Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерних технологій і систем»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
бакалавра
(ступінь вищої освіти)

на тему: Кондуктивний вплив зворотного тягового струму на режими роботи рейкових кіл

за освітньою програмою Системи керування рухом поїздів
зі спеціальності: 273 Залізничний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи СК19120

(підпис студента) / Роман Бухреєв /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: (підпис) / доцент Вадим ЩЕКА /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (підпис)

Дніпро – 2022 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty "Computer technologies and systems"

Department "Automatics and Telecommunications"

Explanatory Note

to Bachelor's Thesis

on the topic: Conductive influence of reverse traction current on the operating modes of rail circuits

according to educational curriculum Train traffic control systems

in the Speciality: 273 Railway transport
(speciality and its code)

Done by the student of the group CK19120: / Roman BUKHREEV /
(name, surname)

Scientific Supervisor: / associate professor Vadym SHCHEKA /
(position, name, surname)

Dnipro – 2022

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: КТС
Кафедра: АТ
Рівень вищої освіти: перший
Освітня програма: Системи керування рухом поїздів
Спеціальність: Залізничний транспорт
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

_____ _____
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу бакалавра
(ступінь вищої освіти)

студенту Бухрєєву Роману
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Кондуктивний вплив зворотного тягового струму на режими роботи рейкових кіл

Керівник роботи: Щека Вадим Ігорович, к.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від "18" жовтня 2022 р. № 704ст

2. Строк подання студентом роботи: 23.05.2022 р.
3. Вихідні дані до роботи: Принципові схеми рейкових кіл, методики розрахунку рейкових кіл, нормативна документація
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):
4.1 Аналітична частина: Огляд питання електромагнітного впливу зворотного тягового струму на рейкові кола та їх параметри.
4.2 Основна частина: Розрахунок зміни опору рейок в залежності від рівня зворотного тягового струму. Розрахунок режимів роботи рейкового кола з урахуванням зміни рівня опору рейок
4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища:
Охорона праці при проведенні обслуговування рейкових кіл
4.4 Економічна частина: не передбачена
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Принципова схема досліджуваного рейкового кола; схеми заміщення рейкового кола для режимів роботи: нормального, шунтового, контрольного, короткого замикання, АЛС; залежність опору рейки від рівня тягового струму в ній; залежність критеріїв режимів роботи рейкового кола від рівня тягового струму в рейках.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітична частина	06.03.2022	
2	Основна частина	24.04.2022	
3	Охорона праці та захист навколишнього середовища	23.05.2022	
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	25.05.2022	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	23.06.2022	

Студент _____ Роман БУХРЕЄВ
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи _____ Вадим ЩЕКА
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра: 48 сторінок основного тексту, 3 таблиці, 17 рисунків, 23 літературних джерел.

Об’єкт розробки — електромагнітні процеси в системі «рейкове коло – контактна мережа».

Мета роботи – дослідити кондуктивний вплив зворотного тягового струму на режими роботи рейкових кіл.

Методи дослідження – літературний та патентний пошук, математичне моделювання у пакеті Mathcad.

В роботі виконано розрахунки нормального та шунтового режимів роботи рейкових кіл в умовах впливу зворотного тягового струму на опір рейкової лінії.

В результаті дослідження виявлено, що великі рівні тягового струму в рейках погіршують умови виконання режимів роботи рейкових кіл. При постійному струмі опір рейок в реальних умовах змінюється приблизно в 2 рази. Проте при цьому критерії нормального та шунтового режиму роботи рейкових кіл залишаються більшим одиниці, що свідчить про виконання режимів роботи в таких умовах.

Ключові слова: РЕЙКОВЕ КОЛО, РЕЖИМИ РОБОТИ РЕЙКОВИХ КІЛ, ЗВОРОТНИЙ ТЯГОВИЙ СТРУМ, КОНДУКТИВНИЙ ВПЛИВ.

ЗМІСТ

ВСТУП 7

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА. ОГЛЯД ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ ЗВОРОТНОГО ТЯГОВОГО СТРУМУ НА РЕЙКОВІ КОЛА ТА ЇХ ПАРАМЕТРИ 9

1.1 Аналіз електромагнітного впливу електрорухомого складу на роботу рейкових кіл 9

1.2 Огляд експериментальних досліджень гармонічного складу зворотного тягового струму при електричній тязі постійного струму 11

1.3 Результати експериментальних досліджень гармонічного складу зворотного тягового струму при електричній тязі змінного струму і ЕРС з асинхронним тяговим двигуном 14

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНДУКТИВНОГО ВПЛИВУ ЗВОРОТНОГО ТЯГОВОГО СТРУМУ НА РЕЖИМИ РОБОТИ РЕЙКОВИХ КІЛ 19

2.1 Вихідні дані для розрахунку 20

2.2 Опір рейкової нитки 23

2.3 Опір ізоляції баласту 27

2.4 Вплив опору баласту та опору рейок на режими роботи рейкових кіл . 28

2.5 Розрахунок нормального режиму 30

2.6 Шунтовий режим роботи рейкового кола 37

2.7 Результати розрахунків 42

ВИСНОВКИ 44

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 45

ВСТУП

Електромагнітна сумісність (ЕМС) технічних засобів називається здатність їх функціонувати із заданою якістю у заданій електромагнітній обстановці і не створювати неприпустимі електромагнітні перешкоди (ЕМП) іншим технічним засобам [5, 10, 14]. Електрифіковані залізниці є потужним просторово розподіленим джерелом електромагнітних перешкод. Питання забезпечення електромагнітної сумісності із лініями автоматики та зв'язку вирішувалися в процесі електрифікації залізниць. Проте воно і зараз зберігає свою актуальність. Цьому сприяє широке застосування нових типів рухомого складу з асинхронним тяговим приводом (АТП), збільшення швидкості руху поїздів; впровадження нових мікропроцесорних систем управління рухом. Нові типи електричного рухомого складу (ЕРС) перед введенням в експлуатацію випробовують за певною програмою, яка включає випробування на ЕМС [7, 10-12, 17].

Проблеми, що виникають під час випробування нових типів ЕРС на ЕМС полягають у наступному. Велика різноманітність систем електропостачання, сигналізації та зв'язку в європейських країнах викликає необхідність проведення випробувань у кожній країні окремо, з урахуванням особливостей, що використовуються в ній, що значно збільшує вартість запровадження нових типів рухомого складу.

Національними нормативними документами визначено гранично допустимі норми електромагнітних перешкод, створюваних ЕРС [5, 14]. В умовах розширення кооперації українських залізниць щодо модернізації рухомого складу з використанням асинхронного тягового приводу на ЕРС необхідне вдосконалення національної нормативної бази шляхом гармонізації з європейськими стандартами.

Останнім часом у рамках Євросоюзу розробляються загальноєвропейські норми на електромагнітні перешкоди, які генерує ЕРС.

Незважаючи на те, що нормативні значення допустимих за умовами безпеки перешкод розроблено з достатнім запасом, на окремих ділянках залізниці спостерігаються збої у роботі систем сигналізації та зв'язку при проїзді нових типів рухомого складу. Особливо це проявляється у разі екстремальних умов роботи залізничних систем. Отже, тема дипломної роботи є актуальною.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА. ОГЛЯД ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ ЗВОРОТНОГО ТЯГОВОГО СТРУМУ НА РЕЙКОВІ КОЛА ТА ЇХ ПАРАМЕТРИ

1.1 Аналіз електромагнітного впливу електрорухомого складу на роботу рейкових кіл

Існує чотири шляхи передачі, що з'єднують джерело перешкод із приймачем. Це ємнісний, індуктивний та гальванічний зв'язок, а також передача випромінюванням.

Ємнісний зв'язок є шлях, створюваний електричним полем. Електричне поле діє на невеликій відстані (до декількох сантиметрів) і небезпечна лише при паралельному прокладанні дротів або кабелів. І тут ємність між кабелями, отже, і можливими джерелами і приймачами перешкод особливо велика.

Індуктивний зв'язок реалізується з допомогою магнітних полів. Струм, що протікає у дроті, створює магнітне поле, яке, у свою чергу, наводить струм та напругу в сусідніх дротах.

Гальванічний зв'язок здійснюється через будь-які гальванічні, тобто струмопровідні, з'єднання між джерелом перешкод та приймачем. Тут слід також враховувати захисні з'єднувачі, що заземлюють і вирівнюють потенціал.

Електромагнітний зв'язок відомий тим, що на його принципі працює радіо. Для реалізації використовуються електромагнітні поля.

Отже, якщо проаналізувати сумісну роботу електрорухомого складу і системи тягового електропостачання змінного струму 25 кВ 50 Гц і постійного струму 3 кВ, які широко застосовуються на залізничному транспорті України, то можна виділити такі основні джерела впливу обладнання ЕРС на роботу рейкових кіл:

- кондуктивний вплив (гальванічний зв’язок) за рахунок протікання зворотного тягового струму по рейковій лінії. Рівень впливу обумовлюється

кількістю локомотивів у фідерній зоні, рівнем асиметрії рейкової лінії та її ізоляцією щодо землі.

- електромагнітний вплив, зумовлений наведеною електрорушійною силою в рейкових лініях.

Застосування на сучасному електрорухомому складі асинхронних тягових двигунів зумовило необхідність використання в ланцюгах їх керування двох- та трьохрівневих інверторів, побудованих на IGBT-транзисторах (Рисунок 1.1 та Рисунок 1.2). Використання у схемах керування тяговими двигунами IGBT-транзисторів обумовлено їх такими перевагами [8]:

- напівпровідникова елементна база дозволяє легко перемикати вихідні ланцюги;

- відпадає необхідність у демпферних ланцюгах, що зумовило зниження ваги та обсягу інвертора;

- підвищення ефективності інвертора, особливо при частковому навантаженні;

- зниження втрат при перемиканні дозволило забезпечити роботу інвертора при підвищених частотах, що призводить до зменшення лінійних втрат у двигуні;

- збільшення потужності силових кіл.

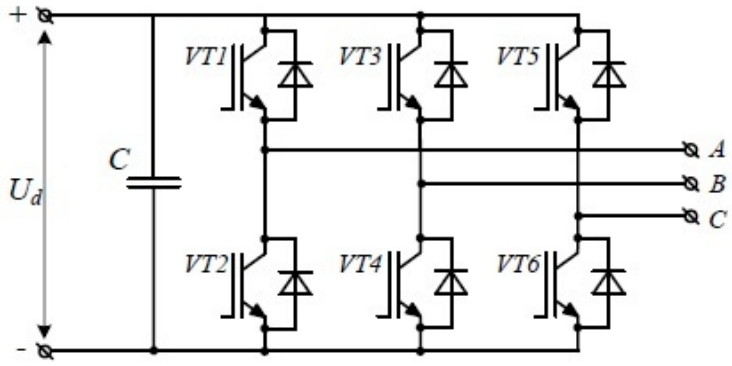


Рисунок 1.1 – Схема двохрівневого інвертору напруги

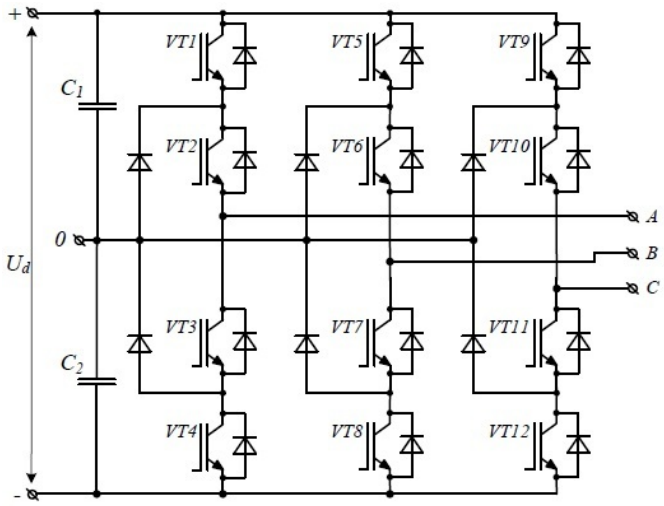


Рисунок 1.2. Схема трьохрівневого інвертору

Перевагою трьохрівневого інвертора (див. рис. 1.2) напруги є синусоїдальна характеристика вихідної напруги, що позитивно позначається на роботі асинхронного тягового двигуна. Однак дворівнева схема значно дешевша, за рахунок застосування меншої кількості IGBT-транзисторів характеризується меншими електричними втратами, тому вона знайшли широке застосування у схемах управління тяговими електродвигунами, що працюють на ділянках електрифікованих напругою 3,3 кВ [9, 11].

Сама система тягового електропостачання залізничного транспорту характеризується зміною своїх параметрів у часі та просторі. Навантаження носить випадковий характер, оскільки її формування впливають різноманітні чинники, такі як різне число поїздів, дільниці, метеорологічні умови, нелінійний характер навантаження та інших. Несиметричність навантаження призводить до несиметричності напруги у зовнішній системі електропостачання [10, 12].

1.2 Огляд експериментальних досліджень гармонічного складу зворотного тягового струму при електричній тязі постійного струму

Дослідження проводилися на ділянці, електрифікованій постійним струмом, на станції «Нижньодніпровськ-вузол» Придніпровської залізниці.

Вимірювальна апаратура підключалася до середньої точки відсмоктує дросель-трансформатора зворотної тягової мережі [16].

Змінна складова зворотного тягового струму знімалася за допомогою безконтактного датчика струму, отриманий таким чином сигнал подавався на аналогово-цифровий перетворювач ADA-1406/DAC і записувався на персональний комп'ютер. Подальша обробка сигналу проводилася методом швидкого перетворення Фур'є за допомогою програми Spectra Lab 6.0.

На першому етапі досліджень проводилася запис сигналів у зворотній тяговій мережі за відсутності ЕРС в безпосередній близькості від місця вимірювань. При цьому в спектрі зворотного тягового струму спостерігалися як канонічні гармоніки з частотою 300, 600, 1200 Гц, так і гармонійні неканонічні складові з частотами 50, 100, 150, 200 Гц. Ці гармоніки обумовлені переважно роботою обладнання тягової підстанції. Спектральний склад зворотного тягового струму наведено на Рисунок 1.3.

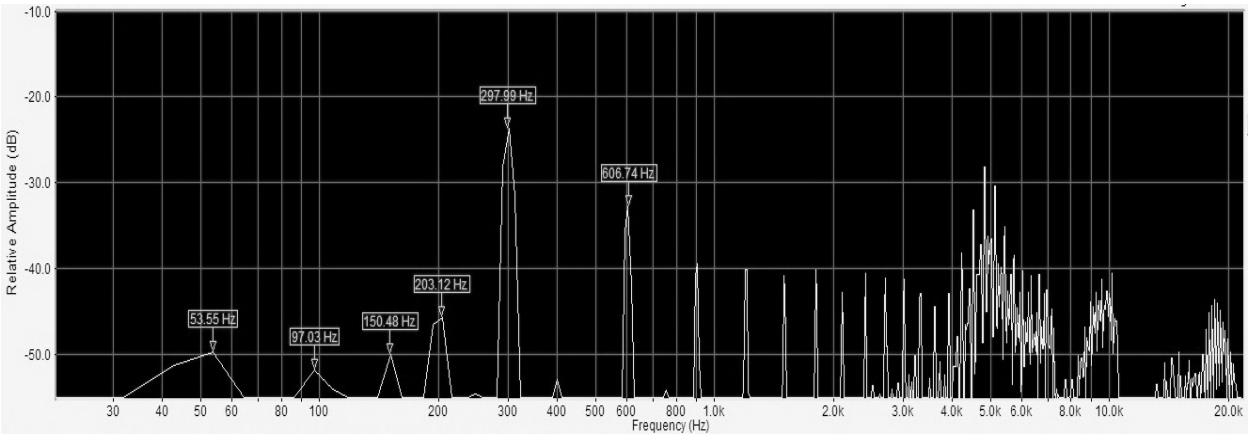


Рисунок 1.3 – Спектральний склад зворотного тягового струму при відсутності поїзда на ділянці

На Рисунок1.4. приведено осцилограму та спектральний аналіз сигналів у зворотній тяговій мережі при наближенні поїзда з локомотивом ЧС-8 на ділянці Придніпровської залізниці. При проходженні поїздом досліджуваної ділянки в спектрі зворотного тягового струму спостерігалося збільшення амплітуди гармонічних складових з частотами близькими до 50, 100, 150,

200 Гц, а також спостерігалося збільшення амплітуди канонічних гармонік з частотою 300, 600, 1200 Гц (див. Рисунок 1.4) [16].

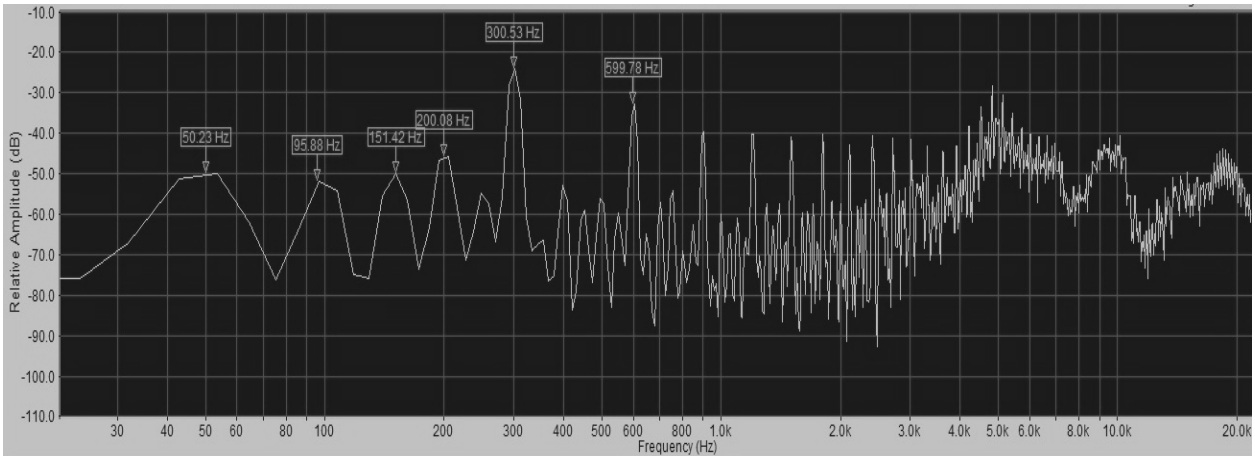


Рисунок 1.4 – Спектр струму у зворотній тяговій мережі при її навантаженні локомотивом НС-8

Результати експериментальних досліджень спектрального складу зворотного тягового струму при русі на дільниці поїзда з асинхронним тяговим приводом дано на Рисунок 1.5. Під час руху поїзда з асинхронним тяговим приводом по ділянці спостерігалося значне збільшення амплітуди гармонічних складових у діапазоні низьких частот від 22 до 1000 Гц, а також у діапазоні 1.6 кГц [16].

Дослідження проводилися на ділянці, електрифікованій постійним струмом, на станції «Нижньодніпровськ-вузол» Придніпровської залізниці. Вимірювальна апаратура підключалася до середньої точки відсмоктуючого дросель-трансформатора зворотної тягової мережі.

За результатами аналітичного огляду [17-20] було з’ясовано при русі електрорухомого складу з асинхронними тяговими двигунами і електричній тязі постійного струму у зворотньому тяговому струмі виникають завади з досить широким спектром, який дано в табл. 1.1. З усього спектру були виділені частоти близькі до сигнальних, що застосовуються в кодових і тональних рейкових колах України [17 - 20].

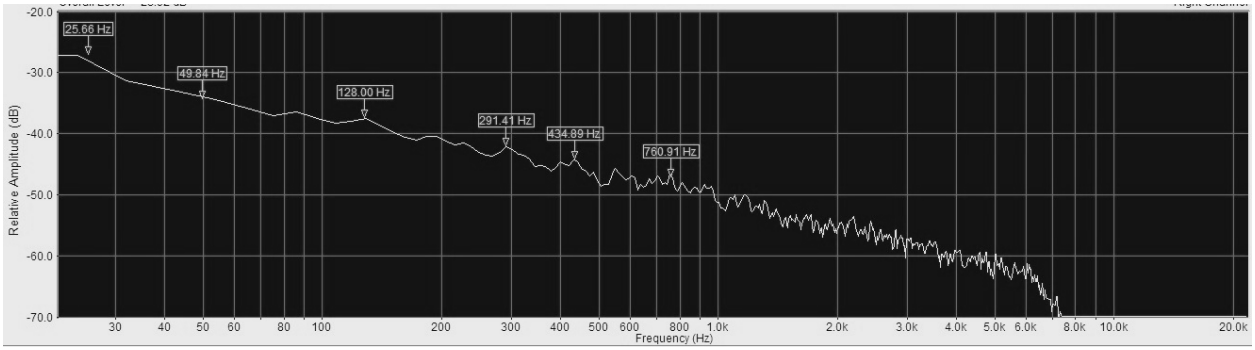


Рисунок 1.5 – Спектр сигналу у зворотній тяговій мережі при її навантаженні прискореним рухомим складом з асинхронними тяговими двигунами

Таблиця 1.1

Результати експериментальних досліджень спектрального складу зворотнього тягового струму на дільниці з електротягою постійного струму

Частота, Гц	Ширина спектру, Гц	Максимально допустимий струм завади, А	Максимально виміряний струм завади, А	Відповідність до стандартів
25	21…29	1	0,39	так
50	46…54	1,3	0,1	так
420	408…432	0,35	0,42	ні
480	468…492	0,35	0,48	ні
580	568…592	0,35	0,36	ні
720	708…732	0,35	0,26	так
780	768…792	0,35	0,38	ні
4545	4508…4583	0,2	0,12	так
5000	4963…5038	0,2	0,3	ні
5555	5518…5593	0,2	0,13	так

1.3 Результати експериментальних досліджень гармонічного складу зворотного тягового струму при електричній тязі змінного струму і ЕРС з асинхронним тяговим двигуном

За результатами аналітичного огляду [17-21] було з’ясовано при русі електрорухомого складу з асинхронними тяговими двигунами у зворотньому

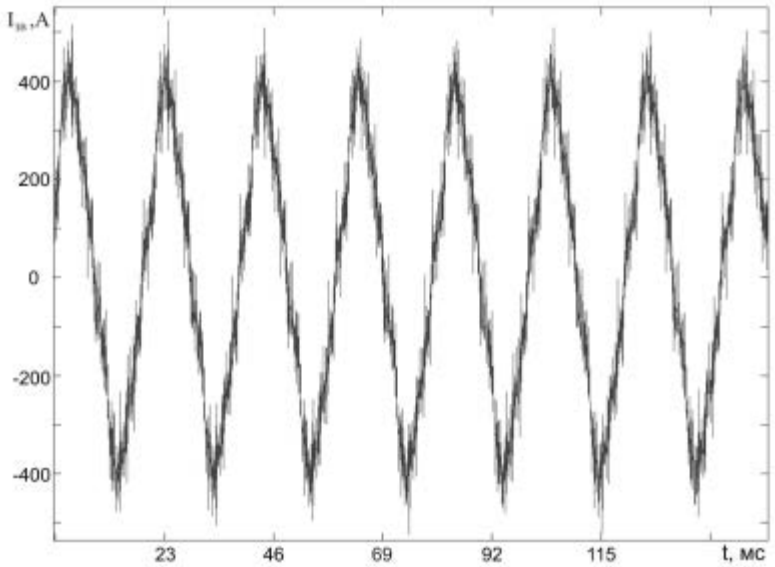
тяговому струмі виникають завади з досить широким спектром, який дано в табл. 1.1, 1.2.

Експериментальні дослідження були виконані для таких режимів ведення електровозу: прискорення, вибіг, гальмування (екстреного гальмування), стоянка. Осцилограми та спектральний склад зворотного тягового струму в цих режимах дано на Рисунок 1.6 – 1.8 [17].

Таблиця 1.2

Результати експериментальних досліджень спектрального складу зворотного тягового струму на дільниці з електротягою змінного струму

Частота, Гц	Ширина спектру, Гц	Максимально допустимий струм завади, А	Максимально виміряний струм завади, А	Відповідність до стандартів
25	21…29	1	1,41	ні
420	408…432	0,35	0,37	ні
480	468…492	0,35	0,4	ні
580	568…592	0,35	0,55	ні
720	708…732	0,35	0,42	ні
780	768…792	0,35	0,52	ні
4545	4508…4583	0,2	0,5	ні
5000	4963…5038	0,2	0,15	так
5555	5518…5593	0,2	0,21	ні



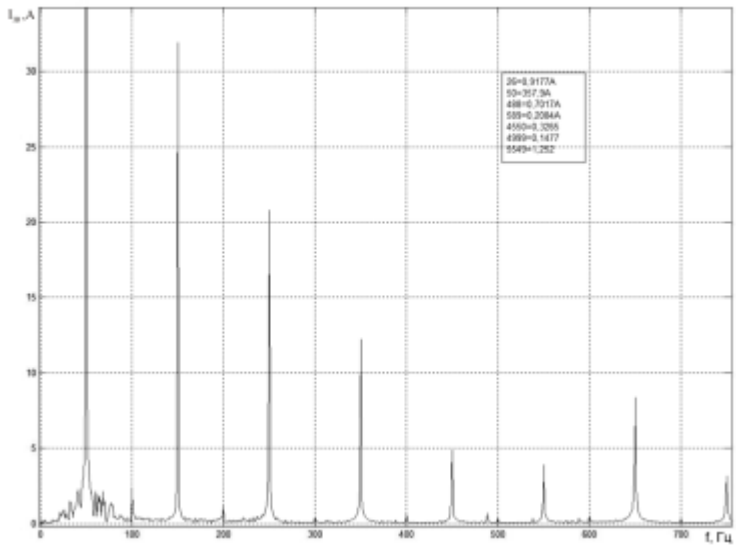
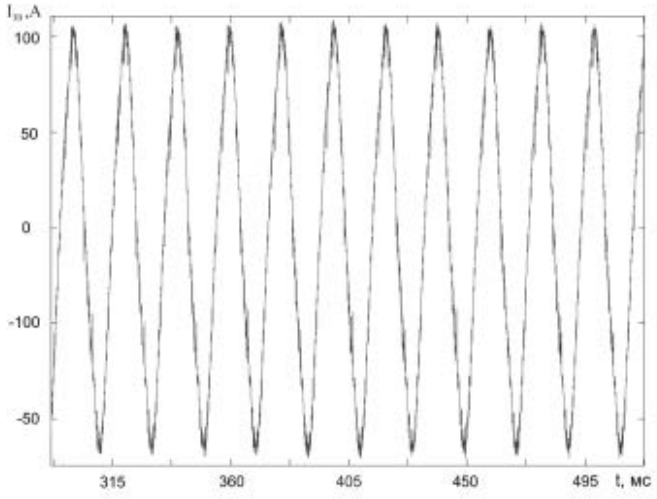


Рисунок 1.6 – Осцилограма та спектральний склад зворотного тягового струму в режимі тяги ЕРС з АТД і ШИМ при швидкості руху 140 км/год, ухил на дільниці 5°/oo

В режимі тязі у звортньому тяговому струмі присутні гармоніки 25, 480, 580 Гц, при чому рівень амплітуд цих завад при частоті 25 Гц наближається до небезпечного, при якому можливо спрацювання колійного реле рейкового кола, а при частоті 480, 580 Гц амплітуда гармонійної завади перевищує норму в 2 рази.



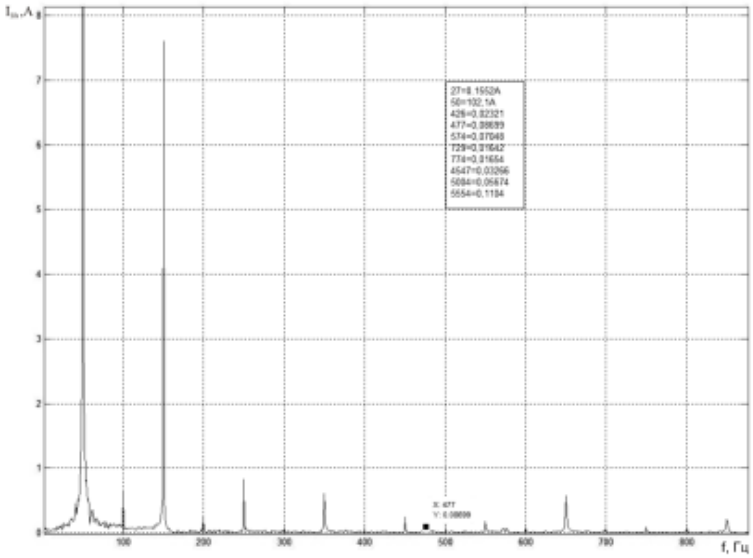


Рисунок 1.7 – Осцилограма та спектральний склад зворотного тягового струму в режимі вибігу ЕРС з АТД і ШИМ

В режимі вибігу при швидкості руху 120 км/год на ділянці з підйомом 5‰ , коли спостерігалось незначне прискорення, у звортньому тяговому струмі присутні гармоніки з тим самим спектром (див. Рисунок1.7), але їх амплітуди були значно нижчі і не перевищували нормативні значення. Це пояснюється низьким рівнем тягового струму в цьому режимі.

В режимі екстреного гальмування на швидкості 140 км/год рівень зворотнього тягового струму не перевищував 20 А, але спектральний склад гармонійних завад в цьому режимі став значно ширшим. На частоті 480 Гц амплітуда гармоніки перевищувала нормативно допустиме значення. При застосуванні рекуперативного гальмування спектральний склад зворотного тягового струму стає ще більш розширеним.

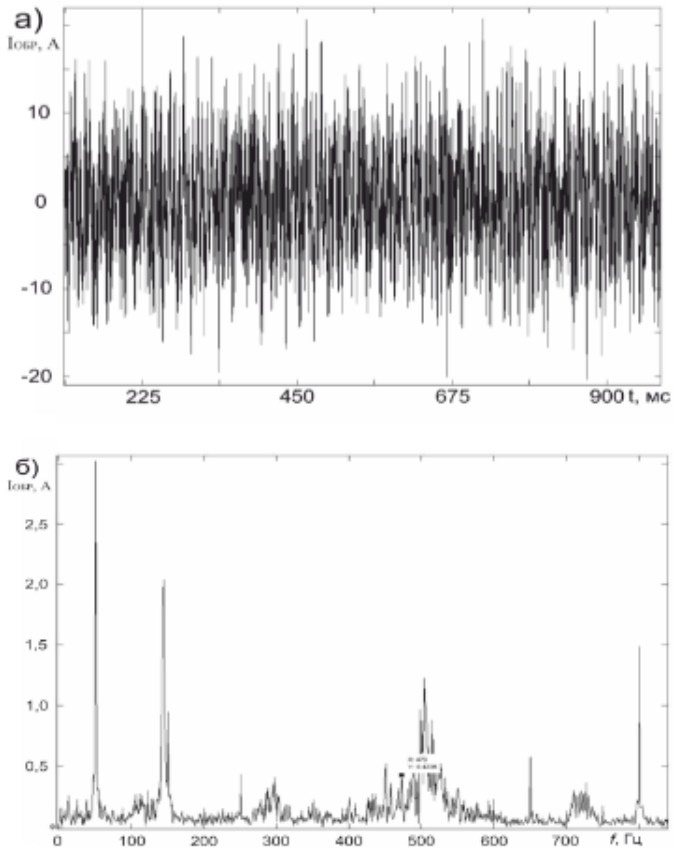


Рисунок 1.8 – Осцилограма та спектральний склад зворотного тягового струму в режимі екстреного гальмування ЕРС з АТД і ШИМ

Максимальні струми завад в рейкових колах спостерігаються на частотах 25, 420, 480, 580, 780, 4545, 5000 Гц і в багатьох випадках амплітуди гармонік перевищують граничні значення. При цьому амплітуда гармонік значно збільшується при збільшенні тягового струму, тобто при прискорені руху електровозом з асинхронним тяговим двигуном і ШІМ.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНДУКТИВНОГО ВПЛИВУ ЗВОРОТНОГО ТЯГОВОГО СТРУМУ НА РЕЖИМИ РОБОТИ РЕЙКОВИХ КІЛ

Рейковим колом називають сукупність рейкових ниток залізничної колії (які виступають у якості провідників) та апаратури, яка підключається до них на початку та в кінці. Рейкові кола (по-російські «рельсовые цепи») є основним елементом багатьох пристроїв залізничної автоматики і телемеханіки. За допомогою рейкових кіл визначається вільність блок-ділянок на перегонах та станційних ділянок; контролюється цілісність рейкових ниток; передається інформація про показання колійних світлофорів на локомотив для роботи автоматичної локомотивної сигналізації; забезпечується ув’язка між світлофорами в кодових системах автоблокування; виключається переведення стрілок у пристроях електричної централізації при знаходженні на них рухомих одиниць; здійснюється сигналізація про наближення поїздів до переїздів та управління автошлагбаумами; контролюється на диспетчерському посту та на посту чергового станції стан блок-ділянок на перегонах і приймально-відправних коліях і т.д. Уперше рейкові кола були застосовані в 1872 р. у США.

Рейкове коло складається з:

– рейкової лінії, яка має рейкові нитки зі стиковими з’єднувачами, ізолюючі стики, які забезпечують електричну розв’язку суміжних рейкових кіл;

– апаратури живильного кінця, яка складається з регульованого резистора, що знаходиться в релейній шафі, пристроїв живлення – акумулятора та випрямляча, розміщених у батарейній шафі;

– апаратури релейного кінця, яка містить приймач – колійне реле, розташоване в релейній шафі.

Апаратура живильних і релейного кінців у релейних шафах з'єднується з кабельними стійками, жилами кабелю і далі сталевими тросами з рейковими нитками.

При вільному стані рейкового кола струм акумуляторної батареї протікає рейковою лінією і замикається через обмотку колійного реле П. Реле збуджене і його спільний та фронтовий контакти замкнуті між собою, що говорить про вільність і справність ділянки рейкового кола, обмеженого ізолюючими стиками. Коли рухомий склад вступає на рейкове коло, рейкові нитки закорочуються через малий опір колісних пар рухомого складу, що знижує струм в обмотках колійного реле до значення струму відпускання, останнє відпускає якір і, відповідно, замикаються його спільний і тиловий контакти. Зниження струму в обмотках реле під дією колісних пар рухомого складу називають шунтовим ефектом, а колісні пари – поїзним шунтом. Отже, від працездатності рейкових кіл залежить безпека руху поїздів.

2.1 Вихідні дані для розрахунку

Вихідні дані для розрахунку:

Тип рейкових кіл – перегінні рейкові кола 25 Гц з двома дросель-трансформаторами. Ділянка обладнана електричною тягою змінного сруму. Такі ділянки є дуже розповсюдженими на залізницях України, тому і обираємо її для дослідження.

Довжина рейкового кола L=2.1 км

Мінімальний питомий опір ізоляції рейкового кола $r_{\min} = 0.1 \quad Ом \cdot м$

Коефіцієнт поверхневого утікання $m = 1.8$

Питомий опір заземлення контактних опор $r_0 = 2 \quad Ом \cdot км$

Опір з’єднувальних проводів між релейними ІТ і ДТ $r_{sr} = 0.3 \quad Ом$

Опір з’єднувальних проводів між ДТ і ІТ живлячого кінця $r_{sp} = 0.2 \quad Ом$

Нормативні параметри рейкових кіл:

Питомий опір рейок $Z = 0.5e^{j52^\circ}$ $Ом \cdot м$. Це значення є усередненим, в роботі проведемо дослідження впливу рівня тягового струму на опір рейок, таким чином питомий опір буде змінною величиною при проведенні досліджень та розрахунку режимів роботи рейкових кіл.

Питома взаємна індуктивність рейок $M = 0.0135e^{j(-6.7)^\circ}$ $Гн / км$

Критична постійна розповсюдження хвилі в рейковій лінії $\gamma L_{кр} = 1{,}13e^{j26^\circ}$ $Ом \cdot м$

Коефіцієнт схемі рейкового кола при наявності двох дросель-трансформаторів $S1 = S2 = 1$

Електричні характеристики обладнання рейкових кіл:

Опір колійного реле ІМВШ-110

Робоча напруга живлення колійного реле $U_r = 3.84B$

Робочий струм колійного реле $I_r = 0.023A$

Коефіцієнт запасу за спрацюванням колійного реле $K_z = 1.2$

Коефіцієнт повернення колійного реле $K_в = 0{,}75$

Припустимий коефіцієнт перевантаження колійного реле $K_{пер} = 3{,}7$

Опір фільтра ЗБФ-1 $Z_f = 200$ $Ом$

Опір і коефіцієнти чотириполюсника захисного фільтра ЗБФ-1

$A_f = 0.333$, $B_f = 85Ом$, $C_f = 0.0026$ $См$, $D_{dr} = 1$

Опір обмежувача $Z_0 = 200$ $Ом$

Коефіцієнти чотириполюсника ДТ релейного кінця ДТ-1-150

$A_{dr} = 0.333$, $B_{dr} = 0.0525e^{40^\circ j} Ом$, $C_{dr} = 0.49e^{-70^\circ j} См$, $D_{dr} = 3$

Коефіцієнти чотириполюсника ДТ живлячого кінця ДТ-1-150

$A_{dp} = 3$, $B_{dp} = 0.05e^{35^\circ j} Ом$, $C_{dp} = 0.302e^{-60^\circ j} См$, $D_{dp} = 0.333$,

$n = 3$

Коефіцієнті чотириполюсника ІТ живлячого кінця ПРТ-2А

$A_{ip} = 9.15$, $B_{ip} = 2.4e^{36^\circ j} Ом$, $C_{ip} = 0.06e^{-65^\circ j} См$, $D_{ip} = 0.11$

Коефіцієнти чотириполюсника ІТ релейного кінця ПРТ-2А

$A_{ir} = 0.11,\ B_{ir} = 2.4e^{36^\circ j} Ом,\ C_{ir} = 0.06e^{-65^\circ j} См,\ D_{ir} = 9.15$

Нормативний струм автоматичної локомотивної сигналізації, $I_{als} = 1.4$ А

Джерело живлення ПЧ-50/25

Номінальні характеристики живлення:

Напруга $U_{ist} = 0.606$ А

Струм $I_{ist} = 0.606$ А

Потужність $S_{ist} = 100$ ВА

Градація регулювання напруги джерела живлення від номінального значення $n = 5.$

Коефіцієнт відхилення напруги джерела живлення від номінального значення $K_{otkl} = 1.025.$

Перегінне рейкове коло 25 Гц з підключенням апаратури на релейному та живлячом кінцях дано на Рисунок 2.1. Схема заміщення перегінного кодового рейкового кола 25 Гц з реле ІМВШ-110 дано на Рисунок 2.2.

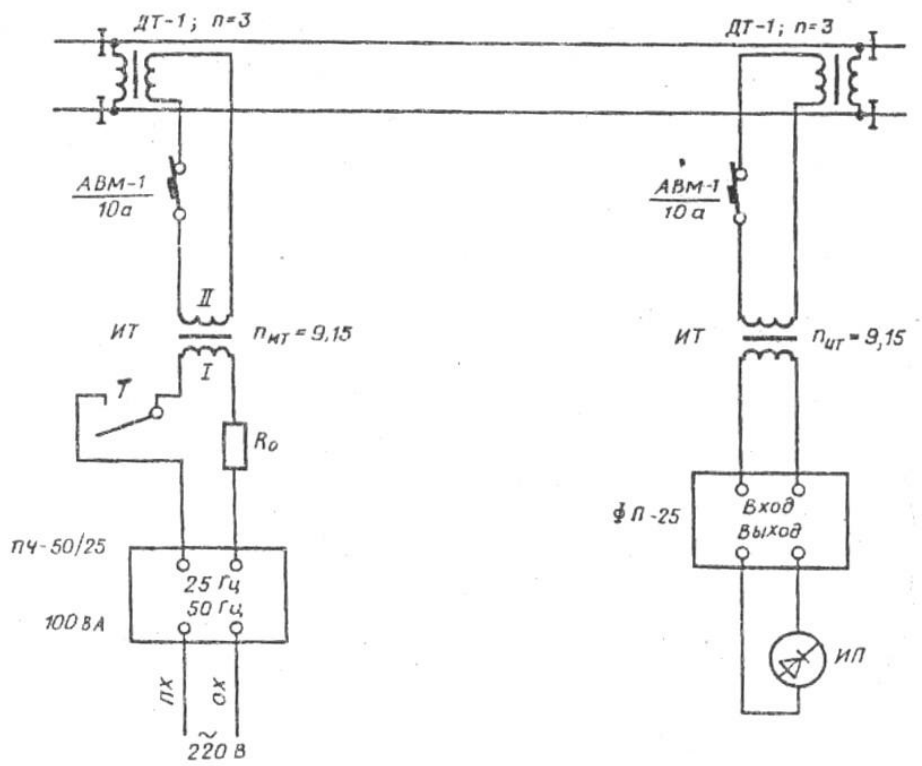


Рисунок 2.1 – Кодове перегінне кодове рейкове коло 25 Гц

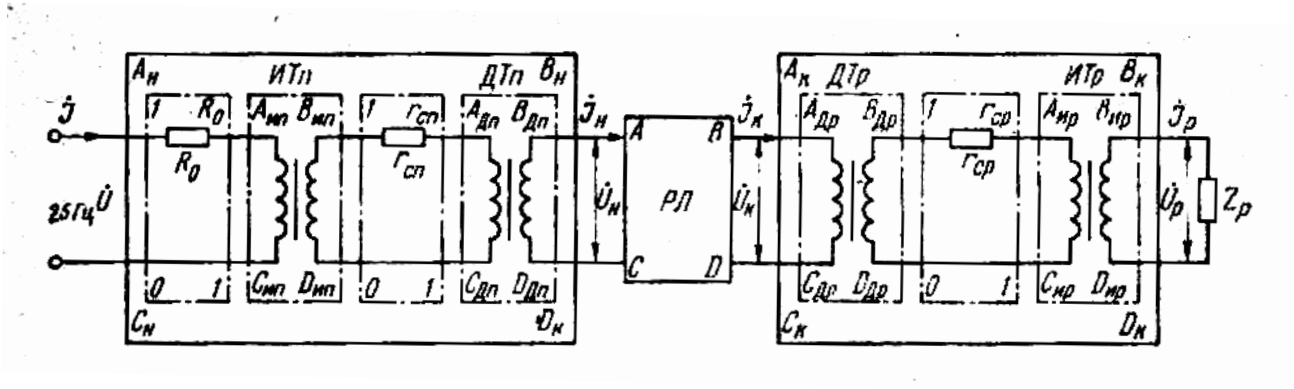


Рисунок 2.2 – Схема заміщення кодового рейкового кола 25 Гц з реле ІМВШ-110

2.2 Опір рейкової нитки

Під електричним опором рейок мається на увазі електричний опір рейкової петлі (обох рейкових ниток), що складається з електричного опору власне рейок і рейкових стиків.

Електричний опір рейок в значній мірі залежить від роду сигнального струму. В сучасних рейкових колах застосовується сигнальний струм різної частоти від 0 до 10000 Гц. При протіканні по рейковій лінії постійного сигнального струму втрати потужності в рейках викликаються нагрівом рейок і стикових з'єднувачів і визначаються опором їх постійного струму. При протіканні по рейках змінного сигнального струму, навколо і всередині рейок, а також навколо стикових з'єднувачів утворюється змінне магнітне поле, внаслідок чого опір їх значно збільшується. Збільшення опору рейок при змінному струмі відбувається через винекнення поверхневого ефекту, що викликає появу додатковогоних активних втрат. Крім того, в колі утворюються і додатковийі індуктивний опір, викликаний магнітним полем рейок, індуктивним зв'язком між ними (зовнішня індуктивність) і наявністю магнітного потоку всередині рейки (внутрішня індуктивність). При проходженні змінного струму через стикові з'єднувачі в їх опорі також з'являються активна і індуктивна складові.

Питомий опір рейкової петлі сигнального струму будь-якої частоти виражається в загальному вигляді формулою:

$$Z = 2\left(k \cdot r_0 + \sum_0^n r_{cm} \right) + j\omega \left[L_e + 2\left(kL_i + \sum_0^n L_c \right) \right] \cdot 10^{-3} \qquad (2.1)$$

Де r_a - активний опір цілої рейкової нитки *ом/км;*

$\sum_0^n r_{ac}$ - активний опір з'єднувачів на 1 км рейкової нитки *ом/км;* n - *число* з'єднувачів на 1 км рейкової нитки, $k = \frac{1000 - nl_c}{1000}$ - коефіцієнт, визначаючий відносну довжину рейкової нитки на 1 км;

L_c - відстань в метрах між точками закріплення з'єднувачів;

L_e - зовнішня індуктивність рейкової петлі;

L_i - внутрішня індуктивність цілої рейкової нитки;

$\sum_0^n L_c$ - індуктивність з'єднувачів 1 км рейкової нитки;

ω - кутова частота сигнального струму.

Опір рейок знижується всього лише на 20%. У зв'язку цим при розрахунках рейкових колоів змінного струму не роблять відмінності між максимальним і мінімальним опором рейок і у всіх випадках пользуются нормативними величинами. Отже, в рейкових колоах змінного струму не можна істотно знизити повний опір рейок за рахунок застосування з'єднувачів з малим опором. Тому в рейкових нитках змінного струму приварні з'єднувачі застосовують лише на електрифікованих ділянках для зменшення опору рейок тяговому току.Залежності повного опору і аргументу рейок від частоти в межах від 0 до 2000 гц. У межах від 500 до 2000 гц повний опір рейок зростає майже пропорційно частоті, а аргумент змінюється незначно. Для постійного сигнального струму ω=0, а величини r_a і r_{ac} визначаються опорами постійного струму відповідно до цілої рейкової нитки і рейкових стиків. Тому питомий опір рейок при постійному струмі виражається формулою:

$$Z = 2\left(k \cdot r_0 + \sum_0^n r_{cm} \right) \qquad (2.2)$$

Де r_0 - опір одинарної рейки постійного струму;

$\sum_0^n r_{cm}$ - опір рейкових з'єднувачів 1 км нитки постійного струму;

Опір цілої рейки r_0 значно менше опору з'єднувачів r_{cm} , і залежить лише від поперечного перерізу рейки.

Площа поперечного перерізу і опір одиночної рейки постійного струму в ом / км для основних типів рейок, вказано в таблиці 2.1.

Площа поперечного перерізу і опір одиночної рейки постійного струму

Таблиця 2.1

Тип рейок	S, см^2	P, см	S/P	r_0 ,ом/км
Р65	82,9	70	1,18	0,0254
Р50	65,8	62	1,06	0,325

Значення площі поперечного перерізу рейок S. периметра перерізу P і відношення S/P наведені в табл. 2.1. Точні результати можна було б отримати, маючи графіки залежності $\mu(H)$, побудовані для даного сорту сталі на основі спеціально проведених дослідів. Однак при великій невизначеності інших параметрів, що беруть участь у розрахунку, можна обмежитися літературними даними. На рис. 2.1 дані такі графіки для гарячекатаної сталі з різним вмістом вуглецю. Як показує досвід, струм в рейках може змінюватися в широких межах (практично від нуля до декількох сотень ампер) і, отже в широких межах може змінюватися і напруженість.

Як видно з кривих $\mu(H)$ магнітна проникність збільшується при збільшенні H (а отже, і струм в рейках) в зонах малого насичення, тобто до досягнення максимуму магнітної проникності, і навпаки, за межами цього

максимуму падає при збільшенні струму. Цікаво встановити, яка частина кривої $\mu(H)$ користується для розрахунків активного опору рейок у практичних умовах. На рис. 2.1., для рейкової сталі (з вмістом вуглероду близько 0,5%) крива $\mu(H)$ має максимум для Н – 10-12 А/см. Струм в рейці, відповідний цим значенням Н, можна знайти для різних типів рейок, використовуючи дані табл. 2.1., з формули:

$$I_p = HP \tag{2.3}$$

Тоді отримаємо, що максимум μ відповідає току в рейці від 450 до 670 А. У двох рейках однієї колії виходять значення струму від 900 до 1340 А і ще вдвічі більше – для двоколійної ділянки. Такі значення струмів в рейках значно перевищують робочі струми, які спостерігаються на залізницях змінного струму. Ці міркування говорять про те, що рейки на електрифікованоних ділянках однофазного струму працюють в зоні відносно слабких полів і, отже, зі збільшенням струму в рейках їх магнітна проникність і активний опір ростуть.

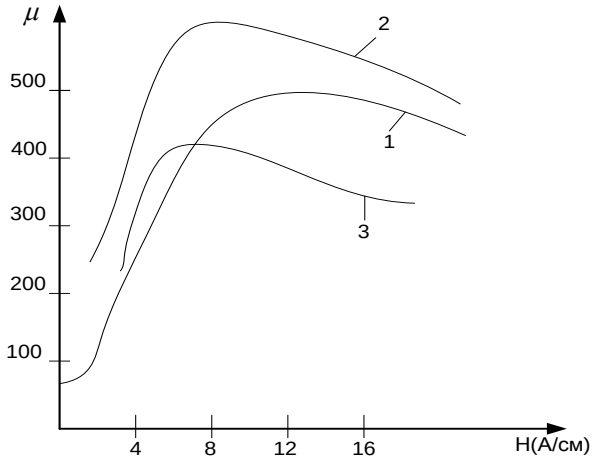


Рисунок 2.3 – Залежність відносної магнітної проникності μ від напруженості магнітного поля Н для залізничних рейок

Нормативний опір рейок постійного струму визначається на підставі даних великої кількості вимірювань, проведених в реальних умовах на ряді

ділянок. для залізниць встановлено наступні нормативні опори | рейок постійного струму:

1) максимальний r_{max} - при штепсельних з'єднувачах 0,6 ом/км і при приварних 0,2 ом/км;

2) мінімальний r_{min} - при штепсельних 0,3 ом/км і при приварних 0,1 ом/км;

Таким чином, при постійному струмі опір рейок в реальних умовах змінюється приблизно в 2 рази, застосовуючи в цьому випадку стикові з'єднувачі з малим опором, можна значно зменшити і стабілізувати опір рейок.

2.3 Опір ізоляції баласту

Під електричним опором баласту рейкової лінії. мається на увазі опір, який створює току витоку від однієї рейкової нитки до іншої через шпали та баласт.

Електричний опір ізоляції баласту рейкових ліній визначається конструкцією верхньої будови колії. Як вказувалося вище, проводи рейкових ліній (рейки) знаходяться в безпосередній близькості від землі й укладаються на шпалах, з якими вони мають хороший електричний контакт через металеві деталі верхніх скріплень. Самі ж шпали поміщаються в баластному шарі, укладеному на земляному полотні. Через таку степінь конструкції рейкової лінії створюється важка електрохімічна система з елементами іонної та електронної провідності. Електронною провідністю володіють рейки і всі металеві деталі верхніх скріплень, а іонною баласт, шпали, земляне полотно і грунт.

У зв'язку з цим загальний опір ізоляції рейкової лінії, визначається, з одного боку, опорами, що характеризують витік струму через шпали та баласт, а з іншого,-опором перехідних шарів, що утворюються на кордоні між елементами електронної та іонної провідності.

Електрохімічні процеси, що протікають в рейковому колі, аналогічні процесам грунтової корозії. З цього випливає, що проходження струму через систему з електронною та іонною провідністю можливо тільки при протіканні відповідних реакцій на межі розділу електрод - електроліт. Струм витоку через баласт пропорційний швидкості протікання цих реакцій. Отже, залежність опору баласту від різних зовнішніх факторів буде визначатися тим, який вплив вони будуть надавати на протікання електродних реакцій, зазвичай супроводжуються відомими процесами поляризації електродів і зміною їх потенціалів. У зв'язку з цим опір баласту можна дослідити і виміряти тільки експериментально, поставивши досить складні і численні досліди в реальних умовах. Так як встановлено, що в літній час загальний опір баласту залежить від прекладеної до рейок напруги - воно зменшується при збільшенні напруги постійного струму від 0,1 до 1,0 В. Крім того, встановлено, що опір баласту залежить великою мірою від вологості. З підвищенням температури прискорюються електродні процеси і зменшується опір електроліту, внаслідок чого опір баласту падає. Тому найбільший опір баласту виходить взимку, коли діють одночасно два фактори: низька температура; мала вологість.

Найменший же опір зазвичай буває влітку в жарку погоду через 8-10 хв після проливного дощу, при високій температурі і критичній вологості.

2.4 Вплив опору баласту та опору рейок на режими роботи рейкових кіл

Розрахунок стану РЛ ґрунтується на її представленні у вигляді двухпровідної або трехпроводної електричної лінії з розподіленими параметрами. Питомі значення первинних параметрів можуть залежати від просторової координати, внаслідок неоднорідності, якості та стану шпал, висоти баластного шару, наявності міжколійних перемичок, вживаних для каналізації тягового струму, відсмоктувальних фідерів тягового струму та інших факторів . При цьому поздовжніми параметрами є питомий опір і індуктивність рейки, а поперечних параметрів виступають провідність між рейками і ємність між ними, відповідно. На рейкову лінію, як лінію з

розподіленими параметрами, впливають різного роду внутрішні та зовнішні збурення.

Методично зручно розрізняти три види зовнішніх збурень на рейкову лінію, яка використовується як чутливий елемент автоматизованої системи:

- безперервні впливу (зміна температури, вологість іін), що змінюють параметри рейкової лінії;

- дискретні впливу (накладення поїзного шунта, обрив рейкової лінії), що змінюють структуру її схеми заміщення;

- безперервні і дискретні перешкоди (перешкоди від тягового струму, від блукаючих струмів та ін), не змінюють параметри та структуру схеми заміщення, а впливають разом з основним сигналом на приймач.

Реакція рейкового кола на ці обурення проявляється у зміні параметрів сигналів на її вході і виході, є інформативними ознаками її стану. Такими є:

-амплітуди і фази напруги і струму на вході рейкової лінії;

-амплітуда і фаза напруги на виході навантаженої рейкової лінії..

При дослідженнях рейкових кіл змінного синусоїдального струму, рейкову лінію розглядають як лінію з рівномірнорозподіленими параметрами . Прийнята ідеалізація дозволяє отримувати результати аналізу, добре узгоджуються з реальними.

Для роботи рейкових кіл автоблокування використовуються частоти діапазону 50 - 100 Гц. Максимальна довжина рейкового кола складає 2000 м. При цьому шунтовий і контрольний режими забезпечуються при опорі ізоляції рейкової лінії не менше 0,55 Ом.

Рейкові коло частотного автоблокування з використанням сигнальних струмів в діапазоні 100 - 400 Гц більш критичні до зниження опору ізоляції, рейкової лінії порівняно з частотами 25 - 75 Гц, застосовуваними в числовий кодової автоблокуванні. Тому при проектуванні максимальна довжина рейкових кіл частотної автоблокування не повинна перевищувати 1500 м. Крім того, для нормального дії приймальних пристроїв частотної автоблокування з виділенням низькою різницевої

частоти електропостачання сигнальних установок перегону повинно здійснюватися від єдиної енергетичної системи з метою стабілізації різницевої частоти, що в деяких випадках може викликати труднощі, наприклад, при електропостачанні від резервних дизель-генераторних установок.

Заняття і звільнення БРЦ фіксується не в момент вступу та проходження поїздом точок підключення апаратури, а на деякій відстані від кінців БРЦ, що характеризують зони додаткового шунтування $l_ш$ по наближенні та видаленні поїзда. Наявність цих зон обумовлено відсутністю ізолюючих. Наприклад, при наближенні поїзда до БРЦ за рахунок поїзного шунта напруга на живильному кінці, а значить, і на вході приймача 2П1 знижується. На деякій відстані завдяки шунтуванню через рейкову петлю поїзним шунтом напруга на вході приймача знижується до значення, відповідного відпускання якоря колійного реле. Так само і спрацьовування колійного приймача і збудження колійного реле, наприклад П, відбуваються після видалення поїзда на відстань $l_ш$ від БРЦ. Таким чином тактична довжина БРЦ виявляється більше її фізичної довжини, яка визначається точками підключення апаратури.

Довжина зони шунтування залежить від частоти сигнального струму, робоча напруга сигналу на вході приймача, опір баласту рейкової ліній, коефіцієнта повернення колійного приймача, реального опору поїзного шунта довжини БРЦ. Для залізниць при частоті сигнального струму 420 Гц значення зони шунтування в умовах експлуатацій знаходиться в межах від 40 до 120 м. При підвищенні частоти сигнального струму, напруга на вході приймача, опору баласту і опору рейок довжина зони шунтування зменшується, а при зменшенні зазначених параметрів значення $l_ш$ зростає.

2.5 Розрахунок нормального режиму

Для забезпечення роботи РЦ в нормальному режимі (рейкове коло вільне і справне), необхідно виконання двох граничних умов:

1) при мінімальній напрузі джерела живлення і найгірших умовах для передачі сигналу, напруга (струм) на вході колійного приймача повинні бути не нижче значень надійного спрацювання;

2) при максимальній напрузі джерела живлення і найкращих умовах для передачі сигналу, напруга (струм) на вході колійного приймача повинні бути не вище значень допустимої перевантаження. Критеріями першої умови є напруга, струм і потужність джерела живлення, при яких шляхової приймач надійно спрацьовує. Критерієм другої умови служить співвідношення $K_{пер\max} \le K_{пердоп}$, де $K_{пер\max}$ - максимальний, а $K_{пердоп}$ - допустимий коефіцієнт перевантаження колійного приймача. Основною характеристикою роботи РЦ в нормальному режимі є коефіцієнт перевантаження Кпер, що представляє собою відношення фактичного значення сигналу на вході приймача (U вх) до робочого значення.

$$K_{пер} = U_{вх} / U_{р} \qquad (2.4)$$

Для розрахунку складається схема заміщення РК (рис. 2.4) і знаходяться параметри, які входять до неї чотириполюсників: Н (апаратура живильного кінця), РЛ (рейкова лінія) і К (апаратура приймального кінця).

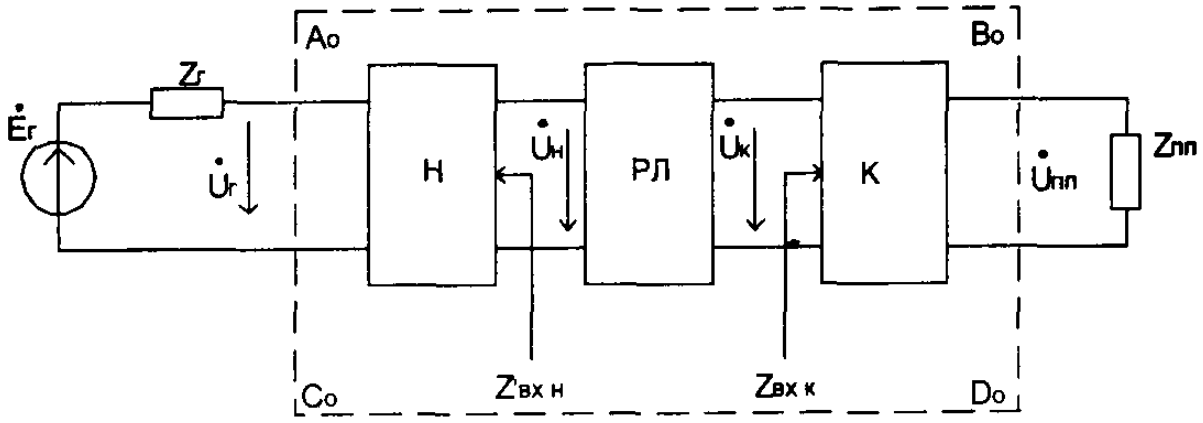


Рисунок 2.4 – Загальна схема заміщення рейкової лінії

Потім знаходяться параметри загальної матриці еквівалентного чотириполюсника

$$\begin{pmatrix} A_0 & B_0 \\ C_0 & D_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_н & B_н \\ C_н & D_н \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_{рл} & B_{рл} \\ C_{рл} & D_{рл} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_к & B_к \\ C_к & D_к \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Причому коефіцієнти чотириполюсника РЛ визначаються з урахуванням найгірших умов для передачі сигналу (мінімальний опір ізоляції і максимальний опір рейок). На ділянках з електротягою опір ізоляції приймається з урахуванням заземлення контактних опор. При відомих значеннях напруги і ШСР і струму 1Ш1СР спрацьовування колійного приймача, мінімальні напруга і струм джерела живлення знаходяться з виразів

$$U_{\min} = A_0 U_{ппср} + B_0 I_{ппср}, \quad I_{\min} = C_0 U_{ппср} + D_0 I_{ппср} \quad (2.6)$$

З урахуванням коливань напруги в мережі живлення, номінальна напруга джерела $U = K_{нс\min} U_{\min}$ де $K_{нс\min}$ - коефіцієнт нестабільності мережі, що враховує допустиме зменшення напруги в порівнянні з номінальною. Для рейкових кіл змінного струму номінальну напругу мережі приймається рівним 230 В, мінімально допустимий - 197 В, максимальний - 245 В. Таким чином, $K_{нс\min}$ = 230/197 = 1,17, а $K_{нс\max}$ = 245/230 = 1,07.

Фактична напруга живлення $U_ф$ визначається конструктивними особливостями джерела. Якщо рейкове коло живиться від колійного трансформатора з секціонованими вихідними обмотками, то фактична напруга вибирається не менше номінальної з урахуванням ступінчастого регулювання напруги (для трансформаторів ПОБС-3 ці градації становлять 5,5 В). В рейкових колах тональної частоти забезпечується плавне регулювання вихідної напруги генератора, фактичний напруга встановлюється рівною номінальній (розрахунковій). Для розрахунку фактичного перевантаження колійного приймача необхідно визначити максимальну напругу на його вході $U_{пп\max}$ при найкращих умовах для передачі сигналу. При цьому напруга джерела $U_{ф\max} = K_{нс\max} U_{ф\max}$, де

$K_{нс\max}$ = 1,07 - коефіцієнт нестабільності мережі, що враховує допустиме збільшення напруги в порівнянні з номінальною. Параметри загальної матриці еквівалентного чотириполюсника $A_0 < B_0, C_0, D_0$ повинні визначатися з урахуванням максимального опору ізоляції РЛ і мінімального опору рейок. Зазвичай з цією метою беруть $A_{рл} = D_0 = 1, B_{рл} = Z_p \square, C_{рл} = 0,$ де l - довжина РЛ.

Тоді

$$U_{пп\max} = \frac{U_{ф\max}}{A_0 + B_0 / Z_{пп}}, \qquad (2.7)$$

де $Z_{пп}$ - вхідний опір колійного приймача.

Максимальна напруга на вході колійного приймача не повинна перевищувати допустимого (паспортного) значення. Для оцінки роботи приймача також використовують максимальний коефіцієнт перевантаження

$$K_{пер\max} = U_{пп\max} / U_{ппср}, \qquad (2.8)$$

який може бути розрахований через опору передачі еквівалентного чотириполюсника при різних умовах розповсюдження сигналу. Повна потужність джерела живлення

$$S_ф = U_ф \cdot I_ф, \qquad (2.9)$$

де $I_ф$ - пов'язаний комплекс фактичного струму джерела живлення.

Розрахункова потужність не повинна перевищувати гранично допустиму для вибраного джерела живлення.

Якщо в процесі розрахунку з'ясовується, що РЦ не забезпечує роботу в нормальному режимі, то проводиться уточнення вихідних даних (довжина РЛ, мінімальний опір ізоляції), і, при необхідності, коригування параметрів елементів апаратури. Остаточні результати розрахунку нормального режиму приймаються за основу для розрахунку РЦ в інших режимах роботи.

При розрахунку нормального режиму рейкового кола наявність захисних елементів не враховується, оскільки їх опір для сигналів рейкового кола набагато більше вхідного опору рейкової лінії і опору кінця рейковому кола. Вихідні кола передавальних пристроїв АЛС також практично не впливають на передачу і прийом сигналів на частотах сигналів рейкового кола, тому при виконанні нормального режиму вони не враховуються.

У нормальному режимі рівень сигналу на вході приймача повинен бути не нижче рівня надійного спрацювання, тому критичним для цього режиму є такий набір значень незалежних змінних, при якому створюються найбільш важкі умови для передачі сигналів по рейковій лінії (тобто коли загасання сигналу в ній буде максимальним: $Z_{\max}, Y_{\max}, U_{\min}$.

Для нормального режиму поняття про критичну координату прямого сенсу не має, так як при вільному і справному РК на рейковій лінії немає ні шунта, ні пошкодженої рейки. У цьому случаї можна вважати, що для даного РК шунт і місце пошкодження рейки знаходяться поза межами рейкової лінії, тобто $0 > p > 1$.

Нормальний (регулювальний) режим відповідає вільному від рухомого складу станом рейкового кола. На обмотці колійного реле при безперервному живленні має бути така напруга, при якому якір надійно притягається до сердечника реле. При імпульсному (кодовому) живленні реле повинне притягати якір і замикати фронтовий контакт від кожного імпульсу струму в найнесприятливіших умовах.

Несприятливими для нормального режиму є умови, які знижують струм в шляховому приймальнику: це найменша напруга джерела живлення рейкової колоа, так як при його зниженні зменшується напруга і на затискачах реле; найменший опір ізоляції, що призводить до збільшення витоку струму через баласт і зниження напруги на затискачах реле; найбільший опір рейок, що викликає додаткове падіння напруги в рейкових нитках і зниження напруги на затискачах реле. Якщо за цих умов

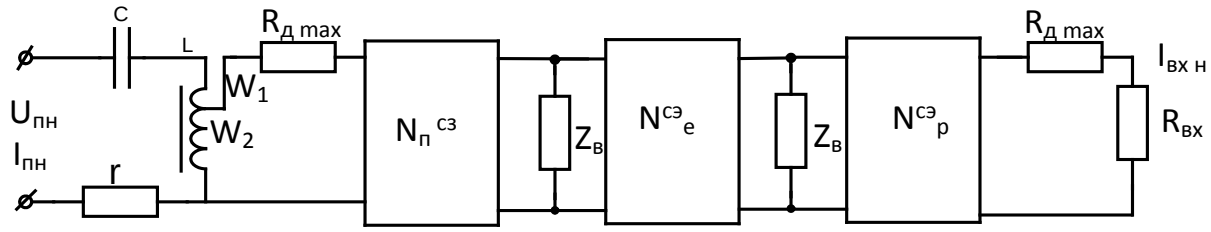
забезпечується нормальна робота колійного приймача, то при інших умовах вона тим більше буде забезпечена.

З цієї ж причини слід нехтувати впливом вхідного опору приймального пристрою суміжного рейкового кола.

На релейному і живлячому кінцях рейкового кола для отримання необхідного за умовами їх роботи вхідного опору по кінцях встановлюються додаткові резистори $R_д$.

Незначна зміна вхідного струму приймальних пристроїв при зміні довжини кабелю в широких межах дозволяє робити розрахунок за еквівалентною схемою заміщення, представленою на Рисунку 2.5 при Rд = Rд max.

На рис. 2.5 прийняті наступні позначення: $N_l^{рц}$ - чотириполюсник рейкового кола завдовжки l; $N^{сэ}_e$, $N^{сэ}_р$ - чотириполюсники погоджую чого елементу відповідно на живлючому та релейному кінцях; $R_{вх}$-вхідний опір приймальних пристроїв ($R_{вх}$= 140 Ом); r, C, L - активний опір, місткість і індуктивність фільтру; $n=W_1\backslash W_2$- коефіцієнт трансформації на виході



фільтру рейкового кола(n = 1,3).

Рисунок 2.5 - Схема заміщення рейкового кола в нормальному режимі

У розрахунках нормального режиму розрізняють два випадки напруги джерела: не задано і може змінюватися в широких межах, і напруга джерела задана. Перший випадок буває в РК змінного струму, в яких застосовуються

колійні трансформатори з секціонованими вторинними обмотками і завдяки цьому може змінюватися їх коефіцієнт трансформації або шляхові параметричні перетворювачі частоти з секціонованими вихідними обмотками, другий в РК постійного струму, які живляться від одного акумулятора.

У теорії особливо виділяються два класи РК з одноразовим і дворазовим використанням тракту передачі, методики розрахунків яких різні. Загальна методика розрахунку РК змінного струму розрізняють два варіанти кіл: з одноелементними двоелементними приймачами. Як згадувалося вище розрахунок нормального режиму РК ведеться за загальною схемою заміщення (див. рис. 2.2) При цьому схема заміщення для РК з одноелементним приймачем відрізняється від схеми заміщення з двоелементним приймачем тільки схемою заміщення приймачів, підключеної до затискачів. Розглянемо спочатку методику розрахунку РК з одноелементним приймачем, а потім покажемо особливості розрахунку РК з двоелементним приймачем.

Вихідними величинами для розрахунку РК з одноелементним приймачем є струм $I_{пр}$ і напруга $U_{пр}$, при цьому зазвичай аргумент комплексу $I_{пр}$ приймається рівним нулю, а аргумент комплексу $U_{пр}$ дорівнюватиме аргументу комплексу вхідного опору приймача Znp.

Для РК з двоелементними фазочутливими приймачами (ФЧП) розрахунок нормального режиму спочатку ведеться так само, як і з одноелементними нефазочутливими приймачами, при цьому задаються номінальні значення напруги і струму спрацьовування, взятимі з паспорта реле, які виходять за ідеальних фазових співвідношень. Потім за даними попереднього розрахунку визначаємо кут відхилення вектора комплексу U від ідеального, який дорівнює куту розстройки реле β_U в нормальному режимі:

$$\beta_U = \varphi_U - \lambda_{ид}$$

де φ_U -аргумент комплекса напруги джерела

$\lambda_{ид}$ -кут ідеальних фазових відношень

При розрахунку нормального режиму РК постійного струму, в яких напруга джерела задана , визначається опір обмежувача за формулою

$$R_0 = \frac{U_{\min} - U_н}{I_н} - r_{сп} \tag{2.10}$$

де $U_{\min}$ - мінімальне значення напруги джерела постійного струму 1;

$U_н$, $I_н$ - напруга до ток на початку рейкової лінії;

$r_{сп}$ - опір з'єднувальних проводів і кабелю ка живильному кінці.

При використанні формул рівняння чотирьохполюсника слід враховувати, що для схеми заміщення

$$\begin{aligned} A_н = 1, B_н = R_0 + r_{сп}, C_н = 0 \\ A_К = D_k = 1, B_k = r_{ср}, C_к = 0 \end{aligned} \tag{2.11}$$

У зв'язку з тим що напруга джерела в РК постійного струму задана, опір початку $R_н = R_0 + r_{сп}$ обчислюється за формулою вказаною вище, виходить, особливо в коротких РК, більше мінімально допустимого значення $R_{н\min}$ - 1,5 Ом за умовами всіх основних режимів. Завдяки цьому з'являється можливість поставити опором початку $R_н$ = 1,5 Ом і перерахувати опір кінця з тим, щоб в цілях економії кабелю збільшити опір з'єднувальних проводів на цьому кінці.

2.6 Шунтовий режим роботи рейкового кола

Шунтовий режим відповідає заняттю рейкового кола рухомим складом. При безперервному живленні колійне реле має відпускати якір, а при імпульсному (кодовому) живленні має виключатися спрацьовування реле від імпульсів струму при найнесприятливіших умовах: найбільша напруга джерела живлення, найменший опір рейок і найбільший опір ізоляції,

тобто при відсутності витоку струму через шпали та баласт.

Якщо за цих умов шунтовий режим забезпечується, то при всіх інших умовах він буде забезпечуватися з запасом. Коли рухлива одиниця вступає на рейкове коло, струм в шляховому приймальнику зменшується. Процес зменшення струму в шляховому приймачі називається шунтовим ефектом, а опір колісної пари з урахуванням перехідного опору між колесами і рейками-опором поїзного шунта.

Опір поїзного шунта є величиною змінною і залежить від числа колісних пар, що знаходяться на рейкового кола, тиску на осі, швидкості руху поїзда, стану поверхні головок рейок і бандажів коліс. Чим менше опір поїзного шунта, тим шунтовий ефект буде краще, і навпаки. Найбільший опір поїзного шунта приймається 0,06 Ом, яке називають нормативним. Це опір більше опору однієї колісної пари при самих несприятливих умовах. При накладенні на рейки нормативного поїзного шунта 0,06 Ом в будь-якій точці рейкового кола колійне реле має відпускати якір (при безперервному живленні рейкового кола); в імпульсної або кодової рейкового кола колійне реле має не притягувати свій якір від імпульсів струму. Якщо буде забезпечений шунтовий ефект при накладенні на рейкове коло нормативного поїзного шунта, то в разі шунтування рейкового кола колісними парами рухомого складу шунтовий ефект буде забезпечуватися з запасом.

Кількісно шунтовий ефект характеризується шунтовий чутливістю, яку оцінюють за найбільшим опору, включення якого між рейками призводить до відпускання або непритяжінню якоря колійного реле. Шунтова чутливість, прийнята за нормами рівної 0,06 Ом, називається нормативною. Це відповідає найбільшому можливого опору поїзного шунта. З нормативної шунтовий чутливістю порівнюють шунтову чутливість конкретної рейкового кола. Якщо шунтова чутливість конкретної рейкового кола більше нормативної, то така рейкове коло гарантовано забезпечуватиме шунтовий ефект і, отже, безпеку руху поїздів.

При занятті рейкового кола поїздом колійне реле має відпускати свій

якір. Струм через обмотку реле продовжує протікати, але амплітуда його значно зменшується під дією накладеного на рейкове коло шунта у вигляді колісних пар, опір якого значно менше опору обмотки колійного реле. Отже, колійне реле відпускає якір не в результаті відключення джерела живлення, а в результаті накладення шунта і зниження струму через обмотку реле нижче струму відпускання якоря реле. В цьому випадку надійне відпускання якоря реле за інших умов буде залежати від параметрів колійного реле. З двох шляхових реле з однаковими струмами тяжіння якоря більш надійно фіксує заняття рейкового кола то, у якого якір відпускається при більшому струмі.

Процес шунтування рейкового кола при імпульсному або кодовому живленні відбувається інакше, ніж при безперервному живленні. Якщо при шунтування рейкового кола з безперервним живленням колійне реле має відпустити якір і замкнути тиловий контакт, то в імпульсної або кодової рейкового кола якір не повинен перемикатися в робочий стан.

При вільному стані рейкового кола під час кожного імпульсу через колійне реле проходить струм не нижче робочого, і його поляризований якір перемикається, замикаючи фронтовий контакт. Для шунтування рейкового кола з імпульсним живленням необхідно, щоб струм в обмотках реле зменшився не менш ніж на 10% робочого струму. Отже, рейкове коло з імпульсним живленням буде шунтуватися при більш високому опорі поїзного шунта, ніж при безперервному живленні, тобто рейкове коло з імпульсним живленням має більш високу чутливість шунтову, ніж рейкове коло з безперервним живленням. Внаслідок цього рейкові кола з імпульсним живленням мають значно більшу довжину.

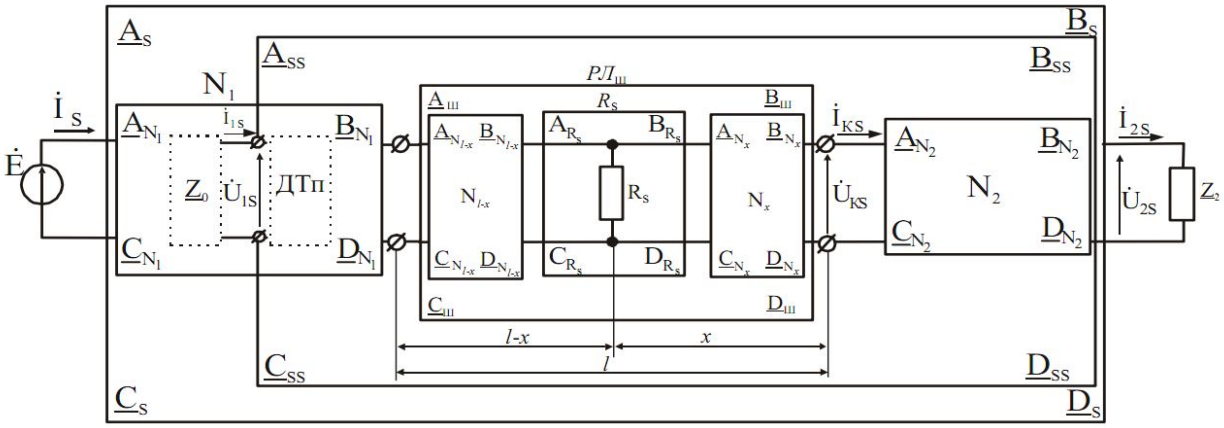


Рисунок 2.6 – Схема заміщення рейкового кола при шунтовому режимі

На Рисунку 2.6 представлена узагальнена схема заміщення РЦ при шунтовому режимі.

Так як на шунтовий режим роботи рейкового кола впливає не тільки

довжиною x км від місцезнаходження поїзного шунта

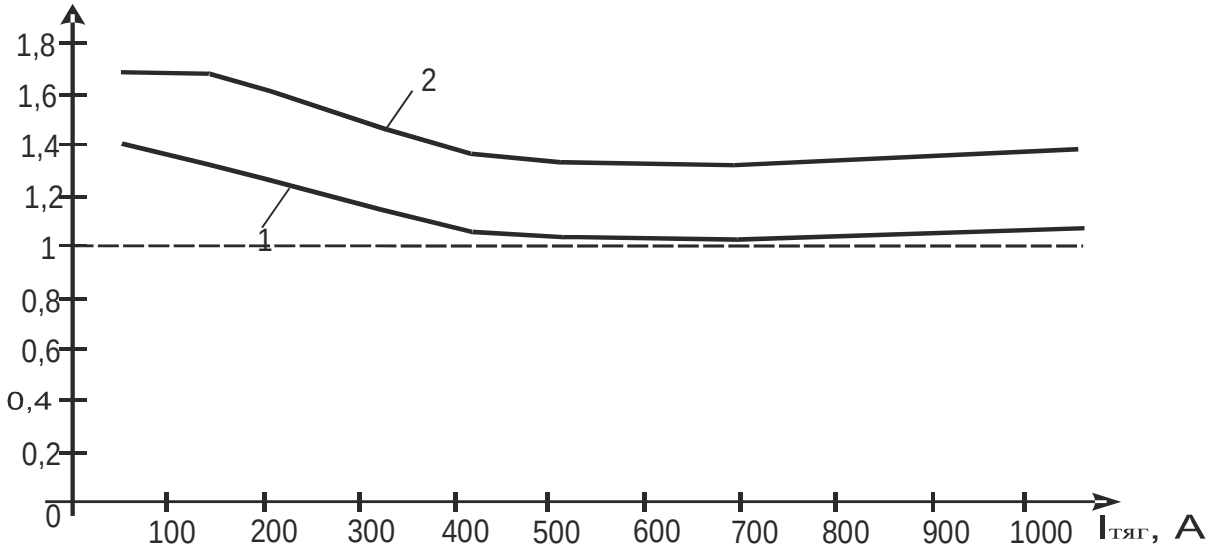


Рисунок 2.8 – Залежність коефіцієнту шунтової чутливості від тягового струму на живлячому (1) та релейному (2) кінці

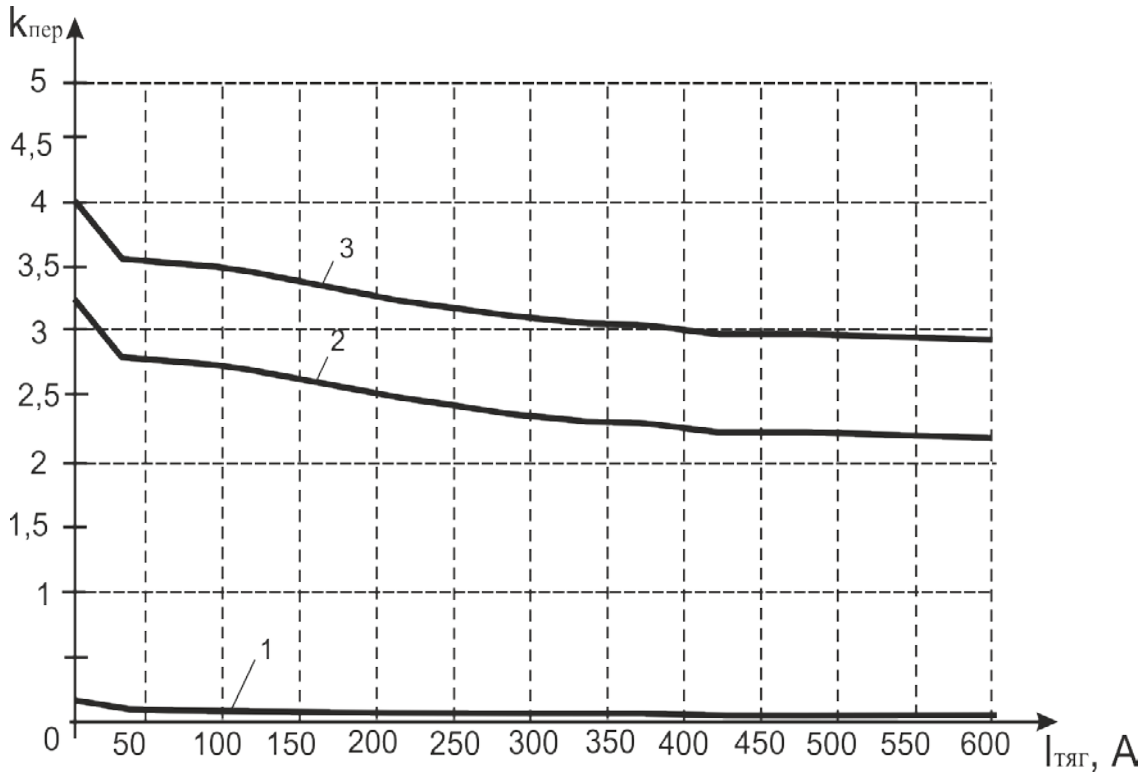


Рисунок 2.9 - Залежність коефіцієнту перевантаження від тягового струму для рейкового кола частотою 420 Гц: 1 - 0,1 Ом·км; 2 – 1 Ом·км; 3 – 50 Ом·км

ВИСНОВКИ

Метою роботи було оцінити кондуктивний вплив зворотного тягового струму на режими роботи рейкових кіл.

Виконано аналіз електромагнітного впливу електрорухомого складу на роботу рейкових кіл. Встановлено, що кондуктивний вплив (гальванічний зв’язок), який виникає за рахунок протікання зворотного тягового струму по рейковій лінії, є найбільш не безпечнішим з точки зору нормального функціонування рейкових кіл. Рівень впливу обумовлюється кількістю локомотивів у фідерній зоні, рівнем асиметрії рейкової лінії та її ізоляцією щодо землі.

Максимальні струми завад в рейкових колах спостерігаються на частотах 25, 420, 480, 580, 780, 4545, 5000 Гц і в багатьох випадках амплітуди гармонік перевищують граничні значення. При цьому амплітуда гармонік значно збільшується при збільшенні тягового струму, тобто при прискорені руху електровозом з асинхронним тяговим двигуном і ШІМ.

В роботі виконано розрахунки нормального та шунтового режимів роботи рейкових кіл в умовах впливу зворотного тягового струму на опір рейкової лінії. В результаті дослідження виявлено, що великі рівні тягового струму в рейках погіршують умови виконання режимів роботи рейкових кіл. При постійному струмі опір рейок в реальних умовах змінюється приблизно в 2 рази. Проте при цьому критерії нормального та шунтового режиму роботи рейкових кіл залишаються більшим одиниці, що свідчить про виконання режимів роботи в таких умовах.

Розглянуто заходи безпеки при знаходженні електрообслуговуючого персоналу на залізничних коліях і під час аварійних ситуацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шаманов, В. И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики: учебное пособие [Текст] / В. И. Шаманов – М.: Маршрут, 2013 – 244 с.

2. Кириленко, А. Г. Электрические рельсовые цепи: Учебное пособие [Текст] / А. Г. Кириленко, Н. А. Пельменева. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – 94 с.

3. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник [Текст] / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко – М.: Транспорт, 1992. – 384 с.

4. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость: Учебник для вузов [Текст] / М. П. Бадер. – М.: УМК МПС, 2002. – 638 с.

5. Шаманов, В. И. Помехи и помехоустойчивость автоматической локомотивной сигнализации: Учебное пособие [Текст] / В. И. Шаманов – Иркутск: Изд-во ИРГУПС, 2005. – 236с.

6. Завгородний, А. В. Методические аспекты определения уровней опарного и мешающего влияния подвижного состава на работу рельсових цепей [Текст] / А. В. Завгородний, В. И. Гаврилюк, В. Г. Сыченко // Наука і прогрес транспорту. Вісник дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. – Д., 2005. – Вип. 9. – С. 11-14.

7. Костроминов, А. М. Об электромагнитной совместимости рельсовых цепей с перспективным электроподвижным составом [Текст] // Автоматика, телемеханика и связь. – 1989. - № 6. – С. 33-34.

8. Eckel, H.-G. A new family of modular IGBT converters for traction applications [электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.etenik.unirostock.de/ee/download/publications_LEA/uni_hro_publ_lea_26.pdf

9. Кабалык, Ю. А. Системы управления электроподвижным составом [Текст] / Ю. С. Каблык. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2013. - 119с.

10. Маслов, Г. П. Электроснабжение железных дорог: Учебное пособие [Текст] / Г. П. Маслов, Г. С. Магарай, О. А. Сидоров. – Омск: Омский гос. университет путей сообщения, 2006. – 48 с.

11. Вольдек, А. И. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов [Текст] / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – Санкт-Петербург: Питер, 2007. – 350 с.

12. Марквард, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог : Учебник для вузов [Текст] / К. Г. Марквард. – Москва: Транспорт, 1982. – 528 с.

13. Карв, Ш. Активные фильтры гармоник [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ssily.ru/admin/uploads/states/file/aktivnyie_filtryi_garmonik(rus).pdf

14. Бабаев, М. М. Анализ влияния электромагнитных факторов на работу рельсовых цепей [Текст] / М. М. Бабаев, В. Ю. Гребенюк // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2011. – № 28. – С. 75-82.

15. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость: Учебник для вузов [Текст] / М. П. Бадер. – Москва: УМК МПС, 2002. – 638 с.

16 Безнаритний, А. М. Дослідження впливу зворотного тягового струму на роботу рейко-вих кіл в умовах різних видів тягового навантаження [Текст] / А. М. Безнаритний, В. І. Гаврилюк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2014. – Ном. 8. – Дніпропетровськ: Вид во ДНУЗТ, 2015. – С. 27–31.

17. Щека В. І. Підвищення функціональної безпеки рейкових кіл в умовах експлуатації рухомого складу з асинхронним тяговим приводом. Дис.на здоб. наук. ст. к.т.н.спеціальність 05.22.20 – експлуатація і ремонт засобів транспорту. Дніпро:2015. – 161 с.

18. Щека В. І. Дослідження механізмів впливу контактної мережі на рейкові кола [Текст]// Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015, № 3 (57) – С. 27-35.

19. Вісін М. Г., Забарило Д. О. Підвищення електромагнітної сумісності рейкових кіл з електрорухомим складом подвійного живлення з асинхронними тяговими двигунами тя гяговою мережею // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2012. – С. 75-82.

20. Щека В. И., Гаврилюк В. И. Исследование магнитного влияния контактной сети на рельсовые цепи [Текст] / В. И. Щека, В. И. Гаврилюк// Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2011. – № 2. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 41 – 46.

21. Щека В. І. Організація захисту рейкових кіл від електромагнітних завад з боку контактної мережі [Текст] / В. І. Щека // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2011. – Ном. 1. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 84-90.

22. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ): ЦШЕОТ/0012: Затв. Гол. упр. зв’язку, енергетики та обчислювальної техніки М-ва транспорту України 05.10.1998. – Київ, 1998. – 72 с.

23. Устройства СЦБ. Технология обслуживания. – М.: Транспорт, 1999. – 433с.