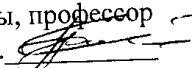


Коммерциялық емес акционерлік қоғамы
«АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»

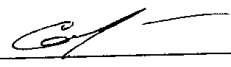
Кафедра: Өнеркәсіп қондырғыларының автоматтандырылуы және
электр жетегі

Мамандығы: 6M071800 – Электрэнергетикасы

Қорғауға жіберілді
Кафедра меңгерушісі
техн.ғыл.д-ры, профессор
Сагитов П.И. 
«___» маусым 2014 ж.

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ
түсініктемелік жазба

Тақырыбы: Көп қозғалтқышты синхронды айнарудың
асинхронды электр жетегісі бар микропроцессорлы басқару

Магистрант  Сарсенбаев Е.А.
қолы (А.Ж.Т.)

Ғылыми жетекшісі  Сагитов П.И.
қолы (А.Ж.Т.)

Пікір беруші _____ Ақпанбетов Д.Б.
қолы (А.Ж.Т.)

Алматы, 2014 ж.

Коммерциялық емес акционерлік қоғамы
«АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»

Факультет Электрэнергетикалық
Мамандығы 6M071800 – Электрэнергетикасы
Кафедра Өнеркәсіп қондырғыларының автоматтандырылуы және электр жетегі

магистрлік диссертацияны орындауға
ТАПСЫРМА

Магистрантқа Сарсенбаев Ерлан Алиаскарович
(аты, жөні, тегі)

Диссертация тақырыбы Көп қозғалтқышты синхронды айнарудың асинхронды электр жетегісі бар микропроцессорлы басқару

Университеттің Ғылыми кеңесімен бекітілген № « » 2012ж.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі: « » 2014ж.

Зерттеу мақсаты жүн тарау процесінің технологиялық талаптарын ескеретін микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды автоматтандырылған электржетегін құру

Магистрлік диссертациядағы әзірленуі тиіс сұрақтар тізімі немесе магистрлік диссертацияның қысқаша мазмұны: автоматтандырылған электржетегінің қазіргі кездегі дамуында синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетектерінің техника-экономикалық көрсеткіштерін едәуір жақсарту, қозғалтқыштардың айналу жылдамдығын автоматты реттеу және микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі жүйесін құру

Сызба материалдарының тізімі (міндетті түрде дайындалатын сызуларды көрсету тізімі) үштарамды тарау аппараттарында жүн тарау процесінің технологиялық схемасы; синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің құрылымдық семасы; MATLAB жүйесінде орнықтылықты зерттеу

Негізгі ұсынылатын әдебиеттер

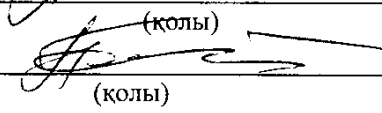
Сагитов П.И. Системы многодвигательного электропривода синхронного вращения. – Алматы, 1996. – 165 с.; Микропроцессорное управление электроприводами и технологическими объектами. Полиномиальные методы: монография / З.Ш. Ишиматов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. – 278 с.; Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов – М: Академия, 2006; Герман - Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0 – Спб.: Корона принт, 2001, с 259-267

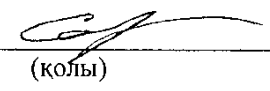
Магистрлік диссертацияны дайындау
К Е С Т Е С І

Тарау аттары, әзірленетін сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Көптарамды тарау аппараттарында жүн тараудың технологиялық процесінің ерекшеліктері		
Тарау аппаратының электржетегі жүйесінің жұмыс режимдерін зерттеу		
Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық сипатталу ерекшеліктері		
Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі		
Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің құрылымдық схемасын құру		
Микропроцессорлы басқарылатын синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі		
Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін микропроцессорлық басқару		
Реостатты реттеу, тиристорлы кернеу түрлендіргіштерін және микропроцессорлы басқарылатын тиристорлы кернеу түрлендіргіштерін қолдану кезінде көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін талдау		

Тапсырманың берілген уақыты 20 қараша 2012ж.

Кафедра меңгерушісі  Сагитов П.И.

Ғылыми жетекшісі  Сагитов П.И.

Тапсырманы орындауға қабылдаған магистрант  Сарсенбаев Е.А.

Актуальность темы.

Легкая промышленность, в том числе текстильная промышленность Республики Казахстан, находится в стадии всестороннего развития. Повышение уровня автоматизации производства в текстильной промышленности в условиях рыночной экономики требует ускорить разработку и установку на производстве высокопроизводительной техники и технологии, комплексов технологического оборудования и автоматизированных поточных линий. В области электропривода необходимо наращивать выпуск автоматизированных систем управления электроприводов, который в наибольшей степени обеспечивает интенсивность развития различных отраслей народного хозяйства.

Разнообразные технологические процессы, их взаимосвязи требуют принципиальных решений по созданию совершенствованных систем электроприводов, по выбору и реализации способов управления. Значительная часть технологических процессов в современном промышленном производстве реализуется посредством многодвигательных асинхронных электроприводов. Взаимосвязанные многодвигательные электроприводы синхронного вращения (ВМЭСВ) переменного тока при сравнительно невысокой стоимости обеспечивают требуемые параметры управления рядом производственных объектов.

Многопрочесные чесальные аппараты (ЧА) в парке приготовительно-пряжильного производства занимают важнейшее место. Для улучшения качества прочеса и получения более равномерной по толщине выходной продукции стремятся использовать усовершенствованные электроприводы синхронного вращения. Чесальные аппараты имеют наименьшую удельную производительность на единицу занимаемой площади из всех машин и аппаратов, используемых в текстильной промышленности. В связи с этим основной проблемой их модернизации и совершенствования наряду с улучшением качества ровницы была и остается проблема радикального повышения производительности.

Дальнейшее развитие текстильной промышленности, улучшение качества и увеличение объема выпускаемой продукции, основанные на внедрении новой высокоэффективной техники и технологии, модернизации существующих многодвигательных машин и аппаратов приготовительно-пряжильного производства предусматривает развитие ВМЭСВ.

Развитие уровня автоматизации и силовой преобразовательной техники позволяет разработать многодвигательные асинхронные автоматизированные электроприводы, позволяющие повысить качество выпускаемой продукции, производительность линии и аппаратов текстильной промышленности. В многопрочесных чесальных аппаратах для улучшения качества прочеса рекомендуются разработать многодвигательные асинхронные электроприводы, применяемые в них, с учетом достижения микропроцессорной техники.

На действующих в настоящее время многопрочесных ЧА российского и зарубежного производства в качестве электропривода в основном используется

многодвигательные асинхронные электроприводы синхронного вращения, имеющие некоторые существенные недостатки, такие как слабая синхронизирующая способность, склонность к колебаниям и низкие энергетические показатели.

Необходимо отметить, что большой вклад в развитие многодвигательного электропривода внесли ученые Садовский И.М., Унгру Ф., Иордан Г., Иог В.И., Быстров А.М., Закорюкин Ю.В., Разумов В.А., Тищенко В.Н., Глазунов В.Ф., Герасимьяк Р.П., Данилов П.Е., Копырин В.С., Онищенко Г.Б., Сагитов П.И., Соколов М.М., Тищенко В.Н., и др.

Постоянное развитие современных технологий, предъявляет к электроприводу повышенные требования относительно точности движения, как в статике, так и в динамике, быстродействия и надежности. Это требует применения более сложных методов управления электроприводом, что влечет за собой применение новой элементной базы, силовой и управляющей, позволяющей реализовать данные алгоритмы. Использование в электроприводе микропроцессорной техники, в качестве основы систем управления, дает широкие возможности для создания технически совершенных регулируемых приводов.

На данном этапе развития автоматизированного электропривода имеется возможность значительного улучшения технико-экономических показателей многодвигательных асинхронных электроприводов синхронного вращения, разработки системы многодвигательного асинхронного электропривода с микропроцессорным управлением и автоматическим регулированием скорости вращения двигателей. Таким образом, разработка микропроцессорной системы управления многодвигательным электроприводом переменного тока представляется актуальной задачей.

Цель работы – разработка многодвигательного асинхронного автоматизированного электропривода с микропроцессорным управлением, наиболее отвечающего технологическим требованиям процесса чесания шерсти. Указанная цель работы определяет следующие **основные задачи** диссертационной работы:

- анализ технологических процессов чесания шерсти в многопрочесных чесальных аппаратах;
- разработка математической модели многодвигательного асинхронного электропривода с тиристорными преобразователями напряжения;
- разработка методов расчета электромеханических соотношений и энергетических показателей многодвигательного асинхронного электропривода;
- разработка микропроцессорной системы управления многодвигательным асинхронным электроприводом.

Идея работы заключается в разработке нового многодвигательного асинхронного электропривода синхронного вращения с применением современной микропроцессорной техники.

Объектом исследования являются трехпрочесные чесальные аппараты в

текстильной промышленности.

Предметом исследования являются: непрерывный технологический процесс чесания шерсти, режимы работы существующих электроприводов алгоритмы и законы управления электроприводами чесальных аппаратов.

Методы исследований. В процессе выполнения исследований применены методы теории электропривода, электрических машин, оптимального управления и методы математического моделирования с применением ЭВМ.

Научная новизна проведенных исследований заключается в том, что:

- разработана математическая модель взаимосвязанного многодвигательного асинхронного электропривода чесального аппарата с учетом натяжения полотна;

- разработан алгоритм расчета параметров настройки регуляторов многодвигательного электропривода;

- разработан многодвигательный электропривод, отвечающий технологическим требованиям и обеспечивающий синхронное вращение рабочих механизмов чесального аппарата.

Основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

- математические и компьютерные модели взаимосвязанных электроприводов чесальных аппаратов;

- алгоритм и программа расчета основных электромеханических соотношений и энергетических показателей чесальных аппаратов.

- микропроцессорная система управления взаимосвязанным электроприводом чесальных аппаратов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: отбором значимых процессов; принятыми уровнями допущений при математическом описании явлений; обоснованностью исходных посылок, вытекающих из фундаментальных законов естественных наук и теории электропривода; применением методов имитационного моделирования; сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований с погрешностью, не превышающей 10%, эксплуатацией электроприводов в реальных условиях.

Практическое значение работы состоит в следующем:

- разработан алгоритм расчета электромеханических соотношений многодвигательного асинхронного электропривода с регулированием величин питающих напряжений;

- разработана микропроцессорная система управления многодвигательным асинхронным электроприводом;

- разработана математическая модель взаимосвязанного многодвигательного электропривода чесальных аппаратов.

Апробация работы. Основные материалы и результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на международной научно-практической конференции Алматинского университета энергетики и связи.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликованы 3 научные работы.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, изложенных на 108 страницах машинописного текста, содержит 4 таблиц, 27 иллюстраций, списка использованных источников из 90 наименований и 5 приложений.

ӘОЖ 62-83:677.051.117.173 (043)

Қолжазба құқығында

САРСЕНБАЕВ ЕРЛАН АЛИАСКАРОВИЧ

**Көп қозғалтқышты синхронды айнарудың
асинхронды электр жетегісі бар микропроцессорлы басқару**

Техника ғылымдарының магистрі
академиялық әрежесін алу үшін дайындалған диссертацияның

АВТОРЕФЕРАТЫ

Қазақстан Республикасы

Алматы, 2014

Жұмыстың жалпы сипаты

Тақырыптың өзектілігі. Қазақстан Республикасының жеңіл өнеркәсібі, соның ішінде тоқыма өнеркәсібі жан-жақты даму сатысында. Нарықтық экономика жағдайында тоқыма өнеркәсібінде өндірісті автоматтандыру деңгейін жоғарылату өндірісте жоғарыөнімділікті техника мен технологияларды, технологиялық жабдықтар мен автоматтандырылған ағынды желілер кешендерін тездетіп құруды және орнатуды талап етеді. Электржетегі аумағында халықшаруашылығының әртүрлі салаларының қарқынды дамуын жоғары дәрежеде қамтамасыз ететін электржетектердің автоматтандырылған басқару жүйелерін шығару қажет.

Әртүрлі технологиялық процесстер, олардың өзара байланыстары электр жетегінің жетілдірілген жүйелерін жасау, басқару тәсілдерін таңдау мен жүзеге асыру бойынша принципалдық шешімдерді талап етеді. Заманауи өнеркәсіптік өндірістегі технологиялық процесстердің едәуір бөлігі көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі көмегімен жүзеге асырылады. Айнымалы токты өзара байланысқан синхронды айналатын көпқозғалтқышты электржетектері салыстырмалы түрде бағасының қымбат емес кезінде бірқатар өндірістік нысандарды басқаруға қажетті параметрлерді қамтамасыз етеді.

Жіп дайындау-иіру өндірісі аумағында көптарамды тарау аппараттары маңызды орын алады. Тарам сапасын жақсарту және нәтижесінде қалыңдығы біртекті өнім алу үшін жетілдірілген синхронды айналатын электржетектерді пайдалануға ұмтылады. Тоқыма өнеркәсібінде қолданылатын барлық аппараттар мен машиналардың ішінде тарау аппараттары, алатын аудан бірлігіне келетін ең аз меншікті өндіру қуатына ие. Осыған байланысты оларды жаңарту мен жетілдірудің, сонымен қатар созба сапасын жақсартудың негізгі мәселесі – өнімділікті көтеру.

Жаңа жоғарыөнімділікті техника мен технологияны енгізуге және жіп дайындау-иіру өндірісінің көпқозғалтқышты машиналары мен аппараттарын жаңартуға негізделген тоқыма өнеркәсібінің ары қарай дамуы, сонымен қатар шығарылатын өнім сапасының жақсаруы мен көлемінің артуы өзара байланысқан синхронды айналатын көпқозғалтқышты электржетегінің дамуын қарастырады.

Автоматтандыру деңгейінің және күштік түрлендіргіштік техниканың дамуы шығарылатын өнім сапасын, тоқыма өнеркәсібі желілері мен аппараттарының өнімділігін жоғарылатуға мүмкіндік беретін көпқозғалтқышты асинхронды автоматтандырылған электржетектерін құруға мүмкіндік береді. Көптарамды тарау аппараттарында тарам сапасын жақсарту үшін,

микропроцессорлық техника жетістіктерін ескере отырып, көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру ұсынылады.

И.М. Садовский, Ф. Унгу, Г. Иордан, В.И. Иог, А.М. Быстров, Ю.В. Закорюкин, В.А. Разумов, В.Н. Тищенко, В.Ф. Глазунов, Р.П. Герасимьяк, В.С. Копырин, Г.Б. Онищенко, П.И. Сагитов, М.М. Соколов және т.б. көпқозғалтқышты электржетегінің дамуына зор үлестерін қосқанын айта кету қажет.

Қазіргі кезде мемлекетіміздің тоқыма өнеркәсібінде жұмыс істеп тұрған ресейлік және шетелдік көптарамды тарау аппараттарының электржетегі ретінде негізінен әлсіз синхрондаушы қабілеттілігі, тербелістерге бейімділігі және энергетикалық көрсеткіштер төменділігі секілді бірқатар маңызды кемшіліктері бар синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі қолданылады.

Заманауи технологиялардың тұрақты дамуы статика мен динамикадағы қозғалыс дәлдігіне, тез әрекеттілікке және сенімділікке қатысты электржетегіне жоғары талаптар қояды. Берілген алгоритмдерді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін күштік және басқарушы жаңа элементтік базаны қолдануға әкелетін электржетегін басқарудың күрделірек әдістерін қолдануды талап етеді. Электржетегінде микропроцессорлық техниканы басқару жүйесінің негізі ретінде қолдану техникалық жетілген реттелетін жетектерді құру үшін кең мүмкіндіктер береді. Автоматтандырылған электржетегінің қазіргі кездегі дамуында синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетектерінің техника-экономикалық көрсеткіштерін едәуір жақсарту, қозғалтқыштардың айналу жылдамдығын автоматты реттеу және микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі жүйесін құруға мүмкіндік бар. Сол себептен айнымалы токты көпқозғалтқышты электржетегін басқарудың микропроцессорлық жүйесін құру **өзекті** мәселе болып саналады.

Жұмыстың мақсаты жүн тарау процесінің технологиялық талаптарын ескеретін микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды автоматтандырылған электржетегін құру болып табылады. Көрсетілген мақсатқа жету үшін келесі **мәселелерді** шешу қажет:

- көптарамды тарау аппараттарында жүн тараудың технологиялық процесстерінің ерекшеліктерін талдау;
- тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделін құру;
- көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің электрмеханикалық өрнектерін құру және есептеу;
- микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру.

Жұмыстың негізгі идеясы жаңа микропроцессорлық техниканы қолдана отырып жаңа көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру.

Зерттеу нысаны тоқыма өнеркәсібіндегі үштарамды тарау аппараттары болып табылады.

Зерттеу тақырыбы жүн тараудың үздіксіз технологиялық процесі, электржетектердің жұмыс режимдері, тарау аппараттарының электржетектерін басқару алгоритмдері және заңдары.

Зерттеу әдістері. Зерттеу кезінде қойылған мәселелер электржетегі, электр машиналары, автоматты реттеу және математикалық модельдеу тәсілдерін қолдана отырып тарау аппараттарының көпқозғалтқышты электржетектерінің теориясы негізінде орындалған.

Жұмыс нәтижелерінің ғылыми жаңалығы:

– жайманың тартылысын ескеретін тарау аппаратының өзарабайланысқан көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі құрылған;

– көпқозғалтқышты электржетегі реттегішінің параметрлерін есептеу алгоритмі құрылған;

– тарау аппаратының технологиялық процесінің талаптарын ескеретін және жұмыс механизмдерінің синхронды айналуын қамтамасыз ететін микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты электржетегі құрылған.

Қорғауға шығарылатын ғылыми қағидалар мен нәтижелер:

– тарау аппараттарының өзарабайланысқан электржетектерінің математикалық және компьютерлік моделдері;

– тарау аппараттарының электрмеханикалық өрнектерін есептеу алгоритмі;

– тарау аппараттарының өзарабайланысқан көпқозғалтқышты электржетегін микропроцессорлық басқару жүйесі.

Ғылыми қағидалардың, шешімдер мен ұсыныстардың негізделуі және анықтылығы мәнді процестердің таңдалуымен; құбылыстардың математикалық сипатталуы кезінде қабылданған ұйғарым деңгейімен; жаратылыстану ғылымдарының фундаменталды заңдарынан және электржетегі теориясынан шығатын бастапқы берілгендердің негізделуімен; имитациялық моделдеу әдістерін қолданумен; 10% қателіктен аспайтын теориялық және эксперименталды нәтижелердің ұқсастығымен; электржетегін нақты жағдайларда пайдаланумен дәлелденеді.

Жұмыстың практикалық құндылығы келесілер болып табылады:

– тарау аппараттарының өзара байланысқан көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі құрылды;

– қоректендіргіш кернеу шамасы реттелетін көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің электрмеханикалық өрнектерін есептеу алгоритмі құрылды;

– тарау аппараттарының көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін микропроцессорлық басқару жүйесі құрылды.

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың негізгі қағидалары мен нәтижелері туралы баяндамалар мен талқылаулар Алматы энергетика және байланыс университетінің «Өнеркәсіп қондырғыларының автоматтандырылуы және электр жетегі» кафедрасының ғылыми семинарларында және магистранттардың ғылыми-тәжірибелік

конференцияларында жасалды.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыста орындалған зерттеулер нәтижелері бойынша 3 ғылыми жұмыс жарық көрген.

Жұмыстың құрылымы және көлемі. Диссертация кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан және төрт қосымшадан құралған. Негізгі мәтін 108 беттен, оның ішінде 27 суреттен, 4 кестеден және 90 әдебиет тізімінен құралған.

Жұмыстың мазмұны

Кіріспеде жұмыстың өзектілігі негізделген, мақсаты қойылған, сондай-ақ ғылыми жаңалықтары мен практикалық құндылығы және қорғауға ұсынылатын негізгі қағидалар көрсетілген. Диссертациялық жұмыс тақырыбының баяндалып талқыланған жерлері мен негізгі нәтижелерінің ғылыми баспаларда жарық көруі мен олардың көлемі көрсетілген. Диссертацияның құрылымы мен жалпы көлемі туралы мәліметтер келтірілген.

Бірінші бөлімде көптарамды тарау аппараттарында жүн тараудың технологиялық процесінің ерекшеліктері зерттелді. Тарау – иіру өндірісінің басты процесі болып табылады. Тарау аппараттары өнімділігінің жоғарылауы мен созба сапасының жақсаруы тарау аппараттарының электржетегі жұмысымен байланысты екені көрсетілген. Тарау аппараттарының қолданылып жүрген электржетектеріне шолу жасалған. Белгілі болғандай барлық тарау аппараттарының электржетегі ретінде «электрлік жұмысшы білік» (ЭЖБ) жүйесі қолданылады.

Үштарамды тарау аппараты электржетегінің жұмыстық режимдері зерттелді. Роторлық тізбек бойынша электрлік байланысқан синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін аналитикалық зерттеу кезінде, біліктегі жүктеменің әртүрлілігімен анықталатын, жүйенің қозғалтқыш күйінің роторларының бұрыштық келіспеушілігі, және де ротор тогының фазалық ығысуын, оларды сәйкесінше қоректендіруші жүктеме ауысуы ретінде ескеріп сәйкес статорлық тізбекке ауыстырамыз. Үшқозғалтқышты асинхронды электржетегінің токтары мен моменттерін анықтау үшін Т-тәріздес алмастыру схемасы қолданылды.

Статорлық токтар келесі түрде болады:

$$\begin{aligned}
 I_{11} &= U_1 \left(\frac{k_1}{z_{11}} - \frac{x_{01}^2 \left[\left[x_{01}^2 + z_{11} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right) \right] k_1 - \frac{Rz_{11}}{S} \sum_{L=1}^3 k_L \cdot e^{j(\nu_L - \gamma_1)} \right]}{z_{11} \left[\frac{3R}{S} z_{11} + (x_{01}^2 + z_{11} z_{21}) \right] (x_{01}^2 + z_{11} z_2)} \right); \\
 I_{12} &= U_2 \left(\frac{k_2}{z_{12}} - \frac{x_{02}^2 \left[\left[x_{02}^2 + z_{12} \left(z_{22} + \frac{3R'}{S} \right) \right] k_2 - \frac{Rz_{12}}{S} \sum_{L=1}^3 k_L \cdot e^{j(\nu_L - \gamma_2)} \right]}{z_{12} \left[\frac{3R}{S} z_{12} + (x_{02}^2 + z_{12} z_{22}) \right] (x_{02}^2 + z_{12} z_{22})} \right); \\
 I_{13} &= U_3 \left(\frac{k_3}{z_{13}} - \frac{x_{03}^2 \left[\left[x_{03}^2 + z_{13} \left(z_{23} + \frac{3R'}{S} \right) \right] k_3 - \frac{Rz_{13}}{S} \sum_{L=1}^3 k_L \cdot e^{j(\nu_L - \gamma_3)} \right]}{z_{13} \left[\frac{3R}{S} z_{13} + (x_{03}^2 + z_{13} z_{23}) \right] (x_{03}^2 + z_{13} z_{13})} \right). \tag{1}
 \end{aligned}$$

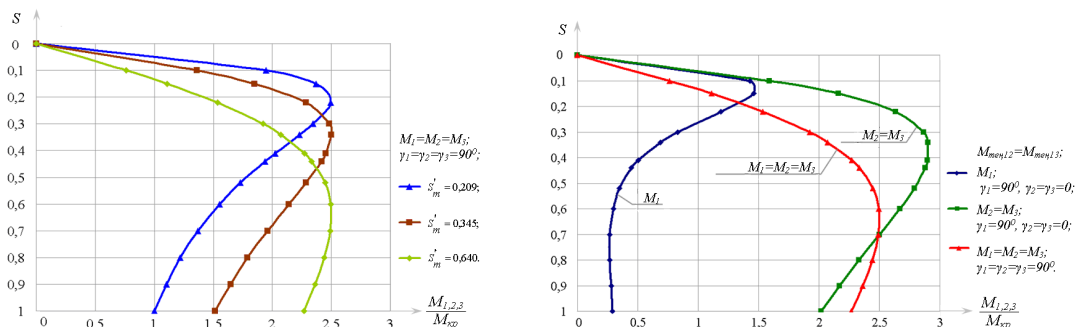
Роторлық токтар төменде келтірілген:

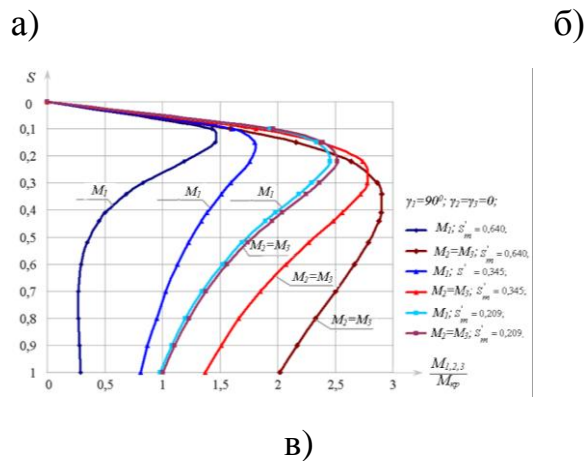
$$\begin{aligned}
 I_{21} &= \frac{U_2 k_1}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} e^{j(\gamma_L - \gamma_1)}}{z} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} e^{j(\gamma_L - \gamma_1)}}{z + \frac{3R\sigma_1}{S}} \right]; \\
 I_{22} &= \frac{U_2 k_2}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} e^{j(\gamma_L - \gamma_2)}}{z} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} e^{j(\gamma_L - \gamma_2)}}{z + \frac{3R\sigma_1}{S}} \right]; \\
 I_{23} &= \frac{U_3 k_3}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} e^{j(\gamma_L - \gamma_3)}}{z} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} e^{j(\gamma_L - \gamma_3)}}{z + \frac{3R\sigma_1}{S}} \right].
 \end{aligned} \tag{2}$$

Қозғалтқыштар моменттерінің теңдігі:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{2M_m k_1}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_1) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_1) \right]}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_1) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_1) \right]}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} \right] U_1; \\
 M_2 &= \frac{2M_m k_2}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_2) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_2) \right]}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_2) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_2) \right]}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} \right] U_2; \\
 M_3 &= \frac{2M_m k_3}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_3) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_3) \right]}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_3) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_3) \right]}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} \right] U_3.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Келтірілген теңдеулер бойынша механикалық сипаттамаларды есептеу жүргізілді. Есептеу нәтижелері 1-суретте көрсетілген. Механикалық сипаттамалардың есептік қисықтары, $S'_m = 0,209; 0,345; 0,640$ критикалық сырғуларға сәйкес келетін ортақ роторлы кедергінің әртүрлі мәндері үшін тұрғызылған.





1-сурет – Ортақ роторлы кедергінің және келіспеу бұрыштарының әртүрлі мәндерінде, синхронды айналатын үшқозғалтқышты асинхронды электржетегінің механикалық сипаттамалары

Зерттеулер нәтижелері көрсеткендей, ортақ роторлы кедергі шамасының жоғарылауымен ЭЖБ жүйесі орнықты жұмыс жасайды, бірақ асинхронды қозғалтқыштардың айналу жылдамдығының төмендеуінен олар автотербеліске ұшырауы мүмкін. Ортақ роторлы қосымша кедергінің кіші мәндері кезінде қозғалтқыштардың айналу жылдамдығы номиналдыға жақын болады, бірақ осы кезде жүйе қозғалтқыштарының синхронды айналуын қолдайтын синхрондаушы моменттерінің шамалары төмендейді. Осыдан ЭЖБ жүйесінде әлсіз синхрондаушы қабілеттілік, тербеліске бейімділік және төмен энергетикалық көрсеткіштер сияқты кемшіліктер орын алады.

Осыған байланысты созба сапасын жақсарту және тарау аппаратының өнімділігін арттыру үшін тарау аппараттарының электржетектерін ары қарай жаңарту мен жетілдіру ерекше қажет.

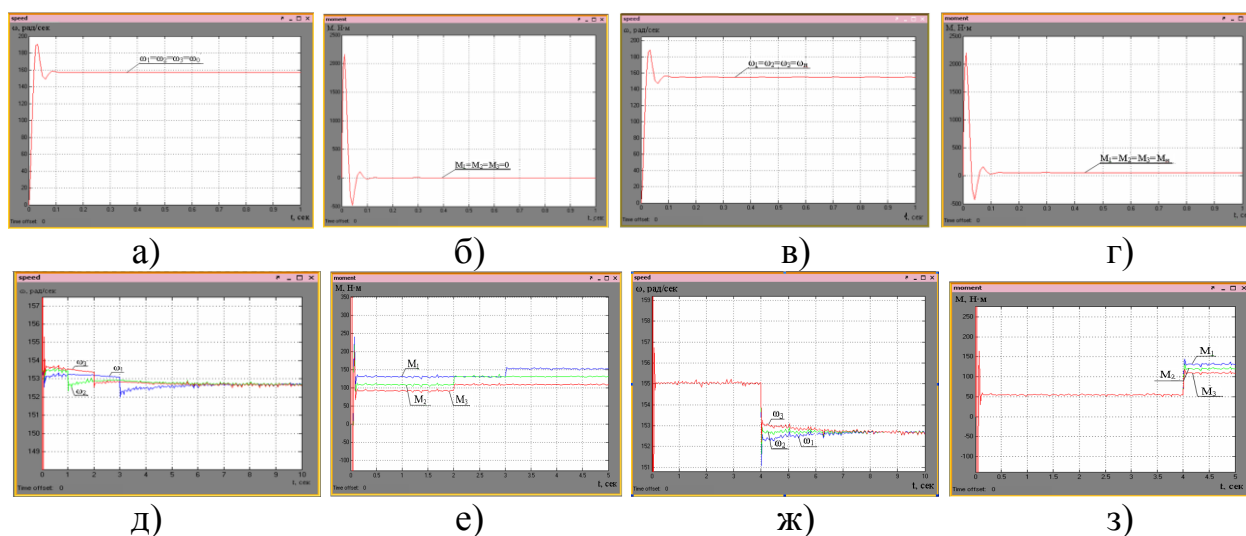
Жүн тараудың технологиялық процесінің ерекшеліктерін және көптарамды тарау аппараттары электржетектерінің жұмыс режимдерін талдау негізінде тарау аппаратының құрылатын көпқозғалтқышты электржетегіне қойылатын негізгі талаптар анықталды және диссертациялық жұмыста келесідей мәселелер қойылды:

- тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі жүйесінің сызықтандырылған схемасын тұрғызу;
- тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін математикалық түрде сипаттау;
- көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің электрмеханикалық өрнектерін құру;
- тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі жүйесінің кері байланыс коэффициенттерін есептеу әдісін құру;
- тарау аппаратындағы тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі жүйесінің математикалық моделін құру;

– микропроцессорлы басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру.

Екінші бөлім СА КҚАЭЖ-ң математикалық сипатталуына арналған. Роторлық байланысы бар СА КАЭЖ-нің математикалық моделі бойынша MATLAB программасының Simulink пакетінде үшқозғалтқышты электржетегінің имитациялық модельденуі орындалды.

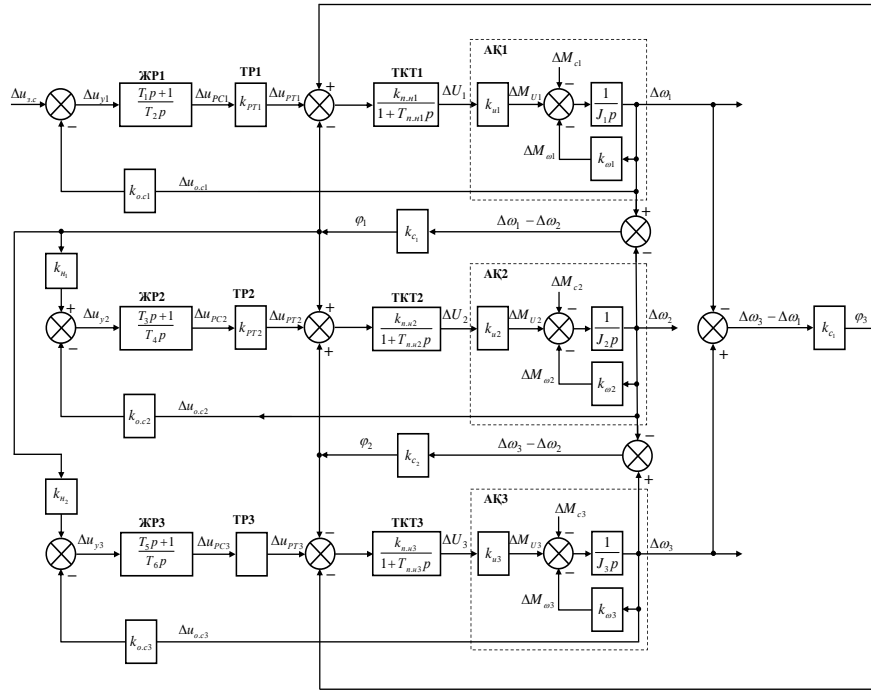
2-суретте КҚАЭЖ бұрыштық жылдамдықтары мен моменттерінің осцилограммалары келтірілген. 2, а,б-суретте бос жүріс кезінде, 2, в,г-суретте номиналды режим кезінде, 2, д,е,ж,з-суреттерде қозғалтқыштардың білігінде әртүрлі статикалық моменттермен іске қосу, жұмыс процестері көрсетілген.



2-сурет – КҚАЭЖ бұрыштық жылдамдықтары мен моменттерінің осцилограммалары

Зерттеу нәтижесінде қозғалтқыштардың синхронды айналуы олардың біліктеріндегі статикалық моменттердің аз айырмашылығында ғана болатындығы анықталды.

Тиристорлы кернеу түрлендіргішті КҚАЭЖ-ң дифференциалдық теңдеулермен сипатталатын математикалық моделі және құрылымдық схемасы құрылып, КҚАЭЖ-ін орныққан және динамикалық режимдері зерттелді.



3-сурет – Бірінші электр жетектен келесісіне тізбектей байланысы бар көпқозғалтқышты электржетегінің құрылымдық схемасы
Тиристорлы кернеу түрлендіргішті үшқозғалтқышты асинхронды электржетегі үшін дифференциалдық теңдеулер:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\Delta\omega_1}{dt} &= \frac{k_u}{J} \Delta U_1 - \frac{k_\omega}{J} \Delta\omega_1 - \frac{1}{J} \Delta M_{c1}; \\
 \frac{d\Delta U_1}{dt} &= \frac{k_{\text{МН}} k_{\text{PT}}}{T_{\text{МН}}} \Delta U_{\text{PC1}} - \frac{k_{\text{МН}}}{T_{\text{МН}}} (k_{c1} + k_{c3}) \Delta\omega_1 + \frac{k_{\text{МН}}}{T_{\text{МН}}} k_{c1} \Delta\omega_2 + \frac{k_{\text{МН}}}{T_{\text{МН}}} k_{c3} \Delta\omega_3 - \frac{1}{T_{\text{МН}}} \Delta U_1; \\
 \frac{d\Delta U_{\text{PC1}}}{dt} &= \frac{1}{T_2} U_{3.C} - \frac{T_1 k_{oc1} k_u}{T_2 J} \Delta U_1 + \left(\frac{T_1 k_{oc1} k_\omega}{T_2 J} - \frac{k_{oc1}}{T_2} \right) \Delta\omega_1 + \frac{T_1 k_{oc1}}{T_2 J} \Delta M_{c1}; \\
 \frac{d\Delta\omega_2}{dt} &= \frac{k_u}{J} \Delta U_2 - \frac{k_\omega}{J} \Delta\omega_2 - \frac{1}{J} \Delta M_{c2}; \\
 \frac{d\Delta U_2}{dt} &= \frac{k_{\text{МН}} k_{\text{PT2}}}{T_{\text{МН}}} \Delta U_{\text{PC2}} - \frac{k_{\text{МН}}}{T_{\text{МН}}} (k_{c1} + k_{c2}) \Delta\omega_2 + \frac{k_{\text{МН}}}{T_{\text{МН}}} k_{c1} \Delta\omega_1 + \frac{k_{\text{МН}}}{T_{\text{МН}}} k_{c2} \Delta\omega_3 - \frac{1}{T_{\text{МН}}} \Delta U_2; \\
 \frac{d\Delta U_{\text{PC2}}}{dt} &= \frac{T_3 k_{c1} k_{n1} k_u}{T_4 J} \Delta U_1 - \left(\frac{T_3 k_{c1} k_{n1} k_\omega}{T_4 J} - \frac{k_{c1} k_{n1}}{T_4} \right) \Delta\omega_1 - \frac{(T_3 k_{c1} k_{n1} + T_3 k_{c2}) k_u}{T_4 J} \Delta U_2 + \\
 &+ \left[\frac{(T_3 k_{c1} k_{n1} + T_3 k_{c2}) k_\omega}{T_4 J} - \frac{(k_{c1} k_{n1} + k_{oc2})}{T_4} \right] \Delta\omega_2 - \frac{T_3 k_{c1} k_{n1}}{T_4 J} \Delta M_{c1} + \frac{(T_3 k_{c1} k_{n1} + T_3 k_{c2})}{T_4 J} \Delta M_{c2}; \\
 \frac{d\Delta\omega_3}{dt} &= \frac{k_u}{J} \Delta U_3 - \frac{k_\omega}{J} \Delta\omega_3 - \frac{1}{J} \Delta M_{c3}; \\
 \frac{d\Delta U_3}{dt} &= \frac{k_{\text{МН}} k_{\text{PT3}}}{T_{\text{МН}}} \Delta U_{\text{PC3}} - \frac{k_{\text{МН}}}{T_{\text{МН}}} (k_{c2} + k_{c3}) \Delta\omega_3 + \frac{k_{\text{МН}}}{T_{\text{МН}}} k_{c3} \Delta\omega_2 + \frac{k_{\text{МН}}}{T_{\text{МН}}} k_{c2} \Delta\omega_2 - \frac{1}{T_{\text{МН}}} \Delta U_3; \\
 \frac{d\Delta U_{\text{PC3}}}{dt} &= \frac{T_5 k_{c1} k_{n2} k_u}{T_6 J} \Delta U_1 - \frac{T_5 k_{c1} k_{n2}}{T_6} \Delta U_2 - \left(\frac{T_5 k_{c1} k_{n2} k_\omega}{T_6 J} - \frac{k_{c1} k_{n2}}{T_6} \right) \Delta U_1 + \\
 &+ \left(\frac{T_5 k_u k_{n2} k_\omega}{T_6 J} - \frac{k_{c1} k_{n2}}{T_6} \right) \Delta\omega_2 - \frac{T_5 k_{oc3}}{T_6} \Delta\omega_3 - \frac{1}{J} \Delta M_{c1} + \frac{1}{J} \Delta M_{c2}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенттерін ($k_{кб1}, k_{кб2}, k_{кб3}$) және жылдамдықтарының келіспеуі бойынша кері байланыс коэффициенттерін ($k_{о1}, k_{о2}, k_{о3}$) есептеу әдістемесі құрылды. А.М. Ляпуновтың тура тәсілінің теоремасы негізге алынып, квадраттық функция келесі түрде жазылды:

$$V = A_{11}x_1^2 + A_{12}x_1x_2 + A_{13}x_1x_3 + A_{22}x_2^2 + A_{23}x_2x_3 + A_{33}x_3^2. \quad (2)$$

Квадраттық функцияны түрлендіру барысында алынған көпайнымалылар функциясын минималдандыру үшін Монте-Карло әдісі және координаттық түсу әдісі қолданылды. Көпайнымалылар функциясын шешу үшін matlab.7 тілінің алгоритмдерінде программа құрылған.

Үшінші бөлімде келесідей негізгі нәтижелер алынды:

1. Реостатты реттеу кезіндегі және тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетектері зерттелді.
2. Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің ротор токтарының фазалық келіспеу бұрыштары анықталды.
3. Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің алдын-ала синхрондауы мен синхронды тежелуі жасалды.
4. Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетектерінің механикалық сипаттамаларын есептеу программасының алгоритмі жасалды.
5. Ротор тізбегінде электрлік байланысы бар және электрлік байланысы жоқ көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін микропроцессорлық басқару жүйесі жасалды.
6. Нәтижелері синхронды айналатын көпқозғалтқышты электржетегінің қандай да бір жүйесін ұсынуға мүмкіндік беретін, реостатты реттеу, ТКТ-АҚ және микропроцессорлы басқарылатын ТКТ-АҚ жүйелері кезінде көпқозғалтқышты электржетегінің салыстырмалы талдауы берілді.

Қорытынды

Автоматтандырылған электржетегінің қазіргі кездегі дамуында синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетектерінің техника-экономикалық көрсеткіштерін едәуір жақсарту, қозғалтқыштардың айналу жылдамдығын автоматты реттеу және микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі жүйесін құруға мүмкіндік бар. Жүн тарау процесінің технологиялық талаптарын ескеретін микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды автоматтандырылған электржетегі құрылды.

Диссертацияда келесідей негізгі нәтижелер алынды:

- тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі құрылды;
- көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің электрмеханикалық өрнектері құрылды;

- микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі құрылды;
- реостатты реттеу кезіндегі және тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетектері зерттелді;
- тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетектерінің механикалық сипаттамаларын есептеу программасының алгоритмі жасалды;
- ротор тізбегінде электрлік байланысы бар және электрлік байланысы жоқ көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін микропроцессорлық басқару жүйесі жасалды.

АНДАТПА

Автоматтандыру деңгейінің және күштік түрлендіргіштік техниканың дамуы шығарылатын өнім сапасын, тоқыма өнеркәсібі желілері мен аппараттарының өнімділігін жоғарылатуға мүмкіндік беретін көпқозғалтқышты асинхронды автоматтандырылған электржетектерін құруға мүмкіндік береді. Көптарамды тарау аппараттарында тарам сапасын жақсарту үшін, микропроцессорлық техника жетістіктерін ескере отырып, көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру ұсынылады.

Бұл магистрлік диссертацияда тарау аппараттарының көпқозғалтқышты электржетегінің режимдері қарастырылады. Электржетектерге қойылатын негізгі талаптар келтіріледі, соның ішінде жайманың тартылысын ескеретін тарау аппаратының өзарабайланысқан көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі құрылған. Нәтижесінде тиристорлы кернеу түрлендіргіштері бар үшқозғалтқышты электржетегінің математикалық суреттелуі құрылады, соның негізінде айналу үйлесімділігін қамтамасыз ететін басқару жүйесі жасалады. Бұл жүйе жүктемелердің біркелкі емес таралуымен байланысты әртүрлі динамикалық режимдерде зерттеледі. Жұмыстың соңында, тарау аппаратының технологиялық процесінің талаптарын ескеретін және жұмыс механизмдерінің синхронды айналуын қамтамасыз ететін микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты электржетегі құрылады.

АННОТАЦИЯ

Развитие уровня автоматизации и силовой преобразовательной техники позволяет разработать многодвигательные асинхронные автоматизированные электроприводы, позволяющие повысить качество выпускаемой продукции, производительность линии и аппаратов текстильной промышленности. В многопрочесных чесальных аппаратах для улучшения качества прочеса рекомендуются разработать многодвигательные асинхронные электроприводы, применяемые в них, с учетом достижения микропроцессорной техники.

В данной диссертационной работе рассматриваются режимы многодвигательного электропривода чесального аппарата. Приводятся основные требования к электроприводам, с учетом разработана математическая модель взаимосвязанного многодвигательного асинхронного электропривода чесального аппарата с учетом натяжения полотна. В результате составляется математическое описание трехдвигательного электропривода с тиристорными преобразователями напряжения, на основании которого разрабатывается система управления, позволяющая обеспечить согласованность вращения. Эта система исследуется на различные динамические режимы, связанные с разбросом нагрузок. В заключение проводится многодвигательный электропривод, отвечающий технологическим требованиям и обеспечивающий синхронное вращение рабочих механизмов чесального аппарата.

ANNOTATION

Development of automation and power converter technology allows the development of multi-engined asynchronous automated actuators that improve product quality, and productivity of the line machines textile industry. In mnogoprochesnyh carding machines to improve web quality are recommended to develop a multi-engined asynchronous electric drives used in them, taking into account the achievements of microprocessor technology.

This thesis discusses modes multiengine electric carding machine. The basic requirements for electric drives, taking into account the mathematical model of interconnected multi-engine asynchronous electric carding machine based on web tension. As a result, the mathematical description is made with electric trimotored thyristor voltage converters, which is developed on the basis of engine controls to ensure consistency in the rotation. This system is studied for different dynamic regimes associated with a range of loads. In conclusion held multimotor electric charge and technological requirements providing synchronous rotation of the working mechanisms of the carding machine.

Мазмұны

Нормативтік сілтемелер	9
Белгілеулер мен қысқартулар	10
Кіріспе	11
1 Жүн тараудың технологиялық процесі және тарау аппараттарының электржетектерінің жүйелерін талдау	14
1.1 Көптарамды тарау аппараттарында жүн тараудың технологиялық процесінің ерекшеліктері	14
1.2 Созбаның сапасына қойылатын негізгі талаптар	18
1.3 Тарау аппараттарының қолданыстағы электржетектері, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері	24
1.4 Тарау аппаратының электржетегі жүйесінің жұмыс режимдерін зерттеу	26
1.4.1 «CR-24» типті тарау аппаратының электржетегі жұмысының статикалық режимдері	27
1.4.2 «CR-24» тарау аппаратының электржетегі жұмысының динамикалық режимдері	42
1.5 Тарау аппараттарының электр жетектеріне қойылатын негізгі талаптар	43
1.6 Зерттеу мақсаты және нәтижесі	44
2 Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін математикалық және компьютерлік моделдеу	45
2.1 Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық сипатталу ерекшеліктері	46
2.1.1 Табиғи координаттардағы синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін математикалық сипаттау	47
2.2 Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі	50
2.2.1 «Тиристорлы кернеу түрлендіргіш-асинхронды қозғалтқыш» жүйесінің бірқозғалтқышты электржетегінің математикалық сипатталуы	50
2.2.2 Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің құрылымдық схемасын құру	52
3 Тарау аппараттарының тиристорлы кернеу түрлендіргішті синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегін микропроцессорлық басқаруын құру	59
3.1 Реостатты реттеу кезінде синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін зерттеу	59
3.2 Тиристорлы кернеу түрлендіргішті синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін зерттеу	62
3.2.1 Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің ротор токтарының фазалық келіспеушілік бұрыштарын анықтау	67
3.3 Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің алдын-ала синхрондауын, жылдамдығын реттеуін және синхронды	

тежелуін құру	69
3.4 Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің механикалық сипаттамаларын есептеу бағдарламасының алгоритмін құру	72
3.5 Микропроцессорлы басқарылатын синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі	76
3.5.1 Микропроцессорлық құрылғылар	78
3.5.2 Микропроцессорлық контроллерлердің классификациясы	78
3.5.3 Басқару жүйелері үшін микропроцессорлық құрылғының жалпы құрылымы	79
3.5.4 Көпқозғалтқышты электржетектерде қолданылатын микропроцессорлық құралдар мен жүйелер	83
3.6 Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін микропроцессорлық басқару	86
3.6.1 Ротор тізбегінде электрлік байланысы бар көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегін микропроцессорлы басқару жүйесін жасау	86
3.6.2 Ротор тізбегінде электрлік байланысы жоқ көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін микропроцессорлы басқару жүйесін жасау	88
3.7 Реостатты реттеу, тиристорлы кернеу түрлендіргіштерін және микропроцессорлы басқарылатын тиристорлы кернеу түрлендіргіштерін қолдану кезінде көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін талдау	93
Қорытынды	97
Қолданылған әдебиеттер тізімі	98
А қосымшасы	104
Б қосымшасы	105
В қосымшасы	106
Г қосымшасы	107
Д қосымшасы	108

Нормативтік сілтемелер

Диссертацияда келесі стандарттарға сілтемелер қолданылды:

ГОСТ 183-74. Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов.

ГОСТ 51677-2000. Машины электрические асинхронные мощностью от 1 до 400кВт включительно. Двигатели. Показатели энергоэффективности – М.: Изд-во стандартов.

Белгілеулер мен қысқартулар

АЖТ – асинхронды жиілік түрлендіргіш;
АЛҚ – арифметика-логикалық құрылғы;
АҚ – асинхронды қозғалтқыш;
АСТ – аналогты сандық түрлендіргіш;
БМ – беріліс механизмі;
ЖДАБ – жүктелу деңгейін анықтау блогы;
ЖР – жылдамдық реттегіші;
ИФБЖ – импульстік-фазалық басқару жүйесі;
КҚАЭЖ – көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегі;
КД – кернеу датчигі;
МК – микроконтроллер;
МП – микропроцессор;
МПК – микропроцессорлық контроллер;
ОМ – орындаушы механизм;
ОСҚ – оперативті сақтау құрылғысы;
ПӘК – пайдалы әсер коэффициенті;
РЭФЫС – роторлық ЭҚК фазаларының ығысуын салыстыру құрылғысы;
СА КҚАЭЖ – синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегі;
ТД – ток датчигі;
ТКТ – тиристорлы кернеу түрлендіргіші;
ТКТ КҚАЭЖ – тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегі;
ТМСТ – теңестіруші моменттерді салыстыратын және тапсыратын құрылғы;
ҮИС – үлкен интегралды схема;
ФД – фаза датчигі;
ЭЕМ – электронды-есептеуіш машина;
ЭЖ МПБЖ – электржетегін микропроцессорлық басқару жүйесі;
ЭЖБ – электрлік жұмысшы білік;
ЭҚК – электр қозғаушы күш;

Диссертацияда электржетегі әдебиеттері үшін дәстүрлі өлшем бірліктері қолданылған: А, В, Ом, рад/с, с, м/с, Н·м, кг, кг·м², кДж.

Кіріспе

Қазақстан Республикасының жеңіл өнеркәсібі, соның ішінде тоқыма өнеркәсібі жан-жақты даму сатысында. Нарықтық экономика жағдайында тоқыма өнеркәсібінде өндірісті автоматтандыру деңгейін жоғарылату өндірісте жоғарыөнімділікті техника мен технологияларды, технологиялық жабдықтар мен автоматтандырылған ағынды желілер кешендерін тездетіп құруды және орнатуды талап етеді. Электржетегі аумағында халықшаруашылығының әртүрлі салаларының қарқынды дамуын жоғары дәрежеде қамтамасыз ететін электржетектердің автоматтандырылған басқару жүйелерін шығару қажет.

Әртүрлі технологиялық процесстер, олардың өзара байланыстары электр жетегінің жетілдірілген жүйелерін жасау, басқару тәсілдерін таңдау мен жүзеге асыру бойынша принципалдық шешімдерді талап етеді. Заманауи өнеркәсіптік өндірістегі технологиялық процесстердің едәуір бөлігі көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі көмегімен жүзеге асырылады. Айнымалы тоқты өзара байланысқан синхронды айналатын көпқозғалтқышты электржетектері салыстырмалы түрде бағасының қымбат емес кезінде бірқатар өндірістік нысандарды басқаруға қажетті параметрлерді қамтамасыз етеді.

Жіп дайындау-иіру өндірісі аумағында көптарамды тарау аппараттары маңызды орын алады. Тарам сапасын жақсарту және нәтижесінде қалыңдығы біртекті өнім алу үшін жетілдірілген синхронды айналатын электржетектерді пайдалануға ұмтылады. Тоқыма өнеркәсібінде қолданылатын барлық аппараттар мен машиналардың ішінде тарау аппараттары, алатын аудан бірлігіне келетін ең аз меншікті өндіру қуатына ие. Осыған байланысты оларды жаңарту мен жетілдірудің, сонымен қатар созба сапасын жақсартудың негізгі мәселесі – өнімділікті көтеру.

Жаңа жоғарыөнімділікті техника мен технологияны енгізуге және жіп дайындау-иіру өндірісінің көпқозғалтқышты машиналары мен аппараттарын жаңартуға негізделген тоқыма өнеркәсібінің ары қарай дамуы, сонымен қатар шығарылатын өнім сапасының жақсаруы мен көлемінің артуы өзара байланысқан синхронды айналатын көпқозғалтқышты электржетегінің дамуын қарастырады.

Автоматтандыру деңгейінің және күштік түрлендіргіштік техниканың дамуы шығарылатын өнім сапасын, тоқыма өнеркәсібі желілері мен аппараттарының өнімділігін жоғарылатуға мүмкіндік беретін көпқозғалтқышты асинхронды автоматтандырылған электржетектерін құруға мүмкіндік береді. Көптарамды тарау аппараттарында тарам сапасын жақсарту үшін, микропроцессорлық техника жетістіктерін ескере отырып, көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру ұсынылады.

И.М. Садовский, Ф. Унгру, Г. Иордан, В.И. Иог, А.М. Быстров, Ю.В. Закорюкин, В.А. Разумов, В.Н. Тищенко, В.Ф. Глазунов, Р.П. Герасимьяк, В.С. Копырин, Г.Б. Онищенко, П.И. Сагитов, М.М. Соколов және т.б. көпқозғалтқышты электржетегінің дамуына зор үлестерін қосқанын айта кету қажет.

Қазіргі кезде мемлекетіміздің тоқыма өнеркәсібінде жұмыс істеп тұрған ресейлік және шетелдік көптарамды тарау аппараттарының электржетегі ретінде негізінен әлсіз синхрондаушы қабілеттілігі, тербелістерге бейімділігі және энергетикалық көрсеткіштер төменділігі секілді бірқатар маңызды кемшіліктері бар синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі қолданылады.

Заманауи технологиялардың тұрақты дамуы статика мен динамикадағы қозғалыс дәлдігіне, тез әрекеттілікке және сенімділікке қатысты электржетегіне жоғары талаптар қояды. Берілген алгоритмдерді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін күштік және басқарушы жаңа элементтік базаны қолдануға әкелетін электржетегін басқарудың күрделірек әдістерін қолдануды талап етеді. Электржетегінде микропроцессорлық техниканы басқару жүйесінің негізі ретінде қолдану техникалық жетілген реттелетін жетектерді құру үшін кең мүмкіндіктер береді.

Автоматтандырылған электржетегінің қазіргі кездегі дамуында синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетектерінің техника-экономикалық көрсеткіштерін едәуір жақсарту, қозғалтқыштардың айналу жылдамдығын автоматты реттеу және микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі жүйесін құруға мүмкіндік бар. Сол себептен айнымалы токты көпқозғалтқышты электржетегін басқарудың микропроцессорлық жүйесін құру **өзекті** мәселе болып саналады.

Жұмыстың мақсаты жүн тарау процесінің технологиялық талаптарын ескеретін микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды автоматтандырылған электржетегін құру болып табылады. Көрсетілген мақсатқа жету үшін келесі **мәселелерді** шешу қажет:

- көптарамды тарау аппараттарында жүн тараудың технологиялық процесстерінің ерекшеліктерін талдау;
- тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделін құру;
- көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің электрмеханикалық өрнектерін құру және есептеу;
- микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру.

Жұмыстың негізгі идеясы жаңа микропроцессорлық техниканы қолдана отырып жаңа көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру.

Зерттеу нысаны тоқыма өнеркәсібіндегі үштарамды тарау аппараттары болып табылады.

Зерттеу тақырыбы жүн тараудың үздіксіз технологиялық процесі, электржетектердің жұмыс режимдері, тарау аппараттарының электржетектерін басқару алгоритмдері және заңдары.

Зерттеу әдістері. Зерттеу кезінде қойылған мәселелер электржетегі, электр машиналары, автоматты реттеу және математикалық модельдеу тәсілдерін қолдана отырып тарау аппараттарының көпқозғалтқышты электржетектерінің теориясы негізінде орындалған.

Жұмыс нәтижелерінің ғылыми жаңалығы:

– жайманың тартылысын ескеретін тарау аппаратының өзарабайланысқан көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі құрылған;

– көпқозғалтқышты электржетегі реттегішінің параметрлерін есептеу алгоритмі құрылған;

– тарау аппаратының технологиялық процесінің талаптарын ескеретін және жұмыс механизмдерінің синхронды айналуын қамтамасыз ететін микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты электржетегі құрылған.

Қорғауға шығарылатын ғылыми қағидалар мен нәтижелер:

– тарау аппараттарының өзарабайланысқан электржетектерінің математикалық және компьютерлік моделдері;

– тарау аппараттарының электрмеханикалық өрнектерін есептеу алгоритмі;

– тарау аппараттарының өзарабайланысқан көпқозғалтқышты электржетегін микропроцессорлық басқару жүйесі.

Ғылыми қағидалардың, шешімдер мен ұсыныстардың негізделуі және анықтылығы мәнді процестердің таңдалуымен; құбылыстардың математикалық сипатталуы кезінде қабылданған ұйғарым деңгейімен; жаратылыстану ғылымдарының фундаменталды заңдарынан және электржетегі теориясынан шығатын бастапқы берілгендердің негізделуімен; имитациялық моделдеу әдістерін қолданумен; 10% қателіктен аспайтын теориялық және эксперименталды нәтижелердің ұқсастығымен; электржетегін нақты жағдайларда пайдаланумен дәлелденеді.

Жұмыстың практикалық құндылығы келесілер болып табылады:

– тарау аппараттарының өзара байланысқан көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі құрылды;

– қоректендіргіш кернеу шамасы реттелетін көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің электрмеханикалық өрнектерін есептеу алгоритмі құрылды;

– тарау аппараттарының көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін микропроцессорлық басқару жүйесі құрылды.

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың негізгі қағидалары мен нәтижелері туралы баяндамалар мен талқылаулар Алматы энергетика және байланыс университетінің «Өнеркәсіп қондырғыларының автоматтандырылуы және электр жетегі» кафедрасының ғылыми семинарларында және магистранттардың ғылыми-тәжірибелік конференцияларында жасалды.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыста орындалған зерттеулер нәтижелері бойынша 3 ғылыми жұмыс жарық көрген.

Жұмыстың құрылымы және көлемі. Диссертация кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан және төрт қосымшадан құралған. Негізгі мәтін 108 беттен, оның ішінде 27 суреттен, 4 кестеден және 90 әдебиет тізімінен құралған.

1 Жүн тараудың технологиялық процесі және тарау аппараттарының электржетектерінің жүйелерін талдау

1.1 Көптарамды тарау аппараттарында жүн тараудың технологиялық процесінің ерекшеліктері

Тоқыма саласы жеңіл өнеркәсіпте алдыңғы қатарлылардың бірі болып саналады. Бұл саланың жұмысынан жеңіл өнеркәсіптің басқа салаларының дамуы ғана емес, сонымен қатар ауылшаруашылығының бірқатар басқа да салаларының дамуы тәуелді.

Қоспаларды тарау – иіру өндірісінің ең маңызды процестерінің бірі болып табылады. Бұл жерде болашақ иірімжіптің негізгі қасиеттері мен сапасы қаланады. Аппараттық иірудегі тарау процесінің соңғы мақсаты болып, бумалардан тұратын талшықтар қоспасынан созба түріндегі біртекті құрылған өнім алу.

Аппараттық иіруде тарау, тарау аппараты деген атқа ие болған бір агрегатта жасалады. Көп жағдайда тарау аппараты өзара лентатөсеушілер және лентатөсеушілер арқылы қосылады, бірнеше (кей жағдайларда 5-6-ға дейін жетеді) білікшелік тарау машинасынан тұрады. Соңғы тарау машинасы созынды бағытында тарау мақташалары ені жағынан тең ленталарға бөлінген созбалы арбашамен қосылған. Беріктілік беру мақсатында ленталар бұтақталуға ұшырап, соның нәтижесінде дөңгелектер түрінде иіршікке оралатын созбаға түрленеді. Демек, аппараттық иіруде тараудың соңғы өнімі созба болып саналады.

Білікшелік тарау машинасы аз көлемді талшықты материалдарды ағыс қозғалысы бойымен жақсы араластырады және көлденең бағытта араластырмайды. Бұл кемшілікті толықтыру үшін тарау аппаратында талшықты материалдар ағынының көлденең қосуын іске асыратын лентақұрастырғыштар мен лентатөсеушілер қарастырылған. Бір уақытта осының арқасында аппараттық созба жоғары мамықтылыққа жетеді [1].

Біздің еліміздің тоқыма өнеркәсібінде көбіне екі үлгідегі аппараттар қолданылады:

I үлгі – жұқа және жартылай жұқа қоспадан сызықты тығыздығы кіші және орта – 60-250 текс аралығындағы созбаны өндіруге арналған үштарамды бір жиналатын аппарат (Ч-31-Ш және Ч-31-Ш4, Ресей, CR-24 және CR-33, Польша);

II үлгі – қылшықты және жартылай қылшықты қоспадан сызықты тығыздығы үлкен – 200 текс бастап және одан жоғары – созбаны өндіруге арналған екітарамды екі жиналатын аппарат (Ч-22-Ш, Ресей және Н-253, Германия).

Біздің кәсіпорындарда жұмыс істейтін аппараттардың үлкен әртүрліліктерінен ең көп таралғандары: үштарамды бір жиналатын Ч-31-Ш және Ч-31-Ш4 (Ресей), CR-24 және CR-33 (Польша); екітарамды екі жиналатын Ч-22-Ш (Ресей) және Н-253 (Германия).

1.1-суретте көрсетілген өздігінен өлшегіштің тағайындалуы, массасы бойынша анықталған бірдей қоспалар жиынтығын автоматты түрде өлшеу және оларды бірдей уақыт аралығы арқылы ондағы қоспаның біркелкі төсемін құрастырып алдын-ала тарамға қарай үздіксіз қозғалатын торға беру. Өздігінен өлшегішке қойылатын басты талап – өлшеу механизмі жұмысының жоғары дәлдіктеріне қол жеткізу болып саналады.



1.1-сурет – Тарау аппаратының өздігінен өлшегіші

Алдын ала тарағыштың тағайындалуы – аса үлкен шатасқан үзімдер қоспасын аз шатасқан кішіректеу үзімдерге алмастыру; оларды түзетілген шоқтарға айналдыру; оларды араластыру және қықымдардан тазарту.

Алдын ала тарау жұмысының қарқындылығын қамтамасыз ету үшін барлық жұмыс мүшелері ине тектес болат ленталармен тартылады.

1.2- суретте тарау аппаратының негізгі таралулары көрсетілген.

Тарау аппаратының бірінші негізгі тарауышының тағайындалуы, тарақты иіру жүйесінің тарау машинасы сияқты, талшықты материалды тарау нәтижесінде үлкен шоқтардың әлдеқайда кіші шоқтарға және жеке талшықтарға қарқынды түрде бөлінуі болады; кейбір бумалардың және талшықтардың олардың параллелденуі және араласуы болады; талшықты материалдың ары қарай қоспалық қықымдардан және қысқа талшықтардан тазалануы.

Екінші негізгі тарауышының тағайындалуы – талшықты материалдың ары қарай мұқият тарауы, бұның нәтижесінде машинаның шығысында оның құрамында әлдеқайда аз шоққа ие болады, талшықтар керек мөлшерде жақсы араластырылған және параллельденілген.

Екінші негізгі тарауыштың құрылысы және жұмысы да, біріншінікі сияқты, тек қана қоректендіргіш және жұмыс мүшелері әлдеқайда майда және жиі орналасқан тісшелері (инелері) бар ленталармен тартылған.

Үштарамды аппаратта бірінші негізгі тарағыштан кейін талшықты материалда қалып қойған түйіршіктерді және лас қоспаларды жаруға арналған сыққыш біліктер орналасқан.

Тарау аппаратының үшінші негізгі тарауышының тағайындалуы – талшықты материалды тарауды аяқтау; талшықтарды құрамына байланысты біржолата араластыру; машинадан шығатын өнімнің түзуленуі және біртекті жіңішке тарау мақтасының қалыптасуы.

Алдыңғы негізгі тарауышпен салыстырғанда жұмыс мүшелерінің гарнитура инелері екінші тарауыштың сәйкесінші мүшелерімен салыстырғанда жіңішкеу және де олар жиі орналасқан, ал жұмыс мүшелері арасындағы ара қашықтық алдыңғы процеспен салыстырғанда аз.



1.2-сурет – Тарау аппаратының алдын ала және негізгі таралулары

Иіру өндірісінде аппараттық иіру жүйесінің жүнді немесе қоспаның кардтық тарау операциясы процесінде оның бумаларының бөлек талшықтарға бөлінуі, ақаулардың және қоспалық қиқымдардың жойылуы, талшықтық ағынның түзуленуі және араластырылуы іске асырылады. Тарау машинасында талшықтардың бөлінгіштігі жоғары болған сайын, қайта өндіріліп жатқан материалдағы қоспалық қиқымдар жеңілдеу жойылады және талшықты

материалдың түзуленуі және араласуы тиімдірек іске асырылады. Бұнымен қоса кардты тарау процесінде иірімдеудің иірімдік және иірімді-айналдырғыш машиналарында технологиялық процестің тиімді өту шарттары түзіледі. Тарау гарнитурамен тартылған талшықты материалдың жұмыс мүшелерінің әсерлесуімен іске асады. Екі жұмыс мүшесінің бетіндегі гарнитурадағы инелердің өзара орналасуына және беттердің арасындағы қатыстық қозғалысына байланысты келесідегідей өзара әсерлер түрі болуы мүмкін: тарау, талшықтардың бір беттен екіншіге өтуі немесе бір гарнитурадағы талшықтардың екіншісіне өтпей көтерілуі [2, 3].

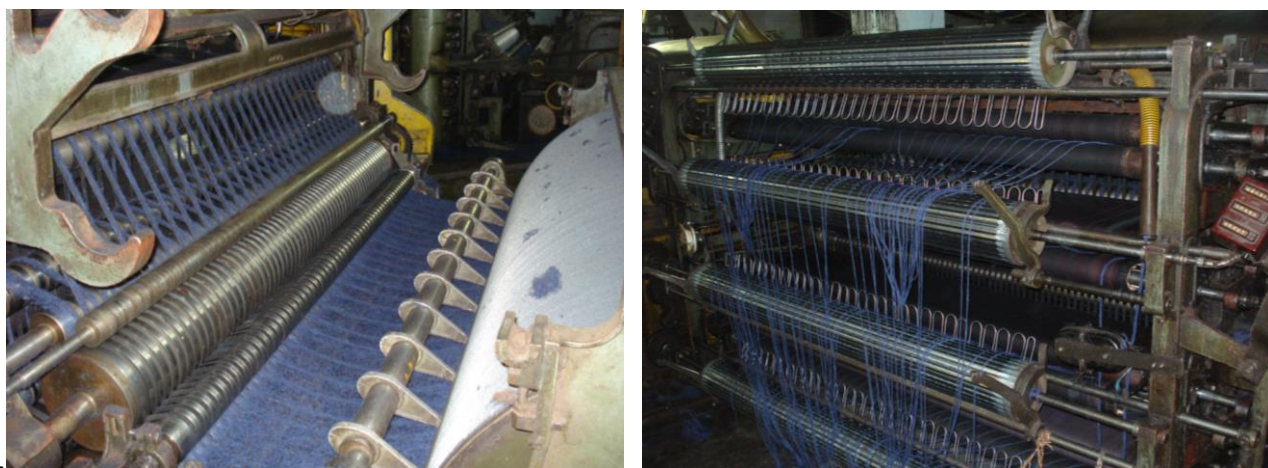
Тарау аппаратының басты тараушының жұмысы кезінде талшықтардың масса айырбастауы дөңес (тарау аймақтары) бойында болады, бұл дегеніміз тарау процесінің өзінде қатысатын басты барабанның – ББ және жұмыс білігі-ЖБ беткі кішігірім бөлігінде болады, өзара әсерлесуші мүшелердің диаметрлеріне, олардың аралықтарына тәуелді ұзындық [3].

Басты барабан алып жүрген гарнитураға тереңдетілген және де оның бетінде орналастырылған талшықтар. Жұмыс білігінің қозғалыстағы инелерімен жанасу кезінде талшықтардың бір бөлігі инелерге ілінеді, жұмыс білігінің гарнитурасына тереңдетіледі және онымен бірге қозғалысын жалғастырады, ал талшықтардың басқа бөлігі басты барабанда қалады. Талшықты материал жұмыс білігінен алынатын білікпен – АБ шешіледі және басты барабанның бетіне беріледі. Нәтижесінде шоқтар түзуленіп, бөлек кішігірім талшықтарға бөлінеді. Барабанмен және өзара әсерлесетін жұмыстық және алынбалы біліктер, жұмыс жұбы болып саналады. Мұндай қопсыту процестері, талшықтардағы қоспаларды араластыру барабан мен келесі жұмыс жұптары арасында іске асырылады. Талшықты жеткізу үшін өңдеу (тарау) кезінде жинап алынатын барабандар – ЖАБ қолданылады, негізгі және алынатын барабанның және де жұмыс білігінің әсерлесу шарты [4].

1.3-суретте көрсетілген созбалы арбаша тараудан керек түзулікке және беріктікке ие бумаларға оралған оларды тасымалдау және сақиналы иірім машинасында ары қарай өңдеу қолайлы созба жіптерін алуға арналған. Созбалы арбаша белдемшелі бөлгіштен, ширатқыш жеңдерден және ораушы механизмнен тұрады. Белдемші бөлгішінде тараудың жіңішке жолақтарға (120 немесе 160) бөлінуі іске асырылады.

Шұға біліктеріне тартылған ширатқыш жеңдер (олардың төрт жұбы), айналу қозғалысы есебінен оларға түскен жолақтарды, ал қайта түсу қозғалысы есебінен бірі екіншісінің жіңішке (10,5 немесе 14 мм) тарау жолақтарын бұтақтайды немесе орайды, осының арқасында оларды созба жіптеріне айналдырады. Созба жіптерін, созбалы арбашасының бүркелгіш біліктеріне үйкелу нәтижесінде айналатын, ұзын ағаш катушкаларға немесе оқтауға орау арқылы іске асырылады.

Аппараттық өндірісте созбаның дайындаудың ағынды желісі тарау аппараттарымен аяқталады [5, 6].



1.3-сурет – Тарау аппаратының созбалы арбашасы

Жартылай жіңішке және жіңішке жүндер үшін тарау олардағы басты тарауыштардың санына байланысты екі үштарамды тарау машиналарында кезекпен орындалады. Талшықтар механикалық түрде лентақұрастырғыш, лентатөсеушілер және транспортерлар арқылы бір машинадан екінші машинаға беріледі. Соңғы лента иіршікке оралып орау әдісі арқылы созба түзетін тарау мақташасы ені ленташаларға бөлінген созбалы арбашамен қосылған. Жоғарыда көрсетілген сипаттама бойынша өздігінен өлшегіштен бастап созбалы арбашаға дейінгі қоспаны өңдеу жүрісі көрсетілген үштарамды тарау аппаратының жүнді тараудың толық технологиялық схемасы 1.4-суретте келтірілген.

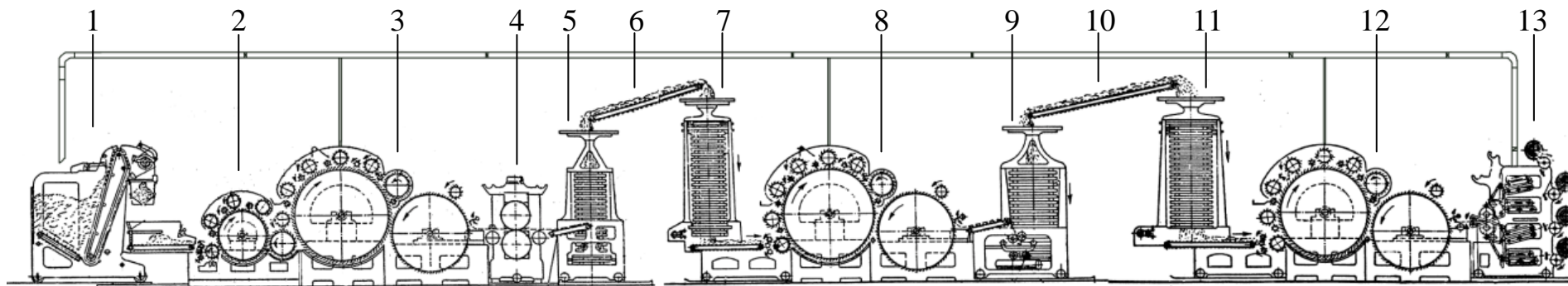
1.2 Созбаның сапасына қойылатын негізгі талаптар

Жақсы иірімжіп алу үшін иірім машинасына түсетін созбалар сапасы жоғары болуы қажет. Бұл дегеніміз, керек түзулікке, белгілі бір қалыңдыққа, ие болуы қажет, оның талшықтары жақсы араласқан және тазаланған болуы қажет, онда таралмаған талшықтар, төмпешіктер, және де ашық орындар болмауы қажет, ол жақсы ширатылған және тығыз оратылған болуы керек.

Біртекті күйде, дұрыс және жақсы күтімде тарау аппараты созбаның ешқандай үзілісіз жұмыс істей алады.

Тарау аппараттарындағы улар машина астылық қалдықтық және түсірімдік, кардты бетшеден оларды тазалау кезде шешіліп алынатын сыпыртқы, созбалық сыну немесе созбалар үзілімі және шеткілік жіпшелер, мақташалар немесе кенеп үзімі болып бөлінеді. Сонымен қатар, тарау аппараттарында қайтымсыз иістер бар.

Тарау аппараттарындағы иістер мөлшері қоспа құрамына және тарауға дайындау сапасына байланысты 5-20 % және одан да жоғары болуы мүмкін.



19

- 1 – өздігінен өлшегіш
- 2 – алдын ала тарағыш
- 3 – бірінші басты тарауыш
- 4 – сыққыш біліктер
- 5, 9 – лентақұрастырғыштар
- 6, 10 – транспортерлар
- 7, 11 – лентатөсеушілер
- 8 – екінші басты тарауыш
- 12 – үшінші басты тарауыш
- 13 – созбалы арбаша

1.4-сурет – Үштарамды тарау аппаратында жүнді (қоспаны) тарау процесінің технологиялық схемасы

Тарау лентасының және аппараттық созбаның сапасына жоғары талаптар қойылған, олардың негізгілері келесілер болып табылады [7]:

- оларды тарауда біртекті бөлу кезінде талшықтардың максималды бөлінуі, мүшкениң (созба салмағының және мақташа бетінің бірлік өлшемінде ақаулар, күрмешелер) максималды саны;

- минералды және өсімдік ластануларынан максималды жою және тазалау;

- орнатылған номинал шамадан созба немесе лента қалыңдығының минимал ауытқуы;

- қиманың кез келген өлшем бірлігінде тарау өнімінің құрамының бір қалыптылығы, бұл дегеніміз ондағы әр түрлі талшықтардың ұзындыққа, диаметрге, түске және т. б. байланысты пропорционалды таратылуы.

Тарау сапасын анықтайтын, созбадағы ақаулар саны және сызықтық тығыздықтың біркелкілігі, берілген талаптардың ішіндегі негізгілері болып табылады. Нашар тарау және мүшке көп мөлшерде болуы, созбаның тегіссіздігін, иірімдегі үзілістілікті жоғарылатады және де иірімнің бірқалыпсыздылығына, алынатын матаның, әсіресе ашық қаптамалы матаның сыртқы түрінің нашарлауына алып келеді.

Барлық басты барабандары синхронды айналатын тарау аппараттарында, басқа технологиялық талаптарды ұстанған кезде, лентаның бірқалыпсыздығы, көбіне қозғалтқыш айналуының синхрондылығының бұзылуына тәуелділік, бөлек жұмыс біліктердің арасындағы жылдамдық қатынасының бұзылуына әкеліп соқтырады. Мысалы, бас барабанның жетегі электржетегімен механикалық түрде байланысқан жұмыс білігінің бірқалыпсыз айналуы, оның беткі жағына ауысатын, талшықты материалл санының периодты өзгеруіне әкеліп соғады. Созба қалыңдығының периодты өзгеруі, соның нәтижесінде мақташада қиылысулар түзіледі. Сапалы созба алу үшін тарам бірқалыпты болуы қажет. Тарам сапасына тарау машинасының бірқалыпты қоректенуі де үлкен әсерін тигізеді, мәселен, өздік өлшеуішпен қоспа бөлігінің нақты өлшенуі. Сондықтан, жаңа тарау аппараттарының өздік өлшеуіштері, өлшену процессі бойынша электрлік басқару жүйелерімен жабдықталады, кей жағдайларда, бөлек электржетегімен [2].

Ары қарай жаңарту, бас барабандардың электржетектерін жетілдіру, бөлек жұмыс мүшелерінің бірмезетті қосылу және тоқтау электрқозғалтқыштарының жұмысын арнайы синхрондау құрылғысымен қамтамасыздау, созба сапасын жоғарлату және тарау аппаратының өндірісін арттыруда ерекше мағынаға ие [8, 9].

Қазақстан Республикасының және басқа мемлекеттердің тоқыма өнеркәсібінде қолданылатын қазіргі тарау аппараттары және машиналары, олардың сенімділігін және өндірушілігін арттыратын бірқатар ерекшеліктерге ие. Жаңа тарау аппараттарында, жұмыс мүшелері үшін жоғары сапалы материалдар қолданылған, оларды дайындау дәлдігі артқан, басты (2000 мм дейін), алынбалы салынбалы (1600 мм дейінгі) барабандардың диаметрлері және жұмыс ені (3000 мм дейін) ұлғайған.

Жұмысшы мүшелер беттері инелі гарнитура орнына, қажетті қаттылығы, ерекше профильдер және т.б. ие, бүтін металды (ине тәрізді гарнитура) лентамен тартылған.

Алдыңғы шыққан аппараттармен салыстырғанда, қазіргі заманғы жүн тарау аппараттарының өнімділігі 2 есеге артқан, ол 60 кг/сағ аса мәнге жетеді. «BEFAMA» фирмасының жаңа «CR-623» үштарамды аппараттары, үлкен және орташа тығыздықты созба шығарымында сәйкесінше 65 кг/сағ және 58 кг/сағ болады [2, 3].

Тарау аппаратының өнімділігі, уақыттың бірлік өлшемінде машина арқылы өтетін талшықты материал ағынымен анықталады және мына формуламен есептеледі [10]:

$$P = (a_{кз} \cdot m \cdot v \cdot \mathcal{G}_{\sigmaз} \cdot 60/1000 \cdot 1000) \cdot ((100 - I_3)/100) \cdot k_{ny} \quad (1.1)$$

(1.1) формулада көрініп тұрғандай, аппараттың өнімділігі үшінші негізгі тарамның – $\mathcal{G}_{\sigmaз}$, $M/мин$ басты барабанының жылдамдығынан, осы барабанның қорек арттыруынан – $a_{кз} (г/м^2)$, аппараттың жұмыс енінен – $A = m \cdot v$, $мм^2$ (m , v – сәйкесінше бөлгіш жұмыс белдемшелерінің ені мен саны), пайдалы уақыт коэффициентінен – k_{ny} , үшінші машинада – I_3 түсетін иістер санынан және де созбаны орау жылдамдығына байланысты:

$$\mathcal{G}_0 = (a_{кз} \cdot v \cdot \mathcal{G}_{\sigmaз} / 1000) \cdot ((100 - I_3) / 100), \text{ м/мин.} \quad (1.2)$$

Үштарамды аппараттардың басты барабандардың электржетектерінің көбісі, әсіресе «BEFAMA» фирмасының роторлық тізбекте электрлік байланысқан синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі (СА КҚАЭЖ) жүйесі бар, «Орелтекмаш» заводының аппараттары, ротор тізбегінде ортақ кедергімен шартталған төмендетілген жылдамдықта жұмыс істейді, бұл аппараттың өнімділігіне және оның электрмен қамтамасыздандыруына әсерін тигізеді. Жоғарыда аталған өнімділікке әсер ететін факторлар ішінен бас барабандар (ББ) – $\mathcal{G}_{\sigmaб}$ жылдамдығының және өзге жұмыс мүшелерінің жылдамдықтарының пропорционалды өзгеру әсерін белгілейік. Тарау аппараттарында алынатын біліктің (АБ) айналу жылдамдығы – $\mathcal{G}_{\sigmaб}$, жұмысшы біліктің (ЖБ) айналу жылдамдығынан $\mathcal{G}_{\sigmaжб}$ әлдеқайда үлкен, бірақ $\mathcal{G}_{\sigmaб}$ кіші. ЖБ және АБ жылдамдықтарындағы үлкен айырмашылық байланысты, олардың арасында интенсивті тарау болады, ал алардың алынатын білікпен әсерлесуі тараудың үзіліссіздігін қамтамасыз етеді. Қоректендіргіш, қайтарымық және негізгі артпашылық мөлшерлері барлық жылдамдықтарды пропорционалды өсіруге дейінгідей, өзгеріссіз қалу себепті, тарау процесі кезінде барлық жұмыс органдарының жылдамдығы n есе артқан [11]:

$$\frac{g_{ББ}}{g_{ШБ}} = const, \quad \frac{g_{ББ}}{g_{ЖБ}} = const. \quad (1.3)$$

Осыған сәйкес өнімділіктің рұқсат етілгеннен асып кетуі тарам сапасының нашарлауына, созбадағы талшықтардың орташа ұзындығының төмендеуіне және талшықтар үзілістілігінің артуына әкеліп соғады. 1.1 - кестеде үштарамды тарау аппараттарында жүргізілген зерттеулер нәтижесі берілген. Тәжірибе барысында барлық үш басты барабандардың айналу жылдамдықтары бірдей болған және әрбір келесі тәжірибе сайын бірдей дәрежеге артып отырды. Басқа жұмысшы мүшелері басты барабандар арқылы қозғалысқа келтірілетіндіктен, тарау аппараттарының өнімділігі де сол дәрежеге өсті.

1.1-кесте – Үштарамды тарау аппараттарындағы жұмысшы мүшелер жылдамдықтарын пропорционалды көтерілуіне тәуелді өнім сапасының көрсеткіштері

Тарау аппараттарының параметрлері және аппараттық созба атауы	Тәжірибелер саны								
	I			II			III		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Басты барабандардың айналу жылдамдығы, айн/мин	96	126	159	70	94	163	85	106	160
II-ші тарамның 1гр. мақташадағы ақаулар саны, дана	55	80	90	39	60	86	39	65	88
III-ші тарамның 1гр. мақташадағы ақаулар саны, дана	47	59	62	32	56	64	38	54	64
Талшықтың орташа ұзындығы, мм	47,8	38,5	37,0	40,1	39,0	38,9	43,1	38,3	36,9
0,5 м кесінді салмағы бойынша иірімжіптің біртектісіздігі, %	8,8	7,9	7,7	7,9	9,2	8,3	8,0	9,6	8,1

Көрсетілген мәліметтерге сай басты барабанның айналу жиілігі артқан сайын 1 грамм мақташа үшін ақаулар саны да артады, талшықтардың үзілістілігі орта есеппен жуықтап 15% қысқарады, ұзындық бірлігіне сәйкес салмақ бойынша иірімжіптің біртектісіздігі орта есеппен өзгеріссіз қалады. Бұл мәндерді, өнімнің сапасын арттыру және өнімділікті арттыру мақсатында, тарау аппараттарының электржетегі жүйесінде жылдамдықты реттеу аралығын анықтаған кезде ескеру қажет.

Бүкіл машинаның жалпы жылдамдығын арттырудан кейін, жүн және жүнді қоспаларды тарау сапасына кепілдік беру үшін, қоректендіргіш біліктердің жылдамдығын мына қатынаспен біршама төмендету ұсынылады [12]:

$$\eta = \frac{\mu + 1}{2\mu} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\mu}, \quad (1.4)$$

мұндағы:

η – өнімділіктің өзгеруі;

μ – жұмысшы мүшелердің айналу жылдамдығын арттыру еселігі.

Тараудың әсерлік басты көрсеткіші тарау сапасы болып саналады. Олардың айналу жиілігін автоматты реттеу мақсатында, қоректендіруші біліктерге жеке жетек қолдану мүмкіндігі бар, сондықтан үлкен қызығушылық туғызады. Созбаның сапасын тіркеуіш аспаптардың болуы жағдайында, электржетек жүйесін сапа талаптарына сай оптимумға реттеу мүмкіндігі бар. Сонымен қоса тарау аппараттарының өңделуші талшықтың талап етілген параметрлеріне сәйкес, өнімділігінің артуы қамтамасыз етіледі.

1.3 Тарау аппараттарының қолданыстағы электржетектері, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері

Біздің еліміздің тоқыма өнеркәсібінің кәсіпорындарында кең ауқымды қолданыс тапқан тарау аппараттарының көп бөлігі Ресейден, Польшадан, Италиядан, Германиядан, Франциядан және басқа елдерден жеткізіледі. «ОРЕЛТЕКМАШ» зауытының (Ресей) тарау аппараттары – «Ч-21Ш», «Ч-31Ш», «АЧ-224Ш» ең көп таралған және шетелдік «BEFAMA» (Польша) фирмасының – «CR-12», «CR-24, 30-35, 40-45», «CR-412, 412a», «CR-313, 322», «CR-613, 623», «FALUBAZ» (Польша) фирмасының «CZ 696», «UNICARD CZ 697», «OKTIR» (Франция) фирмасының «CLS/GP», «ТЕХТИМА» (Германия) фирмасының «Н-372» және т.б., олардың кейбірінің сипаттамалары 1.2-кестеде келтірілген [13-16].

1.2-кесте – Тарау аппаратының сипаттамалары

№	Параметрлердің атауы	Ч-31Ш	CR-24	АЧ-224 Ш	CR-322
1	Жұмысшы ені, мм	1800	1800	2000	1800
2	Негізгі барабандар саны	3	3	2	2
3	Алынатын барабандар саны	1	1	2	1
4	Негізгі барабан диаметрі, мм	1252	1292	1230	1500
5	Алынатын барабан диаметрі, мм	1022	1072	1600	1050
6	Бөлгіш белдемшелер ені мен саны	160/10,5 120/14,0	160/10,45 120/14,1	120/16	120/14

1.2-кестенің жалғасы

7	Созбаның сызықтық тығыздығы, текс	64-250	64-165	167-666	200-1250
8	Кіршіктегі созба жіпшелерінің саны	40; 30	20; 40; 30	30	15; 30
9	Өнімділігі, кг/сағ	14-25	15-26	60 дейін	45 дейін
10	Негізгі барабандардың айналу жиілігі, мин ⁻¹				
	Енгізу машинасы	120	120	125	120
	Мақталы машина	130	130	130	-
	Созбалы машина	140	140	140	135
11	Орнатылған қозғалтқыштар қуаты, кВт	12,1	17,1	19,0	22,0
12	Өлшемдер, мм				
	Жұмыс күйіндегі ұзындығы	19850	18900	15205	17025
	Жылжытылған күйдегі ұзындығы	21850	20122	17005	19425
	Есікшелері жабық кездегі ені	3380	3500	3570	3480
	Биіктігі	2760	2800	1893	2900

Барлық тарау аппараттарының жұмыс істеу принципі құрылғының ұқсас құрамы ортақ және жіңішке, жартылай жіңішке, жуан және жартылай жуан жүннің қоспаларын өндеуге арналған. Қоректендіргіш шығыршықты дөңгелек, транспортер, негізгі барабан, ақырғы өнімді құрастырушы және т.б., олардың басты түйіні болып табылады.

Тарау аппараттары электржетектерінің әртүрлілігі олардың өзгеше өндірілуімен анықталады. Мәселен, 15-20 кг/сағ өндіргішті тарау аппараттары, созбалы қосылу шартында және «тарау» кезінде артық жүктелуде жұмыс істейтін, АОТ типті қысқа тұйықталған асинхронды электрқозғалтқыштармен жабдықталған. Негізгі барабандардың жоғары инерциялылығынан олардың электржетектерінің қосылу уақыты минуттың төрттен бірін құрайды, ал біліктегі жүктеме мәні номинал момент шамасының үш еселенген мәніне дейін жетеді. Ресейлік және шетел өндірісінің жоғары өнімділікті аппараттардың электржетектері айнымалы токтың қуаттырақ қозғалтқыштарымен жабдықталған, және де әр бір тарам жеке электр қозғалтқышқа ие. Мысалы, «ЧТ-31-Ш, Ш1, Ш4» типті тарау аппараттары «АОТ-2» және «Н-253-ИМ» қозғалтқыштарымен жабдықталған [17].

Бұл аппараттарда синхронды қосуға, синхрондау жүйесінің жоқтығынан, синхронды жұмысқа және барлық тараудың негізгі барабандарының тоқтауына деген технологиялық міндеттерді сақтау күрделенеді.

«BEFAMA» және «ТЕХТИМА» фирмалары шығаратын екі, үш тарамды аппараттардың көбісі, трансмиссиялы білік арқылы тарау аппараты жұмыс мүшелерімен байланысқан, бірқозғалтқышты электржетегімен жабдықталған. Тазалау, гарнитураны құю кезінде жылдамдықты реттеу үшін арнайы вариаторлар қолданылады. Бірақ та тарау аппараттарына кіретін бөлек тарау машиналары, бір-бірінен 8-12 метр қашықтықта орналасқан, бұл олардың диаметрін және ұзындығын арттыруды, тіреуші подшипниктер санының өсуі және т.б. қажет ететін механикалық біліктерді қолдануды қиындатады, бірнеше жеке жетектерді қолданған кезде (мысалы, «ЧТ-2Ш», «ЧТ-3Ш» және т.б. типті тарау аппараттары), бірлескен жұмыстың шарты қолданылатын электр қозғалтқыштардың ұқсастығының есебінен қамтамасыздандырылады. Айналу жиілігінің келісімділігі жүктеменің өзгешелігіне едәуір тәуелді, ол ережеге сай, пайдалану кезінде технологиялық себептерден тұрақты емес. Келісімді айналуға қойылатын талаптар тұрақталғандікі секілді (тарау процесі), өтпелі процестегі секілді (іске қосу, тежеу) таза электрлік әдіспен іске асыруға болады. Мысалы, «BEFAMA», «ТЕХТИМА» фирмасының тарау аппараттары және «ОРЕЛТЕКМАШ» зауытының аппараттарында СА КҚАЭЖ жүйесі қолданылады. Жүктеменің әртүрлі мәндерінде олардың роторларының электрлік байланыстар орамалар арасындағы қозғалтқыштар білігінде, статордың магниттік өрістерімен әсерлесетін біліктердің келіспеуінің төмендеуіне әсер ететін теңгеру моментін туғызатын, теңестіргіш токтар ағады. Мысалы, «CR-24», «CR-33», «Н-372», «АЧ-220-Ш», «АЧ-221-Ш» және басқалар, біздің еліміздің шұға комбинаттарында қолданылатын, тарау аппараттарының электр жетектері [18, 19].

Электржетектері синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі жүйесінің классикалық схемасын көрсетеді және тарау құрылғысының жұмыс механизмінің ерекшелігіне байланысты, келесідей ерекшеліктерге ие:

- қозғалтқыш біліктеріндегі үлкен инерциялық массалар (ротор қозғалтқышы инерциялық массасынан жүз есе асатын);
- әр тарамның қозғалтқышындағы әртүрлі жүктеме;
- қозғалтқыштардың бір-бірінен және басқару шкафынан орналасу жерінің едәуір алшақтығы.

1.4 Тарау аппаратының электржетегі жүйесінің жұмыс режимдерін зерттеу

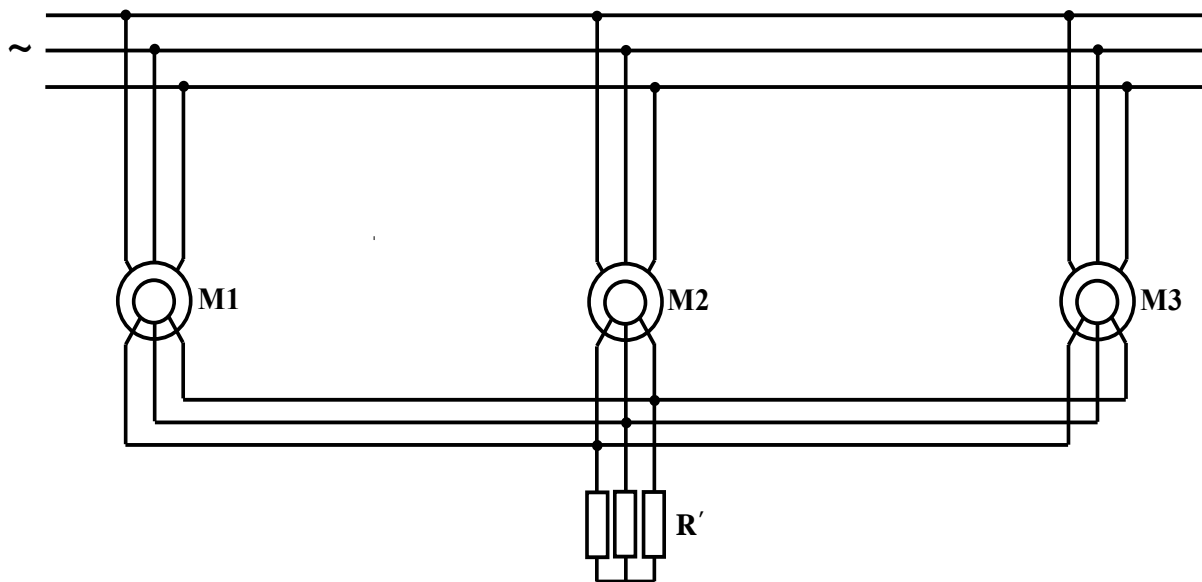
Роторлық тізбек бойынша электрлік байланысқан синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін аналитикалық зерттеу кезінде, біліктегі жүктеменің әртүрлілігімен анықталатын, жүйенің қозғалтқыш күйінің роторларының бұрыштық келіспеушілігі, және де ротор тогының фазалық ығысуын, оларды сәйкесінше қоректендіруші жүктеме ауысуы ретінде ескеріп, [18] сәйкес статорлық тізбекке ауыстырамыз, келесідей рұқсат етулер қабылдаймыз [20, 21, 22, 23, 24]:

- жүйенің қозғалтқыш параметрлері ұқсас;

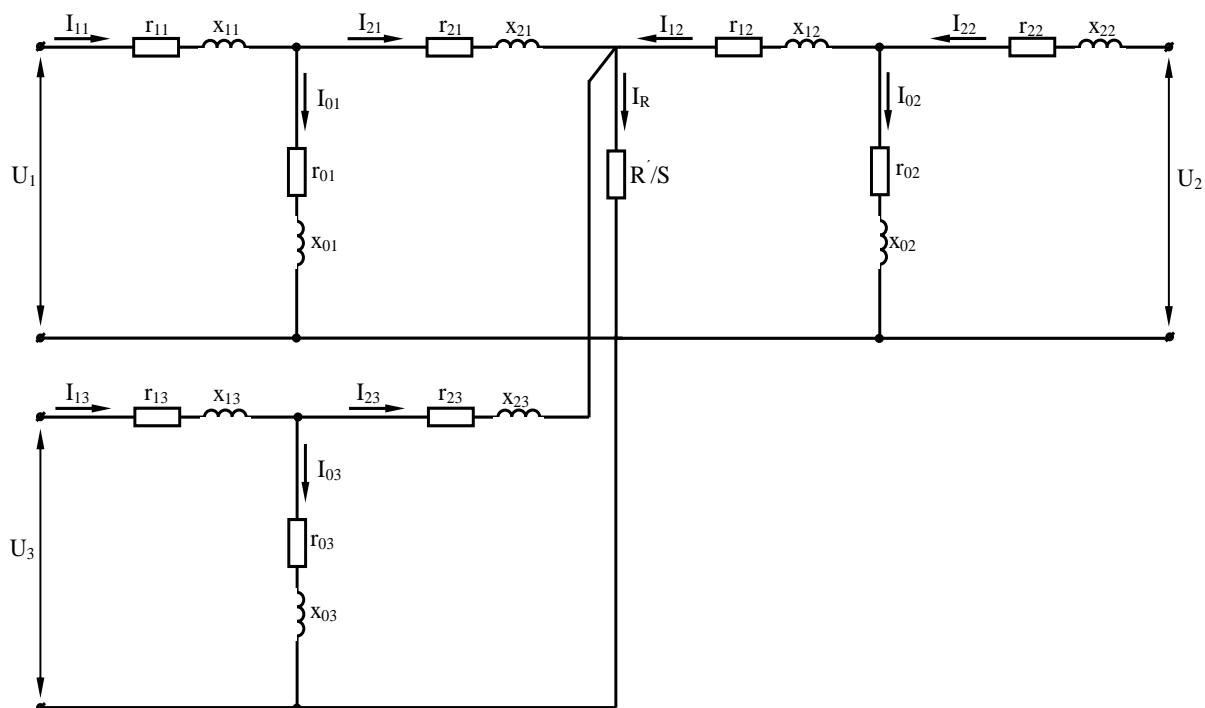
- әр қозғалтқыштың ауа саңылауы дөңгелегі бойындағы магнит ағыны біркелкі таралған, тек қана негізгі гармоникалық ағын ескеріледі;
- статор мен ротордағы болат шығыны ескерілмейді, қозғалтқыштардың магнит тізбектері қанықпаған;
- статор орамасына бекітілген кернеу үшфазалы симметриялы;
- токты және айналу моментін анықтау үшін беттестіру әдісі қолданылады;
- байланыстырғыш кабельдер кедергілері ескерілмейді;
- орнықтылықты зерттеген кезде «кішідегі» ауытқулар ескеріледі.

1.4.1 «CR-24» типті тарау аппаратының электржетегі жұмысының статикалық режимдері

Роторлық тізбекте электрлік байланысқан СА КҚАЭЖ жүйесінің негізгі электрмеханикалық ара қатынастары, 1.5 а, суретінде келтірілген үш асинхронды қозғалтқыш қоса алған, 1.5 б, суретінде келтірілген Т-тәріздес алмастыру схемасынан табамыз.



a)



б)

1.5-сурет – Роторлық тізбек бойынша электрлік байланысқан СА КҚАЭЖ классикалық схемасы (а) және Т-типті алмастыру схемасы (б)

Әртүрлі жүктелген қозғалтқыш роторларыдың бұрыштық келіспеулері қозғалтқыш роторларымен сәйкес айналатын, қандай да бір осьқа қатысты $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ арқылы белгіленеді. Электрлік білік теориясына сәйкес, бұрылудың механикалық бұрыштарын статор тізбегі бойынша қосымша кернеулерге сәйкес электрлік градуспен ескеруге болады, бұл деген $e^{j\gamma_1}, e^{j\gamma_2}, e^{j\gamma_3}$ кернеуге көбейтіндісі. Қозғалтқыштың барлық токтарының фазалық ығысулары, осы көбейтінділерге көбейту арқылы ескеріледі. Мұндай тәсіл формулаларға көбірек симметриялық беру үшін қажет. Алдағы есептеулерді беттестіру принципі бойынша жүргіземіз.

Алмастыру схемасында келесідей белгілеулер енгізілген:

U_1, U_2, U_3 – әрбір қозғалтқыш үшін желі кернеуі;

I_{11}, I_{12}, I_{13} и I_{21}, I_{22}, I_{23} – сәйкесінше машиналардың статор және ротор токтары;

r_{11}, r_{12}, r_{13} и x_{11}, x_{12}, x_{13} – статордың активті және индуктивті кедергілері;

r_{21}, r_{22}, r_{23} и x_{21}, x_{22}, x_{23} – ротордың активті және индуктивті кедергілері;

r_{01}, r_{02}, r_{03} и x_{01}, x_{02}, x_{03} – магниттелудің активті және индуктивті кедергілері;

R – ротор тізбегіндегі қосымша кедергі;

S – сырғу;

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – электрлік градуспен өлшенетін роторлардың бұрыштық ығысулары (қабылданған санау осіне қатысты).

Бастапқы нұсқада СА КҚАЭЖ классикалық схемамен байланысқан, әртүрлі жүктемелері бар қозғалтқыш білігінде, $U_1 = U_2 = U_3$, $\gamma_1 \neq \gamma_2 \neq \gamma_3 \neq 0$ деп санаймыз.

Роторлы және статорлы тізбектердің комплекстік кедергілері, белгілі-бір S сырғу кезінде белгілі, ол былай анықталады:

$$z_{11,12,13} = r_{11,12,13} + j(x_{01,02,03} + x_{11,12,13})$$

$$z_{21,22,23} = \frac{r'_{21,22,23}}{S} + j(x_{01,02,03} + x'_{21,22,23})$$

мұндағы:

$r'_{21,22,23}$, $x'_{21,22,23}$ – сәйкесінше ротордан статорға келтірілген активті және индуктивті кедергілер.

Онда статор мен ротордың кернеу тізбектерінің теңдеулері тең:

$$U_{1,2,3} = I_{11,12,13} z_{11,12,13} - I_{21,22,23} jx_{01,02,03}$$

$$(I_{11,12,13} jx_{01,02,03} - I_{21,22,23} z_{21,22,23}) \cdot e^{j\gamma_{1,2,3}} = \frac{R'}{S} \sum_{L=1}^3 I_{21,22,23} e^{j\gamma_{1,2,3}}$$

Біздің жағдайымызда барлық үш қозғалтқыш параметрлері ұқсас ($P_{1н} = P_{2н} = P_{3н}$, $n_{1н} = n_{2н} = n_{3н}$, $I_{11н} = I_{12н} = I_{13н}$, $I_{21н} = I_{22н} = I_{23н}$ және т.б.) және кернеу теңдеулер жүйесі, мына түрге ие болады

$$U_1 = I_{11} z_{11} - I_{21} jx_{01}$$

$$U_2 = I_{12} z_{12} - I_{22} jx_{02}$$

$$U_3 = I_{13} z_{13} - I_{23} jx_{03}$$
(1.5)

$$(I_{11} jx_{01} - I_{21} z_{21}) e^{j\gamma_1} = \frac{R'}{S} (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3})$$

$$(I_{12} jx_{02} - I_{22} z_{22}) e^{j\gamma_2} = \frac{R'}{S} (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3})$$

$$(I_{13} jx_{03} - I_{23} z_{23}) e^{j\gamma_3} = \frac{R'}{S} (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3})$$
(1.6)

(1.5) теңдеуден статор токтарының мәндерін анықтап, (1.6) теңдеулер жүйесіне қоя отырып, түрлендіруден кейін келесі теңдеулер жүйесін аламыз:

$$\begin{aligned}
U_1 jx_{01} e^{j\gamma_1} - (x_{01}^2 + z_{11} z_{21}) I_{21} e^{j\gamma_1} &= \frac{R'}{S} z_{11} (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3}) \\
U_2 jx_{02} e^{j\gamma_2} - (x_{02}^2 + z_{12} z_{22}) I_{22} e^{j\gamma_2} &= \frac{R'}{S} z_{12} (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3}) \\
U_3 jx_{03} e^{j\gamma_3} - (x_{03}^2 + z_{13} z_{23}) I_{23} e^{j\gamma_3} &= \frac{R'}{S} z_{13} (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3})
\end{aligned} \tag{1.7}$$

Алынған теңдіктерді қоса отырып:

$$\begin{aligned}
&U_{1,2,3} (e^{j\gamma_1} + e^{j\gamma_2} + e^{j\gamma_3}) jx_{01,02,03} - (x_{01,02,03}^2 + z_{11,12,13} z_{21,22,23}) (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3}) = \\
&= \frac{3R'}{S} z_{11,12,13} (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3})
\end{aligned}$$

Ары қарай роторлық тізбектегі токты анықтаймыз:

$$I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3} = \frac{U_{1,2,3} jx_{01,02,03} (e^{j\gamma_1} + e^{j\gamma_2} + e^{j\gamma_3})}{\frac{3R'}{S} z_{11,12,13} + (x_{01,02,03}^2 + z_{11,12,13} z_{21,22,23})} ;$$

(1.7) теңдеулер жүйесіне қосынды ток мәндерін қоя отырып, төмендегі теңдеуді аламыз:

$$\begin{aligned}
U_1 jx_{01,02,03} e^{j\gamma_1} - (x_{01,02,03}^2 + z_{11,12,13} z_{21,22,23}) I_{21} e^{j\gamma_1} &= \frac{R'}{S} z_{11,12,13} \frac{U jx_0 (e^{j\gamma_1} + e^{j\gamma_2} + e^{j\gamma_3})}{\frac{3R'}{S} z_{11,12,13} + (x_{01,02,03}^2 + z_{11,12,13} z_{21,22,23})} \\
U_2 jx_{01,02,03} e^{j\gamma_2} - (x_{01,02,03}^2 + z_{11,12,13} z_{21,22,23}) I_{22} e^{j\gamma_2} &= \frac{R'}{S} z_{11,12,13} \frac{U jx_0 (e^{j\gamma_1} + e^{j\gamma_2} + e^{j\gamma_3})}{\frac{3R'}{S} z_{11,12,13} + (x_{01,02,03}^2 + z_{11,12,13} z_{21,22,23})} \\
U_3 jx_{01,02,03} e^{j\gamma_3} - (x_{01,02,03}^2 + z_{11,12,13} z_{21,22,23}) I_{23} e^{j\gamma_3} &= \frac{R'}{S} z_{11,12,13} \frac{U jx_0 (e^{j\gamma_1} + e^{j\gamma_2} + e^{j\gamma_3})}{\frac{3R'}{S} z_{11,12,13} + (x_{01,02,03}^2 + z_{11,12,13} z_{21,22,23})}
\end{aligned} \tag{1.8}$$

(1.8) теңдеуден роторлық токтарды табамыз:

$$\begin{aligned}
I_{21} &= \frac{jx_{01} \left(x_{01}^2 + z_{11} \left[z_{21} + \frac{R'}{S} \left(3 - \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_1)} \right) \right] \right)}{\left[x_{01}^2 + z_{11} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right) \right] (x_{01}^2 + z_{11} z_{21})} U_1 \\
I_{22} &= \frac{jx_{02} \left(x_{02}^2 + z_{12} \left[z_{22} + \frac{R'}{S} \left(3 - \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_2)} \right) \right] \right)}{\left[x_{02}^2 + z_{12} \left(z_{22} + \frac{3R'}{S} \right) \right] (x_{02}^2 + z_{12} z_{22})} U_2 \\
I_{23} &= \frac{jx_{03} \left(x_{03}^2 + z_{13} \left[z_{23} + \frac{R'}{S} \left(3 - \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_3)} \right) \right] \right)}{\left[x_{03}^2 + z_{13} \left(z_{23} + \frac{3R'}{S} \right) \right] (x_{03}^2 + z_{13} z_{23})} U_3
\end{aligned} \tag{1.9}$$

Ал статор токтары келесідей анықталады:

$$\begin{aligned}
I_{11} &= \frac{U_1}{z_{11}} + \frac{jx_{01}}{z_{11}} I_{21} = \frac{U_1}{z_{11}} + \frac{jx_{01}}{z_{11}} \cdot \frac{jx_{01} \left(x_{01}^2 + z_{11} \left[z_{21} + \frac{R'}{S} \left(3 - \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_1)} \right) \right] \right)}{z_{11} \left[x_{01}^2 + z_{11} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right) \right] (x_{01}^2 + z_{11} z_{21})} \cdot U_1 = \\
&= \frac{\left[x_{01}^2 + z_{11} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right) \right] (x_{01}^2 + z_{11} z_{21}) - x_{01}^2 \left(x_{01}^2 + z_{11} \left[z_{21} + \frac{R'}{S} \left(3 - \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_1)} \right) \right] \right)}{z_{11} \left[x_{01}^2 + z_{11} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right) \right] (x_{01}^2 + z_{11} z_{21})} \cdot U_1 = \\
&= \frac{x_{01}^2 z_{11} z_{21} + z_{11}^2 z_{21} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right) + \frac{x_{01}^2 R'}{S} \cdot z_{11} \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_1)}}{z_{11} \left[x_{01}^2 + z_{11} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right) \right] (x_{01}^2 + z_{11} z_{21})} \cdot U_1 = \\
&= \frac{x_{01}^2 \left[z_{21} + \frac{R'}{S} \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_1)} \right] + z_{11} z_{21} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right)}{\left[x_{01}^2 + z_{11} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right) \right] (x_{01}^2 + z_{11} z_{21})} \cdot U_1;
\end{aligned} \tag{1.10}$$

2-ші, 3-ші қозғалтқыштар үшін статор токтары мынаған тең:

$$I_{12} = \frac{x_{02}^2 \left[z_{21} + \frac{R'}{S} \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_2)} \right] + z_{12} z_{22} \left(z_{22} + \frac{3R'}{S} \right)}{\left[x_{02}^2 + z_{12} \left(z_{22} + \frac{3R'}{S} \right) \right] (x_{02}^2 + z_{12} z_{22})} \cdot U_2; \quad (1.11)$$

$$I_{13} = \frac{x_{03}^2 \left[z_{23} + \frac{R'}{S} \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_3)} \right] + z_{13} z_{23} \left(z_{23} + \frac{3R'}{S} \right)}{\left[x_{03}^2 + z_{13} \left(z_{23} + \frac{3R'}{S} \right) \right] (x_{03}^2 + z_{13} z_{23})} \cdot U_3;$$

Активті кедергіні r_1 ескермеген жағдайда және z, x
 $z = jx_0 \sigma_1, \quad x = x_1 + x_0 \sigma_1$, арқылы белгілегенде, ондағы $\sigma_1 = \frac{x_0 + x_1}{x_0}$ – біріншілік
шашырау коэффициенті, роторлық токтар келесідей анықталады:

$$\begin{aligned} I_{21} &= \frac{z + \frac{\sigma_1 R}{S} \left(3 - \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_1)} \right)}{z \left(z + \frac{3\sigma_1 R}{S} \right)} \cdot U_1 \\ I_{22} &= \frac{z + \frac{\sigma_1 R}{S} \left(3 - \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_2)} \right)}{z \left(z + \frac{3\sigma_1 R}{S} \right)} \cdot U_2 \\ I_{23} &= \frac{z + \frac{\sigma_1 R}{S} \left(3 - \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_3)} \right)}{z \left(z + \frac{3\sigma_1 R}{S} \right)} \cdot U_3 \end{aligned} \quad (1.12)$$

Ал қозғалтқыштың моменттері төмендегідей анықталады:

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{U_1}{2\sigma_1} (I_{21} + I'_{21}) \\ M_2 &= \frac{U_2}{2\sigma_1} (I_{22} + I'_{22}) \\ M_3 &= \frac{U_3}{2\sigma_1} (I_{23} + I'_{23}) \end{aligned}$$

мұндағы, $I_{21,22,23}, I'_{21,22,23}$ – комплексті тоқтық шамалар.

I_{21} тогын мына түрде көрсетеміз:

$$I_{21} = z + \frac{3R\sigma_1}{S} - \frac{1}{3} \left[\left(z + 3 \frac{\sigma_1 R}{S} \right) - z \right] \sum_{L=1}^3 e^{j(\gamma_L - \gamma_1)} \cdot U_1$$

Онда

$$I'_{21} = \frac{U}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 e^{-j(\theta_L - \theta_1)}}{z'} + \frac{\sum_{L=1}^3 e^{-j(\theta_L - \theta_1)}}{z' + \frac{3R\sigma_1}{S}} \right]$$

$z = \frac{\sigma_1 r_2}{S} + jx$ ескере отырып:

$$z' = \frac{\sigma_1 r_2}{S} - jx, \quad \frac{e^{j\gamma} + e^{-j\gamma}}{2} = \cos \gamma$$

$$\frac{e^{j\gamma} - e^{-j\gamma}}{2} = \sin \gamma,$$

Қозғалтқыштың өрлеу моменттерін анықтаймыз:

$$M_1 = \frac{U_1^2}{3\sigma_1} \left[\frac{r_2 \frac{\sigma_1 r_2}{S} \left[3 - \sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_1) \right] - x \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_1)}{\left(\frac{r_2 \sigma_1}{S} \right)^2 + x^2} + \frac{\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{S} \sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_1) + x \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_1)}{\left[\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{S} \right]^2 + x^2} \right];$$

$$M_2 = \frac{U_2^2}{3\sigma_1} \left[\frac{r_2 \frac{\sigma_1 r_2}{S} \left[3 - \sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_2) \right] - x \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_2)}{\left(\frac{r_2 \sigma_1}{s} \right)^2 + x^2} + \frac{\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{s} \sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_2) + x \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_2)}{\left[\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{s} \right]^2 + x^2} \right];$$

$$M_3 = \frac{U_3^2}{3\sigma_1} \left[\frac{r_2 \frac{\sigma_1 r_2}{S} \left[3 - \sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_3) \right] - x \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_3)}{\left(\frac{r_2 \sigma_1}{s} \right)^2 + x^2} + \frac{\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{s} \sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_3) + x \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_3)}{\left[\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{s} \right]^2 + x^2} \right];$$

$U_1 \neq U_2 \neq U_3 \quad \gamma_1 \neq \gamma_2 \neq \gamma_3 \neq 0$ болған жағдайды қарастырайық.

Осы кезде ығысу бұрышын ескере отырып статорлар мен роторлар кернеулерінің теңдеулер жүйесі (1.6, 1.7) сәйкес, келесідей болады:

$$\begin{aligned} U_1 &= I_{11}z_1 - I_{21}jx_0 \\ U_2 &= I_{12}z_1 - I_{22}jx_0 \\ U_3 &= I_{13}z_1 - I_{23}jx_0 \end{aligned} \tag{1.13}$$

$$(I_{11}jx_{01} - I_{21}z_{21})e^{j\gamma_1} = \frac{R'}{S}(I_{21}e^{j\gamma_1} + I_{22}e^{j\gamma_2} + I_{23}e^{j\gamma_3})$$

$$(I_{12}jx_{02} - I_{22}z_{22})e^{j\gamma_2} = \frac{R'}{S}(I_{21}e^{j\gamma_1} + I_{22}e^{j\gamma_2} + I_{23}e^{j\gamma_3}) \tag{1.14}$$

$$(I_{13}jx_{03} - I_{23}z_{23})e^{j\gamma_3} = \frac{R'}{S}(I_{21}e^{j\gamma_1} + I_{22}e^{j\gamma_2} + I_{23}e^{j\gamma_3})$$

(1.13) теңдеуіндегі $I_{1,2,3}$ токтың мәнін (1.14) қоямыз, сонда:

$$\begin{aligned} U_1 jx_{01} e^{j\gamma_1} - (x_{01}^2 + z_{11} z_{21}) I_{21} e^{j\gamma_2} &= \frac{R'}{S} z_{11} (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3}) \\ U_2 jx_{02} e^{j\gamma_2} - (x_{02}^2 + z_{12} z_{22}) I_{22} e^{j\gamma_2} &= \frac{R'}{S} z_{12} (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3}) \\ U_3 jx_{03} e^{j\gamma_3} - (x_{03}^2 + z_{13} z_{23}) I_{23} e^{j\gamma_3} &= \frac{R'}{S} z_{13} (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3}) \end{aligned} \quad (1.15)$$

Алынған теңдіктерді қоса отырып:

$$\begin{aligned} jx_{01,02,03} (U_1 e^{j\gamma_1} + U_2 e^{j\gamma_2} + U_3 e^{j\gamma_3}) - (x_{01,02,03}^2 + z_{11,12,13} z_{21,22,23}) (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3}) &= \\ = \frac{3R'}{S} z_{11,12,13} (I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3}) \end{aligned}$$

Ары қарай толық ротор тізбегіндегі токты анықтаймыз:

$$(I_{21} e^{j\gamma_1} + I_{22} e^{j\gamma_2} + I_{23} e^{j\gamma_3}) = \frac{(U_1 e^{j\gamma_1} + U_2 e^{j\gamma_2} + U_3 e^{j\gamma_3})}{\frac{3R'}{S} z_{11,12,13} + (x_{01,02,03}^2 + z_{11,12,13} z_{21,22,23})}; \quad (1.16)$$

(1.16) теңдеуді түрлендіруден кейін, роторлық токтарды анықтаймыз: бірінші қозғалтқыш үшін:

$$\begin{aligned} I_{21} &= U_1 jx_{01} e^{j\gamma_1} - \frac{R' z_{11}}{S} \left[\frac{jx_{01} (U_1 e^{j\gamma_1} + U_2 e^{j\gamma_2} + U_3 e^{j\gamma_3})}{\frac{3R'}{S} z_{11} + (x_{01}^2 + z_{11} z_{21})} \right] = \\ &= \frac{U_1 jx_{01} e^{j\gamma_1} \left[\frac{3R'}{S} z_{11} + (x_{01}^2 + z_{11} z_{21}) \right] - \frac{R' z_{11}}{S} jx_{01} (U_1 e^{j\gamma_1} + U_2 e^{j\gamma_2} + U_3 e^{j\gamma_3})}{\left[\frac{3R'}{S} z_{11} + (x_{01}^2 + z_{11} z_{21}) \right] (x_{01}^2 + z_{11} z_{21})} = \\ &= \frac{U_1 jx_{01} \frac{3R'}{S} z_{11} + U_1 jx_{01} (x_{01}^2 + z_{11} z_{21}) - \frac{R' z_{11}}{S} jx_{01} (U_1 e^{j\gamma_1} + U_2 e^{j\gamma_2} + U_3 e^{j\gamma_3}) e^{j(\gamma_2 - \gamma_1)} - \frac{R' z_{11}}{S} jx_{01} U_3 e^{j(\theta_3 - \theta_1)}}{\left[\frac{3R'}{S} z_{11} + (x_{01}^2 + z_{11} z_{21}) \right] (x_{01}^2 + z_{11} z_{21})} = \\ &= \frac{jx_{01} \left(U_1 \left[\frac{2R' z_{11}}{S} + (x_{01}^2 + z_{11} z_{21}) \right] - \frac{R' z_{11}}{S} U_2 e^{j(\gamma_2 - \gamma_1)} - \frac{R' z_{11}}{S} U_3 e^{j(\gamma_3 - \gamma_1)} \right)}{\left[x_{01}^2 + z_{11} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right) \right] (x_{01}^2 + z_{11} z_{21})}; \end{aligned} \quad (1.17)$$

екінші қозғалтқыш үшін:

$$I_{22} = \frac{jx_{02} \left(U_2 \left[\frac{2R'z_{12}}{S} + (x_{02}^2 + z_{21}z_{22}) \right] - \frac{R'z_{12}}{S} U_1 e^{j(\gamma_1 - \gamma_2)} - \frac{R'z_{12}}{S} U_3 e^{j(\gamma_3 - \gamma_2)} \right)}{\left[\frac{3R'}{S} z_{12} + (x_{02}^2 + z_{12}z_{22}) \right] (x_{02}^2 + z_{12}z_{22})};$$

үшінші қозғалтқыш үшін:

$$I_{23} = \frac{jx_{03} \left(U_3 \left[\frac{2R'z_{13}}{S} + (x_{03}^2 + z_{13}z_{23}) \right] - \frac{R'z_{13}}{S} U_1 e^{j(\gamma_1 - \gamma_3)} - \frac{R'z_{13}}{S} U_2 e^{j(\gamma_2 - \gamma_3)} \right)}{\left[\frac{3R'}{S} z_{13} + (x_{03}^2 + z_{13}z_{23}) \right] (x_{03}^2 + z_{13}z_{23})}.$$

Коэффициенттер арқылы белгіленген қоректендіргіш кернеудің өзгеруі кезінде:

$$\frac{U_1}{U} = k_1, \quad \frac{U_2}{U} = k_2, \quad \frac{U_3}{U} = k_3.$$

Роторлық токтар мынадай түрде болады:

$$I_{21} = \frac{jx_{01} \left(\left[x_{01}^2 + z_{11} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right) \right] k_1 - \frac{Rz_{11}}{S} \sum_{L=1}^3 k_L e^{j(\gamma_L - \gamma_1)} \right)}{\left[\frac{3R'}{S} z_{11} + (x_{01}^2 + z_{11}z_{21}) \right] (x_{01}^2 + z_{11}z_{21})} U_1;$$

$$I_{22} = \frac{jx_{02} \left(\left[x_{02}^2 + z_{12} \left(z_{22} + \frac{3R'}{S} \right) \right] k_2 - \frac{Rz_{12}}{S} \sum_{L=1}^3 k_L e^{j(\gamma_L - \gamma_2)} \right)}{\left[\frac{3R'}{S} z_{12} + (x_{02}^2 + z_{12}z_{22}) \right] (x_{02}^2 + z_{12}z_{22})} U_2;$$

$$I_{23} = \frac{jx_{03} \left(\left[x_{03}^2 + z_{13} \left(z_{23} + \frac{3R'}{S} \right) \right] k_3 - \frac{Rz_{13}}{S} \sum_{L=1}^3 k_L e^{j(\gamma_L - \gamma_3)} \right)}{\left[\frac{3R'}{S} z_{13} + (x_{03}^2 + z_{13}z_{23}) \right] (x_{03}^2 + z_{13}z_{23})} U_3;$$

Статорлық токтар келесідей анықталады:

$$\begin{aligned}
 I_{11} &= U_1 \left(\frac{k_1}{z_{11}} - \frac{x_{01}^2 \left(\left[x_{01}^2 + z_{11} \left(z_{21} + \frac{3R'}{S} \right) \right] k_1 - \frac{Rz_{11}}{S} \sum_{L=1}^3 k_L \cdot e^{j(\nu_L - \nu_1)} \right)}{z_{11} \left[\frac{3R}{S} z_{11} + (x_{01}^2 + z_{11} z_{21}) \right] (x_{01}^2 + z_{11} z_2)} \right); \\
 I_{12} &= U_2 \left(\frac{k_2}{z_{12}} - \frac{x_{02}^2 \left(\left[x_{02}^2 + z_{12} \left(z_{22} + \frac{3R'}{S} \right) \right] k_2 - \frac{Rz_{12}}{S} \sum_{L=1}^3 k_L \cdot e^{j(\nu_L - \nu_2)} \right)}{z_{12} \left[\frac{3R}{S} z_{12} + (x_{02}^2 + z_{12} z_{22}) \right] (x_{02}^2 + z_{12} z_{22})} \right); \\
 I_{13} &= U_3 \left(\frac{k_3}{z_{13}} - \frac{x_{03}^2 \left(\left[x_{03}^2 + z_{13} \left(z_{23} + \frac{3R'}{S} \right) \right] k_3 - \frac{Rz_{13}}{S} \sum_{L=1}^3 k_L \cdot e^{j(\nu_L - \nu_3)} \right)}{z_{13} \left[\frac{3R}{S} z_{13} + (x_{03}^2 + z_{13} z_{23}) \right] (x_{03}^2 + z_{13} z_{13})} \right). \quad (1.18)
 \end{aligned}$$

Жоғарыда қабылданғандай, орта және жоғары қуатты қозғалтқыштар үшін статорлық активті кедергілерді ескермеуге болады. Сонда, кейбір қысқартулар мен түрлендірулерден кейін токтар мына түрге ие болады:

$$\begin{aligned}
 I_{21} &= \frac{\left[\left(z_{11} + \frac{3R\sigma_1}{S} \right) k_1 - \frac{R\sigma_1}{S} \sum_{L=1}^3 k_L e^{j(\nu_L - \nu_1)} \right] U_1}{z \left(z + \frac{3R\sigma_1}{S} \right)} = U_1 k_1 \frac{\left(z_{11} + \frac{3R\sigma_1}{S} \right) - \frac{R\sigma_1}{S} \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} e^{j(\nu_L - \nu_1)}}{z \left(z + \frac{3R\sigma_1}{S} \right)} = \\
 &= U_1 k_1 \frac{\left(z_{11} + \frac{3R\sigma_1}{S} \right) - \frac{1}{3} \left[\left(z + 3 \frac{R\sigma_1}{S} \right) - z \right] \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} e^{j(\nu_L - \nu_1)}}{z \left(z + \frac{3R\sigma_1}{S} \right)} = \frac{U_1 k_1}{3} \cdot \frac{\left[\left(z_{11} + \frac{3R\sigma_1}{S} \right) \left(3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} e^{j(\nu_L - \nu_1)} \right) + z \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} e^{j(\nu_L - \nu_1)} \right]}{z \left(z + \frac{3R\sigma_1}{S} \right)} = \\
 &= \frac{U_1 k_1}{3} \cdot \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} e^{j(\nu_L - \nu_1)}}{z} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} e^{j(\nu_L - \nu_1)}}{z + \frac{3R\sigma_1}{S}} \right];
 \end{aligned}$$

Екінші және үшінші қозғалтқыштар үшін:

$$I_{22} = \frac{U_2 k_2}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} e^{j(\gamma_L - \gamma_2)}}{z} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} e^{j(\gamma_L - \gamma_2)}}{z + \frac{3R\sigma_1}{S}} \right]; \quad (1.19)$$

$$I_{23} = \frac{U_3 k_3}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} e^{j(\gamma_L - \gamma_3)}}{z} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} e^{j(\gamma_L - \gamma_3)}}{z + \frac{3R\sigma_1}{S}} \right].$$

Эйлер формулаларын ескере отырып және келтірілген белгілеулерден кейін қозғалтқыштардың моменттері келесі теңдіктермен анықталады:

$$M_1 = \frac{U_1^2 k_1^2}{3\sigma_1} \left[\frac{\frac{r_2 \sigma_1}{S} \left[3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} \cos(\gamma_L - \gamma_1) - x \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} \sin(\gamma_L - \gamma_1) \right]}{\frac{r_2^2 \sigma_1^2}{S^2} + x^2} + \frac{\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{S} \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} \cos(\gamma_L - \gamma_1) + x \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} \sin(\gamma_L - \gamma_1)}{\left[\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{S} \right]^2 + x^2} \right];$$

$$M_2 = \frac{U_2^2 k_2^2}{3\sigma_1} \left[\frac{\frac{r_2 \sigma_1}{S} \left[3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} \cos(\gamma_L - \gamma_2) - x \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} \sin(\gamma_L - \gamma_2) \right]}{\frac{r_2^2 \sigma_1^2}{S^2} + x^2} + \frac{\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{S} \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} \cos(\gamma_L - \gamma_2) + x \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} \sin(\gamma_L - \gamma_2)}{\left[\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{S} \right]^2 + x^2} \right];$$

$$M_3 = \frac{U_3^2 k_3^2}{3\sigma_1} \left[\frac{\frac{r_2 \sigma_1}{S} \left[3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} \cos(\gamma_L - \gamma_3) - x \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} \sin(\gamma_L - \gamma_3) \right]}{\frac{r_2^2 \sigma_1^2}{S^2} + x^2} + \frac{\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{S} \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} \cos(\gamma_L - \gamma_3) + x \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} \sin(\gamma_L - \gamma_3)}{\left[\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{S} \right]^2 + x^2} \right]. \quad (1.20)$$

Электр машиналары теориясынан белгілі, асинхронды қозғалтқыштың критикалық моменті ($r_1 = 0$ кезінде) мынадай түрге ие:

$$M_m = \frac{U^2}{2(x_1 + x_2\sigma_1)\sigma_1} = \frac{U^2}{2x\sigma_1}$$

Оған сәйкес критикалық сырғу мынаған тең:

$$S_m = \frac{r_2\sigma_1}{x_1 + x_2\sigma_1} = \frac{r_2\sigma_1}{x}$$

СА КҚАЭЖ схемасындағы критикалық сырғу келесідей:

$$S'_m = \frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{x} = S_m \left(1 + 3\frac{R}{r_2}\right)$$

M_m, S_m, S'_m ескере отырып және (1.20) теңдеуінің бірінші бөлшегінің бөлімі мен алымын сәйкес, $\frac{r_2\sigma_1}{S}$, $\frac{(r_2 + 3R)\sigma_1}{S}$, бөле отырып, былай анықталады:

$$M_1 = \frac{2M_m k_1}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_1) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_1) \right]}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_1} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_1) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_1) \right]}{\frac{S}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} \right] U_1;$$

$$M_2 = \frac{2M_m k_2}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_2) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_2) \right]}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_2} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_2) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_2) \right]}{\frac{S}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} \right] U_2;$$

$$M_3 = \frac{2M_m k_3}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_3) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_3) \right]}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{k_L}{k_3} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_3) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_3) \right]}{\frac{S}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} \right] U_3. \quad (1.21)$$

СА КҚАЭЖ классикалық схемасы кезінде қозғалтқыш моментін мына түрде көрсетуге болады:

$$M_{1,2,3} = 2M_m U_{1,2,3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_{1,2,3}) - \frac{S}{S_m} \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} + \frac{\sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_{1,2,3}) - \frac{S}{S'_m} \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{\frac{S}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} \right]. \quad (1.22)$$

(1.21-1.22) көрініп тұрғандай бірінші, екінші, үшінші машинамен өршитін моменттер, екі құраушысының қосындысын көрсетеді: олардың роторларының бұрыштық келіспеушілігі салдарынан барлық үш машинаға әсер ете отырып, қозғалтқыштың келісімді айналуын ұстап тұратын, синхрондаушы құраушысы,

$$M_{\text{син}(1,2,3)} = \frac{2M_m}{3} \left[\frac{\frac{S}{S_m} \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} - \frac{\frac{S}{S'_m} \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{\frac{S}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} \right], \quad (1.23)$$

және асинхронды құраушысы

$$M_{\text{асин}(1,2,3)} = \frac{2M_m}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} + \frac{\sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{\frac{S}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} \right]. \quad (1.24)$$

Синхрондаушы моменттердің белгісі мен мөлшері, келіспеудің белгісі мен мөлшеріне тәуелді ($\gamma_L - \gamma_{1,2,3}$), ал олардың қосындысы нөлге тең.

Бірінші құраушылардың максималды мәні, келіспеу бұрышы $\Delta\gamma_{1,2,3} = \pm 90^\circ$ тең болғанда және өзара тең $M_{\text{син}1} = M_{\text{син}2} = M_{\text{син}3}$ орындалады:

$$M_{\text{син}} = \frac{2M_m}{3} \left[\frac{2\frac{S}{S_m}}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} - \frac{2\frac{S}{S'_m}}{\frac{S}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} \right]. \quad (1.25)$$

Алынған момент формулаларынан, үш машинаның синфазды айналуы $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3$ кезінде:

$$M_{1,2,3} = \frac{2M_m}{\frac{S}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}}. \quad (1.26)$$

Барлық үш машина, үш еселенген қосымша кедергілі $3R_k$, реостаттық сипаттамада жұмыс істейді және синхрондаушы моменттері нольге тең.

Келтірілген теңдеулер бойынша «CR-24» тарау аппаратының электржетегінің 4AK160S6Y3 IP44 типті қозғалтқышы үшін келісідей параметрлермен есептеулер жүргізілді:

$$U_{\text{ю.м}} = 380 \text{ В}, \quad f = 50 \text{ Гц}, \quad P_{\text{ю.м}} = 5,5 \text{ кВт},$$

$$U_2 = 300 \text{ В}, \quad \omega_{\text{ю.м}} = 1000 \text{ об/мин}, \quad I_2 = 18 \text{ А}.$$

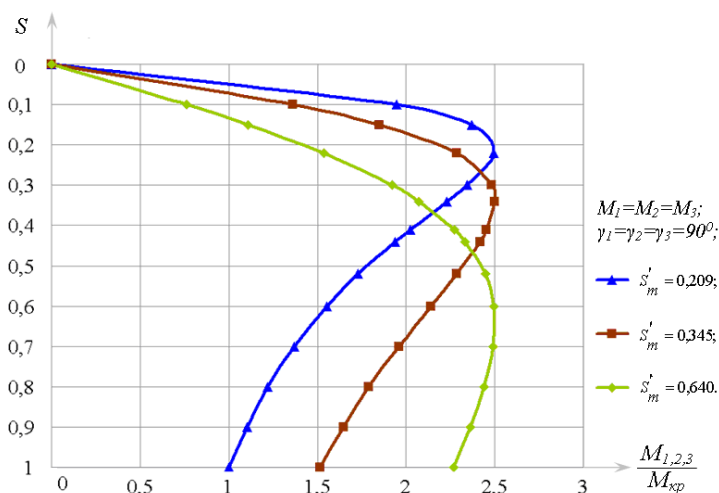
Есептеулер нәтижесі 1.6-суретте көрсетілген. Механикалық сипаттамалардың есептік қисықтары, $S'_m = 0,209; 0,345; 0,640$ критикалық сырғуларға сәйкес келетін ортақ роторлы кедергінің әртүрлі мәндері үшін тұрғызылған. 1.6-суретте келтірілген, $S'_m = 0,640$ сырғулы қисықтар, қазіргі CR-24 типті тарау аппаратына сәйкес, ортақ роторлы тізбектен ажыратылмайтын кедергі мәні, оптималды технологиялық талап етілген параметрлерге сай, 0,17 Ом тең деп санау қабылданған. Механикалық сипаттаманың қатаңдығы, $S'_m = 0,345$ және $S'_m = 0,209$ сипаттамаларымен салыстырғанда 1.6, б-суретте әлдеқайда төмен.

$M_{\text{сн.ом}}$ -ке қарағанда статикалық момент жоғары болса, жүйе $S'_m = 0,640$ режимі кезінде автотербеліске бейім.

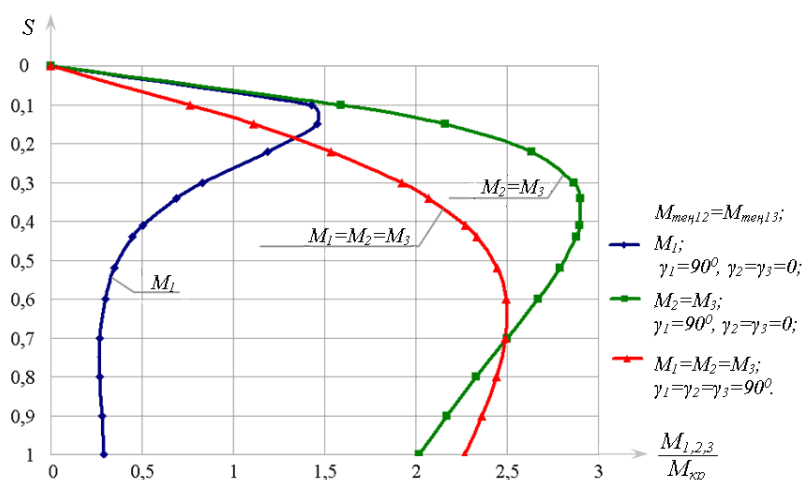
Келіспеудің критикалық бұрыштарында $\Delta\gamma = 90^\circ$ жүйе $M_{\text{мен}12} = M_{\text{мен}13} = 1,25M_m$ тең, максималды теңгеру моментін дамытады, яғни $M_{\text{сн}1,2,3} = 1,22 \div 1,23M_{\text{м} \text{ зр}12}, M_{\text{м} \text{ зр}13}$ шартын қанағаттандыратын статикалық момент мәндерінде тұрақты жұмыс істей береді. 1.6, а, б суреттерінде кедергілері $R_\kappa = 0,03; 0,06; 0,17$ Ом бар кезінде сырғудың бірнеше мәндері үшін кедергінің $M_{\text{сн}} = f(S)$ тәуелділіктері көрсетілген.

Синхронды жылдамдыққа жақындау құраушылар қозғалтқыштардың айналу моментінің синхронды құраушылар мөлшерін төмендететіні анық. Бүкіл жүйедегі жылдамдықты төмендетумен бірге ортақ роторлы тізбекте активті құраушылар биіктігін жоғарлату, оның синхрондаушы қабілеттілігін арттырады. Моменттердің синхронды құраушыларының теріс мәндері біліктегі жүктеменің әр түрлілігімен шартталған. Бұл жағдайда синхрондаушы моменттер келісімді айналуға ұстап тұрады. Моменттердің өзгешелігі бүкіл жүйенің әрекетін анықтайды. Мысалы, қарастырып отырған нұсқада аса жүктелген болып бірінші қозғалтқыш қабылданған және оның айналу моментінің синхрондаушы құраушысы екі қозғалтқыштың моменттерінің қосындысына теңгеріледі, бұл деген сөз $M_{\text{сн}1} + M_{\text{сн}2} + M_{\text{сн}3} = 0$.

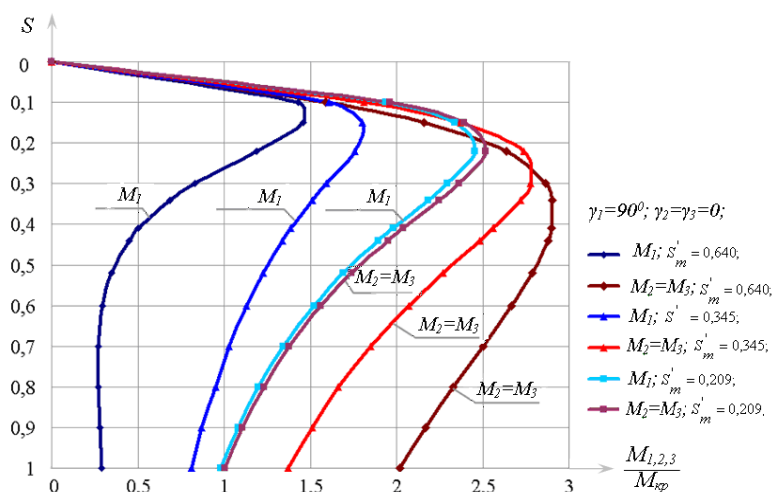
Төмен сырғу кезінде жүйе қозғалтқыштары тек қана орасан шектелген моменттерді дамытады, яғни олардың синхронды құраушылары да төмен. Сондықтан, сырғу 0,2 – 0,3 шамасынан төмен болмаған жағдайда ғана тарау аппараттарының жетегіндегі жүйе қанағаттандырыларлықтай жұмыс істейді деген қорытындылар шығаруға болады. Жүйелерде келтірілген көрсеткіш есептеулерінде, анықталған қозғалтқыштардың үлкен қосымша кедергілі айналу моментінің мәндері теріс болады, яғни жүйе тек осы қозғалтқыштарға механикалық энергияны жүктеме жағынан әкелгенде ғана жұмыс істей алады.



а)



б)



в)

1.6-сурет – Ортақ роторлы кедергінің және келіспеу бұрыштарының әртүрлі мәндерінде, синхронды айналатын үшқозғалтқышты асинхронды электржетегінің механикалық сипаттамалары

Одан басқа жүйедегі қанағаттандырмайтын жылу режимдері, мәнді теңестіру тогының пайда болуын тудыратын, статикалық жүктеменің және қозғалтқыш біліктердегі инерциялық массалар әр түрлігімен байланысты екендігі, тәжірибе жүзінде дәлелденген. Машина біліктеріндегі жүктеме моменті өзгерісі үлкен емес және де ротор тізбегіндегі жалпы роторлық кедергі $\frac{R}{R_{\kappa}} \geq 0,25$ кем емес болғанда, тарау аппараттарының жетектеріндегі синхронды айналатын көпқозғалтқышты электржетектер жүйесі қанағаттандыратын жұмыс істей алады. Роторлы кедергінің өшпейтін бөлігінің азайтылуы немесе біліктегі жүктеме өзгерісінің қандай да бір себептермен жоғарылауы, синхронды айнарудың үзілісіне әкеліп соғады.

1.4.2 «CR-24» тарау аппаратының электржетегі жұмысының динамикалық режимдері

CR типті үштарамды тарау аппараттарының көбісінің электржетектерінде синхронды қосу, жұмыс және барлық тарау машиналарының тежелуі, негізгі барабан қозғалтқыштарының электрлік қосылуы арқылы жүзеге асады.

«CR-24» тарау аппаратының электржетегінің қосылу, тежелу кезіндегі өтпелі процестері, бірнеше параметрлерін бір мезетте тіркеумен тәжірибе жүзінде дәлелденген. Қосу жалпы ұзақтығы 25,5 секунд, үш саты бойынша орындалады. Негізгі тарауыштар қозғалтқыштарының жүктелуінің біркелкі еместігімен және олардың біліктеріндегі сілтемелік массалардың өзгешелігімен шартталған, бірінші және екінші, үшінші және екінші қозғалтқыштар арасындағы роторлардың бұрыштық келіспеушілігі байқалады. Тарау аппараттары қозғалтқыштарының жүктелу дәрежесі әртүрлі екендігін, тәжірибелік зерттеулер көрсетеді: бірінші қозғалтқыш 90 % жүктелген, ал екінші және үшінші қозғалтқыштар сәйкесінше 60 % және 70 %. Қосылу кезінде жалпы роторлық ток әрбір қозғалтқыш роторлары тогының векторлық қосындысы түрінде болады, яғни $I_{\text{жалпы.рот.}} = I_{21} + I_{22} + I_{23}$. Толық енгізілген қосылу кедергісі (1,245 Ом) кезінде, ротор токтарының қосу кезіндегі мәні номинал токтың 4-4,5 құрайды. Бірінші сатыда қосылу ұзақтығы 8 сек., екіншіде 6 сек., үшіншіде 4 сек.

Тарау аппараттары электржетектеріндегі синхронды тежелу, ротор тізбегіндегі толық енгізілген кедергі кезіндегі статор орамының симметриялы емес қоректенумен іске асады. Негізгі барабандардың толық тоқтауға дейінгі тежелу ұзақтығы 22 секунд, бұдан кейін тежелу контакторларының түйіспелері ажыратылады. Синхронды тежелудің бұл түрі тиімді болып табылады, бірақ та тежелу уақытының 6-дан 18-ші секунд аралығында қозғалтқыш жүйесінің біліктерінің кейбір бұрыштық келіспеушілігі, яғни синхронды тежелудің бұзылуы байқалады. Қабылданған тежеу түрінің басты кемшілігі жүйе қозғалтқыштарының уақыт ұзақтығында, мысалы, ең жүктелген қозғалтқыштың бос жүріс уақытына тең кезде тоқтайды, себебі

электрлік жұмысшы білік көбінесе тек қана теңестіру тогын дамытады. Тәжірибелік зерттеулер көрсетіп отырғандай қозғалтқыштың статор тізбегіндегі симметриялы емес қоректену жолымен тежеу кезінде олардың роторлық токтары номинал мәннен 3,5 есе үлкен, және де көбіне жалпы роторлық тізбектегі кедергі мөлшеріне R_{κ} және қозғалтқыш роторлары арасындағы келіспеу бұрышына тәуелді.

1.5 Тарау аппараттарының электржетектеріне қойылатын негізгі талаптар

«Асутор» ЖШС-де және «Карғалы» АҚ-да жасаған зерттеулер көрсетіп отырғандай, тарау аппараты электржетегі жүйесінде электрқозғалтқыштардың айналу жиілігін синхрондау кезінде, үзілуге әкеліп соғатын негізгі себептер болып, келесілер саналады:

– технологиялық, жұмыс мүшелерінің гарнитура күйімен, белдікті беріліспен және т.б шартталған;

– электрлік, электрлік жұмысшы білігінің синхрондаушы шеткі мәнімен, жүйе қозғалтқышы шашыранқы параметрлерімен, басқару жүйесінің төмен сенімділігімен және т.б. байланысқан.

Жүргізілген есептеулер және тәжірибелік қондырғыда жүргізілген зерттеулер, ротор тізбегінде толық кедергі азайған сайын, қозғалтқыштар моменттерінің синхронды құраушылары да азаяды, бұл олардың тіпті біліктегі жүктемені аз шамада өзгерткеннің өзінде, синхронды айналуының үзілуіне әкеліп соғады.

Төменде жүргізілген зерттеулердің сараптамалық мәліметтері бойынша тарау аппараттарының апаттық тоқтауына әкеліп соғатын себептер келтірілген (жалпы тоқтау санынан % бойынша):

– технологиялық себептер салдарынан машиналардың бірқалыпсыз жүктемесі – 34%;

– электрқозғалтқыш подшипниктерінің істен шығуы – 18%;

– ротор тізбектерінің іске қосу аппаратурасындағы жарамсыздығы – 20%;

– қозғалтқыштағы жүктеменің арттырылуы не төмендетілуі, клиноремнді берілістің және айналуының синхрондылығының үзілуімен байланысты – 13%;

– қозғалтқыштың ротор тізбегіндегі ақаулар – 15 %.

Сонымен, электржетегі жүйесінің және оны басқаруының мінсіз еместігімен шартталған, электрлік сипаттағы себептер негізгі болып табылады, синхрондаушы қабілетінің әлсіздігі салдарынан олардың біліктеріндегі жүктеме бірқалыпсыздығын төтеп беруге қозғалтқыштың қабілетсіздігі. Осыған орай қолданыста бар жетектің жұмыс режимдерін зерттеу мәселесі қойылған және оның модернизация жолдарын анықтау.

Аналитикалық және тәжірибелік зерттеулерді ескере отырып, құрылатын синхронды айналатын көпқозғалтқышты электржетегі жүйесі келесі талаптарды қанағаттандыруы қажет:

– электржетегі қозғалтқыштарын төменгі кернеу мәнінде синхронды қосу үшін алдын ала синхрондауын, жатық синхронды қосылуын және синхронды тежелуін қамтамасыз ету;

– $D = 1 \div 5(8)$ диапазонында электржетегі жүйесінің қозғалтқыштар жылдамдықтарын бірге реттеу;

– жөндеу және баптау үшін қозғалтқыштардың жеке жұмыс істеу мүмкіндіктерін қамтамасыз ету;

– басқару жүйесін және қозғалтқыштарды қысқа тұйықталудан, асқын жүктемеден, кей фазаларда кернеу жоғарылауынан және айналу синхрондылығының үзілуінен автоматты қорғау;

– жоғары сапалы жұқа және жартылай жұқа өнімді алу үшін жетектердің жоғарылатылған дәлдігін және реттегіштігін қамтамасыз ету.

1.6 Зерттеу мақсаты және нәтижесі

– тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі жүйесінің сызықтандырылған схемасын тұрғызу;

– тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін математикалық түрде сипаттау;

– көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің электрмеханикалық өрнектерін құру;

– тарау аппаратының тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі жүйесінің математикалық моделін құру;

– микропроцессорлы басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру.

2 Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін математикалық және компьютерлік модельдеу

Көпқозғалтқышты асинхронды электржетектеріндегі электрмагниттік және электрмеханикалық процестерді дәл суреттеу айнымалы магнит өтімділігі бар үш өлшемді өзарабайланысқан электрлік және магниттік тізбектердің бірігуімен күрделенеді. КҚАЭЖ-да қозғалтқыштар саны неғұрлым көп болса, соғұрлым көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін математикалық суреттеу қиындай түседі.

Модельдеудің мәні нақты жүйені, машинаны немесе олардың жеке элементтерін, олармен кейбір сәйкестікте болатын және қайсыбір дәрежеде нақты жүйенің қасиеттерін немесе сипаттамаларын ашып көрсете алатын модельмен ауыстыруда жатыр [25].

Математикалық модельдеуде модель мен түпнұсқа өздерінің физикалық табиғаты бойынша әртүрлі, бірақ қалыптары бірдей теңдеулермен суреттелуі мүмкін. Басқару объектісінің математикалық моделі деп объектіде өтетін құбылыстарды көрсететін алгебралық және дифференциалдық теңдеулер, теңсіздіктер, логикалық шарттар, операторлар және т.б. түріндегі теңдеу жүйесін түсінеді. Математикалық модельдің маңызды қасиеті оның мазмұндылығы, яғни зерттелетін объектінің маңыздырақ жақтарын көрсету мүмкіндігі [26].

Көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің виртуалды моделін жасаудың мақсаты, жұмыста алынған негізгі теориялық жайттарды тексеру болып табылады.

Қазіргі кезде әртүрлі электрмеханикалық жүйелерді модельдеуді және зерттеуді орындай алатын көптеген виртуалды программалар жасап шығарылған. Негізінде қолданбалы пакеттер жатқан заманауи компьютерлік технологиялар, шалаөткізгішті электржетегін жобалауға байланысты сұрақтарды тереңірек зерттеуге мүмкіндік береді. Олар модельдеу технологиясын сапалы өзгертуге және айтарлықтай жақсартуға, оны виртуалды шындыққа ауыстыруға, осы виртуалды зертханада сандық нәтижелері бар қажетті зерттеулерді жүргізуге жол ашады. Бүгінгі күні компьютерлік модельдеу пакет пен компьютердің көрсетілімдік мүмкіндігі бар қолданбалы техникалық пакеттерді меңгеруге бағытталған. Сондықтан да қазіргі кезде программалау шеберлігін қажет етпейтін және әртүрлі жүйе класстарын математикалық модельдеудің үлкен мүмкіндіктерінің арқасында кең қолданысқа ие болған бірқатар программалық өнімдер жасалған. Математикалық модельдеудің программалық құралдарын талдау нәтижесінде компьютерлік технологиялар нарығында «Matlab» математикалық жүйесінің Simulink визуалды-имитациялық модельдеуін кеңейту пакеті таңдалды [27-35].

Тұтынушыларға бұл жүйенің жұмсақ әрі қуатты тілінде оның кодтарына толық ену мүмкіндігін беретін ашық архитектураның болуы «Matlab» математикалық жүйесінің артықшылықтары болып табылады. Ол ғылыми-техникалық есептеулер мен ыңғайлы әрі көрнекті, талдаудың визуалды-

шамалас құралдарын жасау, жүйелер мен әртүрлі құрылғыларды айқындау, құру және модельдеу үшін жақсы және тиімділігі жоғары программалау тілдерінің бірі болып табылады.

«Matlab» жүйесінің нұсқасы модельдері жеке блоктардан (құрамалардан) тұратын динамикалық жүйелерді математикалық модельдеуге де арналған Simulink кеңейту пакетімен қоса беріледі. Онда жүйенің немесе құрылғының моделін құрастыру мақсатында қажетті блоктарды оңай жинауға және қосуға мүмкіндік беретін визуалды-шамалас программалау принциптері жүзеге асырылған. Оған қоса, жүйе немесе құрылғылар моделінің жұмысын суреттейтін күрделі күй теңдеулері автоматты түрде қалыптасады.

2.1 Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін математикалық сипаттау ерекшеліктері

Асинхронды электржетегін, оның ішінде синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру кезінде туындайтын негізгі тапсырма – қозғалтқыштардағы электромагниттік процестер қарастырылатын координат жүйесін таңдау болып табылады. Алайда, қандай да бір координат осьтері жүйесін таңдау электржетектерде өтетін нақты физикалық процестерге әсер етпейді, тек қана оларды суреттеу әдісі болып табылады. Шешілетін тапсырмаға байланысты машинаның табиғи координаттарындағы, ортогональді координаттардағы, қозғалмайтын немесе белгілі-бір жиілікпен айналатын (кеңістіктік векторлар), полярлы координаттардағы немесе координатсыз (тензорлы) математикалық модельдер қолданылады.

Асинхронды қозғалтқыштардағы электромагниттік процестерді сипаттау кезінде КҚАЭЖ-да рұқсатнамалар қабылданған:

– үшфазалы жүйе симметриялы, онда нөлдік тоқ жоқ, фаза тоқтарының лездік мәндерінің қосындысы нөлге тең: $i_{1A} + i_{1B} + i_{1C} = 0$;

– КҚАЭЖ-дағы асинхронды қозғалтқыштардың параметрлері ұқсас;

– қозғалтқыштар орамдарындағы магниттеуші күштер әр қозғалтқыштың ауа саңылауын бойлай синусоидалды таралған;

– статор, ротор болатындағы шығындар жоқ және статор мен ротор тізбектері бойынша жалғағыш кабельдердің кедергілері ескерілмейді;

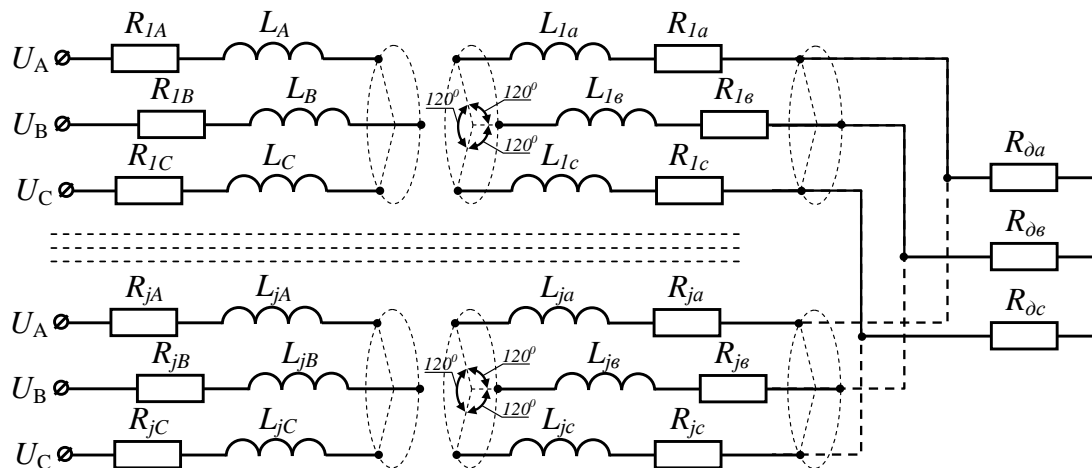
– қозғалтқыштардың магнит тізбектерінің қанығуы болмайды және олардың магниттелу сипаттамасы сызықты;

– статор орамдарына келетін кернеу симметриялы үшфазалы, қозғалтқыштардың статор және ротор орамдары кеңістікте бір-бірінен 120° -та орналасқан.

КҚАЭЖ-дағы электромагниттік және электрмеханикалық процестерді суреттеу үшін алда табиғи және ортогональді координаттардағы, қозғалмайтын немесе белгілі-бір жиілікпен айналатын электр машиналарының сипатталуларын пайдаланамыз.

2.1.1 Табиғи координаттардағы синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін математикалық сипаттау

КҚАЭЖ-нің үшфазалы асинхронды қозғалтқыштарының электрлік схемасы 2.1-суретте келтірілген.



2.1-сурет – КҚАЭЖ үшфазалы асинхронды қозғалтқыштардың электрлік схемасы

Ол қысқа тұйықталған немесе фазалы роторлы (пунктир сызықтары), статоры мен роторында симметриялы үшфазалы орамдары бар асинхронды, p санды қозғалтқыштардан тұрады. Мұндай КҚАЭЖ-ні математикалық суреттеу электрмагнетизм мен Кирхгоф заңдарына негізделеді [36]. Қозғалтқыштардың ротор орамдарындағы ЭҚК теңдеуі Кирхгофтың екінші заңына негізделеді.

2.1-суретте қозғалтқыштардың техникалық параметрлерінің келесідей белгіленуі қабылданған: $R_{1A}, R_{1B}, R_{1C}, \dots, R_{jA}, R_{jB}, R_{jC}$ – сәйкесінше, бірінші, \dots, j -ші қозғалтқыштардың статор фазасының активті кедергілері; $R_{1a}, R_{1b}, R_{1c}, \dots, R_{ja}, R_{jb}, R_{jc}$ – сәйкесінше, бірінші, \dots, j -ші қозғалтқыштардың ротор фазасының активті кедергілері; $L_{1A}, L_{1B}, L_{1C}, \dots, L_{jA}, L_{jB}, L_{jC}$ – сәйкесінше, бірінші, \dots, j -ші қозғалтқыштардың статор фазасының өздік индуктивтіліктері; $L_{1a}, L_{1b}, L_{1c}, \dots, L_{ja}, L_{jb}, L_{jc}$ – сәйкесінше, бірінші, \dots, j -ші қозғалтқыштардың ротор фазасының өздік индуктивтіліктері; L_{1m}, \dots, L_{jm} – бірінші, \dots, j -ші қозғалтқыштардың статор және ротор фазалары арасындағы өзара индуктивтіліктер; U_A, U_B, U_C – қозғалтқыштың статор фазасының кернеуі; $U_{1a}, U_{1b}, U_{1c}, \dots, U_{ja}, U_{jb}, U_{jc}$ – сәйкесінше, қозғалтқыштың ротор фазасының кернеуі; R_{da}, R_{db}, R_{dc} – синхронды айналу үшін электрлік байланыс кезінде, жалпы ротор тізбегіндегі фазаның қосымша активті кедергілері.

Жоғарыда атап көрсетілген жалпылама қабылданған рұқсатнамаларды есепке ала отырып, КҚАЭЖ асинхронды қозғалтқыштарын статор және ротор орамдары үшін жазылған келесі дифференциалдық теңдеулермен суреттеуге болады:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{jA} = R_{jA} \cdot i_{jA} + \frac{d\psi_{jA}}{dt} \\ u_{jB} = R_{jB} \cdot i_{jB} + \frac{d\psi_{jB}}{dt} \\ u_{jC} = R_{jC} \cdot i_{jC} + \frac{d\psi_{jC}}{dt} \\ u_{ja} = R_{ja} \cdot i_{ja} + \frac{d\psi_{ja}}{dt} \\ u_{j\beta} = R_{j\beta} \cdot i_{j\beta} + \frac{d\psi_{j\beta}}{dt} \\ u_{jc} = R_{jc} \cdot i_{jc} + \frac{d\psi_{jc}}{dt} \end{array} \right. \quad (2.1)$$

мұндағы:

$u_{1A}, u_{1B}, u_{1C}, u_{jA}, u_{jB}, u_{jC}$ және $u_{1a}, u_{1\beta}, u_{1c}, u_{ja}, u_{j\beta}, u_{jc}$ – сәйкесінше, КҚАЭЖ-нің бірінші, ..., j -ші қозғалтқыштарының статор және ротор орамдарының фазалық кернеулері, В;

$i_{1A}, i_{1B}, i_{1C}, i_{jA}, i_{jB}, i_{jC}$ және $i_{1a}, i_{1\beta}, i_{1c}, i_{ja}, i_{j\beta}, i_{jc}$ – сәйкесінше, бірінші, ..., j -ші қозғалтқыштардың статорының және роторының фазалық тоқтары, А;

$R_{1A}, R_{1B}, R_{1C}, R_{jA}, R_{jB}, R_{jC}$ және $R_{1a}, R_{1\beta}, R_{1c}, R_{ja}, R_{j\beta}, R_{jc}$ – сәйкесінше, бірінші, ..., j -ші қозғалтқыштардың статор және ротор фазаларының активті кедергілері, Ом;

$\psi_{1A}, \psi_{1B}, \psi_{1C}, \psi_{jA}, \psi_{jB}, \psi_{jC}$ және $\psi_{1a}, \psi_{1\beta}, \psi_{1c}, \psi_{ja}, \psi_{j\beta}, \psi_{jc}$ – сәйкесінше, бірінші, ..., j -ші қозғалтқыштардың статор және ротор фазаларының ағын ілінісі, Вб;

t – уақыт, с.

Ротор тізбектері бойынша электрлік байланыс жағдайында, қозғалтқыштардың ротор орамдарының теңдеуі мына түрге ие болады:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{ja} = R_{ja} \cdot i_{ja} + \sum_{j=1}^n i_{ja} R_{\sigma a} + \frac{d\psi_{ja}}{dt} \\ u_{j\beta} = R_{j\beta} \cdot i_{j\beta} + \sum_{j=1}^n i_{j\beta} R_{\sigma \beta} + \frac{d\psi_{j\beta}}{dt} \\ u_{jc} = R_{jc} \cdot i_{jc} + \sum_{j=1}^n i_{jc} R_{\sigma c} + \frac{d\psi_{jc}}{dt} \end{array} \right. \quad (2.2)$$

Электр машиналарындағы электромагниттік процестерді суреттеуде қолданылатын келесі заң, статор және ротор орамдары ағын ілінісін орамдар

бойымен ағатын токтармен және орамалар арасындағы өздік, өзара индуктивтіліктермен байланыстыратын Ампер заңы болып табылады.

$$\begin{cases} \Psi_{jA} = L_{jAA} \cdot i_{jA} + L_{jAB} \cdot i_{jB} + L_{jAC} \cdot i_{jC} + L_{jAa} \cdot i_{ja} + L_{jA\beta} \cdot i_{j\beta} + L_{jAc} \cdot i_{jc}; \\ \Psi_{jB} = L_{jBA} \cdot i_{jA} + L_{jBB} \cdot i_{jB} + L_{jBC} \cdot i_{jC} + L_{jBa} \cdot i_{ja} + L_{jB\beta} \cdot i_{j\beta} + L_{jBB} \cdot i_{jc}; \\ \Psi_{jC} = L_{jCC} \cdot i_{jA} + L_{jCC} \cdot i_{jB} + L_{jCC} \cdot i_{jC} + L_{jCC} \cdot i_{ja} + L_{jCC} \cdot i_{j\beta} + L_{jCC} \cdot i_{jc}; \\ \Psi_{ja} = L_{jaA} \cdot i_{jA} + L_{jaB} \cdot i_{jB} + L_{jaC} \cdot i_{jC} + L_{jaa} \cdot i_{ja} + L_{ja\beta} \cdot i_{j\beta} + L_{jac} \cdot i_{jc}; \\ \Psi_{j\beta} = L_{j\beta A} \cdot i_{jA} + L_{j\beta B} \cdot i_{jB} + L_{j\beta C} \cdot i_{jC} + L_{j\beta a} \cdot i_{ja} + L_{j\beta\beta} \cdot i_{j\beta} + L_{j\beta c} \cdot i_{jc}; \\ \Psi_{jc} = L_{jcA} \cdot i_{jA} + L_{jcB} \cdot i_{jB} + L_{jcc} \cdot i_{jC} + L_{jcc} \cdot i_{ja} + L_{jcc} \cdot i_{j\beta} + L_{jcc} \cdot i_{jc}; \end{cases} \quad (2.3)$$

мұндағы:

$L_{jAA}, L_{jBB}, L_{jCC}$ және $L_{jaa}, L_{j\beta\beta}, L_{jcc}$ – j -ші қозғалтқыштың статор және ротор фазаларының өздік индуктивтіліктері;

$L_{jAB}, L_{jAC}, L_{jAa}, L_{jA\beta}, L_{jAc}, L_{jBA}, L_{jBC}, L_{jBa}, L_{jBB}, L_{jBB}, L_{jCC}, L_{jCC}, L_{jCC}, L_{jCC}, L_{jCC}, L_{jaA}, L_{jaB}, L_{jaC}, L_{j\beta A}, L_{j\beta B}, L_{j\beta C}, L_{j\beta a}, L_{j\beta\beta}, L_{j\beta c}$ – индекстермен берілген сәйкес орамдар арасындағы өзара индуктивтіліктер.

КҚАЭЖ қозғалтқыштарының A және a , B және β , C және c орамдарының осьтері арасындағы бұрыштар былай анықталады:

$$\begin{aligned} \gamma_{jaA} = \gamma_{jAa} = \gamma_j; \quad \gamma_{j\beta A} = \gamma_{jA\beta} = \gamma_j - 120^0; \\ \gamma_{jaC} = \gamma_{jCa} = \gamma_j + 120^0; \\ \gamma_{j\beta A} = \gamma_{jA\beta} = \gamma_j + 120^0; \quad \gamma_{j\beta B} = \gamma_j; \quad \gamma_{jBC} = \gamma_{jCB} = \gamma_j - 120^0; \\ \gamma_{jcA} = \gamma_{jAc} = \gamma_j - 120^0; \quad \gamma_{jcc} = \gamma_j; \quad \gamma_{j\beta c} = \gamma_j + 120^0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

(2.3) және (2.4) теңдеулерді (2.1) теңдеуге қоя отырып, 2.1-суретке сәйкес келетін көлемді нақты теңдеулер жүйесін аламыз. (2.1) теңдеулерді (2.3), (2.4)-ті есепке ала отырып шешу күрделі тапсырма болып табылады. Алынған өрнектерді ықшамдау үшін, нақты үшфазалы асинхронды қозғалтқыштары бар КҚАЭЖ-ні эквивалентті екіфазалы машиналары бар КҚАЭЖ-ға келтіру керек.

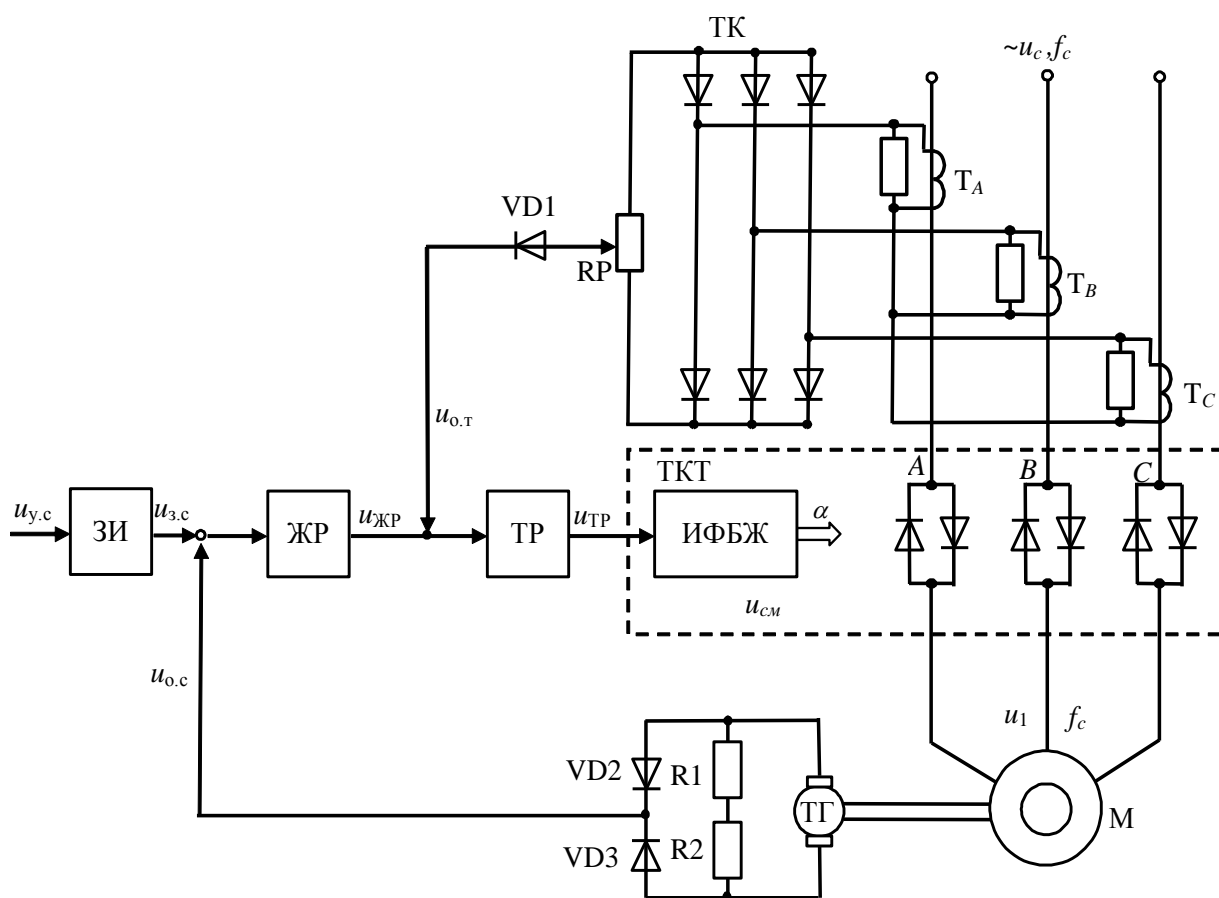
Бұл кезде электрлік контурлар саны, соның салдарынан КҚАЭЖ-дағы электрмагниттік процестерді суреттейтін теңдеулер саны айтарлықтай қысқарады.

Түрлендіру кезінде: орам фазасының МҚК-і; Φ ағындары және Ψ ағын іліністері; полюстер саны және қозғалтқыштардың асинхронды айналу жиілігі; шығындар; момент; электрмагниттік қуат; білігіндегі қуат және басқа да энергетикалық көрсеткіштер инварианттық болуы тиіс.

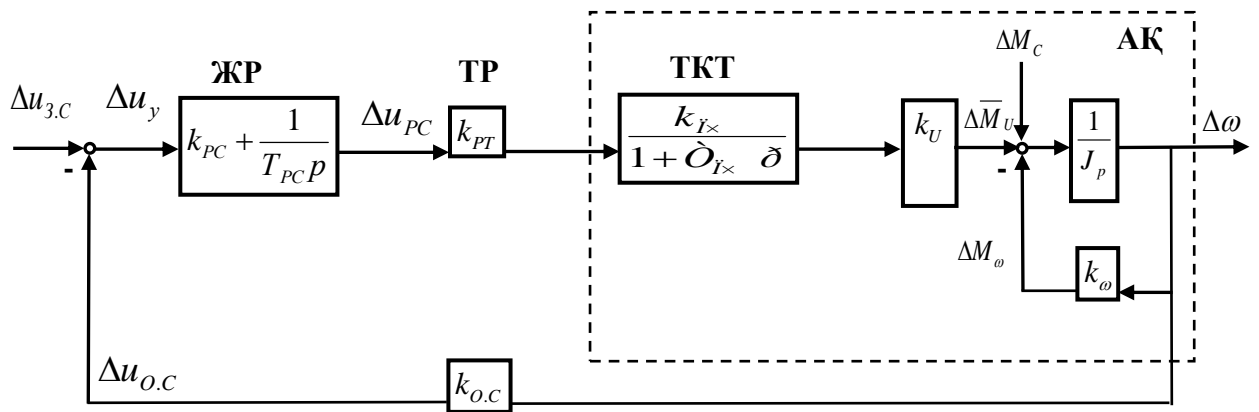
2.2 Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі

2.2.1 «Тиристорлы кернеу түрлендіргіш – асинхронды қозғалтқыш» жүйесінің бірқозғалтқышты электржетегінің математикалық сипатталуы

Қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының жұмыс ауқымы шегінде сызықтандырылған және 2.2-суретте келтірілген функционалдық схемаға сәйкес келетін, статорында реттелетін кернеуі бар бірқозғалтқышты асинхронды электржетегінің жалпыға мәлім құрылымдық схемасы 2.3 суретте көрсетілген [36].



2.2-сурет – Статорында реттелетін кернеуі бар асинхронды электржетегінің функционалдық схемасы



2.3-сурет – Жылдамдық бойынша кері байланысы бар ТКТ-АҚ құрылымдық схемасы

Қоректендіруші желінің f_l жиілігі бар асинхронды қозғалтқыштың (АҚ) статорындағы U_1 кернеуін өзгерту, АҚ статорының әр фазасына қарсы-параллельді схема бойынша қосылған тиристорлар негізіндегі тиристорлы кернеу түрлендіргішінің (ТКТ) γ реттеу бұрышын өзгерту арқылы іске асады. γ бұрышы ТКТ-ның импульсті-фазалы басқару жүйесінде (ИФБЖ) қалыптасады. Ток реттегіші (ТР) және жылдамдық реттегіші (ЖР) ТКТ-АҚ жүйесінің қажетті өтпелі процестерін қамтамасыз етеді. ТКТ-АҚ жүйесінің орнықты жұмыс режимдерін қамтамасыз ету үшін жылдамдық бойынша кері байланыс қолданылады.

Жылдамдығы бойынша теріс кері байланысы бар ТКТ-АҚ жүйесінің динамикасының математикалық суреттеуін осы жүйенің беріліс функцияларына сәйкес келесі теңдеулермен жазамыз.

w_1 негізіндегі қозғалыс теңдеуімен:

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta M - k_{\omega} \Delta \omega - \Delta M_c} = \frac{1}{JP} \quad (2.5)$$

немесе

$$\frac{d\Delta \omega}{dt} = \frac{k_u}{J} \Delta U_1 - \frac{k_{\omega}}{J} \Delta \omega - \frac{1}{J} \Delta M_c \quad (2.6)$$

w_2 негізіндегі тиристорлы кернеу түрлендіргіші теңдеуімен:

$$\frac{\Delta U_1}{\Delta U_{PT}} = \frac{k_{nn}}{T_{nn}p + 1} \quad (2.7)$$

$\Delta U_{PT} = k_{PT} \Delta U_{PC}$ болғандықтан, (2.3) теңдеуін келесі түрде жазуға болады:

$$\frac{d\Delta U_1}{dt} = \frac{k_{nn} k_{PT}}{T_{nn}} \Delta U_{PC} - \frac{1}{T_{nn}} \Delta U_1 \quad (2.8)$$

w_3 негізіндегі жылдамдық реттегішінің теңдеуімен

$$\frac{\Delta U_{PC}}{\Delta U_x - k_{oc} \Delta \omega} = \frac{T_1 p + 1}{T_2 p} = k_{PC} + \frac{1}{T_2 p} \quad (2.9)$$

мұндағы: $k_{PC} = \frac{T_1}{T_2}$,

немесе

$$\frac{d\Delta U_{PC}}{dt} = \frac{1}{T_2} \Delta U_x - \frac{T_1 k_{oc}}{T_2} \frac{d\Delta \omega}{dt} - \frac{k_{oc}}{T_2} \Delta \omega \quad (2.10)$$

Жоғарыда келтірілген теңдеулерде:

J – инерция моменті;

k_{ω} – қозғалтқыштың жылдамдығы ауытқығанда оның моменттерінің өзгеру коэффициенті;

k_{nn} – ТКТ берілу коэффициенті;

k_{PT} – тоқ бойынша кері байланыс коэффициенті;

k_{oc} – жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенті;

T_{nn} – ТКТ уақыт тұрақтысы;

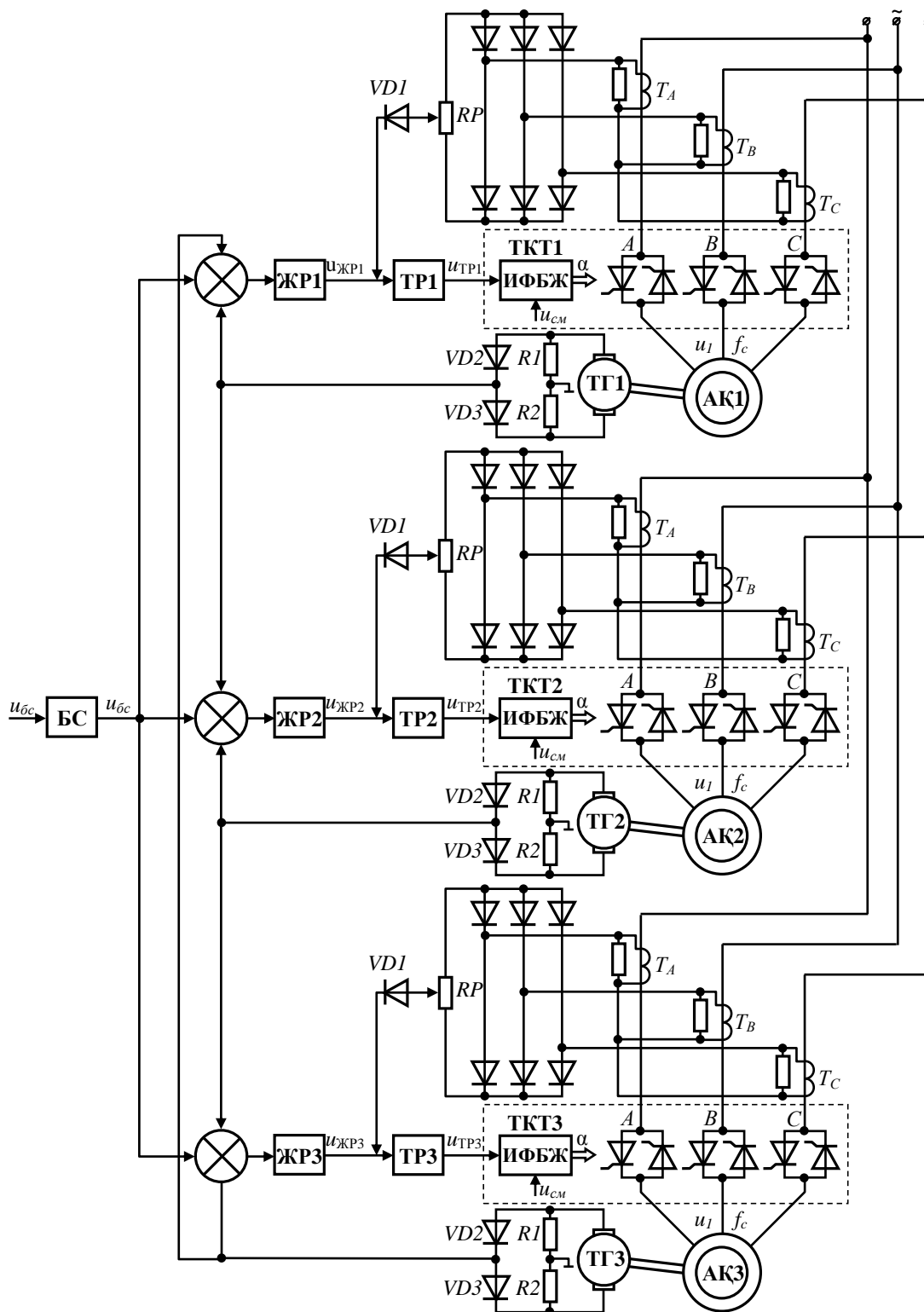
T_1 және T_2 – ПИ жылдамдық реттегішінің уақыт тұрақтылары.

2.2.2 Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің құрылымдық схемасын құру

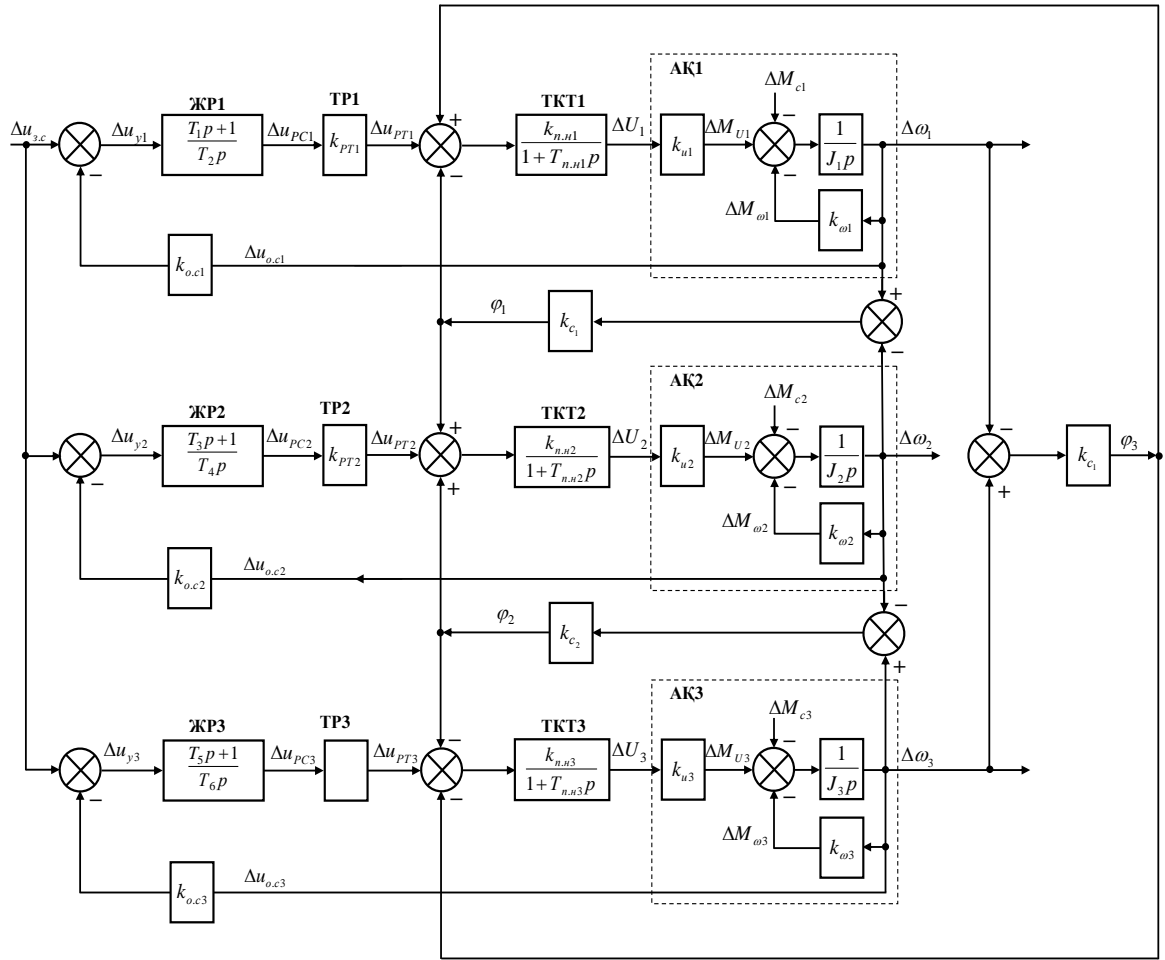
Тиристорлы түрлендіргіші бар КҚАЭЖ-ны математикалық суреттеуді 2.4-суретте келтірілген функционалдық схема негізінде қарастырамыз. ТКТ-сы бар және сол бойынша 2.5-суретте келтірілген құрылымдық схема құрастырылған. ТКТ-сы бар КҚАЭЖ жылдамдық бойынша теріс кері байланысы ($k_{\kappa\delta_1}, k_{\kappa\delta_2}, k_{\kappa\delta_3}$) бар үш ұқсас ТКТ-АҚ жүйесінен тұрады. Әрбір қозғалтқыштың ротор білігінің синхронды айналуын қамтамасыз ету үшін қозғалтқыш жылдамдығының келіспеушілігі бойынша қосымша кері байланыстар енгізілген ($k_{\delta_1}, k_{\delta_2}, k_{\delta_3}$). Келіспеушілік теңдеулері мына түрге ие:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= k_{\delta_1} (\Delta \omega_2 - \Delta \omega_1) \\ \gamma_2 &= k_{\delta_2} (\Delta \omega_3 - \Delta \omega_2) \\ \gamma_3 &= k_{\delta_3} (\Delta \omega_1 - \Delta \omega_3) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Айта кететініміз, келіспеушілік кернеуі φ_1 ТПН₁ (+) және ТПН₂ (-) кірісіне, ал φ_2 ТПН₂ (+) және ТПН₃ (-) кірісіне, және φ_3 ТПН₁ (-) және ТПН₃ (+) кірісіне сәйкес таңбалармен беріледі.



2.4-сурет – ТКТ КҚАЭЖ функционалдық схемасы



2.5-сурет – Жылдамдықтар келіспеуінің кері байланысы мен ТКТ КҚАЭЖ құрылымдық схемасы

Құрылымдық схемаға сәйкес, жылдамдығы және жылдамдықтар келіспеушілігі бойынша кері байланысы мен ТКТ-сы бар КҚАЭЖ динамикасының дифференциалдық теңдеуі мына түрге ие:

$$\left\{ \begin{aligned}
\frac{d\Delta\omega_1}{dt} &= \frac{k_U}{J} \Delta U_1 - \frac{k_\omega}{J} \Delta\omega_1 - \frac{1}{J} \Delta M_{c_1} \\
\frac{d\Delta U_1}{dt} &= \frac{k_{nn}}{T_{nn}} (k_{pt} \Delta U_{pc_1} - \varphi_3 + \varphi_1) - \frac{1}{T_{nn}} \Delta U_1 \\
\frac{d\Delta U_{pc_1}}{dt} &= \frac{1}{T_2} \Delta U_{xc} - \frac{k_{oc_1} T_1}{T_2} \frac{d\Delta\omega_1}{dt} - \frac{k_{oc_1}}{T_2} \Delta\omega_1 \\
\frac{d\Delta\omega_2}{dt} &= \frac{k_U}{J} \Delta U_2 - \frac{k_\omega}{J} \Delta\omega_2 - \frac{1}{J} \Delta M_{c_2} \\
\frac{d\Delta U_2}{dt} &= \frac{k_{nn}}{T_{nn}} (k_{pt} \Delta U_{pc_2} - \varphi_1 + \varphi_2) - \frac{1}{T_{nn}} \Delta U_2 \\
\frac{d\Delta U_{pc_2}}{dt} &= \frac{1}{T_2} \Delta U_{xc} - \frac{k_{oc_2} T_1}{T_2} \frac{d\Delta\omega_2}{dt} - \frac{k_{oc_2}}{T_2} \Delta\omega_2 \\
\frac{d\Delta\omega_3}{dt} &= \frac{k_U}{J} \Delta U_3 - \frac{k_\omega}{J} \Delta\omega_3 - \frac{1}{J} \Delta M_{c_3} \\
\frac{d\Delta U_3}{dt} &= \frac{k_{nn}}{T_{nn}} (k_{pt} \Delta U_{pc_3} - \varphi_2 + \varphi_3) - \frac{1}{T_{nn}} \Delta U_3 \\
\frac{d\Delta U_{pc_3}}{dt} &= \frac{1}{T_2} \Delta U_{xc} - \frac{k_{oc_3} T_1}{T_2} \frac{d\Delta\omega_3}{dt} - \frac{k_{oc_3}}{T_2} \Delta\omega_3
\end{aligned} \right. \quad (2.12)$$

(2.8) теңдеудегі γ_1 , γ_2 және γ_3 -тің орнына (2.7) теңдеуді, ал (2.8) теңдеудегі $\frac{d\Delta\omega_i}{dt}$ туындылардың орнына (2.2) теңдеуді қоя отырып, (2.8) теңдеулер жүйесі келесі түрге ие болады:

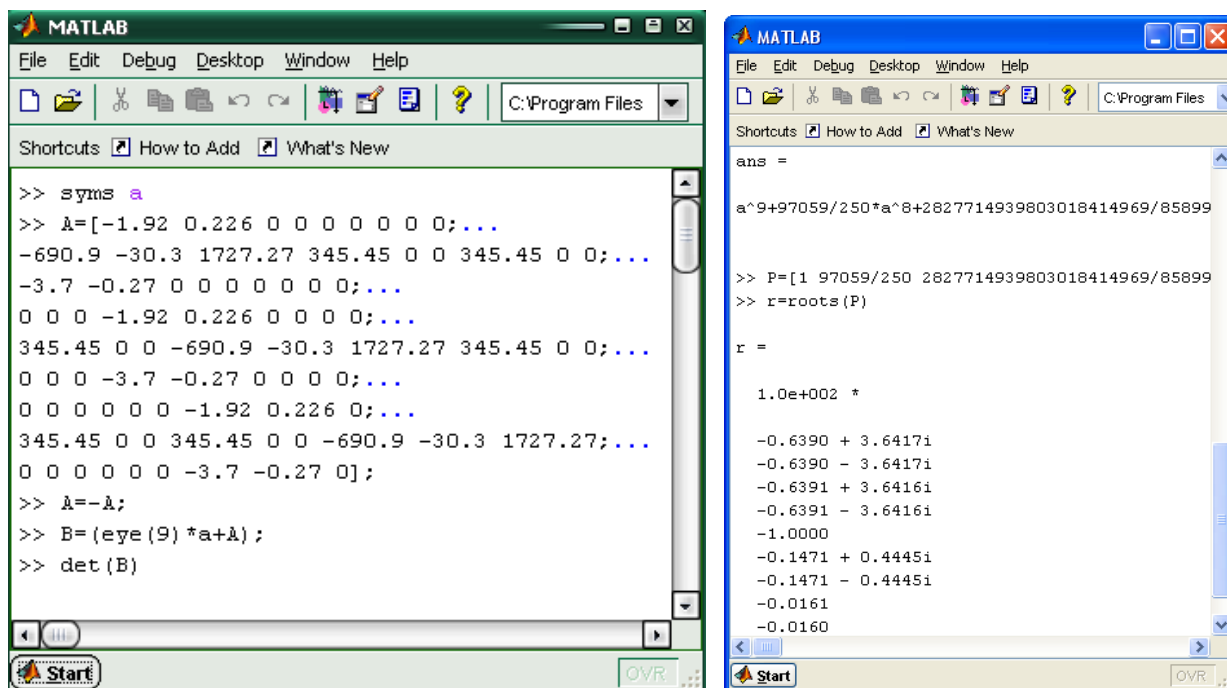
$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{d\Delta\omega_1}{dt} = \frac{k_U}{J} \Delta U_1 - \frac{k_\omega}{J} \Delta\omega_1 - \frac{1}{J} \Delta M_{c_1} \\
\frac{d\Delta U_1}{dt} = \frac{k_{nn} k_{PT1}}{T_{nn}} \Delta U_{PC1} - \frac{k_{nn}}{T_{nn}} (k_{c_1} + k_{c_3}) \Delta\omega_1 + \frac{k_{nn}}{T_{nn}} k_{c_1} \Delta\omega_2 + \frac{k_{nn}}{T_{nn}} k_{c_3} \Delta\omega_3 - \frac{1}{T_{nn}} \Delta U_1 \\
\frac{d\Delta U_{PC1}}{dt} = \frac{1}{T_2} \Delta U_{sc} - \frac{k_{oc1} T_1 k_U}{T_2 J} \Delta U_1 + \left(\frac{T_1 k_\omega k_{oc1}}{T_2 J} - \frac{k_{oc1}}{T_2} \right) \Delta\omega_1 + \frac{T_1 k_{oc1}}{T_2 J} \Delta M_{c_1} \\
\frac{d\Delta\omega_2}{dt} = \frac{k_U}{J} \Delta U_2 - \frac{k_\omega}{J} \Delta\omega_2 - \frac{1}{J} \Delta M_{c_2} \\
\frac{d\Delta U_2}{dt} = \frac{k_{nn} k_{PT2}}{T_{nn}} \Delta U_{PC2} - \frac{k_{nn}}{T_{nn}} (k_{c_1} + k_{c_2}) \Delta\omega_2 + \frac{k_{nn}}{T_{nn}} k_{c_1} \Delta\omega_1 + \frac{k_{nn}}{T_{nn}} k_{c_2} \Delta\omega_3 - \frac{1}{T_{nn}} \Delta U_2 \\
\frac{d\Delta U_{PC2}}{dt} = \frac{1}{T_2} \Delta U_{sc} - \frac{k_{oc2} T_1 k_U}{T_2 J} \Delta U_2 + \left(\frac{T_1 k_\omega k_{oc2}}{T_2 J} - \frac{k_{oc2}}{T_2} \right) \Delta\omega_2 + \frac{T_1 k_{oc2}}{T_2 J} \Delta M_{c_2} \\
\frac{d\Delta\omega_3}{dt} = \frac{k_U}{J} \Delta U_3 - \frac{k_\omega}{J} \Delta\omega_3 - \frac{1}{J} \Delta M_{c_3} \\
\frac{d\Delta U_3}{dt} = \frac{k_{nn} k_{PT3}}{T_{nn}} \Delta U_{PC3} - \frac{k_{nn}}{T_{nn}} (k_{c_2} + k_{c_3}) \Delta\omega_3 + \frac{k_{nn}}{T_{nn}} k_{c_3} \Delta\omega_1 + \frac{k_{nn}}{T_{nn}} k_{c_2} \Delta\omega_2 - \frac{1}{T_{nn}} \Delta U_3 \\
\frac{d\Delta U_{PC3}}{dt} = \frac{1}{T_2} \Delta U_{sc} - \frac{k_{oc3} T_1 k_U}{T_2 J} \Delta U_3 + \left(\frac{T_1 k_\omega k_{oc3}}{T_2 J} - \frac{k_{oc3}}{T_2} \right) \Delta\omega_3 + \frac{T_1 k_{oc3}}{T_2 J} \Delta M_{c_3}
\end{array} \right. \quad (2.13)$$

Осылайша, (2.13) теңдеуі ТКТ-сы бар КҚАЭЖ-ның математикалық моделі болып табылады.

4AK160S6Y3 типті, қуаты 5,5 кВт фазалы роторлы асинхронды электр қозғалтқыштың параметрлері бар үш қозғалтқышты электр жетектің қозғалыс орнықтылығы алгоритм бойынша [30] ЭЕМ-да зерттелген. (2.23) жүйесінің коэффициенттер матрицасы мынадай:

$$A = \begin{vmatrix}
-1,92 & 0,226 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-690,9 & -30,3 & 1727,27 & 345,45 & 0 & 0 & 345,45 & 0 & 0 \\
-3,7 & -0,27 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & -1,92 & 0,226 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
345,45 & 0 & 0 & -690,9 & -30,3 & 1727,27 & 345,45 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & -3,7 & -0,27 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1,92 & 0,226 & 0 \\
345,45 & 0 & 0 & 345,45 & 0 & 0 & -690,9 & -30,3 & 1727,27 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -3,7 & -0,27 & 0
\end{vmatrix}$$

Жоғарыда келтірілген коэффициенттер матрицасын ескере отырып, синхронды айналатын үшқозғалтқышты асинхронды электржетегінің орнықтылығын есептеу 2.6-суретте келтірілген:



2.6-сурет – Синхронды айналатын үшқозғалтқышты асинхронды электржетегінің орнықтылығын есептеу

Есептеу нәтижесі бойынша көрініп тұрғандай, түбірлердің нақты бөліктері теріс, ол ТКТ КҚАЭЖ жүйесінің орнықтылығын дәлелдейді.

Алынған дифференциалды теңдеулер жүйесі бойынша (2.13) MATLAB 7.0 программалық пакетінің Simulink кеңейту пакетінде [37-40] тиристорлы кернеу түрлендіргішті үшқозғалтқышты асинхронды электржетегін модельдеу жүргізілген.

Өтпелі процестерді зерттеу үшін дифференциалды теңдеулерді (2.13) мына түрге келтіреміз:

$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{d\Delta\omega_1}{dt} = 0,226\Delta U_1 - 1,92\Delta\omega_1 - 0,38\Delta M_{c_1} \\
\frac{d\Delta U_1}{dt} = 1727,27\Delta U_{PC_1} - 690,9\Delta\omega_1 + 345,45\Delta\omega_2 + 345,45\Delta\omega_3 - 30,3\Delta U_1 \\
\frac{d\Delta U_{PC_1}}{dt} = 20\Delta U_x - 0,27\Delta U_1 + 3,7\Delta\omega_1 + 0,45\Delta M_{c_1} \\
\\
\frac{d\Delta\omega_2}{dt} = 0,226\Delta U_2 - 1,92\Delta\omega_2 - 0,38\Delta M_{c_2} \\
\frac{d\Delta U_2}{dt} = 1727,27\Delta U_{PC_2} - 690,9\Delta\omega_2 + 345,45\Delta\omega_1 + 345,45\Delta\omega_3 - 30,3\Delta U_2 \\
\frac{d\Delta U_{PC_2}}{dt} = 20\Delta U_x - 0,27\Delta U_2 + 3,7\Delta\omega_2 + 0,45\Delta M_{c_2} \\
\\
\frac{d\Delta\omega_3}{dt} = 0,226\Delta U_3 - 1,92\Delta\omega_3 - 0,38\Delta M_{c_3} \\
\frac{d\Delta U_3}{dt} = 1727,27\Delta U_{PC_3} - 690,9\Delta\omega_3 + 345,45\Delta\omega_1 + 345,45\Delta\omega_2 - 30,3\Delta U_3 \\
\frac{d\Delta U_{PC_3}}{dt} = 20\Delta U_x - 0,27\Delta U_3 + 3,7\Delta\omega_3 + 0,45\Delta M_{c_3}
\end{array} \right. \quad (2.24)$$

МAТLАВ-та есепті шешу ыңғайлы болу үшін айнымалы жүйелерді (2.24) белгілейміз

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

$$U_1 = x(2); \quad U_2 = x(5); \quad U_3 = x(8); \quad (2.25)$$

$$U_{PC_1} = x(3); \quad U_{PC_2} = x(6); \quad U_{PC_3} = x(9).$$

А Қосымшасында МАТLАВ 7.0 программалық пакетінің Simulink кеңейту пакетінде алынған модельдің есептеу программасы келтірілген. Б Қосымшасында іске қосу процестері бос жүріс кезіндегі, В Қосымшасында номиналды режимде және Г Қосымшасында қозғалтқыш біліктеріндегі әртүрлі статикалық моменттері бар кездегі жұмыстар осциллограммалары көрсетілген.

3 Тарау аппараттарының тиристорлы кернеу түрлендіргішті синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін микропроцессорлық басқаруын құру

Жұмыс істеу барысында байқалатын, соның арқасында олар электрқозғалтқыштар ауқымында басымдыққа ие болатын, асинхронды электрқозғалтқыштардың құрылысының қарапайымдылығы, сенімділігі, жоғары энергетикалық көрсеткіштері сынды жақсы қасиеттері жанама болып қалды. Жоғары эксплуатациялық және техника-экономикалық көрсеткіштерге тиристорлы кернеу түрлендіргіштері де ие.

Технологиялық процесс шарттары бойынша жылдамдықты реттеу қажет болатын СА КҚАЭЖ-да соңғы жылдары контакторлы басқарылатын жетектерден тиристорлы кернеу түрлендіргіштер негізіндегі баяу қосу құрылғыларымен жабдықталған жүйелерге өту негізгі бағыт болды. Оған, ең алдымен, барлық ірі электржетегін өндірушілердің тауар тізімінде, шетел әдебиетінде Soft-Start жүйесі деген атауға ие болған, жатық қосу құрылғысының (ЖҚҚ) болуы дәлел. Бұл бағыттың себебі, ең алдымен, қор және энергия үнемдеуші технологияны енгізу қажеттілігінен тұрады. Жатық қосу құрылғылары басқарылмайтын және басқарылатын электржетегі арасында аралық орын алады. Атынан көрініп тұрғандай ЖҚҚ-ның негізгі тағайындалуы электрқозғалтқышты жатық үдету, бірқатар жағдайларда, кері бағыттау және тежеу. Электрқозғалтқыштың әрбір тікелей іске қосылуы оның қызмет ету мерзімін төмендететінін ескерсек ЖҚҚ-ның мақсатты қолданылуы айқын көрінеді [41-45].

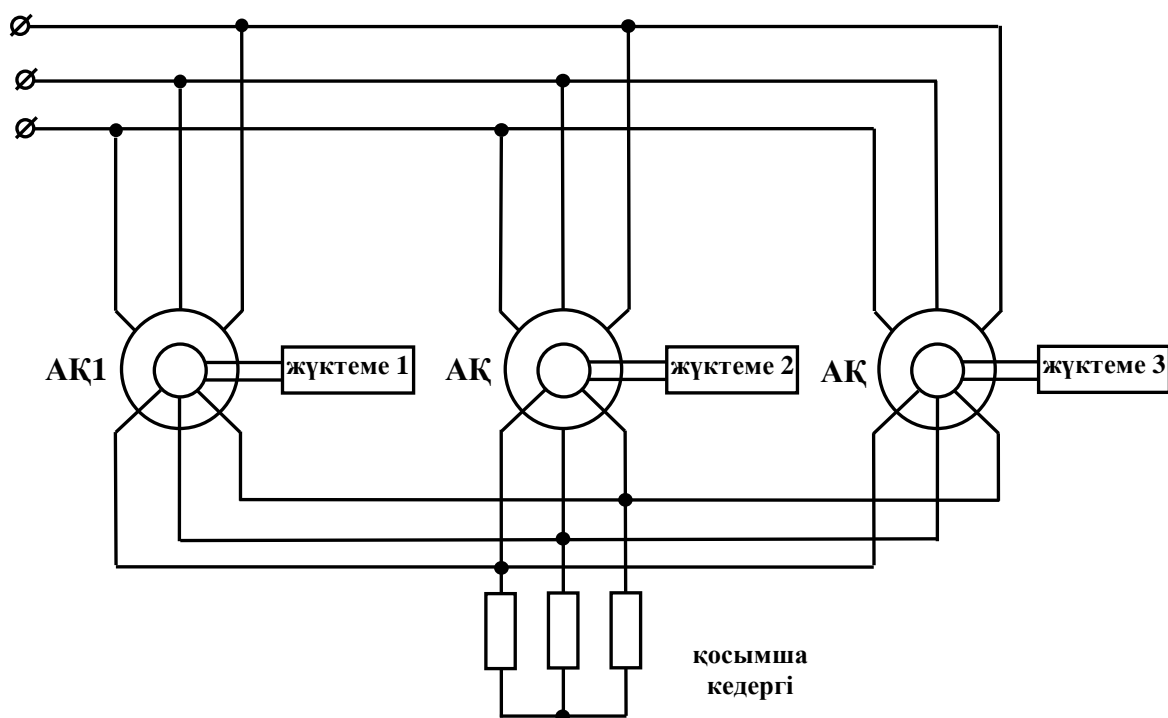
Жатық қосу құрылғыларын қолданудың тиімділігіне байланысты сұрақтарды талқылай отырып, олардың келесідей артықшылықтарын бөліп көрсетеміз:

- қозғалтқыштың қосу тогы мен моментін шектеу мүмкіндігі, ол қозғалтқыш пен механикалық бөліктердің қызмет ету мерзімін ұзартады;
- қозғалтқыш орамдарының тозуының көзі болып табылатын, қозғалтқышқа түсетін жылулық соққы жүктемелерді азайту;
- оқшауламаның механикалық бұзылуына алып келетін, қозғалтқыш орамдарындағы жоғарылатылған электрдинамикалық күштерді болдырмау;
- коммутациялық аппаратураның қызмет ету мерзімін жоғарылату.

3.1 Реостатты реттеу кезінде синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін зерттеу

Айналу жиілігін реттеудің бұл тәсілі тек фазалы роторлы асинхронды қозғалтқышы бар КҚАЭЖ-да мүмкін болады. Ротор тізбегінің активті кедерігісін өзгерту асинхронды қозғалтқыштардың жалпы ротор тізбегіне, 3.1-суретке сәйкес, жұлдызша жалғанатын, қосымша кедергілерді қосу арқылы іске асады. Бұл кезде электрқозғалтқыштардың статор орамдарының аттас фазалары өзара жалғанған. Электрқозғалтқыштардың білігіне түсетін жүктемелердің әртүрлі мәні кезінде, олардың электрлік жалғанған роторлары

арасында статорлардың магнит өрістерімен әсерлесе отырып, роторлардың келіспеушілігін азайтуға септесетін теңестіруші моменттерді тудыратын теңестіруші токтар ағады [46-49]. 3.1-суретте ротор тізбегінде электрлік байланысы бар СА КҚАЭЖ-ның схемасы берілген.



3.1-сурет – Ротор тізбегінде электрлік байланысы бар синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегі

Атап өтілгендей, бірінші, екінші және үшінші машиналар тудыратын моменттер, екі құраушының: синхронды және асинхронды құраушылардың қосындысын көрсетеді.

Синхронды құраушы барлық үш машинаға, олардың роторларының бұрыштарының келіспеуіне байланысты әсер ете отырып, қозғалтқыштардың келісімді айналуын қамтамасыз етеді және мынаған тең [50]:

$$M_{\text{син}(1,2,3)} = \frac{2M_m}{3} \left[\frac{\frac{S}{S_m} \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} - \frac{\frac{S'}{S'_m} \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{\frac{S'}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} \right]; \quad (3.1)$$

асинхронды құраушысы:

$$M_{\text{асин}(1,2,3)} = \frac{2M_m}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} + \frac{\sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{\frac{S'}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} \right]. \quad (3.2)$$

мұндағы $S_m = \frac{(r_2 + 3R_{\kappa, \text{pet}})\sigma_1}{x_1 + x_2\sigma_1}$ – қозғалтқыштардың табиғи сипаттамада
 $(M_m = \frac{U^2}{2(x_1 + x_2\sigma_1)\sigma_1} = \frac{U^2}{2x\sigma_1})$ жұмыс істеуі кезіндегі M_m максималды моментке

сәйкес келетін шектік сырғанау;

$$S'_m = \frac{(r_2 + 3R_{\kappa, \text{pet}})\sigma_1}{x_1} = S_m \left(1 + \frac{3R_{\kappa, \text{pet}}}{r_2} \right) - \text{роторларды жалпы сыртқы кедергі}$$

$R_{\kappa, \text{pet}}$ -ге қосқан кездегі шектік сырғуы;

$$\sigma_1 = 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \approx \left(1 + \frac{x_1}{x_0} \right) - j \frac{r_1}{r_0} - \text{түзеткіштік коэффициент};$$

Z_1, Z_2 – S сырғуы кезіндегі статорлар мен роторлардың кешендік кедергілері;

U_1, U_2, U_3 – әрбір қозғалтқыш үшін желі кернеуі;

I_{11}, I_{12}, I_{13} және I_{21}, I_{22}, I_{23} – сәйкесінше машиналардың статорлық және роторлық токтары;

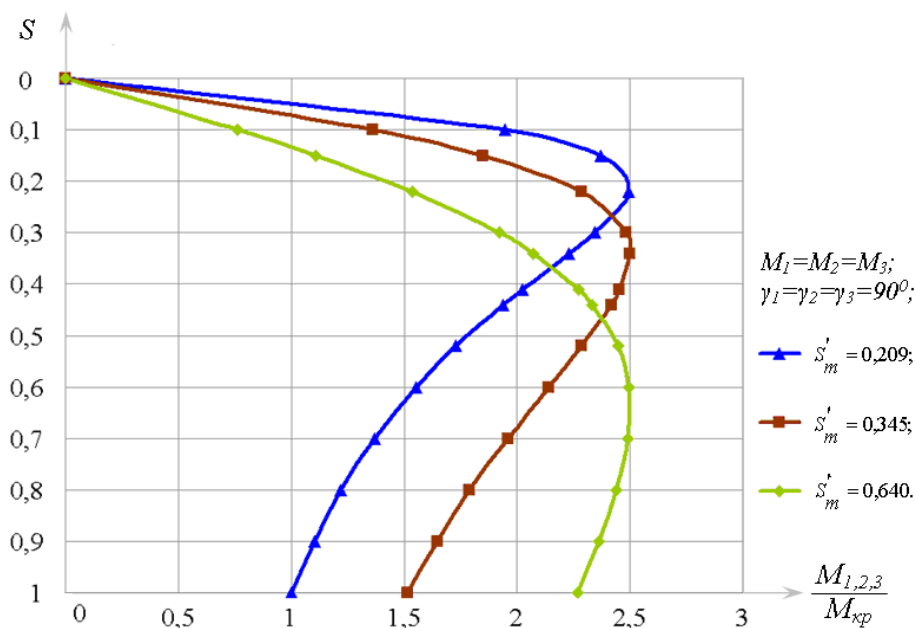
r_1 және x_1 – сәйкесінше қозғалтқыштардың статор орамдарының активті және индуктивті кедергілері;

r_2 және x_2 – сәйкесінше қозғалтқыштардың ротор орамдарының активті және индуктивті кедергілері;

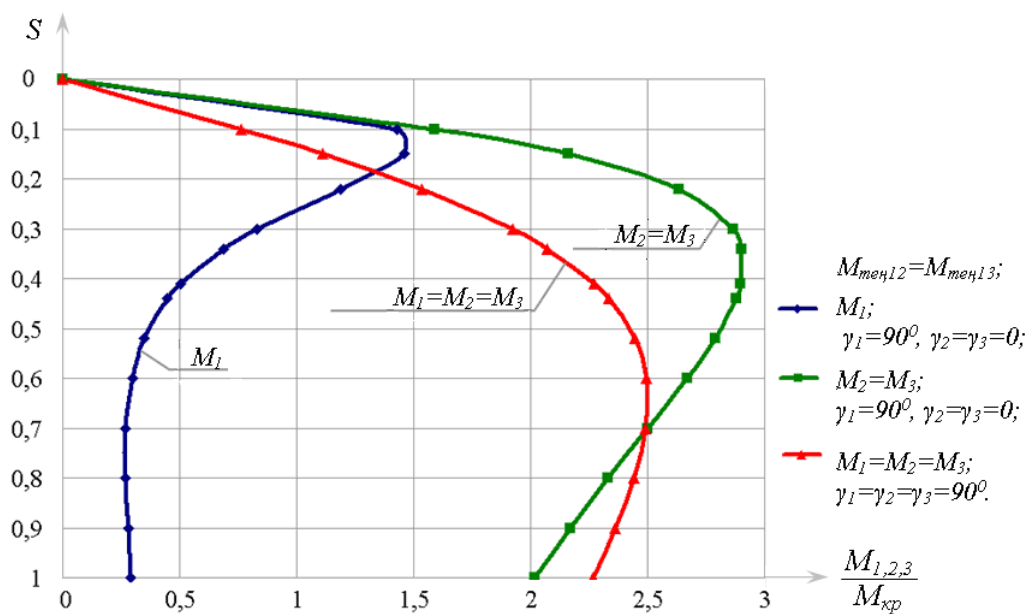
x_0 – магниттеуші контурлардың индуктивті кедергісі;

R_{κ} – жалпы ротор тізбегіндегі қосымша кедергі.

3.2-суретте келіспеу бұрыштарының әртүрлі мәні және ортақ роторлық кедергі кезіндегі СА КҚАЭЖ-ның механикалық сипаттамалары келтірілген.



a)



б)

3.2-сурет – Келіспеу бұрыштарының әртүрлі мәні және ортақ роторлық кедергі кезіндегі СА КҚАЭЖ механикалық сипаттамалары

3.2,-а,б суреттерінде роторлардың келіспеу бұрыштарының 0-ден 90 эл.градус және $\Delta\gamma_{1,2} = 90^\circ const$ кезіндегі жүйе қозғалтқыштарының моменттері көрсетілген.

Бірінші және үшінші, екінші және үшінші жүйе қозғалтқыштары арасындағы теңестіру моменттері $\Delta\gamma_{1,3} = 0$ бұрышы кезінде $\Delta\gamma_{1,3}$ еселігімен азая отырып, максималды мәнге тең болады. $\Delta\gamma_{1,3} = 90^\circ$ кезінде үшінші қозғалтқыштың айналдырушы моментінің синхронды құраушысы нөлге, ал қалған қозғалтқыштардың айналдырушы моментінің синхронды құраушылары өзара тең, бірақ қарама-қарсы таңбалы. 3.2,-б, суретіне сәйкес теңестіру моменттері $\Delta\gamma = \pm 90^\circ$ кезде өзінің максимумына жетеді, $\Delta\gamma = 90^\circ$ және $\Delta\gamma = 0$ кезде нөлге тең.

3.2 Тиристорлы кернеу түрлендіргішті синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін зерттеу

Асинхронды қозғалтқыштың статор шығысындағы кернеуді реттеу үшін әртүрлі құрылғылар – автотрансформаторлар, магнитті күшейткіштер және тиристорлы кернеу түрлендіргіштері (ТКТ) қолданылуы мүмкін. Кернеу реттегіштерінің соңғы түрі – ТКТ, асинхронды қозғалтқыштардың статорындағы кернеуді реттеу есебінен өтпелі режимдердегі қозғалтқыштардың тогы мен моменттерін реттеу, фазалардағы токтарды симметриялы ету, бірқатар қозғалтқыш қорғаныстары және басқа да операциялар қамтамасыз етілетін болғандықтан, қазіргі кезде кең таралды.

Бұл ТКТ-нің: жоғары ПӘК-і, қызмет көрсету қарапайымдылығы, өндірістің жалпы технологиялық схемасындағы электржетегінің жұмысын автоматтандырудың оңайлығы, басқарудың ыңғайлылығы сынды бірқатар артықшылықтарымен анықталады [51-53]. Бұған қоса, электржетектің бұл жүйесінің, төменгі жылдамдықтағы жұмыс кезіндегі ротор орамындағы шығындардың көптігі секілді айтарлықтай кемшілігі бар. Шынында да, төмен жылдамдықтардағы және сәйкесінше үлкен сырғанаулар кезіндегі ротордағы электрлік шығындар тіпті жоғары болуы мүмкін, ол электр жетегінің ПӘК-ін төмендетеді. Аталған кемшілік асинхронды қозғалтқыштың төмен жылдамдықтағы жұмыс уақыты оның жұмыс циклімен салыстырғанда аз болғанда маңызды емес.

Берілген электржетегі жүйесінің негізгі реттеу көрсеткіштеріне қысқаша тоқталып өтейік.

Мысалы кері байланыстарды жылдамдық бойынша қолданған кезде, жылдамдықты реттеу аралығы салыстырмалы түрде жоғары және оңға жетеді. Кері байланыстарды пайдаланғанда, қатаң сипаттамалар алынуы мүмкін.

Реттеудің тиімділігі электржетектің нақты жұмыс шарттарына тәуелді. Жеке алғанда, егер төменгі жылдамдықта жұмыс істеу уақыты цикл уақытымен салыстырғанда аз болса, онда тиімділік жоғары болуы мүмкін. Бұл жүйедегі асинхронды қозғалтқыш жылдамдығын реттеу жатық болады және табиғи (негізгі) сипаттамадан тек төмен іске асады [54].

Үшфазалы ТКТ-дің негізгі элементтері тура және кері токты жартылай толқынның өтуін қамтамасыз ететін қарсы-параллель қосылған күштік вентильдер болып табылады.

Қазіргі уақытта асинхронды қозғалтқыштың статор тізбегін коммутациялауға (оның желіге қосылуын және ажыратылуын іске асыру) және қозғалтқышқа келетін кернеуді реттеуге мүмкіндік беретін тиристорларды қосудың көптеген түрлі схемалары бар. Тиристорлы басқарылатын асинхронды электр жетегінің басты схемаларының құрылымын таңдаудың маңызы зор, себебі ол электржетегінің әртүрлі режимдерін жүзеге асыру мүмкіндігін, оның тез әрекеттілігін және техника-экономикалық көрсеткіштерін, яғни тиристорлы асинхронды электржетегінің қолданылу аумағын таңдауда және олардың өнеркәсіптік мақсатта қолданылуын айқындауда басты рөл ойнайтын факторларды анықтайды.

ЭЖБ жүйесіндегі асинхронды қозғалтқыштың қорек көзінің кернеуін реттеу кезіндегі тиристорларды қосу схемаларын таңдау айырықша мәнге ие, себебі оның техника-экономикалық көрсеткіштерін анықтайды. Осы кезде, қорек көзінің реттелетін ЭЖБ үшін келесілер маңызды көрсеткіштер болып табылатынын айта кету қажет:

1) асинхронды қозғалтқыштың басқарылу деңгейі (қосу-тежеу режимдерін іске асыру мүмкіндіктері: бір немесе екі бағытта айналу, кері бағыттау, динамикалық және қарсы қосу арқылы тежеу, өтпелі процесстердің бағытталған қалыптасуы, жылдамдықты реттеу режимдерінің жүзеге асырылуы);

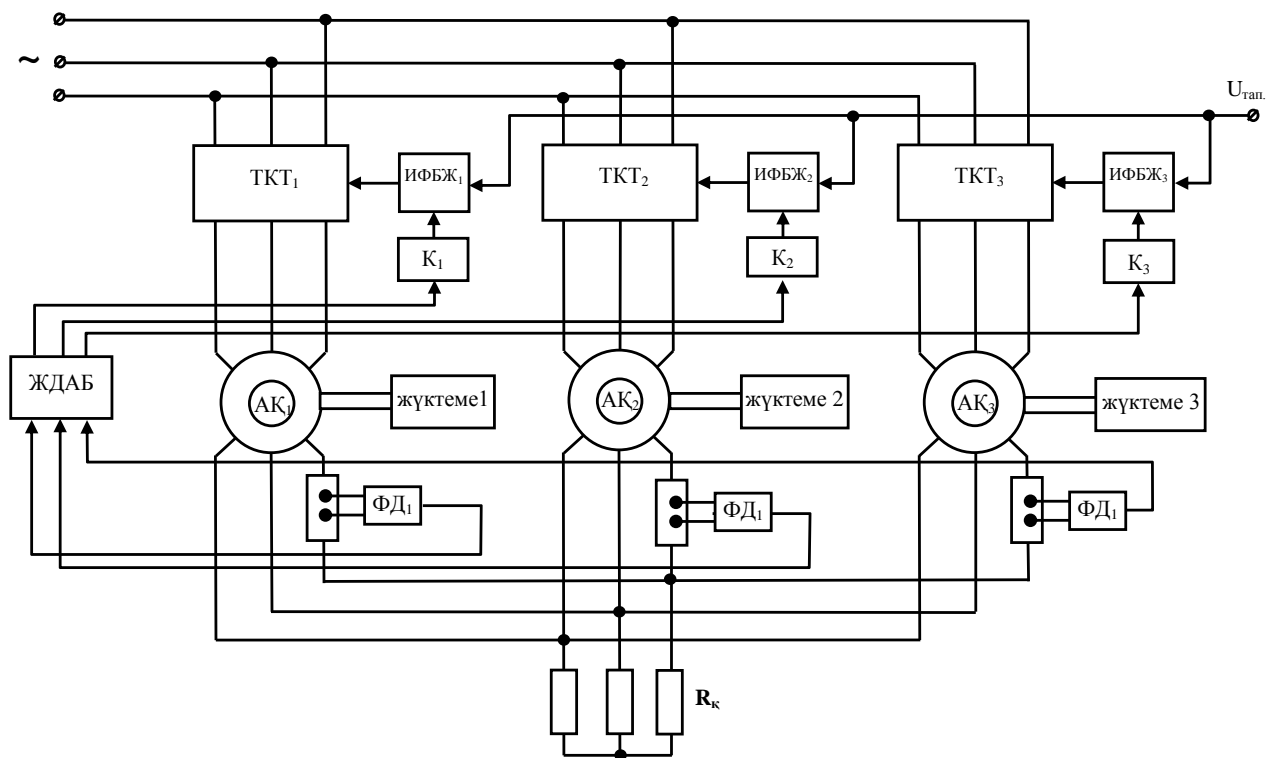
2) әртүрлі режимдерді жүзеге асыру қарапайымдылығы (оларды қосымша күштік коммутациялаушы аппараттарсыз алу, тиристорлармен басқару жүйесіне қойылатын арнайы талаптардың болмауы және тиристорлардың әрқайсысын басқару үшін ұқсас схемаларды қолдану);

3) статор орамдары қосылуының әртүрлі схемалары кезінде тиристорларды қосудың арнайы схемаларының жұмыс істеу мүмкіндігі (нөлдік өткізгіші бар және нөлдік өткізгіші жоқ жұлдызша, үшбұрыш);

4) тиристорлы басқару кезіндегі асинхронды қозғалтқышқа түсетін кернеудің гармоникалық құрамы (механикалық сипаттамалардың түрі, жылдамдықты реттеудің шектері мен түрі, энергетикалық көрсеткіштер);

5) тиристорлы басқарудың схемаларына кіретін күштік жартылай өткізгіш элементтердің саны және олардың жұмыс істеу шарттары (жартылай өткізгіш аспаптар арқылы ағатын токтар, жұмыс істеу кезінде туындайтын тура және кері кернеулер).

Күштік элементтерді қосудың схемаларын талдаудан, іске асыруға ең қарапайымы ретінде, 3.3-суретте ТКТ СА ҚҚАЭЖ [14] схемасы келтірілген.



3.3-сурет – Қозғалтқыштардың жүктелу айырымын анықтайтын ТКТ ҚҚАЭЖ-нің функционалдық схемасы

Ең жақсы реттеу сапасы тұрғысынан алып қарағанда, тиристорлары қарсы-параллелді қосылған (бейтарабы оқшауланған жұлдызша) ТКТ күштік схемасын қолдану оңтайлы. Бұл схемада реттік нөмірі бар гармоникалар жоқ, олардың орнын 5-ші, 7-ші, 11-ші және т.б гармоникалар алады. Бесінші және жетінші гармоникалар жоғары мәнге ие болады.

Үшқозғалтқышты электржетегі, ротор орамдары жалпы үшфазалы кедергіге қосылған үш асинхронды қозғалтқыштан тұрады. Әрбір атас фазаларға ротор тізбегінің ротор токтарының фаза датчиктері (ФД) қосылған, олардан шыққан сигналдар фаза бойынша жүктелу дәрежесін анықтау блогында (ЖДАБ) теңеседі [55]. ФД мен ЖДАБ-ның өлшеу дәлдігіне бүкіл электржетегі жүйесінің сезгіштігі тәуелді. Келіспеу бұрыштарының датчиктерінің сенімділігі жоғары болуы, келіспеуді қажетті дәлдікпен үздіксіз анықтап отыруы тиіс. Берілген электржетегінде бұл датчиктер бұған қоса, бүкіл жүйенің жұмыс істеу қабілеттілігі айтарлықтай дәрежеде тәуелді болатын реттеуші орган болып табылады [56, 57]. Қозғалтқыштардың айналу жылдамдығын синхронды реттеу мақсатында импульсті фазалы басқару жүйелеріне (ИФБЖ 1-3) реттелетін жалпы тапсырма сигналы U_m беріледі. Электрқозғалтқыштар біліктеріне түсетін жүктемелердің теңдігі кезінде басқарылатын сигнал барлық қозғалтқыштардың кернеу реттегіштеріне бірдей беріледі, себебі ТКТ басқару жүйесіне бірдей сигнал $U_{\sigma 1} = U_{\sigma 2} = U_{\sigma 3} = U_m$ әсер етеді. Ережеге сәйкес, қозғалтқыш біліктеріндегі жүктемелер әртүрлі, ол ротор токтарының фазаларында көрінеді. Жүйеде көп жүктелген қозғалтқыштың ротор тогы аз жүктелген қозғалтқыштардың ротор токтарынан фаза бойынша озып отырады.

Берілген схемада осы токтың фазасы әрбір қозғалтқыш токтарының фазасы теңесетін негізгі болып табылады. Қозғалтқыштардың жүктелу деңгейі сәйкесінше салыстыру блоктарында келесі жолмен анықталады: ротор токтарының фаза датчиктерінде ротор токтарының фазаларына пропорционал сигналдардың бөлінуі және олардың салыстыру схемаларында, жалпы ротор тогына қатысты әрбір қозғалтқыштың ротор токтарының келіспеу бұрыштарына пропорционал басқарушы сигналға түрленуі жүреді.

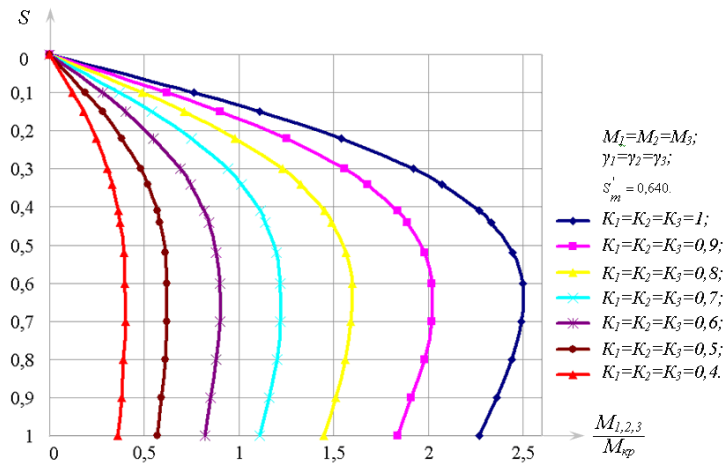
$U_{\sigma 1}, U_{\sigma 2}, U_{\sigma 3}$ басқару сигналдары әрбір қозғалтқышқа берілетін энергия ағынын өзгерту есебінен ротор токтарының фазаларын түзеуге, яғни КҚАЭЖ жүйесінің барлық қозғалтқыштарының айналу жиілігін синхрондауға көмегін тигізеді. Жалпы роторлы кедергісі бар КҚАЭЖ схемасының теңестіруші моментіне, қозғалтқыштарды қоректендіретін кернеулер айырмасымен шартталған теңестіруші әсер келіп түседі. Бұл кезде жүктемесі аз озып бара жатқан қозғалтқышқа аз кернеу беріледі, ал қалып бара жатқанға келіспеу бұрышының шамасы мен таңбасына байланысты – көп кернеу беріледі. Ең жүктелген қозғалтқыштың тиристорлық топтары толығымен ашылады [58].

Технологиялық талаптарға сәйкес, жүйе жылдамдығын жалпы реттеу U_T сигналын немесе бұл схемада минималды болуы мүмкін R_k ортақ кедергісін өзгерту арқылы іске асуы мүмкін [59].

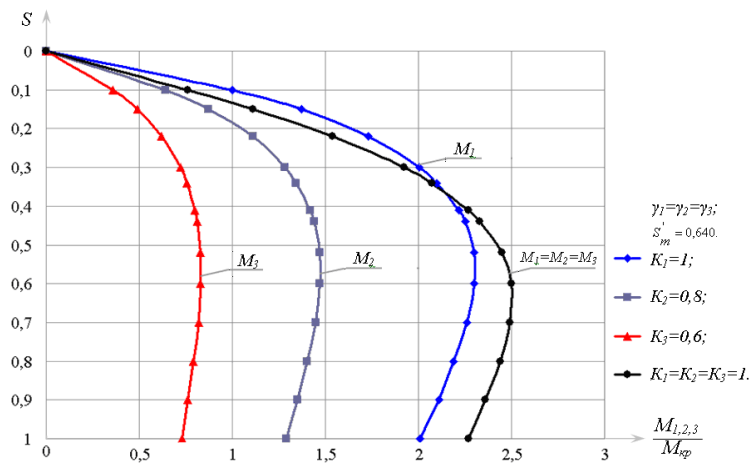
3.4-суретте жылдамдықты автоматты реттеу үшін тұйық жүйедегі ТКТ КҚАЭЖ қозғалтқыштарының механикалық сипаттамалары келтірілген.

3.4,-а суреттен көрініп тұрғандай, роторлардың келіспеу бұрыштары бірдей болған кезде, қоректендіруші кернеулерді реттеу кезінде әр қозғалтқыштың механикалық сипаттамаларының қисығы бір-біріне сәйкес келеді. Кернеу шамалары әртүрлі қозғалтқыштардың сипаттамалары (б, в)

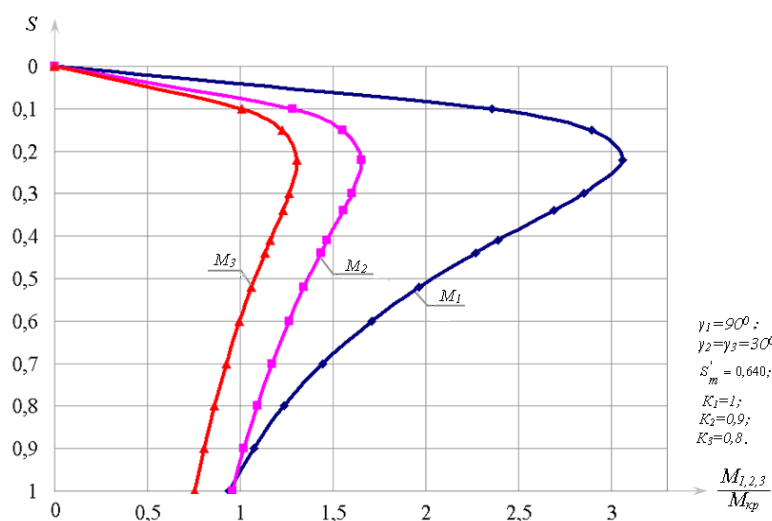
жылдамдықтар келіспеуінің жоқтығын, яғни қозғалтқыш білігіндегі жүктемесі әртүрлі машиналардың синхронды айналуын көрсетеді.



а)



б)



в)

3.4-сурет – ТКТ КҚАЭЖ механикалық сипаттамалары

3.2.1 Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің ротор токтарының фазалық келіспеу бұрыштарын анықтау

Жеке электржетегінің инерция моментін азайту мақсатында, ал кейде үлкен қуатты жетекті бір ғана қозғалтқыштан орындау тиімсіз болғандықтан өзара механикалық немесе электрлік тәсілмен жалғанған екі немесе одан да көп машиналардан тұратын электржетектерге жүгінеді [54].

3.5 (а, б) суретінде заманауи интегралды микросхемаларда орындалған қозғалтқыштардың ротор токтарының фаза датчиктерінің және қозғалтқыштардың жүктелу деңгейін анықтайтын блоктың схемалары келтірілген. Мұнда келіспеу бұрышы жүктемелер айырымымен анықталады, сондықтан синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін реттеу дәлдігі өзара кинематикалық байланыспаған электрқозғалтқыш біліктеріндегі жүктеме моменттері айырымымен шартталған келіспеу бұрышын өлшеу шектері дәлдігімен анықталады.

Жұмысшы электрлік білігі бар синхронды айналатын асинхронды электржетегінің (қозғалтқыштар ұқсас деп есептеледі) ротор токтары былай анықталады [60]:

$$I_{2n} = \frac{\left[\left(z + \frac{3R\sigma_1}{S} \right) K_n - \frac{R\sigma_1}{S} \sum_{L=1}^3 K_L e^{j(\gamma_L - \gamma_1)} \right]}{z \left(z + \frac{3R\sigma_1}{S} \right)} \cdot U_n \quad (3.3)$$

мұндағы $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ – ротор токтарының қабылданған есептеу нүктесіне қатысты бұрыштық ығысулары;

$n = 1, 2, 3$ қозғалқыштардың реттік саны;

$L=3$ – қозғалтқыштар саны;

S – сырғанау;

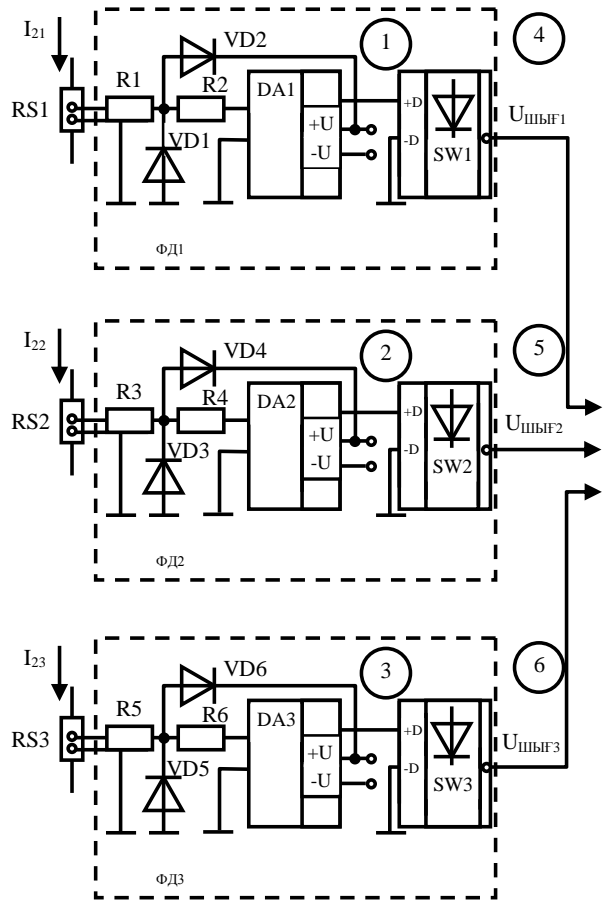
$K_n = \frac{U_n}{U_n}$ – кернеудің өзгеру коэффициенті;

z – қозғалтқыш орамдарының кешендік кедергісі;

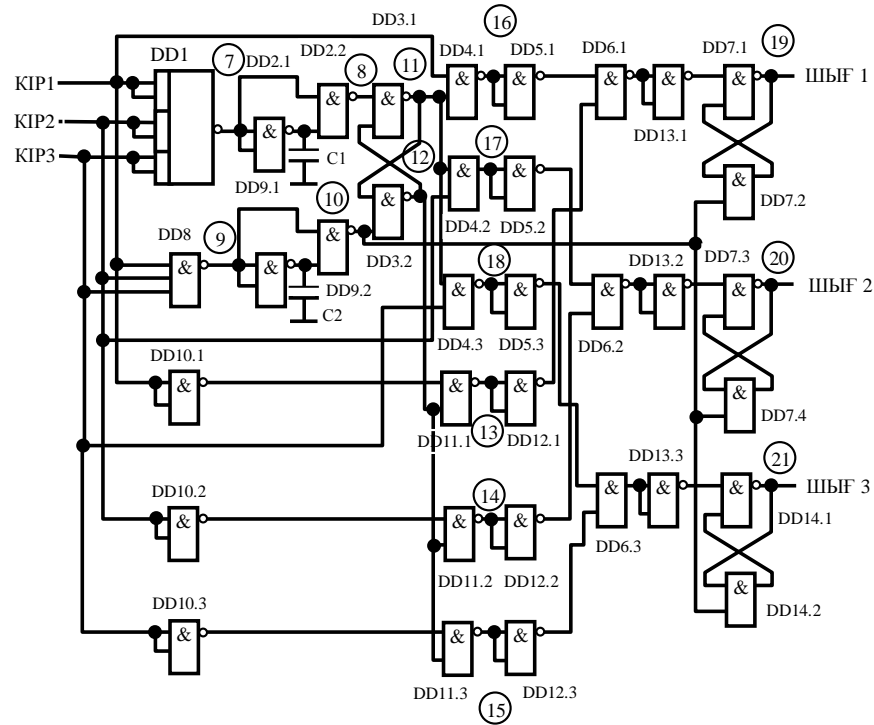
σ_1 – сейілу коэффициенті;

R – ротор тізбегінің кедергісі;

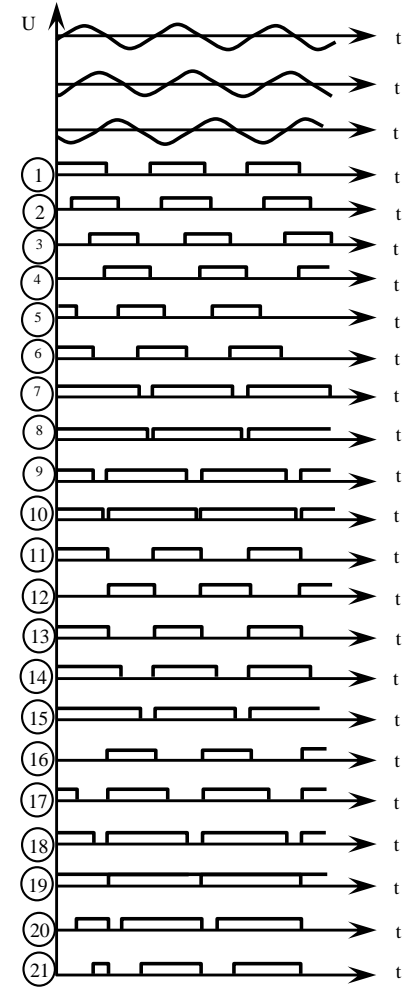
U_n – желінің номиналды кернеуі.



а)



б)



в)

3.5-сурет – Ротор токтарының фаза датчиктерінің (а) мен қозғалтқыштардың жүктелу дәрежесін анықтау блогының (б) схемалары және ФД мен ЖДАБ элементтерінің уақытша кернеу диаграммалары (в)

Ротор токтарының фазалары ротор токтарының датчиктарымен анықталады. ЖДАБ қозғалтқыштардың ротор токтарының фазаларын салыстыру есебінен ротордың кеңістіктік орналасуы кезінде келіспеу бұрыштарын бөліп көрсетуге мүмкіндік береді. Ротор тогының фазалар датчигі тізбектей жалғанған резисторлардан (R1), (R2), компаратордан (DA1) және RS1 өлшеу шунтынан келетін кірістік сигналды қалыптастыру мен күшейту және осыған қоса қозғалтқыштардың ротор тізбектерінің гальваникалық шешілуі үшін қызмет атқаратын SW1 оптронды ауыстырып-қосқышынан тұрады. ФД шығысында фазасы сәйкес қозғалтқыштың роторының ЭҚК-нің фазасына тең тіктөртбұрыш пішінді сигналдар пайда болады, олар келіспеу бұрыштарының датчиктерінің «HEMЕСЕ» функциясын атқаратын ЖДАБ-ның DD1 элементінің кірісіне келіп түседі. Бір уақытта ФД шығыстарынан сигналдар DD8 және DD10 элементтерінің кірісіне келіп түседі. DD2.1-2.2, DD9.1-9.2 элементтері DD1 және DD8 шығыстарынан келетін импульстардың алдыңғы және артқы шептерін құру үшін керек. DD2.3 элементінен шыққан импульс, тікелей шығысы «ЖӘНЕ» DD4.1-4.3 элементтерінің кірістеріне қосылған DD3.1-3.2 элементтеріндегі триггерді қосады. ФД шығыстарынан шыққан импульстердің және DD3 триггерлерінен шыққан сигналдар сәйкес келгенде «ЖӘНЕ» DD4.1-4.3 элементінің шығыстық импульстары DD5.1-5.3 элементтері арқылы инверциялана отырып, екінші кірісіне DD10.1-10.3, DD3.1-3.2, DD11.1-11.3, DD12.1-12.3 сәйкес элементтерімен құрылған импульстар келіп түсетін DD6.1-6.3 элементтерінің кірісіне беріледі. DD6.1-6.3 элементтерінің шығысынан алынған сигналдар DD13.1-13.3 инверторлары арқылы DD7.1-7.3, DD14.1-14.2 элементтерінде орындалған триггерлердің тікелей кірістеріне келіп түседі, ал бұл триггерлердің инверсті кірістеріне және DD3.1-3.2 элементіндегі триггерге DD9.1-9.2, DD8.3 қалыптастырғыштарынан қысқа импульс келіп түседі. Нәтижесінде, DD7.1-7.3, DD14.1-14.2 триггерлерінің шығысында сәйкес ротор ЭҚК әрбір жарты периодындағы келіспеу бұрыштарына пропорционал сигналдар қалыптасады.

Осылайша ЖДАБ шығыстарына аналогты сигнал қажет болғанда сандық-аналогтық түрлендіргіштерді қосуға болады. Қозғалтқыш біліктеріндегі жүктеменің белгілі-бір мәніне тиристорлардың ашылуының белгілі-бір бұрышы сәйкес келеді, бұған қоса көбірек жүктелген статор тізбегіндегі тиристорлар әрдайым ашық тұрады. Қалған қозғалтқыштарға қуат жүктемеге сәйкес беріледі. ФД және ЖДАБ элементтері кернеулерінің уақыт бойынша диаграммалары 3.5, в-суретінде келтірілген.

3.3 Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің алдын-ала синхрондауын, жылдамдығын реттеуін және синхронды тежелуін құру

Төмен жылдамдықта қатаң сипаттамалары және қосу мен тежеу моменттерінің шектелген шамасы бар реттеу диапазонын алудың бір тәсілі қозғалтқыштың статор тізбегін симметриялы емес қосу болып табылады.

Тарау аппараттарында барлық тарамдардың бас барабандары электрқозғалтқыштарын келісімді қосу және тежеу технологиялық процестің шарттары бойынша қажет, себебі созбаның қалыңдауына жол бермейді [61]. Басқа жағынан, роторлардың бірдей бұрыштық орналасулары бар қозғалтқыштарды тоқтату жүйені, қозғалтқыштарды алдын-ала синхрондаусыз қайта қосуды жеңілдетеді. Осыған байланысты, электрқозғалтқыштарды синхронды тежеу және алдын-ала синхрондау СА КҚАЭЖ жүйесінің маңызды режимі болып табылады. Ал тарау аппараттарының электржетегіндегі жылдамдықты реттеу диапазоны $D = 1 \div 1,5$ аралығынан аспайды, ол тарау аппараттарының электрқозғалтқыштарын симметриялы емес қоректендірумен қамтамасыз етіледі.

Зерттеу кезінде симметриялы емес кернеу реттегіштері көмегімен моменттерді синхронды реттеуді және асинхронды электрқозғалтқыштардың статор орамдарын симметриялы емес қоректендіру арқылы синхронды тежеуді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі құрылды [62].

Берілген схемалық шешім барлық қозғалтқыштар роторларының алдын-ала синхрондалуы бір фазада қарсы-параллельді қосылған тиристорларды жабу арқылы, оған қоса қозғалтқыштар мен жұмыс механизмдерінің тиристорларды қосқаннан кейін және үшінші фаза орамдарын екіншіге қосу арқылы синхронды тежеуді қамтамасыз етеді.

3.6-суретте келтірілген схемаға сәйкес ұқсас асинхронды электрқозғалтқыштар статорларының орамдарына симметриялы емес кернеу берілсе, онда асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамаларын талдау кезінде симметриялы емес кернеулердің келтірілген жүйесі тура және кері тізбектелген екі симметриялы кернеу жүйелерімен ауыстырыла алады. Тура тізбектелген өріс бағытында, кері тізбектелген өріске қатысты $1 + (1 - S) = 2 - S$ сырғуы бар ротор қозғалады, мұндағы S – тура тізбектелген өріске қатысты сырғу [63].

Үш асинхронды қозғалтқыштың тура және кері тізбектеу өрістерінен СА КҚАЭЖ жүйесіндегі моменттері үшін өрнектер 1.5,б суретте келтірілген Т-типті алмастыру схемасы негізінде табылуы мүмкін.

Бұл кезде қозғалтқыштардың айналдырушы моменттері келесі түрге ие болады [64]:

тура тізбекті

$$M_{1,2,3}^{myra} = \frac{2M_m}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{S/S_m + S_m/S} + \frac{\sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{S/S'_m + S'_m/S} \right] + \frac{2M_m}{3} \left[\frac{\frac{S}{S_m} \sum \sin(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{S/S_m + S_m/S} - \frac{\frac{S}{S'_m} \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{S/S'_m + S'_m/S} \right] \quad (3.4)$$

кері тізбекті

$$M_{1,2,3}^{keri} = \frac{2M_m}{3} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{2 - S/S_m + S_m/(2-S)} + \frac{\sum_{L=1}^3 \cos(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{2 - S/S'_m + S'_m/(2-S)} \right] + \frac{2M_m}{3} \left[\frac{\frac{2-S}{S} \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{(2-S)/S_m + S_m/(2-S')} - \frac{\frac{2-S}{\sin} \sum_{L=1}^3 \sin(\gamma_L - \gamma_{1,2,3})}{(2-S)/S'_m + S'_m/(2-S)} \right] \quad (3.5)$$

мұндағы:

$M_{1,2,3}$ – бірінші, екінші және үшінші қозғалтқыштардың айналу моменттері;

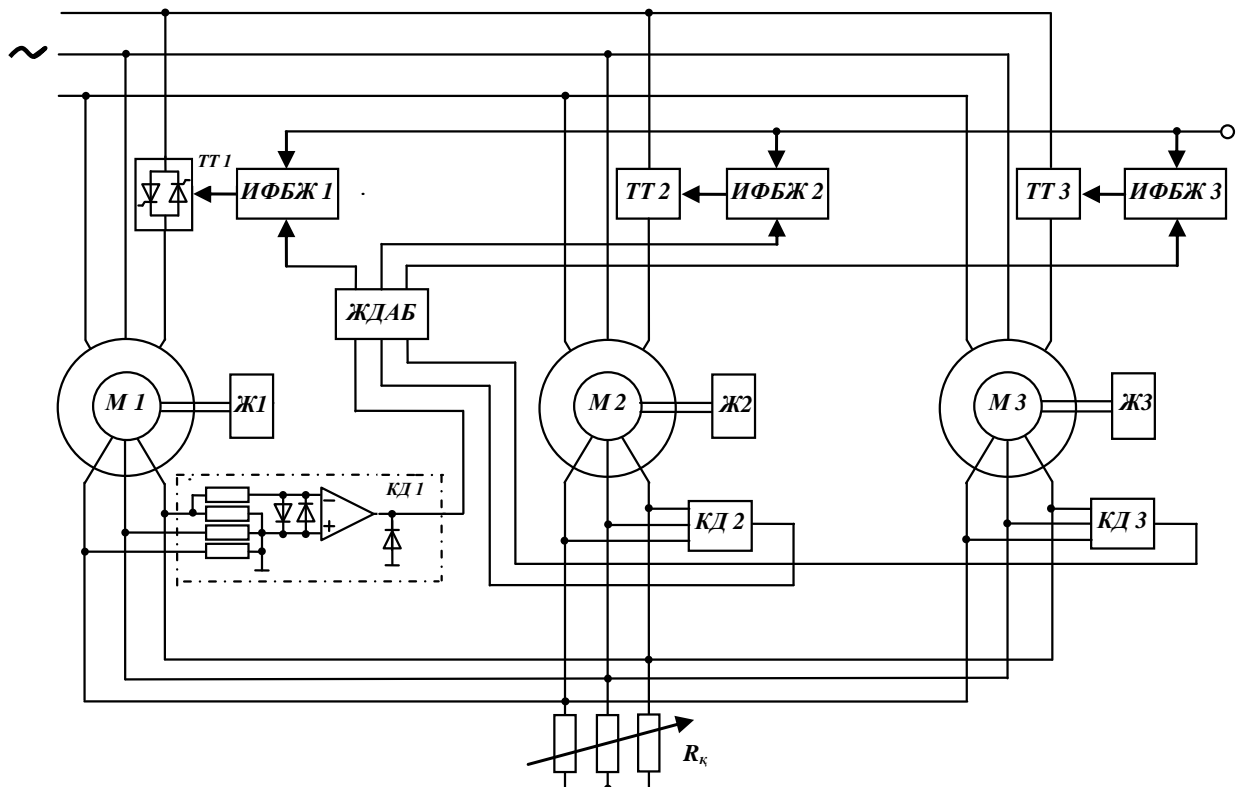
M_m – қозғалтқыштардың максималды моменті;

S – асинхронды қозғалтқыштардың сырғуы;

S_m, S'_m – қозғалтқыштың жеке және электрлік жұмысшы білік жүйесіндегі максималды сырғуы;

$\gamma_{1,2,3}$ – қозғалтқыштар роторларының бұрыштық ығысулары;

γ_L – сәйкес қозғалтқыш роторының бұрыштық орналасуы.



3.6-сурет – Симметриялы емес тиристорлы кернеу түрлендіргішті үшқозғалтқышты электржетегі

мұндағы:

M_1, M_2, M_3 – фазалы роторлы асинхронды қозғалтқыштар;

$Ж1, Ж2, Ж3$ – қозғалтқыштар біліктеріндегі жүктемелер;

$КД1, КД2, КД3$ – ротор ЭҚК-нің кернеу датчиктері;

$ТТ1, ТТ2, ТТ3$ – қарсы-параллельді қосылған тиристорлар;

$ЖДАБ$ – жүктелу дәрежесін анықтау блогы;

$ИФБЖ1, ИФБЖ2, ИФБЖ3$ – импульсті-фазалық басқару жүйелері;

R_{κ} – ЭЖБ жалпы роторлық кедергісі.

СА КҚАЭЖ жүйесінде әр қозғалтқыштың айналдырушы моменті, яғни суммарлық моменті статорлық орамдары симметриялы емес қосылу кезінде келесідей анықталады:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_1^{тура} - M_1^{кері} \\ M_2 &= M_2^{тура} - M_2^{кері} \\ M_3 &= M_3^{тура} - M_3^{кері} \end{aligned} \quad (3.6)$$

СА КҚАЭЖ асинхронды қозғалтқыштар моменттері теңдігінен көрініп тұрғандай қозғалтқыштар моменті асинхронды және синхрондаушы құраушылардан тұрады (екінші қосындылар роторлардың бұрыштық орналасу синусына пропорционал).

Роторлардың бұрыштық орналасулары тең болған кезде, яғни $\gamma_1=\gamma_2=\gamma_3$ барлық машиналар үш еселенген қосымша кедергі кезінде реостатты сипаттамаларда жұмыс істейді. Бұл кезде синхрондаушы моменттер нөлге тең, ал бұрыштық келіспеу $\gamma_1=\gamma_2=\gamma_3=90^0$ тең болса, синхрондаушы моменттер максимал мәнге ие болады да қозғалтқыштар синхронды жұмыс жасайды. СА КҚАЭЖ классикалық схемасымен салыстыру бойынша жүктемелердің үлкен айырмасы кезінде тиристорлардың ашылу бұрыштарын реттеу синхронды айналуы қамтамасыз етеді.

Айта кеткен жөн, қозғалтқыштың симметриялы емес режимде жұмыс істеуі кезінде, кері тізбекті токтардың жоғарытылған жиілігі арқасында ротор болатында шығындар едәуір өседі, бұл қозғалтқыштың қызуына әкеледі. Сондықтан айналу жиілігін реттеу диапазоны $D = 1 \div 1,5$ шектен аспауы қажет, мұны тарау аппараттары электржетектерінің реттеу диапазоны қамтамасыз етеді.

3.4 Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің механикалық сипаттамаларын есептеу программасының алгоритмін құру

Көпқозғалтқышты электржетегінің кернеу шамасын тиристорлы кернеу түрлендіргіштерімен реттеу кезінде [65-66] олардың айналдырушы моменттері гармоникалық құраушылардан тұрады:

$$\begin{aligned}
M_1 &= M_{11} - M_{15} + M_{17} - M_{111} + \dots + M_{1n}, \\
M_2 &= M_{21} - M_{25} + M_{27} - M_{211} + \dots + M_{2n}, \\
M_3 &= M_{31} - M_{35} + M_{37} - M_{311} + \dots + M_{3n},
\end{aligned}
\tag{3.7}$$

мұндағы:

$M_{11}, M_{21}, M_{31}, M_{15}, M_{25}, M_{35} \dots$ сәйкесінше бірінші, бесінші және т.с.с. гармоникалардан құрылатын 1-ші, 2-ші және 3-ші қозғалтқыштар моменті.

$M_{11}, M_{21}, M_{31}, M_{15}, M_{25}, M_{35}$ және т.б. моменттер шамасын әрбір гармоника үшін алмастыру схемасын құрастыру арқылы анықтауға болады.

Бірақ статор орамдарын жұлдызша етіп жалғаған кезде жоғары гармоникалармен жасалатын моменттердің максималды мәндері табиғи сипаттамадағы қозғалтқыштардың 0,8-1,5% критикалық моментінен аспайды, өйткені бесінші, жетінші гармониканың әсер етуші кернеуінің салыстырмалы мәнінің максималды шамалары тіпті қолайлы емес жағдайларында қоректендіруші кернеудің 0,2 – 0,25 номиналды мәнінен аспайды, ал жоғары ретті гармоникалар кернеуінің төмендігіне байланысты оларды ескермеуге де болады [67]. Сондықтан реттеу сипаттамаларын есептеу және тұрғызу үшін тек негізгі кернеу гармоникаларын қолдануға болады. Тиристорлардың ашылу бұрыштарының бекітілген мәндері кезінде қоректендіру кернеуінің өзгеруін ескере жүйенің бөлек қозғалтқыштарының айналдырушы моменттері келесі түрде анықталады:

$$M_{ku} = M_{nмаб} \cdot k_n^2 \tag{3.8}$$

где $M_{nмаб}$ – табиғи сипаттамадағы қозғалтқыш моменті, k_n^2 – S сырғуының таңдалған мәні үшін анықталатын кернеудің салыстырмалы шамасы.

Жалпы ротор тізбегінде келіспеу бұрыштарын және қосымша кедергілерді ескере отырып, жүктеме айырымымен және статордағы кернеуді реттеумен пайда болатын үшқозғалтқышты жүйенің M_{ku} айналдырушы және теңестіруші моменттері мына формула бойынша есептеледі [68]:

$$\begin{aligned}
M_n &= \frac{U^2 k_n^2}{n' \sigma_{1x}} \left\{ \frac{n' - \sum_{L=1}^{n'} \frac{k_n}{k_L} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_n) - \frac{S}{S_m} \sin(\gamma_L - \gamma_n) \right]}{S/S_m + S_m/S} \right\} + \\
&+ \frac{U^2 k_n^2}{n' \sigma_{1x}} \left\{ \frac{\sum_{L=1}^{n'} \frac{k_n}{k_L} \left[\cos(\gamma_L - \gamma_n) + \frac{S}{S'm} \sin(\gamma_L - \gamma_n) \right]}{S/S'm + S'm/S} \right\}
\end{aligned}
\tag{3.9}$$

мұндағы:

$n=1, 2, 3$ – қозғалтқыштың реттік нөмірі;

n' – жүйедегі қозғалтқыштар саны, біздің жағдайда 3 тең;

k_n – n -ші қозғалтқыштың қоректендіруші кернеуінің салыстырмалы өзгеруі;

γ_n – электрлік градуспен өлшенетін роторлардың бұрыштық ығысулары (қабылданған санау осіне қатысты);

k_L, γ_L – L -ші қозғалтқыштың қоректендіруші кернеуінің және ротордың бұрыштық орналасуларының салыстырмалы өзгеруі ($1 \leq L \leq n' = 3$);

σ_l – сейілу коэффициенті;

S – n -ші қозғалтқыштың сырғуы;

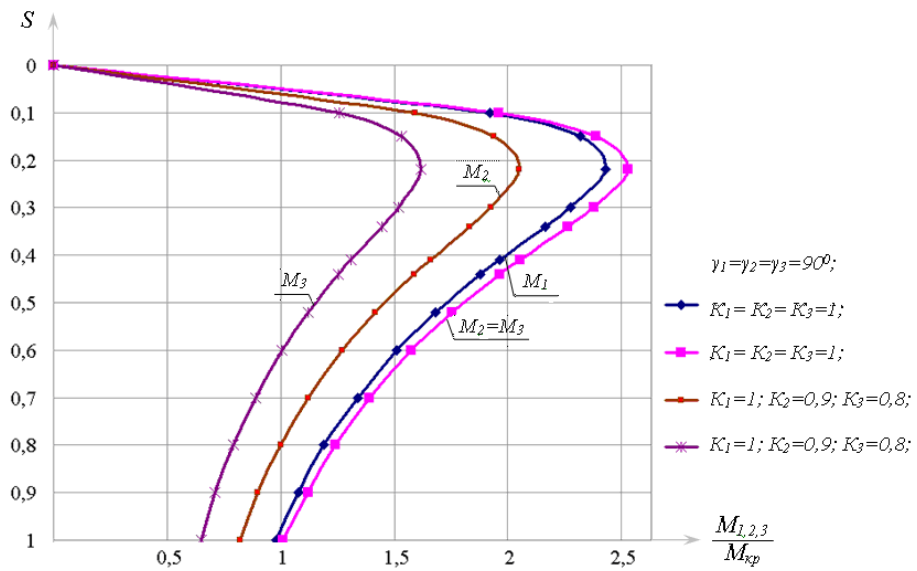
x – n -ші қозғалтқыштың толық индуктивті кедергісі;

S_m, S'_m – жүйе қозғалтқыштарының табиғи және жасанды сипаттамалардағы критикалық сырғуы.

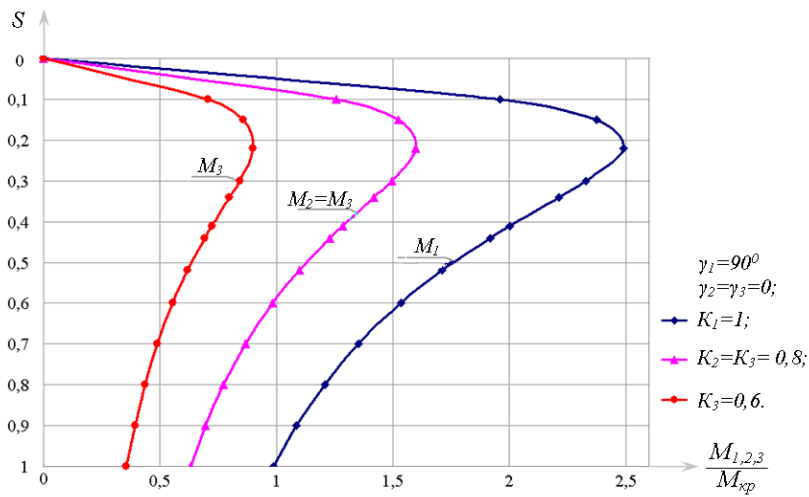
Есептеу программасының алгоритмінің блок-схемасы Д Қосымшасында, ал 3.7-суретте ротор тізбегіндегі электрлік байланысы бар электрқозғалтқыштардың статикалық сипаттамаларының есептік қисықтары келтірілген.

3.7, а-суретте ротор орналасуының электрлік бұрышы $\gamma=90^0$ тең ең көп жүктелген қозғалтқышқа толық кернеу беріледі ($K=1,0$). Бұл жағдайда, егер ең көп жүктелген (бірінші) қозғалтқыш статикалық тұрақтылық шекарасында $\gamma \approx 90^0$ жұмыс жасаса, ал басқа екеуі біліктерінде бірдей жүктемеге ие, арасындағы келіспеу бұрыштары нөлге тең, яғни $\Delta \gamma_{23} = \Delta \gamma_{32} = 0$.

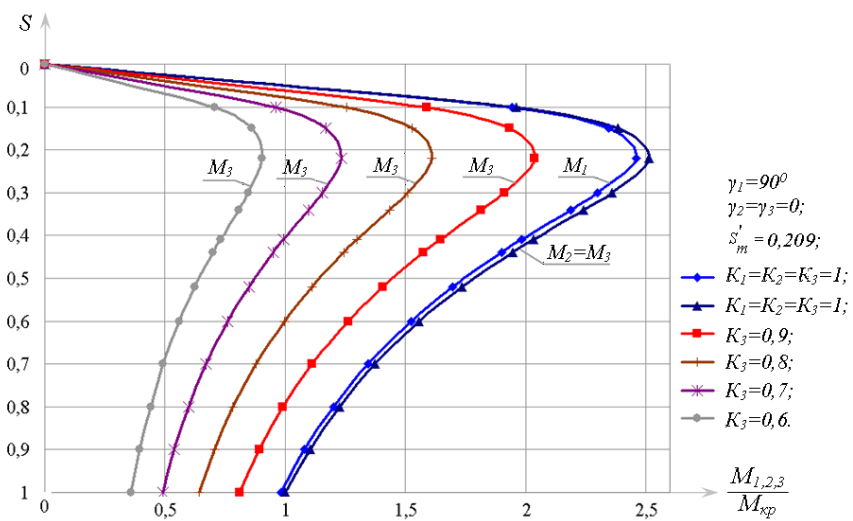
Толық қоректендіру кернеуі кезінде жүйе қозғалтқыштарының сипаттамалары $k_1=k_2=k_3=1,0$ кезіндегі түрге ие болады. R_k бар СА КҚАЭЖ-де қозғалтқыштардың бірінде жүктемені азайтқан жағдайда, жүйе айналуының синхрондығы үзіледі. Келіспеу бұрышы бойынша кері байланыстарды қолдана отырып әрбір қозғалтқыштың реттелетін кернеулі көпқозғалтқышты жүйесінде қоректендіру кернеуін төмендете отырып тепе-теңдікті ұстауға болады, мысалы үшінші қозғалтқыштың қоректендіру кернеуін ΔM_3 моментінің өзгеруіне сәйкес шамасына төмендету. Бірінші ең көп жүктелген қозғалтқыштың келіспеу бұрышы, жүйедегі басқа қозғалтқыштар $k_2, k_3 < 1,0$ кезде жұмыс істейді, яғни статордағы кернеудің шамасы номиналдыдан төмен кезде қарымталанады.



а)



б)



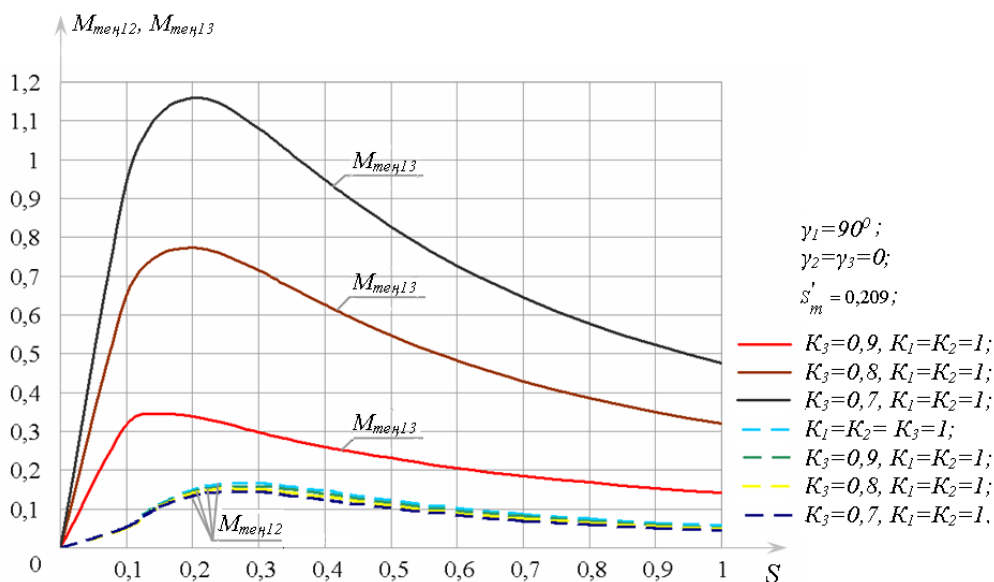
в)

3.7-сурет – Ротор тізбегіндегі электрлік байланысы бар электрқозғалтқыштардың статикалық сипаттамаларының есептік қисықтары

3.7, б-суретте жүйе жұмысының режимдеріне сәйкес $\gamma_1 \approx 90^\circ$, $\gamma_2=\gamma_3=0$ $K_1=1,0$; $K_2=K_3=0,8$ және $K_1=1,0$; $K_2=0,8$; $K_3=0,6$ кездегі сипаттамалар келтірілген.

3.7, в-суретте келтірілген графиктерден көретініміз, келіспеу бұрыштары $\gamma_1 \approx 90^\circ$, $\gamma_2=\gamma_3=0$ кезінде жүйенің синхрондаушы қабілеттілігін арттыру қозғалтқыштар статорларындағы кернеуді реттеу арқылы іске асырылады.

3.8-суретте келтірілген қисықтарды талдау көрсеткендей, келіспеудің бекітілген бұрыштары және ортақ қосымша кедергі кезінде жүйенің теңестіру моменттері аз жүктелеген қозғалтқыштың қоректендіру кернеуінің төмендеуімен ұлғаяды. Тұтас сызықпен бірінші және үшінші қозғалтқыштар арасындағы теңестіру моменттері, ал үзік сызықпен бірінші және екінші қозғалтқыштар арасындағы теңестіру моменттері көрсетілген.



3.8-сурет – Қоректендіру кернеуінің өзгеруі кезіндегі үшқозғалтқышты жүйенің теңестіру моменттері

Өзарабайланыстыққа қарамастан аз жүктелген қозғалтқыштардың жетектік моментін шектей отырып, жүктелмеген қозғалтқыштардың кернеуін реттеу ең көп жүктелген қозғалтқыштардың жетектік моментіне әсері өте аз. Бұл жағдайда кернеуді реттеудің осындай түрі көпқозғалтқышты электржетегінің теңестіру моменттеріне едәуір әсер етеді.

3.5 Микропроцессорлы басқарылатын синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі

Арзан әрі сенімді микропроцессорлар жасау ауқымындағы ілгерілеу реттелетін электржетекте сандық құрылғы элементтерін қолдануға, тіпті олармен сәйкес элементтерді алмастыруға кең мүмкіндіктер ашты, ол микропроцессорлы басқарылатын электржетегі жүйесін жасауға алып келді.

Заманауи электржетекті микропроцессорлы басқарудың жүйелері (ЭЖ МПБЖ) реттеудің жоғары дәлділігін қамтамасыз етіп қана қоймай, сонымен қатар электржетек тұтынушылары үшін бірқатар жаңа есептерді шешуге де мүмкіндік береді, микропроцессорлық техника көмегімен шешілетін ең маңызды есеп-электржетек жүйесінің сенімділігін жоғарылату болып табылады. Микропроцессорлы басқару кезінде бұған жүйенің физикалық конфигурациясын ықшамдау, заманауи процессорларды кең қолдану, қосылыс сандарын азайту, монтажды ықшамдау жолымен қол жеткізеді.

Сенімділіктің жоғарылауына және пайдалану шығындарының азаюына микропроцессордың және түгел электржетегі автодиагностикасын жасау мүмкіндігі, микропроцессор негізінде қорғаныс және технологиялық автоматика функцияларын жүзеге асыру септігін тигізеді. Алайда, бұл мүмкіндіктерді пайдалану, микропроцессордың тезерекеттілігін ұлғайту есебінен алынуы мүмкін болатын қосымша машиналық уақытты талап етеді. Қосымша әсерді МПБЖ жұмысының дискреттілік кезеңін ұлғайту есебінен алуға болады (егер бұл реттеу сапасына зиянсыз болса). Көрініп тұрғандай, екінші нұсқа микропроцессор мүмкіндіктерін толыққанды пайдалануға жағдай жасайды және де электржетектің физикалық конфигурациясының қиындауымен байланысты емес болады.

ЭЖ МПБЖ-нің өзіне ұқсастардан айтарлықтай айырмашылығы, олардың, екі деңгейлі логикалық сигналдарды пайдаланумен, оған қоса аналогты сигналдарды беруде ұзын желілердің болмауымен қамтамасыз етілетін кедергілерден жоғары қорғанысы болып табылады.

Сонымен қатар, кедергі деңгейін төмендетудің тиімді құралы, ЭЖ МПБЖ-да кең қолданыс тапқан, белгілі-бір уақыт аралығында орталайтын кері байланыс датчиктері болып табылады. Кедергілерді сүзгілеудің тиімділігі орталау кезеңіне тәуелді, сондықтан да соңғысын (және оған байланысты дискреттілік кезеңін) оңтайлы тандау түгел электржетек жүйесінің кедергіге төзімділігін айтарлықтай көтеруге мүмкіндік береді.

Кедергіден қорғанысты жоғарылатуға, ұқсас жүйелерде жүзеге асыру қиын немесе мүмкін емес, сигналдарды сүзгілеудің арнайы алгоритмдерін пайдалану да септігін тигізеді.

ЭЖ МПБЖ ұқсас құрылғылар көмегімен жүзеге асыру қиын, ал кейбір жағдайларда тіпті мүмкін емес болған басқару алгоритмдерін пайдалануға мүмкіндік береді. Мұндай алгоритмдерді қолдану динамикалық режимдерде электржетектің күштік бөлігін толығырақ пайдалануға септігін тигізуі мүмкін.

Микропроцессорлы басқарылатын электржетектердің аталған артықшылықтарынан басқа, тағы да, жабдықты баптау кезіндегі шығындардың азаюын, оған техникалық қызмет көрсету уақытының қысқаруын, жөндеуге жарамдылығының жоғарылауын, өлшемдерінің кішіреюін және басқару жүйесінің энергия тұтынуының азаюын, ақауларды баптау, тексеру кезіндегі жұмыстың ыңғайлылығын, электрлік параметрлерді бақылау мүмкіндігін атап өтуге болады.

Шалаөткізгіштік техниканың қауырт дамуы көптеген аса үлкен интегралды схемалардың пайда болуына және солардың негізінде айтарлықтай есептеуіштік мүмкіндіктерге ие микропроцессорлы техниканың жасалуына алып келді. Микропроцессорлар (МП) мен микроЭЕМ-дар есептеуіштік құрылғылардың ең көп әрі динамикалық классы болып табылады. Осыған байланысты, микропроцессорлы басқарылатын жеке автоматты электржетектер өнеркәсіптің көптеген салаларында кең қолданысқа ие болды. ЭЖ МПБЖ-де МП және микроЭЕМ негізіндегі сандық басқаруды қолдану синхронды-синфазды айналу түйткілдерін сәтті шешуге, жүйені реттеудің функционалды иілгіштігін және берілген дәлділігін, программалық қамтамасыз етуді өзгерту жолымен реттегіштердің құрылымы мен параметрлерін қайта құруды қамтамасыз етуді, әртүрлі технологиялық тапсырмаларды шешуге мүмкіндік береді [69-72].

3.5.1 Микропроцессорлық құрылғылар

Микропроцессор (МП) тікелей мәліметтерді өңдеуді және мәліметтерді өңдеу процесін программалық басқаруды жүзеге асырады. Микропроцессорлардың әмбебаптығы олардың өндірісінің үлкен таралымына және соған орай бағасының арзандауына алып келеді [73].

МП – микропроцессорлық жүйенің орталық процессорлық элементі (микроЭВМ), ол басқару құрылғысынан және арифметика-логикалық құрылғыдан тұрады. Өз кезегінде, микропроцессорлық жүйе құрамына тағы жады және енгізу/шығару құрылғылары (сыртқы құрылғылар) кіреді [74].

Барлық заманауи микроЭЕМ, және де басқа класс ЭЕМ-дерінің блоктары мен түйіндері, әртүрлі микропроцессорлық жиынтықтарға кіретін үлкен интегралды схемаларды (ҮИС) қолданумен жасалған. МПЖ ҮИС деп технологиялық және конструктивтік орындалуы бойынша бірігетін және әртүрлі есептеу техникасы құралдарын: микропроцессорларды, микроконтроллерлерді (интегралды микроэлектронды орындалудағы логикалық басқару құрылғысы), микроЭЕМ-дерді және т.б. құрастыру кезінде бірлесіп пайдалануға арналған микропроцессорлық және басқа да интегралдық микросхемалардың бірлестігін айтамыз. [75].

3.5.2 Микропроцессорлық контроллерлердің классификациясы

Микропроцессорлық контроллер (МПК) – бақылау және басқару мақсатына арналған функционалды аяқталған микроЭЕМ [76].

МПК келесі элементтік базада жүзеге асырылуы мүмкін:

- бір кристаллды микропроцессорларда (БМП);
- секционды (көп кристалды) МП;
- бір кристалды микроконтроллерлерде (БМК);
- күрделі матрицалық программаланатын логикалық схемаларда (ПЛИС, PLD, CPLD және т.б.)

БМК – бір АҮИС (аса ҮИС) түрінде жүзеге асырылған функционалды аяқталған МПК, оның құрамына: процессор, ЖЕСҚ, сыртқы құрылғыларды қосу үшін енгізу/шығару порттары, АСТ (аналогты-сандық түрлендіргіш) аналогты сигналын енгізу модульдері, уақыт санауыштар, үзу контроллерлері, әртүрлі интерфейстер контроллерлері және т.б. кіреді [76].

Өз кезегінде БМК-ні келесілерге бөледі:

- 1) перифериялық (интерфейстік) БМК, қарапайым МП басқару жүйесін жүзеге асыруға арналған. Аз өндіру қабілетіне және кіші габариттік өлшемдерге ие.
- 2) әмбебап 8-разрядты БМК, орта және кіші өнімділікті МП жүйесін жүзеге асыруға арналған. Қарапайым командалар жүйесі және қондырылған құрылғылардың үлкен номенклатурасы бар.
- 3) әмбебап 16-разрядты БМК, орта өнімділікті, нақты уақыт жүйелері үшін арналған. Командалардың құрылымы мен жүйесі сыртқы құбылыстарға жедел әрекет етуге бағытталған. Электр қозғалтқыштарды автоматты басқару жүйесінде көп қолданысқа ие.
- 4) арнайы 32-разрядты БМК, жоғары өнімділікті ARM (Advanced RISC-machine) архитектурасын жүзеге асырады және телефония, ақпарат беру, телевидение және басқа да ақпаратты жоғары жылдамдықта өңдеуді қажет ететін жүйелерге арналған.
- 5) сандық сигналдық процессорлар (DSP – Digital Signal Processor) нақты уақыт режимінде, өлшенетін сигналдарды күрделі математикалық өңдеу үшін арналған.

3.5.3 Басқару жүйелері үшін микропроцессорлық құрылғының жалпы құрылымы

Микропроцессорды қолдану ауқымына орай оған қойылатын талаптар өзгереді, осыған байланысты өзара функционалды құрылымдық ерекшеліктері бойынша айырмашылықтары бар бірнеше негізгі класстар анықталды, олардың ішінде келесілерін ерекше атап өтуге болады [75]:

- RISC процессорлары (Reduced Instruction Set Computer – командаларды теру қысқартылған компьютер);
- CISC процессорлары (Complicated Instruction Set Computer – командаларды толық теру бар процессорлар);
- сигналдық микропроцессорлар;
- микроконтроллерлер.

Теру командалары қысқартылған процессорларда команданы кодсыздандыру және орындау аппаратты іске асады, сондықтан командалар саны минималды терумен шектелген. Процессордың бұл типінің артықшылығы, команда бір ырғақ ішінде орындалуы мүмкін (микропрограмманы орындау қажет емес).

Командаларды толық теруі бар процессорларда микропрограммалау деңгейі микропроцессор командасын кодсыздандыру және орындау үшін қолданылады. Бұл процессорларда команда форматы процессор

аппаратурасына тәуелді болмайды. Микропрограмманы ауыстыру кезінде, бір аппаратурада түрлі микропроцессорлар жүзеге асырылуы мүмкін. Мұндай процессорлардың кемшілігі-микросхема өндірушілер, түгелдей микропрограмманың күрделілігін ұлғайта және әр команданы орындауды тежей отырып, микропроцессор орындай алатын командалар санын көбейтуге тырысады.

Қазіргі кезде сигналды микропроцессорлар класында негізгі өндірушілері Intel, Texas Instruments, Analog Devices, Motorola, NEC, Schneider Electric болып табылатын MCSR, TMS, DSP кең танылған, олар негізінде нақты уақытта сигналдарды емес, оқиғаларды тиімді өндеуге арналған.

Ішкі құрылымы бойынша микропроцессорларды құрудың екі негізгі принципі бар [77]:

- Гарвард архитектурасы;
- Фон–Нейман архитектурасы (Принстон архитектурасы).

Гарвард архитектурасында жадының екі түрі бар:

- программалар жадысы;
- мәліметтер жадысы.

Гарвард архитектурасында программалар жадысына жазу операциясын жүргізу мүмкін емес, ол өз кезегінде, мәліметтермен дұрыс жұмыс жасамаған жағдайда басқарушы программаның байқаусызда бұзылу мүмкіндігін жоққа шығарады.

Гарвард архитектурасы аппаратура жұмысының жоғары сенімділігін қамтамасыз ету талап етілетін микроконтроллерлерде және бұл архитектура құрылғылардың жоғары жұмыс сенімділігін қамтамасыз етуден бөлек, басқарушы командалар мен өңделетін мәліметтерді бір уақытта санау есебінен программаны орындаудың жоғары жылдамдығын, оған қоса алынған нәтижелерді мәліметтер жадысына жазуды қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін сигналды процессорларда қолданылады. Заманауи 8-разрядты МК өндірушілердің көбісі гарвард архитектурасын қолданады.

Фон-Нейман архитектурасының ерекшелігі – басқарушы программалармен дәл мәліметтермен секілді жұмыс істеу мүмкіндігі болып табылады. Бұл, басқарушы программаларды, осы құрылымда программа жадысы мен мәліметтер жадысы болып бөлінбейтін процессор жадысындағы еркін таңдалған орынға жүктеу және босатуды жүргізуге мүмкіндік береді. Жадының кез-келген телімі программа жадысының да, мәліметтер жадысының да қызметін атқара алады. Сонымен бірге, әртүрлі уақыт моментінде жадының бір ғана ауқымы программалар жадысы ретінде де, мәліметтер жадысы ретінде де қолданыла алады.

Командалар жүйесі бойынша микропроцессорлар, өндіруші-фирмаға байланысты, әртүрлілігімен ерекшеленеді [77]:

- аккумуляторлы микропроцессорлар;
- жалпыға арналған регистрлері бар микропроцессорлар.

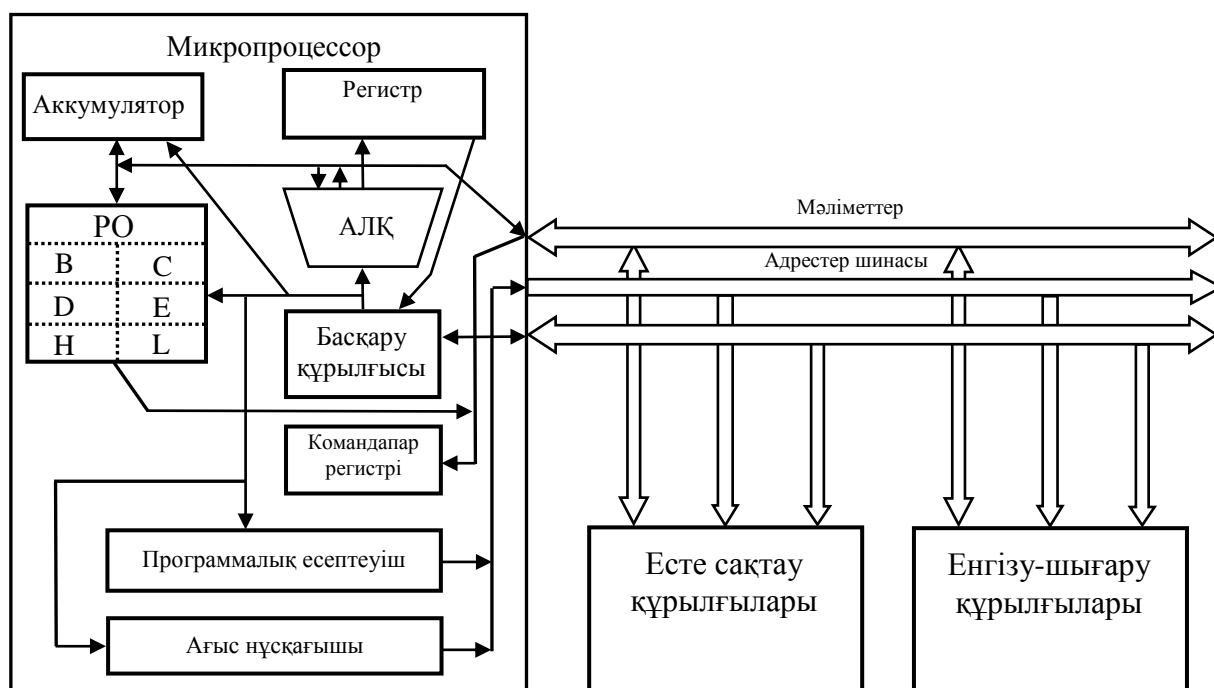
Аккумуляторлы процессорлардың принципалды ерекшелігі, математикалық операциялар тек қана жадының ерекше ұяшығы-

аккумуляторларға ғана орындала алады. Жадының еркін ұяшығына операция жүргізу үшін оның ішіндегілерді аккумуляторға көшіріп, қажет операцияны орындап, содан соң барып алынған нәтижені жадының еркін ұяшығына көшіру қажет.

Жалпыға арналған регистрлері (ЖАР) бар микропроцессорларда математикалық операциялар жадының кез-келген ұяшығына орындала алады. Операцияның типіне байланысты команда бір адресі, екі адресі немесе үш адресі болуы мүмкін.

Қазіргі кезде таза күйінде, белгілі-бір командалар жүйесі жоқ, қазіргі уақытта шығарылып жатқан барлық процессорлар аккумулятор процессорларына да, жалпыға арналған регистрлері бар микропроцессорларға да тән командалар жүйесіне ие.

3.9-суретте микропроцессорлық жүйенің жалпы құрылымдық схемасы келтірілген.



3.9-сурет – Микропроцессорлық жүйенің құрылымдық схемасы

Микропроцессорлық жүйеде классикалық электронды есептеу машинасы-компьютердің жұмысын ұйымдастыру принциптері мен архитектурасының ерекшеліктері қолданылады. Орталық процессор (микропроцессор) барлық қажетті мәліметтерді, соның ішінде программаның өзінің кодтарын да енгізіп-шығаруды және түрлендіруді жүзеге асырады және жүйенің барлық элементтерінің өзара әсерлесуін басқарады. Программаның мәліметтері мен кодтарын сақтау үшін микропроцессорлық жүйе есте сақтау құрылғысына ие. Таңдалған мәліметтерге кіру адресация құралдары арқылы жүзеге асырылады. Сақталатын мәліметтердің әрбір элементіне, есте сақтау құрылғысындағы адрес деп аталатын белгілі-бір сақтау коды сәйкес келеді. Мәліметтерді енгізу-шығару процедуралары

берілген микропроцессор үшін стандартты алгоритмдермен жүзеге асырылады. Микропроцессор мен басқа құрылғылар арасындағы сигнал беру жиі шиналармен ұйымдастырылады. Мәліметтер шинасы (МШ) бойымен қажетті мәліметтер беріледі, адрес шинасы (АШ) мәліметтер алмасуына қатысатын құрылғыларды таңдау қызметін атқарады, ал басқару шинасы (БШ) басқарушы сигналдарды беру үшін қажет. Микропроцессордағы қандай да бір әрекет есте сақтау құрылғысынан (жадыдан) кезекті команданың кодын оқудан және оны командалар регистріне енгізуден басталады. Микропроцессордың командалар регистріне келіп түскен команда коды басқару құрылғысы сигналдарымен БШ арқылы микропроцессордың ішкі элементтерінің, сондай-ақ микропроцессор жүйесінің басқа да құрылғыларының қажетті функцияларын анықтайды. Мәліметтерді түрлендіру операциялары арифметика-логикалық құрылғы – АЛҚ-мен іске асырылады. Кірістік айнымалыларды да, түрлендіру нәтижелерін де сақтау үшін микропроцессор құрамында регистрлер: регистр-аккумулятор және жалпыға арналған регистрлер (ЖАР) бар. Операцияны орындау тәртібі программалық есептеуішпен орындалады [78].

3.5.4 Көпқозғалтқышты электржетектерде қолданылатын микропроцессорлық құралдар мен жүйелер

Үздіксіз даму мен жаңадан 16- және 32-разрядты микроконтроллерлер мен микропроцессорлардың пайда болуына қарамастан, әлемдік микропроцессорлық нарықтың көп үлесі 8-разрядты құрылғыларда қалып отыр, бұл ең алдымен, баға саясатын ескере отырып, орындау қажет техникалық сипаттамалар мен тапсырмалар саны 8-разрядты микроконтроллерлермен шешіле алатынымен шартталады. Заманауи 8-разрядты микроконтроллерлерді өндірушілерді таңдау мүмкіндігі айтарлықтай кең, бұған қарамастан атақты және кең таралған микроконтроллерлердің процессорлық ядросының архитектураларын ерекше атап өтуге болады: MCS-51, PIC, HC68, ARM, AVR [78–80].

Сандық микросхемалар интеграциясының өсу деңгейі, қазіргі кезде бір кристаллда орындалған микроконтроллерлердің пайда болуын анықтады. Мұндай контроллерлердің кристаллында, микропроцессордан бөлек, жады модулі, интерфейстік схемалар және уақыт санауыш орналасқан. Іс жүзінде, мұндай контроллерлер – аз өнімділікті бір кристаллды ЭЕМ. Бір кристаллды МК негізінде микропроцессорлық жүйелерді жасау-объектімен жанасу құрылғысын және программалық қамтамасыз етуді жасауға келіп тіреледі. Бір кристаллды МК басқару жүйесі, программалық тармақталудың ішінде басқару мақсатына және біріншілік түрлендіргіштер күйіне сәйкес үлкен көлемдегі күрделі басқару жүйесін ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Электржетекті микропроцессорлы басқару деп тек қана күштік түрлендіргіштің (инвертордың және басқарылатын түзеткіштің, егер ол бар болса) әрбір кілтмен микроконтроллерден тікелей басқаруды ғана емес, сондай-ақ микроконтроллер ішіндегі программалық-аппаратты өңдеуі бар

түрлі кері байланыс сигналдарын (сигнал типіне тәуелсіз: дискретті, аналогты немесе импульсті) микроконтроллерге тікелей енгізу мүмкіндігін қамтамасыз етуді де түсінеді. Осылайша, тікелей сандық басқару жүйесі қосымша интерфейстік платалардың едәуір санынан бас тартуға және жетектерді басқарудың бір платалы контроллерлерін жасауға бағытталған.

Жетектерді басқару құрылымының қиындауы орталық процессор өнімділігін тез арада көтеруді және нақты уақытта сандық реттеу есептерін шешуге бейімделген объектілі-бағытталған командалар жүйесі бар арнайы процессорларға көшуді талап етті. Бірқатар фирмалар (Intel, Motorola, Texas Instruments, Analog Devices, Atmel Corporation, Schneider Electric және т.б.) сигналдарды өңдеуге арналған процессорлар негізінде қозғалтқыштарды басқару үшін жаңа микроконтроллерлер- DSP-микроконтроллерлерін нарыққа шығарды (Motor Control сериясынан). Олар орталық процессордың қажетті өнімділігін (20 млн.оп./сек. астам) қамтамасыз етіп қана қоймай, контроллерді инверторлармен және кері байланыс датчиктерімен оңтайлы қосуға арналған бірқатар орнатылған перифериялық құрылғыларға да ие. Орнатылған периферияның ішінде, инверторларды басқарудың ең заманауи алгоритмдерін, атап айтқанда, векторлық ендік-импульсті модуляция алгоритмдерін қамтамасыз ететін периодты сигналдардың әмбебап генераторлары ерекше орын алады [72].

Болашағы зор, электржетектерді басқару жүйелері технологиялық процестерді кешендік автоматтандыруға және өнеркәсіптік желі құрамындағы бірнеше жетектердің синхронды жұмысына бағытталып жасалады. Желіні басқаруды өнеркәсіптік контроллер немесе басқарушы ЭЕМ өзіне алады.

Соңғы жылдары ЭЖ-ның барлық координаталарын тікелей микропроцессорлық және жекелей шалаөткізгішті түрлендіргіштермен басқаруға (тіпті күштік аспаптарға шығуға дейін) көшу ағымы пайда болды. Мұндай қатынас басқару құралдарына қойылатын негізгі талаптарды анықтады. Талдау көрсеткендей, микроЭЕМ тез әрекеттілігі жеке электржетектерде секундына 400 – 500 мың операциядан, ал көпқозғалтқышты электржетектерде 3-4 млн-нан кем болмауы керек.

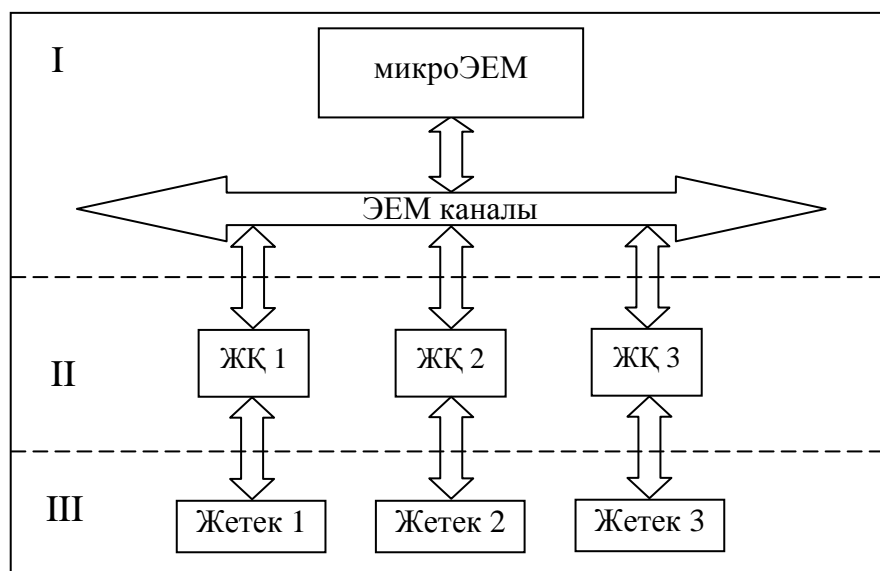
Микропроцессор құралдарының жетістігі жаңа, жетілдірілген басқару әдістерін жасауға мүмкіндік береді. Әртекті адаптивті жүйелерді құрудың бірқатар принциптерін жүзеге асыру, көп объектіні басқарудың ерекшеліктерін ескеру, энергия үнемдеуші жүйелерді жобалау, ЭЖ динамикалық сипаттамаларын жоғарылату үшін алгоритмдерді жетілдіру және реттеу диапазонын кеңейту мүмкіндігі пайда болды.

Осылайша, синхронды айналымды көпқозғалтқышты асинхронды электржетектің ақпаратты өңдеу және параметрлерді бақылау құрылғыларының басқарушы блоктарына қойылатын негізгі талаптарға мыналарды жатқызуға болады [81]:

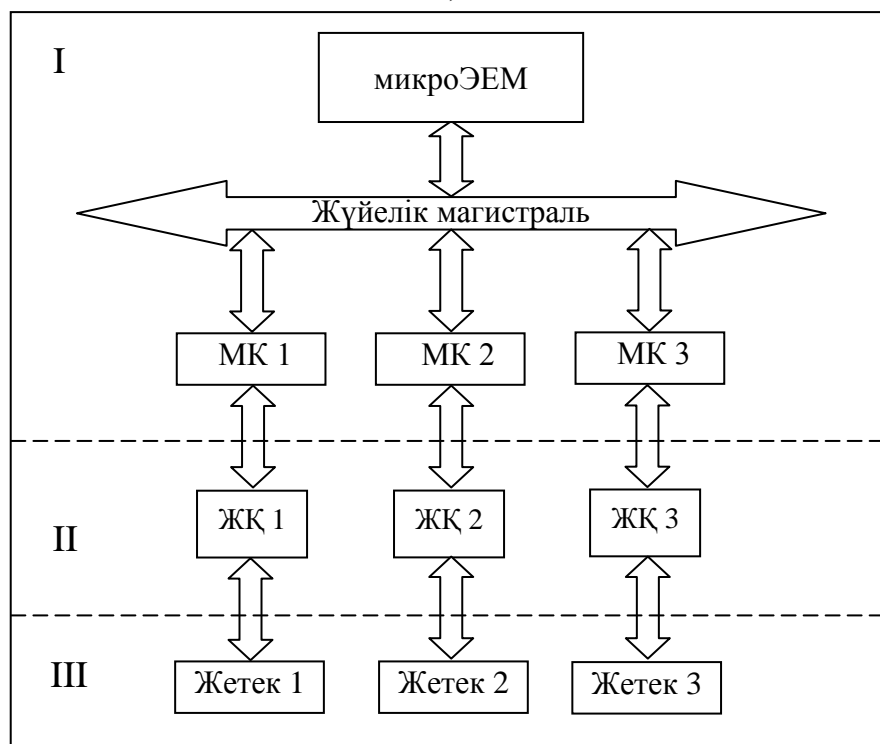
- жоғары тез әрекеттілік;
- жоғары сенімділік;
- құнының төмендігі;

- аз энергия тұтыну;
- қатаң жағдайларда жұмыс істеу қабілеті;
- шағындандырудың жоғары деңгейі;
- әмбебаптылық.

3.10-суретте бір микроЭЕМ-ы бар (а), сондай-ақ көп санды микроЭЕМ-ы бар (б) микропроцессорлы басқарылатын көпқозғалтқышты электржетектердің құрылымдық жүзеге асырылуы келтірілген.



а)



б)

3.10-сурет – Есептеуіштік-логикалық блоктың құрылымдық ұйымдастырылуы:

ЖҚ – жанастыру құрылғысы, МК – микроконтроллер,
I – есептеуіштік-логикалық блок,
II – жетекпен жанасу блогы,
III – орындаушы механизм.

Көпқозғалтқышты электржетектер үшін микропроцессорлық басқару бір микроЭЕМ-мен, немесе микроЭЕМ-нан жалпы басқарылатын бірнеше микроконтроллерлермен жүзеге асырылуы мүмкін. Жоғары реттелімді көпқозғалтқышты электржетектерді қолданатын, заманауи технологиялық процестерді автоматтандырудың дамуы жалпы микропроцессорлы басқарылатын бірнеше микроконтроллерлерді қолдануды талап етеді. Оған қоса, есептеуіш-логикалық блоктың архитектурасы көп дәрежеде жүйені жеке иерархиялық деңгейлер мен деңгей асты бөліктеріне бөлуге жақындап келеді. Синхронды айналымды көпқозғалтқышты асинхронды электржетекті микропроцессорлы басқару жүйелерін құрудың әртүрлі мүмкін нұсқаларының ішінде екі типтік құрылымды ерекше бөліп қарастыруға болады, біріншісі – әрбір электржетекті басқару үшін автономды микропроцессорлы модуль (микроконтроллер) бөлінеді, ал басқарудың жоғары деңгейіндегі есептерді шешу орталық микроЭЕМ құзырына қалады, екіншісі – микроконтроллер бір емес, бірнеше электржетектерді басқарады.

Орталықсыздандырылған басқарудың артықшылығы, орталықтандырылған басқару жүйелерімен салыстырғанда нақты уақыт өлшемінде күрделірек есептерді шешу есебінен есептеу процесін бейпараллельдеу, басқару жүйесінің мүмкіндіктерін кеңейту болып табылады.

Жасалған СА КҚАЭЖ-ларды ары қарай микропроцессорлық жүзеге асыруда есептеуіш-логикалық блоктың құрылымдық іске асырылуының барлық үш нұсқасы да қолданылатын болады .

3.6 Тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін микропроцессорлық басқару

Бірнеше қозғалтқыштар роторларының орналасуларының келіспеушілігін реттеу дәлділігінің жоғарылауы электржетектерінде сандық микропроцессорлық техниканың кең қолданылуына алып келді. Электржетектерін басқару үшін, басқарылатын қозғалтқыштармен байланысты қамтамасыз ететін қажетті перифериялық құрылғылары бар сериялық шығарылатын әмбебап микро-ЭЕМ-ге негізделген микропроцессорлық жүйелерді қолдануға болады. Синхронды айналымды көпқозғалтқышты электр жетегін ары қарай жетілдіру ретінде оларды микропроцессорлық жүзеге асыру ұсынылады. Микропроцессорлық техника мен микро-ЭЕМ-ді, бірнеше кинематикалық байланыспаған жұмыс органдарының синхронды қозғалысын басқару күрделілігімен сипатталатын көпқозғалтқышты өзара байланысқан электр жетегінде қолдану тиімді әрі болашағы зор болып көрінеді. Бұған қоса, басқару жүйесі, күрделі

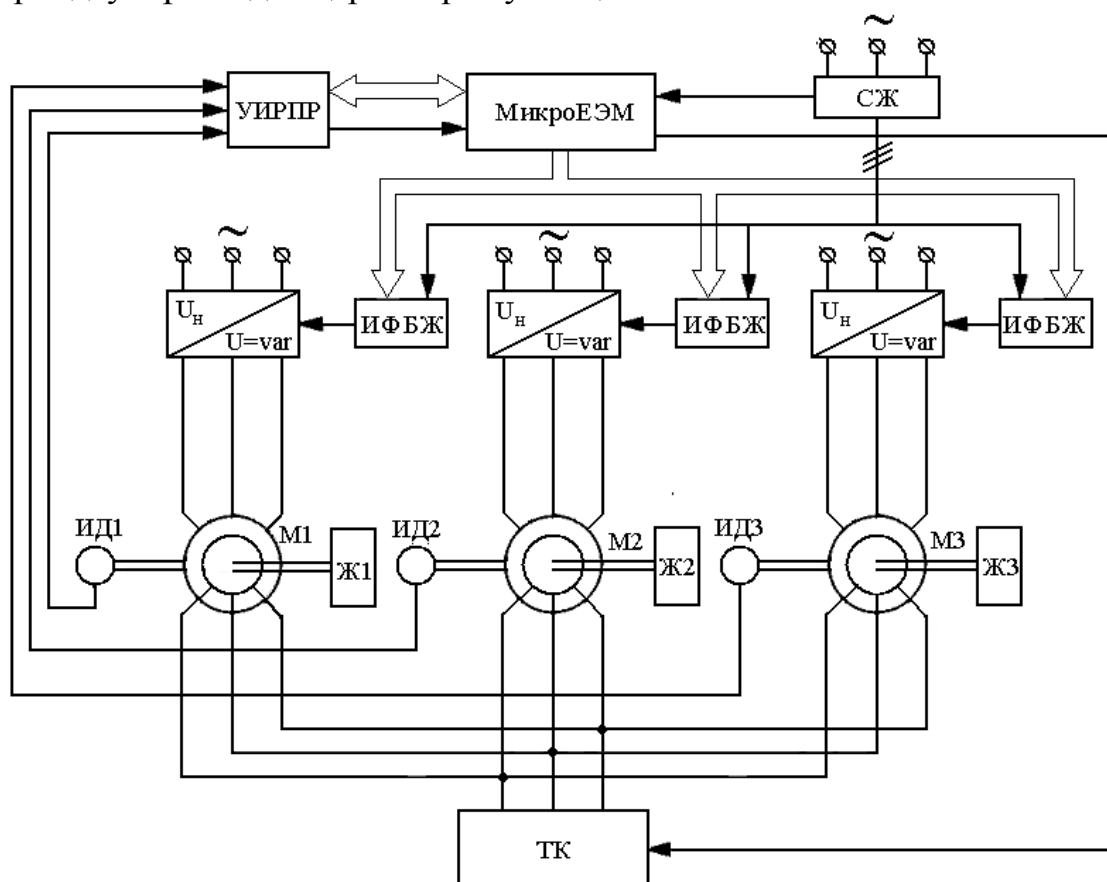
электржетектерді жасау кезінде маңызды болып табылатын жоғары тез әрекеттілікке, сенімділікке және төмен энергия сыйымдылыққа ие [82].

Жұмыс механизмдерінің синхронды-синфазды айналуын қамтамасыз ететін микропроцессорлы басқарылатын ТКТ КҚАЭЖ жасалған [83-84].

3.6.1 Ротор тізбегінде электрлік байланысы бар көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегін микропроцессорлы басқару жүйесін жасау

3.11 суретте жасалған микропроцессорлы басқару жүйесінде негізгі басқарушы орган бір кристаллды микро-ЭЕМ (БМЭЕМ) КМ1810ВМ86, және де сандық ИФБЖ мен ротор қалыбы келіспеушілігін өлшеу құрылғысы (РҚКӨК) ретінде қолданылатын қосымша бес программаланатын КР580ВИ53 типті уақыт санауыштар болып табылады [83].

Жүйе іске қосар алдында қозғалтқыштардың алдын-ала синхрондауын, баяу іске қосуды және синхронды тежеуді қарастырады. Алдын-ала синхрондау, қозғалтқыштың статор тізбектерінің екі аттас фазаларындағы тиристорларды толық ашумен іске асады. Бұл кезде роторлар бірдей бұрыштық синфазалық күйге келтіріледі. Қажет болған жағдайда, үш сатылы синхрондау мүмкіндігі қарастырылуы ықтимал.



3.11-сурет – Ротор тізбегінде электрлік байланысы бар көпқозғалтқышты асинхронды электржетектің микро-ЭЕМ қолданылған функционалдық схемасы

Баяу іске қосу жалпы ротор тізбегіне қосылған түзеткішпен жүзеге асырылады. Баяу іске қосудың ұзақтығы мен қарқындылығы, басқарушы импульстардың ұңғымалығын өзгерту арқылы транзисторлы-оптронды кілтпен реттеледі.

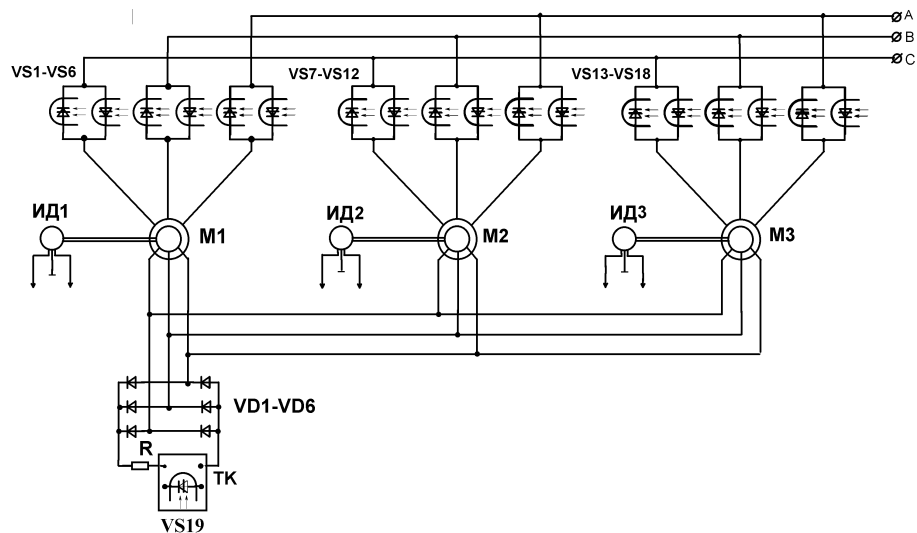
Синхронды тежелу қозғалтқыштың статор тізбектерін симметриясыз қоректендірумен (бұл кезде қосылған фаза тиристорлары толығымен ашық) және жалпы ротор тізбегінің максималды кедергісімен жүреді. Жоғарыда суреттелген қозғалтқыштардың жұмыс режимдері мен айналу жылдамдығын синхронды реттеу (әртүрлі жүктемеде қолдану кезінде) жылдамдық және бұрыштық келіспеушілік бойынша кері байланыстар көмегімен микро-ЭЕМ-мен жүзеге асырылады.

ЭЕМ көмегімен көпқозғалтқышты электржетекті синфазалы басқаруды іске асыру үшін, айнымалылар мен басқаруды өлшеу алгоритмдерін жүзеге асыратын, түрлендіргішті қоректендіретін желінің кернеуінің өзгерісі бар есептеу процестерінің қатаң синхрондалуы қажет.

Синхрондау жүйесі, кернеу таңбасы терістен оңға ауысқан кезде нөлдік мән арқылы синхрондаушы импульстарды вентилятордың анодтық кернеуінің бірінші гармоникасына өту моменттеріне қалыптастыруы тиіс. Сондықтан жасау кезінде аз қуатты үшфазалы трансформаторда, К597СА3 типті компараторларда, сәйкесінше К555ТМ2 және К555ЛП5, К155ЛН1 триггерлері мен логикалық элементтерінде жүзеге асырылған үш каналды синхрондау жүйесі (СЖ) қолданылған. Алынатын синхроимпульстар, үзу режимін қамтамасыз ету үшін, бір уақытта микро-ЭЕМ кірісіне және ИФБЖ-ға келіп түседі.

ИФБЖ-ның негізгі функциясы тиристорлармен басқару импульстарының есептік кешігу уақытын оның ерікті ашылу моментіне қатысты жүзеге асыру және әр 3,3 мс сайын кезектесіп отыратын синхроимпульстармен туған, үзу режимінде ЭЕМ басқаратын КР580ВИ53 уақыт санаушының негізінде іске асырылатын фазалық басқару болып табылады. Уақыт санаушының есептегішінде басқару импульсінің ұстап тұру уақытына сәйкес келетін санның коды жазылады. Берілген импульстарды санап болғаннан кейін, уақыт санаушының шығысында, К555ЛИЗ логикалық элементтері және оптронды элементтері бар буферлі қуат күшейткіштері арқылы тиристордың басқарушы электродына (немесе оптотиристордың басқарушы электродтарына) келіп түсетін импульс қалыптасатын сигнал өндіріледі.

3.12-суретте микропроцессорлы басқарылатын көпқозғалтқышты электр жетегі схемасының күштік бөлігі бейнеленген.

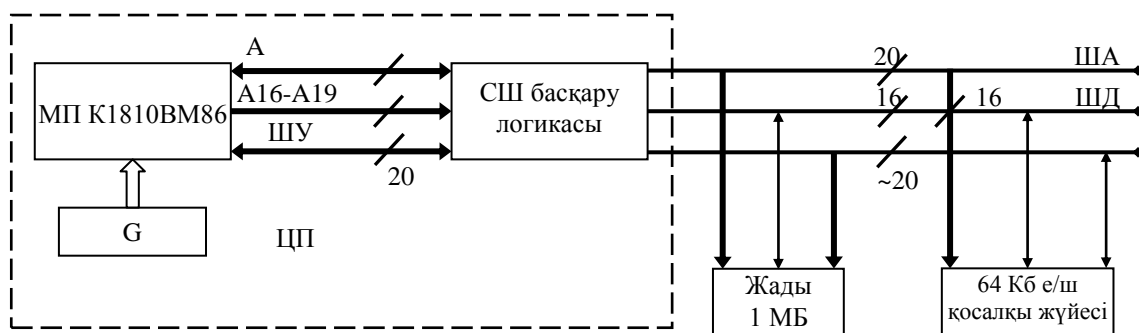


3.12-сурет – Микропроцессорлы басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі схемасының күштік бөлігі

Күштік бөлік пен микропроцессорлы басқару жүйесінің гальваникалық айырығы үшін, асинхронды қозғалтқыштардың статор тізбектеріне қосылған оптронды тиристорлар қолданылады. Жылдамдық пен біліктің бұрыштық орын ауыстыруын өлшеу импульсті датчик (ИД_{1,2,3}) көмегімен іске асады. Импульсті орын ауыстыру датчигі біліктің бұрылу бұрышын, уақыт санауыштың кірісіне және барысында, микро-ЭЕМ роторлар қалыбының келіспеушілігін есептеуді және статор тізбектерінде тиристорлы түрлендіргішті үш асинхронды қозғалтқыштың синхронды айналуын жүзеге асыратын уақыт ұстауды жүргізетін, логикалық элементтерде іске асырылған схемалық таймердің кірісіне берілетін, өзіне пропорционал импульстар санына түрлендіреді.

3.6.2 Ротор тізбегінде электрлік байланысы жоқ көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін микропроцессорлы басқару жүйесін жасау

Құрылымдық схемасы 3.13-суретте көрсетілген, бір кристаллды микро-ЭВМ КМ1810ВМ86 жасалған микропроцессорлы басқару жүйесінің негізгі элементтерін қарастырамыз.



3.13-сурет – МП КМ1810ВМ86 негізіндегі микрожүйелер құрылымы

КМ1810ВМ86 – бір кристаллды 16-разрядты, регистрлік командаларды орындау кезінде тез әрекеттілігі 2,5 млн. операция/сек. дейін жететін және сыйымдылығы 1 Мбайт-қа дейінгі жадыны және сыйымдылығы 64 кБайт-қа дейінгі енгізу/шығару құрылғыларын тікелей адресациялау мүмкіндігін қамтамасыз ететін МП [79]. Ол тиристорлы кернеу түрлендіргіштері бар көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегін микропроцессорлы басқару жүйесінің орталық процессоры ретінде жасалған және оны 580 сериялы жиынтықтың МП ҮИС бірге қолдануға болады. Командалардың жалпы саны 135-ке тең. Жадыға орналастырылған операндтардың адресін табу үшін адресацияның 24 режимін, оның ішінде делдалсыз, тікелей, регистрлі, жанама регистрлі, салыстырмалы регистрлі, базалық индексті, салыстырмалы базалық индексті режимдерді қолданады. МП ішкі, программалық және сыртқы үзулерді өңдеудің иілгіш құрылғылар құрылымына ие. Үзу типтерінің максималды саны 256-ны құрайды.

К1810 микропроцессорының архитектурасы 16/16/20 құрылымын құрайды, яғни 16-разрядты мәліметтер мен басқару шинасы және 20 разрядты адрес шинасы бар. Берілген микропроцессор 30000 транзистордан тұрады, 1,75 Вт тұтынады және 5 МГц жиілікпен жұмыс істейді.

Көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегін жүзеге асыру схемасының күрделенуіне байланысты берілген микропроцессор көп процессорлы режимде жұмыс істейді. Бұл кезде басқарушы сигналдар жүйелік шина контроллерін немесе шина арбитрін қолданумен қалыптасады.

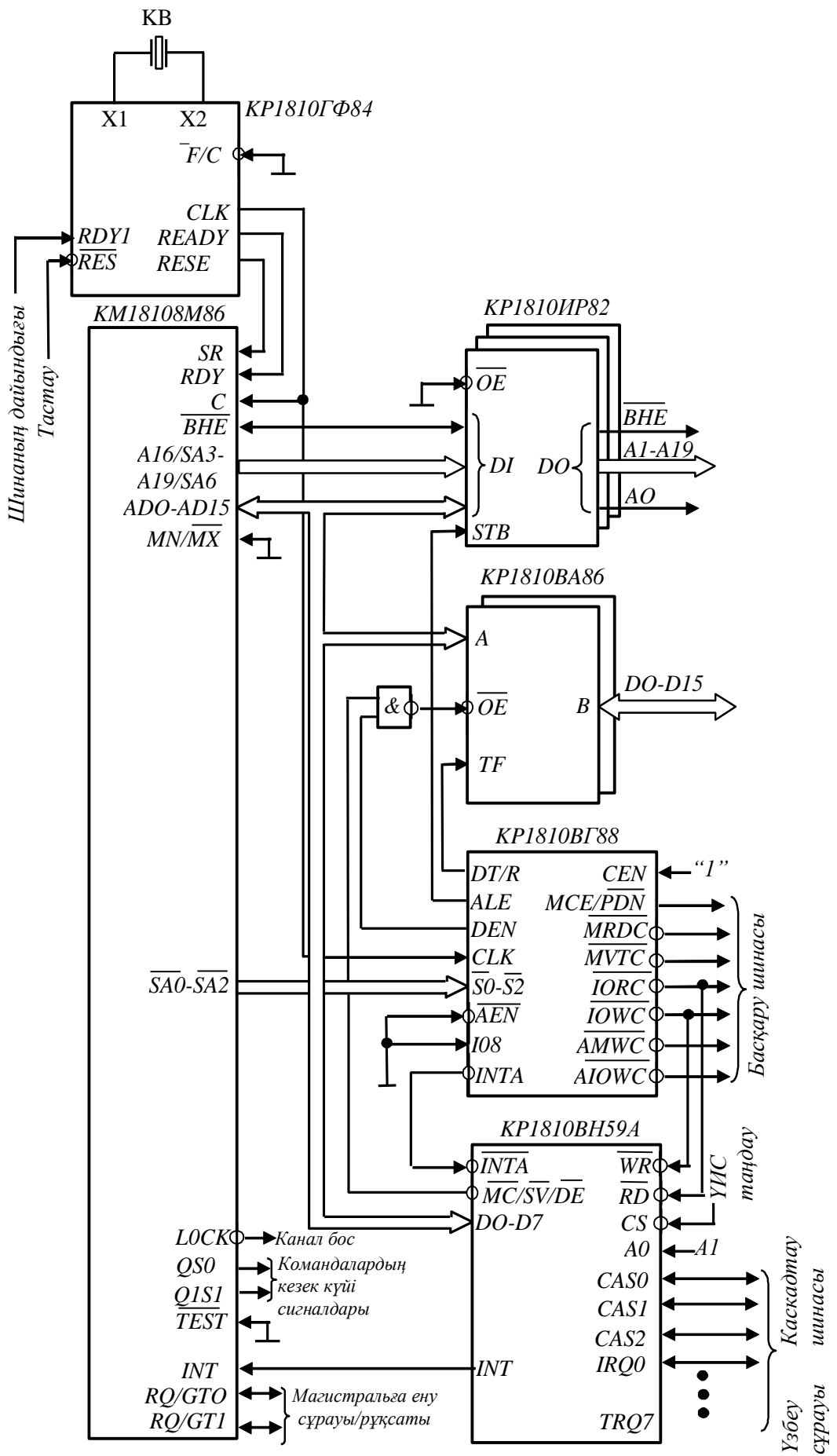
МП жобалау үшін екі құрылғы бөледі:

- 1) жанасу құрылғысы (ЖҚ);
- 2) операциялық құрылғы (ОҚ).

ОҚ нұсқалған команда операцияларын орындау үшін қажет. Бұл құрылғының құрамында 16-биттік АЛҚ, ЖАР-лар және сигналдарды қалыптастыру үшін байрақша регистрлері бар. ЖҚ кезекте сақталатын командаларды оза таңдауға және қосындағышты қолданып, командалар мен мәліметтердің физикалық адресін қалыптастыруға арналған, және де оның құрамында CS, DS, ES, SS сегментті регистрлері мен IP команда нұсқағышы бар.

3.14-суретте *MN/MX* шығысы “0” шинасына қосылған КМ1810ВМ86 МП максималды режим схемасы көрсетілген.

Берілген схемада КМ1810ВМ86 МП максималды режимге арналып шығарылған [84]. Мұндай МП жүйеде каналды басқару функциясын өзіне жүйелік шина контроллері (ЖШК) КР1810ВГ88 алады, ол МП-дан келіп түсетін SA0-SA2 күйінің үш сигналын дешифрлейді және басқару сигналдарының кеңейтілген жиынтығын: *IROC*, *IOWC*, *MRDC*, *MWTC*, *AIOWC*, *AMWC* және *INTA* береді. *INTA=0* шығыстық сигналы сыртқы құрылғыдан үзу сұрауы сигналын өңдеуді бастау моментін анықтайды. *CLK* кірісі ЖШК және МП әрекеттерін синхрондауға мүмкіндік береді.



3.14-сурет – KM1810BM86 МП максималды режимі

LOCK шығыстары, *RQ/GTO* және *RQ/GTI* сызықтары МП-ның сыртқы құрылғылармен өзара әсерін ұйымдастыру қызметін атқарады. QSO және QSI сигналдары МП-ға қатысты сыртқы жүйеге кезек күйін сұрауға және ағымда орындалып жатқан команданы анықтауға мүмкіндік береді. ТКТ КҚАЭЖ МП басқару жүйесінің өнімділігін өндіру қажет болса, негізгі МП КМ1810ВМ86 қатар қосалқы арифметикалық сопроцессор қолданылады. КМ1810ВМ87 сопроцессор сөздің ұзындығы 2-ден 10 байтқа дейінгі кезде жүзбелі үтірі бар бүтін сандар операциясын орындайды (қосу, алу, көбейту, бөлу). МП КМ1810ВМ87-нің МП КМ1810ВМ86-мен параллельді жұмыс істеуі үшін қос процессордың да аттас шығыстары бір-біріне жалғанады (ШДТ және ЖШК шығыстары).

3.1-кестеде 14 микросхемадан тұратын микропроцессордың құрамы келтірілген [39]:

3.1-кесте – Микропроцессорлық МПК УИС К1810 құрамы

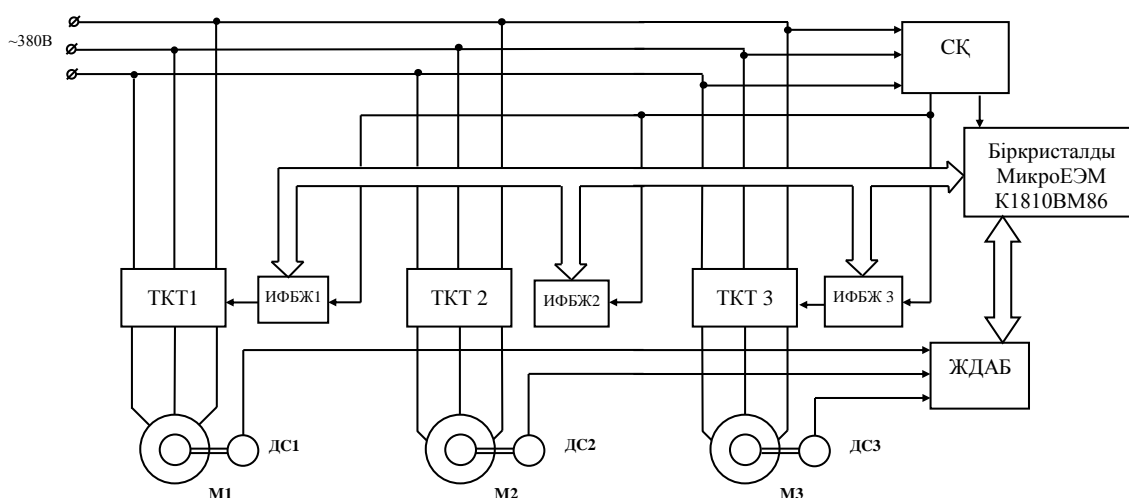
№ п/п	УИС типі	Аналог	Тағацындалуы	Технология
1	К1810ВМ86	i8086	Орталық процессор CPU	n-МОП
2	К1810ВМ87	i8087	Арифметикалық сопроцессор	n-МОП
3	К1810ВМ88	i8088	8-биттік мәліметтер шинасы бар МП	n-МОП
4	К1810ВМ89	i8089	Енгізу/шығару арнайы процессоры	n-МОП
5	К1810ГФ84	i8284	Ырғақты импульстер генераторы	ТТЛШ
6	К1810ВГ88	i8288	Жүйелік контроллер	ТТЛШ
7	К1810ВБ89	i8289	Жүйелік шина арбитрі	ТТЛШ
8	К1810UP82	i8282	Қысқыш-регистр	ТТЛШ
9	К1810ВА86	i8286	Шиналық қалыптастырғыш	ТТЛШ
10	К1810ВН59А	i8259А	Программаланатын үзу контроллері	n-МОП
11	К1810ВТ37	i8237	ПДП контроллері	n-МОП
12	К1810ВU54	i8254	Уақыт санауыш	n-МОП
13	К1810ВВ51	i8251	Программаланатын байланыстырушы адаптер	n-МОП
14	К1810ВВ55	i8255	Программаланатын перифериялық адаптер	n-МОП

К1810 сериясы i8086/88 микропроцессорының толық аналогы болып табылады [40].

Берілген ТКТ КҚАЭЖ автоматты басқару жүйесінде программаланатын уақыт санауыштар пайдаланылады. Олардың көмегімен тиристорларды басқару бұрышын есептеу жүзеге асырылады, уақыт есептеуіштің жадысына жазылатын, берілген мәндерге сәйкес уақыт аралығын бөліп шығарады. Мұнда машиналық уақыт шығынын азайту мақсатында, программаланатын

уақыт санауыш ақпараттарын синхронды әдіспен іске асырған жөн. Уақыт санауыштың екі типін ажыратады: алдын-ала сигнал жинақтаумен және алдын-ала сигнал жинақтаусыз. Алдын-ала сигнал жинақтайтын уақыт санауышта өлшенетін уақыт аралығы ұзақтығына сәйкес келетін ақпарат осы аралықты есептеудің басында ғана жазылады, әр есептік импульс сайын уақыт есептеуіш құрамы бірлікке кеміп отырады. Уақыт санауыштың іші нөлге тең болғанда, оның шығысында перифериялық құрылғыларды басқару немесе ЭЕМ программасын үзуге қолданылатын сигнал пайда болады. Алдын-ала сигнал жинақтаусыз уақыт санауышта ақпарат уақыт аралығының ішіне еркін уақыт моментінде жазыла алады, оған қоса аралықтың берілген мәннен үлкен, кіші немесе оған тең екендігін ескертетін сигнал берілуі ықтимал. Бұл уақыт санауыштың кемшілігі бірінші типтегі уақыт санауышпен салыстырғанда қымбаттылығы болып табылады. Жасалып жатқан жүйеде ИФБЖ рөлін КР580ВИ53 микросхемасы – нақты уақыт режимінде микропроцессор жүйелерінің жұмысын ұйымдастыруға арналған үш каналды программаланатын құрылғы (уақыт санауыш) ойнайды. Микросхема әртүрлі уақыт параметрлері бар сигналдарды қалыптастырады. Программаланатын уақыт санауыш (ПУС) ортақ басқару схемасы бар үш тәуелсіз 16-разрядты каналдар түрінде орындалған. Әр канал алты режимде жұмыс істей алады. Каналдардың жұмыс режимін программалау канал режимдері регистрлеріне басқарушы сөздерді, ал есептегіштерге-программаланған байт сандарын енгізу жолымен іске асады. Басқарушы сөз каналдың жұмыс режимін, санау типін (екілік немесе екілік-ондық), сандар форматын (бір- немесе екі байтты) анықтайды. Микропроцессормен ақпарат алмасу 8-разрядты, екі бағытты мәліметтер каналы бойынша жүзеге асады. Каналдар синхрондауының жиілігі $0 \div 5$ МГц.

3.15 суретте жиі іске қосылатын және тежелетін механизмдер үшін жасалған функционалдық схема көрсетілген [85].



3.15-сурет – Синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің функционалдық схемасы

Фазалы роторлы асинхронды қозғалтқыштардың орнына роторы қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыштар қолданылады. Оған қоса, бұрынғы схемадағы жалпы ротор кедергісі жойылады, қозғалтқыштар желдеткіштікті жақсарта отырып, қалыпты жұмыс режимі кезінде табиғи механикалық сипаттамаға көшеді. Жүйе қозғалтқыштары сипаттамаларының тұрақтылығы мен қатаңдығы роторы қысқа тұйықталған АҚ қолдану есебінен жоғарылаған. Айналу синхрондылығы қозғалтқыштың статор тізбектері бойынша, тиристорлы кернеу түрлендіргіштерімен берілетін энергия көлемін реттеу арқылы ұстап тұрылады. Тиристорларды импульсті-фазалық басқарудың сандық жүйелері және қозғалтқыштың айналу жылдамдығын салыстыру блогы КМ1816ВЕ48 немесе К1810ВМ86 орталық процессорларында орындалған бір кристаллды микроЭЕМ-мен бақыланып отырады. ИФБЖ ретінде КР580ВИ53 немесе К1810ВИ54 микросхемалары ұсынылуы мүмкін.

3.7 Реостатты реттеу, тиристорлы кернеу түрлендіргіштерін және микропроцессорлы басқарылатын тиристорлы кернеу түрлендіргіштерін қолдану кезінде көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін талдау

КҚАЭЖ-ны релелік-түйістіргіштік басқару жүйесі «ежелгі», ең «дөрекі», сонымен бірге – түсінуге ең қарапайым және жүзеге асыруда ең арзаны болып табылады (бірақ ең сенімді және ұзаққа шыдайтын емес). Бұл жүйенің сипаттық қасиеттері мыналар болып табылады: Күштік резистор сатыларын қозғалтқыштың ротор тізбегіне ауыстырып-қосу жолымен сатылы реттеу; төмен жылдамдықтардағы өте «жұмсақ» механикалық сипаттамалар ($n = f(M)$); жылдамдықты реттеудің тар аралығы (1:4 шамасында); резистор сатыларын ауыстырып-қосу кезіндегі желідегі және қозғалтқыштардағы үлкен ток тастамалары. Ротор тізбегінің активті немесе эквивалентті кедергісі өзгерген кезде, ротордағы электрлік шығындар сырғанауға пропорционалды өзгереді ($P_{\Sigma} = s P_{\Sigma M}$). Сол себепті, сырғанаудың ұлғаюы ротор тізбегіндегі электрлік шығындардың өсуімен және қозғалтқыш ПӘК-інің төмендеуімен бірге жүреді. Бұдан басқа, қозғалтқыштың тұрақты жұмысына сәйкес келетін механикалық сипаттаманың түрі еңістеу болып келеді және қозғалтқыш білігіндегі жүктеме моментінің ауытқуы ротордың айналу жылдамдығының едәуір өзгеруімен бірге жүреді [86]. Активті кедергіге ($R'_{2\Sigma}$) қосылған, ротор тізбектерінде электрлік байланысы бар асинхронды қозғалтқыштардың синхронды айналу жүйелері қозғалтқыштардың жылдамдықтары синхронды жылдамдықтың 70-80%-нан аспайтын жылдамдық кезінде тұрақты жұмыс істейді. Бұл синхрондыға жақын жылдамдық кезінде роторлар ЭҚК-і салыстырмалы түрде аз мәнге ие болуымен және олардың, синхрондаушы момент тудыратын, айырымының минималды болуымен байланысты. Осыған орай, іс жүзінде мұндай жүйелер ротор тізбектеріндегі жалпы кедергінің айтарлықтай шамасымен жұмыс істейді. $R'_{2\Sigma}$ -ны көбейту қозғалтқыштардың механикалық сипаттамасының қатаңдығының азаюына және ротор тізбегіндегі электр энергия шығынының жоғарылауына алып келетін шектік

сырғанауды жоғарылатады. Қосымша активті кедергілер $R'_{2\Sigma}$ -ны L , C -ға алмастыру қозғалтқыштың механикалық сипаттамаларының қатаңдығын s бойынша да, $\Delta\theta$ бойынша да едәуір жоғарылата отырып, синхрондаушы моменттерді реттеуге мүмкіндік береді [87-88]. L , C элементтерін электрлік байланысы бар синхронды айналым жүйесінің ротор тізбегінде қолдану қуат коэффициентінің мәнін жоғарылатуға мүмкіндік береді және ротор тізбегіндегі энергия шығынын азайта отырып, статикалық және динамикалық тұрақтылықты қамтамасыз етеді. Асинхронды қозғалтқыштардың синхронды айналуының мұндай жүйесінің кемшілігі роторлар тізбегіне енгізілетін пассивті элементтердің өлшемдерінің үлкен болуы және жүйе жылдамдығын баяу реттеудің күрделілігі болып табылады.

ТКТ КҚАЭЖ жүйесін қолдану: 1:10 және одан жоғары диапазонында жылдамдықты баяу реттеуге (тиристорларды фазалық басқару көмегімен қоректендіруші кернеуді баяу реттеу есебінен; кері байланысы бар басқару жүйелері көмегімен реттелетін «қатаңдығы» бар механикалық сипаттамалар. Бірақ, соған қарамастан берілген жүйенің кемшіліктері мыналар болып табылады: электр жетегінің төмен ПӘК-і; шұғыл азайтылған, сонда да қозғалтқыштарды қосу кезінде желіге айтарлықтай тоқ тасталуының болуы; төмен $\cos\varphi$ және желілік тоқтың жоғары гармоникаларының едәуір шамасы (шамамен негізгі гармоникадан (20...25%)) мүмкіндік береді. [89] көрсетілгендей, $M_c = const$ кезінде ТКТ-АҚ жүйесіндегі асинхронды электр жетегінің жылдамдығын ұзақ реттеу мүмкін емес, себебі сырғанау көбейгенде (жылдамдық азайған кезде) статор мен ротордағы шығындар номиналдыға қарағанда бірнеше есе өседі. Бұл қозғалтқыштың номиналды қуатының статикалық жүктеменің максималды қуатымен салыстырғанда, роторы қысқа тұйықталған АҚ-ның қызып кетусіз жұмыс істеуіне қажетті бірнеше есеге, кейде тіпті бір шамаға артуына алып келеді.

Микропроцессорлық техниканы қолданып асинхронды қозғалтқыштардың синхронды айналу жүйесін жасау және зерттеу маңызды әрі болашағы зор іс. Олар жүйедегі қозғалтқыштардың синхронды іске қосылуын, тоқтауын және айналу жиілігін реттеуді қамтамасыз етеді. Заманауи микропроцессорларды және олардың техника-экономикалық көрсеткіштерін шолу, асинхронды қозғалтқыштардың синхронды айналу жүйесін жасау, тұрақты тоқ көпқозғалтқышты электржетектерімен бәсекелестікке түсе алатындығын айқындай түседі [90].

3.2-кестеде КҚАЭЖ басқару жүйелері үшін кейбір техника-экономикалық көрсеткіштердің шамаланған-орталанған бағалары келтірілген. ПӘК, қуат коэффициенті секілді көптеген техникалық сипаттамалар алуан түрлі факторларға: жетектің қуаты мен жылдамдығының номиналды мәндеріне, жүктеме моментінің және жұмыс жылдамдығының мәндеріне тәуелді.

3.2-кесте – СА ҚҚАЭЖ техника-экономикалық көрсеткіштері

Техника-экономикалық көрсеткіштер	Басқару жүйелерінің нұсқалары			
	Реостатты басқарылатын СА ҚҚАЭЖ	ТКТ СА ҚҚАЭЖ	Микропроцессорлы басқарылатын ТКТ СА ҚҚАЭЖ	
			ротор тізбегінде электрлік байланысы бар	ротор тізбегінде электрлік байланысы жоқ
1. Реттеу диапазоны	1:1,2	1:2(3)	1:5(8)	1:10(15)
2. Жылдамдықты реттеу сипаты	сатылы	баяу	баяу	баяу
3. Жүктемелерді анықтау, %	10-12	15-20	25-30	25-30
4. Қозғалтқыштық режимдегі ПӘК, %	40	60	80	88
5. Қуат коэффициенті	0,70...0,85	0,30...0,90	0,93	0,99
6. Жетектер арасындағы арақашықтық, м	8-12	12-15	20-30	20-30
7. Механикалық сипатамалар $n=f(M)$	жұмсақ, бірақ басқарылатын	Қажетті қатаңдықты алу мүмкіндігі		
8. Қозғалтқышпен қоса, басқару жүйесінің салыстырмалы құны, у.е./кВт	100...240	110..230	170...280	150...250
9. Қозғалтқышсыз басқару жүйесінің салыстырмалы құны, у.е./кВт	70...120	80..170	140...200	130...200
10. Қозғалтқыштың салыстырмалы құны, у.е./кВт	30...140	30...140	30...140	20...60

3.2-кестеден көрініп тұрғандай микропроцессорлық техниканы қолданып асинхронды қозғалтқыштардың синхронды айналу жүйесін жасау және зерттеу маңызды әрі болашағы зор іс. Олар жүйедегі қозғалтқыштардың синхронды іске қосылуын, тоқтауын және айналу жиілігін реттеуді қамтамасыз етеді. Заманауи микропроцессорларды және олардың техника-экономикалық көрсеткіштерін шолу, асинхронды қозғалтқыштардың синхронды айналу жүйесін жасау, тұрақты тоқ көпқозғалтқышты электржетектерімен бәсекелестікке түсе алатындығын айқындай түседі. Мұндай жүйе фазалы роторлы асинхронды қозғалтқыш үшін де сәтті

пайдаланыла алады, бірақ бұл кезде осы типтегі қозғалтқыштың артықшылықтары қолданылмайды және кемшіліктері сақталып қалады (бағасы, салмақ-өлшемдік көрсеткіштері, эксплуатациялық шығындар). Қос типтегі асинхронды қозғалтқыштардың жылдамдығын реттеу, жетектің қажетті механикалық және энергетикалық сипаттамаларын алу үшін тиімді болып саналатын, оларды қоректендіретін кернеудің жиілігі мен шамасын бір уақытта өзгертумен қамтамасыз етіледі. Осы электржетек жүйесінің негізгі қасиеттері деп мыналарды санау керек:

- (1:50) диапазонында жылдамдықты баяу реттеу.
- микропроцессорлардың арнайы типтері жылдамдықты реттеу диапазонын 1:100 диапазонында қамтамасыз ете алады;
- механикалық сипаттамалардың қажетті «қатаңдығын» алу мүмкіндігі;
- электржетектің барлық қозғалтқыштық режимдердегі жоғары ПӘК-і (тежеу режимдерін санамағанда);
- жоғары қуат коэффициенті;
- желілік токтың үлкен тасталымының болмауы, яғни қоректендіруші желімен жақсы үйлесімділігі;
- шамасы салыстырмалы түрде аз жоғарғы гармоника токтарының болуы.

ҚОРЫТЫНДЫ

Автоматтандырылған электржетегінің қазіргі кездегі дамуында синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетектерінің техника-экономикалық көрсеткіштерін едәуір жақсарту, қозғалтқыштардың айналу жылдамдығын автоматты реттеу және микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі жүйесін құруға мүмкіндік бар. Жүн тарау процесінің технологиялық талаптарын ескеретін микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды автоматтандырылған электржетегі құрылды.

Диссертацияда келесідей негізгі нәтижелер алынды:

- тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі құрылды;
- көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің электрмеханикалық өрнектері құрылды;
- микропроцессорлық басқарылатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі құрылды;
- реостатты реттеу кезіндегі және тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетектері зерттелді;
- тиристорлы кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетектерінің механикалық сипаттамаларын есептеу программасының алгоритмі жасалды;
- ротор тізбегінде электрлік байланысы бар және электрлік байланысы жоқ көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін микропроцессорлық басқару жүйесі жасалды.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

- 1 Протасова В.А., Панин П.М., Хутарев Д.Д. Шерстопрядильное оборудование. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 576 с.
- 2 Протасова В.А., Бельшев Б.Е., Панин П.М., Хутарев Д.Д. Прядение шерсти и химических волокон (приготовление аппаратной ровницы и чесальной ленты). – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 294 с.
- 3 Справочник по шерстопрядению. Под ред. В.К. Афанасьева и др. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 473 с.
- 4 Африканов И.А. и др. Шерстопрядильное оборудование. – М.: Легкая индустрия, 1966. – 651 с.
- 5 <http://www.msta.ac.ru> – Официальный сайт МГТУ имени А.Н. Косыгина (Московский государственный текстильный университет).
- 6 <http://textile-press.ru> – информационный портал ЛегПромБизнес.
- 7 Лежебрух Г.О. Шерстопрядильное производство: формулы, критерии, оценки. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 144 с.
- 8 Поляков А.Е., Поляков К.А., Саюшкина О.Д. Технические решения, направленные на модернизацию электропривода текстильного оборудования. // Текстильная промышленность, 1997. – № 3. – 28-30.
- 9 Поляков А.Е., Поляков К.А. Система положений, направленных на эффективное использование энергоресурсов на предприятиях текстильной промышленности. – М.: Вестник МГТУ, 1997. – 112-116.
- 10 Лежебрух Г.О. Методы расчета допустимого повышения производительности валичных чесальных машин. – М.: Легкая индустрия, 1968. – 332 с.
- 11 Труевцев Н.И., Ашнин Н.М. Теория и практика кардочесания в аппаратной системе прядения шерсти. – М.: Легкая индустрия, 1968. – 287 с.
- 12 Задерий Г.Н. Исследование работы чесальных машин с целью повышения их производительности. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Л., 1979. – 510 с.
- 13 <http://www.teksmash.ru> – Официальный сайт ОАО «Орелтекмаш».
- 14 <http://www.befama.com.pl> – Официальный сайт фирмы BEFAMA.
- 15 <http://www.falubaz.com.pl> – Официальный сайт фирмы FALUBAZ.
- 16 <http://www.textima.de> – Официальный сайт фирмы TEXTIMA.
- 17 Поляков А.Е. Электрооборудование текстильных предприятий. Учебное пособие. – М.: РИО МТИ, 1993. – 128 с.
- 18 <http://www.miomirex.ru> – Официальный сайт ЗАО «Мирэкс».
- 19 <http://pledo.ru> – Официальный сайт ЗАО «Московская тонкосуконная фабрика им. Петра Алексеева».
- 20 Садовский И.М. Согласованное вращение асинхронных двигателей. – М.-Л.: Энергия, 1948. – 137 с.
- 21 Унгру Ф., Иордан И. Системы согласованного вращения асинхронных двигателей. – М.-Л.: Энергия, 1971. – 182 с.

22 Тергемесов К.Т. Трехдвигательный электропривод чесальных аппаратов с повышенными уравнительными моментами // Межвузовск. сб. «Электроприводы с улучшенными характеристиками для текстильной и легкой промышленности». – Иваново: ИЭИ, 1986. – С.62-67.

23 Тергемесов К.Т. Регулируемый многодвигательный электропривод чесальных аппаратов // Тезисы научно-техн. конф. «Актуальные проблемы электроэнергетики». – Горький, ПТИ, 1984. с.14-15.

24 Сагитов П.И., Тергемесов К.Т. Масалов В.В. Математическая модель многодвигательного взаимосвязанного электропривода // «Электроприводы с улучшенными характеристиками для текстильной и легкой промышленности»: сб. трудов. – Иваново: Ивановский госуд. ун-т, 1986. – С.53-61.

25 Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 1987. – 248 с.

26 Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. И.П. Копылов М. Высш. шк., 2001. 327 с.

27 Петров Л.П., Ладензон В.А. и др. Моделирование асинхронных электроприводов с тиристорным управлением. — М.: Энергия, 1997.

28 Адамбаев М.Д. Теория автоматического управления. Инженерные методы идентификации промышленных объектов управления. Учебное пособие. - Алматы: КазНТУ, 2004. – 180 с.

29 Ануфриев, И.Е. MatLab 7 / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 1104 с.

30 Герман-Галкин Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0. Учебное пособие. СПб.: КОРОНА Принт, 2001.-321 с, ил.

31 Гультияев А.К. Визуальное моделирование в среде MATLAB. Учебный курс. СПб.: Корона Принт, 2000. - 432 с, ил.

32 Гультияев А.К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows. Практическое пособие. СПб.: Корона Принт, 1999. - 288 с.

33 Дьяконов В.Н. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. Серия «Библиотека профессионала» / Дьяконов В.П. М.: СОЛОН-Пресс, 2005. 800 с.

34 Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / Под общ. ред. В.Г. Потемкина. - М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. - 496 с.

35 Иглин С.П. Математические расчеты на базе MATLAB. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 640 с.

36 Терехов В.Н., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2006. – 300 с.

37 Герман-Галкин Г. Силовая электроника. Лабораторные работы на ПК. СПб.: КОРОНА Принт, 2002. - 304 с, ил.

38 Сарсенбаев Е.А. Аналитическое конструирование регулятора в многодвигательном электроприводе с тиристорными преобразователями

напряжения // «Х Байқоңыр оқулары» халықаралық конференциясының еңбектері. – Жезқазған, 2010. – 205-211 б.

39 Сарсенбаев Е.А. Методика расчета коэффициента обратной связи по скорости системы «тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель» // «Х Байқоңыр оқулары» халықаралық конференциясының еңбектері. – Жезқазған, 2010. – 211-218 б.

40 Сарсенбаев Е.А. Тарау аппаратының электржетегін компьютерлік моделдеу // Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ Хабаршысы. – Алматы, 2010. – №3 (79). – 234-238 б.

41 Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного электропривода / Л.П. Петров, О.А. Андриющенко, В.И. Капинос и др. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 200 с.

42 Шубенко В.А., Браславский И.Я., Шрейнер Р.Т. Асинхронный электропривод тиристорным управлением. М.: Энергия, 1967.

43 Шубенко В.А., Браславский И.Я., Ясенев Н.Д. Улучшение регулировочных и динамических свойств асинхронных двигателей при тиристорном управлении // Электричество. 1968. № 6. С.29-32.

44 Браславский И.Я., Зюзев А.М. Электроприводы на основе систем «Тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель» с аналоговым и цифровым управлением для механизмов робототехнических комплексов // Автоматизированный электропривод. М.: Энергоатомиздат, 1990. С.439-443.

45 Браславский И.Я., Зюзев А.М., Шилин СИ. Тиристорный преобразователь напряжения в асинхронных электроприводах с микропроцессорным управлением // Электротехника. 1996. № 6. С.36-39/

46 Иог В.И. Система синхронного вращения асинхронных двигателей с автоматическим регулированием величины синхронизирующего момента. // Электрическая промышленность. Сер. электропривод, 1974, № 7, с.14-15.

47 Уайт Д., Вудсон Г. Электромеханическое преобразование энергии. – М-Л.: Энергия, 1964. – 527 с.

48 Усманходжаев Н.М., Сагитов П.И., Белоковский Р.И. Теория и методы расчета систем согласованного вращения многодвигательного асинхронного электропривода. – Ташкент: Фан, 1989. – 176 с.

49 Сагитов П.И. Системы многодвигательного электропривода синхронного вращения. – Алматы, 1996. – 165 с.

50 Тергемес К.Т. Многодвигательные асинхронные электропривод с тиристорными преобразователями напряжения чесальных аппаратов. – Алматы: КБТУ, 2007. – 110 с.

51 Онищенко Г.Б. Электрический привод. – М.: Академия, 2006. – 288 с.

52 Попов А.Н. Управление асинхронным двигателем от регулятора напряжения с обратной связью по скорости // Электро. – 2003. – №6. – С.31-36.

53 Костылев А.В., Степанюк Д.П. О снижении энергопотребления при реализации управляемого пуска в системах ТПН-АД // Электротехника. – 2004. – №9. – С.57-61.

54 Тергемес К.Т., Сарсенбаев Е.А., Колтун Н.А., Акпанбетов Д.Б. Определение фазовых углов рассогласования роторных токов многодвигательного асинхронного электропривода синхронного вращения // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2006. – №2(20). – С.108-111.

55 А.С. №1661958 СССР. Многодвигательный электропривод переменного тока / П.И. Сагитов, К.Т. Тергемесов, В.В. Масалов; опубл. 07.07.1991, Бюл. №25. – 3 с.: ил.

56 А.С. №1573521 СССР. Многодвигательный электропривод переменного тока / П.И. Сагитов, К.Т. Тергемесов, В.В. Масалов, И.Я. Якупов, Ж.Ш. Ташкенбаев; опубл. 23.06.1990, Бюл. №23. – 3 с.: ил.

57 Предварительный патент РК №13359. Многодвигательный электропривод переменного тока / К.Т. Тергемес, А.О. Бердибеков, Л.А. Байназарова; опубл. 15.03.2003, Бюл. №8. – 3 с.: ил.

58 А.С. №1233255 СССР. Многодвигательный электропривод переменного тока. / П.И. Сагитов, К.Т. Тергемесов; опубл. 23.05.1986, Бюл. №19. – 3 с.: ил.

59 Тергемес К.Т., Бердибеков А.О., Сарсенбаев Е.А. Түту аппараттарының екі қозғалтқышты тиристорлы кернеу түрлендіргішті электржетегі // «Тамақ және жеңіл өнеркәсіптеріндегі инновациялық технологиялар» ХІ харықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдары. – Алматы, 2009. – 159-162 б.

60 Тергемесов К.Т. Трехдвигательный электропривод чесальных аппаратов с повышенными уравнительными моментами. II Межвузовский сборник. Электроприводы с улучшенными характеристиками для текстильной и легкой промышленности. – Иваново.: Ивановский государственный университет. 1986. С. 62-67.

61 Тергемес К.Т., Бердибеков А.О., Сарсенбаев Е.А. Предварительная синхронизация, подрегулирование скорости и синхронное торможение электроприводов чесальных аппаратов // «Тамақ және жеңіл өнеркәсіптің даму стратегиясы» халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдары. – Алматы, 2004. – Бөлім 1. – 378-381 б.

62 Предварительный патент №19191 РК. Многодвигательный асинхронный электропривод переменного тока // Тергемес К.Т., Бердибеков А.О., Акпанбетов Д.Б., Сарсенбаев Е.А., Абильдинова В.Б.; опубл. 14.03.2008, Бюл. №3. – 3 с.: ил.

63 Церазов А.Л., Якименко Н.И. Исследования влияния несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу асинхронных двигателей. Л.: Госэнергоиздат, 1963, 121 с.

64 Тергемес К.Т., Алдибеков И.Т., Сарсенбаев Е.А., Каниева Б.А. Многодвигательный асинхронный электропривод с несимметричным

включением статорных цепей // Изденістер, нәтижелер. Қазак ұлттық аграрлық университетінің ғылыми журналы. – Алматы, 2004. – №2. 102-104 б.

65 А.С. 1458913 СССР. Многодвигательный электропривод переменного тока / Сагитов П.И., Тергемесов К.Т. – Опубликованный в БИ, 1989г., №6

66 А.С. 1661958 СССР. Многодвигательный электродвигатель переменного тока / Сагитов П.И., Тергемесов К.Т. – Опубликованный в БИ, 1991г., №25.

67 Шубенко В.А., Браславский И.Я. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением. – М.: Энергия, 1972.- 130с.

68 Тергемес К.Т., Сарсенбаев Е.А., Колтун Н.А. Управление трехдвигательным асинхронным электроприводом от тиристорного преобразователя напряжения // «Автоматтандыру және басқару. Болашағы, мәселелер және шешімдер» халықаралық конференциясының еңбектері. – Алматы, 2007. – 184-187 б.

69 Сарсенбаев Е.А., Колтун Н.А., Сарсенбаев Н.С. Современное развитие электроприводов с микропроцессорным управлением // «Инженерлік білім және ғылым ХХІ ғасырда» халықаралық конференциясының еңбектері. – Алматы, 2004. – Том 3. – 66-70 б.

70 Ломако М.В., Медведев И.В. Микропроцессорное управление приводами промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1990. – 96 с.

71 Балашов Е.П., Пузаинов Д.В. Микропроцессоры и микропроцессорные системы: Учебное пособие для вузов /Под ред. В.Б. Смолова. – М.: Радио и связь, 1981.-328 с.

72 Микропроцессорные системы управления тиристорными электроприводами. // Файнштейн В.Г, Файнштейн Э.Г. – Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.: ил.

73 <http://www.naf-st.ru>. Структура микропроцессорных систем управления. – 2003-2007.

74 Гильмор Ч. Введение в микропроцессорную технику: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 334 с.

75 Новожилов О.П. Основы микропроцессорной техники. – М.: ИП РадиоСофт, 2007. – 432 с.

76 Марков С. Цифровые сигнальные процессоры. Книга 1. – М.: фирма МИКРОАРТ, 1996. – 144 с.

77 Щелкунов Н.Н., Дианов А.П. Микропроцессорные средства и системы. – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.

78 Костров Б.В., Ручкин В.Н. Микропроцессорные системы. Учебное пособие. – М.: Десс, 2006. – 208 с.

79 Нерода В.Я., Торбинский В.Э., Шлыков Е.Л. Однокристалльные микроЭВМ MCST-51: Архитектура. – М.: Диджитал Компонентс, 1995. – 164 с.

80 Корнеев В.В., Киселев А.В. Современные микропроцессоры. – НОЛИДЖ, 1998. – 240 с.

81 Микроконтроллеры. Выпуск 1. Однокристалльные микроконтроллеры. PIC 17C4x, PIC 17C75x, M3820. – М.:ДОДЭКА, 1998. – 384 с.

82 Нурлыбаев М.А., Тергемес К.Т., Сарсенбаев Е.А. Разработка двухдвигательного асинхронного электропривода синхронного вращения с микропроцессорным управлением // «Шекарасыз ғылым мен инженерлік білім» халықаралық форумының еңбектері. – Алматы, 2009. – Т.ІІ. – 361-364 б.

83 Предварительный патент №19074 РК. Многодвигательный электропривод переменного тока // Тергемес К.Т., Нурлыбаев М.А., Сарсенбаев Е.А., Колтун Н.А., Акпанбетов Д.Б., Утегулов А.А., Аустниязова А.М.; опубл. 15.01.2008, Бюл. №1. – 3 с.: ил.

84 Предварительный патент №19648 РК. Многодвигательный электропривод переменного тока // Тергемес К.Т., Сарсенбаев Е.А., Колтун Н.А., Акпанбетов Д.Б.; опубл. 16.06.2008, Бюл. №6. – 3 с.: ил.

85 Основы цифровой схемотехники. Базовые элементы и схемы. Методы проектирования. М.: Мир, 2001. – 430 с.

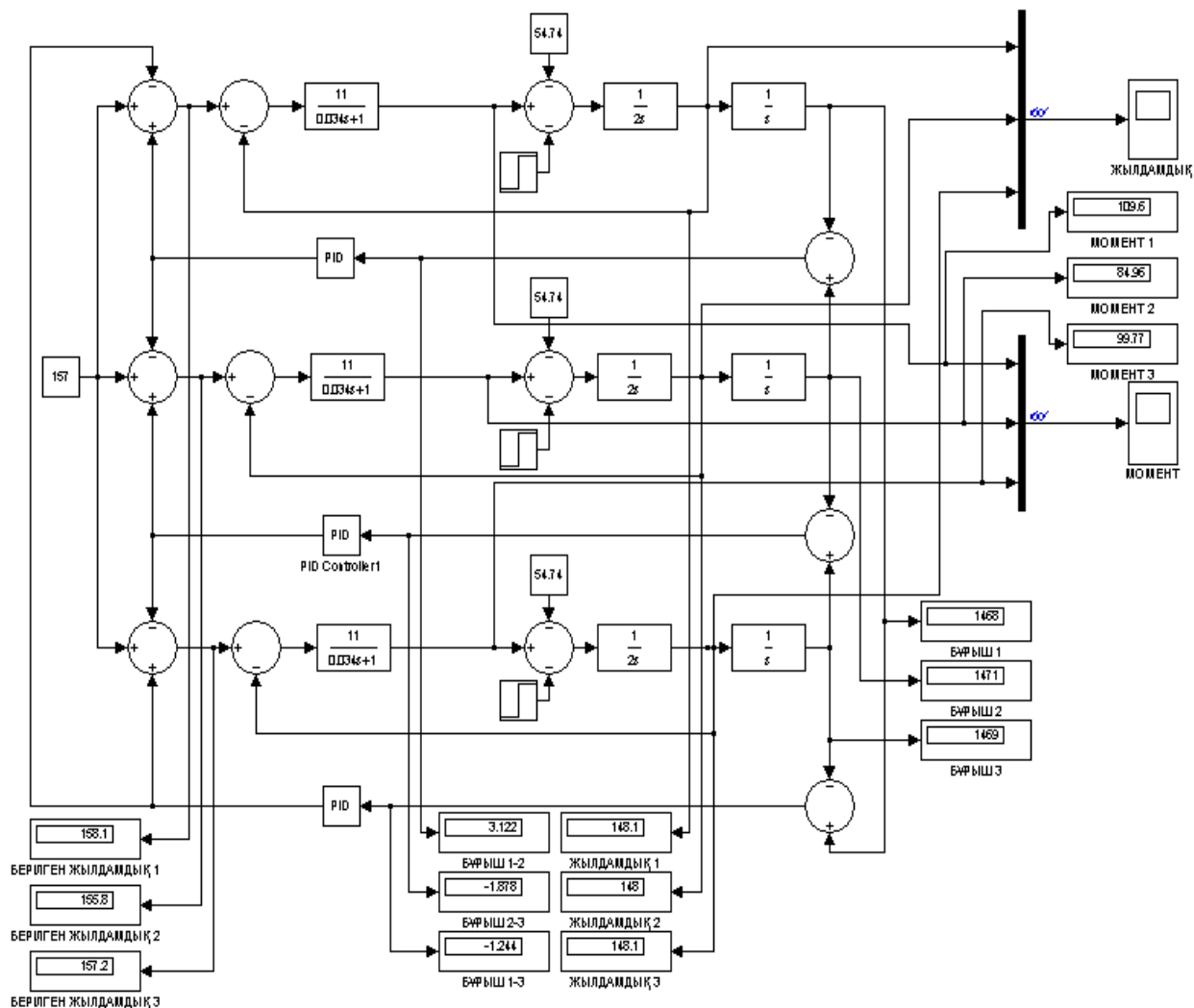
86 Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводах. – М.: Энергия, 1966. Соколов П.М., Данилов П.Е. Асинхронный электропривод с импульсным управлением в цепи выпрямленного тока. – М.: Энергия, 1972. – 72с.

87 Сагитов П.И. Методика расчетов системы согласованного вращения асинхронных двигателей. // Изв.вузов. «Электромеханика», 1979, №6. с.546-552.

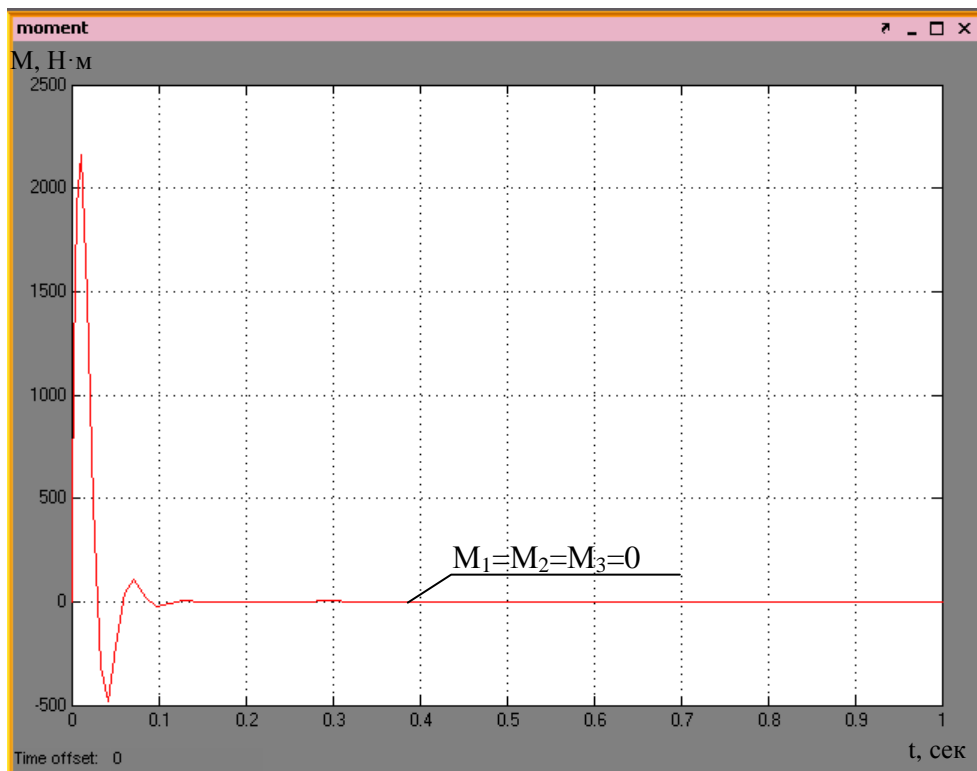
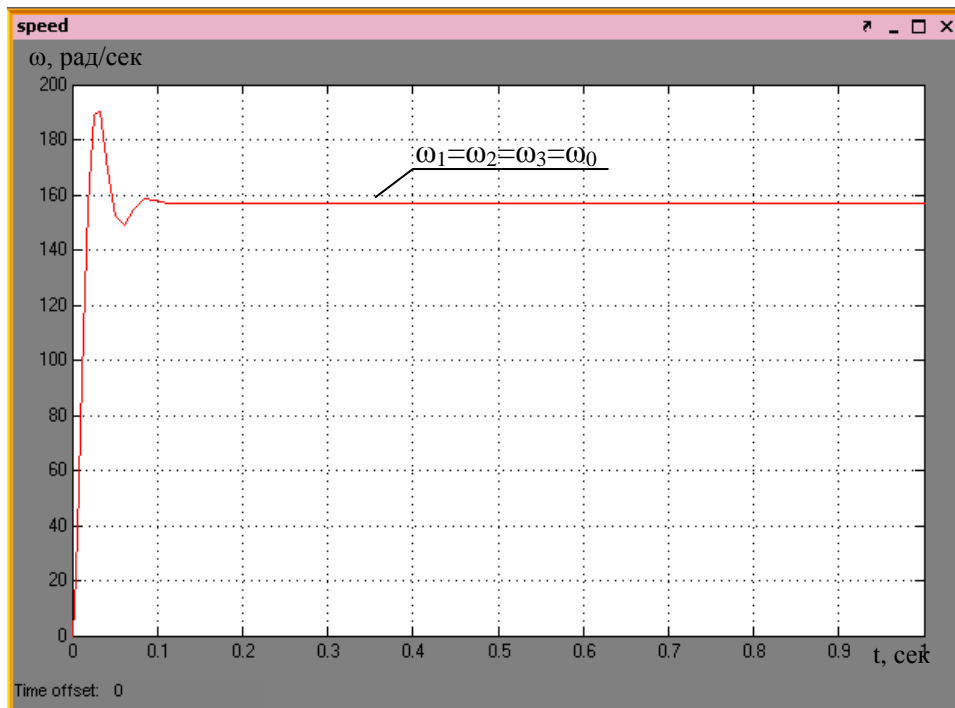
88 Усманходжаев Н.М., Сагитов П.И. О работе системы согласованного вращения с конденсаторами в цепи роторов. // Изв.вузов. «Электромеханика», 1974, №7. с.752-757.

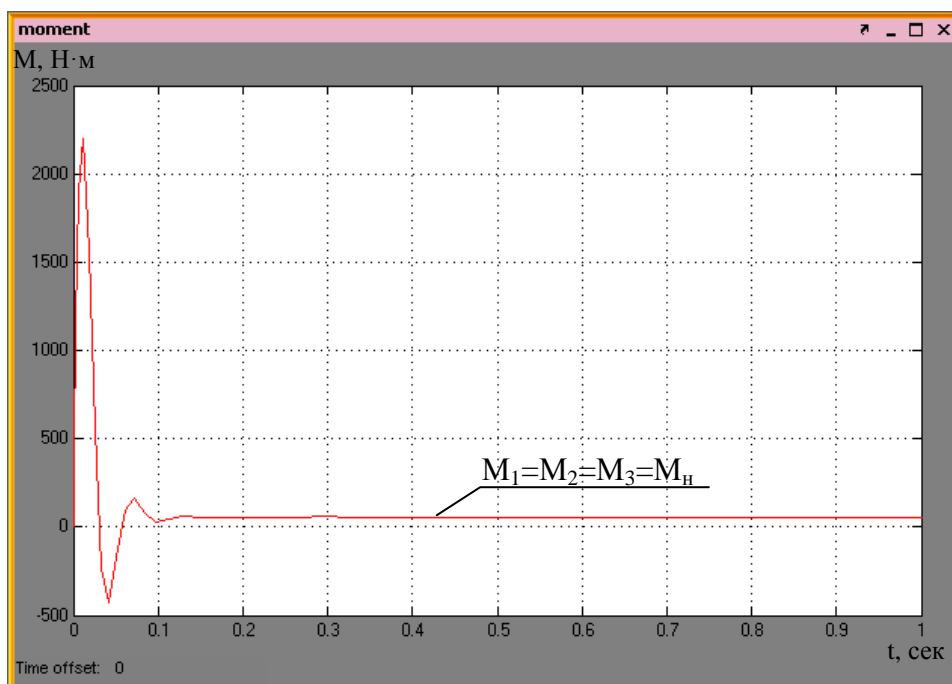
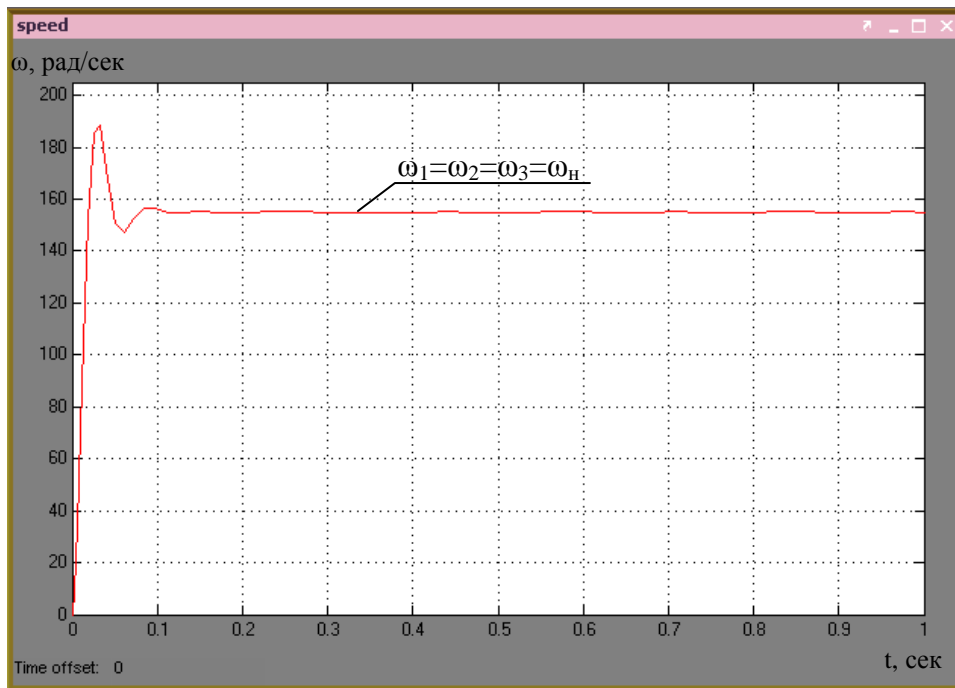
89 Бердибеков А.О., Тергемес К.Т. Многодвигательный ЭП синхронного вращения с повышенной синхронизирующей способностью // Труды международной научной конференции «Информационные технологии и АПП». – Алматы, КазНТУ, 2002, с.170-172.

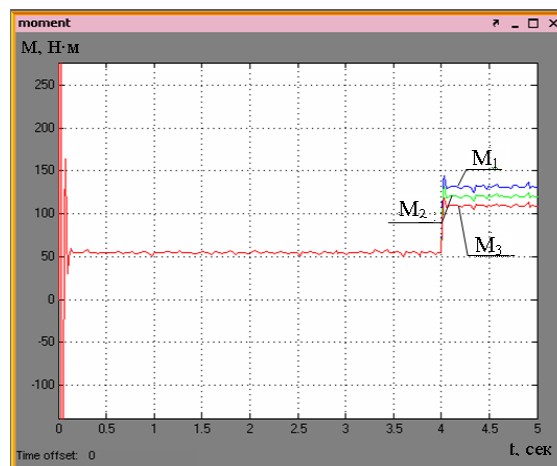
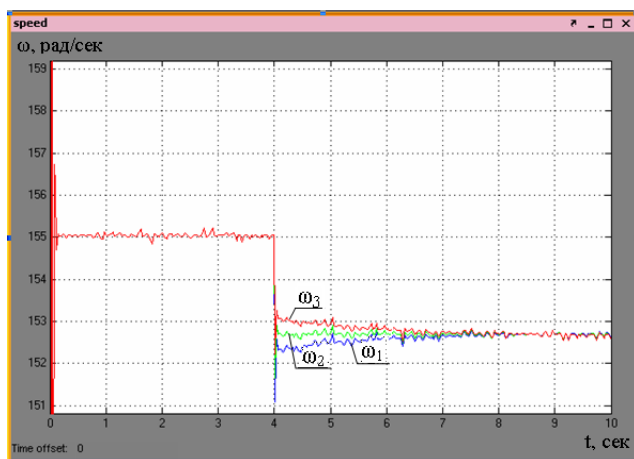
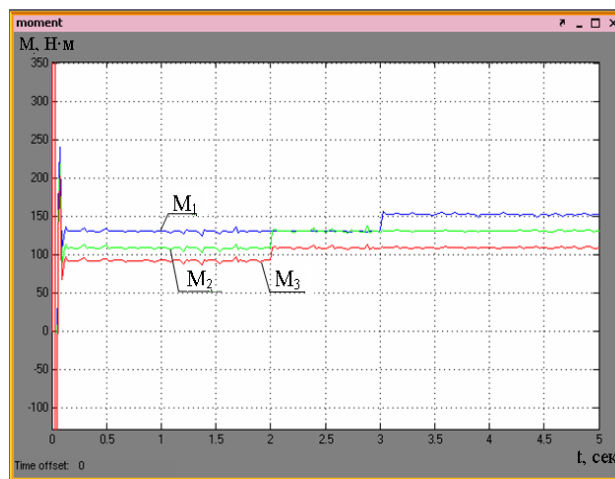
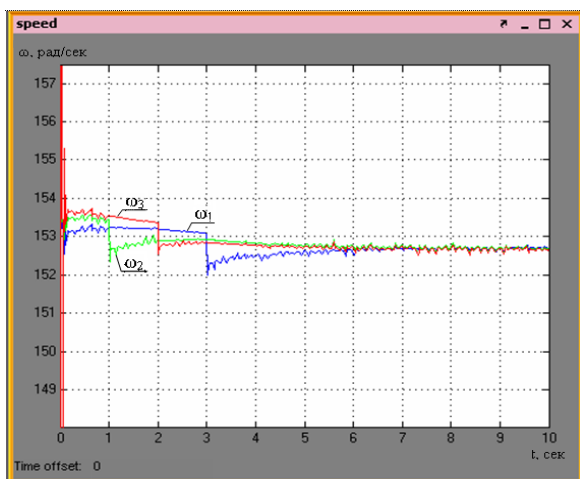
90 Микропроцессорное управление электроприводами и технологическими объектами. Полиномиальные методы: монография / З.Ш. Ишматов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. – 278 с.

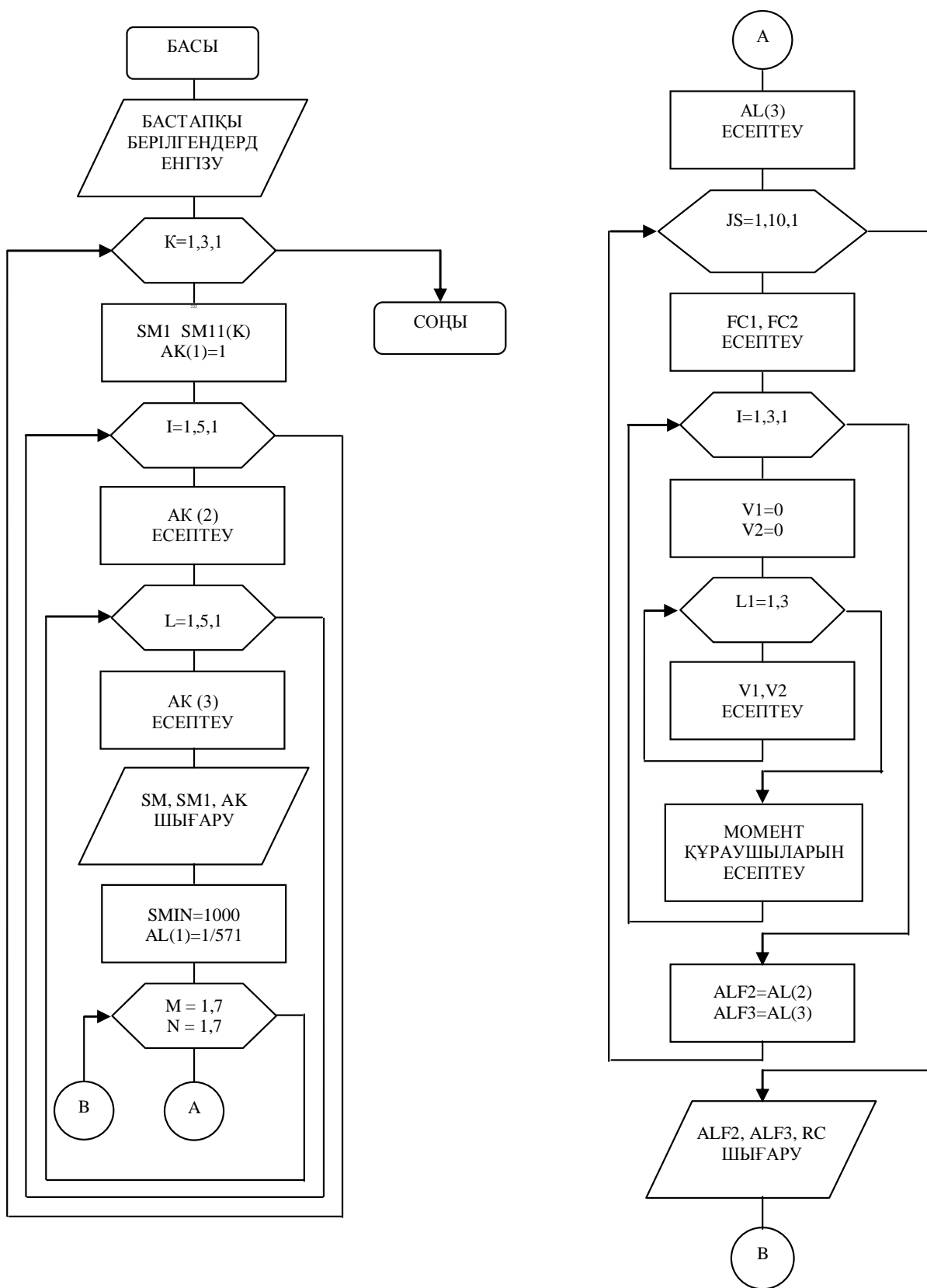


Синхронды айналатын үшқозғалтқышты асинхронды электр жетегінің MATLAB программасының Simulink пакетінде құрылған имитациялық моделі









ТКТ СА ҚҚАЭЖ механикалық сипаттамаларын есептеу программасы алгоритмінің блок-схемасы