

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА
«ИЛМИЙ-ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МЧЖ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ХОЛИДДИНОВ ИЛХОМБЕК ХОСИЛЖОНОВИЧ

**ПАСТ КУЧЛАНИШЛИ ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДАГИ
НОСИММЕТРИК ҲОЛАТЛАРДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ СИФАТИНИ
ТАЪМИНЛАШ УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**05.05.02 – Электротехника. Электр энергия станциялари, тизимлари.
Электротехник мажмуалар ва қурилмалар**

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

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

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

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

Холиддинов Илхомбек Хосилжонович

Паст кучланишли электр тармоқларидаги носимметрик

ҳолатларда электр энергия сифатини таъминлаш

усулларини ишлаб чиқиш.....5

Холиддинов Илхомбек Хосилжонович

Разработка методов обеспечения качества электроэнергии

при несимметричных режимах в низковольтных

электрических сетях 19

Kholiddinov Ilkhombek Khosilzhonovich

Development of methods for ensuring the quality of electricity

with asymmetric modes in low-voltage

electrical networks.....35

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....38

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА
«ИЛМИЙ-ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МЧЖ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ХОЛИДДИНОВ ИЛХОМБЕК ХОСИЛЖОНОВИЧ

**ПАСТ КУЧЛАНИШЛИ ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИДАГИ
НОСИММЕТРИК ҲОЛАТЛАРДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ СИФАТИНИ
ТАЪМИНЛАШ УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**05.05.02 – Электротехника. Электр энергия станциялари, тизимлари.
Электротехник мажмуалар ва қурилмалар**

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

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси қошидаги Олий аттестациялаш комиссиясида В 2017.1.Phd/T92 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз тилида (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва «ZiyoNet» ахборот таълим порталида (www.ziyo.net) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Аллаев Қаҳрамон Раҳимович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Бобожонов Максуд Қаландарович
техника фанлари доктори, профессор

Соколов Валерий Константинович
техника фанлари доктори, профессор

Етақчи ташкилот:

Тошкент темир йўл муҳандислари институти

Диссертациянинг ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва «Илмий-техника маркази» МЧЖ ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.03.03 рақамли Илмий кенгашининг 2017 йил «__» _____ соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (__ рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент, Университ кўч., 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

Диссертация автореферати 2017 йил «__» _____ да тарқатилган.
(2017 йил «__» _____ даги __ рақамли реестр баённомаси).

Р.А. Захидов

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси ўринбосари
ЎзР ФА академиги, т.ф.д., профессор

О.Х. Ишназаров

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д.

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. Бугунги кунда дунёда истеъмолчиларни узлуксиз ва сифатли электр энергия билан таъминлаш ҳамда электр энергия сифат кўрсаткичларининг бузилишидан келиб чиқувчи йўқотишларни бартараф этиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Шу жиҳатдан энергетика соҳасида электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш ва истеъмол қилиш самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ривожланган мамлакатларда «электр энергия йўқотишлари асосан 0,4–10 кВ кучланишли электр тармоқларига тўғри келади, бу эса йўқотишларнинг умумий ҳолда 60 % ташкил этади»¹.

Жаҳонда электр тармоқлардаги электр энергия сифат кўрсаткичларини ихтисослаштирилган ўлчаш воситаси ёрдамида аниқлашга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ушбу соҳада, жумладан, электр тармоқларида ўрнатилган носимметрик ҳолатлар даражасини аниқлаш учун такомиллаштирилган ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш, паст кучланишли электр тармоқларида электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш қурилмасини ишлаб чиқиш, тоқлар ва кучланишлар носимметриясини пасайтириш учун усуллар ва техник воситаларни яратиш йўналишларида амалга оширилаётган илмий-тадқиқот ишлари муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Республикамиз мустақилликка эришгач иқтисодиётнинг муҳим тармоғи бўлган энергетика соҳасини сифат жиҳатидан ривожлантириш, замонавий талаблар асосида соҳанинг техник-технологик даражасини юксалтиришга алоҳида эътибор қаратилди. Бу борада паст кучланишли электр тармоқларида электр энергиясини назорат қилишда сезиларли натижаларга эришилиб, жумладан, электр энергияси ҳисоби назоратини автоматик тизимидан фойдаланган ҳолда самарали бошқариш тизими йўлга қўйилди. Шу билан бир қаторда, жумладан, паст кучланишли электр тармоқларида электр энергия сифатини ошириш ва йўқотишларни камайтириш учун мўлжалланган қурилмаларни такомиллаштиришни талаб этмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «... янги электр энергия ишлаб чиқариш қувватларини қуриш ва мавжудларини модернизация қилиш, паст кучланишли электр тармоқлари ва трансформатор пунктларини янгилаш асосида аҳолини электр энергияси ҳамда бошқа ёқилғи-энергия ресурслари билан таъминлашни яхшилаш, шунингдек, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш»² бўйича вазифалари белгиланган. Мазкур вазифани амалга оширишда, жумладан, паст кучланишли электр тармоқлари ва трансформатор пунктларида носимметрик ҳолатларни аниқловчи ва бартараф этувчи қурилмаларини яратиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича

¹https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2833

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

Харакатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2016 йил 23 ноябрдаги ПҚ-2661-сон «2017-2021 йилларда паст кучланишли электр тармоқларини янгилаш ва модернизация қилиш дастури тўғрисида»ги Қарори, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2010 йил 13 декабрдаги 294-сон «2011-2015 йиллар учун паст кучланишли электр тармоқларини янгилаш ва модернизация қилиш дастури тўғрисида»ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II.«Энергетика, энергия ва ресурс-тежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Паст кучланишли электр тармоқларининг носимметрик ҳолатларида электр энергия сифат кўрсаткичларини таъминлаш алгоритмлари, усуллари ва қурилмаларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан University of Michigan (АҚШ), 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 (Янги Зеландия), Электр динамика институти (Украина), Москва энергетика институти (Россия), «Илмий-техника маркази» МЧЖ ва «Энергомарказ» МЧЖ да (Ўзбекистон) кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Паст кучланишли электр тармоқларида электр таъминоти самарадорлигини ошириш, йўқотишларни пасайтириш, электр энергия сифатини ошириш бўйича илмий муаммоларни ҳал қилишда машҳур олимлар В.А. Веников, Н.А. Мельников, Л.А. Солдаткина, И.А. Будзко, И.В. Жежеленко, В.И. Идельчик, С.Ю. Гамазин, Ю.С. Железко, Т.Б. Лещинская, И.И. Карташев, В.Н. Тульский, шунингдек мамлакатимиз олимлари Х.Ф. Фозилов, Дж.А. Абдуллаев, Т.Х. Насиров, К.Р. Аллаев, Т.Ш. Гайибов, А.А. Хошимов, Ф.А. Хошимов, Т.М. Қодиров ўз ҳиссаларини қўшганлар. Паст кучланишли тақсимлаш тармоқларида электр энергия сифатини яхшилаш ва электр энергия йўқотишларини камайтириш муаммоларини ҳал қилишга бағишланган тадқиқотлар, ушбу тармоқлардаги иш ҳолатини симметриялаш вазифасини ҳал қилишга бевосита боғлиқ.

В.Г. Аввакумов, А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов, Ф.Д. Косоухов, И.В. Наумов, В.А. Агунов, Т.П. Губенко, Х. Акаги, Дж. Арриллага каби ва бошқа машҳур муаллифларнинг илмий ишлари носимметрияни баҳолаш бўйича самарали усулларни тадқиқ қилиш ва ишлаб чиқишга бағишланган. Сезиларли муваффақиятларга қарамай, 0,4 кВли электр тармоқларида носимметрик иш ҳолатларида электр энергия сифатини таъминлаш бўйича ишлаб чиқилган усулларни такомиллаштириш ва янги усулларни яратиш муаммоси долзарб бўлиб қолаверади. Мазкур ишда паст кучланишли тақсимловчи электр тармоқларидаги носимметрик иш ҳолатларида электр энергия сифатини

таъминлаш ва қўшимча йўқотишларни ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш, шунингдек электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш учун мўлжалланган қурилмани ишлаб чиқиш етарли даражада ўрганилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг ИОТ–2013–2–28 «Саноат корхоналарида энергияни тежовчи реактив қувватнинг автоматик ростлагичларини жорий қилиш» (2013-2014), №9/15 сон «0,4 кВли тақсимловчи тармоқларда электр энергия сифат кўрсаткичларини таъминлаш усуллари, алгоритмлари ва воситаларини ишлаб чиқиш» (2015) мавзуларидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади паст кучланишли электр тармоқларида ўрнатилган носимметрик ҳолатларда электр энергия сифат кўрсаткичларини таъминлаш усуллари ва воситаларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

тоқлар ва кучланишлар носимметриясини пасайтириш учун техник воситаларни таҳлил қилиш;

бўйлама ва кўндаланг носимметрияда қўшимча йўқотишларни баҳолаш усулини ишлаб чиқиш;

энергия тизимида реактив қувват манбаларини аралаш бошқариш тизими учун уч фазали носимметрик токни кучланишга электр магнитли ўзгартиргич конструкциясини ишлаб чиқиш;

уч фазали носимметрик токни кучланишга электр магнитли ўзгартиргич асосида электр энергия сифатини таъминлаш усулини ишлаб чиқиш;

паст кучланишли электр тармоқларида электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш қурилмасини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида паст кучланишли электр тармоқларидаги носимметрик иш ҳолатлари олинган.

Тадқиқотнинг предмети электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш ва таъминлаш воситалари, носимметрик иш ҳолатларида йўқотишларни аниқлаш усуллари ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида электротехника, электр занжирлари ва тизимлари назарияси, симметрик ташкил этувчилар усули қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

паст кучланишли электр тармоқларида бўйлама ва кўндаланг носимметрияда қўшимча йўқотишларни баҳолаш усули ишлаб чиқилган;

уч фазали носимметрик токни кучланишга электр магнитли ўзгартиргичнинг схематик конструкцияси ишлаб чиқилган;

уч фазали носимметрик токни кучланишга электр магнитли ўзгартиргичдан фойдаланиб электр энергия сифатини таъминлаш усули ишлаб чиқилган;

паст кучланишли электр тармоқларида электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш учун мўлжалланган «Malika-01» қурилмаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

уч фазали носимметрик токнинг кучланишга электр магнитли ўзгартиргичдан фойдаланиб электр энергия сифат кўрсаткичларини таъминлаш усули ишлаб чиқилган;

носимметрик даражасини ҳисоблаш имконини берувчи алгоритм асосида ишловчи паст кучланишли электр тармоқларида электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш учун мўлжалланган «Malika-01» қурилмаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги электротехника, электр занжирлари ва тизимлари назариясининг фундаментал қоидаларига асосланганлиги билан, шунингдек назарий ва экспериментал натижаларининг мос келиши билан белгиланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти, симметрик ташкил этувчилар усулини ночизиқли ва носимметрик юкламаларга эга бўлган, паст кучланишли электр тармоқларидаги ўрнатилган носимметрик ҳолатларнинг параметрларини аниқлаш масалаларини ечишда қўллаш, кўп сонли электр энергия сифат кўрсаткичлари моҳиятини ўрганиш билан изоҳланади.

Олинган натижаларнинг амалий аҳамияти реактив қувват манбаларини бошқариш тизимида, электр энергия сифатини таъминлаш усулини ва электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш қурилмасини ишлаб чиқишдан иборат. Ишлаб чиқилган импорт ўрнини босувчи қурилма паст кучланишли электр тармоқларида электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчашда, электр энергия сифатини яхшилашга йўналтирилган тадбирларни ишлаб чиқишда, электр энергия билан таъминловчи ташкилотлар ва истеъмолчилар ўртасидаги, ўзаро электр энергия ҳисоби соҳасидаги тижорат муносабатларини такомиллаштиришда кенг қўламда қўлланилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Паст кучланишли электр тармоқларидаги носимметрик ҳолатларда электр энергия сифатини таъминлаш усулларини ишлаб чиқиш илмий натижалар асосида:

уч фазали носимметрик токни кучланишга электр магнитли ўзгартиргич схемасига Ўзбекистон интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти олинган («Уч фазали ток носимметриялигини кучланишга электр магнитли ўзгартиргич»; IAP 05383-сон, 2017 й.). Натижа маълумотларни ўзгартириш аниқлигини икки марта ошириш имконини берган;

паст кучланишли электр тармоқларида носимметрик ҳолатларда қўшимча йўқотишларни ҳисоблаш усули ҳамда «Malika-01» ўлчаш воситаси «Ўзбекэнерго» АЖ тизимида кирувчи корхоналарга, жумладан Тошкент ҳудудий электр тармоқлари корхонасига жорий қилинган («Ўзбекэнерго» АЖнинг 2016 йил 6 ноябрдаги ДИ-01-21/4103-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижаларининг қўлланилиши носимметрик ҳолатларда 1,45% қўшимча йўқотишларни аниқлаш ҳамда ушбу йўқотишларни 1,21 % га камайтириш имконини берган;

ўрнатилган носимметрик ҳолатларда симметрик ташкил этувчилар усулидан фойдаланиб, носимметрия даражасини ҳисоблаш имконини берувчи

алгоритм асосида ишловчи «Malika-01» ўлчаш воситаси Давлат реестрига 05.13919-2016-сон билан рўйхатга олинган («Ўзстандарт» агентлигининг 2016 йил 26 октябрдаги 1608-сон маълумотномаси).

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 8 та илмий-амалий анжуманлар, шу жумладан 5 та Халқаро анжуманлар ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида апробациядан ўтди.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 24 та илмий иш, хорижий журналларда 2 та мақола, Республика журналларида 9 та мақола chop этилган бўлиб, Ўзбекистон Республикасининг битта ихтиро ва битта фойдали модел учун Патентлари мавжуд.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш қисми, тўртта боб, хулоса қисми, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, иловалардан ташкил топган. Диссертация ҳажми 119 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Электр энергия сифатини таъминлаш муаммоларининг ҳозирги кундаги ҳолати**» деб номланган биринчи бобида электр тармоқларидаги (ЭТ) носимметрик ҳолатларни ҳисоблаш усуллари кўриб чиқилган, мавжуд бўлган электр энергия сифат кўрсаткичларини (ЭСК) ўлчаш воситаларининг (ЎВ) имкониятлари таҳлил қилинган, 0,4 кВли тақсимловчи ЭТ иш ҳолатларини симметрияловчи мавжуд техник воситалар кўриб чиқилган.

Фойдаланилаётган ЭСК ЎВнинг аниқлик синфи 0,3 ва ундан юқори бўлганда, аниқ ҳисоблаш усулларида фойдаланиш маъқул эмас, чунки бу аниқлик бермайди. Шунингдек, аниқлиги юқори бўлган қурилмаларда маълум бўлган тахминий усуллардан фойдаланиш, усулий хатолик туфайли маъқул эмас.

ЭСК таъминловчи воситалар таҳлили хулосасига кўра конденсаторли ва электр магнитли симметрияловчи қурилмалар (СК) энг самарали СК эканлиги аниқланган. Электр магнитли СК фақат коммунал-маиший юкламани таъминлаш, конденсаторли қурилма эса - аралаш (коммунал-маиший ва ишлаб чиқариш) юкламаларини таъминлаш учун тавсия этилиши мумкин.

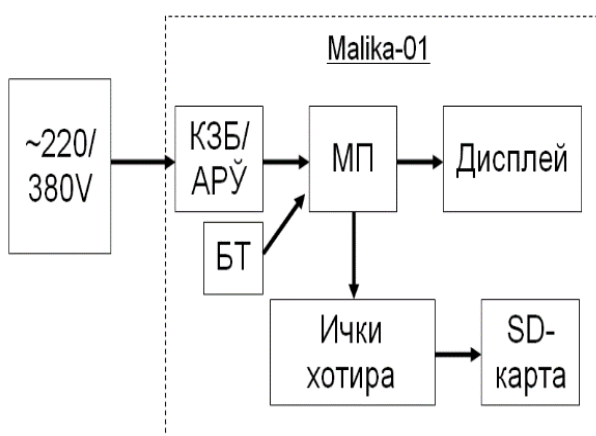
Диссертациянинг «**Электр тармоқларида кучланиш носимметриясини ўлчаш воситаси ва баҳолаш усулини ишлаб чиқиш**» деб

номланган иккинчи бобида кучланиш носимметрияси параметрларини ҳисоблаш алгоритми ва бўйлама ва кўндаланг носимметрияда қўшимча йўқотишларни баҳолаш усули ЭСК замонавий ЎВни ишлаб чиқишда фойдаланилганлиги келтирилган.

Аниқ ҳисоблаш усули асосида кучланиш носимметрияси коэффициентини ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган, у кучланишнинг тўғри, тескари ва ноль кетма-кетлигини аниқлаш имконини беради, чунки кўп ҳолларда нафақат симметрик ташкил этувчиларнинг кучланиш қийматини, балки фазалар орасидаги нисбийликни ҳам баҳолаш зарур. Носимметрик кучланишлар тизимли тармоқдан таъминланадиган бир қатор электр қурилмалар ишлашида кузатиладиган жараёнларни янада объектив баҳолаш зарур.

Муаллиф томонидан замонавий микропроцессорли базада бажарилган янги турдаги қурилма яратилган. Мазкур ўлчаш қурилмаси юқори метрологик тавсифларга эга ва ГОСТ 32144-2013 талабларига жавоб беради.

Ўлчагич ўзи ва у билан ишлайдиган ходим учун ҳам механик ва электр ҳимоясини таъминловчи пластмасса корпусга йиғилган ягона қурилма кўринишида бажарилган (1-расм).



КЗБ – кириш занжирлари блоки,

БТ – бошқариш тизими,

МП – марказий процессор

а- ўлчаш қурилмасининг тузилиши;

б- ўлчаш қурилмасининг умумий кўриниши.

1-расм. «Malika-01» ўлчаш қурилмаси

Энергияга боғлиқ бўлмаган ўрнатилган ички хотира сўнгги 10 кун мобайнида олинган ўлчовлар натижаларининг маълумотларни сақланишини таъминлайди. Маълумотларни «Malika-01» ўлчагичидан компьютерга узатиш SD карта орқали амалга оширилади. Олинган барча ЭСК натижаларни кўриб чиқиш, акс эттириш ва таҳлил қилиш учун «Case» дастури ишлаб чиқилган.

1-жадвалда ЭТ тавсия этилган ЭСК, назорат ва таҳлил қилиш учун зарур бўлган ўлчаш оралиқлари ва хатоликлари келтирилган.

Ўлчаш параметрлари рўйхати

№	Ўлчанаётган катталиклар номи	Бирлиги	Ўлчаш оралиғи	Асосий хатоликларнинг рухсат этилган чегараси		
				Δ	$\delta, \%$	$\gamma, \%$
1	Кучланишнинг оғиши, δU_y	%	-2 дан +20 гача	$\pm 0,5$	-	-
2	Кучланиш носимметриялигининг тескари кетма-кетлик коэффиценти, K_{2U}	%	0,1 дан 15 гача	$\pm 0,2$	-	-
3	Кучланиш носимметриялигининг ноль кетма-кетлик коэффиценти, K_{0U}	%	0,1 дан 15 гача	$\pm 0,2$	-	-
4	Ток носимметриялигининг тескари кетма-кетлик коэффиценти, K_{2I}	%	0,1 дан 50 гача			
5	Ток носимметриялигининг ноль кетма-кетлик коэффиценти, K_{0I}	%	0,1 дан 20 гача			
6	Частотанинг оғиши, Δf	Гц	-3 дан +3 гача	$\pm 0,02$	-	-
7	Кучланишнинг ҳаддан ташқари кўпайиш коэффиценти, $K_{перU}$	нисб. бир.	1,1 дан 1,5 гача	-	± 10	-
8	Кучланишнинг ҳаддан ташқари кўпайишнинг давомийлиги, $\Delta t_{перU}$	С	0,01 дан 60 гача	$\pm 0,01$	-	-
9	Кучланиш тушувининг чуқурлиги, δU_{Π}	%	10 дан 90 гача	-	± 2	-
10	Кучланиш тушувининг давомийлиги, Δt_{Π}	С	0,01 дан 60 гача	$\pm 0,01$	-	-
11	Кучланишнинг қиймати, U	В	$(0,8-1,2)U_{ном}$			$\pm 0,5$
12	Токнинг қиймати, I	А	$(0,1-1,2)I_{ном}$	-	-	± 2
13	Кучланиш ва ток орасидаги фаза бурчаги, $\cos\varphi_{UI}$	град.	-180 дан +180 гача	± 5	-	-
14	Актив, реактив қувватлар, P, Q	кВт, кВар	$(0,1-1,2)U_{ном}I_{ном}$	-	-	± 5

Қўшимча йўқотишларни баҳолаш учун кучланишларнинг носимметрик коэффиценти аналитик жиҳатдан асослаб берилган. Тескари ва ноль кетма-кетликлар бўйича ток носимметрияси коэффицентининг катталигини аниқлаб берувчи, фазалар - ΔI бўйлаб нобаланс катталиги муҳим ўрин тутди. Бунда 0,4 кВ тармоқдаги қувватларнинг йўқотиш катталиги қуйидаги кўринишда намоён этилиши мумкин:

$$\Delta P = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 + 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2 + 3 \cdot I_0^2 \cdot R_1 + (3I_0)^2 \cdot R_0 \quad [\text{Вт}], \quad (1)$$

бунда R_1 ва R_2 – 0,4 кВ тармоқдаги тескари ва ноль кетма-кетликларнинг актив қаршиликлари, мазкур ҳолатда улар ўзаро тенг бўлади; R_0 – ўтказичнинг ноль кетма-кетликдаги тоқлар учун, актив қаршилиги (фаза-ноль).

Ушбу ҳолатда $R_0=R_1$ нисбатни тўғри деб ҳисоблаш мумкин ва бундан қуйидагини оламиз:

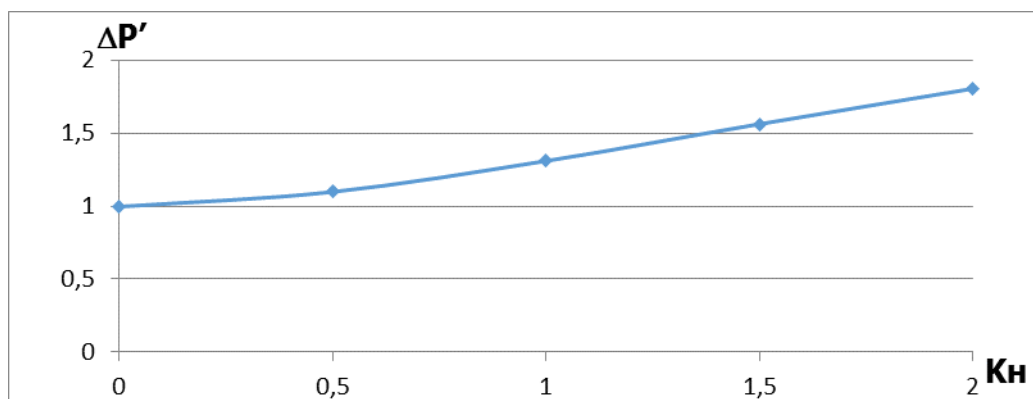
$$\Delta P = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 \cdot [1 + K_2^2 + K_0^2 \cdot (1+3R_0/R_1)], \quad (2)$$

$$K_2 = K_0 = (\Delta I/3)/(I_1+\Delta I/3) . \quad (3)$$

Тармоқдаги қувватнинг нисбий йўқотиш катталигини (2) ва (3) ни (1) ифодага қўйиб (фақат тўғри кетма-кетликнинг қувватлар йўқотишига нисбатан $\Delta P' = \Delta P / 3 \cdot (I_1^2 \cdot R_1)$) ўзгартиришлардан сўнг қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\Delta P' = 1 + 5 \cdot K_n^2 / (3 + K_n)^2, \quad (4)$$

бунда $K_n = \Delta I / I_1$ - фазалар бўйича юклама токнинг носимметрия коэффициенти.



2-расм. Фазалар бўйича кучланиш нобалансининг катталигига қараб 0,4 кВ тармоқда электр энергияси йўқотиши нисбий катталигининг ўзгариши

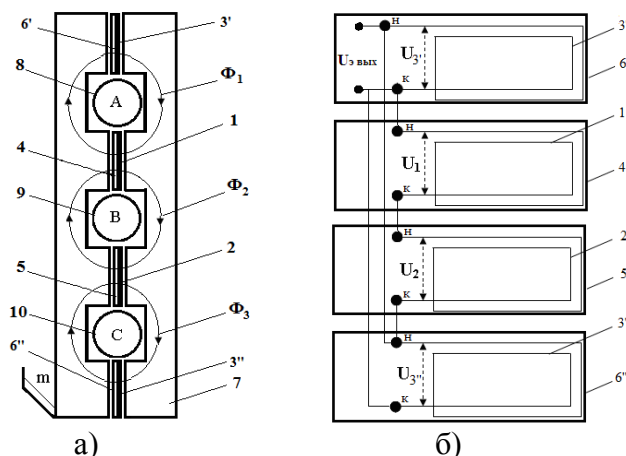
Жадвалдан кўриниб турибдики, (2-расм), $K_n=1.0$ бўлса, тармоқдаги йўқотишлар катталиги 30% дан кўпга ортади ва бу ўзгариш чизиклига яқин.

Диссертациянинг «**Уч фазали носимметрик токни кучланишга электр магнитли ўзгартиргичидан фойдаланиб электр энергия сифатини таъминлаш**» деб номланган учинчи бобида уч фазали носимметрик токни кучланишга электр магнитли ўзгартиргич ва ушбу ўзгартиргичдан фойдаланиб электр энергия сифатини таъминлаш усули ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижасида унификацияланган функционал имкониятли уч фазали носимметрик токнинг кучланишга электр магнит ўзгартиргичи чиқишида токнинг қиймати 100 мАгача, кучланиши эса 20 В бўлган сигналига эга ўзгартиргичи ишлаб чиқилган.

Уч фазали носимметрик токни кучланишга электр магнитли ўзгартиргич учун мўлжалланган қурилманинг конструкцияси ва технологиясини соддалаштириш вазифаси қўйилган бўлиб, бу магнит ўтказгич ўқи бўйлаб бирламчи фаза чўлғамларини жойлаштириш учун учта ўйикқа эга бўлган стерженли қилиб бажарилган, ўйиклар ўртасида эса ҳаво тирқиши қилинган бўлиб, уларга ўртадагилари бир бирига кетма-кет ва четларидаги эса қарама-қарши бирлаштирилган ясси ўлчов ғалтаклари ўрнатилган (3-расм, а).

Ўзгартиргич қуйидаги тарзда ишлайди. ЭТ 8, 9 ва 10 фазаларида ток оқиб ўтганда, магнит ўтказгичда 7, тирқишлари 1, 2, 3' ва 3'' ясси ўлчов ғалтакларининг ўрамлари Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 кесишадиган магнитли оқимлар пайдо бўлади ва бу кўрсаткич магнит кучланиш қийматини ҳам ифодалайди бунда:



а–конструкциянинг умумий кўриниши. б–ясси ўлчов ғалтакли изоляцион пластинка
3-расм. Уч фазали носимметрик токни кучланишга электр магнитли ўзгартиргич

$$\dot{U}_{\mu 1} = (\dot{I}_A \cdot W_{61}) / R_{\mu 1} \quad [\text{B}]; \quad (5)$$

$$\dot{U}_{\mu 2} = (\dot{I}_B \cdot W_{62}) / R_{\mu 2} \quad [\text{B}]; \quad (6)$$

$$\dot{U}_{\mu 3} = (\dot{I}_C \cdot W_{63}) / R_{\mu 3} \quad [\text{B}]; \quad (7)$$

бунда $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$, $\dot{I}_C$ - уч фазали ЭТ ток ўтказгичлари бўйлаб оқадиган бирламчи тоқлар; W_{61} , W_{62} , W_{63} – бирламчи чўлғамларнинг ўрамлари сони (бу ерда $W_{61}=W_{62}=W_{63}=1$, яъни ҳар бир бирламчи чўлғам бир ўрам кўринишида бажарилган ва магнит ўтказгичнинг ўйиқларига жойлашган 7); $R_{\mu 1}$, $R_{\mu 2}$, $R_{\mu 3}$ – мос равишда Φ_1 , Φ_2 ва Φ_3 магнитли оқимлар йўлидаги (магнит ўтказгичнинг ва ҳаво тирқишларининг) умумий магнитли қаршиликлари; $\dot{U}_{\mu 1}$, $\dot{U}_{\mu 2}$, $\dot{U}_{\mu 3}$ – мос равишдаги Φ_1 , Φ_2 ва Φ_3 магнит оқимларга тенг магнит кучланишлари.

Ҳар бир ясси ўлчов ғалтагининг чиқишидаги $\dot{U}_1$, $\dot{U}_2$, $\dot{U}_3$ (бунда $\dot{U}_3 = \dot{U}_{3'} + \dot{U}_{3''}$) кучланишлар магнит ўтказгич 7 ўйиқларининг ҳаво тирқишларидаги Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 магнитли оқимларнинг ўзаро таъсирига қараб аниқланади (3-расм, б):

$$\dot{U}_1 = (\Phi_1 - \Phi_2) / 4,44 \cdot 10^{-8} f W_{\dot{y}1} = (\Phi_1 - \Phi_2) / K_{\mu \dot{y}} \quad [\text{B}], \quad (8)$$

$$\dot{U}_2 = (\Phi_2 - \Phi_3) / 4,44 \cdot 10^{-8} f W_{\dot{y}2} = (\Phi_2 - \Phi_3) / K_{\mu \dot{y}} \quad [\text{B}], \quad (9)$$

$$\dot{U}_{3'} = 4,44 \cdot 10^{-8} f W_{\dot{y}3'} \Phi_1 \quad [\text{B}], \quad (10)$$

$$\dot{U}_{3''} = 4,44 \cdot 10^{-8} f W_{\dot{y}3''} \Phi_3 \quad [\text{B}], \quad (11)$$

бунда $K_{\mu \dot{y}} = 1 / (4,44 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot W_1)$ – магнит оқимининг электр кучланишига ўзгартириш коэффициенти, $W_{\dot{y}1}$, $W_{\dot{y}2}$, $W_{\dot{y}3'}$, $W_{\dot{y}3''}$ – ясси ўлчов ғалтаклари 1, 2, 3' ва 3'' (ясси ўлчов ғалтаклари ўрамлари $W_{\dot{y}}$ сони бир хил қилиб бажарилади) ўрамларининг сони, f – таъминловчи ЭТ частотаси.

Симметрик уч фазали токда, яъни $I_A = I_B = I_C$, ясси ўлчов ғалтакларининг U_1 , U_2 , U_3 чиқиш кучланишлари (8-11) ифодаларга биноан ампли-тудаси бўйича бир хил, чунки $|\Phi_1 - \Phi_2| = |\Phi_2 - \Phi_3|$, демак $\dot{U}_{\text{э.чик.}}$ кучланиш (12) ифодага биноан нольга тенг:

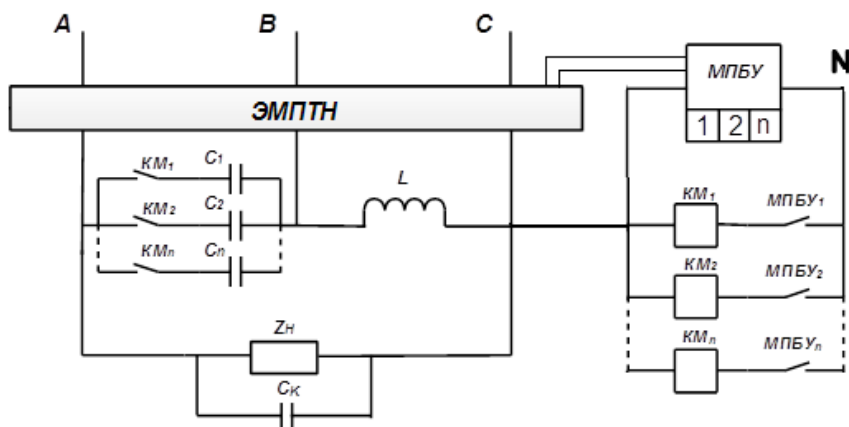
$$\dot{U}_{\text{э.чик.}} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 = 0 \quad [\text{B}]. \quad (12)$$

(12) ифодадан кўриниб турибдики, кучланиш $\dot{U}_{э.чик}$ ясси ўлчов ғалтакларини 1, 2, 3' ва 3'' бир-бирига кетма-кет, 3' ва 3'' ўзаро қарама-қарши қилиб бирлаштириш йўли билан $\dot{U}_1$, $\dot{U}_2$ ва $\dot{U}_3$ йиғиндиси сифатида аниқланади.

Магнит ўтказгич 7 электр тармоғининг $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ ва $\dot{I}_C$ фазалари тоқлари билан яратилган Φ_1 , Φ_2 ва Φ_3 магнитли оқимлар, магнитли оқимларнинг $\Phi_1 \neq \Phi_2 \neq \Phi_3$ нотенглигида, демак уч фазали ЭТ $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ ва $\dot{I}_C$ бирламчи тоқларининг нотенглигида ҳам пайдо бўладиган, чиқиш кучланиш $\dot{U}_{э.чик}$ кўринишидаги ЭТдаги уч фазали тоқларнинг носимметрияси ҳақидаги маълумотларни олиш имконини беради.

Ўқ бўйлаб жойлашган учта ўйикли бажарилган магнит ўтказгич ва ўртадагилари бир-бирига кетма-кет ва четдагилари ўзаро қарама-қарши қилиб бирлаштирилган ясси ўлчов ғалтаклари ўрнатилган ўйиклар ўртасида пайдо бўлган ҳаво тирқишларининг мавжудлиги, қўшимча ўзакнинг йўқлиги ҳисобига конструкциясини сезиларли даражада соддалаштиради, шунингдек штампли технологияни кенг қўллаш имконияти асосида магнит ўтказгични тайёрлаш технологиклигини оширади.

Носимметрия қийматини билган ҳолда, муаллиф томонидан ишлаб чиқилган Штейнметц схемаси асосида бажарилган, бошқариладиган СКдан фойдаланиш мумкин. (4-расм). Ушбу қурилманинг бошқарилмайдиган қурилмалардан фарқи конденсатор батареялар қуввати микропроцессорлик бошқариш блоки (МПБУ) асосида параллел уланган конденсаторлар секциялари қисмини ёқиш ва ўчириш орқали бошқарилади. МПБУ уч фазали носимметрик тоқлар ва кучланишлар ҳақида сигнални носимметрик токни кучланишга электр магнитли ўзгартиргич асосида қабул қилади. Электр юклама Z_H ва симметрияловчи индуктив элементи L зарур бўлган реактив қувватни манба – статик конденсатор батареяларидан C_K олади.



4-расм. Бошқариладиган симметрияловчи қурилманинг схемаси

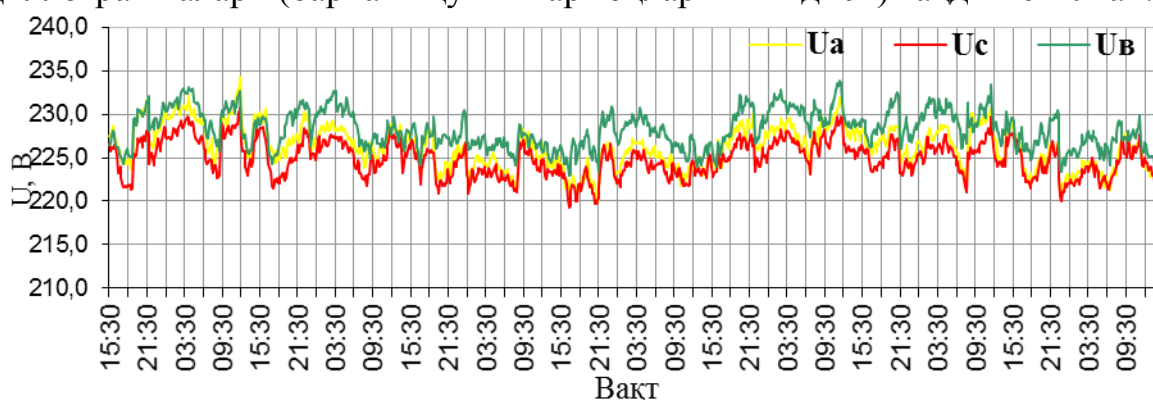
Магнитли пушқателларнинг (KM_1 – KM_n) куч контактларини бошқариш асосида, конденсатор қурилмалари C_1 – C_n сиғимларини бошқариш ва электр таъминоти тизимининг кучланишларини симметриялаш таъминланади. Реактив қувват манбаларини аралаш бошқаришда уч фазали бирламчи токни иккиламчи кучланишга электр магнитли ўзгартиргичлар конструкцияларини энергия тизими ЭТларига жорий қилиш, уч фазали ЭТларни, тоқлар қиймати ва фазаси бўйича назорат қилиш ва бошқаришда носимметрияни инобатга олишни

имконини беради.

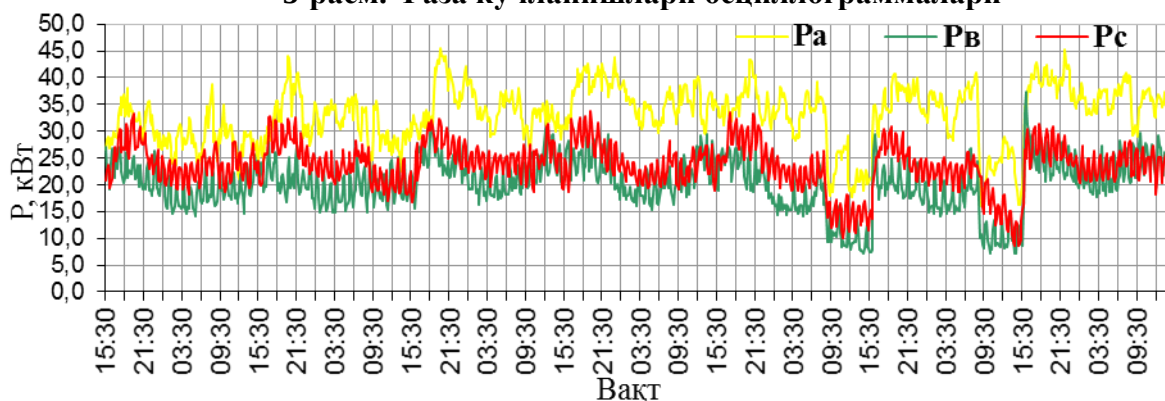
Шундай қилиб, реактив қувват манбаларини аралаш бошқариш усули ва элементи ишлаб чиқилди. Тадқиқодлар натижалари реактив қувват манбаларини автоматик бошқариш схемаларида жорий қилинди.

Диссертациянинг «**Электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш ва таъминлаш қурилмаларини иқтисодий асослаш**» деб номланган тўр-тинчи бобида амалдаги 0,4 кВли ЭТларда носимметрик шароитда ўлчаш қурилмасидан фойдаланган ҳолда ҳисобий, тажрибавий тадқиқотлар ўтказилган ва СҚ қўллашнинг иқтисодий самарадорлиги ҳисобланган.

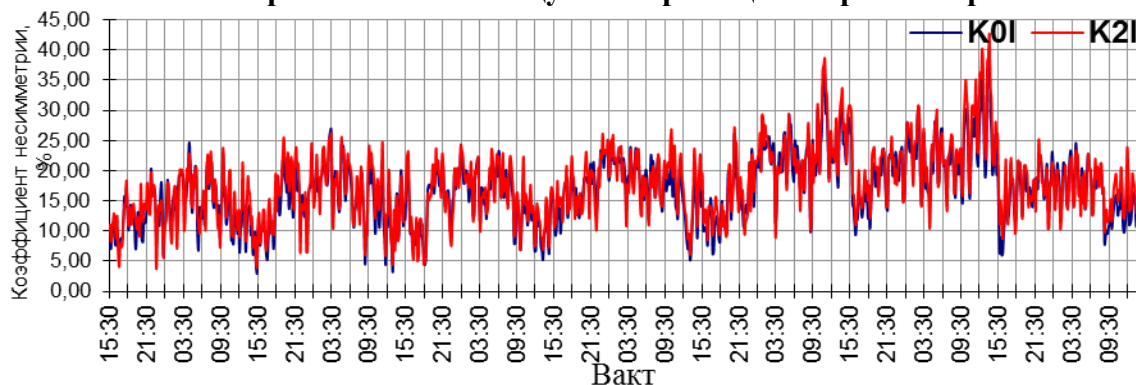
Тадқиқотнинг амалий қисми сифатида Тошкент ҳудудий электр тармоқлари корхонасининг Зангиота туманидаги 399 – сон трансформатор пунк-ти (ТП) танлаб олинган. 5-7-расмларда ТП паст кучланишли томонининг бошланишида олинган ЭСК параметрларининг етти кунлик ўзгариш осциллограммалари (барча чиқувчи тармоқлар йиғиндиси) тақдим этилган.



5-расм. Фаза кучланишлари осциллограммалари

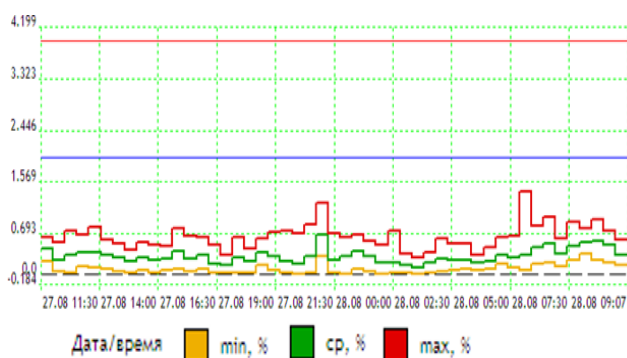


6-расм. Фаза актив қувватлари осциллограммалари

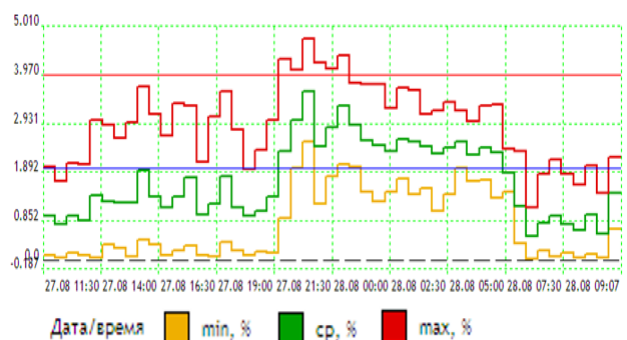


7-расм. Ноль (K_{0I}) ва тескари (K_{2I}) кетма-кетликлар бўйича ток носимметрияси коэффициентлари осциллограммалари

Осциллограммалар шуни кўрсатадики, носимметрия параметрлари ГОСТ 32144-2013 талабларига мос келмайди. Батафсил ўрганиш учун ҳар бир электр узатиш тармоғида кунлик алоҳидадан ўлчовлар ўтказилган. Мисол тариқасида 3–тармоқ танлаб олинган. Тадқиқот қилинаётган вақт мобайнида ўртача ток 3–тармоқнинг «А» фазасида – 20,6 А, «В» – 8,4, «С» – 11,1 А тенглиги аниқланган. Юкламанинг тенг тақсимланмаганлиги тескари ва ноль кетма-кетликлар бўйича толар носимметрияси коэффицентларининг юзага келишига олиб келган (8-расм), уларнинг ўртача қиймати $K_{2i} = 0,303$, $K_{0i} = 0,33$. Бунинг оқибатида қўшимча йўқотишлар коэффиценти ўртача қиймати $K_p = 1,45$ га тенг бўлган ортишига олиб келган.



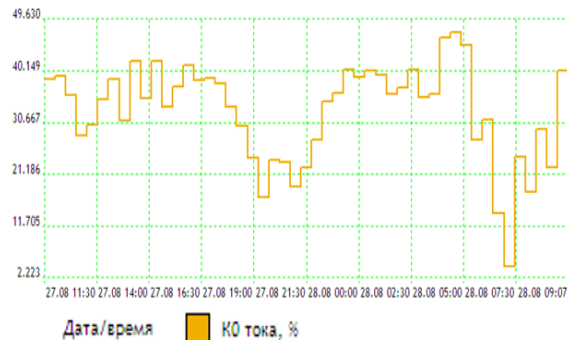
а) кучланиш носимметрияси коэффицентининг тескари кетма-кетлиги ўзгаришлари K_{2U}



б) кучланиш носимметрияси коэффицентининг нол кетма-кетлиги ўзгаришлари K_{0U}



в) ток носимметрияси коэффицентининг тескари кетма-кетлиги ўзгариши K_{2i}



г) ток носимметрияси коэффицентининг нол кетма-кетлиги ўзгариши K_{0i}

8-расм. Тескари ва нол кетма-кетликлар бўйича кучланиш ва тоқлар носимметрияси коэффицентларини ўзгаришларининг графиглари

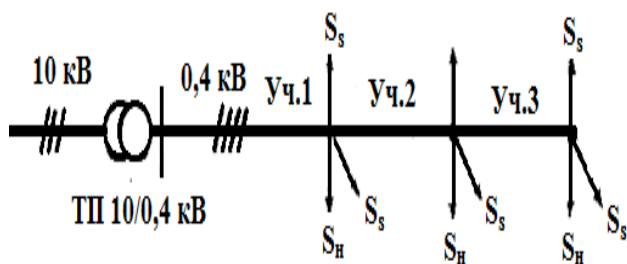
Кўриб чиқиладиган электр узатиш тармоғида коэффицентлар СҚ бўлмаганда энг катта қийматларга эга: $K_{2I}=30\%$, $K_{0I}=33\%$, $K_p=1,45$ (8-расм, в, г). Тармоқнинг бутун узунлиги бўйича ТПдан энг узоқ жойлашган тугунгача таҳлил қилинаётган коэффицентлар ошиши кузатилган. СҚ уланганда биринчи тугунда, СҚ қўйилмаган иш ҳолатига нисбатан, $K_{2I}=15\%$, $K_{0I}=17\%$, $K_p=1,12$ гача камайиши кузатилган. Бошқа юкламалар тугунларида СҚ уланганда кўриб чиқиладиган коэффицентлар қуйидагича ўзгарган:

СҚ тармоқнинг ўртасига уланганда (иккинчи тугун): K_{2I} 18 % гача ошган; K_{0I} 22 % гача камайган; K_p – 1,23 гача камайган;

СҚ тармоқнинг охирига уланганда (учинчи тугун): K_{2I} 23 % гача ошган; K_{0I} 19 % гача камайган; K_p – 1,35 гача камайган;

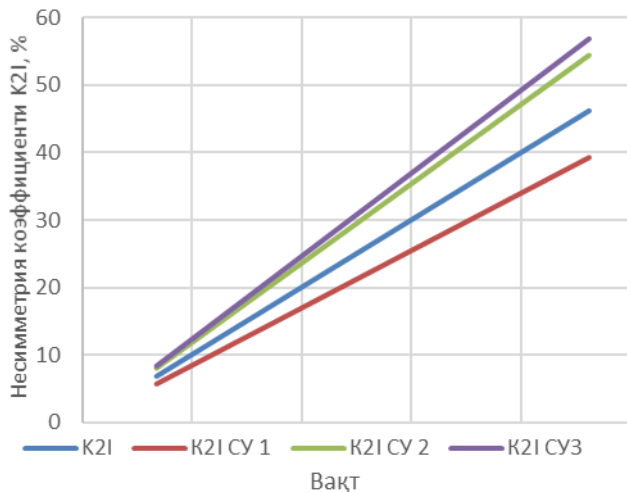
0,4 кВли тармоқнинг узунлиги бўйлаб СҚнинг уланиш нуқтасига боғлиқ ҳолда, K_{21} , K_{01} ва K_P коэффициентларнинг ўзгаришлари келтирилган (9-12 расм).

Шундай қилиб, СҚни биринчи тугунга уланганда энг юқори симметриялаш эффекти кузатилган, шунга асосан кучланиш носимметрияси коэффициентининг ноль кетма-кетлиги рухсат этилган қийматларда ушлаб туришга хизмат қилган.

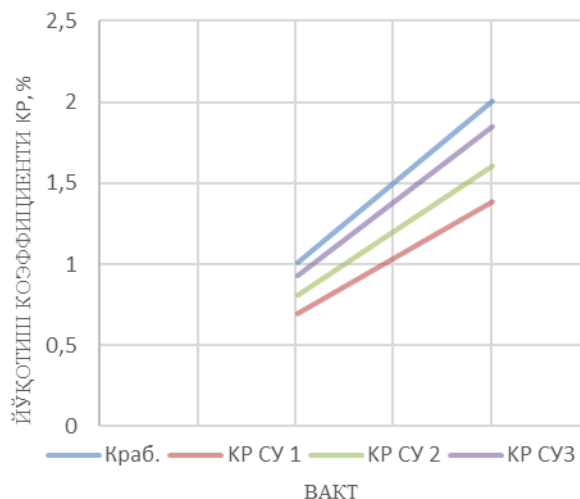


S_H - носимметрик юклама қуввати;
 S_s – симметрик юклама қуввати;
 S_{cy} – СҚнинг қуввати.

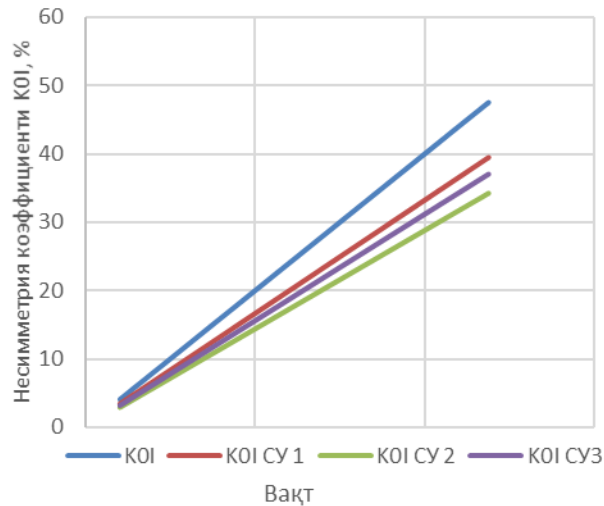
9-расм. Электр тармоғига юклама ва СҚ уланиш схемаси



11-расм. 0,4 кВли тармоқнинг узунлиги бўйлаб кучланишнинг тескари кетма-кетлик коэффициенти ўзгаришининг графиги



10-расм. 0,4 кВли тармоқнинг узунлиги бўйлаб қувват йўқолишини коэффициенти ўзгаришининг графиги



12-расм. 0,4 кВли тармоқнинг узунлиги бўйлаб токнинг ноль кетма-кетлик коэффициенти ўзгаришининг графиги

СҚ жорий қилиш натижасида, 0,4 кВли тармоқларда ва трансформаторларда кучланишлар носимметрияси ва улардаги электр энергия йўқолишини камайтирган, шунингдек электр қурилмалардаги кучланиш сифатини оширишга хизмат қилган.

ХУЛОСА

«Паст кучланишли электр тармоқларидаги носимметрик ҳолатларида электр энергия сифатини таъминлаш усуллари ишлаб чиқиш» техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси бўйича ўтказилган тадқиқот натижалари асосида қуйидаги хулоса тақдим этилган:

1. Фазалар бўйича бир фазали юкламаларнинг тенг тақсимланмаганлиги ва улар ишлашининг тасодикий характери оқибатида, 0,4 кВ паст кучланишли тақсимловчи электр тармоқларида тоқлар ва кучланишларнинг носимметриклик ҳолатларини юзага келтиради, бу эса электр энергия сифат кўрсаткичларининг сезиларли ёмонлашувидан қўшимча йўқотишларни аниқлаш имконини беради.

2. Носимметрик юкламали паст кучланишли тармоқлардаги сифат кўрсаткичларини таъминлаш ва йўқотишларни бартараф этишга имкон берадиган усуллар ва техник воситаларни қўллаш таҳлил қилинди. Ушбу тармоқларда тоқлар носимметриясини камайтириш учун автоматик қувват ростлагичига эга бўлган махсус симметрияловчи қурилмалар энг самарали техник восита бўлиб хизмат қилади.

3. Бўйлама ва кўндаланг носимметрияда қўшимча йўқотишларни баҳолаш усули ишлаб чиқилди. Фазалар бўйича юклама тоқини носимметрия коэффиценти $K_n=1.0$ га тенг бўлганда, тармоқдаги йўқотишлар қиймати 30% тенг бўлиб ва бу боғлиқлик чизиқлига яқин равишда ошиб бориши исботланди.

4. Реактив қувват компенсациясини бошқаришнинг аралаш усули учун уч фазали носимметрик тоқни кучланишга электр магнитли ўзгартиргичи ишлаб чиқилди ва унинг конструкциясига ихтиро учун IAP 05383–сонли патенти олинди. Ушбу ўзгартиргич мавжудларига нисбатан икки баробар юқори аниқликдаги маълумотларни ўзгартириш имконини беради.

5. Уч фазали носимметрик тоқни кучланишга электр магнитли ўзгартиргичидан фойдаланиб тайёрланган электр энергия сифатини таъминлаш имконини берувчи симметрияловчи қурилма биринчи тугунга уланганда, симметрияловчи қурилма қўйилмаган иш ҳолатига нисбатан, $K_{2I}=15\%$, $K_{0I}=17\%$, $K_p -1,12$ гача камайиши аниқланди. Симметрияловчи қурилмани биринчи тугунга улашниши энг юқори симметриялаш эффектини кузатиш имконини беради.

6. Паст кучланишли электр тармоқларида электр энергия сифат кўрсаткичларини ўлчаш учун мўлжалланган «Malika-01» ўлчаш воситаси яратилди ва фойдали модел учун FAP 01166–сонли патенти олинди. Давлат реестрга 05.13919-2016–сони билан рўйхатга киритилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК DSc.27.06.2017.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ и
ООО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ХОЛИДДИНОВ ИЛХОМБЕК ХОСИЛЖОНОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ
В НИЗКОВОЛЬТНЫХ 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 № В 2017.1.PhD/T92.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

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

Официальные оппоненты:

Бобожонов Максуд Каландарович
доктор технических наук, профессор

Соколов Валерий Константинович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

**Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2017 г. в _____ 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 - ____). (Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2017 года.
(протокол рассылки № «___» от «___» _____ 2017 г.).

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

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

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 уделяется снабжению потребителей бесперебойной качественной электроэнергией и снижению потерь, возникающих вследствие ухудшения качества электроэнергии. В этом отношении в сфере энергетики пристальное внимание уделяется повышению эффективности генерации, передачи и потребления электроэнергии. В развитых странах мира «потери электроэнергии сосредоточены в основном в сетях 0,4–10 кВ, общая доля потерь в них, от суммарных, в целом составляет около 60 %»¹.

В мире особое внимание придаётся определению показателей качества электроэнергии с помощью специализированных средств измерений. В этой сфере осуществление направленных научно-исследовательских работ, в том числе направленных на разработку усовершенствованных алгоритмов расчета для определения уровня установившегося несимметричного режима в электрических сетях, создание методов и технических средств снижения несимметрии токов и напряжений, разработка средств измерения показателей качества электроэнергии в низковольтных электрических сетях являются одними из важнейших задач.

С приобретением независимости республике особое внимание было уделено качественному развитию энергетики, являющейся одной из важнейших отраслей экономики, способствующих повышению её технико-технологического уровня на основе современных требований. В этой связи при учете электроэнергии в низковольтных электрических сетях были достигнуты определенные успехи, в том числе создано эффективное управление с использованием автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии. Вместе с этим необходимо совершенствование, в том числе устройств повышения качества и снижения потерь электроэнергии в низковольтных электрических сетях. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах отмечены задачи «... улучшение обеспечения населения электрической энергией на основе строительства новых и модернизации действующих электрогенерирующих мощностей, обновления 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. Осуществление этой задачи, в том числе создание устройств определения и устранения несимметричных режимов низковольтных электрических сетей и трансформаторных пунктов является одним из важнейших вопросов.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по

¹ https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2833

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

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» и 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, принятых в этой сфере.

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 разработку устройства, алгоритмов и методов обеспечения показателей качества электроэнергии при несимметричных режимах в низковольтных 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), ООО «Научно-технический центр» и ООО «Энергоцентр» (Узбекистан).

Большой вклад в решение научных проблем повышения эффективности электроснабжения низковольтных сетей, снижения потерь, повышения качества электроэнергии внесли известные ученые В.А. Веников, Н.А. Мельников, Л.А. Солдаткина, И.А. Будзко, И.В. Жежеленко, В.И. Идельчик, С.Ю. Гамазин, Ю.С. Железко, Т.Б. Лещинская, 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, Ф. Хошимов, Т.М. Кодиров и др. Исследования, посвящённые проблеме улучшения качества и снижения потерь электроэнергии в низковольтных распределительных сетях 0,4 кВ, непосредственно связаны с решением задачи симметрирования режимов работы этих сетей.

Исследованию и разработке эффективных методов оценки несимметрии посвящены научные работы известных авторов, таких как: В.Г. Аввакумов, А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов, Ф.Д. Косоухов, И.В. Наумов, В.А. Агунов, Т.П. Губенко, Х. Акаги, Дж. Арриллага и др. Несмотря на значительные достижения, актуальной остается проблема совершенствования разработанных и создания новых методов обеспечения качества электроэнергии при несимметричных режимах. В настоящей работе в достаточной степени изучена разработка методов обеспечения качества электроэнергии и расчет дополнительных потерь при несимметричных режимах, а также разработка устройства для измерения показателей качества электроэнергии в низковольтных 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 ИОТ–2013–2–28 «Внедрение в промышленных предприятиях энергосберегающих автоматических регуляторов реактивной мощности» (2013-2014), научно-технического исследования № 9/15 «Разработка методов, программных и аппаратных средств обеспечения качества электрической энергии в распределительных сетях 0,4 кВ» (2015).

Целью исследования является разработка методов и средств обеспечения показателей качества электроэнергии при установившихся несимметричных режимах в низковольтных электрических сетях.

Задачи исследования:

анализ технических средств устранения несимметричных режимов в электрических сетях;

разработка методики оценки потерь при продольной и поперечной несимметрии;

разработка конструкции электромагнитного преобразователя несимметрии трехфазного тока в напряжение для систем комбинированного управления реактивной мощностью энергосистем;

разработка методики обеспечения качества электроэнергии на основе электромагнитного преобразователя несимметрии трехфазного тока в напряжение;

разработка устройства измерения показателей качества электроэнергии в низковольтных электрических сетях.

Объектом исследования являются несимметричные режимы работы низковольтных электрических сетей.

Предмет исследования составляют технические средства обеспечения и средства измерения показателей качества электроэнергии, методы уменьшения потерь при несимметричных режимах работы.

Методы исследований. В процессе исследований использованы электротехника, теория электрических цепей и систем, методы симметричных составляющих.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработка методики оценки потерь при продольной и поперечной несимметрии в низковольтных электрических сетях;

разработана схематическая конструкция электромагнитного преобразователя несимметрии трехфазного тока в напряжение;

разработана метод обеспечения качества электроэнергии с использованием электромагнитного преобразователя несимметрии трехфазного тока в напряжение;

разработано устройство «Malika-01», предназначенное для измерения показателей качества электроэнергии в низковольтных электрических сетях.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана метод обеспечения качества электроэнергии с использованием электромагнитного преобразователя несимметрии трехфазного тока в напряжение;

разработано устройство «Malika-01», предназначенное для измерения показателей качества электроэнергии в низковольтных электрических сетях, которое работает на основе алгоритма расчета уровня несимметрии.

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

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования характеризуется изучением сущности многочисленных показателей качества электроэнергии, с применением метода симметричных составляющих для решения задач по определению параметров установившихся несимметричных режимов в низковольтных электрических сетях, содержащих нелинейные и несимметричные нагрузки.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке методики обеспечения качества электроэнергии в системе управления источниками реактивной мощности и устройства измерения показателей качества электроэнергии. Разработанное импортозамещающее устройство найдет широкое применение при совершенствовании коммерческих взаимоотношений в области учета электроэнергии, расчетах между энергоснабжающими организациями и потребителями, а также при разработке мероприятий, нацеленных на улучшение качества электроэнергии.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов разработки методов обеспечения качества электроэнергии при несимметричных режимах в низковольтных электрических сетях:

получен патент на конструкцию электромагнитного преобразователя несимметрии трехфазного тока в напряжение в системе управления источниками реактивной мощности, от Агентства интеллектуальной собственности Узбекистана («Электромагнитный преобразователь несимметричности трехфазного тока в напряжение», IAP №05383 – 2017 г.). В результате создана возможность повышения точности преобразования информации в два раза;

методика оценки потерь при несимметричных режимах в низковольтных электрических сетях и средство измерений «Malika-01» внедрены на предприятиях АО «Узбекэнерго», в том числе на Ташкентском территориальном предприятии электрических сетей (справка АО «Узбекэнерго» от 6 ноября 2016 года №ДИ–01–21/4103). Результаты научно-исследовательских работ позволили определить дополнительные потери в 1,45%, обусловленные несимметричностью режимов и снизить потери электроэнергии до 1,21%;

средство измерения «Malika-01» внесено в Государственный реестр с №05.13919-2016 Агентства «Узстандарт» работающий на основе алгоритма расчета уровня несимметрии при использовании метода симметричных состав-

ляющих в установившихся несимметричных режимах (справка Агентства «Узстандарт» от 24 октября 2016 года №1608).

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования прошли апробацию на 8 научно-практических конференциях, в том числе на 5-х международных конференциях и 3-х Республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 24 научные работы, 2 статьи в иностранном журнале, 9 - в республиканских журналах, вместе с тем имеется 2 Патента Республики Узбекистан на изобретение и полезную модель.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложений. Объем диссертации составляет 119 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

Первая глава диссертации **«Современное состояние проблемы обеспечения качества электроэнергии»** посвящена методам расчета несимметричных режимов электрических сетей (ЭС), анализируются возможности существующих средств измерений показателей качества электроэнергии (СИ ПКЭ), а также рассмотрены существующие технические средства симметрирования режимов работы распределительных ЭС 0,4 кВ.

Когда класс точности используемого прибора равен 0,3 или более, использование точных методов нецелесообразно, так как это практически не дает уточнения. Также нецелесообразно применение высокоточных приборов с существующими приближенными методами из-за неизбежной методической погрешности.

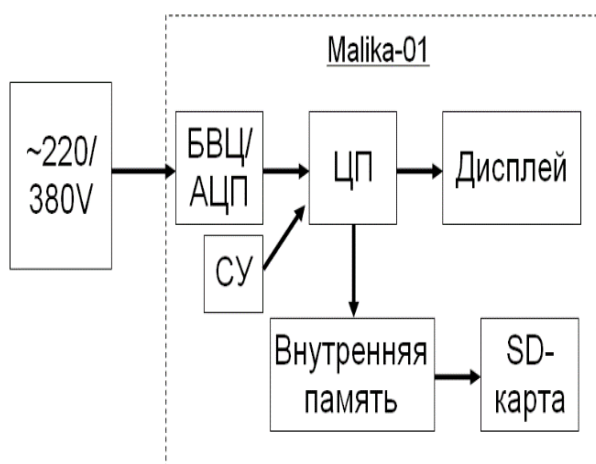
Наиболее эффективными симметрирующими устройствами (СУ) являются конденсаторное и электромагнитное СУ. Причем электромагнитное СУ может быть рекомендовано для ЭС, питающих только коммунально-бытовую нагрузку, а конденсаторное устройство – для питания смешанной (коммунально-бытовой и производственной) нагрузок.

Во второй главе диссертации «**Разработка методики и средства измерения несимметрии напряжений в электрических сетях**» представлены алгоритм расчета коэффициента несимметрии напряжений и методика оценки потерь при продольной и поперечной несимметрии, которые использованы при разработке современного средства измерения показателей качества электроэнергии.

Разработан алгоритм расчета коэффициента несимметрии напряжений на основе точного метода расчета, позволяющий определять напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей, так как во многих случаях необходимо оценивать не только величину напряжений симметричных составляющих, но и фазное соотношение между ними. Это позволяет более объективно оценить процессы, протекающие при работе ряда электроприемников, питающихся от сети с несимметричной системой напряжений.

Автором создано инновационное устройство, выполненное на современной микропроцессорной базе. Данное устройство измерения обладает высокими метрологическими характеристиками и отвечает требованиям ГОСТ 32144-2013.

Измеритель выполнен в виде единого устройства, собранного в пластмассовом корпусе (рис. 1), обеспечивающем механическую и электрическую защиту как самому измерителю, так и работающему с ним персоналу.



БВЦ – блок входных цепей, СУ – система управления (клавиатура), ЦП- центральный процессор;

а- структура устройства измерения;

б- общий вид устройства измерения.

Рис. 1. Измерительное устройство «Malika-01»

Встроенная энергонезависимая память обеспечивает сохранение данных полученных результатов в течение последних 10 суток измерений. 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 ЭС, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Перечень измеряемых параметров

№ пункта	Наименование измеряемой величины	Размерность	Диапазон измерения	Пределы допускаемой основной погрешности		
				Δ	δ , %	γ , %
1	Отклонение напряжения, δU_y	%	от -2 до +20	$\pm 0,5$	-	-
2	Коэффициент несимметрии напряжений обратной последовательности, K_{2U}	%	от 0,1 до 15	$\pm 0,2$	-	-
3	Коэффициент несимметрии напряжений нулевой последовательности, K_{0U}	%	от 0,1 до 15	$\pm 0,2$	-	-
4	Коэффициент несимметрии тока обратной последовательности, K_{2I}	%	от 0,1 до 50			
5	Коэффициент несимметрии тока нулевой последовательности, K_{0I}	%	от 0,1 до 20			
6	Отклонение частоты, Δf	Гц	от -3 до +3	$\pm 0,02$	-	-
7	Коэффициент временного перенапряжения, $K_{перU}$	отн. ед.	от 1,1 до 1,5	-	± 10	-
8	Длительность временного перенапряжения, $\Delta t_{перU}$	с	от 0,01 до 60	$\pm 0,01$	-	-
9	Глубина провала напряжения, $\delta U_{п}$	%	от 10 до 90	-	± 2	-
10	Длительность провала напряжения, $\Delta t_{п}$	с	от 0,01 до 60	$\pm 0,01$	-	-
11	Значение напряжения, U	В	$(0,8-1,2)U_{ном}$			$\pm 0,5$
12	Значение тока, I	А	$(0,1-1,2)I_{ном}$	-	-	± 2
13	Фазовый угол сдвига между напряжением и током $\cos\varphi_{UI}$	град.	-180... +180	± 5	-	-
14	Активная, реактивная мощности, P, Q	кВт, кВар	$(0,1-1,2) U_{ном} I_{ном}$	-	-	± 5

Аналитически обоснован коэффициент неравномерности нагрузки для оценки дополнительных потерь. Основную роль играет величина небаланса тока по фазам - ΔI , которая и определяет величину коэффициента несимметрии тока по обратной и нулевой последовательностям. При этом величина потерь мощности в сети 0,4 кВ может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta P = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 + 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2 + 3 \cdot I_0^2 \cdot R_1 + (3I_0)^2 \cdot R_0 \quad [\text{Вт}]; \quad (1)$$

где R_1 и R_2 – активные сопротивления прямой и обратной последовательности сети 0,4 кВ, в данном случае они равны между собой; R_0 – активное сопротивление нулевого провода для токов 0-й последовательности (петля фаза-ноль).

В данном случае можно считать справедливым соотношение $R_0 = R_1$ и получим:

$$\Delta P = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 \cdot [1 + K_2^2 + K_0^2 \cdot (1 + 3R_0/R_1)], \quad [\text{Вт}]; \quad (2)$$

$$K_2 = K_0 = (\Delta I/3)/(I_1 + \Delta I/3) . \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), и перейдя к вычислению относительной величины потерь мощности в сети (относительно потерь мощности прямой последовательности $\Delta P' = \Delta P / 3 \cdot (I_1^2 \cdot R_1)$), после преобразований получим:

$$K = 1 + 5 \cdot K_n^2 / (3 + K_n)^2 , \quad (4)$$

где $K_n = \Delta I / I_1$ - коэффициент несимметрии токовой нагрузки по фазам.

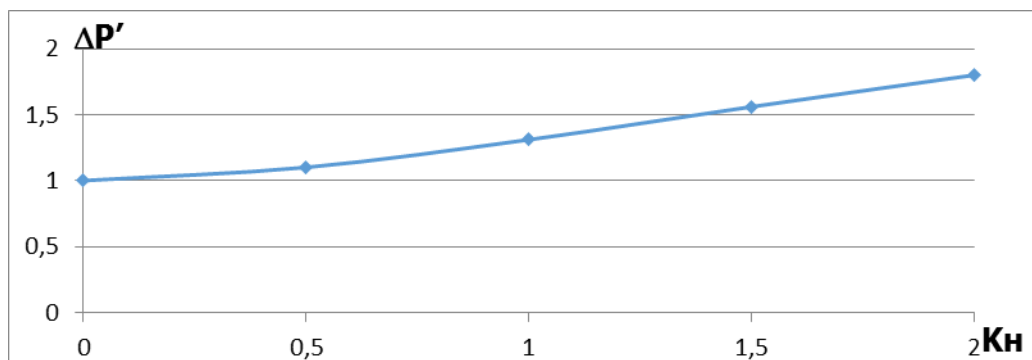


Рис. 2. Изменение относительной величины потерь электроэнергии в сети 0,4 кВ в зависимости от величины K_n нагрузки по фазам

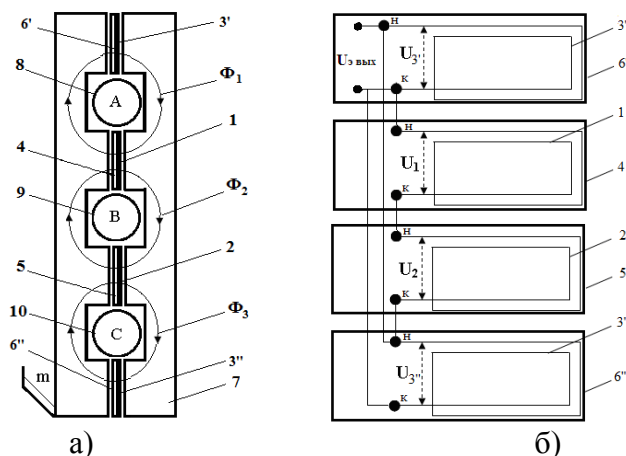
Как видно из графика (рис. 2), при $K_n = 1,0$, величина потерь в сети увеличивается более, чем на 30%, и эта зависимость близка к линейной.

В третьей главе диссертации «**Обеспечение качества электроэнергии с использованием электромагнитного преобразователя несимметрии трехфазного тока в напряжение**» разработан электромагнитный преобразователь несимметрии трехфазного тока в напряжение и приведена методика обеспечения качества электроэнергии с использованием данного преобразователя.

В результате исследования были разработаны электромагнитные преобразователи несимметрии трехфазного тока в напряжение с унифицированными функциональными возможностями и выходным сигналом: ток - до 100 мА, напряжение - до 20 В.

Была поставлена задача упростить конструкцию и технологию изготовления устройства для преобразования несимметрии трехфазного тока в напряжение, которая решается тем, что магнитопровод выполнен стержневым, вдоль оси которого имеются три выемки для расположения первичных фазных обмоток, сделаны воздушные зазоры, в которых установлены плоские измерительные катушки, соединенные средние последовательно и крайние-встречно (рис. 3, а).

Преобразователь работает следующим образом. При протекании тока в фазах ЭС 8, 9 и 10, в магнитопроводе 7 появляются магнитные потоки Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 , соответственно, равны значениям магнитных напряжений, которые в зазорах пересекают витки плоских измерительных катушек 1, 2, 3' и 3'', при этом:



а – общий вид конструкции; б – изоляционная пластинка с плоскими измерительными катушками.

Рис. 3. Электромагнитный преобразователь несимметрии трехфазного тока в напряжение

$$\dot{U}_{\mu 1} = (\dot{I}_A \cdot W_{\mu 1}) / R_{\mu 1} \text{ [B]}, \quad (5)$$

$$\dot{U}_{\mu 2} = (\dot{I}_B \cdot W_{\mu 2}) / R_{\mu 2} \text{ [B]}, \quad (6)$$

$$\dot{U}_{\mu 3} = (\dot{I}_C \cdot W_{\mu 3}) / R_{\mu 3} \text{ [B]}, \quad (7)$$

где $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$, $\dot{I}_C$ - первичные токи, протекающие по токопроводам трехфазной электрической сети; $W_{\mu 1}$, $W_{\mu 2}$, $W_{\mu 3}$ - число витков первичных обмоток (здесь $W_{\mu 1}=W_{\mu 2}=W_{\mu 3}=1$, т.е. каждая первичная обмотка выполнена в виде одного витка и расположена в выемках магнитопровода 7); $R_{\mu 1}$, $R_{\mu 2}$, $R_{\mu 3}$ - соответственно, суммарные магнитные сопротивления (магнитопровода и воздушных зазоров) на пути магнитных потоков Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 ; $\dot{U}_{\mu 1}$, $\dot{U}_{\mu 2}$, $\dot{U}_{\mu 3}$ - соответственно, магнитные напряжения.

Напряжения на выходе каждой плоской измерительной катушки $\dot{U}_1$, $\dot{U}_2$, $\dot{U}_3$ (где $\dot{U}_3 = \dot{U}_{3'} + \dot{U}_{3''}$) определяются в зависимости от взаимовлияния магнитных потоков Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 в воздушных зазорах выемок магнитопровода 7 (рис. 3, б):

$$\dot{U}_1 = (\Phi_1 - \Phi_2) / 4,44 \cdot 10^{-8} f W_{B1} = (\Phi_1 - \Phi_2) / K_{\mu 3} \text{ [B]}, \quad (8)$$

$$\dot{U}_2 = (\Phi_2 - \Phi_3) / 4,44 \cdot 10^{-8} f W_{B2} = (\Phi_2 - \Phi_3) / K_{\mu 3} \text{ [B]}, \quad (9)$$

$$\dot{U}_{3'} = 4,44 \cdot 10^{-8} f W_{B1} \Phi_1 \text{ [B]}, \quad (10)$$

$$\dot{U}_{3''} = 4,44 \cdot 10^{-8} f W_{B4} \Phi_3 \text{ [B]}, \quad (11)$$

где $K_{\mu 3} = 1 / (4,44 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot W_{B1})$ - коэффициент преобразования магнитного потока в электрическое напряжение, W_{B1} , W_{B2} , $W_{B3'}$, $W_{B3''}$ - число витков плоских измерительных катушек 1, 2, 3' и 3'' (плоские измерительные катушки выполняются с одинаковым числом витков W_B), f - частота напряжения сети.

При симметричном трехфазном токе, т.е. $\dot{I}_A = \dot{I}_B = \dot{I}_C$, выходные напряжения плоских измерительных катушек $\dot{U}_1$, $\dot{U}_2$, и $\dot{U}_3$, согласно формулам (8-11), одинаковы по амплитуде, т.к. $|\Phi_1 - \Phi_2| = |\Phi_2 - \Phi_3|$ и, следовательно, напряжение $U_{\text{ВЫХ.}}$, равно нулю:

$$\dot{U}_{\text{ВЫХ.}} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 = 0 \text{ [B]}. \quad (12)$$

Как видно из формулы (12), напряжение $\dot{U}_{\text{эвых.}}$ определяется как сумма напряжений $\dot{U}_1$, $\dot{U}_2$ и $\dot{U}_3$ плоских измерительных катушек 1, 2, 3' и 3'', путем их последовательного соединения средних и встречного крайних.

Магнитные потоки Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 магнитопровода 7, созданные токами фаз $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ и $\dot{I}_C$ при их несимметрии, позволяют получить информацию о несимметрии трехфазных токов ЭС в виде выходного напряжения $\dot{U}_{\text{эвых.}}$, которое появляется при неравенстве магнитных потоков $\Phi_1 \neq \Phi_2 \neq \Phi_3$, следовательно, первичных токов $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ и $\dot{I}_C$ трехфазной ЭС.

Выполненный магнитопровод с тремя выемками, расположенными вдоль оси и наличие воздушных зазоров, в которых установлены плоские измерительные катушки, соединенные средние последовательно и крайние встречно, существенно упрощают конструкцию за счет отсутствия дополнительного сердечника, а также повышают технологичность изготовления магнитопровода на основе возможности применения штамповочной технологии.

Зная величину несимметрии, можно использовать управляемое симметрирующее устройство, разработанное автором данной работы, которое выполнено на основе схемы Штейнметца (рис. 4). Такое устройство отличается от неуправляемых тем, что мощность конденсаторной батареи регулируется включением и отключением части секций параллельно включенных конденсаторов на основе микропроцессорного блока управления (МПБУ). МПБУ получает сигнал о несимметрии трехфазных токов и напряжений на основе электромагнитного преобразователя первичного тока во вторичное напряжение. Электрическая нагрузка Z_H и индуктивный элемент симметрирования L получает необходимую реактивную мощность от источника – батареи статических конденсаторов C_K .

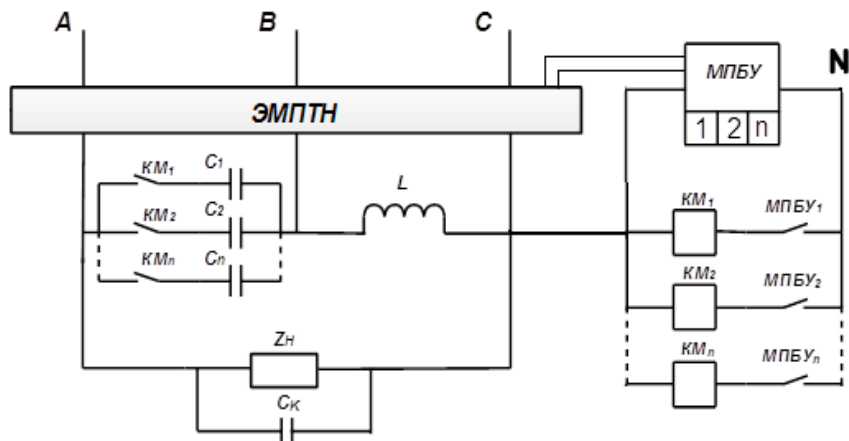


Рис. 4. Схема устройства симметрирования с управляемыми емкостями

На основе управления силовыми контактами магнитных пускателей ($КМ_1$ - $КМ_n$) обеспечивается регулирование емкостей конденсаторных установок C_1 - C_n и обеспечивается симметрирование токов и напряжений системы электроснабжения. Внедрение конструкций электромагнитных преобразователей трехфазного первичного тока во вторичное напряжение в ЭС энергосистем, при комбинированном управлении источниками реактивной мощности, позволяет учитывать несимметрию при контроле и управлении по величине и фазе токов трехфазной ЭС.

Таким образом, разработаны метод и элемент комбинированного управления источниками реактивной мощности. Результаты работы реализованы в схемах автоматического управления источниками реактивной мощности.

В четвертой главе диссертации «**Экономическое обоснование устройств обеспечения и измерения показателей качества электроэнергии**» проведены расчетные, экспериментальные исследования в действующих сетях 0,4 кВ, приводится анализ произведенных измерений параметров, обусловленных несимметрией в сети и представлена экономическая эффективность применения СУ.

Для прикладной части исследования выбран трансформаторный пункт (ТП) № 399 Зангиатинского района, Ташкентского территориального предприятия электрических сетей. На рис. 5-7 представлены семисуточные осциллограммы изменения параметров ПКЭ, полученные в начале низковольтной стороны ТП-399 (суммы всех отходящих линий).

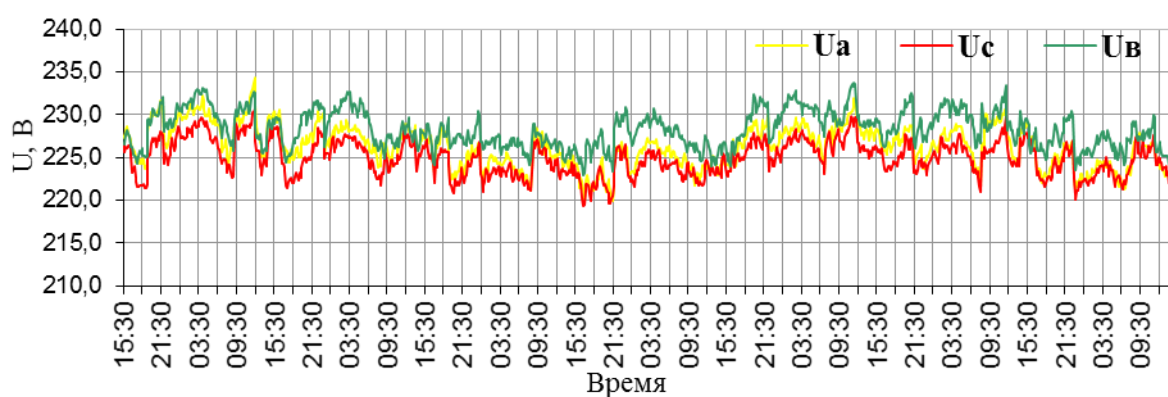


Рис. 5. Осциллограммы фазных напряжений

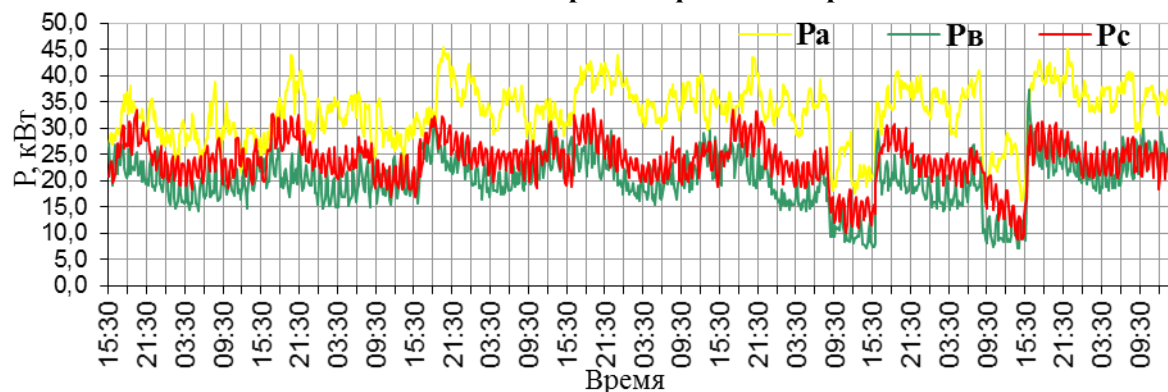


Рис. 6. Осциллограммы фазных активных мощностей

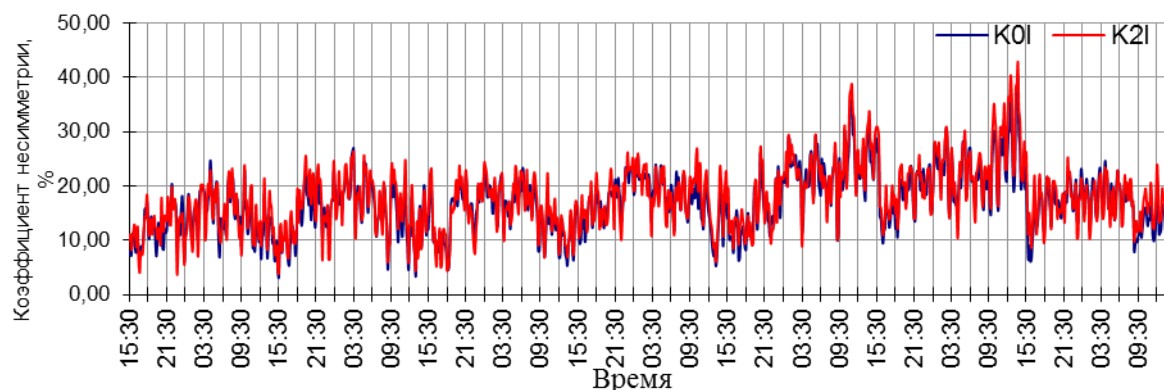
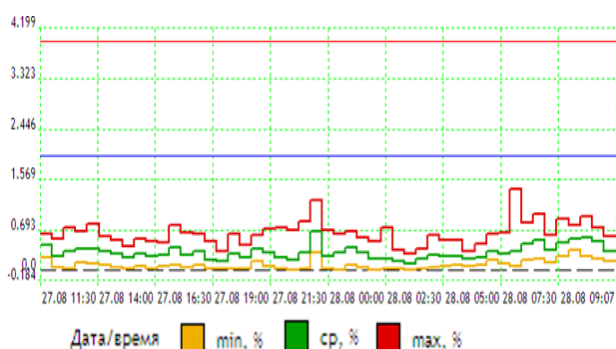
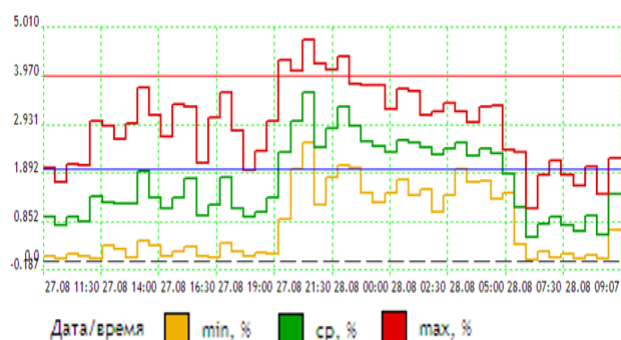


Рис. 7. Осциллограммы коэффициентов несимметрии, нулевой (K_{0I}) и обратной (K_{2I}) последовательностей

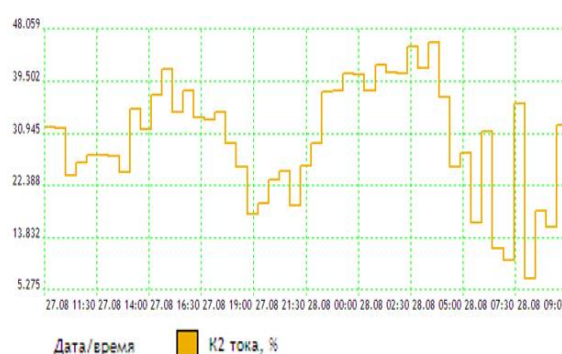
Из представленных осциллограмм можно сказать, что параметры несимметрии токов не соответствуют требованиям ГОСТ 32144-2013. Для детального изучения были проведены измерения на каждой линии электропередачи отдельно в течение суток. В качестве приводимого примера была выбрана линия 3. Определены средние значения токов на фазе «А» – 20,6 А, «В» – 8,4, «С» – 11,1 А линии 3 в течении исследуемого периода. В данной линии фаза «А» получила перегрузку. Неравномерное распределение нагрузки является источником появления коэффициента несимметрии токов по обратной и нулевой последовательностям (рис. 8), средние значения которых равны $K_{2i} - 0,303$, $K_{0i} - 0,33$. В следствии этого увеличивается значение коэффициента дополнительных потерь, в среднем равный $K_p, = 1,45$.



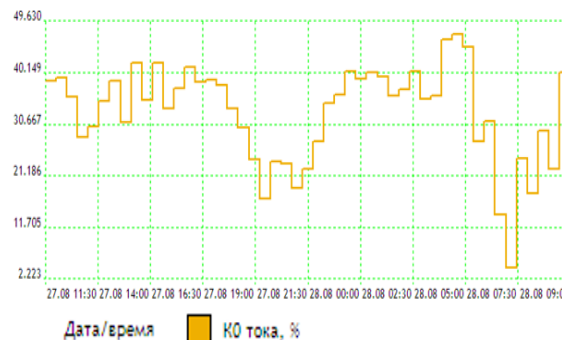
а) изменения коэффициента несимметрии напряжений обратной последовательности K_{2U}



б) изменения коэффициента несимметрии напряжений нулевой последовательности K_{0U}



в) изменение коэффициента несимметрии тока обратной последовательности K_{2I}



г) изменение коэффициента несимметрии тока нулевой последовательности K_{0I}

Рис. 8. Суточные графики изменения коэффициентов несимметрии напряжений и токов обратной и нулевой последовательностей

Наибольшие значения в конце рассматриваемой ЛЭП коэффициенты имеют при отсутствии СУ: $K_{2I}=30\%$, $K_{0I}=33\%$, $K_p=1,45$ (рис. 8, в, г). По всей протяженности линии от ТП к наиболее удаленному узлу нагрузки происходит увеличение анализируемых коэффициентов. При включении СУ в первом узле происходит уменьшение $K_{2I}=15\%$, $K_{0I}=17\%$, K_p до 1,12, по сравнению с режимом работы сети без СУ.

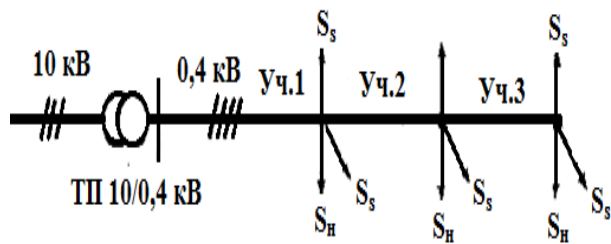
При включении СУ в других узлах нагрузки рассматриваемые коэффициенты изменились следующим образом:

СУ включено в середине линии (второй узел): K_{2I} увеличивалось до 18%; K_{0I} – уменьшалось до 22 %; K_p – уменьшалось до 1,23;

СУ включено в конце линии (третий узел): K_{2I} увеличивалось до 23 %; K_{0I} – уменьшалось 19 %; K_P – уменьшалось до 1,35.

На рис. 9-12 представлены изменения коэффициентов K_{2I} , K_{0I} и K_P по длине линии в зависимости от места включения СУ в сети 0,4 кВ.

Таким образом, наибольший симметрирующий эффект наблюдался при включении СУ в первом узле нагрузок, в связи с этим коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности придерживался допустимого значения.



S_H – мощность несимметричной нагрузки;
 S_s – мощность симметричной нагрузки;
 $S_{СУ}$ – мощность СУ.

Рис. 9. Схема включений нагрузок и СУ ЭС

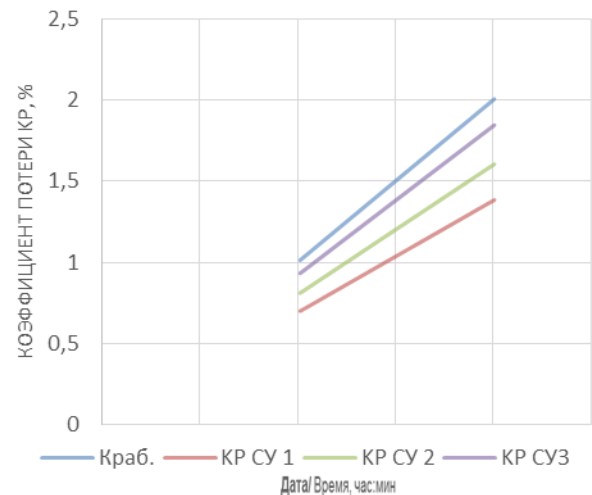


Рис. 10. График изменения коэффициента потерь мощности по длине линии 0,4 кВ

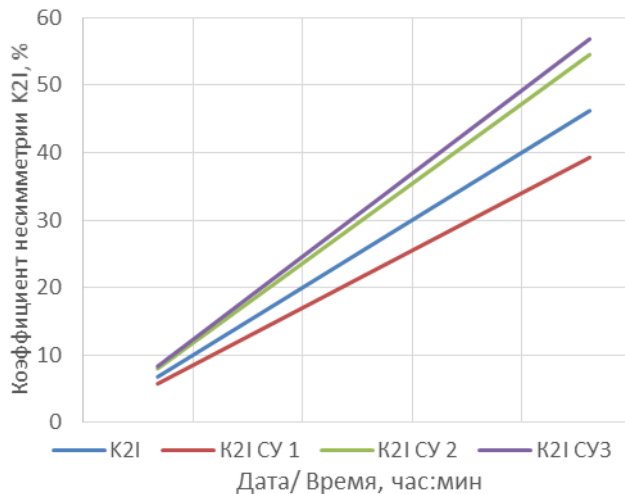


Рис. 11. График изменения коэффициента обратной последовательности тока по длине линии 0,4 кВ

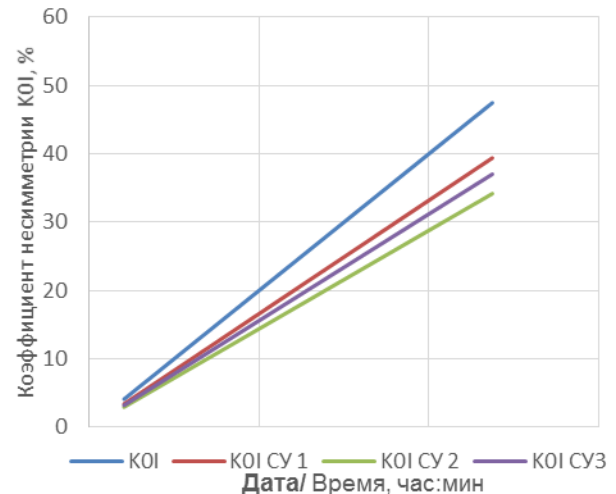


Рис. 12. График изменения коэффициента нулевой последовательности тока по длине линии 0,4 кВ

Внедрение СУ снижает несимметрию токов и напряжений в линиях 0,4 кВ и в трансформаторах, уменьшая тем самым потери электроэнергии в них, а также существенно улучшает качество напряжения на зажимах ЭП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов исследований, проведённых по теме «Разработка методов обеспечения качества электроэнергии при несимметричных режимах в низковольтных электрических сетях» диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам, представлено следующее заключение:

1. Низковольтные распределительные сети напряжением 0,4 кВ работают в условиях значительной несимметрии токов и напряжений, обусловленных неравномерностью распределения однофазных нагрузок по фазам сети и случайным характером их работы, а также это приводит к значительному ухудшению показателей качества и даст возможность определения сопутствующим им дополнительным потерям электроэнергии.

2. Сделан анализ способов и технических средств, позволяющих обеспечить качество электроэнергии и снизить дополнительные потери в низковольтных сетях с несимметричными нагрузками. Обосновано, что наиболее эффективным техническим средством снижения несимметрии токов служат специальные симметрирующие устройства с автоматическим регулированием мощности по фазам.

3. Разработана методика оценки дополнительных потерь при продольной и поперечной несимметрии. Доказано, что при коэффициенте несимметрии токовой нагрузки по фазам $K_n = 1.0$ величина потерь в сети увеличивается более, чем на 30%, и эта зависимость близка к линейной.

4. Для комбинированного способа управления компенсацией реактивной мощности разработан электромагнитный преобразователь несимметрии трехфазного тока в напряжение, на конструкцию которого получен патент на изобретение IAP № 05383. Этот преобразователь даст возможность преобразования информации точнее по сравнению существующими в два раза выше.

5. При включении симметрирующего устройства определено, что в первом узле происходит уменьшение K_{21} 15 %, K_{01} 17 %, K_p до 1,12, по сравнению с режимом работы сети без симметрирующего устройства. Таким образом, даст возможность наблюдения наибольшего симметрирующего эффекта при включении симметрирующего устройства в первом узле нагрузок.

6. Разработано устройство «Malika-01», которое предназначено для измерения показателей качества электроэнергии в низковольтных электрических сетях и получен патент РУз на полезную модель FAP № 01166. Внесен в Государственный реестр №05.13919-2016.

**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

ILKHOMBEK KHOSILZHONOVICH KHOLIDDINOV

**DEVELOPMENT OF METHODS FOR ENSURING THE QUALITY OF
ELECTRICITY WITH ASYMMETRIC MODES IN LOW-VOLTAGE
ELECTRICAL NETWORKS**

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

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under № B2017.1.PhD/T92.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tdtu.uz) and on the web site of «ZiyoNet» Information and education portal (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor:

Kakhramon Rakhimovich Allayev
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Maksud Kalandarovich Bobojonov
Doctor of Technical Sciences, Professor
Valeriy Konstantinovich Sokolov
Doctor of Technical Sciences, Professor

Leading organization:

Tashkent Institute of Railway Transport Engineers

The defense will be take place «__» _____ 2017 at _____ 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, Talabalar 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 –____). (Address: 2, Talabalar str., Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 246-03-41)

Abstract of dissertation was distributed on «__» _____ 2017 year.

(mailing record № _____ on «__» _____ 2017 year)

R.A. Zakhidov

Chairman of Scientific Council on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor,
Academician of the AS RUz

O.Kh. Ishnazarov

Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences

M.I. Ibadullaev

Chairman of the scientific seminar under scientific council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor.

INTRODUCTION (annotation of (PhD) thesis)

The aim of the research is working out methods and facilities for providing indicators of electricity quality at steady-state asymmetric modes in low-voltage electrical power grids

Tasks of the research:

analysis of technical facilities for improving the level of current and voltage asymmetry;

working out the method for evaluation of additional losses at longitudinal and cross asymmetry;

development of construction of electromagnet converters three phase asymmetrical current into voltage for systems with combined control of reactive power in Electrical Power Systems;

development method for providing quality of electricity on the base of electromagnet converters three phase asymmetrical current into voltage;

development of equipment for measuring indicators of electricity quality in low-voltage electrical power grids.

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

Scientific novelty of the research is as following:

development of a method for estimating additional losses in the case of longitudinal and cross asymmetry in low-voltage electrical networks;

there has been worked out the construction of electromagnetic converter of three-phase asymmetrical current into voltage;

there has been worked out the method for providing quality of electricity with the use of electromagnetic converter of three-phase asymmetrical current into voltage;

there has been designed a device “Malika-01” assigned for measuring indicators of electricity quality in low voltage electrical power grids has been designed.

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. Холиддинов И.Х. Внедрение в промышленных предприятиях энергосберегающих автоматических регуляторов реактивной мощности. // Вестник ТашГТУ, 2014. – № 3. – С. 90-94. (05.00.00; № 16).
2. Холиддинов И.Х., и др. Управление батареей конденсаторов с применением современных элементов автоматики. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2014.– № 3. – С. 70-79. (05.00.00; № 21).
3. Kholiddinov I. Kh. The application of an information and measurement device for the calculation of level nonsymmetry of voltages and current in low-voltage networks. European Applied Sciences, Stuttgart, Germany, №7-2015 p. 55-59. (05.00.00; № 3).
4. Аллаев К.Р., Сиддиков И.Х., Холиддинов И.Х. Внедрение электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками в системах управления источниками реактивной мощности ЭС. // Вестник ТашГТУ, 2015. – № 1. – С. 61-66. (05.00.00; № 21).
5. Холиддинов И.Х. Разработка и дальнейшее использование измерителя контроля качества электроэнергии класса S. // Вестник ТашГТУ, 2015. (спец. выпуск) – С. 51-56. (05.00.00; № 16).
6. Холиддинов И.Х. О компенсации реактивной мощности на предприятиях. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2015. – № 1-2. – С. 82-88. (05.00.00; № 21).
7. Холиддинов И.Х., Пономаренко О.И. Об электромагнитной совместимости и основных показателях качества электрической энергии. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2015. – № 1-2. – С.47-55. (05.00.00; № 21).
8. Аллаев К.Р., Холиддинов И.Х. Анализ показателей качества электрической энергии в распределительных сетях 6-10/0,4 кВ. // Проблемы энергетики и информатики, 2015.–№6. – С.61-65. (05.00.00; № 5).
9. Kholiddinov I. Kh. Electric power quality analysis 6-10/0.4 kV distribution networks. Journal Energy and Power Engineering (EPE) 2016 y. USA. (05.00.00; № 8).
10. Холиддинов И.Х. Влияние несимметрии токов и напряжений на характеристики электрооборудования. // Научно-технический журнал ФерПИ, 2016. – № 3. – С.90-96. (05.00.00; № 20).
11. Холиддинов И.Х. Метод расчета параметров симметрирующего устройства в низковольтных электрических сетях. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2016. – № 1-2. – С.36-42. (05.00.00; № 21).
12. Патент UZ IAP № 05383. Электромагнитный преобразователь несимметричности трехфазного тока в напряжение. /Аллаев К.Р., Азимов Р.К., Сиддиков И.Х., Холиддинов И.Х., Хасанов М.Ю., Ахмедов Н.Ж. // Расмий ахборотнома. –2017, – № 1. – С. 36.

II бўлим; (II часть; II part)

13. Патент UZ FAP №01166. Устройство для регистрации дополнительных потерь электроэнергии при несимметрии нагрузок в низковольтных электрических сетях./Аллаев К.Р., Шаисматов С.Э., Холиддинов И.Х.// Расмий ахборотнома. –2016, – № 12. – С. 36. 22.05.2015.
14. Kholiddinov I. Kh. Monitoring of the electric power quality characteristics in the low-voltage power grids. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences № 9-10, Vienna 2015, p. 90-96.
15. Холиддинов И.Х., Пономаренко О.И. Влияние несимметричных режимов на величину потерь мощности в электрических сетях распределительных систем электроснабжения. // Энергетик, 2015. –№ 12. – С. 6-8.
16. Kholiddinov I. Kh., Akhmedov N. J., Musinova G.K. Information-measuring system for electric power quality analysis 0.38 kV distribution networks VI Международной научной конференции Theoretical and Applied Sciences in the USA, New York 26 October, 2015. p. 31-38.
17. Холиддинов И.Х., Пономаренко О.И. Обеспечение приборной базы системы контроля качества электроэнергии в современных системах электроснабжения // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. 2016. – №8(29). –С. 66-70. 7universum.com/ru/tech/archive/item/3527
18. Сиддиков И.Х., Холиддинов И.Х. и др. Основы структурного проектирования электромагнитных преобразователей первичного тока во вторичное напряжение на основе плоской измерительной обмотки. // Актуальные вопросы современной техники и технологии: Тез. докл. XIV Межд. конф. 24 января. – Липецк, Россия, - 2014. – С. 44-51.
19. Аллаев К.Р., Сиддиков И.Х., Холиддинов И.Х. Комбинированное управление реактивной мощностью энергосистем. // Молодежная наука и АПК: проблемы и перспективы: Материалы VII всероссийской научно-технической конференции молодых ученых. 22 декабря. – Уфа, Башкирский ГАУ, 2014. – С. 94-98.
20. Сиддиков И.Х., Холиддинов И.Х. Несимметрия токов и напряжения в трехфазных электрических сетях. // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Международная научно-техническая конференция 27 – 29 мая. – Благовещенск, Амурская область. 2015. – С. 191-195.
21. Холиддинов И.Х. Алгоритм определения уровня несимметрии напряжений. // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Международная научно-техническая конференция 27–29 мая. – Благовещенск, Амурская область. 2015. – С. 196-201.
22. Сиддиков И.Х., Холиддинов И.Х., Хасанов М.Ю. Причины возникновения несимметричных режимов в электрических сетях. // Замонавий ишлабчиқаришни энергия таъминоти илмий муаммолари: Республика илмий-амалий анжумани 26-28 ноябрь. – Бухоро. 2014 йил. – С. 128-130.
23. Холиддинов И.Х. Разработка измерительного устройства для определения дополнительных потерь электроэнергии при несимметрии нагрузок. // Ёш

олим ва талабаларнинг “XXI аср – интеллектуал авлод асри” шиори остидаги илмий амалий конференция, –Тошкент, 2015.–С. 314-319.

24. 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.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди (28.10.2017 йил).

Босишга рухсат этилди: 21.11. 2017 й.
Қоғоз ўлчами 60x84-1/16
Ҳажми: 4,5 б.т., 100 нусха. Буюртма №
«ТошДТУ» босмахонасида босилди.
Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2-уй.

