

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ

МУХСИМОВ ШАВКАТ СУННАТ ЎҒЛИ

**ТОРТИШ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ҚУРИЛМАЛАРИНИНГ
БОШҚАРУВ ТИЗИМЛАРИ УЧУН ДИАПАЗОНИ АВТОМАТИК
РОСТЛАНУВЧИ ТОК ТРАНСФОРМАТОРЛАРИ**

**05.01.06 – Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимларининг элементлари ва
қурилмалари**

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

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (Phd)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (Phd)

Мухсимов Шавкат Суннат ўғли

Тортиш электр таъминоти қурилмаларининг бошқарув тизимлари учун
диапазони автоматик ростланувчи ток трансформаторлари..... 3

Мухсимов Шавкат Суннат угли

Трансформаторы тока с автоматическим регулированием диапазона для
систем управления устройствами тягового электроснабжения..... 19

Mukhsimov Shavkat Sunnat o'g'li

Range automatic adjustable current transformers for the control system of
traction power supply devices 35

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 38

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ

МУХСИМОВ ШАВКАТ СУННАТ ЎҒЛИ

**ТОРТИШ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ҚУРИЛМАЛАРИНИНГ
БОШҚАРУВ ТИЗИМЛАРИ УЧУН ДИАПАЗОНИ АВТОМАТИК
РОСТЛАНУВЧИ ТОК ТРАНСФОРМАТОРЛАРИ**

**05.01.06 – Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимларининг элементлари ва
қурилмалари**

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

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.2.PhD/T1111 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат транспорт университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз тилида (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Амиров Султон Файзуллаевич
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Абдуқаюмов Абдурашид Абдуқаюмович
техника фанлари доктори, профессор

Саттаров Хуршид Абдишукурович
техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

**ЎЗР ФА энергетика муаммолари
институту**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашининг 2021 йил «__» _____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. 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 шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2021 йил «__» _____ куни тарқатилди.
(2021 йил «__» _____ даги __ рақамли реестр баённомаси).

Н.Р. Юсупбеков

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
т.ф.д., профессор, академик

У.Ф. Мамиров

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

Х.З. Игамбердиев

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш
қошидаги илмий семинар раиси,
т.ф.д., профессор, академик

Кириш (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда темир йўл транспорти электр таъминоти тизимларида катта тоқларни ўлчаш зарурати темир йўл автоматикаси электр таъминоти қурилмаларини, электр таъминоти тизимларининг истеъмолчилари ва алоҳида қурилмаларини, электротехник жиҳозлар ва аппаратларни синаш, ишлаб чиқарилган ва истеъмол қилинган электр энергиясини ҳисобга олиш жараёнини назорат қилиш ва бошқаришда юзага келмоқда. Бу борада, тортиш электр таъминоти қурилмаларининг бошқарув тизимлари учун диапазонларининг барча қисмларида ток қийматини юқори аниқликда ўлчай оладиган ток трансформаторларини ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда темир йўл электр таъминоти қурилмаларининг бошқариш тизимлари аниқлигини ошириш, уларда кенг қўлланиладиган катта тоқларни ўлчаш ўзгартиргичларини такомиллаштиришга йўналтирилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу илмий тадқиқотларнинг кўп қисмида ток трансформаторларининг ўлчаш диапазонини кенгайтириш масаласига эътибор қаратилган. Бу борада, юқори сезгирлик, аниқлик, ишонччилик, чизиқли ўзгартириш функциясига ва кенгайтирилган функционал имкониятларга эга бўлган диапазони автоматик ростланувчи ток трансформаторларини ишлаб чиқиш ҳамда электр таъминоти узлуксизлигини таъминловчи назорат қилиш ва бошқариш тизимларини такомиллаштириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Республикамизда энергетика тизимлари самарадорлигини оширувчи энергия тежамкор технология ва техник воситаларни такомиллаштириш чора-тадбирларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республика-сини ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...миллий иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини ошириш, ...транспорт-коммуникация ва социал-инфратузилмавий лойиҳаларни ечишга йўналтирилган фаол инвестицион сиёсат, ... ишлаб чиқаришни техник ва технологик янгилаш, ... ишлаб чиқаришга энергия тежовчи технологияларни кенг тадбиқ этиш»¹ вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан функционал имкониятлари кенгайтирилган, диапазони автоматик ростланувчи янги ток трансформаторлари ва уларнинг математик моделларини ишлаб чиқиш, чизиқли ва ночизиқ электр ва магнит занжирларни ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 23 августдаги ПҚ-3238-сон «Замонавий энергия самарадор ва энергия тежайдиган технологияларни янада жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида», 2017 йил 13 ноябрдаги ПҚ-3384-сон «Электр энергияси ва табиий газ назорати ва ҳисобининг автоматлаштирилган тизимини жадал жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарорлари ва Ўзбекистон Республикаси Вазирлар

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони

Маҳкамасининг 2020 йил 10 мартдаги ВМҚ-136-сон «2020-2021 йилларда ички ва ташқи бозорларда харидоргир маҳсулотларни ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштириш 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 технологиялари ривожлантиришининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорли» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Электр таъминоти қурилмаларининг назорат ва бошқарув тизимлари учун кенг диапазонли ток трансформаторларини ишлаб чиқиш бўйича долзарб масалаларни ечишга қаратилган илмий тадқиқотлар жаҳоннинг етакчи илмий марказларида ва олий таълим муассасаларида, жумладан Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica ва University of Campania “Luigi Vanvitelli” (Италия), Worcester Polytechnic Institute, Wright State University, University of Michigan ва University of California (АҚШ), Seoul National University (Жанубий Корея), University Malaysia Perlis (Малайзия), Forschungslaboratorien der Siemens AG (Германия), Universidade Federal de Campina Grande (Бразилия), University of Manitoba (Канада), Электродинамика институти ва Киев автоматика институти (Украина), Миллий тадқиқот университети “МЭИ”, Самара давлат техника университети, Пенза давлат университети, Ульяновск давлат техника университети ва Уфа давлат авиация техника университети (Россия), Тошкент давлат техника университети ва Тошкент давлат транспорт университети (Ўзбекистон)да олиб борилмоқда.

Жаҳон миқёсида олиб борилган илмий тадқиқотлар натижасида кенг диапазонли ток трансформаторларини ривожлантиришга G.Crotti, Alexander E.Emanuel, Y.C.Kang, J.K.Park, N. Kondrath, F.B.Silsbee, P.G.Agnew, A.Papp, U.D.Annakkage, Ю.В.Афанасьев, И.М.Сирота, Б.С.Стогний, Н.И.Бачурин, А.А. Ионов, М.П.Костенко, Л.М.Пиотровский, В.Е.Казанский Г.В.Абрамзон, Г.И.Разин, А.П.Щелкин, Н.Г.Семенов, Ю.А.Гамазов, Ю.А.Андреев, М.А.Шабад, В.Н.Вавин, В.Е.Китаев каби хорижий олимлар ўз ҳиссаларини қўшганлар. Кенг диапазонли ток трансформаторларини такомиллаштиришга таалуқли илмий муаммоларни ечишга мамлакатимизда М.Ф.Зарипов, А.М.Плахтиев, И.Х.Сиддиқов, С.Ф.Амиров, А.М.Сафаров, Б.Х.Хушбоқов, Н.Е.Балгаев каби олимлар ва бошқалар ўз ҳиссаларини қўшганлар. Ушбу олимларнинг саъй-ҳаракатлари билан назорат ва бошқарув тизимларида қўлланилаётган ток трансформаторларининг битта ва бир нечта ўзгартириш диапазониغا эга бўлган модификациялари ишлаб чиқилган ва амалиётга жорий этилган.

Мавжуд ток трансформаторларининг ўлчаш диапазонини ўзгартириш учун у уланган занжирни электр таъминоти манбаидан узиш, демонтаж ва монтаж ишларини амалга ошириш талаб этилади. Ҳозирги кунгача замонавий назорат ва бошқарув тизимлари талабларига жавоб берадиган

диапазони автоматик ростланадиган ток трансформаторларини ишлаб чиқишга қаратилган назарий тадқиқотлар олиб борилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат транспорт университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг 3-сон «Темир йўл транспорти учун электромагнит ўлчаш воситаларини такомиллаштириш» (2013-2020) мавзусидаги илмий лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ток трансформаторларининг функционал имкониятларини улар диапазонини автоматик ростлаш орқали кенгайтиришдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

тортиш электр таъминоти қурилмалари бошқарув тизимлари томонидан уларда қўлланиладиган ўзгарувчан катта тоқларни ўлчаш ўзгартиргичларига қўйиладиган асосий талабларни ифодалаш;

ўзгарувчан катта тоқларни ўлчовчи мавжуд ўзгартиргичларнинг асосий техник тавсифларини қиёсий таҳлил қилиш, турини танлаш ва асослаб бериш;

диапазони автоматик ростланиши ҳисобига функционал имкониятлари кенгайтирилган ток трансформаторларини яратиш;

диапазони автоматик ростланадиган ток трансформаторларининг математик ва компьютер моделларини ишлаб чиқиш;

диапазони автоматик ростланадиган ток трансформаторларининг асосий тавсифларини тадқиқ этиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида тортиш электр таъминоти қурилмаларининг бошқарув тизимлари учун кенг диапазонли ток трансформаторлари олинган.

Тадқиқотнинг предмети диапазони автоматик ростланувчи ток трансформаторларини ишлаб чиқиш ва уларнинг асосий техник тавсифларини тадқиқ этишни ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида йиғиқ ва тарқоқ параметрли занжирларни ҳисоблаш, мунтазам ва тасодифий хатоликларни аниқлаш, параметрик структура схемаси усулларида ва турли физик табиатли занжирлар энергоинформацион моделларида фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

ток трансформаторлари диапазонларини магнит ўзақда ҳосил қилинадиган ўзаро қарама-қарши йўналган магнит юритувчи куч қийматларини автоматик ростлаш ҳисобига кенгайтириш усули ишлаб чиқилган;

диапазонларининг барча қисмларида ток қийматини юқори аниқликда ўлчаш имкониятини бериши ва диапазони автоматик ростланиши билан фарқ қилувчи ток трансформаторларининг паст ва юқори кучланишда ишлашга мўлжалланган конструкциялари ишлаб чиқилган;

ток трансформаторининг ўлчаш диапазонларини автоматик ростлаш имкониятини берувчи ва иш режими магнит ўзақ тўйиниши натижасида иккиламчи чулғамда ҳосил бўладиган кучланишнинг юқори гармоника

ташкил этувчиси қийматини асосий гармоника ташкил этувчиси қийматига нисбатан таққослашга асосланган схема ишлаб чиқилган;

диапазони автоматик ростланувчи ток трансформаторининг статик ва динамик тавсифларини тадқиқ этиш имкониятини берувчи уларнинг ферромагнит ўзак асосий магнитланиш эгри чизиги ночизиклигини, ўзакдаги актив исрофларни ҳамда юклама характерини ҳисобга олиш имконияти мавжудлиги билан фарқ қилувчи математик ва компьютер моделлари ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

олинган илмий натижалар асосида диапазони автоматик ростланувчи ток трансформаторларининг статик ва метрологик тавсифларини тадқиқ этиш учун уларнинг параметрик структура схемалари ишлаб чиқилган;

юқори аниқликка ва кенг ўзгартириш диапазони эга бўлган ҳамда диапазони автоматик ростланувчи ток трансформатори ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги электр ва магнит майдонларининг асосий қонунлари, назариялари ҳамда ҳисоблаш усулларини асосли равишда қўллаш, шунингдек назарий ва экспериментал натижаларнинг ўзаро мос келиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти яратилган ўзгартириш диапазони автоматик ростланувчи ток трансформатори математик моделлари улардаги электр ва магнит занжирлари параметрлари, бирламчи ток шакллари ва ферромагнит материал магнитланиш эгри чизигининг ночизиклигини инобатга олган ҳолда ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти магнит материали магнитланиш асосий эгри чизигининг ночизиклигини инобатга олувчи ночизик занжирларни ҳисоблаш усулини такомиллаштирилгани ва ишлаб чиқилган параметрик структура схемалари ўзгартириш диапазони автоматик ростланувчи ток трансформаторлар техник тавсифларини яхшилагани ва уларни лойиҳалаш вақтини қисқартиришни таъминлаши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Тортиш электр таъминоти қурилмаларининг бошқарув тизимлари учун диапазони автоматик ростланувчи ток трансформаторлари ва уларнинг электромагнит занжирларини такомиллаштирилган ҳисоблаш усули асосида:

диапазонларининг барча қисмларида ток қийматини юқори аниқликда ўлчаш имкониятини бериши ва диапазони автоматик ростланиши билан фарқ қилувчи ток трансформатори «Тошкент» электр таъминоти дистанциясига қарашли «Чуқурсой» тортувчи нимстанциясида жорий этилган («Ўзбекистон темир йўллари» АЖнинг 2021 йил 11 мартдаги 01/909-21-сон маълумотномаси). Натижада, кенг ўзгартириш диапазонида аниқлиги юқори бўлган ишлаб чиқилган ўзгартириш диапазони автоматик ростланувчи ток трансформатори тортиш электр таъминоти тизимидаги катта тоқларни 7% юқори аниқликда ўлчаш имконини берган;

катта тоқларни ўзгартирувчи, диапазони автоматик ростланувчи ток трансформаторлари учун ишлаб чиқилган математик моделлар ва ўзгартириш диапазони автоматик ростланувчи ток трансформатори магнит

материали асосий магнитланиш эгри чизигининг ночизиклигини инобатга олиш усули «Тошкент» электр таъминоти дистанциясининг «Чукурсой» тортиш нимстанциясида жорий этилган («Ўзбекистон темир йўллари» АЖнинг 2021 йил 11 мартдаги 01/909-21-сон маълумотномаси). Натижада, яратилган ўзгартириш диапазони автоматик ростланувчи ток трансформаторлари қўлланилган тортиш электр таъминоти қурилмалари бошқариш тизимининг аниқлигини 2% га ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 4 та халқаро ва 1 та республика илмий-техник анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 16 та илмий иш, шулардан 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси тавсия этган илмий нашрларда 9 та мақола, жумладан, 5 таси хорижий журналларда нашр этилган ҳамда 1 та дастурий маҳсулотга гувоҳнома олинган.

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

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ишнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, масаланинг ҳолати ёритилган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялар ривожланиши устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқотнинг объекти ва предмети ифодаланган, ишнинг ишончлилиги, назарий ва амалий аҳамияти асосланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, диссертация тадқиқоти натижаларининг ишлаб чиқаришга жорий қилиниши кўрсатилган.

“Масаланинг ҳолати ва тадқиқот вазифаларининг қўйилиши” номли биринчи бобда тортиш электр таъминоти қурилмалари бошқарув тизимлари таҳлил қилинди. Натижада, уларда фойдаланиладиган ўзгарувчан катта тоқларни ўлчовчи ўлчаш ўзгартиргичлари кенгайтирилган функционал имкониятларга, ўлчаш диапазони бўйича юқори сезгирликка, аниқликка ва чизикли ўзгартириш функциясига ҳамда экстремал эксплуатация шароитларида стабил характеристикаларга эга бўлиши лозимлиги аниқланди. Ўзгарувчан катта тоқларни ўлчаш ўзгартиргичлари асосий тавсифларининг қиёсий таҳлили шуни кўрсатдики, тортиш электр таъминоти қурилмалари бошқарув тизимлари талабларига маълум даражада кўп чегарали ток трансформатор(ТТ)лари жавоб беради. Аммо уларнинг умумий камчилиги шундан иборатки, ўзгартириш чегарасини ўзгартириш зарурати юзага келганда токи назорат қилинаётган тортиш электр таъминоти қурилмаси электр энергияси манбаидан ажратилиб, яъни ишлаб чиқариш ёки технологик жараён мажбурий тўхтатилиб, демонтаж ва монтаж ишлари бажарилишини талаб этади. Бу эса тортиш электр таъминоти тизимида, шу жумладан

электрлашган темир йўлларда электр ҳаракат таркиблари иш фаолиятида кўзда тутилмаган, мажбурий узилишларни юзага келтиради.

Кейинги илмий изланишлар тортиш электр таъминоти қурилмалари бошқарув тизимлари самадорлигини оширишга хизмат қилувчи диапазони автоматик ростланадиган ток трансформатор(ДАРТТ)ларини яратиш, яшаш ва уларнинг асосий тавсифларини назарий ҳамда экспериментал тадқиқ этиш йўналишида олиб борилиши лозимлиги аниқланди.

Адабиёт манбаларининг таҳлили натижалари ва қўйилган мақсадга мувофиқликдан келиб чиқиб, тадқиқотнинг асосий вазифалари белгиланди.

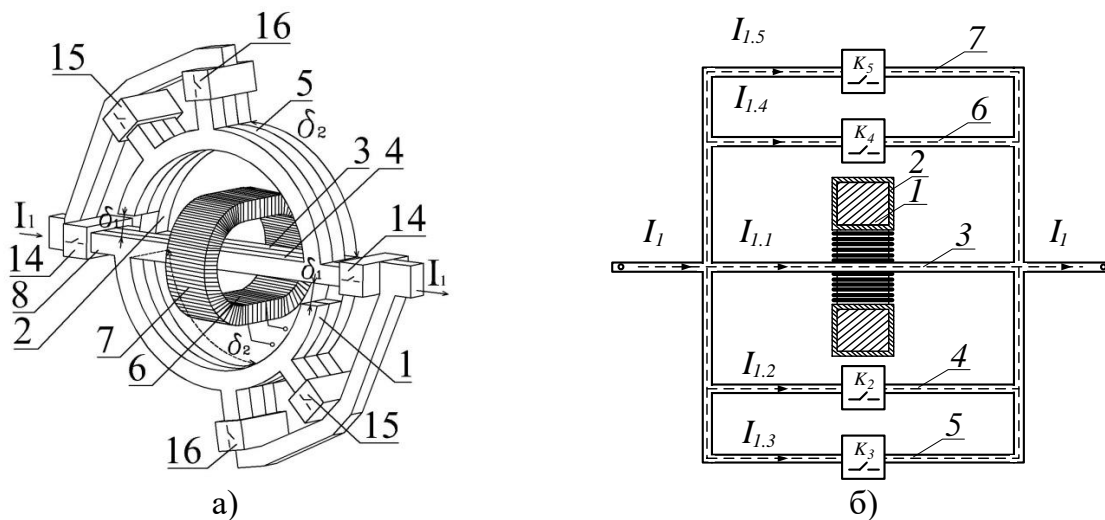
“Диапазони автоматик ростланадиган ток трансформаторлари конструкцияларини такомиллаштириш” номли иккинчи бобда техник ижодиётнинг энергия-ахборот усули ТТларини дастлабки лойиҳалаш имкониятларини кенгайтириши, улар структурасини тузиш ва скелет конструкциясини танлаш жараёнларини автомалаштириш имкониятини бериши кўрсатилди ҳамда ушбу усул асосида ДАРТТларининг конструкциялари таклиф этилди.

ТТларининг асосий элементлари бўйича уларнинг морфологик матрицаси ишлаб чиқилди. Ушбу матрица нафақат қўйилган мақсадга мос келувчи (эксплуатацион тавсифларининг қийматлари талаб даражасида бўлган) ТТлари конструкцияларини танлаш, балки уларнинг конструкцияларига оид маълумотлар базасини шакллантириш имкониятини бериши аниқланди.

ТТлари ўзгартириш диапазонларини кенгайтириш ва ростлашга оид аниқланган умумлашган усуллар таҳлили шуни кўрсатдики, ўзгартириш диапазонини автоматик ростлашда магнит ўтказгич магнит қаршилиги қийматини ўзгартириш, магнит занжирида ўзаро қарама-қарши йўналган магнит юритувчи куч(МЮК) ҳосил қилиш, бирламчи ёки(ва) иккиламчи чулғамлар ёки магнит ўтказгич ўрамлари сонини ўзгартириш ҳамда ТТ бирламчи токи бир қисмини шунтлаш каби умумлашган усуллар ёрдамида амалга оширилиши мақсадга мувофиқлиги аниқланди.

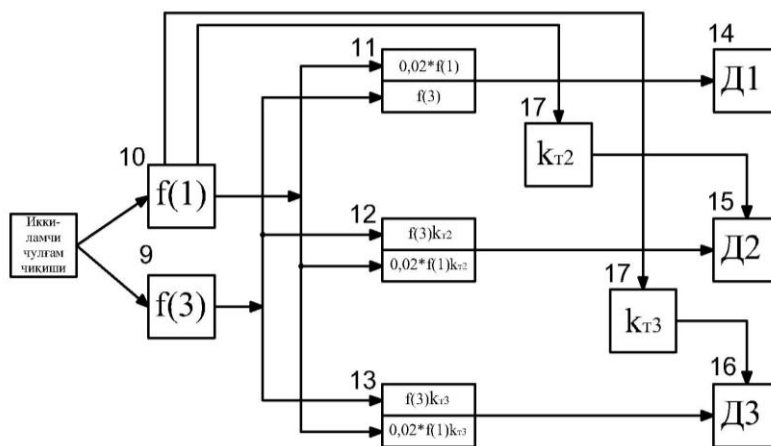
ТТларининг ўзгартириш диапазони иккиламчи ток таркибидаги учинчи гармониканинг улушига кўра автоматик ростланадиган (1- расм, а ва б) ва ферромагнит ўзакдаги ишчи магнит оқимининг қиймати бирламчи токнинг қийматига кўра автоматик ростланадиган конструкциялари ишлаб чиқилди. 1- расм, а даги ДАРТТда ўзгартириш диапазонини кенгайтириш ва уни ростлаш ферромагнит ўзакда бирламчи ток ҳисобидан ўзаро қарама-қарши бўлган МЮК ларни пайдо қилиш ва улар фарқини автоматик ростлаш, 1- расм, б даги ДАРТТда эса ферромагнит ўзак ўраб турган асосий шинадан ўтаётган бирламчи ток қийматини коммутация элементлари орқали унга ёрдамчи шина(шунт)ларни параллел улаш орқали ўзгартириш билан амалга оширилади.

ДАРТТлар диапазонини автоматик ростлаш схемаси 2- расмда келтирилган. ДАРТТнинг битта, масалан бошланғич диапазонда диаметрал



1- расм. ДАРТТ конструкциялари: а): 1, 2 – металл ҳалқасимон элементлар; 3, 4 – ҳалқасимон элементларни диаметрал уловчи металл туташтиргичлар; δ_1, δ_2 – ҳалқасимон элементларнинг қарама-қарши учларида қолдирилган ҳаво оралиқлари; 5 – ҳалқасимон элементларни ўзаро бир-биридан изоляцияловчи диэлектрик материал; 6, 7 - марказий туташтиргичларни ўраб олган ферромагнит берк ўзак ва унда бир текис ўралган иккиламчи чулғам; 8 - бирламчи ток шинаси уланадиган айланаларнинг чети бўйлаб диаметрал жойлашган қисмалар; б): 1 - тороидал ферромагнит ўзак; 2 - иккиламчи чулғам; 3 – асосий бирламчи шина; 4-7 - ёрдамчи шина(шунт)лар; $K_2 \div K_5$ – коммутацияловчи элементлар

туташтиргичларда тоқлар фарқи (1- расм, а даги ДАРТТда) ёки асосий шинадаги бирламчи ток (1- расм, б даги ДАРТТда) ҳисобидан ферромагнит



2- расм. ДАРТТ ўзгартириш диапазонини автоматик ростлаш қурилмасининг блок-схемаси: 9, 10 – ДАРТТ иккиламчи чулғамининг чиқишларига уланган мос равишда асосий(биринчи) ва учинчи гармоника филтрлари; 11, 12, 13, – таққослаш блоклари; 14, 15 ва 16 – коммутацион элементлар; 17 – тузатиш коэффиценти блоки

ўзакда ҳосил бўлган магнит оқими таркибидаги учинчи гармониканинг улуши ўзакда тўйиниш жараёнининг бошланиши билан аввалдан белгиланган қийматидан ортса, у ҳолда автоматик тизим коммутация элементлари ёрдамида ТТ ни кейинги ўзгартириш диапазонига ўтказди,

яъни ўзгартириш диапазони автоматик равишда ростланади. Бу эса, биринчидан, ТТнинг кенг ўзгартириш диапазонида юқори аниқликни сақлаш имконини яратади, иккинчидан, электр таъминоти тизимини узлуксиз ишлашини таъминлайди, учинчидан ТТ ни юқори кучланиш занжиридан демонтаж ҳамда қайта монтаж қилишни олдини олади.

“Диапазони автоматик ростланадиган ток трансформаторларининг математик ва компьютер моделлари” номли учинчи боб ДАРТТнинг математик ва компьютер моделларини ишлаб чиқишга бағишланган.

Таклиф этилган ДАРТТ нинг қуйи диапазонида иккиламчи токнинг қиймати диаметрал туташтиргичлардан бир томонга ўтувчи бирламчи токнинг ташкил этувчилари ҳосил қилган МЮК ($U_{\mu 1}$)га, ўрта ва юқори диапазонларидаги иккиламчи токнинг қийматлари эса диаметрал туташтиргичлардан ўзаро қарама-қарши йўналишда ўтувчи бирламчи токнинг ташкил этувчилари ҳосил қилган МЮКларнинг айирмаси ($\Delta U_{\mu 1}$)га боғлиқ равишда ўзгаришини ҳисобга олиб, ушбу МЮКларнинг ҳалқасимон элементлар қаршиликлари орқали ифодалари қуйидагича ҳосил қилинди:

$$U_{\mu 1} = I_1, \quad (1); \quad \Delta U_{\mu 1} = \frac{R''_{\Sigma}(Q_M) - R'_{\Sigma}(Q_M)}{R''_{\Sigma}(Q_M) + R'_{\Sigma}(Q_M)} I_1 = k_T I_1, \quad (2)$$

бу ерда $k_T = [R''_{\Sigma}(Q_M) - R'_{\Sigma}(Q_M)] / [R''_{\Sigma}(Q_M) + R'_{\Sigma}(Q_M)]$ – тузатиш коэффиценти; $R'_{\Sigma}(Q_M) = R'_{\Sigma 10} + \Delta R'_{\Sigma}(Q_M)$, $R''_{\Sigma}(Q_M) = R''_{\Sigma 10} + \Delta R''_{\Sigma}(Q_M)$, $R'_{\Sigma 10} = R''_{\Sigma 10} = R_d = \rho \frac{l_d}{S_d} - 1$ ва 2 ҳалқасимон элементларнинг мос равишда умумий ва диаметрал туташтиргичларининг электр қаршиликлари, $[\Omega]$; $\Delta R'_{\Sigma}(Q_M) = K_{Q_M R'_{\Sigma 1}} Q_M = \rho \frac{\pi r Q_M}{180^0 S_a}$; ва $\Delta R''_{\Sigma}(Q_M) = K_{Q_M R''_{\Sigma 1}} (Q_{M.max} - Q_M) = K_{Q_M R''_{\Sigma 2}} (180^0 - Q_M) = \rho \frac{\pi r_a (180^0 - Q_M)}{180^0 S_a}$ – механик бурчак силжиш ва ҳалқасимон элементлар айлана қисмлари электр қаршиликлари орасидаги занжирлараро физик-техник эффект (ФТЭ), $[\Omega]$; $K_{Q_M R'_{\Sigma 1}} = K_{Q_M R''_{\Sigma 1}} = \rho \frac{\pi r_a}{180^0 S_a}$ – занжирлараро ФТЭ коэффицентлари, $[\Omega/\text{deg}]$; $0 \leq Q_M < 90^0$, $Q_{M.max} = 180^0$ – механик бурчак силжиш ва унинг максимал қиймати, $[\text{deg}]$; ρ – ҳалқасимон элемент материалининг солиштира электр қаршилиги, $[\Omega \cdot m]$; S_a , r_a , S_d , l_d – ҳалқасимон элемент айлана қисмлари ва диаметрал туташтиргичларининг мос равишда кўндаланг кесим юзаси, радиуси ва узунлиги, $[m^2]$; $[m]$.

Масалан, $Q_{M.ўрта} = 48^0$ ва $Q_{M.юқори} = 69^0$ бўлганда ўрта ва юқори диапазонлар учун қуйидагиларга эга бўламиз:

$$\Delta U_{\mu 1.ўрта} = \frac{0,47 R_a}{R_a + R_d} I_1, \quad (3); \quad \Delta U_{\mu 1.юқори} = \frac{0,234 R_a}{R_a + R_d} I_1. \quad (4)$$

Шундай қилиб, (1)-(4) аналитик ифодалар диапазони автоматик ростланувчи ТТ асосий характеристикаларини тадқиқ этишда зарур бўлган унинг бирламчи занжирининг математик моделларини ифодалайди.

ДАРТТнинг ферромагнит ўзак асосий магнитланиш эгри чизиғи ночизиклигини (ферромагнит ўзак магнит сиғими $C_{\mu \Sigma}$ орқали), ўзакдаги актив исрофни (ферромагнит ўзакда ҳосил бўладиган уярмавий тоқлар

йўлидаги электр ўтказувчанлик $G_3 = R_\mu$ орқали) ва юклама характери (юклама актив қаршилиги $R_{3н}$ ва индуктивлиги $L_{3н}$ орқали) ҳисобга олган ҳолда ҳосил қилинган математик модели қуйидаги кўринишга эга:

$$\dot{I}_{32} = \frac{j\omega w_1 w_2 k_T C_{\mu\Sigma}(I_{31})}{[(R_{32} + R_{3н}) + j\omega(L_{32} + L_{3н})](1 + j\omega R_\mu C_{\mu\Sigma})} \dot{I}_{31}, \quad (5)$$

бу ерда $w_1 = 1$, w_2 – мос равишда бирламчи ва иккиламчи чулғамлар ўрамлари сони, $[-]$; $C_{\mu\Sigma} = C_{\mu min} + \frac{C_{\mu max} - C_{\mu min}}{2}$, $C_{\mu min}$, $C_{\mu max}$ – ферромагнит ўзак магнит сифимининг мос равишда ўртача, минимал ва максимал қийматлари, $[H]$; R_{32} , $L_{32} = w_2^2 C_{\mu\Sigma}$ – иккиламчи чулғамнинг мос равишда актив қаршилиги ва индуктивлиги, $[\Omega]$, $[H]$; ω – ток бурчак частотаси, $[s^{-1}]$; $C_{\mu\Sigma}(I_{31}) = K_{U_\mu K_0} + K_{U_\mu K_1} (0,05 k_T I_{31})^2 + K_{U_\mu K_2} (0,05 k_T I_{31})^4$ – ферромагнит ўзак магнит сифимининг магнитланиш эгри чизиғи нозизиқлиги таъсирида ўзгаришини кўрсатувчи функция, $[H]$; $K_{U_\mu K_0} = a_1 \frac{S_\mu}{l_\mu}$, $[H]$; $K_{U_\mu K_1} = a_3 \frac{S_\mu}{l_\mu^3}$, $[\frac{T \cdot m^2}{A^3}]$; $K_{U_\mu K_2} = a_5 \frac{S_\mu}{l_\mu^5}$, $[\frac{T \cdot m^2}{A^5}]$; a_1 , a_3 , a_5 – аппроксимация коэффициентлари, $[\frac{T \cdot m}{A}]$; $[\frac{T \cdot m^3}{A^3}]$; $[\frac{T \cdot m^5}{A^5}]$.

ДАРТТ учун ишлаб чиқилган компьютер модели ёрдамида ферромагнит ўзак материали тўйинишга борганда, автоматик тизим орқали иккиламчи чулғамда ҳосил бўладиган токнинг асосий ва учинчи гармоника қийматларини таққослаб, ток трансформаторини мос диапазонга автоматик ростлаш мумкин. Бу ўз навбатида, ишлаб чиқилган компьютер модели ДАРТТ автоматик бошқарув тизимининг ишлаш принципи бўйича олдиндан қўйилган назарий ва илмий мулоҳазаларни тасдиқлашини кўрсатди.

Ток трансформатори компьютер модели сифатида фойдаланилган Saturable Transformer блокининг параметрлар созиламасида магнит материалнинг магнитланиш характеристикаси қийматларини киритиш имконияти мавжудлиги ток трансформатори иккиламчи токиннинг аниқ қийматларини олиш имкониятини беради. Бу эса ўз навбатида, ДАРТТ статик ва динамик режимларини аналитик тенгламалар асосида тадқиқ этиш натижалари билан солиштириш имконини беради.

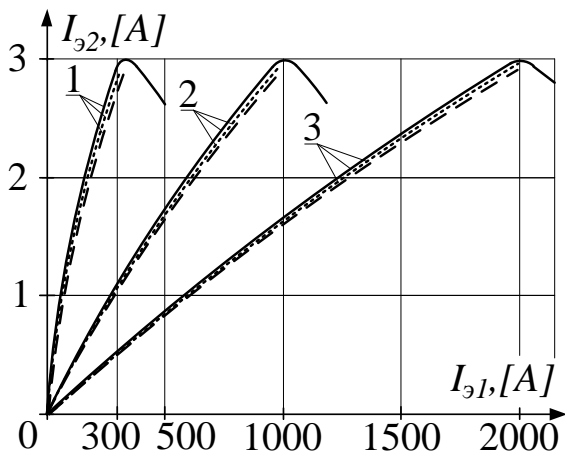
Диссертация ишининг “**Диапазони автоматик ростланадиган ток трансформаторининг асосий тавсифлари**” номли тўртинчи боби ДАРТТнинг статик ва динамик тавсифлари, хатолиги ва ишончилигини тадқиқ этишга бағишланган.

ДАРТТ статик характеристикасининг аналитик ифодаси қуйидаги кўринишда ҳосил қилинди:

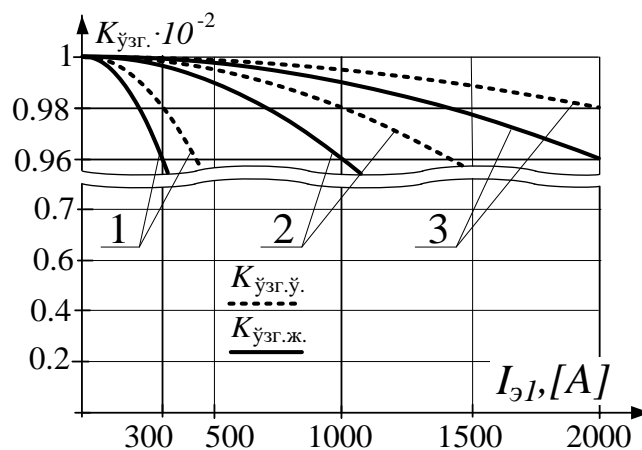
$$\dot{I}_{32} = \frac{\omega w_1 w_2 k_T [K_{U_\mu K_0} + K_{U_\mu K_1} (0,05 k_T I_{31})^2 + K_{U_\mu K_2} (0,05 k_T I_{31})^4] e^{j\varphi}}{\sqrt{[(R_{32} + R_{3н})^2 + \omega^2 (L_{32} + L_{3н})^2] (1 + \omega^2 R_\mu^2 C_{\mu\Sigma}^2)}} \dot{I}_{31}. \quad (6)$$

бу ерда $\varphi = 90^\circ + \psi_{I_1} - \text{Arctg} \frac{\omega(L_{\Sigma 2} + L_{\Sigma H})}{(R_{\Sigma 2} + R_{\Sigma H})} - \text{Arctg}(\omega R_{\mu} C_{\mu \Sigma})$ - иккиламчи ва бирламчи тоқлар орасидаги фаза силжиш бурчаги, [deg]; ψ_{I_1} - бирламчи тоқнинг бошланғич фазаси, [deg].

ДАРТТ статик тавсифининг тенгламаси (6) ва унинг асосида қуйи, ўрта ва юқори ўзгартириш диапазонлари учун қурилган графиклари (3, 4- расм) таҳлили шуни кўрсатадики, ҳар бир ўзгартириш диапазонида бирламчи тоқнинг максимал қийматига иккиламчи тоқнинг бир хил қиймати мос келади.



3- расм. ДАРТТ статик тавсифлари: 1, 2 ва 3 графиклар – мос равишда қуйи, ўрта ва юқори ўзгартириш диапазонлари учун; узлуксиз эгри чизиклар – назарий, узлукли эгри чизиклар – экспериментал ва нуктали чизиклар компьютер модели асосида



4- расм. ДАРТТ жорий ва ўртача ўзгартириш коэффициентларининг бирламчи тоққа боғлиқлик эгри чизиклари: 1, 2 ва 3 – мос равишда қуйи, ўрта ва юқори ўзгартириш диапазонлари учун

Идеал режимда ишлаётган ДАРТТ ўзгартириш коэффициенти тузатиш коэффициенти (k_T) ни ТТ номинал трансформация коэффициенти (k_H) га кўпайтмасига тенг бўлиши аниқланди:

$$K_{\Sigma \text{ ў. ж.}} = K_{\Sigma \text{ ў. ў.}} = \frac{w_1 w_2 k_T C_{\mu \Sigma}}{L_{\Sigma 2}} = k_T \frac{w_1 w_2^2 C_{\mu \Sigma}}{w_2 L_{\Sigma 2}} = k_T \frac{w_1}{w_2} = k_T k_H. \quad (7)$$

Таклиф этилган ДАРТТ динамик хоссаларини ўрганиш мақсадида унинг киришига турли хил қонуният билан ўзгарувчи бирламчи тоқ берилганда иккиламчи тоқ вақт бўйича ўзгаришининг аналитик тенгламалари ҳосил қилинди ва улар ташкил этувчиларининг вақт диаграммалари олинди. Масалан, ДАРТТ бирламчи тоқи энг умумлашган кўринишдаги сўнувчи синусоида бўйича ўзгарганда ўткинчи иккиламчи тоқ қуйидаги аналитик ифода асосида ўзгариши аниқланди:

$$i_2(t) = \frac{(T - T_2) k_T I_{m1} e^{-\frac{t}{T_1}} \omega \sin(\omega t + \psi_{I_1} + \varphi_1)}{\sqrt{(\omega T + T/T_1^2 2\omega)^2 + (1 - T/T_1)^2}} +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{(T - T_2)k_T I_{m1} e^{-\frac{t}{T_1}} (1/T_1) \sin(\omega t + \psi_{I_1} + \varphi_2)}{\sqrt{(\omega T + T/T_1^2 2\omega)^2 + (1 - T/T_1)^2}} - \\
& - \frac{(T - T_2)k_T I_{m1} e^{-\frac{t}{T}} \omega T_1 \sin(\psi_{I_1} + \varphi_3)}{\sqrt{(T_1 - T)^2 + \omega^2 T_1^2 T^2}} - \\
& - \frac{(T - T_2)k_T I_{m1} e^{-\frac{t}{T}} \sin(\psi_{I_1} + \varphi_4)}{\sqrt{(T_1 - T)^2 + \omega^2 T_1^2 T^2}} + i_0(0) e^{-\frac{t}{T}} = \\
& = i_{21}(t) + i_{22}(t) - i_{23}(t) - i_{24}(t) + i_{20}(t), \tag{8}
\end{aligned}$$

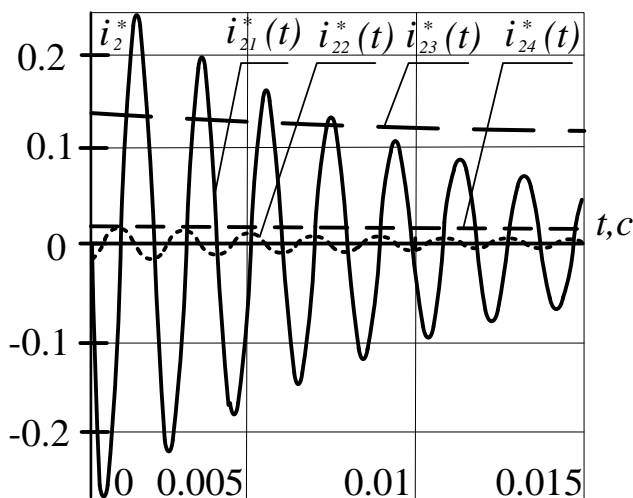
бу ерда $\varphi_1 = \arctg[(1 - T/T_1)/(\omega T + T/T_1^2 2\omega)]$; $\varphi_2 = \arctg[(\omega T + T/T_1^2 2\omega)/[(T/T_1) - 1]]$; $\varphi_3 = \arctg[(T_1 - T)/\omega T_1 T]$; $\varphi_4 = \arctg[\omega T_1 T / (T - T_1)]$; $T_1, T = (L_{\text{э0}} + L_{\text{э2}})/R_{\text{э2}}$, $T_2 = (L_{\text{э2}} + L_{\text{эН}})/(R_{\text{э2}} + R_{\text{эН}})$ – мос равишда бирламчи ток, иккиламчи ток ва магнитланиш чулғамлари орқали вужудга келган контур ҳамда иккиламчи ток занжирининг вақт доимийлари, [С]; $L_{\text{э0}}$ – магнитловчи ток занжирининг индуктивлиги, [Н].

(8) тенглама ва унинг асосида ўткинчи жараён бошланиш momentiда $i_0 = 0$ ($t = 0$ да ДАРТТ ферромагнит ўзагидаги қолдиқ индукция нолга тенг), деб олинган ҳолат учун қурилган вақт диаграммалари (5- расм) таҳлили шуни кўрсатадики, ДАРТТ бирламчи токи энг умумлашган сўнувчи синусоида кўринишида ўзгарганда иккиламчи ток иккита мажбурий аperiодик сўнувчи синусоидал ($i_{21}(t)$, $i_{22}(t)$) ва учта эркин аperiодик ташкил этувчилар ($i_{23}(t)$, $i_{24}(t)$, $i_{20}(t)$) йиғиндисидан иборат бўлиб, улар қийматларининг вақт бўйича ўзгариши бирламчи ва иккиламчи чулғамлар ҳамда иккиламчи ва магнитланиш чулғамлари орқали вужудга келган контурларнинг вақт доимийлари қийматлари билан аниқланади.

ДАРТТ нинг қуйи, ўрта ва юқори диапазонлари учун (8) асосида қурилган иккиламчи ток вақт диаграммаларининг таҳлили шуни кўрсатадики (6- расм), ишлаб чиқилган ДАРТТ да ўзгартириш диапазонининг ортиши билан бирламчи ток аperiодик ташкил этувчиларининг ток трансформатори ишига таъсири камайиб боради. Шунингдек, ТТ юқори чегарасини кенгайтириш мақсадида ўзакда ўзаро қарама-қарши йўналган МЮКнинг вужудга келиши бир вақтнинг ўзида ТТ нинг динамик иш режимида бирламчи токнинг аperiодик ташкил этувчилари таъсирида вужудга келадиган хатоликни камайишига олиб келади.

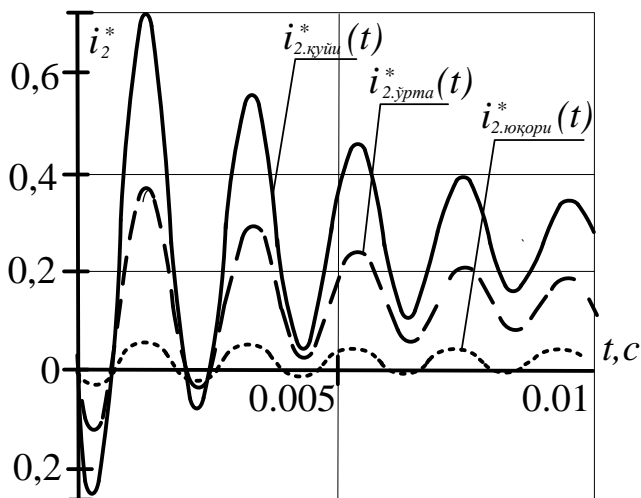
ДАРТТлар хатолик манбаларини параметрик структура схемалари усули ёрдамида аниқлаш ва таҳлил этиш шуни кўрсатдики, ташки ўзгарувчан ва ўзгармас магнит майдонлари, ферромагнит масса таъсири ҳамда ҳароратнинг нормал қийматларидан оғиши тадқиқ этилаётган ДАРТТда аддитив ва мультипликатив хатоликлар мунтазам ва тасодифий ташкил этувчиларининг манбалари ҳисобланади. ДАРТТ ток ва бурчак хатоликларини аниқлаш учун ҳосил қилинган формулалар таҳлили шуни кўрсатадики, агар ТТ чулғамлари ўрамларининг сонлари нисбати билан аниқланувчи трансформация

коэффициенти ($k_{\text{ўрам}}$) унинг номинал трансформация коэффициенти ($k_{\text{н}}$)га тенг бўлса, у ҳолда ТТнинг ток хатолиги доим манфий бўлади.



а)

5- расм. ДАРТТ бирламчи токи сўнувчи синусоида кўринишида ўзгарганда иккиламчи токнинг вақт диаграммалари

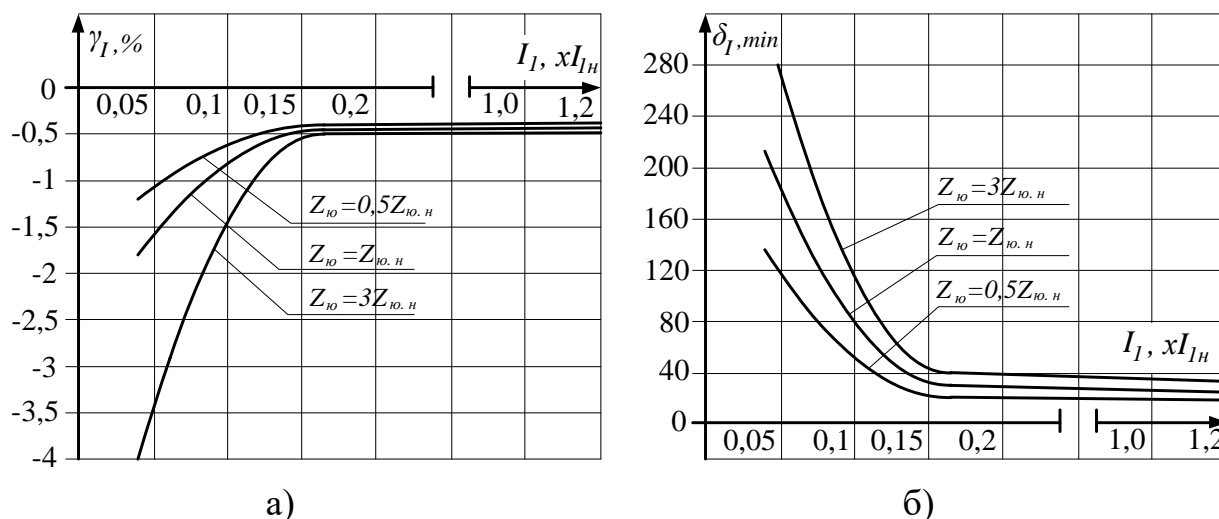


б)

6- расм. ДАРТТ турли диапазонлар учун иккиламчи токнинг вақт диаграммалари: $T_1 = 0,05 \text{ s}$, $T_2 = 0,016 \text{ s}$, $T = 1,0 \text{ s}$, $\psi_{I_1} = 30^\circ$

ДАРТТ юкламасининг турли қийматлари учун қурилган ток ва бурчак хатоликларини бирламчи токка боғлиқлик графиклари таҳлили шуни кўрсатадики (7- расм, а ва б), бирламчи ток $(0,15 \div 1,2)I_{1\text{н}}$ оралиғида (бу ерда $I_{1\text{н}}$ - бирламчи токнинг номинал қиймати), юклама тўла қаршилиги ($z_{\text{ю}}$) эса $0,5z_{\text{ю.н}}$, $z_{\text{ю.н}}$ ва $3z_{\text{ю.н}}$ (бу ерда $z_{\text{ю.н}}$ – юкламанинг номинал қиймати) қийматларда ўзгарганда, ток ва бурчак хатоликларининг қийматлари деярли ўзгармайди (мос равишда $-0,5 \%$ ва $30' \div 40'$ атрофида сақланиб қолади); бирламчи ток $0,05I_{1\text{н}}$ қийматда ва юклама юқорида қайд этилган қийматларда бўлганда, ток хатоликлари мос равишда $-1,2 \%$, $-1,5 \%$, ва $-3,5 \%$ гача, бурчак хатоликлари эса мос равишда $120'$, $180'$ ва $270'$ гача ортади.

Ўтказилган тадқиқотлар ва илмий адабиётлар таҳлилидан келиб чиққан ҳолда ДАРТТ хатоликларини қуйидаги усуллар ёрдамида камайтириш мақсадга мувофиқлиги аниқланди: 1) ферромагнит ўзак асосий магнитланиш эгри чизигининг чизиқли қисмини магнит шунт ёки ўзакда махсус ҳосил қилинган тешиқларга ўралган компенсацияловчи чулғамдан фойдаланиш ҳисобига узайтириш; 2) ўзакни қўшимча магнитлаш; 3) иккиламчи чулғам ўрамлар сонига тузатма киритиш.



7- расм. ДАРТТ юкласининг турли қийматлари учун қурилган ток (а) ва бурчак (б) хатоликларини бирламчи токка боғлиқлик графиклари

Тадқиқот ишида таклиф этилган ДАРТТ ишончилигини баҳолашда ишдан чиқмаслик эҳтимоли $P(t)$, ишдан чиқиш эҳтимоли $Q(t)$, ишдан чиқиш частотаси $a(t)$, ишдан чиқиш интенсивлиги $\lambda(t)$ ва ишдан чиқмаслик ўртача вақти T каби баҳолаш кўрсаткичларидан фойдаланилди. Шу билан бирга, баҳолаш аниқлиги юқори бўлишини таъминлаш мақсадида қурилма барча элементларининг ишдан чиқиш интенсивлиги $\lambda(t)$ бўйича маълумотлар ҳам инобатга олинди.

ДАРТТ учун чулғамлар орасидаги изоляция мустаҳкалиги бўйича ишдан чиқмаслик эҳтимоли ёрдамида қуйидаги ишончилилик кўрсаткичлари аниқланди: ишдан чиқмаслик эҳтимоли $P = 0,95$; ишдан чиқмаслик ўртача вақти $T = 10,2$ йил. ДАРТТ ишончилигини аниқлашда унинг бир қанча параметрларини қамраб олиш орқали ишончилиқнинг янада аниқ қийматларига эришилди.

Тортиш электр таъминоти қурилмаларининг бошқарув тизимлари учун ишлаб чиқилган ДАРТТни амалиётда қўллаш ўлчаш аниқлигини ошириш имконини берди. Қутилаётган иқтисодий самарадорлик 145,051 млн. сўмни ташкил этди.

Диссертация иловаларида турли физик табиатга эга занжирлар энергоинформацион моделларининг асосий мезонлари ва параметрик структура схемалари аппаратининг элементлари, диапазони автоматик ростланувчи ток трансформаторлари характеристикаларини тадқиқ этишда фойдаланилган физик-техник эффектлар ва параметрлар маълумотлари, шунингдек диссертация натижаларини ишлаб чиқаришга жорий этиш акти ва маълумотномаси келтирилган.

ХУЛОСА

1. Тортиш электр таъминоти қурилмалари бошқарув тизимларининг таҳлили шуни кўрсатдики, уларда фойдаланиладиган ўзгарувчан катта токларни ўлчовчи ўлчаш ўзгартиргичлари кенгайтирилган функционал имкониятларга,

юқори сезгирлик, аниқликка ва ўзгартириш диапазони бўйича чизиқли ўзгартириш функциясига ҳамда экстремал шароитларда стабил характеристикаларга эга бўлиши лозимлиги аниқланди.

2. Ўзгарувчан катта тоқлар ўлчаш ўзгартиргичлари асосий тавсифларининг қийсий таҳлили натижасида тортиш электр таъминоти қурилмалари бошқарув тизимлари талабларига маълум даражада кўп чегарали ток трансформаторлари жавоб бериши аниқланди.

3. Ўлчаш диапазони иккиламчи ток таркибидаги учинчи гармониканинг улушига ва ферромагнит ўзакдаги ишчи магнит оқимининг қийматига кўра автоматик ростланадиган ток трансформаторларининг янги конструкциялари ишлаб чиқилди.

4. Диапазони автоматик ростланадиган ток трансформаторларининг ферромагнит ўзак асосий магнитланиш эгри чизиғи ночизиқлигини, ўзакдаги актив исрофларни ва юклама характерини ҳисобга олган ҳолда математик ва компьютер моделлари ишлаб чиқилди.

5. Диапазони автоматик ростланадиган ток трансформаторлари учун ҳосил қилинган статик тавсиф тенграмаси ва унинг асосида қурилган графиклар таҳлили шуни кўрсатдики, ҳар бир ўзгартириш диапазонида бирламчи токнинг максимал қийматига иккиламчи токнинг бир хил қиймати мос келади. Идеал режимда ишлаётган бундай ток трансформаторларининг ўзгартириш коэффициенти бирламчи чулғамидаги тоқлар фарқини белгиловчи тузатиш коэффицентини номинал трансформация коэффицентига кўпайтмасига тенг бўлиши аниқланди.

6. Диапазони автоматик ростланадиган ток трансформаторларининг бирламчи тоқи сўнувчи синусоида кўринишида ўзгарганда иккиламчи ток иккита мажбурий апериодик сўнувчи синусоидал ва учта эркин апериодик ташкил этувчилар йиғиндисидан иборат бўлиб, улар қийматларининг вақт бўйича ўзгариши бирламчи ва иккиламчи чулғамлар ҳамда иккиламчи ток ва магнитланиш чулғамлари орқали вужудга келган контурнинг вақт доимийлари катталиклари билан аниқланади.

7. Диапазони автоматик ростланадиган ток трансформаторларининг бирламчи тоқи $(0,15 \div 1,1)I_{1н}$ оралиғида, юклама тўла қаршилиғи (z_n) эса $0,5z_{ю.н.}$, $z_{ю.н.}$ ва $3z_{ю.н.}$ қийматларда ўзгарганда, ток ва бурчак хатоликларининг қийматлари деярли ўзгармайди. Бирламчи ток $0,05I_{1н}$ қийматда ва юклама юқорида қайд этилган қийматларда бўлганда, ток хатоликлари мос равишда $-1,2\%$, $-1,5\%$, ва $-3,5\%$ гача, бурчак хатоликлари эса мос равишда $120'$, $180'$ ва $270'$ гача ортиши аниқланди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

МУХСИМОВ ШАВКАТ СУННАТ УГЛИ

**ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА С АВТОМАТИЧЕСКИМ
РЕГУЛИРОВАНИЕМ ДИАПАЗОНА ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
УСТРОЙСТВАМИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

**05.01.06 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем
управления**

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

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2019.2.PhD/T1111.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.
Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:	Амиров Султон Файзуллаевич доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Абдуқаюмов Абдурашид Абдуқаюмович доктор технических наук, профессор Саттаров Хуршид Абдишукурович кандидат технических наук, доцент
Ведущая организация:	Институт энергетических проблем АН РУз

Защита диссертации состоится «__» _____ 2021 г. в ____ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете. (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 (зарегистрировано №__). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2021 года.
(реестр протокола рассылки №__ от «__» _____ 2021 года).

Н.Р. Юсупбеков
Председатель Научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик

У.Ф. Мамиров
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии (PhD) по техническим наукам

Х.З. Игамбердиев
Председатель научного семинара
при Научном совете по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик

Введение (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Во всем мире необходимость измерения больших токов в системах электроснабжения железнодорожного транспорта возникает при контроле и управлении устройствами электроснабжения железнодорожной автоматики, потребителей систем электроснабжения и отдельных устройств систем электроснабжения, электротехнического оборудования и аппаратов, процессе учета произведенной и потребленной электроэнергии. В связи с этим большое значение приобретает разработка трансформаторов тока, способных с высокой точностью измерять величину тока во всех частях диапазона, для систем управления устройствами тягового электроснабжения.

Во всем мире ведутся исследования, направленные на создание систем управления устройствами электроснабжения железных дорог, а также широко используемых в них измерительных преобразователей больших токов. Большая часть этих исследований была сосредоточена на расширении диапазона измерения трансформаторов тока. В связи с этим одной из важных задач является разработка трансформаторов тока с автоматическим регулируемым рабочим диапазоном преобразования, с высокой чувствительностью, точностью, надежностью, функцией линейного преобразования и расширенными функциональными возможностями, а также совершенствование систем контроля и управления, обеспечивающих бесперебойное электроснабжение.

В нашей республике особое внимание уделяется мероприятиям по совершенствованию энергосберегающих технологий и технических средств, повышающих эффективность энергосистем. В Стратегии действий по развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы, в том числе намечены задачи «... активной инвестиционной политики, направленной на повышение конкурентоспособности национальной экономики, ... решение проектов транспортно-коммуникационной и социальной инфраструктуры, ... технической и технологической модернизации производства, ... широкого применения энергосберегающих технологий в производстве».¹ Реализация этих задач, включая разработку новых трансформаторов тока с расширенными функциональными возможностями, автоматическим регулированием диапазона и их математических моделей, совершенствование методов расчета линейных и нелинейных электрических и магнитных цепей являются одной из важных задач.

Настоящее диссертационное исследование в определенной степени способствует реализации задач, намеченных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан от 23 августа 2017 года ПП - 3238 «О мерах по дальнейшему внедрению современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий» от 13 ноября 2017 г. № ПП-3384 «О мерах по ускоренному внедрению автоматизированной системы контроля и учета

¹Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № ПФ-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

электрической энергии и природного газа», Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан от 10 марта 2020 г. № ПКМ-136 «О программе локализации производства товаров на внутреннем и внешнем рынках на 2020-2021 годы» и в других нормативных актах, относящихся к данной деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Настоящее исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике II. «Энергетика, энергия и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Научные исследования, направленные на решение актуальных вопросов по разработке трансформаторов тока для систем контроля и управления электроснабжением проводятся в ведущих исследовательских центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica и University of Campania «Luigi Vanvitelli» (Италия), Worcester Polytechnic Institute, Wright State University, University of Michigan и University of California (США), Seoul National University (Южная Корея), University Malaysia Perlis (Малайзия), Forschungslaboratorien der Siemens AG (Германия), Universidade Federal de Campina Grande (Бразилия), University of Manitoba (Канада), Институте электродинамики и Киевском институте автоматики (Украина), Национальном исследовательском университете «МЭИ», Самарском государственном техническом университете, Пензенском государственном университете, Ульяновском государственном техническом университете и Уфимском государственном авиационном техническом университете (Россия), Ташкентском государственном техническом университете и Ташкентском государственном транспортном университете (Узбекистан).

В результате научных исследований, проводимых во всем мире, в развитие трансформаторов тока внесли свой вклад такие зарубежные ученые, как G.Crotti, Alexander E.Emanuel, Y.C.Kang, J.K.Park, N. Kondrath, F.V.Silsbee, P.G.Agnew, A.Papp, U.D.Annakkage, Ю.В.Афанасьев, И.М.Сирота, Б.С.Стогний, Н.И.Бачурин, А.А.Ионов, М.П.Костенко, Л.М.Пиотровский, В.Е.Казанский Г.В.Абрамзон, Г.И.Разин, А.П.Щелкин, Н.Г.Семенко, Ю.А.Гамазов, Ю.А.Андреев, М.А.Шабад, В.Н.Вавин, В.Е.Китаев. В нашей стране такие ученые, как М.Ф. Зарипов, А.М. Плахтиев, И.Х. Сиддиков, С.Ф. Амиров, А.М. Сафаров, Б.Х. Хушбоков, Н.Е. Балгаев и другие внесли свой вклад в решение научных проблем, касательно совершенствования трансформаторов тока. Усилиями этих ученых были разработаны и внедрены в практику модификации трансформаторов тока, используемых в системах контроля и управления с одним или несколькими диапазонами преобразования.

Для изменения диапазона измерения существующих трансформаторов тока необходимо отключить подключенную цепь от источника питания, произвести демонтажные и монтажные работы. До сегодняшнего дня не проводились теоретические исследования, направленные на разработку

трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона, отвечающих требованиям современных систем контроля и управления.

Связь диссертационного исследования с научно-исследовательскими планами высшего образовательного учреждения, в котором была выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского государственного транспортного университета в рамках научного проекта на тему №3 «Совершенствование электромагнитных средств измерения для железнодорожного транспорта» (2018-2020).

Целью исследования является расширение функциональных возможностей трансформаторов тока за счет обеспечения автоматического регулирования их диапазона преобразования.

Задачи исследования:

изучение основных требований, предъявляемых системами управления устройствами тягового электроснабжения к измерительным преобразователям больших переменных токов;

проведение сравнительного анализа основных технических характеристик существующих измерительных преобразователей больших переменных токов, выбор и обоснование их типа;

разработка трансформаторов тока с расширенными функциональными возможностями за счет обеспечения автоматического регулирования их диапазона преобразования;

разработка математических и компьютерных моделей трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона преобразования;

исследование основных характеристик трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона преобразования.

Объектом исследования являются широкодиапазонные трансформаторы тока для систем управления устройствами тягового электроснабжения.

Предметом исследований является разработка трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона преобразования и исследование их основных технических характеристик.

Методы исследования. В процессе исследования использованы методы расчета электрических и магнитных цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами, методы определения систематических и случайных погрешностей, энергоинформационные модели цепей различной физической природы и метод параметрических структурных схем.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан метод расширения диапазонов трансформаторов тока за счет автоматической регулировки значений создаваемых в магнитопроводе противоположно направленных магнитодвижущих сил;

разработаны конструкции трансформаторов тока, предназначенные для работы при низких и высоких напряжениях, отличающиеся автоматическим регулированием диапазона преобразования и возможностью измерения значения тока с высокой точностью на всех участках диапазона;

разработана схема, основанная на сравнении значения высшей гармонической составляющей напряжения со значением основной гармонической составляющей, создаваемого во вторичной обмотке в результате насыщения магнитопровода, позволяющая автоматически регулировать диапазон измерения трансформатора тока;

разработаны математические и компьютерные модели, позволяющие исследовать статические и динамические характеристики трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона преобразования, отличающиеся возможностью учета нелинейности основной кривой намагничивания ферромагнитного сердечника, активных потерь в сердечнике и характера нагрузки.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основании полученных научных результатов разработаны параметрические структурные схемы для исследования статических и метрологических характеристик трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона преобразования;

разработаны трансформаторы тока с высокой точностью и широким диапазоном преобразования, а также с автоматическим регулированием их диапазона.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследований объясняется обоснованным применением основных законов, теорий и методов расчета электрических и магнитных полей, а также совместимостью теоретических и экспериментальных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования характеризуется тем, что математические модели трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона преобразования, разработаны с учетом параметров электрических и магнитных цепей, форм первичного тока и нелинейности кривой намагничивания ферромагнитного материала.

Практическая значимость результатов исследований объясняется усовершенствованной методикой расчета нелинейных цепей, учитывающей нелинейность основной кривой намагничивания магнитного материала, а разработанные параметрические структурные схемы позволяют улучшить технические характеристики трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона преобразования и сокращает время их проектирования.

Внедрение результатов исследования. На основе разработанных трансформаторов тока с автоматическим регулированием рабочего диапазона преобразования для систем контроля и управления устройствами тягового электроснабжения и усовершенствованной методики расчета их электромагнитных цепей:

трансформатор тока, отличающиеся автоматическим регулированием диапазона преобразования и возможностью измерения значения тока с высокой точностью по всему диапазону преобразования, внедрен на тяговой подстанции «Чукурсой» дистанции электроснабжения «Ташкент» (справка № 01/909-21 от 11 марта 2021 года АО «Узбекистон темир йуллари»). В результате разработанный трансформатор тока с автоматическим

регулированием рабочего диапазона преобразования позволил измерять большие токи в системе тягового электроснабжения с точностью на 7% выше; разработанные математические модели трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона преобразования и метод учета нелинейности основной кривой намагничивания магнитного материала трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона преобразования внедрены на тяговой подстанции «Чукурсой» дистанции электроснабжения «Ташкент» АО «Узбекистон темир йуллари» (справка № 01/909-21 от 11 марта 2021 года АО «Узбекистон темир йуллари»). В результате применения разработанного трансформатора тока с автоматическим регулированием рабочего диапазона преобразования позволило повысить точность системы управления устройствами тягового электроснабжения на 2%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на 4 международных и 1 республиканской научно-технических конференциях.

Публикация результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликованы 16 научных работ, в том числе 1 монография, 9 статей в научных изданиях, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан, в том числе 5 в зарубежных журналах и получено одно свидетельство на программный продукт.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертационной работы составляет 118 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность работы, освещено состояние вопроса, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, сформулированы цели и задачи исследования, характеризуются объект и предмет исследования, обоснованы надежность, теоретическая и практическая значимость работы, изложены научная новизна и практические результаты исследования, показано внедрение результатов диссертационного исследования в производство.

В первой главе – **«Состояние проблемы и постановка задач исследования»** анализируются системы управления устройствами тягового электроснабжения. В результате было выявлено, что измерительные преобразователи, используемые для измерения больших переменных токов, должны обладать расширенными функциональными возможностями, высокой чувствительностью, точностью по диапазонам измерения и линейной функцией преобразования, а также стабильными характеристиками в экстремальных условиях эксплуатации. Как показал сравнительный анализ основных характеристик измерительных преобразователей больших переменных токов, многопредельные трансформаторы тока в определенной степени отвечают требованиям систем управления устройствами тягового электроснабжения. Однако их общий недостаток заключается в том, что при

возникновении необходимости изменения диапазона преобразования, контролируемое устройство тягового электроснабжения отключается от источника питания, т.е. требуются выполнить демонтажные и монтажные работы, вынужденно останавливая производственный или технологический процесс. А это приводит к непредвиденным вынужденным перебоям в системе тягового электроснабжения, в том числе на функционирование электроподвижного состава электрифицированных железных дорог.

Дальнейшие научные исследования должны проводиться в направлении создания и изготовления трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона (ТТАРД), которые служат для повышения эффективности систем управления устройствами тягового электроснабжения.

Исходя из результатов анализа литературных источников и намеченной целесообразности, определены основные задачи исследования.

Во второй главе – **«Совершенствование конструкций трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона»** показано, что энергоинформационный метод технического творчества расширяет возможности раннего проектирования трансформаторов тока (ТТ), что позволяет автоматизировать процесс конструирования и выбора скелетных конструкций, а также на основе этого метода были предложены различные конструкции ТТАРД.

Разработана морфологическая матрица по основным элементам ТТ. Выяснилось, что данная матрица позволяет не только выбрать конструкцию ТТ, соответствующего поставленным целям (значения эксплуатационных характеристик, которые находятся на требуемом уровне), но и сформировать базу данных их конструкции.

Как показал проведенный анализ, расширение и регулирование рабочих диапазонов преобразования ТТ было признано целесообразным для осуществления автоматического регулирования диапазона преобразования с помощью таких обобщенных методов, как изменение значения магнитного сопротивления магнитопровода, создание противоположно направленных магнитодвижущих сил (МДС) в магнитной цепи, изменение количества первичных и вторичных обмоток или обмоток магнитопроводов и шунтирование части первичного тока ТТ.

Разработаны конструкции ТТ, в которых диапазон преобразования автоматически регулируется (рис. 1, а и б) в соответствии с долей третьей гармоники в составе вторичного тока, а величина рабочего магнитного потока в ферромагнитном сердечнике автоматически регулируется в соответствии с величиной первичного тока. Расширение и регулирование диапазона преобразования в ТТАРД, приведенного на рис. 1, а, достигается путем создания противоположных МДС в ферромагнитном сердечнике за счет первичного тока и автоматического регулирования их разности, а в ТТАРД, приведенного на рис. 1, б, реализуется путем параллельного подключения через коммутационные элементы вспомогательных шин (шунтов) к основной шине первичного тока, окруженного ферромагнитным сердечником.

Блок-схема устройства автоматического регулирования диапазона

преобразования ТТАРД представлена на рис.2. Если разница токов в диаметральных перемычках в одном, например, начальном диапазоне ТТАРД

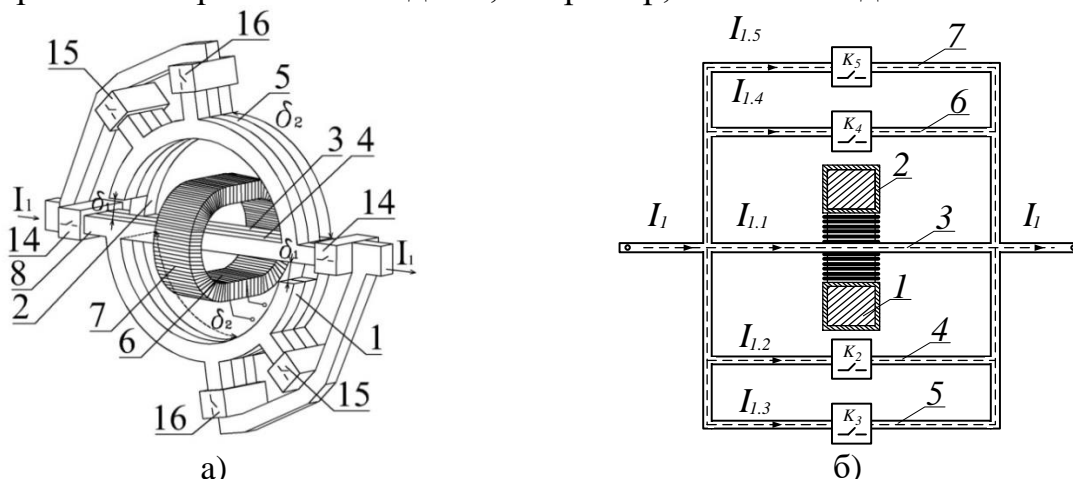


Рис. 1. Конструкции ТТАРД: а): 1, 2 - металлические кольцевые элементы; 3, 4 - металлические перемычки для диаметрального соединения кольцевых проводниковых элементов; δ_1, δ_2 - воздушные зазоры, оставленные на противоположных концах кольцевых элементов; 5 - диэлектрический материал, изолирующий кольцевые элементы друг от друга; 6, 7 - ферромагнитный замкнутый сердечник с равномерно распределенной вторичной обмоткой, охватывающий центральные перемычки; 8 - зажимы, расположенные диаметрально по краю окружностей, к которым подключена шина первичного тока; б): 1 - тороидальный ферромагнитный сердечник; 2 - вторичная обмотка; 3 - основная первичная шина; 4-7 - вспомогательные шины (шунты); $K_2 \div K_5$ - коммутационные элементы.

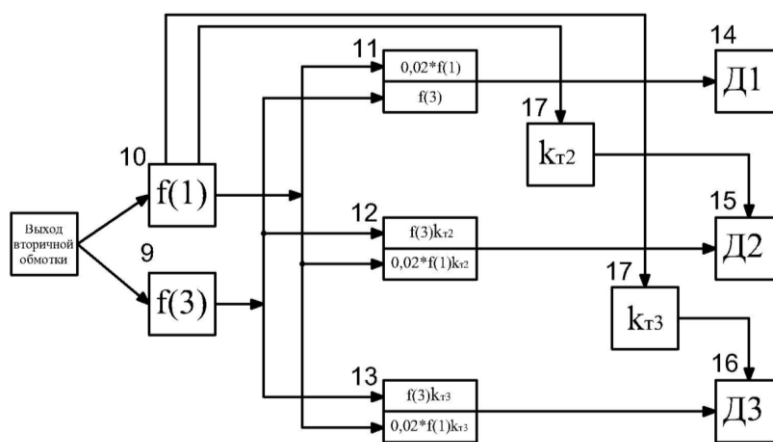


Рис. 2. Блок-схема устройства автоматического регулирования диапазона преобразования ТТАРД: 9, 10 - соответственно фильтры основной (первой) и третьей гармоник, подключенные к выходам вторичной обмотки ТТАРД; 11, 12, 13, - блоки сравнения; 14, 15 и 16 - коммутационные элементы; 17 - блок коэффициента коррекции.

(на рис. 1, а) или доля третьей гармоники в магнитном потоке, генерируемом в ферромагнитном сердечнике за счет первичного тока в главной шине (в ТТАРД на рис.1, б) превышает заданное значение с началом процесса насыщения в сердечнике, то в этом случае автоматическое преобразование системы с помощью элементов коммутации переведет ТТ в следующий

диапазон преобразования, т.е., диапазон преобразования регулируется автоматически. Это позволяет, во-первых, поддерживать высокую точность в широком диапазоне преобразования ТТ, во-вторых, обеспечивать бесперебойную работу системы электропитания, в-третьих, предотвращать демонтаж и повторный монтаж ТТ из высоковольтной цепи.

Третья глава – «Математические и компьютерные модели трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона» посвящена разработке математических и компьютерных моделей ТТАРД.

С учетом того, что в нижнем диапазоне предлагаемого ТТАРД значение вторичного тока изменяется в зависимости от МДС ($U_{\mu 1}$), создаваемых составляющими первичного тока, протекающего через диаметрально противоположные перемычки в одну сторону, а значения вторичного тока в среднем и верхнем диапазоне изменяются в зависимости от разности ($\Delta U_{\mu 1}$) МДС, создаваемой составляющими первичного тока, протекающего в противоположных направлениях через диаметрально противоположные перемычки, и выражения этих МДС через сопротивления кольцевых элементов сформируется следующим образом:

$$U_{\mu 1} = I_1, \quad (1); \quad \Delta U_{\mu 1} = \frac{R''_{\Sigma}(Q_M) - R'_{\Sigma}(Q_M)}{R''_{\Sigma}(Q_M) + R'_{\Sigma}(Q_M)} I_1 = k_T I_1, \quad (2)$$

где $k_T = [R''_{\Sigma}(Q_M) - R'_{\Sigma}(Q_M)] / [R''_{\Sigma}(Q_M) + R'_{\Sigma}(Q_M)]$ - поправочный коэффициент; $R'_{\Sigma}(Q_M) = R'_{\Sigma 10} + \Delta R'_{\Sigma}(Q_M)$, $R''_{\Sigma}(Q_M) = R''_{\Sigma 10} + \Delta R''_{\Sigma}(Q_M)$, $R'_{\Sigma 10} = R''_{\Sigma 10} = R_d = \rho \frac{l_d}{S_d}$ - соответственно общие электрические сопротивления 1- и 2- кольцевых элементов и их диаметральных перемычек, $[\Omega]$; $\Delta R'_{\Sigma}(Q_M) = K_{Q_M R'_{\Sigma 1}} Q_M = \rho \frac{\pi r Q_M}{180^\circ S_a}$; и $\Delta R''_{\Sigma}(Q_M) = K_{Q_M R''_{\Sigma 1}} (Q_{M.max} - Q_M) = K_{Q_M R_{\Sigma 2}} (180^\circ - Q_M) = \rho \frac{\pi r_a (180^\circ - Q_M)}{180^\circ S_a}$ - межцепной физико-технический эффект (ФТЭ) между механическим угловым перемещением и электрическим сопротивлением круговых частей кольцевых элементов, $[\Omega]$; $K_{Q_M R'_{\Sigma 1}} = K_{Q_M R''_{\Sigma 1}} = \rho \frac{\pi r_a}{180^\circ S_a}$ - коэффициенты межцепных ФТЭ, $[\Omega/\text{deg}]$; $0 \leq Q_M < 90^\circ$, $Q_{M.max} = 180^\circ$ - механическое угловое перемещение и ее максимальное значение, $[\text{deg}]$; ρ - удельное электрическое сопротивление материала кольцевого элемента, $[\Omega \cdot m]$; S_a , r_a , S_d , l_d - соответственно, площадь поперечного сечения, радиус и длина круговых частей кольцевого элемента и диаметральных перемычек $[m^2]$; $[m]$.

Например, когда $Q_{M.ср} = 48^\circ$ и $Q_{M.выс} = 69^\circ$ для среднего и высокого диапазонов мы имеем:

$$\Delta U_{\mu 1.ср} = \frac{0,47 R_d}{R_a + R_d} I_1, \quad (3); \quad \Delta U_{\mu 1.выс} = \frac{0,234 R_a}{R_a + R_d} I_1. \quad (4)$$

Таким образом, аналитические выражения (1)-(4) представляют собой математические модели первичной цепи ТТАРД, которые необходимы при исследовании его основных характеристик.

Математическая модель ТТАРД, полученная с учетом нелинейности основной кривой намагничивания ферромагнитного сердечника (через магнитную емкость ферромагнитного сердечника $C_{\mu\Sigma}$), активных потерь на сердечнике (через электрическую проводимость $G_3 = R_\mu$ на пути вихревых токов, создаваемых в ферромагнитном сердечнике) и характера нагрузки (через активное сопротивление $R_{\text{ЭН}}$ и индуктивность $L_{\text{ЭН}}$ нагрузки), имеет следующий вид:

$$\dot{I}_{\text{Э}2} = \frac{j\omega w_1 w_2 k_T C_{\mu\Sigma}(I_{\text{Э}1})}{[(R_{\text{Э}2} + R_{\text{ЭН}}) + j\omega(L_{\text{Э}2} + L_{\text{ЭН}})](1 + j\omega R_\mu C_{\mu\Sigma\text{ср}})} \dot{I}_{\text{Э}1}, \quad (5)$$

где $w_1 = 1$, w_2 – количество витков первичной и вторичной обмоток соответственно, [–]; $C_{\mu\Sigma\text{ср}} = C_{\mu\text{min}} + \frac{C_{\mu\text{max}} - C_{\mu\text{min}}}{2}$, $C_{\mu\text{min}}$, $C_{\mu\text{max}}$ – соответственно среднее, минимальное и максимальное значения магнитной емкости ферромагнитного сердечника, [Н]; $R_{\text{Э}2}$, $L_{\text{Э}2} = w_2^2 C_{\mu\Sigma\text{ср}}$ – активное сопротивление и индуктивность вторичной обмотки соответственно, [Ω], [Н]; ω – угловая частота тока, [s^{-1}]; $C_{\mu\Sigma}(I_{\text{Э}1}) = K_{U_\mu K_0} + K_{U_\mu K_1}(0,05k_T I_{\text{Э}1})^2 + K_{U_\mu K_2}(0,05k_T I_{\text{Э}1})^4$ – функция, которая показывает изменение магнитной емкости ферромагнитного сердечника под влиянием нелинейности кривой намагничивания, [Н]; $K_{U_\mu K_0} = a_1 \frac{S_\mu}{l_\mu}$, [Н]; $K_{U_\mu K_1} = a_3 \frac{S_\mu}{l_\mu^3}$, [$\frac{T \cdot m^2}{A^3}$]; $K_{U_\mu K_2} = a_5 \frac{S_\mu}{l_\mu^5}$, [$\frac{T \cdot m^2}{A^5}$]; a_1 , a_3 , a_5 – коэффициенты аппроксимации, [$\frac{T \cdot m}{A}$]; [$\frac{T \cdot m^3}{A^3}$]; [$\frac{T \cdot m^5}{A^5}$].

С помощью компьютерной модели, разработанную для ТТАРД, при достижении насыщения материала ферромагнитного сердечника, ТТ может автоматически настраиваться на соответствующий диапазон через автоматическую систему путем сравнения значений первой и третьей гармоник тока, создаваемых во вторичной обмотке. Это, в свою очередь, показывает, что разработанная компьютерная модель подтверждает предварительные теоретические и научные соображения относительно принципа действия системы автоматического управления ТТАРД.

Наличие возможности ввода значений характеристик намагничивания магнитного материала в настройках параметров блока Saturable Transformer, используемого в качестве компьютерной модели ТТ, позволяет получить точные значения вторичного тока ТТ. Это, в свою очередь, позволяет сравнивать статический и динамический режимы ТТАРД с результатами исследования, основанных на аналитических уравнениях.

Четвертая глава диссертации – **«Основные характеристики трансформатора тока с автоматическим регулированием диапазона»**, посвящена исследованию статических и динамических характеристик, погрешности и надежности ТТАРД.

Аналитическое выражение статической характеристики ТТАРД получено в следующем виде:

$$I_{\text{э2}} = \frac{\omega w_1 w_2 k_T [K_{U\mu K_0} + K_{U\mu K_1} (0,05 k_T I_{\text{э1}})^2 + K_{U\mu K_2} (0,05 k_T I_{\text{э1}})^4] e^{j\varphi}}{\sqrt{[(R_{\text{э2}} + R_{\text{эН}})^2 + \omega^2 (L_{\text{э2}} + L_{\text{эН}})^2] (1 + \omega^2 R_{\mu}^2 C_{\mu\Sigma}^2 \ddot{y}_p)}} I_{\text{э1}}. \quad (6)$$

где $\varphi = 90^\circ + \psi_{I_1} - \text{Arctg} \frac{\omega(L_{\text{э2}} + L_{\text{эН}})}{(R_{\text{э2}} + R_{\text{эН}})} - \text{Arctg}(\omega R_{\mu} C_{\mu\Sigma})$ - угол сдвига фаз между вторичным и первичным токами, [deg]; ψ_{I_1} - начальная фаза первичного тока, [deg].

Анализ уравнения (6) статической характеристики ТТАРД и построенных на ее основе графиков для нижнего, среднего и верхнего диапазонов преобразования (рис. 3) показывает, что максимальное значение первичного тока в каждом диапазоне преобразования соответствует одному и тому же значению вторичного тока.

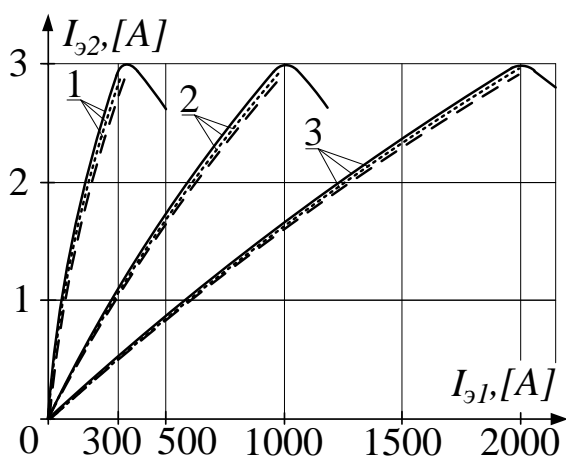


Рис. 3. Статические характеристики ТТАРД: графики 1, 2 и 3 - для низкого, среднего и высокого диапазонов преобразования соответственно; сплошные кривые являются теоретическими, прерывистые кривые - экспериментальными, а точечные кривые - на основе компьютерной модели

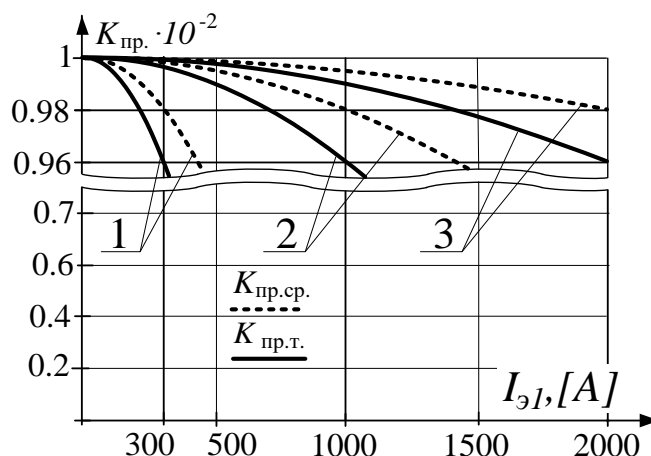


Рис. 4. Кривые зависимости текущего и среднего коэффициентов преобразования ТТАРД от первичного тока: 1, 2 и 3 - соответственно для нижнего, среднего и верхнего диапазона преобразования

Выявлено, что коэффициент преобразования ТТАРД, работающий в идеальном режиме, равен произведению коэффициента поправки (k_T) и номинального коэффициента преобразования (k_H) ТТ:

$$K_{\text{ўзг.ж.}} = K_{\text{ўзг.ўр.}} = \frac{w_1 w_2 k_T C_{\mu\Sigma}}{L_{\text{э2}}} = k_T \frac{w_1 w_2^2 C_{\mu\Sigma}}{w_2 L_{\text{э2}}} = k_T \frac{w_1}{w_2} = k_T k_H. \quad (7)$$

Для изучения динамических свойств предлагаемого ТТАРД были получены аналитические уравнения изменения вторичного тока во времени и построены временные диаграммы их составляющих при подаче на его вход первичного тока с различными закономерностями изменения. Например, показано, что когда первичный ток ТТАРД изменяется по наиболее обобщенной затухающей синусоидой, переходный вторичный ток изменяется на основе следующего аналитического выражения:

$$\begin{aligned}
i_2(t) = & \frac{(T - T_2)k_T I_{m1} e^{-\frac{t}{T_1}} \omega \sin(\omega t + \psi_{I_1} + \varphi_1)}{\sqrt{(\omega T + T/T_1^2 2\omega)^2 + (1 - T/T_1)^2}} + \\
& + \frac{(T - T_2)k_T I_{m1} e^{-\frac{t}{T_1}} (1/T_1) \sin(\omega t + \psi_{I_1} + \varphi_2)}{\sqrt{(\omega T + T/T_1^2 2\omega)^2 + (1 - T/T_1)^2}} - \\
& - \frac{(T - T_2)k_T I_{m1} e^{-\frac{t}{T}} \omega T_1 \sin(\psi_{I_1} + \varphi_3)}{\sqrt{(T_1 - T)^2 + \omega^2 T_1^2 T^2}} - \\
& - \frac{(T - T_2)k_T I_{m1} e^{-\frac{t}{T}} \sin(\psi_{I_1} + \varphi_4)}{\sqrt{(T_1 - T)^2 + \omega^2 T_1^2 T^2}} + i_0(0) e^{-\frac{t}{T}} = \\
& = i_{21}(t) + i_{22}(t) - i_{23}(t) - i_{24}(t) + i_{20}(t), \tag{8}
\end{aligned}$$

где $\varphi_1 = \arctg[(1 - T/T_1)/(\omega T + T/T_1^2 2\omega)]$; $\varphi_2 = \arctg[(\omega T + T/T_1^2 2\omega)/[(T/T_1) - 1]]$; $\varphi_3 = \arctg[(T_1 - T)/\omega T_1 T]$; $\varphi_4 = \arctg[\omega T_1 T / (T - T_1)]$; $T_1, T = (L_{\varepsilon 0} + L_{\varepsilon 2})/R_{\varepsilon 2}$, $T_2 = (L_{\varepsilon 2} + L_{\varepsilon H})/(R_{\varepsilon 2} + R_{\varepsilon H})$ – постоянные времени контуров, образованные обмотками первичного и вторичного токами, током намагничивания и цепью вторичного тока соответственно, [с]; $L_{\varepsilon 0}$ – индуктивность цепи тока намагничивания, [H].

Анализ уравнения (8) и временных диаграмм (рис.5), построенных при значении $i_0 = 0$ (при $t = 0$, остаточная индукция в ферромагнитном сердечнике ТТАРД равна нулю) в начале переходного процесса показал, что при изменении первичного тока в виде наиболее обобщенной затухающей синусоиды, вторичный ток состоит из двух вынужденных аperiodических затухающихся синусоидальных ($i_{21}(t)$, $i_{22}(t)$) и трех свободных аperiodических ($i_{23}(t)$, $i_{24}(t)$, $i_{20}(t)$) составляющих, изменение значения которых во времени определяется значениями постоянных времени контуров, образованных первичной и вторичной обмотками, а также вторичной обмоткой и обмоткой намагничивания.

Как показал анализ временных диаграмм вторичного тока, построенных на основе (8) для нижнего, среднего и верхнего диапазонов ТТАРД (рис. 6), что в разработанном ТТАРД влияние аperiodических составляющих первичного тока на работу ТТ уменьшается с увеличением его диапазона преобразования. Создание противоположно направленных МДС в сердечнике с целью расширения верхнего предела ТТ одновременно приводит к уменьшению погрешности, вызванной аperiodическими составляющими первичного тока в динамическом режиме работы ТТ.

Выявление и анализ источников погрешностей ТТАРД методом параметрических структурных схем показали, что влияние внешних переменных и постоянных магнитных полей, ферромагнитной массы и отклонения от нормальных значений температуры являются источниками систематических и случайных составляющих аддитивных и мультипликативных погрешностей ТТАРД. Анализ формул, полученных для определения токовой и угловой погрешностей ТТАРД, показывает, что если коэффициент трансформации ($k_{\text{вит}}$), определяемый соотношением числа

обмоток катушек ТТ, равен его номинальному коэффициенту трансформации (k_H), то токовая погрешность ТТ всегда отрицательна.

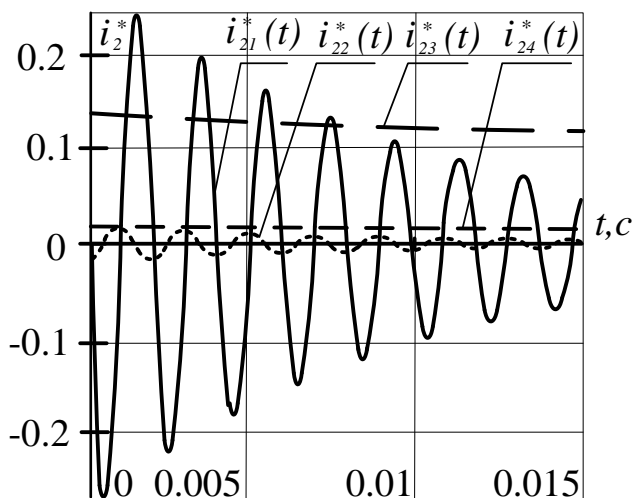


Рис. 5. Временные диаграммы вторичного тока при изменении первичного тока ТТАРД в виде затухающей синусоиды

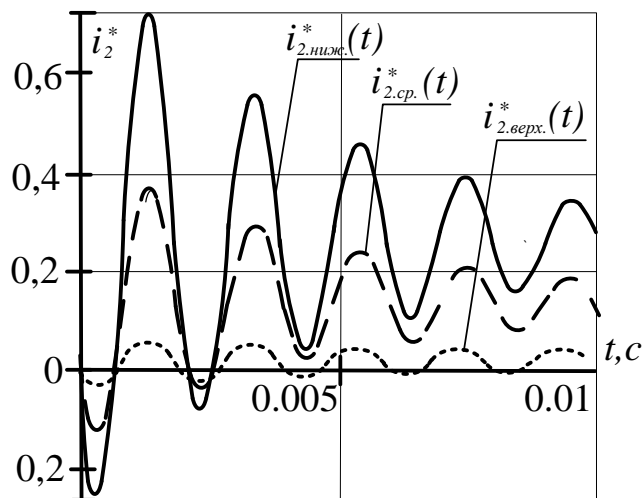


Рис. 6. Временные диаграммы вторичного тока для разных диапазонов ТТАРД при $T_1 = 0,05 \text{ s}$, $T_2 = 0,016 \text{ s}$, $T = 1,0 \text{ s}$, $\psi_{I_1} = 30^\circ$

Анализ графиков зависимости токовой и угловой погрешностей от первичных токов, построенных для различных значений нагрузки ТТАРД (рис.7, а и б), показывает, что в промежутке первичного тока $((0,15 \div 1,2)I_{1H}$ (где I_{1H} - номинальное значение первичного тока) и при полном сопротивлении нагрузки (z_H) $0,5z_{H,H}$, $z_{H,H}$ и $3z_{H,H}$ (где $z_{H,H}$ - номинальное значение нагрузки), значения токовой и угловой погрешностей практически не изменяются (будут сохранены в пределах $-0,5 \%$ и $30' \div 40'$ соответственно); при первичном токе $0,05I_{1H}$ и значениях нагрузки, указанных выше, токовые погрешности составляют соответственно до $-1,2 \%$, $-1,5 \%$, и $-3,5 \%$, а угловые погрешности увеличиваются соответственно на $120'$, $180'$ и $270'$.

В результате проведенных исследований и обзора научной литературы, было выявлено, что целесообразно уменьшить погрешности ТТАРД следующими способами: 1) удлинением линейной части основной кривой намагничивания ферромагнитного сердечника за счет использования магнитного шунта или компенсирующей катушки, намотанной в специально сформированные отверстия в сердечнике; 2) дополнительным намагничиванием сердечника; 3) корректировкой количества витков вторичной обмотки.

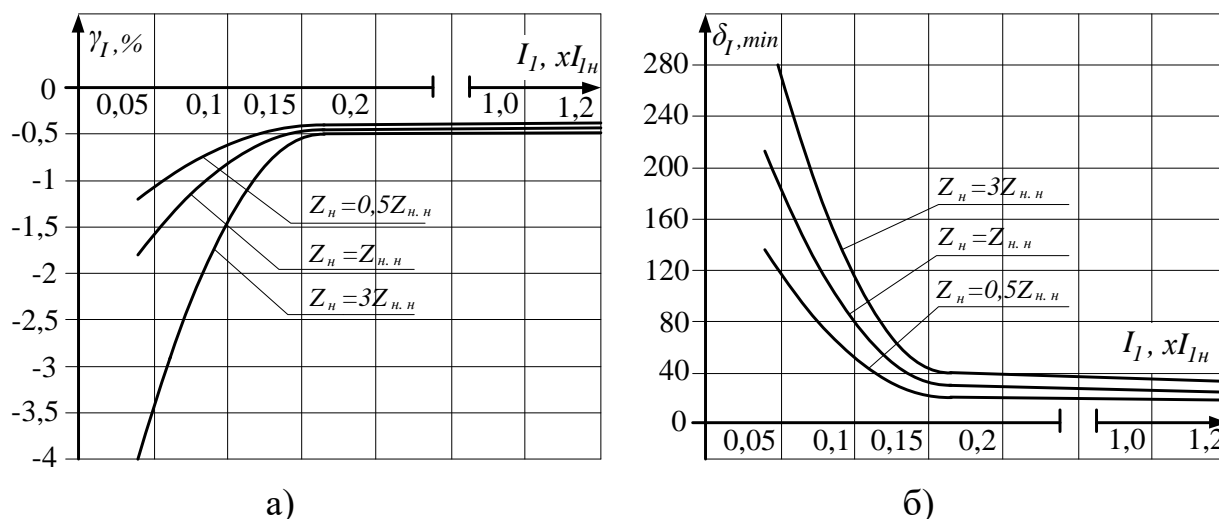


Рис. 7. Графики зависимости токовых (а) и угловых (б) погрешностей ТТАРД от первичного тока при различных значениях нагрузки

При оценке надежности предлагаемого ТТАРД при исследованиях использовались оценочные показатели, такие как вероятность безотказной работы $P(t)$, вероятность отказа $Q(t)$, частота отказа $a(t)$, интенсивность отказа $\lambda(t)$ и среднее время до отказа T . Вместе с этим, для обеспечения высокой точности оценки надежности также учитывались данные об интенсивности отказов $\lambda(t)$ всех элементов устройства.

Для ТТАРД были определены следующие показатели надежности с использованием вероятности безотказной работы по прочности изоляции между катушками: вероятность безотказной работы $P = 0,95$; среднее время до отказа составило $T = 10,2$ года. При определении надежности ТТАРД более точные значения надежности были достигнуты путем охвата нескольких ее параметров.

Практическое применение разработанного ТТАРД для систем управления устройствами тягового электроснабжения позволило повысить точность измерений. Ожидаемая экономическая эффективность составляет 145,051 млн. сумов.

В приложении диссертации приведены основные критерии энергоинформационных моделей цепей различной физической природы и элементов аппарата параметрических структурных схем, данные о физико-технических эффектах и параметрах, используемых при исследовании характеристик ТТАРД, а также акт и справка о внедрении результатов научных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ систем управления устройствами тягового электроснабжения показал, что используемые в них измерительные преобразователи больших переменных токов должны иметь расширенные функциональные возможности, высокую чувствительность, точность и линейную функцию преобразования во всем диапазоне преобразования, а также стабильные характеристики в экстремальных условиях.

2. Сравнительный анализ основных характеристик измерительных преобразователей переменных больших токов показал, что требованиям систем управления устройствами тягового электроснабжения в определенной степени отвечают многопредельные трансформаторы тока.

3. Разработаны новые конструкции трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона преобразования, в которых регулирование диапазона осуществляется в зависимости от доли третьей гармоники в составе вторичного тока или величины рабочего магнитного потока в ферромагнитном сердечнике.

4. Разработаны математические и компьютерные модели трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона с учетом нелинейности основной кривой намагничивания ферромагнитного сердечника, активных потерь в сердечнике и характера нагрузки.

5. Анализ уравнения статической характеристики трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона и построенных на его основе графиков показал, что максимальное значение первичного тока в каждом диапазоне преобразования соответствует одному и тому же значению вторичного тока. Установлено, что коэффициент преобразования таких трансформаторов тока, работающих в идеальном режиме, равен произведению номинального коэффициента трансформации на коэффициент поправки, определяющего разницу токов в первичной обмотке.

6. При изменении первичного тока трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона в виде затухающей синусоиды, вторичный ток состоит из суммы двух вынужденных апериодических затухающихся синусоидальных и трех свободных апериодических составляющих, изменение значения которых во времени определяется значениями постоянных времени контуров, образованных первичной и вторичной обмотками, а также вторичной обмоткой и обмоткой намагничивания.

7. При изменении значений первичного тока трансформаторов тока с автоматическим регулированием диапазона в пределах $(0,15 \div 1,1)I_{1н}$, и при полном сопротивлении нагрузки (z_n) $0,5z_{н.н}$, $z_{н.н}$ и $3z_{н.н}$, значения токовой и угловой погрешности практически не меняются. При значении первичного тока $0,05I_{1н}$ и в соответствии с нагрузкой, указанным выше значениям, было установлено увеличение погрешности тока соответственно до $-1,2\%$, $-1,5\%$, и $-3,5\%$, а угловой погрешности соответственно на $120'$, $180'$ и $270'$.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.03.02 ON THE
ADMISSION OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

MUKHSIMOV SHAVKAT SUNNAT UGLI

**RANGE AUTOMATIC ADJUSTABLE CURRENT TRANSFORMERS FOR
THE CONTROL SYSTEM OF TRACTION POWER SUPPLY DEVICES**

05.01.06 – Elements and device of the computing machinery and managerial system

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

Tashkent - 2021

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number B2019.2.PhD/T1111

The dissertation has been prepared at Tashkent State Transport University.

The Abstract of dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web page of Scientific Council (www.tdtu.uz) and Information and Educational Portal «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Scientific supervisor:	Amirov Sulton Fayzullaevich Doctor of Technical Sciences, Professor
Official opponents:	Abdukayumov Abdurashid Abdukayumovich Doctor of technical sciences, professor Sattarov Xurshid Abdishukurovich Candidate of technical sciences, docent
Leading organization:	Institute of energy problems of the Academy of sciences RUz

Defense of dissertation will take place in «____» _____2021 at _____ o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university. (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent State Technical University (registration number ____). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-03-41.)

Abstract of dissertation sent out on «____» _____ 2021 year.
(mailing report № ____ on «____» _____ 2021 year).

N.R. Yusupbekov
Chairman of Scientific Council
on awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician

U.F. Mamirov
Scientific Secretary of Scientific Council
on awarding scientific degrees,
PhD in technical sciences

H.Z. Igamberdiev
Chairman of the Academic Seminar
under the Scientific Council on awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is to expand the range of functional capabilities through the development of automatic transformers with adjustable range.

The object of research is a wide range of current transformers for control and management systems were taken as the object of research.

The scientific novelty of the research is as follows:

a method has been developed for extending the ranges of current transformers by automatically adjusting the values of oppositely directed magnetomotive forces created in the magnetic circuit;

the designs of current transformers designed for operation at low and high voltages, characterized by automatic adjustment of the conversion range and the ability to measure the current value with high accuracy in all parts of the range, have been developed;

a scheme is developed based on comparing the value of the highest harmonic component of the voltage with the value of the main harmonic component created in the secondary winding as a result of saturation of the magnetic circuit, which allows automatically adjusting the measurement ranges of the current transformer;

mathematical and computer models have been developed to study the static and dynamic characteristics of current transformers with automatic control of the conversion range, which are characterized by the possibility of taking into account the non-linearity of the main magnetization curve of the ferromagnetic core, active losses in the core and the nature of the load.

Implementation of research results. The range for traction control systems of traction power supply devices is based on the method of automatic calculation of automatically adjustable current transformers and their electromagnetic circuits:

current transformer is characterized by automatic adjustment of the conversion range and the ability to measure the current value with high accuracy over the entire conversion range was introduced at the traction substation ECE-2 “Chukursoy” of JSC “Uzbekistan Railways” EC-1 - Tashkent power supply distance (№. 01 / 909-21 of March 11, 2021 of JSC "Uzbekistan Railways" reference). As a result, the developed current transformer with automatic control of the working range of the conversion allowed measuring large currents in the traction power supply system with an accuracy of 7% higher;

mathematical models for large current meters, automatic adjustable current transformers and the method of taking into account the nonlinearity of the main magnetization curve of the magnetic material of the automatic adjustable current transformer using a combination of linear elemental converters EC-1 – “Tashkent” Introduced at the traction substation “Chukursoy” (reference number of JSC “Uzbekistan Railways” dated March 11, 2021 No 01 / 909-21). As a result of the application of the developed current transformer with automatic control of the working range of the conversion, it was possible to increase the accuracy of the control system of traction power supply devices by 2%.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introductory part, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 118 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Амиров С.Ф., Хушбоков Б.Х., Мухсимов Ш.С. Широкодиапазонные трансформаторы тока для систем тягового электроснабжения. –Т.: «Fan va technology», 2018. -164 с.

2. Амиров С.Ф., Мухсимов Ш.С., Болтаев О.Т., Ток трансформаторларидаги ўткинчи жараёнларни оператор усули орқали тадқиқ этиш // ТошТЙМИ Ахбороти. – Тошкент, 2019. – №4. – 87-95 б.

3. Амиров С.Ф., Мухсимов Ш.С., Болтаев О.Т. Ток трансформаторларида юз берадиган турли ўткинчи жараёнларни тадқиқ этиш // ТошТЙМИ Ахбороти. – Тошкент, 2020. – №2. – 66-75 б.

4. Амиров С.Ф., Мухсимов Ш.С., Болтаев О.Т. Жумабоев С.Х. Диапазони автоматик ростланувчи ток трансформатори учун тузатиш коэффицентини аниқлаш // ТошТЙМИ Ахбороти. – Тошкент, 2020. – №3. – 116-121 б.

5. Амиров С.Ф., Мухсимов Ш.С. Диапазони автоматик ростланувчи ток трансформаторининг бошқарув тизимини татқиқ этиш // Техника фанлари (ISSN 2181-9696 Doi Journal: 10.26739/2181-9696) // Тадқиқот – Тошкент, 2021. - 4 сон. 4-12 бет.

6. Amirov S.F. Mukhsimov Sh.S. Boltayev O.T. Calculation Of High Harmonics Produced By The Saturation Of A Magnetic Core Of A Current Transformer The American Journal of Engineering and Technology (ISSN – 2689-0984) // Volume 03 Issue 01-2021 // January 26, 2021 // Pages: 36-43.

7. Amirov S.F. Mukhsimov Sh.S. Jumaboyev S.X. The study of the temporary process taking place in a wide range of current transformers // Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR) Vol.10-Issue-1 January 2021, ISSN: 2278 – 4853// Pages: 98-108.

8. Amirov S.F. Mukhsimov Sh.S. The study of transient processes taking place in current transformers // South Asian Academic Research Journals (SAARJ) // ISSN: 2249-7137, Vol. 11 Issue 1, January 2021, // Pages: 1251-1260.

9. Mukhsimov Sh.S. Reliability of an automatic adjustable current transformer // The American Journal of Engineering and Technology 3(01) // ISSN–2689-0984 // Published: January 31, 2021 // Pages: 77-83.

10. Amirov S.F. Mukhsimov Sh.S. Boltayev O.T. Range Automatic Adjusted Current Transformer Primary Winning // Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (E-ISSN:1309-4653) // Volume 12, Issue 3 // 5 April 2021 // Pages 3142-3147, (Scopus).

II бўлим (Часть II; Part II)

11. Амиров С.Ф., Бурков А.Т., Мухсимов Ш.С. Моделирование элементов системы тягового электроснабжения 2х25кВ 50Гц // Темир йўл транспортда ресурс тежамкор технологиялар. Хорижий олимлар

иштирокидаги республика илмий-техник анжумани. 5-6 декабрь 2017. – Тошкент, 2018. – 180-184 с.

12. Бурков А.Т., Мирсаитов М.М., Мухсимов Ш.С. Моделирование электротяговой сети железнодорожного электроснабжения и ЭПС высокоскоростной магистрали в MATLAB/SIMULINK// «Прорывные технологии электрического транспорта Элтранс-2017» Тезисы докладов, 18-20 октябрь 2017. – Санкт - Петербург, 2017. – 58-72 с.

13. Жумабоев С.Х., Мухсимов Ш.С. Электромагнитный преобразователь несимметричности трехфазного тока // II Международная научно-техническая конференция, посвященная 90- летию со дня рождения профессора Зарипова Мадияра Фахритдиновича. 19-20 сентября 2019 г., Уфа, Россия, 2019. - С. 144 –148.

14. Дастирий таъминотга Гувохнома. № DGU 10278. Тортиш электр таъминоти қурилмаларининг бошқарув тизимлари учун диапозони автоматик ростланувчи ток трансформаторининг дастирий таъминоти / С.Ф. Амиров, Ш.С. Мухсимов.

15. Amirov S.F. Mukhsimov Sh.S. Computer Models Of Automatic Adjusted Current Transformer // Science and innovation in the XXI century: crucial issues, discoveries and achievements. International Scientific and Current Research Conferences // February 19, 2021-Hungary, Europe // Pages: 10-16.

16. Amirov S.F. Mukhsimov Sh.S. Range Automatic Adjustable Current Transformer Control System // Science and innovation in the XXI century: crucial issues, discoveries and achievements. International Scientific and Current Research Conferences // February 19, 2021-Hungary, Europe // Pages: 17-25.

Автореферат «Транспорт хабарномаси» илмий-амалий журнали
тахририятида таҳрирдан ўтказилди ва матнларни мослиги текширилди

Қоғоз бичими 84×60-1/16. Ризограф босма усули. Times гарнитураси

Шартли босма табағи: 2,5 б.т. Адади: 65 нусха.

Буюртма: 43-7/2021 Нашрга рухсат этилди: 30.06.2021й.

Тошкент давлат транспорт университети босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100167, Тошкент шаҳар, Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй.