

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ  
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ  
ЎзР ФА ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**ТЎЙЧИЕВ ЗАФАРЖОН ЗОКИРОВИЧ**

**10/0,4 кВ КУЧЛАНИШДАГИ КУЧ ТРАНСФОРМАТОРЛАРИНИНГ  
ИШОНЧЛИЛИГИНИ ИЧКИ СИММЕТРИЯЛАШ ОРҚАЛИ ОШИРИШ**

**05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари**

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

**Тошкент – 2023**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)**

**Тўйчиев Зафаржон Зокирович**

10/0,4 кВ кучланишдаги куч трансформаторларининг ишончлилигини ички симметриялаш орқали ошириш..... 3

**Туйчиев Зафаржон Зокирович**

Повышение надежности силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ путем внутренней симметрии..... 21

**Toychiev Zafarjon Zokirovich**

Improving the reliability of power transformers voltage 10/0.4 kV by internal symmetry..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works..... 43

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ  
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ  
ЎзР ФА ЭНЕРГЕТИКА МУАММОЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**ТЎЙЧИЕВ ЗАФАРЖОН ЗОКИРОВИЧ**

**10/0,4 кВ КУЧЛАНИШДАГИ КУЧ ТРАНСФОРМАТОРЛАРИНИНГ  
ИШОНЧЛИЛИГИНИ ИЧКИ СИММЕТРИЯЛАШ ОРҚАЛИ ОШИРИШ**

**05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари**

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

**Тошкент – 2023**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.Т4.PhD/Т 3325 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Фарғона политехника институти ва Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси ([www.energetika.uz](http://www.energetika.uz)) ҳамда “ZiyoNet” ахборот-таълим порталига ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Юсупов Дилмурод Турдалевич**  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори,  
катта илмий ходим

**Расмий оппонентлар:**

**Тоиров Олимжон Зувурович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Болтаев Отабек Ташмухамматович**  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори,  
доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Навоний давлат кончилиқ ва  
технологиялар университети**

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтида ҳузуридаги DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2023 йил “03” септ соат 10<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100076, Тошкент шаҳри, Мухтор Ашрафий 1-ўтар кўчаси, 9-А. Тел: (99871) 283-23-08; факс: (99871) 283-23-08; e-mail: [energetika\\_in@umail.uz](mailto:energetika_in@umail.uz)).

Диссертация билан Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтининг Ахборот – ресурс марказида танишиш мумкин (1 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100076, Тошкент шаҳри, Мухтор Ашрафий 1-ўтар кўчаси, 9-А.. Тел.: (99871) 283-23-08).

Диссертация автореферати 2023 йил “18” февраль куни тарқатилди.  
(2023 йил “14” февраль даги 1 рақамли реестр баённомаси).



**Х.М. Муратов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

**К.Ш. Кадиров**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлари  
бўйича фалсафа доктори, катта илмий ходим

**О.Х. Ишназаров**  
Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

## КИРИШ (Фалсафа доктори (PhD) диссертация аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда биринчи навбатда энергетика тизимлари ва уларда эксплуатация бўлган куч трансформаторларининг техник ҳолатига кўра аниқланадиган электр энергияси билан таъминлашнинг ишончилиги муҳим ҳисобланиб, ушбу электр ускуналарининг хизмат кўрсатиш муддатини ошириш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда «жаҳон миқёсида умумий тўла қуввати 10000 ГВА дан ошадиган куч трансформаторлари ташкил этмоқда»<sup>1</sup>. Бундай катта кўрсаткичдаги мажмуанинг ишлаш ишончилиги унинг асосий қисми бўлган чулғамларининг ишончилигига боғлиқлиги билан изоҳланади. Бу борада, жумладан, 10/0,4 кВ кучланишли куч трансформаторларнинг ишдан чиқишига олиб келувчи омилларни аниқлаш ва эксплуатация кўрсаткичларини баҳолаш ҳамда трансформаторлар ишончилигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда энергетика тизимида фойдаланилаётган 10/0,4 кВ кучланишли куч трансформаторларининг носимметрик юкламаларга боғлиқ бўлган ҳолатларни аниқлаш ва уларни камайтириш усуллари, узок муддат эксплуатациядаги куч трансформаторларининг ишлаш даврини узайтириш ва ишончилигини ошириш, куч трансформаторларининг тўхтовсиз ишлаши учун ўз вақтида техник хизматлар кўрсатиш, шунингдек куч трансформаторларга носимметрик юкламалар таъсири остида келиб чиқадиган нуқсонларни камайтириш учун замонавий технологияларини ишлаб чиқиш масалаларига қаратилган тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, куч трансформаторларининг ишлаш даврига таъсир этувчи асосий омилларни аниқлаш, носимметрик ҳолатларни олдини олиш, симметрияловчи қурилма ва эксплуатациядаги куч трансформаторлари чулғамларининг уланиш схемасини ўзгартириш орқали симметриялаш ҳамда трансформаторларнинг ишончилигини ошириш долзарб вазифалардан бири ҳисобланади.

Республикамизда истеъмолчиларни электр энергияси билан сифатли таъминлашда янги техника ва технологияларни ишлаб чиқиш ва уларни иқтисодиёт тармоқларига тадбиқ этиш чора-тадбирлари амалга оширилмоқда. 2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида **“Иқтисодиётни электр энергияси билан узлуксиз таъминлаш ҳамда «Яшил иқтисодиёт» технологияларини барча соҳаларга фаол жорий этиш, иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини 20 фоизга ошириш”**<sup>2</sup> вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда узок муддат эксплуатация шароитидаги электр ускуналарни тадқиқ қилиш, жумладан, электр юкламалардаги носимметрик жараёнлар ва уларни юзага келтирувчи омилларни аниқлаш, симметрияловчи куч трансформатори чулғамларининг уланиш схемасини такомиллаштириш ва математик

<sup>1</sup> Statistical Review of World Energy, 67-th edition, June 2018.

<sup>2</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 28.01.2022 йилдаги ПФ-60-сон “2022 - 2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида” ги фармони

ифодасини олиш, симметрияловчи куч трансформаторининг тажриба намунасини яратиш, куч трансформаторларининг ишончилигини ички симметриялаш орқали ошириш муҳим масалаларидан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” ги ПФ-4947-сон ва 2022 йил 28 январдаги “2022 - 2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида” ги ПФ-60-сон Фармонлари, 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422 “Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора тадбирлари тўғрисида”, 2020 йил 10 июлдаги ПҚ-4779 “Иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини ошириш ва мавжуд ресурсларни жалб этиш орқали иқтисодиёт тармоқларининг ёқилғи-энергетика маҳсулотларига қарамлигини камайтиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида” ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Диссертация иши бўйича тадқиқотлар республика фан ва технологиялари ривожланишининг 2. “Энергетика, энерготежамкорлик ва муқобил энергия манбалари” устувор йўналишига мос келади.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Эксплуатациядаги куч трансформаторларининг ишончилигини ошириш ва ночизикли юкламалардаги носимметрик ҳолатларни бартараф этишга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан Mississippi State University (АҚШ), Technical University of Ilmenau (Германия), Tokyo Technology Institute (Япония), South China University of Technology, (Хитой), Poly-technic University of Milan (Италия), Электродинамика институти (Украина), Москва энергетика институти (Россия), Қозон давлат энергетика университети (Россия), Санкт-Петербург давлат аграр университетларида кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

10/0,4 кВли электр тармоқларида юзага келадиган носимметрик жараёнларни бартараф этиш ва куч трансформаторларнинг ишончилигини оширишга қаратилган илмий муаммоларни ечишга Н.Ю. Криштопа, А.В. Дед, Д. Гантулга, А.С. Луковенко, А.В. Пятков, И.В. Жежеленко, Л.А. Добрусин, Ю.С. Железко, В.Н. Казансев, Д.С. Федосов, А.А. Белицкий, Л.Д. Клебанов, Ф.Д. Косоухов, Н.А. Мелников, И.В. Наумов, А.О. Филиппов, М.Ю. Теремецкий, М.Г. Баширов, Т.В. Щурская, В.В. Пронь, П.В. Рысев ва бошқа хорижий олимлар катта ҳисса қўшишган.

Республикада энергетика тизимларининг ишончилиги ва самарадорлигини ошириш, электр энергияси сифатини ошириш бўйича илмий муаммоларни ҳал қилишда қуйидаги олимлар Х.Ф. Фозилов, Т.Х. Насиров, К.Р. Аллаев, Х.М. Муратов, Ш.В. Хамидов, Т.Ш. Гайибов, О.Х. Ишназаров ўз

ҳиссаларини кўшганлар. Паст кучланишли тақсимлаш тармоқларида энергия тежамкорлигини ошириш ва электр энергияси исрофларини камайтириш муаммоларини ҳал қилишга бағишланган тадқиқотлар, ушбу тармоқлардаги иш ҳолатини симметриялаш вазифасини ҳал қилишга бевосита боғлиқ.

Муваффақиятларга қарамай, ночизикли юкламага эга бўлган кучланиши 10/0,4 кВ бўлган куч трансформаторларининг ишончлилигини ошириш, мавжуд усулларни такомиллаштириш ва янги усулларни яратиш бўйича етарлича изланишлар олиб борилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Фарғона политехника институти илмий тадқиқот ишлари режасининг 114-22 - сонли “Симметрияловчи куч трансформаторининг тажриба намунасини яратиш” мавзусидаги хўжалик шартномаси ва Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Энергетика муаммолари институтининг 2022-2025 йилларга мўлжалланган илмий - тадқиқот ишлари дастурининг “Энергетикани ривожлантиришнинг ишончлилиги ва хавфсизлигини таъминлашнинг методологик асосларини ишлаб чиқиш” мавзуси доирасида бажарилган.

**Тадқиқот мақсади** ночизикли юкламага эга кучланиши 10/0,4 кВ бўлган куч трансформаторларининг ишончлилигини ички симметриялаш орқали оширишдан иборат.

**Тадқиқот вазифалари:**

уч фазали симметрияловчи куч трансформатори чулғамларининг уланиш схемасини такомиллаштириш;

уч фазали симметрияловчи куч трансформатори иккиламчи чулғамларидаги кучланиш қийматини аниқлашнинг математик ифодасини олиш ва алгоритмининг ишлаб чиқиш;

уч фазали симметрияловчи куч трансформаторининг тажриба намунасини яратиш;

тажриба намунасида эксперимент тадқиқотларини ўтказиш ва олинган натижаларни таҳлил қилиш;

куч трансформаторларини ички симметриялаш орқали ишончлилигини баҳолаш усулини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқот объекти** сифатида узоқ муддат эксплуатация шароитидаги даги кучланиши 10/0,4 кВ бўлган куч трансформаторлари олинган.

**Тадқиқот предмети**ни куч трансформаторлари чулғамларининг уланиш гуруҳи ва схемалари ташкил этади.

**Тадқиқот усуллари.** Тадқиқот жараёнида электротехника назарияси, электромагнит индукция қонуни, Максвеллнинг биринчи интеграл тенгламаси, Стокс теоремаси, тригонометрик айният, эҳтимоллар назарияси, математик статистика ва ишонччилик назариясидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгиллиги** қуйидагилардан иборат:

уч фазали куч трансформатори иккиламчи чулғамларининг ҳар бирини уч қисмга ажратиш олиш ва нейтралига актив қаршилик қўллаш асосида

ночизикли электр юкламалар кучланишини симметриялаш имконини берувчи уланиш схемаси такомиллаштирилган;

электромагнит индукция қонуни, Максвелнинг биринчи интеграл тенгламаси, Стокс теоремаси ва тригонометрик айният асосида симметрияловчи куч трансформатори иккиламчи чулғамларидаги кучланиш қийматини аниқлаш имконини берувчи математик ифода олинган ва алгоритми ишлаб чиқилган;

жуфт уланиш гуруҳлари билан параллел ишлаш имконини берувчи уч фазали симметрияловчи куч трансформатори чулғамларининг уланиш схемаси ва ўрамлар сонини ўзгартириш асосида ишлаб чиқилган;

уч фазали куч трансформаторининг ишончилигини ички симметриялаш орқали баҳолаш имконини берувчи усул эҳтимоллар ва ишончилик назариялари асосида ишлаб чиқилган.

#### **Тадқиқотнинг амалий натижалари.**

уч фазали куч трансформатори иккиламчи чулғамларининг ҳар бирини уч қисмга ажратиб ва нейтралга актив қаршилиқ қўллаб уланиш схемаси такомиллаштирилган;

чулғамларнинг уланиш схемаси такомиллашган уч фазали симметрияловчи куч трансформатори ишлаб чиқилган;

куч трансформаторларининг ишончилигини ички симметриялаш орқали баҳолаш усули ишлаб чиқилган.

#### **Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.**

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги замонавий метрологик аттестациядан ўтган ўлчов асбоблари, маълумотларни қайта ишлашнинг илғор математик усуллари ва меъёрий ҳужжатларда кўрсатилган тадқиқот услубларининг қўлланилганлиги, шунингдек, назарий ва экспериментал натижаларнинг ўзаро мос келиши билан изоҳланади.

#### **Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти симметрияловчи куч трансформатори иккиламчи чулғамларидаги кучланиш қийматини аниқлаш имконини берувчи математик ифода олинганлиги ва алгоритми ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти симметрияловчи схема асосида куч трансформаторининг тажриба намунаси яратилгани билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** 10/0,4 кВ бўлган куч трансформаторларининг ишончилигини ички симметриялаш орқали ошириш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

ночизикли электр юкламалар кучланишини симметриялаш имконини берувчи уч фазали куч трансформатори чулғамларининг уланиш схемаси Фарғона вилояти Фурқат тумани ҳудудий электр таъминоти корхонасига жорий қилинган (“Ҳудудий электр тармоқлари” АЖ нинг 2022 йил 14 ноябрдаги 01-03-20/1232-сон маълумотномаси). Натижада эксплуатациядаги куч трансформаторларининг ишончилиги 3,1 баробарга ошириш имкони яратилган.

уч фазали куч трансформаторининг ишончлилигини ички симметриялаш орқали баҳолаш имконини берувчи усул Фарғона вилояти Фурқат тумани худудий электр таъминоти корхонасига жорий қилинган (“Худудий электр тармоқлари” АЖ нинг 2022 йил 14 ноябрдаги 01-03-20/1232-сон маълумотномаси). Натижада корхонада 10/0,4 кВ кучланишдаги қуввати 100 кВА бўлган 1 дона куч трансформаторидаги носимметрик ҳолатларни бартараф этиш орқали 3 302 200 сўм, 85 та куч трансформаторлари учун эса 280 687 000 сўм иқтисодий самарадорликка эришилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 5 та, илмий-амалий анжуманлар, шу жумладан 2 та халқаро ва 3 та республика анжуманларида апробациядан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 12 та илмий иш, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларида 4 та илмий мақола, жумладан, 1 та хорижий ва 3 та маҳаллий журналларида чоп этилган. 3 та ЭХМ дастури учун гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 100 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

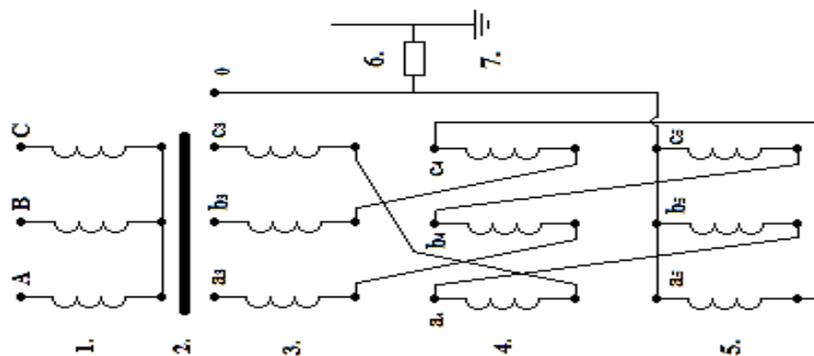
**Кириш** қисмида танланган мавзунинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, уларнинг республика фан ва технологияларини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мувофиқлиги, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти ёритиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган илмий ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Ночизиқли юкламага эга бўлган куч трансформаторларининг замонавий ҳолати тенденциялари”** деб номланган биринчи бобида носимметрик ҳолатларни юзага келтирувчи омиллар, уланиш схемалари  $Y/Y_0$ ,  $Y/Z_0$ ,  $Y/Y_0+CK$  бўлган куч трансформаторлари, носимметрик ҳолатларни аниқлаш ва уларни бартараф этиш бўйича мавжуд усуллар таҳлил қилинган.

10/0,4 кВ кучланишдаги куч трансформаторларининг ишончлилигини ички симметриялаш орқали оширишни инобатга олган ҳолда, олиб борилган илмий таҳлил асосида диссертация ишининг мақсад ва вазифалари шакллантирилган.

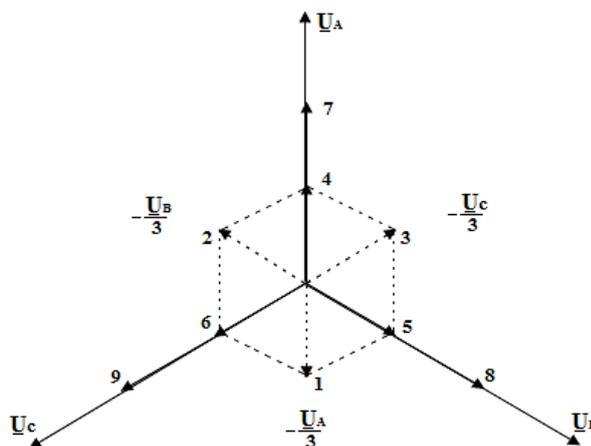
Диссертациянинг **“Симметрияловчи куч трансформатори бўйича назарий тадқиқотлар”** деб номланган иккинчи бобида уч фазали куч трансформатори иккиламчи чулғамларининг ҳар бирини уч қисмга ажратиб олиш ва нейтралига актив қаршилик қўллаш асосида ночизиқли электр

юкламалар кучланишини симметриялаш имконини берувчи уланиш схемаси такомиллаштирилган (1-расм).



1-расм. Уч фазали симметрияловчи куч трансформаторининг такомиллашган схемаси

Уланиш гуруҳи жуфт ёки тоқ эканлигини аниқлаш имконини берувчи уч фазали симметрияловчи куч трансформаторининг вектор диаграммаси олинган (2-расм).



2-расм. Симметрияловчи куч трансформаторининг вектор диаграммаси

Электромагнит индукция қонуни, Максвелнинг биринчи интеграл тенгламаси, Стокс теоремаси ва тригонометрик айниятдан фойдаланиб симметрияловчи куч трансформатори иккиламчи чулғамларидаги кучланиш қийматини аниқлаш имконини берувчи математик ифода олинган.

Магнит оқимларини ҳисоблашда (1, 2, 3) ифодалардан фойдаланилган

$$\Phi_A = -\Phi_0 \cos \omega t \quad (1)$$

$$\Phi_B = \Phi_0 \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{6} \right) \quad (2)$$

$$\Phi_C = \Phi_0 \sin \left( \omega t + \frac{5\pi}{6} \right) \quad (3)$$

Куч трансформаторининг юқори ва пастки чулғамларида ҳосил бўладиган ЭЮК, электрмагнит индукция қонунига кўра (4, 5, 6) ифодалардан фойдаланилган

$$E_{11} = -w_1 \Phi_0 \omega (-\sin \omega t) \quad (4)$$

$$E_{21} = -w_2 \Phi_0 \omega \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (5)$$

$$E_{31} = -w_3 \Phi_0 \omega \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) \quad (6)$$

Симметрияловчи куч трансформаторининг куйи томонидаги фазаларини чиқиш кучланишининг вектор кўринишида куйидагича ифодаланган

$$\bar{U}_1 = \bar{E}_{11} + \bar{E}_{22} + \bar{E}_{33} \quad (7)$$

$$\bar{U}_2 = \bar{E}_{21} + \bar{E}_{32} + \bar{E}_{13} \quad (8)$$

$$\bar{U}_3 = \bar{E}_{31} + \bar{E}_{12} + \bar{E}_{23} \quad (9)$$

$E_{nX} = E_n \cos 60^\circ$  эканлигини ҳисобга олсак

$$U_1 = -E_{11} + E_{22} \cos 60^\circ + E_{33} \cos 60^\circ \quad (10)$$

$$U_2 = -E_{21} + E_{32} \cos 60^\circ + E_{13} \cos 60^\circ \quad (11)$$

$$U_3 = -E_{31} + E_{12} \cos 60^\circ + E_{23} \cos 60^\circ \quad (12)$$

Юқоридаги ифодалардан (13,14,15) асосий тенгламаларни олинган

$$U_{11} = -\frac{1}{2} w \Phi \omega * \sin \omega t \quad (13)$$

$$U_{21} = \frac{1}{4} w \Phi \omega (\sin \omega t + 3\sqrt{3} \cos \omega t) \quad (14)$$

$$U_{31} = \frac{1}{4} w \Phi \omega (\sin \omega t - 3\sqrt{3} \cos \omega t) \quad (15)$$

Бирламчи чулғамда ҳосил бўладиган индукция ЭЮК ларни мос ҳолда куйидаги кўринишда ифодаланган.

$$U_{10} = -w_{10} \Phi * \omega \sin \omega t \quad (16)$$

$$U_{20} = -\frac{1}{2} w_{10} \Phi \omega (\sqrt{3} \cos \omega t - \sin \omega t) \quad (17)$$

$$U_{30} = -\frac{1}{2} w_{10} \Phi \omega (\sin \omega t + \sqrt{3} \cos \omega t) \quad (18)$$

$\sqrt{3} \cos \omega t$  ни  $U_{10}, U_{20}, U_{30}$  орқали ифодаланган ва симметрияловчи куч трансформаторининг математик ифодаси олинган.

$$U_{11} = \frac{1}{2} w_2 * \Phi * \omega * \frac{U_{30} + U_{20}}{w_1 \Phi \omega} = \frac{w_2}{w_1} (U_{30} + U_{20}) \quad (19)$$

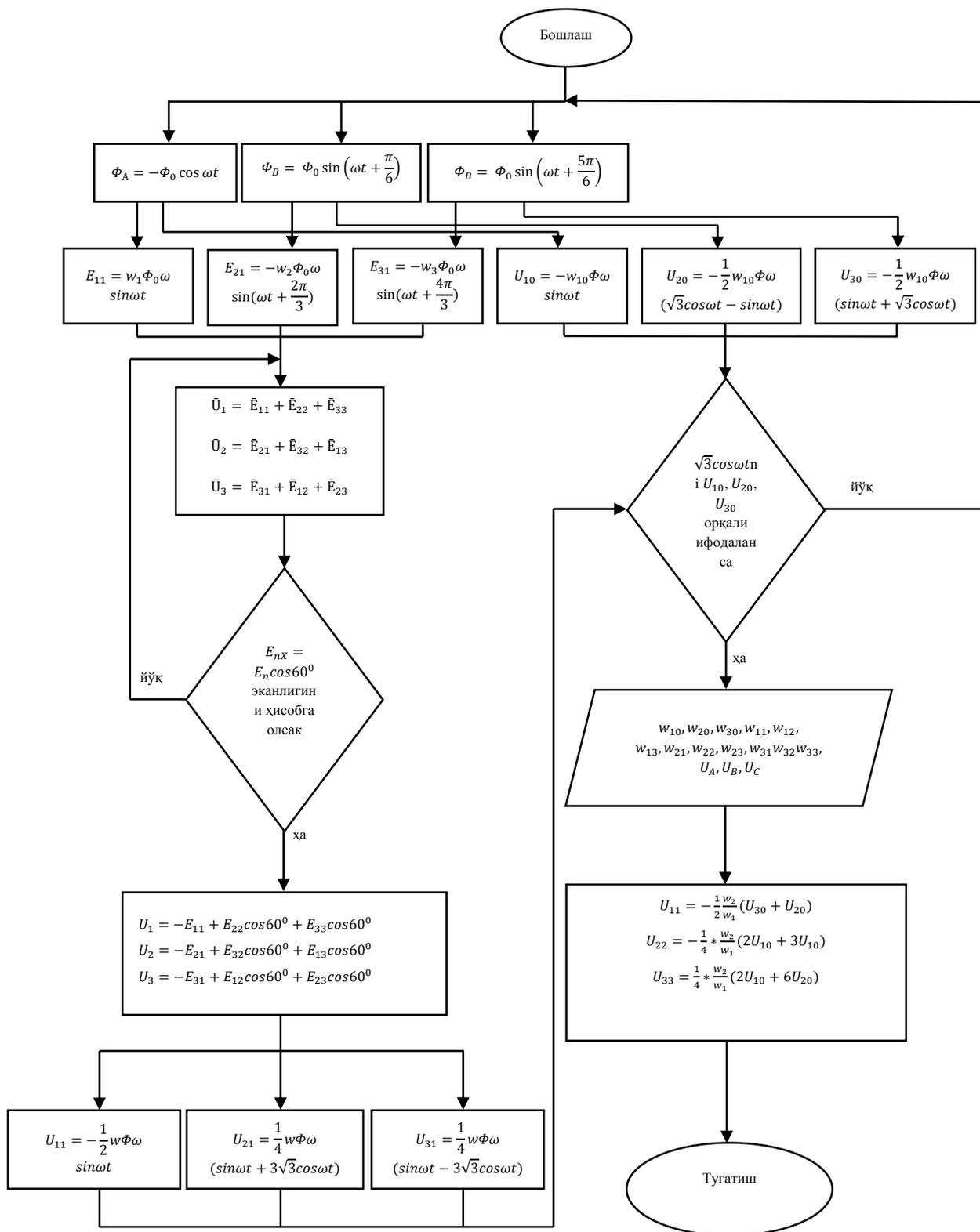
$$U_{22} = \frac{1}{4} * \frac{w_2}{w_1} (-U_{10} + 6U_{30} + 3U_{10}) = \frac{1}{4} * \frac{w_2}{w_1} (2U_{10} + 6U_{30}) \quad (20)$$

$$U_{33} = \frac{1}{4} * w_2 \Phi \omega \left( -\frac{U_{10}}{w_1 \Phi \omega} - 3 \left( -\frac{U_{10} * 2}{\Phi w_1 \omega} + \left( -\frac{U_{20}}{w_1 \Phi * \omega} \right) \right) \right) =$$

$$\frac{1}{4} * \frac{w_2}{w_1} (-U_{10} - 3(-2U_{20} - U_{10})) = \frac{1}{4} * \frac{w_2}{w_1} (-U_{10} + 3U_{10} + 6U_{20}) =$$

$$\frac{1}{4} * \frac{w_2}{w_1} (2U_{10} + 6U_{20}) \quad (21)$$

Мазкур математик ифода асосида симметрияловчи куч трансформатори иккиламчи чулғамларидаги кучланиш қийматини аниқлаш алгоритми ишлаб чиқилган (3-расм).



3-расм. Симметрияловчи куч трансформатори иккиламчи чулғамларидаги кучланиш қийматини аниқлаш алгоритми

Диссертациянинг “Симметрияловчи куч трансформаторнинг тажриба намунасини ишлаб чиқиш ва эксперимент тадқиқотларини

ўтказиш” деб номланган учинчи бобида чулғамларининг уланиш схемаси ва ўрамлар сонини ўзгартириш асосида жуфт уланиш гуруҳлари билан параллел ишлаш имконини берувчи уч фазали симметрияловчи куч трансформаторининг тажриба қурилмаси ишлаб чиқилган (4- ва 5-расмлар), бўйлама ва кўндаланг носимметрик ҳолатларда экспериментал тадқиқотлар ўтказилган ҳамда уларни меъёрий ҳужжатларга мос эканлиги текширилган, назарий ва эксперимент тадқиқотлар натижаларни солиштирилган.



4-расм. Қуввати 2,5 кВА бўлган уч фазали симметрияловчи куч трансформаторининг ферромагнит ўзаги ва чулғамлари



5-расм. Қуввати 2,5 кВА бўлган уч фазали симметрияловчи куч трансформатори

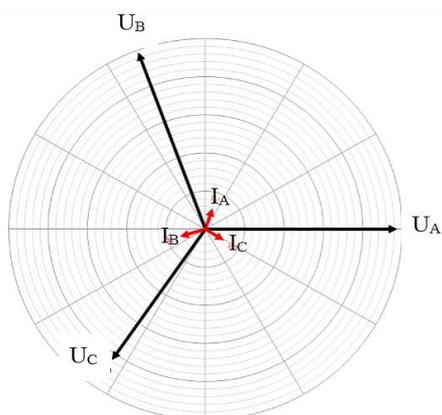
Қуввати 2,5 кВА ли уч фазали симметрияловчи куч трансформатори ва LD DIDACTIC лаборатория жамланмаси моделидан фойдаланиб бўйлама, кўндаланг носимметрик ҳолатларида эксперимент тадқиқот ўтказилган.



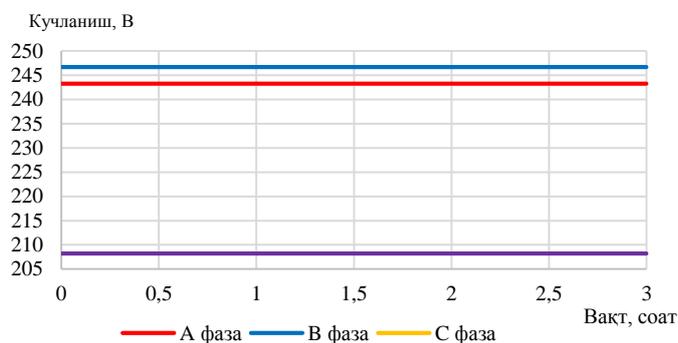
6-расм. Симметрияловчи куч трансформатори ва LD DIDACTIC лаборатория жамланмаси моделидан фойдаланиб эксперимент тадқиқот жараёни

LD DIDACTIC лаборатория жамланмаси моделидан фойдаланиб тармоқдаги ток ва кучланишларнинг носимметрик ҳолати натижалари аниқланган, 7-расмда вектор диаграммаси, 8-расмда графиги келтирилган.

Ушбу аниқланган носимметрик ҳолатдаги кучланишлар ГОСТ 32144-2013 талабига тўғри келмаслиги аниқланган. Носимметрия коэффициенти  $K_0=10,36\%$  ташкил этган.

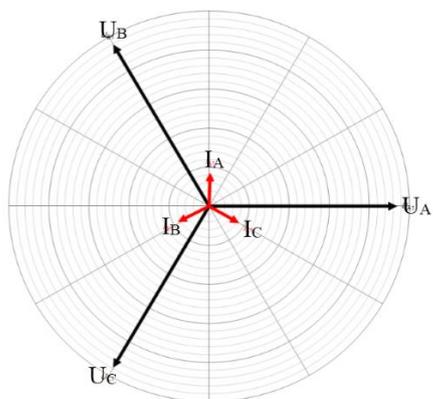


7-расм. Вектор диаграммаси  
 $\varphi U_A=0,0$ ;  $\varphi U_B=110,3$ ;  $\varphi U_C=-124,7$ .

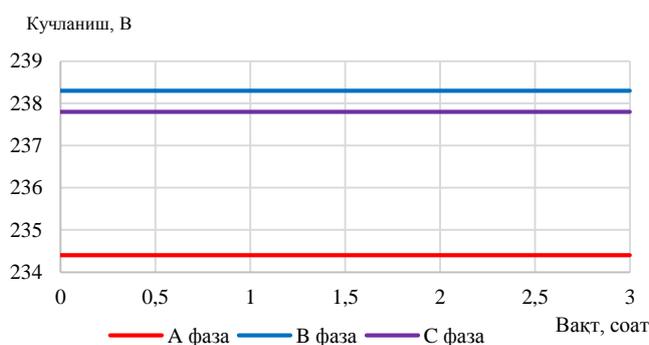


8-расм. кучланишларнинг графиги  
 $U_A=243,3$  В;  $U_B=246,7$  В;  $U_C=208,2$

Носимметрик ҳолатга келтирилган тармоқга симметрияловчи куч трансформаторини улаб, салт ишлаш ҳолатида пастки томонидаги ҳар бир фаза бўйича ток ва кучланишлари аниқланган, вектор диаграммаси 9-расмда, графиги 10-расмда келтирилган. Бундан кўриб турибдики, симметрияловчи куч трансформатори носимметрик ҳолатдаги тармоқни ГОСТ 32144-2013 талабига мос равишда тўлиқ симметрия ҳолатига келтирганлиги эксперимент тадқиқот орқали аниқланган. Носимметрия коэффициенти  $K_0=1,03\%$  ташкил этган.



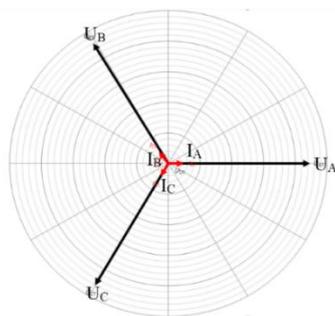
9-расм. Вектор диаграммаси



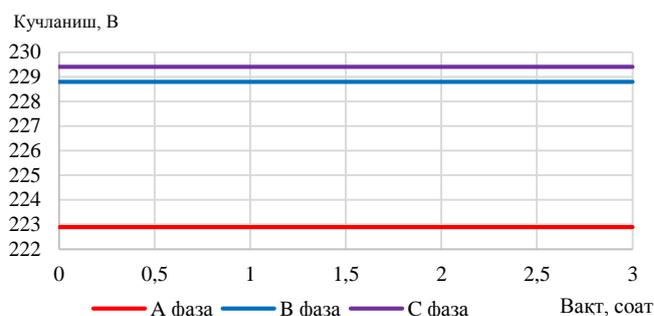
10-расм. Кучланишларнинг графиги

Носимметрик ҳолатдаги тармоқ ва носимметрик ҳолатдаги актив юклама уланган ҳолат учун олинган натижаларининг вектор диаграммаси 11-расмда, графиги 12-расмда келтирилган. Носимметрия коэффициенти  $K_0=1,82\%$  ташкил этган.

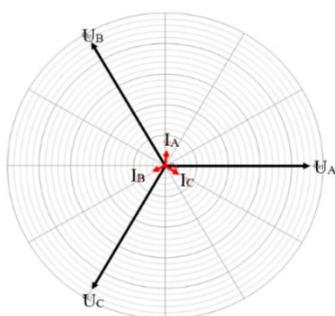
Носимметрик тармоқ ва носимметрик индуктив юклама уланганда олинган натижаларининг вектор диаграммаси 13-расмда, графиги 14-расмда келтирилган. Носимметрия коэффициенти  $K_0=1,09\%$  ташкил этган.



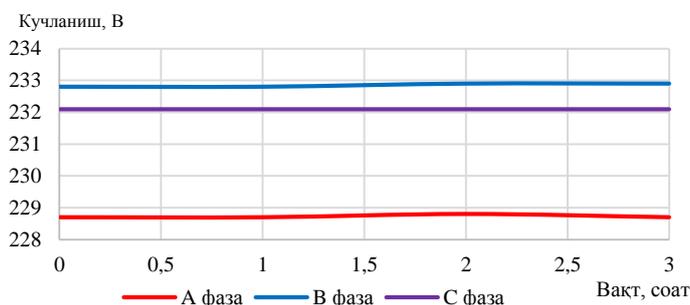
11-расм. Вектор диаграммаси  
 $\varphi U_A=0,0$ ;  $\varphi U_B=121,0$ ;  
 $\varphi U_C=-120,0$ .



12-расм. Кучланишларнинг графиги  
 $U_A=222,9$  В;  $U_B=228,8$  В;  $U_C=229,4$  В.

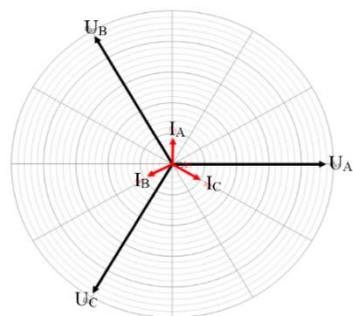


13-расм. Вектор диаграммаси  
 $\varphi U_A=0,0$ ;  $\varphi U_B=120,1$ ;  
 $U_C=-120,0$

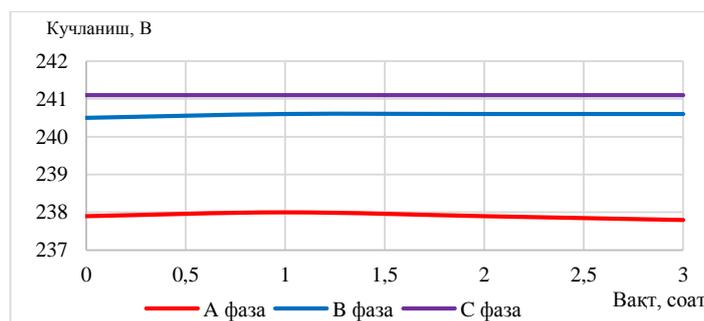


14-расм. Кучланишларнинг графиги  
 $U_A=228,8$  В;  $U_B=232,8$  В;  $U_C=232,1$  В.

Симметрияловчи куч трансформаторининг юқори томонига носимметрик тармоқ уланган ва паст кучланишли томонига нозизиқли сиғим юкламалар уланган ҳолат учун натижаларининг вектор диаграммаси 15-расмда, графиги 16-расмда келтирилган. Носимметрия коэффициенти  $K_0=0,82$  % ташкил этган.

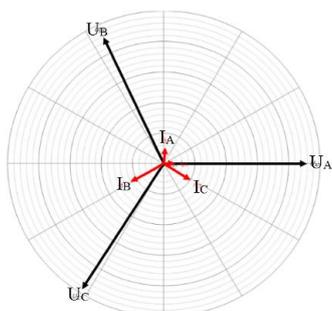


15-расм. Вектор диаграммаси  
 $\varphi U_A=0,0$ ;  $\varphi U_B=120,1$ ;  
 $\varphi U_C=-120,5$



16-расм. Кучланишларнинг графиги  
 $U_A=237,9$  В;  $U_B=240,5$  В;  $U_C=240,9$  В.

Носимметрик ҳолатдаги тармоқ ва носимметрик ҳолатда актив, индуктив ва сиғим, яъни, аралаш юклама уланган ҳолат учун олинган натижаларининг вектор диаграммаси 17-расмда ( $\varphi U_A=0,0$ ;  $\varphi U_B=117,1$ ;  $\varphi U_C=-121,4$ ), графиги 18-расмда ( $U_A=237,9$  В;  $U_B=240,5$  В;  $U_C=240,9$  В) келтирилган. Носимметрия коэффициенти  $K_0=1,93$  % ташкил этган.



17-расм. Вектор диаграммаси



18-расм. Кучланиш графиги

Ўтказилган эксперимент тадқиқот натижасида маълум бўлдики, тармоқ ва юкларда (бўйлама ва кўндаланг) носимметрия бўлганда ҳам симметрия қила олиши ва ноль кетма-кетлик кучланишини бартараф этиши аниқланган.

Олинган эксперимент тадқиқот натижалари меъёрий ҳужжатларга мослиги текширилди.

1-жадвал

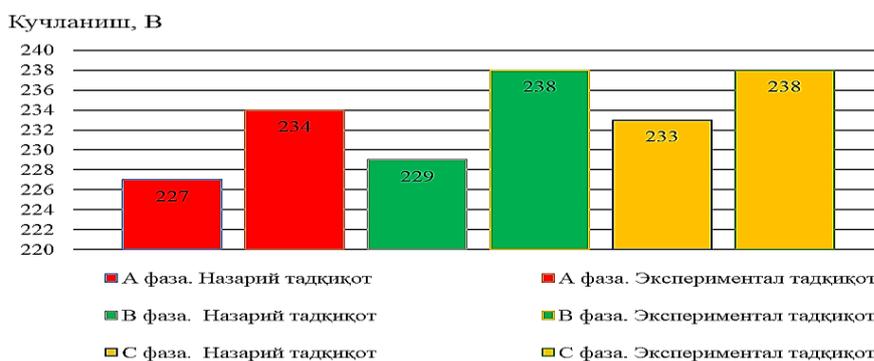
Математик статистика назарияси асосида танлаб олинган кучланишларнинг ноль кетма-кетлик носимметрия коэффициенти

	$U_A$	$U_B$	$U_C$
Кучланишлар	242,9	226	224
$K_{01}$	5,3 %		

2-жадвал

Симметрик ҳолатга келтирилган кучланишларнинг ўртача қийматини ноль кетма-кетлик носимметрия коэффициенти

	$U_A$	$U_B$	$U_C$
Кучланишлар	229,4	230,9	234,4
$K_{02}$	1,7 %		



19-расм. Назарий ва амалий эксперимент тадқиқот қийматларини солиштириш

А фазадаги кучланишларнинг фарқи 3% ни, В фазада 4% ни, С фазада 2% ни ташкил этмоқда, кучланишларнинг ўртача қийматининг фарқи 3% ни ташкил этган.

Диссертациянинг “10/0,4 кВ кучланишли куч трансформаторларининг ишончлилигини ички симметриялаш орқали баҳолаш” деб номланган тўртинчи бобида эҳтимоллар назарияси, математик статистика ва ишонччилик назариясини қўллаб уч фаза куч

трансформаторининг ишончилигини ички симметриялаш орқали баҳолаш имконини берувчи усул ишлаб чиқилган. Ушбу усул ёрдамида эксплуатацияда бўлган куч трансформатори ҳамда симметрияловчи трансформаторнинг ишлаш ишончилиги баҳоланган.

Куч трансформаторларида носимметрия туфайли бузилишлари бўйича статистик маълумотлар тўпланган.

Тўпланган маълумотларни таҳлили шуни кўрсатдики, кузатишлар олиб борилган икки йил муддат давомида жами 21 та бузилиш ҳолатлари аниқланган. Кузатиш олиб борилган муддатни интервалларга бўлиб, ҳар бир интервал учун ҳисоблар амалга оширилди. Ҳисоб натижалари 3-жадвалда келтирилган.

3-жадвал

Статистик маълумотлар таҳлиллари

Интервал	$\Delta t$	$n_i$	$P_i = n_i/n$	$t_i$	$P_i t_i$	$\sum n_i/n$	$n_i/n\Delta t \cdot 10^{-6}$	$P_i(t_i - M(t))^2$
0-2000	2000	1	0,04761	1000	47,6	0,047619	23,80952	3421236,49
2000-4000	2000	2	0,09523	3000	285,7	0,142857	47,61904	3994396,80
4000-6000	2000	3	0,14285	5000	714,2	0,285714	71,42857	2862338,06
6000-8000	2000	2	0,09523	7000	666,6	0,380952	47,61904	583958,708
8000-10000	2000	4	0,19047	9000	1714,2	0,571428	95,23809	43193,6076
10000-12000	2000	2	0,09523	11000	1047,6	0,666666	47,61904	221139,661
12000-14000	2000	3	0,14285	13000	1857,1	0,809523	71,42857	1773880,92
14000-16000	2000	1	0,04761	15000	714,2	0,857142	23,80952	1452969,83
16000-18000	2000	3	0,14285	17000	2428,5	1	71,42857	8086795,20
		21			9476,2			22439909,3

Статистик дисперсия:

$$D(t) = \sum [P_i(t_i - M(t))^2] = 112152809 \text{ соат}$$

Ўртача квадратик четланиш:

$$\sigma(t) = \sqrt{D(t)} = \sqrt{112152809} = 10590,2 \text{ соат}$$

Вариация коэффициенти:

$$V(t) = \frac{\sigma(t)}{M(t)} = \frac{10590,2}{9476,2} = 1,12$$

Статистик тадқиқотларда куйидаги хусусиятлар ҳам аниқланган: Арифметик математик кутилишни аниқлашда ўртача квадратик хатолик:

$$\Delta M(t) = \frac{\sigma(t)}{\sqrt{n}} = \frac{10590,2}{\sqrt{21}} = 2310,97 \text{ соат}$$

Ўртача квадратик четланишни ҳисоблашда ўртача квадратик хатолик:

$$\Delta \sigma(t) = \frac{\sigma(t)}{\sqrt{2n}} = \frac{10590,2}{\sqrt{2 \cdot 21}} = 1634,1 \text{ соат}$$

Четланиш қийматларини яхлитлаб куйидагини оламиз

$$\Delta M(t) = 9476,2 \pm 2310,97 \text{ (соат)}$$

Носозликлар орасидаги вақтни математик кутилиш сифатида қабул қилиш, унинг қийматини  $M(t)=9476,2$  соат деб қабул қилиб ёзишимиз мумкин:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}.$$

Экспоненциал тақсимот қонунига кўра

$$\lambda = \frac{1}{M(t)} = \frac{1}{9476,2} = 0,000106$$

Пирсоннинг мувофиқлик меъзони ёрдамида аниқлаш

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{[n_i - nP'(t_i)]^2}{nP'(t_i)} \quad (23)$$

бу ерда,

k – статистик тақсимот интерваллари сони, k=9

$n_i$  – ҳар бир интервалдаги куч трансформаторларининг бузилиш қийматлари сони;

n – куч трансформаторларнинг бузилиш қийматларининг умумий сони

$P'(t_i)$  – i-чи интервалда куч трансформаторларининг бузилиш эҳтимоллиги.

4-жадвал

Ишончлиликнинг ҳисобий қийматлари

Интервал	$\lambda t_i$	$e^{-\lambda t_i}$	$P'(t_i)$	$nP'(t_i)$	$\sum_{i=1}^k \frac{[n_i - nP'(t_i)]^2}{nP'(t_i)}$
0-2000	0	1	0,191035302	4,01174135	2,26101
2000-4000	0,212	0,808964698	0,154540816	3,24535713	0,477887
4000-6000	0,424	0,654423882	0,125018064	2,62537935	0,053455
6000-8000	0,636	0,529405818	0,1011352	2,12383921	0,007221
8000-10000	0,848	0,428270617	0,081814807	1,71811094	3,030664
10000-12000	1,06	0,34645581	0,066185291	1,3898911	0,267814
12000-14000	1,272	0,28027052	0,053541564	1,12437283	3,128835
14000-16000	1,484	0,226728956	0,043313235	0,90957793	0,008989
16000-18000	1,696	0,183415722	0,035038878	0,73581643	6,967128
	1,908	0,148376844			16,203

Ҳисобланган қиймат  $\chi^2 = 16,2 < 22,4$  га тенг, шунинг учун экспоненциал тақсимот ва бузилишлар ҳақидаги гипотезаси қабул қилинади.

Экспоненциал тақсимот қонунига кўра:  $P(t) = e^{-\lambda t}$ ;  $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ ;

$$T_{\text{ўртача}} = \frac{1}{\lambda}; \quad \lambda = \text{const.}$$

У ҳолда

$$T_{\text{ўртача}} = \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{0,000106} = 9434 \text{ соат}$$

$$P(5000) = \exp\left[-\frac{8760}{9434}\right] = e^{-0.93} = 0,395;$$

$$P(10000) = \exp\left[-\frac{17520}{9434}\right] = e^{-1.86} = 0,156;$$

$$P(15000) = \exp\left[-\frac{26280}{9434}\right] = e^{-2.78} = 0,062;$$

Юқоридаги ҳисоблар носимметрия коэффиценти  $K_{01} = 5,3\%$  бўлган ҳол учун ҳисобланган.

Энди носимметрия коэффиценти  $K_{02} = 1,7\%$  бўлган ҳол учун ҳисоблар:

Носимметрия коэффиценти  $K_{01} = 5,3\%$  бузилишлар жадаллилиги  $\lambda_1 = 0,000106$  га тенглиги маълум, бундан

$$\frac{K_{01}}{K_{02}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

тенг пропорция тузамиз. У ҳолда

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{K_{02}}{K_{01}} \quad (24)$$

эканлиги келиб чиқади.

Бу ерда  $K_{01}, K_{02}$  –лар мос равиш 1- ва 2 - ҳолатлар учун носимметрия коэффицентлари,  $\lambda_1, \lambda_2$  –лар мос равишда 1- ва 2 - ҳолатлар учун бузилишлар жадалликлари.

(24) формула ёрдамида  $K_{02} = 1,7\%$  бўлган ҳол учун  $\lambda_2$ нинг қийматини аниқлаймиз:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{K_{02}}{K_{01}} = 0.000106 \frac{1,7}{5,3} = 0,000034$$

Энди  $\lambda_2 = 0,000034$

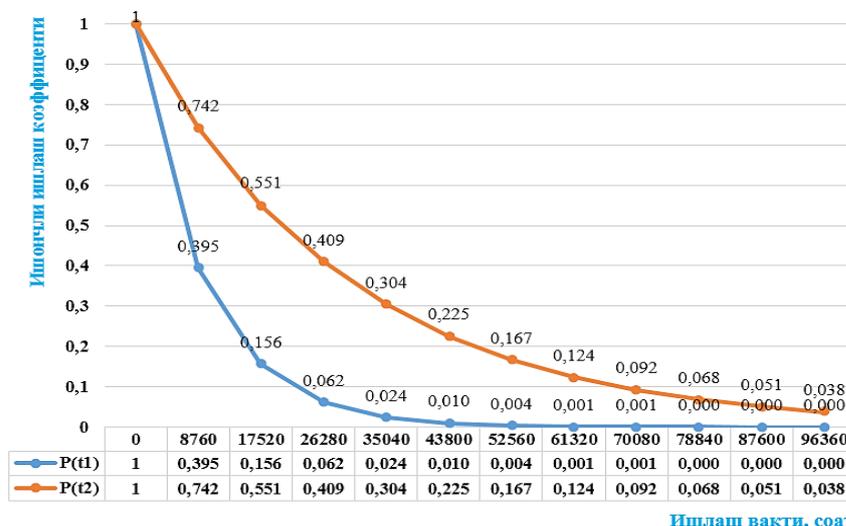
$$T_{\text{ўртача}} = \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{0.000034} = 29412 \text{ соат}$$

$$P(5000) = \exp\left[-\frac{8760}{29412}\right] = e^{-0.3} = 0,74;$$

$$P(10000) = \exp\left[-\frac{17520}{29412}\right] = e^{-0.6} = 0,55;$$

$$P(15000) = \exp\left[-\frac{26280}{29412}\right] = e^{-0.9} = 0,41;$$

Эксплуатациядаги куч трансформаторларининг ишончлилиги 3,1 баробарга ошириш имкони яратилган.



Ишлаш вақти, соат

20-расм. Куч трансформаторларининг ишончли ишлаш эҳтимоллик графиги

## Хулоса

“10/0,4 кВ кучланишдаги куч трансформаторларининг ишончилигини симметриялаш орқали ошириш” мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулоса тақдим этилган:

1. Уч фазали куч трансформатори иккиламчи чулғамларининг ҳар бирини уч қисмга ажратиб ва нейтралга актив қаршилик қўллаб уланиш схемаси такомиллаштирилди. Натижада ночизикли электр юкламалар кучланишини симметриялаш имконияти яратилди.

2. Электромагнит индукция қонуни, Максвелнинг биринчи интеграл тенгламаси, Стокс теоремаси ва тригонометрик айниятдан фойдаланиб математик ифода олинди ва алгоритм ишлаб чиқилди. Натижада симметрияловчи куч трансформатори иккиламчи чулғамларидаги кучланиш қийматини аниқлаш имконияти яратилди.

3. Чулғамларининг уланиш схемаси ва ўрамлар сонини ўзгартириб уч фазали симметрияловчи куч трансформатори ишлаб чиқилди. Натижада эксперимент тадқиқотларини ўтказиш имконияти яратилди.

4. Ишлаб чиқилган уч фазали симметрияловчи куч трансформаторида эксперимент тадқиқотлари ўтказилди. Натижада уланиш схемаси  $Y/Y_0$  бўлган куч трансформаторида носимметрия коэффициенти  $K_{01} = 5,3\%$ , уланиш схемаси такомиллашган  $Y/Y_0$  0- гуруҳли уч фазали куч трансформаторида носимметрия коэффициенти  $K_{02} = 1,7\%$  эканлиги аниқланди.

5. Узоқ муддат эксплуатация шароитидаги куч трансформаторларининг ишончилигини ички симметриялаш орқали баҳолаш усули ишлаб чиқилди. Натижада симметрияловчи куч трансформаторининг ишончилигини баҳолаш имконияти яратилди.

6. Яратилган симметрияловчи куч трансформаторининг ишлаш ишончилиги баҳоланди. Натижада чулғамларининг уланиш схемаси такомиллашган  $Y/Y_0$  0- гуруҳли уч фазали симметрияловчи куч трансформатори чулғамларининг уланиш схемаси  $Y/Y_0$  бўлган куч трансформаторидан 3,1 баробарга кўпроқ хизмат қилиши аниқланди.

7. Илмий тадқиқот натижалари асосида ишлаб чиқилган симметрияловчи куч трансформаторидан фойдаланиб носимметрик ҳолатларни бартараф этиш орқали эришиладиган иқтисодий самарадорлик 10/0,4 кВ кучланишдаги қуввати 100 кВА бўлган 1 та куч трансформатори учун 1 йилга 3 302 200 сўмни ташкил этди. Натижада Фарғона вилояти Фурқат туманда 10/0,4 кВ қуввати 100 кВА бўлган 85 та куч трансформаторларини ички симметриялаш орқали иқтисодий самарадорлик йилига 280 687 000 сўм ни ташкил этади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
ДОКТОРА НАУК DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 ПРИ ИНСТИТУТЕ  
ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН**

---

**ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ  
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТУЙЧИЕВ ЗАФАРЖОН ЗОКИРОВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ  
НАПРЯЖЕНИЕМ 10/0,4 кВ ПУТЕМ ВНУТРЕННЕЙ СИММЕТРИИ**

**05.05.01 – Энергетические системы и комплексы**

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

**Ташкент – 2023**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером В2022.Т4. PhD/Т 3325.

Диссертация выполнена в Ферганском политехническом институте и Институте проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на сайте Ученого совета ([www.energetika.uz](http://www.energetika.uz)) и информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Юсупов Дилмурод Турдалевич**

доктор философии по техническим наукам,  
старший научный сотрудник

**Официальные оппоненты:**

**Тоиров Олимжон Зувурович**

доктор технических наук, профессор

**Болтаев Отабек Ташмухамматович**

доктор философии по техническим наукам,  
доцент

**Ведущая организация:**

Навоийский государственный горный  
и технологический университет

Защита диссертации состоится «03» марта 2023 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2021.Т.143.01 при Институте проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан (Адрес: 100076, г. Ташкент, ул. М.Ашрафий, 1-пр, 9-А. Тел.: (+99871) 283-23-08, факс: (+99871) 237-38-79, e-mail: energetika\_in@umail.uz..

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Института проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан (Адрес: 100076, г. Ташкент, ул. М.Ашрафий, 1-пр, 9-А. Тел.: (+99871) 283-23-08, факс: (+99871) 237-38-79..

Автореферат диссертации разослан «18» февраля 2023 г.  
(Реестр протокола рассылки № 1 от «14» февраля 2023 г).



**Х.М. Муратов**  
Председатель Научного совета по присуждению  
ученой степени доктора наук, д.т.н., профессор

**К.Ш. Кадиров**  
Ученый секретарь Научного совета по присуждению  
ученой степени доктора наук, PhD, с.н.с.

**О.Х. Ишназаров**  
Председатель научного семинара при Научном  
совете по присуждению ученой степени доктора  
наук, д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире в первую очередь считается важной надежностью электроснабжения, которая определяется техническим состоянием энергосистем и эксплуатирующихся в них силовых трансформаторов, а вопросам увеличения срока службы этого электрооборудования придается особое значение. В настоящее время «во всем мире имеются силовые трансформаторы суммарной мощностью более 10 000 ГВА»<sup>1</sup>. Эксплуатационная надежность такого крупного комплекса объясняется тем, что она зависит от надежности его обмоток, составляющих его основную часть. В связи с этим, особое внимание уделяется, в том числе определению факторов, приводящих к выходу из строя силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ и оценке эксплуатационных показателей, а также повышению надежности трансформаторов.

Ведутся исследования по разработке методов выявления и снижения нежелательных процессов, связанных с несимметричными нагрузками силовых трансформаторов мощностью 10/0,4 кВ, используемых в энергосистеме мира, по продлению срока службы силовых трансформаторов при длительной эксплуатации и повышению надежности, обеспечению своевременного технического обслуживания для бесперебойной работы силовых трансформаторов, а также современных технологий снижения дефектов, вызванных несимметричными нагрузками в силовых трансформаторах. В этом направлении, среди прочего, определение основных факторов, влияющих на работу силовых трансформаторов, предотвращение несимметричных ситуаций, симметрирование путем изменения схемы соединения обмоток силовых трансформаторов в эксплуатации и симметрирующего устройства, а также повышение надежности трансформаторов являются одними из актуальных задач.

В нашей республике принимаются меры по разработке новой техники и технологий, внедрению их в отрасли экономики для обеспечения потребителей качественной электроэнергией. В новой стратегии развития Узбекистана на 2022-2026 годы определены задачи «Непрерывного обеспечения электроэнергией экономики и активного внедрения технологий «зеленой экономики» во все отрасли, повышения энергоэффективности экономики на 20 процентов»<sup>2</sup>. При реализации этих задач, в том числе, одним из важных вопросов является исследование электрооборудования в условиях длительной эксплуатации, выявление несимметричных процессов в электрических нагрузках и вызывающих их факторов, усовершенствование схемы подключения обмоток и получение математического выражения симметрирующих силовых трансформаторов, создание опытного образца симметрирующего силового трансформатора, повышение надежности за счет внутренней симметрии силовых трансформаторов.

---

<sup>1</sup> Statistical Review of World Energy, 67-th edition, June 2018.

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 28.01.2022 г. №УП-60 «Стратегия развития Нового Узбекистан на 2022 – 2026 годы»

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит для практического выполнения задач, поставленных в Указах и Постановлениях Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы», ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об оперативных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», ПП-4779 от 10 июля 2020 г. «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов» и другими нормативными-правовыми документами, связанными с данной деятельностью.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики 2. «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии».

#### **Степень изученности проблемы.**

Научные исследования, направленные на повышение надежности силовых трансформаторов в эксплуатации и устранение несимметричных процессов в нелинейных нагрузках, проводятся ведущими мировыми научными центрами и высшими учебными заведениями, в том числе Университетом штата Миссисипи (США), Техническим университетом Ильменау (Германия), Технологическим институтом Токио (Япония), Южно-Китайским технологическим университетом (Китай), Миланским политехническим университетом (Италия), Институтом электродинамики (Украина), Московским энергетическим институтом (Россия), Казанским государственным энергетическим университетом (Россия). Комплексные научно-исследовательские работы ведутся в Санкт-Петербургском государственном аграрном университете.

Для решения научных задач, направленных на устранение несимметричных процессов, происходящих в электрических сетях 10/0,4 кВ, и повышение надежности силовых трансформаторов, внесли вклад известные зарубежные ученые Н.Ю. Криштопа, А.В. Дед, Д. Гантулга, А.С. Луковенко, А.В. Пятков, И.В. Джеленко, Л.А. Добрусин, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев, Д.С. Федосов, А.А. Белицкий, Л.Д. Клебанов, Ф.Д. Косоухов, Н.А. Мельников, И.В. Наумов, А.О. Филиппов, М.Ю. Теремецкий, М.Г. Баширов, Т.В. Щурская, В.В. Прон, П.В. Рысев и другие.

При решении научных проблем по повышению надежности и эффективности энергосистем и улучшению качества электроэнергии в нашей республике внесли значимый вклад следующие ученые Х.Ф. Фазилов, Т.Х. Насиров, К.Р. Аллаев, Х.М. Муратов, Ш.В. Хамидов, Т.Ш. Гаибов, О.Х. Ишназаров и другие. Исследования, посвященные решению проблем повышения энергоэффективности и снижения потерь электроэнергии в

распределительных сетях низкого напряжения, непосредственно связаны с решением задачи симметрирования рабочих условий в этих сетях.

Несмотря на достигнутые успехи, научные проблемы, связанные с повышением надежности силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ с нелинейной нагрузкой, совершенствованием существующих и созданием новых методов в этом направлении, изучены недостаточно.

**Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.**

Диссертационное исследование проведено по хоздоговору №114-22 плана НИР Ферганского политехнического института на тему «Создание опытного образца симметрирующего силового трансформатора» и в рамках программы НИР Института проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан на 2022-2025 годы «Обеспечение надежности и разработка методологических основ безопасности развития энергетики».

**Целью исследования** - повышение надежности силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ с нелинейной нагрузкой за счет внутренней симметрии.

**Задачи исследования:**

усовершенствование схемы соединения обмоток трехфазного симметрирующего силового трансформатора;

получение математического выражения и разработка алгоритма для определения величины напряжения во вторичных обмотках трехфазного симметрирующего силового трансформатора;

создание опытного образца трехфазного симметрирующего силового трансформатора;

проведение экспериментальных исследований на опытном образце и анализ полученных результатов;

разработка способа оценки надежности силовых трансформаторов с внутренним симметрированием.

**Объектом исследования** В качестве объекта исследования были взяты силовые трансформаторы напряжением 10/0,4 кВ в условиях длительной эксплуатации.

**Предметом исследования** являются схемы и группы соединений обмоток силовых трансформаторов.

**Методы исследования.** В процессе исследования использовались теория электрических цепей, закон электромагнитной индукции, первое интегральное уравнение Максвелла, теорема Стокса, теория вероятностей, математическая статистика и теория надежности.

**Научная новизна исследования.**

усовершенствована схема соединения, позволяющая симметрировать напряжение нелинейных электрических нагрузок на основе разделения каждой вторичной обмотки трехфазного силового трансформатора на три части и подключения к нейтрали активного сопротивления;

получено математическое выражение и разработан алгоритм, позволяющее определить величину напряжения во вторичных обмотках

симметрирующего силового трансформатора на основе закона электромагнитной индукции, первого интегрального уравнения Максвелла, теоремы Стокса и тригонометрического уравнения;

разработан трехфазный симметрирующий силовой трансформатор, позволяющий параллельно работать с четной группой соединения на основе изменения схемы соединения и числа обмоток;

разработан способ оценки надежности трехфазного силового трансформатора за счет внутренней симметрии на основе теории вероятностей и надежности.

#### **Практические результаты исследования.**

усовершенствована схема соединения обмоток трехфазного силового трансформатора путем разделения каждой из вторичных обмоток на три части и применения активного сопротивления к нейтрали;

разработан трехфазный симметрирующий силовой трансформатор с усовершенствованной схемой соединения обмоток;

разработан способ оценки надежности силовых трансформаторов с внутренним симметрированием.

**Достоверность результатов исследований.** Достоверность результатов исследований объясняется применением современных метрологически аттестованных средств измерений, передовых математических методов обработки данных и методов исследования, указанных в нормативных документах, а также взаимной совместимостью теоретических и экспериментальных результатов.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования объясняется получением математического выражения и разработка алгоритма, позволяющее определить величину напряжения во вторичных обмотках симметрирующего силового трансформатора;

Практическая значимость результатов исследований объясняется созданием экспериментальной модели силового трансформатора на основе симметрирующей схемы.

**Внедрение результатов исследований.** На основании полученных научных результатов по повышению надежности силовых трансформаторов 10/0,4 кВ за счет внутреннего симметрирования:

внедрена схема соединения обмоток трехфазного силового трансформатора, позволяющая симметрировать напряжения нелинейных электрических нагрузок, на предприятии электроснабжения Фуркатского района Ферганской области (Справка № 01-03-20/1232 от 14 ноября 2022 года АО «Региональные электрические сети»). В результате удалось повысить надежность силовых трансформаторов в эксплуатации в 3,1 раза.

внедрен способ оценки надёжности трёхфазного силового трансформатора за счёт внутренней симметрии на предприятии электроснабжения Фуркатского района Ферганской области. (Справка № 01-03-20/1232 от 14 ноября 2022 года АО «Региональные электрические сети»). В результате достигнута экономическая эффективность 3 302 200 сумов на 1

силовой трансформатор мощностью 100 кВА с напряжением 10/0,4 кВ и 280 687 000 сумов по 85 силовым трансформаторам за счет устранения несимметричных состояний в предприятии.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследований были апробированы на 5 научно-практических конференциях, в том числе на 2 международных и 3 республиканских конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 12 научных работ, из них 4 научные статьи опубликованы в журналах, рекомендованных для публикации основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 3 статьи в республиканских научных журналах, 1 статья в зарубежном журнале, а также получены 3 свидетельства на программу ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 100 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность выбранной темы диссертации, сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследования, их соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, научная и практическая значимость полученных результатов, приведена информация о результатах исследования, внедренных в практику, опубликованные научные работы и структура диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Тенденции современного состояния силовых трансформаторов с нелинейной нагрузкой»**, анализированы вызывающие факторы на несимметричные состояния, силовые трансформаторы со схемами соединения  $Y/Y_0$ ,  $Y/Z_0$ ,  $Y/Y_0+CY$ , выявления несимметричных состояний и существующие методы их устранения.

С учетом повышения надежности силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ за счет внутреннего симметрирования, сформированы цели и задачи диссертации на основе научного анализа.

Во второй главе диссертации под названием **«Теоретические исследования по симметрирующим силовым трансформаторам»** усовершенствована схема соединения, позволяющая симметрировать напряжение нелинейных электрических нагрузок на основе разделения каждой вторичной обмотки трехфазного силового трансформатора на три части и подключения к нейтрали активного сопротивления (рис.1). Получена векторная диаграмма трехфазного симметрирующего силового трансформатора, которая позволяет определить четность или нечетность группы соединений (рис.2)

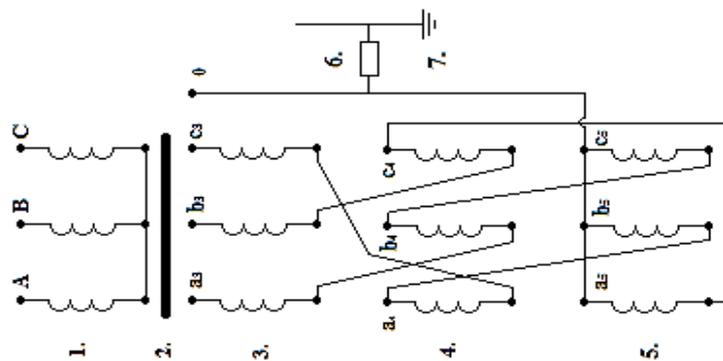


Рис.1. Усовершенствованная схема трехфазного симметрирующего силового трансформатора

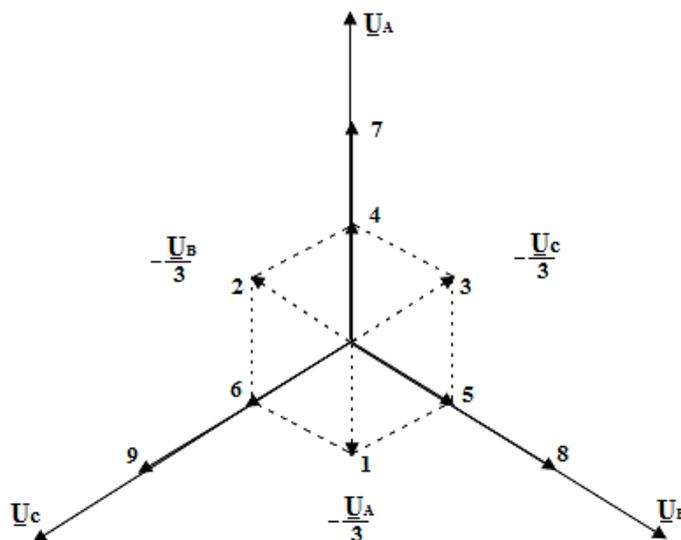


Рис.2. Векторная диаграмма симметрирующего силового трансформатора

Получено математическое выражение, позволяющее определить величину напряжения во вторичных обмотках симметрирующего силового трансформатора на основе закона электромагнитной индукции, первого интегрального уравнения Максвелла, теоремы Стокса и тригонометрического уравнения;

Выражения (1, 2, 3) использовались для расчета магнитных потоков

$$\Phi_A = -\Phi_0 \cos \omega t \quad (1)$$

$$\Phi_B = \Phi_0 \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{6} \right) \quad (2)$$

$$\Phi_C = \Phi_0 \sin \left( \omega t + \frac{5\pi}{6} \right) \quad (3)$$

ЭДС, создаваемые в верхней и нижней обмотках силового трансформатора, по закону электромагнитной индукции использовались выражения (4, 5, 6)

$$E_{11} = -w_1 \Phi_0 \omega (-\sin \omega t) \quad (4)$$

$$E_{21} = -w_2 \Phi_0 \omega \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \quad (5)$$

$$E_{31} = -w_3 \Phi_0 \omega \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) \quad (6)$$

Выходное напряжение фаз низкой стороны симметрирующего силового трансформатора выражается в векторной форме следующим образом:

$$\bar{U}_1 = \bar{E}_{11} + \bar{E}_{22} + \bar{E}_{33} \quad (7)$$

$$\bar{U}_2 = \bar{E}_{21} + \bar{E}_{32} + \bar{E}_{13} \quad (8)$$

$$\bar{U}_3 = \bar{E}_{31} + \bar{E}_{12} + \bar{E}_{23} \quad (9)$$

учитывая, что  $E_{nX} = E_n \cos 60^\circ$

$$U_1 = -E_{11} + E_{22} \cos 60^\circ + E_{33} \cos 60^\circ \quad (10)$$

$$U_2 = -E_{21} + E_{32} \cos 60^\circ + E_{13} \cos 60^\circ \quad (11)$$

$$U_3 = -E_{31} + E_{12} \cos 60^\circ + E_{23} \cos 60^\circ \quad (12)$$

Из приведенных выше выражений (13,14,15) выводятся основные уравнения

$$U_{11} = -\frac{1}{2} w \Phi \omega * \sin \omega t \quad (13)$$

$$U_{21} = \frac{1}{4} w \Phi \omega (\sin \omega t + 3\sqrt{3} \cos \omega t) \quad (14)$$

$$U_{31} = \frac{1}{4} w \Phi \omega (\sin \omega t - 3\sqrt{3} \cos \omega t) \quad (15)$$

Индукция ЭДС, создаваемая в первичной цепи, выражается в следующем виде.

$$U_{10} = -w_{10} \Phi * \omega \sin \omega t \quad (16)$$

$$U_{20} = -\frac{1}{2} w_{10} \Phi \omega (\sqrt{3} \cos \omega t - \sin \omega t) \quad (17)$$

$$U_{30} = -\frac{1}{2} w_{10} \Phi \omega (\sin \omega t + \sqrt{3} \cos \omega t) \quad (18)$$

$\sqrt{3} \cos \omega t$  представлен как  $U_{10}$ ,  $U_{20}$ ,  $U_{30}$  и получено математическое выражение симметрирующего силового трансформатора

$$U_{11} = \frac{1}{2} w_2 * \Phi * \omega * \frac{U_{30} + U_{20}}{w_1 \Phi \omega} = \frac{w_2}{w_1} (U_{30} + U_{20}) \quad (19)$$

$$U_{22} = \frac{1}{4} * \frac{w_2}{w_1} (-U_{10} + 6U_{30} + 3U_{10}) = \frac{1}{4} * \frac{w_2}{w_1} (2U_{10} + 6U_{30}) \quad (20)$$

$$U_{33} = \frac{1}{4} * w_2 \Phi \omega \left( -\frac{U_{10}}{w_1 \Phi \omega} - 3 \left( -\frac{U_{10} * 2}{\Phi w_1 \omega} + \left( -\frac{U_{20}}{w_1 \Phi * \omega} \right) \right) \right) =$$

$$\frac{1}{4} * \frac{w_2}{w_1} (-U_{10} - 3(-2U_{20} - U_{10})) = \frac{1}{4} * \frac{w_2}{w_1} (-U_{10} + 3U_{10} + 6U_{20}) =$$

$$\frac{1}{4} * \frac{w_2}{w_1} (2U_{10} + 6U_{20}) \quad (21)$$

На основе данного математического выражения разработан также алгоритм, позволяющий определить величину напряжения во вторичных обмотках симметрирующего силового трансформатора (рис.3).

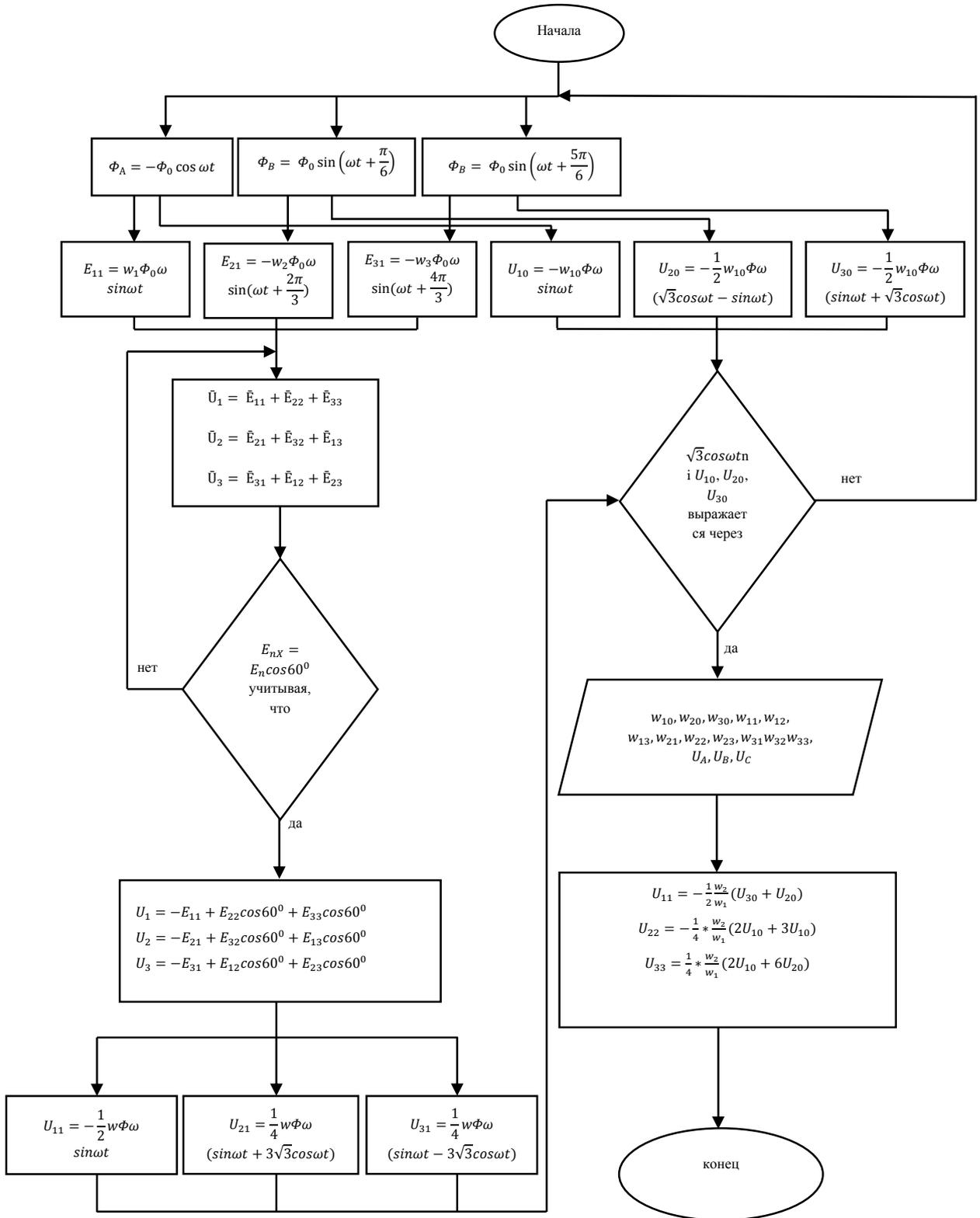


Рис 3. Алгоритм определения величину напряжения во вторичных обмотках симметрирующего силового трансформатора

В третьей главе диссертации под названием **«Разработка экспериментального образца симметрирующего силового трансформатора и проведение экспериментальных исследований»** разработано экспериментальное устройство трехфазного симметрирующего силового трансформатора (рис.4 и 5), позволяющий параллельно работать с четной группой соединения на основе изменения схемы соединения и числа обмоток. Экспериментальные исследования проводились в продольном и поперечном несимметричных состояниях, а также, проверялось их соответствие нормативным документам, сравнивались результаты теоретических и экспериментальных исследований.



Рис.4. Ферромагнитный сердечник и обмотки трехфазного симметрирующего силового трансформатора мощностью 2,5 кВА



Рис.5. Трехфазный симметрирующий силовой трансформатор мощностью 2,5 кВА

Проведен исследовательский эксперимент в условиях продольной и поперечной несимметрии с использованием трехфазного симметрирующего силового трансформатора мощностью 2,5 кВА и лабораторного комплекса LD DIDACTIC.



Рис 6. Экспериментальный процесс исследования с использованием симметрирующего силового трансформатора и лабораторного комплекса LD DIDACTIC

С помощью лабораторного комплекса LD DIDACTIC были определены результаты несимметричного состояния токов и напряжений в сети, векторная диаграмма представлена на рис. 7, а график – на рис. 8.

Установлено, что напряжение в этом заданном несимметричном состоянии не соответствуют требованиям ГОСТ 32144-2013. Коэффициент несимметрии составил  $K_0=10,36\%$

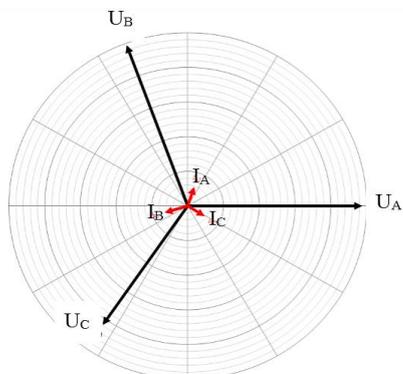


Рис 7. Векторная диаграмма  
 $\varphi U_A=0,0$ ;  $\varphi U_B=110,3$ ;  $\varphi U_C=-124,7$ .

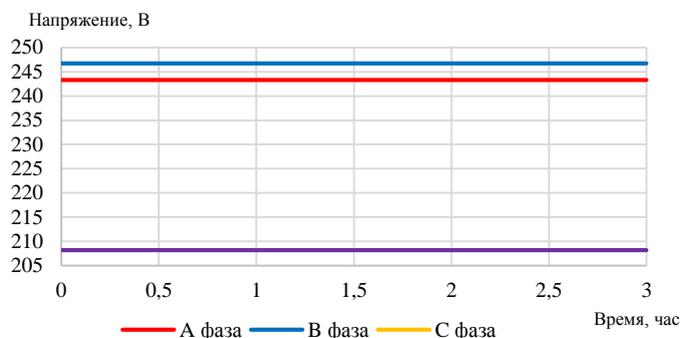


Рис 8. График напряжений  
 $U_A=243,3$  В;  $U_B=246,7$  В;  $U_C=208,2$

Путем включения симметрирующего силового трансформатора в сеть, приведенную в несимметричное состояние определяются токи и напряжения каждой фазы на нижней стороне в состоянии холостого хода, векторная диаграмма представлена на рис. 9, а график – на рис. 10. Как видно из этого, экспериментальными исследованиями определено, что симметрирующий силовой трансформатор, симметрирует сеть в несимметричном состоянии путем приведения его в состояние полной симметрии в соответствии с требованиями ГОСТ 32144-2013. Коэффициент несимметрии составил  $K_0=1,03\%$ .

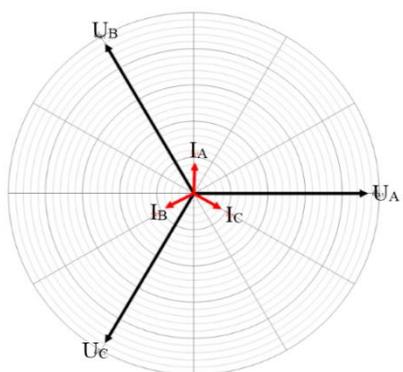


Рис 9. Векторная диаграмма  
 $\varphi U_A=0,0$ ;  $\varphi U_B=120,1$ ;  
 $\varphi U_C=-120,1$

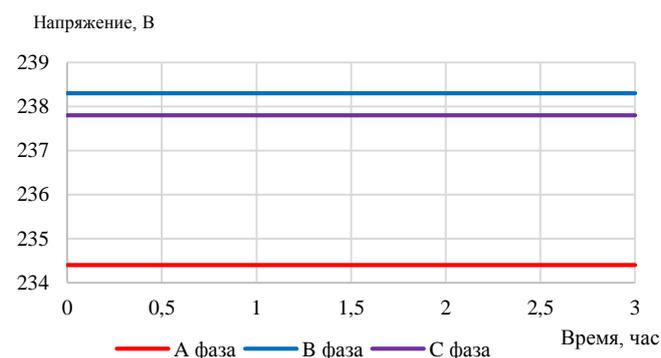


Рис 10. График напряжений  $U_A=234,4$  В;  
 $U_B=238,3$  В;  $U_C=237,8$  В.

Векторная диаграмма результатов, полученных для сети в несимметричном состоянии и активной нагрузки в несимметричном состоянии, представлена на рис. 11, а график на рис. 12. Коэффициент несимметрии составил  $K_0=1,82\%$ .

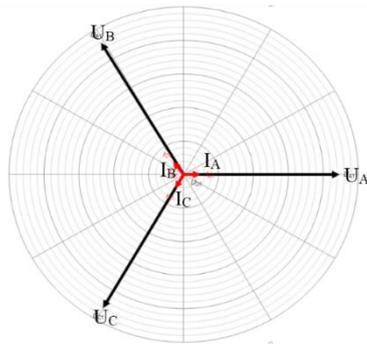


Рис 11. Векторная диаграмма  
 $\varphi U_A=0,0$ ;  $\varphi U_B=121,0$ ;  
 $\varphi U_C=-120,0$ .

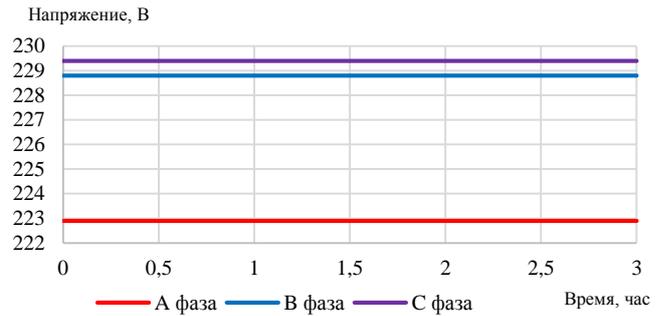


Рис 12. График напряжений  
 $U_A=222,9$  В;  $U_B=228,8$  В;  $U_C=229,4$  В.

Векторная диаграмма результатов, полученных при соединении несимметричной сети и несимметричной индуктивной нагрузки, представлена на рис. 13, а график — на рис. 14. Коэффициент несимметрии составил  $K_0=1,09\%$

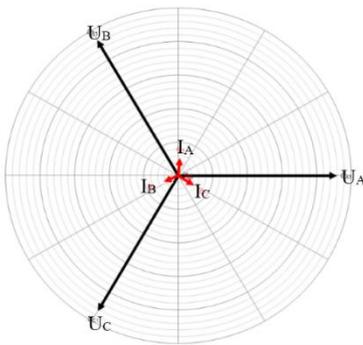


Рис 13. Векторная диаграмма  
 $\varphi U_A=0,0$ ;  $\varphi U_B=120,1$ ;  
 $U_C=-120,0$

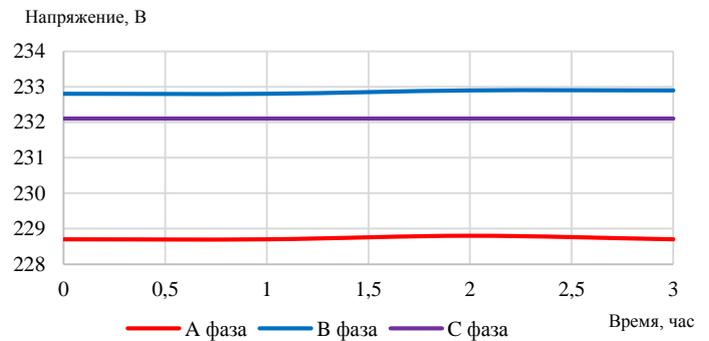


Рис 14. График напряжений  
 $U_A=228,8$  В;  $U_B=232,8$  В;  $U_C=232,1$  В.

Векторная диаграмма результатов для случая, когда к высокой стороне симметрирующего силового трансформатора подключена несимметричная сеть, а к низковольтной стороне подключены нелинейные емкостные нагрузки, представлена на рис. 15, а график — на рис. 16. Коэффициент несимметрии составил  $K_0=0,82\%$ .

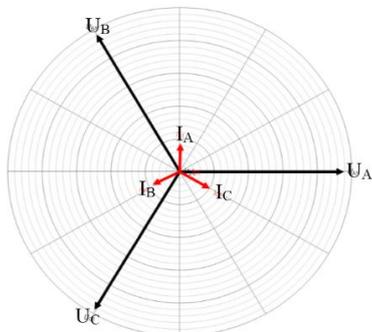


Рис 15. Векторная диаграмма  
 $\varphi U_A=0,0$ ;  $\varphi U_B=120,1$ ;  
 $\varphi U_C=-120,5$

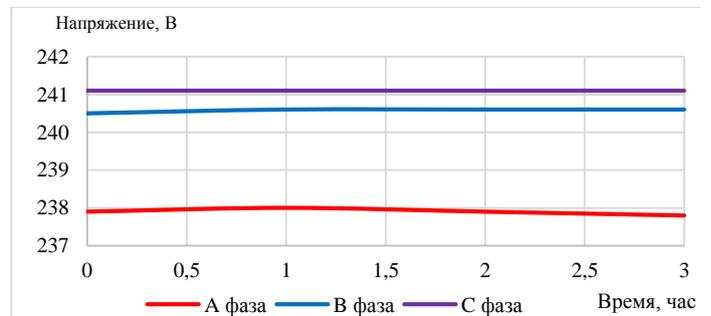


Рис 16. График напряжений  
 $U_A=237,9$  В;  $U_B=240,5$  В;  $U_C=240,9$  В.

Векторная диаграмма результатов, полученных для сети в несимметричном состоянии и активной, индуктивной и емкостной в несимметричном состоянии, то есть для случая, когда подключена смешанная нагрузка, представлена на рис. 17 ( $\varphi U_A=0,0$ ;  $\varphi U_B=117,1$ ;  $\varphi U_C=-121,4$ ), график на рис. 18 ( $U_A=237,9$  В;  $U_B=240,5$  В;  $U_C=240,9$  В). Коэффициент несимметрии составил  $K_0=1,93$  %.

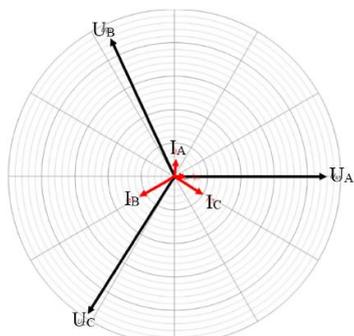


Рис 17. Векторная диаграмма

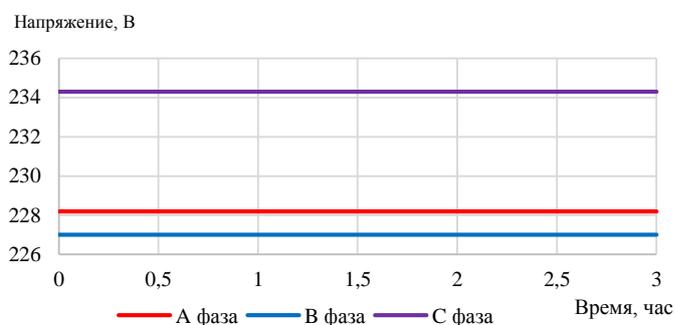


Рис 18. График напряжений

В результате проведенного экспериментального исследования стало известно, что в сети и нагрузках (продольных и поперечных) можно добиться симметрии даже при несимметричности и исключить напряжение нулевой последовательности.

Результаты полученных экспериментальных исследований проверены на соответствие нормативным документам.

Таблица 1

Коэффициент несимметрии нулевой последовательности напряжений, выбранных на основе теории математической статистики

	$U_A$	$U_B$	$U_C$
Напряжение	242,9	226	224
$K_{01}$	5,3 %		

Таблица 2

Коэффициент несимметрии нулевой последовательности среднего значения напряжений, приведенных в симметричное состояние

	$U_A$	$U_B$	$U_C$
Напряжение	229,4	230,9	234,4
$K_{02}$	1,7 %		

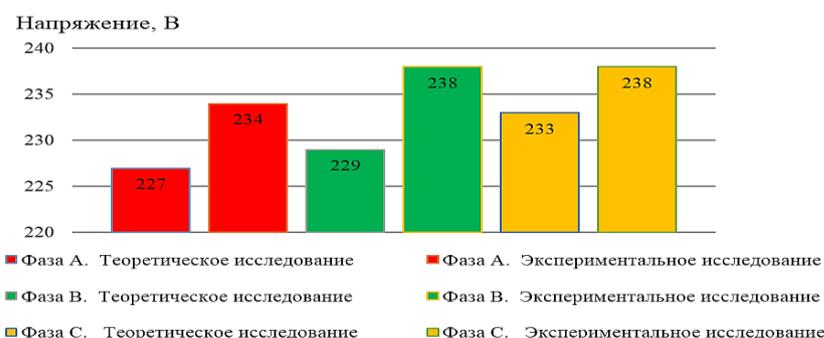


Рис 19. Сравнение теоретических и практических экспериментальных значений исследований

Разница напряжений составило, в фазе А 3%, в фазе Б 4%, в фазе С 2%, разница среднего значения напряжений 3%.

В четвертой главе диссертации под названием «**Оценка надежности силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ путем внутренней симметрии**» разработан способ оценки надежности трехфазного силового трансформатора путем внутренней симметрии с использованием теории вероятности, математической статистики и теории надежности. При помощи этого способа оценена надежность работы силового трансформатора в эксплуатации, а также, симметрирующего трансформатора.

Собраны статистические данные по неисправности из-за несимметрии в силовых трансформаторах.

Анализ собранных данных показал, что за двухлетний период наблюдения выявлено всего 21 нарушений. Период наблюдения разбивался на интервалы, и для каждого интервала производились расчеты. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Анализы статистических данных

Интервал	$\Delta t$	$n_i$	$P_i = n_i/n$	$t_i$	$P_i t_i$	$\sum n_i/n$	$n_i/n\Delta t \cdot 10^{-6}$	$P_i(t_i - M(t))^2$
0-2000	2000	1	0,04761	1000	47,6	0,047619	23,80952	3421236,49
2000-4000	2000	2	0,09523	3000	285,7	0,142857	47,61904	3994396,80
4000-6000	2000	3	0,14285	5000	714,2	0,285714	71,42857	2862338,06
6000-8000	2000	2	0,09523	7000	666,6	0,380952	47,61904	583958,708
8000-10000	2000	4	0,19047	9000	1714,2	0,571428	95,23809	43193,6076
10000-12000	2000	2	0,09523	11000	1047,6	0,666666	47,61904	221139,661
12000-14000	2000	3	0,14285	13000	1857,1	0,809523	71,42857	1773880,92
14000-16000	2000	1	0,04761	15000	714,2	0,857142	23,80952	1452969,83
16000-18000	2000	3	0,14285	17000	2428,5	1	71,42857	8086795,20
		21			9476,2			22439909,3

Статистическая дисперсия:

$$D(t) = \sum [P_i(t_i - M(t))^2] = 112152809 \text{ час}$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma(t) = \sqrt{D(t)} = \sqrt{112152809} = 10590,2 \text{ час}$$

Коэффициент вариации:

$$V(t) = \frac{\sigma(t)}{M(t)} = \frac{10590,2}{9476,2} = 1,12$$

В статистических исследованиях также были выявлены следующие признаки: Среднеквадратическая ошибка определения арифметического математического ожидания:

$$\Delta M(t) = \frac{\sigma(t)}{\sqrt{n}} = \frac{10590,2}{\sqrt{21}} = 2310,97 \text{ час}$$

Среднеквадратическая ошибка при расчете среднего квадратичного отклонения:

$$\Delta\sigma(t) = \frac{\sigma(t)}{\sqrt{2n}} = \frac{10590,2}{\sqrt{2 \cdot 21}} = 1634,1 \text{ час}$$

Суммируя значения отклонений, получаем следующее

$$\Delta M(t) = 9476,2 \pm 2310,97 \text{ час}$$

Принимая время при неисправностях как математическое ожидание, запишем его значение как  $M(t)=9476,2$  часа:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}.$$

По экспоненциальному закону распределения

$$\lambda = \frac{1}{M(t)} = \frac{1}{9476,2} = 0,000106$$

Определение с помощью корреляционного критерия Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{[n_i - nP'(t_i)]^2}{nP'(t_i)} \quad (23)$$

Здесь:

$k$  — количество интервалов статистического распределения,  $k=9$

$n_i$  — количество значений неисправностей силовых трансформаторов в каждом интервале;

$n$  — общее количество значений неисправностей силовых трансформаторов

$P'(t_i)$  — вероятность отказа силовых трансформаторов в  $i$ -м интервале.

Таблица 4

Расчетные значения надежности

Интервал	$\lambda t_i$	$e^{-\lambda t_i}$	$P'(t_i)$	$nP'(t_i)$	$\sum_{i=1}^k \frac{[n_i - nP'(t_i)]^2}{nP'(t_i)}$
0-2000	0	1	0,191035302	4,01174135	2,26101
2000-4000	0,212	0,808964698	0,154540816	3,24535713	0,477887
4000-6000	0,424	0,654423882	0,125018064	2,62537935	0,053455
6000-8000	0,636	0,529405818	0,1011352	2,12383921	0,007221
8000-10000	0,848	0,428270617	0,081814807	1,71811094	3,030664
10000-12000	1,06	0,34645581	0,066185291	1,3898911	0,267814
12000-14000	1,272	0,28027052	0,053541564	1,12437283	3,128835
14000-16000	1,484	0,226728956	0,043313235	0,90957793	0,008989
16000-18000	1,696	0,183415722	0,035038878	0,73581643	6,967128
	1,908	0,148376844			16,203

Расчитанное значение  $\chi^2 = 16,2 < 22,4$ , поэтому принимается гипотеза об экспоненциальном распределении неисправностей.

По экспоненциальному закону распределения:  $P(t) = e^{-\lambda t}$ ;  $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ ;

$$T_{\text{средний}} = \frac{1}{\lambda}; \quad \lambda = \text{const.}$$

В этом случае

$$T_{\text{средний}} = \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{0,000106} = 9434 \text{ час}$$

$$P(5000) = \exp\left[-\frac{8760}{9434}\right] = e^{-0.93} = 0,395;$$

$$P(10000) = \exp\left[-\frac{17520}{9434}\right] = e^{-1.86} = 0,156;$$

$$P(15000) = \exp\left[-\frac{26280}{9434}\right] = e^{-2.78} = 0,062;$$

Приведенные выше расчеты рассчитаны для случая, когда коэффициент несимметрии  $K_{01} = 5,3\%$

Теперь расчеты для случая, когда коэффициент несимметрии  $K_{02} = 1,7\%$

Известно, что коэффициент несимметрии  $K_{01} = 5,3\%$  равен интенсивности неисправностей  $\lambda_1 = 0,000106$ , из которой

$$\frac{K_{01}}{K_{02}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

делаем равную пропорцию. В этом случае

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{K_{02}}{K_{01}} \quad (24)$$

это следует из того.

Здесь  $K_{01}, K_{02}$  — коэффициенты несимметрии для случаев 1 и 2,  $\lambda_1, \lambda_2$  — степени искажения для случаев 1 и 2 соответственно.

По формуле (24) определяем значение  $\lambda_2$  для случая, когда  $K_{02} = 1,7\%$ :

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{K_{02}}{K_{01}} = 0,000106 \frac{1,7}{5,3} = 0,000034$$

Теперь  $\lambda_2 = 0,000034$

$$T_{\text{средний}} = \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{0,000034} = 29412 \text{ час}$$

$$P(5000) = \exp\left[-\frac{8760}{29412}\right] = e^{-0.3} = 0,74;$$

$$P(10000) = \exp\left[-\frac{17520}{29412}\right] = e^{-0.6} = 0,55;$$

$$P(15000) = \exp\left[-\frac{26280}{29412}\right] = e^{-0.9} = 0,41;$$

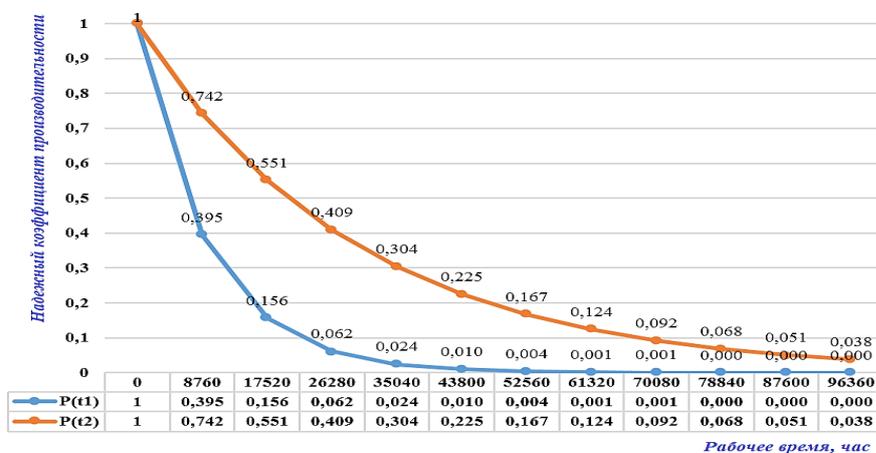


Рис 20. График вероятности безотказной работы силовых трансформаторов

Создана возможность повышения надежности силовых трансформаторов в эксплуатации в 3,1 раза.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований, проведенных в диссертационной работе доктора философских наук (PhD) на тему “Повышение надежности силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ путем симметрирования” представлен следующие выводы:

1. Усовершенствована схема соединения на основе разделения каждой вторичной обмотки трехфазного силового трансформатора на три части и подключения к нейтрали активного сопротивления. В результате появилась возможность симметрировать напряжение на нелинейных электрических нагрузок.

2. Получено математическое выражение и разработан алгоритм с использованием закона электромагнитной индукции, первого интегрального уравнения Максвелла, теоремы Стокса и тригонометрического уравнения В результате появилась возможность определить величину напряжения во вторичных обмотках симметрирующего силового трансформатора.

3. Разработан трехфазный симметрирующий силовой трансформатор на основе изменения схемы соединения и числа обмоток. В результате появилась возможность проведение экспериментальных исследований.

4. Проведены экспериментальные исследования на разработанном трехфазном силовом трансформаторе. В результате установлено, что в силовом трансформаторе со схемой соединения обмоток  $Y/Y_0$  коэффициент несимметрии  $K_{01} = 5,3\%$ , в силовом трехфазном трансформаторе группы  $Y/Y_0 - 0$  с усовершенствованной схемой соединения, коэффициент несимметрии  $K_{02} = 1,7\%$

5. Разработан способ оценки надежности силовых трансформаторов в условиях длительной эксплуатации путем внутренней симметрии. В результате удалось оценить надежность симметрирующего силового трансформатора.

6. Оценена эксплуатационная надежность созданного симметрирующего силового трансформатора. В результате было определено, что обмотки усовершенствованного трехфазного симметрирующего силового трансформатора группы  $Y/Y_0 - 0$  служат в 3,1 раза больше, чем силовой трансформатор со схемой соединения  $Y/Y_0$ .

7. Экономическая эффективность, достигнутая за счет устранения несимметричных ситуаций с применением разработанного симметричного силового трансформатора, по результатам научных исследований, составила 3 302 200 сум в год для 1 силового трансформатора мощностью 100 кВА напряжением 10/0,4 кВ. В результате экономическая эффективность составляет 280 687 000 сумов в год за счет внутренней симметрии 85 силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ мощностью 100 кВА в Фуркатском районе Ферганской области.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING DEGREE OF DOCTOR OF  
SCIENCE DSc.02/30.12.2021.T.143.01  
AT INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS OF ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

---

**FERGANA POLYTECHNIC INSTITUTE  
INSTITUTE OF ENERGY PROBLEMS OF THE ACADEMY OF  
SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

**TUYCHIEV ZAFARJON ZAKIROVICH**

**IMPROVING THE RELIABILITY OF POWER TRANSFORMERS  
VOLTAGE 10/0.4 KV BY INTERNAL SYMMETRY**

**05.05.01 – Energy systems and complexes**

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOROL OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**TASHKENT – 2023**

The topic of dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2022.4.PhD/T 3325.

Dissertation has been prepared at the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific council ([ww.energetika.uz](http://ww.energetika.uz)) and on Information-educational portal «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Scientific supervisor:**

**Yusupov Dilmurod Turdalievich**

Philosophy of doctor in technical sciences, senior researcher.

**Official opponents:**

**Toirov Olimjon Zuvurovich**

Doctor of technical sciences, professor

**Boltaev Otabek Tashmukhammatovich**

Philosophy of doctor in technical sciences, associate professor.

**Leading organization:**

**Navoi State University of Mining and Technology**

The defense of the dissertation will take place on "03" *march* 2023 at *10<sup>00</sup>* hours at a meeting of the Scientific Council DSc.02/12.30.2021.T.143.01 at the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Address: 9-A, M.Ashrafiy str, Tashkent, Uzbekistan 100076, Tel.: (+99871) 283-23-08, fax: (+99871) 237-38-79, e-mail: [energetika\\_in@mail.uz](mailto:energetika_in@mail.uz)).

The dissertation can be found at the Information and Resource Center of the Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Address: 9-A, M.Ashrafiy str, Tashkent, Uzbekistan 100076, Tel.: (+99871) 283-23-08, fax: (+99871) 237-38-79).

Abstract of the dissertation is posted *19 february* 2023.

(Mailing Protocol No *1* dated *17 february* 2023).



*[Handwritten signatures in blue ink]*

**Kh.M. Muratov**

Chairman of scientific council for degrees,  
Doctor of technical sciences, professor

**K.Sh. Kadirov**

Scientific secretary of the scientific  
council on awarding scientific degrees, senior researcher

**O.Kh. Ishnazarov**

Chairman of the scientific seminar,  
Doctor of technical sciences, professor

## **INTRODUCTION (abstract of the dissertation for the degree PhD)**

**The aim of the research** is to improve the reliability of power transformers with a voltage of 10/0.4 kV with a non-linear load due to internal symmetry.

**The tasks of the research are**

improvement of the connection scheme of three-phase balancing power transformer circuits;

obtaining a mathematical expression and developing an algorithm for determining the voltage value in the secondary windings of a three-phase balancing power transformer;

create a prototype of a three-phase symmetrizing power transformer;

conducting experimental studies and analyzing the results obtained;

development of a method for assessing the reliability of power transformers by the method of internal symmetry;

**The object of the research** received power transformers with a voltage of 10/0.4 kV in conditions of long-term operation.

**The scientific novelty of the research consist of following:**

the connection scheme that allows to symmetrize the voltage of non-linear electrical loads based on the separation of each of the secondary windings of the three-phase power transformer into three parts and the application of active resistance to the neutral;

based on the law of electromagnetic induction, Maxwell's first integral equation, Stokes' theorem and trigonometric equation, a mathematical expression allowing to determine the voltage value in the secondary windings of the symmetrizing power transformer was obtained and an algorithm was developed;

a three-phase balancing power transformer has been developed that enables parallel operation with pairs of connection groups based on the connection scheme of the coils and changing the number of windings;

on the basis of probabilities and reliability theories, a method has been developed that allows to estimate the reliability of a three-phase power transformer by internal symmetrization.

**Implementation of research results.**

Based on the obtained scientific results on improving the reliability of power transformers 10 / 0.4 kV due to internal symmetry:

The scheme for connecting the circuits of a three-phase power transformer, which makes it possible to symmetry the voltage of non-linear electrical loads, has been introduced into the district power supply company of the "Furkat" district of the Fergana region (Reference No. 01-03-20 / 1232 dated November 14, 2022 of the Regional JSC Electric Networks). As a result, it was possible to increase the reliability of power transformers in operation by 3.1 times

A methodology has been introduced for assessing the reliability of a three-phase power transformer due to internal symmetry in the district power supply enterprise of the "Furkat" district of the Fergana region. (Reference No. 01-03-20/1232 of November 14, 2022 of the Regional JSC Electric Networks). As a result, economic efficiency of 3,302,200 sums was achieved on 1 power transformer with

a power of 100 kVA at a voltage of 10 / 0.4 kV and 280,687,000 sums on 85 power transformers by eliminating asymmetric conditions in the enterprise.

**The publication of the results of the study.** A total of 12 scientific works on the topic of the dissertation, of which 4 scientific articles, including 1 foreign and 3 local journals, were published in the scientific publications of the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan recommended for publication of the main scientific results of dissertations. Certificates were obtained for 3 computer programs.

**The structure and volume of the research work.**

The content of the dissertation consists of an introduction, four chapters, general conclusions, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 100 pages

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Tuychiyev Z.Z., Yusupov D.T. The method of evaluating the reliability of power transformers through symmetry. Journal of Engineering and Technology (JET). India. 2022 year, Volume 12, Issue 2, pp. 67-76. (05.00.00; № 31)
2. Tuychiyev Z.Z., Yusupov D.T. Determination of asymmetrical position of 10/0,4 kV power transformers in operational condition. Scientific and Technical Journal Namangan Institute of Engineering and Technology. Namangan c., 2022 year, Volume 7, Issue 2, pp. 239-244. (05.00.00; № 33)
3. Тўйчиев З.З. Исследование воздействия трех однофазных трансформаторов на нелинейные нагрузки. Научно-технический журнал ФерПИ, г. Фергана, 2022 г., Том 26, спец. вып. №1, С.183-186 (05.00.00; № 20)
4. Tuychiyev Z.Z., Yusupov D.T. Development of the working algorithm of the three-phase symmetrical power transformer. Scientific-technical journal of FerPI, Fergana c., 2022 year, Volume 26, Special Issue #11, pp. 199-204 (05.00.00; № 20)

**II бўлим (II часть; II part)**

5. Юсупов Д.Т., Тўйчиев З.З. Носимметрияга олиб келувчи омиллар ва уларни бартараф этиш бўйича чора-тадбирлар // “Фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг интеграцияси – ривожланиш ва таракқиёт гарови” мавзусидаги халқаро илмий-амалий конференция. Навоий ш., 2022 йил 9-10 июнь. 192-194-б.
6. Туйчиев З.З., Юсупов Д.Т., Результаты экспериментальных исследований на базе симметрирующего силового трансформатора в режиме холостого хода // “Энергия ва ресурс тежамкор инноватцион технологияларни ривожлантиришнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги республика илмий-амалий анжумани, Қарши ш., 2022 йил 23-24 сентябрь. 256-258-б.
7. Тўйчиев З.З. Паст кучланишли электр тармоқларида трансформаторларнинг симметрияловчи қурилма ёрдамида электр энергияси исрофларини камайтириш // “Электр энергияси таъминоти тизими узлуксизлигини таъминлаш долзарб муаммоларининг самарадор ечимлари” мавзусидаги республика илмий – техника анжумани, Фарғона ш., 2021 йил 3-4 декабрь. 102-104-б.
8. Туйчиев З.З., Юсупов Д.Т. Результаты экспериментальных исследований симметрирующего силового трансформатора // Фёдоровские чтения - 2022: ЛП Всероссийская научнопрактическая конференция с международным участием (с элементами научной школы для молодежи), Россия, г. Москва, 15-18 ноября 2022 г., стр. 294-297.

9. Туйчиев З.З., Юсупов Д.Т. Проведение экспериментов по снижению несимметричных напряжений. Фёдоровские чтения - 2022: ЛII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием (с элементами научной школы для молодежи), Россия, г. Москва, 15-18 ноября 2022 г., стр. 298-302.

10. Туйчиев З.З., Юсупов Д.Т., Исмоилов И.К., Қобилов М.Х. Симметрияловчи куч трансформатори чулғамларининг ўрамлар сонини ҳисоблаш // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги томонидан берилган ЭХМ дастури учун гувоҳнома, № DGU 18094, 11.08.2022 й.

11. Туйчиев З.З., Юсупов Д.Т. Ночизикли электр юкламаларни симметриялаш усули // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги томонидан берилган ЭХМ дастури учун гувоҳнома, № DGU 18598, 30.09.2022 й.

12. Туйчиев З.З., Юсупов Д.Т. Уч фазали симметрияловчи куч трансформаторини иқтисодий самарадорлигини баҳолаш. Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги Интеллектуал мулк агентлиги томонидан берилган ЭХМ дастури учун гувоҳнома № DGU 18689, 09.10.2022 й.

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub> “Times New Roman” гарнитураси.  
Рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табағи: 2,81 Адади 100 дона. Буюртма № 187.  
Гувоҳнома № 150387





