МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Разгонов Сергій Адамович

УДК 656.25:156.25

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ РЕЙКОВИХ ЛАНЦЮГІВ В УМОВАХ ВПЛИВУ ПЕРЕШКОД ТЯГОВОГО СТРУМУ ТА НЕСТАБІЛЬНОСТІ НАПРУГИ В МЕРЕЖІ ЖИВЛЕННЯ

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ - 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства інфраструктури України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Жуковицький Ігор Володимирович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
завідувач кафедри «Електронні обчислювальні машини»

Офіційні опоненти : доктор технічних наук, професор
Бабаєв Михайло Михайлович,
Українська державна академія залізничного транспорту
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України
завідувач кафедри «Електротехніка і електричні машини»

кандидат технічних наук, доцент
Муха Андрій Миколайович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
завідувач кафедри «Електричні машини»

Захист відбудеться 20.09.2011 р. о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

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

Автореферат розісланий 16.09.2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
д. т. н., професор _____І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Відповідно до Концепції і програми реструктуризації галузі «Автоматика, телемеханіка та зв'язок» та Програми інформатизації галузі одним з напрямків підвищення ефективності перевезень і безпеки руху поїздів є відновлення існуючої техніки систем автоматики і телемеханіки (АіТ) та зв'язку, обґрунтування надійності її функціонування.

Електричні рейкові кола (РК) виконують функції джерел інформації про вільність та цілісність рейкової колії. Від надійності їхньої роботи залежить ефективне функціонування систем АіТ і забезпечення заданих експлуатаційних показників залізниць.

Актуальність теми. Однією з проблем, пов'язаних з підвищенням стійкості роботи РК, є їхня експлуатація в умовах впливу потужних перешкод тягового змінного струму, які виникають: у період ожеледі на проводах контактної мережі; під час входження навантаженого електровоза в зону нейтральної вставки, увімкнення електровоза в тягову мережу; у випадку нестабільності напруги мережі живлення та інше.

У разі порушення контакту, наприклад при ожеледі, між струмоприймачем та контактним проводом утворюється електрична дуга, що супроводжується виникненням перехідних процесів у силовому колі електровоза та в РК. Вільна складова цих процесів, за наявності асиметрії рейкової лінії (РЛ), викликає насичення магнітопроводів колійних дросель-трансформаторів (ДТ), що веде до відмов РК, а змінна складова заповнює паузи та спотворює амплітудно-маніпульовані сигнали тональних РК, що також спричиняє їх відмови. Наприклад, статистика відмов РК показує, що в період виникнення ожеледі протягом двох тижнів на одній зі станцій Одеської залізниці було зафіксовано більше ніж 60 перекриттів світлофорів.

У зв'язку з вищевикладеним, актуальність проблеми захищеності рейкових кіл в умовах виникнення потужних комутацій у силовому колі електровоза, визначається необхідністю підвищення електромагнітної сумісності системи «рейкове коло – тягова мережа» з виконанням вимог безпеки руху поїздів.

Досвід експлуатації тональних РК на залізницях країн СНД підтверджує їх перевагу перед низькочастотними колами. Незважаючи на це, деякі їхні характеристики вимагають поліпшення, що можна здійснити за рахунок підвищення коефіцієнта повернення приймачів ($К'_{ВН}$) шляхом забезпечення їхнього живлення від джерела стабілізованої напруги. Неприпустимо широкий діапазон коливання напруги живильної мережі (більше ніж +10 %…-15 %) викликав вказані обставини.

Розроблене стабілізуюче перешкодостійке джерело живлення дозволяє підвищити $К'_{ВН}$ до 30 % та істотно поліпшити критерії та технічні характеристики тональних РК, а саме: покращити надійність контролю злому рейок та наявності шунта, збільшити довжину РК та інше.

Вище викладене, дає можливість виділити актуальне науково-прикладне завдання з підвищення завадостійкості РК в умовах ожеледі та інших впливів у мережі живлення електровоза шляхом симетрування РЛ та застосування стабілізуючого джерела живлення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Робота виконувалася відповідно до «Концепції та програми реструктуризації залізничного транспорту України», «Програми підвищення безпеки руху на залізницях України», затвердженої наказом Укрзалізниці № 547-Ц від 15.10.2001 року, а також за науково-дослідними темами: «Розробка технічних рішень для захисту рейкових кіл від перешкод тягового струму» (номер державної реєстрації № 01050001802); «Експлуатаційна оцінка ефективності блоків захисту рейкових кіл від перешкод тягового струму в умовах ожеледиці» (номер державної реєстрації № 01250004927); «Розробка комплексу технічних заходів по зниженню впливу системи тягового енергопостачання на пристрої АіТ на станції П'ятихатки–Стикова» (номер державної реєстрації № 01120005643); «Експлуатаційні іспити симетруючих блоків для підвищення надійності рейкових кіл в умовах ожеледиці» (номер державної реєстрації № 01090009016); «Розробка експериментального програмно-апаратного комплексу з дистанційної діагностики електродвигунів постійного струму приводів» (номер державної реєстрації № 04020005872), у яких дисертант брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення надійності роботи РК в умовах значних коливань напруги первинних джерел живлення й забезпечення завадостійкості станційних фазочутливих і тональних РК у разі асиметрії РЛ та впливу комутаційних процесів у силовому ланцюзі електровоза.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі завдання:

– узагальнити досвід покращення ефективності та рівня безпеки роботи станційних фазочутливих і тональних РК при впливу комутаційних процесів у тяговій мережі та асиметрії РЛ;

– розробити та дослідити математичну модель параметричного генератора як джерела стабілізуючої напруги для РК на частоті 50 Гц;

– на базі розробленої математичної моделі дослідити та удосконалити інженерну методику розрахунку конструкції параметричного генератора;

– розробити математичну модель РЛ із симетруючими блоками в контрольному режимі та дослідити покращення характеристик РЛ із використанням отриманих коефіцієнтів чотириполюсників РЛ;

– дослідити області існування й характеристики РК в умовах впливу коливання напруги мережі живлення у разі підвищення значення наведеного коефіцієнта $К'_{ВН}$ приймачів;

– дослідити вплив імпульсних перешкод тягового струму на роботу фазочутливих і тональних РК;

– розробити методи підвищення завадостійкості РК в умовах ожеледі на контактній мережі під впливом комутаційних процесів у тяговій мережі;

– розробити метод вибору раціональних величин опорів резисторів симетруючих блоків та дослідити значення наведеного коефіцієнта поздовжньої асиметрії РЛ, за якого забезпечується підвищення надійності роботи РК в описаних вище умовах;

– здійснити коректування нормалей інституту «Гипротранссигналсвязь» (ГТСС) РЦ-25-ЭТ-3-96 та ТРЦ-ЭТ50-3-96 (для РК станцій);

– перевірити адекватність розроблених теоретичних методик шляхом проведення лабораторних та експлуатаційних випробувань параметричного генератора і РК із симетруючими блоками.

Об'єкт дослідження – процес роботи РК в умовах значних коливань напруги джерел живлення та забезпечення їх завадостійкості у разі асиметрії рейкової лінії та впливу комутаційних процесів у тяговій мережі живлення.

Предмет дослідження –методи та засоби підвищення надійності роботи рейкових кіл, завадостійкості та безпеки систем АіТ.

Методи дослідження. Використані методи математичного моделювання лінійних та нелінійних диференціальних рівнянь; аналізу та синтезу електричних РК; теорії ймовірностей; натурного моделювання; методів числових розрахунків; натурних, лабораторних і експлуатаційних випробувань запропонованих та синтезованих засобів та способів.

Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів зумовлена коректністю застосованого математичного апарату та використанням результатів натурних досліджень для обґрунтування математичних моделей і методів.

Наукова новизна одержаних результатів. Вирішено науково-технічне завдання із захисту РК від впливу імпульсних перешкод в умовах ожеледі й комутаційних процесів у тяговому колі шляхом застосування симетруючих блоків та параметричних генераторів частоти, а саме:

– вперше запропоновано спосіб забезпечення надійності роботи станційних фазочутливих і тональних РК в умовах ожеледі, входження навантаженого електровоза в зону нейтральної вставки, увімкнення електровоза до мережі живлення та інше шляхом зниження коефіцієнта асиметрії РЛ по постійному струму до необхідного рівня за допомогою симетруючих блоків;

– розроблено аналітичну математичну модель для дослідження параметрів і характеристик параметричного генератора в режимі повторення частоти, який задовольняє вимоги підвищення завадостійкості РК в умовах ожеледі контактної мережі та впливу комутаційних процесів у тяговій мережі з виконанням вимог безпеки руху поїздів;

– розроблено математичну модель та метод розрахунку контрольного режиму роботи РК у разі увімкнення в схему РК симетруючих резисторів та представлення РК як кола з розподіленими або із зосередженими параметрами;

– розроблено ефективний метод підвищення технічних характеристик тональних РК та наведеного коефіцієнта повернення приймачів $К'_{ВН}$ шляхом застосування генератора частоти, який стабілізує напругу живлення.

Практичне значення одержаних результатів таке:

– розроблено ефективний метод та засоби із захисту апаратури РК від впливу потужних імпульсних перешкод (ПІП) та комутаційних процесів тягового струму в мережі живлення;

– покращено технічні характеристики тональних РК шляхом підвищення наведеного коефіцієнта приймачів ($К'_{ВН}$), розширення області існування РК за граничним опором ізоляції РЛ, критеріями чутливості до зламу рейки та шунта;

– розроблено параметричний генератор, який працює в режимі повторення частоти і здійснює надійну стабілізацію живлення апаратури РК;

– удосконалено інженерний метод розрахунку параметрів генератора, перевірений у ході виготовлення його дослідних зразків;

– удосконалено інженерний метод розрахунку регулювальних таблиць для РК із симетруючими резисторами, що дозволяє підвищити достовірність розрахунків та якість профілактики систем АіТ. Ці таблиці були використані в ряді проектів з реконструкції систем АіТ для Укрзалізниці.

За результатами дисертації на харківському заводі «Трансзв'язок» виготовлено зразки генераторів частоти ПЧ50:50, які пройшли випробування в заводських умовах, а також у науково-дослідній лабораторії (НДЛ) ДНУЗТ «Рейкові кола». Крім того, у 6-й дистанції сигналізації та зв'язку Придніпровської залізниці виготовлено зразки симетруючих блоків, які пройшли експлуатаційні випробування на ст. Олейниково Одеської залізниці.

Особистий внесок здобувача. Усі положення та результати, які виносяться на захист, були отримані автором самостійно або за його особистої участі. У працях, що опубліковані в співавторстві, дисертанту належить розробка математичних моделей для розрахунків і досліджень диференціальних рівнянь рейкових кіл і перетворювача частоти [1, 2, 3, 6, 7, 8, 14, 15]; у статтях [5, 6, 11] запропонований метод вибору оптимальних величин опорів резисторів симетруючих блоків; у роботах [12, 13, 17] автором розроблені програми для розрахунку регулювальних таблиць РК і оцінки їх граничних рівнів.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були схвалені на таких конференціях: Міжнародна науково-методична конференція «Проблеми математичного моделювання» (м. Дніпродзержинськ, 2004); Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті» (м. Судак, 2004, 2006, 2007, 2009); Міжнародна науково-практична конференція «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті» (м. Дніпропетровськ, 2007); Міжнародна науково-практична конференція «Безпека руху поїздів» (м. Москва, 2002, 2006).

У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі кафедр «Електронні обчислювальні машини», «Локомотиви», «Вагони», «Станції та вузли», «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», «Теоретичні основи електротехніки», «Прикладна математика», «Будівельна механіка», «Електрорухомий склад залізниць» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 12.04.2011 р.

Публікації. Основні результати досліджень опубліковано у 18 наукових публікаціях у фахових виданнях, затверджених ВАК України, в тому числів основні 7 наукових статей (2 з них без співавторів) та 2 патенту України, а також 5 додаткових працях та 4 тезах доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Повний обсяг викладено на 178 сторінках, з них 141 сторінка основного тексту. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 117 назв на 9 сторінках, 5 додатків на 26 сторінках, ілюстрована 74 рисунками та 4 таблицями.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано зв'язок з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету й завдання досліджень, відображено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок автора, наведено інформацію про апробацію та публікації результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено аналіз теоретичного й практичного вітчизняного та закордонного досвіду, методів і засобів захисту апаратури рейкових кіл від ПІП, комутаційних перешкод тягової електромережі, а також підвищення надійності РК в умовах нестабільності живильної напруги та, особливо, в період утворення ожеледі на проводах контактної мережі.

Встановлено, що однією з причин низької захищеності та стійкості пристроїв АіТ до ПІП є недосконаліть захисних засобів, які не витримують встановленої за нормативами теплової характеристики (~ 55 кДж) та швидкодії спрацьовування. Досвід експлуатації показав, що перетворювач частоти типу ПЧ:50/25, по суті, є параметричним трансформатором і фільтром, теплові властивості якого близькі до згаданого нормативу і який не має відмов від згаданих ПІП, що пояснюється його здатністю обмежувати параметри ПІП у режимі насичення.

Звідси, розробка перетворювача частоти вторинного джерела живлення 50 Гц на базі перетворювача 25 Гц дозволяє підвищити захищеність апаратури АіТ від перешкод.

Аналіз показав, що в умовах нестабільності напруги живильної мережі, що досягає іноді +10 %…-15 %, одним з ефективних напрямків розширення робочої області РК є стабілізація напруги.

Вагомий внесок у розвиток теорії РК та в практику будівництва системи енергопостачання залізничного транспорту та електромагнітної сумісності зробили такі вчені: Брилеєв А. М, Пєнкін Н. Ф., Покровський М. А., Шишляков А. В., Кравцов Ю. А, Лисенков В. М., Дмитрієв В. С., Марквардт К. Г., Павлов І. В., Разгонов А. П., Косарев Б. І., Бадер М. П. та ін.

Відомо, що працездатність РК оцінюється критеріями чутливості основних режимів, які залежать від діапазону зміни живильної напруги, параметрів схем і РЛ, та коефіцієнтом повернення приймача

$К'_{ВН} = К_{З0}К_В/К_З К_И$, де $К_{З0}, К_З$ – коефіцієнти запасу за відпадінням і спрацьовуванням приймача відповідно, $К_В, К_И$ – коефіцієнт повернення й коливання напруги живлення відповідно. Граничний опір ізоляції (рис. 1) є основним параметром оцінки робочої області РК. Зі збільшенням коефіцієнта $К'_{ВН}$ він істотно знижується, що важливо для забезпечення надійності систем автоматики на ділянках з низьким опором ізоляції. Зі зростанням довжини (рис. 2) наявні переваги низькочастотних РК (25, 50, 75 Гц): коли в області тональних частот довжини ланцюгів коротшають, граничний опір $R_{КПР}$ збільшується. Встановлено, що обмежуючим є, як правило, контрольний режим, модуль критерію оцінки якого

$$|К_К| = \left| К'_{ВН} \frac{Z_{ПОК}}{Z_{ПО}} \right| \geq 1,0, \qquad (1)$$

де $Z_{ПОК}$, $Z_{ПО}$ – опори передачі РК в контрольному й нормальному режимах відповідно.

Виявилося, що незважаючи на розходження в розмірах робочих областей (див. рис.1, 2), усі ланцюги мають одну спільну особливість: підвищення працездатності при скороченні довжини рейкової лінії й збільшенні коефіцієнта повернення.

Якщо, поряд з підвищенням $К'_{ВН}$ шляхом стабілізації напруги урахувати більш жорсткі допуски на елементи мікроелектроніки приймачів, то можна реально на 8…10 % підвищити $К_В$ (від 0,8 до 0,88) та знизити $К_З$ (від 1,15 до 1,10). Тоді коефіцієнт

$$К_{ВН} = \frac{К_В}{К_З} \approx 0,8, \qquad (2)$$

а коефіцієнт надійного повернення $К'_{ВН} = \frac{К_{ВН}}{К_И} \approx 0,77$, тобто зросте на 32 % (зараз $К'_{ВН} = 0,58$).

Зі збільшенням потужності електровозів і застосуванням керованих силових перетворювачів енергії для двигунів істотно зростають тягові струми та струми асиметрії в РЛ і, крім того, збагачується спектральний склад струму. Ці фактори підсилюють вплив на колійні приймачі та порушують працездатність рейкових кіл. У період ожеледі зростають відмови РК, що супроводжуються перекриттям світлофорів.

Дослідження впливу комутаційних процесів у проміжку «контактний провід – струмоприймач» розпочалися в 1983–1985 роках на Одеській залізниці кафедрою «Автоматика, телемеханіка та зв’язок» ДНУЗТ, з 2003 року їх продовжено разом з Московським університетом залізничного транспорту.

Проте експериментальні перевірки показали, що запропоновані технічні рішення недостатньо ефективні, тому виникла необхідність у подальшому пошуку шляхів вирішення цієї проблеми.

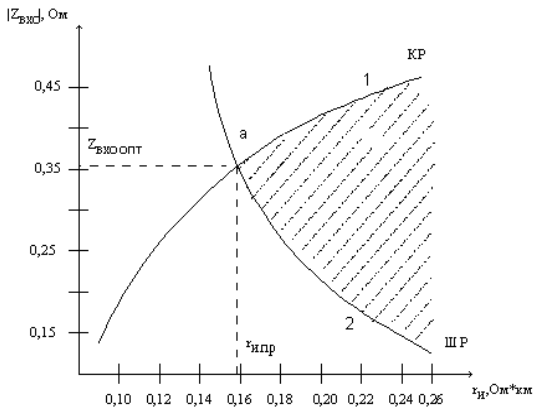

Рис. 1. Область існування рейкового кола (заштрихована) по шунтовому та контрольному режимах $\left(Z_{\text{ВХО}}\left(r_{\text{И}}\right)\right)$:
1,2 – при $\min \text{К}'_{\text{ВН}}$

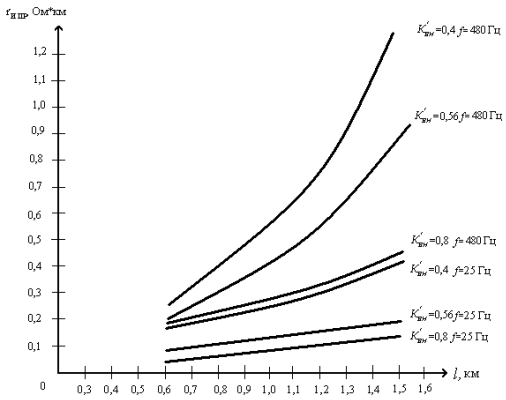

Рис. 2. Характеристики рейкових кіл: зміна $r_{\text{И ПР}}$ від довжини при
$\text{К}'_{\text{ВН}} = 0,4; 0,56; 0,8$
для частот 25 Гц та 480 Гц

Встановлено, що електричний опір дуги змінюється стрибкоподібно від 40 Ом до 1 000...1 300 Ом, що призводить до виникнення в силовому ланцюзі електровоза й у схемі РК перехідного процесу, що порушує роботу приймача.

У результаті експериментальних досліджень, проведених за участю дисертанта [9, 16, 18], запропоновано рішення із симетрування рейкової лінії, що дозволило усунути одну з основних причин впливу ППП на роботу приймачів РК.

Другий розділ присвячено розробці натурної та математичної моделі дослідження параметричного перетворювача ПЧ50:50, що працює в режимі повторення частоти.

Параметричний генератор має більш високу стабільність напруги, малі нелінійні викривлення сигналу, високий коефіцієнт корисної дії (ККД>70 %), і, що особливо важливо для жорстких умов експлуатації систем АіТ, безаварійні режими роботи як при холостому ході, так і при короткому замиканні навантаження.

Фундаментальні дослідження параметричних генераторів розпочато в 20–30-х роках минулого сторіччя Л. М. Мандельштамом і Н. Д. Папалекси. Великий внесок у розвиток теорії нелінійних систем зробили Н. Н. Боголюбов, А. А Андронов, С. І. Вітт, А. А. Хайкін, Ю. А. Митропольський, А. А. Харкевич, Л. А. Бессонов, К. М. Поливанов та ін. Розробкою теорії рейкових кіл і створенням системи енергопостачання на базі параметричних генераторів на частоті 25 Гц займалися: М. І. Вахнін, І. Ф. Пєнкін, А. М. Брилеєв, Ю. А. Кравцов та інші, а також фахівці Московської, Красноярської, Одеської та інших залізниць.

Проведено якісний аналіз процесів та практичних схем ПЧ50:50. Встановлено, що в параметричному контурі (рис. 3,*а*) коливання можуть існувати лише в разі фазного зсуву ц між першими гармоніками індукцій у сердечниках А і Б, відмінного від 0° і 180°.

У роботі аналітично й експериментально показано, що стабільність кута ц на 40...50 % вище в перетворювача частоти з несиметричною схемою (рис. 3,*б*). У результаті вихідна потужність отримана більш високою.

Існуючі методи розрахунку нелінійних параметричних пристроїв відрізняються аналітичною складністю. Особливо це стосується малодосліджених перетворювачів, які працюють у режимі повторення частоти.

Схема перетворювача ПЧ50:50 досліджувалася з метою розв'язання таких важливих завдань:

– виявлення працездатності в навантажувальному режимі;

– аналізу енергетичних показників і їхнього поліпшення;

– удосконалення інженерного методу розрахунків.

Під час досліджень використовувалися відомі методи – асимптотичний (Крилова–Боголюбова), гармонійного балансу та експериментальні. У ході складання рівнянь генератора не враховані активні втрати в обмотках і на гістерезис, а також магнітні потоки розсіювання.

Характеристики нелінійної залежності магнітного потоку від струму в обмотках апроксимуємо поліномом третього ступеня або гіперболічним синусом [1, 2, 14, 15].

а *б*

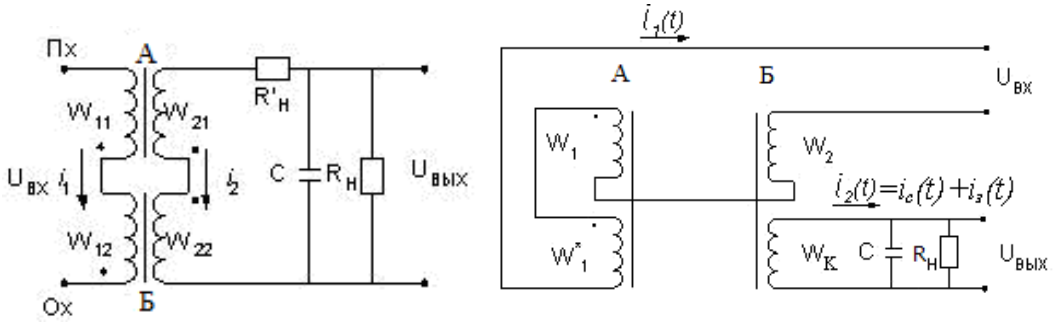

Рис. 3. Схеми параметричного перетворювача ПЧ50:50 з двома магнітопроводами: *а* – симетрична, *б* – несиметрична

Крива намагнічування апроксимована поліномом $\sum iW = k_1\Phi + k_3\Phi^3$, де k_1, k_3 – коефіцієнти апроксимації.

Рівняння перетворювача отримані відповідно до законів Кірхгофа та мають вигляд:

$$\left.\begin{array}{c} W_1\dfrac{d\Phi_1}{dt} + W_2\dfrac{d\Phi_2}{dt} = U_m \sin \omega t;\ W_{\text{К}}\dfrac{d\Phi_2}{dt} + \dfrac{1}{c}\int i_C dt = 0;\quad W_{\text{К}}\dfrac{d\Phi_2}{dt} + i_3 R = 0, \\ k_1\Phi_1 + k_2\Phi_1^3 = i_1 W_1;\quad W_1 = W_2 - W_{10};\ k_1\dot{\Phi}_2 + k_2\dot{\Phi}_2^3 = i_1 W_2 + i_2 W_k\ , \end{array}\right\} \qquad (3)$$

де Φ_1, Φ_2 – магнітні потоки сердечників дроселів; i_1, i_2, i_3 – струми у вхідних, контурних ланцюгах і навантаженні *R* відповідно.

З останніх двох рівнянь (3) знаходимо струм у контурі:

$$i_2 = \frac{K_1}{W_k}\left(\Phi_2 - K_C\Phi_1\right) + \frac{K_3}{W_k}\left(\Phi_2^3 - K_C\Phi_1^3\right) + \frac{K_3^2}{W_k}\frac{d\Phi_2}{dt}, \qquad (4)$$

де $\text{K}_\text{C} = \dfrac{W_2}{W_1}$ – коефіцієнт несиметрії.

Взявши диференціал із другого рівняння системи (3) і підставивши в нього (4), після перетворень одержуємо:

$$\frac{d^2\Phi_2}{dt^2} + 2д_0 \frac{d\Phi_2}{dt} + в_0(\Phi_2 - К_С\Phi_1) + л_0(\Phi_2^3 - К_С\Phi_1^3) = 0, \qquad (5)$$

де $л_0 = \frac{k_3}{W_К^2 C}$; $л = \frac{л_0}{W_1}$; $в = \frac{в_0}{W_1}$; $в_0 = \frac{k_1}{W_К^2 C}$.

Інтегруємо перше та уведемо нову змінну $y = \Phi_1 - \Phi_2$, підставивши в (5) вираз для потоків $\Phi_{1,2}$ і перетворивши його, приводимо до рівняння з одним невідомим відносно *y*. Далі до отриманого рівняння введемо змінні $x = \frac{y}{\Phi_М}$ ($\Phi_М$ – потік насичення сталі), $ф = \Omega t$ (Щ – власна частота) та приведемо його до нормованого вигляду:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + x = -б\cos\frac{щ}{\Omega}ф - е_1 x^3 + е_2\cos\frac{щ}{\Omega}ф x^3 - м_0\cos 2\frac{щ}{\Omega}ф x. \qquad (6)$$

Виявилося, що в (6) величини $б, м_0, е_1, е_2$ – менше одиниці, тому динамічну систему (генератора), можна віднести до гармонійного генератора. Для розв'язання (6) застосуємо метод Крилова–Боголюбова, який дозволяє одержати систему трансцендентних рівнянь і визначити стаціонарне значення – амплітуди та фази першої гармоніки вихідної змінної.

Розв'язок першого наближення, відповідно до методу, шукаємо з рівнянь:

$$x = a\cos ш, \quad ш = \frac{щф}{\Omega} + и, \quad \frac{da}{dф} = еA_1(a, и); \quad \frac{dи}{dф} = еB_1(a, и), \qquad (7)$$

де $еA_1(a, и), еB_1(a, и)$ – шукані функції.

Підстановка (7) у (6) дозволяє одержати вирази для синусних та косинусних складових та отримати два рівняння відносно похідних $еA$ і $еB$ (7). У стаціонарному режимі роботи $(еA = 0, еB = 0)$ отримано рівняння для фази й амплітуди вихідного потоку. Рівняння для амплітуди має вигляд:

$$a^2 - 0,666a + 1,33\frac{м_0}{е_1} = 0. \qquad (8)$$

У (8) параметри $е_1, е_2$ і $м_0$ зв'язані з напругами на виході та вході генератора й дозволяють досліджувати амплітудну характеристику ПЧ50:50. Розв'язання на ПЕОМ рівняння (8) за відомих параметрів дослідного зразка $\left(W_1 = 180; W_k = 450, V = 1\cdot 10^{-3}\ м^3, С = 50\ мкф, l = 0,36\ м, S = 1,36\cdot 10^{-3}\ м^2, \Phi_М = 2,17\cdot 10^{-3} ВС, k_1 = 72,38\cdot 10^3\ А/ВС; k_3 = 29,1\cdot 10^3\ A/B^3C^3\right)$ дозволило побудувати порогову та зовнішню характеристики.

Аналіз (6) та досліди показали, що зі збільшенням коефіцієнта несиметрії $К_С$ підвищується стабільність магнітних потоків дроселів і КПД генератора.

Також у цьому розділі викладено удосконалений метод розрахунку генератора ПЧ50:50. Для цього було отримано нелінійне диференціальне рівняння коливального контуру

$$\frac{d^2 в b_2}{dф^2} + 2д\frac{d в b_2}{dф} + \frac{1}{k}(sh в b_2 - sh в b_1) = 0, \qquad (9)$$

що відрізняється від (6) застосуванням апроксимації функції $b(h)$ гіперболічним синусом $h = б \cdot sh \cdot в \cdot b$, де $б, в$ – коефіцієнти апроксимації. Проведено дослідження стійкості розв'язку (9) з метою визначення припустимого діапазону розрахункових індукцій і коефіцієнта загасання $2д$. Для цього рівняння (9) приведемо до рівняння у варіаціях при $\Delta b = b_1 - b_2$, яке потім шляхом перетворень і підстановки $\Delta b = з e^{-дф}$ в лінійне щодо прирощення рівняння Хілла:

$$\frac{d^2з}{dф^2} + \left(-д^2 + \frac{1}{k} ch в b \right) з = 0. \qquad (10)$$

Застосувавши в (10) розкладання коефіцієнта $\frac{1}{k} ch в b$ ($b = B_{1m} \sin ф$) у ряд Фур'є, досліджено границі області нестійкості (10) за першим відомим наближенням

$$\left(\Phi_0 - n^2 \right)^2 + \left(\Phi_0 - n^2 \right) д^2 + д^4 = \Phi_n^2 \qquad (11)$$

при n=2 – у режимі повторення частоти. У (11) $\Phi_0 = \frac{1}{k} J_0(j в B_{1m}) - д^2$; $\Phi_2 = \frac{1}{k} 2 J_4(j в B_{1m})$, $J_0(jx_m), J_4(jx_m)$ – функції Бесселя нульового та четвертого порядків.

У результаті досліджень знайдено області нестійкості $\Phi_0 = \Phi_2 \pm 4$ та отримані границі зміни розрахункової індукції та рівнів індукції накачування (при дослідному коефіцієнті К=47) 1,35...1,5 Тл. Крім того, отримане оптимальне значення коефіцієнтів загасання д≤0,32. Експериментальні дослідження зразка ПЧ50:50 (рис. 3,*б*) показали, що зовнішня характеристика тверда, допускає зниження вихідної напруги не більше ніж на 3…4 %, близько збігається з розрахунковою, а коефіцієнт гармонік Кг≤5 %.

У третьому розділі проведено аналіз впливу тягового змінного струму на релейні ланцюги в умовах ожеледі й названих вище комутаційних процесів. Встановлено, що вплив тягового струму на приймачі – наслідок двох причин – перехідного електричного процесу в силовому колі електровоза та асиметрії РЛ. Максимальна амплітуда перехідного струму перевищує 400 А, струм асиметрії – понад 50 А. Перехідний процес виникає внаслідок зміни електричного опору дуги *R*д. З розв'язку диференціального рівняння перехідного процесу є, що потокозчеплення

$$ш(t) = ш_m \sin(шt + \varphi_и - б) - ш_m(\varphi - б) \cdot e^{-t/ф}, \qquad (12)$$

і містить змушену та вільну складові.

У (12): $\varphi_и$ – фаза увімкнення напруги мережі (перехід з *R*д мах до *R*д мін); б – аргумент повного опору трансформатора. Як бачимо, що при увімкненні до мережі в момент $\varphi = 0$, $б = 90^\circ$ максимальне значення $ш(t) = ш_m \cos шt + ш_m e^{-t/L_э/R}$. У момент $t = р$ досягне значення $ш(р) = 2ш_m$, що приведе до насичення сталі трансформатора та різкого зростання струму електровоза – у 5–7 разів вище номінального.

Постійна складова струму (12) насичує сердечник колійного дросель-трансформатора і приводить до відмови РК. Ефективним заходом боротьби з насиченням ДТ є зниження коефіцієнта асиметрії рейкової лінії $К_a$, який більший взимку (18...26 %), ніж улітку (10...12 %).

З рівняння для ЕРС по контуру схеми заміщення РЛ по постійному стуму можна записати:

$$K_a = \frac{\Delta R}{rl + \Sigma R_{\text{ДП1,2}} + R_{\text{ДТ}} + 2R_C}, \qquad (13)$$

де R – опір рейкового ланцюга; ΔR – різниця опорів рейок; $R_{\text{ДП}i}$ – опір дросельних перемичок; $R_{\text{ДР}}$ – опір основної обмотки ДТ.

Виявилося, що при сталевих з'єднувачах і дросельних перемичках гранична різниця опорів рейкової лінії довжиною 600 м $\Delta R = R_{\text{СС}} \cdot n_{\text{СТ}} + \Delta R_{\text{ДП}} = 0,029$ Ом. Ця величина використана для визначення опорів резисторів симетруючих блоків.

Також під час дослідження залежності величини ΔR від довжини РЛ при заданих значеннях $К_а$ по постійному струму (13) знайдено, що у РЛ довжиною 600 м, $\Delta R = 0,0265$ Ом, $\sum R_{\text{ДП1,2}} = 0,014035$ Ом, $R_{\text{ДТ}} = 3\,000 \cdot 10^{-6}$ Ом, $К_a = 0,344$, при частоті струму 50 Гц $К_a = 0,059$.

У дисертації встановлено, що при граничній розрахунковій асиметрії опорів ΔR і довжині РЛ 500 м коефіцієнт асиметрії для постійного струму 0,3, а при довжині 1 000 м – 0,025. Досліджені залежності асиметрії РЛ від різницевої величини ΔR при різних довжинах лінії. Встановлено також, що в РЛ лінії 500 м максимальна асиметрія 34,4 % спостерігається при різниці $\Delta R = 0,0325$ Ом.

Експериментальні дослідження показали, що граничний струм намагнічування ДТ.1 перебуває в діапазоні 8–11 А, при якому опір ланцюга намагнічування (холостого ходу) знижується до 0,2 Ом, а напруга на колійному приймачі фазочутливого РК частотою 25 Гц знищується до порога відпадіння.

Проблема перешкодостійкості РК вирішена за допомогою симетруючих блоків БС-РЛ з опором 2xRc, що включаються або на одному кінці в рейкове коло послідовно із дросельними перемичками, або по одному резистору на різних кінцях РЛ. Величина опорів резисторів обирається з міркувань мінімуму коефіцієнта асиметрії, за якого рейкове коло стає несприйнятливим до перешкод. Експлуатаційні випробування блоків на ст. Олейникове Одеської залізниці підтвердили абсолютну ефективність їх призначення.

На рис. 4 наведено залежності асиметрії РЛ (13) при увімкненні симетруючих резисторів різної величини залежно від довжини лінії при заданій різниці опорів рейкової колії. Встановлено, що зі збільшенням різниці ΔR для зменшення коефіцієнта асиметрії до заданого рівня потрібно опори резисторів блоків Rc збільшувати.

Із залежності коефіцієнта $K_a(\Delta R)$ при різних величинах опорів блока Rc видно, що зі зростанням довжини РЛ від 0,2 до 0,6 км при незмінний різниці

опорів рейок, наприклад $\Delta R = 0{,}03$ Ом (рис. 4), і граничному рівні параметра K_a=9 % опір резисторів блока Rc знижується до $2 \cdot 0{,}15$ Ом.

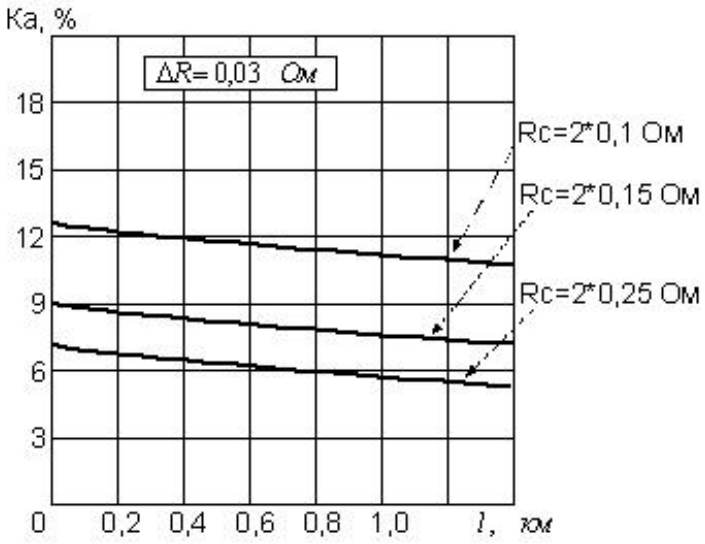

Рис. 4. Залежності асиметрії РЛ при увімкненні симетруючих резисторів

Таким чином, проведені автором дослідження показали, що величина максимального перехідного постійного струму менше 110 А, при цьому граничний струм намагнічування ДТ.1.150, за якого напруга на приймачі РК не повинна знижуватися менше 0,7 від робочої напруги, менший 10 А, а граничний коефіцієнт асиметрії $K_a \le 0{,}1$. В цьому випадку, ця умова виконується із запасом, якщо опір блока БС-РЛ дорівнює $2 \cdot 0{,}18$ Ом. Отримані результати підтверджені експериментальними випробуваннями блоків на ст. Олійниково Одеської залізниці.

Втрати електричної енергії в резисторах симетруючих блоків не перевищують 0,28 % від загальної енергії при пропуску електропоїздів по головній колії проміжної станції, і рівнем цих втрат можна знехтувати.

Четвертий розділ присвячено розробці математичної моделі рейкового кола в контрольному режимі із симетруючими блоками. Мета розробки – довести допустимість впливу опору резисторів на цей режим. Розрахункова схема заміщення (СЗ) рейкового чотириполюсника РК (рис. 5) має початок координат у місці обриву (x=0). Для спрощення складання рівнянь, що зв'язують струми й напруги по кінцях чотириполюсника 1-2-3-4, останній розбито на два чотириполюсники l_1 і l_2, з'єднаних між собою у місці обриву. Колійний ДТ замінено автотрансформаторами без втрат, які віднесені до апаратури РК, ДТ суміжних рейкових кіл виключені з розгляду.

Відповідно до закону Кірхгофа для елемента dx (дві однакові рейки) РЛ (рис. 5) зі струмом I_1, а в сусідній – струмом I_{2x}, запишемо рівняння:

$$\left.\begin{aligned} \frac{dU_{1x}}{dx} = Z_1 I_{1x} + Z_m I_{2x}; \quad \frac{dI_{1x}}{dx} = Z_1 U_{1x}(g_1 + g_{12}); \\ \frac{dU_{2x}}{dx} = Z_2 I_{2x} + Z_m I_{1x}; \quad \frac{dI_{1x}}{dx} = (g_1 + g_{12})U_{2x} - g_{12}U_{1x}. \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

Відповідно до відомого методу складання рівнянь для елемента довгої лінії, після перетворення (14) маємо:

$$\frac{d^4 U_{1x}}{dx^4} - \left[Z_1(g_1 + g_{12}) + Z_2(g_1 + g_{12}) - 2Z_m g_{12}\right]\frac{d^2 U_{1x}}{dx^2} + \left(Z_1 Z_2 - Z_m^2\right)(g_1 g_2 + g_1 g_{12} + g_2 g_{12})U_{1x}. \qquad (15)$$

Взявши другу та четверту похідні від частинного розв'язку $U_{1x} = be^{mx}$ і підставивши в (15), одержуємо характеристичне рівняння. Корені рівняння, якщо $P = 0, g_1 = g_2, g_{12} = 0, Z_1 = Z_2,$ мають вигляд:

$$\left.\begin{aligned} m_{1\ldots4} &= \sqrt{gZ \pm \sqrt{(gZ)^2 - \left(Z^2 - Z_m^2\right)g^2}}; \\ \text{г}_{1,4} &= \sqrt{gZ + \sqrt{(gZ)^2 - \left(Z^2 - Z_m^2\right)g^2}}; \\ \gamma_2 &= \sqrt{gZ - \sqrt{(gZ)^2 - \left(Z^2 - Z_m^2\right)g^2}}. \end{aligned}\right\} \qquad (16)$$

На підставі виразу (16) знайдено рівняння для окремих випадків рейкового кола.

У процесі перетворення системи (15) з урахуванням (16) одержано чотири рівняння: два для напруг U_{2x} і U_{1x} і два для струмів I_{2x} і I_{1x}. З цих рівнянь отримані сталі інтегрування А1…А4 для кожної з чотирьох часток із **граничних умов,** у які входять резистори Rc блоків симетрування РЛ (БС-РЛ). У результаті розв'язання цих рівнянь знайдені постійні інтегрування А1…А4, а потім, після перетворень, і формульні вирази для коефіцієнтів чотириполюсника ушкодженої рейкової лінії A_k, B_k, C_k, D_k.

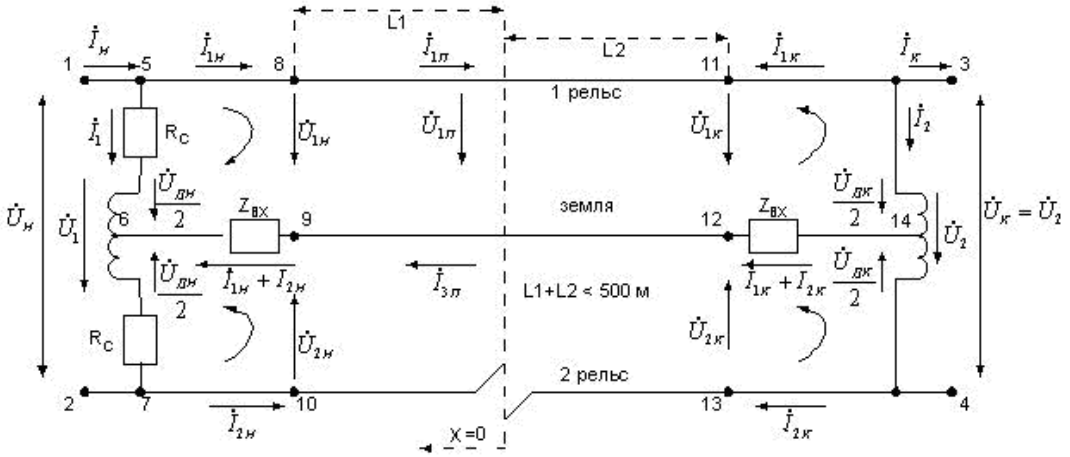

Рис. 5. Схема заміщення РК в контрольному режимі

Оскільки РК із блоками БС-РЛ, які перебувають під впливом тягового струму в умовах ожеледі, мають довжину менше 500 м, то СЗ РК у контрольному режимі можна скласти з урахуванням зосереджених параметрів. У цьому випадку результати розрахунку контрольного режиму відрізняються від результатів, отриманих з урахуванням коефіцієнтів чотириполюсника, не більше ніж на 5…10 %.

Розроблено СЗ РК із зосередженими параметрами в контрольному режимі. Коефіцієнти Т-подібного рейкового чотириполюсника при зламі рейки розраховані за допущень: злом рейки в точці $x_k = \dfrac{l}{2}$ та критичний опір ізоляції $r_{kkp} = 0,5$ Ом·км; коефіцієнт поверхневого витоку p=0.

Крім того, розроблено принципові схеми РК із симетруючими блоками та регулювальні таблиці, які передані в дистанцію сигналізації та зв'язку Одеської залізниці, де проведені випробування блоків.

Дослідження показали, що зі збільшенням довжини зростає й величина критичного опору. Також встановлено один резистор на релейному, інший – на живильному кінцях РК, що дозволяє зменшити вхідні опори по кінцях, і покращує контрольний режим та зменшує габарити блоків.

Встановлено, що увімкнення блоків БС-РЛ у схеми розроблених РК із захистом від впливу перешкод тягового струму в умовах ожеледі призвело до збільшення на 6…8 % напруги джерела живлення.

Ефект річної економії від впровадження перетворювачів напруги і симетруючих блоків у рейкових колах досягається за рахунок запобігання відмовам РК при симетруванні рейкових ліній блоками БС-РЛ та ліквідації затримок поїздів. Також за рахунок збільшення коефіцієнта $K'_{\text{ВН}}$ та довжини рейкових кіл $(L_{\max}(K'_{\text{ВН}}, r_{u\min})$, відбувається здешевлення систем АіТ під час будівництва. Загальна економія коштів, що може бути досягнута в процесі впровадження симетруючих блоків БС-РЛ і перетворювачів ПЧ50:50, склала по трьох залізницях Укрзалізниці близько 250 тис. грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішене науково-прикладне завдання підвищення надійності та перешкодозахищеності електричних РК в умовах впливу потужних імпульсних перешкод, що виникають при комутаційних процесах у тяговій мережі й коливанні напруги живильної мережі. Це достягається шляхом впровадження перетворювачів-стабілізаторів ПЧ50:50 та симетруючих резистивних блоків БС-РЛ, які забезпечують повний захист колійних приймачів від впливу перешкод тягового струму в умовах ожеледі на контактній мережі, а також поліпшують технічні характеристики тональних РК: довжину, критерії оцінки основних режимів, коефіцієнт повернення приймача, області існування РК та безпеку руху поїздів.

Автором отримано такі основні результати:

1. На підставі аналізу стану питання обґрунтований вибір напрямків досліджень і розробки. Зокрема, показано, що: важливим напрямком покращення ефективності роботи та посилення перешкодостійкості РК в умовах значних коливань напруги живлення є впровадження запропонованих параметричних індуктивних генераторів. Таким чином, це впровадження дозволить запобігти проникненню гармонік із живильної мережі до апаратури РК та суттєво (більше ніж на 30 %) поліпшити технічні характеристики РК: критерії чутливості до зламу рейки та шунта, робочу область тональних кіл та інше, шляхом підвищення наведеного коефіцієнта повернення приймачів.

2. Удосконалена математична модель розробленого генератора-перетворювача частоти. Вирішення нелінійного диференціального рівняння

методом Крилова-Боголюбова дозволило побудувати зовнішню та порогову характеристики та дослідити робочу область генератора, стабільність вихідної напруги та інші параметри.

3. Досліджена стійкість рішення диференціального рівняння розробленого генератора-перетворювача частоти шляхом приведення його до рівняння з варіаціями, потім до лінійного рівняння типу Хілла зі змінними в часі коефіцієнтами. Досліджені границі області нестійкості цього рівняння, отримані граничні значення основних розрахункових параметрів перетворювача: індукція дроселів і коефіцієнт згасання. Ці параметри використані при розробці вдосконаленого методу розрахунку генератора.

4. Виконане дослідження причин виникнення перехідного процесу в силовому колі електровоза та у РК при ожеледі. Дослідження показали, що однією з причин цього процесу є асиметрія рейкової лінії за постійної складової струму, при цьому: граничний постійний струм намагнічування дросель-трансформаторів типу ДТ.1.150 становить близько 9-11 А, коефіцієнт асиметрії РЛ – менше 10%, амплітуда струму перехідного процесу перевищує 400 А, а його постійна складова – 110 А.

5. За даними досліджень впливу імпульсних перешкод тягового струму на роботу фазочутливих та тональних РК запропонована метод вирішення проблеми застосування в РЛ симетруючих блоків, що надійно забезпечує перешкодостійкості рейкових кіл.

6. Розроблено математичну модель ушкодженої рейкової лінії із симетруючими резисторами. У результаті розв’язання диференціального рівняння з постійними коефіцієнтами отримано формульні вирази для коефіцієнтів рейкового чотириполюсника в контрольному режимі. Також здобуто аналітичні вирази для коефіцієнтів чотириполюсника ушкодженої РЛ при описі її як лінії із зосередженими параметрами.

7. Запропоновано метод симетрування РЛ для захисту РК від вільної складової тягового струму у випадках: ожеледі, увімкнення електровоза до живильної мережі, входження навантаженого електровоза до зони нейтральної вставки та інше.

8. Запропоновано ефективний метод вирішення проблеми електромагнітної сумісності «рейкові кола – тягова мережа» в умовах ожеледі шляхом вирівнювання асиметрії по постійному струму за допомогою симетруючих блоків типу БС-РЛ.

9. Проведено вибір найбільш раціональних величин опорів резисторів симетруючих блоків (2·0,18 Ом) за різних співвідношень різниці опорів рейок і дросельних сталевих перемичок, довжини рейкової лінії та величини опорів резисторів блоків БС-РЛ.

10. Розроблено принципові електричні схеми станційних фазочутливих рейкових кіл із симетруючими блоками, їх схеми заміщення та методику розрахунку регулювальних таблиць.

11. Досліджено РК з використанням у них резистивних блоків та отримано коефіцієнти чотириполюсників. Дослідження показали, що критерій оцінки зламу рейки в контрольному режимі зменшується на 6…8 %, що

несуттєво для коротких рейкових кіл (довжиною менш ніж 500 м), а також що критерій перевантаження колійного приймача в нормальному режимі зростає не більше ніж на 8 %. Оцінка впливу блоків БС-РЛ на втрати електричної енергії у зворотній тяговій мережі показала, що при пропуску двох вантажних поїздів по станції втрата енергії в колі «електровоз–тягова мережа» не перевищує 0,28 %.

12. Економічний річний ефект від впровадження у рейкових колах симетруючих блоків та генераторів-перетворювачів частоти досягається за рахунок зменшення відмов РК в умовах ожеледі та збільшення проектної довжини тональних РК через підвищення коефіцієнта $К'_{ВН}$ колійних приймачів, а також економії коштів на будівельно-монтажні роботи. Загальна економія коштів по дорогах Укрзалізниці перевищує 250 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Разгонов С. А. Стабилизированный источник питания для устройств автоматики / А. П. Разгонов, А. А. Босов, С. А. Разгонов // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2002. – Вип. 10. – С. 92–96.

2. Разгонов С.А. О влиянии электрооборудования пассажирских вагонов на рельсовые цепи устройств безопасности / И. В. Жуковицкий, С. А. Разгонов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х.: Вид-во Укр. держ. акад. залізн. трансп., 2005. – Вип. 3. – С. 3–8.

3. Разгонов С. А. К оценке предельных уровней помех в рельсовых цепях / И. В. Жуковицкий, С. А. Разгонов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х.: Вид-во Укр. держ. акад. залізн. трансп., 2005. – Вип. 5. – С. 112–113.

4. Разгонов С. А. О комбинационных частотах в рельсовых цепях с путевыми дроссель-трансформаторами / С. А. Разгонов // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізн. трансп. Укр. держ. акад. залізн. трансп. – 2005. – Вип. 4. – С. 57–65.

5. Разгонов С. А. Преобразование формульных выражений для коэффициентов четырехполюсника рельсовой линии в контрольном режиме при установке симметрирующих блоков / С. А. Разгонов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х.: Вид-во Укр. держ. акад. залізн. трансп., 2008. – Вип. 4. – С. 6.

6. Разгонов С. А. О помехоустойчивости рельсових цепей в условиях импульсных помех тягового тока / А. П. Разгонов, А. В. Андреевских, Н. Ф. Полторак, С. А. Разгонов, А. Ю. Журавлев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х.: Вид-во Укр. держ. акад. залізн. трансп., 2005. –Вип. 2. – С. 41–44.

7. Разгонов С. А. Источник стабилизированного напряжения для питания рельсовых цепей / А. П. Разгонов, С. А. Разгонов, Д. В. Дунаев // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізн. трансп. Укр. держ. акад. залізн. трансп. – 2005. – Вип. 3. – С. 57–65.

8. Пат. 70491 А України B61L23/16. Рейкове коло для систем залізничної автоматики / Разгонов А. П., Кравцов Ю. А., Зенкевич Ю. И., Разгонов С. А.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 10.11.2003; опубліковано 15.10.2004; Бюл. № 10.

9. Пат. 67546 А України H02M5/16. Індуктивний параметричний генератор / Разгонов А. П., Разгонов С. А.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 14.10.2003; опубліковано 15.06.2004; Бюл. № 6.

Додаткові праці:

10. Разгонов С. А. Параметрический генератор частоты для питания рельсовых цепей / А. П. Разгонов, С. А. Разгонов // Сб. науч. тр. Уральского гос. ун-та путей сообщения. – Екатеринбург, 2003. – С. 123–130.

11. Разгонов С. А. О повышении эффективности режимов работы рельсових цепей / И. В. Жуковицкий, С. А. Разгонов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х.: Вид-во Укр. держ. акад. залізн. трансп., 2005. – Вип. 5.– С. 104.

12. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 20181. Методика оценки предельных уровней помех, создаваемых электрооборудованием поездов в рельсовых цепях устройств СЦБ / Разгонов А. П., Разгонов С. А.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 31.10.2006; опубліковано 13.04.2007.

13. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 22044. Метод разработки регулировочных таблиц рельсовых цепей систем автоматики и телемеханики / Разгонов А. П., Басов В. И., Разгонов С. А., Жадан В. И.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 31.10.2006; опубліковано 14.09.2007.

14. Пат. 25716 України МПК B61L 23/00. Рейкове коло систем автоматики головних колій проміжних станцій / Разгонов А. П., Ревуцький В. А., Шпортко В. П., Разгонов С. А.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 09.10.2006; опубліковано 27.08.2007; Бюл. № 13.

15. Разгонов С. А. Исследование генератора с обратной электрической связью, отвечающего требованиям по безопасности движения поездов / С. А. Разгонов, А. П. Разгонов, Ю. И. Зенкович, В. С. Антоненко, В. М. Сафро // Безопасность движения поездов: тр. 3-й научно-практ. конф. – М., 2002. – С. 26–28.

16. Разгонов С. А. Об одном способе защиты рельсовых цепей от помех тягового тока / С. А. Разгонов // Проблеми математичного моделювання: тези міждержавної науково-метод. конф. / Дніпродзержинський державний технічний університет. – 2004. – С. 117–120.

17. Разгонов С. А. Совершенствование методов расчета тональных рельсовых цепей / С. А. Разгонов // Проблеми математичного моделювання: тези міждержавної науково-метод. конф. / Дніпродзержинський державний технічний університет. – 2004. – С. 120–124.

18. Разгонов С. А. Защита рельсовых цепей участка железной дороги переменного тока от влияния постоянного тягового тока станции стыкования / А. П. Разгонов, А. Ю. Журавлев, С. А. Разгонов // Безопасность движения поездов: тр. 7-й научно-практ. конф. – М., 2006. – С. 17–18.

АНОТАЦІЯ

Разгонов С. А. Підвищення надійності роботи рейкових ланцюгів в умовах впливу перешкод тягового струму та нестабільності напруги в мережі живлення. – 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, 2011.

Дисертація присвячена вирішенню завдання підвищення надійності роботи станційних рейкових кіл системи автоматики і телемеханіки в умовах коливань напруги (+10 %…-15 %) джерел живлення та імпульсних перешкод тягового змінного струму за наявності асиметрії рейкової лінії.

У дисертації запропоновано запатентований параметричний генератор ПЧ50:50, який працює як стабільне джерело живлення ($К_{СТ}$>35) та дозволяє суттєво (більше 30 %) підвищити коефіцієнт повернення приймача тональних РК, що на стільки ж підвищує критерії чутливості приймача до зламу рейки та шунта РК. Удосконалено математичну модель генератора ПЧ50:50. Запропоновано та запатентовано засіб із забезпечення перешкодостійкості РК в умовах ожеледі шляхом застосування симетруючих блоків БС-РЛ. Розроблено електричні схеми та розрахункові схеми заміщення фазочутливих РК частотою 25 Гц із блоками БС-РЛ та обрано раціональні параметри резисторів блоків БС-РЛ. Виготовлено зразки блоків БС-РЛ та випробувано на станції Олійникове Одеської залізниці.

Ключові слова: тональне рейкове коло, рейкова лінія, система автоматики і телемеханіки, асиметрія рейкової лінії, параметричний генератор, симетруючі резистивні блоки.

АННОТАЦИЯ

Разгонов С. А. Повышение надежности работы рельсовых цепей в условиях влияния воздействия тягового тока и нестабильности напряжения в сети питания. – 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, 2011.

Диссертация посвящена разработке проблемы повышения надежности работы станционных РЦ систем АиТ в условиях значительных колебаний напряжения питания (+10 %…-15 %) и улучшения помехозащищенности РЦ от импульсных помех тягового переменного тока при гололеде и асимметрии рельсовой линии (РЛ).

В работе предложен параметрический генератор – стабилизатор ПЧ50:50 ($К_{СТ}$>35), выполняющий помехозащитные функции аппаратуры РЦ.

Показано, что стабилизация напряжения питания позволяет существенно (>30 %) повысить коэффициент надежного возврата приемников тональных РЦ и на столько же повысить критерии чувствительности приемника к излому рельса и шунту и улучшить характеристики РЦ: предельную длину, минимальное сопротивление изоляции, рабочую область и др.

Усовершенствована математическая модель преобразователя частоты ПЧ50:50, решено на ЭВМ нелинейное дифференциальное уравнение и построены пороговая и внешняя характеристики преобразователя. Уравнение преобразователя исследовано на устойчивость. В результате определены диапазон индукций и коэффициент затухания, при которых возможны колебания в выходном контуре генератора. Эти параметры использованы при разработке инженерной методики расчета преобразователя (изготовлен на заводе «Транссвязь» г. Харьков).

В работе предложено запатентованное решение по обеспечению помехоустойчивости РЦ на станциях путем применения симметрующих блоков БС-РЛ. Исследованы и выбраны наиболее рациональные величины сопротивлений резисторов (2х0,17…2х0,19 Ом), исключающих влияние постоянной составляющей тягового тока на магнитопроводы ДТ.

Разработано дифференциальное уравнение РЛ с распределенными параметрами в контрольном режиме при установке блоков БС-РЛ, получены формульные выражения для коэффициентов четырехполюсника РЛ при изломе рельса.

Разработаны принципиальные электрические схемы, схемы замещения фазочувствительных РЛ частотой 25 Гц с блоками БС-РЛ и регулировочные таблицы к ним (для перегонов и станций украинской железной дороги). Блоки БС-РЛ изготовлены и испытаны на ст. Олейниково Одесской ж.д.

Годовой экономический эффект при внедрении преобразователей частоты и блоков БС-РЛ на украинских железных дорогах достигает 250 тыс. грн.

Ключевые слова: тональная рельсовая цепь, рельсовая линия, система автоматики и телемеханики, асимметрия рельсовой линии, параметрический генератор, симметрующие резистивные блоки.

THE SUMMARY

Razgonov S. A. Improving the reliability of rail circuits under the interferences influence of traction current under the instability of power supply – The manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.22.20 – exploitation and repair of transport means. – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan. – Dnipropetrovsk, 2011.

The dissertation is devoted to the questions of improvement of the track circuit's reliability on automation systems in a wide voltage fluctuations (+10 %...-15 %) of the primary sources and improve the immunity of station track circuits surge AC traction and power train commutation processes with rail line asymmetry.

Author proposes a parametric oscillator – PG50:50 (stabilization coefficient more than 35), performing anti-interference function of the track circuits equipment. It is shown that the stabilization of the supply voltage can significantly (more than 30 %) increase reliability coefficient returning receivers tonal track circuits, and by the same criteria to increase the sensitivity of the receiver to the break and shunt rail and improve the performance of track circuits: maximum length, minimum insulation resistance, the working area, etc. Improved mathematical model of the PG50:50. Proposed and patented technical solutions for the tone track circuits to the noise immunity by applying symmetric blocks BS-RL. Designed electrical circuits and the calculated equivalent tone track circuit's 25 Hz frequency with BS-RL blocks and rational parameters of resistors BS-RL blocks. Samples of BS-RL block were produced and tested at the station «Oliinykova» (Odessa railway).

Keywords: track circuit, tone track circuit, rail line, the system automation and remote control, the asymmetry of the rail line, parametric oscillator, the symmetry of the resistive components.

Разгонов Сергій Адамович

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ РЕЙКОВИХ ЛАНЦЮГІВ В УМОВАХ ВПЛИВУ ПЕРЕШКОД ТЯГОВОГО СТРУМУ ТА НЕСТАБІЛЬНОСТІ НАПРУГИ В МЕРЕЖІ ЖИВЛЕННЯ

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 15.09.2011 р. Формат 60х84 1/16.
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.
Тираж 100 пр. Зам. № 1477

Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №1315 від 31.03.2003 р.
Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, www.diitrvv.dp.ua