

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА «ИЛМИЙ-
ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МАСЪУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН ЖАМИЯТ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ШАИСМАТОВ САЙФУЛЛА ЭРГАШЕВИЧ

**ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ СИФАТИНИ
БОШҚАРИШ УСУЛЛАРИ, БОШҚАРУВ ТИЗИМЛАРИ
АЛГОРИТМЛАРИ ВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛ ТЕКШИРУВЛАР**

**05.05.02 – Электротехника. Электроэнергетик станциялар, тизимлар. Электротехник
комплекслар ва қурилмалар**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on
technical sciences**

Шаисматов Сайфулла Эргашевич

Электр тармоқларида электр энергия сифатини бошқариш усуллари,
бошқарув тизимлари алгоритмлари ва экспериментал текширувлар..... 3

Шаисматов Сайфулла Эргашевич

Методы, алгоритмы и экспериментальные исследования систем
управления качеством электроэнергии в электрических сетях..... 25

Shaismatov Sayfulla Ergashevich

Methods, algorithms and experimental studies of power quality
control systems in electrical networks 45

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of pulished works 48

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА «ИЛМИЙ-
ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МАСЪУЛИЯТИ ЧЕКЛАНГАН ЖАМИЯТ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ШАИСМАТОВ САЙФУЛЛА ЭРГАШЕВИЧ

**ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ СИФАТИНИ
БОШҚАРИШ УСУЛЛАРИ, БОШҚАРУВ ТИЗИМЛАРИ
АЛГОРИТМЛАРИ ВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛ ТЕКШИРУВЛАР**

**05.05.02 – Электротехника. Электроэнергетик станциялар, тизимлар. Электротехник
комплекслар ва қурилмалар**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.4.PhD/T923-сон билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент Давлат Техника университетида бажарилган.
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз тилида (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdfu.uz) ва «ZiyoNET» ахборот-таълим порталида (www.zionet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Аллаев Қаҳрамон Раҳимович
техника фанлари доктори, профессор, академик

Расмий оponentлар:

Гайилов Тулкин Шерназарович
техника фанлари доктори, профессор

Сытдыков Рашид Абдурахманович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Тошкент темир йул мухандислари институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва "Илмий-техника маркази" МЧЖ ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.03.03-рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «26» 12 соат 19⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2). Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail:tstu_info@tdfu.uz.

Диссертация билан Тошкент Давлат Техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиб чиқиш мумкин (69-рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2). Тел.: (99871) 246-03-41.

Диссертация автореферати 2018 йил «14» 12 да тарқатилди.
(2018 йил «14» 12 даги 12-сон тарқатиш баённомаси).



[Signature]

Р.А. Захидов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси ўринбосари,
т.ф.д., профессор, академик

[Signature]
О.Х. Ишназаров
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
т.ф.д., к.и.х

[Signature]
М.И. Ибадуллаев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги
илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жахонда электр энергия сифатини аниқлаш, бошқариш ва йўқотишларни пасайтириш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Дунё миқёсида «учинчи ва бешинчи гармоника токи бўйича гармоник таркиб даражаси айрим ҳолатларда 20%дан юқори бўлади, бу эса тармоқлардаги йўқотишларни кўпайтиради. Кўп миқдорли маиший электрон ускуналардан фойдаланиладиган жойлардаги юкланишлар учун юқори гармоникаларнинг энг юқори даражаси хосдир¹». Шу билан бирга жахонда электр энергиянинг сифат кўрсаткичларини бошқаришга, шу жумладан юқори гармоникаларни камайтиришга катта эътибор қаратилмоқда.

Жахонда тақсимловчи электр тармоқларида гармоникаларни тадқиқ қилиш усулларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишларини амалга ошириш, электр тармоқлар қисмларидаги юқори гармоникалар таъсирида пайдо бўладиган қўшимча йўқотишларни ҳисоблаш усулларини яратиш, ночизиқ юкламали тақсимловчи электр тармоқларида электр энергия сифатини бошқариш, техник воситалар – актив ва пасив филтрларни такомиллаштириш, электр тармоқларида электр энергиянинг сифат кўрсаткичларини ўлчаш қурилмаларини такомиллаштириш долзарб масалалардан ҳисобланади. Шу жihatдан «Малика-01» қурилмани юқори гармоникаларни ўлчаш имконини берувчи блок ишлаб чиқиш зарур ҳисобланади.

Республикамиз иқтисодиётнинг энг муҳим тармоқларидан бири ҳисобланган энергетикани сифат жиҳатдан ривожлантиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу туфайли электр тармоқларида электр энергияни ҳисобга олишда муайян ютуқларга эришилди, шу жумладан, электр энергияни назорат қилиш ва ҳисобга олишнинг самарали автоматлаштирилган тизими яратилмоқда. Шу билан бирга, электр тармоқларида электр энергиянинг сифатини ошириш ва йўқотишларни пасайтириш қурилмаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида асосий вазифалар орасида қуйидагилар қайд этилган, жумладан «янги электр ишлаб чиқарувчи қувватларни қуриш ва амалдаги қувватларни замонавийлаштириш асосида аҳолининг электр энергия билан таъминланишини яхшилаш, паст вольтли электр тармоқларини ва трансформатор пунктларини янгилаш, шунингдек аҳолининг бошқа ёнилғи-энергетик ресурслари билан таъминотини яхшилаш бўйича чора-тадбирларни амалга ошириш ва тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш»² вазифалари белгиланган. Ушбу вазифаларни бажарилишида, шу жумладан тақсимловчи электр тармоқларида

¹De Lima Tostes M., Bezerra U., Silva R. Impacts over distribution grid from the adoption of distributed harmonic filters on low-voltage customers // IEEE transactions on Power delivery. – 2005. – Vol. 20. – No. 1. – P. 384–389.

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февральдаги №ПҚ-4947 «Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида».

кучланиш ва тоқларнинг юқори гармоникаларини аниқлаш ва баргараф қилиш қурилмаларини яратиш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ-4947-сон Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2016 йил 23 ноябрдаги «2017-2021 йиллар даврида паст вольтли электр тармоқларини янада замонавийлаштириш ва янгилаш бўйича дастур тўғрисида»ги ПҚ-2661-сон Қарори, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2010 йил 13 декабрдаги «2011-2015 йилларда паст вольтли электр тармоқларини замонавийлаштириш ва янгилаш бўйича дастур тўғрисида»ги 294-сон Қарорларини, ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларида белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республикада фан ва технологияларни ривожлантириш устувор йўналишларига мувофиқлиги. Мазкур тадқиқот Республикада фан ва технологияларни ривожлантириш устувор йўналишига мувофиқ бажарилган: II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик».

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Электр тармоқларида электр энергия сифатини аниқлаш ва бошқаришга қаратилган илмий тадқиқотлар дунёнинг етакчи илмий марказларида ва олий таълим муассасаларида, шу жумладан University of Michigan (АҚШ), University of Waterloo (Канада), Technical University of Imenau (Германия), Tokyo technology institute (Япония), University of Cantabria (Испания), Polytechnic University of Milan (Италия), University of Canterbury (Янги Зеландия), Электродинамика институти (Украина), НИУ «Москва энергетика институти» (Россия), шунингдек Ўзбекистондаги: «Илмий-техника маркази» МЧЖ ва «Ўзбекистон энергия маркази», Тошкент ДТУ ва бошқа таълим муассасаларида кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

В.А. Веников, Н.А. Мельников, И.В. Жежеленко, В.И. Идельчик, С.Ю. Гамазин, Ю.С. Железко, И.И. Карташев, В.Н. Тульский каби машҳур олимлар, шунингдек Х.Ф. Фазилов, Ж.А. Абдуллаев, Т.Х. Насиров, К.Р. Аллаев, А.А. Хошимов, Т.М. Кодиров, Т.Ш. Гайибов, Ф.А. Хошимов каби маҳаллий олимлар электр тармоқларида электр таъминоти самарадорлигини ошириш, электр энергия йўқотилишларини пасайтиришдан иборат илмий муаммоларни ҳал қилишда катта ҳисса қўшдилар. Таксимловчи электр тармоқлардаги юқори гармоникалар таъсирида электр энергия йўқотилишларини пасайтириш ва сифатини яхшилаш муаммосига бағишланган тадқиқотлар ушбу тармоқлар иш режимларини бошқариш вазифаларини ҳал қилиш билан бевосита боғлиқ.

А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов, В.А. Агунов, Х. Акаги, Дж. Арриллага, Л.А. Моран, К.В. Кумару, С.П. Литран каби машҳур чет эллик муаллифларнинг илмий ишлари электр энергия сифатини бошқаришнинг самарали усулларини тадқиқ қилиш ва ишлаб чиқишга бағишланган. Аммо етарли даражада ўрганилмаган. Сезиларли ютуқларга қарамай, юқори гармоникалар таркиби пайдо бўлганда электр энергия сифатини бошқаришнинг ишлаб чиқилган янги

усулларини такомиллаштириш ва янги самарали усулларини яратиш муаммоси долзарб бўлиб қолмоқда. Мазкур илмий иш юқори гармоникалар таъсирида йўқотишлар пайдо бўлишини таҳлил қилиш асосида электр энергия сифатини бошқариш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишга, шунингдек тақсимловчи электр тармоқларида электр энергиянинг сифат кўрсаткичларини ўлчаш қурилмаларини ишлаб чиқишга бағишланган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий-техник тадқиқот ишлари режасининг (2018-2020), ОТ-Атех-2018-370 «Электр тармоқларида энергия самарадорлигини ошириш учун кўп функционалли қурилмани тадқиқ қилиш ва ишлаб чиқиш», шунингдек 9/15-сон «0,4 кВ тақсимловчи электр тармоқларида электр энергия сифатини таъминлаш усуллари, дастурий ва аппарат воситаларини ишлаб чиқиш» илмий-техник тадқиқоти (2015 й.) доирасида бажарилган.

Тадқиқот мақсади замонавий электр тармоқларида гармоника таркибларини тажрибалар утказиш орқали электр энергия сифатини бошқариш усуллари ва алгоритмларини таҳлил қилиш ва такомиллаштиришдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

Электр тармоқларида юқори гармоника таркибларини тадқиқ қилишнинг замонавий усулларини таҳлил қилиш;

Тақсимловчи электр тармоқларида гармоникалар тадқиқот усулларини мукамаллаштириш;

Электр тармоғи қисмларидаги юқори гармоникалар таъсирида пайдо бўладиган қўшимча йўқотишларни ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш;

Юқори гармоникаларни фильтрациялаш ва компенсациялаш замонавий техник воситаларини таҳлил қилиш;

Тақсимловчи электр тармоқларида тоқлар ва кучланишларнинг юқори гармоникаларини экспериментал текшириш;

Юқори гармоникалар ҳисобга олинган ҳолда, «Malika-01» ўлчагичининг функционал имкониятларини ошириш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида 0,4 кВ тақсимловчи электр тармоқлари ва улардаги йўқотишлар олинган.

Тадқиқотнинг предмети тақсимловчи электр тармоқларида электр энергия сифатини бошқариш ва юқори гармоникалар таъсирида пайдо бўладиган қўшимча йўқотишларни ҳисоблаш усуллари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида белгиланган вазифаларни ҳал қилишда назарий электротехниканинг асосий қоидалари, электр тармоқлари ва тизимлари назариялари, электр занжирларини таҳлил қилишнинг замонавий усуллари математик аппарати, математик элементлар жадвали (матрица) асосидаги таҳлил, актив ва пассив RLC-занжирлари назарияси, шунингдек гармоник таҳлилдан фойдаланилди.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

бир фазали ва уч фазали электр тармоқларида юқори гармоникалар аниқланиши тугунли тенгламалар асосида такомиллаштирилган;

электр тармоғи қисмларидаги кўшимча йўқотишларни баҳолаш алгоритми юқори гармоникалар таъсиридаги пайдо бўладиган реактив қувватни ифодаловчи боғланишлар асосида такомиллаштирилган;

ночизиқ юкламали электр тармоқларида электр энергия сифатини бошқариш усули актив ва пассив филтрлар асосида такомиллаштирилган;

юқори гармоника таркиблари тартибини Фурье дискрет ва тез ўзгаришлар усуллари асосида ҳисоблаш алгоритми ва дастури такомиллаштирилган ҳамда уларнинг қийматлари аниқланган;

“Malika-01” электр ўлчагичи учун Фурье дискрет ва тез ўзгаришлар усуллари асосида юқори гармоникалар ва реактив қувватни ҳисобга олувчи кўшимча блок ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

юқори гармоникаларни фильтрациялаш ва компенсациялаш замонавий воситаларидан фойдаланилган ҳолда, таъминловчи тармоқларда талаб қилинган электр энергия сифатини таъминлайдиган электр энергия сифатини бошқариш усули ишлаб чиқилган;

электр тармоқларида электр энергиянинг сифат кўрсаткичларини ўлчаш учун мўлжалланган «Malika-01» қурилмаси Фурье дискрет ва тез ўзгаришларни ҳисоблаб чиқиш усулларида фойдаланилган ҳолда юқори гармоника таркибларини ҳисоблаш бўйича ишлаб чиқилган дастурли микропроцессорли блок қўшилган ҳолда такомиллаштирилди.

Олинган тадқиқот натижаларининг ишончлилиги электротехниканинг фундаментал қонунларига, электр тармоқлари ва тизимлари назарияларига асосланади, шунингдек назарий ва экспериментал ҳисоблашнинг ўзаро мувофиқлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти Фурье дискрет ва тез ўзгаришларни ҳисоблаб чиқиш усуллари қўлланган ҳолда ноцизиқли ва носимметрик юкланишларни ўз ичига олган электр тармоқларида электр энергиянинг сифат кўрсаткичлари тадқиқотлари билан тавсифланади.

Мазкур иш натижаларининг амалий аҳамияти юқори гармоникаларни фильтрациялаш ва компенсациялаш замонавий воситаларидан фойдаланилган ҳолда электр энергия сифатини бошқариш усули ишлаб чиқилганлиги ва электр тармоқларида электр энергиянинг сифат кўрсаткичларини ўлчаш учун мўлжалланган «Malika-01» қурилмаси такомиллаштирилганлигидан иборат бўлиб, бу юқори гармоникалар оқибатида йўқотишларни пасайтириш бўйича чоралар кўриш имконини беради.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Электр тармоқларида электр энергия сифатини бошқариш бўйича таклиф қилинган усуллар, алгоритмлар ва экспериментал натижалар асосида:

электр тармоғи қисмларида юқори гармоникалар таъсирида пайдо бўладиган кўшимча йўқотишларни баҳолаш бўйича ишлаб чиқилган усул, юқори функционал имкониятларга эга ишлаб чиқилган ва такомиллаштирилган «Malika-01» ўлчаш воситаси «Ўзбекэнерго» АЖ корхоналарида, шу жумладан Тошкент шаҳар электр тармоқлар корхоналарида татбиқ қилинган

(«Ўзбекэнерго» АЖ 2018 йил 03 декабрдаги РМ–01–21/6845-сон маълумотномаси). Натижада носимметрик режимларда юқори гармоникалар таъсирида пайдо бўладиган қўшимча йўқотишларни аниқлаш ва 2-3%га камайтириш имконини берди;

юқори гармоникалар ҳисобга олинган ҳолда реактив қувват йўқотилишлари ҳисоблаш алгоритми асосида ишлайдиган 05.13919-2018-сон «Malika-01» ўлчаш воситасини «Ўзстандарт» агентлиги томонидан метрологик аттестацияси ўтказилган («Ўзстандарт» агентлигининг 2018 йил 24 октябрдаги 1608-сон маълумотномаси). Натижада юқори гармоникаларни таҳлил қилиш имкони пайдо бўлди.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 5 та илмий-амалий конференцияда, жумладан, 2 та халқаро конференцияда ва 3 та Республика илмий-амалий конференциясида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 12 та илмий иш, шу жумладан, чет эл нашрларида 3 та мақола, Республика журналларида 8 та мақола, 1 та монография чоп этилган ва Ўзбекистон Республикасининг фойдали модель учун 1 та патенти олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 118 бетни ташкил этади.

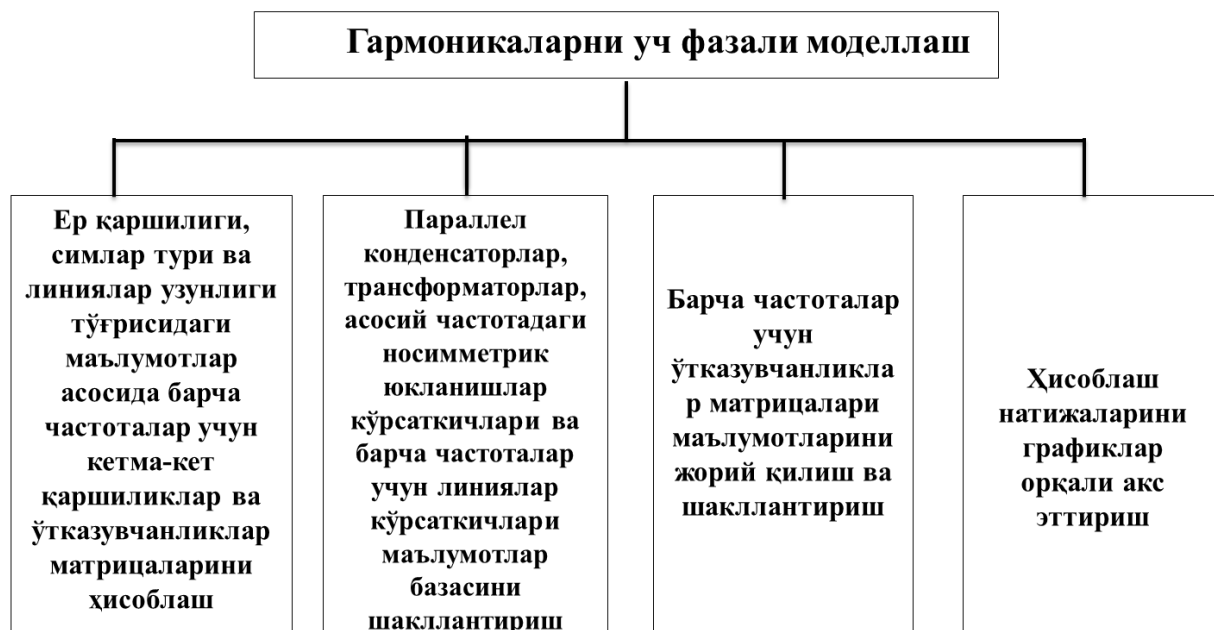
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотнинг долзарблиги ва муҳимлиги асосланади, мақсад ва вазифалар белгиланган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланади, тадқиқотнинг Республика фан ва технологияларини ривожлантириш устувор йўналишларига мувофиқлиги кўрсатилган, тадқиқот натижаларининг илмий янгилиги ва амалий аҳамияти баён қилинади, олинган тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти, уларнинг амалиётга татбиқ қилиниши, шунингдек эълон қилинган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар ёритиб берилган.

Диссертациянинг “**Электр энергия сифати бўйича муаммоларнинг замонавий ҳолати**” деб номланган биринчи боби ўрнатилган режимларни ҳисоблаш усулларини таҳлил қилишга ва турли мураккабликдаги электр тармоқларида юқори гармоникалар пайдо бўлишини тадқиқ қилишга бағишланган. Электр тизимларнинг носимметрик режимларини тадқиқ қилиш: узел кучланишларини мувозанатлашнинг фундаментал усуллари, симметрик таркиблар усули, шунингдек электр тармоқларда тоқлар ва кучланишларнинг юқори гармоникалари таркибини аниқлаш учун Фурье дискрет ва тез ўзгаришларни ҳисоблаб чиқиш усулларининг назарий асослари келтирилган.

Замонавий электр энергетика тизимларида барча саноат тармоқлари, шунингдек бошқа электр энергия истеъмолчилари томонидан кучли тоқда ишлайдиган электрон ускуналар жадал ишлатилиши туфайли ночизиқли юкланишлар ёйилишининг узлуксиз ўсиб бориши кузатилмоқда. Бундай курилмалар паст фойдаланиш харажатларида оптимал унумдорликни

Уч фазали сифатли электр энергия билан таъминотни ривожлантириш ахборот тайёрлаш ва натижаларни акс эттиришда катта кучланишларни талаб қилади.



2-расм. Уч фазали электр тармоғида юқори гармоникаларни тадқиқ қилиш таркибий схемаси

1 ва 2-расмларда келтирилган таркибларга асосланган электр тармоқларида юқори гармоникалар таркибларини ҳисоблаш усулларида “Malika-01” электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш воситалари учун алгоритмлар ва дастурий таъминот ишлаб чиқишда фойдаланилган.

Фильтрлардан фойдаланиш электр тармоқларида юқори гармоникаларни пасайтиришнинг энг самарали усули ҳисобланади. Мазкур ишда мавжуд фильтрларнинг пасив, актив ва гибрид турлари таҳлил қилинган. Бунда пасив фильтрлар 3- ва 5-гармоникани босиш учун қўлланиши мумкин, қолган тоқ гармоникаларни босиш (компенсациялаш) учун эса актив фильтрлар қўлланади.

Диссертациянинг **“Юқори гармоникалар таъсирида пайдо бўладиган йўқотишларни ҳисоблаш усуллари”** деб номланган иккинчи бобида электр энергиянинг сифат кўрсаткичларини замонавий ўлчаш воситаларини ишлаб чиқишда фойдаланилган юқори гармоникалар ҳисобга олинган ҳолда реактив қувват йўқотилишларини ҳисоблаш алгоритмлари тақдим этилган.

Ночизикли вольт-ампер тавсифли электроприемниклар синусоидал шаклдан жиддий фарқ қиладиган сарфланадиган токни бузиб кўрсатади. Носинусоидал токнинг электр тармоғи қисмлари бўйича ўтиши уларда ток эгри чизиғи гармоника таркиби билан аниқланадиган кучланишнинг қўшимча пасайишини юзага келтиради, айнан шу тармоқнинг у ёхуд бу нуктасидаги кучланишнинг синусоидал шакли бузиб кўрсатилишига сабаб бўлади.

Эркин шаклдаги даврий токнинг фаол қуввати давр мобайнидаги ўртача қувват сифатида аниқланади:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T UI dt. \quad (1)$$

Ҳақиқатдан ҳам, агар кучланиш ва токнинг оний қийматлари тригонометрик ажралишлар шаклида ифодаланса, қуйидаги тенглама ҳосил бўлади:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\sum_{n=1}^{\infty} U_n \sin(n\omega t) \right] \left[\sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \right] dt. \quad (2)$$

Оний қийматлар ҳосил бўлишининг давр мобайнидаги ўртача қиймати турли частотали синусоид нолга тенг бўлиб, интеграллангандан сўнг:

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} U_n I_n \cos \varphi_n = \sum_{n=1}^{\infty} P_n. \quad (3)$$

Ушбу ифодадан шундай муҳим хулоса қилиш керакки, носинусоидал токнинг ўртача қуввати алоҳида гармоникалар ўртача қувватлари миқдорига тенг бўлади. Шундай қилиб, ифода (3) фаол қувват йўқотилишларини ҳар бир гармоника бўйича ҳам индивидуал, ҳам интеграл тарзда ҳисоблаб чиқиш имконини берган ҳолда шаклланган талабларга тўлиқ жавоб беради.

3-формула бўйича аниқланадиган фаол қувватдан ташқари, носинусоидал тоқлар ва кучланишлар режимида қуйидаги формула бўйича аниқланадиган Q реактив қувват ҳам иштирок қилади:

$$Q = \sum_{n=1}^n Q_n = \sum_{n=1}^n U_n I_n \sin \varphi_n. \quad (4)$$

Бироқ реактив қувват ҳисоблаб чиқиладиган тармоқ қисмида яна битта таркибий қувват – T бузиб кўрсатиладиган қувват “пайдо бўлади”:

$$T = \sqrt{\sum_{n \neq m} U_n^2 I_m^2 + U_m^2 I_n^2 - 2U_n U_m I_n I_m \cos(\varphi_n - \varphi_m)}. \quad (5)$$

Бузиб кўрсатиладиган қувват реактив қувватнинг қўшимча таркибий қисми ҳисобланади ва электр тармоғи юқори гармоникалари мавжудлиги билан белгиланади. Бузиб кўрсатиладиган қувватнинг физикавий моҳияти шундан иборатки, ночизиқли элемент мавжудлиги ток эгри чизигининг шундай деформациясига шароит яратадики, бунда кучланиш ва ток ўртасидаги фаза силжиши синусоидларга (ночизиқли элементсиз) эквивалент тарзда ошади, шунингдек ток шакли ўзгаради. Носинусоидал тоқлар тармоқ элементларида кучланишнинг синусоидлари бузилишини пайдо қилган ҳолда кучланишнинг носинусоидал пасайишини юзага келтиради.

Реактив қувват носинусоидал ўлчамларда қуйидагига тенг:

$$Q = \pm \frac{1}{2\pi} \oint i(u) du; \quad Q = \pm \frac{1}{2\pi} \oint u(i) di. \quad (6)$$

Реактив қувватнинг интеграл қийматлари айрим муайян частотага келтирилганда унинг миқдори қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$Q = \sum_{n=1}^n \frac{\omega_n}{\omega_{\Pi}} Q_n, \quad (7)$$

бунда ω_n – гармоника частотаси, ω_{Π} – муайян келтириш частотаси. Бунда n тартибдаги гармоника учун:

$$Q = \sum_{n=1}^n nQ_n. \quad (8)$$

Мазкур ифодалардан шундай хулоса қилиш мумкинки, алоҳида гармоникалар реактив қувватлари ноэквивалент бўлиб, улар частотасига пропорционал коэффициентли умумий реактив қувват билан ифодага киритилади.

Таркибида чизикли ва ночизикли элементлар мавжуд шохобланган занжирлар учун реактив қувват мувозанати қуйидаги ифода билан тавсифланади:

$$U_1 I_1 \sin \varphi_1 = \sum_{n=1}^n nQ_{(n)} + \sum_{n=1}^n n \Delta U_{S(n)} I_{(n)} \sin \varphi_{S(n)}, \quad (9)$$

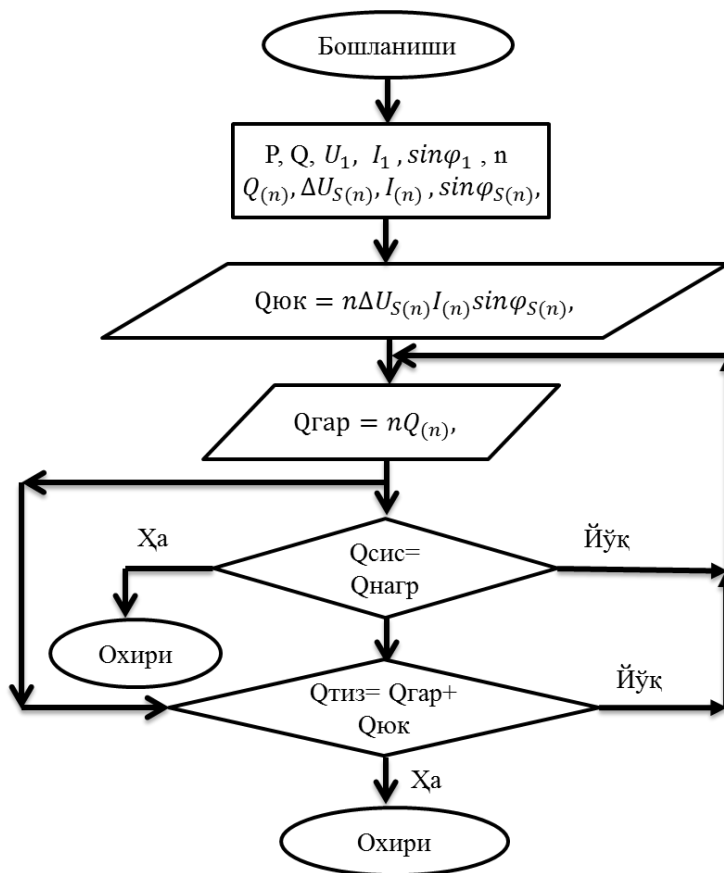
бунда $U_1 I_1 \sin \varphi_1$ – таъминот манбаи реактив қуввати; $\sum_{n=1}^n nQ_{(n)}$ – ночизикли юкланиш реактив қуввати; $\sum_{n=1}^n n \Delta U_{S(n)} I_{(n)} \sin \varphi_{S(n)}$ – тармоқ элементларида реактив қувват йўқотилиши.

Ночизикли юкланиш реактив қувватини ва тармоқ элементларида реактив қувват йўқотилишини ҳисобга олиш имконини берадиган асосда (9) манбанинг реактив қувватини ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган. Бу носимметрик кучланиш тизимли тармоқдан таъминланадиган бир қатор электроприемниклар ишлашида ўтувчи манбанинг реактив қувватини янада объектив баҳолаш имконини беради (3-расм).

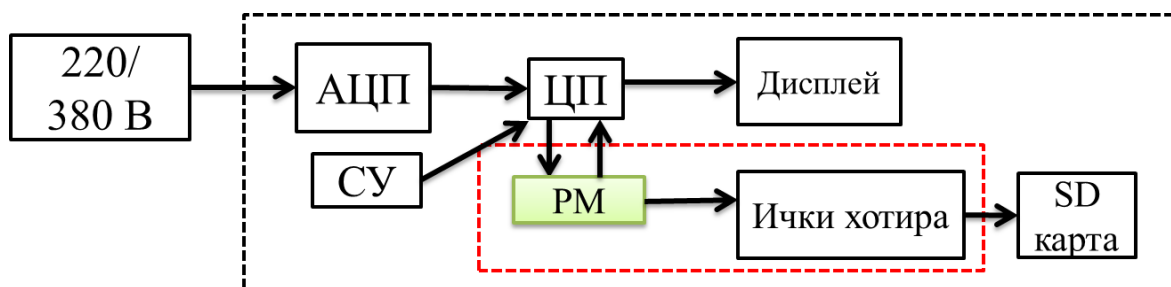
Юқори гармоникалар ҳисобга олинган ҳолда реактив қувват йўқотилишларини ҳисоблаш алгоритмининг тақдим қилинган таркибий схемаси (3-расм) қуйидаги тарзда ишлайди. Олинган дастлабки маълумотлар бўйича тармоқ элементларида реактив қувват йўқотилиши аниқланади ва манбадан реактив қувват қиймати билан солиштирилади, агар ушбу қийматлар тенг бўлса, бунда ҳисоблаш тугатилади. Агар шарт бажарилмаса, бунда мавжуд гармоникалар билан ночизикли юкланиш реактив қуввати аниқланади ва тармоқ элементларида реактив қувват йўқотилишлари билан умумлаштирилади, сўнгра ушбу қийматлар манбадан реактив қувват қиймати билан солиштирилади. Агар ушбу қийматлар тенг бўлса, бунда ҳисоблаш тугатилади. Агар шарт бажарилмаса, бунда талаб қилинадиган мувозанат шартлари бажарилгунгача мавжуд гармоникалар билан ночизикли юкланиш реактив қуввати такроран аниқланади.

Муаллиф томонидан электр тизимида ток ва кучланишларнинг юқори гармоника таркибларини ҳисобга олиш учун замонавий микропроцессорли базада бажарилган “Malika-01” кўп функционалли қурилмаси модернизацияланган. 4-расмда тақдим қилинган РМ блоки ёрдамида юқори

гармоникалардан йўқотишларни ҳисобга олувчи реактив қувват йўқотилишларини ҳисоблаш алгоритми яратилган.



3-расм. Юқори гармоникалар ҳисобга олинган ҳолда реактив қувват йўқотилишларини ҳисоблаш таркибий схемаси



АЦП – кириш занжирлари блоки, СУ – бошқариш тизими (клавиатура), ЦП – марказий процессор; РМ – микропроцесор юқори гармоникалар ҳисобга олинган ҳолда реактив қувват йўқотилишлари ҳисобини бажаради.

4-расм. “Malika-01” қурилмасининг такомиллаштирилган тузилиши

Диссертациянинг “Электр энергиянинг сифат бошқарувини моделлаш” деб номланган учинчи бобида тасодифий юкланиш ўзгаришларидан носимметрик ва носинусоидал кучланишларда электр энергиянинг сифат бошқаруви усули ишлаб чиқилган.

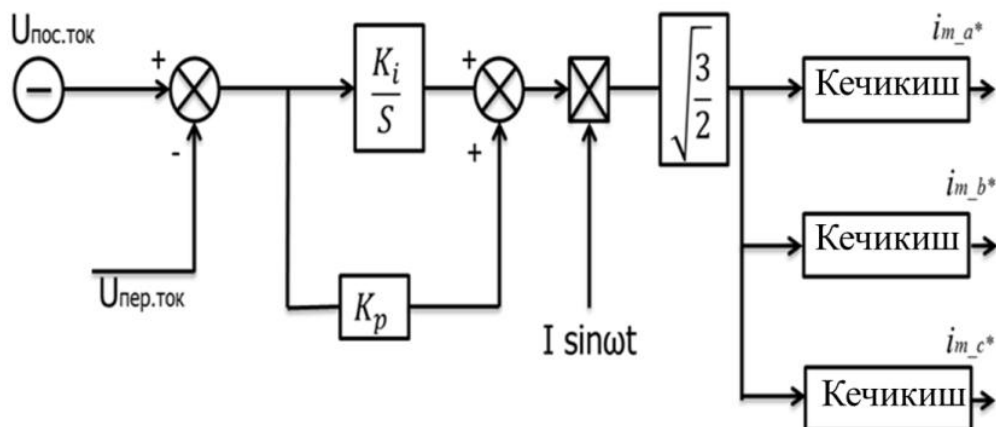
Носимметрик ва носинусоидал кучланишларда электр энергия сифат бошқарувининг иккита усули мавжуд. Биринчи усул актив ва реактив қувватларнинг оний қийматларини аниқлашга асосланган, иккинчи усул эса уч фазага занжир қувватининг частота соҳасида Фурье ажралишини таҳлил қилишга асосланган.

Ишлаб чиқилган актив филтрани бошқариш усули манба тоқларини ҳисоблаб чиқишга қаратилади ва компенсацияланган манба тоқлари, юкланиш хусусиятига қарамай, манба кучланишига эга фазада ҳам синусоидал бўлишини талаб қилади. Ушбу усул ўзгартиргич тоқларига эмас, балки манба тоқларига қаратилади. Манбанинг фаза тоқи синусоидал номинал тоқдан кейин келиши $i_{m_a^*}$ ва фаол фаза асосий тоқининг фаза таркибига тенг бўлиши керак:

$$\left. \begin{aligned} i_{m_a^*} &= I_1 \sin(\omega t) \\ i_{m_b^*} &= I_1 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ i_{m_c^*} &= I_1 \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{aligned} \right\} . \quad (10)$$

Агар манба кучланиши ёки юкланиш ҳолати ўзгарса, манба ва юкланиш ўртасидаги қувват мувозанати сақланмайди. Шу туфайли қувват фарқи конденсатор қуввати билан компенсацияланади. Бу номинал кучланишдан пастроқ конденсаторнинг ўртача кучланиши ўзгаришига олиб келади.

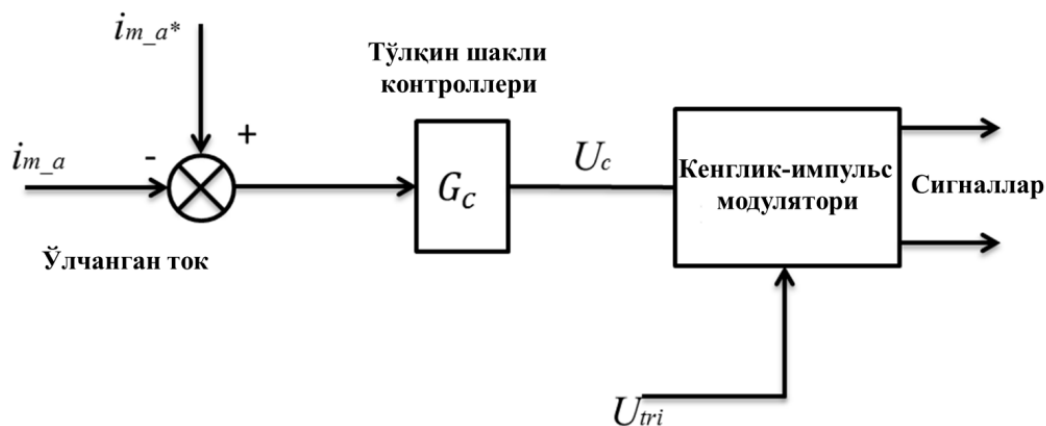
Бошқарув тизими кўп контурли тузилишдан фойдаланади. Ташқи контур ўзгармас ва ўзгарувчан тоқ контроллерларидан иборат. Ўзгармас тоқ контроллеридан таъминотни бошқариш ва кучланишни ростлаш учун фойдаланилади. Ўзгармас кучланиш контроллери манба тоқининг талаб қилинадиган амплитудасини шакллантиради $i_{m_a^*}$. 5-расмда кўрсатилган схемада $U_{\text{ўзгармас кучланиш}}$ ўзгармас тоқ кучланиши ўлчанади ва $U_{\text{ўзгарувчан тоқ ўзгарувчан тоқ манбаи кучланиши}}$ билан солиштирилади. Ўзгармас тоқ кучланиши ўлчанади ва ўзгарувчан тоқнинг гармоник таркиблари филтёрланади.



5-расм. Ўзгармас тоқ кучланишини бошқариш

Нобаланс ўлчами пропорционал интеграл (ПИ) регуляторга узатилади. ПИ-регулятордан чиқиш керакли тармоқ тоқига мувофиқ сифатида баҳоланади.

Агар ўзгармас ток бўғини конденсаторидаги кучланиш манба кучланишидан камроқ бўлса, бу манбадан узатиладиган амалдаги қувват юкланиш мувозанати учун етарли эмаслигини аниқлатади. Шундай қилиб, тармоқ токи ва тармоқдан узатиладиган амалдаги қувват юкланишдаги эҳтиёжни таъминлаш учун оширилади. Агар ўзгармас ток бўғини конденсаторидаги кучланиш манба кучланишидан кўпроқ бўлса, тармоқдан узатиладиган токни камайтириш талаб қилинади. Актив фильтр (АФ) орқали манбанинг компенсацияланган токи юкланиш тавсифлари ва тармоқ шароитларидан қатъи назар синусоидал ва симметрик бўлади.

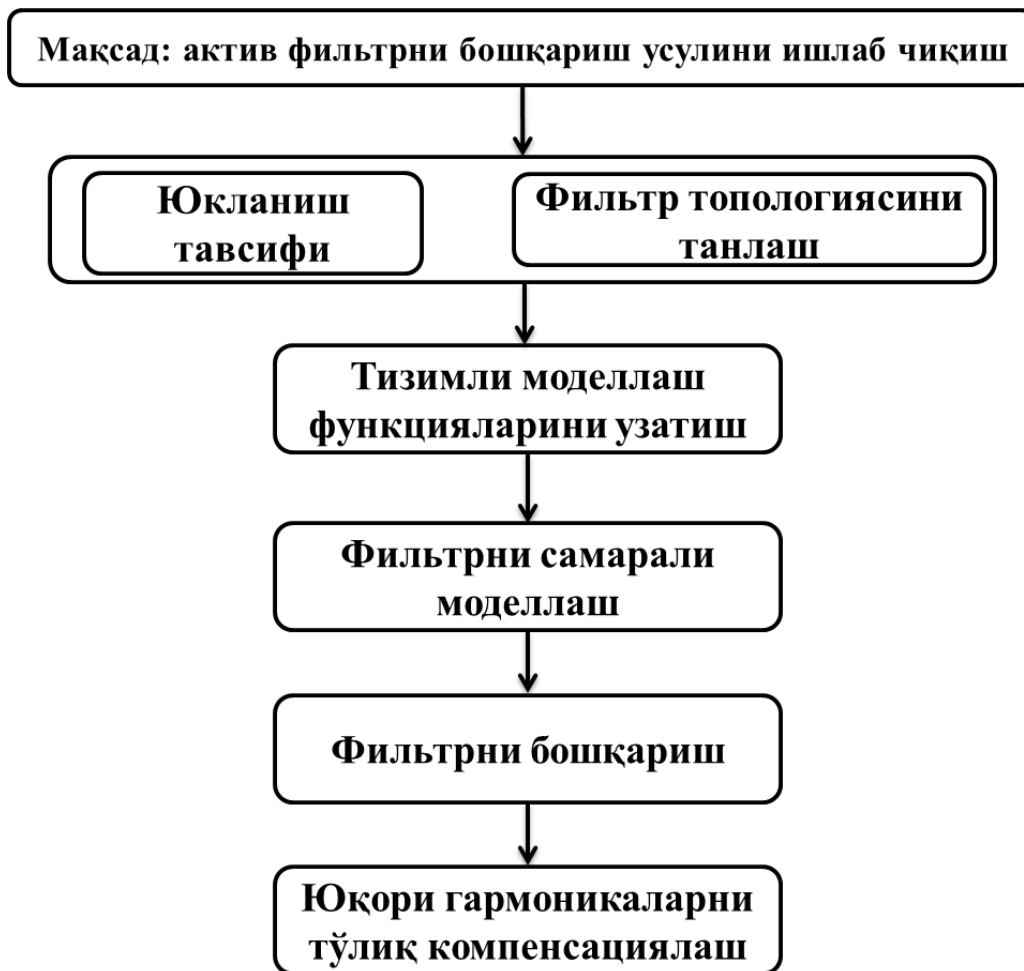


6-расм. Ўзгарувчан ток контроллери

Манба токлари $i_{m_a^*}$, i_{m_a} эталон ток билан ўлчанади ва солиштирилади $i_{\text{эт.ток}}$ ҳамда нобаланслар асосида кенглик-импульс модулятори кучланиши алмашлаб уланиши шаклланади ($k = a, b, c$) (6-расм).

Электр энергия сифат бошқарувининг умумлаштирилган усули таклиф қилиниб, ундан актив филтрни танлаш учун фойдаланилади. Ушбу усул қуйидаги босқичлардан иборат:

Биринчидан, тизимнинг ички қаршилиги тўғрисида ахборот шаклланади, умумий уланиш нуқтаси белгиланади. Иккинчидан, юкланиш тури ва гармоникалар манбаи аниқланади, сўнгра актив филтър тизими топологияси танланади. Шундан сўнг тизим модели тузилади ва кучли актив филтър, алмашлаб улаш пульсациялари филтри, номинал энергияли хотира қурилмаси каби тизимнинг турли қисмлари, шунингдек кўрсаткичлар: алмашлаб улаш частотаси, филтър ўтказиш чизиғи ва ҳ.к. танланади. Вазиятга қараб, турли бошқарув усулидан фойдаланиш мумкин, бироқ бунда унга аниқлик киритиш талаб қилинади. Қувват оқими, юкланиш ва кучланиш токи гармоникалари тўғрисида тасаввурга эга бўлган ҳолда тизим модели тузилади (актив филтърсиз ва актив филтърли). Сўнгра танланган топологияга мувофиқ актив филтър танланади ва усул юқори гармоникаларни компенсациялаш орқали текширилади. Электр энергия сифат бошқаруви усулининг блок-схемаси 7-расмда келтирилган.



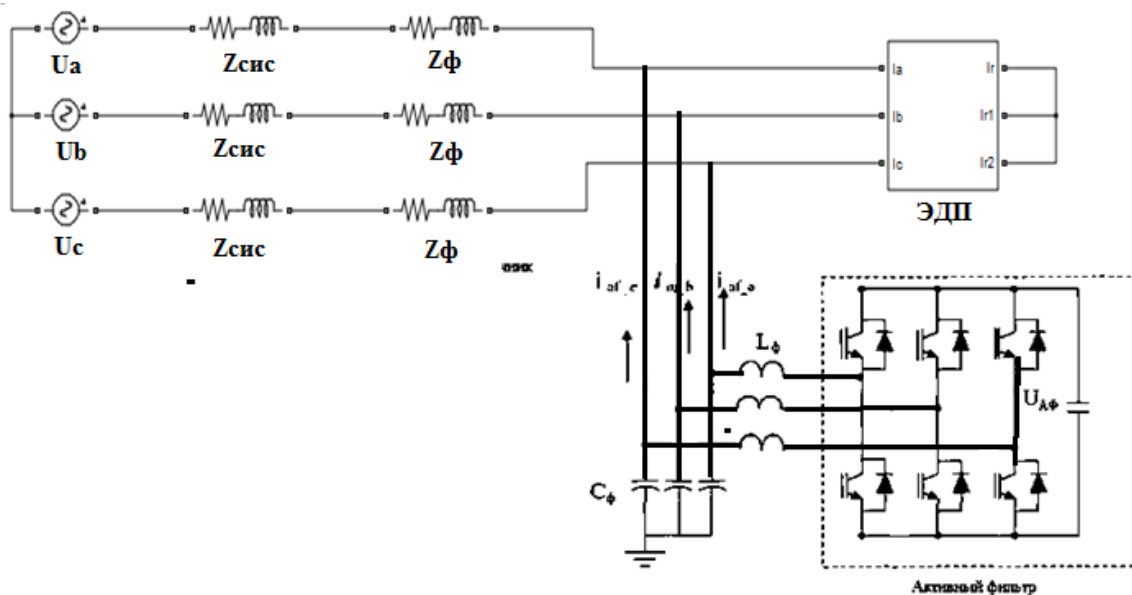
7-расм. Электр энергия сифат бошқаруви блок-схемаси

Юқори гармоникаларни таҳлил қилиш учун электр ёйли печь шаклида ночизик юкланишли тақсимловчи тармоқ модели тузилган. Ночизикли юкланиш электр энергия сифати билан боғлиқ муаммоларга олиб келади, ток ва кучланиш гармоникалари, шунингдек кучланиш фликери пайдо бўлади. Масалан, электр ёйли печь токнинг тоқ ва жуфт гармоникаларини ишлаб чиқаради. Ток гармоникалари тизимнинг ички қаршилиги билан ўзаро таъсирланиб, электр тармоғида кучланиш гармоникаларини ишлаб чиқаради. Ушбу ток ва кучланиш гармоникалари биргаликда тақсимловчи тармоққа уланган бошқа истеъмолчиларга таъсир кўрсатиши мумкин. Электр ёйли печь ҳам кучланиш фликери пайдо бўлиш манбаи ҳисобланади.

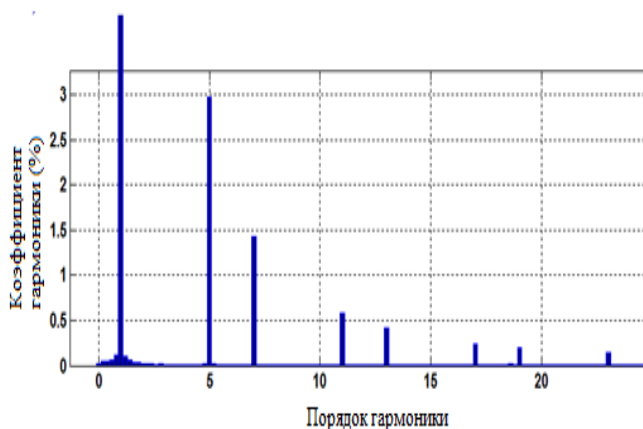
Мавжуд моделлар билан қабул қилинган электр тармоғидаги юқори гармоникаларни тадқиқ қилиш алгоритмлари ва моделлари тўғрилигини текшириш мақсадида қиёсий ҳисоблаш-экспериментал тадқиқотлар ўтказилган. 8-расмда Simulink/ MATLAB муҳитидан фойдаланиб уч фазали электр тармоғи моделини тузиш кўрсатилган.

8-расмда кўрсатилгандек, уч фазали таъминот манбаи модели 120° га сурилган учта бир фазали кучланиш (U_a , U_b ва U_c) манбаларини кўриб чиқиш орқали тузилади. Тизим қаршилиги ва электр ёйли печнинг ички қаршилиги фазалар учун учта элемент билан тақдим қилинган.

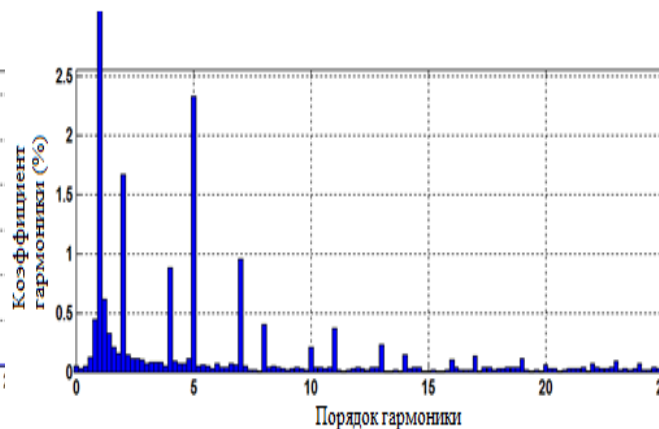
9 а ва б - расмда, тааллуқли равишда, мавжуд моделнинг ёйли ток гармоникалари спектрлари ва таклиф қилинаётган электр ёйли печь модели кўрсатилган.



8-расм. Simulink/MATLAB да таклиф қилинган электр ёйли печь моделини тузиш



а – мавжуд модель
(Гармоникалар коэффиценти (%)
Гармоникалар тартиби)



б – таклиф қилинаётган электр ёйли
печь модели
(Гармоникалар коэффиценти (%)
Гармоникалар тартиби)

9-расм. Ток гармоникалари спектрлари

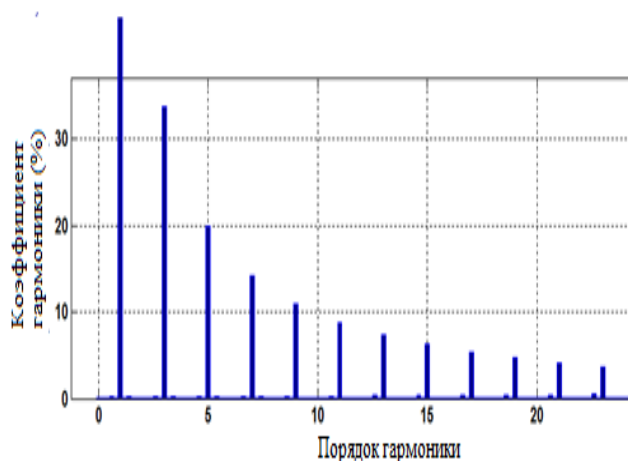
9-расмда ҳар икки моделнинг умумий гармоник бузилишлари ва кузатиладиган ёй токи деярли тенглигини кўриш мумкин (мавжуд модель учун 3,4% ва таклиф қилинаётган электр ёйли печь модели учун 3,22%). 1-жадвалда мавжуд модель ва таклиф қилинаётган электр ёйли печь модели ўртасида жорий гармоник таҳлилнинг солиштирилиши кўрсатилган. Шунингдек, ток гармоникаларнинг жуда кичик ўлчамлиги кузатилади, чунки электр ёйли печь ток гармоникаларни ишлаб чиқаради.

Ток ва кучланиш гармоникалари таҳлили

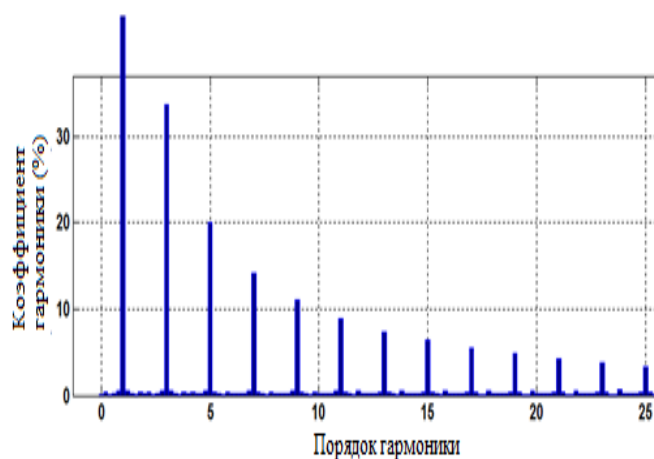
| Гармоникалар (%) | Ток бўйича | | Кучланиш бўйича | |
|-------------------------------------|---------------|--|-----------------|--|
| | Мавжуд модель | Таклиф қилинаётган электр ёйли печь модели | Мавжуд модель | Таклиф қилинаётган электр ёйли печь модели |
| | 117.5 | 120 | 305 | 288 |
| Токнинг умумий гармоник бузилишлари | 3.4 | 3.22 | 46.42 | 46.67 |
| 3- | - | - | 33.69 | 33.64 |
| 5- | 2.98 | 2.79 | 19.98 | 20.07 |
| 7- | 1.43 | 1.24 | 14.12 | 14.19 |
| 11- | 0.58 | 0.56 | 8.78 | 8.92 |
| 13- | 0.42 | 0.39 | 7.3 | 7.41 |
| 17- | 0.24 | 0.22 | 5.36 | 5.54 |
| 19- | 0.19 | 0.17 | 4.67 | 4.82 |
| 23- | 0.14 | 0.13 | 3.65 | 3.82 |
| 25- | 0.09 | 0.08 | 3.26 | 3.38 |

Ҳар бир гармоник тартибнинг гармоник бузилиши 1-жадвалда кўрсатилгандек асосий миқдордан % сифатида ифодаланади. Таклиф қилинган электр ёйли печь модели токнинг алоҳида гармоник таркибларини ишлаб чиқаради, улар амалда мавжуд маълумотларга ўлчам бўйича жуда яқин.

10 а ва б-расмда, тааллуқли равишда, мавжуд ва таклиф қилинаётган электр ёйли печь моделининг ёйли кучланиш гармоник спектри кўрсатилган.



а – мавжуд модель
(Гармоникалар коэффициенти (%)
Гармоникалар тартиби)



б – таклиф қилинаётган электр ёйли
печь модели
(Гармоникалар коэффициенти (%)
Гармоникалар тартиби)

10-расм. Кучланиш гармоникалари спектрлари

10-расмда ҳар икки моделнинг ёйли кучланишларида кузатиладиган умумий гармоник бузилишлари деярли бир хиллигини қайд этиш мумкин (мавжуд модель учун 46,42% ва таклиф қилинаётган электр ёйли печь модели учун 46,67%). Бу таклиф қилинаётган электр ёйли печь моделининг асосланганлигини яна бир марта тасдиқлайди. Кучланиш синусоидаллиги 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23 ва 25-тартиблар гармоник устама туфайли бузилади. 1-жадвалда мавжуд модель ва таклиф қилинаётган электр ёйли печь моделлари ўртасида гармоник кучланиш солиштирилиши кўрсатилган. Мавжуд модель ва таклиф қилинаётган электр ёйли печь моделлари ўртасида кузатиладиган умумий гармоник бузилишлар, тааллуқли равишда, 46,42% ва 46,67%ни ташкил этади, бу умумий гармоник бузилишлар ГОСТ ИЕЕЕ 519-1992 стандартлари талабларини бузади.

Деярли барча гармоник тартибларда кузатиладиган гармоник бузилишлар (3-тартибдан 25-тартибгача) ИЕЕЕ 519-1992 стандартлари талабларига нисбатан кўпроқ. Энг юқори чегараси – индивидуал гармоник тартиб учун 3%.

Диссертациянинг “**Электр истеъмоли хусусиятини ва электр энергия сифатини баҳолаш**” деб номланган тўртинчи бобида Ўзбекистон Республикасида амал қилувчи 130 кВт қувватли фотоэлектрик электр станциясининг экспериментал тадқиқотлари натижалари, шунингдек Юнусобод мавзеси савдо маркази юкланишлари келтирилган. Ҳар икки объект ўзгарувчан ток тармоғи гармоникалари манбалари ҳисобланади. «Malika-01» ўлчагичи ёрдамида амалга оширилган тармоқда несинусоидаллик билан боғлиқ кўрсаткичлар таҳлили келтирилади.

Гармоникалар коэффициентлари қийматларини ҳисоблаб чиқиш ГОСТ 32144-2014 стандартига мувофиқ амалга оширилади:

$$K_{I(n)} = \frac{I_{(n)}}{I_1} \cdot 100, \quad K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_1} \cdot 100, \quad (10)$$

бунда $I_{(n)}, U_{(n)}$ - ток ва асосий частота кучланишининг n гармоник таркиби амалдаги қийматлари. I_1, U_1 - ток ва асосий частота кучланишининг амалдаги қийматлари.

Ускуна 3 сония оралиқ вақт билан ҳар бир фаза бўйича ток ва кучланишнинг n гармоник таркиби (1-тартибдан 32-тартибгача) коэффициентлари қийматларини ўлчаш ва қайд этишга созланади. Ток ва кучланишнинг эгри чизиқлари синусоидаллиги бузилиш коэффициентларини ўлчаш ва қайд этиш 1 дақиқа оралиқ вақт билан амалга оширилган.

Токнинг барча гармоникалари умумий таъсирини ток эгри чизиғи синусоидаллиги бузилиш коэффициенти ёрдамида баҳолаш мумкин, у қуйидаги формула бўйича аниқланади (11):

$$K_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=40}^{40} I_{(n)}^2}}{I_1} \cdot 100. \quad (11)$$

бунда $I_{(n)}$ – токнинг n гармоник таркиби амалдаги қийматлари; I_1 – асосий частота токиннинг амалдаги қиймати.

Ўлчагич бевосита ўлчовчининг ҳам, у билан бирга ишлаётган ходимнинг ҳам электр ҳимоясини таъминлайдиган пластмасса корпусда йиғилган ягона қурилма шаклида ишлаб чиқарилган (11-расм).



11-расм. “Malika-01” ўлчаш қурилмаси

Ичига ўрнатилган энергияга боғлиқ бўлмаган хотира олинган ўлчов натижалари маълумотларининг сўнгги 10 сутка мобайнида сақланишини таъминлайди. «Malika-01» ўлчагичидан маълумотларнинг компьютерга узатилиши SD-карталар воситасида амалга оширилади. Электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш бўйича олинган натижаларни таҳлил қилиш ва кўриб чиқиш учун барча кўрсаткичларни акс эттирадиган «Case» дастури ишлаб чиқилган.

Электр тармоғини назорат қилиш ва таҳлил қилиш учун керакли тавсия қилинадиган электр энергия сифат кўрсаткичлари ўлчов диапазонлари ва ўлчаш воситалари хатоликлари 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал

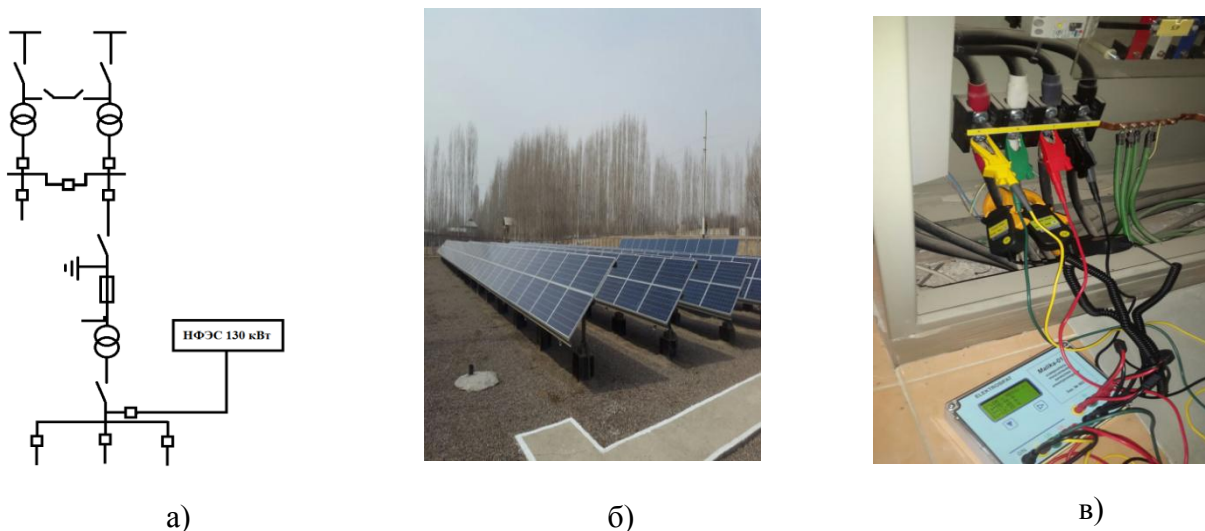
Ўлчанадиган кўрсаткичлар рўйхати

| Пункт рақами | Ўлчанадиган катталик номи | Ўлчами | Ўлчов диапазони | Йўл қўйиладиган асосий хатолик доираси | |
|--------------|---|--------|--|--|------------------------------|
| | | | | Δ | $\delta, \%$ |
| 1 | Кучланишнинг эгри чизиғи синусоидаллигининг бузилиш коэффициенти K_U | % | 0,1...15 | $\pm 0,05$ $K_U < 1$ | $\pm 0,05$ $K_U \geq 1$ |
| 2 | Кучланишнинг n гармоник таркиби (2-тартибдан 40-тартибгача) коэффициенти $K_{U(n)}$ | % | 0...10 учун ($n < 16$) 0...5 учун ($n < 30$) 0...2 ($n \geq 30$) | $\pm 0,05$ $K_{U(n)} < 1$ | ± 5 $K_{U(n)} \geq 1$ |

Тадқиқот объекти сифатида 130 кВт қувватли Наманган фотоэлектрик станцияси (ФЭС) 216-сон трансформатор пункти (ТП) танланган.

12 а-расмда электр энергияни тақсимлаш ва Наманган ФЭСни улаш схемаси тақдим қилинган. ФЭС умумий кўриниши ва уланиш схемаси,

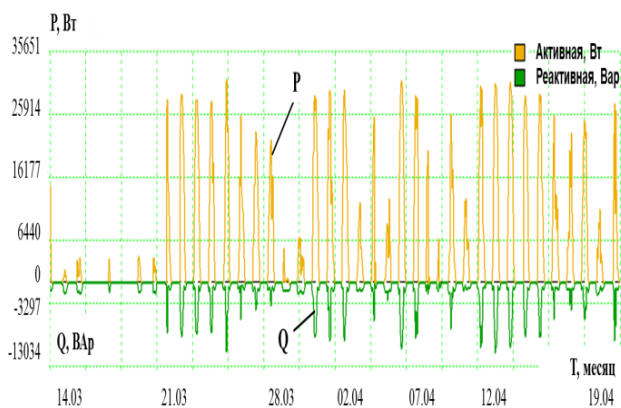
тааллуқли равишда, 12б ва в-расмда тасвирланган. Электр энергия турар-жой уйларига узатилади.



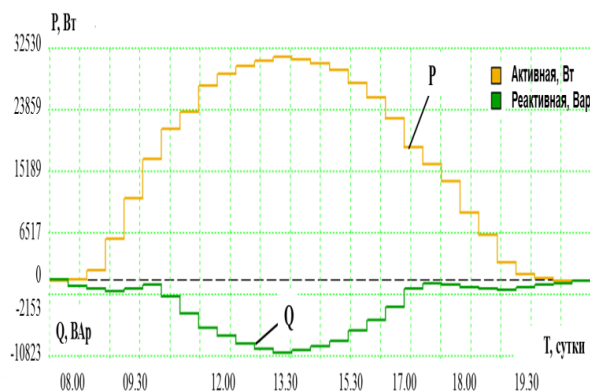
12-расм. (а) электр энергияни тақсимлаш ва 130 кВт қувватли Наманган ФЭСни улаш схемаси; (б) Наманган ФЭС умумий кўриниши ва (в) ўлчагични улаш схемаси

13-расмда Наманган ФЭС 216-сон ТП бир ой мобайнида актив ва реактив қувватларни ўлчаш осциллограммаси тақдим қилинган.

14-расмда суткалик қувватларни ўлчаш осциллограммаси тақдим қилинган.



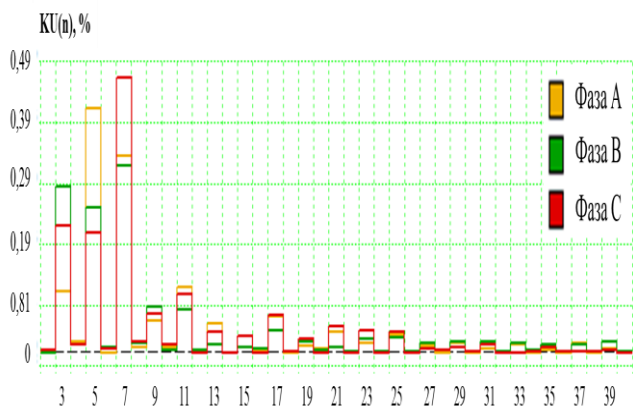
13-расм. Актив ва реактив қувватларни ўлчаш осциллограммаси; Вт, ВАр



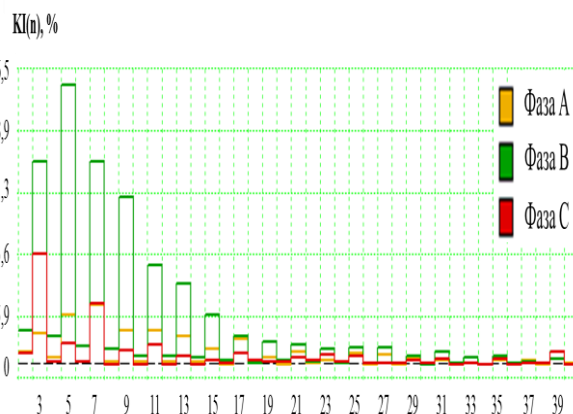
14-расм. Суткалик актив ва реактив қувватларни ўлчаш жадвали; Вт, ВАр

15-расмда кучланиш (а) ва ток (б) юқори гармоникаларини ўлчаш спектрлари тақдим қилинган.

Тақдим қилинган осциллограммли спектрлардан кўриш мумкинки, токнинг 5 ва 7-гармоникалари кўрсаткичлар қиймати норматив талаблардан 3-4 марта юқоридир. Ўлчовлар ва ҳисоб-китоб маълумотлари асосида кўриб чиқилаётган вақт даврида ушбу катталиқлар ўзгаришлари даврий диаграммалари тузилган.



а)

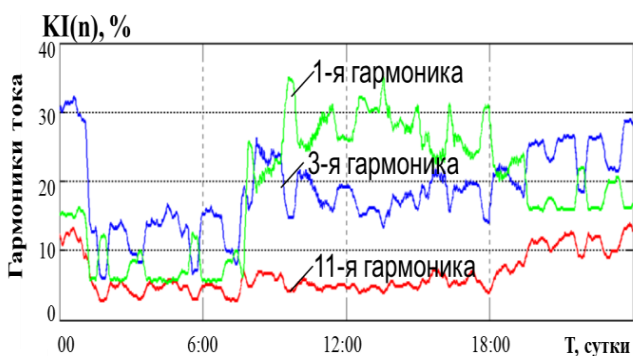


б)

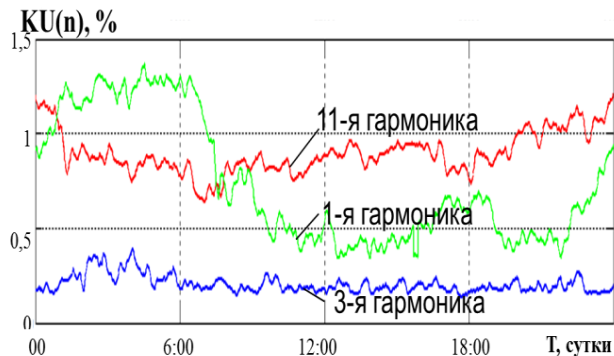
15-расм. Кучланиш (а) ва ток (б) гармоникалари спектрлари

Экспериментал тадқиқотлар Тошкент шаҳар Юнусобод туманининг асосий юкланиши совутгич ускуналари, светодиодли ёритиш тизимлари ва касса ускуналаридан иборат бўлган савдо марказида ҳам ўтказилди. Ўлчовлар натижалари тармоқда токнинг 3- ва 11-гармоникалари юқори даражаси мавжудлигини кўрсатди (16а-расм). 3- ва 11-гармоникалар эгри чизиқлари хусусияти ўзаро боғлиқлиги уларнинг ягона манбаидан далолат бериб, бу 16а-расмда аниқ кузатилади. Тунги вақтда гармоникалар даражалари иш вақтидагига нисбатан анча пастроқ. Тадқиқ қилинаётган юкланишнинг ўзига хос хусусияти ва спецификасини ҳисобга олган ҳолда, 3- ва 11-гармоникалар манбалари тўғрилагичлар билан таъминланган энергия тежамли ёритиш лампалари эканлиги тўғрисида хулоса чиқариш мумкин.

Кучланишнинг 3- ва 11-гармоникаларини кўриб чиқамиз (16б-расм). Иш вақтида кириш жойларида кучланиш оғиши максимал қийматга етади, бунда кучланишнинг 11-гармоникаси фоизи тунги вақтдагига нисбатан бироз кўпроқ бўлади. Бундан шундай хулоса чиқариш мумкинки, кундузги ёруғлик лампалари (ёритиш тизими) худди токнинг 11-гармоникаси каби кучланишнинг 11-гармоникаси манбалари ҳисобланади.



а)



б)

16-расм. Ток (а) ва кучланиш (б) гармоникалари

Кучланишнинг 3-гармоникаси эгри чизиғи кўпроқ ўзгармас хусусиятга эга, яъни кун вақтига камроқ боғлиқ. Тахмин қилиш мумкинки, вентиляция (иситиш) тизими кучланишнинг 3-гармоникаси манбаи ҳисобланади. Тунги соат 3-4 да бироз кучланиш кўтарилишлари кузатилади, бунга вентиляция (иситиш) тизимига юкланиш ошиши сабаб бўлиши мумкин, чунки бу вақтда кўчада (ёки хонада) ҳавонинг ўртача ҳарорати минимал бўлади. Ушбу гармониканинг ташқи электр тармоғидан кириш эҳтимоли ҳам истисно қилинмайди.

Тадқиқ қилинаётган электр тармоғида 3- ва 11-гармоникалардан ташқари бошқа тартиблардаги гармоникалар ҳам мавжуд.

ХУЛОСА

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси «Электр тармоқларида электр энергия сифатини бошқариш усуллари, бошқарув тизимлари алгоритмлари ва экспериментал текширувлар» мавзуси бўйича ўтказилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим қилинган:

1. Фурье дискрет ва тез ўзгаришларни ҳисоблаб чиқиш усулларидан фойдаланилган ҳолда юқори гармоника таркиблари тартибини ҳисоблаш дастури ишлаб чиқилган, натижада «Малика-01» улчагичи такомиллаштирилган;

2. Электр тармоғи қисмларидаги юқори гармоникалар таъсирида пайдо бўладиган кўшимча йўқотишларни баҳолаш алгоритми ишлаб чиқилган, савдо марказида уларнинг қиймати 2-3% лиги аниқланган, натижада савдо марказида кўшимча йўқотишлар бартараф этилган.

3. Фильтрлар қўлланган ҳолда электр энергия сифатини бошқариш усули ишлаб чиқилган. 5- ва 7-гармоникалар учун созланган пассив фильтр ва 11-гармоника учун созланган актив фильтр реактив қувват компенсациясини ва кучланиш ростланишини таъминлаш имконини беради.

4. «Malika-01» ўлчагичида электр тармоғи қисмларида ночизикли юкланиш ва йўқотишлар ҳисобга олинган ҳолда манбанинг реактив қуввати қийматини ҳисобга олувчи кўшимча блок ишлаб чиқилган, натижада юқори гармоникаларни ўлчаш ва таҳлил қилиш имкони пайдо бўлган.

5. Ўртача йиллик истеъмол қилинадиган 19 МВт қувватли юкланишнинг йиллик жадвали ҳисобга олинган ҳолда (ПС Юнусобод), токнинг юқори гармоникалардан йилига кутиладиган йўқотишлари (зарарлар) 314 960 кВтч ёки 72 000 000 сўмни (228,6 сўм тарифида) ташкил этади. Таклиф қилинаётган фильтрларни ўрнатиш ушбу зарарни бартараф қилади, бу амалий татбиқ қилиш орқали тасдиқланган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ
DSc.27.06.2017.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ И
ООО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ШАИСМАТОВ САЙФУЛЛА ЭРГАШЕВИЧ

**МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

**05.05.02 – Электротехника. Электроэнергетические станции, системы.
Электротехнические комплексы и установки**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2018.4.PhD/T923.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tdtu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).


| | |
|-------------------------------|---|
| Научный руководитель: | Аллаев Кахрамон Рахимович доктор технических наук, профессор, академик |
| Официальные оппоненты: | Гойбоб Тулкин Шерназарович доктор технических наук, профессор Сытдыков Рашид Абдурахманович доктор технических наук, профессор |
| Ведущая организация: | Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта |


Защита диссертации состоится «26» 12 2018 г. в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc 27.06.2017.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете и ООО «Научно-технический центр». (Адрес: 100095, г Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz.


С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер - 69). (Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «14» 12 2018 года.
(протокол рассылки № «12» от «14» 12 2018 г.).




Р.А. Захидов
Заместитель председателя научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик


О.Х. Ишназаров
Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней, д.т.н., с.н.с.


М.И. Ибадуллаев
Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению
учёных степеней, д.т.н., профессор

Введение (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. На сегодняшний день в мировой практике особое значение придаётся вопросам управления качеством электроэнергии и снижению потерь. В развитых странах мира «уровень гармонической составляющей по току третьей и пятой гармоник в некоторых случаях превышает 20%, что увеличивает потери в сетях. Наиболее высокий уровень высших гармоник характерен для нагрузок, где используется большое количество бытовых электронных приборов¹». В этом отношении в сфере энергетики пристальное внимание уделяется разработке новых методов управления качеством электроэнергии, в том числе уменьшению высших гармоник.

В мире большое внимание придаётся осуществлению научно-исследовательских работ, направленных на разработку методов исследования гармоник в распределительных электрических сетях, разработке методов расчета дополнительных потерь, возникающих под действием высших гармоник в элементах электрической сети, управлению качеством электроэнергии в электрических сетях, модернизации технических средств - активных и пассивных фильтров, модернизации устройств измерения показателей качества электроэнергии. В этой связи становится очевидным, необходимость создания дополнительного блока для измерителя «Малика-01», дающего возможность измерять высшие гармоники.

В республике особое внимание уделяется качественному развитию энергетики, являющейся одной из важнейших отраслей экономики. В этой связи при учете электроэнергии в электрических сетях были достигнуты определенные успехи, в том числе реализуется эффективная автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ). Вместе с этим уделяется особое внимание устройствам повышения качества и снижения потерь электроэнергии в электрических сетях. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах среди основных задач отмечены «... улучшение обеспечения населения электрической энергией на основе строительства новых и модернизации действующих электрогенерирующих мощностей, обновление низковольтных электрических сетей и трансформаторных пунктов, а также реализация мер по улучшению обеспечения населения другими топливно-энергетическими ресурсами и расширение использования возобновляемых источников энергии»². Выполнение этих задач, в том числе создание устройств измерения и устранения высших гармоник напряжения и токов в распределительных электрических сетях является важным.

Данное диссертационное исследование в соответствующей степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики

¹ De Lima Tostes M., Bezerra U., Silva R. Impacts over distribution grid from the adoption of distributed harmonic filters on low-voltage customers // IEEE transactions on Power delivery. – 2005. – Vol. 20. – No. 1. – P. 384–389.

² Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлении Президента №ПП-2661 от 23 ноября 2016 года «О Программе по дальнейшей модернизации и обновлению низковольтных электрических сетей на период 2017-2021 годы», Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан №294 от 13 декабря 2010 года «О программе модернизации и обновления низковольтных электрических сетей на 2011-2015 годы», а также в других нормативно-правовых документах этой сферы.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики: II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Научные исследования, направленные на управление качеством электроэнергии в электрических сетях, осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в University of Michigan (США), University of Waterloo (Канада), Technical University of Ilmenau (Германия), Tokyo technology institute (Япония), University of Cantabria (Испания), Polytechnic University of Milan (Италия), University of Canterbury (Новая Зеландия), Институте электродинамики (Украина), НИУ «Московский энергетический институт» (Россия), а также Узбекистана: ООО «Научно-технический центр» и ООО «Энергоцентр Узбекистана», Ташкентский ГТУ и других.

Большой вклад в решение научных проблем повышения эффективности электроснабжения электрических сетей, снижения потерь электроэнергии, внесли известные ученые В.А. Веников, Н.А. Мельников, И.В. Жежеленко, В.И. Идельчик, С.Ю. Гамазин, Ю.С. Железко, И.И. Карташев, В.Н. Тульский, а также отечественные ученые Х.Ф. Фазылов, Дж.А. Абдуллаев, Т.Х. Насиров, К.Р. Аллаев, А.А. Хошимов, Т.М. Кодиров, Т.Ш. Гайибов, Ф.А. Хошимов и др. Исследования, посвященные проблеме улучшения качества и снижения потерь электроэнергии под влиянием высших гармоник в распределительных электрических сетях, непосредственно связаны с решением задачи управления режимами работы этих сетей.

Исследованию и разработке эффективных методов управления качеством электроэнергии посвящены научные работы известных зарубежных авторов, таких как: А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов, В.А. Агунов, Х. Акаги, Дж. Арриллага, Л.А. Моран, К.В. Кумару, С.П. Литран и др. Несмотря на значительные достижения, актуальной остается проблема совершенствования разработанных и создания новых методов управления качеством электроэнергии при возникновении высших гармонических составляющих. Настоящая работа посвящена разработке методов и алгоритмов управления качеством электроэнергии на основе анализа появления потерь под влиянием высших гармоник, а также разработке устройства для измерения показателей качества электроэнергии в распределительных электрических сетях.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где

выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-технических исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета ОТ-Атех-2018-370 «Исследование и разработка многофункционального устройства для повышения энергоэффективности в электрических сетях» (2018-2020), а также научно-технического исследования № 9/15 «Разработка методов, программных и аппаратных средств обеспечения качества электрической энергии в распределительных сетях 0,4 кВ» (2015 г.).

Целью работы является анализ и совершенствование методов и алгоритмов управления качеством электроэнергии на основе проведения экспериментальных исследований гармонических составляющих в современных электрических сетях.

Задачи исследования:

анализ современных методов исследования в электрических сетях высших гармонических составляющих;

совершенствование исследования гармоник в распределительных электрических сетях;

анализ методов расчета дополнительных потерь, возникающих под действием высших гармоник в элементах электрической сети;

анализ современных технических средств фильтрации и компенсации высших гармоник;

экспериментальные исследования высших гармоник токов и напряжений в распределительных электрических сетях;

повышение функциональных возможностей измерителя «Malika-01», с учетом высших гармоник.

Объект исследования. Распределительные электрические сети 0,4 кВ и потери в них.

Предмет исследования. Управление качеством электроэнергии в распределительных электрических сетях и методы расчета дополнительных потерь, возникающих под влиянием высших гармоник.

Методы исследований. При решении поставленных задач были использованы основные положения теоретической электротехники, теории электрических сетей и систем, математический аппарат современных методов анализа электрических цепей, матричного анализа, теории активных и пассивных RLC-цепей, а также гармонический анализ.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствован метод исследования высших гармоник в однофазных и трехфазных электрических сетях с применением метода узловых уравнений;

разработан алгоритм оценки дополнительных потерь, возникающих под действием высших гармоник в элементах электрической сети;

разработан метод управления качеством электроэнергии с использованием активных и пассивных фильтров в электрических сетях с нелинейной нагрузкой;

разработаны алгоритм и программа расчета порядка высших гармонических составляющих, с использованием методов вычисления дискретных и быстрых преобразований Фурье;

разработан дополнительный блок для измерителя «Malika-01», учитывающий высшие гармоники реактивной мощности в элементах электрической сети.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан метод управления качеством электроэнергии с использованием современных средств фильтрации и компенсации высших гармоник, обеспечивающий в питающих сетях требуемое качество электроэнергии;

модернизировано устройство «Malika-01», предназначенное для измерения показателей качества электроэнергии в электрических сетях, включением микропроцессорного блока с разработанной программой расчета высших гармонических составляющих, с использованием методов дискретных и быстрых преобразований Фурье.

Достоверность полученных результатов исследования базируется на фундаментальных законах электротехники, теории электрических сетей и систем, а также подтверждается совпадением теоретических и экспериментальных расчетов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов характеризуется исследованиями показателей качества электроэнергии в электрических сетях, содержащих нелинейные и несимметричные нагрузки применением метода преобразования Фурье.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке метода управления качеством электроэнергии с использованием современных средств фильтрации и компенсации высших гармоник, и в модернизации устройства «Malika-01», предназначенного для измерения показателей качества электроэнергии в электрических сетях, что позволяет принять меры по снижению потерь от высших гармоник.

Внедрение результатов исследования. На основе предложенных методов алгоритмов управления качеством электроэнергии в электрических сетях и экспериментальных исследований:

разработанная методика оценки дополнительных потерь, вызванных высшими гармониками в элементах электрической сети и улучшенное средство измерений «Malika-01» с повышенными функциональными возможностями, внедрены на предприятиях АО «Узбекэнерго», в том числе на Ташкентском городском предприятии электрических сетей (справка АО «Узбекэнерго» от 3 декабря 2018 года № РМ–01–21/6845). Результаты научно-исследовательских работ позволили определить и уменьшить дополнительные потери на 2-3%, возникающих под действием высших гармоник при несимметричных режимах;

Агентством «Узстандарт» проведена метрологическая аттестация средства измерения «Malika-01» под №05.13919-2018, работающего на основе алгоритма расчета потерь реактивной мощности с учётом высших гармоник (справка Агентства «Узстандарт» от 24 октября 2018 года №1608).

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования

прошли апробацию на 5 научно-практических конференциях, в том числе на 2-х международных конференциях и 3-х Республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 3 статьи в иностранных, 8 - в республиканских журналах, 1 монография и получен 1 Патент Республики Узбекистан на полезную модель.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложений. Объём диссертации составляет 118 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и востребованность проведенного исследования, сформулированы цель и задачи, характеризуются объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов исследования, внедрение их в практику, а также сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

Первая глава диссертации «**Современное состояние проблем качества электроэнергии**» посвящена анализу методов расчета установившихся режимов и исследованию появления высших гармоник в электрических сетях различной сложности. Приведены теоретические основы исследования несимметричных режимов электрических систем: фундаментальные методы уравнений узловых напряжений, метод симметричных составляющих, а также дискретный и быстрый методы преобразования Фурье для выявления высших гармонических составляющих токов и напряжений в электрических сетях.

В современных электроэнергетических системах наблюдается непрерывный рост распространения нелинейных нагрузок из-за интенсивного использования силового электронного оборудования во всех отраслях промышленности, а также другими потребителями электроэнергии. Такие устройства предназначены для обеспечения оптимальной производительности при низких эксплуатационных расходах, но, в свою очередь, они наносят ущерб системе питания гармониками и, следовательно, влияют на производительность других видов оборудования, подключенных к системе, увеличивают потери в сетях. Такие нарушения включают в себя гармонические искажения, несимметрию напряжения, отклонения напряжения, повышенную потребность в реактивной мощности и т. д. Высшие гармонические составляющие тока увеличивают потери в сетях систем питания, вызывают чрезмерное нагревание во вращающихся машинах, могут создавать значительные помехи коммуникационным цепям.

В данной работе описывается развитие методов исследования высших гармоник, включающих в себя анализ гармонического взаимовлияния преобразователей и питающих систем. При таких исследованиях осуществляется моделирование высших гармоник, а разработки алгоритмов и программ производятся с учетом использования их в обеих областях анализа высших гармоник.

Разработан общий подход к исследованию высших гармоник для однофазных и трехфазных сетей. Ниже приведены структуры таких моделей.



Рис. 1. Структурная схема исследований высших гармоник в однофазной сети

Развитие трехфазного обеспечения качественной электроэнергией требует больших усилий в подготовке информации и отображении результатов.

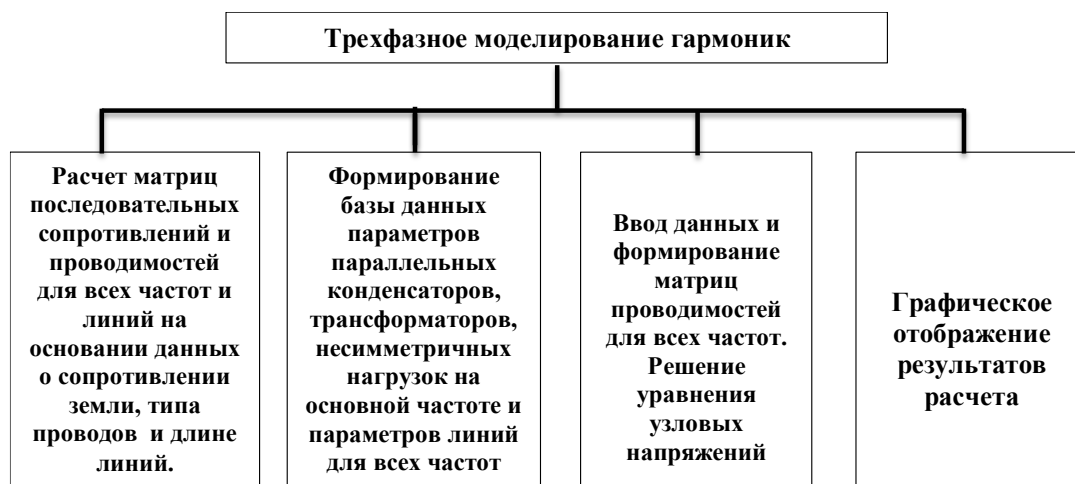


Рис. 2. Структурная схема исследований высших гармоник в трехфазной сети

Методы расчета высших гармонических составляющих в электрических сетях, основанные на структурах, приведенных на рис.1 и 2, использованы при разработке алгоритмов и программного обеспечения для средства измерения показателей качества электроэнергии (СИ ПКЭ) «Malika-01».

Наиболее эффективным способом снижения высших гармоник в сетях является использование фильтров. В работе проанализированы существующие

типы фильтров: пассивные, активные и гибридные. Причем пассивные фильтры можно применять для подавления 3-ей и 5-ой гармоник, а для подавления (компенсации) остальных нечетных гармоник применяются активные фильтры.

Во второй главе диссертации «**Методы расчета потерь, возникающих под действием высших гармоник**» представлены алгоритмы расчета потерь реактивной мощности с учетом высших гармоник, которые использованы при разработке современного средства измерения показателей качества электроэнергии.

Электроприемники с нелинейной вольт-амперной характеристикой искажают потребляемый ток, форма которого существенно отличается от синусоидальной. Протекание несинусоидального тока по элементам электрической сети создает в них дополнительное падение напряжения, определяемое гармоническим составом кривой тока, что и является причиной искажения синусоидальной формы напряжения в той или иной точке сети.

Активная мощность периодического тока произвольной формы определяется как средняя мощность за период:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T UI dt. \quad (1)$$

Действительно, если мгновенные значения напряжения и тока выразить в виде тригонометрических разложений, то получим:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\sum_{n=1}^{\infty} U_n \sin(n\omega t) \right] \left[\sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \right] dt. \quad (2)$$

Среднее за период значение произведения мгновенных значений синусоид различной частоты равно нулю, и, после интегрирования:

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} U_n I_n \cos \varphi_n = \sum_{n=1}^{\infty} P_n. \quad (3)$$

Из этого выражения следует важный вывод о том, что средняя мощность несинусоидального тока равна сумме средних мощностей отдельных гармоник. Таким образом, выражение (3) полностью отвечает сформулированным требованиям, позволяя рассчитывать потери активной мощности как индивидуально по каждой гармонике, так и интегрально.

Кроме активной мощности, определяемой по формуле 3, в режиме с несинусоидальными токами и напряжениями будет также присутствовать реактивная мощность Q , определяемая по формуле:

$$Q = \sum_{n=1}^n Q_n = \sum_{n=1}^n U_n I_n \sin \varphi_n. \quad (4)$$

Однако в элементе сети, для которого рассчитывается реактивная мощность «возникает» еще одна, составляющая мощности – мощность искажения, T :

$$T = \sqrt{\sum_{n \neq m} U_n^2 I_m^2 + U_m^2 I_n^2 - 2U_n U_m I_n I_m \cos(\varphi_n - \varphi_m)}. \quad (5)$$

Мощность искажения является дополнительной составляющей реактивной мощности и определяется наличием высших гармоник электрической сети.

Физический смысл мощности искажения заключается в том что наличие нелинейного элемента способствует такой деформации кривой тока, при которой увеличивается фазовый сдвиг между напряжением и током эквивалентной синусоиды (без нелинейного элемента), а также изменяется форма тока. Несинусоидальные токи создают в элементах сети несинусоидальное падение напряжения, вызывая искажение синусоиды напряжения.

Реактивная мощность при несинусоидальных величинах равна:

$$Q = \pm \frac{1}{2\pi} \oint i(u)du; \quad Q = \pm \frac{1}{2\pi} \oint u(i)di. \quad (6)$$

При приведении интегрального значения реактивной мощности к некоторой определенной частоте её величина определяется по формуле:

$$Q = \sum_{n=1}^n \frac{\omega_n}{\omega_n} Q_n, \quad (7)$$

где ω_n – частота гармоники, ω_n – определенная частота приведения. Тогда для гармоники n – го порядка:

$$Q = \sum_{n=1}^n nQ_n. \quad (8)$$

Из данных выражений следует, что реактивные мощности отдельных гармоник неэквивалентны, и входят в выражение общей реактивной мощности с коэффициентом, пропорциональным их частоте.

Для разветвленной цепи, содержащей линейные и нелинейные элементы, баланс реактивной мощности описывается выражением:

$$U_1 I_1 \sin \varphi_1 = \sum_{n=1}^n nQ_{(n)} + \sum_{n=1}^n n\Delta U_{S(n)} I_{(n)} \sin \varphi_{S(n)}, \quad (9)$$

где $U_1 I_1 \sin \varphi_1$ – реактивная мощность источника питания; $\sum_{n=1}^n nQ_{(n)}$ – реактивная мощность нелинейной нагрузки; $\sum_{n=1}^n n\Delta U_{S(n)} I_{(n)} \sin \varphi_{S(n)}$ – потери реактивной мощности в элементах сети.

Разработан алгоритм расчета реактивной мощности источника на основе (9), позволяющий учитывать реактивную мощность нелинейной нагрузки и потери реактивной мощности в элементах сети. Это позволяет более объективно оценить реактивную мощность источника, протекающую при работе ряда электроприемников, питающихся от сети с несимметричной системой напряжений (рис. 3).

Представленная структурная схема (рис.3) алгоритма расчета потерь реактивной мощности с учетом высших гармоник работает следующим образом. По полученным исходным данным определяются потери реактивной мощности в элементах сети и сравниваются со значением реактивной мощности от источника, если эти значения равны, тогда расчет заканчивается. Если условие не выполняется, тогда определяется реактивная мощность нелинейной нагрузки с существующими гармониками и суммируется с потерями реактивной мощности в элементах сети, затем эти значения сравниваются со значением реактивной мощности от источника. Если эти

значения равны, тогда расчет заканчивается. Если условия не выполняются, тогда повторно определяется реактивная мощность нелинейной нагрузки с существующими гармониками, пока не выполняются требуемые условия баланса.

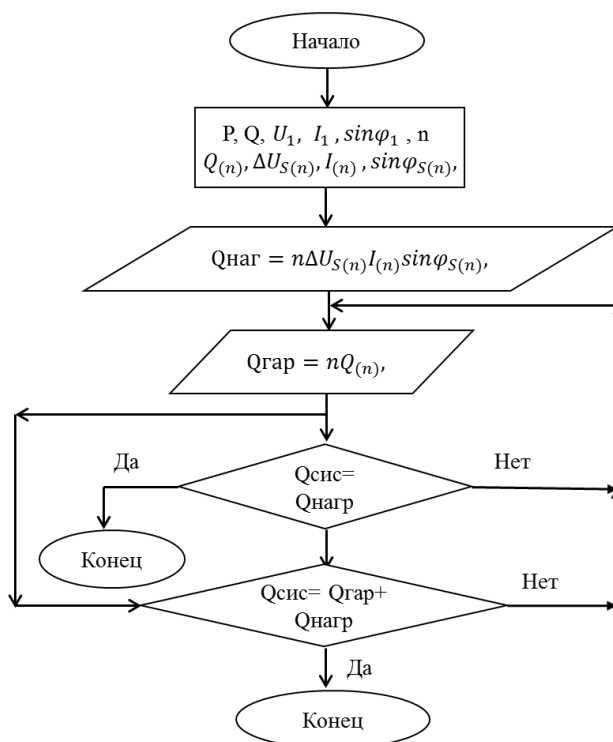
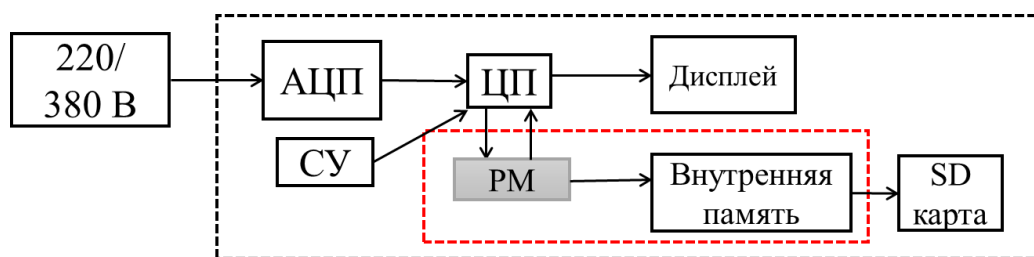


Рис. 3. Структурная схема расчета потерь реактивной мощности с учетом высших гармоник

Автором модернизировано многофункциональное устройство «Malika-01», выполненное на современной микропроцессорной базе для учета высших гармонических составляющих тока и напряжений в электрической системе. Заложен алгоритм расчета потерь реактивной мощности учитывающих потери от высших гармоник с помощью блока РМ, представленного на рис.4.



АЦП – блок входных цепей, СУ – система управления (клавиатура), ЦП- центральный процессор; РМ-микропроцесор выполняет расчет потерь реактивной мощности с учетом высших гармоник

Рис. 4. Усовершенствованная структура устройства «Malika-01»

В третьей главе диссертации «**Моделирование управления качеством электроэнергии**» разработан метод управления качеством электроэнергии при несимметричных и несинусоидальных напряжениях от случайного изменения нагрузки.

Существуют два типа методов управления качеством электроэнергии при несимметричных и несинусоидальных напряжениях. Один основан на

определении мгновенных значений активной и реактивной мощностей, а другой основан на анализе разложения Фурье в частотной области мощности трехфазной цепи.

Разработанный метод управления активным фильтром (АФ) фокусируется на вычислении токов источника и требует, чтобы компенсированные токи источника были синусоидальными и в фазе с напряжением источника, несмотря на характеристики нагрузки. Этот метод фокусируется на токах источника, а не на токах преобразователя. Фазный ток источника должен следовать за синусоидальным номинальным током $i_{m_a^*}$ и равен фазной составляющей основного тока активной фазы:

$$\left. \begin{aligned} i_{m_a^*} &= I_1 \sin(\omega t) \\ i_{m_b^*} &= I_1 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ i_{m_c^*} &= I_1 \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \end{aligned} \right\} . \quad (10)$$

Если напряжение источника или состояние нагрузки изменяется, тогда баланс мощности между источником и нагрузкой не будет поддерживаться. Поэтому разность мощности компенсируется мощностью конденсатора. Это приводит к изменению среднего напряжения конденсатора, отстающего от номинального напряжения.

Система управления использует многоконтурную структуру. Внешний контур состоит из контроллеров постоянного и переменного тока.

Контроллер постоянного тока используется для управления питанием и регулированием напряжения. Контроллер постоянного напряжения формирует требуемую амплитуду тока источника $i_{m_a^*}$. В схеме, показанной на рис. 5, измеряется напряжение $U_{\text{пос.нап.}}$ постоянного тока и сравнивается с напряжением источника переменного тока $U_{\text{пер.ток.}}$. Напряжение постоянного тока измеряется и гармонические составляющие переменного тока отфильтровываются.

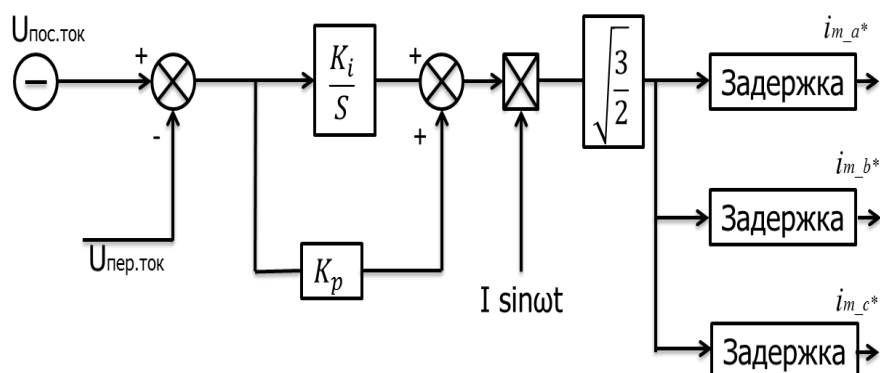


Рис. 5. Управление напряжением постоянного тока

Величина небаланса подается на пропорциональный интегральный (ПИ) регулятор. Выход из ПИ-регулятора рассматривается как соответствующий желаемому току сети. Если напряжение на конденсаторе звена постоянного тока меньше, чем напряжение источника, то это означает, что реальная

мощность, подаваемая из источника недостаточна для баланса нагрузки. Таким образом, ток сети и реальная мощность, подаваемые от сети, увеличиваются для обеспечения потребности в нагрузке. Если напряжение на конденсаторе звена постоянного тока больше, чем напряжение источника, то ток от сети требуется уменьшить. Через АФ компенсированный ток источника будет синусоидальным и симметричным, независимо от характеристик нагрузки и условий сети.

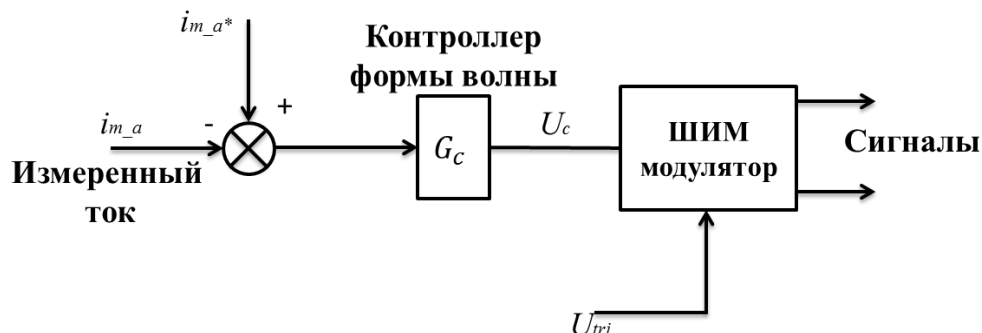


Рис. 6. Контроллер переменного тока

Токи источника $i_{m_a^*}$, i_{m_a} измеряются и сравниваются с эталонным током $i_{\text{эт.ток}}$, и на основании небалансов формируется переключение напряжения широтно-импульсного модулятора (ШИМ) ($k = a, b, c$) (рис. 6).

Предложен обобщенный метод управления КЭ, который используется для выбора АФ. Этот метод состоит из следующих шагов:



Рис.7. Блок-схема управления качеством электроэнергии

Во первых формируется информация о внутреннем сопротивлении системы, определяется точка общего присоединения (ТОП). Во-вторых, определяются

тип нагрузки и источник гармоник, затем выбирается топология системы АФ. Затем система моделируется и выбираются различные части системы, такие как силовой активный фильтр, фильтр пульсаций переключения, запоминающее устройство с номинальной энергией, а также параметры: частота переключения, полоса пропускания фильтра и другие. В зависимости от ситуации можно использовать различный метод управления, но при этом необходимо его конкретизировать. Система моделируется (без и с АФ), имея представление о потоке мощности, гармониках тока нагрузки и напряжения. Затем подбирается АФ в соответствии с выбранной топологией и проверяется метод путем компенсации высших гармоник. На рисунке 7 приведена блок-схема управления качеством электроэнергии.

Для анализа высших гармоник смоделирована распределительная сеть с нелинейной нагрузкой в виде электродуговой печи (ЭДП). Нелинейная нагрузка приводит к проблемам с КЭ, появляются гармоники тока и напряжения, а также фликер напряжения. Например, ЭДП генерирует нечетные и четные гармоники тока. Токковые гармоники взаимодействуя с внутренним сопротивлением системы, генерируют гармоники напряжения в электрической сети. Эти гармоники тока и напряжения вместе могут влиять на других потребителей, подключенных к распределительной сети. ЭДП также является источником появления фликера напряжения.

В целях проверки достоверности принятых алгоритмов и моделей исследования высших гармоник в электрической сети с существующими моделями, проведены сравнительные расчетно-экспериментальные исследования. На рис. 8 показано моделирование трехфазной электрической сети, с использованием среды Simulink/ MATLAB.

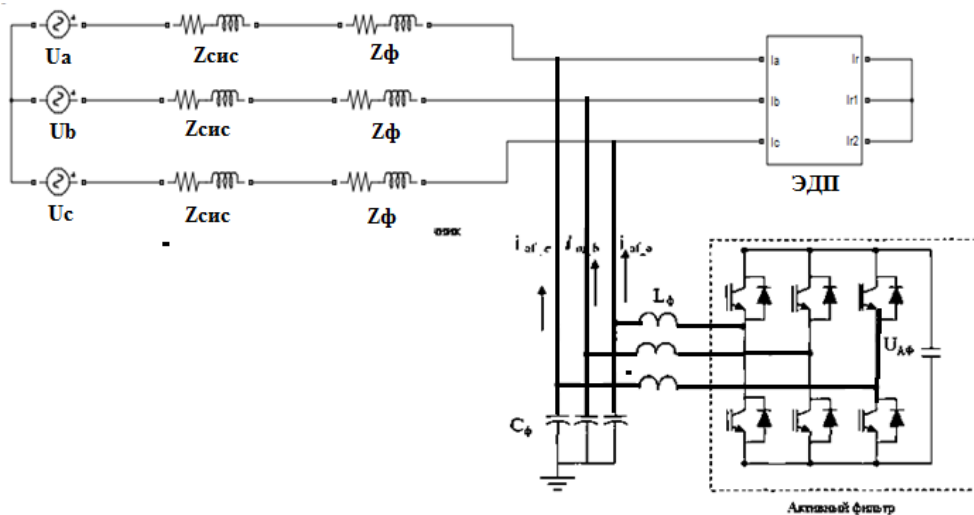


Рис. 8. Моделирование предлагаемой модели ЭДП в Simulink/MATLAB

Как показано на рис.8, трехфазный источник питания моделируется путем рассмотрения трех однофазных источников напряжения (U_a , U_b и U_c), сдвинутых на 120° . Сопротивление системы и внутреннее сопротивление ЭДП представлены тремя элементами для фаз.

На рис. 9, а и б представлены спектры гармоник дугового тока существующей модели и предлагаемой модели ЭДП, соответственно.

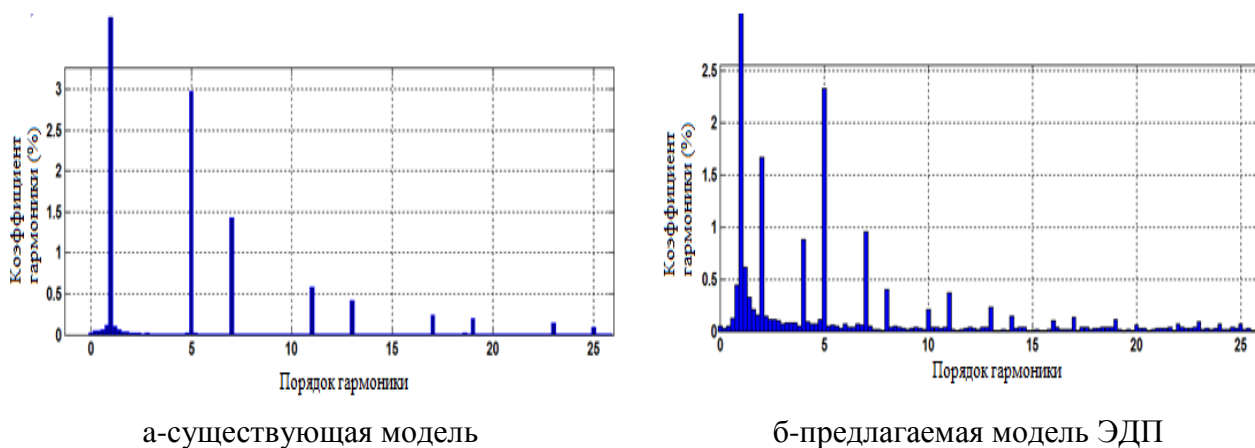


Рис. 9. Спектры гармоник тока

Можно заметить, что на рис. 9 общие гармонические искажения и наблюдаемый ток дуги обеих моделей почти равны (3,4% для существующей модели и 3,22% для предлагаемой модели ЭДП). В табл. 1 показано сравнение текущего гармонического анализа между существующей и предлагаемой моделями ЭДП. Также наблюдаются нечетные гармоники очень малой величины, так как ЭДП генерирует нечетные гармоники.

Таблица 1

Анализ гармоник тока и напряжений

| Гармоники (%) | По току | | По напряжению | |
|------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| | Существующая модель | Предлагаемая модель ЭДП | Существующая модель | Предлагаемая модель ЭДП |
| | 117.5 | 120 | 305 | 288 |
| Общие гармонические искажения тока | 3.4 | 3.22 | 46.42 | 46.67 |
| 3 ая | - | - | 33.69 | 33.64 |
| 5 ая | 2.98 | 2.79 | 19.98 | 20.07 |
| 7 ая | 1.43 | 1.24 | 14.12 | 14.19 |
| 11 ая | 0.58 | 0.56 | 8.78 | 8.92 |
| 13 ая | 0.42 | 0.39 | 7.3 | 7.41 |
| 17 ая | 0.24 | 0.22 | 5.36 | 5.54 |
| 19 ая | 0.19 | 0.17 | 4.67 | 4.82 |
| 23 ая | 0.14 | 0.13 | 3.65 | 3.82 |
| 25 ая | 0.09 | 0.08 | 3.26 | 3.38 |

Гармоническое искажение каждого гармонического порядка выражается как % от основного, как показано в табл. 1. Предложенная модель ЭДП вырабатывает отдельные гармонические составляющие тока, которые очень близки по величине к реальным имеющимся данным.

Рис. 10, а и б представляют гармонический спектр напряжения дуги существующей и предлагаемой моделей ЭДП, соответственно.

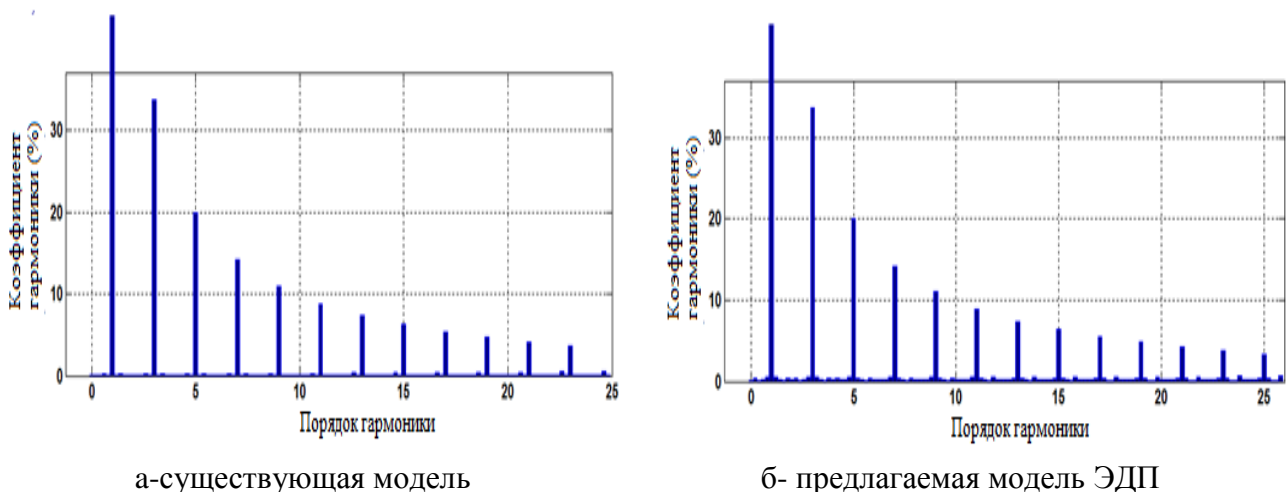


Рис. 10. Спектры гармоник напряжения

На рис. 10 также можно отметить, что общие гармонические искажения, наблюдаемые в дуговых напряжениях обеих моделей, являются практически одинаковыми (46,42% для существующей и 46,67% для предлагаемой модели ЭДП). Это еще раз подтверждает обоснованность предлагаемой модели ЭДП. Синусоидальность напряжения искажается из-за наложения гармоник 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23 и 25 порядков. В табл. 1 показано сравнение гармоник напряжения между существующей и предлагаемой моделями ЭДП. Общие гармонические искажения, наблюдаемые в существующей и предлагаемой моделях ЭДП составляют 46,42% и 46,67%, соответственно, что общие гармонические искажения нарушает требования ГОСТа IEEE 519-1992.

Гармонические искажения, наблюдаемые почти во всех гармонических порядках (с 3-го по 25-е), больше, чем требования стандарты IEEE 519-1992. Предел – 3% для индивидуального гармонического порядка.

В четвертой главе диссертации «**Оценка характера электропотребления и качества электроэнергии**» приведены результаты экспериментальных исследований действующей в Республике Узбекистан, фотоэлектрической электрической станции мощностью 130 кВт, а также нагрузки торгового центра массива Юнус-Абад. Оба объекта являются источниками гармоник сети переменного тока. Приводится анализ произведенных с помощью измерителя «Malika-01» параметров, обусловленных несинусоидальностью в сети.

Вычисление значений коэффициентов гармоник осуществляется в соответствии с ГОСТом 32144-2014:

$$K_{I(n)} = \frac{I_{(n)}}{I_1} \cdot 100, \quad K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_1} \cdot 100, \quad (10)$$

где $I_{(n)}, U_{(n)}$ - действующие значения n -ой гармонической составляющей тока и напряжения основной частоты. I_1, U_1 - действующие значения тока и напряжения основной частоты.

Прибор настраивается на измерения и запись значений коэффициентов n -ой гармонической составляющей (с 1 до 32) тока и напряжения по каждой фазе с интервалом времени 3 секунды. Измерение и запись коэффициентов искажения синусоидальности кривых тока и напряжения осуществлялись с интервалом времени 1 минута.

Суммарное влияние всех гармоник тока можно оценить с помощью коэффициента искажения синусоидальности кривой тока, который определяется по формуле (11):

$$K_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=40}^{40} I_{(n)}^2}}{I_1} \cdot 100. \quad (11)$$

где $I_{(n)}$ – действующие значения n -ой гармонической составляющей тока; I_1 – действующее значение тока основной частоты.

Измеритель выполнен в виде единого устройства, собранного в пластмассовом корпусе (рис. 11), обеспечивающем электрическую защиту, как самому измерителю, так и работающему с ним персоналу.



Рис. 11. Измерительное устройство «Malika-01»

Встроенная энергонезависимая память обеспечивает сохранение данных полученных результатов измерений в течение последних 10 суток. Передача данных с измерителя «Malika-01» на компьютер производится посредством SD–карт. Для анализа и просмотра полученных результатов измерений ПКЭ разработана программа «Case», отображающая все параметры.

Рекомендуемые ПКЭ диапазоны измерений параметров и погрешности СИ, необходимые для контроля и анализа электрической сети, приведены в табл.2.

Таблица 2

Перечень измеряемых параметров

| № пункта | Наименование измеряемой величины | Размерность | Диапазон измерения | Пределы допускаемой основной погрешности | |
|----------|---|-------------|--|--|------------------------------|
| | | | | Δ | $\delta, \%$ |
| 1 | Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U | % | 0,1...15 | $\pm 0,05$ $K_U < 1$ | $\pm 0,05$ $K_U \geq 1$ |
| 2 | Коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения для n от 2 до 40 $K_{U(n)}$ | % | 0...10 для ($n < 16$) 0...5 для ($n < 30$) 0...2 ($n \geq 30$) | $\pm 0,05$ $K_{U(n)} < 1$ | ± 5 $K_{U(n)} \geq 1$ |

В качестве объекта исследования выбран трансформаторный пункт (ТП) № 216 Наманганской фотоэлектрической станции (ФЭС) мощностью 130 кВт.

На рис. 12, а представлена схема распределения электроэнергии и подключения Наманганской ФЭС. Общий вид ФЭС и схема включения измерителя представлены на рис. 12 б и в, соответственно. Электроэнергия передается в жилые дома.

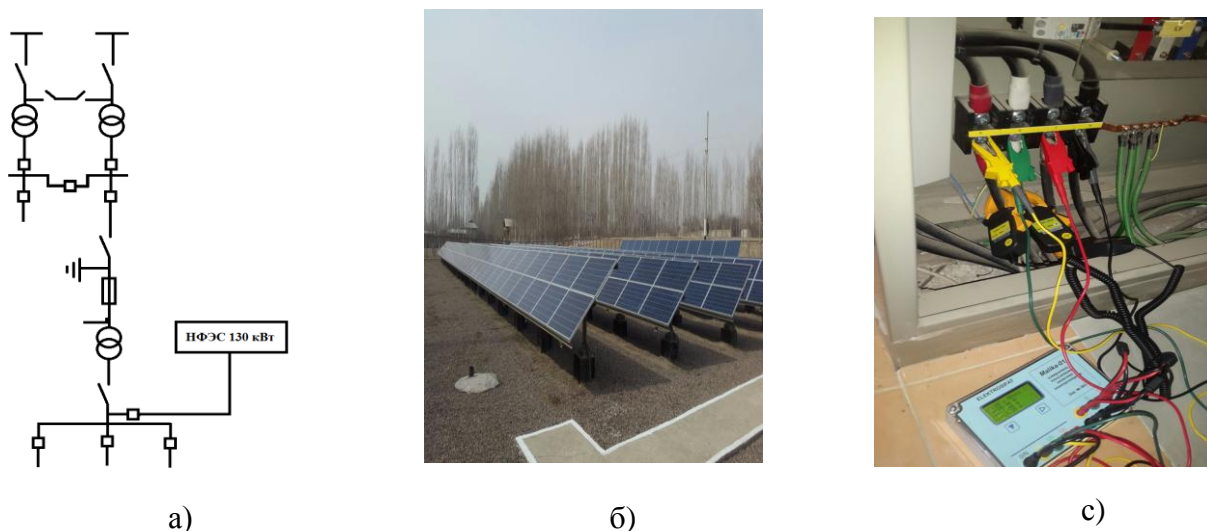


Рис. 12. Схема распределения электроэнергии и подключения Наманганской ФЭС мощностью 130 кВт (а); общий вид Наманганской ФЭС (б) и схема включения измерителя (в)

На рис. 13 представлена осциллограмма измерений активной и реактивной мощностей, в течении месяца ТП № 216 Наманганской ФЭС.

На рис. 14 представлены суточная осциллограмма измерения мощности.

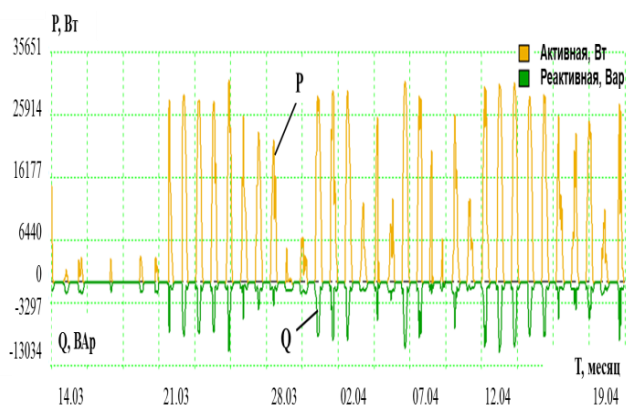


Рис. 13. Осциллограмма изменений активной и реактивной мощностей; Вт, ВАр

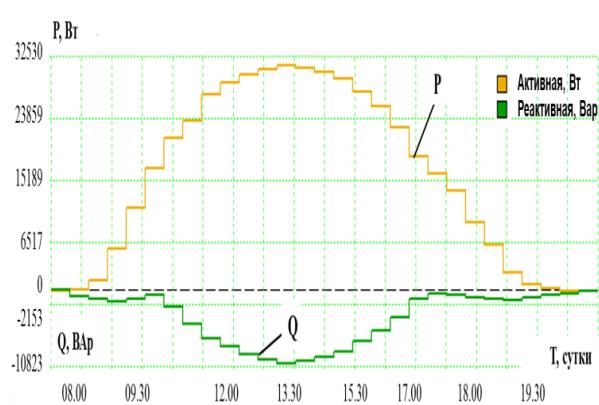
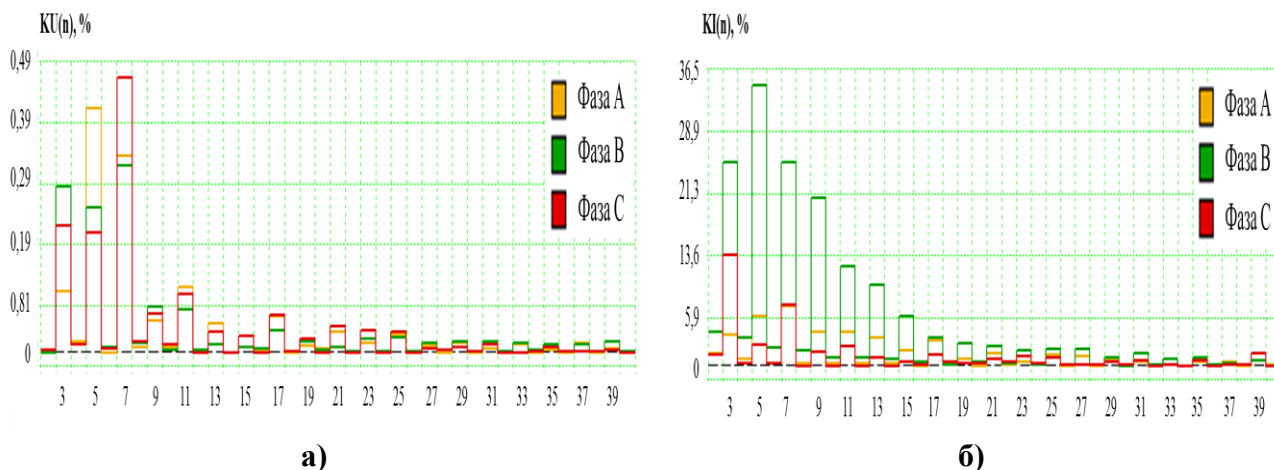


Рис. 14. Суточный график изменений активной и реактивной мощностей; Вт, ВАр

На рис. 15 представлена спектры изменения высших гармоник напряжения (а) и тока (б).

Из представленных осциллограммных спектров можно видеть, что значения параметров 5-ой и 7-ой гармоники тока превышают 3-4 раза нормативные требования. На основании данных измерений и расчетов

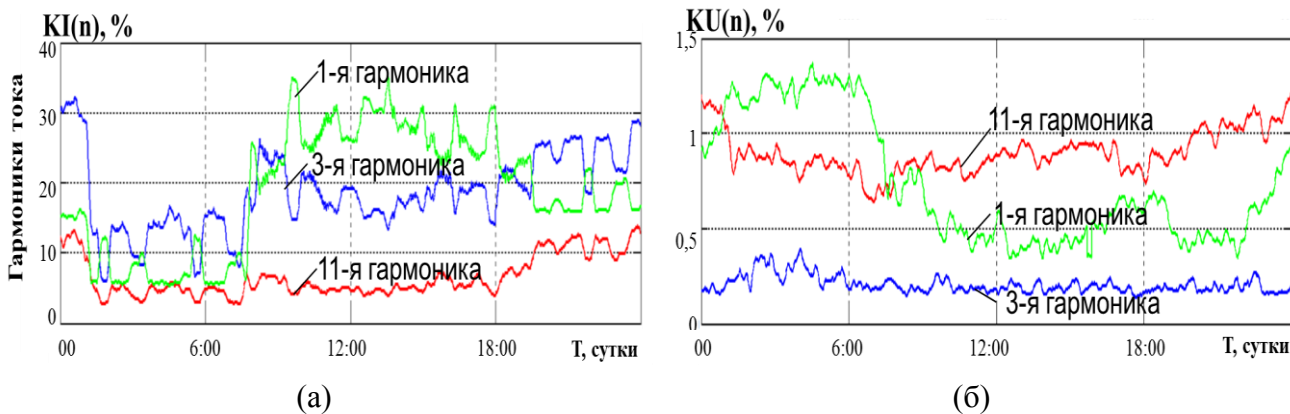
построены временные диаграммы изменения этих величин за рассматриваемые периоды времени.



а) б)
Рис. 15. Спектры гармоник напряжения (а) и тока (б)

Экспериментальные исследования проводились также в торговом центре Юнусабадского района города Ташкента, где основной нагрузкой являются холодильные установки, светодиодное освещение и кассовое оборудование. Результаты измерений показали наличие высокого уровня 3-ей и 11-ой гармоник тока в сети (рис. 16,а). Коррелированность характера кривых 3-ей и 11-ой гармоник говорит об их едином источнике, что явно прослеживается на рис. 16, а. В ночное время уровни гармоник значительно ниже, чем в рабочее время. Учитывая особенности и специфику исследуемой нагрузки, можно сделать вывод о том, что источниками 3-ей и 11-ой гармоник являются энергосберегающего лампы освещения, оснащенные выпрямителями.

Рассмотрим 3-ью и 11-ую гармоники напряжения (рис. 16, б). В рабочее время отклонения напряжения на вводах достигают максимального значения, при этом процент 11-ой гармоники напряжения немного больше, чем в ночное время. Отсюда можно сделать вывод, о том, что источниками 11-ой гармоники напряжения, так же как и 11-ой гармоники тока, являются лампы дневного света (система освещения).



а) б)
Рис. 16. Гармоники тока (а) и напряжения (б)

Кривая 3-ей гармоники напряжения носит более постоянный характер, т.е. мало зависит от времени суток. Можно предположить, что источником 3-ей гармоники напряжения является система вентиляции (отопления). В 3 – 4 часа ночи наблюдаются небольшие всплески, что может быть вызвано увеличением нагрузки системы вентиляции (отопления), т.к. в это время средняя температура воздуха на улице (или в помещении) минимальна. Так же не исключается возможность проникновения этой гармоники из внешней электрической сети.

Кроме 3-ей и 11-ой гармоник в исследуемой электрической сети присутствуют и гармоники других порядков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов диссертационной работы «Методы, алгоритмы и экспериментальные исследования систем управления качеством электроэнергии в электрических сетях» доктора философии (PhD) по техническим наукам представлены заключения:

1. Разработана программа расчета порядка высших гармонических составляющих, с использованием методов вычисления дискретных и быстрых преобразований Фурье, в результате модернизирован измерительный прибор «Malika-01».

2. Разработан алгоритм оценки дополнительных потерь возникающих под действием высших гармоник в элементах электрической сети, значения которых может дойти до 2-3%, в результате ликвидированы дополнительные потери в электрической сети торгового центра.

3. Разработан метод управления качеством электроэнергии с применением фильтров. Установлено, что пассивный фильтр, настроенный для 5-й и 7-й гармоник, и активный фильтр, настроенный для 11-й гармоники, обеспечивают компенсацию реактивной мощности и регулирование напряжения.

4. В измерителе «Malika-01» разработан дополнительный блок, учитывающий значение реактивной мощности источника с учётом нелинейной нагрузки и потерь в элементах сети, в результате появилась возможность измерения и анализа высших гармонических составляющих.

5. С учетом годового графика нагрузки со среднегодовой потребляемой мощностью 19 МВт (ПС Юнусабад), ожидаемые потери в год от высших гармоник тока (ущерб) составят 314 960 кВтч или 72 000 000 сум (при тарифе 228,6 сум). Установка предлагаемых фильтров ликвидирует данный ущерб, что подтверждено практической реализацией.

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY AND
LLC «SCIENTIFIC TECHNICAL CENTER» SCIENTIFIC COUNCIL
FOR AWARDED SCIENTIFIC DEGREES DSc.27.06.2017.T.03.03**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SHAISMATOV SAYFULLA ERGASHEVICH

**METHODS, ALGORITHMS AND EXPERIMENTAL STUDIES
OF POWER QUALITY CONTROL SYSTEMS IN ELECTRICAL
NETWORKS**

**05.05.02 - Electrical engineering. Electric power stations, systems. Electrical systems and
installations.**

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent– 2018

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical science is registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under № B2018.4.PhD/T923

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University
The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the site of the Scientific Council (www.tdtu.uz) and on the web site of «ZiyoNet» Information and on portal (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor: **Kakhramon Rakhimovich Allayev**
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician

Official opponents: **Gayibov Tulqin Shernazarovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Sitdikov Rashid Abdurakhmanovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Leading organization: **Tashkent Railway Engineering Institute**

The defense will be take place 26 12 2018 at 10⁰⁰ at the meeting of Scientific Council at the Scientific Council DSc 27.06.2017.T.03.03 Tashkent State Technical University and LLC «Scientific technical Center». Address: 2, University str., Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 246-03-41, fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.)

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Center of the Tashkent State Technical University (Registration number 69). (Address: 2, University str., Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 246-03-41)

Abstract of dissertation was distributed on «14» 12 2018year.
(mailing record № 12 on «14» 12 2018year)



[Signature]
R.A. Zakhidov
Vice chairman of Scientific Council on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician

[Signature]
O.Kh. Ishnazarov
Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher

[Signature]
M.I. Ibadullaev
Chairman of the scientific seminar under scientific council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor.

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is to develop methods, control algorithms and experimental studies of the quality of electricity in electrical networks.

Tasks of the research:

analysis of modern research methods in electrical networks of higher harmonic components;

development of methods for the study of harmonics in distribution electrical networks;

analysis of methods for calculating the additional losses arising under the action of higher harmonics in the elements of the electrical network;

analysis of modern technical equipment filtering higher harmonics;

experimental studies of higher harmonics of currents and voltages in distribution electrical networks;

increasing the functionality in the «Malika-01» meter, taking into account higher harmonics.

Object of the research is asymmetrical modes in low voltage electrical power grids.

The scientific novelty of the research is as following:

a method for studying higher harmonics in single-phase and three-phase electrical networks has been developed;

an algorithm has been developed for estimating additional losses arising from the action of higher harmonics in the elements of the electrical network;

a method has been developed for managing the quality of electricity using active and passive filters in electrical networks with non-linear loads;

a program has been developed for calculating the order of higher harmonic components, using methods for calculating discrete and fast fourier transforms;

an additional unit has been developed for malika-01, which takes into account the reactive power of the load in the electrical network elements.

Implementation of research results. Based on the proposed methods, power quality control algorithms in electrical networks and experimental research:

the developed methodology for estimating additional losses caused by higher harmonics in the electrical network elements and the improved Malika-01 measurement tool with enhanced functional capabilities were introduced at the enterprises of JSC “Uzbekenergo”, including the Tashkent city electrical network enterprise. (reference of JSC “Uzbekenergo” under the No. RM-01-21/6845 dated December 3, 2018). The results of research work allowed determining and reducing the additional losses by 2-3% arising under the action of higher harmonics in asymmetric modes;

the “Uzstandard” Agency conducted metrological certification of the Malika-01 measuring device under No.05.13919-2018, working on the basis of the algorithm for calculating reactive power losses taking into account higher harmonics (reference issued by “Uzstandard” under the No.1608 dated October 24, 2018).

The structure and volume of the research work. The dissertation consists of introduction, four chapters, conclusion, a list of references and appendixes. The text of the thesis is presented on 119 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим; (I часть; I part)

1. Шаисматов С.Э., Дуболозов О.Н. О создании автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учёта электроэнергии в Узбекистане // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2009. №3-4. С. 48-52. (05.00.00; № 21).
2. Шаисматов С.Э. Современные способы улучшения качества электроэнергии // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2016. №1-2. С. 64-68. (05.00.00; № 21).
3. Shaismatov S.E., Kholiddinov I. Kh. About the method of determining the symmetrical components of voltages and currents // European science review. 2016. №9-10. P. 224-226. (05.00.00; № 3).
4. Шаисматов С.Э. Высшие гармонические составляющие напряжения и их источники в системе электроснабжения// Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2017. №1-2. С. 85-90. (05.00.00; № 21).
5. Шаисматов С.Э. О методах определения симметричных составляющих напряжений и токов // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2017. №1-2. С. 34-40. (05.00.00; № 21).
6. Шаисматов С.Э., Холиддинов И.Х. Разработка алгоритма исследования высших гармоник на основе современной инструментальной базы // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2018. №1-2. С. 85-91. (05.00.00; № 21).
7. Аллаев К.Р., Шаисматов С.Э. Исследование влияния высших гармоник на фотоэлектрической станции // Вестник ТашГТУ. 2018. №1-2. С. 51-56. (05.00.00; № 16).
8. Шаисматов С.Э., Холиддинов И.Х. Разработка алгоритма расчета реактивной мощности по гармоническим составляющим // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2018. №3-4. С.45-50. (05.00.00; № 21).
9. Шаисматов С.Э. Моделирование активного фильтра для управления качеством электроэнергии// Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2018. №3-4. С. 75-81. (05.00.00; № 21).
10. Шаисматов С.Э. Моделирование распределительной сети с нелинейной нагрузкой для анализа снижения высших гармоник // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2018. №3-4. С. 140-147. (05.00.00; № 21).
11. Шаисматов С.Э. Обзор методов расчета высших гармонических составляющих // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2018. №1-2. С.10-22. (05.00.00; № 21).
12. Шаисматов С.Э. Анализ технических средств для снижение высших гармоник // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2018. №1-2. С.10-22. (05.00.00; № 21).

II бўлим (II часть; II part)

13. Аллаев К.Р., Шаисматов С.Э., Холиддинов И.Х. Устройство для регистрации дополнительных потерь электроэнергии при несимметрии нагрузок в низковольтных электрических сетях. Патент UZ FAP №01166. Расмий ахборотнома. 2016. № 12. С. 36. 22.05.2015.

14. Shaismatov S.E., Kholiddinov I. Kh. Modular method of calculation of asymmetry of current and voltage in the electric network of 0.38 kV // European Applied Sciences. Stuttgart, Germany, 2015. N8. P. 57-61.

15. Shaismatov S.E., Kholiddinov I.Kh. The effect of the power factor correction units on power grid performance // The USA Journal of Applied Sciences. 2015. N4. P.24-27.

16. Холиддинов И.Х., Шаисматов С.Э. Контроль качества электроэнергии в системах электроснабжения и их приборное обеспечение // Республика илмий амалий анжумани “Энергия тежамкорлиги, электр энергетикаси таъминоти узлуксизлигини таъминлаш концепциясининг долзарб муаммолари ҳамда унинг ечимлари самарадорлигини ошириш”. Фарғона, 2016. С. 158-160.

17. Шаисматов С.Э. Современное состояние применение активных и пассивных фильтров. // Республика илмий амалий анжумани “Энергия тежамкорлиги, электр энергетикаси таъминоти узлуксизлигини таъминлаш концепциясининг долзарб муаммолари ҳамда унинг ечимлари самарадорлигини ошириш”. – Фарғона, 2016. С. 180-182.

18. Шаисматов С.Э. Разработка алгоритма исследования высших гармоник на основе современной инструментальной базы // V Международная научно-практическая конференция «Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации». Пенза, 2018. С. 25-30.

19. Холиддинов И.Х., Шаисматов С.Э. Разработка алгоритма потерь мощности по гармоническим составляющим // XV Международная научно-практическая конференция «International Innovation Research». Москва, 2018. С. 18-23.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» ва «Энергия ва ресурс тежаш муаммолари» журналлари таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлари ўзаро мувофиқлаштирилди (10.12.2018 йил).

Босишга рухсат этилди: 14.12. 2018 йил
Бичими 60x45 ¹/₁₆, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 4. Адади 100.

“BusinessFayzPrint” масъулияти чекланган жамияти.
100111, Тошкент шаҳри, Навоий кучаси, 30

