

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

СЫН-ПІКІР

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

(жұмыс түрінің атауы)

Наурызбай Нұралы Жалғабайұлы

(оқушының аты-жөні)

7M07113 - «Электротехника және энергетика»

Тақырыбы: Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі

Орындалды:

а) графикалық бөлім _____ парақ

б) түсініктеме _____ бет

Магистрант Наурызбай Нұралы Жалғабайұлының "Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі" тақырыбындағы магистрлік диссертациясы бірнеше асинхронды қозғалтқыштардың синхронды жұмысымен электр жетегін әзірлеуге және зерттеуге арналған. Тақырыптың өзектілігі қазіргі заманғы өнеркәсіпте – әсіресе көтеру-тасымалдау жүйелерінде, металлургияда және автоматтандырылған желілерде электр жетектерінің дәлдігі мен келісілген жұмысына қойылатын талаптардың артуына байланысты.

Автор ЛТ-62 кранының қозғалу механизмінің техникалық сипаттамаларына талдау жасады, қозғалтқыштар мен жиілік түрлендіргішін таңдау негізделді, қажетті есептеулер жүргізілді. Векторлық басқарылатын MATLAB/Simulink-те математикалық және имитациялық модель жасалды, ПИ-реттегіштерді қолдана отырып, ток, ағын ілінісу және жылдамдық контурларын конфигурациялау жүзеге асырылды.

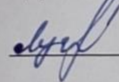
Модельдеу нәтижелері әртүрлі жұмыс режимдерінде жоғары синхрондау дәлдігін және жүйенің тұрақтылығын көрсетті. Жұмыс логикалық түрде құрылымдалған, жақсы безендірілген, визуалды схемалар, графиктер бар және техникалық құралдардың жоғары деңгейін көрсетеді. Алынған нәтижелер көп қозғалтқышты электр жетектерін басқару жүйелерін әзірлеу үшін практикалық маңызға ие.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Магистрлік диссертация «өте жақсы» (93%) бағаға орындалған, ал оның авторы Наурызбай Н.Ж. 7M07113 – «Электротехника және энергетика» мамандығы бойынша «магистр» академиялық дәрежесін иеленуге лайық деп санаймын.

Пікір беруші:

АЭЖБУ, «Электрондық инженерия» кафедрасының техника ғылымдарының кандидаты,
Қауымдастырылған профессор

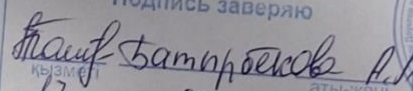


С.А. Юсупова

«12»

06

2025 ж.

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю

«12» 06 2025 ж.



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

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

(жұмыс түрінің атауы)

Наурызбай Нұралы Жалғабайұлы

(оқушының аты-жөні)

7M07113 - «Электротехника және энергетика»

Тақырыбы: Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі

Орындалды:

а) графикалық бөлім _____ парак

б) түсініктеме _____ бет

Магистрант Наурызбай Нұралының магистрлік диссертациясы жетектердің синхронды айналуын қамтамасыз ететін көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі жүйесін әзірлеуге байланысты өзекті тақырыпта орындалды. Өнеркәсіпте автоматтандырылған және интеллектуалды басқару жүйелерін белсенді енгізу жағдайында бірнеше электр қозғалтқыштарының келісілген жұмысының міндеті маңызды бола түсуде. Бұл, әсіресе, қозғалыс синхрондылығы қауіпсіздікке тікелей әсер ететін крандар сияқты көтеру және тасымалдау механизмдеріне қатысты.

Жұмыс барысында магистрант зерттелетін тақырыпқа жоғары деңгейдегі дербестік пен қызығушылықты көрсетті. Ол қолданыстағы техникалық шешімдерге терең талдау жүргізді, ЛТ-62 кранының қозғалыс механизмінің конструкциясы мен жұмысының ерекшеліктерін зерттеді, асинхронды электр жетегінің параметрлерін есептеді, сонымен қатар қозғалтқыш пен жиілік түрлендіргішін таңдады.

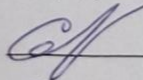
Жұмыста векторлық басқаруды (FOC) қолдана отырып, MATLAB/Simulink ортасында екі қозғалтқышты жүйенің имитациялық моделін құруға ерекше назар аударылады. Автор d-q координаттарында қозғалтқыштың математикалық моделін сауатты жүзеге асырды, ток, ағын ілінісу және жылдамдық контурындағы ПИ-реттегіштермен басқару схемасын жасады, сонымен қатар жүйенің әртүрлі жұмыс режимдерінің параметрлері мен модельдеуін жасады.

Магистранттың жұмысы техникалық пысықтаудың жоғары дәрежесімен, логикалық құрылымымен және сауатты презентациясымен ерекшеленетінін атап өту маңызды. Зерттеудің барлық кезеңдері – объектіні талдаудан бастап модельді тексеруге дейін – дәйекті, негізделген және өзекті инженерлік тәсілдерді қолдана отырып орындалды.

Диссертациялық жұмыс қойылатын талаптарға сәйкес келеді және мемлекеттік аттестациялық комиссияның отырысында қорғауға жіберіледі. Ал, автор Наурызбай Нұралы 7M07113 – «Электротехника және энергетика» мамандығы бойынша «магистр» академиялық дәрежесіне лайықты және диссертациялық жұмысын «өте жақсы» 95 баллмен бағалаймын.

Ғылыми жетекші:

PhD, қауымдастырылған профессор



Е.А. Сарсенбаев

«28»

06

2025 ж.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Наурзбай Нұралы Жалғабайұлы

Тақырыбы: Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі

Жетекшісі: Ерлан Сарсенбаев

1-ұқсастық коэффициенті (30): 8.2

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.9

Дәйексөз (35): 0.8

Әріптерді ауыстыру: 50

Аралықтар: 1

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні 18-06-2025

Кафедра меңгерушісі *Информатика*
Сарсенбаев ЕА


Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Наурзбай Нұралы Жалғабайұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі

Научный руководитель: Ерлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 8.2

Коэффициент Подобия 2: 1.9

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 50

Интервалы: 1

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

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

Дата 18.06.2025

Заведующий кафедрой Энергетики

Сарсенбаев ЕА

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Наурзбай Нұралы Жалғабайұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі

Научный руководитель: Ерлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 8.2

Коэффициент Подобия 2: 1.9

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 50

Интервалы: 1

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

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

Дата 18.06.2025г

проверяющий эксперт

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты

Энергетика кафедрасы

Наурзбай Нұралы Жалғабайұлы

Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7М07113 – Электротехника және энергетика

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Ә. Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

УДК

Қолжазба құқығында

Наурзбай Нұралы Жалғабайұлы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін дайындалған

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертация тақырыбы

Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды
электр жетегі

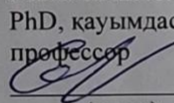
Мамандық бағыты

7M07113 – «Электротехника және энергетика»

Ғылыми жетекші

PhD, қауымдастырылған

профессор

 Е.А. Сарсенбаев

(қолы)

«16» 06 2025 ж.

Пікір беруші

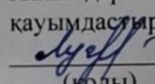
Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ-ның

«Электрондық инженерия»

кафедрасының техника

ғылымдарының кандидаты,

қауымдастырылған профессор

 С.А. Юсупова

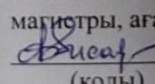
(қолы)

«17» 06 2025 ж.

Норма бақылаушы

Техника ғылымдарының

магистры, аға оқытушы

 А.О. Бердибеков

(қолы)

«17» 06 2025 ж.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

НАО «КазННТУ им.К.И.Сатпаева»

Институт энергетики

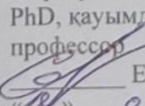
и машиностроения

ҚОЛГАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

PhD, қауымдастырылған

профессор

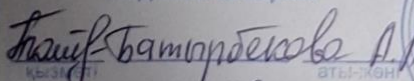
 Е.А. Сарсенбаев

«18» 06 2025 ж.

Алматы 2025

Қолтаңбаны растаймын

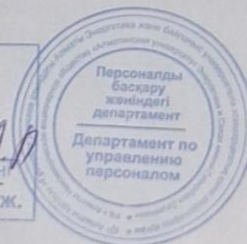
Подпись заверяю



«17»

06

2025 ж.



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты

Энергетика кафедрасы

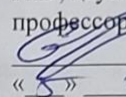
7M07113 – Электротехника және энергетика

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

PhD, қауымдастырылған

профессор

 Е.А. Сарсенбаев

« 8 » 12 2023 ж.

**Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Магистрант Наурызбай Нұралы Жалғабайұлы

Тақырыбы: «Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі»

Университет Ректорының 2023 жылғы "04" 12 №548-б бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2025 жылғы "16" 06

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: Зерттеу объектісі ретінде ЛТ-62 мосылық кранының көлденең қозғалу механизмінің электр жетегі қарастырылады. Жүйе 7,5 кВт АМТКФ132L6 типті екі асинхронды қозғалтқышты пайдаланады, кернеуі 380 В, жиілікті реттелетін векторлық басқару элементтері бар.

Басқару Schneider Electric Altivar 71 жиілік түрлендіргішінің көмегімен жүзеге асырылады, әр қозғалтқышты жылдамдық пен ток бойынша жеке басқару мүмкіндігі бар. Модельдеу d-q координаттарындағы қозғалтқыштың математикалық моделіне негізделген векторлық (FOC) басқару схемасын қолдана отырып, MATLAB/Simulink ортасында жүзеге асырылады.

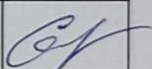
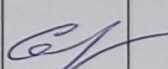
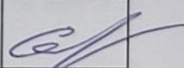
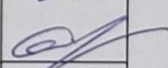
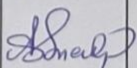
Қозғалтқыштардың бастапқы электрлік параметрлері, кран арбасының массасы, инерция моменті, үйкеліс коэффициенттері және жүктеме сипаттамалары кран жабдықтарының паспорттық деректері мен техникалық құжаттамасы негізінде алынады.

Ұсынылатын негізгі қолданылған әдебиеттер: 19 атау.

Магистрлік диссертация дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, әзірленетін сұрақтар тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімі	Ескертулер
Бөлім 1. Технологиялық процесс	12.04.2024	жоқ
Бөлім 2. Жабдықты таңдау және кранның қозғалу механизмінің электр жетегін есептеу	25.12.2024	жоқ
Бөлім 3. Реттеу контурларын оңтайландыру	15.04.2025	жоқ
Бөлім 4. Электр жетегінің имитациялық моделін жасау	23.05.2025	жоқ

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты бөлімдердегі диссертация кеңесшілері мен норма бақылаушысының қойған қолдары

Бөлім	Консультант, аты-жөні (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Технологиялық процесс	Е.А. Сарсенбаев, PhD, қауымдастырылған профессор	17.06.2025	
Жабдықты таңдау және кранның қозғалу механизмінің электр жетегін есептеу	Е.А. Сарсенбаев, PhD, қауымдастырылған профессор	17.06.2025	
Реттеу контурларын оңтайландыру	Е.А. Сарсенбаев, PhD, қауымдастырылған профессор	17.06.2025	
Электр жетегінің имитациялық моделін жасау	Е.А. Сарсенбаев, PhD, қауымдастырылған профессор	17.06.2025	
Норма бақылаушы	А.О. Бердибеков, техника ғылымдарының магистры, аға оқытушы	17.06.2025	

Ғылыми жетекшісі  Е.А. Сарсенбаев

Тапсырманы орындауға магистрант қабылдады  Н.Ж. Наурзбай

Күні

« 5 » 12 2025 ж.

АНДАТПА

Бұл жұмыста ЛТ-62 мосылық кранының қозғалу механизмі үшін синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегін әзірлеу және модельдеу қарастырылады. Мақсаты – механикалық компоненттердің қисаюын болдырмау және тозуын азайту мақсатында кранның дөңгелектерін басқаратын екі асинхронды қозғалтқыштың синхронды жұмысын қамтамасыз ету. MATLAB/Simulink ортасында жүзеге асырылатын векторлық басқару жүйесі (FOC) қолданылады. Құрылымдық схема, басқару алгоритмдері, модельдеу нәтижелері және әртүрлі режимдердегі электр жетегінің жұмысын талдау ұсынылған. Жұмыс көтергіш-көлік жабдықтарын жаңғырту саласында пайдаланылуы мүмкін.

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассматривается разработка и моделирование многодвигательного асинхронного электропривода синхронного вращения для механизма передвижения козлового крана ЛТ62. Целью является обеспечение синхронной работы двух асинхронных двигателей, приводящих в движение колеса крана, с целью исключения перекоса и снижения износа механических компонентов. Применяется система векторного управления (FOC), реализуемая в среде MATLAB/Simulink. Представлены структурная схема, алгоритмы управления, результаты моделирования и анализ работы электропривода при различных режимах. Работа может быть использована в сфере модернизации подъёмно-транспортного оборудования.

ABSTRACT

This paper considers the development and modeling of a multi-motor asynchronous electric synchronous rotation drive for the movement mechanism of an LT62 gantry crane. The aim is to ensure the synchronous operation of two asynchronous motors driving the crane wheels, in order to eliminate misalignment and reduce wear on mechanical components. A vector control system (FOC) is used, implemented in the MATLAB/Simulink environment. A block diagram, control algorithms, simulation results, and analysis of the operation of an electric drive under various modes are presented. The work can be used in the field of modernization of lifting and transport equipment.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	4
1	Технологиялық процесс	7
1.1	ЛТ-62 мосылық кранының мақсаты мен техникалық сипаттамалары	7
1.2	Мосылық крандарының кинематикалық ерекшеліктері	10
1.3	Көлденең қозғалыс механизмінің электр жетегіне қойылатын талаптар	11
1.4	Мосылық крандарының қозғалу механизмдерінің электр жетектерін басқарудың қолданыстағы жүйелеріне шолу	13
1.5	Қос қозғалтқышты электр жетегінің ерекшеліктері	16
2	Жабдықты таңдау және кранның қозғалу механизмінің электр жетегін есептеу	18
2.1	Қозғалтқышты таңдау	18
2.2	Асинхронды қозғалтқыштың алмастыру схемасының параметрлерін есептеу	23
2.3	Жиілік түрлендіргішті таңдау	28
2.4	Электр жетегінің табиғи сипаттамаларын есептеу	31
2.5	Қозғалтқыштың статикалық сипаттамаларын және қуат арнасының элементтерін және жиілікті векторлық басқарудағы электр жетегінің жүктемесін есептеу	33
2.6	«Жиілік түрлендіргіш – асинхронды қозғалтқыш» жүйесінің параметрлері, құрылымдық схемалары және модельдері	35
3	Реттеу контурларын оңтайландыру	38
3.1	ПИ реттегіші бар ток контурын оңтайландыру	38
3.1.1	ПИ реттегіші бар ток контурын орнату параметрлері	39
3.2	ПИ реттегіші бар ағын ілінісу контурын оңтайландыру	40
3.2.1	ПИ реттегіші бар ағын ілінісу контурын орнату параметрлері	41
3.3	ПИ реттегіші бар жылдамдық контурын оңтайландыру	42
3.3.1	ПИ реттегіші бар жылдамдық контурын орнату параметрлері	43
4	Электр жетегінің имитациялық моделін жасау	45
4.1	Асинхронды қозғалтқыштың математикалық моделі	45
4.2	Кранның қозғалу механизмінің электр жетегінің механикалық бөлігі	48
4.3	Әзірленген асинхронды қозғалтқыш моделінің сәйкестігін тексеру	49
4.4	«Жиілік түрлендіргіш – асинхронды қозғалтқыш» жүйесінің электр жетегін басқару әдістерін зерттеу	52
4.4.1	Скалярлық басқару	52
4.4.2	Бір қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланыспен векторлық басқару	54
4.4.3	Әр асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланыспен векторлық басқару	57
	Қорытынды	61
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	62

КІРІСПЕ

Зерттеудің өзектілігі. Өнеркәсіптік автоматтандыру мен робототехниканың заманауи дамуы бірнеше жетек модульдерінің бір уақытта жұмыс істеуі кезінде жетектердің жылдамдығы мен орналасуын дәл басқаруды қамтамасыз ете алатын жоғары тиімді электр жетек жүйелерін құруды талап етеді. Осыған байланысты бірнеше электр қозғалтқыштары механизмдердің бөліктерінің үйлесімді қозғалысын қамтамасыз ете отырып, синхронды жұмыс істейтін электр жетектерінің көп қозғалтқышты жүйелеріне ерекше назар аударылады.

Асинхронды электр қозғалтқыштары құрылыстың қарапайымдылығына, сенімділігіне, арзан бағасына және кең таралуына байланысты электр қозғалтқыштарының барлық түрлері арасында жетекші орын алады. Алайда, асинхронды машиналарға негізделген көп қозғалтқышты жүйелерді іске асыру кезінде әртүрлі сыртқы жүктемелер мен жұмыс жағдайларында әртүрлі қозғалтқыштардың роторларының синхронды айналуын қамтамасыз ету қажеттілігімен байланысты белгілі бір қиындықтар туындайды.

Бұл бағыт көлік жүйелері (электр пойыздары, конвейерлер), металлургия (илемдеу стансалары), көтергіш-көлік жабдықтары, сондай-ақ автоматтандырылған өндірістік желілер сияқты салаларда ерекше өзектілікке ие болады. Мұндай қосымшаларда қозғалтқыштардың айналу синхрондылығы технологиялық операциялардың дәлдігіне, жабдықтың қауіпсіздігі мен сенімділігіне, сондай-ақ энергия шығынын азайтуға тікелей әсер етеді.

Энергия тиімділігі мен өндірістік процестерді интеллектуализациялауға қойылатын талаптардың артуы жағдайында көп қозғалтқышты электр жетектерін басқарудың жаңа алгоритмдерін жасау қажеттілігі артып келеді. Асинхронды қозғалтқыштардың моменті мен жылдамдығын нақты уақыт режимінде дәл басқаруға мүмкіндік беретін векторлық басқаруды (FOC – Field Oriented Control) қолдану, олардың жұмысын синхрондауды қамтамасыз ету өте маңызды.

Осылайша, синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетектерін зерттеу өзекті ғылыми-техникалық міндет болып табылады, оны шешу күрделі техникалық жүйелердің тиімділігі мен сапасын едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеудің мақсаты мен міндеттері. Осы зерттеудің мақсаты векторлық басқару негізінде екі немесе одан да көп қозғалтқыштардың үйлесімді жұмысын қамтамасыз ететін синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі жүйесін әзірлеу және модельдеу болып табылады.

Қойылған мақсатқа жету үшін жұмыс барысында келесі міндеттер шешіледі:

1) Өнеркәсіпте қолданылатын көп қозғалтқышты электр жетектерінің қолданыстағы құрылымдарына және оларды басқару тәсілдеріне талдау жүргізу;

2) Синхронды айналуды басқару мүмкіндігін қамтамасыз ететін асинхронды электр қозғалтқыштары бар көп қозғалтқышты жүйенің математикалық моделін әзірлеу;

3) Әртүрлі жүктемелер кезінде бірнеше асинхронды қозғалтқыштардың жылдамдығы мен моментін синхрондау әдістерін зерттеу;

4) Әр қозғалтқыш үшін векторлық басқару жүйесін (FOC) енгізу және олардың көп қозғалтқышты конфигурацияда үйлестірілуін қамтамасыз ету;

5) MATLAB/Simulink ортасында электр жетегінің компьютерлік моделін құру және имитациялық эксперименттер сериясын жүргізу;

6) Алынған модельдеу нәтижелерін талдаңыз және көп қозғалтқышты жүйені басқарудың ұсынылған тәсілінің тиімділігін бағалаңыз.

Зерттеу нысаны мен пәні. Зерттеу нысаны – бірнеше асинхронды қозғалтқыштарға негізделген электр жетегі жүйесі, ол өндірістік жабдықта бірлескен және синхронды жұмыс істеуге арналған.

Зерттеу пәні – әртүрлі жүктеме режимдерінде біліктердің синхронды айналуын қамтамасыз ету мақсатында асинхронды электр жетектерінің көп қозғалтқышты жүйесін басқарудың әдістері мен алгоритмдері, соның ішінде тиісті модельдерді, басқару жүйелерін және синхрондау құралдарын әзірлеу.

Зерттеу әдістері. Жұмыста аналитикалық және сандық зерттеу әдістері қолданылады. Қолданылатын негізгі тәсілдерге мыналар жатады:

- Электромагниттік күй теңдеулерін және айналмалы қозғалыс механикасын қолдана отырып, көп қозғалтқышты асинхронды жүйелердегі процестерді математикалық модельдеу;

- Асинхронды электр қозғалтқыштарында тәуелсіз момент пен ағынды басқаруды жүзеге асыру үшін векторлық басқару әдістері (FOC);

- Жүйенің сандық моделін құруға, имитациялық эксперименттер жүргізуге және әртүрлі жұмыс режимдерінде электр жетектерінің әрекетін елестетуге мүмкіндік беретін MATLAB/Simulink ортасында модельдеу;

- Электр жетектерінің параметрлерін синхрондау мен реттеудің әртүрлі стратегияларын салыстырмалы талдау;

- Ұсынылған басқару алгоритмдерінің тиімділігін бағалау мақсатында модельдеу нәтижелерін статистикалық өңдеу.

Бұл әдістерді қолдану көп қозғалтқышты жүйенің ерекшеліктерін жан-жақты зерттеуге және синхронды басқару сапасына әсер ететін негізгі факторларды анықтауға мүмкіндік береді.

Ғылыми жаңалық. Бұл жұмыстың ғылыми жаңалығы әртүрлі жүктеме режимдерінде біліктердің синхронды айналуын қамтамасыз ететін векторлық басқару жүйесі бар мосылық кранының қозғалу механизмінің қос қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің имитациялық моделін жасау болып табылады.

Алғаш рет әр қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысты қолданатын басқару құрылымы ұсынылды, бұл ауыспалы сыртқы әсерлерде жоғары синхрондау дәлдігі мен жетектің тұрақтылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Модельдеу нәтижелері ұсынылған тәсілдің тиімділігін растайды және көтергіш-көлік қондырғыларында көп қозғалтқышты жүйелерді жобалау және жаңарту кезінде қолдануға болады.

Жұмыс құрылымы мен көлемі. Жұмыс құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, төрт тараудан, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады. Жалпы жұмыс шамамен 64 бетті құрайды, оның ішінде иллюстрациялар, кестелер мен диаграммалар бар.

Кіріспеде тақырыптың өзектілігі негізделеді, зерттеу мақсаты, міндеттері, объектісі мен пәні тұжырымдалады, қолданылатын әдістер сипатталған, сонымен қатар жұмыс құрылымы келтірілген.

Бірінші тарауда көп қозғалтқышты асинхронды электр жетектерін құрудың заманауи тәсілдері қарастырылған. ЛТ-62 кранының құрылысы мен электр жетегіне қойылатын талаптар талданды. Басқару әдістері жалпыланған және векторлық басқарылатын қос қозғалтқышты жиілікті реттелетін жетектің ерекшеліктері көрсетілген.

Екінші тарауда қозғалтқыш пен жиілік түрлендіргіші таңдалады. Алмастыру схемасының параметрлерін, табиғи және статикалық сипаттамаларын есептеу жүргізілді. Әрі қарай модельдеу үшін "жиілік түрлендіргіші – асинхронды қозғалтқыш" жүйесінің құрылымы құрылды.

Үшінші тарауда ток, ағын ілінісуі және жылдамдық контурлары ПИ-реттегіштерімен реттеледі. Параметрлерді оңтайландыру екі қозғалтқыштың синхронды жұмысын қамтамасыз ету арқылы жүйенің дәлдігі мен тұрақтылығын жақсартты.

Төртінші тарауда электр жетегінің имитациялық моделі жасалды. Оның сәйкестігін тексеру және басқару әдістерін салыстыру жүргізілді. Әрбір қозғалтқыш үшін кері байланыспен векторлық басқару кезінде ең жақсы синхрондауға қол жеткізілетіні анықталды.

Қорытынды бөлімде атқарылған жұмысқа қорытынды жасалып, негізгі тұжырымдар мен келешек зерттеу бағыттары айқындалады.

1 Технологиялық процесс

1.1 ЛТ-62 мосылық кранының мақсаты мен техникалық сипаттамалары

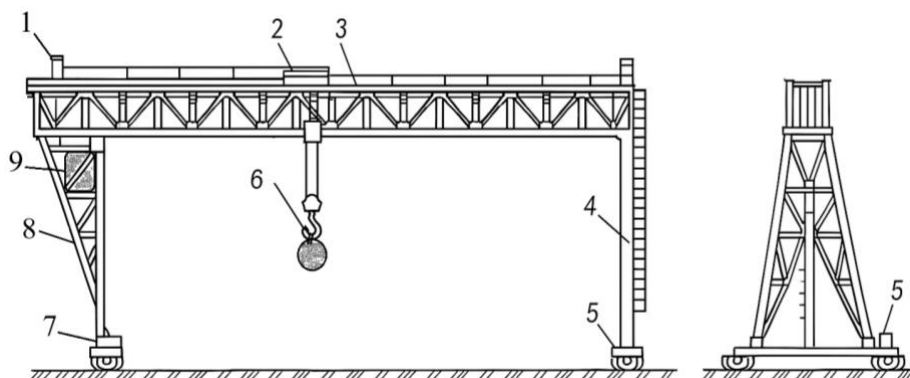
Қазіргі уақытта мосылық крандары халық шаруашылығының барлық салаларында қайта тиеу және қойма жұмыстарын механикаландырудың маңызды әдістерінің бірі болып табылады. Мосылық крандары электр жетектерінің циклдік (қысқа мерзімді және қайталама-қысқа мерзімді) жұмыс режимдерімен ерекшеленетін көтеру-тасымалдау механизмдері тобына кіретін көпір класындағы крандарға жатады.

Мосылық крандары мақсаты бойынша: жүктегіш (жалпы мақсаттағы); құрылыс-монтаждау; арнайы мақсаттағы крандар (мысалы, гидротехникалық құрылыстарға арналған крандар) болып бөлінеді.

Мосылық крандары ашық қоймалар мен тиеу алаңдарына қызмет көрсету, құрастырмалы құрылыс құрылыстары мен жабдықтарын, өнеркәсіптік кәсіпорындарды монтаждау, гидротехникалық құрылыстарға қызмет көрсету және жұмыс ортасының температурасы -40 -тан $+40$ градусқа дейінгі теміржол станцияларының контейнерлік алаңдарында тиеу-түсіру жұмыстарын орындау үшін қолданылады; жүк көтергіштігі $3...50$ тоннаны құрайды; крандардың аралықтары әдетте $4...40$ м құрайды; жүктерді көтеру биіктігі жүк-түсіру жағдайларына байланысты $7...16$ м. [1, 2, 3]

ЛТ-62 мосылық краны қолдану саласындағы бірегейлігіне байланысты мосылық көтеру механизмдерінің арасында ерекше орын алады.

ЛТ-62 мосылық краны (1.1-сурет) төменгі орман қоймаларында ағаш таситын көліктен қамшыларды түсіру және қорларды қалыптастыру үшін кеңінен қолданылды. [2, 3]



1.1-сурет – ЛТ-62 мосылық краны

Мосылық крандарының жүк көтергіш фермасы (3) биік тіректерде орналасқан – қатаң (8) және топсалы (4), олардың аяқтары кран жолдарымен қозғалатын жүріс арбаларына (5 және 7) тіреледі. Тіректің жоғарғы ұшын (4) жүк көтергіш фермаға қосудың топсасы бір тіректің екінші тірекке қатысты

жүгіруін, сондай-ақ жолды төсеудегі кейбір дәлсіздіктерді өтейді. Жүк арбасы (2) лебедка (1) көмегімен жүк көтергіш ферма бойымен қозғалады. Мұндай крандардың көпшілігінде жүкті көтеру және түсіру үшін жүк көтергіш ферманың ұштарында орналасқан екі лебедка бар. Краншының кабинасы (9) қатаң тіректің жоғарғы бөлігінде орналасқан.

Жүкті (6) үш бағыт бойынша жылжытуға болады: тігінен – жүк көтергіш механизмнің жұмысы кезінде; кран аралығы шегінде (тіректер арасындағы қашықтық) – жүк арбасының қозғалысы кезінде және кран астындағы жолдар бойымен – кран қозғалған кезде. Штабеллер кранның аралығына орналастырылады.

Жүк арбасын жылжыту үшін жүк көтергіш ферманың бойымен жолдар салынады; жолдар жүк көтергіш ферманың үстіне немесе астына орналастырылады. Бірінші жағдайда жол рельсті болады, екіншіде жол өтпесі ретінде ферманың төменгі белдеуіне бекітілген қоставрлы арқалық болады.

Мосылық кранындағы жүкті көтеру және түсіру механизмі жүк лебедкасынан және ілмек қыстырғышы бар полиспастты қамтитын арқан блокты жүйеден тұрады. Жүк лебедкасы екі нұсқа бойынша орналастырылады: тікелей жүк арбасында немесе жүк көтергіш фермада. Мосылық крандардың кейбір модельдерінде жүк көтергіш ферманың ұштарында екі жүк лебедкасы орнатылады.

Екі жүк лебедкасы бар жүк көтергіш механизмнің арқандарын жинақтау схемасы бір барабанды лебедкадан жетегі бар екі бірдей арқан блокты жүйеден тұрады.

Жүк арбасы – жүріс дөңгелектері бар рама. Арбада бекітілген полиспаст блоктары және крандардың кейбір модельдерінде жүк лебедкасы бар. Жүк арбасының жолының орналасуына байланысты (жүк көтергіш ферманың үстінде немесе астында) ол жүріс дөңгелектеріне сүйенеді немесе оларға ілінеді. Бірінші жағдайда, арбада екі полиспаст бар, олардың тармақтары жүк көтергіш ферманың екі жағына ілінеді.

Жүк арбасын жылжыту үшін жүк көтергіш ферманың соңында, әдетте қатты тіректің үстіне орнатылған бір барабанды реверстік лебедка қолданылады. Лебедка барабанында тартқыш арқанның екі тармағының ұштары бекітілген. Бір тармақ жүк арбасының бір жағына бекітілген, екіншісі бағыттаушы блокты айналып өтіп, екінші жағынан арбаға бекітіледі. Тартқыш арқанның тармақтарының барабанына орау бағыты әртүрлі болғандықтан, барабан қосылған кезде тармақтардың бірі оралады, ал екіншісі оралмайды, нәтижесінде жүк арбасы жүк көтергіш фермада қозғалады. Арбаның қозғалыс бағытын лебедканың электр қозғалтқышын реверстік ету арқылы өзгертуге болады. Жүк арбасын дәл тоқтату үшін тартқыш лебедка электромагниттік тежегішпен жабдықталған. Арба жолының соңында тұйық аялдамалар орнатылған. Мосылық крандарының жүк арбасында жеке жетектері бар жүкті көтеру және арбаның қозғалу механизмдері орналастырылған. Екі механизм де жүк көтергіштігін шектегіштермен және жүкті көтеру траверстерінің ең жоғарғы позициясымен жабдықталған.

Қозғалыс механизмі көпірді немесе бүкіл кранды көлденең жылжытуға қызмет етеді. Мосылық крандары екі рельсте қозғалады, оларға төрт арбамен сүйенеді. Әр рельсте (бір тіректің астында) екі арба (жетекші және еруші) орналасқан. Жетекші арба жетекті, жүріс дөңгелектерін және ұрлыққа қарсы ұстағышты орналастыратын рамадан тұрады. Арбаның жетегі электр қозғалтқышынан, редуктордан және олардың арасында орналасқан электромагниттік тежегіштен тұрады. Жетекші арбалардың бірінде кранның қозғалысын шектейтін соңғы ажыратқыш бар. Қысқыш түріндегі ұрлыққа қарсы ұстағыш жел жүктемесінің әсерінен кранның өздігінен қозғалу қаупі туындаған жағдайларда арбаны рельспен байланыстырады. Кранның аяғы тірекке бекітілген.

Кранның механизмдерін басқару краншының кабинасында шоғырланған. Оның орналасуы жұмыс процесін бақылау үшін қолайлы жағдайларды қамтамасыз етуі керек. Мосылық крандарда кабина қатаң тіректің жоғарғы бөлігінде орналасқан. Консольді-мосылық крандары көбінесе жылжымалы кабинамен жабдықталған, ол жүк арбасына тартылумен байланысты және онымен бірге жүру арқалығымен қозғалады.

Апаттардың алдын алу үшін кранның басқару жүйесінде жүк траверсінің көтерілу биіктігін автоматты түрде шектейтін бірқатар құлыптар, сондай-ақ жүк арбасының және кранның жұмыс учаскелерінен тыс шығуы бар. Краншы кабинасының есігін бұғаттау, егер кабинаның есігі ашық болса, кранның механизмдерін қосуға жол бермейді. Мосылық крандары кран құрылымына жел жүктемесін тіркейтін құрылғымен жабдықталған.

Кранның қозғалысын тудыруы мүмкін күші қауіпті болатын жел кезінде, жарық пен дыбыстық сигналдар қосылады. Бұл жағдайда крандағы жұмыс тоқтатылып, ұрлыққа қарсы ұстағыш қосылуы керек.

Мосылық крандарына электр қуатын беру әдетте икемді төрт сымды кабель арқылы жүзеге асырылады. Крандардың көптеген модельдері кранның қозғалысы кезінде электр кабелін орауды және ашуды механикаландыратын кабель барабанымен жабдықталған.

Мосылық крандарының электр қозғалтқыштары эстакада бойымен салынған троллейлік сымдарынан қуат алады. Жүк арбасының қозғалтқыштарына түсетін электр қуаты көпір бойымен созылған троллейлік сымдарынан алынады.

Жүк көтергіш фермасының ұштары консоль түріндегі тіректерді жақтайтын мосылық крандары консоль-мосылық крандары деп аталады. Мұндай крандарда штабелдарды консольдердің астына қосымша орналастыруға болады, бұл штабеллер алып жатқан аумақты ұлғайтады және кран жолдарының бірдей ұзындығымен ағаш материалдарының үлкен қорын құруға мүмкіндік береді. [2, 3]

Негізгі параметрлер мен сипаттамалар 1.1-кестеде келтірілген. [2, 3]

1.1-кесте – ЛТ-62 кранының негізгі параметрлері мен сипаттамалары

Көрсеткіштердің атауы	Мөлшер
Номиналды жүк көтергіштігі, т	32
Жүкті көтерудің ең жоғары биіктігі, м	11,8
Жүкті көтеру жылдамдығы, м/мин	13,4 ± 1,0
Арбаның қозғалыс жылдамдығы, м/мин	32,6 ± 1,0
Жүктің тегіс қону жылдамдығы, м/мин	12,0 ± 1,0
Жүктегіштің қозғалыс жылдамдығы, м/мин	51,0 ± 2,0
Белгіленген қуат, кВт, артық емес	129
Қозғалтқыштардың жұмыс режимі, ПВ %	орташа 25
Аралықтың ұзындығы, м	40 – 0,04
Конструктивті масса, т	95,6

Жүктегіште орнатылған арқандардың техникалық деректері 1.2-кестеге келтірілген. [2, 3]

1.2-кесте – Жүктегіште орнатылған арқандардың техникалық деректері

Атауы	Диаметрі, мм	Аралықтың ұзындығы 40 м	Белгіленуі
Жүк арқаны (2 ұшы)	21,5	203	21,5-Г-В-Н-180 ГОСТ 3079-69
Арба қозғалысының тартқыш арқаны	15,0	126	15-Г-1-Н-170 ГОСТ 3081-69

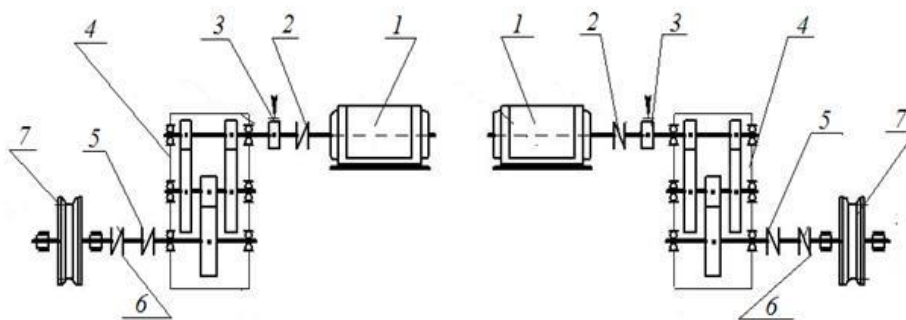
Жүктегіштің қозғалу механизмінің техникалық деректері 1.3-кестеде ұсынылған. [2, 3]

1.3-кесте – Қозғалыс механизмінің техникалық деректері

Көрсеткіштердің атауы	Мөлшер
Редуктордың беріліс саны	У2У-200-12,5-22 – 12,5
Ашық тісті тіс жұбының беріліс саны	2,82
Жалпы беріліс саны	35,4
Жүріс дөңгелегінің диаметрі	мм – 600

1.2 Мосылық крандарының кинематикалық ерекшеліктері

Крандардың қозғалу механизмдерінде көп қозғалтқышты жетек ең көп таралған, мұнда көпірдің әрбір соңғы арқалығы өзінің дербес жетегімен қозғалады, ал әртүрлі соңғы арқалықтарда орналасқан жетектер арасында металл құрылымының өзінен басқа сыртқы сәйкестендіру жүйесінің көмегімен жүзеге асырылатын байланыс бар. Нәтижесінде бір мақсат қамтамасыз етіледі – кранды рельстер бойымен көлденең жылжыту. [1, 4]



1.2-сурет – Кранның қозғалу механизмінің кинематикалық схемасы

Қозғалыс механизмі тіректердің стойкаларының немесе екі тіреу жұптасып тірелген жүріс арқалықтарының негізіне қосылатын бір доңғалақты немесе тепе-теңдік арбалар түрінде орындалады. 1.2-суретте мосылық кранының қозғалысының екі когерентті жұмыс істейтін механизмі бар. Механизмдердің әрқайсысы муфтамен (2) және редуктормен (4) қосылған электр қозғалтқышын (1) қамтиды, қозғалыстарды жетекші дөңгелектеріне (7) жібереді. Жетек дөңгелегінің білігі редуктордың төмен жылдамдықты білігіне аралық білікпен (6) және тісті муфталармен (5) қосылады. Редуктордың жоғары жылдамдықты білігінің жартылай муфтасында тежегіш (3) орнатылған. Жеке жетектің артықшылығы – бүкіл қозғалыс механизмінің жинақылығында, электр қозғалтқыштарының кішігірім маховой моменттерінде, іске қосу уақытын қысқартуда. [4]

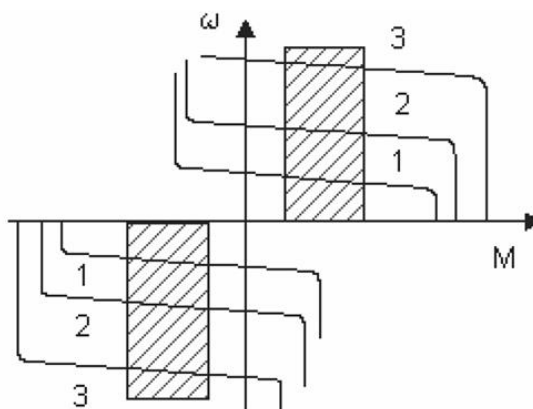
Әдетте кран электр жетегі үшін арнайы мақсаттағы айнымалы және тұрақты ток қозғалтқыштары қолданылады. Бірақ электр жетектерінің жетілдірілуімен тұрақты ток қозғалтқыштарын қолдану артта қалды. Бүгінгі таңда фазалық және қысқа тұйықталған роторлары бар асинхронды электр қозғалтқыштары жаппай таратылды. [6, 7]

Кран электр қозғалтқыштары цикл ұзақтығы 10 минуттан аспайтын 15, 25, 40 және 60% қосу ұзақтығымен сипатталатын қайта-қысқа мерзімді режимде жұмыс істеуі үшін жобаланады. Айнымалы ток кран қозғалтқыштарының негізгі номиналды режимі ПВ=40% болып табылады. Сондықтан электр жетектер жүйесін таңдау үшін механизмдердің жіктелу топтарына және тоннаның параметрлік талаптарына назар аударған жөн. [1, 7, 8]

1.3 Көлденең қозғалыс механизмінің электр жетегіне қойылатын талаптар

Мосылық крандарында қозғалыс механизмдері көпірге (көпірді жүріс жолдарымен жылжыту үшін) және арбаға (арбаны кран аралығы бойымен жылжыту үшін) орнатылады. Қозғалыс механизмдерінде қозғалыс бағытына тәуелсіз жүктеме моменті, яғни жүктеменің реактивті моменті болады. [1, 4, 8]

Көлденең қозғалыс механизмінің жетілдірілген электр жетегіне қойылатын негізгі талап – қозғалтқыш және тежеу режимдерінде қатты механикалық сипаттамаларды қамтамасыз ету мүмкіндігі (1.3-сурет). Көтеру механизміне қарама-қарсы, көлденең қозғалыс механизмінің тежеу режимі бүкіл циклдің қысқа мерзімін алады және әдетте жоғары жылдамдықтан төмен жылдамдыққа ауысқанда пайда болады. [1, 4, 8]



1.3-сурет – Көлденең қозғалыс механизмінің электр жетегінің қажетті механикалық сипаттамалары

Тежеу режимінде көлденең қозғалыс механизмінің электр жетегі көлбеу жүріс кезінде (рельс ақауы болған кезде) немесе желмен жүргенде жұмыс істей алады. [8]

Қозғалыс механизмінің ерекшелігі үлкен механикалық инерцияда жатыр, оның әрекеті қозғалмалы металл конструкциясы ауыр болған кезде және қозғалыс жылдамдығы жоғары болған кезде үлкен болады, сондықтан металл конструкциялары мен механизмдеріне динамикалық жүктемелердің жоғарылауын болдырмау үшін электр жетегі іске қосу және тежеу кезінде үдеуді шектеуге міндетті. Қозғалтқыштың білігіне келтірілген крандардың қозғалу механизмдері үшін қондырғының қозғалмалы массаларының инерция моменті қозғалтқыштың өзіндік инерция моментінен 2-20 есе көп. [1, 8]

Қозғалатын жүктің массасы, әдетте, қозғалыс механизмінің электр жетегінің статикалық сәтіне аз әсер етеді, өйткені кранның металл құрылымының массасы көбінесе жүктің массасынан үлкен болады. [1, 4]

Көлденең қозғалыс механизмдерінің электр жетектеріндегі тоқтату алгоритмі көтеру механизмдерінің электр жетектеріне қарағанда қарапайым.

Жүктеменің реактивті моментіне байланысты тежегішті алып тастауды негізінен электр қозғалтқышының моменті статикалық момент мәніне дейін өскенше күтпей орындауға болады. Негізгі шарт – динамикалық жүктемелерді азайту және тежегіш төсемдерінің тозуын азайту үшін нөлге жақын жылдамдықта тежегішті қолдану. [1, 4]

Бірақ ашық аспан астында мосылық крандарды пайдалану жел жүктемесіне ұшырайды, бұл үлкен желкенділік жағдайында кедергінің статикалық моментінің өзгеру шектерінің айтарлықтай өсуіне, сондай-ақ момент белгісінің өзгеруіне әкелуі мүмкін. Механизмнің жылдамдығын реттеудің шегі берілген номиналды жылдамдықта қажетті төмендетілген жылдамдықпен белгіленеді. Токтау алдында механизм ауыстырылатын төмен жылдамдықтың болуы оператордың жұмысын жеңілдетеді, басқарудың ыңғайлылығын тудырады және тоқтау дәлдігін арттырады. [1, 4]

1.4 Мосылық крандарының қозғалу механизмдерінің электр жетектерін басқарудың қолданыстағы жүйелеріне шолу

Мосылық крандарының қозғалу механизмдерінде басқарудың келесі әдістері қолданылады: релелік-контакторлық, дроссельдік және жиілікті реттейтін. [1, 4]

Қазіргі уақытта мосылық крандар үшін кеңінен қолданылатын электр жетегі – бұл реостатты басқару кезінде фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқышқа негізделген электр жетегі, қуатты камера контроллері, түйме посттары, толық құрылғылар бар. Себебі крандардың қызмет ету мерзімі ондаған жыл, ал крандардың көп бөлігі кеңес заманында шығарылған. Бұл жүйеге қозғалыс механизмдерін үйлестіру функциясы да кіреді. Релелік-контакторлық басқару әдісін қолдану мосылық крандардың жұмыс жағдайымен анықталады: троллейлік қоректендіру жүйесі, электр өткізгіш шаңның жоғары мөлшері, ылғалдылық, газдану, жоғары температура және оның аралық ұзындығы бойынша күрт ауытқуы, кран жұмысының жоғары қарқындылығы, ұзақ уақыт және жиілікпен сипатталады. Мұндай электр жетектерінің басты артықшылығы – оларды пайдаланудың қарапайымдылығы, құны аз және жөндеуге жарамдылығы. Алайда, оның кеңінен қолданылуына қарамастан (роторлардың электрлік келісімі арқылы), ол жарамсыз. [1]

Бұл электр жетектерінің бірқатар елеулі кемшіліктері бар: қуаттың төмен коэффициентіне және пайдалы әсер коэффициентіне байланысты энергияның үлкен шығыны; кедергі тізбектеріндегі немесе үдеу контакторларындағы контактілердің жоғалуынан туындаған роторлық тізбектердегі бұрмаланулар электр қозғалтқыштарының істен шығуына әкеледі; ротор тізбегінен кедергілердің сатылы шығарылуына байланысты қозғалтқыштардың соққы моментінің өзгеруі және кран тораптарының динамикалық шамадан тыс жүктелуі; қозғалыс механизмдерінің электр жетектерінде электр тежелуінің

болмауы; релелік-контакторлық аппаратураның тозуға төзімділігі төмен. [1, 7, 8]

Бұл серпімді механикалық тербелістердің пайда болуының себебі болуы мүмкін және өтпелі процестердің тегістігін бұзады, механизмдер мен кранның металл құрылымдарында динамикалық жүктемелерді жоғарылатады, нәтижесінде өнімділіктің төмендеуіне және кранның компоненттерінің мерзімінен бұрын істен шығуына әкелуі мүмкін. [1, 8]

Релелік-контакторлық жүйемен қатар кран механизмдері дроссельді басқару әдісін қолданады. Дроссельдің негізгі қолданылуы кран механизмдерінің электр жетектерінде, көпірлер мен арбалардың қозғалысында да, көтеру механизмдерінде де кездеседі. [1, 4]

Кранды іске қосу дроссельдерін пайдалану кезінде электр қозғалтқышының статор тізбегін басқару схемасы өзгеріссіз қалады, ал дроссель ротор тізбегіне қосылады. Дроссельді қосқанда, іске қосу тогының айтарлықтай төмендеуімен табиғи сипаттамадан гөрі іске қосу моментінің мәніне көп кепілдік берілуі мүмкін. [9]

Дроссельдер қозғалтқыштың роторын басқару жүйесі болмаған кезде іске қосу токтарын шектей отырып, синхрондыдан 0,5-0,6 жылдамдыққа дейінгі моменттің шамамен тұрақтылығын сақтай отырып, электр қозғалтқышын механизмдегі соққыларсыз тегіс іске қосуды және тежеуді қамтамасыз етеді. [9]

Тікелей ағынды контроллермен кранның электр жетектерінің механизмін басқару кезінде кран машинисінің толық озбырлығына жол беріледі. Дроссельді қолдану машинисті максималды режимдерде жұмыс істеу мүмкіндігінен айырады.

Көп қозғалтқышты электр жетектерінде іске қосу дроссельдерін қолдану негізгі мәселені шеше алады – қозғалтқыштардың жылдамдығын синхрондау.

Механизмдердің тегіс үдеуін және әсіресе тегіс, бірақ қарқынды тежеуді қамтамасыз ету арқылы механикалық түйіндердің (редукторлар, муфталар, біліктер және т.б.) қызмет ету мерзімі күрт артады. [10]

Бірақ фазалық роторлы асинхронды қозғалтқышты қолдану қазіргі уақытта маңызды емес, бағасының қымбаттығына байланысты. [1]

Нәтижесінде динамикалық жүктемелерді төмендету және механизмнің сенімділігін, тұрақтылығы үшін қолданыстағы басқару жүйелерін жетілдіру немесе жаңаларын құру арқылы кранның қозғалу механизмдерін электр жетектерімен реттеудің оңтайлы жүйесі қажет. Нәтижесінде оған қойылатын барлық талаптарды ескере отырып, кранның механизмдерінің сенімділігі, беріктігі және дәлдігі артуы керек.

Қазіргі уақытта мосылық крандарының реттелмейтін электр жетектерінен релелік-контакторлы, реттелетін және сенімділігі бойынша тиімді электр жетектеріне ауысудың тұрақты бағыты бар. Бұл кран механизмдерінде жиілік түрлендіргіштері бар асинхронды қысқа тұйықталған электр қозғалтқыштарын қолданумен байланысты. [1, 8]

Жиілікті басқару – бұл асинхронды қозғалтқыштардың сапалы механикалық сипаттамаларын алуға мүмкіндік беретін айнымалы ток қозғалтқышының жылдамдығын реттеудің ең тиімді әдісі.

Жиілікпен басқарылатын электр жетектерін пайдалану келесі артықшылықтарды қамтамасыз етеді:

- жүктің кез келген массасы кезінде (рұқсат етілген шектерде) жылдамдықты, үдеуді және моментті абсолютті бақылау және соққысыз реттеу;

- кранның барлық механизмдерін берілген үдеумен тегіс жеделдету және тежеу, бұл кранның барлық түйіндері мен механизмдерінде моменттер мен күштердің біркелкі өсуін қамтамасыз етеді;

- қысқа тұйықталған роторлы асинхронды электр қозғалтқыштарын пайдалану, сенімдірек және аз пайдалану шығындарын қажет етеді;

- асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығын жиілік түрлендіргіштерімен реттеу электр қуатын 20% үнемдеуге мүмкіндік береді;

- түрлендіргішпен желі байланысы бар бағдарламаланатын контроллер барлық сигналдар мен жүктемелерді диагностикалау, статистикалық жинау және өңдеу мәселелерін шешуге мүмкіндік береді;

- тежегіш жастықшалары жиі ауыстыруды қажет етпейді, ал тежегіштер үнемі реттеуді, өйткені басқарылатын тежеуді жиілік түрлендіргіштері жүзеге асырады, ал тежегіштер тек механизм толық тоқтағаннан кейін ұстауға қызмет етеді;

- статикалық және динамикалық моменттерді шектеу;

- жүктердің қисаюы мен тербелісін жою;

- электр қозғалтқыштарын қорғау (максималды ток, уақыт-ток, жылу және т. б.);

- заманауи басқару аппаратурасын қолдану арқылы кран операторының жұмыс жағдайларын жақсарту;

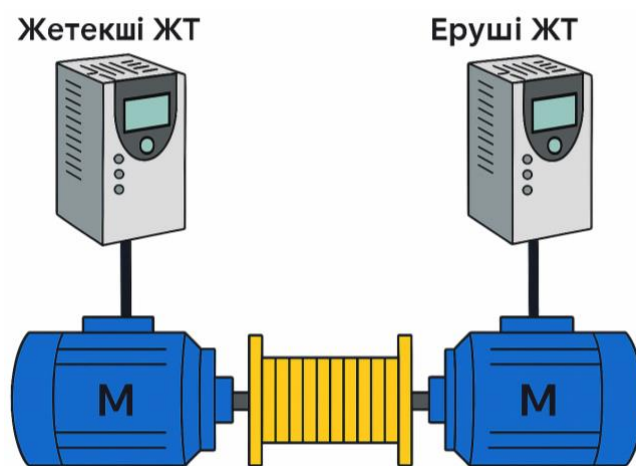
- релелік-контакторлық аппаратура санын қысқарту электр жабдықтары жұмысының сенімділігін арттыруға және профилактикалық қызмет көрсетуге жұмсалатын еңбек шығындарын азайтуға мүмкіндік береді;

- кран механизмдеріне динамикалық жүктемелерді азайту және жабдықтың қызмет ету мерзімін арттыру. [4, 10]

«Жиілік түрлендіргіш – қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыш» жүйесі бойынша жартылай өткізгіш түрлендіргіштердің көмегімен қозғалтқыштардың айналу жылдамдығын реттеу және синхрондау кезінде мосылық крандардың қозғалу механизмінің автоматтандырылған электр жетегіне қатысты мосылық крандарында жиілікті реттелетін электр жетектерін пайдаланумен қос қозғалтқышты электр жетегінің математикалық модельдері жасалмаған, жиілікті реттеу көмегімен кранның қозғалыс механизмін басқарудың оңтайлы әдісін талдау және таңдау жүргізілмеген. [1, 2]

Көлденең қозғалыстағы электр жетектерінің ерекшелігі – олардың көпшілігі көп қозғалтқышты жетектер ретінде жүзеге асырылады. Бұл жағдайда электр қозғалтқыштары ең үнемді нұсқа болып табылатын бір жиілік түрлендіргішімен де, кран механизмдерін икемді басқаруды қамтамасыз ететін жеке түрлендіргіштермен де жұмыс істей алады. [2]

Қозғалтқыштарды жеке түрлендіргіштерден қоректендіру үлкен аралықтары бар мосылық крандарының қозғалу механизмдерінің жетектері үшін орынды болып көрінеді. Бұл жағдайда басқарудың үлкен икемділігінің арқасында қозғалтқыштар арасындағы жүктемені "жетекші-еруші" схемасы бойынша теңестіруді қамтамасыз етуге болады (1.4-сурет), кран көпірінің қисаюын жою мақсатында жетектердің қозғалысын синхрондау және т. б.



1.4-сурет – «Жетекші-еруші» конфигурациясы

1.5 Қос қозғалтқышты электр жетегінің ерекшеліктері

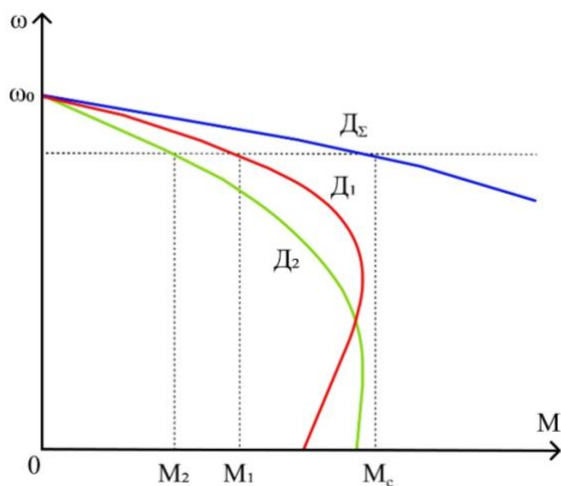
Көп қозғалтқышты электр жетегі мен бір қозғалтқыштың негізгі айырмашылығы – қуат ағыны бір емес, бірнеше энергия көздерінен (қозғалтқыштардан) беріледі. Көп қозғалтқышты жетектің бір қозғалтқышқа қарағанда бірқатар артықшылықтары бар екені белгілі, әсіресе ауыр технологиялық қондырғыларда. Электр жетегі теориясында көп қозғалтқышты электр жетектері жылдамдық пен моментті реттеуге қатысты үлкен мүмкіндіктермен, қуатты өзара резервтеумен, бір қозғалтқышты электр жетегі жүйесімен салыстырғанда жүйенің инерциясының жалпы моментінің төмендеуімен, салыстырмалы түрде аз қуатты сериялық электр машиналарын пайдалану кезінде қуатты қондырғылар құру мүмкіндігімен, механикалық жабдықты жеңілдетумен, электр қозғалтқыштарын жақсы құрылымдық орналастырумен сипатталады.

Сонымен қатар, көп қозғалтқышты электр жетектерін пайдалану тәжірибесі кейбір механизмдерде беріліс қорабындағы қарқынды тербеліс

процестерінің қозатындығын көрсетеді, бұл көбінесе шамадан тыс жүктеледі, ал кейбір жағдайларда жетек бөлшектерінің бұзылуына әкеледі.

Тіпті бір типті қозғалтқыштарда олардың механикалық сипаттамалары орамалардың, магнит ағындарының және т.б. кедергісінің айырмашылығына байланысты бір-бірінен ерекшеленуі мүмкін екендігі белгілі. Мұның бәрі қозғалтқыштардың бұрыштық жылдамдықтарының біркелкі болмауына және әр қозғалтқышқа жүктемелердің сөзсіз қайта бөлінуіне себеп болатын күрделі тербеліс процестерінің қозуын тудырады. Электр қозғалтқыштары арасындағы моменттердің біркелкі бөлінбеуі олардың біреуінің шамадан тыс жүктелуіне, сондай-ақ кинематикалық беріліс элементтерінің – редукторлардың берілістерінің, шпиндельдердің және т. б. біркелкі емес тозуына әкеледі. Осылайша, машина агрегаттарының қос қозғалтқышты жүйелерінің маңызды мәселелерінің бірі статикалық және динамикалық режимдерде қозғалтқыштар арасында жүктемелердің біркелкі бөлінуін қамтамасыз ету болып табылады.

Осыған байланысты біз қос қозғалтқышты электр жетегінің қарапайым моделін қарастыра отырып, статикадағы жүктемелерді бөлу мәселесін зерттейміз. 1.5-суретте механикалық сипаттамалары қаттылығымен ерекшеленетін екі асинхронды электр қозғалтқыштары арасындағы жүктемелердің таралуы көрсетілген. Жұмсақ сипаттамалары бар Д2 қозғалтқышы аз жүктелген. Егер қозғалтқыштардың номиналды моменті кедергі моментінің жартысына тең болса, онда бір қозғалтқыш жүктелмейді (Д2), ал екіншісі (Д1) шамадан тыс жүктеледі, бұл ұзақ уақыт жұмыс істегенде қозғалтқыштың (Д1) қызып кетуіне әкеледі, нәтижесінде ол істен шығуы мүмкін. [11]



1.5-сурет – Екі асинхронды электр қозғалтқышы бар жетектегі жүктемелердің бөлінуі

Бөлім бойынша қорытындылар:

Жоғарыда айтылғандардың негізінде жұмыста мосылық кранының қозғалу механизмдерінің келісілген айналуының қос қозғалтқышты жиілікті

реттелетін асинхронды электр жетегі қарастырылады. Көп қозғалтқышты электр жетектерін басқару жеке жиілік түрлендіргіштерінен жүзеге асырылады.

Мосылық крандарының қозғалу механизмдеріне қойылатын талаптар мен ерекшеліктерді ескере отырып, электр жетектерінің жылдамдығын толық синхрондауға қол жеткізу және жүктемелердің біркелкі бөлінбеуіне байланысты үдеткіштің, тежеудің оңтайлы өлшемдерін қамтамасыз ету қажет.

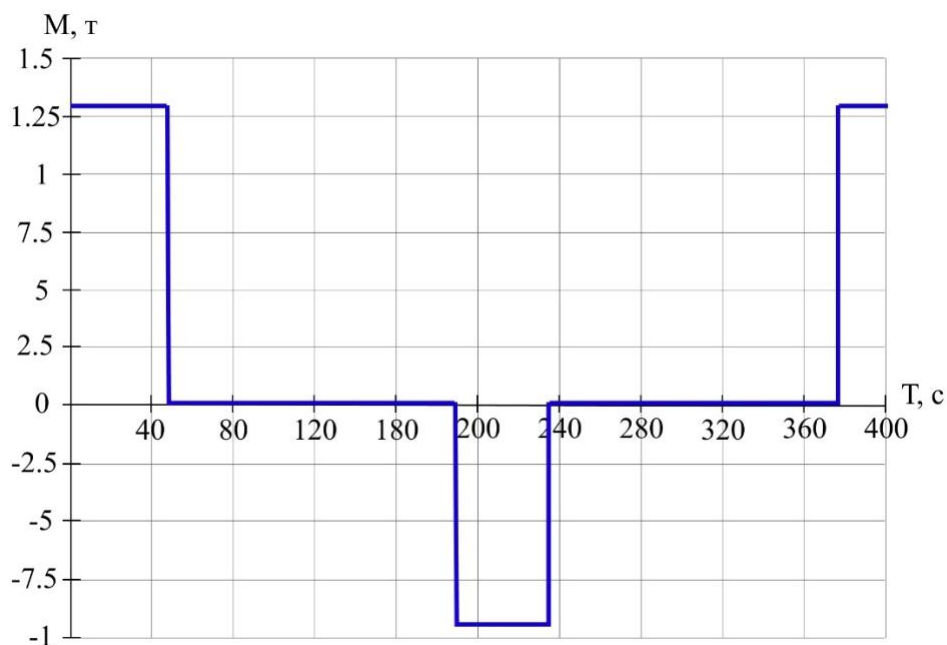
2 Жабдықты таңдау және кранның қозғалу механизмінің электр жетегін есептеу

2.1 Қозғалтқышты таңдау

ЛТ-62 мосылық краны ашық ауада жұмыс істеуге арналған, сондықтан қозғалтқыштың қуатын таңдау механизмде пайда болатын күштерді есептеуге негізделген. [5, 8, 9]

Технологиялық циклды орындау үшін берілген механизм орындауы керек жүктеме диаграммасын бейнелейік. Диаграмма деректері имитациялық модельді зерттеу кезінде одан әрі пайдаланылады.

Кран бір бағытта көлденең қозғалады, алдымен t_{p1} уақытындағы m_1 массасы, содан кейін t_{p2} уақытындағы m_2 массасы. Сонымен қатар, $t_{p1}=t_{p2}=t_p$. Жүктерді жылжыту арасында тең үзілістер бар t_n жүкті алу және тиеу үшін. Онда жүктеме диаграммасы келесідей болады (2.1-сурет).



2.1-сурет – Жүктеме диаграммасы

m_1 және m_2 массаларын келесідей табамыз

$$m_1 = m_n + m_{кр} = 32000 + 95600 = 127600 \text{ кг} \quad (2.1)$$

$$m_2 = m_{кр} = 95600 \text{ кг} \quad (2.2)$$

мұнда m_n – номиналды жүк көтергіштігі, т;

$m_{кр}$ – конструктивті масса, т.

Жұмыс уақыты t_p біз қозғалыс шамасымен L және кранның номиналды жылдамдығымен v_H анықтаймыз:

$$t_p = \frac{L}{v_H} = \frac{40 \cdot 60}{51} = 47,059 \text{ с} \quad (2.3)$$

$t_{ц}$ циклі процесс өрісі қайталанатын уақытпен анықталады:

$$t_{ц} = \frac{2 \cdot t_p}{ПВ} = \frac{2 \cdot 47,059}{0,25} = 376,471 \text{ с} \quad (2.4)$$

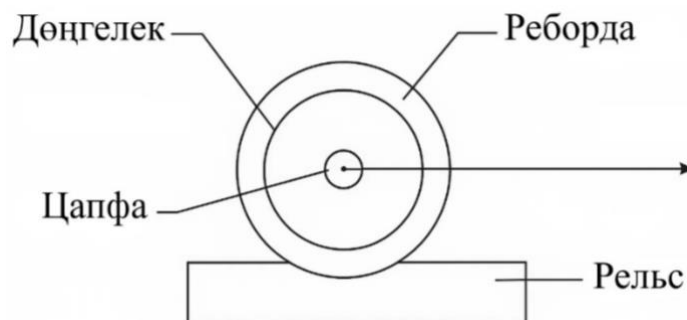
Үзіліс уақыты t_n механизмнің бастапқы деректері бойынша келесідей анықталады:

$$t_n = t_p \cdot \frac{1 - ПВ}{ПВ} = 47,059 \cdot \frac{1 - 0,25}{0,25} = 141,176 \text{ с} \quad (2.5)$$

Үзілістердің жалпы уақыты

$$t_{\Sigma} = t_{ц} - 2 \cdot t_p = 376,471 - 2 \cdot 47,059 = 282,353 \text{ с} \quad (2.6)$$

Жүктеме диаграммасының қуатын анықтаймыз. Мосылық краны үшін күш қолдану схемасы 2.2-суретте көрсетілген.



2.2-сурет – Арбаның рельс жолымен қозғалысы

Бұл жағдайда күш келесі формула бойынша анықталады: [8, 9]

$$F = \frac{k_p \cdot m \cdot g \cdot (\mu \cdot r_{ц} + f)}{R_k} \quad (2.7)$$

мұнда m – тасымалданатын жүктің жалпы салмағы, кг;

R_k – жүріс дөңгелегінің радиусы, м;

μ – дөңгелектерді рельстерге айналдыру мойынтіректеріндегі үйкеліс коэффициенті, $\mu=0,02$;

f – рельстердегі жүріс дөңгелектерінің айналу коэффициенті, $f=0,0004$;

k_p – рельстердегі ребордтардың үйкеліс кедергісін ескеретін коэффициент, $k_p=2,5$;

$r_{ц}$ – жүріс дөңгелегіндегі цапфаның радиусы, м;

Кранды жүкпен жылжыту үшін (2.7) формулаға сәйкес F_1 анықтаймыз:

$$F_1 = \frac{k_p m_1 g \cdot (\mu \cdot r_{\text{ц}} + f)}{R_k} = \frac{0,25 \cdot 127600 \cdot 9,81 \cdot (0,02 \cdot 0,6 + 4 \cdot 10^{-4})}{0,3} = 16680 \text{ Н}$$

Кранды жүксіз жылжыту үшін (2.7) формулаға сәйкес F_2 анықтаймыз:

$$F_2 = \frac{k_p m_2 g \cdot (\mu \cdot r_{\text{ц}} + f)}{R_k} = \frac{0,25 \cdot 95600 \cdot 9,81 \cdot (0,02 \cdot 0,6 + 4 \cdot 10^{-4})}{0,3} = 12500 \text{ Н}$$

Механизмнің белгілі қозғалыс жылдамдығымен қозғалыстың статикалық қуаты келесідей анықталады:

$$P_{\text{ст}} = F \cdot v_{\text{н}} \quad (2.8)$$

Сандық мәндерді қоя отырып, келесі мәндерді аламыз:

$$P_{\text{ст1}} = F_1 \cdot v_{\text{н}} = 16680 \cdot 0,85 = 14180 \text{ Вт},$$

$$P_{\text{ст2}} = F_2 \cdot v_{\text{н}} = 12500 \cdot 0,85 = 10630 \text{ Вт}.$$

Берілістің ПӘК $\eta_{\text{пер}}$ табамыз:

$$\eta_{\text{пер}} = \frac{1}{\frac{1}{\eta_{\text{пер.ном}}} + \frac{\alpha}{k_3} - \alpha} \quad (2.9)$$

мұнда $\eta_{\text{пер.ном}}$ – кинематикалық схеманың номиналды ПӘК оның жеке бөліктерінің көбейтіндісіне тең, $\eta_{\text{пер.ном}}=0,92$;

α – 0,08-ге тең қолданылатын коэффициент;

K_3 – жүктеу коэффициенті.

(2.10) формула кранды жүкпен жылжыту жағдайы үшін жүктеу коэффициенті:

$$k_{31} = \frac{m_1}{m_{\text{н}} + m_{\text{кр}}} = \frac{127600}{32000 + 95600} = 1,0 \quad (2.10)$$

содан кейін

$$\eta_{\text{пер1}} = \frac{1}{\frac{1}{0,92} + \frac{0,8}{1,0} - 0,8} = 0,92.$$

Сол сияқты, (2.10) формуладан кранды жүксіз жылжыту режимінің параметрлерін анықтаймыз:

$$k_{32} = \frac{m_2}{m_n + m_{кр}} = \frac{95600}{32000 + 95600} = 0,749$$

содан кейін

$$\eta_{пер2} = \frac{1}{\frac{1}{0,92} + \frac{0,8}{0,749} - 0,8} = 0,738.$$

Эквивалентті қуатты анықтаңыз:

$$P_э(ПВ = 25\%) = \sqrt{\frac{P_{ст1}^2 t_{p1} + P_{ст1}^2 t_{p2}}{t_{p1} + t_{p2}}} \quad (2.11)$$

$$P_э(ПВ = 25\%) = \sqrt{\frac{14180 \cdot 47,059 + 10630 \cdot 47,059}{47,059 + 47,059}} = 12530 \text{ Вт}$$

Қор коэффициентін ескере отырып, қозғалтқыштың қуатын анықтайық:

$$P_{расч} = k_3 \cdot \frac{P_э}{\eta_{пер.ном}} = 1,35 \cdot \frac{12530}{0,92} = 18390 \text{ Вт} \quad (2.12)$$

мұнда k_3 – қор коэффициенті, өтпелі кезеңдегі қозғалтқыштың қосымша қызуын ескереді, ол қуатты алдын-ала таңдау кезінде ескерілмейді, $k_3=1,35$ қабылдаймыз;

Нақты ПВ-да есептелген қуатты стандартты ПВ_{ст}=40% кезінде қуатқа әкелеміз:

$$P_{рас}(ПВ = 40\%) = P_{рас}(ПВ = 25\%) \cdot \sqrt{\frac{25}{40}} = 18390 \cdot \sqrt{\frac{25}{40}} = 14540 \text{ Вт} \quad (2.13)$$

Себебі кранның қозғалыс механизмінің жетегі бөлек, содан кейін қозғалтқышты қуаттылығы бойынша есептелген шамадан екі есе аз таңдаймыз. Каталог бойынша, қабылданған $P_{расч}$ сәйкес, қозғалтқышты $P_n > P_{расч}$ болатындай етіп таңдаймыз.

Каталог бойынша әр түрлі номиналды айналу жиіліктері бар ең жақын қуатты бірнеше электр қозғалтқыштарын таңдайды (2.1-кесте). [11]

2.1-кесте – Әр түрлі номиналды айналу жиіліктері бар ең жақын қуатты электр қозғалтқышы

Қозғалтқыш түрі	Р _н , кВт	Айналу жиілігі, айн/мин	η _н , %	cosφ _н	J _{дв} , кг·м ²
МТКН 311-8	7,5	690	80,5	0,63	0,281
АМТКФ132L6	7,5	900	87	0,87	0,085

Әрбір қозғалтқыш үшін редуктордың беріліс қатынасы (саны) есептеледі:

$$i_p = \frac{n_H}{n_{\max m}}; \quad (2.14)$$

мұнда n_H – қозғалтқыштың номиналды айналу жиілігі;

$n_{\max m}$ – өндіріс механизмінің айналу жиілігі.

$$n_{\max m} = \frac{v_{\text{пер}}}{R_K \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{51}{0,3 \cdot 2 \cdot \pi} = 27 \text{ айн/мин} \quad (2.15)$$

$$i_{p1} = \frac{n_{H1}}{n_{\max m}} = \frac{690}{27} = 25,5$$

$$i_{p2} = \frac{n_{H2}}{n_{\max m}} = \frac{900}{27} = 33,3$$

Әрбір қозғалтқыш үшін оңтайлы, іске қосу уақытын азайту шартымен редуктордың беріліс қатынасы анықталады:

$$i_{\text{оптр}} = \sqrt{\frac{J_M}{k \cdot J_{\text{дв}}}} \quad (2.16)$$

мұнда J_M – өндірістік механизмнің инерция моменті;

$J_{\text{дв}}$ – қозғалтқыш роторының инерция моменті;

k – редуктордың инерция моментін ескеретін коэффициент; $k=1,3$ қабылдаймыз.

$$i_{\text{оптр1}} = \sqrt{\frac{J_M}{k \cdot J_{\text{дв1}}}} = \sqrt{\frac{0,68}{1,3 \cdot 0,281}} = 1,36$$

$$i_{\text{оптр2}} = \sqrt{\frac{J_M}{k \cdot J_{\text{дв2}}}} = \sqrt{\frac{0,68}{1,3 \cdot 0,085}} = 2,48$$

Әрбір қозғалтқыш үшін редуктордың таңдалған стандартты беріліс қатынасының оңтайлы беріліс қатынасына қатынасы анықталады:

$$\Theta = \frac{i_{\text{оптр}}}{i_{\text{стр}}} \quad (2.17)$$

$$\Theta_1 = \frac{i_{\text{оптр1}}}{i_{\text{стр1}}} = \frac{1,36}{25} = 0,055$$

$$\Theta_2 = \frac{i_{\text{оптр2}}}{i_{\text{стр2}}} = \frac{2,48}{31,5} = 0,079$$

Өнеркәсіп стандартты қатардан беріліс саны бар бір, екі және үш сатылы редукторларды шығарады: [4, 12]: 1,0; 1,12; 1,25; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,24; 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4,0; 4,5; 5,0; 5,6; 6,3; 7,1; 8,0; 9,0.

Редуктордың қажетті стандартты беріліс қатынасын келесідей табамыз:

$$i_{\text{стр}} = i_{\text{ст}} \cdot 10^x \quad (2.18)$$

мұнда $i_{\text{ст}}$ – редуктордың стандартты беріліс саны; $i_{\text{ст1}}=25$, $i_{\text{ст2}}=31,5$ қабылдаймыз;

x – бүтін сан; $x=1$ қабылдаймыз;

$$i_{\text{стр1}} = i_{\text{ст1}} \cdot 10^x = 2,5 \cdot 10^1 = 25$$

$$i_{\text{стр2}} = i_{\text{ст2}} \cdot 10^x = 3,15 \cdot 10^1 = 31,5$$

Редуктордың стандартты беріліс қатынасы есептелгенге ең жақын кіші ретінде таңдалады:

$$i_{\text{стр}} \leq i_p$$

$$25 \leq 25,5$$

$$31,5 \leq 33,3$$

Үлкен Θ бар қозғалтқыш жетек ретінде қабылданады.

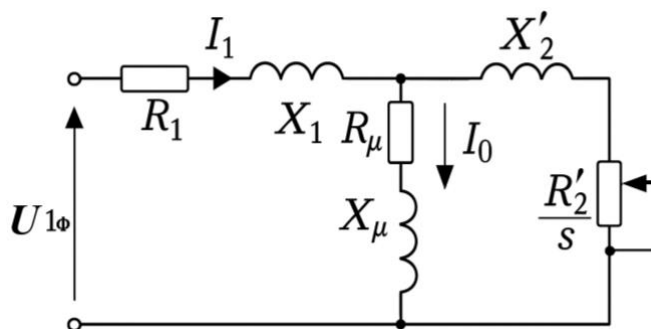
АМТКФ132L6 сериялы қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқышты таңдаймыз, техникалық мәліметтер 2.2-кестеде келтірілген. [11, 12]

2.2-кесте – АМТКФ132L6 асинхронды қозғалтқышының техникалық деректері

Қозғалтқыш түрі	P_n , кВт	Айналу жиілігі, айн/мин	η_n , %	$\cos\varphi_n$	$J_{\text{дв}}$, кг·м ²
АМТКФ132L6	7,5	900	87	0,87	0,085
	$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_n}$	$m_M = \frac{M_{\text{мин}}}{M_n}$	$k_{i_{\text{дв}}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_n}$	$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	s_n , %
	2,2	-	4,2	2,2	10

2.2 Асинхронды қозғалтқыштың алмастыру схемасының параметрлерін есептеу

Анықтамалық әдебиеттерде электр қозғалтқышының алмастыру схемасының параметрлері жоқ. Параметрлерді анықтау үшін асинхронды қозғалтқыштың инженерлік есептеулері үшін ең қарапайым және ыңғайлы 2.3-суретте көрсетілген Т-тәрізді алмастыру схемасын қолданамыз. [12]



2.3-сурет – Асинхронды қозғалтқыштың алмастыру схемасы

Қабылданған алмастыру схемасына сәйкес келетін асинхронды қозғалтқыштың негізгі теңдеулері:

$$\begin{aligned}\bar{U}_{1\phi} - \bar{E}_1 - j \cdot x_{1\sigma} \cdot \bar{I}_1 - \bar{R}_1 \cdot \bar{I}_1 &= 0 \\ \bar{E}_1 - j \cdot x'_{2\sigma} \cdot \bar{I}'_2 + \frac{\bar{R}'_2}{s} \cdot \bar{I}'_2 &= 0 \\ \bar{I}_1 + \bar{I}'_2 - \bar{I}_0 &= 0\end{aligned}\tag{2.19}$$

мұнда $U_{1\phi}$ – қозғалтқыштың статор орамасының фазалық кернеуі;

E_1 – статор орамасының ЭҚК;

$x_{1\sigma}$ – статор орамасының индуктивті шашырау кедергісі;

R_1 – статор орамасының активті кедергісі;

$x'_{2\sigma}$ – статор орамасына келтірілген ротор орамасының шашырауының индуктивті кедергісі;

R'_2 – статор орамасына келтірілген ротор орамасының активті кедергісі;

I_1 – статор орамасының тогы;

I'_2 – статор орамасына келтірілген ротор орамасының тогы;

I_0 – статор орамасының бос жүріс тогы.

Бастапқы деректер 2.2-кестеде келтірілген АМТКФ132L6 асинхронды қозғалтқышының каталогтағы деректері болып табылады.

Асинхронды қозғалтқыштың бос жүріс тогын келесі формуладан табуға болады:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[\frac{p_{\text{ж}} I_{1\text{H}} (1 - s_{\text{H}})}{(1 - p_{\text{ж}} s_{\text{H}})} \right]^2}{1 - \left[\frac{p_{\text{ж}} (1 - s_{\text{H}})}{(1 - p_{\text{ж}} s_{\text{H}})} \right]^2}} \quad (2.20)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{11,007^2 - \left[\frac{0,75 \cdot 15,013 \cdot (1 - 0,1)}{(1 - 0,75 \cdot 0,1)} \right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,1)}{(1 - 0,75 \cdot 0,1)} \right]^2}} = 1,552 \text{ A}$$

мұнда s_{H} – номиналды сырғу;

$$s_{\text{H}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{H}}}{\omega_0} = \frac{104,72 - 94,248}{104,72} = 0,1 \quad (2.21)$$

ω_0 – бос жүріс жылдамдығы, рад/с;

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{max}}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1000}{60} = 104,72 \text{ рад/с} \quad (2.22)$$

ω_{H} – номиналды айналу жылдамдығы, рад/с;

$$\omega_{\text{HOM}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{HOM}}}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 900}{60} = 94,248 \text{ рад/с} \quad (2.23)$$

$I_{1\text{H}}$ – қозғалтқыш статорының номиналды тогы;

$$I_{1\text{H}} = \frac{P_{\text{H}}}{3 \cdot U_{\text{H}} \cdot \cos \varphi_{\text{H}} \cdot \eta_{\text{H}}} = \frac{7500}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,87} = 15,013 \quad (2.24)$$

I_{11} – ішінара жүктеме кезінде қозғалтқыш статорының тогы;

$$I_{11} = \frac{p_{\text{ж}} \cdot P_{\text{H}}}{3 \cdot U_{1\text{H}} \cdot \cos \varphi_{p_{\text{ж}}} \cdot \eta_{p_{\text{ж}}}} = \frac{0,75 \cdot 7500}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,87} = 11,007 \quad (2.25)$$

$p_{\text{ж}}$ – қозғалтқыштың жүктеме коэффициенті;

$$p_{\text{ж}} = \frac{P}{P_{\text{H}}} = 0,75 \quad (2.26)$$

Клосс формуласынан критикалық сырғуды есептеу үшін қажет қатынасты анықтаймыз:

$$s_{\text{K}} = s_{\text{H}} \cdot \frac{m_{\text{K}} + \sqrt{m_{\text{K}}^2 - [1 - 2 \cdot s_{\text{H}} \cdot \beta \cdot (m_{\text{K}} - 1)]}}{1 - 2 \cdot \beta \cdot (m_{\text{K}} - 1)} \quad (2.27)$$

$$s_k = 0,1 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - [1 - 2 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,542$$

β коэффициентінің мәні 0,6–2,5 диапазонында, сондықтан бірінші жуықтауда $\beta=1$ мәнін қабылдаймыз.

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{1,552}{2 \cdot 4,2 \cdot 15,013} = 1,012 \quad (2.28)$$

Асинхронды қозғалтқыштың статор орамасына келтірілген ротордың активті кедергісі:

$$R'_2 = \frac{3 \cdot U_H^2 (1 - s_H)}{2 \cdot C_1^2 \cdot m_K \cdot P_H \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K} \right)} \quad (2.29)$$

$$R'_2 = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,1)}{2 \cdot 1,012^2 \cdot 2,2 \cdot 7500 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,542} \right)} = 1,358 \text{ Ом}$$

Статор орамасының активті кедергісін келесі формула арқылы анықтауға болады:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,012 \cdot 1,358 \cdot 2 = 1,375 \text{ Ом} \quad (2.30)$$

Қысқа тұйықталудың индуктивті кедергісін X_{KH} табуға мүмкіндік беретін γ параметрін анықтайық.

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,542^2} - 1^2} = 1,551 \quad (2.31)$$

содан кейін

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 1,551 \cdot 1,012 \cdot 1,358 = 2,132 \text{ Ом} \quad (2.32)$$

Индуктивті кедергіден X_{KH} статор мен ротор фазаларының шашырау кедергісін бөліп алу үшін сериялық асинхронды қозғалтқыштар үшін жарамды коэффициенттерді пайдалану қажет.

Статорға келтірілген ротор орамасының индуктивті кедергісін мына формуламен есептеуге болады:

$$X'_{2\sigma} = \frac{0,58 \cdot X_{KH}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 2,132}{1,012} = 1,222 \text{ Ом} \quad (2.33)$$

Статор орамасының индуктивті кедергісін келесі формула бойынша анықтауға болады:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 1,222 = 0,896 \text{ Ом} \quad (2.34)$$

E_1 магниттеу тармағының ЭҚК векторлық диаграммасына сәйкес, номиналды режимде статор орамасындағы ауа саңылауының ағынымен көрсетілген:

$$E_1 = \sqrt{(U_H \cos \varphi_H - R_1 I_H)^2 + (U_H \sin \varphi_H - X_{1H} I_H)^2} \quad (2.35)$$

$$E_1 = \sqrt{(220 \cdot 0,87 - 1,375 \cdot 15,013)^2 + (220 \cdot 0,493 - 0,896 \cdot 15,013)^2} = 195,42 \text{ В}$$

содан кейін магниттелудің индуктивті кедергісі

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{195,42}{1,552} = 125,891 \text{ Ом} \quad (2.36)$$

Индуктивті кедергілерді есептеу негізінде статор, ротор, магниттеу орамасының индуктивтілігін есептейміз:

$$L_1 = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{0,896}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 2,851 \text{ мГн} \quad (2.37)$$

$$L_2 = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{1,222}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 3,889 \text{ мГн} \quad (2.38)$$

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{125,891}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,40072 \text{ мГн} \quad (2.39)$$

Қозғалтқыштың есептік параметрлерінің сәйкестігін тексереміз.

Табылған параметрлермен қозғалтқыштың номиналды электромагниттік моментінің мәндері есептеледі:

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} \quad (2.40)$$

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1,358}{104,72 \cdot 0,1 \cdot \left[2,132^2 + \left(1,375 + \frac{1,358}{0,1} \right)^2 + \left(\frac{1,375 \cdot 1,358}{0,1 \cdot 125,891} \right)^2 \right]} = 82,509 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2} \quad (2.41)$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot \frac{0,40072}{(0,40072 + 3,889)} \cdot 0,88 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{15,013^2 - 1,552^2} = 82,797 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

мұнда Ψ_H – ағын ілінісуінің номиналды мәні, Вб

$$\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 1,552 \cdot 0,40072 = 0,88 \text{ Вб} \quad (2.42)$$

Шарттардың орындалуын тексеру:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}}$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} \cong M_{\text{эм.н}}^*$$

$$79,577 \text{ Н} \cdot \text{м} < 82,509 \text{ Н} \cdot \text{м} \leq 87,535 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$82,797 \text{ Н} \cdot \text{м} \cong 82,509 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Есептеу нәтижесінде қозғалтқыштың үйкеліс күштерінен моменттің мәнін анықтаймыз:

$$\Delta M_{\text{с.дв}} = M_{\text{эм.н}} - M_{\text{дв.н}} = 82,509 - 79,577 = 2,932 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.43)$$

2.3 Жиілік түрлендіргішті таңдау

Түрлендіргішті дұрыс таңдау өте маңызды. Жиілік түрлендіргішінің тиімділігі мен жұмыс ресурсы және жалпы электр жетегі оған байланысты болады. Сонымен, егер түрлендіргіштің қуаты тым жоғары болса, ол қозғалтқышты тиісті деңгейде қорғай алмайды. Екінші жағынан, егер түрлендіргіштің қуаты аз болса, ол жоғары динамикалық жұмыс режимін қамтамасыз ете алмайды және шамадан тыс жүктемелерге байланысты істен шығуы мүмкін.

Дұрыс жұмыс істеу түрлендіргіштің қызмет ету мерзіміне де қатты әсер етеді. Жиілік түрлендіргішін таңдағанда, тек қосылатын қозғалтқыштың қуатын ғана емес, сонымен қатар қозғалтқыштың жұмыс жылдамдығының диапазонын, айналу моменттерінің диапазонын, жүктеме сипатын және жұмыс циклограммасын басшылыққа алуыңыз керек.

Бүгінгі таңда өнеркәсіптік қондырғылардың көп қозғалтқышты жетектері жиілік түрлендіргішімен жұмыс істейтін асинхронды қысқа тұйықталу қозғалтқышына негізделген айнымалы тоқтың реттелетін жетектері ретінде жиі орындалады.

Көп қозғалтқышты электр жетектерінің қуат бөлігін жалпы ЖТ схемасы бойынша да, өнеркәсіптік қондырғыларды икемді басқаруды қамтамасыз ететін жеке түрлендіргіштермен де салуға болады. Екі жағдайда да мұндай қондырғылардың айрықша ерекшелігі жалпы жүктеме болып табылады және оның қозғалтқыштар арасында біркелкі таралуын қамтамасыз ету мәселесі көп қозғалтқышты электр жетектері үшін ең маңыздыларының бірі болып табылады.

Schneider Electric Altivar 71 жиілік түрлендіргіші өнеркәсіптік қолданбаларда асинхронды және синхронды электр қозғалтқыштарын басқаруға арналған жоғары өнімді құрылғы болып табылады. Төменде Altivar

71-ді қол жетімді техникалық сипаттамаларға негізделген Siemens SINAMICS G120, ABB ACS880 және Danfoss VLT AutomationDrive FC 302 сияқты басқа танымал жиілік түрлендіргіштерімен салыстыру келтірілген (2.3-кесте).

Altivar 71 артықшылықтары:

– Басқарудың жоғары дәлдігі: жылдамдық пен моменттің дәл реттелуін қамтамасыз етеді, бұл жоғары сұранысқа ие қосымшалар үшін өте маңызды;

– Байланыс интерфейстерінің кең таңдауы: әртүрлі автоматтандыру жүйелеріне біріктіруді жеңілдететін көптеген өнеркәсіптік протоколдарды қолдайды;

– Орнату икемділігі: кірістірілген Controller Inside картасының арқасында арнайы тапсырмалар үшін бағдарламалау және орнату мүмкіндігі;

Мүмкін болатын шектеулер:

– Өлшемдері мен салмағы: кейбір заманауи модельдермен салыстырғанда, Altivar 71 үлкен өлшемдер мен салмақтарға ие болуы мүмкін, бұл жүйелерді жобалау кезінде ескерілуі керек.

– Модельдің ескіруі: қазіргі уақытта Altivar 71-ді ескірген модель деп санауға болады, ал Schneider Electric Altivar Process ATV900 сияқты заманауи шешімдерді ұсынады.

2.3-кесте – Әр түрлі компаниялардың жиілік түрлендіргіштерін салыстыру

Сипаттамасы	Altivar 71	Siemens SINAMICS G120	ABB ACS880	Danfoss VLT FC 302
Қуат диапазоны	0,37–630 кВт	0,55–250 кВт	0,55–500 кВт	0,25–1 400 кВт
Басқару әдістері	Датчигі бар/жоқ векторлық, V/f	Векторлық, V/f	DTC (тікелей векторлық)	Датчигі бар/жоқ векторлық, V/f
Жылдамдық дәлдігі	±0,01% энкодер бар	±0,01% энкодер бар	±0,01% энкодер жоқ	±0,1% энкодер бар
Шамадан тыс жүктеме қабілеті	2 с үшін 220% дейін	60 с үшін 150% дейін	2 с үшін 200% дейін	60 с үшін 160% дейін
Байланыс интерфейстері	Modbus, CANopen, PROFIBUS, Ethernet	PROFINET, PROFIBUS, EtherNet/IP	Modbus, PROFIBUS, EtherNet/IP	Modbus, PROFIBUS, EtherNet/IP
Кірістірілген функциялар	PID, тежегіш бақылау, ATEX	Қауіпсіздік STO, PID	Қауіпсіздік, энергияны үнемдеу	PID, энергияны үнемдеу

Schneider Electric Altivar 71 дәл басқаруды және жоғары жүктеме сыйымдылығын қажет ететін күрделі өнеркәсіптік тапсырмалар үшін жарамды сенімді және жоғары өнімді жиілік түрлендіргіш. Дегенмен, жабдықты таңдағанда, жобаның заманауи баламалары мен нақты талаптарын ескеру қажет.

Жалпы механикалық білікпен байланысқан көп қозғалтқышты жетектерді құрудың ерекшеліктерін және осындай жүйелерді енгізу және конфигурациялау бойынша ұсыныстарды ескере отырып, Schneider Electric Altivar 71 жиілік түрлендіргіштері мұндай жүйелерді басқаруға мүмкіндік береді.

Желілік қуат гаммасын ~690 В дейін кеңейте отырып, Altivar 71 түрлендіргішінің көп функционалдығы көтеру және тасымалдау жабдықтары үшін машиналардың өнімділігі мен икемділігін арттырады:

- Қозғалыс, көтеру және бұрылу жетектеріне бейімделген тежегішті басқару;
- Салмақ өлшеу;
- Жоғары жылдамдықпен көтеру;
- Тежегіш күйін бақылау;
- Жүрістің соңындағы шекті ажыратқыштардың әсерін басқару;
- Бос арқандарды таңдау.

Schneider Electric Altivar 71 жиілік түрлендіргішінің техникалық параметрлері 2.4-кестеде келтірілген. [13]

2.4-кесте – Жиілік түрлендіргішінің техникалық параметрлері

Маркасы		Schneider Electric Altivar 71
Электр жетегі	Шығыс жиілігі	1 - 1600 Гц
	Басқару заңы	Ашық және жабық жүйелердегі векторлық ағынды басқару, "кернеу/жиілік" заңы (2 немесе 5 нүкте), қуатты бейімдеу жүйесі
	Өтпелі моменті	2 с ішінде қозғалтқыштың номиналды моментінің 220%, 60 с ішінде 170%
Функциялар	Функциялар саны	> 150
	Алдын ала берілген жылдамдықтар саны	16

2.4-кесте жалғасы

Функциялар	Кіріс-шығыс саны	Аналогтық кірістер	0-3
		Дискретті кірістер	0-29
		Аналогтық шығыстар	1-3
		Дискретті шығыстар	0-8
		Релелік шығыстар	2-4
Коммуникация байланысы	Кірістірілген		Modbus және CANopen
Карталар (қосымша)			Абсолютті және салыстырмалы санақ датчиктеріне арналған интерфейс карталары, резольвер, кіріс-шығыс кеңейту карталары, бағдарламаланатын контроллер картасы
Толық қуат			17,8 кВА
Максималды өтпелі ток			26,4 А
Тұрақты режимдегі максималды ток			17,6 А
Массасы			7 кг
Нормалар мен сертификаттар			МЭК/EN 61800-5-1, МЭК/EN 61800-3 (қоршаған орта 1 және 2, C1 - C3), EN 55011, МЭК/EN 61000-4-2/4-3/4-4/4-5/4-6/4-11 және т. б., UL, CSA, DNV, C-Tick, NOM117, ГОСТ

2.4 Электр жетегінің табиғи сипаттамаларын есептеу

Табиғи сипаттамаларды есептеу электр қозғалтқышының есептік табиғи сипаттамаларының негізгі сипаттамалық нүктелерінің параметрлерінің таңдалған электр қозғалтқышының анықтамалық техникалық деректері бойынша анықталған қозғалтқыш параметрлерімен сәйкестік дәрежесін бағалау мақсатында жүргізіледі. [12, 14]

Векторлық басқару кезінде электр қозғалтқышының тек табиғи механикалық және электромеханикалық сипаттамалары $U_{1н}$ кернеуі мен $f_{1н}$ жиілігінің номиналды мәні бойынша есептеледі және құрылады.

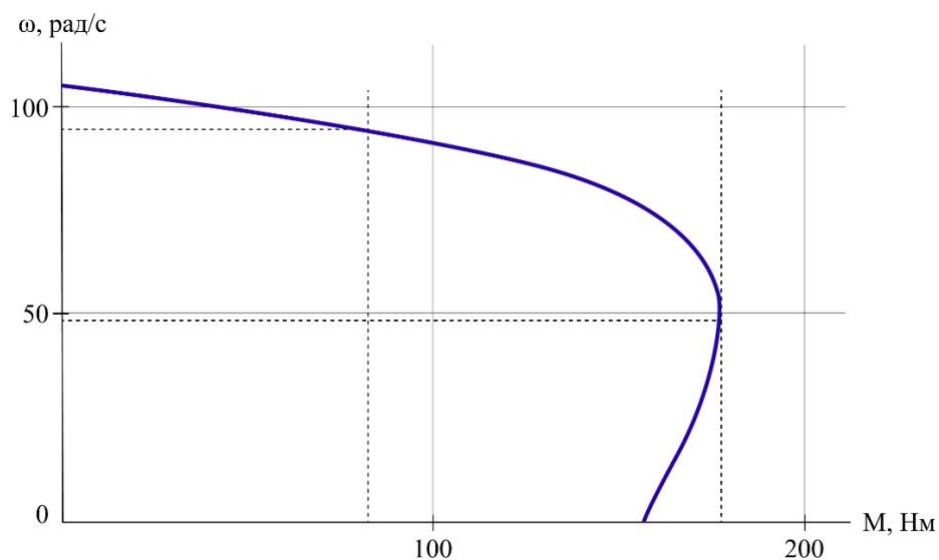
$f_{1н}=50$ Гц жиілігі үшін электр қозғалтқышының $M_{эм}(s)$ табиғи механикалық сипаттамасы мына формула бойынша есептеледі:

$$M_{эм}(s) = \frac{3 \cdot U_{1н}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} \quad (2.44)$$

мұнда $M_{эм}$ – қозғалтқыштың электромагниттік моменті, Нм.

Есептеу нәтижелері бойынша $f_{1н}=50$ Гц кезіндегі $\omega=f(M)$ механикалық сипаттама құрылады, мұнда қозғалтқыштың бұрыштық айналу жылдамдығының мәндері өрнек бойынша табылады.

Қозғалтқыштың табиғи механикалық сипаттамасы 2.4-суретте көрсетілген.



2.4-сурет – АМТКФ132L6 асинхронды қозғалтқышының табиғи механикалық сипаттамасы

Электр қозғалтқышының $I_1(s)$ табиғи электромеханикалық сипаттамасы $f_{1н}=50$ Гц жиілігі үшін мына өрнек бойынша есептеледі:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} \quad (2.45)$$

мұнда $I_1=I_{1н}$ – қозғалтқыштың фазалық тогының нақты мәні, А;

$$I_2'(s) = \frac{U_{1H}}{\pm \sqrt{X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} \quad (2.46)$$

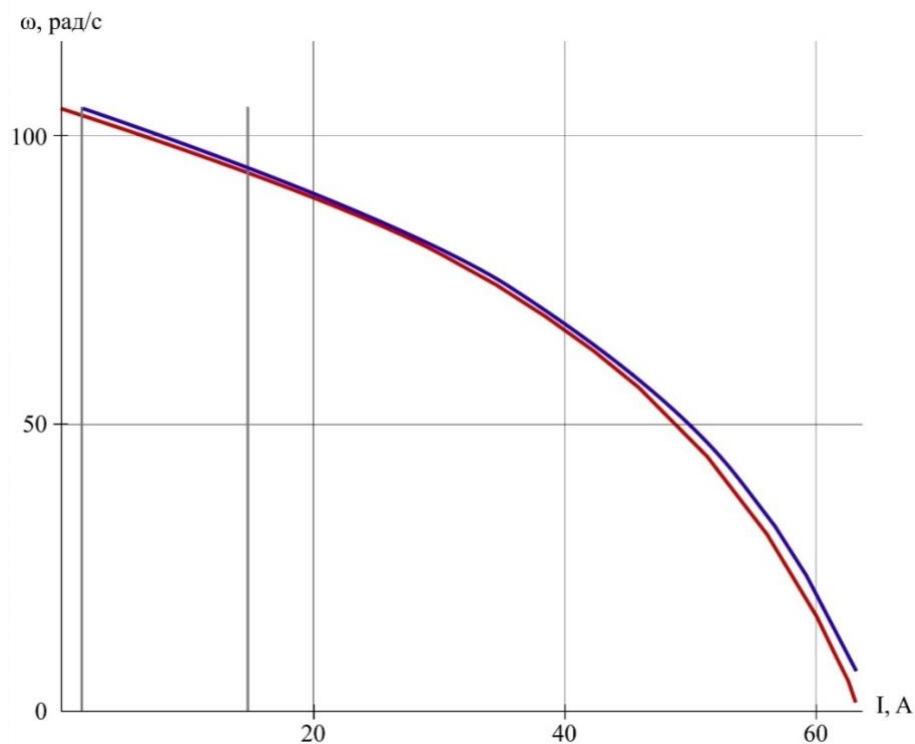
I_2' – статор орамасына келтірілген ротор тогы, А;

$$I_0 = \frac{U_{1H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2}} \quad (2.47)$$

I_0 – бос жүріс тогының нақты мәні, А;

$$\sin\varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} \quad (2.48)$$

Есептеу нәтижелері бойынша $f_{1n}=50$ Гц кезіндегі электромеханикалық сипаттамасы құрылады $\omega=f(I_1)$ және $\omega=f(I_2)$ (2.5-сурет).



2.5-сурет – АМТКФ132L6 асинхронды қозғалтқышының табиғи электромеханикалық сипаттамалары

2.5 Қозғалтқыштың статикалық сипаттамаларын және қуат арнасының элементтерін және жиілікті векторлық басқарудағы электр жетегінің жүктемесін есептеу

Векторлық басқару кезінде жоғарыда келтірілген өрнектер бойынша $U_{1н}$ кернеуі мен $f_{1н}$ жиілігінің номиналды мәні бойынша электр қозғалтқышының табиғи механикалық $\omega(M_{эм})$ және электромеханикалық $\omega(I_1)$ сипаттамаларын есептеп, салу керек. [14]

2.4-суреттің алынған механикалық сипаттамасына $\omega(M)$ ұзақ және қысқа мерзімді жұмыс режимдеріне арналған шекаралық сипаттамалар қолданылады:

$$M_{эп.макс} = 130,4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{сприв.мин} = 10,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

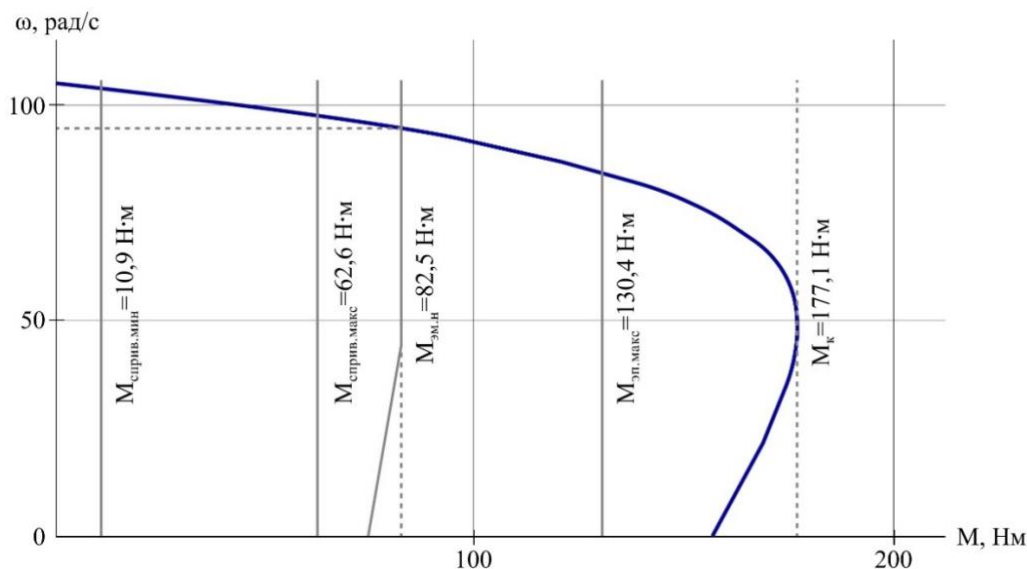
$$M_{сприв.макс} = 62,6 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{эм.н} = 82,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_k = 177,1 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{дл.доп} = 74,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.6-суретте механикалық сипаттамалар жазықтығында асинхронды қозғалтқыштың сипаттамалары және жүктеме сипаттамалары салынған.



2.6-сурет – Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары және жүктеме сипаттамалары

2.7-суретте асинхронды қозғалтқыштың сипаттамалары мен жүктеме сипаттамалары электромеханикалық сипаттамалар жазықтығында салынған.

$$I_0 = 1,552 \text{ А};$$

$$I_{с.мин} = 2,469 \text{ A};$$

$$I_{с.макс} = 10,251 \text{ A};$$

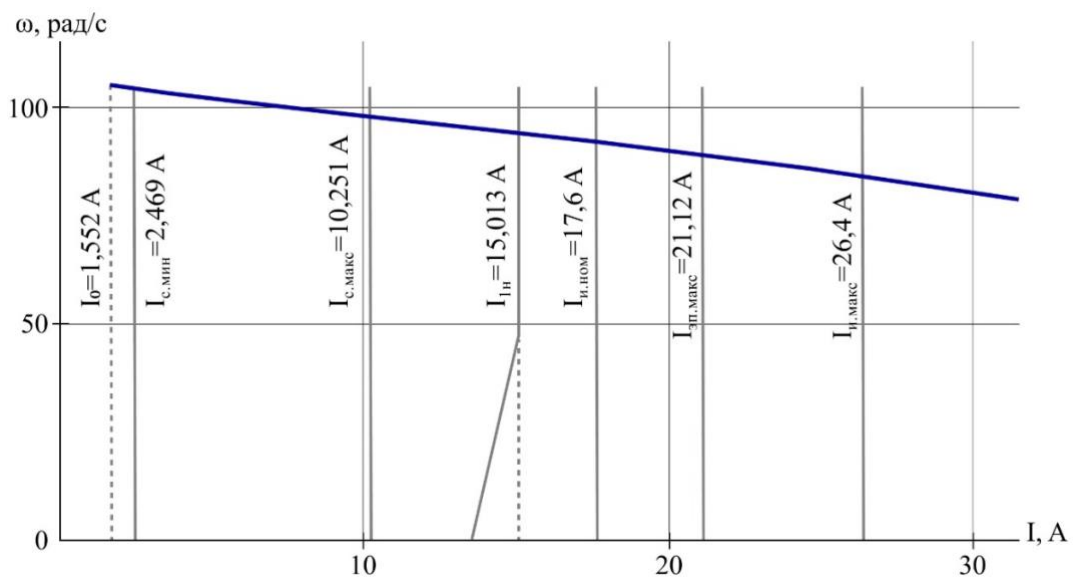
$$I_{эп.макс} = 21,12 \text{ A};$$

$$I_{1н} = 15,013 \text{ A};$$

$$I_{дл.доп} = 13,512 \text{ A};$$

$$I_{и.ном} = 17,6 \text{ A};$$

$$I_{и.макс} = 26,4 \text{ A}.$$



2.7-сурет – Асинхронды қозғалтқыштың электромеханикалық сипаттамалары және жүктеме сипаттамалары

Қозғалтқыштың дұрыс таңдалғандығын тексеру.

$\omega(M)$ электр жетегінің және $M(\omega)$ жүктемесінің механикалық сипаттамаларын құру нәтижелері бойынша (2.6-сурет) қозғалтқышты таңдаудың дұрыстығы тексеріледі. Барлық диапазонда шарттар орындалуы керек.

$$M_{эм.длит.доп} \geq M_{с.макс};$$

$$77,2 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 62,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сәйкесінше қозғалтқыш момент бойынша дұрыс таңдалған.

$\omega(I_1)$ электр жетегінің электромеханикалық сипаттамаларын құру нәтижелері бойынша (2.7-сурет) қозғалтқышты ток бойынша таңдаудың дұрыстығы тексеріледі:

$$I_{дв.дл.доп} \geq I_{с.макс};$$

$$13,5 \text{ A} \geq 10,2 \text{ A}.$$

Сәйкесінше қозғалтқыш ток бойынша дұрыс таңдалған.

Түрлендіргіштің дұрыс таңдалғандығын тексеру.

$\omega(I_1)$ электр жетегінің электромеханикалық сипаттамаларын құру нәтижелері бойынша (2.7-сурет) түрлендіргіштің ток бойынша таңдаудың дұрыстығы тексеріледі:

– шарт

$$I_{с.макс}(\omega) \leq 0,8 \cdot I_{и.н};$$

$$10,2 \text{ A} \leq 0,8 \cdot 17,6 = 14,8 \text{ A}.$$

– шарт

$$I_{эп.макс}(\omega) \leq I_{и.макс};$$

$$21,12 \text{ A} \leq 26,4 \text{ A}.$$

Сәйкесінше түрлендіргіш дұрыс таңдалған.

2.6 «Жиілік түрлендіргіш – асинхронды қозғалтқыш» жүйесінің параметрлері, құрылымдық схемалары және модельдері

Қозғалтқыштың құрылымдық схемасының сілтеме параметрлері.

Орамалардың эквивалентті индуктивтілігі:

– статор

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 2,851 \cdot 10^{-3} + 0,40072 = 0,40357 \text{ Гн} \quad (2.49)$$

– статор тізбегіне келтірілген ротор

$$L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 3,889 \cdot 10^{-3} + 0,40072 = 0,40461 \text{ Гн} \quad (2.50)$$

Магнит өрісінің шашырау коэффициенті:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L'_2} = 1 - \frac{0,40072^2}{0,40357 \cdot 0,40461} = 0,017 \quad (2.51)$$

Статор тізбегінің эквивалентті активті кедергісі (қосылатын сымдардың кедергісін қоспағанда):

$$R_{1\sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L'^2_2} = 1,375 + 1,358 \cdot \frac{0,40072^2}{0,40461^2} = 2,707 \text{ Ом} \quad (2.52)$$

Статор мен ротор тізбегінің электромагниттік уақыт тұрақтылары:

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0,017 \cdot 0,40357}{2,707} = 2,476 \cdot 10^{-3} \text{ с} \quad (2.53)$$

$$T_2 = \frac{L'_2}{R'_2} = \frac{0,40461}{1,358} = 0,29794 \text{ с} \quad (2.54)$$

Түрлендіргіш параметрлері

Қарапайым жағдайда, ШИМ-ды ескермесек, инвертор – бұл $T_{\text{ШИМ}}$ ендік-импульстік модуляция кезеңінің шамасына таза кідірісі бар сызықтық күшейткіш:

$$T_{\text{и}} = T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{10000} = 0,0001 \text{ с} \quad (2.55)$$

мұнда $f_{\text{ШИМ}}$ – инвертордың тасымалдаушы жиілігі (ШИМ жиілігі); $f_{\text{ШИМ}}=10000\text{Гц}$ қабылдаймыз.

Қозғалтқыштың әсер етуші және амплитудалық фазалық кернеуінің ең жоғары мәндері тиісінше тең деп қабылданады:

$$U_{\text{т}} = \sqrt{2} \cdot U_{1\text{фн}} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311,1 \text{ В} \quad (2.56)$$

Инвертор кернеуінің ШИМ-ін ескере отырып және қозғалтқыштың статор орамаларын жұлдызға қосқан кезде түрлендіргіштің параметрлері төмендегі өрнектерге сәйкес таңдалады.

Түрлендіргіштің қуат көзінің сызықтық кернеуі.

$$U_{\text{с}} = \frac{U_{\text{д}}}{1,35} = \frac{567,25}{1,35} = 420,185 \text{ В} \quad (2.57)$$

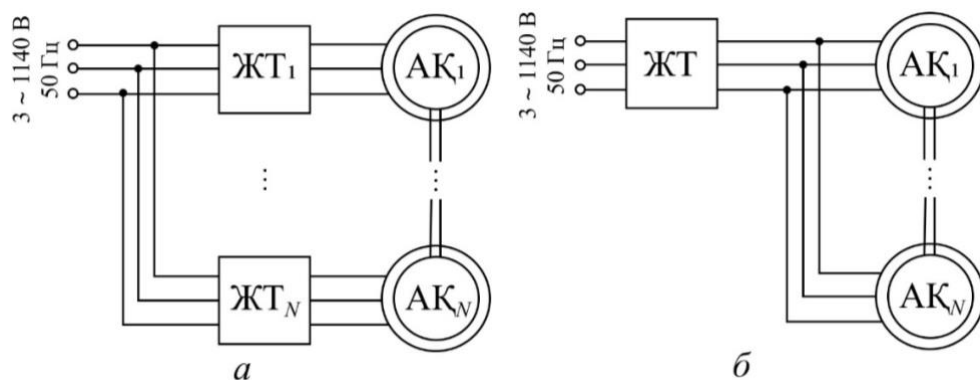
мұнда $U_{\text{с}}$ – түрлендіргіштің тұрақты ток буынының кернеуі; түрлендіргіш пен қозғалтқыштың кернеуін сәйкестендіру шарты негізінде қабылдаймыз.

$$U_{\text{д}} \geq \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\text{н}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220 = 538,88 \text{ В} \quad (2.58)$$

Инвертордың күшейту коэффициенті

$$k_{\text{и}} = \frac{U_{\text{д}}}{\sqrt{3}} = \frac{538,88}{\sqrt{3}} = 311,127 \text{ В} \quad (2.59)$$

«Жиілік түрлендіргіш – асинхронды қозғалтқыш» жүйесінің құрылымдық схемасы 2.8-суретте көрсетілген.



2.8-сурет – ЖТ–АК құрылымдық схемасы

Кранның қозғалу механизмінің қос қозғалтқышты электр жетегі Schneider Electric Altivar 71 жеке жиілік түрлендіргіштері бар (2.4-кесте) қуаты 7,5 кВт болатын АМТКФ132L6 екі асинхронды қозғалтқыштарын (2.2-кесте) қамтиды.

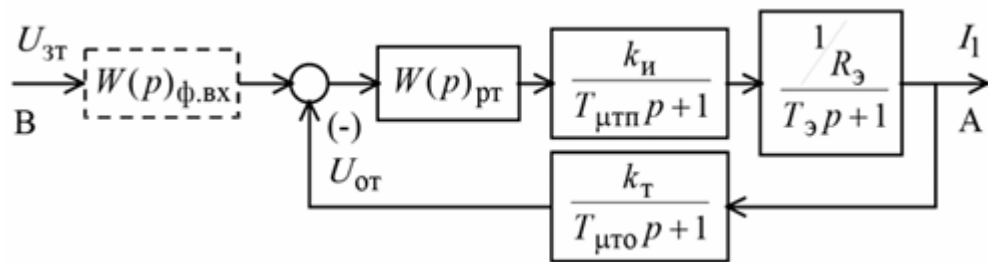
Жиілік түрлендіргішінің, асинхронды қозғалтқыштың есептелген параметрлері, сондай-ақ механикалық және электромеханикалық сипаттамалары екі қозғалтқышты электр жетегін одан әрі зерттеуге негіз болады.

3 Реттеу контурларын оңтайландыру

Айнымалы ток жиілігінің реттелетін электр жетектерінің тән ерекшелігі – токты, ағынды және жылдамдықты реттеу контурларының кері байланыс тізбегіндегі салыстырмалы түрде үлкен инерцияның болуы. Осы себепті оларды оңтайландыру үшін Кесслердің еңбектерінде көрсетілген бағынышты реттеу жүйелерін оңтайландырудың классикалық теориясын қолдану мүмкін емес. Бұдан әрі оқу құралында баяндалған инерциялық кері байланысы бар реттеу контурларын оңтайландыру әдістері пайдаланылатын болады. [1, 14, 15]

3.1 ПИ реттегіші бар ток контурын оңтайландыру

Ток контурының құрылымдық схемасы 3.1-суретте көрсетілген. I_{1d} және I_{1q} токтарының контурлары бір схема бойынша жүзеге асырылады және бірдей параметрлерге ие.



3.1-сурет – Ток контурының құрылымдық схемасы

Бұл контурды модуль бойынша оңтайландырамыз

$$W_{разI} = W_{рт} \cdot \frac{k_{тп}}{T_m \cdot p + 1} \cdot \frac{\frac{1}{R_э}}{T_{1э} \cdot p + 1} \cdot \frac{k_{дт}}{T_{дт} \cdot p + 1} \quad (3.1)$$

$T_{тп}$ және $T_{дт}$ уақыт тұрақтылары, әдетте, $T_э$ -ден әлдеқайда аз, сондықтан оларды өтелмейтін шағын уақыт тұрақтыларына жатқызамыз. Осыған сәйкес жүйенің ретін төмендету мүмкіндігі туады:

$$W_{разI} \approx W_{рт} \cdot \frac{k_{тп} \cdot k_{дт}}{T_{мI} \cdot p + 1} \cdot \frac{\frac{1}{R_э}}{T_{1э} \cdot p + 1} \quad (3.2)$$

мұнда $T_{мI}$ – оңтайландырылған ток контурының эквивалентті шағын уақыт тұрақтысы, с.

Модульді оңтайлы күйге келтіру үшін ПИ реттегіші қажет

$$W_{\text{рт}} = \frac{k_{\text{рт}} \cdot (T_{\text{рт}} \cdot p + 1)}{T_{\text{рт}} \cdot p} \quad (3.2)$$

мұнда $T_{\text{рт}}$ – ток реттегішінің уақыт тұрақтысы, $T_{\text{рт}}=T_{13}=0,2476$ с қабылдаймыз;
 $k_{\text{рт}}$ – ток реттегішінің коэффициенті;

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{13} \cdot R_3}{2 \cdot T_{\mu I} \cdot k_{\text{тп}} \cdot k_{\text{дт}}} \quad (3.3)$$

Нәтижесінде ашық ток контурының беріліс функциясы модуль бойынша оңтайлы параметрге сәйкес келеді:

$$W_{\text{разI}} = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu I} \cdot p \cdot (T_{\mu I} \cdot p + 1)} \quad (3.4)$$

Тұйық ток контурының беріліс функциясы:

$$W_I = \frac{W_{\text{разI}}}{1 + W_{\text{разI}}} \cdot \frac{T_{\text{дт}} \cdot p + 1}{k_{\text{дт}}} = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu I} \cdot p \cdot (T_{\mu I} \cdot p + 1) + 1} \cdot \frac{T_{\text{дт}} \cdot p + 1}{k_{\text{дт}}} \quad (3.5)$$

Бөлгіште кішігірім екінші ретті мүшені елемеу, ал алымда уақыт тұрақтысы $T_{\text{дт}} \approx 0$, ток контурының беріліс функциясы:

$$W_I \approx \frac{\frac{1}{k_{\text{дт}}}}{2 \cdot T_{\mu I} \cdot p + 1} \quad (3.6)$$

3.1.1 ПИ реттегіші бар ток контурын орнату параметрлері

Параметрлерді таңдау бойынша ұсыныстарға сәйкес, ток контурларын орнату кезінде келесі мәндерді қабылдаймыз: [14, 15]

Мүмкін болатын токтың шамадан тыс реттелуін ескеретін коэффициент:

$$\sigma_T \geq 1,2$$

Ток датчигінің коэффициенті:

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \cdot 2^{\text{ацп.дт}}}{\sigma_T \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}}} = \frac{0,5 \cdot 2^{10}}{1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 21,12} = 14,285$$

$N_{\text{зт.макс}}$ ток контурының кірісіндегі максималды жұмыс мәні:

$$N_{\text{зт.макс}} = \frac{1}{\sigma_T} = \frac{1}{1,2} = 0,8333$$

содан кейін

$$k_T = \frac{1}{\sigma_T \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1H}} = \frac{1}{1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 15,013} = 0,039$$

$$k_{oc.T} = \frac{1}{k_T} = \frac{1}{0,039} = 0,07$$

Ток контурының кері байланыс тізбегіндегі сигналдарды кванттау аралықтары:

$$T_{oc.T} = T_{пк.т} = T_{зу.и} = T_{шим} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

Токты өлшеу тізбегіндегі аналогтық сүзгінің уақыт тұрақтысы:

$$T_{ф.от} = 0$$

Жалпы өнеркәсіптік мақсаттағы электр жетектері үшін апериодтық буынның таза кідіріс буынының аппроксимация коэффициенті:

$$n_T = 3$$

Оңтайландырылған ток контурының эквивалентті кіші уақыт тұрақтысы:

$$T_{\mu I} = \frac{T_{oc.T}}{n_T} + T_{зу.и} + T_{ф.от} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{3} + 1 \cdot 10^{-4} + 0 = 1,333 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

Ток контурының типтік настройка коэффициенті:

$$a_T = 3$$

Ток реттегішінің күшейту коэффициенті:

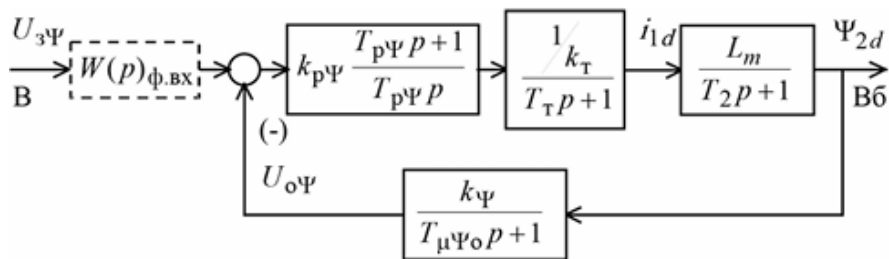
$$k_{дт} = \frac{T_{1э} \cdot R_{1э}}{k_{и} \cdot k_T \cdot a_T \cdot T_{\mu I}} = \frac{2,47601 \cdot 10^{-3} \cdot 2,707}{311,127 \cdot 0,039 \cdot 2 \cdot 1,333 \cdot 10^{-4}} = 2,058 \text{ с. б.}$$

Тұйық ток контурының эквивалентті уақыт тұрақтысы:

$$T_T = a_T \cdot T_{\mu I} = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

3.2 ПИ реттегіші бар ағын ілінісу контурын оңтайландыру

ПИ реттегіші бар ағын ілінісу контурының құрылымдық схемасы 3.2-суретте көрсетілген.



3.2-сурет – ПИ реттегіші бар ағын ілінісу контурының құрылымдық схемасы

Ағындық ілінісу контурын оңтайландыру кезінде ішкі оңтайландырылған тұйық ток контуры 1-ші ретті қысқартылған беріліс функциясымен ұсынылған (өрнек 3.6).

Ағын ілінісу контурының кері байланыс коэффициенті:

$$k_{\Psi} = \frac{k_{\Psi \text{ макс}}}{\Psi_{2н}} \quad (3.7)$$

Ағын ілінісу ПИ реттегішінің беріліс функциясы:

$$W_{p\Psi} = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p} \quad (3.8)$$

Ағын ілінісу реттегішінің күшейту коэффициенті мен уақыт тұрақтысы мына өрнектермен анықталады:

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_{\tau}}{L_m \cdot k_{\Psi}} \cdot \frac{1}{a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi}} \quad (3.9)$$

$$T_{p\Psi} = T_2 \quad (3.10)$$

мұнда $T_{\mu\Psi}$ – ағын ілінісу контурының эквивалентті кіші тұрақтысы, с.

Осылайша орнатылған ПИ реттегіші бар ағын ілінісу контуры келесі беріліс функцияларына ие:

– ашық контур

$$W_{\Psi \text{ раз}} = \frac{1}{a_{\Psi} T_{\tau} T_{\mu\Psi o} T_{\mu\Psi \Delta} p^3 + a_{\Psi} T_{\mu\Psi \Delta}^2 p^2 + a_{\Psi} T_{\mu\Psi \Delta} p} \quad (3.11)$$

– басқару бойынша тұйық контур

$$\begin{aligned} W_{\Psi \text{ зам}} &= \frac{\frac{1}{k_{\Psi}} \cdot (T_{\mu\Psi o} p + 1)}{a_{\Psi} T_{\tau} T_{\mu\Psi o} T_{\mu\Psi \Delta} p^3 + a_{\Psi} T_{\mu\Psi \Delta}^2 p^2 + a_{\Psi} T_{\mu\Psi \Delta} p + 1} \approx \\ &\approx \frac{\frac{1}{k_{\Psi}} \cdot (T_{\mu\Psi o} p + 1)}{a_{\Psi} T_{\mu\Psi \Delta}^2 p^2 + a_{\Psi} T_{\mu\Psi \Delta} p + 1} \end{aligned} \quad (3.12)$$

ПИ реттегіші бар ағындық ілінісу контурын орнату 2-ші ретті жүйенің МО-да орнатылуына жақын.

3.2.1 ПИ реттегіші бар ағын ілінісу контурын орнату параметрлері

Параметрлерді таңдау бойынша ұсыныстарға сәйкес, ағындық ілінісу контурларын орнату кезінде келесі мәндерді қабылдаймыз: [14, 15]

Мүмкін болатын ағын ілінісудің шамадан тыс реттелуін ескеретін коэффициент:

$$\sigma_{\Psi} \geq 1,2$$

Ағын ілінісу датчигінің коэффициенті:

$$k_{д\Psi} = \frac{1}{\sigma_{\tau} \cdot \Psi_{2H}} = \frac{1}{1,2 \cdot 0,88} = 0,947$$

Ағын ілінісу контурының кірісіндегі максималды жұмыс мәні:

$$N_{з\Psi \text{ макс}} = \frac{1}{\sigma_{\Psi}} = \frac{1}{1,2} = 0,8333293$$

Жалпы өнеркәсіптік мақсаттағы электр жетектері үшін апериодтық буынның таза кідіріс буынының аппроксимация коэффициенті:

$$n_{\Psi} = 2$$

Оңтайландырылған ағын ілінісу контурының эквивалентті кіші уақыт тұрақтысы:

$$T_{\mu\Psi} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Ағын ілінісу контурының типтік настройка коэффициенті:

$$a_{\Psi} = 2$$

Ағын ілінісу реттегішінің уақыт тұрақтысы:

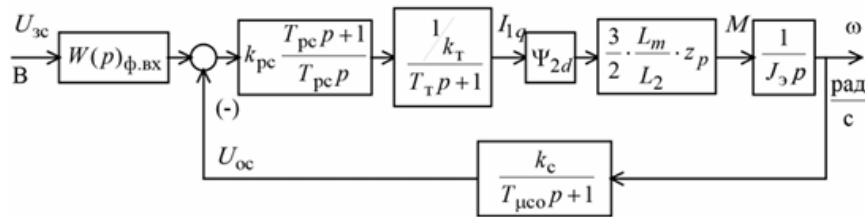
$$T_{p\Psi} = T_2 = 0,29794 \text{ с}$$

Ағын ілінісу реттегішінің күшейту коэффициенті:

$$k_{p\tau} = \frac{T_2 \cdot k_{\tau}}{L_m \cdot k_{д\Psi}} \cdot \frac{1}{a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi}} = \frac{0,09794 \cdot 0,039}{0,40072 \cdot 0,947} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3}} = 14,008 \text{ с. б.}$$

3.3 ПИ реттегіші бар жылдамдық контурын оңтайландыру

ПИ реттегіші бар жылдамдық контурының құрылымдық схемасы 3.3-суретте көрсетілген.



3.3-сурет – ПИ реттегіші бар жылдамдық контурының құрылымдық схемасы

Жылдамдық контурын оңтайландыру кезінде ішкі оңтайландырылған тұйық ток контуры (3.6) өрнегіне сәйкес 1-ші ретті қысқартылған беріліс функциясымен ұсынылған.

Жылдамдық контурының кері байланыс коэффициенті:

$$k_{\Psi} = \frac{U_{\text{э}} \Psi_{\text{макс}}}{\Psi_{2\text{н}}} \quad (3.13)$$

Жылдамдық ПИ реттегішінің беріліс функциясы:

$$W_{\text{pc}} = k_{\text{pc}} \cdot \frac{T_{\text{pc}}p + 1}{T_{\text{pc}} \cdot p} \quad (3.14)$$

Жылдамдық реттегішінің күшейту коэффициенті мен уақыт тұрақтысы мына өрнектермен анықталады:

$$k_{\text{pc}} = \frac{J_{\text{э}} \cdot k_{\text{т}}}{\Psi_{2\text{н}} \cdot k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\text{мсэ}}} \quad (3.15)$$

$$T_{\text{pc}} = b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\text{мсэ}} \quad (3.16)$$

мұнда $T_{\text{мсэ}}$ – жылдамдық контурының эквивалентті кіші тұрақтысы, с.

Осылайша орнатылған ПИ реттегіші бар жылдамдық контуры келесі беріліс функцияларына ие:

– ашық контур

$$W_{\text{с раз}} = \frac{b_{\text{с}} a_{\text{с}} T_{\text{мсэ}} p + 1}{b_{\text{с}} a_{\text{с}}^2 T_{\text{т}} T_{\text{мсо}} T_{\text{мсэ}}^2 p^4 + b_{\text{с}} a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^3 p^3 + b_{\text{с}} a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^2 p^2} \quad (3.17)$$

– басқару бойынша тұйық контур

$$W_{\text{с зам}} = \frac{\frac{1}{k_{\text{с}}} \cdot (b_{\text{с}} a_{\text{с}} T_{\text{мсэ}} p + 1) \cdot (T_{\text{мсо}} p + 1)}{b_{\text{с}} a_{\text{с}}^2 T_{\text{т}} T_{\text{мсо}} T_{\text{мсэ}}^2 p^4 + b_{\text{с}} a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^3 p^3 + b_{\text{с}} a_{\text{с}}^2 T_{\text{мсэ}}^2 p^2 + b_{\text{с}} a_{\text{с}} T_{\text{мсэ}} p + 1} \quad (3.18)$$

ПИ реттегіші бар жылдамдық контурын орнату 2-ші ретті жүйенің МО-да орнатылуына жақын.

3.3.1 ПИ реттегіші бар жылдамдық контурын орнату параметрлері

Параметрлерді таңдау бойынша ұсыныстарға сәйкес жылдамдық контурын орнату кезінде келесі мәндерді қабылдаймыз: [14, 15]

Мүмкін болатын жылдамдықтың шамадан тыс реттелуін ескеретін коэффициент:

$$\sigma_{\omega} \geq 1,2$$

Жылдамдық датчигінің коэффициенті:

$$k_{d\omega} = \frac{1}{\sigma_{\omega} \cdot \omega_H} = \frac{1}{1,2 \cdot 94,248} = 8,842 \cdot 10^{-3}$$

Жылдамдық контурының кірісіндегі максималды жұмыс мәні:

$$N_{z\omega \text{ макс}} = \frac{1}{\sigma_{\omega}} = \frac{1}{1,2} = 0,8333293$$

Жалпы өнеркәсіптік мақсаттағы электр жетектері үшін апериодтық буынның таза кідіріс буынының аппроксимация коэффициенті:

$$n_{\omega} = 2$$

Оңтайландырылған жылдамдық контурының эквивалентті кіші уақыт тұрақтысы:

$$T_{\mu\omega} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Жылдамдық контурының типтік настройка коэффициенті:

$$a_{\omega} = 2$$

Жылдамдық реттегішінің уақыт тұрақтысы:

$$T_{p\omega} = T_{\mu\omega} \cdot 4 = 1,9 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 7,6 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Жылдамдық реттегішінің күшейту коэффициенті:

$$k_{pc} = \frac{J_{\Sigma} \cdot k_T}{\Psi_{2H} \cdot k_{дв} \cdot k_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c}} = \frac{0,264 \cdot 0,039}{0,88 \cdot 4,457 \cdot 8,842 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 1,9 \cdot 10^{-3}} = 78,485$$

Электр жетегін басқару жүйесін конфигурациялау кезінде әмбебап реттегіштердің бірі ПИ реттегіші қолданылады. Контурлардың әрқайсысы үшін реттегіштердің коэффициенттері мен уақыт тұрақтылары есептеледі.

4 Электр жетегінің имитациялық моделін жасау

4.1 Асинхронды қозғалтқыштың математикалық моделі

MatLab ортасында зерттеу үшін d, q координаттар жүйесіндегі нақты үш фазалы машинаның екі фазалы моделін қолданамыз.

Егер статор өрісімен синхронды айналатын ($\omega_{\text{кк}} = \omega_{\text{эл}}$) x, y координаталар жүйесіндегі, x осін ротордың ағындық ілінісу векторымен келістірсе, содан кейін d, q координаталар жүйесіне тән қатынасты ескере отырып,

$$\begin{aligned}\Psi_{2d} &= |\overline{\Psi}_2| \\ \Psi_{2q} &= 0\end{aligned}\tag{4.1}$$

аламыз

$$\begin{aligned}|\overline{\Psi}_2| &= \Psi_{2x} = \Psi_{2d} \\ \Psi_{2y} &= \Psi_{2q} = 0\end{aligned}\tag{4.2}$$

содан кейін теңдеулер жүйесі келесідей болады

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dI_{1d}}{dt} &= \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot U_{1d} - \frac{R_2}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1d} + \frac{R'_2 \cdot L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2^2} \cdot \Psi_{2d} + \omega_{\text{кк}} \cdot I_{1q}; \\ \frac{dI_{1q}}{dt} &= \frac{1}{\sigma \cdot L_1} \cdot U_{1q} - \frac{R_2}{\sigma \cdot L_1} \cdot I_{1q} - \omega_{\text{кк}} \cdot I_{1d} - \frac{L_m}{\sigma \cdot L_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}; \\ \frac{d\Psi_{2d}}{dt} &= -\frac{R'_2}{L_2} \cdot \Psi_{2d} + \frac{R'_2 \cdot L_m}{L_2} \cdot I_{1d}; \\ 0 &= \frac{R'_2 \cdot L_m}{L_2} \cdot I_{1q} - (\omega_{\text{кк}} - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2d}; \\ M_{\text{эм}} &= \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}; \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J} \cdot (M_{\text{эм}} - M_c), \end{aligned} \right.\tag{4.3}$$

мұнда $U_{1d} = U_{1q} = U_1$ – d, q координаттар жүйесінде статор өрісімен синхронды айналатын, ротордың ағындық ілінісу векторына $\overline{\Psi}_2$ бағытталған статор кернеуінің тұрақты компоненттері;

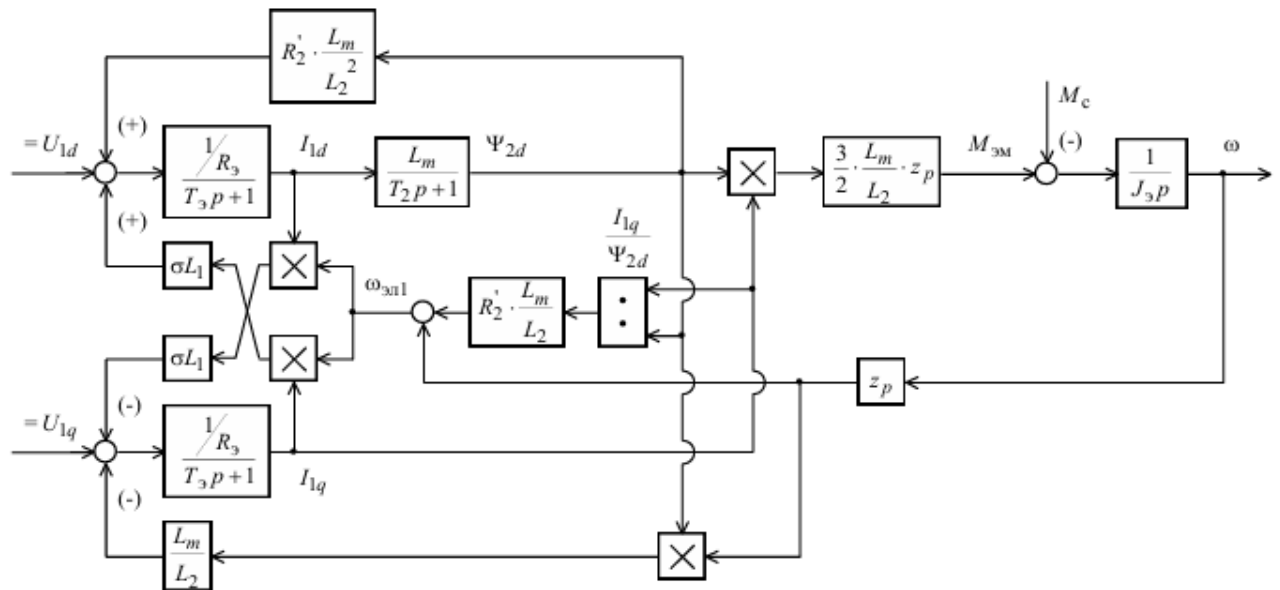
I_{1d}, I_{1q} – d, q координаттар жүйесіндегі статор тогының компоненттері, А;

$\Psi_{2d} = |\overline{\Psi}_2|$ – d, q координаттар жүйесіндегі ротордың ағын ілінісуі, Вб.

Операторлық жазба түрінде

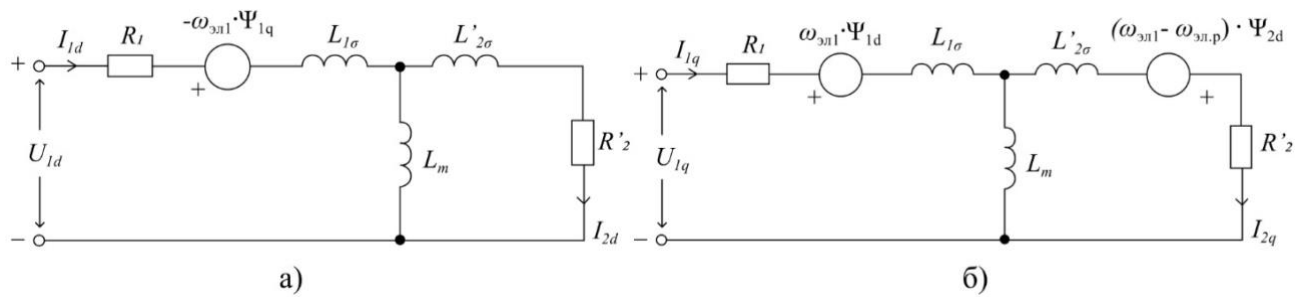
$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1d} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1d} - \frac{R'_2 \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} - \omega_{\text{кc}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}; \\ U_{1q} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1q} + \omega_{\text{кc}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}; \\ 0 = (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2d} - L_m \cdot I_{1d}; \\ \omega_{\text{кc}} = z_p \cdot \omega + \frac{R'_2 \cdot L_m}{L_2} \cdot \frac{I_{1q}}{\Psi_{2d}}; \\ M_{\text{эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}; \\ \omega = \frac{1}{J \cdot p} \cdot (M_{\text{эм}} - M_c). \end{array} \right. \quad (4.4)$$

(4.4) теңдеулер 4.1-суретте келтірілген ротордың ағын ілінісу векторына бағытталған d, q айналмалы координаттар жүйесінде орындалған қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың құрылымдық схемасына сәйкес келеді. [15]



4.1-сурет – Ротордың ағын ілінісу векторына бағытталған d, q айналмалы координаттар жүйесінде қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды электр қозғалтқышының құрылымдық схемасы

4.1-суреттегі құрылымдық схема ішкі кері байланыс, соның ішінде сызықтық емес қиылыстарды қамтиды. Бұл байланыстардың табиғаты алмастыру схемасынан 4.2-сурет және жүйенің статор кернеу теңдеулерінен туындайды (4.4):



а – d осі бойынша; б – q осі бойынша

4.2-сурет – d, q роторлық координаттар жүйесінің $\bar{\Psi}_2$ ротор ағын ілінісу векторына бағытталған $\omega_{эл1}$ жылдамдығымен айналатын қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштың алмастыру схемалары

$$\begin{aligned} U_{1d} &= R_\Sigma \cdot (T_\Sigma \cdot p + 1) \cdot I_{1d} - e_d \\ U_{1q} &= R_\Sigma \cdot (T_\Sigma \cdot p + 1) \cdot I_{1q} - e_q \end{aligned} \quad (4.5)$$

мұнда, e_d , e_q – статорда басқарылатын қозғалтқыштың ішкі ЭҚК компоненттері;

$$\begin{aligned} e_d &= \frac{R'_2 \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} + \omega_{кc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q} \\ e_q &= \omega_{кc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d} \end{aligned} \quad (4.6)$$

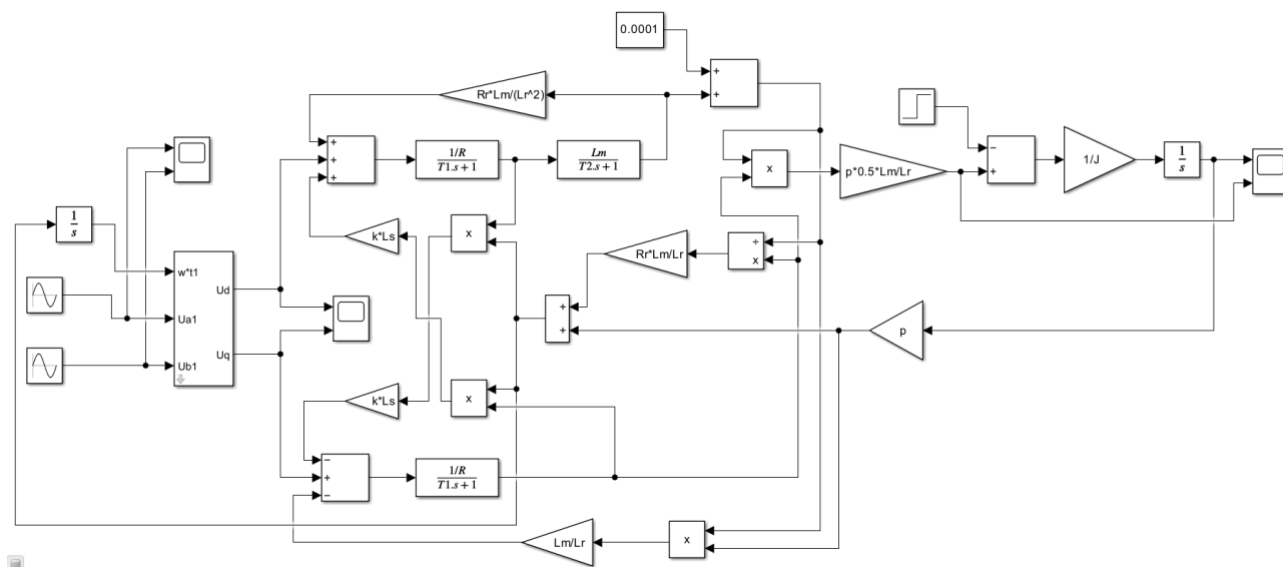
мұнда $\frac{R'_2 \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d}$ – ротор тізбегіндегі кернеудің төмендеуі;

$\omega_{кc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}$, $\omega_{кc} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d}$ – өзіндік индукцияның ЭҚК компоненттері (статордың индуктивті кедергісіндегі кернеудің төмендеуі);

$\frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}$ – статорда ротордың ағын ілінісуімен басқарылатын айналу ЭҚК.

$$\frac{R'_2 \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} = \frac{R'_2 \cdot L_m}{L_2^2} \cdot (L_2 \cdot I_{2d} + L_m \cdot I_{1d}) = R'_2 \cdot \left(\frac{L_m}{L_2} \cdot I_{2d} + \frac{L_m^2}{L_2^2} \cdot I_{1d} \right) \quad (4.7)$$

Бұл теңдеулер жүйесі 4.3-суретте көрсетілген Matlab Simulink моделіне сәйкес келеді.



4.3-сурет – MatLab Simulink-те активті жүктемесі бар асинхронды қозғалтқыштың имитациялық моделі

4.2 Кранның қозғалу механизмінің электр жетегінің механикалық бөлігі

4.3-суреттегі модель активті жүктемеге ие, өйткені шын мәнінде жүктеме реактивті сипатқа ие, модельге реактивті жүктемені имитациялайтын блоктар жүйесін қосу қажет. Ол үшін S-Function Builder блогын қолданамыз.

Реактивті кедергі моментін жүзеге асыратын компонент:

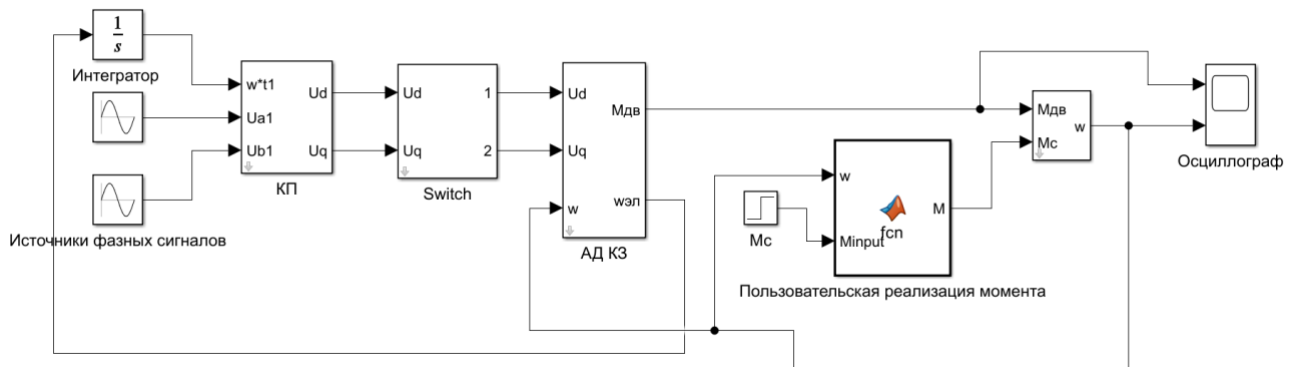
```
if (w[0]>0) M[0]=Minput[0];
if (w[0]<0) M[0]= -Minput[0];
if (w[0]=0) Mc[0]= 0.
```

Жұмыс істеу алгоритмі келесідей болады:

- 1) Егер жылдамдық оң болса, онда кедергі моменті берілгенге тең болады.
- 2) Егер жылдамдық теріс болса, онда кедергі моменті кері белгімен берілгенге тең болады.
- 3) Егер жылдамдық "0"-ге тең болса, онда кедергі моменті 0-ге тең болады.

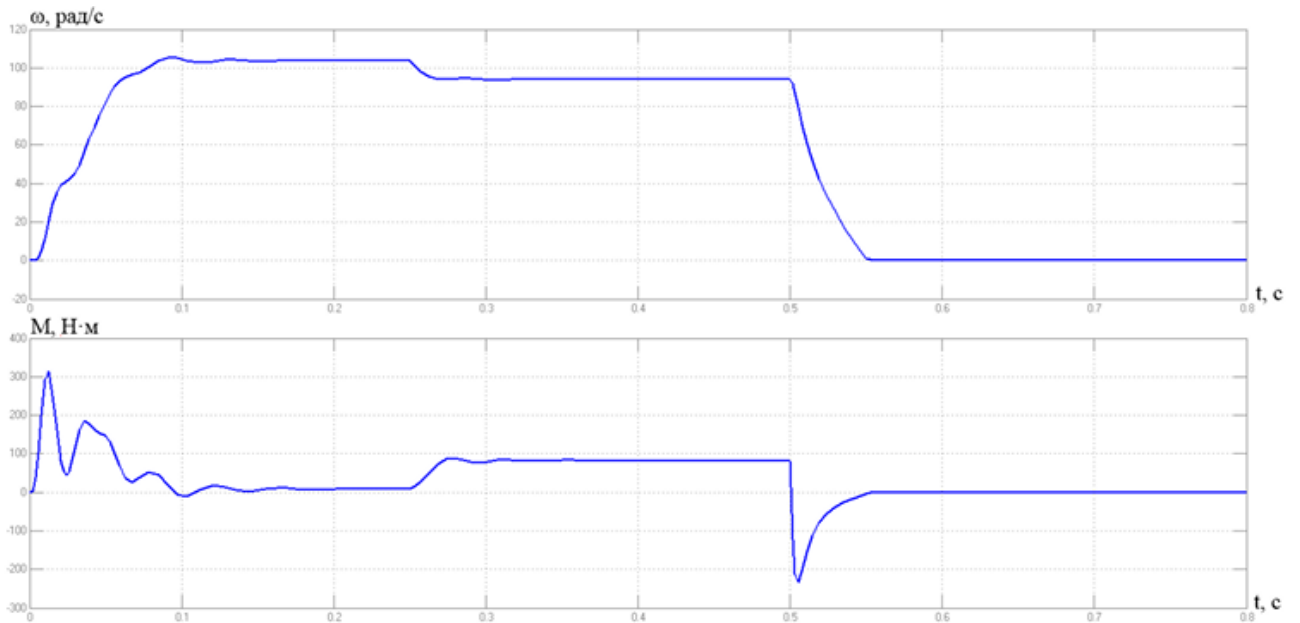
Қозғалтқышты желіден ажыратуға «Switch» блогының 0,5 с іске қосылуы есебінен жүзеге асады.

Ыңғайлы болу үшін электромеханикалық түрлендіргіш пен механикалық бөлікті бөлек жүйелерге біріктіреміз, нәтиже 4.4-суретте көрсетілген.



4.4-сурет – Реактивті жүктемесі бар асинхронды қозғалтқыштың имитациялық моделі

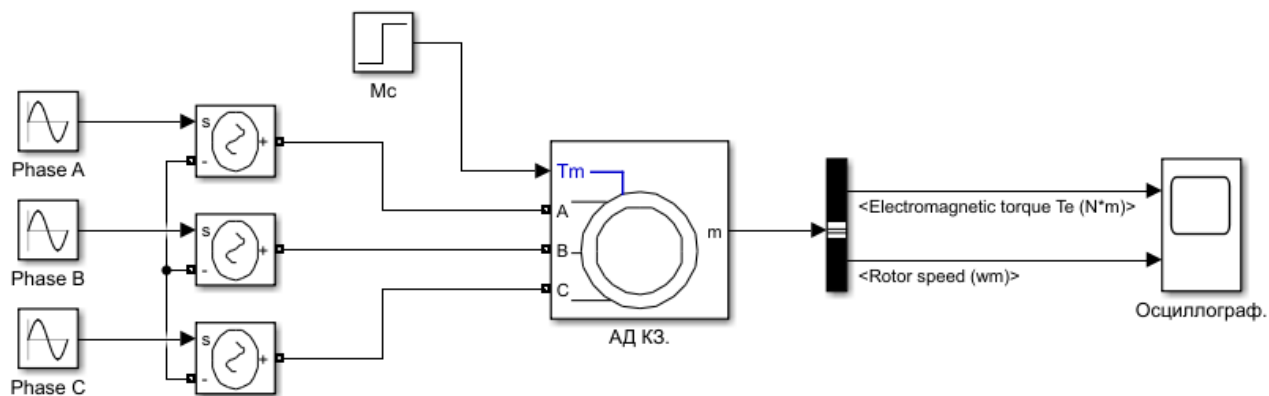
Реактивті жүктеменің имитациялық моделінің жұмыс қабілеттілігін тексеру үшін қозғалтқышты $10\% \cdot M_n$ Н·м төмен жүктемеде іске қосамыз, жүктемені 0,25с уақыт сәтінде номиналды 82,502 Н·м дейін арттырамыз және 0,5с уақыт сәтінде қозғалтқышты желіден ажыратамыз. Жүктеме реактивті болғандықтан, қозғалтқыш жылдам тежеуі керек. 4.5-суретте алынған графиктер көрсетілген. Алынған графиктер үміттерге сәйкес келеді, сондықтан реактивті жүктеме моделі дұрыс жұмыс істейді.



4.5-сурет – $\omega=f(t)$ және $M=f(t)$ тәуелділік графиктері

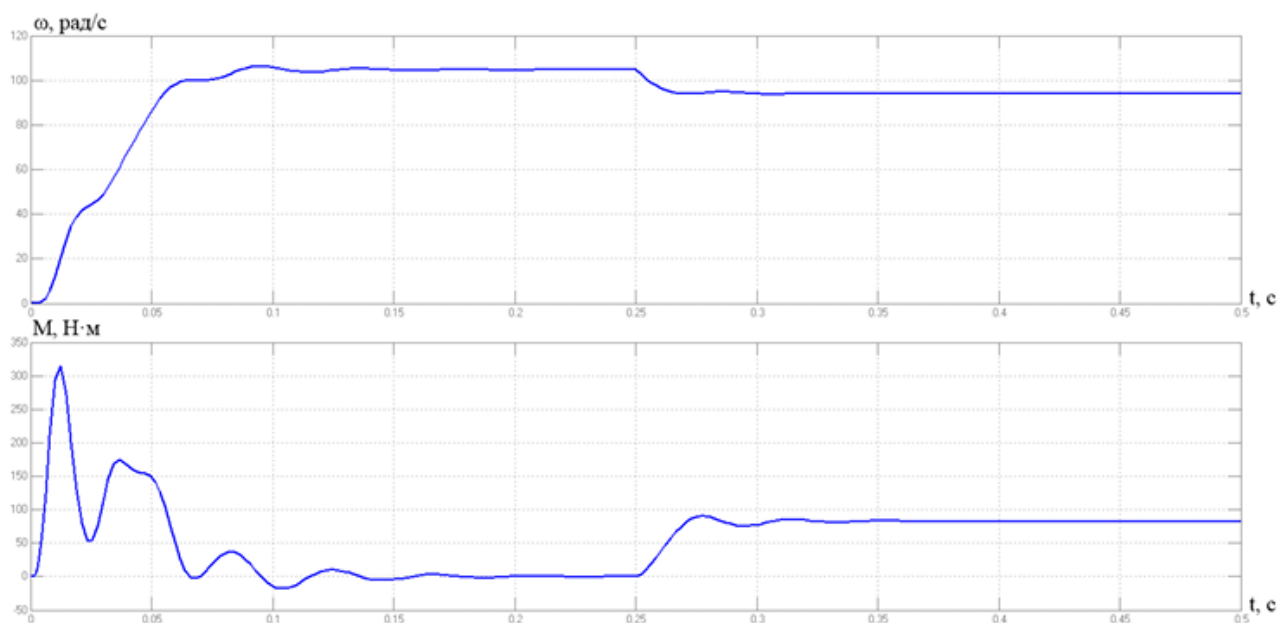
4.3 Әзірленген асинхронды қозғалтқыш моделінің сәйкестігін тексеру

SimPowerSystem Simulink MatLab кітапханасының модульдері негізінде жасалған математикалық модельдің сәйкестігін тексеру үшін 4.6-суретте көрсетілген асинхронды қозғалтқыштың имитациялық моделін жинаймыз.

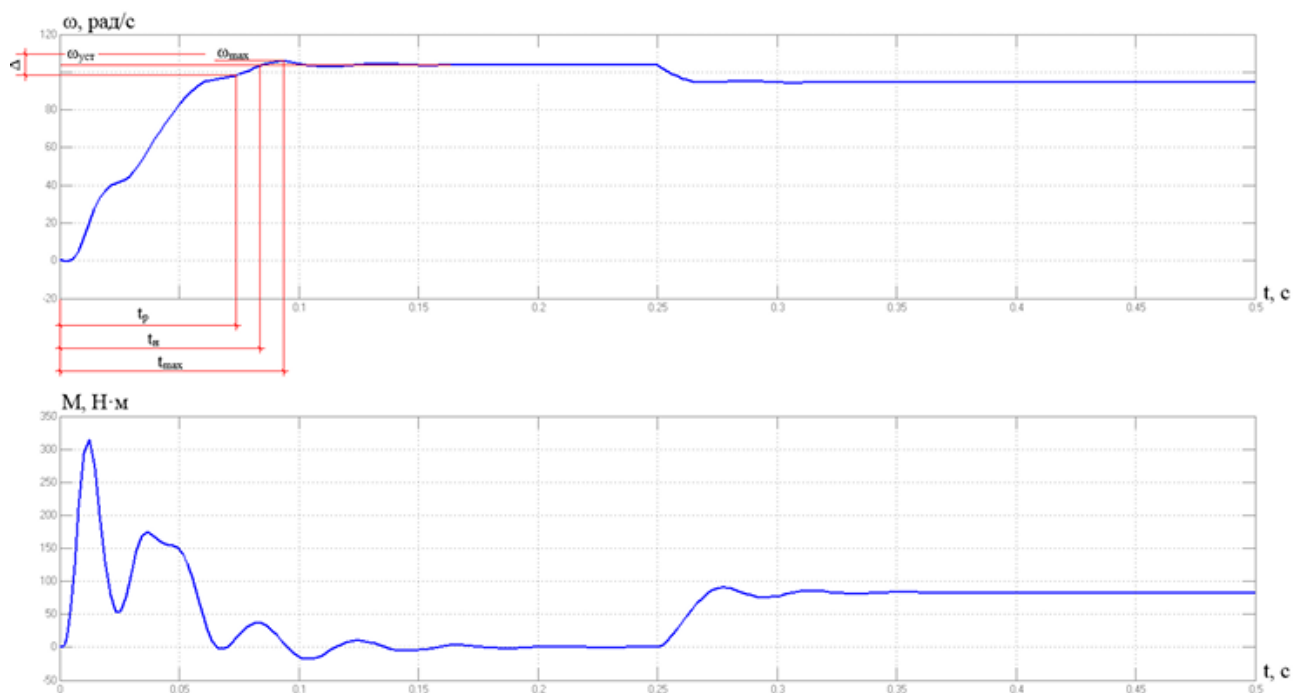


4.6-сурет – SimPowerSystem кітапхана модульдеріне негізделген асинхронды қозғалтқыштың имитациялық моделі

Осы модель арқылы алынған динамикалық сипаттамалар 4.7-суретте көрсетілген. Математикалық модель арқылы алынған сипаттамалар 4.8-суретте көрсетілген. Қозғалтқыш жүктемесіз үдетіледі, 0,25с уақыт сәтінде номиналды жүктеме $M_n=82,502 \text{ Н} \cdot \text{м}$ қосылады.



4.7-сурет – Қозғалтқыштың кітапханалық моделі арқылы алынған $\omega=f(t)$ және $M=f(t)$ тәуелділік графиктері



4.8-сурет – d, q координаттар жүйесіндегі қозғалтқыштың математикалық моделі арқылы алынған $\omega=f(t)$ және $M=f(t)$ тәуелділік графиктері

Өтпелі процестің тікелей сапа көрсеткіштері:

t_p – реттелетін шама берілген дәлдікпен белгіленген мәнге жақын болатын ең аз уақыт, $t_p=0,075$ с;

$\omega_{уст}$ – тұрақты жылдамдық мәні, $\omega_{уст}=104,72$ рад/с;

Δ – алдын ала белгіленген мәннің пайызынан беріледі $\omega_{уст}$, $\Delta=\pm 5\%$;

t_{max} – бірінші максимумға жету уақыты, $t_{max}=0,098$ с;

ω_{max} – бірінші максималды жылдамдық, $\omega_{max}=106,83$ рад/с;

t_n – өтпелі процестің өсу уақыты, өтпелі процестің басталуынан бастап белгіленген мән сызығының графигімен бірінші қиылысу сәтіне дейінгі уақыт, $t_n=0,084$ с;

σ – шамадан тыс реттелуі – белгіленген мәннен максималды ауытқу, пайызбен көрсетілген,

$$\sigma = \frac{\omega_{max} - \omega_{уст}}{\omega_{max}} \cdot 100\% = \frac{106,83 - 104,72}{106,83} \cdot 100\% = 2,02\% \quad (4.8)$$

Екі есептеуді талдау – SimPowerSystems моделімен және математикалық сипаттамамен жасалған – олардың толық сәйкестігін көрсетеді, бұл айнымалы ток электр жетегін зерттеуде әзірленген модельді пайдалану мүмкіндігін растауға мүмкіндік береді.

4.4 «Жиілік түрлендіргіш – асинхронды қозғалтқыш» жүйесінің электр жетегін басқару әдістерін зерттеу

Жұмыс режимдері мен қозғалыс механизмдерінің асинхронды қысқа тұйықталған электр қозғалтқыштарын жиілікті басқаруды таңдау негізінде оларды басқарудың оңтайлы әдістерін таңдау қарастырылады.

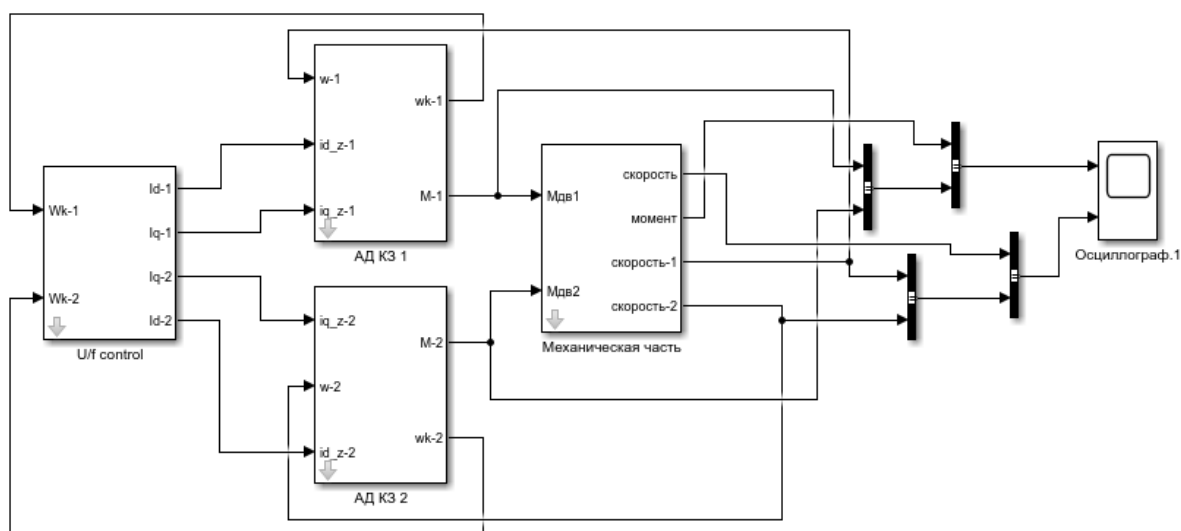
Жиілікпен реттелетін электр жетегінде басқарудың бірнеше белгілі әдістері бар: скалярлық (U/f реттеу), бір қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысы бар векторлық және әрбір асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланыс.

Қозғалтқыштарды өндіруде орамалардың параметрлерінің ауытқуы сөзсіз, ал қозғалыс механизмін пайдалану кезінде бір қозғалтқыш екіншісіне қарағанда көбірек жүктелуі мүмкін, бұл қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларының қаттылығының айырмашылығына әкеледі. Мұндай жағдайды имитациялау үшін біз асинхронды қозғалтқыштардың бірін қосымша жүктейміз (АД КЗ 2).

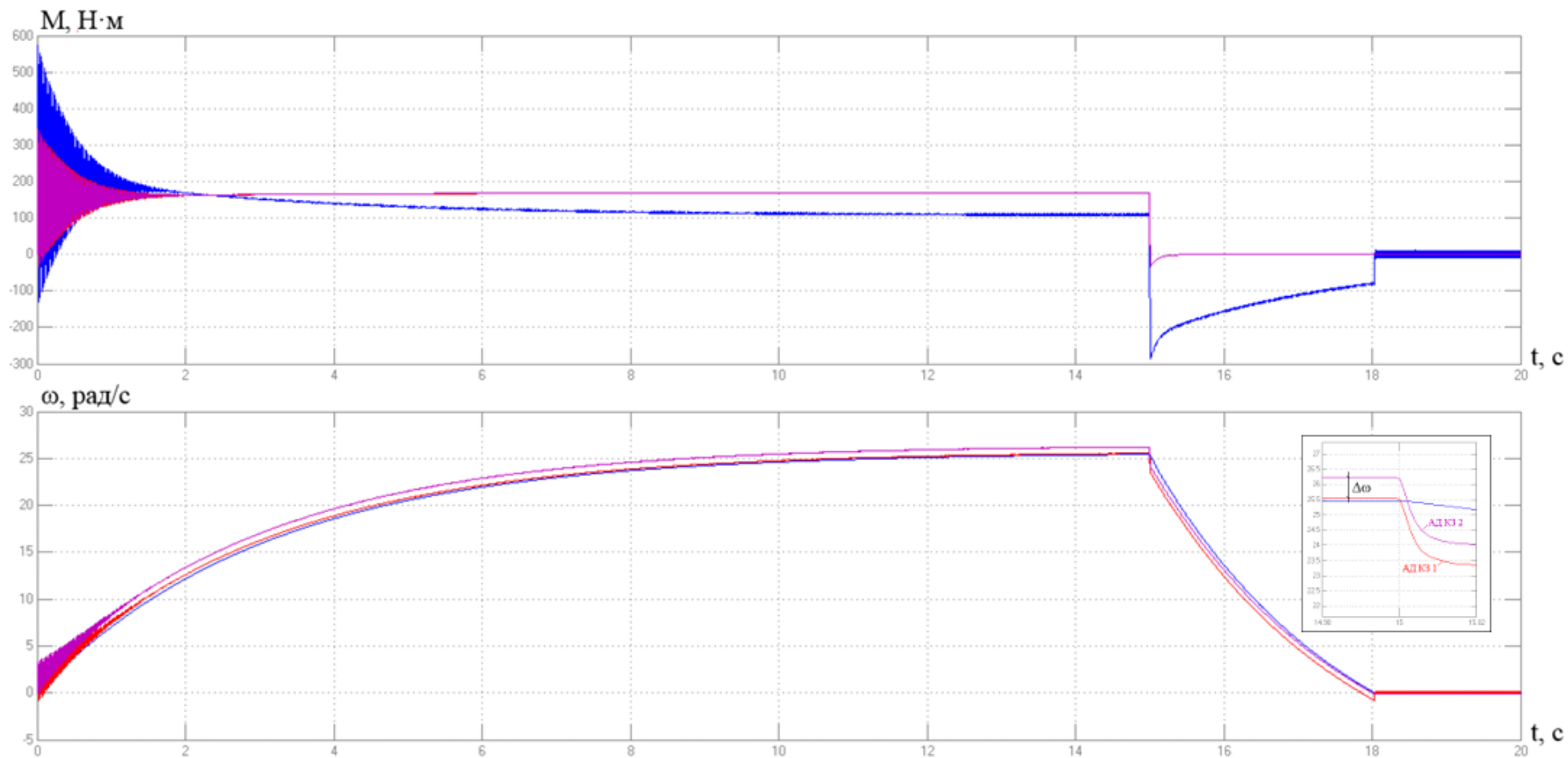
4.4.1 Скалярлық басқару

4.9-суретте кернеу қалыптастырғыштан (U/f control), электромеханикалық түрлендіргіштерден (АД КЗ 1 және АД КЗ 2) және механикалық бөліктен тұратын скалярлық басқарудағы қос қозғалтқышты электр жетегінің моделі келтірілген.

Скалярлық басқарудағы қос қозғалтқышты электр жетегінің динамикалық сипаттамалары 4.10-суретте келтірілген.



4.9-сурет – Скалярлық басқарудағы қос қозғалтқышты электр жетегінің имитациялық моделі



4.10-сурет – Скалярлық басқарудағы қос қозғалтқышты электр жетегінің динамикалық сипаттамалары $M=f(t)$ және $\omega=f(t)$

Қозғалтқыштардың жылдамдықтарын синхрондаудың біркелкі еместігінің салыстырмалы шамасын анықтайық:

$$\Delta_{\text{cy}} = \frac{\Delta\omega}{\omega_{\text{cy}}} \cdot 100\% = \frac{0,5}{18,3} \cdot 100\% = 2,73\% \quad (4.9)$$

Алынған өтпелі процесс бойынша бір тіректің екіншісінен 1 секундта озып кететін қашықтықты анықтаймыз.

Ол үшін әр тіректің 1 секундта өтетін қашықтығын келесі формула бойынша табамыз:

$$S_i = \frac{v_i \cdot 1}{60} \quad (4.10)$$

(4.10) формуласына сандық мәндерді қоямыз:

$$S_1 = \frac{v_{\text{дв1}} \cdot 1}{60} = \frac{18,4 \cdot 1}{60} = 0,3067 \text{ м}$$

$$S_2 = \frac{v_{\text{дв2}} \cdot 1}{60} = \frac{18,9 \cdot 1}{60} = 0,3150 \text{ м}$$

Тіректер арасындағы қашықтықтың айырмашылығын табамыз:

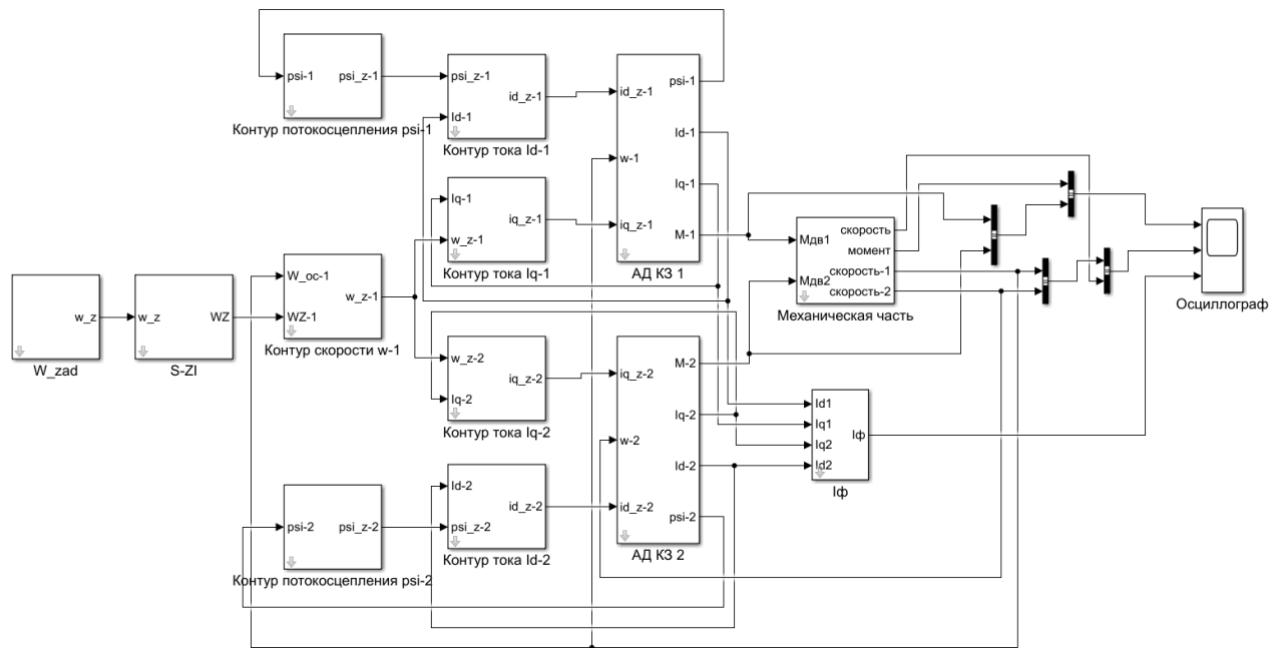
$$S = S_1 - S_2 = 0,3067 - 0,3150 = 0,0083 \text{ м} \quad (4.11)$$

Басқарудың осы әдісімен бүкіл жұмыс учаскесінде жылдамдықтардың үнемі сәйкес келмеуі, сондай-ақ жұмыс режиміне қойылатын талаптардың сәйкес келмеуі байқалады (2.1-сурет).

4.4.2 Бір қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланыспен векторлық басқару

S-жылдамдық контроллерінен, жалпы жылдамдық контурынан, ток және ағын ілінісу контурларынан (әр қозғалтқыш үшін), электромеханикалық түрлендіргіштерден (АД КЗ 1 және АД КЗ 2) және механикалық бөліктен тұратын бір қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысы бар векторлық басқарудағы қос қозғалтқышты электр жетегінің моделі 4.11-суретте көрсетілген.

Бір қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысы бар векторлық басқару кезінде қос қозғалтқышты электр жетегінің динамикалық сипаттамалары 4.12-суретте келтірілген.



4.11-сурет – Бір қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысы бар векторлық басқарудағы қос қозғалтқышты электр жетегінің имитациялық моделі

Қозғалтқыштардың жылдамдықтарын синхрондаудың біркелкі еместігінің салыстырмалы шамасын анықтайық:

Үдету кезінде

$$\Delta_{c_{\text{by}}} = \frac{\Delta\omega_1}{\omega_{\text{by}}} \cdot 100\% = \frac{9,3}{36,4} \cdot 100\% = 25,55\% \quad (4.12)$$

Біркелкі қозғалыста

$$\Delta_{c_{\text{by}}} = \frac{\Delta\omega_2}{\omega_{\text{by}}} \cdot 100\% = \frac{0,95}{66,5} \cdot 100\% = 1,43\% \quad (4.13)$$

Тежеу кезінде

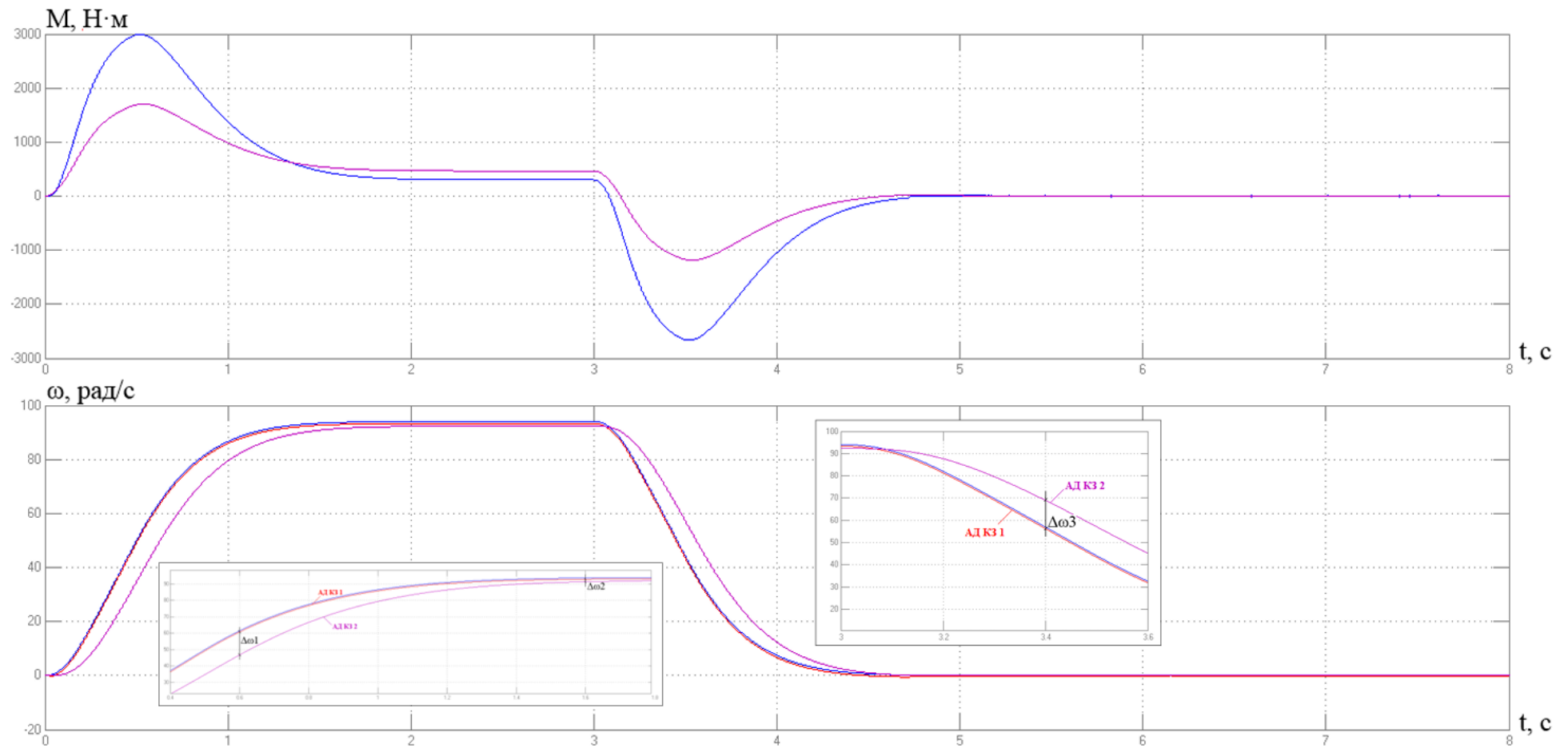
$$\Delta_{c_{\text{by}}} = \frac{\Delta\omega_3}{\omega_{\text{by}}} \cdot 100\% = \frac{10,3}{44,2} \cdot 100\% = 23,30\% \quad (4.14)$$

Алынған өтпелі процесс бойынша бір тіректің екіншісінен 1 секундта озып кететін қашықтықты анықтаймыз.

Ол үшін (4.10) формула бойынша әр тіректің 1 секундта өтетін қашықтығын және (4.11) өрнек бойынша тіректер арасындағы қашықтықты табамыз.

Үдету кезінде

$$S_1 = \frac{v_{\text{дв1}} \cdot 1}{60} = \frac{43,8 \cdot 1}{60} = 0,73 \text{ м}$$



4.12-сурет – Бір қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысы бар векторлық басқарудағы қос қозғалтқышты электр жетегінің динамикалық сипаттамалары $M=f(t)$ және $\omega=f(t)$

$$S_2 = \frac{v_{дв2} \cdot 1}{60} = \frac{33,5 \cdot 1}{60} = 0,56 \text{ м}$$

$$S = S_1 - S_2 = 0,73 - 0,56 = 0,17 \text{ м}$$

Біркелкі қозғалыста

$$S_1 = \frac{v_{дв1} \cdot 1}{60} = \frac{67,05 \cdot 1}{60} = 1,1175 \text{ м}$$

$$S_2 = \frac{v_{дв2} \cdot 1}{60} = \frac{66,1 \cdot 1}{60} = 1,1017 \text{ м}$$

$$S = S_1 - S_2 = 1,1175 - 1,1017 = 0,0158 \text{ м}$$

Тежеу кезінде

$$S_1 = \frac{v_{дв1} \cdot 1}{60} = \frac{36,1 \cdot 1}{60} = 0,6017 \text{ м}$$

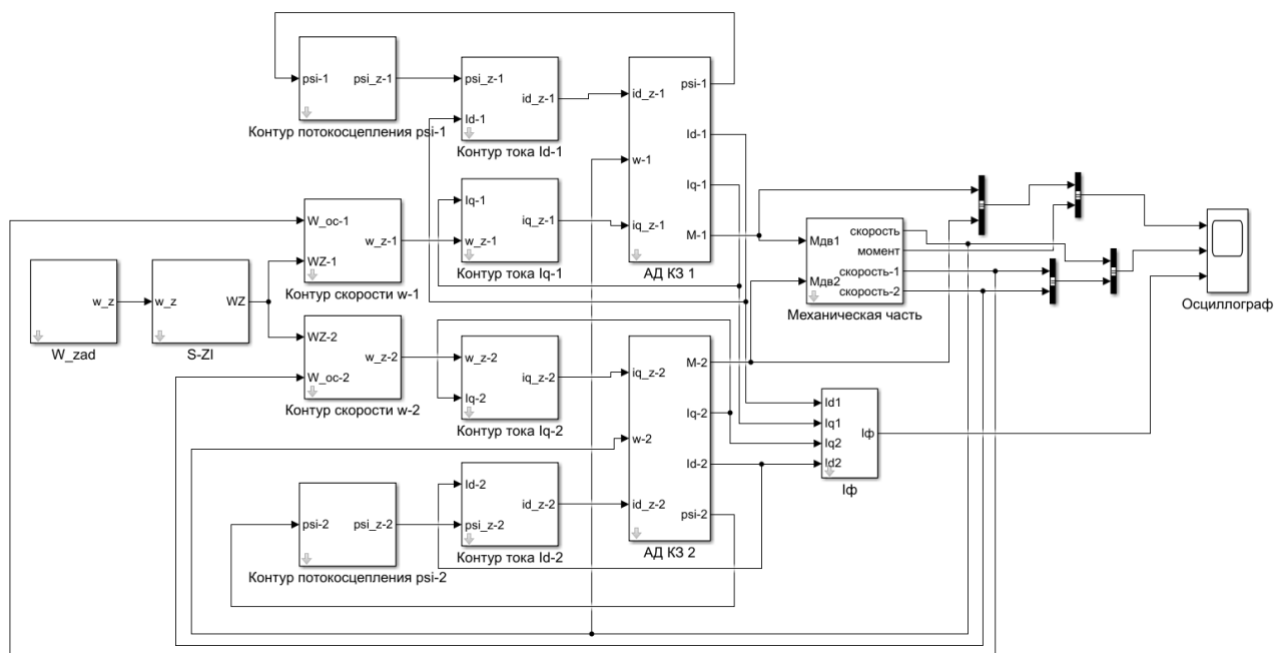
$$S_2 = \frac{v_{дв2} \cdot 1}{60} = \frac{45,4 \cdot 1}{60} = 0,7567 \text{ м}$$

$$S = S_1 - S_2 = 0,6017 - 0,7567 = 0,155 \text{ м}$$

Басқарудың бұл әдісі қозғалтқыштардың айналу жылдамдығының айтарлықтай сәйкессіздігімен сипатталады, яғни үдету мен тежеу кезінде тіректердің қозғалысы. Бір қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысы бар векторлық басқару кезіндегі жұмыс режимі жүктеме диаграммасына сәйкес келеді (2.1-сурет).

4.4.3 Әр асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланыспен векторлық басқару

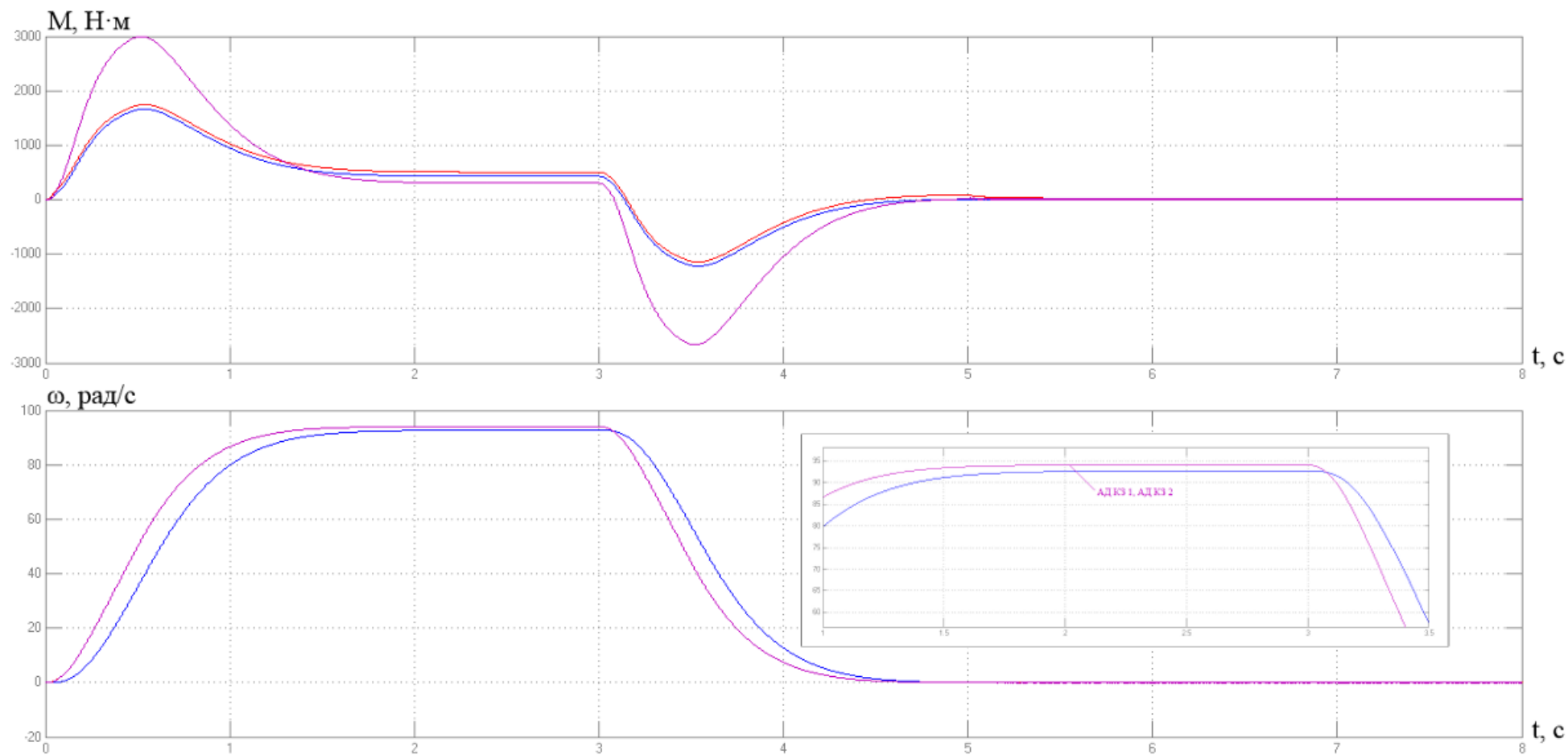
S-жылдамдық контроллерінен, жылдамдық, ток және ағын ілінісу контурларынан (әр қозғалтқыш үшін), электромеханикалық түрлендіргіштерден (АД КЗ 1 және АД КЗ 2) және механикалық бөліктен тұратын әр қозғалтқыш үшін кері байланысы бар векторлық басқарудағы қос қозғалтқышты электр жетегінің моделі 4.13-суретте көрсетілген.



4.13-сурет – Әр қозғалтқыш үшін кері байланысы бар векторлық басқарудағы қос қозғалтқышты электр жетегінің моделі

Әр қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысы бар векторлық басқарудағы қос қозғалтқышты электр жетегінің динамикалық сипаттамалары 4.14-суретте келтірілген.

4.14-суреттен бір қозғалтқышты екіншісіне қарағанда жүктеу кезінде электр жетектерінің айналу жылдамдығы бірдей болып қалатынын көруге болады, яғни кранның құрылымына зақым келтіру мүмкіндігі алынып тасталады.



4.14-сурет – Әр қозғалтқыш үшін кері байланысы бар векторлық басқарудағы қос қозғалтқышты электр жетегінің динамикалық сипаттамалары $M=f(t)$ және $\omega=f(t)$

Бөлім бойынша қорытындылар:

1) d, q айналмалы координаттар жүйесіндегі асинхронды қозғалтқыштың құрылымдық моделі математикалық теңдеулер жүйесі негізінде жасалды.

2) Құрылымдық кітапхана моделіне сәйкес MATLAB бағдарламасында алынған 7,5 кВт асинхронды қозғалтқыштың моменті мен жылдамдығын зерттеу жүргізілді. Нәтижесінде номиналды жылдамдыққа 0,25 секундтан кейін іске қосу және жүктеменің жоғарылауы режимінде тұрақтылық байқалады.

3) d, q айналмалы координаттар жүйесіндегі құрылымдық модельге сәйкес, MATLAB бағдарламасында алынған 7,5 кВт асинхронды қозғалтқыштың моменті мен жылдамдығының өтпелі процестері зерттелді. Нәтижесінде номиналды жылдамдыққа 0,25 секундтан кейін іске қосу және жүктеменің жоғарылауы режимінде тұрақтылық байқалады.

4) Екі қозғалтқышты электр жетегін басқарудың үш жүйесіне салыстырмалы талдау жасалды: скалярлық (U/f реттеу), бір қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысы бар және әр асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысы бар векторлық. Айта кету керек, векторлық басқару кезінде кранның қозғалу механизмінің қос қозғалтқышты электр жетегінің жұмыс режимі 2.1-суретке сәйкес келеді, ал скалярлық басқару кезінде олай болмайды.

5) Берілген талаптарға сәйкес – кранның құрылымына зақым келтірмеу үшін қозғалтқыштардың айналу жылдамдығын синхрондау – әрбір асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысы бар векторлық басқару жетегінің моделі жауап береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл жұмыста тіректердің қозғалыс жылдамдығын синхрондауға мүмкіндік беретін мосылық кранның қозғалу механизмінің асинхронды жиілікті реттелетін қос қозғалтқышты электр жетегі жасалды.

Ол үшін ЛТ-62 кранының мақсаты, техникалық сипаттамалары және кинематикалық ерекшеліктері зерттелді. Жетек ретінде қуаты 7,5 кВт АМТКФ132L6 асинхронды қозғалтқышы және Schneider Electric Altivar 71 жиілік түрлендіргіші таңдалды. Қозғалтқыштың алмастыру схемасының параметрлері есептелді және оның статикалық сипаттамалары алынды.

d–q қозғалмайтын координаттар жүйесінде екі фазалы математикалық модельге негізделген MatLab бағдарламалық ортасында S-тәрізді контроллер, жылдамдық, ток және ағын ілінісу контурлары, екі қозғалтқыш және механикалық бөлікті қамтитын екі қозғалтқышты жиілікпен реттелетін электр жетегінің имитациялық моделі жасалды.

Осы модельдің көмегімен екі қозғалтқыштың электр жетегі бойынша зерттеулер жүргізілді, нәтижесінде екі қозғалтқыштың айналу жылдамдығының синхрондалуын әр қозғалтқыштың жылдамдығы бойынша кері байланысы бар векторлық басқару қамтамасыз ететіндігі анықталды.

Модельдеу нәтижелері жылдамдықты синхрондаудың жоғары дәлдігін, ауыспалы жүктеме кезінде жүйенің тұрақты жұмысын, сондай-ақ электр жетегінің сыртқы бұзылуларға жақсы тұрақтылығын көрсетті.

Осылайша, ұсынылған басқару жүйесі жалпы жүктемеде жұмыс істейтін бірнеше жетектердің келісілген немесе синхронды айналуын қажет ететін заманауи көтеру және тасымалдау машиналарының конструкцияларында қолдану үшін ұсынылуы мүмкін.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Байбутанов Б.К. Многодвигательный асинхронный электропривод согласованного вращения: Магистерская диссертация. – Алматы; 2013.
- 2 Лой В.Н., Протас П.А., Завойских Г.И. Лесоскладское грузоподъемное оборудование: учеб.метод. пособие для студентов. – Мн.: БГТУ, 2005. – 102 с.
- 3 Коломинова М. В. Грузоподъемное оборудование для нижнескладских работ: МУ к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технологические процессы и оборудование лесозаготовительного производства» /М. В. Коломинова. – У.: УГТУ, 2013. – 54 с.
- 4 Проектирование электроприводов крановых механизмов. Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 12, февраль 2009.
- 5 Расчет механизма передвижения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mylektsii.ru/1-62879.html>. – Загл. с экрана.
- 6 Электропривод передвижения тележки крана по системе ПЧ-АД [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://vunivere.ru/work47817> – Загл. с экрана.
- 7 Казак С.А., Дусье В.Е., Кузнецов и др./Курсовое проектирование грузоподъемных машин. Учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов; Под ред. Казака С.А. – М.: Высшая школа, 1989. - 319 с.: ил.
- 8 Кояин Н.В.. Электропривод общепромышленных механизмов. Лекции – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
- 9 Дроссели пусковые крановые [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://dimalmag.ru/production/reactor-electricdrive/rane-current-limiting-reactors.html> – Загл. с экрана.
- 10 Системы кранового электропривода [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.momentum.ru/ru/products-pt/skep/> – Загл. с экрана. 71
- 11 Иванченко Ф. К., Красношапка В. А. Динамика металлургических машин. – М.: Металлургия, 1983. – 295 с.
- 12 Крановые электродвигатели серии ДМТ и АМТ [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.esco-motors.ru/sites/default/files/kr_eldv.pdf. – Загл. с экрана.
- 13 Электрический привод: учебно-методическое пособие / Качин С.И., Чернышев А.Ю., Качин О.С.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 157 с.
- 14 Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kadrovik.ru/docs/pgosgortehnadsora31.12.99n98.htm>. – Загл. с экрана.
- 15 Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В.. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 164 с.

16 Преобразователи частоты Altivar 71. Каталог 09 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.tesli.com/file/catalogue/schneider-electric/schneider-electric-altivar-71.pdf> – Загл. с экрана.

17 Системы управления электроприводов.: учебное пособие / Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В.. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 82 с.

18 Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В.. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.

19 Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В.. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Механическая система электропривода: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.
72

20 СТ КазННТУ - 09 - 2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала.- КазННТУ, 2023.