

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.15/31.08.2022.Т.73.07 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ

НОРЖИГИТОВ САЙФИДДИН АБДУХАКИМОВИЧ

**КОНТАКТ ТАРМОГИ НЕЙТРАЛ ЎРНАТМАЛАРИНИ ФАЗАЛАРАРО
ҚИСҚА ТУТАШУВ ТОКЛАРИДАН ҲИМОЯЛАШ УСУЛИ**

**05.08.05 – Темир йўлларнинг ҳаракатланувчи таркиби, поездларни тортиш ва
электрлаштириш**

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

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

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

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

Норжигитов Сайфиддин Абдухакимович Контакт тармоғи нейтрал ўрнатмаларини фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимоялаш усули.....	3
Норжигитов Сайфиддин Абдухакимович Способ защиты нейтральных вставок контактной сети от токов межфазного короткого замыкания.....	19
Norjigitov Sayfiddin Method for protecting the neutral inserts of the contact network from interfacial short-circuit currents.....	35
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works.....	39

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.15/31.08.2022.T.73.07 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ

НОРЖИГИТОВ САЙФИДДИН АБДУХАКИМОВИЧ

**КОНТАКТ ТАРМОГИ НЕЙТРАЛ ЎРНАТМАЛАРИНИ ФАЗАЛАРАРО
ҚИСҚА ТУТАШУВ ТОКЛАРИДАН ҲИМОЯЛАШ УСУЛИ**

**05.08.05 – Темир йўлларнинг ҳаракатланувчи таркиби, поездларни тортиш ва
электрлаштириш**

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

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги хузуридаги Олий аттестация комиссиясида № В2025.1.PhD/T5462 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат транспорт университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Амирор Султон Файзуллаевич
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Гайибов Тулкин Шерназарович
техника фанлари доктори, профессор

Раджибаев Давран Октамбаевич
техника фанлари доктори (DSc), доцент

Етакчи ташкилот:

Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси энергетика муаммолари институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат транспорт университети хузуридаги DSc.15/31.08.2022.T.73.07 рақамли Илмий кенгашнинг 2026 йил «___» 01 соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100167, Тошкент ш., Темириўлчилар кўчаси, 1-уй. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@mail.ru).

Диссертация билан Тошкент давлат транспорт университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (302 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100167, Тошкент шаҳри, Темириўлчилар кўчаси, 1-уй. Тел.: (99871) 299-05-66

Диссертация автореферати 2025 йил «29» декабрда тарқатилди.

(2025 йил «27» декабрдаги 6 рақамли реестр баённомаси).

Р.В. Рахимов

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
техника фанлари доктори, профессор

Я.О. Рузметов

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш котиби,
техника фанлари доктори, профессор

Р.М. Мирсаатов

Илмий кенгаш хузуридаги илмий
даражада берувчи илмий семинар раиси
техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясиға автореферат)

Диссертация мавзусининг долзарбилиги ва зарурати. Жаҳонда темир йўл ҳаракат таркибларининг хавфсиз, узлуксиз ҳаракатланиши ва уларнинг ишлаш самарадорлигини ошириш имкониятини таъминловчи техник воситалар ҳамда илғор технологияларни ишлаб чиқиш ишларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда темир йўл ҳаракат таркиби хавфсиз, узлуксиз ҳаракатланиши ва унинг самарадорлигини ошириш имкониятини таъминловчи техник восита ва илғор технологияларни ишлаб чиқиш жадал суръатларда олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда темир йўл контакт тармоғини оптимал конструкцияларини ишлаб чиқиш, шу жумладан, контакт тармоғи нейтрал ўрнатмалари иш унумдорлигини ошириш, электр ҳаракат таркибиларини хавфсиз ва узлуксиз ишлашига ҳамда ишончли ҳимоя қилишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда тезюарар темир йўл магистралларини электрлаштириш, ҳусусан темир йўллар kontakt тармоғи нейтрал ўрнатмалари электр ҳаракат таркиби хавфсиз ва узлуксиз ўтишини ҳамда kontakt тармоғи конструкциясини такомиллаштиришга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, kontakt тармоғининг заиф элементларидан нейтрал нейтрал ўрнатмалар бўлиб, мавжуд релели ҳимоя ва автоматика тизими мазкур элементни ишончли ҳимоя қилиш долзарб масалаларни ечишга қаратилган илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, kontakt тармоғи нейтрал ўрнатмаларини фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимоялаш усувларни ишлаб чиқиш, нейтрал ўрнатмада содир бўлувчи фазалараро қисқа туташувнинг олдини олувчи автоматлаштирилган тизим ишлаб чиқиш зарурати юзага келмоқда.

Республикамизда турли транспорт соҳаларини ривожлантириш, жумладан темир йўл транспорти инфратузилмасини ривожлантириш, юқори тезликда ҳаракатланувчи таркиб участкаларини кенгайтириш, мавжуд темир йўл ҳудудларида ҳаракат хавфсизлигини ошириш чора тадбирлари амалга оширилмоқда. 2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг Тараққиёт стратегиясида, жумладан «...иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини 20 фоизга ошириш, ...транспорт қатновлари асосида манзилга етиб бориш ва қайтиб келиш имкониятини яратиш»¹ вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда, электрлашган темир йўл kontakt тармоғида қўлланилувчи, замон талабларига жавоб берувчи янги нейтрал ўрнатмаларини фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимоялаш усувларни яратиш, уларнинг математик моделлари ва параметрларини ҳисоблаш методикасини ишлаб чиқиш зарур ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикасининг 1999 йил 15 апрелдаги 766-I-сон «Темир йўл транспорти тўғрисида»ги Конуни, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг Тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг Тараққиёт стратегияси тўғрисида» ги Фармони

Фармони, 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора тадбирлари дастури тўғрисида»ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-хукуқий хужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот ўзбекистон республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Электрлашган темир йўл контакт тармоғи ҳамда унинг нейтрал ўрнатмаларида фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимоялаш усулларини ишлаб чиқиши бўйича долзарб масалаларни ечишга қаратилган илмий тадқиқотлар жаҳоннинг етакчи олимлари: Е.П. Фигурнов, А.Л. Бикадоров, А.В. Жуков, Е.Ю. Семенова, Ю.В. Иодко, В.И. Карпенко, Д.В. Семенова, Белов, Б.Е. Геронимус, Б.Е. Даинькин, Ю.И. Жарков, В.А. Зимаков, В.Я. Овласюк, Л.И. Шухатович, Х.В.Фанқ, Т. Либах, А.И. Чернов, В.Г. Хромов, А.Н. Кулешов, С.Д. Соколов, В.Н. Пупынин ва бошқалар катта ҳисса қўшишган, шунингдек, ўзбекистонлик олимлардан С.Ф. Амиров, И.Н. Баянов, Т.Н. Бадретдинов ва И.А. Каримовлар ҳам илмий изланишлар олиб боришган.

Бу олимларнинг саъй-ҳаракатлари билан темир йўл контакт тармоғи ва релели ҳимоя тизимини такомиллаштириш орқали, нейтрал ўрнатмада содир бўлувчи электр ёйини самарали сўндириш ҳамда қисқа туташув токларига сезувчанлигини ошириш бўйича ечимлар таклиф қилинган ва ишлаб чиқаришга жорий қилинган.

Бироқ, шу билан бирга, контакт тармоғи нейтрал ўрнатмасини фазалараро қисқа туташув токидан ҳимоялаш усулларини ишлаб чиқиши, нейтрал ўрнатмада содир бўлувчи фазалараро қисқа туташувнинг олдини олувчи автоматлаштирилган тизим ишлаб чиқишига бағишиланган илмий тадқиқотлар етарли даражада 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 6-сон «Контакт тармоғи нейтрал ўрнатмаларини фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимоялаш усуллари» (2018-2022) мавзусидаги илмий лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади темир йўл контакт тармоғи нейтрал ўрнатмасида содир бўлувчи фазалараро қисқа туташувнинг олдини олувчи автоматик тизимни ишлаб чиқишидан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

контакт тармоғи нейтрал ўрнатмаларда фазалараро қисқа туташув жараёнининг вужудга келиши ва давом этишини ўрганиш ҳамда ушбу токлардан ҳимояловчи мавжуд тизим ва воситаларнинг камчиликларини аниқлаш;

контакт тармоғи нейтрал үрнатмасини фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимояловчи янги усул ишлаш принципини ишлаб чиқиш;

контакт тармоғи нейтрал үрнатмасида фазалараро қисқа туташув жараёнининг математик ва компьютер моделини ўрганиш;

контакт тармоғи нейтрал үрнатмасини фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимояловчи янги усул ишлашини таъминловчи янги тизим моделини яратиш;

янги тизим элементлари параметрларини ва уларнинг ишлаш алгоритмларини аниқлаш;

янги тизим элементларининг синов моделларини ясаш ва уларни экспериментал синовлардан ўтказиш;

янги тизимнинг экспериментал синов натижаларини таҳлил қилиш ва шу асосида янги усулнинг самарадорлигини баҳолаш.

Тадқиқот обьекти сифатида темир йўл контакт тармоғи нейтрал үрнатмаси олинган.

Тадқиқот предметини темир йўл контакт тармоғи нейтрал үрнатмасини қисқа туташув токидан ҳимояловчи тизимлар ва уларнинг асосий техник тавсифларини тадқиқ этишни ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқот жараёнида темир йўл контакт тармоғи нейтрал үрнатмасида фазалараро қисқа туташув жараёнининг ҳисобий тенгламаларини алмаштириш ва тўғридан-тўғри математик моделлаштириш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

контакт тармоғи нейтрал үрнатмасини фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимояловчи аналог-рақамли ўзгартиргич, микропроцессор ва сигнални симсиз узатиш қурилмалари асосида тузилганлиги сабабли юқори ишончлиликка эга ҳамда хизмат кўрсатиш қулай бўлган янги тизим ишлаб чиқилган;

контакт тармоғи нейтрал үрнатмасида турли хил қийматга эга фазалараро қисқа туташув токларини инобатга олган ҳолда математик ва имитацион моделлари ишлаб чиқилган;

контакт тармоғи нейтрал үрнатмасини фазалараро қисқа туташув токидан ҳимоялашнинг турли эксплуатацион хусусиятларини инобатга олган ҳолда параметрларини уларнинг алмашлаш схемалари асосида ҳисоблаш методикаси ишлаб чиқилган;

электр тортувчи тармоқнинг релели ҳимоя ва автоматика тизими учун контакт тармоғи нейтрал үрнатмаларини фазалараро қисқа туташув токидан ҳимоя қилиш имкониятини берувчи ток сенсорли янги қурилмалар мажмуаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

контакт тармоғи нейтрал үрнатмасида фазалараро қисқа туташув жараёнини тадқиқ этиш учун аналитик ва рақамли боғлиқликлар ҳосил қилинган;

темир йўл транспортининг иш самарадорлиги ва хавфсизлигини оширишда техник кўрсаткичлари ишончли бўлган янги ҳимоя тизими ва унинг

аппарат базаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Нейтрал ўрнатмаларида содир бўлувчи фазалараро қисқа туташувнинг олдини олевчи автоматлаштирилган тизим элементларининг ишлаш қонунларининг асосли равишда қўлланилиши, шунингдек, назарий ва тажриба натижаларининг ўзаро мос келиши билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти янги нейтрал ўрнатмада содир бўлувчи фазалараро қисқа туташувнинг олдини олевчи автоматлаштирилган тизим характеристикаларини тадқиқ этиш учун олинган аналитик тенгламалар билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти контакт тармоғи нейтрал ўрнатмаларида содир бўлувчи фазалараро қисқа туташувнинг олдини олевчи автоматлаштирилган тизим ишлаб чиқилганлиги, олинган натижалар контакт тармоғи нейтрал қўйилмаларида фазалараро қисқа туташувнинг олдини олиши ва электр ҳаракат таркиби ҳавфсизлигини таъминланиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Контакт тармоғи нейтрал ўрнатмасида содир бўлувчи фазалараро қисқа туташувнинг олдини олевчи автоматлаштирилган тизим бўйича олинган натижалар асосида:

контакт тармоғидаги нейтрал ўрнатмаларни фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимоя қилиш усули учун Ўзбекистон Республикаси Адлия Вазирлиги хузуридаги “Интеллектуал мулк маркази” давлат муассасасидан ихтирога патент олинган (№IAP 7782; 2024й.). Натижада, темир йўл нейтрал ўрнатмасида содир бўлувчи фазалараро қисқа туташувнинг олдини олевчи автоматлаштирилган тизим қурилмаси яратилган;

контакт тармоғидаги нейтрал ўрнатмаларни фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимоя қилиш тизими “Темирйўлинфратузилма” АЖ Тошкент электр таъминот масофасига қарашли Далагузар подстанцияси ва Далагузар бекати контакт тармоғида жорий этилди (“Ўзбекистон темир йўллари” АЖ нинг 2025 йил 19 сентябрдаги 03/1976-25 – сон маълумотномаси). Натижада, янги контакт тармоғи нейтрал ўрнатмасида содир бўлувчи фазалараро қисқа туташувнинг олдини олевчи автоматлаштирилган тизимдан фойдаланиш электр ҳаракат таркибларини сифатли ва узлуксиз электр энергияси билан таъминлаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 10 та илмий-амалий анжуманларда, шу жумладан 7 та халқаро (ундан 3 таси Scopus базасида) ва 8 та республика анжуманларида апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 19 та илмий иш, шундан Ўзбекистон Республикаси Олий атtestация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 4 та мақола, жумладан, 2 та хорижий ва 4 та республика журналларида нашр этилган ҳамда ихтирога 1 та патент ва ЭҲМ учун 3 та дастурий гувоҳнома олинган.

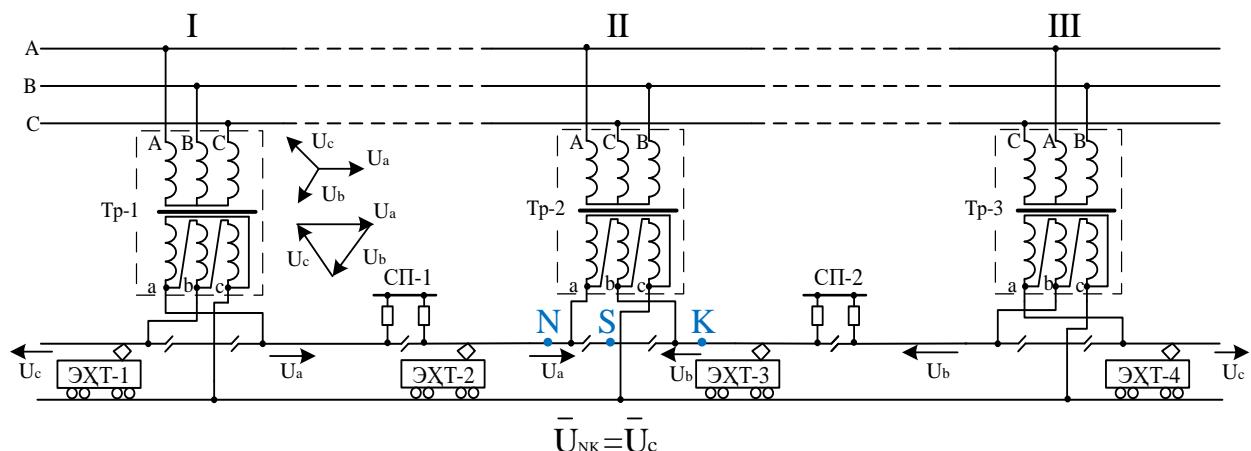
Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш қисми, тўртта боб, хулоса, адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ишининг ҳажми 115 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Диссертациянинг кириш қисмидаги танланган мавзунинг долзарбилиги ва зарурати, тадқиқот мақсади ва вазифалари асосланган; тадқиқот обьекти ва предмети шакллантирилган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялар ривожланиши устувор йўналишларига мослиги қўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган; назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган; диссертация тадқиқоти натижаларининг ишлаб чиқаришга жорий этиш маълумотлари келтирилган.

Диссертациянинг “Муаммонинг ҳолати ва тадқиқот вазифаларининг қўйилиши” деб номланган биринчи бобида, ўзгарувчан токли электр тортувчи тармоқдаги электр жараёнларнинг кечиши ва мазкур жараёнларда нейтрал ўрнатмаларнинг аҳамияти ўрганилди.

Ташқи электр таъминот тизими фазаларига юкламаларни симметрик тақсимлаш мақсадида, тортувчи подстанцияларнинг чап ва ўнг елкалари тизимнинг турли хил фазалардан озиқлантирилади (1-расм). Электр харакатланувчи таркиблар подстанцияларнинг бир елкасидан иккинчисига хавфсиз ўтиши учун нейтрал ўрнатмалар қўлланилди. Юклама токи ўчирилмаган электр харакатланувчи таркибнинг пантографи нейтрал ўрнатманинг NS ва SK нуқталар орасидаги туташмалардан навбатма-навбат ўтиш жараёнида, электр ёйи вужудга келади. Электр ёйлари, потенциаллар фарқи $U_c = 25\text{kV}$ бўлган N ва K нуқталарни қисқа туташтиради. Нейтрал ўрнатмалардан юклама токи остида ўтиш қатиян тақиқланади.



1- расм. Ташқи электр таъминот тизими фазаларига юкламаларни симметрик тақсимлаш функционал схемаси: Тр-1-2-3 - тортувчи подстанциялар;
СП-1-2 – секциялаш пунктлари; U_a , U_b , U_c – контакт тармоғидаги кучланишлар;
ЭХТ-1-2-3-4 – электр харакат таркиблари

Нейтрал ўрнатма яқинидаги ТР-2 тортувчи трансформатори иккиламчи чўлғамларидаги ток кучи бир неча минг ампергача ортади ва релели ҳимоя тизими ишга тушади. Бироқ, аксарият вазиятларда подстанциялар орасидаги юқори импеданс сабабли, ТР-1 ва ТР-3 трансформаторлари иккиламчи

чўлғамларидаги ток кучи релели ҳимоя тизимини ишга тушириш учун етарли бўлмайди. Мазкур жараён нейтрал ўрнатмадаги контакт осмаси симлари эриб, узилиб, ер билан қисқа туташув хосил қилгунга қадар давом этади. Шу боис, нейтрал ўрнатмалардан юклама токи остида ўтиш қатиян тақиқланади.

Контакт тармоғи нейтрал ўрнатмасида фазалараро қисқа туташув содир бўлиш жараёни ва унинг электр тортувчи тармоқ ишига таъсири таҳлилда: контакт тармоғида рўй берган 407 та йирик шикастланишларнинг 14 таси нейтрал ўрнатмаларда содир бўлганлиги, бунинг натижасида 15 та йўловчи поездлари 11 соатдан ортиқ, 32 та юк поездлари 35 соатдан ортиқ вақт тўхтаб қолганлиги ҳамда натижада жами 412 млн сўмдан ортиқ моддий зарар келтирганлиги аниқланди.

Нейтрал ўрнатмаларни фазалараро қисқа туташув токидан ҳимоя қилувчи мавжуд усулларнинг барчасига хос бўлган камчилик, уларнинг фақат қисқа туташув содир бўлганидан сўнг фаоллашиши эканлиги маълум бўлди. Яъни, ҳимоя тизими ишга тушиб, тармоқдаги кучланиш ўчирилгунга қадар, нейтрал ўрнатмадаги электр ускуналар маълум вақт давомида кучли электр ёйи таъсири остида қолади. Хеч бир мавжуд усул, қисқа туташув ҳолатининг олдини олишга қаратилмаган.

Адабиёт манбаларини таҳлил қилиш натижалари ва қўйилган мақсаддан келиб чиқсан ҳолда, тадқиқотнинг асосий вазифалари белгиланди.

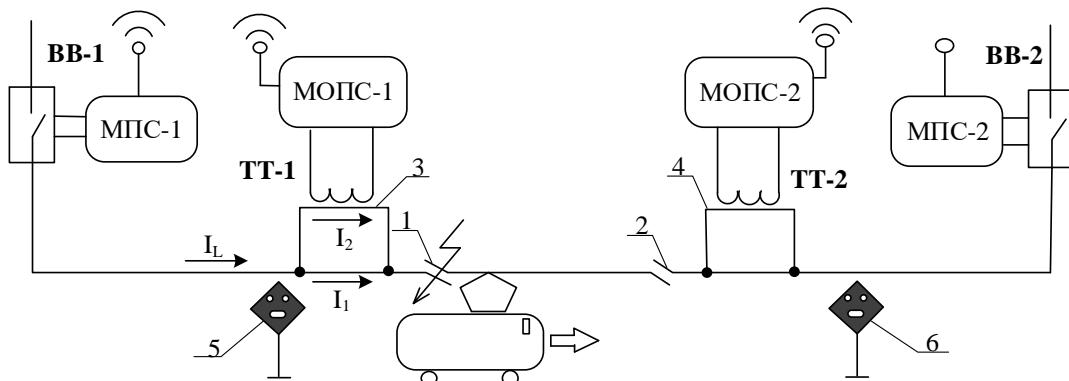
Диссертациянинг “Нейтрал ўрнатмаларни қисқа туташув токларидан ҳимояловчи усулларини тақомиллаштириш” деб номланган иккинчи бобида нейтрал ўрнатмаларни қисқа туташув токидан ҳимояловчи янги тизим тузили ва унинг ишлаш принципи ишлаб чиқилди.

Таклиф этилган янги усул, барча мавжуд усулларга таълуқли бўлган камчиликдан ҳоли бўлиб, фазалараро қисқа туташув ҳолати содир бўлишини олдиндан аниқлайди ва тармоқдаги кучланишни қисқа туташув содир бўлишидан олдин ўчиришга эришади.

Нейтрал ўрнатмага яқинлашаётган электр ҳаракатланувчи таркиб (электровоз, электрпоезд) дастлаб, “токни ўчиринг” белгиси (5) ёнидан ва ток сенсори (МОПС-1) тагидан ўтади (2-расм). Агар шу пайтда машинист юклама токини ўчиримаган бўлса, Кирхгоф қонунларига мувофиқ, параллел тармоқлар бўйлаб мос равишда I_1 ва I_2 токлар оқади, уларнинг йиғиндиси эса умумий юклама токи (I_L) ни ташкил этади. I_2 токи таъсирида ТТ-1 ток трансформаторининг иккиласи чулғамида аналог сигнал ҳосил бўлади, бу сигнал МОПС -1 га узатилади. МОПС -1 да сигнал ракамли шаклга ўtkaziladi, белгиланган чегаравий қийматлар билан солиширилади. Агар сигналнинг даражаси ёки давомийлиги белгиланган чегарадан ошса, у ҳолда МОПС-1 дан симсиз алоқа тармоғи орқали МПС-1 модулига сигнал узатилади. Шундан сўнг МПС-1, ВВ-1 узгичга ўчириш буйругини беради ва натижада нейтрал ўрнатманинг чап томонидаги кучланиш ўчирилади. Шу тариқа, нейтрал ўрнатмада фазалараро қисқа туташув юзага келишининг олди олинади.

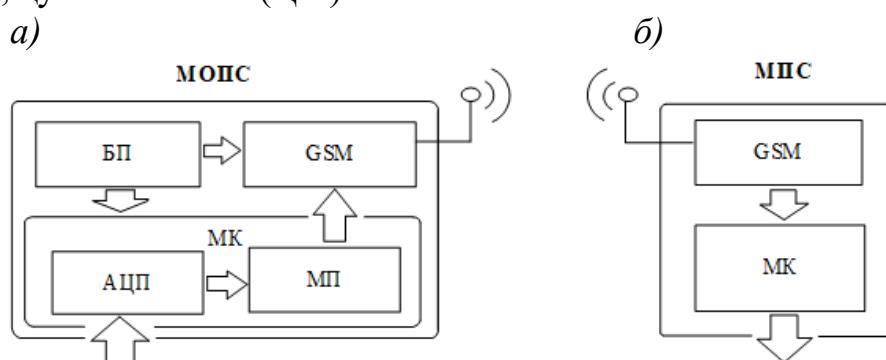
Агар электр ҳаракатланувчи таркиб тескари йўналишда ҳаракатланса, жараён худди шундай кечади, бироқ бу ҳолда нейтрал ўрнатмани фазалараро

қисқа туташув токидан ҳимоялаш TT-2, МОПС-2 ва МПС-2 модуллари воситасида амалга оширилади. Ўчириладиган зонани қисқартириш мақсадида, модуллар орасидаги алоқа шундай ташкил этилади, МОПС-1 фақат МПС-1 га, МОПС-2 эса фақат МПС-2 га сигнал узатиши мумкин бўлади. Шу тариқа, нейтрал ўрнатманинг фақатгина электр ҳаракатланувчи таркиб ҳаракатланган томондаги фидер зонаси кучланишдан узилади.



2-расм. Контакт тармоғининг нейтрал қўшимчаларини фазаларо қисқа туташувлардан ҳимоя қилиш усулининг функционал схемаси: 1-2 – изоляцияловчи боғланишлар; 3-4 – электр шунтлар; 5-6 - “токни ўчир” белгиси; ТТ-1 ва ТТ-2 ток трансформаторлари; МОПС-1-2- сигнални қайта ишлаш ва узатиш модули; МПС-1-2 - сигнални қабул қилиш модуллари; ВВ-1-2 - юқори кучланишли автоматик узичлар

Таклиф этилаётган усулни амалга оширишда асосий функционал элементлар — бу МОПС -1 ва МОПС -2 модуллари бўлиб, улар учта асосий компонентлардан ташкил топган (3-расм, а): микроконтроллер (МК); GSM алоқа модули; кувват манбай (ҚМ).



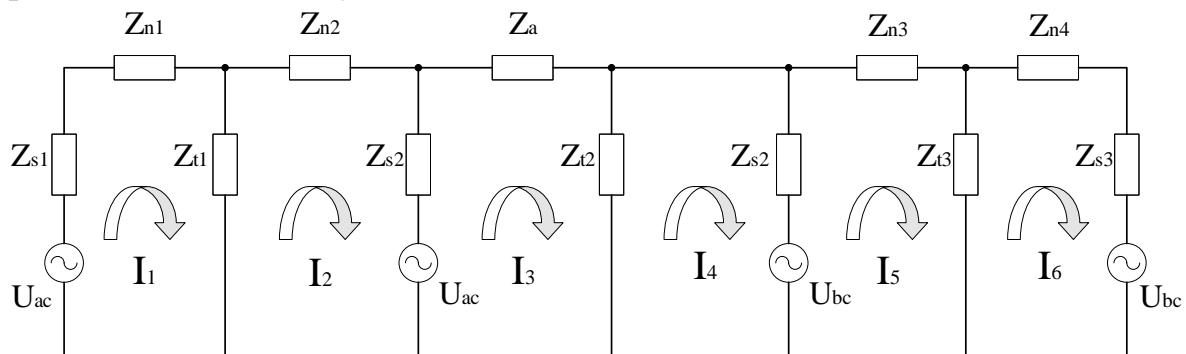
3-расм. Қурилмаларниң тузилмаси кўрсатилган: а) Сигнални қайта ишлаш ва узатиш модули (МОПС); б) ҳамда сигнални қабул қилиш модули (МПС)

Ток трансформаторидан (ТТ) келган сигнал аввало МК га тушади, у ерда аналог-рақамли ўзгартиргич (АЦП) блоки ёрдамида аналог сигнал рақамли шаклга ўтказилади ва микропроцессор (МП) га узатилади. Микропроцессор олинган сигнални белгиланган чегаравий параметрлар билан солишиширади. Агар сигналнинг даражаси ёки давомийлиги ушбу чегаралардан ошсагина сигнал GSM алоқа модулига узатилади. GSM модулида сигнал алоқа протоколига мувофиқ ўзгартирилади ва GPRS симсиз алоқа линияси орқали M2M технологияси ёрдамида тегишли сигнални қабул қилиш модулларига (МПС-1 ёки МПС-2) узатилади. Натижада, таклиф этилаётган нейтрал ўрнатмани ҳимоя қилиш усули ва уни амалга оширувчи қурилма, электр

харакатланувчи таркиб юклама токини ўчирмаган ҳолатда нейтрал ўрнатмага яқинлашганды, контакт тармоғи фидерларининг автоматик ўчирилишини таъминлайди.

Ток сенсори параметрларини аниқлаш мақсадида, фазаларо қисқа туташув жараёнининг математик ва компьютер моделлари таҳлил қилинди.

Электр тортув тармоқнинг алмашлаш схемаси тузилиб, тармоқ зоналарининг қаршиликлари Z_{n1} , Z_{n2} , Z_{n3} , Z_{n4} , тортувчи подстанциялар қаршилиги Z_{s1} , Z_{s2} , Z_{s3} , электровозлар қаршилиги Z_{t1} , Z_{t2} , Z_{t3} этиб белгиланди. Шунингдек, подстанция шиналаридағи ишчи кучланишлар U_{ac} ва U_{bc} этиб белгиланди (4-расм). Нейтрал ўрнатмадаги электр ёйи қаршилиги Z_a нинг қиймати қисқа туташувдан олдин чексизлика интилевчи ва қисқа туташув жараёнида нолга интилевчи қиймат билан белгиланди.



4- расм. Нейтрал қўйилмадаги қисқа туташув режимида бир йўлли участканинг тортиш тармоғини алмаштириш схемаси

Нейтрал ўрнатмадаги фазаларо қисқа туташув токи I_3 ни аниқлаш учун контур токлар методи воситасида тенгламалар системаси тузилди.

Агар барча ТПС шиналаридағи кучланиш модуллари тенг деб қабул қилинса, контур токлари усули билан алмаштириш схемаси тармоқларидаги токларни қуидаги тенгламалар тизимини ечиш орқали аниқланди:

$$\left\{ \begin{array}{l} (Z_{s1} + Z_{n1})\bar{I}_1 + Z_{t1}(\bar{I}_1 - \bar{I}_2) = \bar{U}_{ac} \\ -Z_{t1}(\bar{I}_1 - \bar{I}_2) + Z_{n2}\bar{I}_2 + Z_{s2}(\bar{I}_2 - \bar{I}_3) = -\bar{U}_{ac} \\ -Z_{s2}(\bar{I}_2 - \bar{I}_3) + Z_a\bar{I}_3 + Z_{t2}(\bar{I}_3 - \bar{I}_4) = \bar{U}_{ac} \\ -Z_{t2}(\bar{I}_3 - \bar{I}_4) + Z_{s2}(\bar{I}_4 - \bar{I}_5) = -\bar{U}_{bc} \\ -Z_{s2}(\bar{I}_4 - \bar{I}_5) + Z_{n3}\bar{I}_5 + Z_{t3}(\bar{I}_5 - \bar{I}_6) = \bar{U}_{ac} \\ -Z_{t3}(\bar{I}_5 - \bar{I}_6) + (Z_{n4} + Z_{s3})\bar{I}_6 = -\bar{U}_{bc} \end{array} \right. \quad (1)$$

Матрица шаклида тенгламалар системаси қуидагича бўлади:

$$[Z] [I] = [U]; \quad (2)$$

бу ерда:

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{11} & \cdots & Z_{16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{61} & \cdots & Z_{66} \end{bmatrix}; [I] = \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_6 \end{bmatrix}; [U] = \begin{bmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_6 \end{bmatrix}.$$

Тортув тармоғи, тортув нимстанцияси, электровоз ва ишчи кучланишнинг қаршиликлари қийматларига эга бўлиб, тармоқлар токларининг қиймати қуидаги формула билан аниқланди:

$$[I] = [Z]^{-1}[U]. \quad (3)$$

Фидер зоналаридаги юклама токлари 200А бўлган вазиятда, фазаларо қиқа туташув токи 350 – 550А диапазонда бўлиши аниқланди. Шунингдек, А фаза ва В фаза фидер зоналаридаги ток векторлари кучланиш векторларига нисбатан мос равшда -36° ва -32° дан, -8° ва -98° га ўзгариши кузатилди.

Юқори кучланишли хаво оралиғида турғун электр ёйи хосил қилувчи критик токни Ю.Г. Кубарев таклиф қилган формула воситасита аниқлаш мумкин:

$$I_k = I_s \sqrt{\frac{a}{a+1}}, \quad (4)$$

бунда: I_s – ёй оралиғини қисқа туташтирувчи ток, А; a – ёй хосил бўлган муҳит коэффициенти.

Ёй оралиғини қисқа туташтирувчи ток катталигини аниқлаш учун, ёйнинг критик оралиқ масофасини изохловчи қуйидаги формуласидан фойдаланиш мумкин:

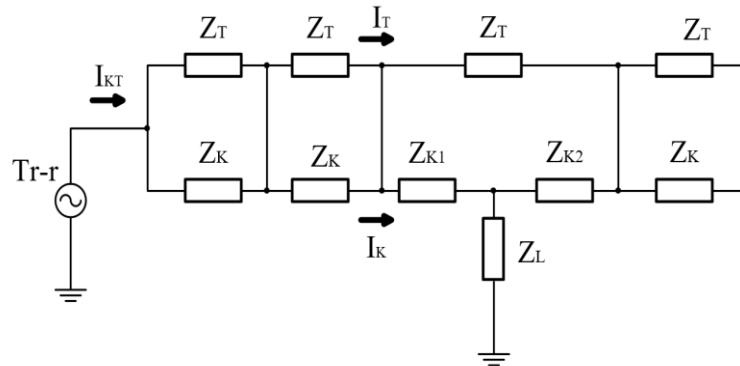
$$l_{k=} = \frac{I_s^a U_m}{C} \sqrt{\frac{a^a}{(1+a)^{1+a}}}, \quad (5)$$

бунда: U_m – ёй хосил қилувчи оралиқ кучланишининг амплитудаси, кВ (контакт тармоғи учун $U_m=36$ кВ); C – ёй хосил бўлган муҳит коэффициенти.

Юқоридаги формулалар асосида, критик ток қийматини қуйидагича изохлаш мумкин:

$$I_k = \left[\frac{C l_k}{U_m} \sqrt{\frac{(1+a)^{1+a}}{a^a}} \right]^{\frac{1}{a}} \sqrt{\frac{a}{a+1}}. \quad (6)$$

Контакт осмасидаги токнинг маълум бир қисми ток сенсори ўрнатилган тросдан ўтади ва токнинг тросдан ўтувчи улушини 5-расмда қўрсатилган алмашлаш схемасини хисоблаш орқали аниқлаш мумкин.



5- расм. Занжирли контакт осмаси симларидаги токларни хисоблаш учун алмашлаш схемаси

Алмашлаш схемасидаги тутиб турувчи тросдан ўтувчи ва контакт симидан ўтувчи токларни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$I_t = \frac{Z_{kt}}{Z_{tk} + Z_{kt}} I_{k.t}, \quad I_k = \frac{Z_{tk}}{Z_{tk} + Z_{kt}} I_{k.t}, \quad (7)$$

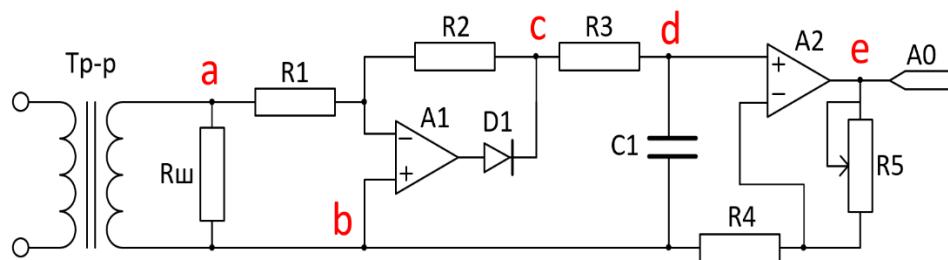
бу ерда: $Z_{kt} = r_k + jm(0,25 + \ln \frac{d_{kt}}{R_k})$, $Z_{tk} = r_t + jm(0,25 + \ln \frac{d_{kt}}{R_t})$.

Электровознинг минимал истеъмол токи 2-3 А эканлиги инобатга олинса, ток трансформаторидан ўтувчи минимал ток кучи 0,8-1 А бўлади.

Диссертациянинг “Ток сенсорлари воситасида нейтрал ўрнатмани ҳимоялаш тизимини ишлаб чиқиши” деб номланган учинчи боби янги тизим учун асосий техник талаблар асосида ток сенсорининг техник параметрларини аниқлаш ва ток сенсори ишлаш жараёнининг компьютер моделини ишлаб чиқиши ҳамда уларининг динамик характеристикалари тадқиқотига бағишиланган.

Мавжуд ПБСМ-95+МФ-100 русумли контакт осмасидаги токнинг 38% қисми тутиб турувчи трос орқали ўтишини инобатга олсан, тросга ўрнатилган сенсорга таъсир этувчи ток 280 А гача ортиши мумкинлигини инобатга олган ҳолда ток сенсорлари воситасида нейтрал ўрнатмани ҳимоялаш тизимини ишлаб чиқилди.

Сигнал ўзгартгичга узатилган икки қутбли сигнал, бир қутбли сигналга ўзгартрилади (6-расм). Паст частотали актив фильтр воситасида юқори частотали шовқинлар сўндирилади. Сигнал амплитудаси, микроконтроллернинг аналог портига мос даражада кучайтирилади.



6-расм. Сигнал ўзгартгич модулнинг принципиал схемаси

Аналог порт орқали қабул қилинган сигнал, микроконтроллернинг аналог-рақамли ўзгартгичида рақамли сигналга ўгирилади. Процессорда арифметик амалларни бажариш орқали сигналнинг эффектив қиймати хисобланади ва олинган натижа белгиланган меёр билан солиштирилади. Ўлчангандан қиймат меёрдан ортиқ бўлса, радиоалоқа модули орқали шлюзга сигнал узатилади.

Трансформация коэффициенти k бўлган ток трансформаторининг иккиласи чўлгамига уланган $R_{\text{ш}}$ қаршиликда, бирламчи I токка пропорционал ўзгарувчи U_{ab} кучланиш хосил бўлади:

$$U_{ab} = kIR_{\text{ш}}. \quad (8)$$

A_1 операцион кучайтиргич D_1 диод воситасида занжирнинг с нуқтасида, бир қутибли U_{cb} кучланишга ўзгартрилади:

$$U_{cb} = \frac{R_2}{R_1} U_{ab}, \quad (9)$$

бунда: R_1 ва R_2 резисторлар қаршилиги тенг бўлиши лозим.

A_2 операцион кучайтиргичнинг мусбат киришига R_3 резистори ва C_1 конденсаторини бўлгич сифатида улаш орқали, занжирнинг d нуқтасида $f=50$ Гц дан юқори частотали шовқинлар сўндирилган U_{db} сигнални олиш мумкин:

$$U_{db} = \frac{U_{cb}}{2\pi f R_3 + 1}. \quad (10)$$

Аналог-рақамли ўзгартгичнинг А0 кириш портидаги қучайтирилган U_{eb} кучланиш амплитудасини R5 резистор қаршилигини ўзгартириш орқали созлаш мумкин:

$$U_{eb} = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) U_{db}. \quad (11)$$

Аналог-рақамли ўзгартгичнинг кириш портидаги қучланишнинг контакт осмаси токига боғлиқлигини қўйидаги эмпирик формула орқали аниқлаш мумкин:

$$U_{eb} = \frac{kIR_{\text{ш}}R_2(R_4+R_5)}{R_4(2\pi f R_3+1)} \quad (12)$$

Кучайтирилган бир қутибли сигнал, аналог-рақамли ўзгартгич воситасида 1 миллисекунд интервал билан 20 марта ўлчанади ва 20 та қийматдан иборат сонлар массиви микроконтроллернинг оператив хотирасига ёзилади.

Процессорда массивдаги сонларнинг ўртача квадрат қиймати ҳисобланади:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_{19}^2 + V_{20}^2}{20}}. \quad (13)$$

Натижа синусоидал сигналнинг таъсир этувчи қийматига яқин бўлади:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \sin^2(\omega t) dt}. \quad (14)$$

Контакт осмасидаги токнинг хақиқий эффектив қиймати I_{KT} , сигнал ўзгартгичга кирувчи ва чиқувчи сигналларнинг боғлиқлиги коэффиценти F , аналог рақамли ўзгартгичнинг кучланиш диапазони U_{adc} ва разряди n инобатга олинган ҳолда аниқланади:

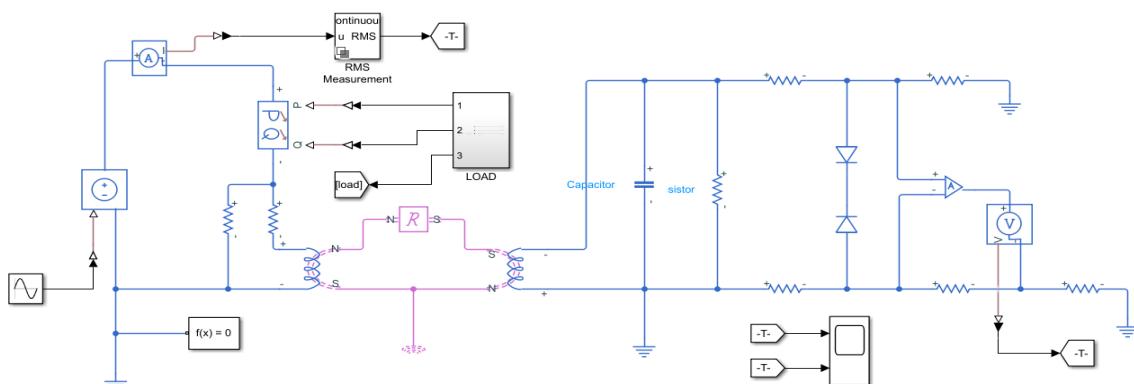
$$I_T = 0,38 I_{KT}, \quad (15)$$

$$U_{eb} = \frac{U_{adc}}{2^n} V_{RMS}, \quad (16)$$

$$F = \frac{R_4(2\pi f R_3+1)}{kR_{\text{ш}}R_2(R_4+R_5)}, \quad (17) \quad I_{KT} = 2,63 \cdot F \cdot U_{adc} \cdot V_{RMS} \cdot 2^{-n}. \quad (18)$$

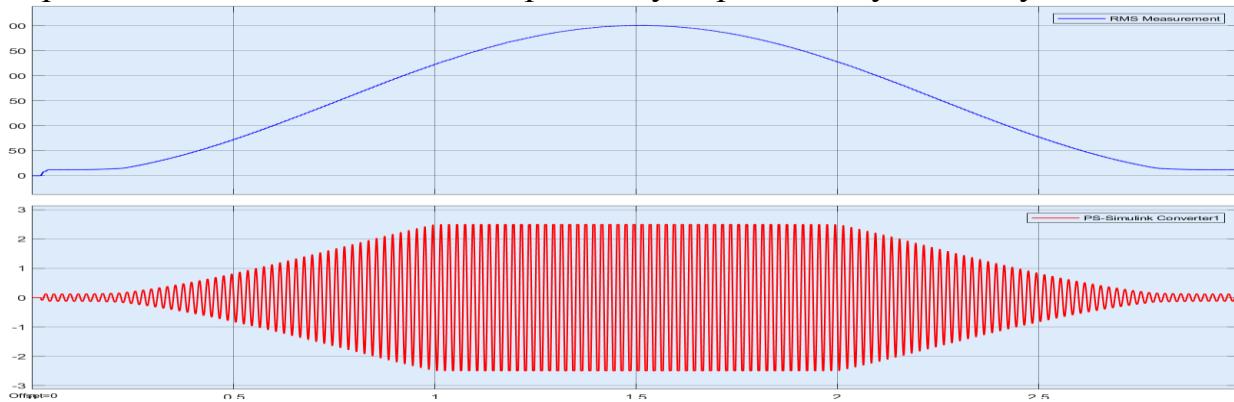
Мазкур тенлик асосида ток сенсоридаги элементлар параметрларини тўғри танлаш мумкин.

Синов моделини ясащдан олдин, тузилган схемадаги жараёнларни MATLAB Simulink компьютер дастури воситасида тахлил қилиб ўрганиш мақсадга мувофиқ. Схеманинг симуляцион модели 7-расмда кўрсатилган тарза йиғилади ва занжирдаги элементларга ҳисобланган параметрлар киритилади.



7- расм. Ток сенсори схемасининг симуляцион модели

Симуляцияядан олинган натижани 8- расмда күриш мумкин. Симуляция жараёнида, микроконтроллерга киравчи сигнал кучланишининг контакт тармоғидаги ток қийматига мос равшда ўзгаришини қузатиш мумкин.



8-расм. Симуляцион моделда ўлчангандар бирламчи ток ва иккиламчи кучланиш ўзгариши

Таклиф этилган тизимнинг самарали ишлаши учун ток сенсори билан биргаликда шлюз модули ва бажарувчи модуллар ўзаро мутаносиб ишлашлари талаб этилади. Шу мақсадда, тизимдаги учала функционал модулларнинг биргаликда ишлашини таъминловчи алгоритмлар ишлаб чиқилди. Мазкур алгоритмлар, хар бир модулнини бошқарувчи микроконтроллерларни дастурлаш учун манба бўлиб хизмат қиласди.

Диссертациянинг “**Ток сенсорли ҳимояловчи тизимнинг экспериментал тадқиқи ва ишончлилиги**” деб номланган тўртинчи бобида ток сенсорли нейтрал ўрнатмаларни фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимоялаш тизими тажриба синов моделларини ясаш, уларни тармоқда синовдан ўтказиш ва синов натижаларининг таҳлили келтирилган.

Синов моделини ясаш учун 200/5 номиналдаги, ажralувчи ўзакли ток трансформатори танланди. Сигнални бир қутбли қилиб ўзгартириш, фильтрлаш ва кучайтириш мақсадида **LM385** русумли операцион кучайтиргичлар ўрнатилди. Сигнални қайта ишлаш ва шлюзга узатиш мақсадида, Wi-Fi радиомодули мавжуд бўлган 32 битли **ESP32** микроконтроллери дастурланди ва ўрнатилди. Сенсорнинг автоном электр таъминоти учун 2 дона 3,5 А*соат қувватли аккумуляторлар ва 2x2 Вт қувватли қуёш панеллари ўрнатилди. Ижрочи модулининг синов моделини шакллантириш мақсадида, ESP-32 русумли микроконтроллер, LoraWAN русумли радиоузатиш модули, электромагнит релелар ва таъминот блоки экранловчи қути ичига жойлаштирилди(9- расм).



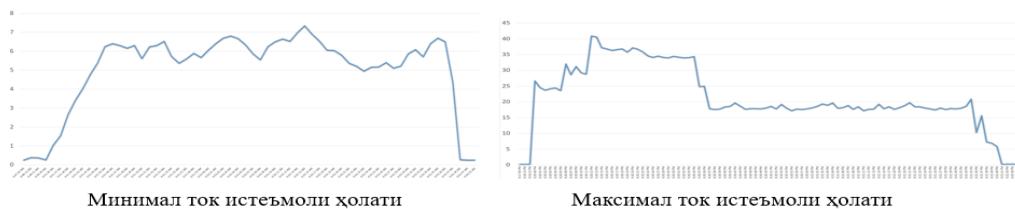
9-расм. Ток сенсорли нейтрал ўрнатмаларни фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимоялаш қурилмаларининг синов модели

Темир йўл контакт тармоғи нейтрал ўрнатмада содир бўлувчи фазаларо қисқа туташувнинг олдини олувчи автоматлаширилган тизим “Темирйўлинфратузилма” АЖ га қарашли Тошкент электр таъминот масофасининг Далагузар подстанцияси ва Далагузар бекати контакт тармоғида мувафақиятли синовдан ўтказилди ва олинган, сутка давомидаги маълумотлар таҳлил қилинди (10- расм).

Сутка давомида сенсор ўрнатилган тутиб турувчи тросдан минимал 5 А дан максимал 40 А гача ток ўтганлиги аниқланди. Тутиб турувчи тросдан контакт осмаси токининг 38% улуши ўтиши инобатга олинса, ток сенсори ўрнатилган зонадан ўтиш вақтида, электровозлар минимал 13 А ва максимал 105 А ток истеъмол қилганлигини аниқланди. Ток сенсори ўрнатилган мазкур нуқта учун ток меёрини 1 А қилиб ўрнатилди.

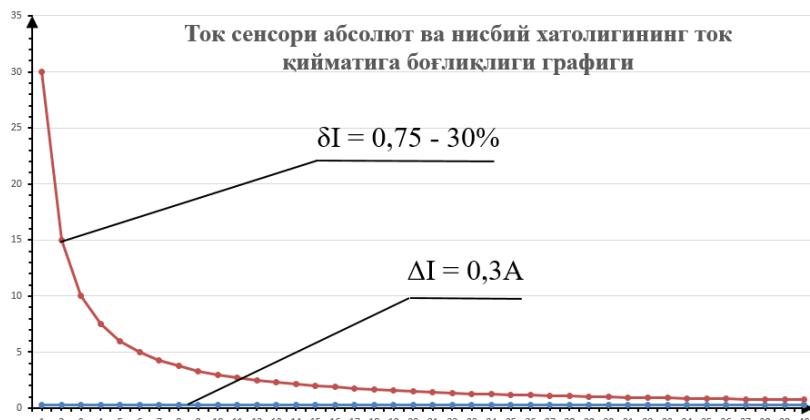


Ток сенсори ўлчаган бир суткалик ток графиги



10- расм. Ток сенсори ўлчаган ток кучининг суткалик ўзгариш графиги

Ток сенсорининг нисбий ва абсолют хатолигининг ўзгариш графиги 11 расмда келтирилган. Ток сенсорининг абсолют хатолиги 0,3 А бўлса, унинг нисбий хатолиги юклама токи қийматига боғлиқ равшда 0,75% дан 30% гача ўзгарди.



11- расм. Ток сенсорининг нисбий ва абсолют хатолигининг ўзгариш графиги

Ток трансформаторининг трансформация коэффициентини камайтириш орқали, сенсорининг нисбий ва абсолют хатолигини камайтириш мумкин. Аммо, ўлчаниши шарт бўлган минимал 0,8÷1 А ток қиймати абсолют

аниқликдан 3 марта ортиқ бўлганлиги сабабли, ток трансформаторини алмаштиришга эхтиёж йўқ.

Иловада диссертацияга оид қўшимча маълумотлар, шу жумладан диссертация натижаларини ишлаб чиқаришга жорий этиш далолатномаси ва маълумтономаси келтирилган.

ХУЛОСА

“Контакт тармоғи нейтрал ўрнатмаларини фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимоялаш усули” мавзусидаги диссертация ишини бажариш жараёнида қўйидаги илмий натижалар олинди:

1. Темир йўл контакт тармоғи нейтрал ўрнатмаларида қисқа туташувлар пайдо бўлиши, улардан контакт осмаси ва ток қабул қилгичларни ҳимоя қилишда юқори ишончлилик ҳамда оддий конструкцияга, ҳимояни юқори тезлигини таъминлаш учун рақамли сигнал алмашинувига, тармоқ ўчиригичларини вақтида ўчириш ишларини бажаришга ҳамда ушбу талабларга кўп жиҳатдан нейтрал ўрнатмаларни қисқа туташув токларидан ҳимояловчи тизим жавоб бериши аниқланди.

2. Контакт тармоғи нейтрал ўрнатмаларини аналог-рақамли ўзгартиргич, микропроцессор ва симсиз узатиш қурилмаларидан иборат қисқа туташув токларидан ҳимояловчи юқори ишончликка эга ва хизмат қўрсатиш қулай бўлган нейтрал ўрнатмаларини ҳимояловчи янги тизим ишлаб чиқилди.

3. Контакт тармоғи нейтрал ўрнатмаларида турли қисқа туташув токлари мавжуд ҳолатини инобатга олган ҳолда математик моделлари ишлаб чиқилди.

4. Ток сенсорли модулларни ўрнатиш орқали электр тортувчи тармоқ релели ҳимоя ва автоматика тизимининг янги тузилмаси ишлаб чиқилди.

5. Контакт тармоғида юклама токининг контакт сими ва тутиб турувчи трос орасида тақсимланинш тенгламаси орқали ток сенсори сезиши шарт бўлган минимал ток қийматини аниқлаш усули ишлаб чиқилди.

6. Контакт тармоғи нейтрал ўрнатмасини фазалараро қисқа туташув токларидан ҳимояловчи, янги усул - рақамлаштирилган сигнални микропроцессорда қайта ишлаш ва kontakt тармоғидаги токнинг таъсир этувчи қийматини аниқлаш механизми ишлаб чиқилди.

7. Ток сеноридаги аналог-рақамли ўзгартиргичга сигнал амплитудаси ва сифатини мослаштириш мақсадида, операцион кучайтиргичлар воситасида сигнал ўзгартирилган модул схемаси ишлаб чиқилди ва унинг элементлари параметрларининг ўзаро боғлиқлик формуласи аниқланди.

8. Рақамлаштирилган сигнални микропроцессорда қайта ишлаш ва kontakt тармоғидаги токнинг таъсир этувчи қийматини аниқлаш механизми ишлаб чиқилди.

9. Темир йўл контакт тармоғи нейтрал ўрнатмада содир бўлувчи фазалараро қисқа туташувнинг олдини олевчи автоматлаштирилган тизим “Темирйўлинфратузилма” АЖ га қарашли Тошкент электр таъминот масофасининг Далагузар подстанцияси ва Далагузар бекати kontakt тармоғида мувафақиятли синовдан ўтказилган бўлиб, кутилаётган йиллик иқтисодий самарадорлик 152 млн. сўмни ташкил этади, харажатлар 1 ойда қопланади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.15/31.08.2022.T.73.07 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

НОРЖИГИТОВ САЙФИДДИН АБДУХАКИМОВИЧ

**СПОСОБ ЗАЩИТЫ НЕЙТРАЛЬНЫХ ВСТАВОК КОНТАКТНОЙ
СЕТИ ОТ ТОКОВ МЕЖФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

05.08.05 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

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

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2025.1.PhD/T5462.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.tstu.uz) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Амиров Султон Файзуллаевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Гайибов Тулкин Шерназарович
доктор технических наук, профессор

Раджибаев Давран Октамбаевич
доктор технических наук (DSc), доцент

Ведущая организация:

**Институт проблем энергетики
Академии наук Республики Узбекистан**

Защита диссертации состоится «____» 01_2026 г. в _____ часов на заседании Научного совета DSc.15/31.08.2022.T.73.07 по присуждению ученых степеней при Ташкентском государственном транспортном университете. (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирйулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (зарегистрировано № 302). (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирйулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-05-66.

Автореферат диссертации разослан «29» декабрь 2025 года.
(реестр протокола рассылки № 6 от «27» декабрь 2025 года).

P.B. Рахимов

Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических, профессор

Я.О. Рузметов

Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических, профессор

Р.М. Мирсаатов

Председатель научного семинара
при научном совете по
присуждению учёных степеней,
доктор технических, профессор

ВВЕДЕНИЕ (автореферат диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации.

В мире уделяется особое внимание разработке технических средств и передовых технологий, обеспечивающих безопасное и бесперебойное движение железнодорожного подвижного состава, а также повышение эффективности его работы. В настоящее время в развитых странах работы по созданию технических средств и передовых технологий, обеспечивающих безопасное и непрерывное движение железнодорожного подвижного состава и повышение его эффективности, ведутся ускоренными темпами. В этом направлении особое внимание уделяется разработке оптимальных конструкций контактной сети железных дорог, в том числе повышению производительности нейтральных вставок контактной сети, обеспечению безопасной и бесперебойной работы электрического подвижного состава, а также его надёжной защите.

В мире проводятся научные исследования, направленные на электрификацию высокоскоростных железнодорожных магистралей, в частности на обеспечение безопасного и бесперебойного прохождения электрического подвижного состава через нейтральные вставки контактной сети железных дорог, а также на совершенствование конструкции контактной сети. В данном направлении, в частности, нейтральные вставки являются одними из уязвимых элементов контактной сети, и ведутся научные исследования, направленные на решение актуальных задач по обеспечению надёжной защиты данного элемента с использованием существующих релейных защит и систем автоматики. В этой связи возникает необходимость разработки методов защиты нейтральных вставок контактной сети от межфазных токов короткого замыкания, а также создания автоматизированной системы, предотвращающей возникновение межфазных коротких замыканий в нейтральной вставке.

В нашей республике принимаются меры по развитию различных отраслей транспорта, в том числе по развитию инфраструктуры железнодорожного транспорта, расширению участков высокоскоростного подвижного состава, повышения безопасности движения на существующих железнодорожных территориях. В Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы, поставлены задачи «...повышение энергоэффективности экономики на 20%, создание возможности транспортных перевозок до пункта назначения и обратно»². При реализации этих задач необходимо создание методы защиты от токов межфазного короткого замыкания новых нейтральных установок, используемых в электрифицированной железнодорожной контактной сети, отвечающих современным требованиям, а также разработка методики расчета их математических моделей и параметров.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Законе Республики Узбекистан от 15

² Указ Президента Республики Узбекистан от 28.01.2022 года № УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

апреля 1999 года № 766-І "О железнодорожном транспорте," Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 "О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы," Постановлении Президента Республики Узбекистан от 26 мая 2017 года № ПП-3012 "О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы," а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Научные исследования, направленные на решение актуальных задач по разработке методов защиты нейтральных вставок электрифицированной железнодорожной контактной сети от токов межфазного короткого замыкания, проводятся в ведущих научных учреждениях: Е.П. Фигурнов, А.Л. Бикадоров, А.В. Жуков, Е.Ю. Семенова, Ю.В. Иодко, В.И. Карпенко, Д.В. Семенова, Белов, Б.Е. Геронимус, Б.Е. Дынькин, Ю.И. Жарков, В.А. Зимаков, В.Я. Овласюк, Л.И. Шухатович, Х.В.Фанк, Т. Либах, А.И. Чернов, В.Г. Хромов, А.Н. Кулешов, С.Д. Соколов, В.Н. Пупынин и другие, а также узбекские ученые С.Ф. Амиров, И.Н. Баянов, Т.Н. Бадретдинов и И.А. Каримов.

Усилиями этих ученых были предложены и внедрены в производство решения по эффективному гашению электрической дуги, происходящей в нейтральной вставке, и повышению чувствительности к токам короткого замыкания за счет совершенствования железнодорожной контактной сети и системы релейной защиты.

Однако, в то же время, научные исследования, посвященные разработке способов защиты нейтральной вставки контактной сети от тока межфазного короткого замыкания, разработке автоматизированной системы предотвращения межфазного короткого замыкания, происходящего в нейтральной вставке, проведены недостаточно.

Связь диссертационного исследования с планом научно-исследовательских работ ВУЗа, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ по теме № 6 «Способы защиты нейтральных вставок контактной сети от токов межфазного короткого замыкания» (2018-2022 гг.) плана научно-исследовательских работ Ташкентского государственного транспортного университета.

Целью исследования разработка автоматической системы предотвращения межфазного короткого замыкания, происходящего в нейтральной вставке железнодорожной контактной сети.

Задачи исследования: изучение возникновения и протекания процесса межфазного короткого замыкания в нейтральных вставках контактной сети и

выявление недостатков существующих систем и средств защиты от этих токов;

разработка принципа работы нового способа защиты нейтральной вставки контактной сети от токов межфазного короткого замыкания;

изучение математической и компьютерной модели процесса межфазного короткого замыкания в нейтральной вставке контактной сети;

создание новой модели системы, обеспечивающей работу нового способа защиты нейтральной вставки контактной сети от токов межфазного короткого замыкания;

определение параметров элементов новой системы и алгоритмов их работы;

создание тестовых моделей элементов новых систем и проведение их экспериментальных испытаний;

анализ результатов экспериментальных испытаний новой системы и на этой основе оценка эффективности нового метода.

Объектом исследования является нейтральная вставка железнодорожной контактной сети.

Предметом исследования являются системы защиты нейтральной вставки железнодорожной контактной сети от тока короткого замыкания и их основные технические характеристики.

Методы исследования. В процессе исследования использовались методы замены расчетных уравнений процесса межфазного короткого замыкания в нейтральной вставке железнодорожной контактной сети и методы прямого математического моделирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

контактная нейтральная вставка сети разработана на основе аналого-цифрового преобразователя, микропроцессора и устройств беспроводной передачи сигнала, обеспечивающих защиту от межфазных токов короткого замыкания, в связи с чем создана новая система, обладающая высокой надёжностью и удобством обслуживания;

разработаны математические и имитационные модели нейтральной вставки контактной сети с учётом межфазных токов короткого замыкания различных значений;

разработана методика расчёта параметров защиты нейтральной вставки контактной сети от межфазных токов короткого замыкания с учётом различных эксплуатационных характеристик на основе схем их коммутации;

разработан комплекс новых устройств с токовыми датчиками, обеспечивающий возможность защиты нейтральных вставок контактной сети от межфазных токов короткого замыкания для системы релейной защиты и автоматики электрической тяговой сети.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

получены аналитические и численные зависимости для исследования процесса межфазного короткого замыкания в нейтральной вставке контактной сети;

разработана новая система защиты и ее аппаратная база с надежными техническими характеристиками для повышения эффективности и безопасности работы железнодорожного транспорта.

Достоверность результатов исследования обоснована обоснованным применением законов работы элементов автоматизированной системы, предотвращающих межфазное короткое замыкание, происходящее в нейтральных установках, а также соответствием теоретических и экспериментальных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования объясняется полученными аналитическими уравнениями для исследования характеристик автоматизированной системы, предотвращающей межфазное короткое замыкание, происходящее в новой нейтральной вставке.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что разработана автоматизированная система предотвращения межфазных коротких замыканий в нейтральных вставках контактной сети, полученные результаты предотвращают межфазные короткие замыкания в нейтральных вставках контактной сети и обеспечивают безопасность электроподвижного состава.

Внедрение результатов исследований. На основании полученных результатов по автоматизированной системе предотвращения межфазного короткого замыкания, происходящего в нейтральной вставке контактной сети:

получен патент на изобретение государственного учреждения "Центр интеллектуальной собственности" при Министерстве юстиции Республики Узбекистан (№ IAP 7782; 2024 г.) на способ защиты нейтральных вставок контактной сети от токов межфазного короткого замыкания. В результате создано устройство автоматизированной системы предотвращения межфазных коротких замыканий, происходящих в железнодорожной нейтральной вставке;

способ защиты нейтральных установок контактной сети от токов межфазного короткого замыкания была успешно протестирована на контактной сети подстанции Далагузар и станции Далагузар Ташкентского дистанционного электроснабжения АО "Темирйўлинфратузилма" (справка АО "Узбекистон темир йуллари" № 03/1976-25 от 19 сентября 2025 г.). В результате использование автоматизированной системы предотвращения межфазных коротких замыканий в нейтральной вставке новой контактной сети позволило обеспечить качественное и бесперебойное электроснабжение электроподвижного состава.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования прошли апробацию на 10 научно-практических конференциях, в том числе на 7 международных (из них 3 на базе Scopus) и на 8 республиканских конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, из них 4 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики

Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 2 статей в зарубежных и 4 статей в республиканских журналах, а также получены 2 патента на изобретение и 3 свидетельства на программное обеспечение для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет из 115 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, освещено состояние вопроса, сформулированы цель и задачи исследования, даны характеристики объекту и предмету исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов; раскрыта теоретическая и практическая значимость; приведены сведения о внедрении результатов диссертационного исследования в производство.

В первой главе диссертации "Состояние проблемы и постановка задач исследования" изучено протекание электрических процессов в тяговой сети переменного тока и значение нейтральных вставок в этих процессах.

С целью симметричного распределения нагрузок по фазам внешней системы электроснабжения левое и правое плечи тяговых подстанций питаются от различных фаз системы (рис 1). Для безопасного перемещения электроподвижного состава с одного плеча подстанции на другое применяются нейтральные вставки. Электрическая дуга возникает в процессе последовательного прохождения пантографа электроподвижного состава без отключения тока нагрузки через соединения между точками NS и SK нейтральной вставки. Электрические дуги замыкают точки N и K с разностью потенциалов $U_c = 25$ кВ. Проход через нейтральные вставки под током нагрузки строго запрещен.

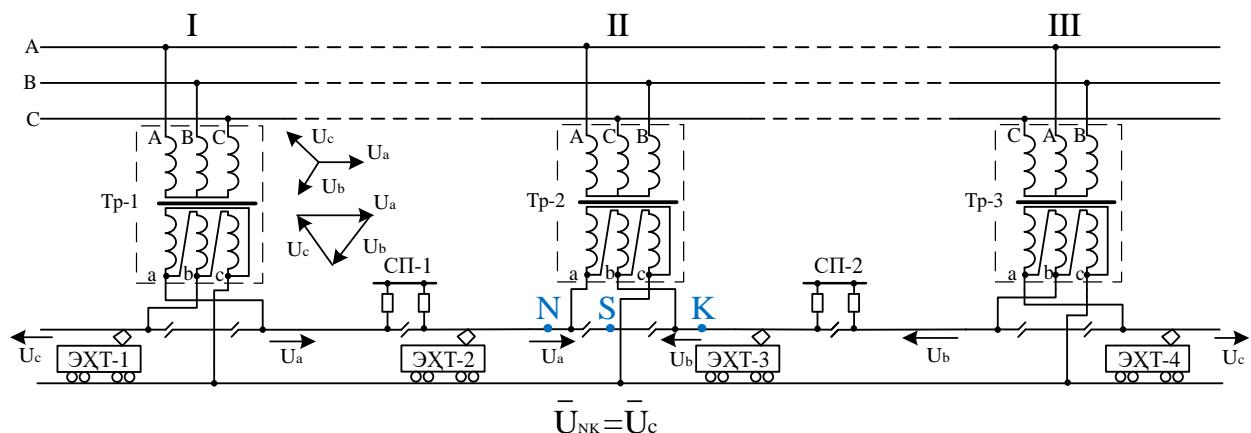


Рис. 1. Функциональная схема симметричного распределения нагрузок по фазам внешней системы электроснабжения: Тр-1-2-3 - тяговые подстанции; СП-1-2 - пункты секционирования; U_a, U_b, U_c - напряжения в контактной сети; ЭВТ-1-2-3-4 - электроподвижные составы

Сила тока во вторичных обмотках тягового трансформатора ТР-2 вблизи нейтральной вставки увеличивается до нескольких тысяч ампер, и срабатывает система релейной защиты. Однако в большинстве случаев из-за высокого импеданса между подстанциями сила тока во вторичных обмотках трансформаторов ТР-1 и ТР-3 недостаточна для запуска системы релейной защиты. Этот процесс продолжается до тех пор, пока провода контактной подвески в нейтральной вставке не расплавятся, не разорвутся и не создадут короткое замыкание с землей. Поэтому проход через нейтральные вставки под током нагрузки категорически запрещен.

Проанализирован процесс возникновения межфазного короткого замыкания в нейтральной вставке контактной сети и его влияние на работу электрической тяговой сети.

Проанализированы неисправности нейтральных вставок за последние 10 лет и масштабы материального ущерба, причиненного ими. Из 407 крупных повреждений контактной сети 14 произошли в нейтральных вставках, в результате чего 15 пассажирских поездов остановились более 11 часов, а 32 грузовых поезда - более 35 часов. Установлено, что повреждения причинили материальный ущерб на сумму более 412 млн. сумов.

Общим недостатком всех существующих методов защиты нейтральных вставок от тока межфазного короткого замыкания оказалось то, что они активируются только после возникновения короткого замыкания. То есть, пока не заработает система защиты и не будет отключено напряжение в сети, электрооборудование в нейтральной вставке будет находиться под воздействием сильной электрической дуги в течение определенного времени. Ни один из существующих методов не направлен на предотвращение короткого замыкания.

Исходя из результатов анализа литературных источников и поставленной цели, были определены основные задачи исследования.

Во второй главе диссертации "**Совершенствование методов защиты нейтральных вставок от токов короткого замыкания**" разработана конструкция и принцип работы новой системы защиты нейтральных вставок от токов короткого замыкания.

Предложенный новый метод, свободный от недостатка, присущего всем существующим методам, предопределяет возникновение межфазного короткого замыкания и добивается отключения напряжения в сети до возникновения короткого замыкания.

Электрический подвижной состав (электровоз, электропоезд), приближающийся к нейтральной вставке, сначала проходит мимо знака "выключить электричество" (5) и под сенсором тока (МОПС-1) (рис. 2). Если в этот момент машинист не отключил ток нагрузки, то, согласно законам Кирхгофа, между точками а и б по параллельным ветвям протекают токи I_1 и I_2 соответственно, а их сумма составляет общий ток нагрузки (I_L). Под действием тока I_2 во вторичной обмотке трансформатора тока ТТ-1 образуется аналоговый сигнал, который передается на МОПС-1. В МОПС-1 сигнал

преобразуется в цифровую форму, сравнивается с заданными пороговыми значениями.

Если уровень или длительность сигнала превышает заданный предел, то сигнал передается от МОПС-1 по беспроводной сети связи к модулю МПС-1. После этого МПС-1 подает команду отключения на выключатель ВВ-1, в результате чего отключается напряжение слева от нейтральной вставки. Таким образом, предотвращается возникновение межфазного короткого замыкания в нейтральной вставке.

Если электроподвижной состав движется в обратном направлении, процесс протекает аналогично, но в этом случае защита нейтральной вставки от тока межфазного короткого замыкания осуществляется с помощью модулей ТТ-2, МОПС-2 и МПС-2. Для уменьшения зоны отключения связь между модулями организована таким образом, чтобы МОПС-1 мог передавать сигнал только на МПС-1, а МОПС-2 только на МПС-2. Таким образом, от напряжения отключается фидерная зона нейтральной вставки на стороне движения только электрического подвижного состава.

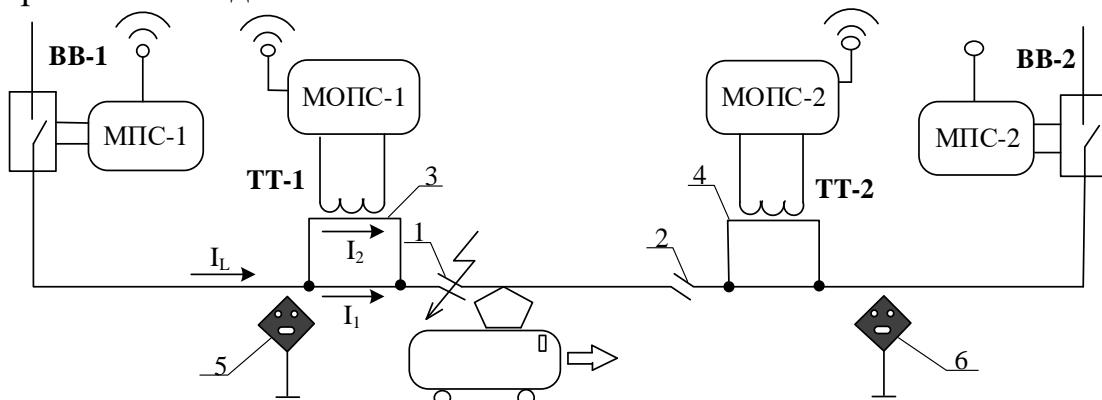


Рис. 2. Функциональная схема способа защиты нейтральных включений контактной сети от межфазных коротких замыканий: 1-2 - изолирующие соединения; 3-4 - электрические шунты; 5-6 - знак "выключить ток"; ТТ-1 и ТТ-2 трансформаторы тока; МОПС-1-2 - модуль обработки и передачи сигнала; МПС-1-2 - модули приема сигнала; ВВ-1-2 - высоковольтные автоматические выключатели

Основными функциональными элементами при реализации предлагаемого метода являются модули МОПС-1 и МОПС-2, которые состоят из трех основных компонентов (рис. 3, а): микроконтроллер (МК); GSM-модуль связи; блок питания (БП).

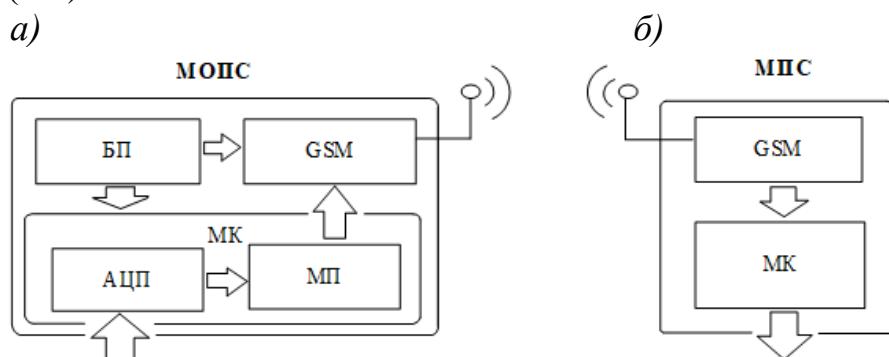


Рис. 3. модуль обработки и передачи сигнала (МОПС) (а) и модуль приема сигнала (МПС) (б)

Сигнал от трансформатора тока (ТТ) сначала поступает в МК, где с помощью блока аналого-цифрового преобразователя (АЦП) аналоговый сигнал преобразуется в цифровую форму и передается на микропроцессор (МП). Микропроцессор сравнивает полученный сигнал с заданными пороговыми параметрами. Если уровень или длительность сигнала превышает эти пределы, то сигнал передается на GSM-модуль связи. В GSM-модуле сигнал преобразуется в соответствии с протоколом связи и передается по беспроводной линии связи GPRS на соответствующие модули приема сигнала (МПС-1 или МПС-2) с помощью технологии M2M. В результате предлагаемый способ защиты нейтральной вставки и устройство, реализующее его, обеспечивает автоматическое отключение фидеров контактной сети при приближении электроподвижного состава к нейтральной вставке без отключения тока нагрузки.

С целью определения параметров датчика тока были проанализированы математические и компьютерные модели процесса межфазного короткого замыкания.

Составлена схема замещения электрической тяговой сети, сопротивления зон сети $Z_{n1}, Z_{n2}, Z_{n3}, Z_{n4}$, сопротивления тяговых подстанций Z_{s1}, Z_{s2}, Z_{s3} , сопротивления электровозов Z_{t1}, Z_{t2}, Z_{t3} . Также рабочие напряжения на шинах подстанции обозначены как U_{ac} и U_{bc} (рис. 4). Значение сопротивления электрической дуги Z_a в нейтральной вставке определялось значением, стремящимся к бесконечности до короткого замыкания и стремящимся к нулю в процессе короткого замыкания.

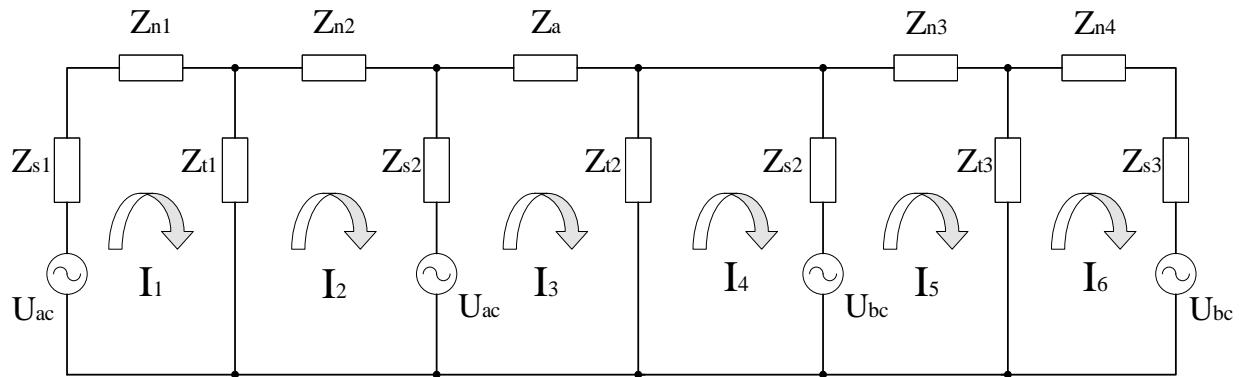


Рис 4. Схема замены тяговой сети однопутного участка в режиме короткого замыкания в нейтральной вставке

Если принять, что модули напряжения на всех шинах ТПС равны, то токи в сетях схемы замещения методом контурных токов определялись путем решения следующей системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} (Z_{s1} + Z_{n1})\bar{I}_1 + Z_{t1}(\bar{I}_1 - \bar{I}_2) = \bar{U}_{ac} \\ -Z_{t1}(\bar{I}_1 - \bar{I}_2) + Z_{n2}\bar{I}_2 + Z_{s2}(\bar{I}_2 - \bar{I}_3) = -\bar{U}_{ac} \\ -Z_{s2}(\bar{I}_2 - \bar{I}_3) + Z_a\bar{I}_3 + Z_{t2}(\bar{I}_3 - \bar{I}_4) = \bar{U}_{ac} \\ -Z_{t2}(\bar{I}_3 - \bar{I}_4) + Z_{s2}(\bar{I}_4 - \bar{I}_5) = -\bar{U}_{bc} \\ -Z_{s2}(\bar{I}_4 - \bar{I}_5) + Z_{n3}\bar{I}_5 + Z_{t3}(\bar{I}_5 - \bar{I}_6) = \bar{U}_{ac} \\ -Z_{t3}(\bar{I}_5 - \bar{I}_6) + (Z_{n4} + Z_{s3})\bar{I}_6 = -\bar{U}_{bc} \end{array} \right. . \quad (1)$$

Система уравнений в матричной форме выглядит следующим образом:

$$[Z] [I] = [U]; \quad (2)$$

здесь:

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{11} & \cdots & Z_{16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{61} & \cdots & Z_{66} \end{bmatrix}; [I] = \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_6 \end{bmatrix}; [U] = \begin{bmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_6 \end{bmatrix}.$$

Значения сопротивлений тяговой сети, тяговой подстанции, электровоза и рабочего напряжения, значения токов сетей определялись по следующей формуле:

$$[I] = [Z]^{-1}[U]. \quad (3)$$

Установлено, что при токах нагрузки в зонах фидера 200А ток межфазного короткого замыкания находится в диапазоне 350-550А. Также было замечено, что векторы тока в фидерных зонах фазы А и фазы В изменяются от -36° и -32°, до -8° и -98°, соответственно, относительно векторов напряжения.

Критический ток, создающий устойчивую электрическую дугу в воздушном промежутке высокого напряжения, можно определить по формуле, предложенной Ю.Г. Кубаревым:

$$I_k = I_s \sqrt{\frac{a}{a+1}}, \quad (4)$$

где: I_s - ток, замыкающий промежуток дуги, А; a - коэффициент среды, в которой образуется дуга.

Для определения величины тока, замыкающего промежуток дуги, можно использовать следующую формулу, описывающую критическое расстояние дуги:

$$l_{k=0} = \frac{I_s^a U_m}{C} \sqrt{\frac{a^a}{(1+a)^{1+a}}}, \quad (5)$$

где: U_m - амплитуда дугового промежуточного напряжения, кВ; C - коэффициент среды, в которой образовалась дуга.

Исходя из приведенных выше формул, значение критического тока можно интерпретировать следующим образом:

$$I_k = \left[\frac{C l_k}{U_m} \sqrt{\frac{(1+a)^{1+a}}{a^a}} \right]^{\frac{1}{a}} \sqrt{\frac{a}{a+1}}. \quad (6)$$

Определенная часть тока в контактной подвеске проходит через трос, на котором установлен датчик тока, и долю тока, проходящую через трос, можно определить, рассчитав схему замещения, показанную на рис. 5.

Токи, протекающие через трос и контактный провод в обменной схеме, могут быть выражены следующим образом:

$$I_t = \frac{\underline{Z}_{kt}}{\underline{Z}_{tk} + \underline{Z}_{kt}} I_{k.t}, \quad I_k = \frac{\underline{Z}_{tk}}{\underline{Z}_{tk} + \underline{Z}_{kt}} I_{k.t}, \quad (7)$$

где: $\underline{Z}_{kt} = r_k + jm(0,25 + \ln \frac{d_{kt}}{R_k})$, $\underline{Z}_{tk} = r_t + jm(0,25 + \ln \frac{d_{kt}}{R_t})$.

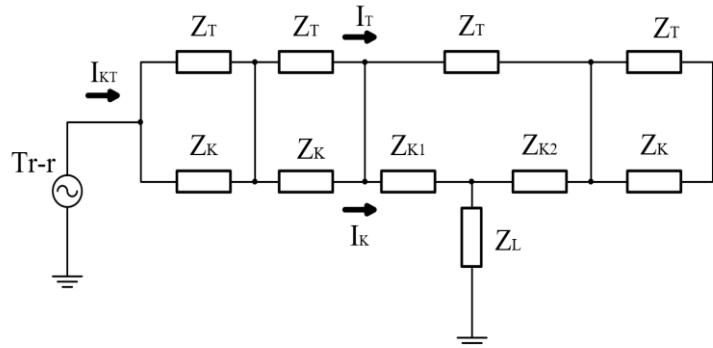


Рис 5. Схема переключения для расчета токов в проводах цепной контактной подвески

Учитывая, что минимальный ток потребления электровоза составляет 2-3А, минимальная сила тока, протекающего через трансформатор тока, составляет 0,8-1А.

Третья глава диссертации "Разработка системы защиты нейтральной вставки с помощью датчиков тока" посвящена определению технических параметров датчика тока на основе основных технических требований к новой системе и разработке компьютерной модели процесса работы датчика тока и исследованию их динамических характеристик.

Учитывая, что 38% тока в существующей контактной подвеске ПБСМ-95+МФ-100 проходит через несущий трос, с учетом того, что ток, действующий на датчик, установленный на тросе, может увеличиться до 280 А, была разработана система защиты нейтральной установки с помощью датчиков тока.

Двухполюсный сигнал, переданный в преобразователь сигнала, преобразуется в однополюсный сигнал (рис. 6). С помощью низкочастотного активного фильтра гасятся высокочастотные шумы. Амплитуда сигнала усиливается до уровня, соответствующего аналоговому порту микроконтроллера.

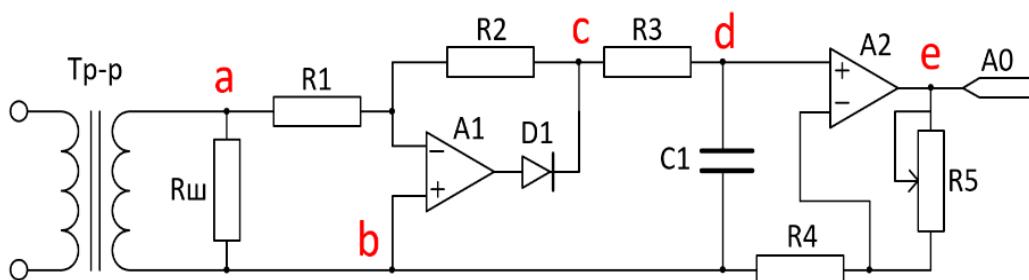


Рис 6. Принципиальная схема модуля преобразователя сигнала

Сигнал, полученный через аналоговый порт, преобразуется в цифровой сигнал в аналого-цифровом преобразователе микроконтроллера. Эффективное значение сигнала рассчитывается путем выполнения арифметических операций в процессоре, и полученный результат сравнивается с установленной нормой. Если измеренное значение превышает норму, сигнал передается в шлюз через модуль радиосвязи.

На сопротивлении $R_{ш}$, подключенном ко вторичной обмотке трансформатора тока с коэффициентом трансформации k , возникает

переменное напряжение U_{ab} , пропорциональное первичному току I :

$$U_{ab} = kIR_{\text{ш}}. \quad (8)$$

Операционный усилитель A1 преобразуется в однополюсное напряжение U_{cb} в точке с цепи на диоде-посреднике D1:

$$U_{cb} = \frac{R_2}{R_1} U_{ab}, \quad (9)$$

при этом: сопротивления резисторов R_1 и R_2 должны быть равны.

Подключив резистор R_3 и конденсатор C_1 к положительному входу операционного усилителя A2 в качестве разделителя, можно получить сигнал U_{db} , подавляющий помехи с частотой выше $f=50$ Гц в точке d цепи:

$$U_{db} = \frac{U_{cb}}{2\pi f R_3 + 1}. \quad (10)$$

Амплитуду усиленного напряжения U_{eb} на входном порту A0 аналого-цифрового преобразователя можно регулировать, изменения сопротивление резистора R_5 :

$$U_{eb} = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) U_{db}. \quad (11)$$

Зависимость напряжения на входном порту аналого-цифрового преобразователя от тока контактной подвески можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$U_{eb} = \frac{kIR_{\text{ш}}R_2(R_4+R_5)}{R_4(2\pi f R_3 + 1)} \quad (12)$$

Усиленный однополюсный сигнал измеряется 20 раз с интервалом 1 миллисекунда с помощью аналого-цифрового преобразователя, и массив чисел, состоящий из 20 значений, записывается в оперативную память микроконтроллера.

В процессоре вычисляется среднеквадратичное значение чисел в массиве:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_{19}^2 + V_{20}^2}{20}} \quad (13)$$

Полученный результат будет близок к действующему значению синусоидального сигнала:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \sin^2(\omega t) dt} \quad (14)$$

Фактическое эффективное значение тока контактной подвески I_{kt} , коэффициент зависимости входного и выходного сигналов F , диапазон напряжения U_{adc} и разряд n аналогового цифрового преобразователя определяются с учетом:

$$I_T = 0,38 I_{KT}, \quad (15)$$

$$U_{eb} = \frac{U_{adc}}{2^n} V_{RMS}, \quad (16)$$

$$F = \frac{R_4(2\pi f R_3 + 1)}{kR_{\text{ш}}R_2(R_4+R_5)}, \quad (17) \quad I_{KT} = 2,63 \cdot F \cdot U_{adc} \cdot V_{RMS} \cdot 2^{-n}. \quad (18)$$

На основе этого равенства можно правильно выбрать параметры элементов датчика тока.

Перед построением тестовой модели целесообразно проанализировать процессы в построенной схеме с помощью компьютерной программы MATLAB Simulink. Симуляционная модель схемы собирается, как показано на рисунке 7, и в цепь элементов вводятся расчетные параметры.

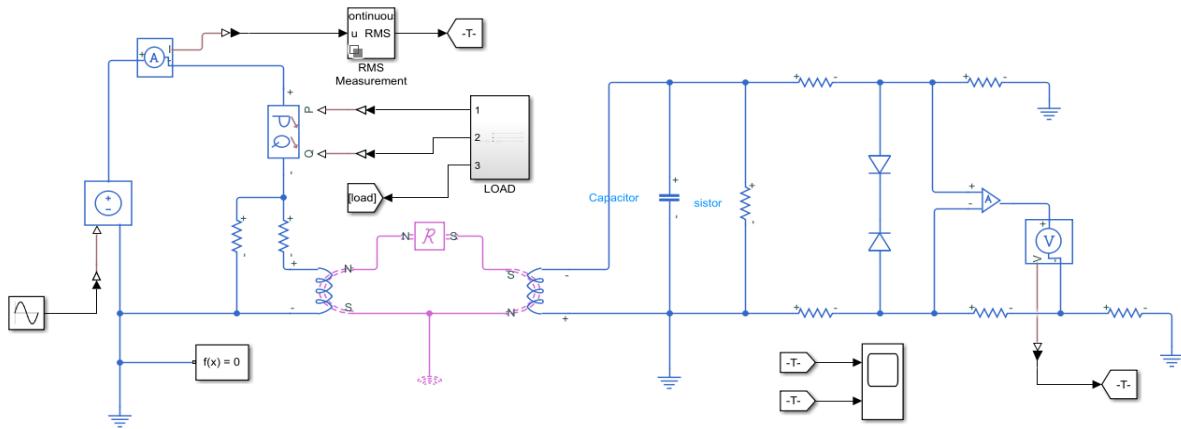


Рис 7. Симуляционная модель схемы датчика тока

Результат симуляции можно увидеть на рисунке 8. В процессе симуляции можно наблюдать изменение напряжения сигнала, входящего в микроконтроллер, в соответствии со значением тока в контактной сети.

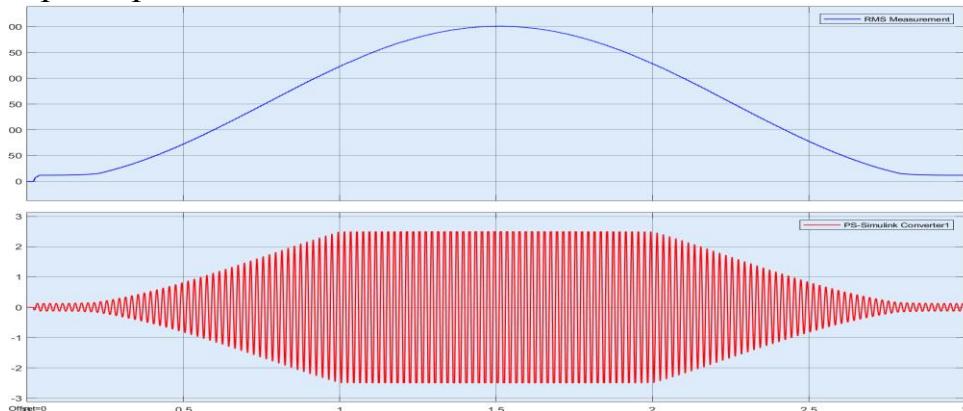


Рис 8. Изменение первичного тока и вторичного напряжения, измеренное на симуляционной модели

Для эффективной работы предлагаемой системы требуется, чтобы модуль шлюза и исполнительные модули работали пропорционально друг другу вместе с датчиком тока. С этой целью были разработаны алгоритмы, обеспечивающие совместную работу всех трех функциональных модулей системы. Эти алгоритмы служат источником для программирования микроконтроллеров, управляющих каждым модулем.

В четвертой главе диссертации "Экспериментальное исследование и надежность ток сенсорных защитных систем" приведены результаты построения экспериментальных моделей системы защиты токосенсорных нейтральных вставок от токов межфазного короткого замыкания, их испытания в сети и анализ результатов испытаний.

Для построения тестовой модели был выбран трансформатор тока номиналом 200/5, с разъемным сердечником. Для преобразования сигнала в однополюсный, фильтрации и усиления были установлены операционные усилители **LM385**. Для обработки и передачи сигнала в шлюз был запрограммирован и установлен 32-битный микроконтроллер ESP32 с радио модулем Wi-Fi. С целью формирования тестовой модели исполнительного модуля в экранирующую коробку были помещены микроконтроллер ESP-32,

модуль радиопередачи LoraWAN, электромагнитные реле и блок питания (рис. 9).



Рис. 9. Тестовая модель устройств защиты нейтральных ток сенсорных установок от токов межфазного короткого замыкания

Автоматизированная система предотвращения межфазных коротких замыканий, происходящих в нейтральной установке железнодорожной контактной сети, была успешно протестирована на контактной сети подстанции Далагузар и станции Далагузар Ташкентской линии электроснабжения АО "Темирйўлинфратузилма" (рис. 10).

Было установлено, что в течение суток через несущий трос, на котором установлен датчик, проходил ток от минимального 5 А до максимального 40 А. Учитывая, что 38% тока контактной подвески проходит через несущий трос, можно определить, что электровозы потребляли минимальный ток 13 А и максимальный 105 А при прохождении через зону, где установлен датчик тока. Норму тока для данной точки, где установлен датчик тока, можно установить на уровне 1А.



Рис 10. График суточного изменения силы тока, измеренного датчиком тока

График изменения относительной и абсолютной погрешности датчика тока представлен на рис. 11. Абсолютная погрешность датчика тока составляет 0,3А, а его относительная погрешность изменяется от 0,75% до 30% в зависимости от значения тока нагрузки.

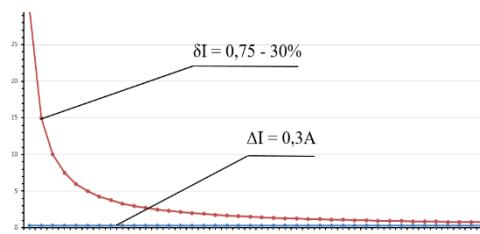


Рис 11. График изменения относительной и абсолютной погрешности датчика тока

Уменьшая коэффициент трансформации трансформатора тока, можно уменьшить относительную и абсолютную погрешность датчика. Однако, поскольку минимальное значение измеряемого тока 0,8-1А в 3 раза превышает абсолютную точность, нет необходимости заменять трансформатор тока.

В приложении приведены дополнительные сведения по диссертации, в том числе акт и справка о внедрении результатов диссертации в производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения диссертационной работы на тему "Способ защиты нейтральных вставок контактной сети от токов межфазного короткого замыкания" получены следующие научные результаты:

1. Установлено, что возникновение коротких замыканий в нейтральных вставках железнодорожной контактной сети обеспечивает высокую надежность и простоту конструкции защиты контактной подвески и токоприемников от них, цифровой обмен сигналами для обеспечения высокой скорости защиты, своевременное отключение сетевых выключателей, а также во многом этим требованиям отвечает система защиты нейтральных вставок от токов короткого замыкания.

2. Разработана новая надежная и удобная в обслуживании система защиты нейтральных вставок контактной сети от токов короткого замыкания, состоящая из аналого-цифрового преобразователя, микропроцессора и устройств беспроводной передачи.

3. Разработаны математические модели, учитывающие наличие различных токов короткого замыкания в нейтральных вставках контактной сети.

4. Разработана новая структура системы релейной защиты и автоматики электрической тяговой сети путем вставки сенсорных модулей тока.

5. Разработан метод определения минимального значения тока, который должен быть обнаружен сенсором тока, по уравнению распределения тока нагрузки в контактной сети между контактным проводом и несущим тросом.

6. Разработан новый метод защиты нейтральной вставки контактной сети от токов межфазного короткого замыкания - обработка оцифрованного сигнала в микропроцессоре и механизм определения действующего значения тока в контактной сети.

7. С целью адаптации амплитуды и качества сигнала к аналого-цифровому преобразователю на датчике тока разработана модульная схема преобразователя сигнала с помощью операционных усилителей и определена формула взаимосвязи параметров его элементов.

8. Разработан механизм обработки оцифрованного сигнала в микропроцессоре и определения действующего значения тока в контактной сети.

9. Автоматизированная система предотвращения межфазных коротких замыканий, происходящих в нейтральной вставке железнодорожной контактной сети, успешно апробирована на контактной сети подстанции Далагузар и станции Далагузар Ташкентской линии электроснабжения АО "Темирйўлинфратузилма," ожидаемая годовая экономическая эффективность составляет 152 млн. сумов, затраты окупаются за 1 месяц.

**TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY
SCIENTIFIC COUNCIL FOR AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES DSc.15/31.08.2022.T.73.07**

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

NORJIGITOV SAYFIDDIN ABDUXAKIMOVICH

**METHOD OF PROTECTION OF NEUTRAL INSTALLATIONS OF THE
CONTACT NETWORK FROM INTERFACE SHORT CONNECTION
CURRENTS**

05.08.05. Rolling-stock of railways, traction of trains and use of electric power

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

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and innovation of the Republic of Uzbekistan under № B2025.1.PhD/T5462

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.tstu.uz) and Information and Educational Portal «ZiyoNet» (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:

Amirov Sulton Fayzullayevich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Gayibov Tulkin Shernazarovich
doctor of Technical Sciences, Professor

Radjibayev Davran Oktambayevich
doctor of technical sciences (DSc), Docent

Leading organization:

Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

The defense will be take place at ____ «____» 01 2026 at the meeting of the Scientific Council DSc.15/31.08.2022.T.73.07. Tashkent state transport university. (Address: 100167, Tashkent, str. Temiryulchilar-1, phone: (99871) 299-00-01; fax: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz.)

The doctoral (PhD)dissertation can be reviewed at the Information-Resource Center of the Tashkent state transport university (Registered number 302). (Address: 100167, Tashkent, str. Temiryulchilar-1, phone: (99871) 299-00-1; fax: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz.)

Abstract of the dissertation was distributed on «29» December 2025.
(mailing report № 6 on «27» December 2025).

R.V. Rahimov

Chairman of Scientific council
on awarding Scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

Ya. O. Ruzmetov

Scientific secretary of the Scientific council
on awarding Scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

R. M. Mirsaatov

Chairman of this Scientific seminar under
Scientific council on awarding Scientific degrees,
doctor of technical science, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The purpose of research development of an automatic system for preventing interfacial short circuits occurring in the neutral insert of the railway contact network.

The object of research was is a neutral insert of the railway contact network.

Scientific novelty of research is as follows:

the contact network neutral section has been developed based on an analog-to-digital converter, a microprocessor, and wireless signal transmission devices that provide protection against interphase short-circuit currents; as a result, a new system with high reliability and ease of maintenance has been created;

mathematical and simulation models of the contact network neutral section have been developed, taking into account interphase short-circuit currents of various magnitudes;

a methodology has been developed for calculating the protection parameters of the contact network neutral section against interphase short-circuit currents, considering various operational characteristics and based on their switching schemes;

a set of new devices with current sensors has been developed, providing the capability to protect contact network neutral sections from interphase short-circuit currents for the relay protection and automation system of the electric traction network.

Implementation of research results. Based on the obtained results on the automated system for preventing interfacial short circuits occurring in the neutral installation of the contact network:

received a patent for the invention was obtained from the State Institution “Intellectual Property Center” under the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan (No. IAP 7782; 2024) for a method of protecting contact network neutral sections from interphase short-circuit currents. As a result, a device for an automated system for preventing interphase short circuits occurring in railway neutral sections was created;

the method for protecting contact network neutral installations from interphase short-circuit currents was successfully tested on the contact network of the Dalaguzar substation and Dalaguzar station of the Tashkent power supply division of JSC “Temiryulinfrazilma” (certificate of JSC “Uzbekistan Railways” No. 03/1976-25 dated September 19, 2025). As a result, the use of the automated system for preventing interphase short circuits in the neutral section of the new contact network made it possible to ensure high-quality and uninterrupted power supply to electric rolling stock.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of introduction, four chapters, conclusion, list of references and annexes. The volume of dissertation is 115 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Патент РУз (UZ) № IAP 7782. Способ защиты нейтральных вставок контактной сети от токов междуфазного короткого замыкания / Амиров С.Ф., Норжигитов С.А., Якубов М., Сайдивалиев С.С., Нурхонов Б.Ш.// Расмий ахборотнома – 2024. –№7.

2. Патент РУз (UZ) № IAP 07489. Контактная сеть в искусственном сооружении/ Амиров С.Ф., Сулаймонов М.М., Баянов И.Н., Норжигитов С.А., Хамидов А.Н., Каримов И.А.// Расмий ахборотнома – 2023. .–№10.

3. Норжигитов С.А., Якубов М., Каримов И.А., Мухторов У.Б. Совершенствование мониторинга и диагностики износа контактного провода электрифицированных железных дорог // INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL, – Ташкент, 2024. -№1.– C.4-8. (05.00.00; ОАК раёсатининг 2024 йил 30 ноябрдаги 364/5 сон қарори).

4. Норжигитов С.А., Сайдивалиев С.С., Базаров Л.Х. Централизованный мониторинг тяговой сети электрифицированных железных дорог при помощи цифровых технологий // Integration of power and mechanical engineering: innovative technologies and practices.– Ташкент, 2023. - C.63-67. (05.00.00; № 11).

5. Норжигитов С.А., Якубов М., Каримов И.А., Мухторов У.Б. Совершенствование мониторинга и диагностики износа контактного провода электрифицированных железных дорог // INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL, – Ташкент, 2024. -№1.– C.4-8. (05.00.00; ОАК раёсатининг 2024 йил 30 ноябрдаги 364/5 сон қарори).

6. Norjigitov S.A., Amirov S.F., Karimov I.A. Current Sensors for Monitoring and Protecting Devices in the Alternating Current Traction Power Network // Academia Open, 10(2), 10.21070/acopen.10.2025.12491. (08.00.00; ОАК раёсатининг 2024 йил 28 августдаги 360-сон қарори).

II бўлим (II часть; part II)

7. DGU (UZ) № 33389. O'zgaruvchan tokli tortuvchi nimstansiya himoya parametrlarini hisoblash/ Amirov S.A., Norjigitov S.A., Boltaev O.T, Bazarov L.X. // 05.03.2024.

8. DGU (UZ) № 48943. Elektrlashgan temir yo'llar elektr ta'minot tizimida seksiyalash postlarini boshqaruv tizimini masofadan boshqarish usuli/ Norjigitov S.A., Bazarov L.X., Karimov I.A., Muxtorov U.B. // 24.03.2025.

9. Норжигитов С.А., Якубов М., Оценка и совершенствование эксплуатационной надежности зажимов контактной сети // Вестник КузГТУ. - 270-1, 2023.

10. Норжигитов С.А., Сайдивалиев С.С., Базаров Л.Х. Оперативный анализ энергоэффективности тяговой сети с использованием микроконтроллеров. “Транспортда ресурс тежамкор технологиялар”

мавзусидаги хорижий олимлар иштирокидаги республика илмий – техника анжумани -Тошкент, 2023. – С. 221-225.

11. Norzhigitov S.A., Yakubov M., Turdibekov K.Kh., Sagatova M.A. Improving the maintenance system for controlled asynchronous electric drives of electric locomotives based on their diagnosis // E3S Web of Conf. 401, 2023. V International Scientific Conference “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering” (CONMECHYDRO - 2023) (**Scopus**).

12. Норжигитов С.А., Якубов М., Сайдивалиев С.С., Сагатова М.Х. Адаптивная система тягового электроснабжения на участке с искусственно-сложным профилем // "II International Scientific Conference "Modern Materials Science: Topical Issues", Achievements and Innovations (ISCMMSTIAI-2023)". - 8, 2023-yil. (**Scopus**).

13. Норжигитов С.А., Якубов М., Сайдивалиев С.С. Изучение коэффициентов мощностей тяговых подстанций в целях улучшения энергоэффективности на железнодорожном транспорте республики Узбекистан // Международная научно-техническая конференция актуальные проблемы цифровизации и повышения энергоэффективности автоматизированных электромеханических и электротехнологических систем - 2023. – С. 39-49.

14. Норжигитов С.А., Якубов М., Сайдивалиев С.С. Изучение коэффициентов мощностей тяговых подстанций в целях улучшения энергоэффективности на железнодорожном транспорте республики Узбекистан // XALQARO ILMIY-TEHNİK ANJUMAN: «AVTOMATLASHTIRILGAN ELEKTROMEXANIK VA ELEKTROTEXNOLOGIK TIZIMLARNI RAQAMLASHTIRISHNING DOLZARB MUAMMOLARIVA ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH». -2-165, 2023-yil.

15. Норжигитов С.А., Якубов М., Влияние надежности соединительных зажимов на ресурсосбережение в устройствах контактной сети // “Транспортда ресурс тежамкор технологиялар” мавзусидаги хорижий олимлар иштирокидаги республика илмий – техника анжумани -Тошкент, 2023. – С. 80-86.

16. Норжигитов С.А., Сайдивалиев С.С. Темир йўл транспорти электр таъминот тизимида ресурс тежовчи технологияларни тадбиқ этиш // “Транспортда ресурс тежамкор технологиялар” мавзусидаги хорижий олимлар иштирокидаги республика илмий – техника анжумани -Тошкент, 2023. – С. 437-441.

17. Norjigitov S.A., Bazarov L.X., Karimov I.A. Improving the system of remote monitoring and control of traction network facilities using digital technologies // "The 4th International Conference Series On Science, Engineering, and Technology", (ICATE-2025)". -5, 2025-yil. (**Scopus**).

18. Norjigitov S.A., Bazarov L.X., Karimov I.A. Investigation of interphase short circuit at the neutral section of the railway traction network using a mathematical model. // "International Conference on Advanced Technologies in Engineering", (ICATE-2025)". -8, 2025-yil. (**Scopus**).

Автореферат «ТДТрУ ахборотномаси» илмий-амалий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва матнларни мослиги текширилди

Қоғоз бичими 84×60-1/16. Ризограф босма усули. Times New Roman гарнитураси
Шартли босма табоги: 2.5 б.т. Адади: 30 нусха.
Буюртма № 43-38/2025 Нашрга рухсат этилди: 27.12.2025 й.

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