

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

УДК 656.256.3: 621.316.91

ЖУРАВЛЬОВ АНТОН ЮРІЙОВИЧ



**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ
РЕЙКОВИХ КІЛ ПОЛІГОНУ ЕЛЕКТРОТЯГИ ЗМІННОГО СТРУМУ,
ЯКИЙ ПРИМИКАЄ ДО СТАНЦІЇ СТИКУВАННЯ**

Спеціальність: 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Разгонов Адам Пантелійович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна, професор
кафедри «Автоматика, телемеханіка та зв'язок»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Бабаєв Михайло Михайлович,
Український державний університет залізничного
транспорту,
завідувач кафедри «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»;

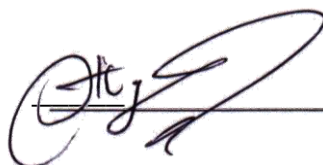
кандидат технічних наук, доцент
Ніколенко Анатолій Васильович,
Національна металургійна академія України,
завідувач кафедри «Електротехніка та
електропривод»

Захист відбудеться «3» листопаду 2016 року о 11.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий 3 жовтня 2016 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
д. т. н., професор



І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На системи залізничної автоматики й телемеханіки (СЗАТ), одним з елементів яких є рейкові кола (РК), покладена важлива роль у забезпеченні безпеки руху поїздів. Рейкові кола схильні до впливу дестабілізуючих чинників, таких як кліматичні умови, електромагнітні завади тягового струму рейкової мережі. У районі станції стикування двох родів електричної тяги рейкові кола полігону електротяги змінного струму зазнають додаткового впливу завад постійного тягового струму. Це значно зменшує експлуатаційну надійність роботи рейкових кіл, призводить до їх відмов та перекриття світлофорів і, як наслідок, до затримки руху поїздів.

Таким чином, підвищення експлуатаційної надійності роботи рейкових кіл полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування, в умовах впливу завад постійного тягового струму є важливим науково-практичним завданням, вирішення якого дозволить організувати технологічний процес перевезень з максимальною ефективністю й безпекою руху поїздів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Дисертаційна робота відповідає пріоритетним напрямкам розвитку залізничного транспорту, які визначені у «Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» (постанова КМУ від 16.12.2009 № 1555-р), а також пов'язана з науково-дослідною роботою, що виконана Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Дослідження і розробка інтегрованої комп'ютерної системи оптимізації перевезень, енергозбереження, безпеки руху та інтелектуалізації процедур управління залізничним транспортом України» (0114U005164), у якій дисертант є співавтором звіту.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення експлуатаційної надійності та електромагнітної сумісності рейкових кіл із системою тягового електропостачання залізниць в умовах впливу завад зворотного постійного тягового струму станції стикування двох родів електричної тяги.

Для досягнення зазначеної мети в дисертації необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз: роботи рейкової мережі полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування, в умовах впливу завад постійного тягового струму в нормальному й вимушеному режимах роботи тягових підстанцій (ТП); існуючих засобів підвищення експлуатаційної надійності рейкових кіл і забезпечення електромагнітної сумісності пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) із системою тягового електропостачання станції стикування;

- розробити узагальнену модель поширення тягового струму й потенціалів рейкової мережі, яка враховує зміну опору ізоляції рейкової мережі, рейкову лінію з/без урахування стикових з'єднувачів різного типу, колійний розвиток ділянки, режими роботи тягових підстанцій, поїзну ситуацію;

- розробити математичну модель, яка описує електромагнітні процеси при дослідженнях роботи феромагнетиків (ФМ), та оцінити електричні параметри в об'єктах з феромагнетиком, що працюють у нелінійній області основної кривої намагнічування $b(h)$, проаналізувати вплив завад постійного тягового струму на нормальну роботу апаратури рейкових кіл, удосконалити метод розрахунку режимів роботи рейкових кіл;

- розробити й науково обґрунтувати метод і засіб захисту рейкових кіл полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування, від завад зворотного постійного тягового струму;

- виконати техніко-економічну оцінку впровадження результатів дисертаційної роботи.

Об'єкт дослідження – процес роботи рейкових кіл систем автоматики і телемеханіки в умовах впливу завад постійного тягового струму.

Предмет дослідження – методи й засоби підвищення експлуатаційної надійності роботи рейкових кіл полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування.

Методи дослідження. У роботі під час розробки та дослідження узагальненої моделі поширення тягового струму й потенціалів використовувалися методи вузлових напружень, контурних струмів та математичного моделювання на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ) в пакетах Maple і Visual Studio, імітаційне моделювання із застосуванням пакета MapleSim, методи розв'язання систем лінійних рівнянь, числові методи; для розробки й дослідження математичної моделі роботи феромагнетика використовувалися методи рівнянь Кірхгофа та математичного моделювання на електронно-обчислювальній машині в пакетах Maple і Visual Studio, імітаційне моделювання із застосуванням пакетів MapleSim і Multisim, статистичного аналізу, методи розв'язання лінійних і нелінійних диференціальних рівнянь, аналізу й синтезу електротехнічних процесів у колах з нелінійними й лінійними елементами, методи перетворення схем заміщення; в експериментальних дослідженнях використовувалися методи фізичного моделювання, натурні випробування, цифрова обробка сигналів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в новому вирішенні науково-прикладного завдання підвищення експлуатаційної надійності роботи рейкових кіл в умовах впливу завад, створених тяговими струмами двох систем електротяги.

Вперше:

- розроблено математичну модель електричних процесів у рейковій мережі станції стикування двох родів електричної тяги й полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування, яка дозволила отримати й дослідити поширення тягового струму та потенціалів «рейка–земля» в рейковій мережі в районі станції стикування залежно від режиму роботи й кількості тягових підстанцій, опору ізоляції рейкової мережі, колійного розвитку ділянки, поїзної ситуації, з/без урахування стикових з'єднувачів;

- розроблено метод розрахунку основних режимів роботи рейкових кіл, який дозволяє враховувати лінійний і нелінійний режими роботи апаратури рейкових кіл, що містять феромагнетики, а також оцінити характер зміни параметрів рейкового кола залежно від впливу завад тягового струму на апаратуру;

- розроблено метод підвищення експлуатаційної надійності рейкових кіл полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування, шляхом виключення розтікання тягового струму станції стикування в сторону рейкової мережі полігону електротяги змінного струму.

Удосконалено:

- метод розрахунку поширення потенціалів і струмів у рейковій мережі, що враховує різний колійний розвиток ділянки, рейкову лінію з/без урахування стикових з'єднувачів різного типу, режими роботи й кількість тягових підстанцій, зміну опору ізоляції рейкової лінії, що дозволяє з більшою точністю оцінити значення тягового струму й потенціалу, раціонально розподілити підключення тягових підстанцій до рейкової мережі по ділянці.

- математичну модель магнітопроводу дросель-трансформатора, яка, на відміну від існуючих моделей, дозволяє відшукати раціональну апроксимуючу функцію основної кривої намагнічування.

Набули подальшого розвитку:

- спосіб захисту апаратури систем залізничної автоматики й телемеханіки від впливу завад зворотного постійного тягового струму шляхом блокування розтікання тягового струму на проблематичну ділянку, що дозволило підвищити експлуатаційну надійність роботи рейкових кіл і електромагнітну сумісність пристроїв сигналізації, централізації та блокування із системою електропостачання на залізничному транспорті;

- метод розрахунку основних режимів рейкових кіл з урахуванням нелінійного режиму роботи елементів апаратури рейкових кіл, які містять феромагнетики, що дозволить внести зміни в нормативну документацію з розрахунку й проектування рейкових кіл.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові положення, висновки, рекомендації, розрахунки, розроблені методи, отримані в дисертаційній роботі, а також змодельований пристрій можуть використовуватися:

- для оцінки впливу завад тягового струму на роботу пристроїв апаратури систем залізничної автоматики й телемеханіки, які містять феромагнетики, та уточнення нормалей регулювальних таблиць рейкових кіл;

- під час формулювання рекомендацій для забезпечення нормальної роботи пристроїв сигналізації, централізації та блокування на електрифікованих ділянках змінного струму, які примикають до станції стикування двох родів електричної тяги;

- у ході проектування та переобладнання перегонів новими системи залізничної автоматики й телемеханіки;

- під час проектування тягової мережі станції стикування двох родів електричної тяги.

За результатами дисертації в науково-дослідній лабораторії кафедри АТЗ ДНУЗТ, Знам'янській дистанції сигналізації та зв'язку Одеської залізниці та П'ятихатській дистанції сигналізації та зв'язку Придніпровської залізниці виготовлено зразки силового захисного комутуючого пристрою, що пройшли випробування в науково-дослідній лабораторії кафедри АТЗ ДНУЗТ та в П'ятихатській дистанції сигналізації та зв'язку й були передані на Одеську залізницю.

Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри АТЗ ДНУЗТ під час викладання дисципліни «Системи автоматики на перегоні».

Особистий внесок здобувача. Усі положення й результати теоретичних та експериментальних досліджень, наведені в роботі, були отримані автором самостійно або за його безпосередньої участі.

Статті [3, 4] опубліковані одноосібно. У роботах, які вийшли друком у співавторстві, особистий внесок здобувача такий: здійснено експериментальні дослідження тягових струмів і аналіз отриманих даних, використання моделі для отримання даних струму короткого замикання [1]; здійснено експериментальні дослідження параметрів і характеристик дросель-трансформаторів, виконано дослідження нелінійного диференціального рівняння трансформатора з використанням гіперболічних функцій апроксимації основної кривої намагнічування [2, 3]; запропоновано схему заміщення для отримання епюр поширення струмів і потенціалів рейкової мережі, побудовано математичну модель для отримання залежностей завад тягового струму в різному частотному спектрі [4]; запропоновано схему пристрою дослідження та обробки значень параметрів обмотки електричних машин [5, 6]; розроблено принципову схему пристрою захисту, виконано експериментальні дослідження запропонованого методу захисту рейкових кіл [7].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися й були схвалені на таких конференціях: Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» (2006, 2009, 2014 рр.); Міжнародна науково-практична конференція «Перспективні системи контролю і управління на залізничному транспорті» (2007 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті EMC-R» (2007 р.), «Електромагнітна сумісність і безпека на залізничному транспорті EMCS-R» (2010, 2011 рр.), «Безпека і електромагнітна сумісність на залізничному транспорті S&EMC» (2012 р.); Всероссийской научно-практической конференции «Наука, творчество и образование в области электроэнергетики и электротехники – достижения и перспективы» (2015 р.). У повному обсязі робота доповідалася й була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі 18 травня 2016 року.

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 25 наукових праць: 6 наукових статей, з них 3 у виданнях, затверджених Департаментом атестації кадрів МОН України та включених до міжнародних наукометричних баз, 3 статті в іноземних виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, 1 додаткова стаття; 8 патентів на корисну модель, 1 патент на винахід; 10 тез доповідей у матеріалах і тезах конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, 3 додатків. Повний обсяг роботи становить 150 сторінок, з них основного тексту – 133 сторінок. Робота ілюстрована 74 рисунками та 10 таблицями. Список використаних джерел складається з 132 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено мету й основні завдання досліджень, вказано наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача у виконанні дисертаційної роботи. Наведено структуру дисертації, публікації, апробацію робіт.

У **першому розділі** здійснено статистичний огляд відмов пристроїв СЗАТ, проаналізовано виникнення завад у рейковій мережі ділянок електротяги змінного струму, що впливають на експлуатаційну надійність роботи РК, виконано оцінку завад, що виникають, та їх впливу на апаратуру РК.

Вагомий внесок у дослідження впливу завад тягових струмів на роботу СЗАТ, а також підвищення їх надійності та завадостійкості зробили такі видатні вчені: В. С. Аркатов, А. М. Брилеєв, М. М. Бабаєв, А. Б. Бойнік, А. А. Босов, М. І. Вахніна, В. І. Гаврилюк, В. О. Д'яков, І. В. Жуковицький, А. В. Котельников, Н. Ф. Котляренко, А. М. Костромінов, В. Ф. Кустов, Ю. А. Кравцов, А. В. Ніколенко, М. Ф. Пенкін, М. А. Покровський, А. П. Разгонов, В. В. Сапожников, В. Л. Сапожников, С. К. Шаманов та ін.

У публікаціях з проблеми захисту РК від впливу завад не розглядається питання підвищення експлуатаційної надійності та електромагнітної сумісності РК із системою тягового електропостачання у зоні станції стикування двох родів електричної тяги. Особливу увагу слід приділити підвищенню експлуатаційної надійності РК в зоні станції стикування, на різних ділянках мережі залізниць України й країн зарубіжжя, а саме проблемі розтікання постійного тягового струму станції стикування на ділянках залізниць електротяги змінного струму (ЕЗС), що впливає на нормальну роботу апаратури РК та призводить до відмов СЗАТ і перекриття світлофорів на станціях і перегонах.

Відомим з доступних засобів підвищення експлуатаційної надійності рейкових кіл полігону електротяги змінного струму, що примикає до станції стикування, є використання дросель-трансформаторів типу ДТ-0,6-500С в цих РК, на відстані до 10 км. Водночас цим методом не вирішується проблема виносу завад постійного тягового струму в сторону перегону електротяги змінного струму.

Насамперед небезпеку становлять гармонійні й постійні складові тягового струму в рейковій мережі, які поширюються від станції стикування в сторону полігону ЕЗС. Виявляється, що тяговий струм рейкової мережі станції стикування має несинусоїдальну форму з наявністю високого рівня постійної складової, яка здатна створювати заважаючий і небезпечний вплив на нормальну роботу РК. Відомо, що РК працюють у критичних кліматичних та електрофізичних умовах. Найбільш схильною до впливу завад тягового струму є апаратура РК систем СЦБ, що позначається на безпеці руху поїздів у цілому. Встановлено, що не тільки тип силової установки електрорухомої одиниці або поїзна ситуація на ділянці впливають на рівень перешкод і форму тягового струму, але й режими роботи ТП постійного тягового струму.

Аналіз статистики відмов СЗАТ показав, що 65 % відмов викликані зниженням експлуатаційної надійності апаратури РК на ділянках, що примикають до станції стикування, в наслідок підмагнічування ДТ. Виконаний аналіз дозволив сформулювати мету й завдання дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** розроблено математичну розрахункову модель поширення тягового струму й потенціалу в рейковій мережі для ділянки з унікальним колійним розвитком і розташуванням ТП (рис. 1) з використанням удосконаленого методу розрахунку на ЕОМ в середовищі Maple, MapleSim і Visual Studio, а також виконано дослідження умов поширення струмів і потенціалів у рейковій мережі ділянок ЕЗС, які примикають до станції стикування. Математична модель відрізняється від існуючих представленням відрізків ділянки колії загальною ланцюговою схемою з використанням генератора для формування рівнянь та з урахуванням граничних умов і режимів роботи ТП, що дозволило з мінімальною похибкою оцінити рівні струмів і потенціалів (рис. 2–8), що призводять до відмови апаратури систем СЦБ.

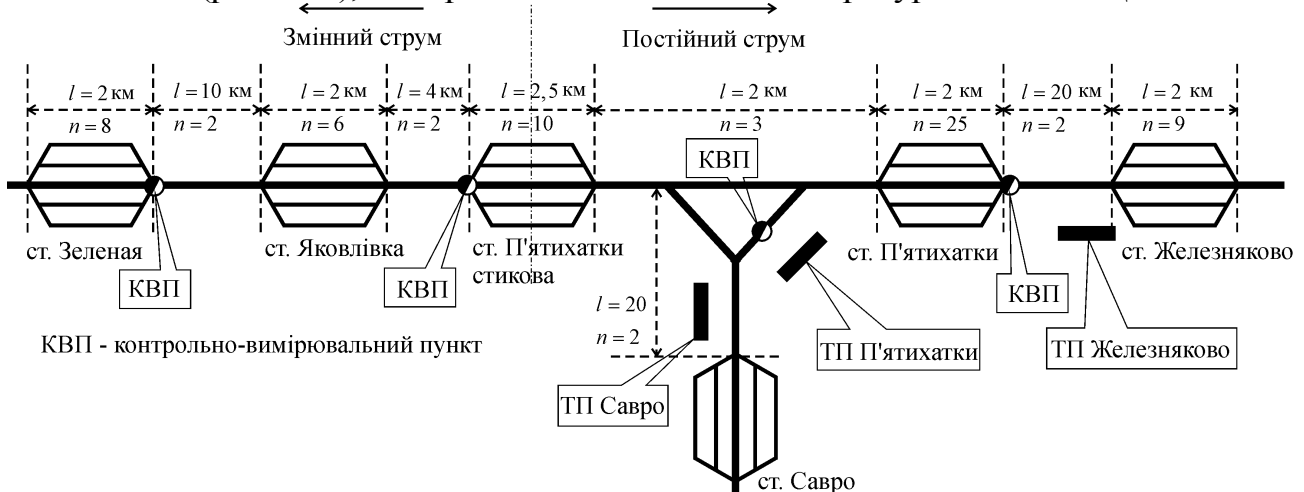


Рисунок 1 – Схема ділянки

Встановлено, що при нормальному режимі роботи ТП рівень поширення завади постійного тягового струму (ПТС) в сторону полігону ЕЗС мінімальний і становить близько 10–35 А. При переході на вимушений режим ТП, відключенні однієї з трьох підстанцій відбувається викид ПТС до 150 А і поширюється до 20–35 км від станції стикування в сторону полігону ЕЗС, що

призводить до виникнення постійного потенціалу «рейка–земля» до 60 В. Внаслідок цього відбувається підмагнічування дросель-трансформаторів типу ДТ-1-150 (300) постійним струмом, у результаті чого виникає відмова РК і перекриття світлофора. Підтвердженням цього є розшифровка спектра осцилограм, знятих на дросельному пункті (ДП) біля вхідного світлофора станції П'ятихатки-стикова.

У зв'язку з цим актуальність проблеми захисту від поширення ПТС є очевидною, особливо якщо враховувати прискорене введення в експлуатацію мікропроцесорних і мікроелектронних СЗАТ, що відрізняються більшою чутливістю до перехідних процесів атмосферної електрики, комутаційних процесів тягової мережі, імпульсних і безперервних завад.

Аналіз дослідження досвіду деяких закордонних країн щодо вдосконалення конструкції і характеристики захисних засобів показав, що дво-триступеневий захист вважається задовільним, якщо вдається погасити до 65 % енергії завади.

Отримані розрахункові результати потенціалів кількісно близько збігаються з виміряними значеннями в контрольно-вимірювальній точці біля вхідного світлофора (див. рис. 2).

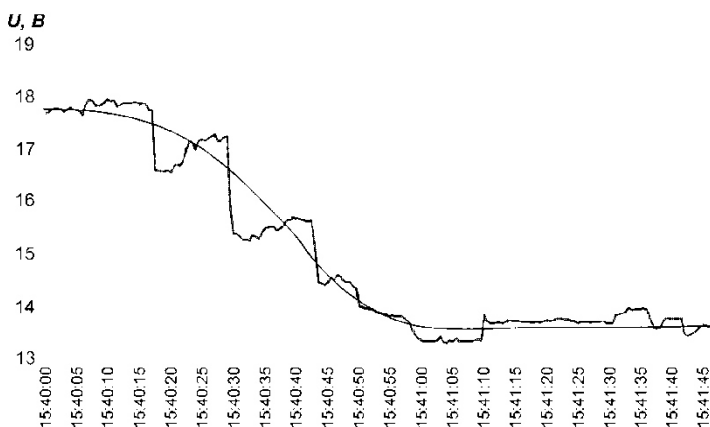


Рисунок 2 – Вимірюваний потенціал «рейка–земля» біля вхідного світлофора станції стикування

Ділянка полігону ЕЗС, яка примикає до станції стикування, як показав досвід експлуатації, у разі зміни кліматичних умов на відрізку часу осінь – зима і зима – весна та за вимушеного режиму роботи ТП є більш схильною до інтенсивних відмов у РК і перекриття світлофорів.

Ділянка обладнана фазочутливими і кодовими РК з ДТ-0,6-500С і ДТ-1-150.

Встановлено, що за наявності асиметрії рейкової лінії (по постійному струму вище 15 %) виникають рівні завад тягового струму, які істотно змінюють електричні характеристики колійних дросель-трансформаторів ДТ-0,6-500С, а також ДТ-1-150, внаслідок чого знижується опір магнітного кола, що призводить до виникнення відмов РК.

Для моделювання поширення тягового струму й потенціалу рейкової мережі ділянки (див. рис. 1) запропоновано модель, яка описується такими лінійними рівняннями:

$$\begin{cases} U_{xj}[i] = A[i] \cdot \exp(\alpha[q] \cdot x[i]) + B[i] \cdot \exp(-\alpha[q] \cdot x[i]), \\ I_{pxj}[i] = -\frac{1}{R_B[q, i]} [A[i] \cdot \exp(\alpha[q] \cdot x[i]) - B[i] \cdot \exp(-\alpha[q] \cdot x[i])], \end{cases} \quad (1)$$

де U_x – потенціал рейки на відстані x від початкової координати, B ; I_{px} – струм у рейках на відстані x від початкової координати, A ; i – номер розрахункової ділянки; α – коефіцієнт поширення хвилі; j – показник, що визначає режим роботи ТП; q – індекс вибору опору ізоляції рейкової лінії; R_b – хвильовий опір рейкової лінії, Ом/км, залежний від особливості ділянки; A , B – сталі інтегрування в конкретно взятій точці i .

Спільним розв'язком (1) для визначення струму й потенціалу кожного з режимів роботи ТП є система з граничними умовами:

$$\left\{ \begin{array}{l} A[i] \cdot \exp(\alpha[q] \cdot x[i]) + B[i] \cdot \exp(-\alpha[q] \cdot x[i]) = 0 \mid x[i] = \infty, \\ A[i-1] \cdot \exp(\alpha[q] \cdot x[i]) + B[i-1] \cdot \exp(-\alpha[q] \cdot x[i]) = \\ = A[i] \cdot \exp(\alpha[q] \cdot x[i]) + B[i] \cdot \exp(-\alpha[q] \cdot x[i]) \mid x[i] < x[n], \\ -\frac{1}{R_b[q, i-1]} [A[i-1] \cdot \exp(\alpha[q] \cdot x[i]) - B[i-1] \cdot \exp(-\alpha[q] \cdot x[i])] = \\ = -\frac{1}{R_b[q, i]} [A[i] \cdot \exp(\alpha[q] \cdot x[i]) - B[i] \cdot \exp(-\alpha[q] \cdot x[i])] \mid x[i] < x[n], \\ -\frac{1}{R_b[q, i-1]} [A[i-1] \cdot \exp(\alpha[q] \cdot x[i]) - B[i-1] \cdot \exp(-\alpha[q] \cdot x[i])] - \\ -\frac{1}{R_b[q, i]} [A[i] \cdot \exp(\alpha[q] \cdot x[i]) - B[i] \cdot \exp(-\alpha[q] \cdot x[i])] = I[n] \mid x[i] = x[n], \end{array} \right.$$

де $I[n]$ – струм локомотива або ТП з координатою в точці n , A .

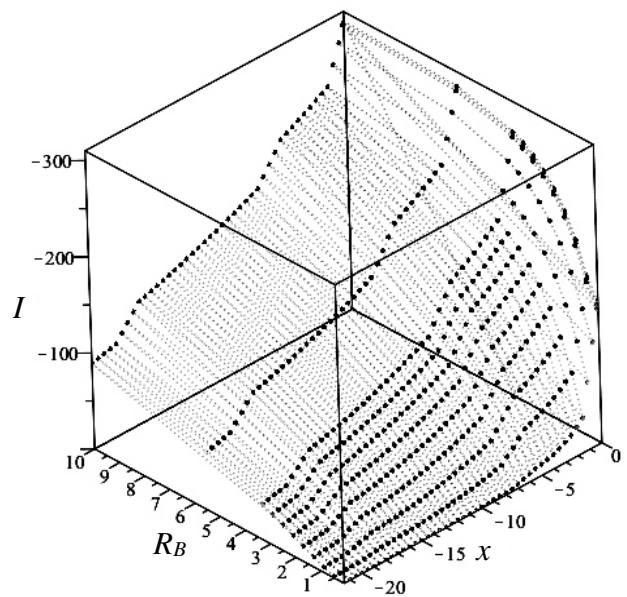
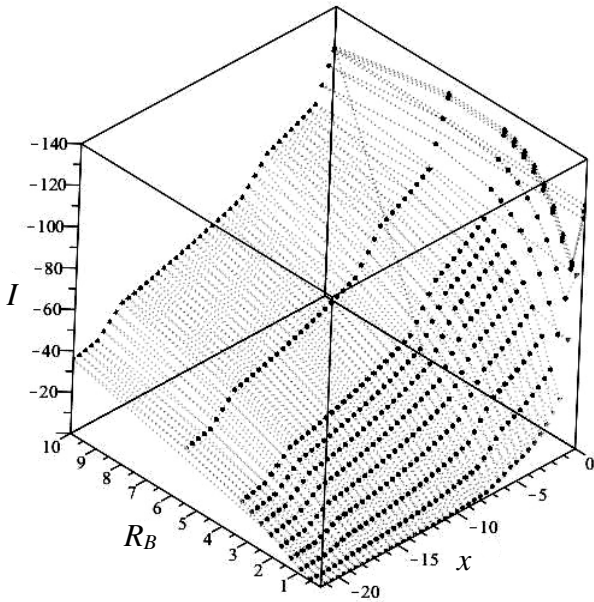


Рисунок 3 – Розподіл тягового струму в нормальному режимі ТП

Рисунок 4 – Розподіл тягового струму у вимушеному режимі ТП

На рис. 3, 4 наведено залежності розв'язку (1), що ілюструють діапазон розподілу тягового струму при різних опорах ізоляції баласту й режимах роботи тягових підстанцій. Аналогічно розраховані розподілення потенціалу «рейка–земля».

Внаслідок виконаного дослідження було отримано поширення постійного тягового струму та небезпечного потенціалу при короткому замиканні (КЗ) тягової мережі на станції стикування. Виявилося, що рівні потенціалів досягають 45–50 В, а струмів КЗ 6 000–7 000 А.

Отримані результати аналітичних та експериментальних досліджень використані під час розробки методу й засобу захисту від завад постійного тягового струму станції стикування, які поширюються вглиб полігону ЕЗС.

У **третьому розділі** розроблено математичну модель дослідження функціональних залежностей магнітних характеристик феромагнетиків, що застосовуються в пристроях систем СЦБ.

Для точнішого опису електрофізичних властивостей ФМ у роботі досліджено раціональні аналітичні функції, що описують основну криву намагнічування (ОКН), отриману експериментальним шляхом, і запропоновано методи визначення коефіцієнтів апроксимації функцій з найменшою похибкою відхилення від експериментальних даних.

Підібрана раціональна функція апроксимації ОКН повністю охоплює діапазон індукції насичення сталі феромагнетиків, причому отримані характерні значення напруженості магнітного поля H , А/м, та індукції B , Тл, використовуються для визначення коефіцієнтів чотиріполюсника схеми заміщення ДТ. У той час як на сьогоднішній день при розрахунку офіційних документів – нормалей регулювальних таблиць РК використовуються коефіцієнти чотиріполюсника, визначені лише на лінійній ділянці ОКН при індукції не більше 0,25–0,5 Тл.

Відомо, що осердя ФМ без повітряного зазору більшою мірою схильні до впливу підмагнічування постійним струмом. Отже, для експериментів і розробки методів розрахунків використаний дросель-трансформатор типу ДТ-1-150. Розроблено вимірювальну установку й програмне забезпечення для отримання експериментальних граничних окремих циклів основної кривої намагнічування ДТ-1-150 (див. рис. 5) та граничного окремого циклу з урахуванням підмагнічування постійним струмом (рис. 6).

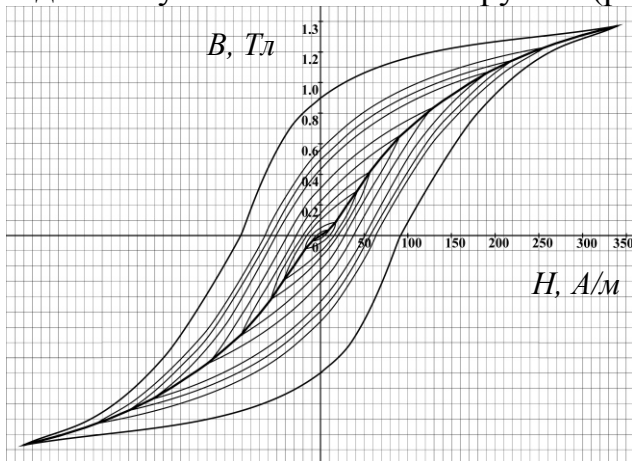


Рисунок 5 – Експериментальна ОКН ДТ-1-150 без підмагнічування постійним струмом

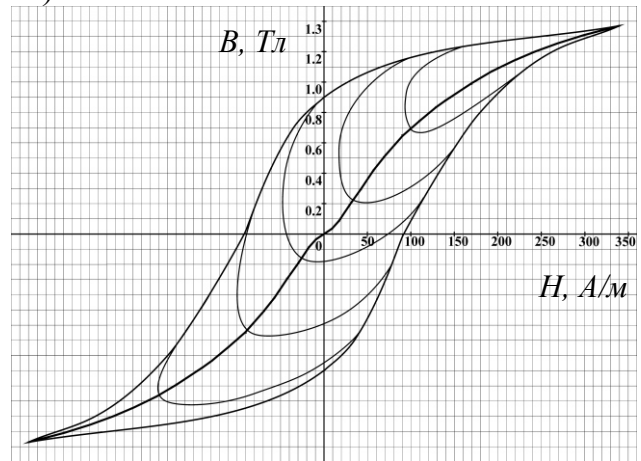


Рисунок 6 – Експериментальна ОКН ДТ-1-150 з урахуванням підмагнічування постійним струмом

Встановлено, що в основному використовують апроксимуючу гіперболічну функцію, яка є непарною і може бути застосована для розрахунку магнітних кіл як при постійному, так і при змінному полях. Водночас особливістю цих функцій є ускладнення аналітичних розрахунків нелінійних рівнянь внаслідок наявності функцій Бесселя. Підходи до моделювання магнітних компонентів у САПР, наприклад в LabVIEW, базуються на моделі Джилса–Атертона, використовують деякі відмінності в рівняннях і мають спільні недоліки: необхідність додаткового розрахунку параметрів моделі згідно з експериментальними даними; при підборі параметрів для точного моделювання граничних петель похибка під час опису окремих петель може становити десятки відсотків, при цьому не враховуються залежності форми петель від температури, частоти або швидкості перемагнічування.

Досліджено 14 аналітичних функцій, що описують ОКН, і встановлено, що для вирішення практичних розрахункових завдань за критеріями найменших медіан більш раціональною для апроксимації ОКН є функція арктангенса:

$$B = \alpha \cdot \arctan(\beta \cdot H) + c \cdot H, \quad (2)$$

де α , β , c – лінійні коефіцієнти апроксимації.

При визначенні коефіцієнтів апроксимації α , β , c функції (2) перебір здійснюється з використанням методу оптимізації пов'язаних напрямків з ортогональним зрушенням без застосування похідних та 10 методів для пошуку максимально раціональних коефіцієнтів апроксимації функції $H(t)$.

Використовуючи метод найменших функцій від модуля залишкових помилок, отримано $\alpha \cong 1,22$, $\beta \cong 0,0062$, $c \cong -0,00003$ (рис. 7) за критерієм похибки найменших медіан. Тоді загальна функція ОКН (2) набуває вигляду $B(H(t)) = 1,22 \cdot \arctan(0,0062 \cdot H(t)) - 0,00003 \cdot H(t)$.

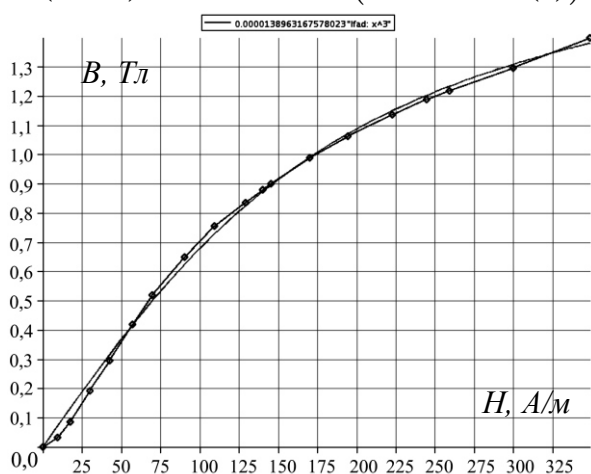


Рисунок 7 – Основна крива намагнічування, функції $B(H(t))$

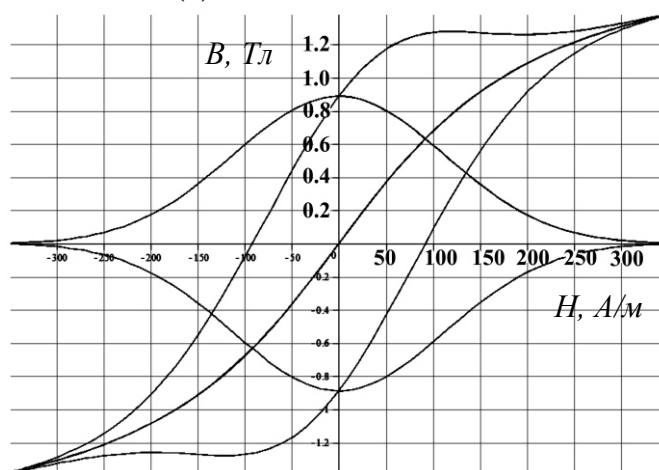


Рисунок 8 – Результат математичного опису ПГ

Для подальших досліджень цілком достатньо отриманої функції $B(H(t))$, але поряд з цим є нелінійні магнітні параметри, які впливають на характеристику

об'єкта з феромагнітним осердям, а саме – втрати в магнітопроводі й міді, які, як відомо, повною мірою описуються площею граничної петлі гістерезису (ПГ).

Досліджено вплив характеру граничних циклів ПГ на процеси перемагнічування магнітопроводу дросель-трансформатора ДТ-1-150. Встановлено, що доцільно розкласти відому функцію, яка описує ПГ, на дві функції

$$y(t) = f(x(t)) + \varphi\left(x(t), \frac{dx(t)}{dt}\right), \quad (3)$$

де $f(x(t))$ – функція апроксимації ОКН (2); $\varphi\left(x(t), \frac{dx(t)}{dt}\right)$ – функція, яка визначає відхилення від кривої ОКН висхідної й низхідної гілок, зміна швидкості перемагнічування.

При розкладанні ПГ (рис. 8) уздовж осі індукції функція $\varphi\left(x(t), \frac{dx(t)}{dt}\right)$ набуває вигляду:

$$\varphi(x) = \underbrace{-\alpha_2 \cdot \tanh\left(\beta_2 \cdot \frac{dx}{dt}\right)}_1 \cdot \underbrace{\exp(-(c_2 \cdot x)^2)}_2, \quad (4)$$

де коефіцієнти апроксимації α_2 , β_2 , c_2 вибираються за характерними параметрами граничної ПГ: залишкова індукція $B_r = 0,88$ Тл, коерцитивна сила $H_c = 90,8$ А/м, гранична точка діючих значень $B_m = 1,37$ Тл, $H_m = 345$ А/м. У результаті отримано: $\alpha_2 \cong 0,98$, $\beta_2 \cong -0,000023$, $c_2 = 0,046$; побудована апроксимація ПГ (рис. 8).

Отримані результати використано в описі моделі ДТ. Застосовано спрощений варіант Т-подібної схеми заміщення (СЗ) ДТ за принципом однофазного трансформатора напруги (рис. 9).

Рівняння електричного кола однофазного трансформатора після перетворення їх до нормальної форми Коші за законами Кірхгофа мають вигляд

$$\begin{cases} U_1 - i_1 r_1 = \underbrace{W_1^2 \frac{\partial \Phi}{\partial F}}_{L_{11}} \cdot \frac{di_1}{dt} + \underbrace{W_1 W_2 \frac{\partial \Phi}{\partial F}}_{L_{12}} \cdot \frac{di_2}{dt}, \\ -i_2 (r_2 + R_H) = \underbrace{W_2^2 \frac{\partial \Phi}{\partial F}}_{L_{22}} \cdot \frac{di_2}{dt} + \underbrace{W_1 W_2 \frac{\partial \Phi}{\partial F}}_{L_{21}} \cdot \frac{di_1}{dt}, \end{cases} \quad (5)$$

де U_1 – значення напруги первинної обмотки W_1 ; i_1 , i_2 – значення струмів у обмотках трансформатора W_1 , W_2 ; Φ – значення основного потоку; F – значення магніторушійної сили; r_1 , r_2 – активний опір обмоток.

Визначені із системи рівнянь (5)

$$L_{11} = W_1^2 \frac{\partial \Phi}{\partial F}, L_{12} = W_1 W_2 \frac{\partial \Phi}{\partial F}, L_{21} = W_1 W_2 \frac{\partial \Phi}{\partial F}, L_{22} = W_2^2 \frac{\partial \Phi}{\partial F}. \quad (6)$$

Значення (6) мають фізичний зміст загальної індуктивності обмоток, яка визначатиме головну індуктивність і магнітний взаємозв'язок.

Для знаходження похідної $\frac{\partial \Phi}{\partial F}$ з метою обчислення індуктивностей за формулами (6) у процесі розрахунку використовуємо отримане в ході апроксимації рівняння, що описує нелінійний магнітний параметр – динамічну магнітну провідність (7)

$$G_d(F) = \frac{\partial \Phi}{\partial F} = \frac{\mu_0 \mu_d(H) \cdot S}{\ell}. \quad (7)$$

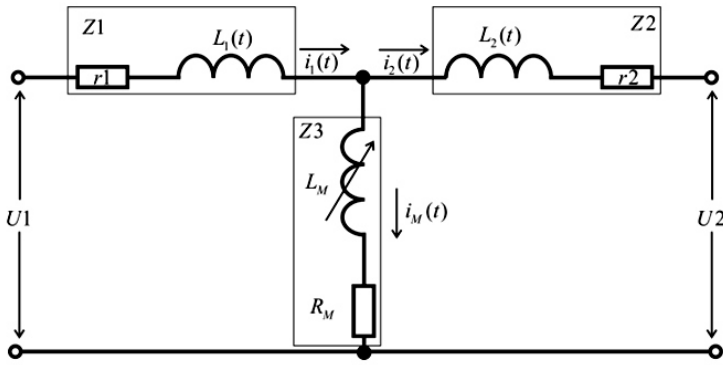


Рисунок 9 – Схема заміщення однофазного трансформатора

З теорії магнітних кіл відомо, що існують поняття статичної магнітної проникності $\mu_{ст}$ (у довідниках початкова і максимальна – P_1) і диференційної проникності μ_d , яка встановлює зв'язок між нескінченно малими приростами (P_2) індукції і напруженості й описується такими рівняннями:

$$\mu_{ст} = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH} \Big|_{P_1}, \quad \mu_d = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH} \Big|_{P_2} \quad (8)$$

З урахуванням розглянутих виразів (6)–(8) запишемо систему (5) в такому вигляді:

$$\begin{cases} \mu_d(t) = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB(t)}{dH(t)}, \\ G_d(t) = \frac{\mu_0 \mu_d(t) \cdot S}{\ell}, \\ L_{11}(t) = W_1^2 \cdot G_d(t), \\ L_{12}(t) = W_1 W_2 \cdot G_d(t), \\ L_{21}(t) = W_1 W_2 \cdot G_d(t), \\ L_{22}(t) = W_2^2 \cdot G_d(t), \\ U_1(t) - i_1(t) r_1 = L_{11}(t) \cdot \frac{di_1(t)}{dt} + L_{12}(t) \cdot \frac{di_2(t)}{dt}, \\ -i_2(t) (r_2 + R_M) = L_{22}(t) \cdot \frac{di_2(t)}{dt} + L_{21}(t) \cdot \frac{di_1(t)}{dt}. \end{cases} \quad (9)$$

Зображення реального трансформатора у вигляді схеми заміщення (рис. 10), що містить каскадне з'єднання ідеального трансформатора (ІТ) і Т-подібного пасивного чотириполюсника, дозволяє врахувати розсіювання магнітного потоку і втрати в міді та сталі (площа ПГ).

При розв'язанні (9), крім визначення індуктивностей при різних значеннях B і H , можна проаналізувати перехідний процес в ДТ.

Отримані індуктивності використовуються в схемі заміщення (СЗ) у Z-формі (див. рис. 10) і потім перетворюються в А-форму.

У Z-формі матриця коефіцієнтів має такий вигляд:

$$Z_T = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12}=z_M \\ z_1 + z_3 & z_3 \\ z_3 & z_1 + z_3 \\ z_{22}=z_M & z_{21} \end{bmatrix}.$$

Матриця А-параметрів СЗ результуюча Т-подібного чотириполусника та

$$\text{IT: } A_{12} = A_T A_{\text{ИТ}}, \quad A_{\text{ИТ}} = \begin{bmatrix} 1/n & 0 \\ 0 & n \end{bmatrix}, \quad A_T = \frac{1}{z_M} \begin{bmatrix} z_{11} & \overbrace{z_{11}z_{12} - z_M^2}^{\det Z} \\ 1 & z_{22} \end{bmatrix}, \quad n = W_2/W_1.$$

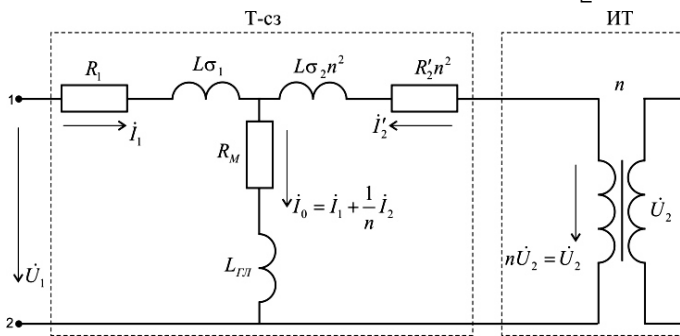


Рисунок 10 – Т-подібна схема заміщення й ідеальний трансформатор

У табл. 1 наведено порівняльні розрахункові параметри фазочутливих РК, отримані двома методами розрахунку – класичним і запропонованим, із застосуванням математичної моделі магнітних характеристик феромагнетиків.

Таблица 1 – Результаты расчетов фазочувствительных РК

Методи розрахунку	$\dot{U}_{\text{ДТ}}, \text{В}$	$\dot{I}_{\text{ДТ}}, \text{А}$	$\dot{U}_{\text{ТР}}, \text{В}$	$S, \text{ВА}$	$\beta_{\text{Р}}, \text{гр ад}$
Класичний	$3,75e^{j95,5^0}$	$0,82e^{j60^0}$	$5,1e^{j78,6^0}$	4,58	$6^032'$
Запропонований	$4,1e^{j89^0}$	$0,77e^{j54^0}$	$5,5e^{j78^0}$	4,23	6^0
Різниця в розрахунках, %	9,3	9,3	7,8	7,64	—

Запропонований метод розрахунку РК підвищує точність розрахункових результатів порівняно з класичним методом на 9–10 %. Метод вимагає створення банку даних (за петлями гістерезису, коефіцієнтів СЗ дросель-трансформаторів, на різній інформаційній частоті сигналів та інше). До переваг методу слід віднести досягнення більш високої достовірності розрахунків РК у великому діапазоні індукції сигнального струму з використанням ПГ феромагнетиків. Розглянутий метод слід застосовувати в дослідженнях і розрахунках нових та існуючих РК систем СЦБ для підвищення їх експлуатаційної надійності при дії завад тягового струму.

У **четвертому розділі** запропоновано метод захисту РК полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування, шляхом блокування поширення постійного тягового струму з використанням силових захисних комутуючих блоків (СЗКБ) (рис. 11).

Залежно від колійного розвитку й дистанції поширення завад зворотного тягового струму перегін ЕЗС, що прилягає до станції стикування, обладнується 2–4 захисними блоками.

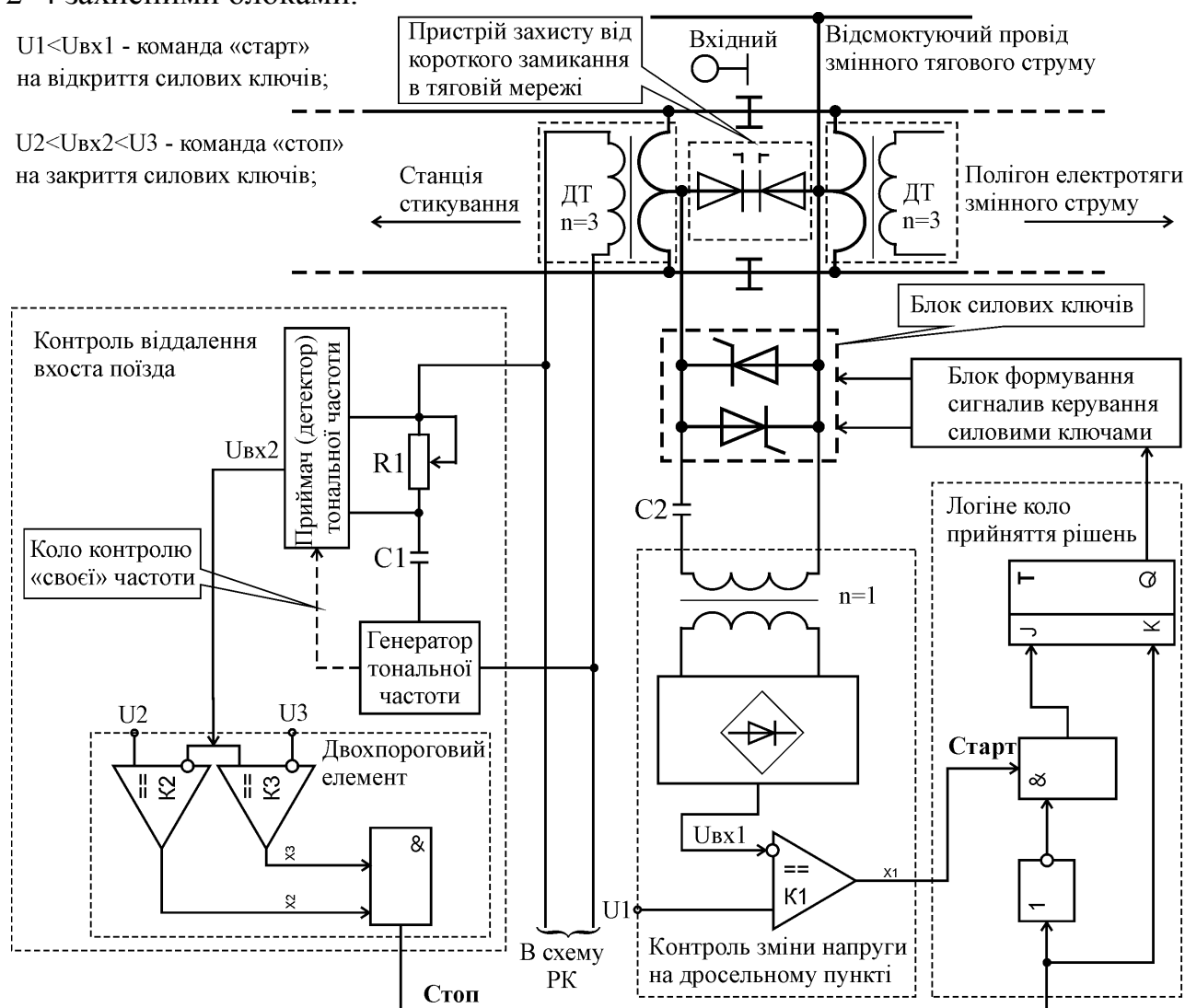


Рисунок 11 – Схема засобу захисту (СЗКБ)

На цій ділянці (див. рис. 1) запропоновано розмістити 4 блоки (рис. 12), де 3 – зворотний провід, 4 – СЗКБ.

За відсутності рухомої одиниці блок закритий, тяговий струм стікає через середню точку ДТ і зворотний провід на тягову підстанцію, у результаті поширення ПТС заблоковано.

При наближенні електропоїзда потенціал на ДП зростає і, досягнувши встановленого рівня ≈ 45 В, блок відкривається. Відкритий блок пропускає весь

тяговий струм на ділянку, де розташована рухома одиниця, а блок по хвосту рухомої одиниці в цей час вже закритий, чим виключається подальше поширення постійної складової тягового струму.

Натурними випробуваннями встановлено, що за відсутності поїзда СЗКБ закритий; у момент наближення поїзда до ДП потенціал на СЗКБ зростає до порога спрацювання (як показали випробування за 240 м від ДП з боку перегону ЕЗС), а при досягненні порога – СЗКБ відкривається.

З віддаленням поїзда від ДП на відстань більше 150 м СЗКБ закривається і перешкоджає протіканню постійного тягового струму.

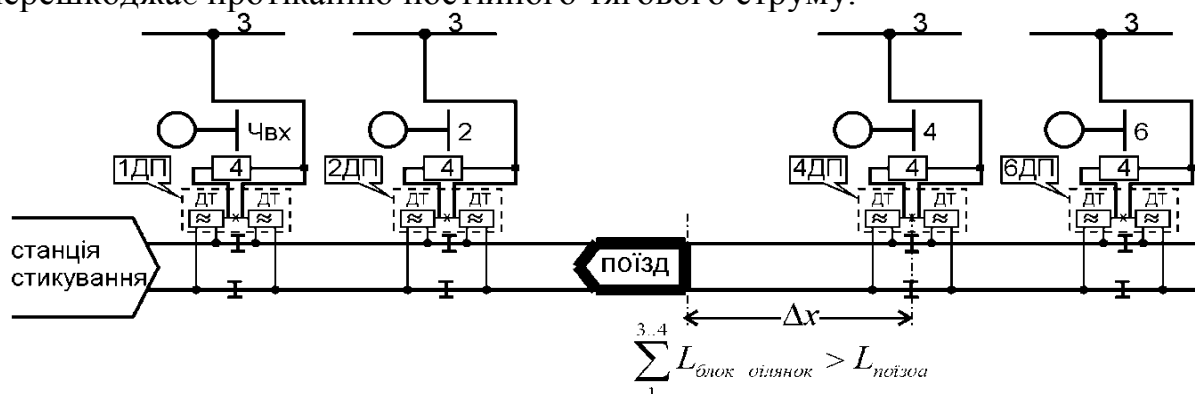


Рисунок 12 – Приклад розміщення СЗКБ по ділянці

У **п'ятому розділі** наведено економічне обґрунтування доцільності впровадження розробленого методу захисту РК від електромагнітних завад постійного тягового струму, які поширюються від станції стикування в сторону полігону ЕЗС. Використання на дросельному пункті СЗКБ дозволяє виключити відмови РК від впливу перешкод постійного тягового струму на апаратуру РК і підвищити їх експлуатаційну надійність, що, в остаточному підсумку, дозволить забезпечити безпеку руху поїздів і отримати економічний ефект від виключення витрат при простої рухомого складу. Крім того, запропонований метод дає можливість знизити корозійний вплив постійного тягового струму на металеві конструкції колії. Як показали розрахунки, впровадження запропонованого методу захисту РК дозволить отримати економію коштів у розмірі понад 470 000 грн/рік на обладнаній ділянці (5...35 км), а термін окупності методу складає 10 місяців.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання з підвищення експлуатаційної надійності роботи рейкових кіл полігону електротяги змінного струму в умовах впливу постійного тягового струму.

1. Досліджено роботу рейкової мережі полігону електротяги змінного струму в умовах протікання змішаних родів тягових струмів. Виконаний статистичний аналіз відмов рейкових кіл (65 %) свідчить про те, що на експлуатаційну надійність роботи РК впливає підмагнічування магнітопроводу ДТ постійним тяговим струмом, який розтікається зі станції стикування, особливо при вимушеному режимі роботи ТП чи зимовий період. Встановлено,

що завада постійного тягового струму зі станції стикування розтікається в полігон електротяги змінного струму на відстань більше 20 км. Відомим з доступних засобів підвищення експлуатаційної надійності РК полігону електротяги змінного струму, що примикає до станції стикування, є використання дросель-трансформаторів типу ДТ-0,6-500С в цих РК.

2. Розроблено узагальнену математичну модель для опису розподілу тягового струму в рейковій мережі в зоні станції стикування ланцюгової схеми, що враховує зміну опору ізоляції баласту, структуру колійного розвитку ділянки, а також режими роботи ТП, яка дозволила обґрунтувати спосіб захисту, підібрати параметри й характеристики пристрою захисту. Використаний підхід моделювання можна застосувати для будь-якої іншої ділянки тягової мережі й для аналізу різних точок підключення тягових підстанцій до тягової мережі для отримання мінімальних рівнів завад постійного тягового струму станції стикування.

3. Виконано аналіз підмагнічувального впливу перешкод зворотного тягового струму на колійні дросель-трансформатори. Розроблено імітаційну математичну модель для дослідження електромагнітних процесів у феромагнетику, зокрема в колійних ДТ, що дозволяє відтворити із заданої точки функції $B(H(t))$ подальше спрямування зміни параметрів магнітної системи і, відповідно, оцінити роботу рейкового кола. Використання розробленої імітаційної моделі, що відтворює в широкій області нелінійні зміни основної кривої намагнічування й процеси перемагнічування магнітної системи, дозволило розробити новий метод розрахунку параметрів рейкових кіл та режимів їх роботи при/без підмагнічування сталі магнітопроводу ДТ, і підвищити тим самим достовірність розробки регулювальних таблиць для нових проектів систем СЦБ. Різниця в результатах без урахування підмагнічування при розрахунку класичним і запропонованим методами склала не більше 10 %.

4. Запропоновано спосіб підвищення експлуатаційної надійності роботи РК шляхом встановлення в середні точки дросельних пунктів на проблематичній ділянці, яка примикає до станції стикування, силових захисних комутуючих блоків, що виключає як розтікання завад постійного тягового струму, так і підмагнічування магнітопроводу ДТ. Залежно від геометрії колійного розвитку схильної до впливу ділянки встановлюється 2–4 силових захисних комутуючих блоки для повного виключення поширення завад постійного тягового струму станції стикування в сторону полігону електротяги змінного струму.

Використовуючи математичну модель розподілу тягового струму в рейковій мережі в зоні станції стикування, аналітично встановлено, що при підключенні ТП постійного струму до тягової мережі на дросельному пункті в зоні вхідного світлофора станції стикування, на границі з перегonom змінного струму, перешкода постійного тягового струму зменшується більш ніж в два рази.

5. Зроблено техніко-економічну оцінку результатів впровадження методу захисту РК шляхом виключення завад постійного тягового струму станції

стикування на пристрої СЦБ перегону електротяги змінного струму через використання силового захисного комутуючого блока, причому економічний ефект становить понад 470 000 грн/рік на одну обладнану ділянку за рахунок виключення відмов РК при впливі завад постійного тягового струму й затримки поїздів. Термін окупності методу складає 10 місяців.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці за результатами досліджень:

1. Разгонов А. П. Математическая модель перемагничивания ферромагнетиков в рельсовых цепях / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавлев, С. А. Разгонов // Транспорт Урала. – 2008. – № 1 (16). – С. 35–39.
2. Защита рельсовых цепей в зоне стыкования систем электротяги / А. П. Разгонов, В. А. Дьяков, А. Ю. Журавлев, С. А. Разгонов // Автоматика, связь информатика. – Москва, 2009. – № 9. – С. 19–22.
3. Журавльов А. Ю. Про метод розрахунку рейкових кіл з нелінійними феромагнетиками в умовах впливу завад тягового струму / А. Ю. Журавльов // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2016. – Вип. 1(61). – С. 19–29.
4. Журавльов А. Ю. Оцінка асиметрії рейкової лінії інформаційних частот тонального спектру / А. Ю. Журавльов // Зб. наук. пр. Українського держ. ун-ту залізн. трансп. – 2016. – Вип. 159. – С. 24–33.
5. Диагностика электрических машин с использованием беспроводных каналов передачи информации / А. П. Разгонов, А. Ю. Лебедев, А. Ю. Журавлев, С. А. Щиголев // Транспорт Урала. – 2016. – № 1 (48). – С. 66–71.
6. Комп'ютерне діагностування стрілочних та тягових електродвигунів за допомогою частотних методів / А. П. Разгонов, М. І. Капіца, О. Ю. Лебедев, А. Ю. Журавльов // Зб. наук. пр. ДонІЗД. – 2012. – Вип. 32. – С. 61–66.
7. Пат. 84968 Україна, МПК В61L 1/00. Пристрій захисту рейкових кіл ділянки тяги змінного струму від впливу зворотного постійного струму / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавльов, А. Ю. Лебедев; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – № U 2013 04391; заявл. 08.04.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21. – 6 с.

Додаткові праці:

8. Система бездротової передачі даних ZigBee в процесі технічної діагностики віддалених об'єктів залізничної автоматики / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавльов, О. Ю. Лебедев, С. А. Разгонов // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті : зб. наук. пр. ДНУЗТ. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 6. – С. 24–31.
9. Пат. 33376 Україна, МПК G01R 31/02. Пристрій захисту рейкових кіл ділянок тяги змінного струму від впливу зворотного постійного тягового струму / А. П. Разгонов, В. О. Дьяков, О. І. Гілевич, А. Ю. Журавльов; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – № U 2008 00018; заявл. 02.01.2008; опубл. 25.06.2008, Бюл. № 12. – 5 с.
10. Пат. 69209 Україна, МПК В61L 23/00 Параметричний генератор частоти з захистом навантаження від завад / А. П. Разгонов, К. І. Ящук, А. Ю. Журавльов, С. А. Разгонов, О. Ю. Лебедев; заявник та патентовласник

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – № U 2011 11206; заявл. 20.09.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8.

11. Пат. 77216 Україна, МПК B61L 23/00 Параметричний генератор з неколінеарними магнітними полями / А. П. Разгонов, К. І. Ящук, А. Ю. Журавльов, О. Ю. Лебедев; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – № U 2012 06526; заявл. 29.05.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3.

12. Пат. 80793 Україна, МПК B61L 23/00 Параметричний генератор з ефективним захистом навантаження від завад / А. П. Разгонов, К. І. Ящук, А. Ю. Журавльов, О. Ю. Лебедев; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – № U 2012 14811; заявл. 24.12.2012; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 11.

13. Пат. 87844 Україна, МПК B61L 23/00 Параметричний генератор з неколінеарними магнітними полями для живлення пристроїв автоматики і телемеханіки / А. П. Разгонов, К. І. Ящук, А. Ю. Журавльов, О. Ю. Лебедев; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – № U 2013 09113; заявл. 19.07.2013; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4.

14. Пат. 70601 Україна, МПК B61L 1/00. Параметричний генератор з неколінеарними магнітними полями / А. П. Разгонов, М. О. Ковригін, К. І. Ящук, А. Ю. Журавльов, О. Ю. Лебедев, С. А. Разгонов; заявник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна. – № U 2011 11205; заявл. 20.09.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.

15. Пат. 92628 Україна, МПК B61L 23/00 Двоконтурний параметричний генератор з захистом навантаження від завад / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавльов, К. І. Ящук, С. А. Разгонов; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – № U 2014 03205; заявл. 27.03.2014; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16.

16. Пат. 95486 Україна, МПК B61L 23/00 Пристрій живлення та захисту апаратури систем залізничної автоматики від впливу атмосферних та комутаційних перенапруг / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавльов, К. І. Ящук, О. Ю. Лебедев, С. А. Разгонов; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – № U 2014 07601; заявл. 07.07.2014; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24.

Праці апробаційного характеру:

17. Разгонов А. П. Электромагнитная совместимость устройств тягового электроснабжения и систем централизации и блокировки в зоне станции стыкования электрифицированных участков постоянного и переменного токов / А. П. Разгонов, В. А. Дьяков, А. Ю. Журавлев // Труды Всероссийской научно-практической конференции. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2015. – С. 34–40.

18. Разгонов А. П. О математическом описании петли гистерезиса ферромагнитных сердечников / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавлев, Е. И. Ящук // Материалы IV Международной научно-практ. конф. «Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте» / ДИИТ. – Днепропетровск, 2011. – С. 66.

19. Разгонов А. П. О повышении надежности работы рельсовых цепей с использованием цифровой обработки сигнала / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавлев, Е. И. Ящук // Материалы IV Международной научно-практ. конф. «Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте» / ДИИТ. – Днепропетровск, 2011. – С. 65–66.

20. Діагностування електричних машин частотним методом / А. П. Разгонов, М. І. Капіца, О. Ю. Лебедєв, А. Ю. Журавльов, К. І. Ящук // Материалы IV Международной научно-практ. конф. «Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте» / ДИИТ. – Днепропетровск, 2011. – С. 67.

21. Разгонов А. П. Вплив тягового струму асиметрії на роботу рейкових кіл / А. П. Разгонов, К. І. Ящук, А. Ю. Журавльов // Матеріали III Міжнародної науково-практ. конф. «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті EMCS-R 2011» / ДІТ. – Дніпропетровськ, 2011. – С. 68.

22. Журавлев А. Ю. О повышении надежности работы рельсовых цепей с использованием цифровой обработки сигнала / А. Ю. Журавлев, М. В. Бондаренко // «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (S&EMC 2012) : тези V Міжнародної науково-практ. конф. / ДІТ. – Дніпропетровськ, 2012. – С. 39–40.

23. О некоторых проблемах повышения безопасности железнодорожной автоматики / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавлев, Е. И. Ящук, А. Ю. Лебедев // «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (S&EMC 2012) : тези V Міжнародної науково-практ. конф. / ДІТ. – Дніпропетровськ, 2012. – С. 56–58.

24. О применении современных технологий для повышения надежности СЖАТ / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавлев, Е. И. Ящук, А. Ю. Лебедев // «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (S&EMC 2012) : тези V Міжнародної науково-практ. конф. / ДІТ. – Дніпропетровськ, 2012. – С. 58–59.

25. Параметричний трансформатор частоти на неколінеарних магнітних полях як захисний засіб від завад / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавлев, К. І. Ящук, О. Ю. Лебедєв // «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (S&EMC 2012) : тези V Міжнародної науково-практ. конф. / ДІТ. – Дніпропетровськ, 2012. – С. 59–60.

АНОТАЦІЯ

Журавльов А. Ю. Підвищення експлуатаційної надійності роботи рейкових кіл полігону електротяги змінного струму, який примикає до станції стикування. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2016.

Дисертація присвячена питанням підвищення експлуатаційної надійності систем автоматики на станціях і перегонах в умовах впливу завад постійного тягового струму станції стикування.

Удосконалено метод розрахунку поширення потенціалів і струмів у рейковій мережі ділянки станції стикування й ділянок, що примикають до неї,

при різних режимах роботи й точках підключення ТП, що дозволило оцінити їх рівні, що впливають на апаратуру рейкових кіл і запропонувати метод захисту.

Розроблено математичну модель, яка описує електромагнітні процеси в об'єкті з феромагнітним осердям, що дозволило оцінити характеристику стану об'єкта й отримати нові дані про нього.

Запропоновано та розроблено метод розрахунку рейкових кіл, що враховує нелінійний характер роботи ДТ в умовах впливу завад тягового струму.

Розглянуто та запропоновано метод захисту рейкових кіл шляхом блокування поширення завади постійного тягового струму зі станції стикування в бік перегону електротяги змінного струму.

Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, а також розроблені математичні моделі, пристрій захисту та методи розрахунків можуть бути використані в ході проектування та переобладнання перегонів новими СЗАТ і для забезпечення електромагнітної сумісності систем СЦБ і тягової мережі, а також для захисту апаратури рейкових кіл від впливу різного роду завад тягового струму.

Ключові слова: рейкове коло, експлуатаційна надійність, тяговий струм, завада, апроксимація, феромагнетик, захист.

АННОТАЦИЯ

Журавлев А. Ю. Повышение эксплуатационной надежности работы рельсовых цепей полигона электротяги переменного тока, примыкающего к станции стыкования. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2016.

Диссертация посвящена вопросам повышения эксплуатационной надежности систем автоматики на станциях и перегонах в условиях воздействия помех постоянного тягового тока станции стыкования.

Усовершенствован метод расчета распространения потенциалов и токов в рельсовой сети участка станции стыкования и участков, примыкающих к ней, при различных режимах работы и точках подключения ТП, что позволило оценить уровни токов и потенциалов, которые влияют на аппаратуру рельсовых цепей. Полученный результат использовался при выборе и построении метода защиты.

Специфика рельсовой сети рассмотренного узла станции стыкования в том, что два примыкания к тяговым подстанциям постоянного тока, расположенные на расстоянии более 40 км друг от друга, приводят в вынужденном режиме работы тяговых подстанций к созданию повышенных потенциалов «рельс–земля». Это в свою очередь вызывает рост постоянных токов, вытекающих в сторону рельсовой сети полигона электротяги переменного тока на расстояние свыше 30 км. Эти токи легко насыщают ферромагнитный сердечник дроссель-трансформаторов без воздушного зазора типа ДТ-1-150 и вызывают отказ в работе устройств СЦБ.

Предложена математическая модель, описывающая электромагнитные процессы в объекте, содержащем ферромагнитный сердечник, что позволило оценить характеристику состояния объекта и получить новые данные о нем.

Предложен метод расчета рельсовых цепей, учитывающий нелинейный характер работы ферромагнитного сердечника дроссель-трансформатора ДТ в условиях воздействия помех постоянного тягового тока станции стыкования.

Рассмотрен и предложен метод защиты рельсовых цепей путем блокирования распространения помехи постоянного тягового тока со станции стыкования в сторону перегона электротяги переменного тока.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, а также разработанные математические модели, устройство защиты и методы расчетов могут быть использованы при проектировании СЖАТ, переоборудовании перегонов новыми системами железнодорожной автоматики и телемеханики, для обеспечения электромагнитной совместимости систем СЦБ и тяговой сети и защиты аппаратуры рельсовых цепей от воздействия различного рода помех тягового тока.

Ключевые слова: рельсовая цепь, эксплуатационная надежность, тяговый ток, помеха, аппроксимация, ферромагнетик, защита.

THE SUMMARY

Zhuravlev A.Yu. The increasing operational reliability of track circuit working on proving ground of AC electric traction, that joins to splicing station. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on specialty 05.22.20 – exploitation and repair of transport means. Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnepropetrovsk, 2016.

The thesis has been devoted to improving the reliability of automation systems at stations and railroad hauls under the influence of hindrances of splicing station DC traction current.

The calculation method of potentials and currents propagation in splicing station rail network and areas adjacent to it, with different modes and connecting points of traction substation has been improved, that allowed to evaluate their levels, influencing to equipment of track circuit and propose protection method.

Mathematical model, that describes electromagnetic processes in object with ferromagnetic core has been proposed, that allowed to estimate the characteristic of object state and to get new data about it.

The method of track circuits calculation has been proposed, that takes into consideration the non-linear character of the throttle-transformators working in conditions of influence of traction current hindrances.

The method of track circuits protection by blocking the spreading of hindrance of DC traction current from the splicing station toward the railroad haul with AC traction current, has been proposed and considered.

Scientific results, that have been obtained in the thesis, developed mathematical model, device of protection, calculation methods can be used in designing and redeveloping of hauls by new systems of railway automatic and telemechanic and for providing electromagnetic compatibility of signaling, centralization and blocking systems with traction network and for protection track circuit equipment from influence of different hindrances of traction current.

Keywords: track circuit, operational reliability, traction current, hindrance, approximation, ferromagnetic, protection.

ЖУРАВЛЬОВ АНТОН ЮРІЙОВИЧ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ
РЕЙКОВИХ КІЛ ПОЛІГОНУ ЕЛЕКТРОТЯГИ ЗМІННОГО СТРУМУ,
ЯКИЙ ПРИМИКАЄ ДО СТАНЦІЇ СТИКУВАННЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 27. 09. 2016 р. Формат 60x84 1/16
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. № 623

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №1315 від 31.03.2003 р.

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010