

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ
УНИВЕРСИТЕТІ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Нургожанов Мирас Аманжолович

«Гибридті автомобильдер үшін өздігінен вентильді – индукторлы электр
козғалтқышын зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071600 – Аспап жасау мамандығы

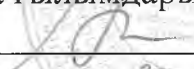
Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ
УНИВЕРСИТЕТІ

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ
РТжАТҚ кафедра меңгерушісі
техника ғылымдарының кандидаты
 Қ.А. Ожикенов
« 22 » мамыр 2022 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Гибридті автомобильдер үшін өздігінен вентильді – индукторлы
электр қозғалтқышын зерттеу»

5B071600 – Аспап жасау мамандығы бойынша

Орындады

Нургожанов М.А.

Рецензент

PhD, қауымдастырылған профессор

Ғылыми жетекшісі

Ф.М.Ғ.К., қауымдастырылған
профессор

 Балбаев Г. К.

 Бактыбаев М.К.

« ___ » мамыр 2022 ж.

« ___ » мамыр 2022 ж.

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ
УНИВЕРСИТЕТІ


Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

5B071600 – Аспап жасау

БЕКІТЕМІН

РТжАТҚ кафедра меңгерушісі
техника ғылымдарының кандидаты

 Қ.А. Ожикенов
«27» мамыр 2022 ж.

ТАПСЫРМА

дипломдық жұмысты орындауға

Білім алушыға Нургожанов Мирас Аманжолович

Тақырыбы: Гибридті автомобильдер үшін өздігінен вентильті – индукторлы электр қозғалтқышын зерттеу

Университет ректорының бұйрығымен бекітілген №489-П/Ө «24» желтоқсан 2021 ж. Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «25» мамыр 2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: Электромобильдің тартымдық есебі және вентильт-индуктор қозғалтқышының параметрлерін есептеу. MATLAB Simulink-да клапан-индуктор қозғалтқышының шекті сипаттамаларының құрылысынның моделін құру.

Дипломдық жұмыста әзірленуге жататын мәселелер тізімі:

а) Электромобильдерді зерттеу, түсіну

б) ИВҚ түрлерін сипаттау

в) MATLAB Simulink бағдарламасында моделін құрастыру.

Графикалық материалдың тізбегі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

10 слайд

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 20 әдебиеттер тізімі

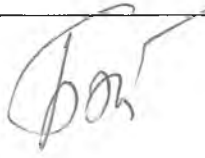
Дипломдық жобаны дайындау

КЕСТЕСІ

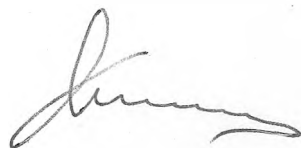
Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескертпелер
Теориялық бөлім	25.02.22 – 20.03.22	Орындалды
Бағдарламалық бөлім	22.03.22-15.04.22	Орындалды
Зерттеу бөлімі	18.04.22- 01.05.22	Орындалды
Қорытынды бөлім	10.05.2022	Орындалды

Аяқталған дипломдық жобаға және оған қытысты бөлімдерінің кеңесшілері мен қалып бақылаушының

ҚОЛТАҢБАЛАРЫ

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекшілер, кеңесшілер, (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қол
Қалып бақылаушы	Көшербай Марлен Айдынұлы, техника ғылымдарының магистрі, ассистент		

Ғылыми жетекшісі



Бактыбаев М.К.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Нургожанов М.А.

Күні

« » мамыр 2022 ж.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста вентильді-индуктор қозғалтқышының құрылымы, құрылымдық ерекшеліктері, артықшылықтары, кемшіліктері және жұмыс принципі қарастырылған. Электромобильдің тартымдық есебі және вентиль-индуктор қозғалтқышының параметрлерін есептеу жүргізілді. MATLAB Simulink-да клапан-индуктор қозғалтқышының шекті сипаттамаларының құрылысы ұсынылған. Қорытындыда осы дипломдық жұмыстың нәтижелері тұжырымдалған.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе рассмотрены структура, особенности конструкции, достоинства, недостатки и принцип действия вентильно-индукторного двигателя. Был приведен тяговый расчет электромобиля и расчет параметров вентильно-индукторного двигателя. Представлен построение предельных характеристик вентильно-индукторного двигателя в MATLAB Simulink. В заключении сформулированы результаты данной дипломной работы.

ANNOTATION

In the thesis, the structure, design features, advantages, disadvantages and the principle of operation of the valve-inductor motor are considered. The traction calculation of the electric vehicle and the calculation of the parameters of the valve-inductor engine were carried out. The construction of the limiting characteristics of a valve-inductor motor in MATLAB Simulink is presented. In conclusion, the results of this thesis are formulated.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе

1 Вентильді-индукторлы электржетек

1.1 Гибридті көлік құралы туралы жалпы мәліметтер

1.2 Вентильді-индукторлы қозғалтқыш туралы жалпы мәліметтер

1.3 Вентильді-индукторлы электр жетектерін қолдану саласындағы ағымдағы зерттеулерге шолу

1.4 Вентильді-индукторлы қозғалтқыштардың түрлері

1.4.1 Тұрақты магниті бар вентильді-индукторлы қозғалтқыш

1.4.2 Тәуелсіз қозуы бар вентильді-индукторлы қозғалтқыш

1.4.3 Өздігінен қозатын вентильді-индукторлы қозғалтқыштар

1.4.4 Өздігінен қозатын екі фазалы вентильді-индукторлы қозғалтқыштар (TPSRM)

1.5 Қозғалтқыштың негізгі конструкциясын таңдау

2 Электромобильдің тартымдық есебі

3 Өздігінен қозатын вентильді-индукторлы электр қозғалтқышының сипаттамасы

3.1 Вентильді-индукторлы электр қозғалтқышы және оны тартқышта қолдану

3.2 ВИҚ математикалық сипаттама түрі

3.3 ВИТ көрсеткіштерін есептеу

3.4 ВИҚ шекті сипаттамаларын құру

Қорытынды

Пайдаланған әдебиеттер тізімі

КІРІСПЕ

Соңғы жылдары қарапайым дизайндағы және сенімді электр жетектеріне арналған электр машиналарын жасау саласындағы отандық және шетелдік зерттеулердің қарқынды өсуі байқалды, мұнда атқарушы қозғалтқыштың жарамдылығы, қарапайымдылығы және төмен бағасы өте маңызды және қажетті сапа көрсеткіштеріне электр жетектерін қолдану арқылы қол жеткізіледі.

Электр машиналарының салыстырмалы түрде жаңа түрлерінің бірі вентильді-индуктор қозғалтқышы (ВИҚ). ВИҚ - тұрақты айналу режимінде жұмыс істейтін қадамдық қозғалтқыш. Осы себепті ол синхронды реактивті машиналар класына жатады. Әлемдік техникалық әдебиеттерде көптеген басқа атаулар берілген: басқарылатын клапан реактивті қозғалтқышы, ауыспалы магниттік кедергісі бар коммутацияланған реактивті қозғалтқыш, электронды коммутацияланған қозғалтқыш, байланыссыз реактивті қозғалтқыш, электромагниттік редуциясы бар қозғалтқыш.

Бір объектіні белгілеу үшін терминдердің әртүрлілігі бұл қозғалтқыштың салыстырмалы түрде кіші жасы екенің көрсетеді.

Күрделілігіне байланысты түр бұл процестің ерекшелігін атаудың бірнеше сөздерінде көрсету мүмкін емес. Электр жетектерінің осы түрін әзірлеу және зерттеу қазір перспективалы бағыт болып табылады. Вентильді-индуктор электр жетектері автомобиль өнеркәсібінде, атап айтқанда гибридті көлік құралында, мұндай автомобильдің істен шығуына төзімділікке жоғары талаптар қойылатын жерде қолданыла алады.

ВИҚ күрделілігіне байланысты бұл процестің ерекшелігін атаудың бірнеше сөздерінде көрсету мүмкін емес. Электр жетектерінің осы түрін әзірлеу және зерттеу қазір перспективалы бағыт болып табылады. Вентильді-индуктор электр жетектері автомобиль өнеркәсібінде, атап айтқанда гибридті көлік құралында, мұндай автомобильдің істен шығуына төзімділікке жоғары талаптар қойылатын жерде қолданыла алады.

1 Вентильді-индукторлы электржетек

1.1 Гибридті көлік құралы туралы жалпы мәліметтер

Гибридті көлік құралы немесе автомобиль-жетекші дөңгелектерді жүргізу үшін бірден артық энергия көзін пайдаланатын автомобиль. Қазіргі уақытта автомобиль өндірісінде ішкі жану қозғалтқышы (ІЖҚ) мен электр қозғалтқышын бірлесіп пайдалану, ІЖҚ-ның төмен жүктемелер режимінде жұмыс істеуін болдырмау және кинетикалық энергияны рекуперациялауды іске асыру, осылайша қуатты қондырғының отын тиімділігін арттыру үшін жиі қолданылады. [2]

Электромеханикалық трансмиссиясы бар көлік құралдарын ажырату керек және мұндай көліктердің жарқын мысалдарын тепловоздар, кейбір карьерлік самосвалдар (сериялық гибридті жетек енгізілген соңғы модельдерді қоспағанда), ДЕТ-250 тракторлары және танктер деп атауға болады. [1]

Қозғалтқыштар мен жинағышты (накопитель) жетекке қосу әдісіне сәйкес параллель және тізбекті-параллель тізбектерге бөлінеді.

Тізбекті схеманы электромеханикалық трансмиссиясы және аралық жетегі бар тізбек деп атауға болады. Ішкі жану қозғалтқышы электр генераторына механикалық түрде қосылады, ал тартқыш электр қозғалтқышы дөңгелектерге қосылады. Параллель схема үшін қосылыс-бұл ішкі жану қозғалтқышы мен электр қозғалтқышы дөңгелектерге дифференциал арқылы механикалық түрде қосылған, бұл олардың жеке және бірлесіп жұмыс істеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Тізбекті-параллель-бұл ішкі жану қозғалтқышын ұсынады, генератор және электр қозғалтқышы, планетарлық редуктор арқылы дөңгелектермен механикалық байланысқан, бұл осы түйіндер арасындағы қуат ағындарын ерікті түрде өзгертуге мүмкіндік береді. Энергия жинағышы ретінде батареялар, конденсатор батареялары және ионисторлар (суперконденсаторлар) қуат көзі бола алады. Айтарлықтай сыйымдылықты энергия сақтау құрылғысын қолдана отырып, гибридті автомобиль ішкі жану қозғалтқышын қоспай — ақ - "электромобиль режимінде" қозғалуға мүмкіндік алады. Көлік құралын электр желісінен қуаттандыру жағдайында олар "қосылған гибрид" дегенді білдіреді (ағылш. Plugin Hybrid). [4]

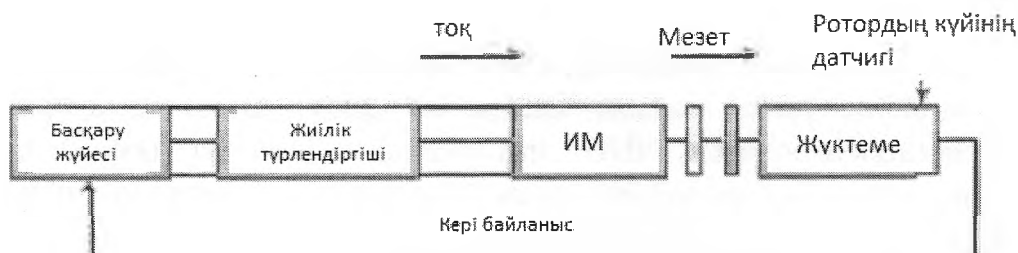
Гибридті автомобильдің басты артықшылығы-жанармай шығыны мен зиянды шығарындыларды азайту, бұған борттық компьютер арқылы қозғалтқыштардың жұмысын басқаруды автоматтандыру арқылы қол жеткізіледі. Басқару қозғалтқышты тоқтату кезінде уақтылы өшіруден бастап, оны іске қоспай — ақ, қозғалысты дереу қалпына келтіру мүмкіндігімен, тек жинағышта сақталған энергиямен аяқталады және күрделі қалпына келтіру механизмімен аяқталады-электр қозғалтқышы жұмыс істеп тұрған кезде жинағышты зарядтау үшін тежеу кезінде қозғалатын автомобильдің кинетикалық энергиясын пайдалану электр генераторы режимінде орындалады.

Электромеханикалық трансмиссия сияқты, ішкі жану қозғалтқышы әдетте оңтайлы режимде жұмыс істейді. [4]

1.2 Вентильді-индукторлы қозғалтқыш туралы жалпы мәліметтер

Вентильді-индуктор қозғалтқышы (ВИҚ) - бұл электр қозғалтқышының салыстырмалы түрде жаңа түрі, ол кез-келген электр қозғалтқышы сияқты, электр желісінен келетін электр энергиясын жүктемеге берілетін механикалық энергияға түрлендіруді қамтамасыз етеді. Реттелетін электр жетегі жүйесі ретінде көрініс белгілі бір жүктеме сипаттамаларына сәйкес осы процесті басқаруға мүмкіндік береді: жылдамдықты, моментті, қуатты және т. б. реттеу [1]

Вентильді-индуктор қозғалтқышы құрылымдық схемасы 1.1-суретте көрсетілген өте күрделі электр мехатрондық жүйе болып табылады.



1.1 Сурет – Вентильді – индукторлық қозғалтқыштың құрылымдық сұлбасы

Оның құрамына: индуктор машинасы (ИМ), жиілік түрлендіргіші, басқару жүйесі және ротордың орналасу датчигі (ДПР) кіреді. Бұл көрініс элементтері нақты функцияларды қамтамасыз етеді. Жиілік түрлендіргіші оларға фазаларды тікбұрышты кернеудің бірполярлы импульстарымен қамтамасыз етеді; олар энергияны электромеханикалық түрлендіруді жүзеге асырады; оған енгізілген алгоритмге және ротор позициясының датчиктен келетін кері байланыс сигналдарына сәйкес басқару жүйесі осы процесті басқарады. [2]

ВИҚ құрылымы өзінің құрылымында реттелетін электр жетегінің классикалық жүйесіне ұқсас, сондықтан оның қасиеттері бар. Алайда, реттелетін электр жетегінен айырмашылығы, индуктор машинасы өзін-өзі қамтамасыз ете алмайды. Ол жиілік түрлендіргіші мен басқару жүйесінсіз жұмыс істей алмайды. Жиілік түрлендіргіші және басқару жүйесі электромеханикалық энергияны түрлендіруді жүзеге асыру үшін қажет индуктор машинасының ажырамас бөлігі болып табылады. Бұл 1.1 – суретте көрсетілген құрылымдық элементтердің жиынтығы тек реттелетін электр жетегінің жүйесі ғана емес, сонымен бірге электромеханикалық энергия түрлендіргіші болып табылады [1].

1.3 Вентильді-индукторлы электр жетектерін қолдану саласындағы ағымдағы зерттеулерге шолу

ВИҚ қарқынды дамуы шамамен 20 жыл бұрын басталды. Сонымен бірге, бұл электр машинасының тұжырымдамасы ХІХ ғасырдың отызыншы жылдарының соңында тұжырымдалғанын атап өткен жөн. Алғашқы қозғалтқышты ДэВИҚсон жасаған және Глазго-Эдинбург теміржолында салмағы бірнеше тонна локомотивті жүргізу үшін қолданылған. Элементтік базаның жетілмегендігіне байланысты (механикалық коммутатор бірінші рет қолданылған), сол кезде бұл электр машиналары табылмады және олар жүз жылдан астам уақыт бойы ұмытып кетті. ХХ ғасырдың екінші жартысы, бір жағынан, электр және ақпараттық электрониканың қарқынды дамуымен сипатталды, ал екінші жағынан, электромеханикалық энергия түрлендіргіштерінің дәстүрлі түрлерін қанағаттандыру қиындай түскен электр машиналарына қойылатын талаптардың жоғарылауымен сипатталды. Бұл ВИҚ алғышарттар жасады және әзірлеу мен өндірудің техникалық негізін қамтамасыз етті.

Қазіргі уақытта әлемдегі көптеген ірі электр компаниялары осы электр машиналарын сериялы түрде шығарады немесе соған дайындалып жатыр. Ғасырлар бойғы тарихына қарамастан, ВИҚ электромеханикалық энергия түрлендіргіштің салыстырмалы түрде жаңа түрі болып табылады, оның теориясы мен тәжірибесінде әлі де көптеген ақ дақтар бар. Атап айтқанда, бұл электр машиналарында отандық әдістемелік әдебиеттер жоқ. [1]

Соңғы жылдары электр жетектеріне арналған қарапайым және сенімді электр машиналарын жасау саласындағы шетелдік және отандық зерттеулердің қарқынды өсуі байқалды, мұнда атқарушы қозғалтқыштың жарамдылығы, қарапайымдылығы, төмен бағасы және ақауларға төзімділігі өте маңызды, ал талап етілетін сапа көрсеткіштеріне жоғары интеллектуалды жиілік түрлендіргіштерін қолдану арқылы қол жеткізіледі. Мұндай зерттеулер әсіресе өнеркәсіп үшін өте маңызды қауіпті өндірістік объектілерді жабдықтау: ядролық, әскери, химиялық, құрылыс, металлургия және көлік, онда өміршеңдік қасиетін қамтамасыз ете отырып, атқарушы электр жетектерін (ЭП) істен шығуға төзімді басқаруды ұйымдастыру проблемасы туындайды. Осы бөлімде отандық зерттеулер мен ВИП қолданудың бірнеше мысалдары келтірілген.

1.4 Вентильді-индукторлы қозғалтқыштардың түрлері

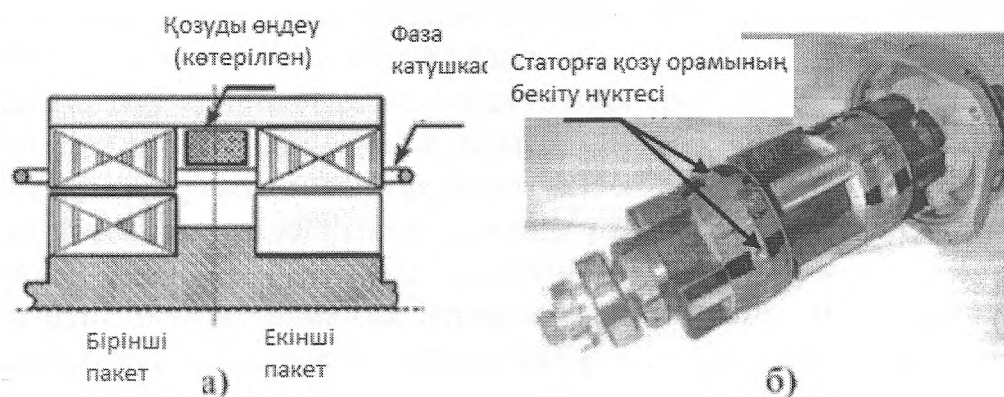
Қазіргі заманғы вентильді-индукторлы қозғалтқыштар (ВИҚ) үш түрлі болуы мүмкін (қозу түрі бойынша) [6]: магнитоэлектрлік қозуымен; статорда орналасқан тәуелсіз қозуымен; арматура орамасындағы тұрақты ток компонентіне байланысты өздігінен қозуымен. Әр түрдің өзіндік артықшылықтары мен қосымшалары бар.

1.4.1 Тұрақты магниті бар вентильді-индукторлы қозғалтқыш

Тұрақты магнитті вентильді -индуктор машиналары жақсы массалық және энергетикалық көрсеткіштерге ие. Алайда, тұрақты магниттердің жоғары құнын ескере отырып, бұл бағыт тек шағын қуаттылықтар үшін перспективалы (1 кВт – тан аз) - робототехника, прецизионды техника, бақылау жүйелері және т.б., мұнда жоғары динамика мен масса көрсеткіштеріне қойылатын талаптар бірінші орынға шығады. Жалпы өнеркәсіптік қолдану үшін қозғалтқыштың бұл түрі жоғары шығындарға байланысты жарамайды, сондықтан біз оны бұдан әрі қарастырмаймыз.

1.4.2 Тәуелсіз қозуы бар вентильді-индукторлы қозғалтқыш

Тәуелсіз қозуы бар вентильді-индукторлы қозғалтқыштар (НВ ВИҚ тәуелсіз вентиль) қосымша қоздыру орамасының болуын болжайды. Әдетте, осы типтегі машиналар қозғалтқыштың іргелес пакеттерінің арасында әр қоздыру орамасы (және бірнеше болуы мүмкін) болған кезде көп пакеттік құрылымдарды қолданады. Әр түрлі конструкциялардың мысалдары суретте келтірілген. 1.2.

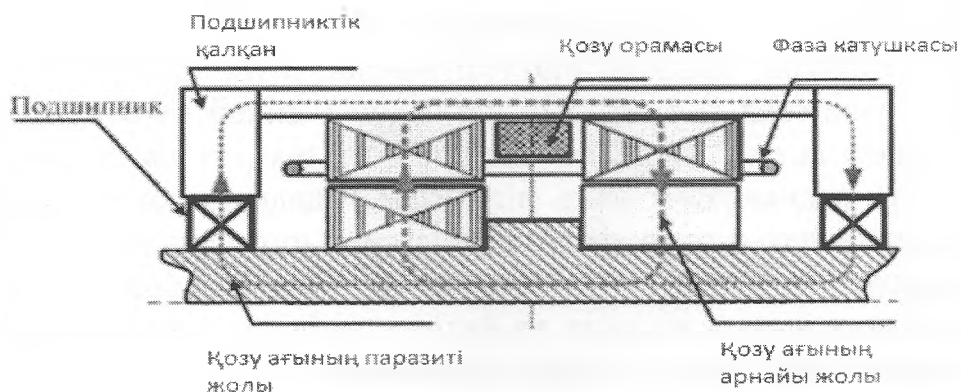


1.2 Сурет – Тәуелсіз қозуы бар вентильді-индукторлы қозғалтқыштар конструкцияларының мысалдары: а) қоздыру орамасы көтерілген екі пакеттік вентильді-индукторлы қозғалтқыш; б) қоздыру орамасы түсірілген төрт пакеттік вентильді-индукторлы қозғалтқыштың роторы

Төмендегі суретте тәуелсіз қозуы бар вентиль-индуктор қозғалтқышының екі түрлі конструкциясы көрсетілген. 1.2 – суретте екі пакеттік конструкция ұсынылған. Оның айрықша ерекшелігі - қоздыру орамасы статордың артқы теміріне жақын орналасқан (қозғалтқыш фазаларының орамаларынан жоғары). Қоздыру орамасының бұл орналасуы "көтерілген" деп аталады, ал қоздыру орамасының өзі көтерілген қоздыру орамасы деп аталады. Сондай - ақ, қоздыру орамасы ротордың магниттік тізбегіне жақын орналасқан құрылымдар 1.2.б - суретте бейнеленген қоздыру орамасы түсірілген төрт пакеттік вентильді-

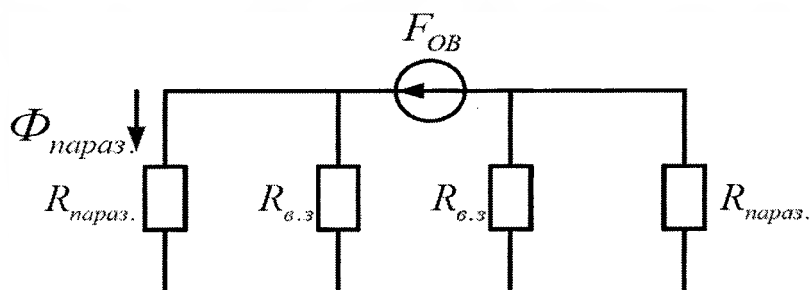
индукторлы қозғалтқыштың роторы бейнеленген (тек екі орам). Көтерілген қоздыру орамасының төмендетілген қоздыру орамасымен салыстырғанда орташа диаметрі үлкен, сондықтан көтерілген қоздыру орамасын жасау үшін көп мыс қажет, және ол шығындар тұрғысынан аз рационалды болады. Сонымен қатар, пакетаралық кеңістіктің бір аймағында қоздыру орамасы мен якорь орамасын орналастыру қажеттілігі қозғалтқыш көлемінің ұлғаюына әкеледі. Ротордың пакетаралық кеңістігінің аймағына түсетін қоздыру орамасы қозғалтқыштың жалпы өлшемдерін азайтуға мүмкіндік береді, бірақ қозғалтқышты құрастыру технологиясын едәуір қиындатады. Бұл машинаның статорында қоздыру орамаларын бекіту процедурасына байланысты. Себебі, қозғалтқыштың роторына түсірілген қоздыру орамалары статорға бекітілмейді және қозғалтқыштың роторы статорға өтіп, мойынтірек қалқандарымен бекітілгенге дейін роторға тиіп кетпейтіндей етіп туралануы мүмкін емес. 1.2.б – суретте конструкциясы көрсетілген, қоздыру орамаларының мұндай "ілінуі" бірнеше бұрандалардың көмегімен жүзеге асырылады - суреттегі ОВ бекіту нүктелерін қараңыз. Бұл операция күрделі және көп уақытты қажет ететін процесс, өйткені ротордың қоздыру орамаларына қол тигізуге болмайды және визуалды бақылау мүмкін болмай, іс жүзінде жиналған қозғалтқышқа орамалардың іліну сапасын бағалау өте қиын. Тұтастай алғанда, жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, қозғалтқышта қоздыру орамасының болуы қозғалтқыштың құрылымы мен құнын біршама арттырады, сонымен қатар оның сенімділігін төмендетеді деп айта аламыз.

Осы типтегі машиналардың конструкция ерекшелігімен байланысты тағы бір кемшілікті атап өткен жөн. Қоздыру катушкасынан пайда болатын қозу ағыны статор корпусынан, статор пакетінен, жұмыс істейтін ауа саңылауынан, ротор пакетінен, ротор білігінен (немесе ротор пакеттері арасындағы жең), екінші ротор пакетінен, жұмыс істейтін ауа саңылауынан, екінші статор пакетінен өтіп, осьтік радиалды жолмен жабылады. Алайда, қоздыру ағынын тұйықтандырудың балама жолы бар - статор корпусы, мойынтірек, ротор және екінші мойынтірек пен мойынтірек қалқаны арқылы 1.3 - суретті қараңыз.



1.3 Сурет – Ағынның осьтік-радиалды тұйықталуы бар машиналарда паразиттік әсердің пайда болуы

Осындай паразиттік қоздыру ағынының тұйықталу жолының болуы қозғалтқыш айналған кезде мойынтірек (подшипник) шарларында пайда болатын құйынды токтарға байланысты жылжымалы подшипниктердің мерзімінен бұрын істен шығуына әкелуі мүмкін. Бұл жағдайда машинаның қоздыру тізбегінің жалпы өткізгіштігі ротор білігінің орналасуына тәуелді емес және темірдің магниттік кедергісін ескермейтін етіп жасалынғанын ескере отырып, магниттік тізбекті ауыстыру схемасы 1.4 - суретте көрсетілген.



Сурет 1.4 – ТВ ВИҚ магниттік тізбекті ауыстыру схемасы қоздыру ағынының жалған тұйықталу жолын ескере отырып

Бұл схемадан қозғалтқыштың әр мойынтірегінен өтетін паразиттік ағын өрнекпен анықталатынын алу оңай:

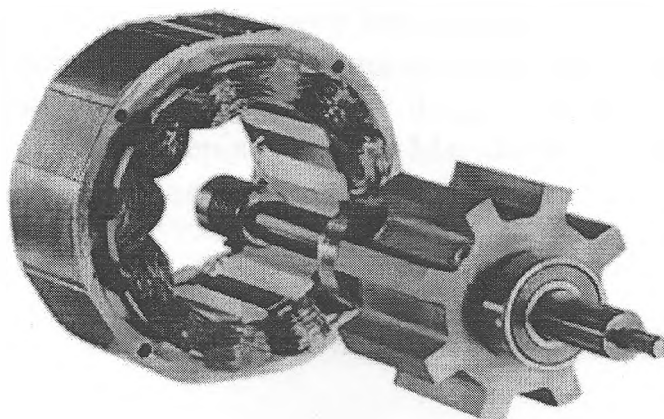
$$\Phi_{\text{параз}} = \frac{F_{\text{об}}}{2R_{\text{параз}}}, \quad (1.1)$$

мұнда $F_{\text{об}}$ - МДС қоздыру орамалары, $R_{\text{параз}}$ - тізбек бөлігінің паразиттік магниттік кедергісі-ротор, мойынтірек, мойынтірек қалқаны. Бір қызығы, мойынтірек арқылы жабылатын ағын $R_{\text{в.з}}$ машинасының жұмыс саңылауының магниттік кедергісіне байланысты емес, және қоздыру орамасының МДС мәні тек магниттік тізбектің магниттік кедергісінің шамасымен анықталады-ротор білігі, мойынтірек, мойынтірек қалқаны, статор корпусы. Осылайша, осы типтегі машиналар қозғалтқыштың мойынтіректері арқылы қоздыру орамасының магнит өрісін жабуға бейім. Сондықтан, осы типтегі вентильді индукциялық қозғалтқыштарда, әдетте, қоздыру ағынын жабудың балама жолын бұзу үшін арнайы шаралар қолданылады: магниттік емес материалдан (тот баспайтын болаттан) қозғалтқыш роторын жасау; магниттік емес материалдан мойынтірек қалқанын жасау; мойынтірек қалқанына магниттік емес кірістірулер жасау. Бұл тағы да дизайнның күрделілігін, сондай-ақ қозғалтқыштың құнын арттырады. Сипатталған кемшіліктерге қарамастан, тәуелсіз қозуы бар вентиль-индуктор қозғалтқышының бірқатар артықшылықтары бар. Статордағы қосымша қоздыру орамасынан пайда болатын радиалды-осьтік ағынның болуы машинаның роторын белсенді етеді (синхронды қозғалтқыштағыдай). Бұл қозғалтқыштың

тиісті конструкциясымен машинаның ЭДС пішінін синусоидаға жақын алуға мүмкіндік береді [6]. Осылайша, моторды қуаттандыру үшін көп полярлы токтар қолданылады, бұл үш фазалы конструкция стандартты элемент базасын (алты кілтті кернеу инверторы) қолдануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, машинаның синусоидалығы оған қозғалтқыш моментінің сапалы қалыптасуымен векторлық басқару принциптерін қолдануға мүмкіндік береді (өзін-өзі қоздыратын вентиль-индуктор қозғалтқыштарынан айырмашылығы). Тиісті конструкциямен қозғалтқыш фазаларының өзара индуктивтілігінің болмауына қол жеткізуге болады [6], бұл машинаны бөлуге (бір конструкциядағы бірнеше қарапайым машиналар) және қозғалтқыштың қуатын қажетті мәндерге дейін арттыруға мүмкіндік береді. Секциялау сонымен қатар жиілік түрлендіргіші мен қозғалтқыш арқылы электр жетегінің жоғары резервтік деңгейін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Осы типтегі машиналарды сенімділік пен резервтеуге және сапалы моментті қалыптастыруға қойылатын жоғары талаптары бар киловатт бірліктерінен 1 МВт-қа дейінгі қуаттылықтарда кең көлемде қолдануға болады.

1.4.3 Өздігінен қозатын вентильді-индукторлы қозғалтқыштар

Шетелдік әдебиеттерде өзін-өзі қоздыратын вентильді-индукторлы қозғалтқыштар (ӨВИҚ – өздік вентильді – индуктивті қозғалтқышы) SRM (switched Reluctance Motor) деп аталады. 1.5 - суретте 12/8 конфигурациясы бар үш фазалы ӨВИҚ конструкциясының мысалы келтірілген (статорда 12 тіс және 8 роторда).

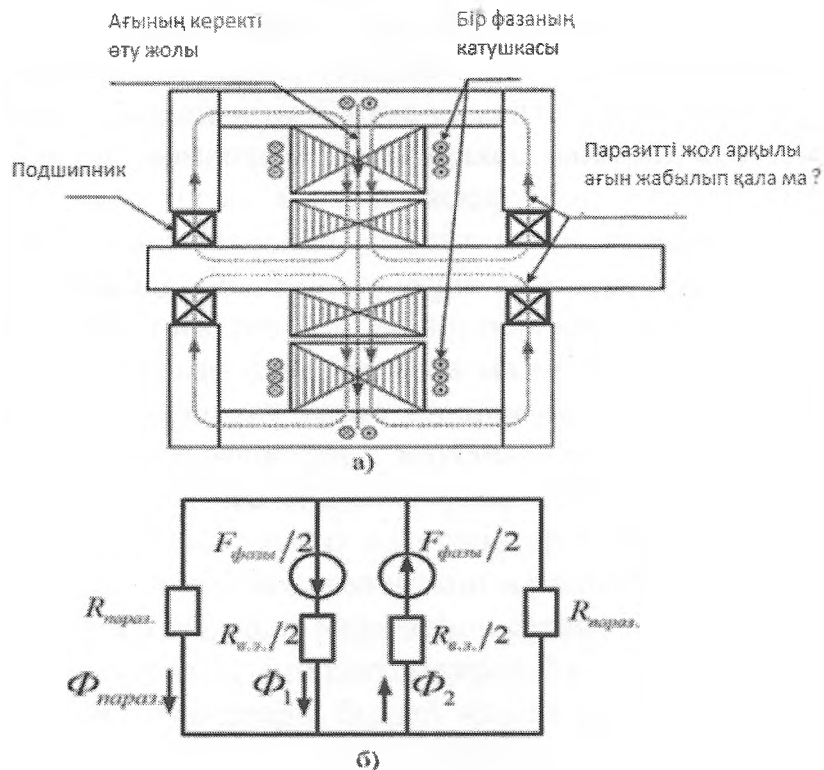


1.5 Сурет - 12/8 конфигурациясы бар 3 фазалы вентиль-индуктор қозғалтқышының конструкциясы

Өздігінен қозатын вентильді-индукторлы қозғалтқыштар, ТВ ВИҚ қарағанда, статорда қосымша қоздыру орамасын қамтымайды. Бұл

қозғалтқыштың конструкциясының өте қарапайым және технологиялық болып саналады – фазалық орамалардың шоғырланған катушкалары бар айқын полюсті статор және пассивті айқын полюсті ротор. Мысқа қосымша шығындардың болмауы (ТВ ВИҚ қоздыру орамасы), қарапайым және технологиялық конструкциясы өзін-өзі қоздыратын вентиль-индуктор қозғалтқышы ТВ-мен салыстырғанда арзанырақ екенін сенімді түрде айтуға мүмкіндік береді. Вентиль-индуктор қозғалтқышының өздігінен қозуы сыртқы магнит өрісіндегі ферромагниттік денелерді бағдарлау принципіне негізделген. Ферромагниттік дененің электромагнитке тарту күші ток белгісіне тәуелді емес болғандықтан, фазалар ӨВИҚ асимметриялық көпір схемасы қолданылатын (негізінен) бір полярлы ток импульстарымен қоректенеді. Мұндай схеманы қолдану инвертордың иығында қысқа тұйықталудың пайда болу мүмкіндігін болдырмауға мүмкіндік береді, және, тиісінше, бос уақытты енгізуді және оның инвертордың шығыс кернеуіне әсерін өтеуді қажет етпейді. Сонымен қатар, бұл схема қозғалтқыштың әр фазасындағы токты басқа фазалардағы токқа тәуелсіз реттеуге мүмкіндік береді. Бұл маңызды қасиет фазалардың өткізгіштік интервалдары қабаттасатын қозғалтқыштар үшін қажет, өйткені бұл мұндай қозғалтқыштың шығу сәтін арттыруға мүмкіндік береді. Асимметриялық көпір схемасын қолданумен бірге қозғалтқыш фазалары арасындағы магниттік байланыстардың мүлдем болмауы қозғалтқыш фазаларын толығымен тәуелсіз етеді, бұл қозғалтқыштың бір немесе бірнеше фазалары істен шыққан кезде қозғалтқыштың жұмысын жалғастыруға мүмкіндік береді. Асинхронды қозғалтқыш та, синусоидальды басқарылатын ТВ ВИҚ 3 фазалық түрі де мұндай сенімділікке ие емес. ӨВ түрінің мотор подшипниктері арқылы магнит өрісінің өтуіне байланысты ТВ ВИҚ кемшілігі жоқ. Мұны көрсету үшін біз қозғалтқыштың магниттік тізбегін алмастыру схемасын жасаймыз 1.6. – суретті қараңыз. Алынған магниттік тізбекті ауыстыру схемасы магниттік тізбектің темір өткізгіштігі шексіздікке тең деген болжаммен жасалғанын атап өткен жөн, қозғалтқышта бір фазаға бірнеше катушкалар бар және барлық статор тістері бірдей геометрияға ие. Біз паразиттік $\Phi_{\text{параз}}$ ағыны үшін өрнек аламыз, қозғалтқыштың мойынтіректерінен өтеді. Магниттік тізбек үшін Кирхгофтың бірінші және екінші заңы өрнекпен анықталады:

$$\begin{cases} \sum \Phi = 0 \\ \sum F_m \sum \Phi \cdot R_m \end{cases} \quad (1.2)$$



1.6 Сурет - ӨВИТ подшипниктері арқылы өтетін ағынның болуын анықтауға:
 а) магнит өткізгіштің схемасы және паразиттік ағынның ықтимал жолдары;
 б) магнит тізбегін ауыстыру схемасы

Содан кейін схема үшін 1.6 - суретке жазуға болады:

$$\begin{cases} \Phi_1 - \Phi_2 + \Phi_{\text{параз}} = 0 \\ \frac{F_{\text{фазы}}}{2} + \frac{F_{\text{фазы}}}{2} = \Phi_1 \cdot \frac{R_{\text{в.з.}}}{2} + \Phi_2 \cdot \frac{R_{\text{в.з.}}}{2} \\ \frac{F_{\text{фазы}}}{2} = \Phi_1 \cdot \frac{R_{\text{в.з.}}}{2} - \Phi_{\text{параз}} \cdot R_{\text{параз}} \end{cases} \quad (1.3)$$

мұндағы $F_{\text{фаза}}$ - МДС фазаның барлық катушкаларының, $R_{\text{в.з.}}$ - фазаның барлық катушкаларының ағымдағы ауа саңылауының магниттік кедергісі (шамасы тұрақты емес, өйткені фаза тізбегінің өткізгіштігі ротор білігінің жағдайына байланысты өзгереді), $R_{\text{параз.}}$ - тізбек бөлігінің паразиттік магниттік кедергісі-ротор, мойынтірек, мойынтірек қалқаны, $\Phi_{\text{параз.}}$ - қозғалтқыштың әр мойынтірегінен өтетін паразиттік ағын. Бұл теңдеулер жүйесін шеше отырып, $\Phi_{\text{параз}} = 0$ екенін табу оңай. Осылайша, фазалық катушкалардың жұп саны бар қозғалтқыштар үшін (көпшілік үшін қолдануға болады) ӨВИК, бірақ барлығы үшін емес) және барлық статор тістерінің бірдей геометриясы, қозғалтқыштың мойынтіректерінен өтетін паразиттік ағын, тіпті осы тізбекті ашатын арнайы шараларды қолданбай-ақ жоқ деп айтуға болады. Көрсетілген шарттардан басқа,

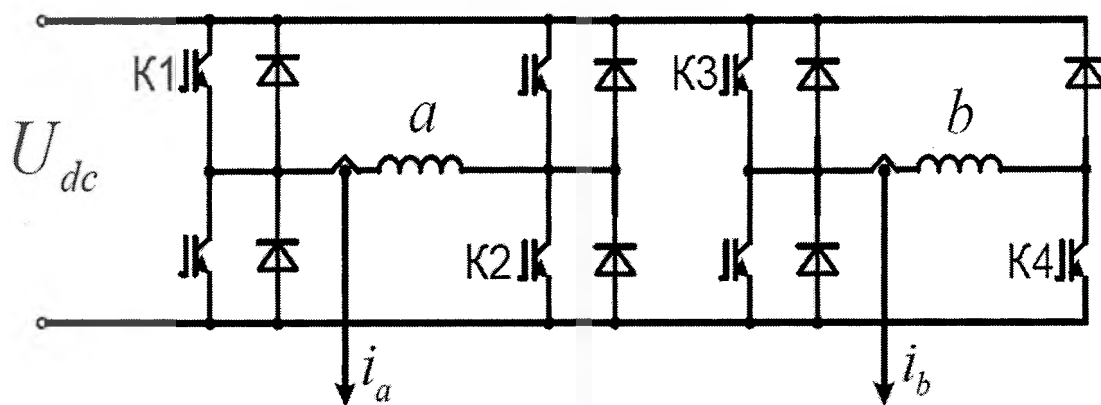
ӨВИҚ артықшылықтары және ТВ ВИҚ салыстырғанда бірқатар кемшіліктерді бар. Біріншіден, ротордың орналасу датчигі бойынша автокоммутациясы бар ӨВИҚ негізделген электр жетегі (клапан машинасының режимі) қозғалтқыш фазаларының санына байланысты білікке моменттің пульсациясына ие – фазалар неғұрлым көп болса, моменттің пульсациясы соғұрлым аз болады. Әрине, қозғалтқыш фазасының тогын арнайы басқарумен, ротор білігінің жағдайына байланысты, қозғалтқыш білігінде момент импульстарының болмауына қол жеткізуге болады. Алайда, бұл басқару жүйесін алдын-ала күрделі калибрлеуді, жақсы ажыратымдылықтағы ротор білігінің орналасу датчигінің болуын, токты басқарудың жоғары динамикасын қамтамасыз ету үшін инвертордың тұрақты ток буынының үлкен кернеуін талап етеді және әдетте түрлендіргіштің де, қозғалтқыштың да мүмкіндіктерін максималды ток бойынша шектеуге байланысты көп фазалы қозғалтқыштар үшін ғана мүмкін болады. Сонымен қатар, басқарудың бұл әдісі электр жетегінің тиімділігін төмендетеді. Екінші жағынан, бұл кемшілік сорғы мен желдеткіш жүктемесінде жұмыс істеу кезінде маңызды емес, мұнда қозғалтқыш моментінің сапасына талаптар қойылмайды – тек қозғалтқыштың жылдамдығын реттеу керек. Екіншіден, өзін-өзі қоздыратын клапан-индуктор қозғалтқыштары бірдей қозғалтқыш қуаты бар көпполярлы электр машиналарына қарағанда қозғалтқыш фазаларының жоғары мәндерін қажет етеді. Үшіншіден, фазаларды басқарудың ең жақсы схемасы ӨВИҚ асимметриялық көпір схемасы болып табылады. Бұл тізбек кернеу қозғалтқышының фазасына (+ U_{dc} , 0, - U_{dc}) қолдануға мүмкіндік береді, бұл қозғалтқыштың шығыс тогын сапалы қалыптастыруға және инвертордың тұрақты ток байланысының барлық кернеуін толық пайдалануға мүмкіндік береді, АД-дан айырмашылығы және ТВ ВИҚ 6-және негізгі кернеу инверторымен, онда үш фазалы жұлдыз болған кезде қозғалтқыш фазасына қолдануға болады амплитудасы $0.577 U_{dc}$ аспайтын кернеу (кернеулер мен токтардың синусоидалдылық жағдайынан) және онда, тек векторлық КИМ кезінде [12]. Жоғарыда сипатталғандай, асимметриялық көпірдің схемасы инвертордың иығында қысқа тұйықталу мүмкіндігін болдырмайды, сондықтан инвертор кілттерінің жұмысына бос уақытты енгізуді қажет етпейді. Алайда, сол схемада кемшілік бар-қозғалтқышты қуаттандыру үшін электр сымдарының көп мөлшері қажет. Сонымен, үш фазалы ӨВ түрі үшін 6 қорғасын сымдары қажет, ТВ ВИҚ 3-тен айырмашылығы. Бұл өз кезегінде электр жетегін біршама қымбаттатады. Сонымен қатар, бүгінгі күні асимметриялық көпір түрінде схеманың қажетті конфигурациясы бар интеллектуалды қуат модульдерінің (IPM) элементтік базасы жоқ, бұл үш немесе одан да көп фазалық машиналар үшін бірнеше стандартты IPM қолдануды (кілттердің жартысы пайдаланылмайды) немесе дискретті компоненттерді қолдануды қажет етеді.

Авторға белгілі жалғыз ерекшелік-бір фазалы [2] FCAS50SN60 модулі (Fairchild Semiconductor). Алайда, бұл модуль 600В [18], яғни ол үш фазалы 380В қуат көзі бар жалпы өнеркәсіптік жиілік түрлендіргіштерінде қолданылмайды, олар үшін үш фазалы көпір түзеткіші бар тұрақты ток тізбегінде 540В кернеуі бар және 1200В оқшаулауы бар қуат кілттерін қолдану қажеттілігі бар. Басқаша

айтқанда, модуль бір фазалы айнымалы токпен жұмыс істейтін қосымшалар үшін жасалған (электр құралы, тұрмыстық техника және т.б.). Бұл мүмкіндік (элемент базасының болмауы) көбінесе электр жетектерін өндірушілерді стандартты арзан элемент базасын қолдану мүмкіндігі бар қозғалтқыштардың конфигурацияларын іздеуге мәжбүр етеді. Осыған байланысты, соңғы уақытта айырмашылық аз машиналарға, атап айтқанда, өзін-өзі қоздыратын екі фазалы вентиль-индуктор қозғалтқыштарына көбірек көңіл бөлінуде.

1.4.4 Өздігінен қозатын екі фазалы вентильді-индукторлы қозғалтқыштар (TPSRM)

Арасында ТВ ВИҚ екі фазалы вентильді индукциялық қозғалтқыштарды бөлек бөлуге болады (шетелдік әдебиеттерде TPSRM деп аталады – екі фазалық коммутациялық қозғалтқыштан). Соңғы жылдары осы типтегі машиналарға бүкіл әлем бойынша мамандар қызығушылық танытуда, бұл осы тақырып бойынша көптеген зерттеулер мен жарияланымдардан көрінеді [20]. Бұл типтегі машиналар әсіресе тартымды, өйткені қозғалтқыштың өте қарапайым конструкциясынан басқа, тек екі фазаның болуы түрлендіргішті арзандатуға мүмкіндік береді, бұл тұтастай алғанда электр жетегінің құнын одан әрі төмендетеді. Машиналардың бұл түрі үшін түрлендіргіштердің әртүрлі топологиялары ұсынылады, бұл қуат кілттерінің санын бір фазаға дейін азайтуға мүмкіндік береді [20], дегенмен, бұл әдетте инвертордың функционалдығының төмендеуіне әкеледі. Ең жақсы схема әлі де асимметриялық көпір схемасы болып табылады. Айта кету керек, екі фазалы ӨВ ВИҚ үшін бұл тізбекті стандартты элемент базасында оңай жүзеге асыруға болады - қосымша кілті бар алты негізгі кернеу инверторы – қараңыз.



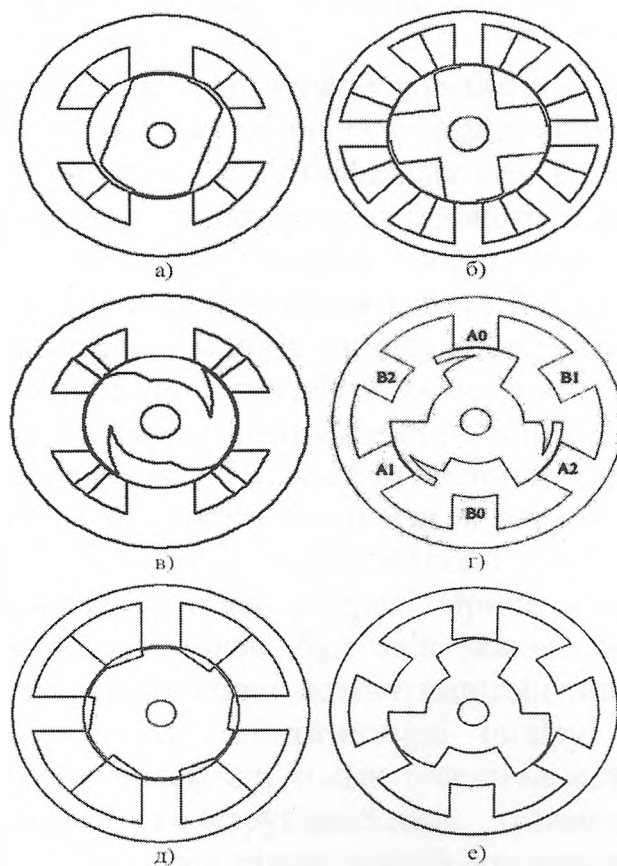
1.7 Сурет - Стандартты 6 - және қосымша кілті бар негізгі кернеу инверторына қосымша фазаларының қосылу схемасы

Екіфазалыққа ВИҚ ӨВ реверсивті емес қозғалтқыштары болып табылады. Іске қосу мүмкіндігі үшін мұндай машиналардың роторында ротор тістерінің

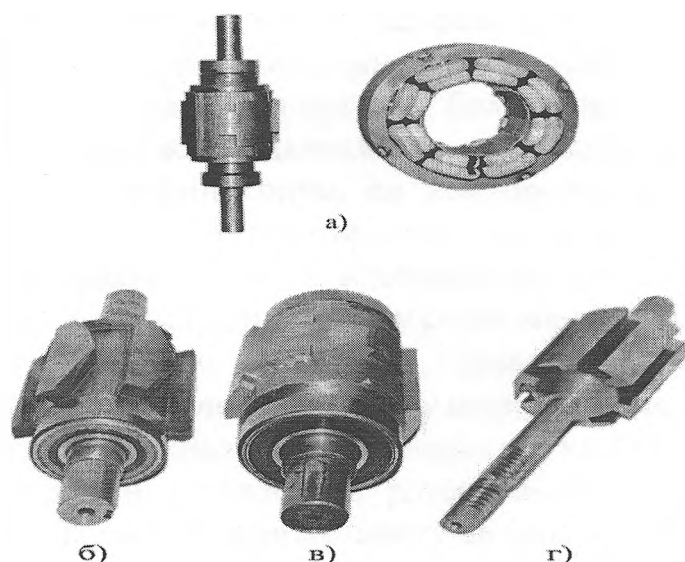
геометриясында асимметрия бар. Бұл ротор білігінің кез-келген бұрыштық позициясы бар қозғалтқыш білігіне оң мезет алуға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде машинаны сенімді іске қосу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. 1.8 - суретте осы типтегі машиналардың бір-бірінен негізгі айырмашылығы, статор мен ротордағы тістердің санын конфигурациялаудан басқа, ротор тістерінің геометриясында жатыр. Сонымен, әртүрлі нұсқалардың ішінде ең көп тарағандары:

- саңылаудың сатылы өзгеруі бар ротор-сурет. 1.8 А) және б);
- тырнақ тәрізді полюстері бар ротор-сурет. 1.8 в) және г);
- тістері бар ротор (саңылаудың тегіс өзгеруі) - сурет. 1.8 д) және е).
- ротордың Тегіс немесе сатылы өзгертін пішіні бар ротор 1.9 -сурет. а), б) және в).

Ротор тістерінің барлық күрделі конфигурациялары машинаны іске қосу мүмкіндігі үшін магниттік асимметрияны құруға бағытталған.



1.8 Сурет - ВИҚ ӨВ екі фазалы конструкциялардың әртүрлі нұсқалары : А), б) жұмыс саңылауының сатылы өзгеруі бар ротор; в), г) тырнақ тәрізді полюстері бар ротор; д), е) ротордың тістері бар ротор



1.9 Сурет - Ресей өндірісінің екі фазалы конструкцияларының суреттері ("ВЭМЗ - Владимирский электромотор зауыты" ААҚ): а), в) "шеvron" роторы; б) шығыңқы ротор; г) тырнақ тәрізді полюстері бар ротор

ВИҚ ӨВ – нің екі фазалы түрін зерттеу жұмыстары тек шетелде ғана емес, Ресейде де 1.9 - сурет бойынша жүргізілуде, отандық өндірістің ("ВЭМЗ" ААҚ) – Владимир электр мотор зауыты) 29 бифазалы түрі роторларының суреттері ұсынылған. Суретте бейнеленген роторлардың конструкцияларының арасында. 1.9, а), б) және в) конструкцияларын бөліп көрсету керек. Мұндай конструкциялар тегіс (1.9 б сурет.) немесе сатылы (1.9, б- сурет және в) ротордың магнит өткізгіші парақтарының пішінін өзгерту. Автордың пікірінше, іске қосу моментін құру үшін ротордың магниттік асимметриясын құрудың бұл тәсілі қисынсыз. Бұл, біріншіден, мұндай роторды өндіру үшін бірнеше түрлі штамптар қажет-мысалы, сурет салу үшін. 1.9 а) және в) магниттік тізбекті шығару үшін 3 түрлі штамп қажет. Ал 1.9 б) суретте бейнеленген ротордың магниттік тізбегін жасау. штамптау әдісі мүлдем мүмкін емес, өйткені ротордың магниттік тізбегі тақталарының геометриясы біртіндеп өзгереді. Әрине, пластиналарды лазерлік кесу арқылы жасауға болады, бірақ бұл әдіс эквивалентті жұмыстық тесік аралығын арттырады және сәйкесінше қозғалтқыштың тиімділігін төмендетеді, сондықтан бұл әдіс негізінен прототиптерді өндіру үшін қолданылады. Магниттік тізбектің геометриясы әлі толық болмаған кезде анықталған және тексерілмеген қозғалтқыш конструкциясының штампты өндіруге үлкен шығындар жасау мүмкін емес. Екіншіден, мұндай роторды құрастыру қиынырақ, өйткені ол құрастыру тізбегін бақылауды қажет етеді. Үшіншіден, ротордың магниттік тізбегінің осьтік өзгертін геометриясы қозғалтқыш жұмыс істеп тұрған кезде статор магниттік тізбегінің тақталары арқылы да, ротор арқылы да магнит ағынының біркелкі бөлінбеуіне әкеледі. Мысалы, конструкциясы үшін 1.9 в) суретте (айта кету керек, бұл нұсқада ротор сағат тілімен айналады), қозғалтқыштың қалыпты жұмыс режимінде алдымен ротордың магниттік

тізбегінің орталық бөлігінің шығуы белсенді фазаға түседі (суретті қараңыз). Бұл жағдайда фаза нәтижесінде пайда болатын магнит ағынының негізгі бөлігі ротор мен статордың магниттік тізбегінің орталық бөлігі арқылы дәл жабылады. Әрі қарай, келесі 30 проекцияға жақындаған кезде, ағынның жабылу аймағы кеңейіп, ротордың магниттік тізбегінің соңғы, ең кең проекциясының еніне жетеді. Осылайша, мұндай машинадағы ротор мен статордың магниттік тізбегінің орталық бөлігі периферияға қарағанда әлдеқайда магниттеледі және сәйкесінше шығындар мен жылу жоғарылайды. Яғни, мұндай машинада магниттік тізбектің осьтік бағытта біркелкі емес қызуы бар, сонымен қатар ең үлкен жылу машинаның ортасына түседі, онда жылу беру шарттары нашарлайды. Автор бұл әсерді сандық бағалаумен айналыспады, сондықтан қызып кету шамалы болуы мүмкін. Алайда, берілген дәлелдерден ротордың бүкіл ұзындығы бойымен бірдей ротор парағы бар машиналарды жасау арзанырақ және дұрыс болатыны белгілі болады, мысалы, суретте көрсетілгендей. 1.8 және сурет. 1.9, г).

1.5 Қозғалтқыштың негізгі конструкциясын таңдау

Өздігінен қозатын вентильді-индукторлы қозғалтқыштар ең арзан, құрылымы қарапайым және технологиялық болып табылады. Олар осы көрсеткіштер бойынша қозғалтқыштардың барлық белгілі түрлерінде, соның ішінде асинхронды түрлерде ұтысқа жетеді (бұл тұжырым датчик түйіні болмаған кезде және датчиксыз басқару кезінде ғана танылады). ӨВ ВИҚ негізгі кемшіліктеріне қозғалтқыш білігіндегі моменттің пульсациясы жатады (электромагниттік моменттің қалыптасуының жоғары сапасын көбінесе қозғалтқыш фазасының коммутация кезеңіндегі ток пішінінің арнайы профилі бар көп фазалы машиналарда ғана қамтамасыз етуге болады); инвертордың қажетті топологиясын құру үшін стандартты элементтер базасының болмауы әзірлеушілерді бірнеше стандартты қуат модульдерінің жиынтығын қолдануға мәжбүр етеді, бұл көбінесе түрлендіргіштің құнына теріс әсер етеді; классикалық синусоидалы 3 фазалы машиналарға қарағанда қозғалтқышты қуаттандыру үшін көп сымдар қажет (соңғы фактор қозғалтқышты, ротордың орналасу датчигін және жиілік түрлендіргішін біріктіруге деген ұмтылысты анықтайды). бірыңғай мехатрондық торап). ВИҚ ӨВ ортасында ерекше назар аударатын аз фазалық машиналар— өздік қозуы бар екіфазалы вентильді-индукторлы қозғалтқыштар болып саналады. Қозғалтқыш фазаларының аз саны стандартты элемент базасын қолдану арқылы түрлендіргіштің құнын төмендетуге және қорғасын сымдарының санын азайтуға мүмкіндік береді.

2 Электромобильдің тартымдылық есебі

Көлік құралын жобалау кезінде, оны қозғалысқа келтіретін жетек түріне карамастан, әрқашан белгілі бір техникалық және пайдалану көрсеткіштері беріледі. Күш агрегаттарының міндеті олардың орындалуын қамтамасыз ету болып табылады. Күш агрегаттарын таңдауға әсер ететін негізгі пайдалану көрсеткіштері мыналар болып табылады: көлік құралының толық салмағы G ; көлік құралының геометриялық параметрлері; жетекші доңғалақтардың саны n ; қозғалудың номиналды жылдамдығы $V_{ном}$; НОМ номиналды көтеру; $\Gamma_{ном}$ - ның номиналды тарту күші; максималды қозғалыс жылдамдығы; IPR максималды көтеру; f_{max} максималды тарту күші; P [13] энергетикалық қондырғысының қуаты.

Осы пайдалану көрсеткіштері тарту жүйесінің күштік агрегаттарының рұқсат етілген қызуы кезінде, энергия шығыны мен энергия тиімділігімен берілген кезде қамтамасыз етілуі тиіс екенін ескеру қажет.

Пайдалану параметрлеріне сүйене отырып, жетектің энергетикалық және қуат сипаттамаларын анықтауға болады. Айтылып жатқандай, бұл мобильдік күші, кез-келген автономды көлік құралы белгілі бір қуат шектеулеріне ие. Сонымен, ішкі жану қозғалтқышының, генератордың, көлік құралының аккумуляторының максималды қуаты әрқашан белгілі бір мәнге ие. Осы себепті көлік құралының шекті тарту сипаттамасы қуаттың тұрақтылығына сәйкес келуі керек [14]. Көлік құралының іске асырылатын қуаты жылдамдыққа тарту күшінің көбейтіндісіне тең, сәйкесінше, көлік құралының тарту сипаттамасы гиперболаның тепе-теңдік Заңына сәйкес келеді [15].

Вентиль-индуктор қозғалтқышының маңызды артықшылығы-оның тарту механикалық сипаттамасы, тұрақты қуат сипаттамасы бар [16]. Әрине, қозғалтқыштардың басқа түрлері, мысалы, қысқаша тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыш, тұрақты магниттердегі синхронды қозғалтқыш берілген сипаттаманы орындай алады. Бірақ оларды қолданған кезде асинхронды қозғалтқыш қолданылатын Tesla автомобильдеріндегідей жоғары қуатты электр машинасын пайдалану қажет болады. Бұл, әрине, электр жетегінің массалық көрсеткіштерінің нашарлауына әкеледі [17].

Жоғарыда айтылғандарға байланысты негізгі міндеттердің бірі көлік құралының ВИҚ және шекті тарту сипаттамаларын анықтау болып табылады. Қуатты анықтау үшін ВИҚ тарту балансының теңдеуін қарастырады [18].

Көлік құралының тарту балансын өрнекпен көрсетуге болады:

$$F_k = F_{\Sigma} = F_f + F_a + F_w + F_j . \quad (2.1)$$

мұнда F_f - жылжымалы қарсылық күші, F_a - көлбеу қарсылық күші, F_w - ауа кедергісінің күші, F_j – инерция күші.

$$F_f = f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha. \quad (2.2)$$

мұнда ТҚ массасы, $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ – еркін құлаудың удеуі, f - жылжымалы карсылық коэффициенті, α - жол төсемінің көлбеу бұрышы.

$$F_f = \pm m \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (2.3)$$

$$F_w = 0.5 \cdot C_x \rho \cdot S \cdot v^2. \quad (2.4)$$

мұнда C_x – аэродинамикалық кедергі коэффициенті, $\rho = 1.2 \text{ км}^3/\text{м}^3$ - ауаның тығыздығы, S – мидель ауданы.

$$F_f = m \cdot \frac{\partial v}{\partial t}. \quad (2.5)$$

мұнда $\frac{\partial v}{\partial t}$ – ТҚ үдеуі.

Егер қабылдасак,

$$\psi = f(\cos \alpha + \sin \alpha), \quad (2.8)$$

$$K_w = \frac{0.5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot S}{m \cdot g}, \quad (2.9)$$

$$K_j = \frac{1}{g} \quad (2.10), \quad (2.10)$$

$$G = m \cdot g. \quad (2.11)$$

тартылау балансының теңдудінің түрі:

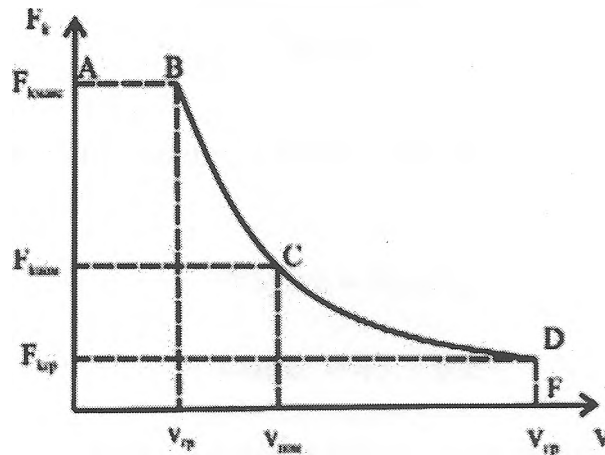
$$F_K = F_\Sigma = G \cdot (\psi + K_w \cdot v^2 + K_j \frac{\partial v}{\partial t}). \quad (2.12)$$

Демек, қуат балансының теңдеуі мына түрде ұсынуға болады

$$P_K = F_K \cdot v = G \cdot (\psi + K_w \cdot v^2 + K_j \frac{\partial v}{\partial t}) \cdot v. \quad (2.13)$$

Мұнда P_K алдыңғы дөңгелектерге келтірілетін тартылыс қуатының қосындысы. (2.2) өрнектің негізінде шекті тарту сипаттамасын құруға болады. Ол үшін негізгі нүктелерді анықтау қажет. Олар үш сипаттамалық бөлікпен берілген (2.1-сурет). АВ сегменті максималды тарту күшін сипаттайды. В нүктесі максималды тарту күшінің шекаралық жылдамдығын анықтайды. D нүктесі максималды жылдамдықта ең үлкен тарту күшін анықтайды. BD учаскесі

автономды қондырғының таңдалған қуатымен анықталады. С нүктесі көтерудің номиналды бұрышы мен номиналды жылдамдықтың максималды тарту күшімен анықталады. С нүктесі жүйенің энергия тиімділігін анықтайды. Бұл кезде жетек жүйесі максималды ПӘК тиімділікті жүзеге асыруы керек. Сондықтан номиналды жылдамдық берілген эксплуатациялық жағдайларда жылдамдыққа ие болады керек.[19].



2.1 Сурет – Көлік құралының шекті тарту сипаттамалары

Электр машинасының қуаты, массасы, ұзындығы мен ені техникалық тапсырмамен анықталады. Біз сыныптағы типтік автомобильге сәйкес келетін қосымша параметрлерді орнатамыз және оларды 2.1-кестеге келтіреміз.

Кесте 2.1 – Электромобильдің көрсеткіштері

Автомобильдің максималды жылдамдығы, [м / с]	50
Автомобильдің максималды жылдамдығы, [км / сағ]	180
Автомобильдің ең аз салмағы, [кг]	1100
Автомобильдің толық салмағы, [кг]	1600
Автомобиль ұзындығы, [м]	4,4
Автомобиль ені, [м]	1,65
Аэродинамикалық кедергі коэффициенті	0,3
Жылжымалы кедергі коэффициенті	0,01
Мидель ауданы, [м ²]	2
Номиналды көтеру бұрышы, [град]	15
Қуаты, [кВт]	60
Меншікті қуаты, [кВт / т]	54,5
Негізі ретінде есеп қабылданды [19].	

Негізі ретінде [19] есеп алынды. Қуаттың максималдылығы анықталады:

$$P_{\max} = \frac{G \cdot (f + K_w \cdot V_{\max}^2) \cdot V_{\max}}{n_{\Sigma}} \quad (2.14)$$

мұнда f және K_w - қозғалыстың кедергісінің коэффициенті, n_{Σ} – жүйенің ПӘК суммасы, $n_{\Sigma} = 0.84$.

ТҚ тартылыс сипаттамасының сәйкестігі анықталады:

$$P(v) = \frac{P_{\max} \cdot n_{\Sigma}}{v} \quad (2.15)$$

(2.15) өрнегінен минималды салмақ кезінде электромобильдің максималды жылдамдығы анықтаймыз:

$$V_{\max} = 50 \text{ м/с},$$

$$V_{\max} = 43.7 \text{ м/с}.$$

Қарастырылып отырған электромобиль үшін тарту сипаттамасының негізгі нүктелерін анықтаймыз. (22)–(25) теңдеулерін қолдана отырып, сіз электромобильдің номиналды жылдамдығын таба аласыз. Бастау үшін біз жол жамылғысын көтерместен қозғалыс параметрлерін анықтаймыз. Содан кейін (26) теңдеуді шешіп, номиналды қозғалыс жылдамдығын табыңыз.

$$\frac{P_{\max} \cdot n_{\Sigma}}{v_{\text{ном}}} = \frac{G \cdot (f + K_w \cdot V_{\max}^2) \cdot V_{\text{ном}}}{n_{\Sigma}} \quad (2.16)$$

Минималды масса үшін номиналды жылдамдықтың есебі

$$V_{\text{ном}} = 15 \text{ м/с},$$

$$V_{\text{ном}} = 13 \text{ м/с}.$$

Әрі қарай, номиналды көтеру бұрышы үшін номиналды жылдамдықты есептеңіз. Содан кейін номиналды көтеру бұрышы үшін орташа есептеу жылдамдығын теңдіктен табамыз (27).

$$\frac{P_{\max} \cdot n_{\Sigma}}{v_{\text{ном}}} = \frac{G \cdot (f \cdot (\cos\alpha + \sin\alpha) + K_w \cdot V_{\max}^2) \cdot V_{\text{ном}}}{n_{\Sigma}} \quad (2.17)$$

Минималды масса үшін номиналды жылдамдықтың есебі

$$V_{\text{ном}} = 15 \text{ м/с}.$$

Толық масса үшін номиналды жылдамдықтың есебі

$$V_{\text{ном}} = 13 \text{ м/с.}$$

Әрі қарай, біз тек толық массаны қарастырамыз, өйткені бұл қозғалыс шындығына сәйкес келеді. С нүктесі үшін екінші координатаны есептейміз (1.12-сурет), шекті тарту күші, (22) сәйкес номиналды жылдамдық үшін:

$$F_{\text{кном}} = 5902 \text{ Н}$$

Максималды жылдамдық берілгендіктен (2.1-кесте), максималды жылдамдықта және, тиісінше, жолдың көлбеу болмаған кезде максималды тарту күші:

$$F_{\text{кгр}} = 1466 \text{ Н}$$

А нүктесі максималды күшпен анықталады, күш қоздырғыштың (доңғалақтың) жерге жабысуымен анықталады. Максималды күшті формула бойынша анықтаймыз (28)

$$F_{\text{кmax}} = f \cdot m \cdot g = 0.8 \cdot 1600 \cdot 9.81 = 12556 \text{ Н}$$

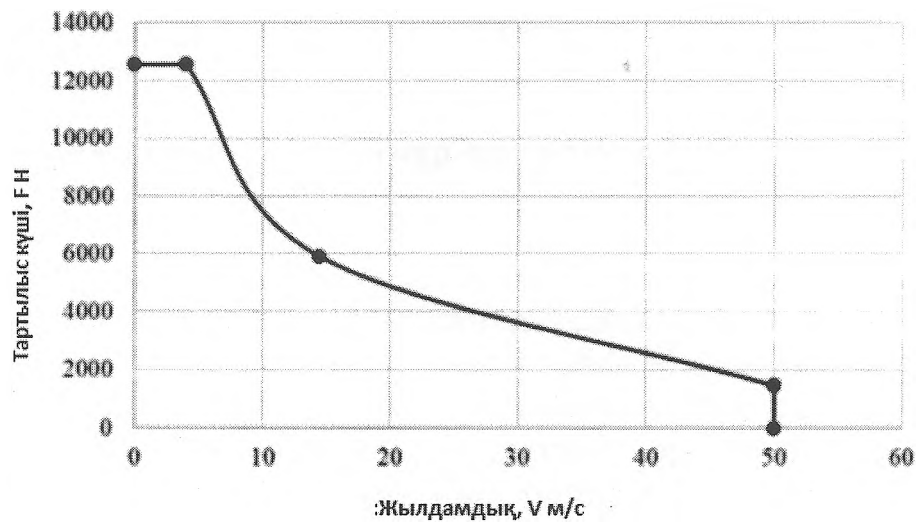
мұнда f – жолдағы қозғалыстың жабысу коэффициенті. Егер $f = 0.8$ деп аламыз егер асфальт құрғақ болып дөңгелекке жабысқан жағдайда.

Электромобильдің максималды қуаттың біле тұрып В нүктесінің жылдамдық координатасын анықтаймыз.

$$V_{\text{гр}} = \frac{P_{\text{макс}}}{F_{\text{кmax}}} = \frac{60000 \cdot 0.84}{12556} = 4 \text{ м/с.}$$

мұндағы f – қозғағыштың жолға ілінісу коэффициенті. Доңғалақтың құрғақ асфальтпен адгезиясы үшін f 0,8 мәнін аламыз. Электромобильдің максималды қуатын біле отырып, В нүктесінің (25) жылдамдық координатын анықтаймыз.

Осылайша, 2.2-суретте көрсетілген электромобильдің шекті тарту сипаттамасы алынды



2.2 Сурет – Есептелген шекті тарту сипаттамасы

Шекті тарту сипаттамасын есептеу 2.1-кестеде көрсетілген параметрлері бар электромобиль үшін жүзеге асырылды. Тартымдық сипаттама 4-ші сипаттамалық нүкте бойынша салынды (2.1-сурет).

Біз негізгі нүктелерді белгілейміз: электр машинасы $F = 1466$ Н максималды тарту күшін дамытады, берілген максималды жылдамдық $V = 50$ м/с немесе $V = 180$ км/сағ. екінші сипаттамалық нүкте-тарту күші бар нүкте $F = 5902$ Н., ол номиналды көтеру бұрышы 15 градус және номиналды тарту күші бойынша максималды тарту күшімен анықталады жылдамдығы $V = 12.6$ м/с ($V = 45$ км/сағ). Теориялық, мүмкін болатын ең үлкен тарту күші электромобильдің максималды массасы $m = 1600$ кг болған кезде электромобильдің доңғалақтарына берілуі мүмкін, $F_{kmax} = 12556$ Н. максималды тарту күшінің шекаралық жылдамдығы $V_{гр} = 4$ м/с немесе 14.4 гр v км/сағ.

3 Өздігінен қозатын вентильді-индукторлы электр қозғалтқышының сипаттамасы

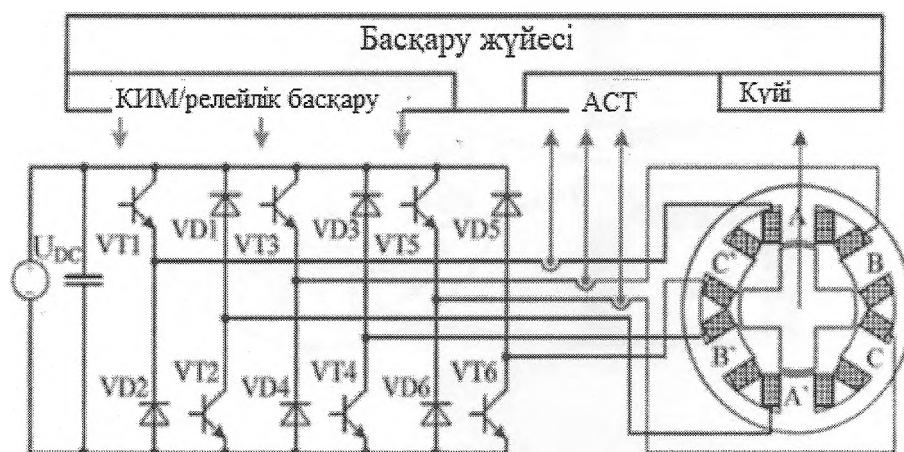
3.1 Вентильді-индукторлы электр қозғалтқышы және оны тартқышта қолдану

Винтельді-индукторлы электр қозғалтқыштары (түрі) академиялық ортада 30 жылдан астам уақыт бойы осы қозғалтқыштың орамаларын ауыстыруға қабілетті жартылай өткізгіш элемент базасы пайда болғаннан бері өте танымал. Алайда, бұл қозғалтқыш өнеркәсіпте немесе көлікте кең таралмады. Бұл электр жетегінің типтік конфигурациясы суретте көрсетілген. 1.24. Электр қозғалтқышында статорда 6 полюс және роторда 4 полюс бар, катушкалар шоғырланған, орамалардың қуаты күш түрлендіргішінен қамтамасыз етіледі, мұнда әр фаза қиғаш көпірге қосылады.

Оған тән мынадай негізгі артықшылықтары:

- Өте қарапайым дизайн және салыстырмалы түрде қарапайым есептеу әдістері. Қозғалтқышта статорға шоғырланған катушкалар бар, оларды қозғалтқышқа орнатпас бұрын бөлек орауға болады, бұл өндіріс процесін жеңілдетеді. Машинаның роторы айқын полюсті, құрамында темірден басқа ештеңе жоқ, бұл құрылымды берік және сенімді етеді.

- Бұл электр қозғалтқышы жылдамдықтың барлық диапазонында жұмыс істейтін автоматты емес басқарудың біріктірілген жүйесін жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Төмен жылдамдықта басқару жүйесі ротордың бұрыштық күйін анықтау үшін сигналды ажыратылған орамаға енгізеді (сонымен қатар енгізілген орамаға инжекциялау жүйелері де бар). Жоғары жылдамдықта басқару жүйесі ЭМӨ-ге қарсы бағалау принципі бойынша жұмысқа ауысады.



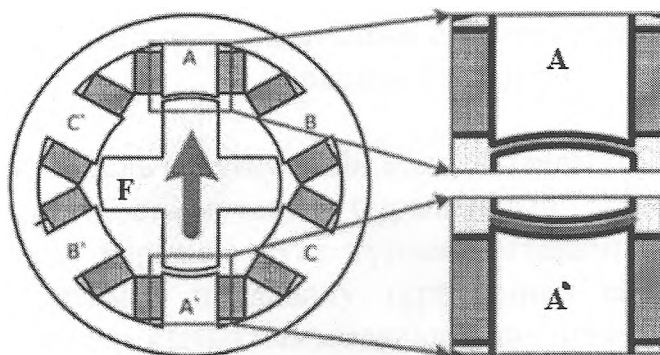
3.1 Сурет- 6/4 түрі және инвертордың типтік топологиясы

Бұл артықшылықтар, олар бірегей болғанымен, машинаның жойылмайтын кемшіліктерімен бірге жүреді:

- Қуат түрлендіргіші ВИҚ құрамында АҚ немесе ТМСҚ сияқты жартылай өткізгіш элементтер бар, бірақ тіректер саны екі есе көп, ал тіректердің өзі асимметриялы және төменгі немесе жоғарғы кілт және жоғарғы немесе төменгі диод бар. Жоғарғы және төменгі ұсақтағыш сияқты асимметриялық тіректердің аз шығарылуына байланысты олардың бағасы салыстырмалы және кейде толық тіректің құнынан асып түседі. Яғни, бірдей ток үшін қуат түрлендіргіші үшін АҚ ВИҚ-қа қарағанда екі есе қымбат. Айта кету керек, фазаға қолданылатын кернеу де үлкен және вентиль-индуктор жетегін (ВИТ) көпірлі инверторлардан қоректенетін тәуелсіз фазалық орамалары бар АҚ базасындағы ұқсас жетекпен салыстыру керек. Бұл салыстыру төменде жасалынады. Сонымен қатар, транзисторлардың саны азайтылған қуат түрлендіргіштерінің көптеген тізбектері бар, бірақ бұл тізбектерде фазалық өткізгіштік интервалына шектеулер қойылады, бұл тартқыш жетекке жарамайды.

- Моменттің күшті пульсациясы ВИТ және, тиісінше, шуылға тән. Көптеген техникалық шешімдер бар, және пульсация мен шуды қалай азайтуға болады, бірақ ұсынылған барлық әдістер шығыс моментін ВИҚ дамуы мүмкін максимумға қарағанда төмендетеді. Ал өрістің әлсіреу аймағында электр қозғалтқышының жұмыс істеу ерекшеліктеріне байланысты білікке тұрақты моментті қамтамасыз ету мүмкін емес.

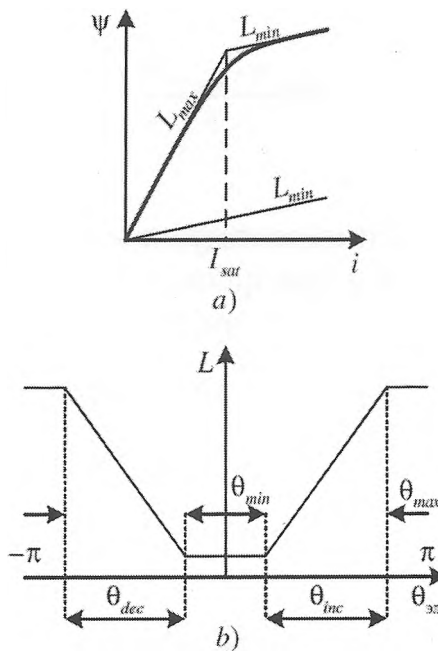
- Үлкен радиалды күштер ротордың статорға қатысты радиалды бағытта жылжуы кезінде пайда болады, 3.2 суретте көрсетілгендей. Бұл кемшілік жасырын болуы мүмкін. Әлбетте, көп нәрсе машинаның дәлдігіне, оның полюстігіне және магниттік геометриясына байланысты. Бұл мәселе бойынша автордың тәжірибесі көңіл көншітпейді. "Алроса" ААҚ-да жеткізілген 1,2 МВт шар диірменінің жетегі 9 ай жұмыс істегеннен кейін мойынтіректердің істен шығуы болып табылады.



3.2 Сурет - Ротор мен статордың сәйкес келмеуі радиалды күштерді тудырады

3.2 ВИҚ математикалық сипаттама түрі

Әр түрлі дәрежедегі жуықтау мен дәлдіктің көптеген модельдері бар. Ең танымал сызықтық модель, онда максималды, минималды индуктивтілік аймағы бар. Максималды және минималды индуктивтілік арасындағы ауысу сызықтық заңға сәйкес жүзеге асырылады, ал қанықтыру белгілі бір ток мәнімен ескеріледі, содан кейін фазаның дифференциалды индуктивтілігі минималды индуктивтілікке тең болады. Фазалық ағынның ток пен индуктивтіліктің бұрышқа тәуелділігі 3.3а - суретте көрсетілген. Сондай-ақ, көптеген модельдер фазаларды магниттік тәуелсіз қабылдайтынын атап өткен жөн.



3.3 Сурет - Магниттелу қисығының сызылуы және индуктивтіліктің бұрышқа тәуелділігі

Бұл сызықтық модель зерттеу үшін қолданылады, өйткені ол максималды сипаттаманы алу үшін коммутация бұрыштарын аналитикалық есептеуге мүмкіндік береді. Бұл көріністі қуат түрлендіргішінің мүмкіндіктерін басқа электр қозғалтқыштарымен пайдалану тұрғысынан салыстыруға мүмкіндік береді. Алайда, зерттеулер сызықтық модельдің дәлдігі сипаттамаларды бағалау және бақылау заңдарын талдау үшін жеткілікті ВИҚ екенін көрсетеді.

ВИҚ статор мен ротор тістерінің сәйкес келмейтін күйінде минималды индуктивтілік аймағы бар. Бұл аймақта индуктивтілік L_{min} тұрақтысына тең және θ_{Lmin} бұрышына таралған, 3.3б-суретте көрсетілгендей нөлдік бұрышқа қатысты. Фазаның максималды индуктивтілігі статор мен ротор тістерінің келісілген жағдайына сәйкес келеді. Фазалық ток I_{sat} қанықтыру нүктесіне жеткенде, индуктивтілік 3.3, а. - суретте көрсетілгендей L_{min} минималды индуктивтілік

деңгейіне дейін бірден төмендейді. Индуктивтіліктің қатынасы коэффициентпен беріледі:

$$k_L = \frac{L_{max}}{L_{min}}. \quad (3.1)$$

Максималды және минималды индуктивтіліктің экстремалды нүктелері сызықтық бөліктермен байланысады, тартылыс симметриясының геометриясы үшін әрқайсысының ұзақтығы (сәйкесінше индуктивтіліктің жоғарылауы және төмендеуі):

$$\theta_{inc} = \theta_{dec} = \frac{2\pi - \theta_{Lmax} - \theta_{Lmin}}{2}. \quad (3.2)$$

Максималды және минималды индуктивтіліктің шеткі нүктелері сызықты аймақтармен қосылған, симметриялық әрбір тартыш ВИҚ (сәйкесінше, өспелі және кемімелі индуктивтілік) геометриясының ұзақтылығы құрайды:

Фазаның электрлік тепе-теңдік теңдеуі:

$$u = iR + \frac{d\psi}{dt}. \quad (3.3)$$

Электр қозғалтқышы әр фаза үшін асимметриялық көпірлерден тұратын инвертормен қоректенеді. Ток сенсорлары әр фазада токты бақылау және номиналды деңгейде фазадағы токты релелік реттеуді ұйымдастыру үшін орнатылады.

Үш фазалы айнымалы токпен жұмыс істейтін жалпы өнеркәсіптік жетектерден айырмашылығы, ВИҚ көріністің нақты номиналды нүктесі жоқ. Оның номиналды моменті басқару әдісіне байланысты, сондықтан оның шекті сипаттамаларының жиынтығын қарастырмас бұрын номиналды ВИҚ жұмыс нүктесін анықтау қажет.

Ең алдымен, кез-келген тартқыш жетегі сияқты, сипаттаманың номиналды нүктесі ВИТ тежелген күйде қамтамасыз ете алатын ұзақ амплитудалық токпен анықталуы керек. Әрине, ол айналу бастаған кезде токты біршама арттыруға болады, өйткені ток фазалар арасында ауысады және сол сәтте орта есеппен біршама азаяды.

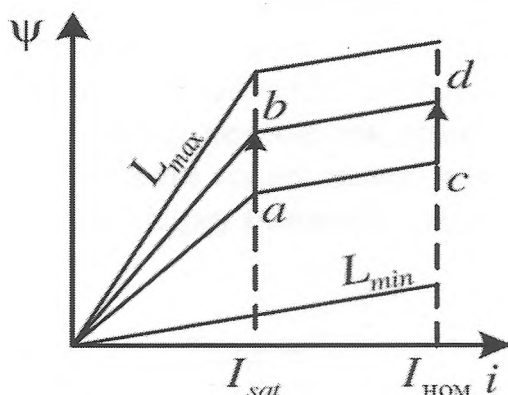
- 3.4 - суретте ағындық жабысудың артуының екі траекториясын көрсетеді - қанығу тогында және номиналды ток кезінде, ол әрдайым ВИҚ қанықтыру тогынан жоғары болады. a-b және c-d қиындылары бірдей, яғни қаныққан магниттік тізбектегі ағын жабысуының өзгеруі фазалық токтың қанықтыру

тогынан үлкен кез-келген мәні үшін бірдей жылдам жүреді. Сондықтан ағындық жабысу үшін:

$$\psi_{sat} = LI_{sat}. \quad (3.4)$$

индуктивтілік келесі түрде жазылады:

$$L = L_{min} + L_{min}(k_L - 1) \frac{\theta}{\theta_{inc}}. \quad (3.5)$$



3.4 Сурет - Әр түрлі токтарға арналған ағындарды жабысудың өзгеру траекториясы. Егер қазір (3.5) өрнегі (3.4) қойсақ және дифференциалдасақ, онда d нәтижесі

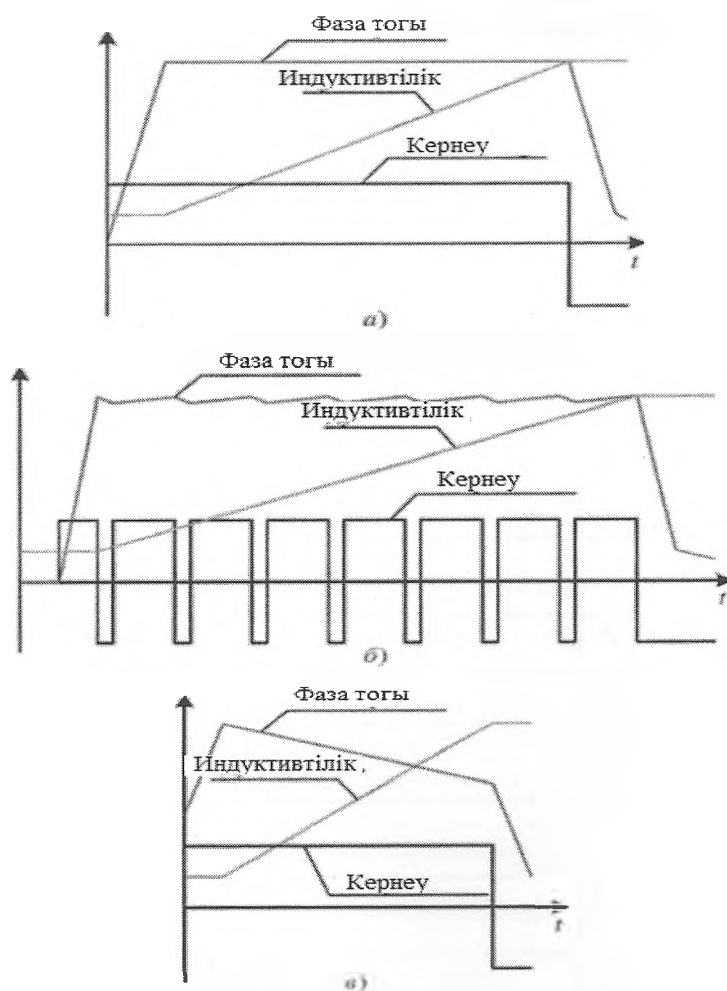
$$\frac{d\psi_{sat}}{dt} = L_{min}(k_L - 1) \frac{I_{sat}}{\theta_{Linc}} \omega_{эл}. \quad (3.6)$$

(3.3) орынына қойып және берілген қалдықтарға кез келген параметрлерді өрнектесек. Мысалы, егер электр қозғалтқышының барлық параметрлері белгілі болса, номиналды жылдамдықты есептеуге болады:

$$\omega_{НОМ} = \frac{\theta_{inc}(U_{DC} - I_{НОМ}R)}{L_{min}(k_L - 1)I_{sat}}. \quad (3.7)$$

Бұл өрнекті номиналды жұмыс режимін бағалау үшін алдын-ала жобалау кезеңіндегі ВИҚ параметрлерін алдын-ала есептеу кезінде қолдануға болады. Ол келесі ережеден алынған. Егер фазалық ток индуктивтілік жоғарылай бастаған сәтте номиналды болса, онда фазаның белсенді кедергісіндегі құлдырауды алып тастағанда қолданылатын кернеу (1.81) өрнектің ағымдық жабысу туындысына тең болуы керек. Бұл жағдайда фазалық ток өзгеріссіз қалады және өсіп келе

жатқан индуктивтіліктің бүкіл аймағында номиналға тең болады. Тұрақты ток байланысының кернеуі ӨВТ фазаға қолданылатындықтан және ток номиналға тең болғандықтан, бұл максималды қуат режимі болады (3.5 а - суретті қараңыз.). Егер қандай да бір себептермен жылдамдық (3.7) анықталған номиналдан төмен болса, онда ӨВТ кернеуін қолданған кезде фазаның ағымының оның индуктивтілігіне қатынасының туындысы нөлден үлкен болады және 3.5 б- суретте көрсетілгендей токтың өсуі байқалады. Номиналды деңгейде токты шектеу үшін фазалық токтың релелік реттегіші іске қосылады, бұл фазаның тиімді кернеуінің төмендеуіне әкеледі, сондықтан фазаға (және білікке берілетін) қуат береді. Бұл режим номиналдан төмен реттеуге сәйкес келеді. Номиналды жылдамдық пен фазалық индуктивтілікке қарағанда жоғары жылдамдықтар үшін нөлден аз болады, ал фазадағы ток 3.5, в - суретте көрсетілгендей төмендейді. Бұл жағдайда қозғалтқышқа номиналды қуатты беру мүмкін емес, өйткені толық кернеу кезінде ток номиналдан төмен болады. Бұл режим номиналдан жоғары реттеуге сәйкес келеді немесе егер мұндай ұқсастық жасалуы мүмкін болса, өрістің әлсіреу режиміне сәйкес келеді [18].



3.5 Сурет - ВИТ жұмыс режимдері: а-номиналды жылдамдық, б-реттеу төмен, в - реттеу жоғары

3.3 ВИТ көрсеткіштерін есептеу

Жалпы жағдайда жылдамдықтың, токтың және кернеудің бірдей номиналды мәндері үшін ВИҚ параметрлері әртүрлі болуы мүмкін. Бұл мысалда машина параметрлерін бағалаудың бір ғана тәсілі қарастырылған. Полюстер жұптарының саны 3.1- суретте сияқты 4-ке тең. Максималды және минималды индуктивтілік аймақтары тең және электр айналымының 1/3 бөлігін алады. Өсіп келе жатқан және кеміген индуктивтіліктің аудандары тең және айналымның 1/3 бөлігін алады. Минималды индуктивтілік өрнекпен анықталады:

$$L_{min} = \frac{n_{ном} p p}{6 \cdot 60} \cdot \frac{U_{DC} - \frac{R I_{ном}}{2}}{I_{ном}} \quad (3.8)$$

Бұл номиналды жылдамдықта және номиналды кернеуді қолдану кезінде фазалық ток минималды индуктивтілік аймағының өтуі кезінде номиналды мәнге жетеді. Максималды индуктивтіліктің мәні 10-ға тең болатын L_K коэффициенті арқылы анықталады. Содан кейін, соңғы ВИҚ параметрі-қанықтыру тогы (3.7) бойынша есептеледі:

$$I_{sat} = \frac{\theta_{inc}(U_{DC} - I_{нор} R)}{L_{min}(k_L - 1)\omega_{нор}} \quad (3.9)$$

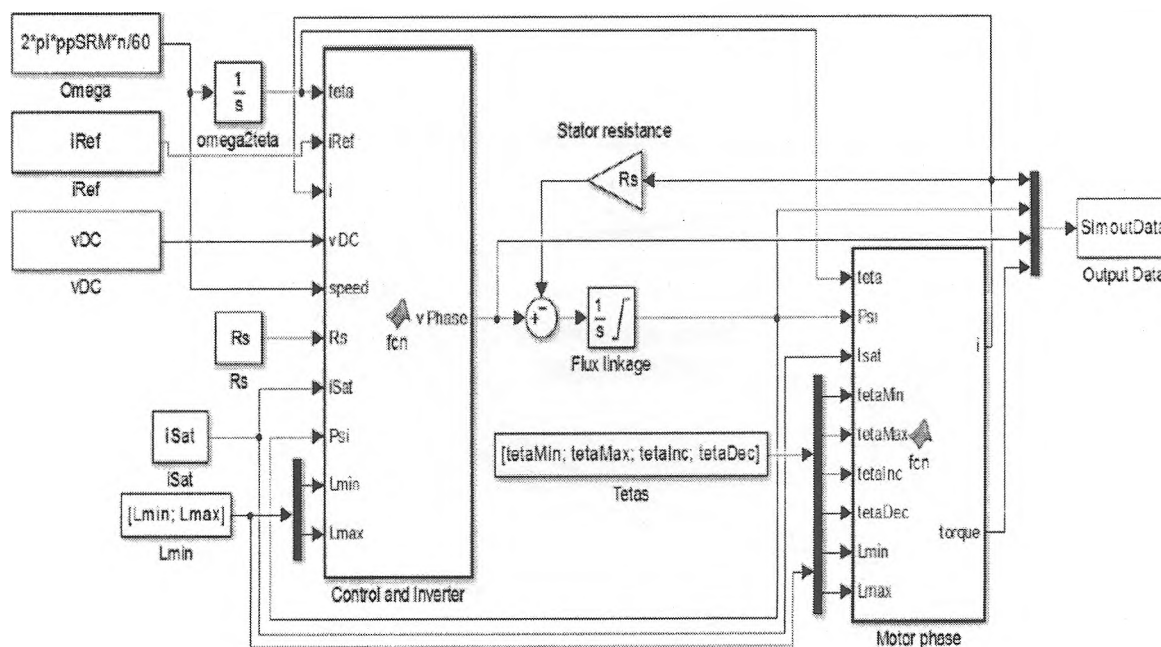
Модельдік эксперименттің көрініс параметрлері 3.1 - кестеде келтірілген.

Кесте 3.1 - ВИҚ көрсеткіштері

Параметр	Мәні	Өлшемділік
Полюстер жұптарының саны	4	-
Максималды амплитудалық статор тогы	400	А
ЗПТ номиналды кернеуі	538	В
Статор тізбегінің белсенді кедергісі	0,013	Ом
Көлденең және бойлық индуктивтіліктің	10	-
Келісілген жағдайдағы индуктивтілік	0,0112	Гн
Сәйкес келмейтін индуктивтілік жағдайы	0,00039	Гн
Қанықтыру тогы	88,45	А

3.4 ВИК шекті сипаттамаларын құру

Шекті сипаттамаларды құру үшін MATLAB Simulink-те модельдеу моделі жасалды, онда сызықтық емес теңдеулерді қамтитын негізгі теңдеулер бағдарламаланатын функцияларға негізделген MATLAB тілін қолдана отырып жүзеге асырылды. Модель 3.6-суретте көрсетілген.



3.6 Сурет - Қозғалтқыштың бір фазасы үшін MATLAB Simulink-тегі жеңілдетілген ВИТ моделі

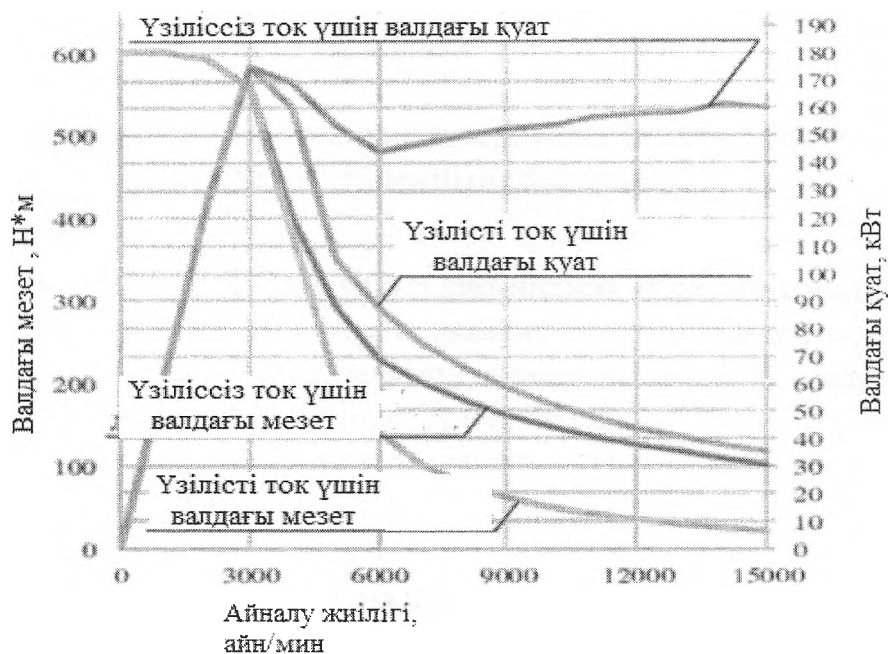
Модель 0-ден 25000 айн/мин айналу жиілігінің диапазонында зерттелді және біліктегі қуат пен орташа момент туралы мәліметтер 3.2-кестеде жинақталған, ал тиісті графиктер 3.7 - суретте көрсетілген.

3.2 Кесте - Айналу жиілігі функциясындағы мезет және қуат

Жылдамдық, об/мин	Мезет, Н·м	Валдағы қуат, кВт
1000	602	63,1
2000	594	124,4
3000	557	175,0
4000	403	168,9
5000	293	153,5
6000	229	143,8
7000	201	147,1
8000	179	150,2

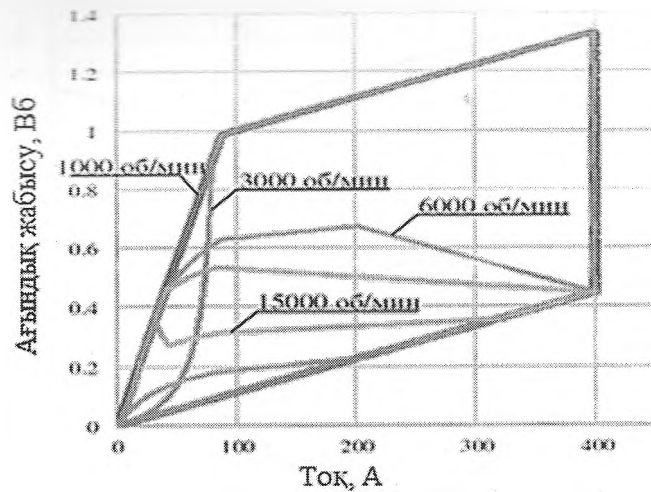
3.2 Кестенің жалғасы

9000	162	152,6
10000	147	153,8
11000	136	156,6
12000	125	157,6
13000	117	158,6
14000	110	161,7
15000	102	160,2
25000	63,5	166,2



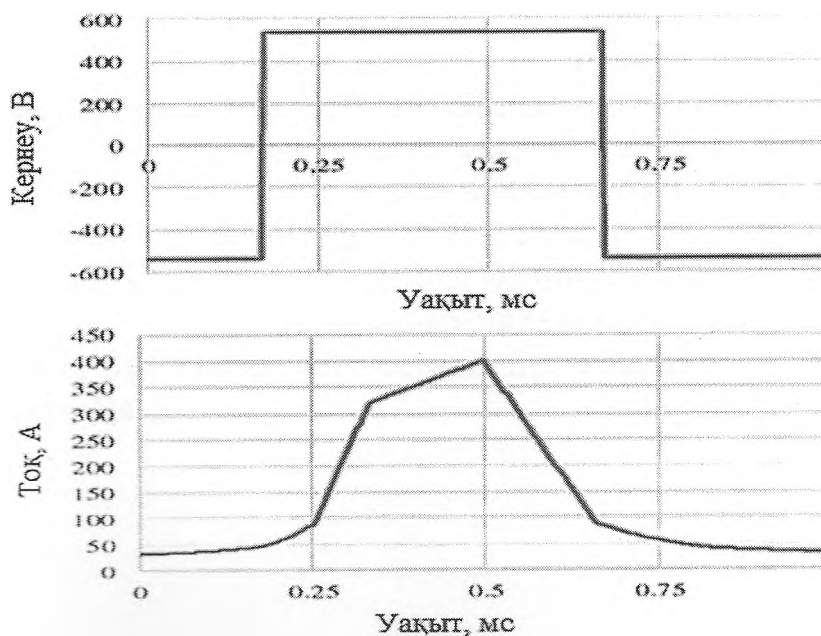
3.7 Сурет - ВИТ механикалық сипаттамасы және жылдамдығы қуаты

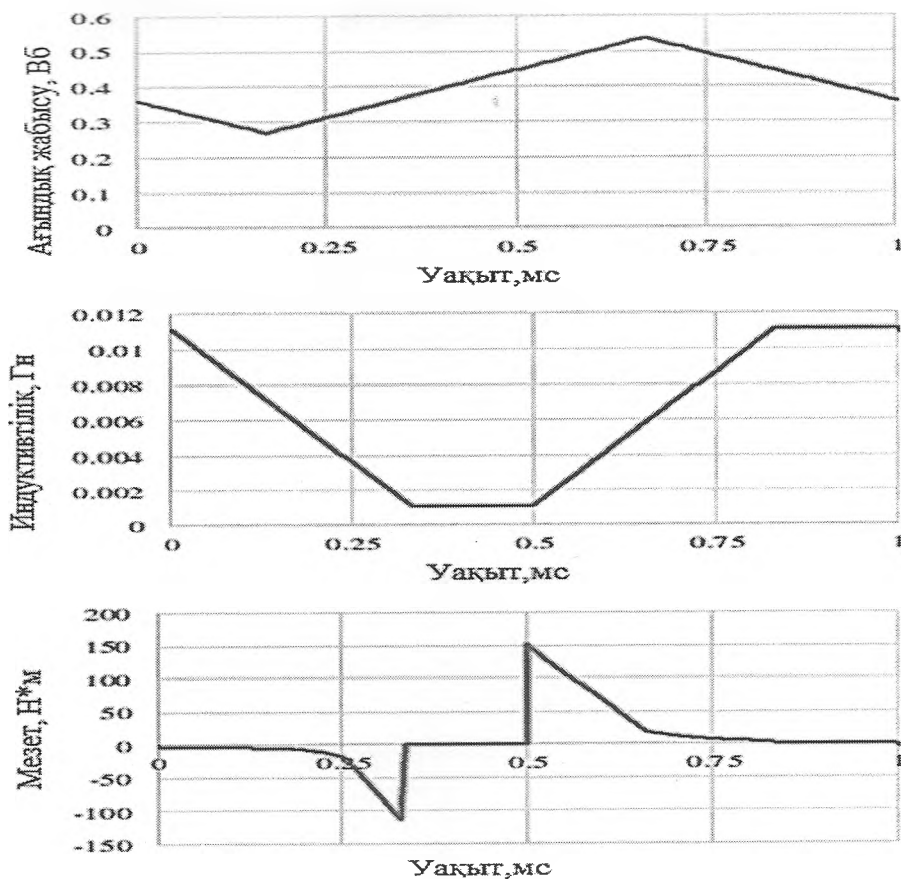
Әр түрлі айналу жиіліктері үшін фазалық токтан ағымдық жабысудың годографтары 3.8 - суретте көрсетілген. Мұнда фазаның үздіксіз ток режиміне өткен кезде тұрақты қуатты сақтауға болатындығы айқын көрсетілген. Егер сіз фазаны С нүктесінен сәл ертерек өшірсеңіз, моменттің шамалы өсуін (1% шегінде) алуға болады, бұл жағдайда номиналды жылдамдық үшін годографтың ауданы годографтың келісілген позициядағы қанықпаған қисыққа жақын орналасуына байланысты аздап артады. Токтаусыз ток режимінде годограф ауданы координатаның басына қосылған кезде жылдамдықтың квадратына кері пропорционал төмендеуінің салдарынан қуат апатты түрде төмендейді.



3.8 Сурет - Айнарудың әртүрлі жиіліктері үшін фазалық токтан ағымдық жабысудың ағымының годографтары

15000 айн/мин жылдамдығы үшін уақыт көрінісінің ВИҚ айнымалы өзгерісі 3.9 - суретте көрсетілген. Айта кету керек, моменттің пульсациясы өте үлкен. Осы қозғалтқыш үшін басқару құралдарымен моментті тұрақтандыру номиналды жылдамдықтан жоғары реттеу кезінде бұл түбегейлі мүмкін емес, өйткені қуат кернеуінің жеткіліксіз деңгейіне байланысты қозғалтқыш токтарын қалыптастыру мүмкін емес.





3.9 Сурет - 15000 айн/мин айналу жиілігі үшін кернеудің, токтың, ағымдық жабысудың, индуктивтіліктің және электр моментінің өзгеруі уақыт бойынша графигі

Алынған графиктер қуат тұрақтылығына жақын режимде жұмыс істейтін ВИҚ негізінде тартқыш электр жетегін құрудың негізгі мүмкіндігін көрсетеді. Бірақ, моменттің үлкен пульсациясынан басқа, берілген номиналды ток үшін қуат түрлендіргішінің құны ТМСҚ немесе АҚ үшін бірдей ток үшін ұқсас түрлендіргіштің құнынан 2 есе көп екенін атап өткен жөн. Сондықтан салыстыру кезінде осы эксперимент нәтижесінде алынған орташа 160 кВт қуатты 2-ге бөлген дұрыс, бұл тек 80 кВт береді. Бұл қуат бірдей жағдайларда АҚ қуатынан шамамен 1,4 есе аз.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыстың нәтижесінде вентильді-индуктор қозғалтқышының құрылымы, құрылымдық ерекшеліктері, артықшылықтары, кемшіліктері және жұмыс принципі қарастырылған.

Электромобильдің тартымдық есебі және вентиль-индуктор қозғалтқышының параметрлерін есептеу жүргізілді.

MATLAB Simulink-да вентильді-индуктор қозғалтқышының шекті сипаттамаларының құрылысы ұсынылған.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Kozachenko V.F., Ostrirov V.N., Lashkevich M.M. "Electric transmission on the basis of a switched reluctance motor with independent excitation" // "ELECTRICAL ENGINEERING" №2 - 2014 - P. 54-60

2 Alyamkin D.I. Development and research of two-phase valve-inductor electric drive of hot water supply pumps: Dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.09.03 / D.I. Alyamkin. M., 2011.

3 Radionov, A.A. Mathematical model of the movement of the car // AA Radionov, A.D. Chernyshev // Innovative transport. - 2015. - № 4 (18). - pp. 69–73.

4 Stashinov, Yu.P. On the optimal traction characteristic of the mine locomotive drive and the ways of its implementation / Yu.P. Stashinov, A.S. Semenchuk, D.V. Volkov // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). - 2008. - № 7. - p. 354–358.

5 Stroganov V.I., Kozlovsky V.N., Sorokin A.G., Miftakhova L.N. Analytical modeling of traction characteristics of electric vehicles and vehicles with a combined power plant // Kazan Bulletin Technol. un-that. - 2014. - № 7. - P. 107–112.

6 Chernyshev, A.D. Comparative analysis of various types of electric motors as part of the electric drivetrain drive / A.D. Chernyshev // Electrical Engineering: a network electron. scientific journals - 2016. - № 3. - P. 47–52.

7 Radionov, A.A. Formation of technical requirements for vehicle transmission / A.A. Radionov, A.D. Chernyshev // Science and Production of the Urals. - 2015. - № 11. - P. 85–89.

8 Antipov, S.I. Modern test cycles and their relevance when creating an algorithm for operating a vehicle control system with a KEU / S.I. Antipov, Yu.V. Dementiev // Energy and Resource Saving: Industrial and Transport. - 2013. - № 10 (113). - p. 8–11.

9 Chernyshev A.D. Calculation of the mechanical characteristics of the traction motor electric transmission of the vehicle / A.D. Chernyshev // Bulletin of SUSU. 96 Series "Engineering". 2018. Vol. 18, No. 1. P. 5–16. Mathematical modeling of the main processes of electric vehicles and vehicles with a combined power plant, Analytical modeling of the traction system of electric vehicles and vehicles with a combined power plant / V.I. Stroganov, V.N. Kozlovsky, A.G. Sorokin, L.Kh. Miftakhova // Bulletin of Kazan Tekhnol. un-that. - 2014. - № 7. - P. 129–132

10 Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А. Вентильно-индукторные двигатели - М.: Издательство МЭИ, 2003 - 70 с.

11 Виноградов А.Б. Векторное управление 42 электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический

университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 298 с.

12 Аляшкин Д.И. Разработка и исследование двухфазного вентильно – индукторного электропривода насосов горячего водоснабжения: автореф. канд. физ.-мат. наук. – Москва, 2012. – 20 с.

13 Гибридный автомобиль/ Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C

14 Козаченко В., Анучин А., Дроздов А., Жарков А. Цифровое векторное управление вентильно-индукторными двигателями с независимым возбуждением // Электронные компоненты. № 8'2004.

15 Gao Yuan. Speed control of switched reluctance motors: Masters degree work, The Hong Kong University of Science and Technology, Aug. 2000.

16 Бычков М.Г. Элементы теории вентильно-индукторного электропривода. // Электричество-1997. - №8- С.35-44;

17 Александровский С.В, Петренко Ю.Н. Анализ схем питания вентильно-индукторных двигателей. – Минск.: Белорусский национальный технический университет, 2010. – 31 с.

18 Остриров В.Н, Сравнительный анализ схем силовых преобразователей для вентильно-индукторного электропривода массового применения/ В.Н. Остриров, С. Ю. Уткин// Прикладная механика. – 2000. - №4. – С. 44-55.