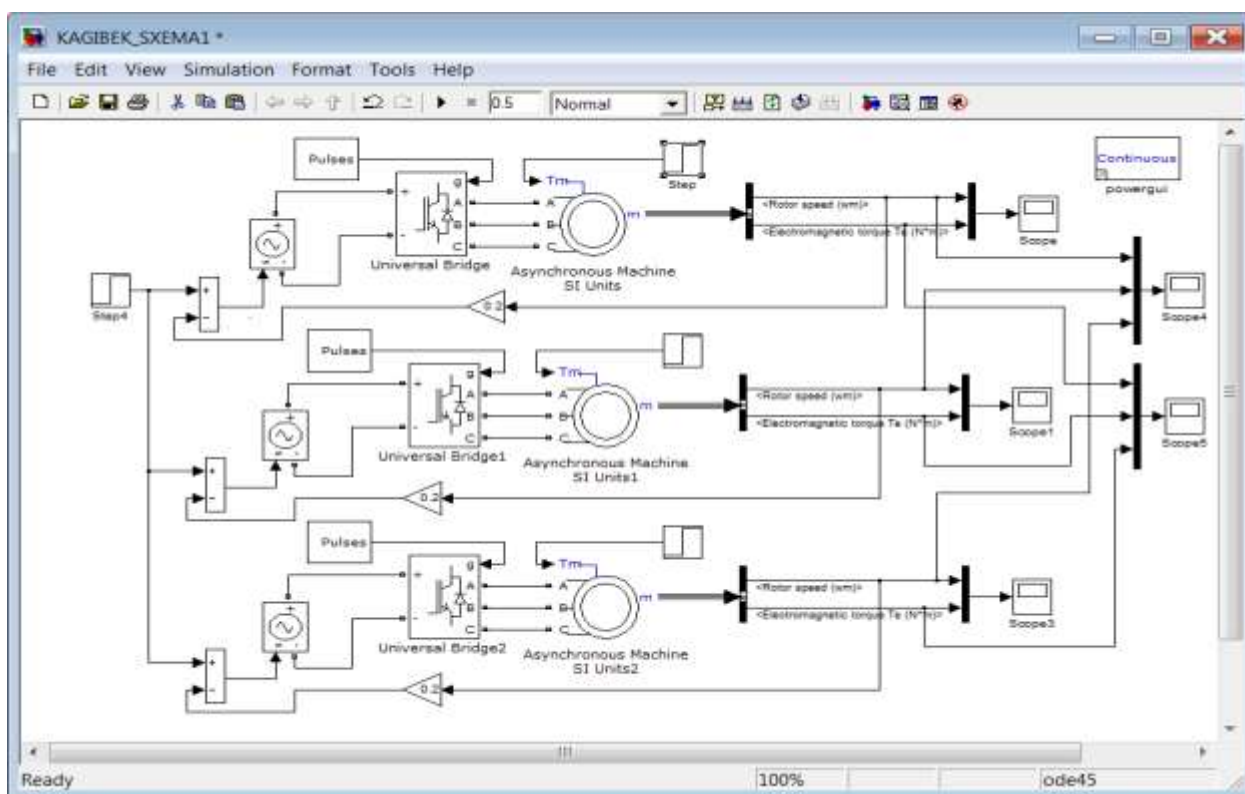
2.12 сурет - Ортақ роторлы байланысы және жиілік түрлендіргіші бар КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің үшінші қозғалтқышта кедергінің мәні 0,1 Ом кезіндегі жүктемені кеміту режимінің графигі

2.8-ден 2.10 суреттер аралығында бірдей жүктемемен іске қосылып, тек жұмыс барысында бір қозғалтқышта жүктеме артады немесе төмендейді.

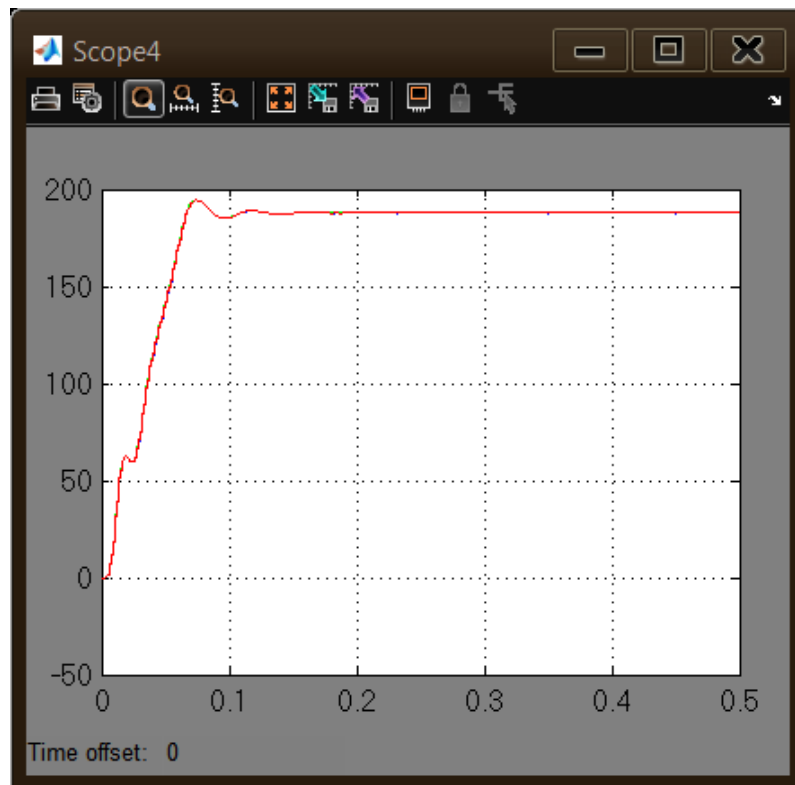
Осыған қарамастан барлық қозғалтқыштар бірдей бұрыштық жылдамдықпен айналуын жалғастырады. 2.11 және 2.12 суреттерде фазалы роторлы асинхронды қозғалтқыш іске қосылғаннан кейін (0,5 с), бірінші қозғалтқышта кедергінің мәні 0,1 Ом кезіндегі жүктемені арттыру режимінің графигі бейнеленген. Жүктеме мәніне қарамастан үш қозғалтқышта синхронды айналуын жалғастырып отыр.

Жоғарыдағы суреттерде өте аз уақыт аралығында (0,1с) жүктеме режимінде айналу жылдамдығының орнықталатынын көреміз $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$. Кері байланыс арқасында үш қозғалтқышта синхронды айналатынын, яғни бір – біріне байланысты бұрыштық жылдамдықтарын түзейтінін байқаймыз.

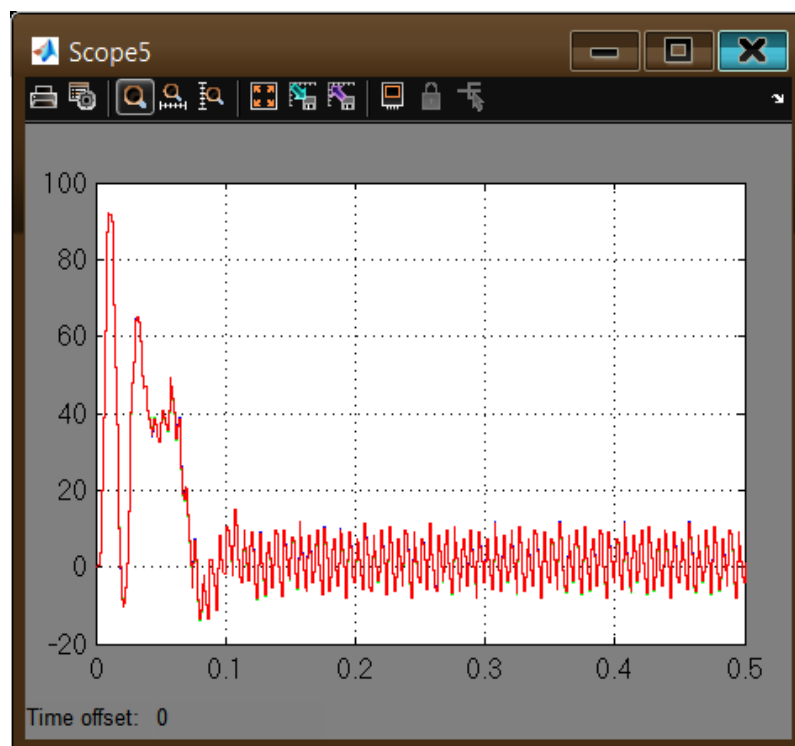
2.5 Қысқа тұйықталған қозғалтқышы бар синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін (СА КҚАЭЖ) компьютерлік моделдеу



2.13 сурет - MATLABта алынған кері байланысы және жиілік түрлендіргіші бар роторы ҚТ КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйедегі құрылымдық моделі

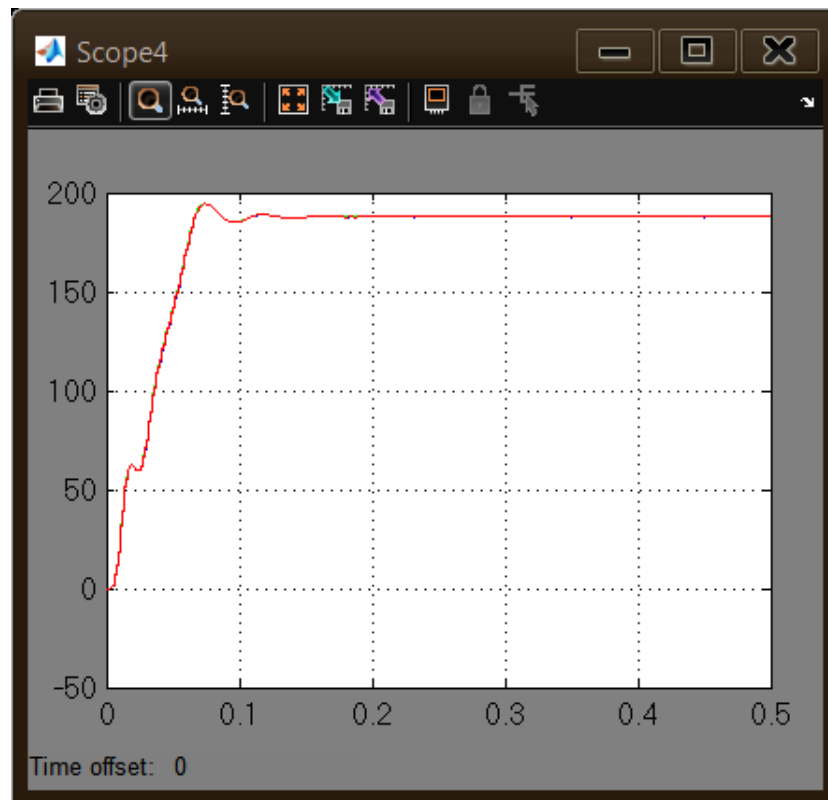


а) жиілік

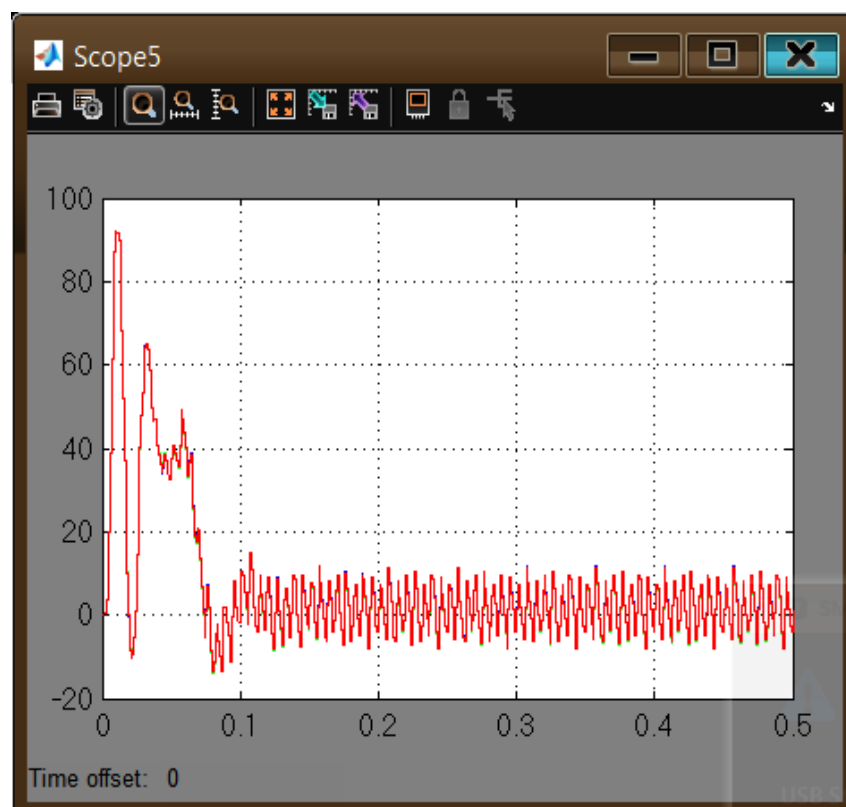


б) момент

2.14 сурет - Кері байланысы және жиілік түрлендіргіші бар роторы ҚТ КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің іске қосу режимінің графигі

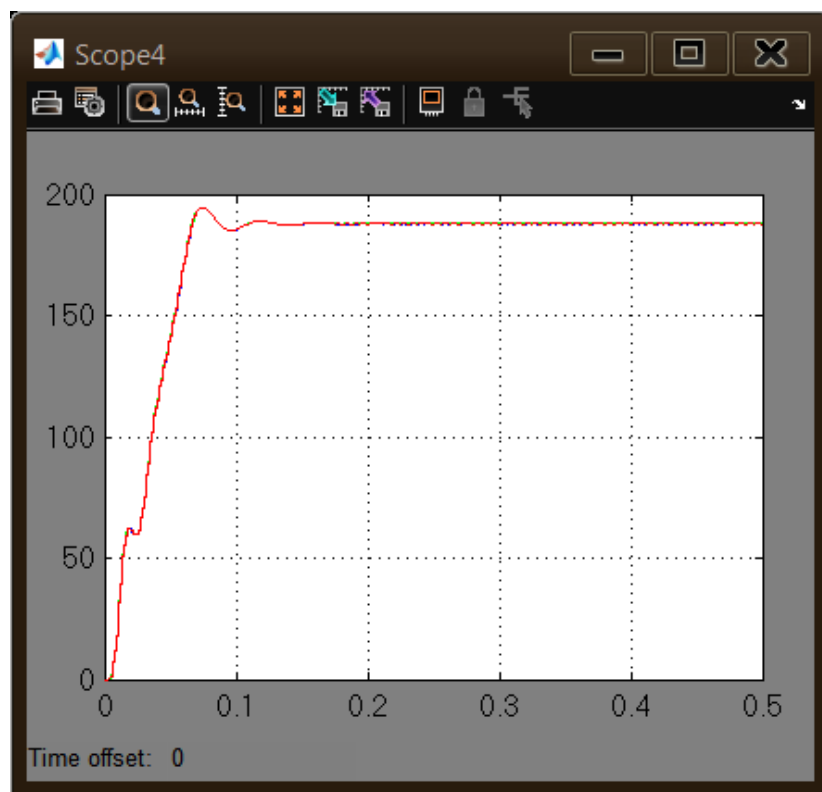


а) жиілік

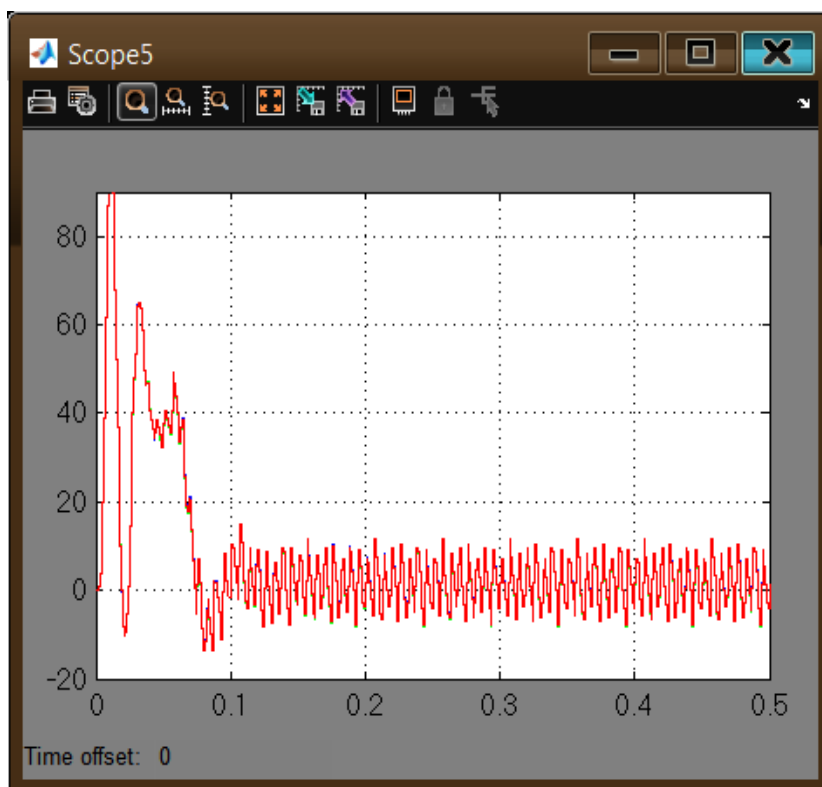


б) момент

2.15 сурет - Кері байланысы және жиілік түрлендіргіші бар роторы ҚТ КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің бірінші қозғалтқышта жүктемені арттыру (1.5) режимінің графигі



а) жиілік



б) момент

2.16 сурет - Кері байланысы және жиілік түрлендіргіші бар роторы ҚТ КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің бірінші қозғалтқышта жүктемені кеміту (0,8) режимінің графигі

Қорытынды

Екінші бөлімді қорытындылай келе, MATLAB-та алынған ортақ роторлы байланысы және ортақ жиілік түрлендіргіші бар КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйедегі құрылымдық моделінің іске қосу, жүктемені арттыру және қалпына келтіру режимдерін зерттеу барысында, жиілік пен момент графигін саралай отырып, 0,5 сек. уақыттан бастап жүктеме өзгерген кезде, аздаған тербелістер болса да, қозғалтқыштар бірқалыпты синхронды айналуын жалғастырады.

2.8-ден 2.10 суреттер аралығында бірдей жүктемемен іске қосылып, тек жұмыс барысында бір қозғалтқышта жүктеме артады немесе төмендейді. Осыған қарамастан барлық қозғалтқыштар бірдей бұрыштық жылдамдықпен айналуын жалғастырады. 2.11 және 2.12 суреттерде фазалы роторлы асинхронды қозғалтқыш іске қосылғаннан кейін (0,5 с), бірінші қозғалтқышта кедергінің мәні 0,1 Ом кезіндегі жүктемені арттыру режимінің графигі бейнеленген. Жүктеме мәніне қарамастан үш қозғалтқышта синхронды айналуын жалғастырып отыр.

Жоғарыдағы суреттерде өте аз уақыт аралығында (0,1с) жүктеме режимінде айналу жылдамдығының орнықталатынын көреміз $w_1=w_2=w_3$. Кері байланыс арқасында үш қозғалтқышта синхронды айналатынын, яғни бір – біріне байланысты бұрыштық жылдамдықтарын түзейтінін байқаймыз.

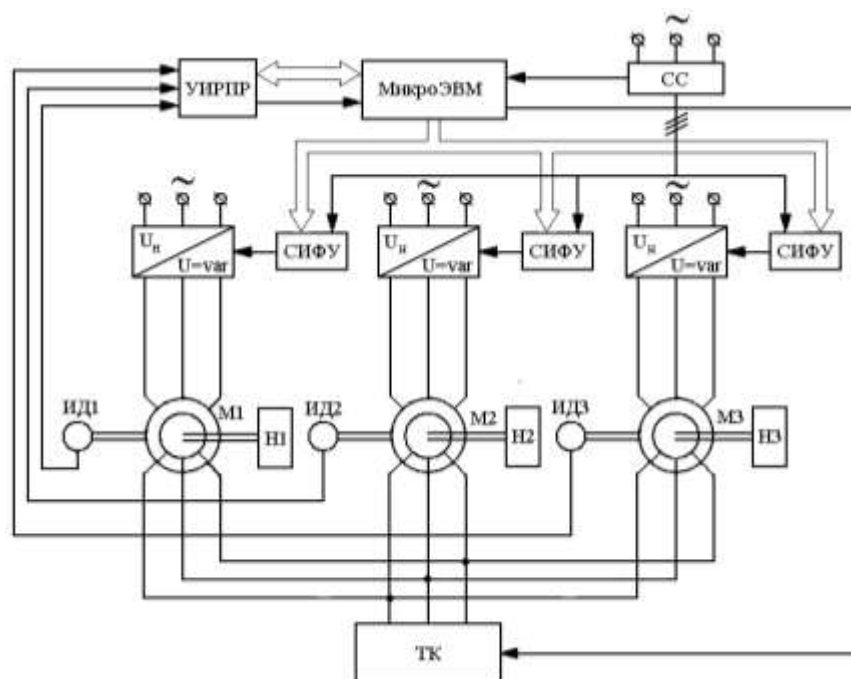
тұйықталған қозғалтқышы бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін жасау мен зерттеу

Қазіргі кезде автоматтандырылған электржетектердің дамуының бір бағыты болып, сандық басқару жүйесі бар көп қозғалтқышты асинхронды электржетегін құру болып табылады. Әсіресе, микропроцессорлық техника мен микроЭЕМ —ді технологиялық процестің бірнеше агрегаттарының бір уақытта айналуынан басқару заңдарының күрделілігімен сипатталатын көп қозғалтқышты айнымалы ток электржетектерінде қолдану тиімді.

Төменде бірнеше өзара кинематикалық байланыспаған жұмыс механизмдерінің синхронды айналуын қамтамасыз ететін ЖЭБ жүйесінде асинхронды қозғалтқыштарды микропроцессорлық басқарудың сұлбалық шешімі көрсетілген (3.1-сурет).

Өндірілген микропроцессорлық басқару жүйесінде негізгі басқару органы болып бір кристалды микроЭЕМ КР1810ВЕ48 болып табылады.

Жүйе қозғалтқыштардың іске қосылуы алдында алдын-ала синхронизацияны, жатық іске қосу және синхронды тежеуді қарастырады. Алдын-ала синхронизациялау қозғалтқыштардың статорлық тізбектеріндегі бірдей фазада тиристорлардың толық ашылуымен іске асырылады. Сонымен қатар, роторлар бірдей синфазалық бұрыштық жағдайға тұрғызылады.



3.1 сурет – Микро-ЭЕМ қолданылған көп қозғалтқышты электржетектің функционалды сұлбасы

Жатық іске қосу жалпы ротор тізбегіне қосылған түзеткішпен іске асырылады. Жатық іске қосудың ұзақтығы және интенсивтілігін

транзисторлы-оптронды кілт басқарушы импульстердің скважностін өзгерту арқылы реттейді.

Синхронды тежеу қозғалтқыштардың статор тізбектерінің бейсимметриялы қоректендірілуі және жалпы роторлық тізбектің максимал кедергісі арқылы іске асырылады. Жоғарыда айтылған жұмыс режимдерін және қозғалтқыштардың айналу жылдамдығын синхронды реттеуді (әртүрлі жүктемеге қосқан кезде) жылдамдық бойынша және келіспеу бұрыштары бойынша кері байланыспен микроЭЕМ арқылы жүргізуге болады.

Көп қозғалтқышты электржетегін ЭЕМ көмегімен синфазалы басқару үшін, басқару және айнымалыларды өлшеу алгоритмдерін құратын есептеу процестерінің қатаң синхронизациясы қажет. Синхронизация жүйесі вентильдердің анодты кернеулерінің бірінші гармоникасының нольдік мәні арқылы өту моментінде немесе кернеу белгісінің теріс мәнен оңға ауысу кезінде синхрондаушы импульстер құруы қажет. Сондықтан, өндіруде аз қуатты үшфазалы трансформатор, компараторлар, триггерлер және логикалық элементтер негізінде құрылған синхрондаушы жүйе (СЖ) қолданылған. Одан алынатын синхронды импульстер үзіліс режимін қамтамасыз ету үшін микроЭЕМ кірісіне және сандық импульстік фазалы басқару жүйесінің кірісіне беріледі.

Сандық импульстік фазалы басқару жүйесінің функциясы – тиристорларды импульстарының есептік кешігу уақытын олардың шынайы ашылу моментіне қатысты іске асыру және фазалық басқару. Таймер есептегішінде басқару импульсінің кешігу уақытына сәйкес келетін сандық коды жазылады. Берілген импульстер санын есептегеннен кейін, сол бойынша логикалық элементтер К555ЛИЗ және оптронды элементтері бар буферлік қуат күшейткіштері арқылы тиристордың басқарушы электродына берілетін импульс құрылатын, ОИТ шығысында сигнал өндіріліп шығарылады.

Жылдамдықты және біліктің бұрыштық ығысуын өлшеу импульстік датчик арқылы іске асырылады. Импульстік ығысу датчигі біліктің айналу бұрышын оған пропорционал импульске түрлендіреді. Бұл импульстер РТ таймер кірісіне және логикалық элементтер негізінде құрастырылған сұлбалық таймердің кірісіне беріледі. Бұл сұлбалық таймер ЭЕМ өзінің негізгі бағдарламасы бойынша есеп жүргізетін уақытына тең уақыт кешігуін іске асырады, яғни роторлардың сәйкес келмеу жағдайын есептеу және статор тізбегінде тиристорлық кернеу түрлендіргіші бар екі асинхронды қозғалтқыштардың синхронды айналуын басқару.

Өзара байланысқан көп қозғалтқышты электржетегінде микропроцессорлық басқаруды қолдану жүйені басқару алгоритмдерінің әмбебаптығын және жатықтығын, электржетегінің ықшамдылығын қамтамасыз етеді. Жалпы ротор тізбекте түйіспесіз іске қосуды пайдалану арқасында көп қозғалтқышты электржетек жүйесінің электрлік көрсеткіштерін жақсартады. Яғни, қозғалтқыштардың жұмыс істеу мерзімі және өнімділігі жоғарылайды.

3.1 Жиілік түрлендіргіші бар КҚАЭЖ өндірістік логикалық контроллермен жасау

КҚАЭЖ қоректендіріп отырған кернеуінің жиілігін өзгерту арқылы оның айналу жылдамдығын реттеуге принципіалды мүмкіндік келесі формуладан белгілі:

$$\omega = \frac{2\pi f_1(1-s)}{p}, \quad (3.1)$$

$U_1 \approx E_1 = k_\phi f_1$ сәйкес қоректендіріп отырған кернеуінің жиілігін өзгерткен кезде, соңғының амплитудасын да өзгерту қажет [4.2, 4.3, 4.4].

Жиілікті азайтқан кезде, қозғалтқыштар ағыны өседі және бұл қанығуға, токтың және қозғалтқыш температурасының шапшаң өсуіне алып келеді. Ал жиіліктің өсуі қозғалтқыштың рұқсат етілген бұрау моментінің азаюына әсер етеді.

Басқару заңдарына сәйкес, асинхронды қозғалтқыштарды жиіліктік басқарудың тамаша нәтижелерін қолдану үшін қоректендіріп отырған кернеудің жиілігін өзгерту кезінде жиілік және жүктеме функциясының кернеуін реттеу керек. Элект жетектер теориясында мұндай реттеу скаляры атау алды [4.5], және жүктеме тогына байланысты кернеу мен жиіліктің қатынасы жиіліктік реттеу ережесінің кестесіне сәйкес өзгереді [4.6]:

Кесте 3.1 - Жиіліктік реттеу ережесі

Параметрлер	$\frac{M}{M_n}$	$\frac{U}{U_n}$	$\frac{P}{P_n}$	$\frac{\Phi}{\Phi_n}$	$\frac{I}{I_n}$
Тұрақты күш $M = M_n \frac{f_n}{f}$	$\frac{f_n}{f}$	$\sqrt{\frac{f_n}{f}}$	const	$\sqrt{\frac{f_n}{f}}$	$\sqrt{\frac{f_n}{f}}$
Тұрақты момент $M = M_n = const$	const	$\frac{f}{f_n}$	$\frac{f}{f_n}$	const	const
Вентиляциялық заң $M = M_n \left(\frac{f}{f_n}\right)^2$	$\left(\frac{f}{f_n}\right)^2$	$\left(\frac{f}{f_n}\right)^2$	$\left(\frac{f}{f_n}\right)^3$	$\frac{f}{f_n}$	$\frac{f}{f_n}$

Асинхронды қозғалтқыштардың синхронды айналуының классикалық схемасында фазалы роторлы асинхронды қозғалтқыштар жиі қолданылады [4.7, 4.8]. Қозғалтқыштардың ротор орамасының электрлік байланысы арқасында синхронды айналу және бірнеше машиналар мен агрегаттардың қозғалуына қол жеткіземіз. Сонымен қатар қозғалтқыштар саны теория жүзінде көп, бірақ тәжірибе жүзінде екі, үш немесе төрт қозғалтқышты электр жетектері болуы мүмкін. Мысалы, «Бефама» (Польша) фирмасының жүн түту

аппараттарының электр жетектерінің негізгі түткіштерінің саны 5-ке, 6-ға жетуі мүмкін.

Көптеген жылдар бойы тек екі қозғалтқышты екі деңгейлі жиілік түрлендіргіштері бар электр жетектері жасалынып келді.

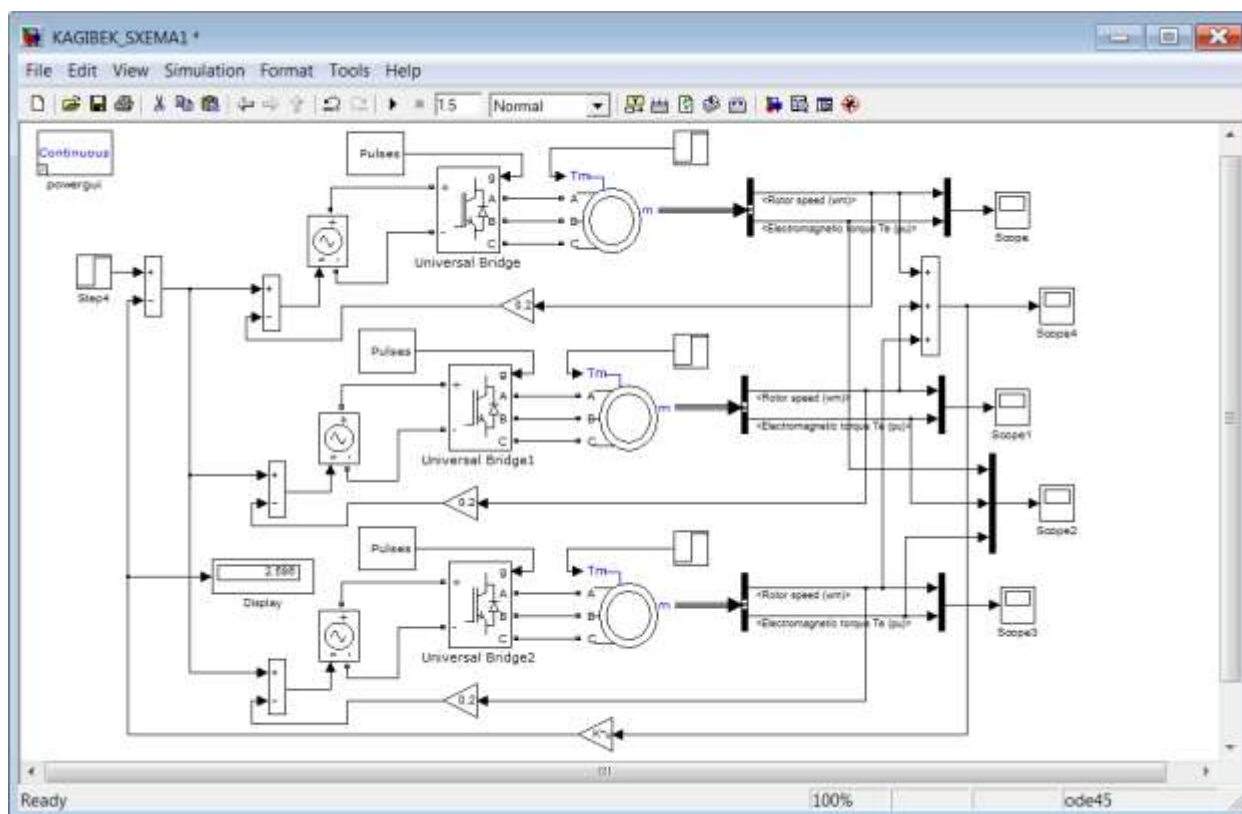
Екі деңгейлі жиілік түрлендіргіштері тікелей жиілік түрлендіргіштерінен (ТЖТ) келесідей артықшылықтары бар [4.7]:

- жиілік түрлендіргіштің шығысында қоретендіріп отырған жүйенің жиілігіне байланыссыз, кең диапазонды жиілік алу мүмкіндігі;

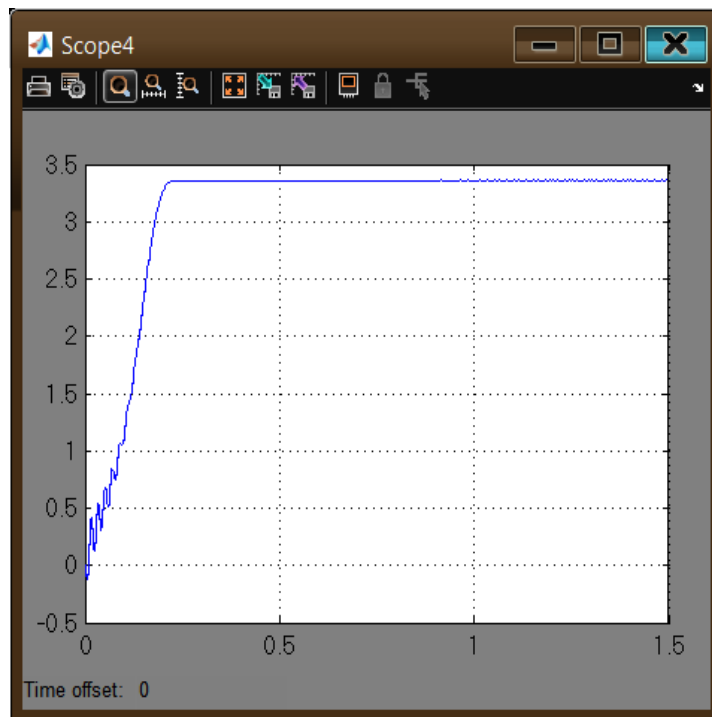
- күштік бөліктің және ЖТ басқару жүйесінің күрделенуін жетектердің қойылатын талаптарды арттыру деңгейіне шамалас шешу мүмкіндігі.

- әр-түрлі бағытталған ЭЖ соның ішінде көп қозғалтқышты электр жетектеріне қойылатын талаптарды қанағаттандыратын, ЖТ әр-түрлі басқару алгоритмдерін салыстырмалы түрде шағын-жасушалық құрылымы арқылы іске асыру мүмкіндігі.

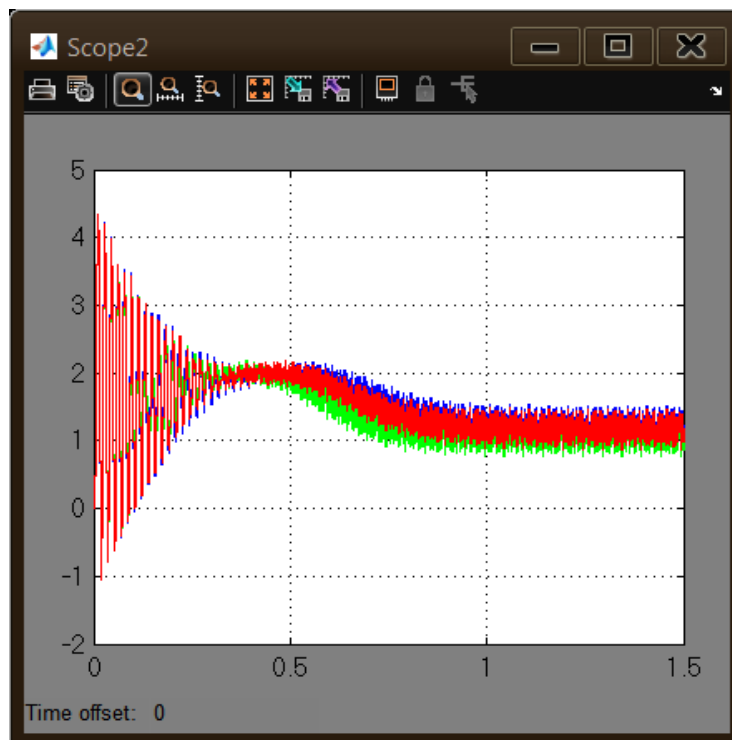
Ары қарай, ЖТ бар КҚАЭЖ жасау үшін, екі деңгейлі автономды кернеу инверторы бар (АКИ), кеі – импульсті модуляциялы (КИМ) ЖТ қолданамыз, кері байланыс болмаған жағдайда тағы жеке жетегі бар схемалар кезінде.



3.2 сурет - MATLABта алынған жылдамдық бойынша кері байланысы және жиілік түрлендіргіші бар роторы ҚТ КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйедегі құрылымдық моделі

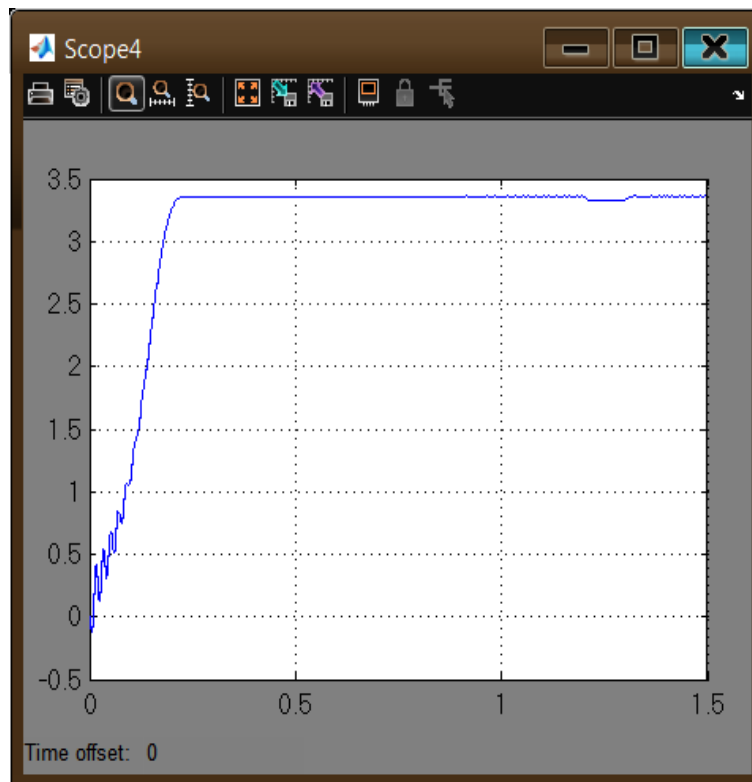


а) жиілік

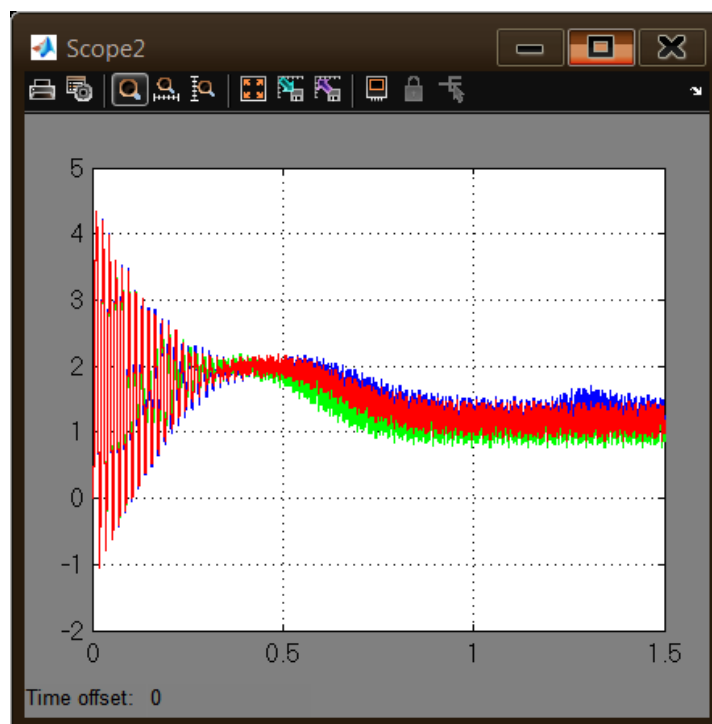


б) момент

3.3 сурет – Жылдамдық бойынша кері байланысы және жиілік түрлендіргіші бар роторы ҚТ КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің іске қосу режимінің графигі

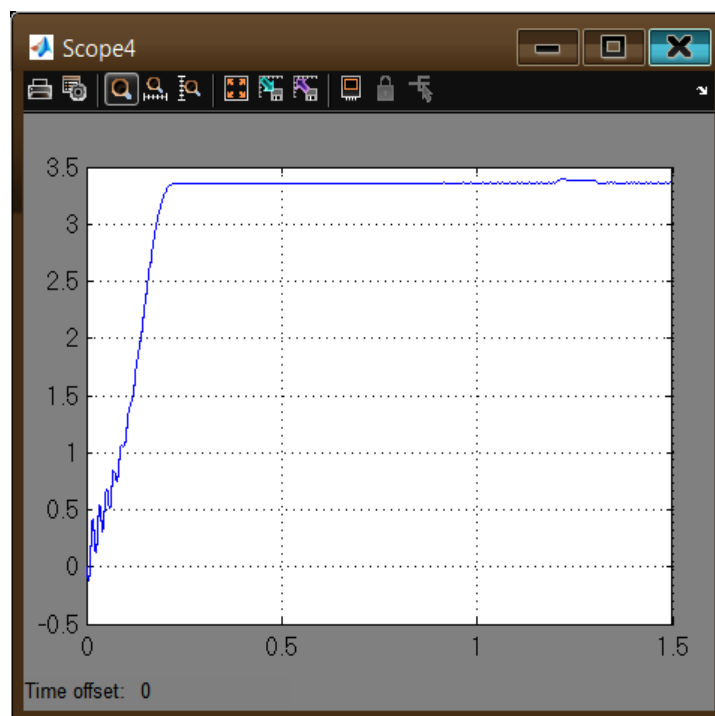


а) жиілік

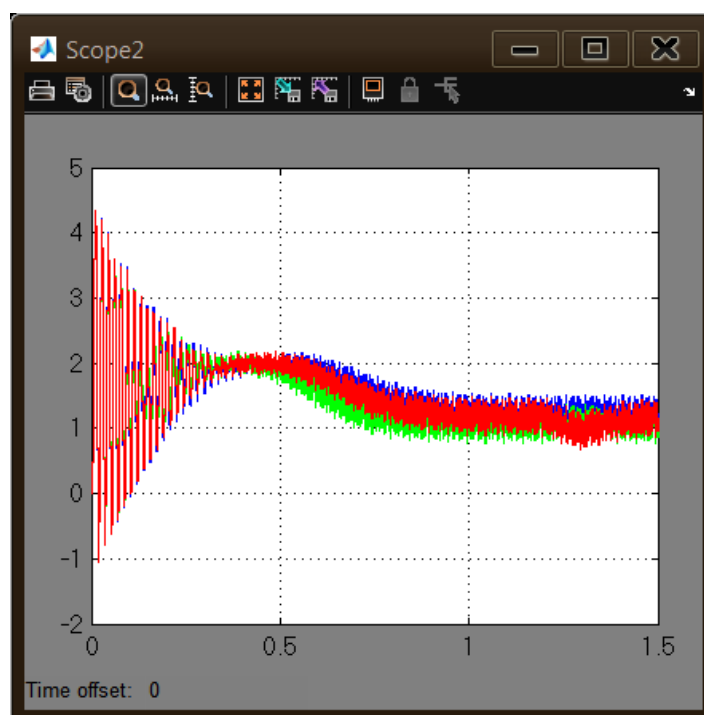


б) момент

3.4 сурет – Жылдамдық бойынша кері байланысы және жиілік түрлендіргіші бар роторы ҚТ КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің үшінші қозғалтқышта жүктемені арттыру (1.5 есе) режимінің графигі



а) жиілік



б) момент

3.5 сурет – Жылдамдық бойынша кері байланысы және жиілік түрлендіргіші бар роторы ҚТ КҚАЭЖ үш қозғалтқышты жүйесінің үшінші қозғалтқышта жүктемені кеміту (0,8 есе) режимінің графигі

Жиілік-реттелетін асинхронды электржетектердің негізгі энергетикалық сипаттамаларын қарастырып, ЖТ-АҚ жүйесінің орныққан және өтпелі режимдеріндегі энергетикалық тиімділік көрсеткіштерін талдайық.

Пайдалы әсер коэффициенті. Электржетектің орныққан режимінде ЖТ-АҚ жүйесінің энергия түрленуінің тиімділігін бағалау үшін тораптан тұтынылатын активті қуат P пен қозғалтқыш білігіндегі $P_{мех}$ пайдалы қуатының арасындағы қатыс қолданылады. Онда:

$$\eta_{э.жс.} = \frac{P_{мех}}{P}. \quad (3.2)$$

Практикалық шешімдерде (4.1) қатынасы жиілік түрлендіргіш ($\eta_{ЖТ}$) пен асинхронды қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициенттерінің ($\eta_{козг}$) көбейтіндісімен анықталады:

$$\eta_{э.жс.} = \eta_{ЖТ} \eta_{козг}. \quad (3.3)$$

$\eta_{э.жс.}$ пайдалы әсер коэффициентінің әр құраушысы энергия шығындарының қуаты арқылы жазылады, сәйкесінше жиілік түрлендіргішінде ($\Delta P_{ЖТ}$) және асинхронды қозғалтқышта ($\Delta P_{козг}$):

$$\eta_{ЖТ} = \frac{P_1}{P} = 1 - \frac{\Delta P_{ЖТ}}{P_1 + \Delta P_{ЖТ}}, \quad (3.4)$$

$$\eta_{козг} = \frac{P_{мех}}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P_{козг}}{P_{мех} + \Delta P_{козг}}. \quad (3.5)$$

мұндағы P_1 – қозғалтқыштың түрлендіргіштен тұтынатын активті қуаты.

Жиілік түрлендіргіштегі энергия шығынының қуаты. Басқарылмайтын түзеткіштен қоректенетін АКИ бар жиілік түрлендіргішінде келесі шығындар орын алуы мүмкін:

- басқарылмайтын түзеткіш вентиліндегі және автономды кернеу инверторының күштік кілттеріндегі шығындар;
- түзеткіш кірісіндегі электромагнитті үйлесімдік сүзгіштерінде және коммутациялайтын реакторларындағы, тұрақты ток буынының сүзгіш реакторындағы және сонымен қоса шығыс сүзгіштері мен реакторларындағы (қондырылған жағдайда) шығындар;
- шығыс сүзгіші мен тұрақты ток буынының фильтр конденсаторындағы шығындар;

- қорғаныстық RC -тізбегіндегі шығындар.

ЖТ-дегі толық қуат шығындарының негізгі бөлігін түзеткіш вентилдеріндегі, инвертор кілттеріндегі және реакторлардағы электр шығындары құрайды. Сол себепті, түрлендіргіштегі электр шығындарын маңызды болып келеді. Электр шығындарын аналитикалық тәсілмен дәл анықтау ЖТ дискретті және сызықты емес ерекшеліктерін ескеррудің күрделілігінен қиындық тудырады, сондықтан шығындарды есептеу барысында екінші дәрежелі құраушыларын алып тастауға мүмкіндік беретін ұйғарымдарды қабылдау керек. Мұндай ұйғарымдарға түзеткіш пен инвертордағы коммутациялық процестерді есепке алмау жатады, бұл ЖТ процестердің түсініктемесін үздіксіз немесе пайдалы құраушылар бойынша жасауға мүмкіндік береді.

ЖТ электр шығындарды автономды инвертордың қоректендіру көзіндегі электр шығындардың қосындысы түрінде көрсетелік, құрамына кіріс коммутациялайтын реакторлар, басқарылмайтын түзеткіш және тұрақты ток буынының тегістеуші LC -сүзгішінің және шығыс реакторлы автономды кернеу инверторындағы электр шығындарының реакторы бар:

$$\Delta P_{ПЧ} = \Delta P_{u.n.} + \Delta P_{a.u.}, \quad (3.6)$$

мұндағы $\Delta P_{u.n.}$ – АКИ қоректендіру көзіндегі электр шығындары;

$\Delta P_{a.u.}$ – кернеу инверторындағы электр шығындары.

$\Delta P_{u.n.}$ келесі құраушылардың қосындысы түрінде көрсетейік:

$$\Delta P_{u.n.} = \Delta P_{p.вх} + \Delta P_{\epsilon} + \Delta P_{p.ф}, \quad (3.7)$$

мұндағы $\Delta P_{p.вх}$ – кіріс коммутациялайтын реакторларының

орамдарындағы мыс шығындары;

ΔP_{ϵ} – түзеткіш вентилдеріндегі электр шығындары;

$\Delta P_{p.ф}$ – тұрақты ток буынының тегістеуші сүзгіш реакторының

орамындағы мыс шығындары.

Кіріс коммутациялайтын реакторларындағы электр шығындары торап тоғының негізгі гармоникасынан бастап келесі формула арқылы есептеледі:

$$\Delta P_{p.вх} = 3R_{p.вх} I_{эф}^2, \quad (3.8)$$

мұндағы $R_{p.вх}$ – реактор орамдарының активті кедергісі;

$I_{эф}$ – реактор тоғының негізгі гармоникасының эффективті мәні.

Түзеткіш пен инвертордағы шығындарды ескермей, ЖТ сұлбасының кіріс және шығыс тоқтары арасындағы қатынасын жазамыз:

$$I_{эф} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_{\epsilon}; \quad I_{\epsilon} = I_u; \quad I_u = \frac{P_1}{U_u}, \quad (3.9)$$

мұндағы I_{ϵ} – түзеткіш шығыс тоғының орташа мәні;
 I_u , U_u – инвертор кірісіндегі тоқ пен кернеудің орташа мәндері.

(3.5) ескере отыра АКИ қоректендіру көзінің коммутациялайтын реакторларындағы электр шығындары келесі түрге түрленеді:

$$\Delta P_{p.вх} = \frac{18}{\pi^2} R_{p.вх} \frac{P_1^2}{U_u^2}. \quad (3.10)$$

Басқарылмайтын түзеткіш венти́лдеріндегі жалпы қабылданған жартылай өткізгішті диодтың вольтамперлік сипаттамасын сызықтандыруды қолдану кезіндегі электр шығындар:

$$\Delta P_{\epsilon} = 6(U_{\epsilon p} I_{\partial.ср} + R_{\partial.диф} I_{\partial.эф}^2), \quad (3.11)$$

мұндағы $U_{\epsilon p}$ – диодтағы кернеудің шектік немесе түзу құлауы;
 $R_{\partial.диф}$ – түзу тоқ үшін диодтың дифференциалды кедергісі;
 $I_{\partial.ср}$, $I_{\partial.эф}$ – диод тоғының орташа және эффективті мәндері.

Түзеткіштің тоғы идеалды түрде тегістелген кезінде

$$I_{\partial.ср} = I_d / 3; \quad I_{\partial.эф} = I_d / \sqrt{3}. \quad (3.12)$$

Онда (3.8) қатынасын ескеріп электр шығындарының теңдеуі келесі түрге келтіріледі:

$$\Delta P_{\epsilon} = 2 \left(\frac{U_{\epsilon p}}{U_u} P_1 + R_{\partial.диф} \frac{P_1^2}{U_u^2} \right). \quad (3.13)$$

Тұрақты тоқ буынының тегістеуші сүзгішінің реакторындағы электр шығындар $\Delta P_{p.ф} = R_{p.ф} I_{\epsilon}^2$, мұндағы $R_{p.ф}$ - реактор орамының активті кедергісі.

Түзеткіштің шығыс тоғын қозғалтқыш қоректенетін активті қуат арқылы көрсетіп, келесіні аламыз:

$$\Delta P_{p.\phi} = R_{p.\phi} \frac{P_1^2}{U_u^2}. \quad (3.14)$$

АҚ номинал режимде жұмыс істеген кезіндегі кернеу инверторының қоректендіру көзінің элементтеріндегі энергия шығындарының қуатын анықталық:

$$\Delta P_{\text{в1ном}} = 2 \frac{U_{cp}}{U_u} P_{1ном}; \quad \Delta P_{\text{в2ном}} = 2 R_{\text{д.диф}} \frac{P_{1ном}^2}{U_u^2}; \quad (3.15)$$

$$\Delta P_{p.\text{вх.ном}} = \frac{18}{\pi^2} R_{p.\text{вх}} \frac{P_{1ном}^2}{U_u^2}; \quad \Delta P_{p.\phi.\text{ном}} = R_{p.\phi} \frac{P_{1ном}^2}{U_u^2}.$$

(3.6) және (3.9)...(3.11) ескеріп кернеу инверторының қоректендіру кернеуіндегі қосындылық электр шығындары үшін келесі өрнекті аламыз:

$$\Delta P_{u.n} = \left(\Delta P_{\text{в1ном}} + \Delta P_{\text{в2ном}} \frac{P_1}{P_{1ном}} \right) \frac{P_1}{P_{1ном}} + (\Delta P_{p.\text{вх.ном}} + \Delta P_{p.\phi.\text{ном}}) \frac{P_1^2}{P_{1ном}^2}. \quad (3.16)$$

Сонымен, құрамына кіріс реакторы бар басқарылмайтын түзеткіш кіретін АКИ қоректендіру көзінің электр шығындары қозғалтқыштың жиілік түрлендіргіштен тұтынатын активті қуатына тәуелді болады. (3.16) көрінгендей қосындылық электр шығындарының бір бөлігі активті қуатқа пропорционал, ал басқа бөлігі оның квадратына пропорционал.

АКИ-дағы электр шығындарын екі құраушылардың қосындысы түрінде көрсетелік $\Delta P_{a.u} = \Delta P_{\text{кл.и}} + \Delta P_{p.\text{вых}}$, мұндағы $\Delta P_{\text{кл.и}}$ - инвертор күштік кілттеріндегі электр шығындары; $\Delta P_{p.\text{вых}}$ - шығыс реактор орамдарындағы мыс шығындары.

Автономды кернеу инверторларында IGBT-транзисторлары негізінде жасалған толығымен басқарылатын жартылай өткізгішті күштік кілттер қолданылады. Мұндай кілттер екі жақты өткізгіштікке ие. 16-суретінде IGBT-транзисторлары негізінде жасалған күштік кілттің сұлбасы мен нақтыланған вольт-амперлік сипаттамасы көрсетілген. Күштік кілттегі шығындарды оның вольт-амперлік сипаттамасы негізінде анықтауға болады. Сипаттаманың түзу тармағы – транзистор ерекшеліктерімен анықталады, ал кері тармақ – кері диодтың ерекшеліктерімен анықталады. Кілттің кері және түзу тармағын бөліктеп-сызықтау аппроксимациясы кезінде $\Delta P_{\text{кл.пр}}$ және $\Delta P_{\text{кл.обр}}$ шығындары сәйкесінше тура және кері тоқтарының ағуында келесі өрнектер арқылы анықтауға болады:

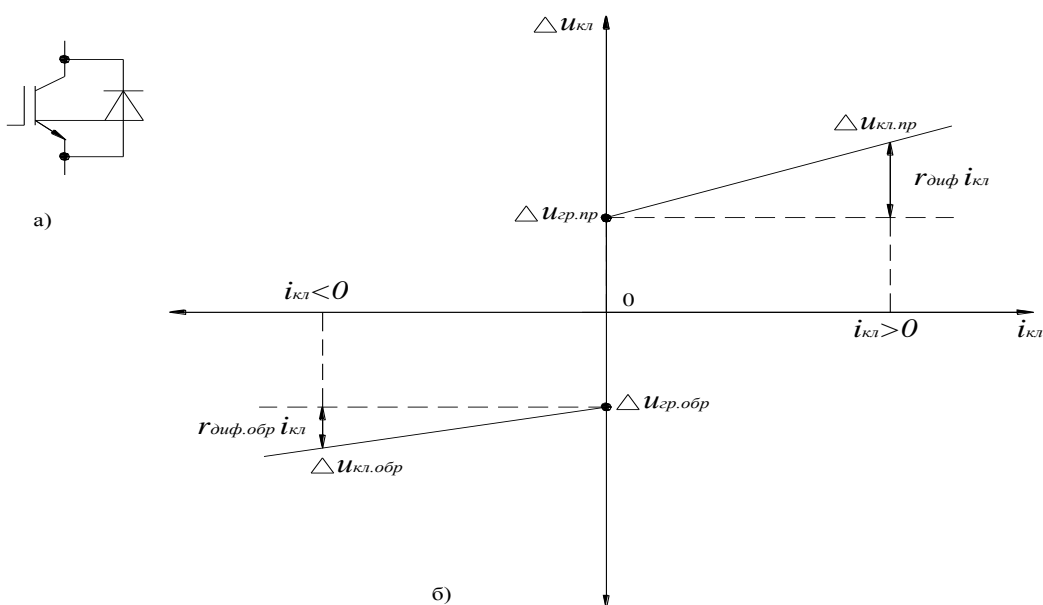
$$\begin{aligned}\Delta P_{кл.пр} &= U_{зр.пр} I_{кл.пр.ср} + R_{кл.пр.диф} I_{кл.пр.эф}^2; \\ \Delta P_{кл.обр} &= U_{зр.обр} I_{кл.обр.ср} + R_{кл.обр.диф} I_{кл.обр.эф}^2,\end{aligned}\quad (3.17)$$

мұндағы $U_{зр.пр}$, $U_{зр.обр}$ – тура және кері тоқтардағы кернеудің шектік құлауы;

$I_{кл.пр.ср}$, $I_{кл.обр.ср}$ – кілттің тура және кері тоқтарының орташа мәндері;

$R_{кл.пр.диф}$, $R_{кл.обр.диф}$ – тура және кері тоқтардағы кілттің дифференциалды кедергілері;

$I_{кл.пр.эф}$, $I_{кл.обр.эф}$ – кілттің тура және кері тоқтарының эффективті мәндері.



3.6 сурет – IGBT-транзисторлары негізінде жасалған күштік кілттің сұлбасы (а) мен нақтыланған вольт-амперлік сипаттамасы (б)

Шығыс кернеудің симметриялы ЕИМ кезіндегі күштік кілттің тура және кері тоқтарының орташа және эффективті мәндерін анықтайық. Тоқтардың орташа мәндері:

$$I_{кл.пр.ср} = \frac{i_1}{2\pi} \left(1 + \frac{\pi}{4} \mu \cos \varphi \right); \quad (3.18)$$

$$I_{кл.обр.ср} = \frac{i_1}{2\pi} \left(1 - \frac{\pi}{4} \mu \cos \varphi \right), \quad (3.19)$$

ал тоқтардың эффективті мәндері келесідей анықталады:

$$I_{кл.пр.эф} = \frac{i_1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{4}{3\pi} \mu \cos \varphi}; \quad (3.20)$$

$$I_{кл.обр.эф} = \frac{i_1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{4}{3\pi} \mu \cos \varphi}, \quad (3.21)$$

мұндағы μ – модуляция коэффициенті, $\mu = 2u_1 / U_u$.

(3.18)...(3.21) өрнектерінде i_1 және u_1 – АҚ статорының фазалық тоғы мен кернеуінің негізгі гармоника векторларының модулдері.

(3.18)...(3.21) теңдеулері симметриялы ЕИМ бар АКИ кілттеріндегі қосындылық электр шығындарын келесі түрде алуға мүмкіндік береді:

$$\begin{aligned} \Delta P_{кл.и} = & \frac{1}{2\pi} (U_{гр.пр} + U_{гр.обр}) i_1 + \frac{3}{4} (R_{кл.пр.диф} + R_{кл.обр.диф}) i_1^2 + \\ & + \frac{U_{гр.пр} - U_{гр.обр}}{U_u} P_1 + \frac{8}{3\pi} \frac{R_{кл.пр.диф} - R_{кл.обр.диф}}{U_u} i_1 P_1. \end{aligned}$$

АКИ шығыс реакторларындағы электр шығындары статор фазалық тоқтарының нәтижелік вектор модулінің квадратына пропорционалды болып келеді: $\Delta P_{р.вых} = \frac{3}{2} R_{р.вых} i_1^2$, мұндағы $R_{р.вых}$ - реактор орамының активті кедергісі.

ЖТ қосындылық шығындарының асинхронды қозғалтқыш жұмыс режимінен тәуелділігін анализдеу үшін АКИ-дағы электр шығындарды ыңғайлы түрге келтіреміз:

$$\begin{aligned} \Delta P_{кл.и} = & \left(\Delta P_{кл.1ном} + \Delta P_{кл.2ном} \frac{i_1}{i_{1ном}} \right) \frac{i_1}{i_{1ном}} + \\ & + \left(\Delta P_{кл.3ном} \frac{P_1}{P_{1ном}} + \Delta P_{кл.4ном} \frac{i_1}{i_{1ном}} \right) \frac{P_1}{P_{1ном}}; \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\Delta P_{р.вых} = \Delta P_{р.вых.ном} \frac{i_1^2}{i_{1ном}^2}. \quad (3.23)$$

(3.22) мен (3.23)-ке кіретін $\Delta P_{кл.1ном}$ және $\Delta P_{р.вых.ном}$ тұрақты шамалар АҚ активті қуаты мен статор тоғының номинал мәндері арқылы есептеледі:

$$\Delta P_{кл.1ном} = \frac{1}{2\pi} (U_{эр.пр} + U_{эр.обр}) i_{1ном} ;$$

$$\Delta P_{кл.2ном} = \frac{3}{4} (R_{кл.пр.диф} + R_{кл.обр.диф}) i_{1ном}^2 ;$$

$$\Delta P_{кл.3ном} = \frac{U_{эр.пр} - U_{эр.обр}}{U_u} P_{1ном} ;$$

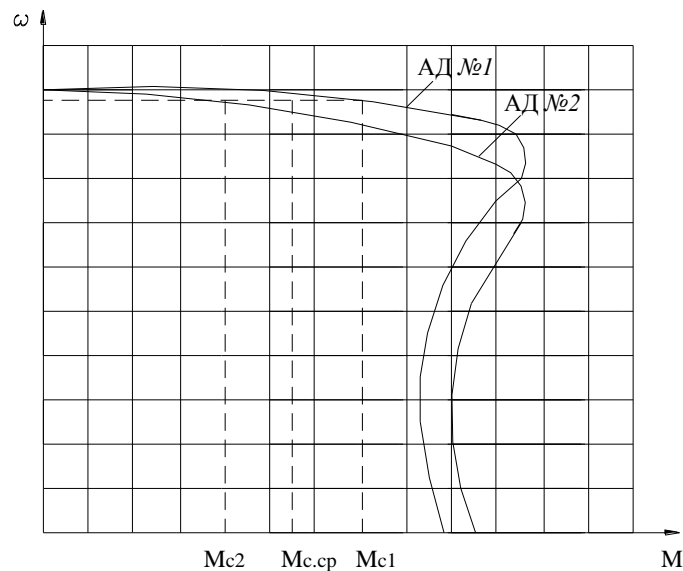
$$\Delta P_{кл.4ном} = \frac{8}{3\pi} \frac{R_{кл.пр.диф} - R_{кл.обр.диф}}{U_u} i_{1ном} P_{1ном} ;$$

$$\Delta P_{р.вых.ном} = \frac{3}{2} R_{р.вых} i_{1ном}^2 .$$

(3.22) мен (3.23) теңдеулері АКИ электр шығындарының қозғалтқыштың жиілік түрлендіргіштен тұтынатын активті қуаты пен статор тоғына тәуелділігін көрсетеді, олар өз кезегінде электржетек жүктеме моментін өзгерту мен жылдамдықты реттеу кезінде өзгереді.

Асинхронды электржетектің тұрақты шығындары оның жүктемесіне тәуелді емес және өзгермейтін жылдамдық кезінде өзгеріссіз қалады. Сонымен қоса, статор мен ротордың мыс шығындары жататын айнымалы шығындар жүктемеге тәуелді болады. Электржетек жүктемесі механизмнің сипаттамаларына тәуелді болатын механизмдердің үлкен саны бар, оларға жобалау, баптау процесінде және эксплуатацияда әсер етуге болады.

Көп жағдайда механизмдер электржетектерін екі- немесе көпқозғалтқышты электржетектер түрінде жасайды, бұл процес қозғалысын жақсартатын олардың инерция моментін төмендету үшін жасалынған. Барлық мұндай механизмдерде қозғалтқыш жылдамдықтары бірдей, ал статикалық жүктеменің бөлінуі, егер арнайы жұмыстар атқарылмаған болса, бірдей болмайды.



3.7сурет – Екі параллель жұмыс істеп жатқан қозғалтқыштар арасындағы жүктеме моментінің таратылуы

Қозғалтқыштардың бірдей жүктемеленбеуінің себебі қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларының мәнді емес айырмашылығында болады. 4.5-суретінде тораптан қоректенетін екі бірдей асинхронды қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары көрсетілген. Бірдей айналу жиілігінде қозғалтқыш моменттері, сәйкесінше АҚ-1 және АҚ-2, келесі теңдеулермен анықталады:

$$M_{c1} = M_{c.opt} + \Delta M_c; \quad M_{c2} = M_{c.opt} - \Delta M_c,$$

мұндағы $M_{c.opt}$ – статикалық моменттің орташа мәні,

$$M_{c.opt} = (M_{c1} + M_{c2}) / 2;$$

ΔM_c – статикалық моменттің орташа мәннен ауытқуы.

Мұндай көріністің реттелетін электржетекте де болуы айқын. Оның себебі әр қозғалтқыштың параметрлерінің шашырауы және сонымен қатар басқару жүйелерінің бапталуында айырмашылықтың болуы. Жүктемелердің бөлінуінің бірдей болмауының қозғалтқыштағы энергия шығындарына әсерін бағалайық.

Қозғалтқыштағы айнымалы энергия шығындарын (статор мен ротордағы мыс шығындары) механикалық айнымалылар арқылы көрсетуге болады:

$$\Delta P_m = M \omega_0 S(1 + a), \quad (3.24)$$

мұндағы $a = R_1 / R'_2$.

Қозғалтқыштың қозғалтқыштық режиміндегі жұмысы механикалық сипаттаманың сызықты бөлігінде орын алатындықтан, онда қозғалтқыш сырғуын оның моменті арқылы нақты көрсетуге болады:

$$S = \frac{M}{\beta \omega_0}, \quad (3.24)$$

мұндағы β – механикалық сипаттаманың сызықты бөлігінің қатаңдығы,

$$\beta = M_{ном} / \omega_0 S_{ном}.$$

Онда

$$\Delta P_{м} = \frac{1+a}{\beta} M^2. \quad (3.25)$$

Қозғалтқыштың номинал жұмыс режимінде мыс шығындары ($M = M_{ном}$ кезінде) келесідей болады:

$$\Delta P_{м.ном} = \frac{1+a}{\beta} M_{ном}^2. \quad (3.26)$$

Онда қозғалтқыштың номиналдан өзгеше моментпен жұмыс істеуі кезінде, мыс шығындары:

$$\Delta P_{м} = \Delta P_{м.ном} (M / M_{ном})^2.$$

Жоғарыда келтірілген мысал үшін бірінші қозғалтқыштың мыс шығындары:

$$\Delta P_{м(1)} = \Delta P_{м.ном} \left(\frac{M_{с.орт} + \Delta M_c}{M_{ном}} \right)^2, \quad (3.27)$$

екінші қозғалтқыш үшін:

$$\Delta P_{м(2)} = \Delta P_{м.ном} \left(\frac{M_{с.орт} - \Delta M_c}{M_{ном}} \right)^2, \quad (3.28)$$

ал екі қозғалтқыштағы қосындылық шығындар келесідей болады:

$$\Delta P_{\Sigma} = 2\Delta P_{\text{м.ном}} \frac{M_{\text{с.опт}}^2 + \Delta M_{\text{с}}^2}{M_{\text{ном}}^2}, \quad (3.29)$$

Егер қозғалтқыштар бірдей жүктелген болса, онда екі қозғалтқыштағы қосындылық шығындар:

$$\Delta P_{\Sigma} = 2\Delta P_{\text{м.ном}} \frac{M_{\text{с.опт}}^2}{M_{\text{ном}}^2},$$

яғни қосымша шығындар шамасына аз болады:

$$\Delta P_{\Sigma \text{қосымша}} = 2\Delta P_{\text{м.ном}} \frac{M_{\text{с}}^2}{M_{\text{ном}}^2}. \quad (3.30)$$

Осы қозғалтқыштардың жүктемелерін теңестіру арқылы энергияны тиімдеу бірінші көзқараста айтарлықтай көрінбеуі мүмкін, бірақ екі нәрсені ескеру қажет. Біріншіден, қозғалтқыштардың жүктемелерін теңестіруге кететін шығындар үлкен емес. Фазалы роторлы қозғалтқыштарды қолдану кезінде бұл ротор тізбегіндегі қосымша кедергілерді кішкене өзгерту арқылы іске асырылуы мүмкін. ТКТ-АҚ және ЖТ-АҚ жүйелерінде бұл электржетектердің реттегіштерін нақтырақ бапталуын және электржетектерге қойылатын сигналдардың нақтырақ қалыптастырылуын қажет етеді. Екіншіден, мұндай электржетектердің жаппай қолданылуы қосындылық энергия тиімділігі сезінерлік болады.

3.2 FCI типті жиілік түрлендіргіштері

Жоғары өндірістік талаптарды қанағаттандыратын FCI типті жиілік түрлендіргіштерін Instart компаниясы арнайы Ресей және Орта Азия нарығына арнап жасап шығарған. FCI типті жиілік түрлендіргіштері өзінің құрылымы мен сыртқы көрінісі жағынан толығынан оптимизацияланған және оның күшті құрылымдық функциялары әр-түрлі салалардағы жоғары өндірістік талаптарды қанағаттандыруға арналған. FCI типті Instart жиілік түрлендіргіштері – бұл жоғары сапа, техникалық шешімдерде эффектілік пен рационалдық жағынан басқа әлемдік брендтерден еш кем түспейді. Олар 0,75 тен 630 кВт қуат аралығындағы үшфазалы асинхронды электр қозғалтқыштарын басқаруға арналған және кең функционалды мүмкіндігі кез келген мақсатта қолдануға жағдай жасайды.

FCI типті жиілік түрлендіргіштерінің артықшылықтары:

1. Басқарудың жоғары дәлдігі:

- жылдамдықты реттеудің диапазоны: 1:100 (SVC) 1:1000 (VC);

- жылдамдықты тұрақтандыру дәлдігі: 0.5 % (SVC) 0.02 (VC);
- моментті басқару дәлдігі: 5 % (VC).

2. Әр түрлі қозғалтқыштарды векторлы басқару яғни асинхронды және синхронды қозғалтқыштарды басқару.

3. Тербелулер кезінде моменттің жылдам қалыптануы:

- SVC: реакция жылдамдығы < 20 м/с
- VC: реакция жылдамдығы < 5 м/с

4. Жоғары іске қосу моменті.

Жадына бекітілген төрт ядролы басқару модулі бар. Ол модуль арқылы қарапайым қосу, азайту, бөлу, көбейту, өлшемді бағалау және интегралдық операцияларды шешуді орындауға болады. Әрбір операция төрт тікелей адресстердің кірісі мен бәр шығысына ие. Бұл тікелей адрес шығысы функция коды болып табылады.

Сонымен қатар FCI типті жиілік түрлендіргіштерінің бекітілген екі таймері кіріс сигналдарының синхронизациясы мен уақытша сигналдардың шешімін шығаруға қызмет істейді.



3.8 сурет - FCI типті жиілік түрлендіргіштерінің бекітілген таймер функциясы

Бес бекітілген виртуалды ұстамдылық уақыт релесі цифрлық кірістің сигналдары мен көп функционалды шығыс клеммаларына қарапайым логикалық операцияларды жүргізуге арналған. Логикалық нәтиже терминалдың эквивалентті енгізу функциясы ретінде қарастырылады, сонымен қатар көп функционалды шығыс клеммаларынан шығарылуы мүмкін. Логикалық нәтиже уақыт бойынша ұстанымымен өткізілуі мүмкін және терістеу операциялары да жүргізіледі.



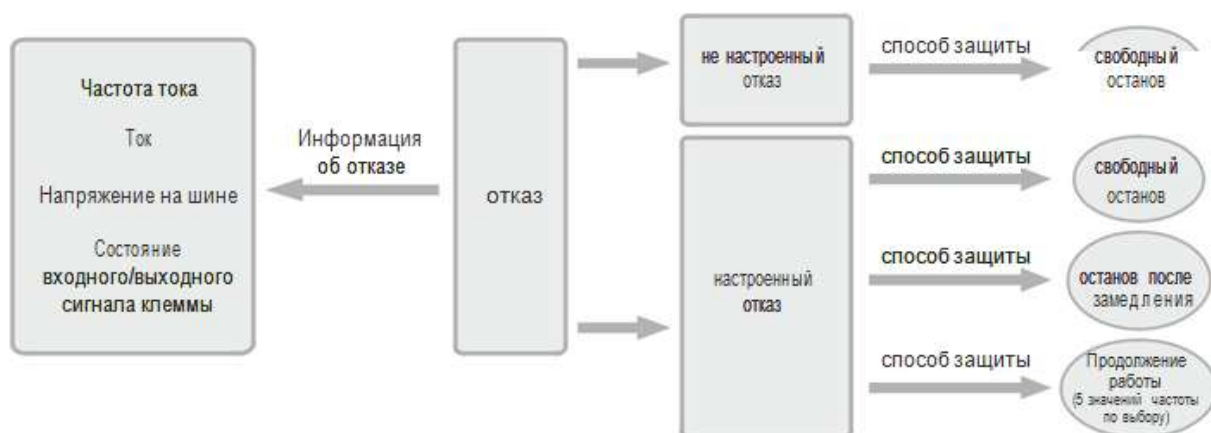
3.9 сурет - FCI типті жиілік түрлендіргіштерінің бекітілген басқару модулі функциясы

Егер ток қорғаныстың ағымдағы мәнінен асып түссе, ондай жағдайда токты жылдам шектеу функциясы іске қосылады.

Жиілік түрлендіргіш істен шықпауы үшін немесе құрылғыны қорғау үшін токты жылдам шектеу функциясы ток мәнін қорғаныстың ағымдағы мәнінде ұстап тұрады.

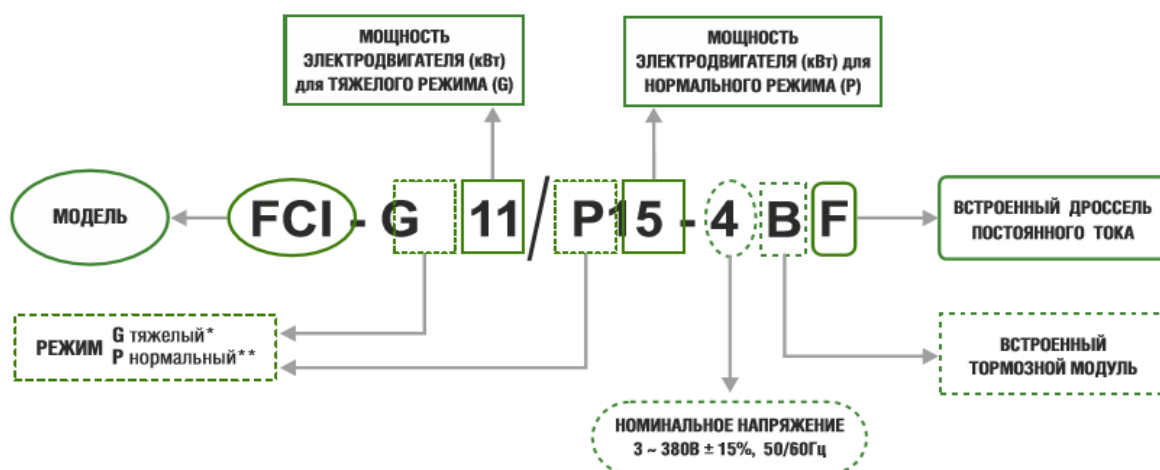
Жиілік түрлендіргіш басқару жүйесінің қоректену көзі 24В кернеуге ие және 300 мА токты шектеу функциясымен жабдықталған. Оны қолданушы сыртқы құрылғыларды жалғауға қолдана алады.

Қате жұмыс немесе сбой салдарынан қателіктер туындаған жағдайда жиілік түрлендіргіштің туралауларын қалпына келтіру үшін қолданушы параметрлерді резервтік көшіруді қолданады. Жиілік түрлендіргішті басқарудың программалық қамтамасыз етуі сақтау, жүктеу, түрлендіру және параметрлерді компьютер арқылы оқуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, программалық басқару келесі қолдануға бекітілген параметрлерді сақтайды. Жиілік түрлендіргіштер RS-485; MODBUS; PROFIBUS протоколдары арқылы деректер беріп, байланыс жасайды.



3.10 сурет - FCI типті жиілік түрлендіргіштерінің сәтсіздіктерінің жіне қорғаныс түрлерінің функциясы

Бірнеше сәтсіздіктер үшін жеңіл түрлендіру әдістерін жүргізуге жиілік түрлендіргіштер мүмкіндік береді, яғни қолдануды ыңғайлы ету және тапсырыс берушінің спецификалық талабын қанағаттандыру үшін.

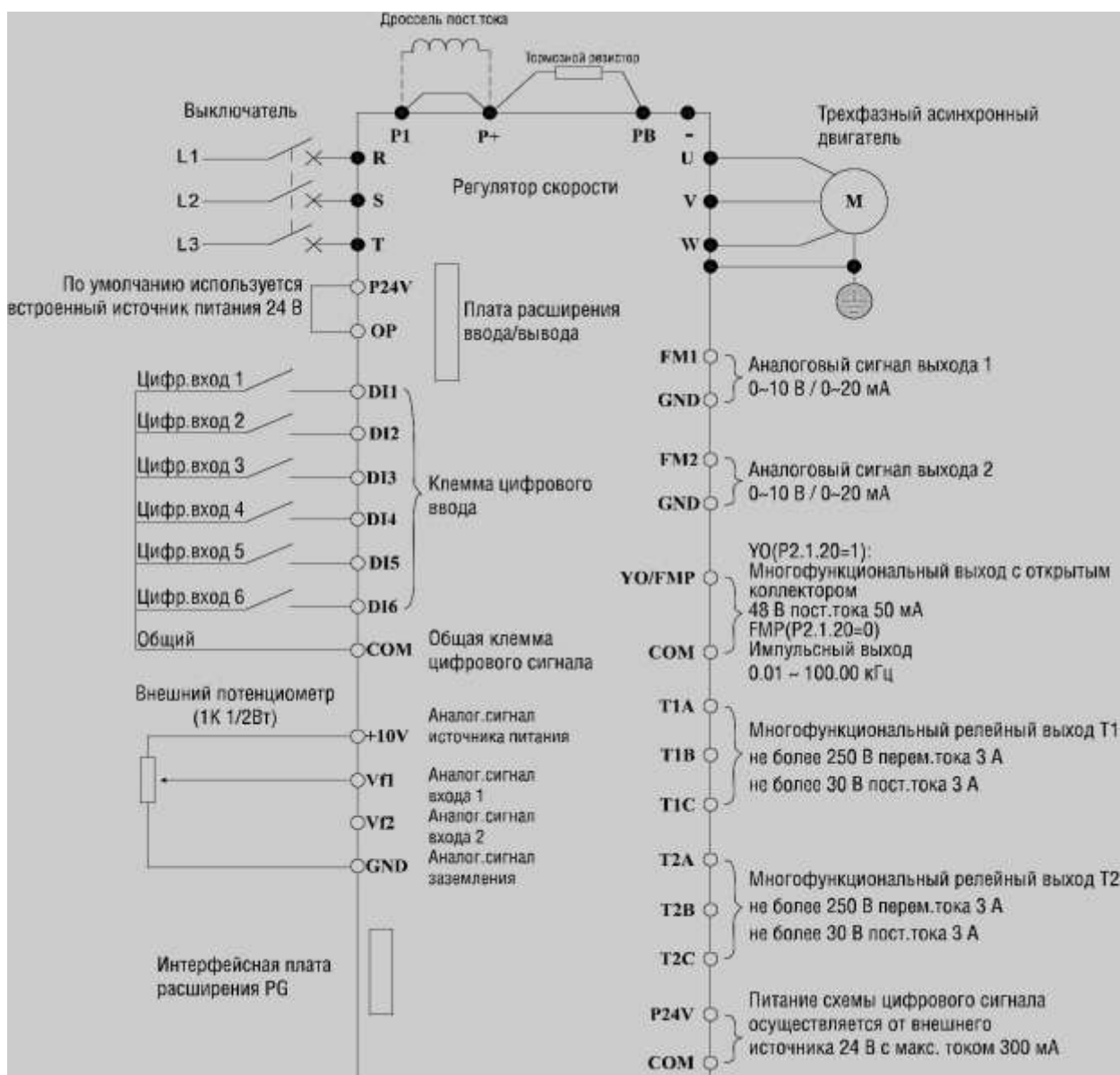


3.11 сурет - FCI типті жиілік түрлендіргіштерінің белгілену жүйесі

FCI типті жиілік түрлендіргіштерінің екі жұмыс режимі бар: ауыр режим және қалыпты режим.

Ауыр режим – тұрақты айналу моменті бар жүктемемен қолданылады. Бұл кезде кез келген механизмді әрекетке келтіретін айналу моменінің шамасы айналу жылдамдығына тәуелсіз тұрақты. Мұндай режимге мысал ретінде конвейерлер, экструдерлер мен компрессорларды алуға болады.

Қалыпты режим – айнымалы айналу моменті бар жүктемемен қолданылады. Бұл моменттің жүктемеге қатысы бар, себебі төменгі айналу жиілігі кезінде төменгі айналу моменті керек. Ал, айналу жылдамдығы артқан кезде одан да жоғары айналу моменті қажет болады. Мұндай режимге мысал ретінде насостар мен вентиляторларды алуға болады.



3.12 сурет - FCI типті жиілік түрлендіргіштерінің жалғану схемасы(қуаты 15 кВт-ға дейінгі жиілік түрлендіргіштердің стандартты конфигурациясы)

3.3 ПЛК 63 өндірістік микроконтроллер және энкодерлер

ОВЕН ПЛК63 контроллері – энергетика саласындағы технологиялық құрылғыларды автоматты басқару жүйесін құруға арналған және өндірістің әр түрлі салаларында, тұрғын үй коммуналды шаруашылығында, ауыл шаруашылығында кең қолдануға арналған.

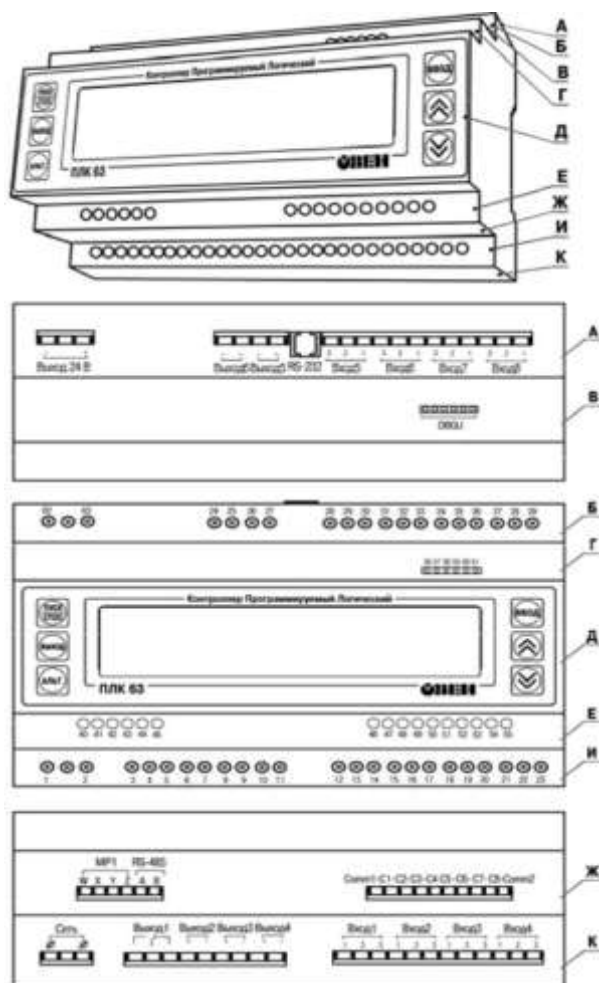
ПЛК63 контроллерінің жұмыс істеу логикасы контроллерді қолдану барысында пайдаланушымен анықталады. Ал оны программалау «CoDeSys 2.3» программалық жабдықтау арқылы жүргізіледі. Сонымен қатар МЭК 61131-3 көрсетілген барлық тілдер қолданылады.

CoDeSys программалық жабдықтауы мен контроллерді программалау құжаттары жеткізілімнің құрамына кіретін компакт дискіде келтірілген.

Контроллер келесідей мақсаттарда қолданылады: белгіленген локалдық нысанның арнайы басқару құрылғысы ретінде; комплексті информациялық жүйенің құрамындағы локалдық нысанның мониторинг құрылғысы ретінде; комплексті информациялық жүйенің құрамындағы локалды нысандар тобының арнайы басқару құрылғысы және локалдық нысандар тобының мониторинг құрылғысы ретінде қолданылады.

Контроллердің кірісі мен шығысы жеткілікті жылдам әрекеттілікке ие емес, сондықтан жылдам әрекетті құрылғыларды автоматизациялау кезінде қолдану ұсынылмайды(ЧПУ станоктары, жылдам әрекетті автоматтар).

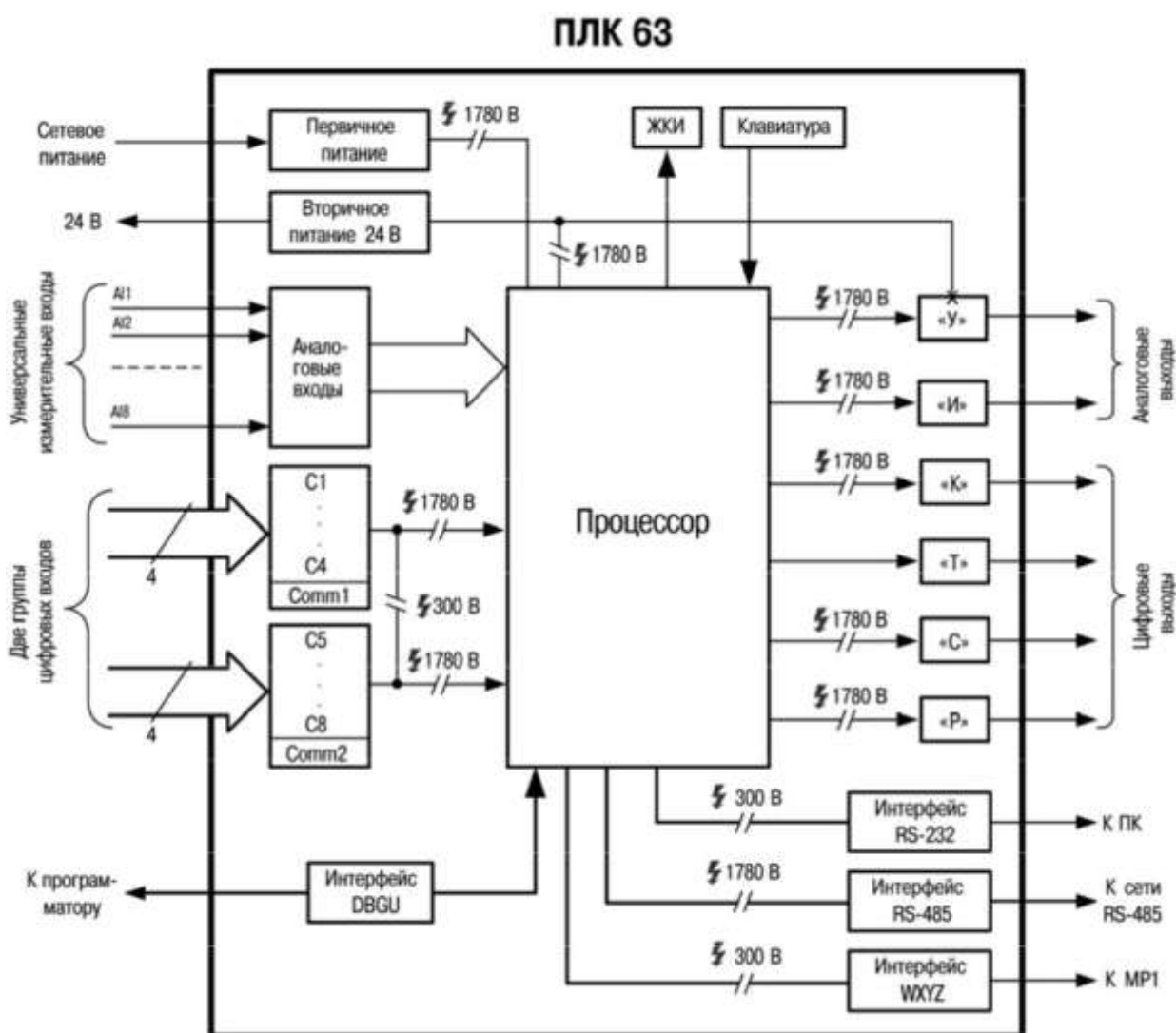
ПЛК63 контроллері DIN-рейкаға бекіткенге арналған жинақы пластмасс қорапта жасалған. Қораптың сырты үш деңгейлі сатылы формаға ие. Алдыңғы бетінде индикация элементтері мен басқару элементтері орналасқан, ал артыңғы жағында DIN-рейкаға бекіткенге арналған защелкалар бар. Қораптың томенгі және жоғарғы сатылы беттерінде контроллердің қосылатын байланыстары орналасқан, олар арқылы барлық сыртқы байланыстар жалғануы жүзеге асады.



3.13 сурет - ПЛК 63 контроллерінің қосылатын байланыстары, индикация элементтері және басқарылуы

ПЛК 63 контроллерінің мүмкіндіктері мен функциялары:

- контроллердің қолданушы жұмыс программасы «CoDeSys 2.3» ортасында жасалынады.
- деректер алмасу RS-485 және RS-232 интерфейстерінде жүзеге асады.
- қолданушы программада формаланатын символдық деректер ЖК экранда көрсетіледі.
- нақты уақытты санайтын кіріктірілген сағаты автономды қорек көзіне қосылған.
- кіріктірілген кірістері мен шығыстары және контроллердің басқа перифериялық жабдықтарының функциялану параметрін реттеу.
- контроллердің конфигурациялық параметрінің мәндерін ЖК экранда кіріктірілген клавиатура арқылы өзгерту.



Сурет 3.14 - Құрылғының функционалды схемасы

ПЛК 63 сегіз цифрлық (дискретті) кіріске ие. Дискретті кірістер сыртқы құрылғының жағдайын бақылау үшін, жүйенің жұмысқа қабілеттілігін

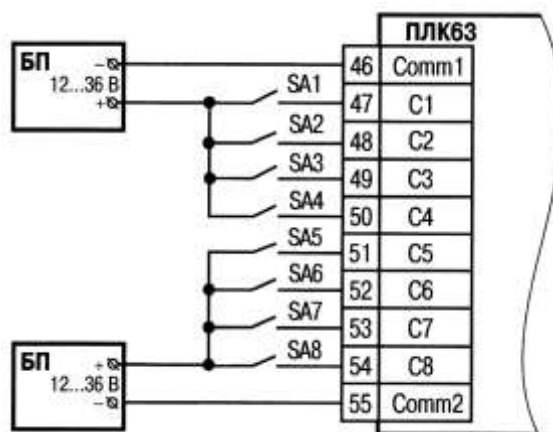
диагностикалау үшін және контроллер жағдайын басқаратын сыртқы құрылғыларды жалғау үшін қолданылады.

Дискретті кірістерге арналған сигналдар сыртқы контактілердің ажырап қосылуы нәтижесінде пайда болады. Дискретті кірістер үшін логиканы өңдеп және дискретті кірістің қайта қосылуының уақыт ұстамдылығын қолданушы өзі бере алады.

Контроллердің сегіз әмбебап аналогтық кірістері бар. Олар келесідей функцияларға жауап береді:

- түрлендіргіштерден мәндер сұрау, алынған мәліметтерді өңдеп және оларды физикалық бірліктерге айналдырады;
- мәліметтерді арнайы есте сақтау жады аймағына жіберу – келешікте кірістер аймағында қолданбалы программада пайдалану үшін;
- аналогтық кірістерге кең ауқымды датчиктер тікелей жалғануы мүмкін. Олар: кедергі термометрлері, термоэлектрлік түрлендіргіштер (термопара), тұрақты ток немесе кернеу түріндегі кірістік аналогтық сигналдары бар активті түрлендіргіштер, резистивті датчиктер және т.б.

Датчиктердің калибровкасы құрылғының жадында орналасқан. Қолданушыға тек қосылатын датчиктің типін көрсету жеткілікті. Қосылатын датчикті таңдау, датчиктердің сұрауларын баптау және нәтижелер алу ЖК монитор арқылы немесе CoDeSys ортасы арқылы жасалынады. Датчиктердің сұрау және өлшеуіш құрылғылармен олардың сигналдарын өңдеу тұйық цикл бойынша тізбектей жүзеге асады. Кез келген датчикті сұраулар тізіміне қосу типін белгілігеннен кейін автоматты түрде жүргізіледі.



3.15 сурет - ПЛК 63 контроллерінде датчиктердің дискретті кірістеріне жалғануы

Шығыс құрылғылары шығыс басқару сигналдарын орындаушы механизмдерге жеткізуге арналған. Контроллердің 6 шығыс құрылғысы бар. Олар екі типті болуы мүмкін: дискретті және аналогты. Шығыс құрылғылардың типі тапсырыс сатысында анықталады.

Дискретті шығыс құрылғылары - электромагнитті реле, транзисторлы оптопара, оптосимистор, катты денелі реле – жүктемені тікелей басқару

немесе тиристор, пускатель сияқты күштірек басқарушы элементтер арқылы басқаруға қолданылады.

Аналогтық шығыс құрылғылары – цифро-аналогтық түрлендіргіш, тұрақты ток немесе кернеу аналогты сигналдарын түзетуге мүмкіндік береді.

ПЛК 63 контроллерінде OVEN и ModBus стандартты протоколдарында жұмысты ұйымдастыру RS-485 және RS-232 интерфейстер модулі орналасқан. Сонымен қатар RS-232 интерфейсі CoDeSys бағдарламалау ортасымен байланысқа арналған.

Эксперимент барысында экономикалық тиімділігіне байланысты, энкодер орнына тахометр қолдандық. Ол беретін мәлімет энкодермен бірдей, яғни екеуі де айналу санын санайды және импульс түрінде контроллерге беріп отырады.

Тахометр TX-01 түсіп жатқан импульстердің лездік жиілігін санайды және қолданушы көрсетілетін мәндердің масштабын өзі белгілей алады. Құрылғы аналогтық 4...20мА немесе 0...10В аналогтық шығысқа ие.



3.16 сурет – Тахометр TX01-224.Щ2И

Тахометрден шыққан аналогтық сигнал контроллердің аналогтық кірісіне беріледі. Алынған мәліметтерді контроллер өңдеп жиілік түрлендіргішке аналог түрінде немесе цифрлық шығыстары арқылы жөнелтеді. Өз кезегінде жиілік түрлендіргіш кері байланыс арқылы келген мәліметтерге сүйене отырып қозғалтқыштың айналу жылдамдығын реттейді. Осы процесс циклі ортақ жиілік түрлендігіші бар және жеке жиілік түрлендіргіштері бар электр жетектеріне бірдей қолданылады. Сонымен қатар бір контроллер арқылы үш қозғалтқышты, синхронды айналатын, жеке жиілік түрлендіргіші бар электр жетегін басқара аламыз.

3.4 КҚАЭЖ басқарылуының программалық жабдыкталуын бағдарламаланатын логикалық контроллерде жасау

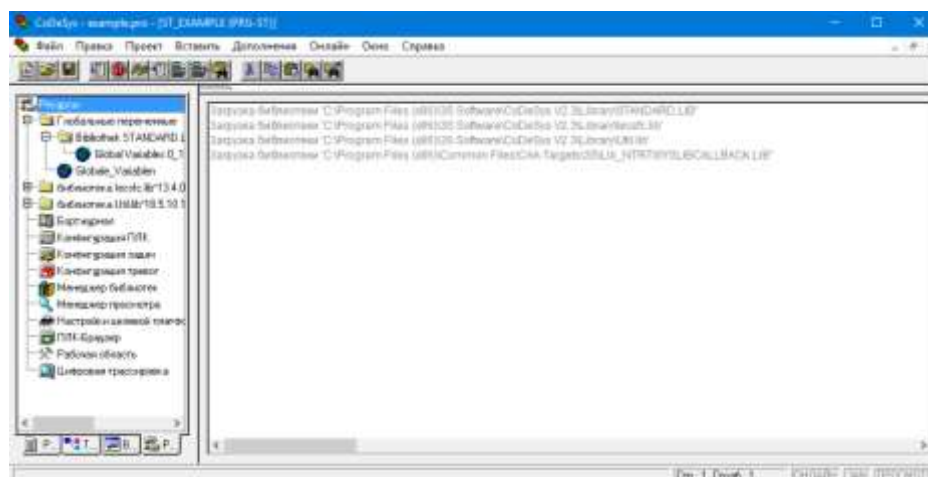
ПЛК 63 логикалық контроллерінің программалық жабдықтауы CODESYS бағдарламалау ортасында жасалынады.

CODESYS (акроним англ. Controller Development System) – өндірістік автоматиканың аспаптық программалық комплексі. 3S-Smart Software Solutions GmbH (Кемптен, Германия) компаниясымен жасалынып, 1994 жылдан бері таратылады.

Бағдарланатын өндірістік контроллерге қолданбалы программа жасау CODESYS-тің негізгі комплексі болып табылады.

CODESYS- те IEC 61131- 3 стандарты бойынша анықталатын барлық бес бағдарламалау тілінде мүмкіндігі бар:

- IL (Instruction List) — ассемблер-подобный язык;
- ST (Structured Text) — Pascal-подобный язык;
- LD (Ladder Diagram) — язык релейных схем;
- FBD (Function Block Diagram) — язык функциональных блоков;
- SFC (Sequential Function Chart) — язык диаграмм состояний.



3.17 сурет – CODESYS бағдарламасының библиотека мәзірі

Кіріктірілген CODESYS компиляторлары машиналық код (екілік код) шығарады және ол контроллерге жүктеледі. Негізгі 16- және 32 разрядтық процессорлар: Infineon C166, TriCore, 80x86, ARM, PowerPC, SH, MIPS (архитектура), Analog Devices Blackfin, TI C2000/28x және т.б. процессорлармен жұмыс жасай алады.

Контроллерге қосылған кезде бағдарламалау ортасы реттеу режиміне ауысады. Осы кезде контроллерде келесі функцияларға жол ашылады: айнымалылар мәндерін мониторинг/ өзгерту/ фиксация, тоқтату нүктелері, орындау ағымын басқару, кодтың жаңаруы, нақты уақыттағы графикалық трассировка және т.б. реттеу құралдары.

Қозғалтқыштар біліктеріне орнатылған тахометрлерден шыққан аналогтық сигналдар контроллердің аналогтық кірісіне беріледі. Алынған мәліметтерді контроллер өңдеп жиілік түрлендіргішке аналог түрінде немесе цифрлық шығыстары арқылы жөнелтеді. Өз кезегінде жиілік түрлендіргіш кері байланыс арқылы келген мәліметтерге сүйене отырып қозғалтқыштың айналу жылдамдығын реттейді. Осы процесс циклі ортақ жиілік түрлендігіші бар және жеке жиілік түрлендіргіштері бар электр жетектеріне бірдей қолданылады. Сонымен қатар бір контроллер арқылы үш қозғалтқышты, синхронды айналатын, жеке жиілік түрлендіргіші бар электр жетегін басқаруға болатыны дәлелденді.

Қазіргі жиілік түрлендіргіштердің құрамында кіріктірілген контроллері бар және осы ЖТ арқылы үш немесе одан да көп қозғалтқыштарды бір – бірімен синхронизациялауға болатынына көз жеткіздік.

Көп қозғалтқышты электржетегін ЭЕМ көмегімен синфазалы басқару үшін, басқару және айнымалыларды өлшеу алгоритмдерін құратын есептеу процестерінің қатаң синхронизациясы қажет. Синхронизация жүйесі вентильдердің анодты кернеулерінің бірінші гармоникасының нольдік мәні арқылы өту моментінде немесе кернеу белгісінің теріс мәненен оңға ауысу кезінде синхрондаушы импульстер құруы қажет. Сондықтан, өндіруде аз қуатты үшфазалы трансформатор, компараторлар, триггерлер және логикалық элементтер негізінде құрылған синхрондаушы жүйе (СЖ) қолданылған. Одан алынатын синхронды импульстер үзіліс режимін қамтамасыз ету үшін микроЭЕМ кірісіне және сандық импульстік фазалы басқару жүйесінің кірісіне беріледі.

Сандық импульстік фазалы басқару жүйесінің функциясы – тиристорларды импульстарының есептік кешігу уақытын олардың шынайы ашылу моментіне қатысты іске асыру және фазалық басқару. Таймер есептегішінде басқару импульсінің кешігу уақытына сәйкес келетін сандық коды жазылады. Берілген импульстер санын есептегеннен кейін, сол бойынша логикалық элементтер К555ЛИЗ және оптронды элементтері бар буферлік қуат күшейткіштері арқылы тиристордың басқарушы электродына берілетін импульс құрылатын, ОИТ шығысында сигнал өндіріліп шығарылады.

Жылдамдықты және біліктің бұрыштық ығысуын өлшеу импульстік датчик арқылы іске асырылады. Импульстік ығысу датчигі біліктің айналу бұрышын оған пропорционал импульске түрлендіреді. Бұл импульстер РТ таймер кірісіне және логикалық элементтер негізінде құрастырылған сұлбалық таймердің кірісіне беріледі. Бұл сұлбалық таймер ЭЕМ өзінің негізгі бағдарламасы бойынша есеп жүргізетін уақытына тең уақыт кешігуін іске асырады, яғни роторлардың сәйкес келмеу жағдайын есептеу және статор тізбегінде тиристорлық кернеу түрлендіргіші бар екі асинхронды қозғалтқыштардың синхронды айналуын басқару.

Өзара байланысқан көп қозғалтқышты электржетегінде микропроцессорлық басқаруды қолдану жүйені басқару алгоритмдерінің әмбебаптығын және жатықтығын, электржетегінің ықшамдылығын

қамтамасыз етеді. Жалпы ротор тізбекте түйіспесіз іске қосуды пайдалану арқасында көп қозғалтқышты электржетек жүйесінің электрлік көрсеткіштерін жақсартады. Яғни, қозғалтқыштардың жұмыс істеу мерзімі және өнімділігі жоғарылайды.

Қорытынды

Үшінші бөлімде микроконтроллермен басқарылтын қозғалтқышы қысқа тұйықталған КҚАЭЖ-нің физикалық моделіне зерттеулер жүргізілді. Біліктерінде әр түрлі жүктемесі бар параллелді жалғанған қозғалтқыштарды кең диапазнды басқару арқылы синхронды айналдыру мақсат етіп қойылды. Зерттеу барысында қозғалтқыш білігіне орнатылған тахометрден шыққан аналогтық сигнал контроллердің аналогтық кірісіне берілді. Алынған мәліметтерді контроллер өңдеп жиілік түрлендіргішке аналог түрінде немесе цифрлық шығыстары арқылы жөнелтеді. Өз кезегінде жиілік түрлендіргіш кері байланыс арқылы келген мәліметтерге сүйене отырып қозғалтқыштың айналу жылдамдығын реттейді. Осы процесс циклі ортақ жиілік түрлендігіші бар және жеке жиілік түрлендіргіштері бар электр жетектеріне бірдей қолданылады. Сонымен қатар бір контроллер арқылы үш қозғалтқышты, синхронды айналатын, жеке жиілік түрлендіргіші бар электр жетегін басқаруға болатыны дәлелденді.

Қазіргі жиілік түрлендіргіштердің құрамында кіріктірілген контроллері бар және осы ЖТ арқылы үш немесе одан да көп қозғалтқыштарды бір – бірімен синхронизациялауға болатынына көз жеткіздік.

Қысқартулар тізімі

АҚ – асинхронды қозғалтқыш

ЭЖБ – электр жұмысбілігі

КҚАЭЖ – көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі

СА – синхронды айналу

ЖТ – жиілік түрлендіргіші

ЭКҚ – электр қозғаушы күш

КҚЭЖ – көп қозғалтқышты электр жетегі

ЭМУ – электромагниттік үйлесімділік

ПЭК – пайдалы әсер коэффициенті

ДКИ – дербес кернеу инверторы

ТББ – түзеткішпен басқару блогы

ЕИМ – ендік-импульстік модуляция

АО – атқарушы орган

ҚТ КҚАЭЖ – қысқа тұйықталған көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі

Әдебиеттер тізімі

Негізгі:

1. Тергемес К.Т. Многодвигательные асинхронные электроприводы чесальных аппаратов с тиристорными преобразователями напряжения. Алматы. КБТУ, 2007. – 104 б.
2. Кацман М.М. Электрические машины. – М.: Академия, 2006.
3. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – Л.: Энергоатомиздат, 1981. – 529 с.
4. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Частотное управление асинхронными двигателями. – М.: Энергия, 1966. – 144с.
5. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высшая школа, 1982. – 496с.
6. Флоренцев С.Н. Силовые IGBT модули – основа современного преобразовательного оборудования. Электронные компоненты, 2002, №6, статья.
7. Сагитов П.И., Тергемесов К.Т. Электрический рабочий вал с тиристорными преобразователями. // Изв. Вузов. Электромеханика, №1, 1989, с.114-119.
8. А.С. №1458913 СССР. Многодвигательный электропривод переменного тока / П.И. Сагитов, К.Т. Тергемесов // Открытие. Изобретение. 1988, №6.
9. А.С. №1233255 СССР. Многодвигательный электропривод переменного тока / П.И. Сагитов, К.Т. Тергемесов // Открытие. Изобретение. 1986, №13.
10. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. – М.:Энергоздат, 1982. -216с
11. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. 1-е издание, 2007 год, 288 стр.
- Қосымша:*
12. Основы технологии важнейших отраслей промышленности: В 2. /Под ред. И.В. Ченцова. «Высшая школа», Мн., 1989.
13. Официальный сайт Агентства Республики Казахстан по статистике [Электронный ресурс]. - Режим доступа:stat.kz
14. Официальный сайт Института Политических Решений [Электронный ресурс]. - Режим доступа:ipr.kz/ analytics/1/1/191
15. Тергемес К.Т. Системы синхронно-синфазного вращения асинхронных двигателей с ТПН. Научно-техническая конференция. «Современные проблемы электромеханики». – М.: МЭИ, 1989. 47 б.
16. Тергемес К.Т. Технологические особенности процесса чесания шерсти на многопрочесных чесальных аппаратах. Тауар, №2, 1998, 29-31 б.
17. Садовский И.М. Согласованное вращение асинхронных двигателей. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1948.

18. Тергемесов К.Т. Трехдвигательный электропривод чесальных аппаратов с повышенными уравнительными моментами. Межвузовский сб «Электроприводы с улучшенными характеристиками для текстильной и легкой промышленности». – Иваново: Ивановск. Государственный университет. 1986.
19. Хализев Г.П., Серов В.И. Расчет пусковых, тормозных и регулировочных устройств для электродвигателей. – М.: Высшая школа, 1966.
20. Браславский И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
21. Бенштейн И.И. и др. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе М.: Энергия, 1980. -328с.
22. Вешеновский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводах. – М.:Энергия, 1976. -472 б.
23. Тергемес К.Т. Многодвигательный асинхронный электропривод чесальных аппаратов с тиристорными преобразователями напряжения. – Алматы.: Изд. КБТУ, 2007, 108с.
24. АС СССР. Многодвигательный электропривод переменного тока/ П.И. Сагитов, К.Т. Тергемесов /Опубликовано в БИ №6, 1988.
25. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. –М.: Энергия, 1976. -488с.