

Саят Сайранұлы Молдахметовтың

6D071900-Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін ұсынылған «Көп деңгейлі күштік инвертордың кернеу сатыларын коммутациялау әдістерін зерттеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына

АНДАТПА

Жұмыстың өзектілігі. Экология, жаһандық жылыну, табиғи ресурстардың сарқылуы проблемалары баламалы энергетиканың дамуына үлкен серпін береді. Қазақстан Республикасының климаттық жағдайлары жел энергетикасы және гелиоэнергетика сияқты баламалы энергетиканың бағыттары үшін анағұрлым қолайлы. Балама көздерден алынған электр энергиясын тұтынушыға қол жетімді болу үшін түрлендіру қажет болғандықтан, бұл электр электроникасына, атап айтқанда автономды кернеу инверторларын жасау міндетін қояды.

Қазіргі заманғы жабдықтар электр энергиясының сапасына жоғары талаптар қояды, бұл белгілі бір шеңберде қуат кернеуінің параметрлерін сақтаудан тұрады. Қуат көзі қуат, амплитуда және әрекет етуші, яғни пайдалы, кернеу мәні, сондай-ақ кернеудің жиілігі мен синусоидалдылығы бойынша талаптарға жауап беруі керек.

Көп деңгейлі инвертор синусоидалы кернеуге жақын шығыс кернеуінің формасына ие. Осылайша, мұндай инвертордың шығыс кернеуі гармоникалық компоненттердің әлдеқайда төмен коэффициентіне ие, бұл өндірілетін электр энергиясының сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, көп деңгейлі инвертордың басқа артықшылықтары бар. Мысалы, көп деңгейлі инвертор тұрақты ток көздеріне әлдеқайда аз әсер етеді. Бұл кезең ішінде тұтынылатын ток біртіндеп өсетіндігіне байланысты. Сондай-ақ, көп деңгейлі инвертор шығыс кернеуін сүзуді қажет етпейді. Төмен жиілікті сүзгілерді орнатудың қажеті жоқ болғандықтан, бұл түрлендіргіш қондырғының өлшемдерін азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сүзгіш сыйымдылық элементтерінің болмауына байланысты уақыттың кідірісін жою маңызды аспект болып табылады. Көп деңгейлі инвертордың артықшылықтарына қуат кілттерінің төменгі жиілігінде жұмыс істеу мүмкіндігі де кіреді. Бұл өз кезегінде өтпелі кезеңдегі энергия шығынын азайтуға мүмкіндік береді, яғни бүкіл жүйеде ПӘК қамтамасыз етеді.

Көп деңгейлі инвертор, әдетте, көптеген күш элементтерінен, атап айтқанда белгілі бір заң бойынша басқарылуы керек коммутациялық кілттерден тұрады. Мұндай элементтер үлкен токтарға ауысатындықтан, адамды электр тогының соғуынан, істен шығудан қорғауды қамтамасыз ететін басқару жүйесін жасау қажет. Сонымен қатар, жартылай өткізгіш элементтердің қымбаттығына байланысты мұндай басқару жүйесі түрлендіргіштің күйін қадағалап, Төтенше жағдайлар мен жұмыс режимдерін болдырмауы керек.

Осылайша, синусоидалы кернеуге жақын шығу кернеуінің формасы бар микроконтроллермен басқарылатын қуат инверторын зерттеу өзекті мәселе

болып табылады, ол белгілі түрлендіргіштерден бір жағынан аз қуатты жартылай өткізгіш элементтермен ерекшеленеді, бұл оның құнын төмендетеді, екінші жағынан тұрақты жұмыс, түрлендірілетін электр энергиясының сапасы және сызықтық емес бұрмаланудың ең аз коэффициенті.

Ол үшін сызықтық емес бұрмалану коэффициентін азайтуға және кернеудің ағымдағы мәнінің тұрақтылығына қол жеткізуге мүмкіндік беретін инвертордың кернеу деңгейлерін ауыстыру уақытын есептеу әдістемесін жасау қажет. Сондай-ақ, қолданылатын жартылай өткізгіш элементтердің санын азайту үшін көп деңгейлі инвертор дизайнының топологиясын жақсарту қажет.

Көпдеңгейлі инверторды құрастыру және зерттеумен отандық ғалымдардан Н.Т.Исембергенов, К.Н.Тайсариева, Л.Б.Илипбаева, ал олардың шет елдік әріптестерінен José Rodríguez, Arvind Yadav, Zhiguo Pan, Mamatha Sandhu, Jagdish Kumar, Grain P. Adam, Ebrahim Babaei, Baoming Ge, Pablo Lezana, Byeong-Mun Song, Miguel F. Escalante, Keith A. Corzine, Giuseppe Carrara, Amit Kumar Gupta және т.б. айналысты.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты синусоидалы шығыс кернеуін алу, түрлендірілетін электр энергиясының сапасын жақсарту және сызықтық емес бұрмалану коэффициентін азайту үшін көп деңгейлі қуат инверторының кернеу сатыларын ауыстыру әдістерін әзірлеу және зерттеу болып табылады.

Диссертациялық зерттеудің мақсаты келесі **міндеттерді** туындатады:

- көп деңгейлі қуат инверторының заманауи топологияларын талдау;
- шығыс кернеуінің сызықтық емес бұрмалануларының төмен коэффициентімен инвертордың кернеу деңгейлерін ауыстыру әдістерін әзірлеу және зерттеу;
- шығу кернеуінің тұрақтылығын, коммутация дәлдігін, істен шығудан қорғауды қамтамасыз ететін қуатты Инверторды басқарудың микроконтроллерлік жүйесін дамыту;
- бір микроконтроллерден басқаруға мүмкіндік беретін және қысқа тұйықталудан және адамның электр тогымен зақымдануынан қорғауды қамтамасыз ететін инвертордың қуат кілттерін басқару әдісін жасау;
- әзірленген топология және деңгейлерді ауыстыру әдістемесі бойынша күштік инвертордың эксперименттік қондырғысын әзірлеу және зерттеу.

Зерттеу әдістері. Қойылған міндеттерді шешуде жүйелі талдау, математикалық модельдеу, әр түрлі құралдар мен бағдарламаларды қолдана отырып компьютерлік модельдеу, эксперимент және басқа да әдістер қолданылды.

Зерттеу объекті – синусоидалы кернеуге жақын шығыс кернеуі бар автономды қуат инверторы.

Зерттеу пәні – көп деңгейлі инверторды құру топологиясы, инвертордың кернеу деңгейлерін ауыстыру стратегиясы, инвертордың Шығыс кернеуінің сапасын бақылау процесі.

Диссертациялық жұмыстың жаңашылдығы келесідей:

- Шығыс кернеуінің сызықтық емес бұрмалануларының ең аз коэффициентімен инвертордың кернеу деңгейлерін ауыстырудың жаңа әдісі жасалды;
- ұсынылған түпнұсқа схемалық-техникалық және бағдарламалық шешімдерге сәйкес кернеу сатыларының коммутациясының жоғары дәлдігімен сипатталатын қуатты көп деңгейлі Инверторды басқарудың және батареялардың зарядталуын бақылаудың микроконтроллерлік жүйесі жасалды;
- оқшауланған транзистордың қақпасын басқару үшін гальваникалық оқшаулаудың өзіндік схемасы жасалды, бұл бір чиітен оқшауланған қақпалары бар бірнеше биполярлы транзисторларды басқаруға мүмкіндік береді;
- синусоидалы кернеуге жақын тұрақтандырылған шығыс кернеуі бар 3 кВт дейінгі бір фазалы көп деңгейлі инвертордың прототипі жасалып, сыналды.

Практикалық маңыздылығы: синусоидалы кернеуге жақын тұрақтандырылған шығыс кернеуі бар бір фазалы көп деңгейлі инвертордың прототипі жасалды. Кернеудің синусоидалығы айнымалы ток гармоникасының болуымен байланысты шығындарды азайтады. Ұсынылған топологияға және дамыған коммутация әдісіне сәйкес қуат инверторының қуаты тек коммутация кілттерінің өткізу қабілетімен шектеледі және қазіргі уақытта 30 кВт-тан асады. Көп деңгейлі инвертордың прототипі істен шығудан, адамның электр тогымен зақымдануынан, қысқа тұйықталудан қорғауды қамтамасыз ететін және пайдалану мерзімін ұзартуға мүмкіндік беретін ұсынылған схемалық және бағдарламалық шешімдерге сәйкес жасалған.

Қорғауға шығарылатын диссертацияның ережелері:

- аз қуатты жартылай өткізгіш элементтерді қолданумен сипатталатын көп деңгейлі қуат инверторын жобалау топологиясы;
- инвертордың кернеу деңгейінің коммутациялық стратегиясы шығыс кернеуінің сызықтық емес бұрмалануларының төменгі коэффициентімен сипатталады, сонымен қатар инвертордың шығыс кернеуінің сызықтық емес бұрмалануларының аз коэффициентін ғана емес, сонымен қатар инвертордың кернеудің ағымдағы мәнін белгілі бір деңгейде ұстап тұру қабілетін алуға мүмкіндік беретін аудандардың теңдігіне негізделген инвертордың кернеу деңгейлерін ауыстыру стратегиясы;
- N-көпір мен кернеу сатыларының коммутаторына негізделген көп деңгейлі инвертордың моделі;
- N-көпірге негізделген көп деңгейлі инвертордың және басқару жүйесі бар кернеу сатыларының коммутаторының құрылымы.

Зерттеу нәтижелерін апробациялау.

Теориялық және эксперименттік зерттеулер нәтижесінде синусоидалы кернеуге жақын тұрақтандырылған шығу кернеуі бар қуаттылығы 3 кВт бір фазалы көп деңгейлі инвертор алынды. Зерттеудің негізгі нәтижелері "Achievement of high school-2013" халықаралық ғылыми - практикалық конференциясында (София қ., Болгария, 2013), "Strategiczne pytania swiatowej

nauki-2014" 10-шы халықаралық ғылыми - практикалық конференциясында (г. Пшемьсль, Польша, 2014), "Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ-дың 80 жылдығына арналған "Қазақстан-2050" стратегиясын іске асырудағы жас ғалымдардың рөлі мен орны "Халықаралық Сәтбаев оқулары (Алматы қ., 2014), "Энергия үнемдеудің өзекті мәселелері және Қазақстан Республикасының ғылымы мен білім берудегі жаңа технологиялар" Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы (Петропавл қ., 2014), "Ғылым, білім және өндіріс интеграциясы-Ұлт жоспарын іске асырудың негізі" Халықаралық ғылыми – практикалық конференциясы (Қарағанды қ., 2016) өткізілді.

Жарияланымдар.

Диссертациялық зерттеу нәтижелері бойынша 19 жарияланым, оның ішінде 7 – ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған ғылыми басылымдарда, 3 – Scopus базасына кіретін журналда, 5 – конференция материалдарында, оның ішінде 2 – шетелдік, 2 – өнертабысқа ҚР инновациялық патенті жарияланды.

Автордың жеке қосқан үлесі.

Диссертациялық зерттеу барысында алынған негізгі эксперименттік және теориялық нәтижелерді автор өзі алды. Бірлескен авторлар ұжымының құрамында жарияланған ғылыми жұмыстарда қол жеткізілген нәтижелерді алу, қорыту және талдау кезінде негізгі үлесті ізденуші қосты.

Диссертация құрылымы.

Диссертацияның классикалық құрылымнан тұрады: кіріспе бөлім, негізгі бөлім (төрт тарау), қорытынды, пайдаланған дереккөздер тізімі және қосымшалар. Жұмыс компьютерлік мәтіннің 109 бетінде баяндалған, 64 сурет, 18 кесте және 88 библиографиялық дереккөздерден тұрады.

Зерттеу нәтижелері.

Диссертациялық зерттеудің нәтижесінде шығыс кернеуінің тұрақтылығы мен синусоидалдылығына, сондай-ақ түрлендірудің тиімділігіне, қуат пен сенімділіктің жоғарылауына байланысты автономды қуат инверторлары шығаратын электр энергиясының сапасын жақсартуға ықпал ететін теориялық және эксперименттік нәтижелер алынды. Қойылған міндеттер толық көлемде орындалды. Зерьтеу нәтижелерінің негізгілері деп төмендегілерді айтуға болады:

Көп деңгейлі қуат инверторларының қолданыстағы топологияларына талдау жасалды, көп айналымды трансформатор негізінде автономды қуат инверторының топологиясы жасалды. Талдау барысында, егер инвертордың шығыс кернеуі кемінде үш деңгейден тұрса, деңгей коммутаторы мен көпірлі инвертор негізінде көп деңгейлі қуат инверторы топологиясының артықшылығы анықталды. Осы топологияның негізінде көп деңгейлі қуат инверторын іске асыру әдісі ұсынылады, онда түрлендіргіштерден кернеулер кезектесіп, сатылы пішінді қалыптастырады және көпір инверторымен инверттеледі. Бұл принцип тәжірибеде дербес кернеу инверторының тәжірибелік үлгісінде сәтті жүзеге асырылады, ол аналогтармен салыстырғанда масса өлшемдері бойынша айтарлықтай артықшылыққа ие.

Инвертордың Шығыс кернеуінің компьютерлік моделі, тікелей инвертордың компьютерлік моделі жасалды. Бұл модельдер көп деңгейлі инвертордың кернеу сатыларын коммутациялаудың әртүрлі стратегияларын, соның ішінде импульстік ендік Модуляцияға негізделген стратегияларды зерттеу үшін пайдаланылды. Инвертордың Шығыс кернеуінің сызықтық емес бұрмалану коэффициентінің стратегияға, қадамдар санына және басқа параметрлерге тәуелділігі алынды. Компьютерлік модельдеу арқылы алынған нәтижелер эксперимент нәтижелерімен расталады.

Инвертордың шығыс кернеуін синусоидалы пішінге геометриялық жақындатуға негізделген әдіс ұсынылған. Коммутацияның басқа әдістерінен айырмашылығы, дамыған әдіс гармоникалық компоненттерді төмендетіп қана қоймай, кернеудің тиімді мәнін тұрақтылықта сақтауға мүмкіндік береді.

Бір микроконтроллерден бірнеше IGBT басқару үшін гальваникалық оқшаулау әдісі ұсынылады, ол гальваникалық босатылған кіріс пен Шығыс бар оптореле мен кернеу түрлендіргішін пайдаланады. Бұл схема IGBT түрлерінің көпшілігін басқаруға жарамды және 2MBI200L-060 IGBT модульдері мен g7rh42ud оқшауланған ысырмасы бар транзисторлар негізінде жиналған көп деңгейлі қуат инверторын жасау үшін қолданылады. Сағат генераторының жоғары жиілігіне байланысты инвертор сатыларының коммутациясының жоғары дәлдігімен сипатталатын қуат инверторын басқарудың микроконтроллерлік жүйесін дамытуға ерекше назар аударылады. Сонымен қатар, Инверторды басқарудан басқа, дамыған жүйе Шығыс кернеуіне, ток күшіне, қуатқа, сондай-ақ транзисторлық модульдердің субстратының температурасына мониторинг жүргізеді.

Синусоидалы кернеуге жақын тұрақтандырылған шығыс кернеуі бар бір фазалы көп деңгейлі инвертордың прототипі жасалды. Ұсынылған топологияға және дамыған коммутация әдісіне сәйкес қуат инверторының қуаты тек коммутация кілттерінің өткізу қабілетімен шектеледі және қазіргі уақытта 30 кВт-тан асады. Бұл инвертор коммутация кілттерінің мүмкіндіктерін, микроконтроллерді басқару жүйесін, коммутация стратегияларын және т. б. эксперименттік зерттеу үшін пайдаланылды.

Диссертация тақырыбы бойынша жарияланған еңбектер.

1. Данильченко В.В., Молдахметов С.С., Якубова М.З. К вопросу о разработке системы управления многоуровневым силовым инвертором напряжения // Материалы IX международной научно-практической конференции «Достижения высшей школы – 2013», София (Болгария), 2013. – С. 64-68.

2. Анарбаев А.Е., Тайсариева К.Н., Молдахметов С.С., Исембергенов Н.Т. К вопросу о разработке системы управления силовым инвертором для индукционного нагрева // Материалы X международной научно-практической конференции «Стратегические пути развития науки», Пржемысл (Польша), 2014. – С. 43-47.

3. Анарбаев А.Е., Молдахметов С.С., Исембергенов Н.Т. Индукциялық қыздыру үшін күш инвертордың басқару жүйесі //

Международные Сатпаевские чтения -2014 «Роль и место молодых ученых в реализации стратегии «Казахстан – 2050», г. Алматы, 2014. – Т.3. С. 99-103.

4. Анарбаев А.Е., Молдахметов С.С. Система слежения за параметрами солнечного модуля / Научный журнал «Вестник ПГУ. Энергетическая серия» №2, 2014. – С. 46-53.

5. Молдахметов С.С. Multilevel inverter using an H-bridge circuit // Материалы МНПК «Актуальные вопросы энергосбережения и новые технологии в науке и образовании Республики Казахстан», г. Петропавловск, 2014. – Т.1. С. 74-77.

6. Орынбаев С.А., Молдахметов С.С., Бекбаев А.Б. Однофазный автономный инвертор / Научный журнал «Известия НАН РК. Физико-математическая серия» №2, 2015. С. 18-24.

7. Орынбаев С.А., Бекбаев А.Б., Байбутанов Б.К., Молдахметов С.С. Оценка ветроэнергетического потенциала местности на примере районов южного Казахстана / Научный журнал «Вестник КазНТУ» №3, 2015. С. 80-85.

8. Sayat Moldakhmetov, Nalik Issebergenov and Abdurazak Kasymov. Multilevel inverter based on level switch and H-bridge / ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 10 (16), 2015. – P. 6884-6887.

9. Орынбаев С.А., Молдахметов С.С., Байбутанов Б.К., Ешметов М.Б., Ауесжанов Д.С. Исследование методик коммутации ступеней многоуровневого инвертора на основе широтно-импульсной модуляции / Научный журнал «Известия НАН РК. Физико-математическая серия» №2 (306), 2016. – С. 139-146.

10. Исембергенов Н.Т., Молдахметов С.С. Инсепов Д.Г., Способ реализации многоуровневого силового инвертора на базе IGBT / Научный журнал «Вестник Казахстанско-Британского технического университета» №4 (35), 2015. С. 95-100.

11. Sayat Moldakhmetov, Nalik Issebergenov, Dauren Insepov and Seitzhan Orynbayev. Implementation of multilevel power inverter / ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 11 (11), 2016. – P. 6886-6890.

12. Пат. 31425 РК. Однофазный автономный инвертор / Орынбаев С.А., Молдахметов С.С., Бекмуратов М.М., Кейкиманова М.Т.; опубл. 15.08.2016 г. Бюл. № 9. – 5 с.

13. Пат. 31804 РК. Микроконтроллерное устройство стабилизации выходного напряжения для ветроэнергетической установки / Орынбаев С.А., Молдахметов С.С., Исембергенов Н.Т., Малдыбаева Т.С.; опубл. 30.12.2016 г. Бюл. № 18. – 4 с.

14. Петров П.А., Герасимова Ю.В., Ивель В.П., Молдахметов С.С. Система вращения-подъема ЖД вагонов/ Вестник национальной академии наук РК, Vol. 6 (370), 2017. – С. 52-59.

15. Viktor Ivel, Yuliya Gerasimova, Sayat Moldakhmetov and Pavel Petrov. System of lifting and rotation of railway cars / ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 13 (2), 2018. – P. 714-717.

16. Bibigul Koshekova, Yuri Klikushin, Oleg Belosludtsev and Sayat Moldakhmetov. Search of earthquake precursors basing on FRaSH method for identification measurements of seismographic records / ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 14 (1), 2019. – P. 141-147.

17. Ивель В. П., Герасимова Ю. В., Риттер Д. В., Молдахметов С. С., Петров П. А. Методика разработки высокоточной системы управления двухдвигательным механизмом вращения железнодорожных вагонов/ Монография – М.: РУСАЙНС, 2019 г. -140 с.

18. V. P. Ivel, Y. V. Gerasimova, S. S. Moldakhmetov, P. A. Petrov, I. A. Gerasimov Wireless Holter monitoring system with a dual-core processor./ IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Joint International Meeting PRIME 2020, Volume 919 (2020) 022040, October 4-9, 2020. – P.1-9. doi:10.1088/1757-899X/919/2/022040.

19. S. S. Moldakhmetov, V. P. Ivel, Y. V. Gerasimova, P. A. Petrov and N. B. Kaliaskarov. Switching strategies for a multi-level inverter./ IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1155 (2021) 012094, April 2021. – P.1-9. doi:10.1088/1757-899X/1155/1/012094.