

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ  
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ»  
КеАҚ



КӨЛІК-ЭНЕРГЕТИКА ФАКУЛЬТЕТІ



**«КӨЛІК ЖӘНЕ ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ:  
ИННОВАЦИЯЛЫҚ ШЕШУ ТӘСІЛДЕРІ» XIV ХАЛЫҚАРАЛЫҚ  
ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИБЕЛІК КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ  
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
XIV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ: «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА И  
ЭНЕРГЕТИКИ: ПУТИ ИХ ИННОВАЦИОННОГО РЕШЕНИЯ»**

**PROCEEDINGS OF THE XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC- PRACTICE  
CONFERENCE «ACTUAL PROBLEMS OF TRANSPORT AND ENERGY:  
THE WAYS OF ITS INNOVATIVE SOLUTIONS»**

Астана, 2026

**УДК 656:620.9**

**ББК 65.37+65.305.1**

**A43**

**Редакционная коллегия:**

Председатель – Талтенов А.А., член Правления – Проректор по науке и коммерциализации, д.х.н., профессор; Заместитель председателя – Кокаев У.Ш. декан транспортно-энергетического факультета, к.т.н., ассоциированный профессор; Тлепиева Г.М. – заместитель декана по научной работе, к.т.н., доцент; Султанов Т.Т. – заведующий кафедрой «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», к.т.н., доцент; Тогизбаева Б.Б. – заведующая кафедрой «Транспортная инженерия», д.т.н., профессор; Байхожаева Б.У. – заведующая кафедрой «Стандартизация, сертификация и метрология», д.т.н., профессор; Жумажанов С.К. – заведующий кафедрой «Электроэнергетика», к.т.н., доцент; Садыкова С.Б. – заведующая кафедрой «Теплоэнергетика», PhD, доцент.

**A43 Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения:** XIV Международная научно-практическая конференция, 19 марта 2026г. / Подгот. А.А. Талтенов, У.Ш. Кокаев, Г.М. Тлепиева – Республика Казахстан, г.Астана, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», 2026. – 632 с.

**ISBN 978-601-385-216-4**

В сборник включены материалы XIV Международной научно-практической конференции на тему: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», проходившей в г. Астана 19 марта 2026 года.

Тематика статей и докладов участников конференции посвящена актуальным вопросам логистики, организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, стандартизации, метрологии и сертификации, транспорту, транспортной техники и технологии, теплоэнергетики и электроэнергетики.

Материалы конференции дают отражение научной деятельности ведущих ученых дальнего и ближнего зарубежья, Республики Казахстан и могут быть полезными для докторантов, магистрантов и студентов.

**ISBN 978-601-385-216-4**

**УДК 656:620.9**  
**ББК 65.37+65.305.1**

© НАО «ЕНУ имени Л.Н. Гумилева», 2026

**Секция 5 «ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ»**

<b>Азмуханбетов Б.Т.</b> ТҰРАҚТЫ ТОК ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫН БАСҚАРУДАҒЫ ПИД-РЕТТЕГІШТЕРДІ ГЕНЕТИКАЛЫҚ АЛГОРИТМ ЖӘНЕ ФАЗЗИ-ЛОГИКА АРҚЫЛЫ ОҒТАЙЛАНДЫРУ	565
<b>Айсанов А.Б.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	569
<b>Ашимов Д.Е.</b> МЕТОДЫ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ И ИХ АДАПТАЦИЯ К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН	575
<b>Әлімқазы Ш., Нұржанова А.Б.</b> ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР. ТЕОРИЯЛЫҚ ТАЛДАУ.	579
<b>Багиров И.Я.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ К РАСЧЕТАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ	584
<b>Гайнуллина Д.А.</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ-НАПРЯЖЕНИЯ	590
<b>Ғизат М.Н.</b> АСТАНА ҚАЛАСЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫНДА ОРТАЛЫҚ ЭЛЕКТР ЖЕЛІСІНЕ ҚОСЫЛМАЙТЫН ТІК ЖЕЛІ ТУРБИНАЛАРЫ НЕГІЗІНДЕГІ ЖЕРГІЛІКТІ ЭЛЕКТРОМОБИЛЬДЕРДІ ЗАРЯДТАУ СТАНЦИЯСЫН ЖОБАЛАУ	593
<b>Зуев Д.Н.</b> МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ	596
<b>Қайратов А.К.</b> ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4–35 кВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ НОРМАТИВНО КОРРЕКТНОЙ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	601
<b>Қостанаев Ә.Д.</b> 0,4 КВ ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ РЕАКТИВТІ ҚУАТТЫ КОМПЕНСАЦИЯЛАУ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ	605
<b>Ниязов Б.Ш.</b> СОЦИАЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ПЕРЕХОДА К ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ В КАЗАХСТАНЕ	609
<b>Сағиев Т.А.</b> ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ НА БАЗЕ SSB	614
<b>Сейткалиева М.С.</b> АУЫСПАЛЫ ЖІЛІКТІ ЖАҒАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІН ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕСІНЕ БІРІКТІРУ	619
<b>Социал Б.Қ.</b> ЖОҒАРЫ ТОК ГАРМОНИКАСЫН БАСУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ	622
<b>Уаханова К.Б.</b> ҚАЗАҚСТАН ЖАҒДАЙЫНДА КҮН-ЖЕЛІ ГИБРИДТІ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚОЛДАНУДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖОЛДАРЫ	628

gate» (қуаттың өзгеру жылдамдығы) деп аталады және ол энергожүйедегі кернеу мен жиіліктің тұрақсыздығына тікелей себепші болады.

*Қазақстанның энергожүйесіне әсері.* Қазақстанның Біртұтас электр энергетикалық жүйесі (БЭЖ) жағдайында, әсіресе КЭС шоғырланған оңтүстік аймақтарда, FVE1 графигіндегідей (2 суретті қараңыз) тербелістер үлкен қиындықтар тудырады. Мәселе мынада: еліміздегі базалық энергия көздері (көмір станциялары) мұндай шұғыл ауытқуларды теңгеру үшін тым инерциялы, яғни олар өз қуатын тез арада өзгерте алмайды. Бұл жағдай жүйелік оператордан (KEGOC) қосымша маневрлік резервтерді (ГЭС немесе газ станцияларын) қолдануды талап етеді.[3]

*Мәселені шешудің заманауи әдістері.* Мақалаларда КЭС-тің құбылмалы жұмысын тұрақтандырудың бірнеше негізгі бағыттары [2] қарастырылады:

1. Энергия жинақтаушы жүйелер (BESS): Литий-иондық аккумуляторлар бұлтты күнгі генерацияның «ойықтарын» толтырып, графигті тегістеуге мүмкіндік береді.
2. Интеллектуалды болжау: Метеорологиялық спутниктер мен нейрондық желілерді қолдану арқылы бұлттардың қозғалысын алдын ала есептеу.
3. Гибридизация: Күн станцияларын басқа басқарылатын энергия көздерімен бір кешенде пайдалану.

*Қорытынды.* Жүргізілген талдау қайта жаңартылатын энергия көздерін электр энергетикалық жүйелерге біріктіру кезінде туындайтын негізгі техникалық мәселелерді жүйелеуге мүмкіндік берді. Ғылыми зерттеулерді салыстыру күн энергетикасының табиғи факторларға тәуелділігі электр энергиясын өндірудің құбылмалылығын арттырып, қуат теңгерімінің бұзылуына, сонымен қатар кернеу мен жиілік көрсеткіштерінің тұрақсыздығы мен құбылмалылығына әкелетінін көрсетеді.

Әдеби деректер ЖЭК-не тән төмен инерция энергожүйенің тұрақтылығын әлсіретіп, жиілік ауытқуларының жылдам өсуіне себеп болатынын айқындайды. Сондықтан зерттеулерде жедел әрекет ететін резервтік қуат көздері мен энергия сақтау жүйелері электр энергетикалық жүйенің сенімді және тұрақты жұмысын қамтамасыз етудің тиімді құралдары ретінде қарастырылады.

Қарастырылған ғылыми деректер жаңартылатын энергия көздерінің үлесі жоғары энергожүйелерде резервтік қуатты тиімді жоспарлау мен басқарудың маңызды екенін көрсетеді.

#### П а й д а л а н ы л ғ а н ә д е б и е т т е р т і з і м і :

1. C. He, H. Geng, K. Rajashekara & A. Chandra — Analysis and control of frequency stability in low-inertia power systems.
2. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, vol. 11, no. 12, 2024.
3. Әлемдегі жаңартылатын энергия көздерінің жел және күн энергиясына қатысты дамуы. Г.У. Қуттыбаев, Ж.С. Шыныбай. Алматы, 2022.
4. KEGOC. Қазақстанның бірыңғай электр энергетикалық жүйесінің жұмыс режимдері туралы есеп. Астана, 2023.
5. Қазақстан энергетика саласын дамыту және жаңартылатын энергия көздерін электр жүйесіне енгізу. Астана, 2023.
6. Владимир Сидорович. Возобновляемая энергетика: современное состояние и перспективы развития. Москва: Издательство Высшей школы экономики, 2018.

УДК 621.311

## ЖОҒАРЫ ТОК ГАРМОНИКАСЫН БАСУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ

**Социал Бақытжан Қалмурзаұлы**

[bakitzhannn03@mail.ru](mailto:bakitzhannn03@mail.ru)

«Электр энергетикасы» кафедрасының магистранты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия

Ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

Ғылыми жетекші: Жумажанов Серик Каратаевич

*Түйіндеме.* Мақалада электр беріліс желісіндегі токтың гармоникалық бұрмалануларын оларды тікелей өлшемей-ақ басу тәсілі сипатталған. Бұл тәсіл токтың спектрін үздіксіз талдауды қажет етпейтін арнайы құрылғының көмегімен жүзеге асырылады. Matlab/Simulink ортасында сызықтық емес жүктеме және сүзгісі бар энергетикалық жүйенің жұмысын имитациялық модельдеу нәтижесінде алынған, жоғары гармоникаларды басу құрылғысы қосылған тораптағы токтардың осциллограммалары келтірілген. Сондай-ақ ұсынылған токтың жоғары гармоникаларын басу принципінің математикалық сипаттамасы берілген.

*Тірек сөздер:* басу құрылғысы, гармоникалық бұрмалану, имитациялық модельдеу, электр беріліс желісі, импеданс, электромагниттік кедергі.

Ғылым мен техниканың бақылау, диагностика және жұмыс дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз ету саласындағы басым даму бағыты - қолданыстағы құрылғыларды жетілдіру, жаңа энергия үнемдейтін қондырғыларды, техникалық жабдықтарды, сондай-ақ жалпы мақсаттағы электрмен жабдықтау жүйелерінде кернеу сапасын өлшеу және басқару жүйелерін құру болып табылады. Бұл синусоидалы емес кернеулердің пішінін жақсарту мақсатында жүзеге асырылады.

Асимметриялы жұмыс сипаттамасы бар тұтынушыларды электрмен жабдықтау жүйесіне қосу электр беру желілерінде токтың жоғары гармоникалық құрамдас бөліктерінің (ЖГТ) ағуына әкеледі, бұл басқа құрылғылардың жұмысына теріс әсер етеді. ЖГТ қорғаныс жүйелерінің жалған іске қосылуына, жақын орналасқан құрылғылардың жұмысына әсер ететін электромагниттік кедергілердің пайда болуына, электромагниттік құрылғылардың жүктемені көтеру қабілетінің төмендеуіне, сондай-ақ реактивті қуатты өтеу құрылғылары құрамындағы конденсатор батареяларының қосымша қызуына және тез тозуына себеп болады.

Энергожүйеге қосылған электр құрылғыларының жұмысына ЖГТ-ның теріс әсерін азайту токтың жоғары гармоникалық құрамдас бөліктерінің көздері қосылатын тораптарда да, сондай-ақ тұтынатын электр энергиясының сапасына жоғары талап қоятын тұтынушылар тораптарында да орнатылатын сүзгілерді қолдану арқылы жүзеге асырылады [1, 2].

Сүзгілеуші құрылғылар екі үлкен класқа бөлінеді: басқарылмайтын және басқарылатын. Бірінші класс көп жағдайда реактивті элементтердің (индуктивтілік пен конденсаторлардың) комбинацияларынан тұрады, олардың параметрлері токтың белгілі бір жеке гармоникалық құрамдасын немесе маңызды ЖГТ диапазонын (3, 5, 7 және т.б.) басуға есептелген.

Басқарылатын сүзгілеуші құрылғыларда реактивті элементтердің арақатынасы басқару органдары арқылы өзгертілуі мүмкін, бұл сүзгіден өткізілетін жиілік жолағының ығысуына әкеледі. Мұндай құрылғылар реактивті элемент сатыларын коммутациялайтын тиристорлық кілттерді немесе импульстік-фазалық басқару жүйесі арқылы сүзгі тогын реттейтін жүйелерді қолдану арқылы орындалады.

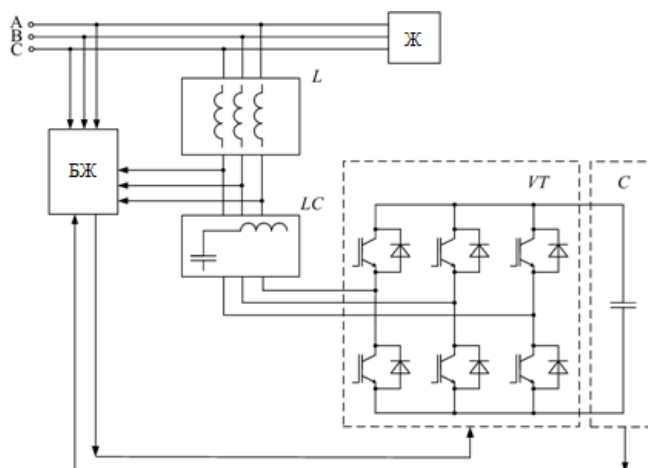
Басқарылатын сүзгілеу құрылғылары идеясының дамуы ретінде желімен басқарылатын жоғары жиілікті транзисторлық кернеу немесе ток түрлендіргіштерін - тұрақты токты айнымалы токқа түрлендіретін инверторларды - қолдану ұсынылады. Олар берілген сигналдың импульстік модуляция жүйесі арқылы басқарылады [3].

ЖГТ деңгейін төмендету сүзгілеу құрылғыларын қосылу торабында амплитудасы мен жиілігі бірдей, бірақ таңбасы қарама-қарсы токтарды генерациялау арқылы жүзеге асырылады. Мұндай сүзгілеу тәсілін іске асыру үшін электр беру желісіндегі токтың гармоникалық құрамдастарының параметрлерін алдын ала өлшеу және есептеу қажет.

ЖГТ-ның динамикалық өзгеруі энергожүйенің сүзгілеу құрылғылар жұмысында өтпелі процестердің пайда болуына әкеледі. Нәтижесінде, сүзгілеу құрылғыларының жұмыс параметрлері энергожүйенің жаңа орныққан режиміне сәйкес өзгертілгенге дейін гармоникалық құрамдастардың көзі ретінде әрекет етуі мүмкін.

ЖГТ-ны басудың қарастырылып отырған тәсілі - электр беру желісіне желімен басқарылатын жоғары жиілікті транзисторлық кернеу инверторын, шығысында реактивті

элементтер орнатылған күйде қосу болып табылады [7]. Қарастырылып отырған сүзгілеуші құрылғының құрылымдық сұлбасы 1-суретте келтірілген.



Сурет 1 - ЖГТ сүзгісінің құрылымдық сұлбасы

А, В, С электр беру желілеріне асимметриялы Ж жүктемесі қосылған. Электр беру желісіне параллель түрде, Ж жүктемесіне жақын аймақта кернеу инверторы VT негізінде құрылған жоғары гармоникалық токтарды сүзгілеуші құрылғы қосылған. Инвертор сыйымдылықты жинақтаушы С арқылы қоректенеді, ондағы кернеу тұрақты деңгейде ұсталып тұрады.

Құрылғы құрамына модуляция жиілігіндегі кернеуді шектейтін шығыс LC-сүзгісі және кернеу инверторының шығысы мен ЖГТ сүзгісін қосу торабының арасына орнатылған L реактивті элементі кіреді.

Басқару жүйесі (БЖ) сүзгілеуші құрылғы мен электр желісінің синхронды жұмысын қамтамасыз етеді, кернеудің бірінші гармоникалық құрамдасын анықтауды, қалыптастыруды және тұрақтандыруды жүзеге асырады.

Инвертор шығысында сүзгілеуші құрылғы қосылған тораптағы электр беру желісінің кернеуінің бірінші гармоникалық құрамдасына фаза, амплитуда және жиілік бойынша тең кернеу қалыптастырылады [9, 10]. Осылайша, (4) формулаға сәйкес реактивті элемент арқылы тек жоғары гармоникалық құрамдастармен шартталған ток қана ағады, ал негізгі гармоника бойынша ток нөлге тең болады:

$$U_c = A \cdot \sin(\omega t) + \sum_k B_k \cdot \sin(k\omega t). \quad (1)$$

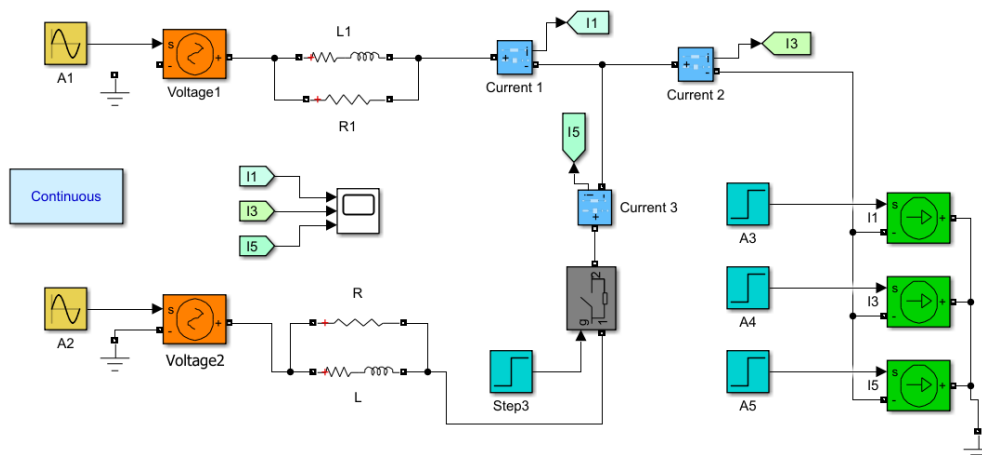
Түрлендіргіш-сүзгінің шығысында желінің негізгі гармоникасына тең кернеу қалыптастырылған кезде, сүзгінің шығыс каскадтары арқылы ағатын ток түрлендіргіш пен қосылу торабы арасындағы реактивті элементтің импедансына пропорционал болады және жоғары гармоникалық токтардың қосындысын білдіреді (2) формула:

$$I_\phi = \sum_k I_k = \sum_k \frac{B_k \cdot \sin(k\omega t)}{Z(k\omega t)}. \quad (2)$$

2-суретте Matlab/Simulink ортасында әзірленген, ЖГТ сүзгісі бар энергожүйенің имитациялық моделі көрсетілген. Бұл модель электр беру желілерінің реактивті кедергілерінің әртүрлі параметрлері мен токтың гармоникалық бұрмалану деңгейлері кезінде басу құрылғысының жұмысын талдауға мүмкіндік береді [5, 8].

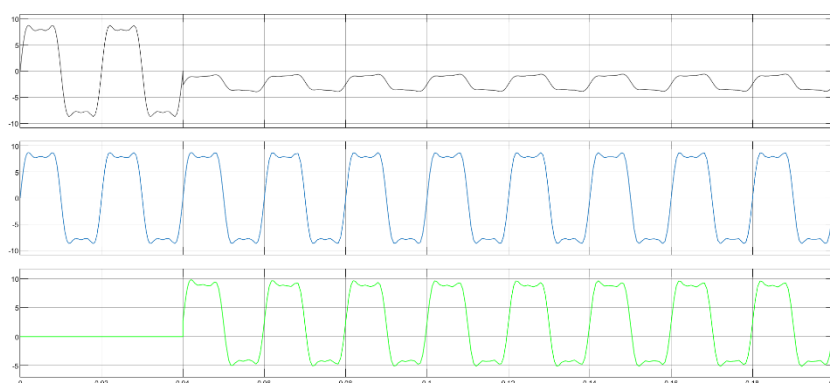
A1 блогы қорек көзі кернеуін орнатуға арналған; L1 және R1 - электр беру желісінің кедергі параметрлері; A4, A6, A7 - жүктеме тогының гармоникалық құрамдастарының параметрлерін беруге мүмкіндік береді. A2, R, L блоктары ЖГТ сүзгісінің элементтерінің параметрлерін анықтайды.

Идеал контактор мен Step басқару органы арқылы сүзгіні модельдеу процесінің кез келген сәтінде қосуға немесе ажыратуға болады [4].



Сурет 2 - ЖГТ басу құрылғысы бар энергожүйенің имитациялық моделі

Басу құрылғысының А қосылу торабында, сүзгілеуші құрылғы мен электр беру желісі электрлік түрде қосылған кездегі ағатын токтар 3-суретте көрсетілген [4].



Сурет 3 - Желі, сүзгі және жалпы жүктеме токтары

Модельдеу басталғаннан кейін 0,04 с өткен соң орындалатын коммутация сәтіне дейін электр беру желісінде амплитудалары сәйкесінше 10, 3 және 1 А болатын негізгі, үшінші және бесінші гармоникалық құрамдастардан құралған ток ағады.

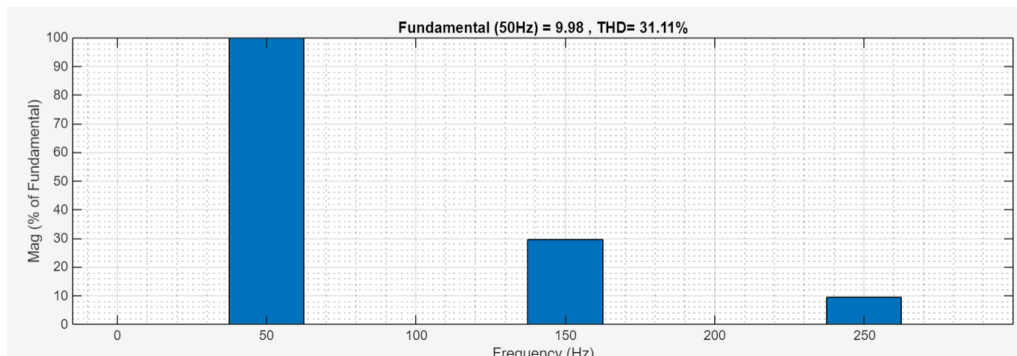
Сүзгілеуші құрылғы қосылғаннан кейін жүктеме тогының жоғары гармоникалық құрамдастары «Сүзгілеуші құрылғы - Жүктеме» контурында тұйықталады, ал токтың негізгі гармоникасы электр беру желісінен тұтынылуын жалғастырады.

Электр беру желісіндегі токтың гармоникалық құрамдастарын басу қоректендіруші желі импедансы мен қосылу торабындағы реактивті элемент импедансының айырмашылығы есебінен жүзеге асады, (3) формула:

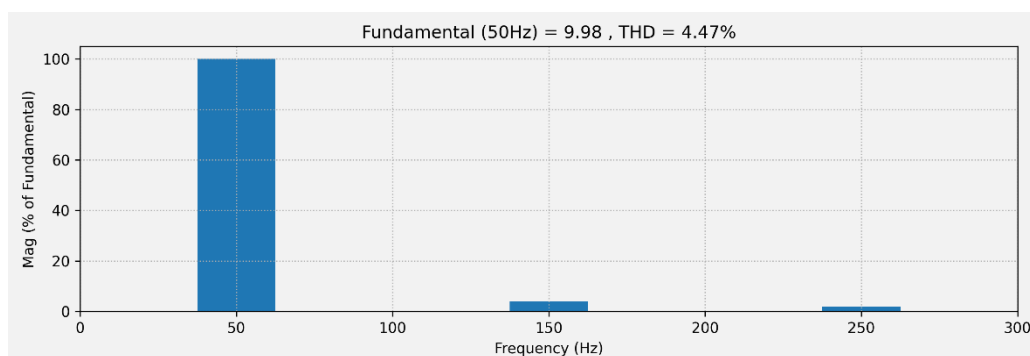
$$\sum_k \frac{I_{kc}}{Z_C(k\omega t)} = \sum_k \frac{I_{k\phi}}{Z_\phi(k\omega t)}. \quad (3)$$

4 суретте желі тогының гармоникалық құрамының спектрлік талдауы көрсетілген. Сүзгі қосылғанға дейін ток спектрінде негізгі 50 Гц гармоникамен қатар 150 Гц және 250 Гц жиіліктеріндегі жоғары гармоникалар байқалады. Негізгі гармониканың амплитудасы шамамен 9,98 А болса, үшінші гармониканың салыстырмалы деңгейі шамамен 30%, ал бесінші гармоника шамамен 10% құрайды. Бұл жағдайда токтың толық гармоникалық бұрмалану коэффициенті (THD) шамамен 31.11 % болады. Сүзгі қосылғаннан кейін ток

спектрінде жоғары гармоникалардың амплитудалары айтарлықтай төмендейді, 5 суретте көрсетілген. Үшінші гармониканың деңгейі шамамен 4%-ға, ал бесінші гармоника шамамен 2%-ға дейін азаяды. Нәтижесінде тоқтың толық гармоникалық бұрмалану коэффициенті (THD) шамамен 4-5% деңгейіне дейін төмендейді және (4) формула арқылы есептеу нәтижелеріне сай келеді. Бұл ұсынылған сүзгінің желі тогындағы жоғары гармоникаларды тиімді басатынын көрсетеді.



Сурет 4 – Сүзгі қосылғанға дейінгі токтың гармоникалық компоненттерінің спектрі



Сурет 5 – Сүзгі қосылғаннан кейінгі токтың гармоникалық компоненттерінің спектрі

Жоғары гармоникалардың деңгейін бағалау үшін THD коэффициенті қолданылды.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \cdot 100\% , \quad (4)$$

мұнда,  $I_1$  – негізгі гармоника тогы,  
 $I_n$  – n-ші гармоника тогы.

Сонда (4) формулаға сәйкес THD мәні келесідей есептеледі:

$$THD = \frac{\sqrt{3^2 + 1^2}}{10} \cdot 100\% \approx 31,6\% ,$$

$$THD = \frac{\sqrt{0,4^2 + 0,2^2}}{10} \cdot 100\% \approx 4,5\% .$$

Сүзгі қосылғаннан кейін жоғары гармоникалардың көп бөлігі сүзгі контурында тұйықталады және желі тогының THD шамасы айтарлықтай төмендейді.

Кесте 1 - Сүзгі қолданылғанға дейін және кейінгі өзгерістер

Параметр	Сүзгісіз	Сүзгімен
1-ші гармоника	10 А	10 А
3-ші гармоника	3 А	0,4 А

5-ші гармоника	1 А	0,2 А
THD	31,6%	≈4,5%

Қорытындылай келе, жүргізілген зерттеу барысында электр беріліс желісіндегі токтың жоғары гармоникалық құраушыларын басуға арналған құрылғының жұмыс принципі қарастырылды. Ұсынылған әдіс желіге параллель қосылған инвертор мен реактивті элементтер негізінде жүзеге асырылады және ол токтың гармоникалық құрамын тікелей өлшемей-ақ жоғары гармоникаларды тиімді түрде шектеуге мүмкіндік береді. Matlab/Simulink ортасында жасалған имитациялық модель арқылы құрылғының жұмыс тиімділігі талданды. Модельдеу нәтижелері сүзгі қосылғанға дейін желі тогында 3-ші және 5-ші гармоникалардың айтарлықтай үлесі бар екенін көрсетті. Сүзгі қосылғаннан кейін жоғары гармоникалардың негізгі бөлігі «сүзгі-жүктеме» контурында тұйықталып, олардың желідегі амплитудасы едәуір төмендейді. Атап айтқанда, 3-гармоника амплитудасы 3 А-дан 0.4 А-ға дейін, ал 5-гармоника 1 А-дан 0.2 А-ға дейін азаяды. Бұл ретте негізгі гармониканың мәні өзгеріссіз қалады, өйткені ұсынылған құрылғы тек жоғары гармоникаларды басуға бағытталған. Гармоникалық бұрмаланудың сандық бағасын анықтау үшін Total Harmonic Distortion (THD) коэффициенті қолданылды. Есептеу нәтижелері бойынша сүзгі қолданылмаған жағдайда THD шамасы шамамен 31,6%, ал сүзгі қосылғаннан кейін бұл көрсеткіш шамамен 4,5% деңгейіне дейін төмендейді, бұл ұсынылған құрылғының жоғары гармоникаларды басуда тиімді екенін көрсетеді.

#### П а й д а л а н ы л ғ а н ә д е б и е т т е р т і з і м і :

1. Akagi H. Generalized theory of the instantaneous power in three phase circuit / H.Akagi, Y. Kazanava, A. Nubae // Int. Power Electronics Conf, Tokio, Japan, 1983. – pp. 1375 – 1386.
2. Akagi H. Instantaneous power theory and applications to power conditioning / H. Akagi, H. Vatanable, M. Aredes // N.Y., IEEE Press, 2007. – 389 p.
3. Борисов А.С., Алешин Д.А., Вихорев Н.Н. Широотно-импульсная модуляция при параллельной работе инверторов напряжения на общую нагрузку // Актуальные проблемы электроэнергетики: сборник научно технических статей. Посвящается 80-летию со дня рождения проф. С.В. Хватова. – Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева; Образовательно-научный институт электроэнергетики. 2018. – С.62-65.
4. Вихорев Н.Н., Чивенков А.И., Панфилов И.С., Панфилов С.Ю. Моделирование работы автономного источника электропитания в среде MATLAB/Simulink // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород, 2015. №4(111). С. 94-101.
5. Герман-Галкин С.Г. Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК // Учебное пособие. – СПб.: Корона-Век, 2008. – 368 с.
6. Мелешин В.И., Овчинников Д.А. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии // Москва: Техносфера, 2011. – 576 с.
7. Ромаш Э.М., Драбович Ю.И., Юрченко Н.Н., Шевченко П.Н. Высокочастотные транзисторные преобразователи. – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с.
8. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; Питер, 2008. – 288 с.
9. Чивенков А.И., Гребенщиков В. И., Антропов А.П., Михайличенко Е.А. Расширение функциональных возможностей инвертора напряжения систем интеграции возобновляемых источников энергии и промышленной сети // Инженерный вестник Дона, 2013.
10. Чивенков А.И., Севастьянов В.В., Трофимов И.М., Вихорев Н.Н., Гедифа А. Соотношение параметров входных цепей UPFC // Инженерный вестник Дона, 2016, №4