

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри

_____ Гаврилюк В.І.
(підпис) (ПІБ)
20____ р. _____ «_____»

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Спеціалізація «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Тема Дослідження електромагнітного впливу тягового струму на кабельні
лінії автоматики та зв'язку та розробка засобів їх захисту

Theme Investigation of the electromagnetic influence of traction current on
automation and communication cable lines and the development of means for
their protection

Керівник дипломної роботи, професор _
(посада) (підпис)

Гаврилюк В.І.
(ПІБ)

Студент групи АТ1921 (967М)

_____ Жирновий А.С.
(підпис) (ПІБ)

Student АТ1921 (967М)

_____ Zhyrnovyi Artur
(family name)

**Дніпро
2020**

**Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна**

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Спеціалізація «Автоматика та автоматизація на транспорті»

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри

Гаврилюк В.І.

« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеню «магістр»

Жирновий А. С.
(прізвище, ім'я та по батькові)

Тема роботи Дослідження електромагнітного впливу тягового струму на
кабельні лінії автоматики та зв'язку та розробка засобів їх захисту

1. Затверджена наказом по університету № 798ст від « 18 » жовтень 2019 р.
2. Термін подання студентом закінченої роботи 15 грудня 2020 р.
3. Вихідні дані до роботи типові матеріали і нормативні документи для проектування та
регулювання пристроїв СЦБ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Обсяг %	Кількість креслень
1. Вступ.	4	0
2. Аналіз проблеми. постановка мети та завдань дослідження	46	18
3. Робота рейкових кіл в умовах електромагнітного впливу тягової мережі	12	5
4. Дослідження впливу електромагнітних завад на роботу рейкових кіл	27	14
5. Зменшення електромагнітного впливу тягової мережі на кабелі зв'язку	9	4
6. Висновки.	1	0
7. Список літератури.	1	0

Студент

Науковий керівник

Гаврилюк В.І.

РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки: 103 сторінок, 4 таблиці, 41 рисунок, 9 джерел літератури.

Ключові слова: кабельна лінія, тяговий струм, тягова підстанція, контактна мережа, електромагнітна сумісність, зважаючий вплив, електромагнітний вплив тягової мережі на кабелі зв'язку.

Об'єкт проектування: кабельні лінії автоматики та зв'язку

Мета магістерської роботи: Дослідження електромагнітного впливу тягового струму на кабельні лінії автоматики та зв'язку та розробка засобів їх захисту.

У першому розділі приведений аналіз електромагнітної обстановки на рухомому складі. Особливості роботи перспективного електрорухомого складу з асинхронним тяговим двигуном. Проаналізована вплив тягового струму як джерела перешкод на пристрої залізничної автоматики.

У другому розділі виділена робота рейкових кіл в умовах електромагнітного впливу тягової мережі, загальна характеристика проблеми. Крім цього в даному розділі проведена функціональна безпека РК в умовах електромагнітних завад, методика та засоби експериментальних досліджень ЕМЗ від електрорухомого складу.

В третьому розділі проведено дослідження впливу електромагнітних завад на роботу рейкових кіл, вплив опору ізоляції баласту на режими роботи ТРК.

В четвертому розділі розглядається захист кабельних ліній від небезпечного впливу електрифікованої залізниці редуційними трансформаторами.

Галузь застосування: системи керування рухом поїздів на залізничному транспорті.

Висновок. Вирішено задачу підвищення достовірності передачі даних в лініях зв'язку шляхом зменшення впливу завад тягової мережі.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1. Електромагнітна обстановка на рухомому складі	9
1.2. Особливості роботи перспективного електрорухомого складу з асинхронним тяговим двигуном.....	19
1.3. Тяговий струм як джерело перешкод на пристрої залізничної автоматики	23
1.3.1. Загальні положення	23
1.3.2. Тяговий струм як джерело перешкод на рейковому колі.....	29
1.3.3. Тяговий струм як джерело перешкод на приймальному пристрої автоматичної локомотивної сигналізації.....	37
1.4. Причини появи перешкод в роботі пристроїв рейкових кіл і автоматичної локомотивної сигналізації.....	42
1.4.1. Загальні положення	42
1.4.2. Поширення напруг і струмів в однопровідній рейковій лінії	46
1.4.3. Поширення напруг і струмів в двухпровідній рейковій лінії	49
2. РОБОТА РЕЙКОВИХ КІЛ В УМОВАХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ	54
2.1. Загальна характеристика проблеми та обсяг досліджень	54
2.2. Функціональна безпека РК в умовах електромагнітних завад.....	54
2.3. Методика та засоби експериментальних досліджень ЕМЗ від електрорухомого складу.....	60
2.4. Методика вимірювання значення струму перешкод від електропоїзду в рейкову лінію.....	62
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД НА РОБОТУ РЕЙКОВИХ КІЛ	67
3.1. Загальний аналіз проблеми	67
3.2. Дослідження впливу електромагнітних завад на роботу ТРК	72

3.3. Вплив опору ізоляції баласту на режими роботи ТРК.....	75
3.4. Рівняння електричного кола як чотириполюсника.	76
3.5. Обчислення параметрів лінії.....	78
3.6. Експериментальне дослідження розповсюдження тягового струму від електропоїзду в рейках	89
4. ЗМЕНШЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ НА КАБЕЛІ ЗВ'ЯЗКУ	94
4.1. Захист кабельних ліній від небезпечного впливу електрифікованої залізниці редуційними трансформаторами	94
4.2. Застосування розподільних трансформаторів	95
4.3. Модифікований метод зменшення електромагнітного впливу з використанням розділюючого трансформатора.	98
4.4. Висновки за розділом	100
ВИСНОВКИ	102
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	103

ВСТУП

Системи залізничної автоматики і телемеханіки (СЗАТ) відіграють важливу роль в перевізному процесі, забезпечуючи безпеку і ритмічність руху поїздів і тим самим, впливають безпосередньо на терміни доставки вантажів і їх збереження, безпеку пасажирів і працівників, пов'язаних з рухом поїздів.

Найважливішим елементом практично всіх СЗАТ, істотно впливають на безпеку руху поїздів, є рейкові кола (РК). Вони виконують такі функції: автоматично контролюють вільний або зайнятий стан ділянок колії на перегонах і станціях, а також цілісність рейкових ниток: виключають можливість переведення стрілок під складом: з їх допомогою передаються кодові сигнали зі шляху на локомотив і від однієї сигнальної установки до іншої; забезпечують автоматичний контроль наближення поїздів до переїздів і станцій.

РК працюють в умовах значної зміни опору ізоляції і рейкових ниток, схильні до впливу тягового струму, обслуговування їх здійснюють різні служби. Це створює великі труднощі в забезпеченні безперебійної і надійної роботи РК. Проблема забезпечення електромагнітної сумісності рейкових кіл з перспективним електрорухомим складом (ЕРС) - важливе стратегічне завдання розвитку галузі автоматики і телемеханіки. Рід тяги, а точніше, вид тягового приводу ЕРС, є одним з найважливіших факторів, що визначають вид РК, яка є фундаментом всіх сучасних систем автоматики. Як відомо, всякий раз зміна роду тяги супроводжувалася реконструкцією РК. Так, перехід від автономної тяги до електричної з енергопостачанням на постійному струмі і застосуванням колекторного двигуна зажадав розробки РК змінного струму частотою 50 Гц.

Перехід на енергопостачання змінним струмом, з установкою випрямляча для колекторного двигуна безпосередньо на електровозі, привів до того, що вільними від перешкод виявилися тільки діапазони між гармоніками струму частотою 50 Гц. Були створені РК частотою 25 Гц для

кодового автоблокування, автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу (АЛС) і станцій: рейкові кола частотою 175 Гц для системи комплексного локомотивного пристрою безпеки, а також тональні рейкові кола (ТРК), робочі діапазони яких розташовані між гармоніками тягового струму.

В даний час абсолютно чітко позначена стратегія заміни на тяговому рухомому складі колекторного двигуна на асинхронний, як при енергопостачанні на постійному струмі, так і при енергопостачанні на змінному струмі. Оскільки регулювання тяги здійснюється шляхом зміни частоти струму, споживаємого асинхронним двигуном, гармоніки струму електровоза виникають в дуже широкому діапазоні частот, в тому числі і в тому, в якому працюють РК. Це принципово змінює вимоги до перспективних РК.

В даний час проблема електромагнітної сумісності ЕРС і РК вирішується шляхом пред'явлення жорстких вимог до рівня перешкод, допустимому при роботі асинхронного двигуна. Пред'являються вимоги оформлені у вигляді норм безпеки НБ Ж Т ЦТ 04-98. Виконання цих вимог пов'язане з установкою на ЕРС громіздких фільтрів, які не завжди забезпечують бажаний результат. Це ускладнює впровадження перспективних електровозів. У той же час в результаті експериментальних досліджень встановлено, що в ряді випадків пред'являються вимоги є не виправдано жорсткими. Це обумовлено тим, що в момент розробки норм безпеки були відсутні методи коректного розрахунку заважає впливу перешкод, створювані х ЕРС, на роботу РК. Норми безпеки були розроблені на основі наближених методик і експертних оцінок.

В даний час широке застосування отримали безстиківі рейкові кола, з огляду на те, що ізолюючі стики відносяться до числа найбільш ненадійних елементів рейкового кола. При електричній тязі протікає по рейках зворотній тяговий струм робить істотний вплив на роботу рейкових кіл і пристроїв АЛС. У посібнику наведена методика розрахунку розподілу гармонік

тягового струму в безстикових рейкових кіл з урахуванням асиметрії первинних параметрів в рейкової лінії.

У той же час на електрифікованих залізницях на приймально-відправних коліях станцій застосовуються ТРК з ізолюючими стиками з живленням з середини в обидві сторони від джерела сигналу, а рейкові нитки одночасно використовують для пропуску зворотнього тягового струму від рухомих електровозів до тягової підстанції за допомогою дросель-трансформаторів в обхід ізолюючих стиків і сигнального струму РК. При проходженні по рейках гармоніки тягового струму надають вплив на РК і пристрої АЛС. Тяговий струм по-різному розтікається по зворотній тяговій рейковій мережі по станціях і перегонах. У посібнику наведено методику, яка описувала вплив гармонійних складових тягового струму на приймальні пристрої станційних розгалужених і нерозгалужених РК з ізолюючими стиками з урахуванням асиметрії первинних параметрів в рейкової лінії.

Метою данної роботи є опис теоретичних методів підвищення стійкості роботи рейкових кіл і приймальних пристроїв АЛС з урахуванням впливу гармонійних складаючих тягового струму.

1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Електромагнітна обстановка на рухомому складі

Вимоги до електромагнітної сумісності останнім часом значно зросли у зв'язку з широким використанням на залізничному транспорті досягнень науково-технічного прогресу. Застосування схем управління, пристроїв регулювання тяги і гальмування, побудованих на мікропроцесорній базі, а також інформаційних шин, що охоплюють всі системи рухомого складу, ставить особливо високі вимоги до стійкості цих компонентів по відношенню до сторонніх електромагнітних полів.

Заважаючий потенціал тягового обладнання та допоміжних пристроїв значно зріс у зв'язку з використанням сучасної перетворювальної техніки, яка характеризується високими напругами і комутацією значних потужностей з високою тактовою частотою і струмовими імпульсами великої крутості.

Для розуміння викладеного нижче матеріалу слід визначитися зі значенням наступних понять. [4]

Під тяговою підстанцією розуміють електроустановку для перетворення електроенергії та живлення електроенергією ЕРС і інших споживачів на залізниці.

Локомотив – силовий тяговий засіб, що відноситься до рухомого складу і призначений для пересування по рейкових шляхах поїздів або окремих вагонів. До локомотивів відносяться електровози, тепловози, паровози, газотурбовози.

Електровоз – локомотив з електричними тяговими двигунами, які отримують живлення від енергосистеми через тягові підстанції та контактну мережу.

Контактна мережа – комплекс пристроїв для передачі електроенергії від тягових підстанцій до ЕРС через струмоприймачі. [1]

На залізничному транспорті додаткові складності викликані високою щільністю компоновки обладнання на рухомому складі, де силові пристрої та системи управління розташовуються поруч; рухом тягового рухомого складу поблизу пристроїв зв'язку та сигналізації, а також трасуванням ліній зв'язку та сигналізації, централізації і блокування (СЦБ) паралельно контактної мережі. Всі ці фактори зумовили прийняття на залізницях особливо жорстких норм, правил і технічних вимог до обладнання.

Для забезпечення електромагнітної сумісності з електрорухомим складом потрібно проводити спеціальні заходи щодо зниження рівня заважаючих впливів проводів і струмоведучих частин обладнання, а також підвищенню стійкості до сторонніх впливів компонентів рухомого складу. До них відносяться заземлення пристроїв, екранування, установка фільтрів, прокладка силових проводів і ліній для систем управління і регулювання у вигляді кабелів різних категорій. Передбачено спеціальні вимірювання для перевірки відповідності параметрів вимогам норм та інструкцій, підтвердження ефективності вжитих заходів щодо забезпечення електромагнітної сумісності та визначення ступеня завад, тяги на пристрої СЦБ і зв'язку.

Електромагнітну сумісність можна визначити як здатність електротехнічних або електронних пристроїв надійно функціонувати в навколишньому середовищі, в той же час, не надаючи на неї заважаючого впливу. Це відноситься до установки в цілому по відношенню до середовища (зовнішня сумісність), до окремих пристроїв або компонентів по відношенню один до одного (внутрішня сумісність) і до взаємного впливу деталей, утворюють вузол або блок (внутрішньосхемна сумісність). При цьому повинні бути зведені до мінімуму як сприйнятливості до зовнішніх заважаючих впливів, так і здатність впливати на зовнішній світ.

Для забезпечення електромагнітної сумісності необхідно знати можливі джерела заважаючих впливів, види цих впливів та шляхи їх передачі до сприймаючого об'єкту. Якщо така інформація є, можна прийняти

відповідні захисні заходи. Вони можуть бути реалізовані як на джерелі перешкоди, так і на сприймаючому об'єкті (приймачі). Можливо також блокування шляху передачі. Знання шляхів передачі заважаючих впливів є вирішальним у забезпеченні електромагнітної сумісності пристроїв, так як дає можливість ізолювати джерела перешкод, підвищувати стійкість пристрою до зовнішніх заважаючих впливів і пригнічувати перешкоди на шляху від їх джерела до приймача.

Існує чотири шляхи передачі, що з'єднують джерело перешкод з приймачем. Це місткість, індуктивна і гальванічний зв'язок, а також передача випромінюванням.

Ємнісний зв'язок являє собою шлях, який створюється електричним полем. Вона діє на невеликій відстані (до декількох сантиметрів) і небезпечна лише при паралельному прокладанні проводів або кабелів. У цьому випадку ємність між кабелями, а отже і можливими джерелами і приймачами перешкод, особливо велика.

Індуктивний зв'язок реалізується за допомогою магнітних полів. Струм, що протікає в проводі, створює магнітне поле, яке, в свою чергу, наводить струм і напругу в сусідніх проводах.

Гальванічний зв'язок здійснюється через будь-які гальванічні, тобто струмопровідні, з'єднання між джерелом перешкод і приймачем. Тут слід також враховувати захисні, заземлюючі і вирівнюють потенціали з'єднувачів.

Електромагнітний зв'язок (передача випромінюванням) відома тим, що на її принципі працює радіо. Для її реалізації використовуються електромагнітні поля.

Електричні заважаючі впливи можуть бути класифіковані за видами різних фізичних процесів, в результаті яких генеруються ці впливи. Всі норми і інструкції з виконання контрольних вимірювань створюються для визначення величини заважаючих впливів. При перевірці стійкості обладнання до заважаючих впливів застосовують джерела, які генерують певні заважаючі величини.

У разі перевірки пристроїв на наявність випромінюваних ними заважають впливів, крім їх виду, слід враховувати також характер можливого впливу на приймач. [6]

Крім інших способів класифікації види заважаючих впливів ділять на дві категорії. В рамках однієї з них оцінюється стійкість обладнання до заважаючих впливів, в рамках другої перевіряється здатність пристроїв випромінювати перешкоди.

Стійкість до заважаючих впливів (1-а категорія). Одним з найважливіших заважаючих впливів цієї категорії є електрична дуга. Вона виникає при розриві механічного контакту двох провідників, які перебувають під високою напругою. При цьому виникає короткий заважаючий імпульс перехідного процесу. На контактах головного вимикача тягового рухомого складу цей ефект виникає також і при їх замиканні.

Індуктивність навантаження і токоподводів такого вимикача обумовлює виникнення крутого імпульсу напруги на контактах при їх механічному розмиканні, який призводить до пробоя виникаючого між контактами повітряного проміжку з утворенням дуги. При наступному різкому зниженні напруги (протягом декількох мілісекунд), коли контакти розійдуться на певну відстань, дуга гасне. [2] За цей короткий проміжок часу процеси гасіння і виникнення дуги повторюються кілька сотень або тисяч разів.

Виникаючі імпульси напруги за допомогою ємнісного зв'язку можуть впливати на сусідні укладені або підвішені паралельно проводи та кабелі. На контактах амплітуда імпульсів може досягати 4 кВ, при цьому в паралельних проводах можуть наводитися імпульси напругою до 1 кВ. Потужність цих імпульсів надзвичайно мала. При крутизні переднього фронту, відповідно зі збільшення напруги від нуля до амплітудного значення за 5 нс, частота імпульсів становить 100 МГц. При наявності небезпеки впливів таких імпульсів на цифрові системи захист їх внутрісхемними засобами, як правило, проблематичне.

Велике значення для оцінки стійкості обладнання до заважаючих впливів має його реакція на потужні імпульси струму і напруги, які зазвичай виникають при розриві великих струмів. Коли швидко розривається коло великого струму, наприклад, при спрацьовуванні запобіжника, індуктивність підведень обумовлює виникнення імпульсу струму і напруги. Потужність їх досить велика, в зв'язку, з чим можливі навіть руйнування деяких елементів пристрою. [3] Амплітуда напруги може досягати 4 кВ, а струму – 2 кА. Час наростання імпульсу дорівнює 1 – 2 мкс, тривалість 20 – 50 мкс. Таким чином, частота імпульсів може досягати 100 кГц. Такі імпульси через гальванічний зв'язок можуть поширюватися на лінії електропостачання.

Важливим фактором, що заважає є статична електрика. В залежності від обставин і погодних умов кожна людина може накопичити статичний заряд напругою до 8 кВ і протягом короткого інтервалу часу розрядитися при зіткненні з струмопровідним предметом. Струм протягом менш ніж 1 нс може зрости до 15 А. Спектр імпульсу містить частоти до 100 МГц, його потужність мала.

Електромагнітні поля значної сили генеруються радіо і телепередавальними пристроями, переносними радіостанціями і мобільними телефонами. Їх частоти лежать в діапазоні від 100 кГц до 1,8 ГГц. Сила цих полів у великій мірі залежить від відстані до передавача. У доступних для населення місцях знаходження стаціонарних передавальних пристроїв і на відстані більше 20 см від переносних максимальна напруженість поля може досягати 20 В / см. [2]

Випромінювання перешкод (2-а категорія). при дослідженні заводовипромінюючій здатності тягового рухомого складу слід, перш за все, назвати такий фактор, як інтенсивність полів, що заважають радіоприйому. Електричні і електронні компоненти рухомого складу можуть генерувати електромагнітні поля, які створюють перешкоди для радіоприймачів, мобільних телефонів, переносних радіостанцій поїзного або виробничого зв'язку, переносних радіостанцій персоналу служб безпеки. Частоти цих

перешкод лежать в діапазоні від 100 кГц до 2 ГГц, але можуть поширюватися і в більш високі діапазони.

Статичні тягові і допоміжні перетворювачі рухомого складу збуджують в живильній їх мережі заважаючі струми, які через рейки і контактну мережу передаються на тягову підстанцію. ці перешкоди містять частоти від декількох Гц до 10 кГц.

Вони можуть надавати заважаючий вплив на роботу пристроїв СЦБ і зв'язку, розташованих в зоні рейок, особливо на РК, пристрої АЛС і прилади системи автоматичного управління рухом поїздів (АУР). Ці перешкоди в основному не виходять за межі залізничних пристроїв, за винятком телефонних ліній.

Великі навантаження в системі електропостачання вагонів, тягові та гальмівні струми з тактовим регулюванням, а також ємнісні струми, відгалужуються від кіл перетворювачів в системі заземлення які ведуть до утворення магнітних полів в рейках і підкузовній зоні рухомого складу. Ці поля можуть значною мірою ускладнювати нормальне функціонування пристроїв СЦБ і зв'язку, працюючих на індуктивному принципі, наприклад, лічильників осей, точкових і шлейфових систем АЛС, колійних приймачів і ін.

В останні роки роль електромагнітної сумісності значно зросла в зв'язку з використанням на рухомому складі комп'ютерних систем управління і статичних перетворювачів великої потужності.

Способи забезпечення внутрішньої сумісності на рухомому складі і зовнішньої (з пристроями, що належать і не належать до залізної дороги) на перший погляд можуть бути такими як на промислових підприємствах. Багато компонентів обладнання тягового рухомого складу можна порівняти з компонентами, що застосовуються в промислових пристроях і системах автоматизації виробничих процесів. Багато в чому схожі й екологічні вимоги.

Проте, забезпечення електромагнітної сумісності на рухомому складі має суттєві особливості.

Особливості сумісності на рухомому складі. Вимоги до рівню електромагнітної сумісності на сучасному рухомому складі містять ряд визначених положень, яким на більшості промислових підприємств надається значно менше значення.

Головна відмінність у вимогах визначається тим, що розглянута з точки зору сумісності одиниця рухомого складу є зазвичай об'єктом, що рухається через міста і в природних ландшафтах на великі відстані.[4] При цьому рухомий склад не повинен мати шкідливого впливу на навколишнє середовище і не піддаватися стороннім заважаючим впливам. Оскільки весь простір, що прилягає до залізничних ліній, ніколи не може бути повністю досліджено з точки зору електромагнітної сумісності і до того ж умови в ньому можуть постійно змінюватися, рухомий склад на відміну від стаціонарних промислових установок повинен використовуватися в розрахунку на експлуатацію в невивченого і змінного навколишнього середовища.

Прагнення зробити рухомий склад залізних доруг загальнодоступним також веде до виникнення мінливих і заздалегідь точно не визначених умов. В особливій мірі це відноситься до проїзду пасажирів, що користуються портативними радіостанціями і мобільними телефонами. Тут в особливій мірі повинні бути дотримані вимоги захищеності пристроїв рухомого складу від заважаючих впливів. В умовах промислових підприємств ця небезпека, як правило, усувається за допомогою організаційних заходів.

Якщо розглядати проблему з точки зору заважаючих впливів, випромінюючих рухомим складом, в цьому випадку вимоги повинні бути також надзвичайно високими. Так, для забезпечення безпечного проїзду в поїздах пасажирів з електростимулятора серцевої діяльності необхідні жорсткі норми на рівень статичних і низькочастотних магнітних полів. Це досягається шляхом значних витрат, так як в вагонах сучасних електропоїздів відстані від пасажирів до джерел таких полів (компонентів тягового приводу, провідників з великими струмами) невеликі.

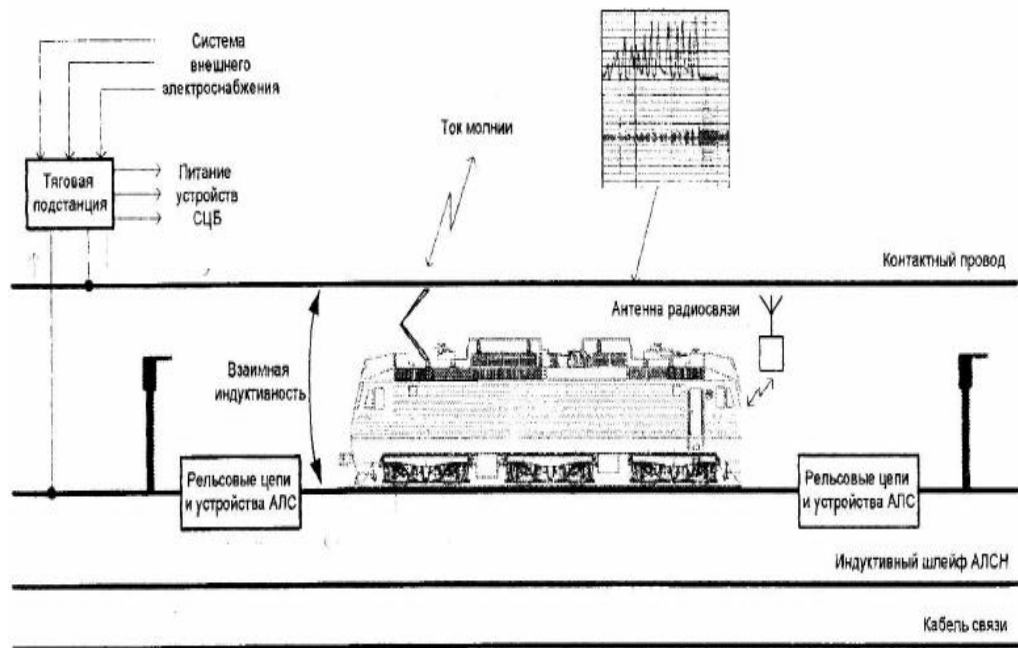


Рис. 1.1. Пристрої СЦБ і зв'язку в дорозі і на рухомому складі

Ще однією особливістю рухомого складу щодо електромагнітної сумісності є близьке розташування елементів силової електроніки від пристроїв СЦБ і зв'язку, що працюють на індуктивному принципі (рис. 1.1). Крутизна фронту імпульсів напруги в тягових перетворювачів, що працюють на замикаючих тиристорах, становить $0,5 - 1 \text{ кВ} / \text{мкс}$, а на біполярних транзисторах з ізольованим затвором – від 3 до $10 \text{ кВ} / \text{мкс}$. Крутизна імпульсів струму становить відповідно $3 - 300$ і $30 - 600 \text{ А} / \text{мкс}$. У проміжну ланку таких перетворювачів напруга постійного струму може підтримуватися на рівні від 600 В до $2,8 \text{ кВ}$. [5] У безпосередній близькості від перетворювачів і підключених до них тягових двигунів, трансформаторів, гальмівних резисторів і силових кабелів повинні надійно працювати пристрої

систем СЦБ, робочий рівень сигналів яких в залежності від частоти лежить між декількома амперами і міліампер (А / м і мА / м).

Для того щоб забезпечувався надійний прийом в системах локомотивного радіозв'язку (рис. 1.1), рівень перешкод на антенах локомотивів не повинен перевищувати 0,3 мкВ. Максимальна відстань між антенами і компонентами силової схеми з коммутючими пристроями на тяговому рухомому складі не перевищує 3 - 5 м, в деяких випадках воно може бути менше 1 м. Цим пояснюються екстремально жорсткі вимоги до заводовипромінюванню силового обладнання в деяких частотних діапазонах. Нерідко ці вимоги значно вище, ніж в промислових нормах.

Для систем управління способами забезпечення електромагнітної сумісності є з'єднання пристроїв з корпусом і екранування. Для силового обладнання в основному використовується екранування.

За допомогою екранування можливо надійно захищати системи і пристрої від низькочастотних магнітних полів, а також високочастотних електричних і електромагнітних. Одночасно з з'єднанням приладів систем управління з корпусом забезпечується поділ потенціалів живильної батареї і цих приладів, а також взаємне розділення потенціалів всіх приладів системи для того, щоб електронні блоки мали такий же потенціал, як всі сусідні пристрої і елементи екранування. Завдяки цьому істотно знижується заважаючий вплив зовнішніх джерел.

На рис. 1.2 схематично показані захисні заходи на рухомому складі. Всі струмопровідні компоненти механічної частини вагона або локомотива пов'язані між собою струмопровідними сполуками. Вони утворюють так званий корпус, який має вихідний (умовний нульовий) потенціал, по відношенню до якого ведуться вимірювання. До нього приєднуються корпусу всіх приладів і компонентів. [6] Необхідно прагнути до того, щоб з'єднання були низькоімпедантними, тобто мали мінімальні значення індуктивності і активного опору. [9] Всі екрани з'єднуються з струмопровідним корпусом

приладу або вагона як мінімум з двох кінців. Ці сполуки також повинні бути низькоімпедантними.

Електронні компоненти приладів управління отримують живлення через перетворювачі постійного струму, реалізуючий поділ потенціалів. Корпуси окремих електронних блоків з'єднуються з корпусом приладу, які виконують роль екрана, низькоімпедантними провідниками. Якщо прилад вимагає екранування, воно повинно бути повним. Всі екрануючі елементи слід з'єднувати низькоімпедантними провідниками між собою і з корпусом приладу або вагона.

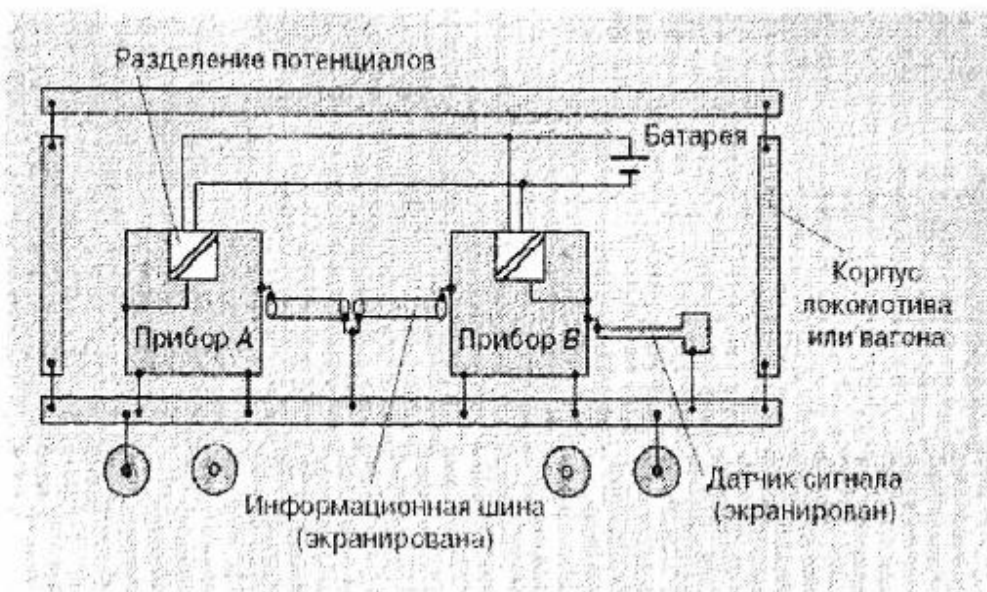


Рис. 1.2. Схематичне відображення концепції заземлення та екранування

Будь-які провідні з'єднання між приладами системи управління виконуються з поділом потенціалів. Це саме можна сказати і до проводів довічних схем, які вимагають поділу з потенціалом батареї. Цілями цього заходу є мінімізація різниці потенціалів між електронними схемами і елементами екранування, створення замкнутої екрануючої оболонки. Це необхідно для підвищення захищеності від сторонніх заважаючих впливів і зниження завадовипромінювання в навколишнє середовище.

З метою зниження заважаючого магнітного впливу тягових мереж і підвищення ККД ЕРС на тяговій підстанції встановлюються фільтр-пристрої. Ці фільтри забезпечують придушення перешкод в смузі частот від 20 кГц до 100 МГц. Корпус фільтра також з'єднують з корпусом приладу з дотриманням зазначених вимог. Лінії передачі даних і сигналів часто можна захищати фільтрами, так як частотні діапазони корисної інформації і перешкод можуть взаємно перекриватися. [3] До котушок всіх реле, контакторів, магнітних пускачів і інших подібних елементів електросхем підключають варистори, які обмежують піки напруги, що виникають при розмиканні їх кіл механічними контактами. Таким чином, метою застосування фільтрів є підвищення стійкості до зовнішніх заважаючих впливів, що приходять по дротах, і обмеження передачі цим же шляхом перешкод в інші пристрої.

Метою є розгляд заважаючих впливів перспективного ЕРС з асинхронним тяговим приводом на роботу пристроїв СЦБ. Тому слід більш детально розглянути принцип роботи такого ЕРС.

1.2. Особливості роботи перспективного електрорухомого складу з асинхронним тяговим двигуном

Створення нових тягових засобів у всьому світі обумовлено прагненням забезпечити раціональне, плавне і безконтактне регулювання швидкості руху ЕРС. комплексну автоматизацію управління і економію електричної енергії. Це пов'язано із застосуванням в силовому ланцюзі електрорухомого складу при електротязі постійного і змінного струму напівпровідникових перетворювачів напруги, які являють собою пристрої, що перетворюють електричну енергію таким чином, що вихідна напруга або вихідний струм змінюються із заздалегідь відомою тимчасової функцією. Це здійснюється за допомогою напівпровідникових елементів (діодів,

тиристорів, транзисторів), які і зумовили їх назви. При застосуванні напівпровідникових перетворювачів напруги в тяговій мережі виникають пульсації, які повністю згладити на борту ЕРС практично неможливо. Тому в тяговій мережі будуть з'являтися гармоніки, кратні частотам, які використовуються для регулювання тяги. Можливі два варіанти виконання перетворювача в залежності від того, які використовуються тягові двигуни: колекторні постійного струму або безколекторні асинхронні двигуни змінного струму.

У першому випадку застосовується широко-імпульсне регулювання, робоча частота напівпровідникового перетворювача строго постійна. Частота перешкоди пристроїв СЦБ від тягових перетворювачів становить зазвичай близько 400 Гц, яка без особливих труднощів пригнічується за допомогою бортового фільтра.

У другому випадку для харчування безколекторних асинхронних тягових двигунів напівпровідникові перетворювачі повинні реалізувати діапазон частот 2 - 120 Гц, а в деяких випадках і більш широкий. При запуску двигуна ЕРС буде генеруватися весь діапазон частот від мінімального до максимального значення. Таким чином, у всіх експлуатованих в даний час пристроях залізничної автоматики в їх робочому діапазоні можуть з'явитися перешкоди, що представляють собою гармоніки тягового струму, які надаватимуть заважаючий або небезпечний вплив.

Електровози з багатофазними (зазвичай трифазними) асинхронними тяговими двигунами є в даний час перспективний ЕРС. Принцип дії тягового двигуна такого ЕРС заснований на відставанні частоти обертання магнітного поля ротора (нерухома частина) від частоти обертання поля статора (рухома частина), що зумовило появу терміну асинхронний, тобто неодночасний. Обмотка ротора складається з алюмінієвих стрижнів 1, розташованих в пазах сердечника і замкнута з обох кінців сердечника 2 (рис. 1.3).

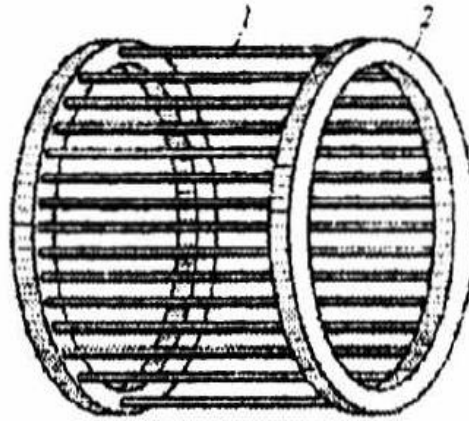


Рис. 1.3. Короткозамкнена обмотка ротора (1 - стрижень, 2 - кільце)

Обертове магнітне поле статора, утворене багатофазним струмом, взаємодіє з струмами, що наводяться в обмотці ротора. В результаті чергування фаз струму в нерухомо розташованих обмотках статора створюється результуючий, постійний за величиною магнітний потік, обертається в просторі з певною частотою n_1 відповідної частоті струму. Частота обертання ротора залежить від частоти напруги живлення, величини навантаження і числа пар полюсів на статорі. В результаті взаємодії індуктивного струму з магнітним потоком створюється момент, який протидіє причини виникнення цього струму. В даному випадку струм викликається відносним переміщенням потоку і ротора. Отже, виникає момент зменшення відносної швидкості магнітного поля і ротора і обертає ротор в напрямку обертання поля. Однак частота обертання ротора завжди менше частоти обертання поля, так як тільки за цієї умови ротор перетинається обертовим полем і в ньому індукується струм.

Обертається поле статора перетинає провідники (стрижні) обмотки ротора і наводить у них ЕРС, під дією якої в стрижнях короткозамкненою обмотки ротора протікає відносно великий струм. На провідник обмотки ротора діє електромагнітна сила F_{np} . Напрямок якої збігається з напрямком обертання поля статора (рис. 1.4).

Сукупність сил $F_{пр}$, прикладених до окремих провідників, створює на роторі електромагнітний момент $M_{эм}$, обертаючого ротора. Обертання ротора передається через вал виконавчому механізму. Напрямок обертання магнітного поля статора, а отже, і напрямки обертання ротора, залежать від порядку чергування фаз напруги живлення. При необхідності зміни напрямку обертання ротора асинхронного двигуна слід поміняти місцями будь-яку пару фазних виходів, з'єднаних їх двигун з мережею.

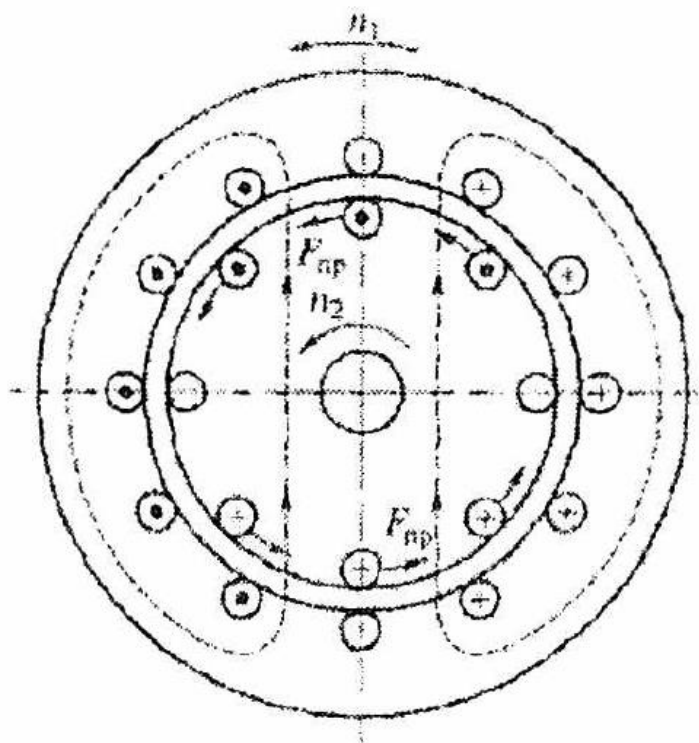


Рис. 1.4. Принцип роботи асинхронного двигуна

Проблема впливу тягового рухомого складу з напівпровідниковими перетворювачами на пристрої рейкових кіл автоблокування і автоматичної локомотивної сигналізації існує на всіх залізних дорогах світу. Для забезпечення ЕМС ЕРС і пристроїв СЦБ за необхідною умовою є обмеження рівнів перешкод, створюваних ЕРС, до рівнів допустимих значень.

Впровадження електровозів нового покоління з асинхронними тяговими двигунами значно загострює проблему забезпечення ЕМС ЕРС і

пристроїв СЦБ. Це пов'язано з тим, що такий ЕРС генерує перешкоди в дуже широкому діапазоні частот, в тому числі і в робочій смузі частот пристроїв залізничної автоматики.

Далі буде приведена методика розрахунку рівнів заважаючого впливу тягового струму на приймальні пристрої РК і АЛС, враховує асиметрію первинних параметрів рейкової лінії і дозволяє визначити частку тягового струму, що проходить через приймальний кінець пристроїв СЦБ на будь-якій частоті струму перешкоди. [7] А це означає, що на її підставі можна розрахувати вплив гармонійних складових тягового струму і для перспективного ЕРС з асинхронними тяговими двигунами.

1.3. Тяговий струм як джерело перешкод на пристрої залізничної автоматики

1.3.1. Загальні положення

Будучи основою систем інтервального регулювання руху поїздів (ІРДП). РК залишаються самим ненадійним їх елементом, на який доводиться до 50% загальної сукупності відмов пристроїв, а на ряді ділянок і більше.

На ділянках з електротягою змінного струму до 75% відмов РК генерують елементи, що забезпечують пропуск по рейковій лінії сигнальних і тягових струмів: ізолюючі стики; дросель-трансформатори; стикові рейкові з'єднувачі; дросельні перемички; тягові з'єднувачі і т.д. Передвідмовний стан цих елементів не завжди виявляється обслуговуючим персоналом. Найбільш важким є виявлення причин короточасних збоїв, оскільки вони часто виникають від дії випадкового поєднання несприятливих чинників.

Електромагнітна сумісність даних пристроїв з мережами тягового електропостачання забезпечується, насамперед, використанням для сигналів контролю несучих частот, відмінних від гармонік тягового струму. Однак сучасні електровози є потужним джерелом перешкод в широкому діапазоні

частот. Використовувані на них високовольтні фільтри, а також фільтри на тягових підстанціях, не завжди можуть забезпечити необхідну якість зниження рівня перешкод.

Таким чином, тяговий струм для функціонування пристроїв СЗАТ породжує дві проблеми:

- гармоніки тягового струму є потужними джерелами перешкод;
- для зворотного тягового струму необхідно створити безперервне електричне коло при наявності ізолюючих стиків.

На електрифікованих залізницях рейковий шлях представляє один з проводів для живлення електричних локомотивів. Рейки через шпали, через заземлення опор контактної мережі, а іноді через різні металеві споруди з'єднані з землею, тому в коло, живлення локомотиву, включаються не тільки рейки, але і приєднані до них паралельно земля і різні підземні споруди, розташовані в ній. Протікання струму по рейках викликає в них падіння напруги і виникнення потенціалів щодо землі. Отже, всі металеві споруди, електрично з'єднані з рейками, отримують той же потенціал. Потенціали металевих споруд щодо землі на дорогах постійного струму досягають в окремі моменти часу досить високих значень, [8] що виходять іноді за межі 100 В. Такі напруги в певних умовах можуть виявитися небезпечними.

Використання рейок як зворотного провідника в системі тягового електропостачання для пропуску тягового струму від ЕРС до тягової підстанції вимагає здійснення цілого комплексу технічних, організаційних і технологічних заходів, спрямованих на забезпечення безвідмовної роботи рейкових кіл СЦБ і АЛС. Перш за все, повинна бути забезпечена високий ступінь надійності зворотного тягової мережі як провідника тягового і сигнального струму. З іншого боку, необхідно прагнути до повної електромагнітної сумісності пристроїв електропостачання, СЦБ і зв'язку. Це особливо необхідно при організації поїздів підвищеної маси і довжини, а також на швидкісних ділянках, бо в цих випадках різко зростає тяговий

струм в рейках, а, отже, зростає і вплив тягового струму на елементи зворотньої тягової мережі.

Розглянемо ділянки з зосередженими навантаженнями, тобто, коли в розрахунках приймається, що електромагнітне поле і втрати зосереджені в одній точці. Харчування електричних локомотивів здійснюється через дроти контактної мережі і рейкові шляхи. Оскільки рейки не ізолювані від землі, то струм проходить і по землі. Якби рейки були ізолювані від землі, то весь струм локомотива протікав би по рейках на ділянці АВ (рис. 1.5).

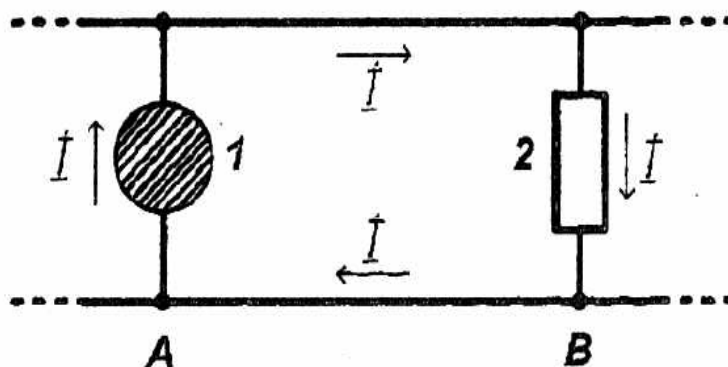


Рис. 1.5 Схема розтікання струму по рейках без витoku в землю: 1 - тягова підстанція; 2 – електровоз

Струм витoku з рейок в землю залежить від різниці потенціалів між рейками і землею і від опору кола, по якому протікає цей струм. Це коло складається ніби з двох послідовно з'єднаних частин. Опір першої частини - місця переходу струму з рейок до шпал і баласту - називають перехідним опором, а опір другої частини - самої землі на шляху струму витoku - називають опором розтіканню. Розглянемо загальну картину протікання струму по рейках і землі для найпростішого випадку (одностороннє живлення одного поїзда). По мірі поширення струму в землі він захоплює все більші й більші простору, і щільність струму в землі з видаленням його від рейок зменшується. Зважаючи на це найбільший опір протіканню струмів витoku зосереджено поблизу виходу їх з рейок. Це дозволяє без відчутної похибки при розрахунках струмів і потенціалів включити опір розтіканню в

перехідний опір і вважати потім, що опір землі дорівнює 0 (рис. 6). Токи в землі називають блукаючими.

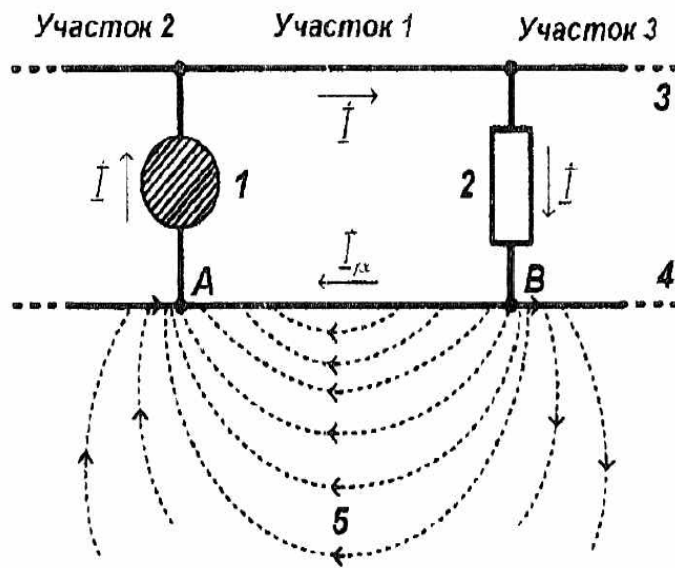


Рис. 1.6 Принципова схема протікання струму по рейках I землі при одній підстанції і однієї навантаженні: 1 - тягова підстанція; 2 - електровоз; 3 - контактна підвіска; 4 - рейки; 5 – земля

Легко бачити, що струм з точки В буде протікати до точки А, відгалужуючись від точки В не тільки вліво (ділянка 1), але і вправо (ділянка 3). Точно так само і повертатися на підстанцію струм буде не тільки через рейки ділянки 1, але і через рейки ділянки 2. При електричній тязі змінного струму до всього вищесказаного додається електромагнітний зв'язок між рейками і між контактним проводом і кожною рейкою. Взаємною індуктивністю між контактної мережею і 1 км суміжного дроту називають величину магнітного потоку, що пронизує майданчик під 1 км суміжного дроту в повітрі і в землі, при намагнічуваному струмі контактної мережі 1 А.

Протікаючі по землі так звані блукаючі струми частково потрапляють в розташовані поблизу від електрифікованих залізниць постійного струму різні металеві споруди (підземні трубопроводи і кабелі, сховища пального, основи і фундаменти опор контактної мережі і т.п.) і, витікаючи з них. Викликають електрокорозії, завдають великої матеріальної шкоди різним

галузям господарства. [4] Для зменшення шкідливого впливу блукаючих струмів на підземні споруди розроблені різні захисти. Одні захисти спрямовані на зменшення блукаючих струмів (струмів, що відгалужуються в землю), інші - на захист підземних споруд від блукаючих струмів.

Зазвичай корозію підземних споруд поділяють на два види: ґрунтову (хімічну), яка головним чином визначається середовищем, і електрохімічну корозію, яка виникає під дією блукаючих струмів.

При розрахунках приймають такі довжини фідерних зон (відстань між двома тяговими підстанціями):

- для ділянок з електротягою постійного струму - 10-20 км;
- для ділянок з електротягою змінного струму - 40-60 км.

На рис. 1.7 приведена схема розподілу струмів в тяговій мережі при одному навантаженні (електровозі) і одній тяговій підстанції. Контактний провід

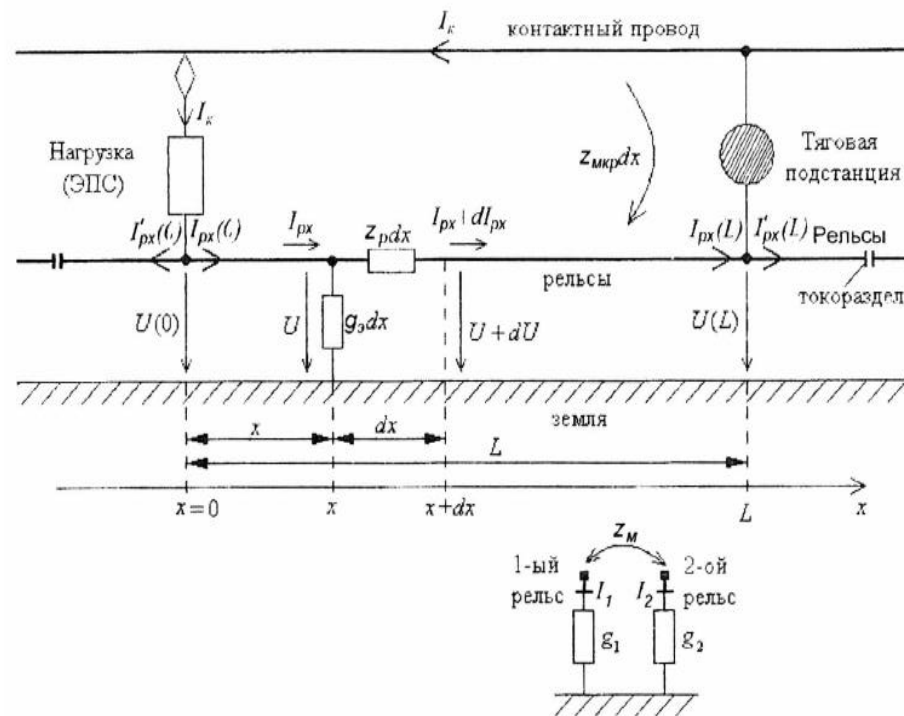


Рис. 1.7 Схема розподілу тягового струму в рейках

На рис. 1.7 прийняті наступні позначення:

U – напруга рейок щодо землі, В;

I_{px} – сумарний струм в обох рейкових нитках, А;

I_1, I_2 – струми в 1-ій і 2-ій рейкових нитках, А;

I_K – ток гармонійної складової в контактному проводі (тягового кола електрорухомого складу), А;

Z_p – опір рейкової петлі, Ом / км;

g_3 – провідність витоку рейкової петлі, 1/(Ом км);

g_1, g_2 – провідності витоку 1-ої та 2-ої рейкових ниток, 1/(Ом км);

Z_M – опір взаємоіндукції рейок, Ом/км;

$Z_{мкр}$ – опір взаємоіндукції рейок і контактному проводу Ом/км;

L – відстань між ЕРС і тягової підстанцією, км;

x – відстань від ЕРС до деякої розрахункової точки рейкового кола.

Розрахункові схеми для визначення перешкод гармонійних складаючих тягового струму для станційних і перегінних РК наведені відповідно на рис. 1.8 і 1.9.

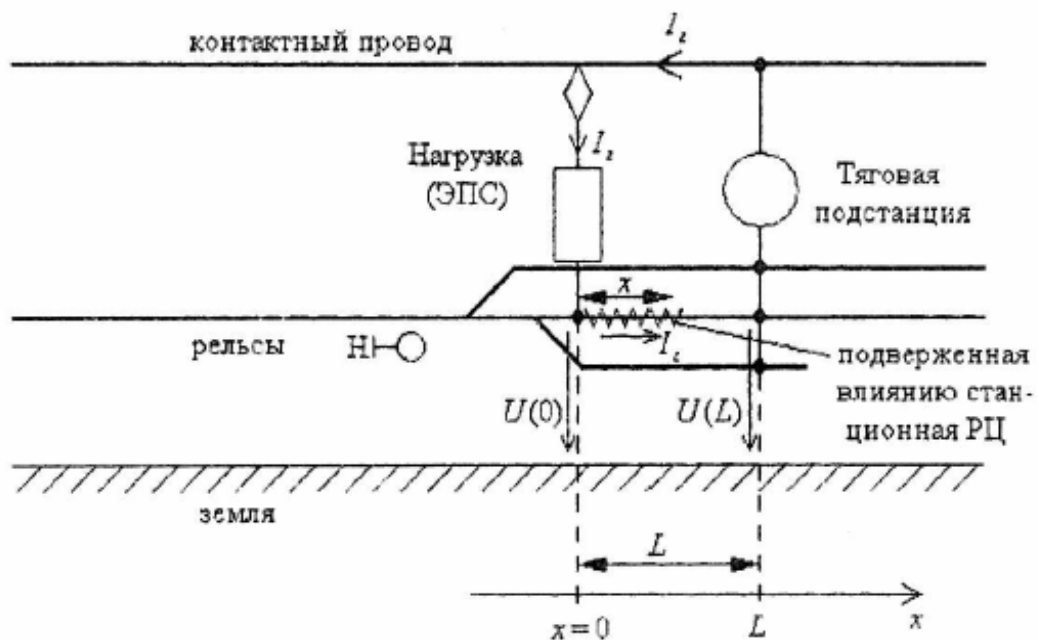


Рис. 1.8 Розрахункова схема для визначення перешкод гармонічних складових тягового струму для стаціонарних РК

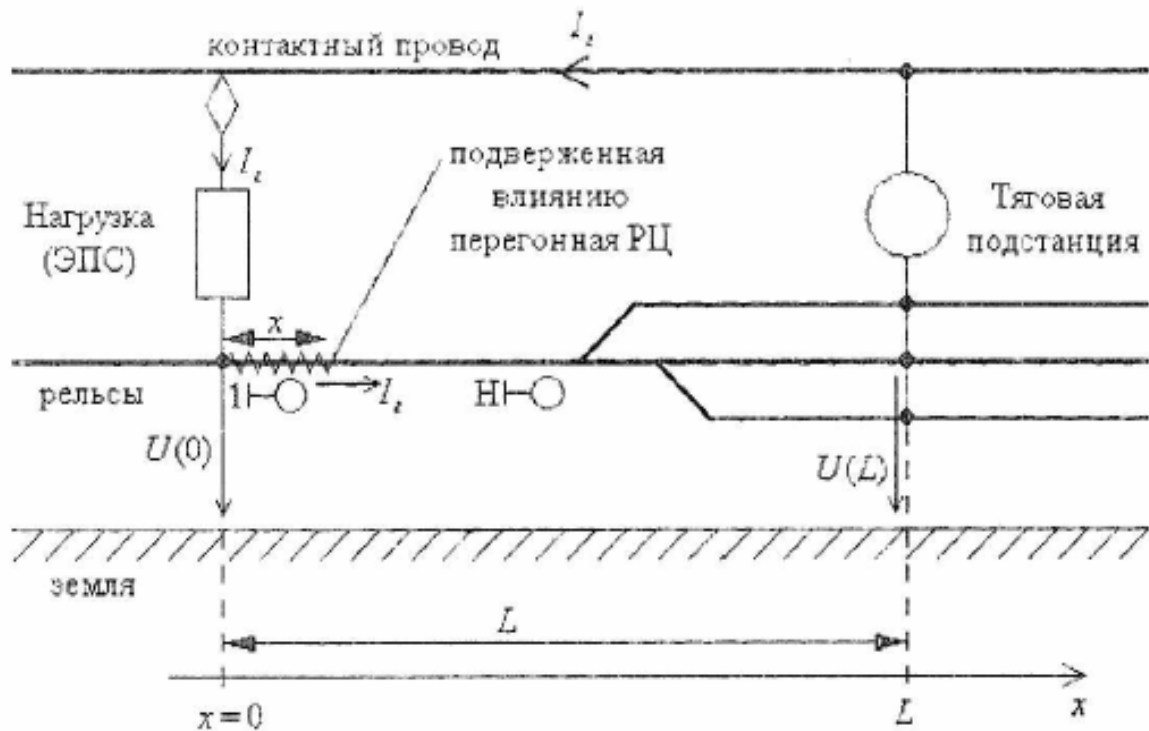


Рис. 1.9 Розрахункова схема для визначення перешкод гармонічних складових тягового струму для перегінних РК

1.3.2. Тяговий струм як джерело перешкод на рейковому колі

Визначення рівнів впливу тягового струму на пристрої РК має проводитися для експлуатованих в даний час рейкових кіл.

а. На ділянках з електротягою постійного струму:

- перегінні кодові РК частотою 50 Гц з колійними реле типу ІМВШ - 110, І Р В - 110, ІВГ, ІВГ-М (К50);
- станційні двониткові фазочутливі РК частотою 50 Гц з колійними реле типу ДСШ - 12 (Ф 50);
- станційні двониткові фазочутливі РК частотою 25 Гц з колійними реле типу ДСШ - 13, Д С Ш - 13А, ДСШ - 15 (Ф25);
- станційні одониткові фазочутливі РК частотою 50 Гц з колійним реле типу ДСШ - 12 (0 ф 5 0);

- станційні однопиткові фазочутливі РК частотою 25 Гц з колійним реле типу ДСШ -13 (ОФ 25);

- станційні однопиткові не фазочутливі РК частотою 50 Гц з колійним реле типу АНВU.I2, НМВLЛI2 (0 5 0).

б. На ділянках з електротягою зміною струму:

- перегінні кодові РК частотою 25 Гц з колійним реле типу ІМ ВШ - 110. I РВ-110, ИВГ-М (К25):

- станційні двопиткові фазочутливі РК частотою 25 Гц з колійними реле типу Д СШ -13, Д СШ -13А, ДСШ -15 (Ф25);

- станційні однопиткові фазочутливі РК частотою 25 Гц з колійним реле типу Д СШ -13 (ОФ25).

с. На ділянках з будь-яким видом тяги (автономної, електротягою постійного і змінним струмом):

- тональність РК ТРК-3 з несучими частотами 420, 480, 580, 720, 780 Гц;

- тональність РК ТРК-4 з несучими частотами 4500, 4545, 5000. 5500, 5555 Гц.

Максимальні довжини експлуатованих в даний час рейкових кіл становлять:

1. 2600 м - перегінні кодові РК 25 і 50 Гц (К25, К50);

2. 1500 м - станційні фазочутливі РК 50 Гц (Ф50);

3. 1200 м - станційні фазочутливі РК 25 Гц (Ф25);

4. 500 м - станційні однопиткові фазочутливі РК 25 і 50 Гц (ОФ25 і ОФ50);

5. 900 м - станційні однопиткові нефазочутливі РК 50 Гц (Ф50);

6. 1000 м - тональність РК з несучими частотами 420, 480, 580, 720, 780 Гц (ТРК-3);

7. 300 м - перегінні тональні РК з несучими частотами 4500. 4545. 5000, 5500, 5555 Гц (ТРК-4).

Мінімальні довжини РК всіх типів становлять близько 100 м.

Останнім часом рейкові кола ТРК-4 також стали впроваджувати з несучими частотами 420. 480. 580. 720, 780 Гц.

Рейкові нитки є електричними лініями з розподіленими параметрами, які в рейкових кіл з ізолюючими стиками діляться ізолюючими стиками на окремі відрізки. [5] У встановлюємих біля ізолюючих стиків дросель-трансформаторах тягові струми двох рейкових ниток підсумовуються. Після дросель-трансформатора цей струм розподіляється по рейкових нитках, які лежать по ходу струму за ізолюючими стиками, обернено пропорційно вхідним опорам вже цих рейкових ниток.

Вплив тягового струму на пристрої СЦБ є заважаючим або небезпечним залежно від того, в яких умовах їм подається неправдива інформація. Небезпечною є помилкова інформація про незайнятості ділянки. До небезпечних впливів тягового струму на рейкові кола відносяться також і такі, при яких може відбутися пошкодження пристроїв в результаті пробою ізоляції або нагріву апаратури, а також ураження електричним струмом технічного персоналу залізниць. РК повинні надійно захищатися від обох видів впливів. [6] До заважючого впливу схильні кодові РК частотою 25 і 50 Гц, а також ТРК. Заважаючий вплив проявляється в тому, що гармоніки тягового струму, що збігаються по частоті з сигнальним струмом рейкового кола, порушують роботу колійного приймача, внаслідок чого з'являється помилкова зайнятість ділянки шляху. До небезпечного впливу схильні фазочутливі РК частотою 25 і 50 Гц з реле ДСШ, яке може спрацювати і замкнути фронтний контакт, якщо на дорожньому елементі рівень, частота і фаза гармонік тягового струму матимуть відповідні значення, внаслідок чого може спалахнути дозволяючий сигнал світлофора.

РК з дросель-трансформаторами називаються двонитковими РК в тому сенсі, що по обом рейковим ниткам протікає тяговий струм. Схема протікання тягового струму в двониткових рейкового кола з ізолюючими стиками і двома дросель-трансформаторами показана на рис. 1.10.

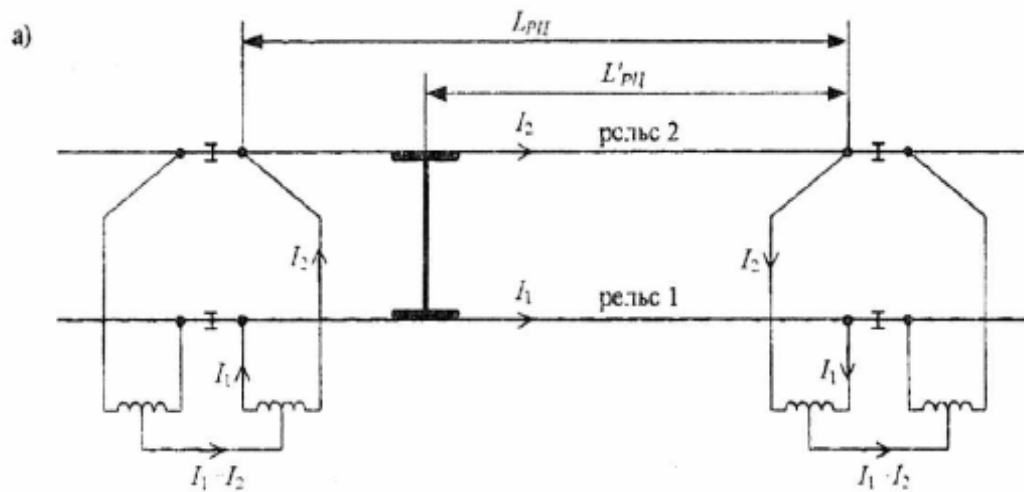


Рис. 1.10. Схема протікання тягового струму в двониткових рейкового кола

$L_{ПК}$ – довжина рейкового кола, км;

$L'_{ПК}$ – відстань від електрорухомого складу до кінця рейкового кола, км.

Нормальний режим. При нормальному режимі (рис. 1.11а), тобто при відсутності рухомого складу, сигнальний струм I_c протікає від джерела живлення по рейковим ниткам до приймача. В результаті цього колійне реле притягує свій якір і замикає фронтіві контакти, при цьому фіксується відсутність рухомої одиниці на контролюємій ділянці шляху.

Шунтовий режим. При шунтового режимі роботи, коли рухомий склад вступає на контрольовані РК ділянку шляху (рис. 1.11б), рейкові нитки з'єднуються через малий опір колісних пар (опір однієї колісної пари приймається рівним 0,06 Ом). [3] Більша частина сигнального струму I_c проходить через колісну пару $I_{ш}$ і тільки незначна частина I_r проходить через колійне реле (відбувається шунтовий ефект). Шляхове реле відпускає свій якір і замикає тиліві контакти, в результаті чого фіксується зайнятість контрольованої ділянки шляху.

Контрольний режим. При контрольному режимі роботи РК, в разі порушення електричної цілісності рейкових ниток, ток I_r на вході приймача зменшується, але не стає рівним нулю внаслідок наявності обхідного кола

через опору ГП1 і г ". Ступінь зниження струму в шляховому реле в цьому випадку визначається величинами г "і г" - опорам та ізоляції (баласту) відрізків пошкодженої рейкової нитки щодо землі (рис. 1.12).

Схеми протікання струмів в нормальному, шунтового і контрольному режимах роботи двониткового рейкового кола показані на малюнку 1.11 і 1.12, де прийняті наступні позначення:

АПК - апаратура маючого (передаваючого) кінця РК;

АРК - апаратура релейного (приймального) кінця РК;

ДТ_н – дросель-трансформатор живильного РК;

ДТ_р – дросель-трансформатор релейного кінця РК;

$I_{T1} + I_{T2}$ – сумарний тяговий струм. протікає через міждроссельну перемичку (середню точку) дросель-трансформаторів:

I_{T1}, I_{T2} – тяговий струм. протікає по одній з рейкових ниток;

I_{n1}, I_{n2} – струми перешкод (гармонійні складові тягового струму), протікають по одній з рейкових ниток і напівобмотці дросель-трансформатора релейного кінця;

I_n – значення струму перешкод в смузі пропускання приймальних пристроїв (приймача) на приймальному кінці РК;

I_c – струм корисного сигналу (сигнальний струм) в рейках;

I_{cm} – сигнальний струм, що протікає через шунт, в шунтового режимі роботи РК;

$I'_{cm} = K'_{cm} I_c$ – сигнальний струм в рейках на приймальному кінці РК в шунтового режимі роботи (А ", " - наведений коефіцієнт надійного повернення приймача, що враховує розкид напруги джерела живлення);

R_m – опір шунта (нормативне значення $R_m = 0,06$ Ом).

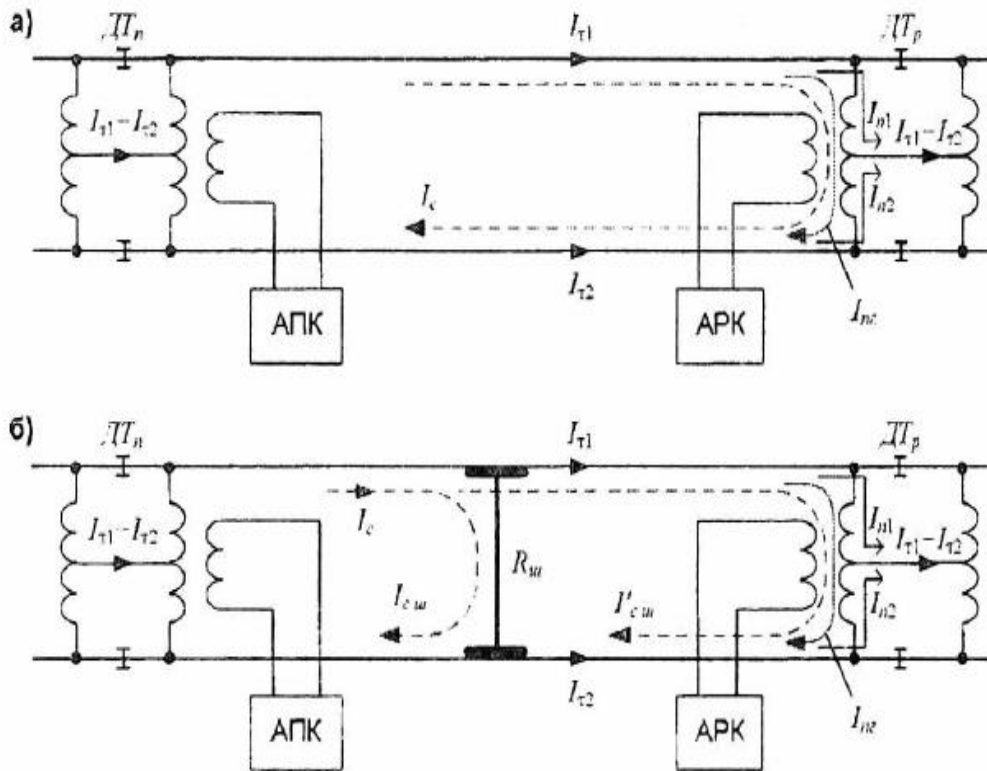


Рис. 1.11. Схеми протікання струмів в нормальному (а) і шунтовому (б) режимах роботи двониткового рейкового кола

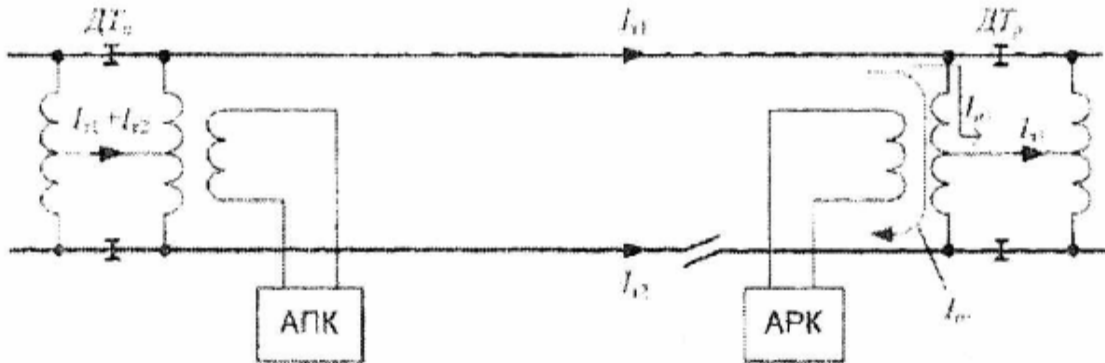


Рис. 1.12. Схема протікання струмів в контрольному режимі роботи двониткового рейкового кола при 100% асиметрії

При абсолютній симетричності рейкової лінії і відсутності обриву рейкової лінії $I_{T1} = I_{T2}$, що дозволяє повністю виключити вплив тягового струму на приймально-передавальну апаратуру (магнітні потоки в основній обмотці дросель-трансформаторів від I_{T1} і I_{T2} компенсують один одного). Сигнальний струм I_c протікає в рейках в різних напрямках, в однаковому

напрямку - по полуобмотці основної обмотки дросель-трансформатора, забезпечуючи необхідну різницю потенціалів між рейками. Однак в реальності несиметричність рейкової лінії і наявність обривів в рейкових нитках призводить до того, що в основній обмотці ДТ утворюється асиметрія тягового струму, і він, при перевищенні допустимого рівня, може призводити до численних збоїв в роботі пристроїв СЦБ.

При електричній тязі постійного струму експлуатуються двониткові РК К50, Ф25, Ф50, ТРК-3, ТРК-4; при електричній тязі змінного струму - РК К25, Ф25, ТРК-3, ТРК-4.

Однониткові рейкові кола застосовуються тільки на бічних станційних коліях, при цьому тяговий струм протікає тільки по одній рейковій нитці. До недоліків таких РК відносять: величезну асиметрію тягового струму; відсутність контролю цілісності однієї з рейкових ниток; нормативна величина для таких РК в два рази менше, ніж для двониткових РК. Схеми протікання струмів в нормальному і шунтовому режимах роботи однониткової рейкового кола показані на рис. 1.13 і 1.14 відповідно.

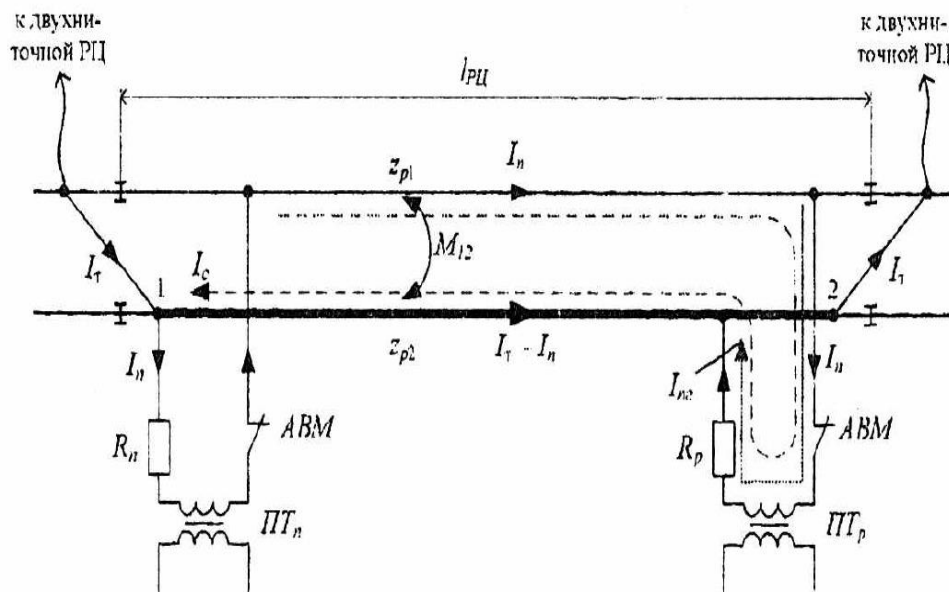


Рис. 1.13. Схема протікання струмів в нормальному режимі роботи однониткового рейкового кола

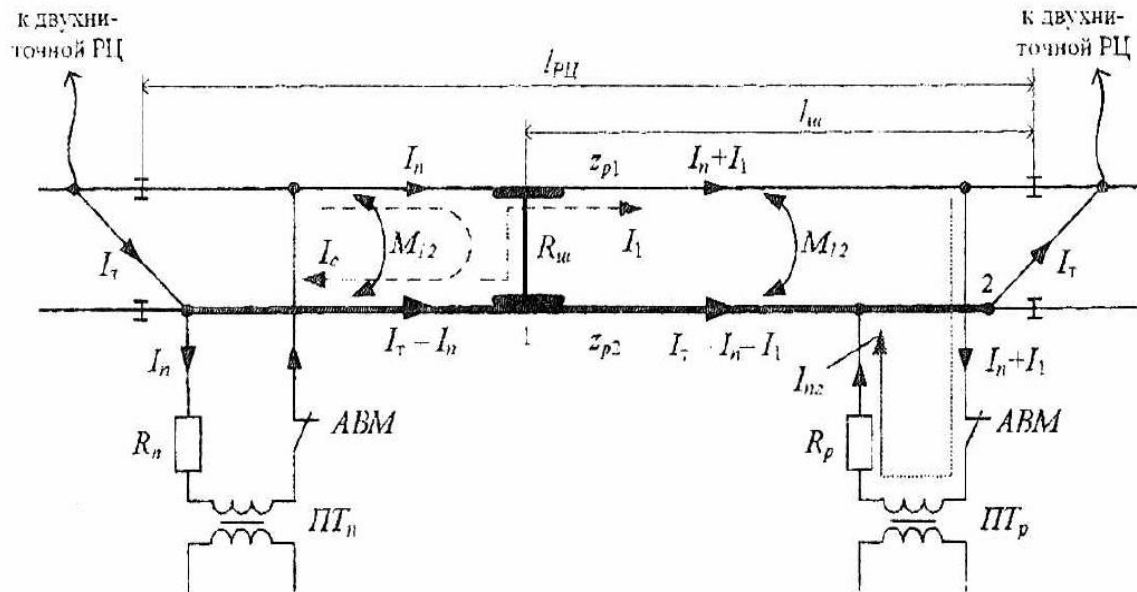


Рис. 1.14. Схема протікання струмів в шунтового режимі роботи одониткового рейкового кола

На рис. 1.13 і 1.14 прийняті наступні позначення:

АВМ - автоматичний вимикач багаторазового дії (відключає РК при різниці тягових струмів в рейкових нитках більше допустимого значення);

R_n, R_p - обмежують резистори (Служать для зменшення величини тягового струму);

$ПТ_n$ - живильний трансформатор;

$ПТ_p$ - релейний трансформатор (служить для узгодження високого опоры реле з низьким опором рейкової лінії);

l_{D0} - довжина рейкового кола, км;

l_D - відстань від електрорухомого складу до кінця рейкового кола,

M_{12} - коефіцієнт взаємної індуктивності між контактним проводом і рейкової лінією;

$z_{p1}z_{p2}$ - питомі опоры рейкових ниток;

$I_{T1} + I_{T2}$ - сумарний тяговий струм, що протікає через міждроссельну перемичку (середню точку) дросель-трансформаторів;

I_T - тяговий струм (протікає по одній з рейкових ниток);

I_n – струм перешкоди (гармонійна складова тягового струму), протікає по одній з рейкових ниток;

I_m – значення струму перешкоди в смузі пропускання приймальних пристроїв (приймача) на приймальному кінці РК;

I_c – струм корисного сигналу (сигнальний струм) в рейках;

I_{cm} – сигнальний струм, протікає через шунт, в шунтового режимі роботи РК;

I_1 - сигнальний струм в рейковій нитці на приймальному кінці РК в шунтового режимі роботи;

$R_{ш}$ – опір шунта (нормативне значення $R_{ш} = 0,06 \text{ О м}$).

1.3.3. Тяговий струм як джерело перешкод на приймальному пристрої автоматичної локомотивної сигналізації

Автоматична локомотивна сигналізація (рис. 1.15), яка доповнює автоблокування, передає безперервно в кабінку локомотива сигнали прохідних світлофорів автоблокування, а при проходженні по станціях – вхідних, маршрутних і вихідних світлофорів.[4] При цьому вона періодично перевіряє пильність машиніста при жовтому, жовтому з червоним, червоному і білому вогнях локомотивного світлофора і контролює швидкість поїзда при жовтому з червоним і червоному вогнях з примусовою зупинкою його в разі втрати пильності машиністом або перевищень допустимої швидкості.

На електрифікованих ділянках залізниць по рейках пропускають протилежні тягові струми, а також сигнальні струми пристроїв контролю рейкової лінії (КРЛ) і автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН). Для зменшення впливу набагато більших за величиною тягових струмів на сигнальні кола використовується частотне розділення сигналів, а також спеціальні схеми включення локомотивних котушок АЛС і секцій основних обмоток дросель-трансформаторів. При електротязі постійного струму

сигнальні струми КРЛ і АЛС беруться рівними 50 Гц. При електротязі змінного струму сигнальний струм для АЛС береться частотою 25 Гц, а для АЛС - частотою 175 Гц. Сигнальний струм пристроїв КРЛ береться рівним теж 25 Гц, а при використанні тональних рейкових кіл (ТРК) рівним 420. 480. 580. 720, 780, 4545, 5000 і 5555 Гц.

Система АЛС має такі відмінні ознаки: частотний код для шифрування інформації, немодульований ток в рейках при передачі інформації, дешифрування прийнятих сигналів селективними приймачами прямого прийому. Однією з основних завдань при такому прийомі є надійне відфільтровування кодових сигналів від гармонійних складових тягового струму. Це означає, що для передачі кодових сигналів повинні бути обрані діапазони, частота яких відрізняється від гармонійних складової їх тягового струму. Однак порушення рівноваги тягових струмів в рейкових нитках однієї рейкової лінії (поява асиметрії тягових струмів) викликає появу ЕРС перешкоди від тягового струму і на виході локомотивних котушок, і на сигнальній обмотці ДТ.

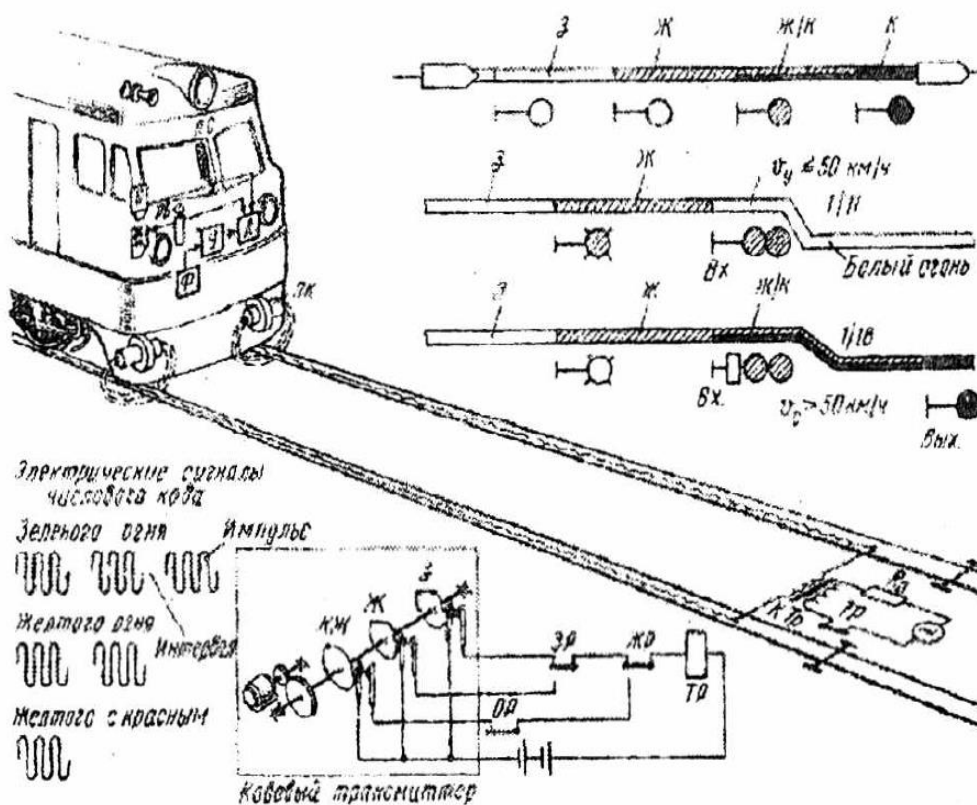


Рис. 1.15. Структурна схема АЛС

Передача сигналів в АЛС відбувається в специфічних властивих тільки їй умовах. По-перше, на кожному рейкового колу перегону або станції незалежно від її довжини передача сигналів колійними пристроями АЛС завжди починається знову від власного джерела і рівень сигналу в рейках у міру просування поїзда безперервно зростає. [7] У довгих рейкових кіл струм сигналів, що приймаються на локомотиві, в кінці кола збільшується в порівнянні зі струмом на початку в 10-15 разів.

По друге, специфіка полягає в тому, що рейкові кола, що зв'язують рухомий локомотив з передавачем сигналів, одночасно використовуються в системі автоблокування, а на електрифікованих ділянках і для пропуску тягових струмів. [8] Серйозним джерелом перешкод є процеси комутації тягового струму при зніманні його з контактного проводу та рейок під час руху локомотива. Перешкоди - це сторонні впливи, що спотворюють сигнали, що передаються і тим перешкоджають їх правильному прийому. З усього різноманіття на передачу сигналів АЛС в першу чергу впливають імпульсні і гармонійні перешкоди, що заповнюють інтервали кодових комбінацій. До джерел гармонійних перешкод відносяться тяговий змінний струм промислової частоти, гармоніки постійного тягового струму, струми рейкових кіл з відмінною частотою, струми ліній електропередач, індуктивно впливають на рейкові кола та ін. Імпульсні перешкоди виникають, як правило, в результаті різких змін значень тягового струму в рейках, на локомотиві, а також намагніченості рейок. [3] Імпульсні перешкоди проявляються в випадкові моменти часу і можуть спотворювати тривалість інтервалів, "забиваючи" їх. В результаті на локомотивному світлофорі з'являються проблиски більш забороняючих показань. Безперервний потік може заповнити всі інтервали кодових сигналів, і тоді локомотивний світлофор перебивається на білий вогонь. При цьому локомотивний дешифратор однаково реагує на безперервно наступні імпульси без завершального довгого інтервалу, на безперервний струм в рейках або

відсутність струму там. Надходження кодових комбінацій перевіряє реле надходження кодових комбінацій ПК входить в схему реле рахунку.

Гармоніки тягового струму в тяговій мережі утворюються при випрямленні струму промислової частоти 50 Гц. Всі частоти, кратні 50 Гц зайняті гармоніками тягового струму. Частота струму промислової мережі в даний час надійно стабілізована і коливання її не перевищують $\pm 1\%$. При виборі діапазону частот для використання в АЛС враховувалися і можливі відхилення частоти колійних генераторів і електричних фільтрів локомотивних приймачів в процесі виробництва і експлуатації.

Можливі відхилення частоти генераторів в передавачах колійних пристроїв можна прийняти в межах $\pm 0.5\%$ за рахунок впливу температури і $\pm 0.5\%$ за рахунок допуску при налаштуванні в процесі виробництва. У цьому випадку гранична смуга частоти пропускання фільтрів може відрізнитися від номінальної частоти на $\pm 2\%$. З підвищенням частоти діапазону можлива частота гармоніки наближається до межі смуги пропускання фільтра. З цієї причини небажано використовувати частоту в діапазоні 750 Гц і вище, застосовуючи в якості дешифраторів селективні приймачі прямого прийому кодових сигналів. Фі діапазонах з частотою нижче 750 Гц приймачі будуть тим надійніше відрізнити кодовий сигнал від гармоніки тягового струму, чим нижче частота діапазону. Разом з тим діапазон частот нижче 25 Гц використовувати також небажано через громіздкі розміри фільтрів, трансформаторів і інших елементів пристроїв, які виходять при низькій частоті струму. У зв'язку з цим найбільш зручними для кодування інформації і передачі її на поїзд вважаються частоти обраних діапазонів 25, 75, 125, 175 Гц і т.д. В даний час в експлуатації перебувають системи АЛС:

- АЛС з частотою 25 Гц - на ділянках з автономною тягою і електротягою змінного струму
- АЛС з частотою 50 Гц - на ділянках з автономною тягою і електротягою постійного струму

- АЛС з частотою 75 Гц - на ділянках з електротягою постійного і змінного струму

- АЛСН з частотою 175 Гц - на ділянках з будь-яким видом тяги

Робота пристроїв СЖАТ, забезпечує їх інтервальне регулювання руху поїздів, заснована на отриманні інформації від рейкових кіл про вільності ділянок рейкових ліній від рухомого складу і цілісності її рейкових ниток.

Вплив поперечної і поздовжньої асиметрії опорів рейкової лінії на апаратуру РК найбільш явно проявляється при наближенні великовагового поїзда до місць її підключення до рейок. Чого не можна сказати про вплив цих асиметрій на локомотивний канал АЛС, гак як при русі поїзда ці величини динамічно змінюються внаслідок нерівномірності розподілу опорів ізоляції РК по відношенню до землі і нерівності поздовжніх опорів рейкових батогів. Найменша величина сигнального струму АЛС під котушками локомотива знаходиться на вхідному, далекому від джерела струму АЛС кінці РК. Отже, при наявності поздовжньої і поперечної асиметрії рейкової лінії і в випадках, коли коефіцієнт асиметрії тягових струмів уздовж рейкової кола не змінюється, найгірше співвідношення сигнал / перешкода буде на вхідному кінці РК, так як абсолютне значення різниці тягових струмів в рейкових нитках під котушками АЛС при цьому буде максимальним в цьому РК.

При визначенні завадостійкості приймальних пристроїв АЛС в розрахунках розглядається режим АЛС за умови справного і нормативного змісту пристроїв. В цьому режимі під локомотивними котушками приймальних пристроїв АЛС в рейках присутній струм корисного сигналу I_c і струм перешкоди I_p . При цьому можливий заважаючий вплив перешкоди, що приводить до спотворення сигналу АЛС і, як наслідок, до збоїв в роботі АЛС. Схема протікання струмів в режимі АЛС показана на рис. 1.16.

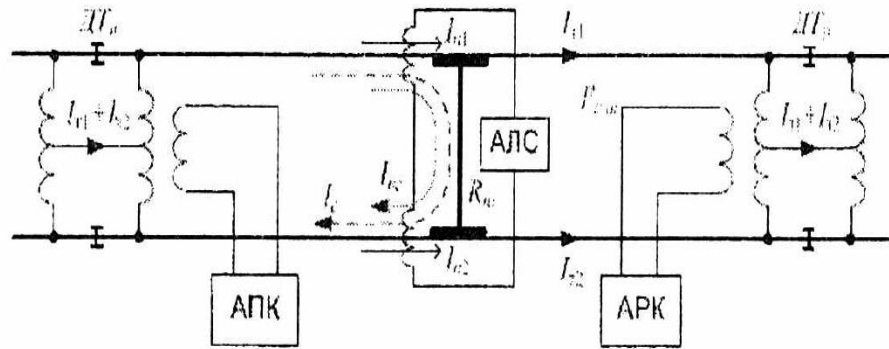


Рис. 1.16 Схема протікання струмів в режимі АЛС

На рис. 1.16 прийняті наступні позначення:

АПК – апаратура живильного (передаваемого) кінця РК;

АРК – апаратура релейного (приймального) кінця РК;

ДТ_н – дросель-трансформатор живильного кінця РК;

ДТ_р – дросель-трансформатор релейного кінця РК;

$I_{T1} + I_{T2}$ – сумарний тяговий струм, протікаючий через міждроссельну перемичку (середню точку) дросель-трансформаторів;

I_{T1}, I_{T2} – тяговий струм, що протікає по одній з рейкових ниток;

I_{n1}, I_{n2} – струми перешкод (гармонійні складові тягового струму протікають по одній з рейкових ниток і локомотивних котушок);

I_n – значення струму перешкод в смузі пропускання приймальних пристроїв (приймача) на приймальному кінці пристроїв АЛС;

I_c – струм корисного сигналу пристроїв АЛС;

$R_{ш}$ – опір шунта (нормативне значення $R_{ш} = 0,06$ Ом).

1.4. Причини появи перешкод в роботі пристроїв рейкових кіл і автоматичної локомотивної сигналізації

1.4.1. Загальні положення

Умови передачі енергії, а отже, і надійна робота РК залежать від багатьох факторів і, в першу чергу, від стану рейкової лінії, зокрема від її

первинних параметрів – опору рейок і опору ізоляції (баласту). Зміна саме цих первинних параметрів рейкової лінії обумовлює наявність асиметрії струмів в рейкових нитках. При цьому ці первинні параметри можна розглядати двояко. Перша уява, це коли розглядають еквівалентні опір ізоляції і опір рейок, отриманих з уявлення рейкової лінії у вигляді паралельного з'єднання двох рейкових ниток. Друге, коли розглядають розподіл струмів і напруг в рейкової лінії з урахуванням кожної рейкової нитки окремо. Спочатку визначимося, що позначають первинні параметри в першому випадку.

Під електричним опором ізоляції рейкової лінії мається на увазі опір, який чиниться сигнальному струму витоку від однієї рейкової нитки до іншої через шпали і баласт. витік сигнального струму з рейки в рейок йде по складному ланцюгу, складаючомуся з елементів з різним типом електропровідності. Рейки та металічні деталі верхньої будови колії володіють електронною провідністю. Баласт, шпали, земляне полотно, в яких завжди є волога і розчинені в ній солі, володіють іонною провідністю. Такий ланцюг можна представити у вигляді електродів, поміщених в електроліт, де протікання струму можливо лиш за умови, що на кордонах розділу елементів з електронною та іонною провідністю мають місце певні електрохімічні реакції, в результаті яких виникають необхідні носії електрики (іони і електрони). Процес електрохімічних реакцій істотно залежить від метеорологічних умов, при яких експлуатуються РК. Від типу застосовуваних шпал і баласту. Неприятливі метеорологічні умови, при яких опір ізоляція рейкової лінії мінімальний, бувають влітку при високій температурі і вологості, так як в цьому випадку підвищується інтенсивність електрохімічних процесів. Засмічення баласту солями покращує умови протікання електрохімічних процесів, що призводить до значного зниження опору ізоляції. Зі зменшенням вологості і температури інтенсивність електрохімічних процесів знижується, і опір ізоляції рейкової лінії збільшується.

Багаторічним досвідом експлуатації РК встановлено, що при слабкому забрудненні поверхні і старих дерев'яних шпалах мінімальні питомі опору ізоляції (одного кілометра рейкової лінії) знаходяться в наступних межах:

- щебеневого - 2 Ом км;
- гравійного - 1.5 Ом км;
- піщаного - 1 Ом км.

Опір ізоляції залежить від стану баласту:

- при мокрому - 1 Ом км;
- вологому - 2 Ом км;
- сухому слабо промерзлому - 50 Ом км;
- сильно промерзлому - 50-100 Ом км.

Ці параметри забезпечуються при наявності зазору між подошвами рейок і баластом не менше 3 см. Подошви рейок від залізобетонних шпал, що володіють низьким опором, ізолюються спеціальними гумовими прокладками. Кращим матеріалом для баластного шару, з точки зору ізоляції між рейковими нитками, а також рейками і землею, є щебінь.

На електрифікованих ділянках в рейковій лінії має місце додатковий витік сигнального току через фундаменти опор контактної мережі, з'єднані з крайньою рейковою ниткою заземлюючих ним проводами. Для зменшення струму витіку в ці дроти включаються спеціальні прилади з іскровими проміжками.

Під електричним опором рейок мається на увазі електричний опір рейкової петлі (двох рейкових ниток), що складається з електричного опору рейок і рейкових стиків. Питомий опір z_n рейкової петлі змінного струму є комплексною величиною і характеризується модулем $|z_n|$ і фазовим кутом φ_p ; при цьому $z_n = |z_n|e^{j\varphi}$.

Для забезпечення нормальної роботи РК в усіх режимах і компенсації втрат енергії на її окремих ділянках необхідно правильно встановити напруга і струм джерела живлення. При розрахунках РК використовуються рівняння, що зв'язують напругу і струм на початку (U_H, I_H) з струмом і напругою в кінці РК (U_K, I_K):

$$U_H = U_K \operatorname{ch} \gamma l + I_K z_B \operatorname{ch} \gamma l;$$

$$I_H = \frac{dU_K}{z_B} \operatorname{sh} \gamma l + I_K \operatorname{ch} \gamma l,$$

де l – довжина рейкової лінії;

$\gamma = \sqrt{z_n/r_u}$ – коефіцієнт поширення хвилі; $\gamma = \sqrt{z_n r_u}$ – хвильовий опір;

z_n – опір рейкової петлі;

r_u – опір ізоляції (баласту) між рейковими нитками.

Для конкретного типу рейкового кола величини U_K К і I_K є відомими величинами. Нормативні параметри z_n і r_u визначаються розрахунками та експериментально, з урахуванням типу застосовуваних рейок і баласту. На підставі цих параметрів і наведених формул розраховуються необхідні напруги і струми, які необхідно встановити на початку РК.

На дорогах України встановлена загальна для всіх видів баластних матеріалів нормативна величина мінімального питомого електричного опору баласту, що дорівнює 1 Ом км.

Опір 1 км рейкової петлі при сталених стикових з'єднувачів не повинен перевищувати:

- 0,2 Ом для РК постійного струму;
- 0,55 Ом і фазовому куті 50° для РК змінного струму частотою 25 Гц;
- 0,85 Ом і фазовому куті 60° для РК змінного струму частотою 50 Гц.

При установці мідних стикових з'єднувачів цей опір має бути не більше 0,5; 0,8; 4,9; 5,4 Ом - для РК змінного струму частотою, відповідно, 25, 50, 420, 480 Гц і фазових кутах 52, 65, 79, і 80 градусів.

Рейкові кола регулюються таким чином, щоб при зміні опору ізоляції від 1 Ом км до ∞ і нормативному опорі рейкової петлі вони працювали стійко без додаткових регулювань на протязі року. Рейкова лінія складається з окремих рейкових ланок, електрично з'єднаних між собою в межах одного рейкового кола, довжина ланки становить 12,5 або 25 м. використовують також ланки (батогі) довжиною 800 м. Рейки з'єднують між собою стиковими з'єднувачами і стиковими накладками, створюючи паралельний ланцюг для пропуску струму.

Для розуміння умов поширення гармонік тягового струму в рейкових колах необхідно пояснити висновок рівнянь поширення напруг і струмів в однопровідній (рис. 1.17) і двухпровідній (рис. 1.18) рейкових лініях, які враховують взаємну індуктивність між проводами. Однопровідна рейкова лінія представляється у вигляді двох проводів (рейки-земля), а двухпровідна – у вигляді трьох проводів (1-й рейок-земля-2-й рейок).

1.4.2. Поширення напруг і струмів в однопровідній рейковій лінії

В однопровідній рейковій лінії (рис. 1.17) опір проводу "рейки" приймається у вигляді еквівалентного опору $z_r = \frac{z_1 + z_M}{2}$, де z_1 – питомий опір одиночної рейки, z_M – опір взаємної індуктивності рейкових ниток; а провідність рейкових ниток на землю враховується за допомогою еквівалентної провідності заземлення рейкових ниток $g_3 = g_1 + g_2$, де g_1, g_2 – питомі провідності заземлення рейкових ниток. На рис. 1.15. приведена схема заміщення елемента dx однопровідною рейковою лінією.

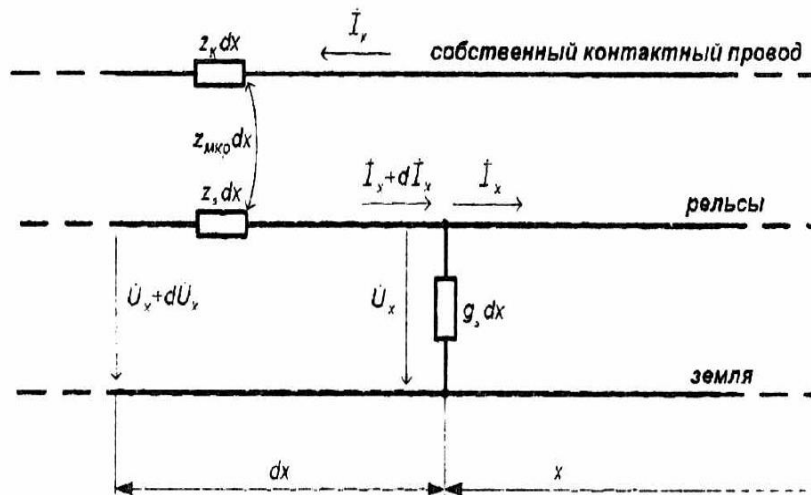


Рис. 1.17. Схема поширення струмів і напруг в однопровідній рейковій лінії

Значення на рисунку:

$Z_{\text{мкр}}$ – опір взаємної індуктивності контактного проводу та рейкових ниток;

z_k – питомий опір контактного проводу;

x – відстань від кінця рейкової лінії, де підключене навантаження;

I_x – струм протікаючий по рейках з позитивним напрямком від живильного кінця до навантаження;

U_x – напруга рейкових ниток відносно землі з позитивним напрямком від рейок до землі;

I_k – струм протікаючий в контактному проводі з позитивним напрямком від тягової підстанції.

Дифференціальне рівняння для напруг і струмів рейкової лінії мають вид:

$$\frac{dU_x}{dx} = z_k I_k - z_{\text{мкр}} I_k;$$

$$\frac{dI_k}{dx} = g_s U_x$$

Провідність "контактів провід-земля" приймається рівною нулю, тобто $\frac{dI_K}{dx} = 0$.

В результаті рішення диференціальних рівнянь (1.1-1.2) отримаємо:

$$U_x = B_1 ch\gamma_0 x + B_2 sh\gamma_0 x;$$

$$I_x = \frac{2}{z_c^k} (B_1 sh\gamma_0 l + B_2 ch\gamma_0 x) + I_K \frac{z_{MKP}}{z_1}.$$

Де

$$z_0^g = \sqrt{\frac{2(z_1 + z_0)}{g_1 + g_2}}$$

γ_0 – коефіцієнт поширення хвилі однопровідною рейковою лінією.

$$z_0^g = \sqrt{z_0 g_0}$$

Коли $g_1 = g_2$ (1.3-1.4) набуде вигляду:

$$U_x = B_1 ch\gamma_0 x + B_2 sh\gamma_0 x;$$

$$I_x = \frac{2}{z_{x1}} (B_1 sh\gamma_0 l + B_2 ch\gamma_0 x) + I_K \frac{z_{MKP}}{z_0}.$$

$$\text{де } z_{x1} = \sqrt{\frac{z_1 + z_M}{g_1}}; \gamma_n = \sqrt{g_1(z_1 + z_M)}.$$

Особливістю рейкової лінії є наявність несиметричного витоку струму в землю і безпосередньо між рейковими нитками по верхньому шару баласту і шпал. Це є основною причиною появи перешкод в роботі рейкових кіл, так як породжує асиметрію тягового струму в Рейкових нитках.

1.4.3. Поширення напруг і струмів в двухпровідній рейковій лінії

У рейкової лінії може бути два види асиметрії - поздовжня і поперечна. Поперечна асиметрія виникає в результаті нерівності опорів рейкових ниток щодо землі і є наслідком приєднання до однієї з рейкових ниток заземлення опор та інших металевих споруд. Обмежується правилами заземлення пристроїв, відповідно до яких не допускається безпосереднє підключення до рейки двониткових рейкових ланцюгів індивідуальних заземлювачів з опором менше 100 Ом, а також групових заземлень з опором менше 6 Ом / км. Якщо конструкції мають опір заземлення менш зазначених величин, то вони повинні підключатися до рейок через іскрові проміжки, діод-іскрові і тиристорні заземлювачі. Найбільше її значення поперечна асиметрія рейкової лінії має взимку. Вона характеризується коефіцієнтом поперечної асиметрії.

Поздовжня асиметрія створиться за рахунок нерівності опорів рейкових ниток, через порушення цілості одного або декількох стикових з'єднувачів на одному з них. Це призводить до зростання поздовжнього опору рейкової нитки, внаслідок чого по ній протікає струм меншою величини. Поздовжня асиметрія характеризується коефіцієнтом поздовжньої асиметрії.

Статистичний аналіз опору стиків з різними способами стабілізації їх опору показав, що стик накладки не можуть компенсувати відсутність приварних з'єднувачів навіть у разі нормального затягування болтів і застосування тарілчастих шайб. Продольна асиметрія може виникнути при повній справності з'єднувачів в разі установки дросель-трансформаторів живильного і релейного кінців з одного боку рейкової колії, а в розгалужених рейкових ланцюгах за рахунок додаткового включення рейкових з'єднувачів. Опору короткої і довгої дросельних мідних перемичок відрізняються майже в два рази. В результаті різниця опорів двох паралельних рейкових ниток з підключеними перемичками еквівалентна опору ланки рейки довжиною 20 м.

Зазначена обставина негативно позначається в коротких рейкових ланцюгах, де існуючі асиметрії тягового струму викликають навіть поодинокі пошкодження стикових з'єднувачів. В довгих рейкових ланцюгах з великою кількістю рейкових з'єднувачів проявляється ефект вирівнювання, знижуючий рівень поздовжньої асиметрії.

Таким чином, обрив приварних рейкових з'єднувачів, завищений опір в токопровідних стиках і в місцях зварювання дросельних перемичок з рейками і виводи дросель-трансформаторів, а також заздалегідь закладена різниця в опорах дросельних перемичок, внаслідок різниці їх довжини, призводить до відмов у роботі автоматики. Для виявлення асиметрії тягового струму в рейкових нитках необхідно періодично перевіряти асиметрію тягового струму. На практиці несиметричність рейкового кола обумовлена одночасним проявом обох видів асиметрії (поздовжньої і поперечної). І якщо поздовжня асиметрія може бути в принципі усунена, то поперечна асиметрія на електрифікованих ділянках залізних доріг присутня завжди там, де до правої по ходу руху рейкової нитки на двоколієних ділянках підключаються ланцюга заземлення опор контактної мережі та інших конструкцій. Для виключення негативного впливу цих заземлень на роботу РК і АЛС їх індивідуальний опір нормується на рівні не нижче 100 Ом. Фактичний опір цих ланцюгів зазвичай нижче у металевих опор і споруд, у яких воно змінюється в межах 0,5 - 200 Ом. На мережі залізниць близько 40% розглянутих заземлень володіють опором до 10 Ом, 70% - до 20 Ом і понад 90% - до 50 Ом. Опір заземлення залежить від розмірів, конструкції і його типу, глибини залягання в ґрунт, типу фундаменту, ступеня вологості і хімічного складу ґрунту, терміну експлуатації конструкції.

Залізобетонні опори мають опір заземлення (в ланцюзі між консоллю і рейкою) в межах від 10 до 40000 Ом, причому близько 40% опор має опір до 1600 Ом. Опір заземлення залізобетонних споруд залежить від провідності

бетону в шарі між хомутом і арматурою, наявності електроізолюючих покриттів на фундаментних і заставних деталях.

Штучні споруди мають такі межі опорів заземлення: мости – 0,2 – 1000 Ом; шляхопроводи - 0,15 - 40 Ом; пішохідні містки і віадуки - 0,4 - 20 Ом. Опір заземлення релейних шаф і світлофорних шаф становить 20 - 30 Ом.

За чинними вимогами конструкції, що мають опір ланцюгів заземлення нижче 100 Ом повинні підключатися до рейки через іскрові проміжки. Однак ця вимога не завжди виконується, що є однією з основних причин появи тягових струмів асиметрії в рейкових нитках, отже, і однією з основних причин недостатньої стійкості роботи РК і АЛС. Залишається не зрозумілим, які ступені негативного впливу ланцюгів заземлення з заниженим опором на стійкість роботи приймальної апаратури РК і АЛСН.

У зв'язку з викладеним вище необхідно вивести рівняння поширення напруг і струмів в двухпровідній рейковій лінії, враховують взаємну індуктивність контактного проводу та рейок і вплив тягового струму і його гармонійних складових. Для цього розглянемо схему заміщення елемента dx двухпровідної рейкової лінії, зображену на рис. 1.18. Ця схема на відміну від попередньої вже враховує вплив поздовжньої і поперечної асиметрії тягового струму на пристрої СЦБ. так як опір рейкових ниток і провідності заземлення кожної рейкової нитки на землю розглядаються окремо, незалежно один від одного.

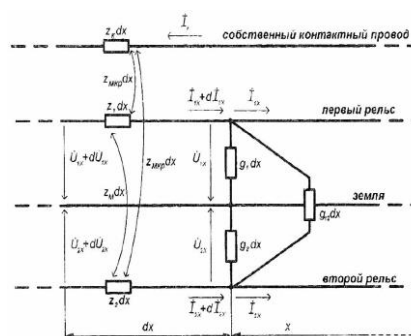


Рис. 1.18. Схема поширення струмів і напруг в двухпровідній рейковій лінії

Позначення на рисунку:

z_1, z_2 – питомі опору поодиноких рейок;

z_M – опір взаємної індуктивності рейкових ниток;

$z_{\text{мкр}}$ – опір взаємної індуктивності контактного проводу та кожної рейкової нитки;

z_k – питомий опір контактного проводу;

g_1, g_2 – питомі провідності заземлення рейкових ниток;

g_{12} – питома провідність верхнього шару баласту і шпал;

x – відстань від кінцями рейкової лінії, де підключене навантаження;

I_{1x}, I_{2x} – відповідно струми в першій і другій рейкових нитках з позитивним напрямком від живильного кінця до навантаження;

U_{1x}, U_{2x} – напруга відповідно першої та другої рейкових ниток щодо землі з позитивним напрямком від рейок до землі;

I_x – струм, протікаючий в контактному проводі з позитивним напрямком від тягової підстанції.

Диференційні рівняння для напруг і струмів рейкової лінії мають вид:

$$\frac{dU_{1x}}{dx} = z_1 I_{1x} + z_M I_{2x} - z_{\text{мкр}} I_x;$$

$$\frac{dI_{1x}}{dx} = (g_{12} + g_1) U_{1x} - g_{12} U_{2x};$$

$$\frac{dU_{2x}}{dx} = z_2 I_{2x} + z_M I_{1x} - z_{\text{мкр}} I_x;$$

$$\frac{dI_{2x}}{dx} = (g_2 + g_{12}) U_{2x} - g_{12} U_{1x};$$

Провідність "контактний провід-земля" приймається рівною нулю, тобто

$$\frac{dI_{2x}}{dx} = 0.$$

В результаті рішення системи дифференціальних рівнянь (1.1-1.4)

отримаємо:

$$U_{1x} = A_1 ch\gamma_1 x + A_2 sh\gamma_1 x + A_3 sh\gamma_1 x + A_4 sh\gamma_1 x;$$

$$U_{2x} = M(A_1 ch\gamma_1 x + A_2 sh\gamma_1 x) + N(A_3 sh\gamma_2 x + A_4 sh\gamma_2 x);$$

$$I_{1x} = y_{11}(A_1 sh\gamma_1 x + A_2 sh\gamma_1 x) + y_{22}(A_3 sh\gamma_2 x + A_4 sh\gamma_2 x) + I_K \frac{z_{MKP}(z_1 - z_M)}{z_1 z_2 - z_M^2};$$

$$I_{2x} = y_{21}(A_1 sh\gamma_1 x + A_2 sh\gamma_1 x) + y_{22}(A_3 sh\gamma_2 x + A_4 sh\gamma_2 x) + I_K \frac{z_{MKP}(z_1 - z_M)}{z_1 z_2 - z_M^2};$$

де

$$M = \frac{\gamma_1^2 - z_1(g_1 - g_{12}) + z_M g_{12}}{z_M(g_1 + g_{12}) - z_1 g_{12}}; \quad N = \frac{\gamma_2^2 - z_1(g_1 - g_{12}) + z_M g_{12}}{z_M(g_2 + g_{12}) - z_1 g_{12}};$$

$$y_{11} = \gamma_1 \frac{z_2 - M z_M}{z_1 z_2 - z_M^2}; \quad y_{11} = \gamma_1 \frac{z_2 - M z_M}{z_1 z_2 - z_M^2}; \quad y_{11} = \gamma_1 \frac{z_2 - M z_M}{z_1 z_2 - z_M^2};$$

$$y_{11} = \gamma_1 \frac{z_2 - M z_M}{z_1 z_2 - z_M^2};$$

Виведені вираження (1.11-1.14) будуть нами використовуватися далі при розгляді методики розрахунку заважаючих впливів гармонік тягового струму на пристрої ТРЦ.

1. РОБОТА РЕЙКОВИХ КІЛ В УМОВАХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ

2.1. Загальна характеристика проблеми та обсяг досліджень

Для експериментального та теоретичного дослідження роботи рейкових кіл в умовах електромагнітного впливу тягової мережі як базову обрано двоколійну дільницю залізниці.

Електромагнітна сумісність РК з тяговими мережами забезпечується, головним чином, використанням для сигнальних струмів несучих частот, що відрізняються від гармонік тягового струму. Однак сучасні електровози з АТП є потужними джерелами ЕМЗ у широкому діапазоні частот [160, 164]. Підвищені тягові струми для швидкісних локомотивів приводять до значних струмів завад в колійних приймачах і каналах АЛСН навіть при припустимих коефіцієнтах асиметрії рейкової лінії. Наявність електромагнітних завад в рейкових колах приводить до змін амплітудних та часових параметрів кодових комбінацій частотного кодового автоблокування або сигнального струму ТРК, що може привести до знеструмлення колійного приймача і виникнення затримок руху поїздів (заважаючий вплив електромагнітних завад). Ще більш небезпечна ситуація може виникнути внаслідок помилкового спрацьовування колійного приймача під впливом завад при відсутності (недостатньому рівні) сигнального струму в РК (небезпечний вплив).

2.2. Функціональна безпека РК в умовах електромагнітних завад

Під функціональною безпекою рейкових кіл розуміють неприпустимість виникнення небезпечних відмов або збоїв в процесі їх роботи. Таким чином функціональна безпека РК пов'язана з безумовним виконанням шунтового і контрольного режимів роботи.

Електромагнітні завади, у яких працює апаратура РК, обумовлені електричними струмами в системах зовнішнього електропостачання, тягового електропостачання (ТЕП), повздовжнього електропостачання, високовольтних ліній живлення СЦБ (ВЛ СЦБ), електрорухомого складу (ЕРС) (рис. 1.2). Система тягового електропостачання складається з тягової підстанції (ТП) і тягової мережі (ТМ),

Загальна еквівалентна схема рейкового кола із схематичним зображенням впливу ЕМЗ та інших дестабілізуючих факторів, що приводять до зменшення функціональної безпеки РК наведена на рис. 2.1.

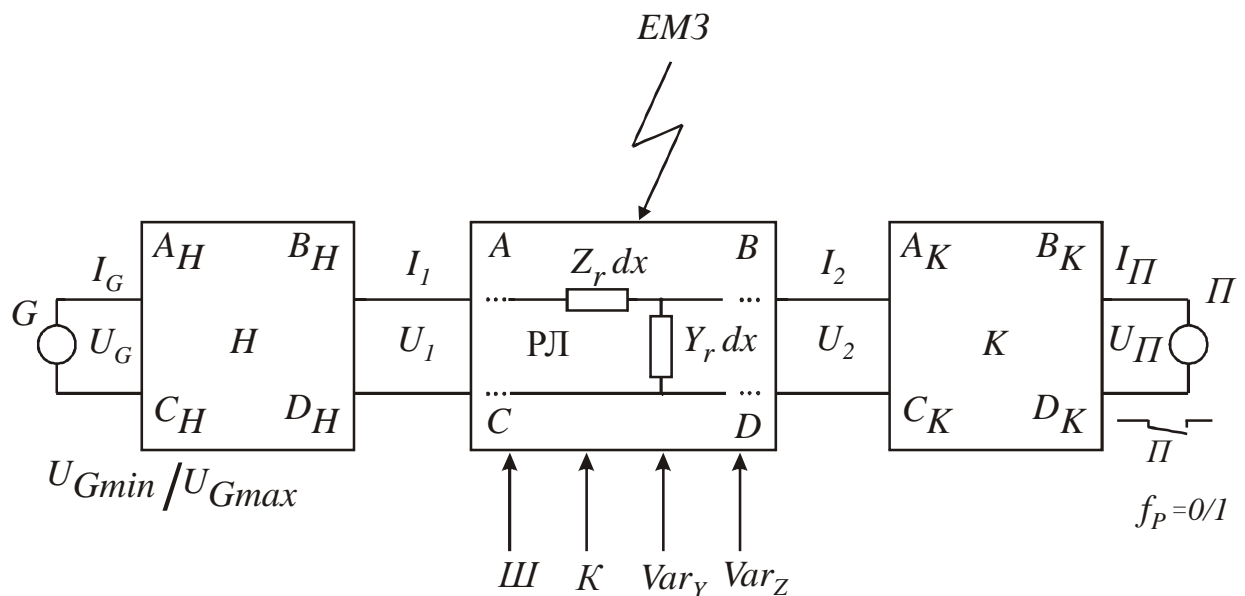


Рис. 1.1. Загальна еквівалентна схема рейкового кола

Джерело живлення РК представлено на еквівалентній схемі у вигляді генератора G з напругою

$$u_G(t) = U_{mG} \mathbb{W}(t) \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (2.1)$$

де U_{mG} – амплітудне значення напруги несучої частоти $\omega = 2\pi f$, $\mathbb{W}(t)$ – модулююча функція, яка для РК з безперервним живленням приймає значення $\mathbb{W}(t)=1$; для тональних рейкових кіл (ТРК) $\mathbb{W}(t)$ – двополярний імпульсний сигнал типу меандра; для кодових РК $\mathbb{W}(t)$ – двополярний імпульсний сигнал з часовими параметрами, що відповідають типу коду (К,

КЖ або З), φ_0 – початкова фаза. В ТРК при наближенні поїзду до сигнальної точки додатково до сигнального струму автоблокування в рейкове коло подається сигнальний струм АЛС.

Від генератора G (рис. 2.1) сигнальний струм проходить через апаратуру живлячого кінця рейкового кола (чотирьохполюсник H), рейкову лінію РЛ і апаратуру приймального кінця РК (чотирьохполюсник K), де відповідно до режиму, в якому знаходиться РК, (нормальний, шунтовий, контрольний), відбувається певне перетворення сигналу, після якого сигнальний струм передається на вхід колійного реле P , що формує вихідний сигнал РК. Вихідний сигнал має два значення: $f_{P=1}$, що означає рейкове коло справне і не зайняте, $f_{P=0}$ – рейкове коло не справне або зайняте рухомою одиницею. Апаратура приймального кінця РК та колійний приймач може мати селективність за всіма параметрами сигналу. Для появи на виході реле сигналу $f_{P=1}$ необхідно відповідність вхідного сигналу U_P або I_P селективним умовам: U_{PH} і $U_{CI D}$, I_{PH} і $I_{CI D}$, $\omega_P = \omega_{P0} \pm D \omega_{P0}$. Додатково фазочутливі приймачі мають селективність за фазою, що вимагає наявності певного зсуву фаз $\varphi_P = \varphi_{P0} \pm D \varphi_{P0}$ між струмом колійної і місцевої обмотки реле.

Критерій виконання нормального режиму визначається тим, що при критичному збігу несприятливих факторів для передачі енергії від живильного до приймального кінця РК $[U_{Gmin}, Z_{DE max}, r_{I min}]$ (де $Z_{DE max}$ – максимальний імпеданс рейкового кола, $r_{I min}$ – мінімальний опір ізоляції баласту), рівень сигналу на вході одноелементного приймача відповідає його робочому струму $I_{Paá}$ або рівень і фаза сигналу на вході фазочутливого приймача (ФЧП) відповідає його обертаючому моменту [43-47].

Додатковою є умова, що обмежує напругу на колійному приймачі

$$K_{I_{AD} \hat{O}} = \frac{U_{I \hat{I} \hat{O}}}{U_P} < K_{I_{AD} \hat{A}}$$

де $K_{I_{AD} \hat{O}}$, $K_{I_{AD} \hat{A}}$ - відповідно, коефіцієнт перевантаження приймача фактичний і допустимий, $U_{I \hat{I} \hat{O}}$ - напруга на приймачі в нормальному режимі фактична.

Критерієм надійного виконання шунтового режиму є співвідношення $K_{\phi} > 1$, де K_{ϕ} - коефіцієнт шунтової чутливості к нормальному поїзному шунту для довільної координати РЛ, що обраховується для критичних значень основних параметрів РК $[U_{G \max}, Z_{DE \min}, r_{I \max} = \Gamma, P_{\phi \hat{e} \hat{\delta} \hat{\delta} \hat{\delta}}]$, де $P_{\phi \hat{e} \hat{\delta} \hat{\delta} \hat{\delta}}$ - критична координата накладання шунта [43-47].

Критерієм надійного виконання контрольного режиму є співвідношення $K_K > 1$, де K_K - коефіцієнт чутливості РК до перерваної рейкової нитки, що обраховується для критичних значень основних параметрів РК $[U_{G \max}, Z_{DE \min}, r_{I \hat{e} \hat{\delta} \hat{\delta} \hat{\delta}}, P_{\hat{E} \hat{e} \hat{\delta} \hat{\delta} \hat{\delta}}]$ де $P_{\hat{E} \hat{e} \hat{\delta} \hat{\delta} \hat{\delta}}$ - критична координата злому РЛ [43-47]. При цьому робочі напруги мають визначатися з урахуванням певних коефіцієнтів, що мають забезпечувати стабільність роботи РК.

Робоча напруга або струм спрацьовування колійного приймача дорівнює $U_P = K_{\zeta \bar{m} \delta} U_{\bar{m} \delta}$; $I_P = K_{\zeta \bar{m} \delta} I_{\bar{m} \delta}$; де $U_{\bar{m} \delta}$, $I_{\bar{m} \delta}$ - напруга і струм спрацьовування (повного притягнення) якоря (сектора) реле, $K_{\zeta \bar{m} \delta}$ - коефіцієнт запасу на спрацьовування. Для електромагнітних і індукційних реле при безперервному живленні приймають $K_{\zeta \bar{m} \delta} = 1$, для імпульсних $K_{\zeta \bar{m} \delta} = 1,2$.

Напруга або струм надійного відпускання якоря (сектора) реле при безперервному живленні $U_{BH} = K_{\zeta \hat{A}} U_B$, $I_{BH} = K_{\zeta \hat{A}} I_B$, де $K_{\zeta \hat{A}}$ - коефіцієнт запасу на відпускання. Для електромагнітних реле коефіцієнт запасу на відпускання $K_{\zeta \hat{A}} = 0,6$, для індукційних (секторних) реле - $K_{\zeta \hat{A}} = 0,9$.

Напряга або струм неспрацьовування імпульсних реле

$$U_{I \tilde{N} D} = K_{\zeta I \tilde{N} D} U_{\tilde{N} D}; \quad I_{I \tilde{N} D} = K_{\zeta I \tilde{N} D} I_{\tilde{N} D}, \quad (2.2)$$

де $K_{\zeta I \tilde{N} D}$ – коефіцієнт запасу на неспрацьовування, $K_{\zeta I \tilde{N} D} = 0,9$

Коефіцієнт повернення приймача при безперервному живленні

$$K_{\hat{A}(\hat{A})} = \frac{U_{\hat{A}}}{U_{\tilde{N} D}}, \quad K_{\hat{A}(\hat{A})} = \frac{I_{\hat{A}}}{I_{\tilde{N} D}}. \quad (2.3)$$

Коефіцієнт повернення приймача при імпульсному живленні

$$K_{\hat{A}^{(2)}} = \frac{I_{I \tilde{N} D}}{I_{\tilde{N} D}} = \frac{K_{\zeta I \tilde{N} D} I_{I \tilde{N} D}}{I_{\tilde{N} D}} = 0,9 \quad (2.4)$$

Коефіцієнт надійного повернення приймача при безперервному живленні

$$K_{\hat{A}I(\hat{A})} = \frac{U_{\hat{A}}}{U_D} = K_{\zeta \hat{A}} \frac{U_{\hat{A}}}{U_{\tilde{N} D}} = K_{\zeta \hat{A}} K_{\hat{A}(\hat{A})} \quad (2.5)$$

Коефіцієнт надійного повернення приймача при імпульсному живленні

$$K_{\hat{A}I^{(2)}} = \frac{U_{I \tilde{N} D}}{U_D} = \frac{K_{\zeta I \tilde{N} D} U_{\tilde{N} D}}{K_{\zeta \tilde{N} D} U_{\tilde{N} D}} = \frac{K_{\zeta I \tilde{N} D}}{K_{\zeta \tilde{N} D}} \quad (2.6)$$

Приведений коефіцієнт надійного повернення приймача обчислюється з урахуванням коливань напруги живлення

$$K_{\hat{A}I} \ddot{y} = \frac{K_{\hat{A}I}}{K_{\hat{E}}}, \quad (2.7)$$

де $K_{\hat{E}}$ - коефіцієнт нестабільності напруги живлення.

Передачу сигналу від генератора до колійного приймача характеризують коефіцієнтом (який в літературі називають опором) передачі

[Ошибка! Источник ссылки не найден.]

$$Z_{\hat{I}} = K'_{TH} K_{TK} \left[AZ_{BXK} + B + (CZ_{BXK} + D) \cdot Z'_{BXH} \right], \quad (2.8)$$

де A, B, C, D - коефіцієнти РЛ, K'_{TH} - зворотній коефіцієнт зниження струму в чотирьохполюснику Н, K_{TK} - прямий коефіцієнт зниження струму в чотирьохполюснику К, Z'_{BXH} - зворотній вхідний опір чотирьохполюсника Н, Z_{BXK} - прямий вхідний опір чотирьохполюсника К.

Параметри всіх чотирьохполюсників змінюються під впливом зовнішніх факторів в певному діапазоні і тому можуть розглядатися в цьому діапазоні як випадкові. Для оцінки впливу тягового струму на рейкові лінії будемо вважати, що чотирьохполюсники Н і К справні і їх параметри відповідають нормативам. Вплив напруги живлення будемо враховувати за критичними для кожного режиму відхиленнями напруги (+ 5% / - 10%).

На рейкову лінію впливають дискретні, безперервні фактори, а також електромагнітні завади (рис. 2.1). Дискретні фактори пов'язані зі зміною структури рейкового кола при появі поїзного шунта (шунтовий режим) або при порушенні електричної цілісності рейкової лінії (контрольний режим) і умовно позначені на еквівалентній схемі буквами Ш та К (рис. 2.1.). Назва дискретний фактор є в певному розумінні умовною, оскільки зміни електричної схеми РК в процесі виконання режимів Ш і К мають безперервний спектр значень (наприклад, за рахунок варіації електричного опору поїзного шунта та місця його накладання, які змінюються безперервно по мірі проїзду поїзду).

Безперервні фактори ($Var(\underline{Z}_{D\hat{E}})$, $Var(\underline{Y}_2)$) характеризують зміну первинних параметрів рейкового кола ($\underline{Z}_{D\hat{E}} = R_{D\hat{E}} + jX_{D\hat{E}}$ – повздовжнього імпедансу, $\underline{Y}_2 = g_2 + j\omega C_2$ – поперечного адмітансу) під впливом зовнішніх факторів. Для справної рейкової лінії найбільш суттєво змінюється такий первинний параметр як опір ізоляції баласту рейкового кола g_2 . Окрім цих параметрів на рейкове коло діють електромагнітні завади від тягової мережі, рухомого складу, ліній повздовжнього електропостачання та ін. (рис. 2.1).

Внаслідок комплексного характеру первинних параметрів РК (повздовжнього імпедансу та поперечного адмітансу), а також під дією електромагнітних завад сигнальний струм може значно змінюватися за амплітудою та формою. Для прикладу на рис. 2.2 наведено експериментально виміряну осцилограму сигнального струму на вході колійного приймача ТРК на діючій ділянці залізниці.

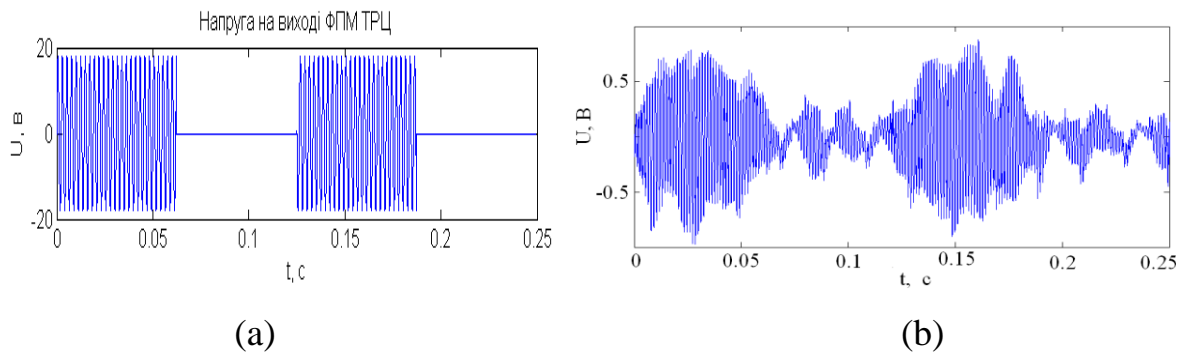


Рис. 1.2. Осцилограми сигнального струму ТРК на виході фільтра (а) і на вході колійного приймача (б)

Внаслідок збігу несприятливих та дестабілізуючих факторів (електромагнітних завад, змін коефіцієнту передачі РЛ та ін.), можливе значне спотворення сигналу (рис. 2.2), при якому виникає невідповідність селективних параметрів сигнального струму реальному стану РК, що приведе до збою або відмові в роботі РК. Внаслідок цього може з'явитися заборонний сигнал на прохідному світлофорі при справному та незайнятому рейковому колі (заважаюча відмова) або дозволяючий сигнал на прохідному світлофорі при несправному або зайнятому РК (небезпечна відмова).

2.3. Методика та засоби експериментальних досліджень ЕМЗ від електрорухомого складу

Електромагнітні завади, що утворює силове обладнання ЕРС, вимірювали як на самому локомотиві в процесі роботи тягового та допоміжного електрообладнання в різних режимах, так і безпосередньо в

рейкових колах. На локомотиві вимірювали та реєстрували миттєве значення тягового (мережного) струму в силовому ланцюзі за допомогою безконтактного датчика струму – поясу Роговського (табл. 2.1), а також фіксували пройдену відстань і швидкість руху локомотиву. Одночасно записували сигнал з локомотивних котушок автоматичної локомотивної сигналізації.

Під час руху локомотиву вимірювали та реєстрували миттєве значення зворотного тягового струму в рейковій лінії шляхом вимірювання тягового струму у міждросельній перемичці за допомогою безконтактних датчиків струму Роговського, датчиків струму на основі ефекту Холла та електротехнічних кліщів (табл. 2.1).

Обробка результатів вимірювання провадилася за допомогою пакету MatLab. Прилади, що використовувалися для вимірювання та реєстрації струмів, напруг та їх похибки вимірювання наведено в табл. 2.1

Таблиця 2.1

Прилади для експериментальних вимірювань

Назва	Тип
Осцилограф реєструючий	BORDO 421
Мультиметр	APPA 305
Мультиметр	APPA 350
Перетворювач струму	AmpFLEX A100 -0.3-3к/3
Токові кліщі	PAC 22
Токові кліщі	C 160

Запис сигналів на діючих електропоїздах проводився науковим керівником дипломної роботи.

Моєю задачею на дипломну роботу було проведення аналізу одержаних від керівника записаних на комп'ютер сигналів та їх обробка. Під час аналізу проводився огляд форми сигналів, вибір характерних відрізків

сигналів для режимів роботи електропоїзда, регламентованих нормативною літературою та їх спектральний аналіз.

2.4. Методика вимірювання значення струму перешкод від електропоїзда в рейкову лінію

В процесі випробувань вимірюють і реєструють миттєві значення тягового струму в силовому ланцюзі електропоїзда і окремо в рейкових лініях для всіх режимів, передбачених пунктом 5 цієї методики.

Вимірювання струму проводять за допомогою безконтактного токового датчика.

В електропоїзді вимірюють мережевий (тяговий) струм, що віддається електропоїздом в рейкову лінію.

Схема підключення вимірювальної апаратури в електропоїзді показана на рис.2.

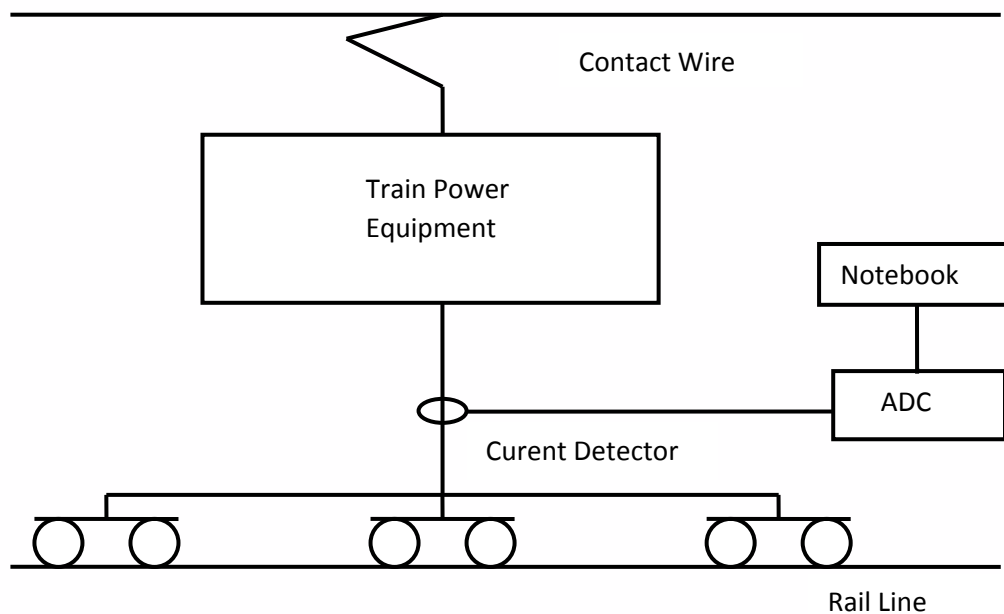


Рис. 2.3. Схема підключення вимірювальної апаратури в електропоїзді

У рейкової лінії вимірюють зворотний тяговий струм в міждроссельній перемичці в процесі проїзду електропоїзди повз пункт виміру.

Схема підключення вимірювальної апаратури в рейковий коло показана на рис. 2.3

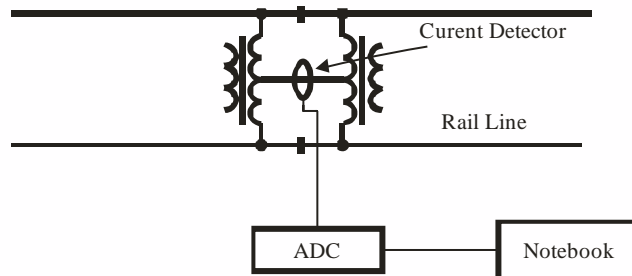


Рис. 2.4 Схема підключення вимірювальної апаратури в рейкове коло

Вимірюваний сигнал з токового перетворювача передають на аналого-цифровий перетворювач (ADC) і записують на ноутбук (рис. 2.3, 2.4).

Частоти, рівні і тривалості струму перешкод в рейкової лінії на частотах роботи рейкових кіл визначають за допомогою стандартного FFT аналізу виміряного струму.

Паралельно допустимі рівні заважаючого впливу електрообладнання електровоза на рейкові кола наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

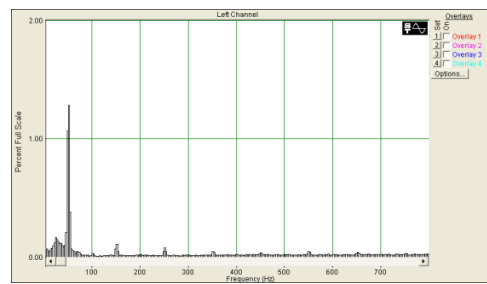
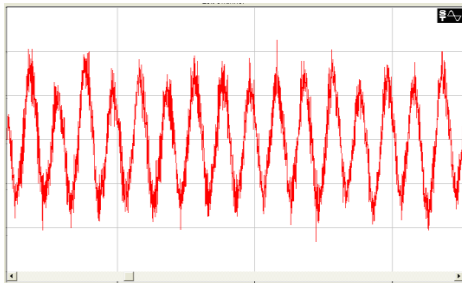
Допустимі рівні перешкод тягового струму

Система електроживлення	Допустимі рівні струму перешкод		
	Номінальна частота сигнального струму, Гц	Полоса частот, Гц	Ефективне значення струму гармоніки при безперервному впливі (більше 0,3 с), А, не більше

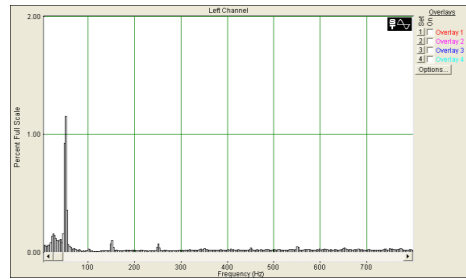
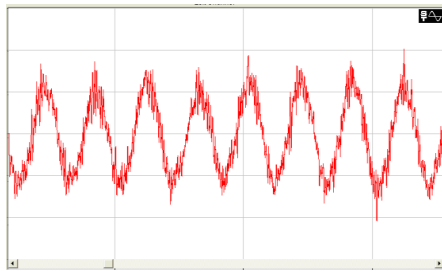
Постійний струм напругою 3 кВ	50	46-54	1,3
		40-46	5,0
		54-60	5,0
	25	21-29	1,0 (1,9)*
Змінний струм напругою 25 кВ і з частотою 50 Гц		19-21	11,6
		29-31	11,6
	25	21-29	1,0
		15-21	4,1
		29-35	4,1
	75	65-85	4,1
	4500	4462,5- 4537,5	0,2
	5500	5462,5- 5537,5	0,2
Постійний струм напругою 3 кВ і змінний струм напругою 25 кВ з частотою 50 Гц	175	167- 184	0,4
	420	408- 432	0,35
	480	468- 492	0,35
	580	568- 592	0,35
	720	708- 732	0,35
	780	768- 792	0,35
	4545**	4507,5- 4582,5	0,2

	5000	4962,5- 5037,5	0,2
	5555**	5517,5- 5592,5	0,2

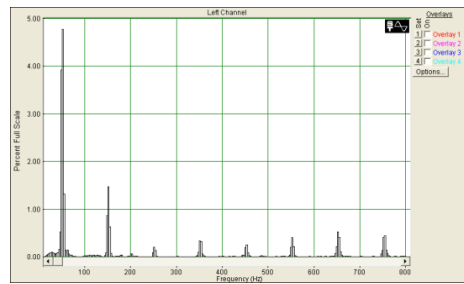
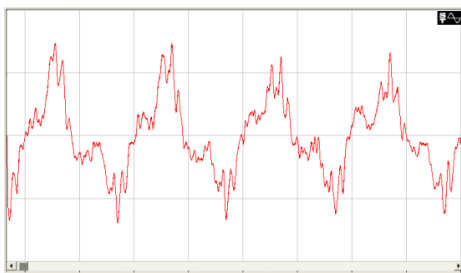
Деякі результати вимірювання часових залежностей тягового струму в рейках та їх спектральний склад наведено на рис. 2.5.



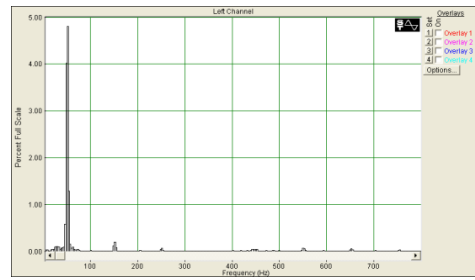
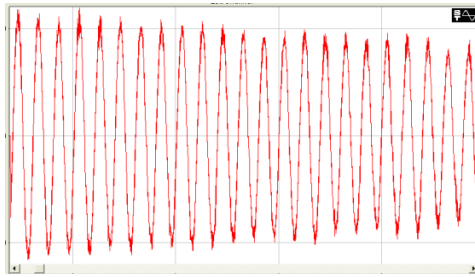
(a)



(b)



(c)



(d)

Рис. 2.5. Осцилограми і спектральний склад тягового струму локомотиву при наборі швидкості та при переході в режим рекуперативного гальмування.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД НА РОБОТУ РЕЙКОВИХ КІЛ

3.1. Загальний аналіз проблеми

Рейкові кола залізничної автоматики функціонують в складних умовах під впливом багатьох дестабілізуючих факторів, до яких можна віднести вплив погодних умов (температура, вологість), що головним чином впливає на опір ізоляції баласта, завади від тягового електропостачання, зміни параметрів елементів апаратури ТРК з часом та інше. Слід також зазначити, що параметри елементів РК ще при монтажних і налагоджувальних роботах відрізняються від номінальних, по перше тому, що елементи, що застосовуються у схемі ТРК мають розкид параметрів відносно номінального, а також внаслідок неправильного регулювання режимів ТРК.

Відомі випадки, коли тональні рейкові кола, відрегульовані за затвердженими нормаліями і відповідають всім експлуатаційним вимогам, проте працюють нестабільно.

Загальна еквівалентна схема рейкового кола із схематичним зображенням впливу ЕМЗ та інших дестабілізуючих факторів, що приводять до зменшення функціональної безпеки РК наведена на рис. 3.1.

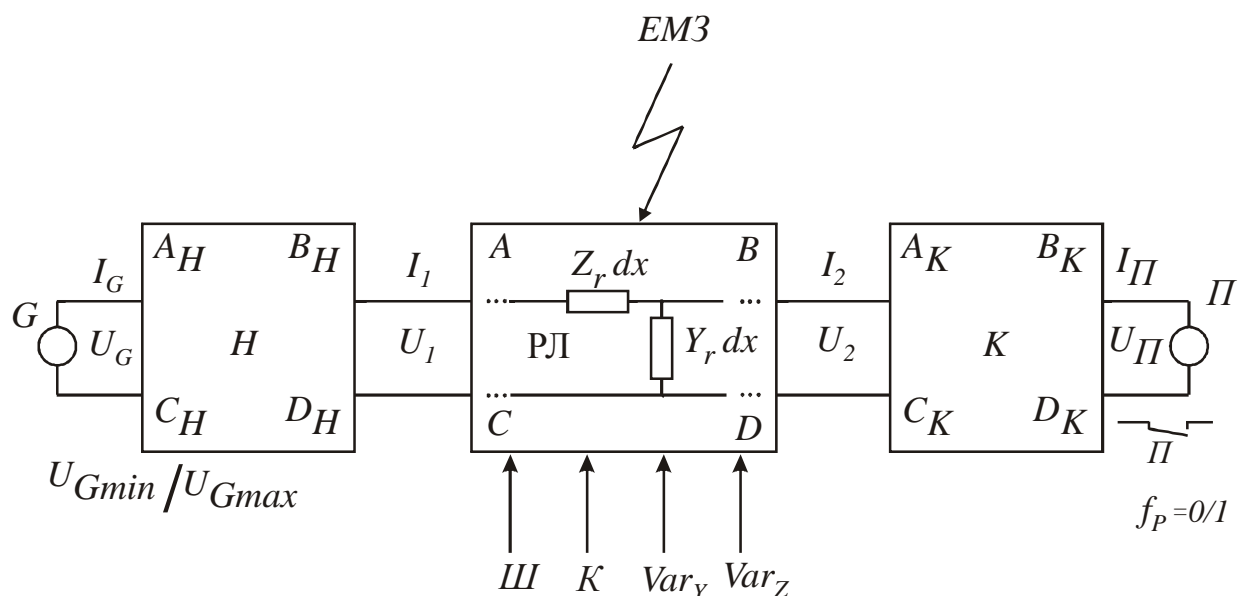


Рис. 3.1. Загальна еквівалентна схема рейкового кола

Джерело живлення РК представлено на еквівалентній схемі у вигляді генератора G з напругою

$$u_G(t) = U_{mG} W(t) \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (3.1)$$

де U_{mG} – амплітудне значення напруги несучої частоти $\omega = 2\pi f$, $W(t)$ – модулююча функція, яка для РК з безперервним живленням приймає значення $W(t)=1$; для тональних рейкових кіл (ТРК) $W(t)$ – двополярний імпульсний сигнал типу меандра; для кодових РК $W(t)$ – двополярний імпульсний сигнал з часовими параметрами, що відповідають типу коду (К, КЖ або З), φ_0 – початкова фаза. В ТРК при наближенні поїзду до сигнальної точки додатково до сигнального струму автоблокування в рейкове коло подається сигнальний струм АЛС.

Від генератора G (рис. 2.1) сигнальний струм проходить через апаратуру живлячого кінця рейкового кола (чотирьохполюсник H), рейкову лінію РЛ і апаратуру приймального кінця РК (чотирьохполюсник K), де відповідно до режиму, в якому знаходиться РК, (нормальний, шунтовий, контрольний), відбувається певне перетворення сигналу, після якого сигнальний струм передається на вхід колійного реле P , що формує вихідний сигнал РК. Вихідний сигнал має два значення: $f_P=1$, що означає рейкове коло справне і не зайняте, $f_P=0$ – рейкове коло не справне або зайняте рухомою одиницею. Апаратура приймального кінця РК та колійний приймач може мати селективність за всіма параметрами сигналу. Для появи на виході реле сигналу $f_P=1$ необхідно відповідність вхідного сигналу U_P або I_P селективним умовам: U_{PH} і $U_{C\bar{I}D}$, I_{PH} і $I_{C\bar{I}D}$, $\omega_P = \omega_{P0} \pm D \omega_{P0}$. Додатково фазочутливі приймачі мають селективність за фазою, що вимагає наявності

певного зсуву фаз $\varphi_P = \varphi_{P0} \pm D \varphi_{P0}$ між струмом колійної і місцевої обмотки реле.

Критерій виконання нормального режиму визначається тим, що при критичному збігу несприятливих факторів для передачі енергії від живильного до приймального кінця РК $[U_{Gmin}, Z_{DE}^{max}, r_{Imin}]$ (де Z_{DE}^{max} – максимальний імпеданс рейкового кола, r_{Imin} – мінімальний опір ізоляції баласту), рівень сигналу на вході одноелементного приймача відповідає його робочому струму $I_{Paá}$ або рівень і фаза сигналу на вході фазочутливого приймача (ФЧП) відповідає його обертаючому моменту [43-47].

Додатковою є умова, що обмежує напругу на колійному приймачі

$$K_{I\check{A}D\acute{o}} = \frac{U_{I\acute{i}\acute{o}}}{U_P} < K_{I\check{A}D\grave{A}}, \quad (3.2)$$

де $K_{I\check{A}D\acute{o}}$, $K_{I\check{A}D\grave{A}}$ - відповідно, коефіцієнт перевантаження приймача фактичний і допустимий, $U_{I\acute{i}\acute{o}}$ - напруга на приймачі в нормальному режимі фактична.

Критерієм надійного виконання шунтового режиму є співвідношення $K_\emptyset > 1$, де K_\emptyset - коефіцієнт шунтової чутливості к нормальному поїзному шунту для довільної координати РЛ, що обраховується для критичних значень основних параметрів РК $[U_{Gmax}, Z_{DE}^{min}, r_{Imax} = \Gamma, P_\emptyset \acute{e}d\grave{e}\grave{o}]$, де $P_\emptyset \acute{e}d\grave{e}\grave{o}$ - критична координата накладання шунта [43-47].

Критерієм надійного виконання контрольного режиму є співвідношення $K_K > 1$, де K_K - коефіцієнт чутливості РК до перерваної рейкової нитки, що обраховується для критичних значень основних параметрів РК $[U_{Gmax}, Z_{DE}^{min}, r_{I\acute{e}d\grave{e}\grave{o}}, P^{\acute{E}} \acute{e}d\grave{e}\grave{o}]$ де $P^{\acute{E}} \acute{e}d\grave{e}\grave{o}$ - критична координата злому РЛ [43-47]. При цьому робочі напруги мають визначатися з урахуванням певних коефіцієнтів, що мають забезпечувати стабільність роботи РК.

Робоча напруга або струм спрацьовування колійного приймача дорівнює $U_P = K_{\zeta\bar{m}\delta} U_{\bar{m}\delta}$; $I_P = K_{\zeta\bar{m}\delta} I_{\bar{m}\delta}$; де $U_{\bar{m}\delta}$ $I_{\bar{m}\delta}$ – напруга і струм спрацьовування (повного притягнення) якоря (сектора) реле, $K_{\zeta\bar{m}\delta}$ – коефіцієнт запасу на спрацьовування. Для електромагнітних і індукційних реле при безперервному живленні приймають $K_{\zeta\bar{m}\delta} = 1$, для імпульсних $K_{\zeta\bar{m}\delta} = 1,2$.

Напруга або струм надійного відпускання якоря (сектора) реле при безперервному живленні $U_{BH} = K_{\zeta A} U_B$, $I_{BH} = K_{\zeta A} I_B$, де $K_{\zeta A}$ – коефіцієнт запасу на відпускання. Для електромагнітних реле коефіцієнт запасу на відпускання $K_{\zeta A} = 0,6$, для індукційних (секторних) реле – $K_{\zeta A} = 0,9$.

Напруга або струм неспрацьовування імпульсних реле

$$U_{HSPR} = K_{\zeta HSPR} U_{SPR}; \quad I_{HSPR} = K_{\zeta HSPR} I_{SPR}, \quad (3.3)$$

де $K_{\zeta HSPR}$ – коефіцієнт запасу на неспрацьовування, $K_{\zeta HSPR} = 0,9$.

Параметри всіх чотирьохполюсників змінюються під впливом зовнішніх факторів в певному діапазоні і тому можуть розглядатися в цьому діапазоні як випадкові. Для оцінки впливу тягового струму на рейкові лінії будемо вважати, що чотирьохполюсники Н і К справні і їх параметри відповідають нормативам. Вплив напруги живлення будемо враховувати за критичними для кожного режиму відхиленнями напруги (+ 5% / - 10%).

На рейкову лінію впливають дискретні, безперервні фактори, а також електромагнітні завади (рис. 2.1). Дискретні фактори пов'язані зі зміною структури рейкового кола при появі поїзного шунта (шунтовий режим) або при порушенні електричної цілісності рейкової лінії (контрольний режим) і умовно позначені на еквівалентній схемі буквами Ш та К (рис. 3.1.). Назва дискретний фактор є в певному розумінні умовною, оскільки зміни електричної схеми РК в процесі виконання режимів Ш і К мають безперервний спектр значень (наприклад, за рахунок варіації електричного

опору поїзного шунта та місця його накладання, які змінюються безперервно по мірі проїзду поїзду).

Безперервні фактори $(Var(\underline{Z}_{DE}), Var(\underline{Y}_2))$ характеризують зміну первинних параметрів рейкового кола ($\underline{Z}_{DE} = R_{DE} + jX_{DE}$ – повздовжнього імпедансу, $\underline{Y}_2 = g_2 + j\omega C_2$ – поперечного адмітансу) під впливом зовнішніх факторів. Для справної рейкової лінії найбільш суттєво змінюється такий первинний параметр як опір ізоляції баласту рейкового кола g_2 . Окрім цих параметрів на рейкове коло діють електромагнітні завади від тягової мережі, рухомого складу, ліній повздовжнього електропостачання та ін. (рис. 2.1).

Внаслідок комплексного характеру первинних параметрів РК, а також під дією електромагнітних завад сигнальний струм може значно змінюватися за амплітудою та формою. Для прикладу на рис. 2.2 наведено експериментально виміряну осцилограму сигнального струму на вході колійного приймача ТРК на діючій ділянці залізниці.

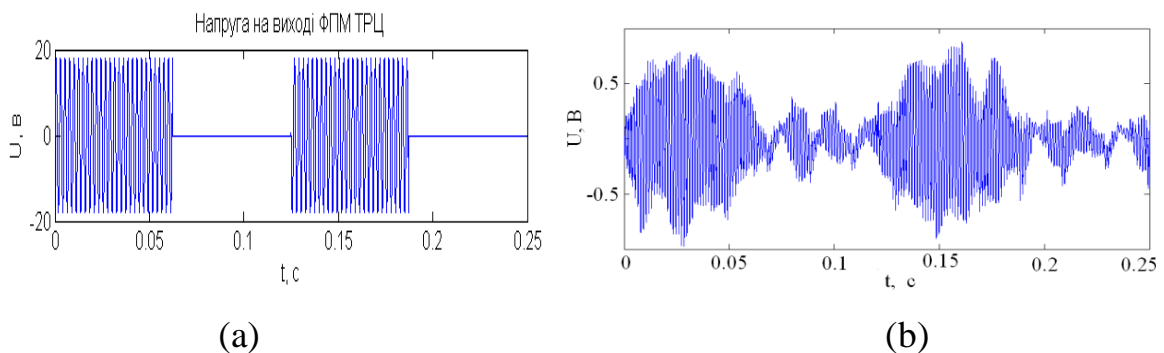


Рис.3.2. Осцилограми сигнального струму ТРК на виході фільтра (а) і на вході колійного приймача (б)

Внаслідок збігу несприятливих та дестабілізуючих факторів (електромагнітних завад, змін коефіцієнту передачі РЛ та ін.), можливе значне спотворення сигналу (рис. 3.2), при якому виникає невідповідність селективних параметрів сигнального струму реальному стану РК, що приведе до збою або відмові в роботі РК. Внаслідок цього може з'явитися заборонний сигнал на прохідному світлофорі при справному та незайнятому рейковому

колі (заважаюча відмова) або дозволяючий сигнал на прохідному світлофорі при несправному або зайнятому РК (небезпечна відмова).

3.2. Дослідження впливу електромагнітних завад на роботу ТРК

На рис. 3.3 приведена тимчасова залежність і спектральний склад зворотного тягового струму електропоїзду з асинхронним тяговим приводом в режимі тяги при наборі швидкості до ~ 140 км/год на ділянці з підйомом $\sim 5\%$.

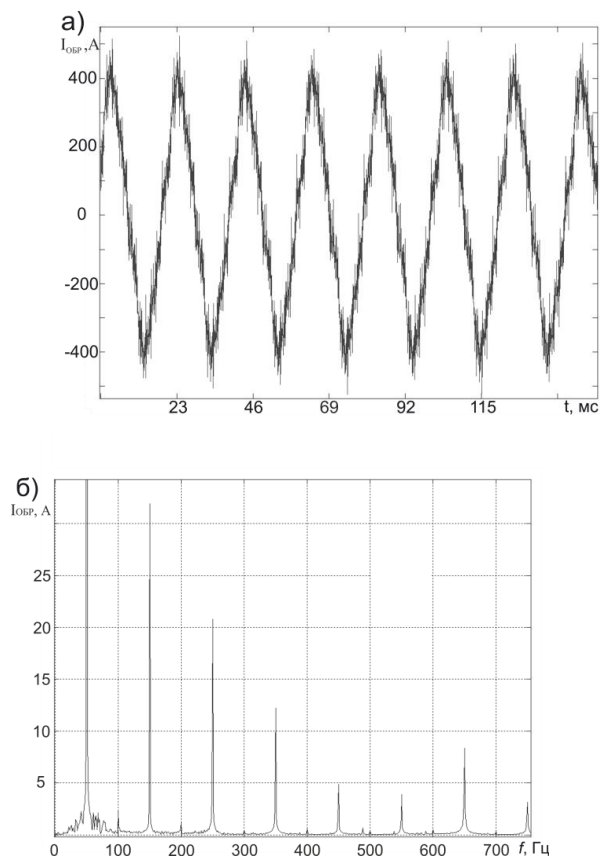


Рис. 3.3. Тимчасова залежність (а) і спектральний склад (б) зворотного тягового струму електропоїзду в режимі тяги при наборі швидкості до - 140 км / г.

Як видно з малюнка в спектрі зворотного тягового струму присутні перешкоди з частотами, близькими до частот роботи рейкових кіл 25, 480 і 580 Гц, причому рівень перешкод в смузі частот - 25 Гц близький до

небезпечного значення, а в смузі частот - 480 Гц рівень перешкоди короткочасно перевищував допустиме значення.

На рис. 3.4 наведено фрагмент тимчасової залежності і спектральний склад зворотнього тягового струму електропоїзду з асинхронним тяговим приводом в режимі екстреного гальмування без рекуперації від - 140 км / ч на рівній ділянці.

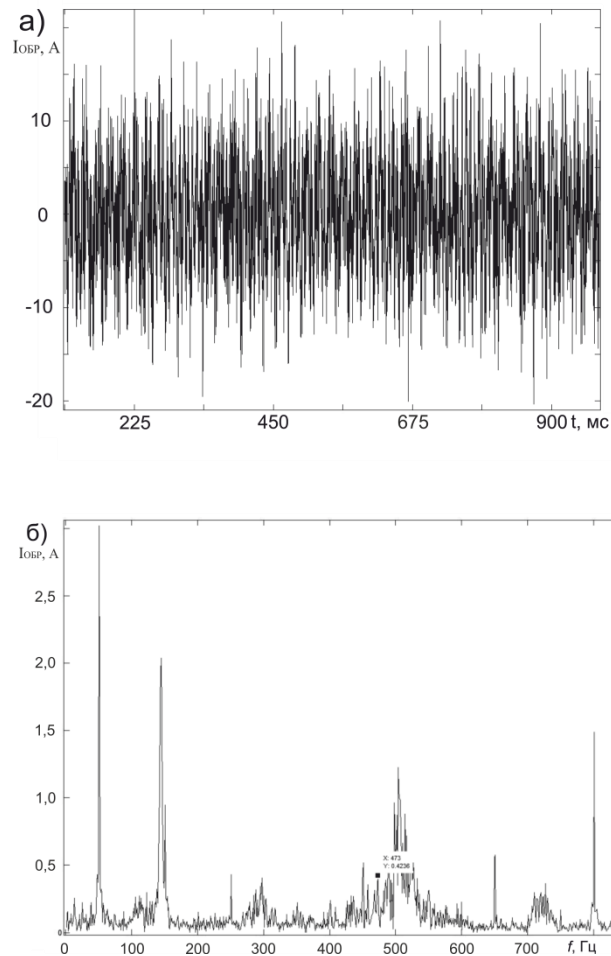


Рис. 3.4. Часова залежність (а) и спектральный склад (б) зворотнього тягового струму електропотяга в режимі екстреного гальмування

Незважаючи на невеликі значення зворотнього тягового струму (~ 20 А) в спектрі спостерігалася перешкода з частотою ~ 480 Гц і рівнем, що перевищує гранично допустиме значення. Після обробки результатів вимірювання перешкод при русі електропоїзда у всіх режимах, передбачених нормативними документами, максимальне значення струму перешкод на

частотах роботи рейкових кіл для електротяги змінного і постійного струму зведені в таблиці (табл. 3.1, 3.2).

Таблиця 3.1

Струм перешкоди в рейковій лінії при електротязі змінного струму

Частота, Гц	Діапазон частот, Гц	Максимально допустимий струм завади, А	Максимально вимірний струм завади, А
25	21-29	1	1,41
420	408-432	0,35	0,37
480	468-492	0,35	0,40
580	568-592	0,35	0,55
720	708-732	0,35	0,12
780	768-792	0,35	0,52
4545	4508-4583	0,2	0,50
5000	4963-5038	0,2	0,15
5555	5518-5593	0,2	0,13

Таблиця 3.2

Ток завади в рейковій лінії при електротязі постійного струму.

Частота, Гц	Діапазон частот, Гц	Максимально допустимий струм завади,	Максимально вимірний струм завади, А

		A	
25	21-29	1	0,39
50	46-54	1,3	0,10
420	408-432	0,35	0,42
480	468-492	0,35	0,48
580	568-592	0,35	0,36
720	708-732	0,35	0,06
780	768-792	0,35	0,38
4545	4508- 4583	0,2	0,12
5000	4963- 5038	0,2	0,30
5555	5518- 5593	0,2	0,13

3.3. Вплив опору ізоляції баласту на режими роботи ТРК

Класична методика розрахунку рейкового кола передбачає заміщення її складових частин еквівалентними чотирьохполюсниками, параметри яких вибираються виходячи з найгірших умов для кожного з режимів роботи. Вихідними даними для розрахунку є: принципова схема рейкового кола й параметри її апаратури; довжина рейкової лінії; довжина сполучних кабелів; частота сигнального струму й струму АЛС; діапазони зміни опору ізоляції й опору рейок; рівні сигналів спрацьовування, відпускання (неспрацьовування) і перевантаження колійного й локомотивного приймачів, а також коефіцієнти їхнього повернення; припустимі коливання напруги джерела живлення.

Метою розрахунку рейкового кола є визначення номінальних параметрів джерела живлення, при яких забезпечується усталена робота рейкового кола у всіх режимах.

Аналіз рейкового кола складається з дослідження змін його роботи в різних режимах при зміні параметрів схеми. У ході аналізу визначають оптимальні значення параметрів елементів схеми й частоти джерела живлення для заданих умов функціонування.

При аналізі й розрахунку рейкового кола припускаємо, що рейкова лінія і елементи апаратур є лінійними, тобто їхні параметри не залежать від струмів, що протікають.

3.4. Рівняння електричного кола як чотириполюсника.

Чотириполюсне коло, що має два входи (або вхід і вихід), варто характеризувати зв'язками між двома напругами \dot{U}_1, \dot{U}_2 і двома струмами \dot{I}_1, \dot{I}_2 , а коефіцієнти при струмах — суть опори:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 &= Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

де Z_{11} - вхідний опір чотириполюсника, вимірюваний з боку входу 1 при розімкнутому вході 2;

Z_{22} — вхідний опір чотириполюсника, вимірюваний з боку входу. 2 при розімкнутому вході 1;

Z_{21} і Z_{12} — опори передачі, вимірювані в умовах розмикання обох входів.

Всі разом опори Z називаються опорами холостого ходу, а також параметрами холостого ходу чотириполюсника.

Якщо коло, представлений чотириполюсником, містить тільки пасивні елементи, то він має властивість оборотності. У цьому випадку $Z_{12} = Z_{21}$, а чотириполюсник називається оборотним.

Із чотирьох параметрів оборотного чотириполюсника три незалежні.

При рішенні задачі про передачу від входу до виходу найбільш зручними будуть рівняння чотириполюсника, вирішені відносно \dot{U}_1 й \dot{I}_1 :

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\frac{Y_{22}}{Y_{21}}\dot{U}_2 - \frac{1}{Y_{21}}\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= -\frac{1}{Z_{21}}\dot{U}_2 + \frac{Z_{22}}{Z_{21}}\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

де Y_{22} — вхідна провідність, обмірювана на вході 2 при закороченому вході 1;

Y_{21} — провідність передачі, обмірювана при закорочених входах.

Для оборотного чотириполюсника $Y_{21} = Y_{12}$.

Прийнято позначати:

$$-\frac{Y_{22}}{Y_{21}} = A, \quad -\frac{1}{Y_{21}} = B, \quad \frac{1}{Z_{21}} = C, \quad \frac{Z_{22}}{Z_{21}} = D. \quad (3.6)$$

Рівняння при цьому пишуться у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

У рівняннях:

$A = \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2}$ - величина, зворотня коефіцієнту трансформації по напрузі

при розімкнутих затисках 3, 4;

$B = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2}$ - величина, зворотня провідності передачі при замкнутих

затисках 3, 4;

$C = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2}$ - величина, зворотня опору передачі при розімкнутих затисках

3, 4;

$D = \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2}$ - величина, зворотня коефіцієнту трансформації по струму, при

закорочених затисках 3, 4. У всякого оборотного чотириполюсника із чотирьох параметрів незалежними є тільки три.

По теоремі оборотності при рівних напругах \dot{U}_1 і \dot{U}_2 струми повинні виходити однаковими й теорема оборотності виконується, якщо

$$AD - BC = 1 \quad (3.8)$$

Для оборотного чотириполюсника, коефіцієнти A, B, C, D якого зв'язані таким співвідношенням, рівняння зворотної передачі будуть мати вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_2 &= D\dot{U}_1 - B\dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 &= -C\dot{U}_1 + A\dot{I}_1 \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Якщо не враховувати знак мінус, що з'явився тут внаслідок того, що напрямок струму обраний протилежним напрямку передачі, то рівняння подібні до попередніх рівнянь, розходження полягає в тому, що коефіцієнти A і D помінялися місцями.

У симетричному чотириполюснику, умови передачі не залежать від напрямку передачі.

3.5. Обчислення параметрів лінії.

Електричні властивості рейкової лінії визначаються питомою електричною провідністю ізоляції y_n (См/км) і питомим електричним опором рейок z (Ом/км), що у свою чергу залежать від її первинних параметрів: g_n (См/км), $C_{нэ}$ (Ф/км), r_a (Ом/км) і L (Гн/км).

Під електричною провідністю ізоляції рейкової лінії мається на увазі провідність для струму витoku від однієї нитки до іншої через шпали (по поверхні шпали $i_{yпш}$ і усередині шпали $i_{yш}$), баласт $i_{yб}$ і землю $i_{уз}$.

Провідність ізоляції визначається конструкцією і станом верхньої будови колії (рис.3.5.), оскільки рейки розташовуються на шпалах 3 у безпосередній близькості від землі і мають з ними добрий електричний контакт через металеві деталі верхніх скріплень (підкладки 2 , милиці, шурупи,

протиугони), а самі шпали містяться в баластовому шарі 1, покладеному на земляній полотнині 4. Через таку конструкцію рейкова лінія являє собою електрохімічну систему з елементами електронної й іонної провідності і складних металевих електродів. Електронною провідністю володіють рейки і всі металеві деталі верхніх скріплень, а іонної — баласт, шпали, земляна полотнина і ґрунт.

Проходження струму через систему з електронною та іонною провідністю можливо тільки при протіканні електродних реакцій у перехідному шарі між елементами іонної й електронної провідності. Ці реакції супроводжуються процесами поляризації електродів. Утворена при цьому різниця потенціалів перехідного шару еквівалентна введенню в коло конденсатора, місткість якого (псевдомісткість, або поляризаційна місткість) залежить від усіх факторів, що надають вплив на проходження реакцій. Загальна провідність ізоляції визначається, з одного боку, опорами, що характеризують витік струму через шпали і баласт, а з іншого боку - опором перехідних шарів.

З урахуванням електрохімічної природи ізоляції рейкової лінії в електричній еквівалентній схемі елемента її опору (див. рис. 3.6.) можна умовно виділити наступні елементи: R_K - перехідний опір між рейками і металевими елементами скріплень, що мають контакт зі шпалами і баластом; r_{ep} — опір електричного розряду іонів, обумовлений протіканням необоротних електрохімічних реакцій; C_p — ємність між рейками як обкладками конденсатора з діелектриком повітря - баласт; E_g - е.д. с. гальванічного елемента, що відбиває різниця електродних потенціалів рейок; R_p - поляризаційний опір (псевдоопір); C_p - поляризаційна ємність (псевдоємність); C_d - ємність подвійного слою.

Еквівалентна схема (див. рис. 3.7.) може бути використана для якісного аналізу механізму протікання струму між рейками; для кількісних розрахунків користуються більш спрощеними схемами, у яких не враховують C_p , C_d , R_p , R_K і E_g .

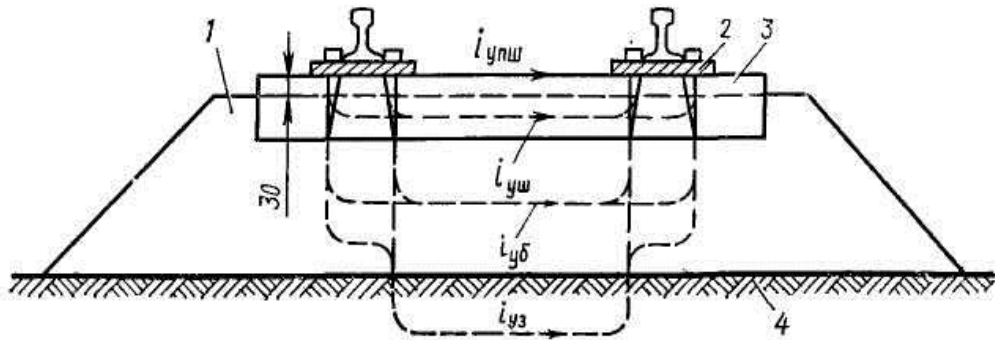


Рис. 3.5. Струми витоку.

Тому в наближеній схемі заміщення для ізоляції нескінченно малого елемента між рейками P1 і P2 виділяють три види опорів: Z_{nc} — опір перехідних шарів; r_{ysh} — опір, що характеризує витік струму через шпали (включаючи її поверхню); Γ_{yb} — опір витоку струму в баласті (опір розтіканню струму в баласті і землі).

Опір ізоляції в загальному випадку є комплексною величиною

$$Z_u = r_u + 2Z_{nc} \quad (3.10)$$

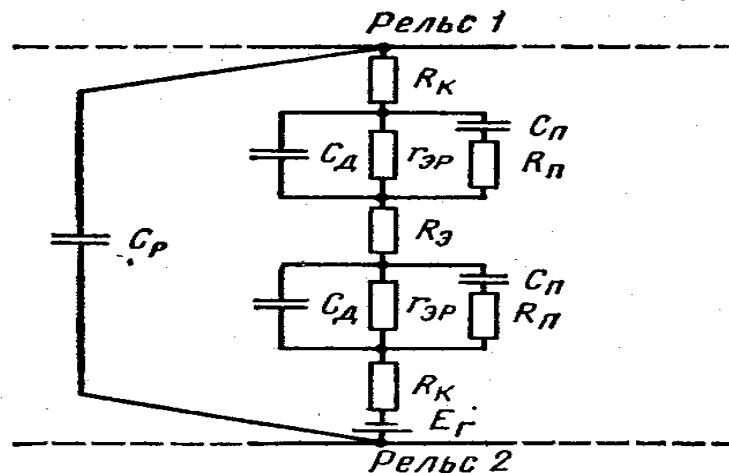


Рис.3.6. Схема заміщення опору ізоляції рейкової лінії.

Опори r_{ysh} і Γ_{yb} залежать від опорів електролітів, що просочують шпали, баласт і ґрунт. Опір r_y є чисто активним і практично не залежить від частоти струму, а Z_{nc} — комплексним. Він складається з опору подвійного шару, що утвориться на границі двох провідників з різною провідністю (у даному

випадку металу рейки і верхніх скріплень і середовища), і опору, що виникає в результаті витрати енергії на протікання електрохімічних реакцій у перехідному шарі.

Повна схема заміщення ізоляції складається з урахуванням схеми заміщення перехідного шару Z_{nc} , що утворюють $C_{п}$ — поляризаційна ємність (псевдоемкость); $r_{эp}$ — активний опір, що характеризує втрату енергії на протікання реакцій. Ємності $C_{п}$ і опору $r_{эp}$ залежать від всіх умов, що впливають на швидкість протікання електрохімічних реакцій у перехідному шарі: напруги і частоти струму, вологості і температури повітря, концентрації і поїзда електроліту й ін. При цьому струм витoku буде тим більше, чим більше буде швидкість протікання цих реакцій і чим менше опір електроліту r_y , що просочує шпали і баласт колії.

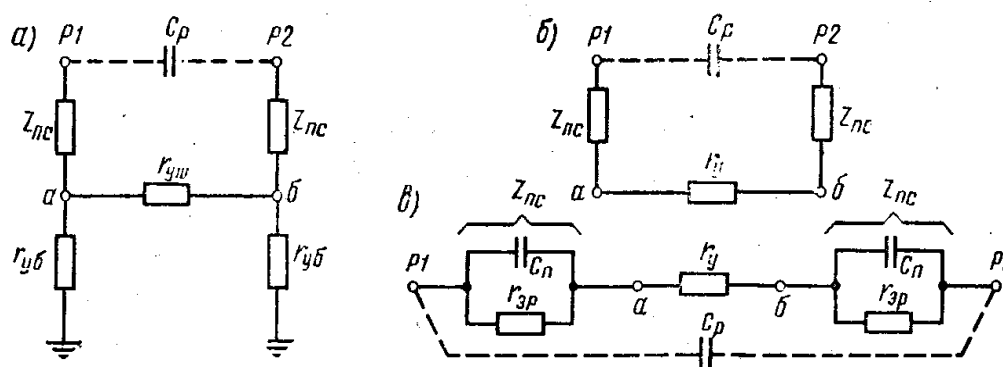


Рис.3.7. Спрощена схема заміщення рейкової лінії при дерев'яних шпалах.

Через електрохімічну природу і складну форму електродів з нерівною поверхнею нормативна провідність ізоляції рейкової лінії встановлюється статистичним методом на основі великого числа вимірів у реальних умовах при різному сполученні факторів, що впливають. Особливо сильний вплив на протікання електрохімічних реакцій і провідність електроліту надають температура і вологість. З підвищенням температури прискорюються електродні процеси і збільшується провідність електроліту, унаслідок чого

загальна провідність ізоляції росте. Найменша провідність ізоляції виходить узимку при низькій температурі і вологості, а найбільша — при критичному сполученні температури і вологості.

Унаслідок своєї електрохімічної природи провідність ізоляції рейкової лінії, строго говорячи, не є лінійною і залежить від частоти. Однак нелінійність її виявляється лише в РК постійного струму при визначеній вологості, температурі і напрузі (приблизно до 1 В) у літню пору.

При відносно високих напругах постійного сигнального струму, а також при перемінному струмі інтенсивність електрохімічних процесів змінюється пропорційно прикладеній напрузі, тому в цих випадках опір ізоляції практично можна вважати лінійним.

Частотна залежність провідності ізоляції рейкової лінії виражається головним чином у тім, що на тональних частотах понад 1500—2000 Гц починає позначатися ємнісна складова, обумовлена псевдоємністю.

Протікання електрохімічних реакцій у значній мірі визначається також структурою і станом баласту. Найкращим матеріалом для баластового шару є великий щебінь, а найгіршим — пісок. При цьому істотну роль грає ступінь забруднення баластового шару. Навіть щебеновий баласт через кілька років після укладання, забруднюючись дрібним піском, пилом, шлаком і вугіллям, значно підвищує провідність ізоляції. Сприяє цьому також влучення в шпали і баласт солей, що містять активні іони (наприклад, хлору).

У результаті вимірів встановлено, що максимальна провідність ізоляції при дерев'яних шпалах і щебеновому баласті приблизно 0,5 См/км (2 Ом-км); гравійному — 0,66 См/км (1,5 Ом-км); пісчаному — 1 См/км (1 Ом-км).

Для кіл постійних і змінних струмів встановлене загальне для усіх видів баластових матеріалів нормативне значення максимальної провідності ізоляції (баласту), рівне 1 См/км. При цьому враховувалася та обставина, що провідність ізоляції при щебеновому і гравійному баласті з часом збільшується через забруднення баластового шару, а також погіршення стану шпал і може практично наблизитися до нормативного значення. Однак в окремих випадках

фактична провідність ізоляції внаслідок забруднення і поганого підрізування баласту, а також поганій дії дренажних споруджень підвищується до 2—2,5См/км. У деяких країнах (Японія, Данія й ін.) прийнята нормативна провідність ізоляції 0,625 См/км.

Для кіл тональної частоти до 2000 Гц приймаються загальні нормативні значення провідності ізоляції.

На первинні параметри рейкової лінії з залізобетонними шпалами впливають конструкція шпал і їхня арматура, структура і зміст бетону, конструкція кріплення рейки до шпали.

Для кріплення рейки до залізобетонних шпал застосовують три типи

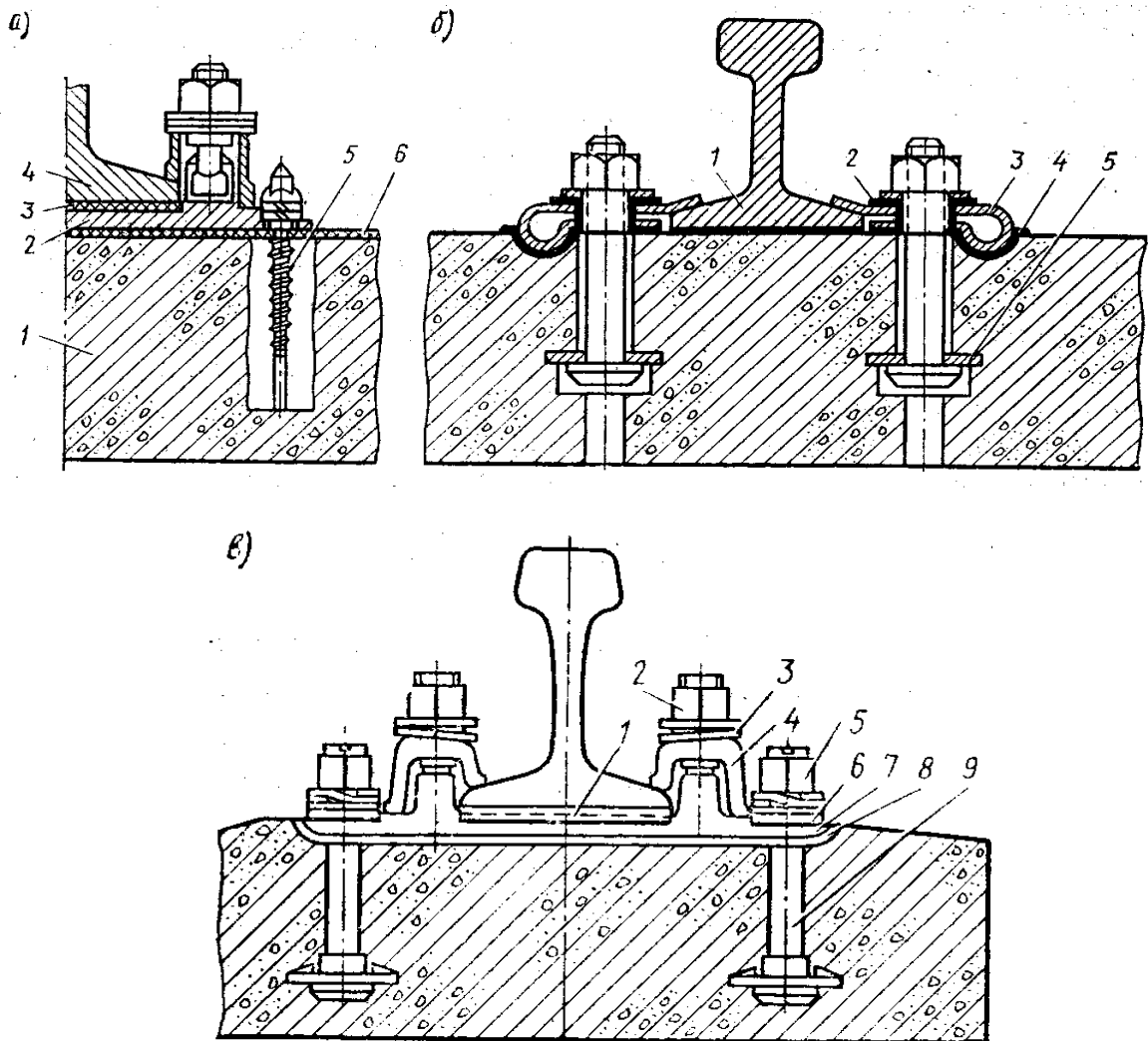


Рис.3.8. Типи рейкових кріплень

скріплення: ДО-2 з дерев'яним дюбелем, вкладеним при виготовленні шпали; ЖБ із закладним болтом і пружинною клемою; КБ із закладним болтом і твердою клемою. У скріпленні ДО-2 (рис. 3.8,а) для підвищення перехідного опору між залізобетонною шпалою 1 і рейкою 4 встановлюють дві бакелізовані дерев'яні підкладки 3 і 6: одну під подошву рейки, а іншу — під додаткову металеву підкладку 2, а також дерев'яний дюбель 5, просочений особливими маслянистими поїздами, що зменшують гігроскопічність деревини і підвищують її ізолюючої властивості. У скріпленні ДБ рейку ізолюють від поверхні шпали підрейкової / і підклемними 4 гумовими підкладками, на які спирається двошарова металева клема 3, а від болта текстолітовою ізолюючою втулкою 2. Крім того, заставна металева шайба 5 може бути покрита ізолюючими полімерними матеріалами.

Основу скріплення типу КБ (рис. 3.8, в) утворює металева підкладка 7, що прикріплюється до шпали болтом 9 із прямокутною головкою і гайкою 5. Болт 9 закладається в особливий отвір шпали й утримується в ній після повороту. Підкладка 7 ізолюється від шпали прокладкою 8, а болт ізолюється від підкладки 7 текстолітовою втулкою 6. Рейка кріпиться до підкладки металевою клемою 4 за допомогою гайки 2 і двовиткової шайби 3. Підкладка з пластику 1 зм'якшує механічний вплив рейки на шпалу і не служить для ізоляції.

Схема заміщення ізоляції нескінченно малого відрізка рейкової лінії на залізобетонних шпалах (рис.3.9, а) відрізняється від схеми при дерев'яних шпалах (див. рис. 3.7, а) наявністю додаткового шляху вгору витоку струму через залізну арматуру шпали. Опір цього шляху складають три комплексних опори: два опори перехідного шару Z_{ma} , що утворюються між бетоном шпали й арматурою, і опір арматури Z_a .

Електрохімічні процеси на границі розділу між арматурою шпали і бетоном загальмовуються за рахунок ущільнення бетону попередньо напруженою арматурою, завдяки чому зменшується воздухо- і

вологопроникність усередині шпали. Тому сума перехідних опорів $2 Z_{nc}$ виявляється значно більше опорів арматури Z_a .

Опір перехідного шару Z_{nc} істотно впливає на електричний опір шпали і визначається конструкцією кріплення рейки до шпали, тому при розрахунку опору ізоляції залізобетонних шпал у формулу потрібно підставляти замість активного опору r_y повний опір Z_y .

Для рейкових ліній із залізобетонними шпалами прийняті ті ж норми ізоляції, що і для ліній з дерев'яними шпалами. Однак робота кіл постійного струму з імпульсним живленням при залізобетонних шпалах значно ускладнюється через дію електрохімічного ефекту. По цій же причині через 5 — 6 років експлуатації шпал на ділянках з інтенсивним вантажним рухом через порушення графіків ремонту і поточного утримання колії провідність рейкових ліній на залізобетонних шпалах значно (у 1,5—2 рази) збільшується в порівнянні з нормативною.

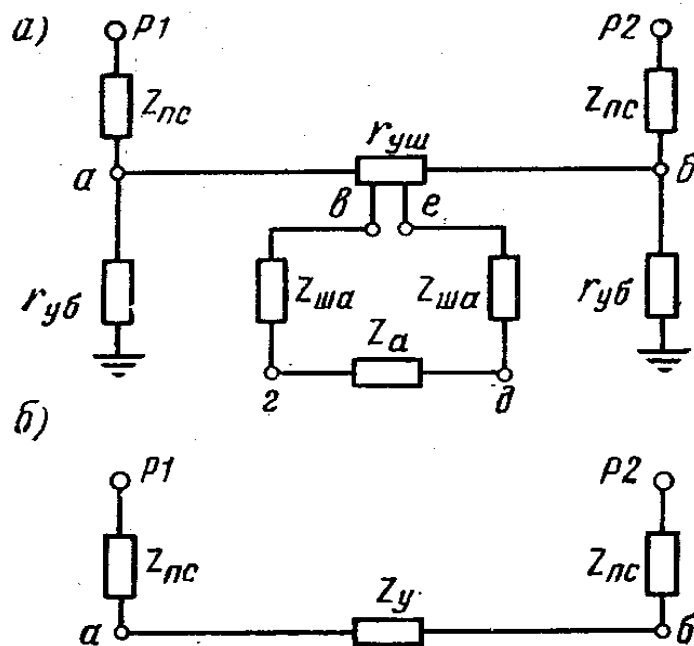


Рис.3.9.Спрощена схема заміщення ізоляції рейкового кола при залізобетонних шпалах.

Електрохімічний ефект у РК постійного струму виявляється у виді акумуляторного і гальванічного ефектів.

Акумуляторний ефект виражається в тім, що рейкова лінія, будучи відключеною від джерела струму, відносно тривалий час (до декількох хвилин) продовжує зберігати електричний заряд, під дією якого через колійний приймач продовжує протікати струм.

Гальванічний ефект виникає в результаті різниці електродних потенціалів рейок навіть у тому випадку, коли джерело струму взагалі не підключався до рейкової лінії. Значення і напрямок струму гальванічного ефекту визначаються значенням і знаком різниці потенціалів. Зовнішнє джерело живлення може подзаряджати або розряджати рейкове коло як своєрідний гальванічний елемент. У результаті спільної дії акумуляторного і гальванічного ефектів у першому випадку загальний струм електрохімічного ефекту буде збільшуватися, а в другому зменшуватися.

Інтенсивність електрохімічного ефекту виражається коефіцієнтом електрохімічного ефекту $K_{\text{эх}}$, що являє собою відношення струму електрохімічного ефекту $I_{\text{эх}}$ у період інтервалу сигнального струму (при імпульсному живленні РК) до сталого струму в період імпульсу струму $I_{\text{сy}}$.

$$K_{\text{эх}} = I_{\text{эх}} / I_{\text{сy}} \quad (3.11)$$

Максимальне значення $K_{\text{эх}}$ спостерігається в РК із залізобетонними шпалами ($K_{\text{эх max}} = 0,5 - 0,7$).

Найбільше значення струму електрохімічного ефекту виходить при великій вологості і високій температурі повітря, тобто в тих випадках, коли опір ізоляції рейкової лінії мінімально.

У РК із залізобетонними шпалами сильний електрохімічний ефект спостерігався неодноразово й у зимово-весняний період (лютий-березень) при великому різкому перепаді температури (уночі — 15°C , а ранком -15°C), коли на шпалах утворювався іній. Таке явище порозумівається пористою структурою бетону, при якій у тонких капілярах через дію електронів матеріалу їхніх стінок звичайна вода перетворюється в адсорбовану воду, що

володіє особливими фізичними властивостями з температурою замерзання — 80° С.

Найбільше значення псевдоємності, що характеризує активність електрохімічного ефекту при перемінному сигнальному струмі, з'являється в тих же умовах, що і максимум акумуляторного ефекту. Значення псевдоємності різко зменшується з підвищенням частоти. Так, якщо на частоті 50 Гц значення псевдоємності складає близько 5000 мкф/км, то при 25 Гц — тільки 700—900 мкф/км, а на частотах 5—10 кгц — кілька одиниць мікрофарад на кілометр. Модуль комплексу опору ізоляції з підвищенням частоти також трохи зменшується.

Для струму витоку в рейкових лініях маються три шляхи: шпали, баласт і земля. Тому в самому загальному виді опір ізоляції представляється еквівалентною схемою, зображеної на мал. 3.7, у якій $r_{и1}$ ($g_{и1}$) і $r_{и2}$ ($g_{и2}$) — перехідні опори (провідності) між відповідною рейкою і землею; $r_{и12}$ ($g_{и12}$) — перехідний опір (провідність) від рейки до рейки по шпалах і баластові.

У більшості випадків $r_{и1} = r_{и2}$, тобто рейкові лінії симетричні; при підключенні до одному з рейок опор контактної мережі $r_{и1} \Phi \Phi r_{и2}$, тому рейкова лінія стає несиметричною, тобто з'являється поперечна асиметрія неї.

Значення $r_{и12}$ залежить від якості і стану баласту, типу і стану шпал, а також товщини баластового шару.

Для обліку ступеня поперечної асиметрії вводиться коефіцієнт поверхневої провідності

$$m = r_{из} / r_{и12} = g_{и12} / g_{из} \quad (3.12)$$

де $g_{из}$ і $r_{из}$ - провідність і опір ізоляції між рейкою і землею при $r_{и1} = r_{и2}$.

Загальний опір і загальна провідність ізоляції (див. рис. 3.10):

$$\left. \begin{aligned} r_u &= \frac{r_{u12}(r_{u1} + r_{u2})}{r_{u1} + r_{u2} + r_{u12}} \\ g_u &= \frac{g_{u3}}{2} + g_{12} \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

З попереднього витікає:

$$g_{u3} = g \frac{2}{1+2m}, \text{ а } g_{12} = g \frac{2m}{1+2m} \quad (3.14)$$

Значення m для симетричних рейкових ліній було знайдено експериментально в реальних умовах і дорівнює: 9,1 — для залізобетонних шпал на щебеному баласті; 3,2 — для дерев'яних шпал на піщаному баласті; 1,8 — на дерев'яних шпалах і щебеному баласті.

З приведених даних випливає, що при залізобетонних шпалах основний витік струму в рейковій лінії відбувається по шпалах і верхньому шарі баласту. Це порозумівається низьким опором мокрого бетону і його пористою структурою, що сприяє сильного забруднення поверхні залізобетонних шпал.

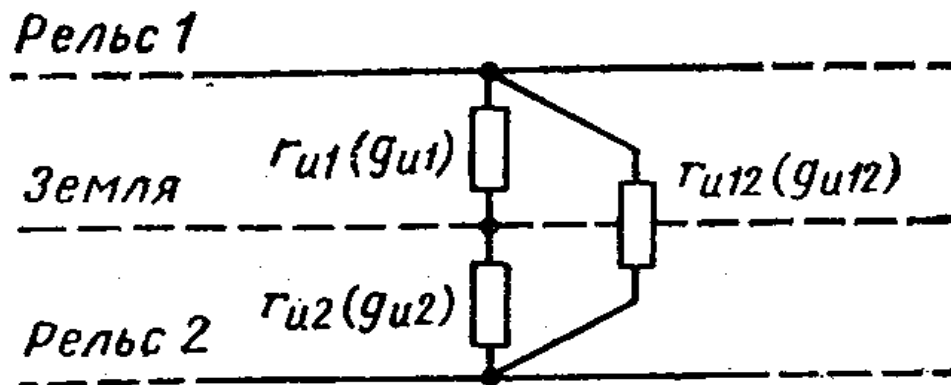


Рис.3.10.Схема заміщення елемента опору ізоляції рейкового кола.

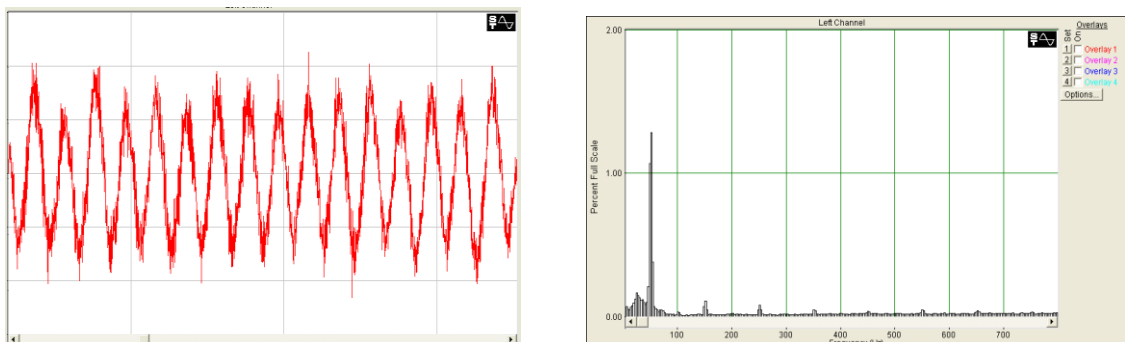
Електричний опір рейок значною мірою залежить від роду сигнального струму. На дорогах застосовується сигнальний струм частотою від 0 до 10 кГц. При протіканні по рейках постійного струму втрати потужності визначаються опором рейок і стикових з'єднувачів постійному струмові. При протіканні ж перемінного струму навколо й усередині рейки утвориться перемінне магнітне поле, у результаті чого з'являються додаткові активні опори через переміщення сталі і

прояву поверхневого ефекту, а також індуктивні опори, викликувані індуктивним зв'язком між рейками (зовнішня індуктивність) і наявністю магнітного потоку усередині рейки (внутрішня індуктивність).

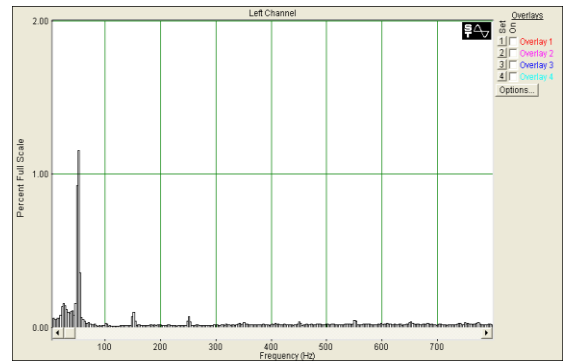
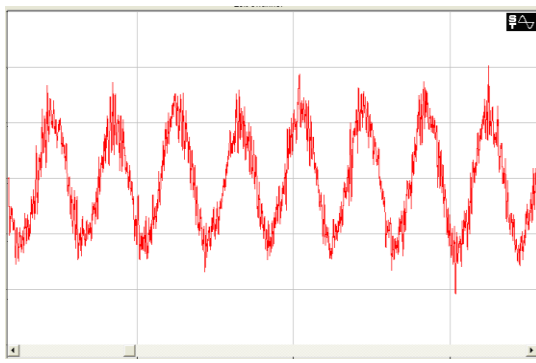
3.6. Експериментальне дослідження розповсюдження тягового струму від електропоїзду в рейках

Для проведення дослідження впливу завад тягового струму від локомотиву на пристрої залізничної автоматики необхідно мати інформацію про параметри завад, що генеруються електрообладнанням локомотиву. На рис. 3.11 наведено фрагменти первинних осцилограм тягового струму $i_L(t)$, записаних на локомотиві під час руху у наступних режимах: при наборі швидкості (під час руху з прискорення) при $v_{EL} \approx 15 \text{ км/год}$ та $v_{EL} \approx 50 \text{ км/год}$, при переході в режим рекуперативного гальмування і в процесі гальмування, а також спектральний склад тягового струму для цих режимів.

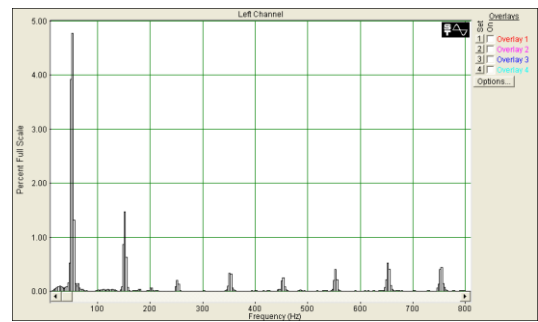
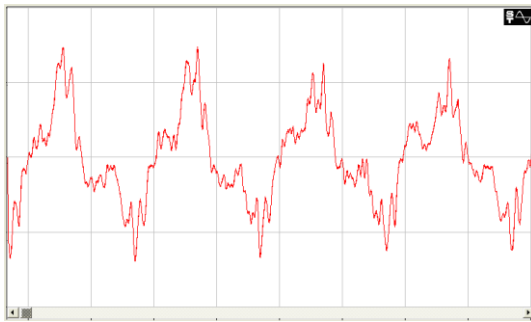
Для розрахунку ДПФ в роботі використано метод швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), реалізований у пакті Signal Processing Toolbox (Matlab).



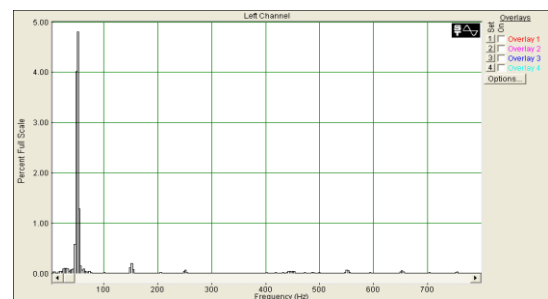
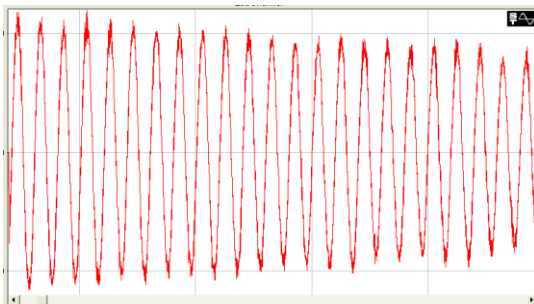
(a)



(b)



(c)



(d)

Рис. 3.11. Осцилограми і спектральний склад тягового струму локомотиву при наборі швидкості при (а), та при переході в режим рекуперативного гальмування (с) і в процесі гальмування (d).

На рис. 3.12 наведено часові залежності тягового струму, що виміряні на локомотиві $i_L(t)$, для слідуючих режимів руху локомотиву: набір швидкості (рух з прискоренням) при миттєвих значеннях швидкості $V_L = 35$ км/год і 65 км/год, в режимі тяги та в режимі рекуперативного гальмування. Часові залежності тягового струму локомотиву під час руху при

швидкості $V_L = 65$ км/год в силовому ланцюзі локомотиву та в рейковій лінії на відстані 100 та 500 м від локомотиву наведено на рис. 3.13. На рис. 3.12 та 3.14 представлено спектральний склад тягового струму в силовому ланцюзі локомотиву та в рейковій лінії на відстані 100 та 500 м від локомотиву, розраховані по часовим залежностям, наведеним на рис. 3.12 та 3.13.

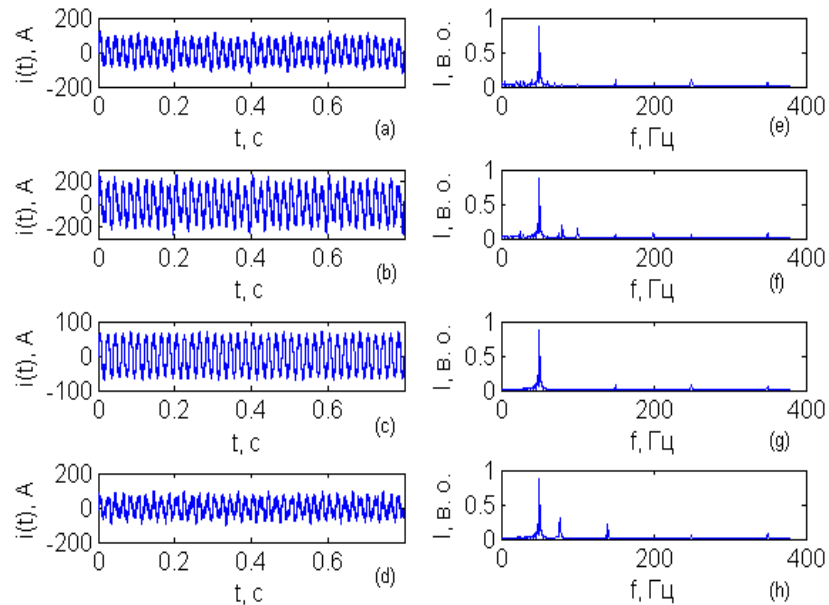


Рис. 3.12. Часові залежності тягового струму (a, b, c, d) та спектральний склад

(e, f, g, h) для режимів руху локомотиву: набір швидкості 35 км/год. (a, e), 65 км/год. (b, f), тяги (c, g), рекуперативного гальмування (d, h).

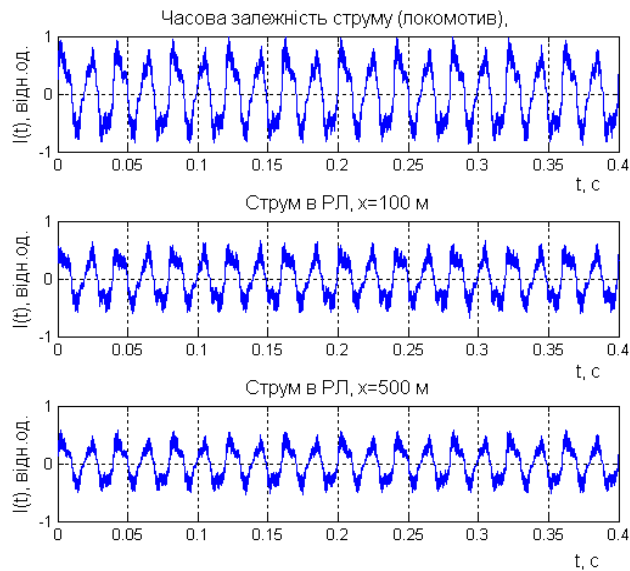


Рис. 3.13. Часові залежності тягового струму локомотиву при швидкості 65 км/год, виміряні на локомотиві та в РЛ на відстані 100 та 500 м від локомотиву

Таким чином, тяговий струм в процесі його каналізації по рейковій лінії та стіканні в землю з рейок значно зменшується за амплітудою, але його спектральний склад змінюється незначно. Зміни пов'язані, головним чином, із реактивною складовою повного опору тягової мережі, що приводить до частотних та фазових спотворень струму. Значних нових гармонійних завад в складі тягового струму при його розтікання в рейковій лінії не спостерігалось, що пояснюється майже лінійним характером параметрів зворотної тягової мережі в досліджуєму діапазоні амплітуд та частот.

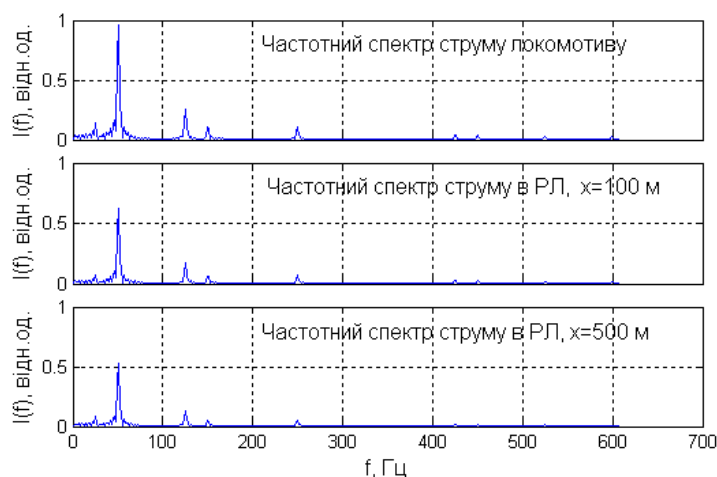


Рис. 3.14. Спектральний склад тягового струму при швидкості 65 км/год., виміряні на локомотиві та в РЛ на відстані 100 та 500 м від локомотиву

Таким чином при розробці моделі розповсюдження тягового струму від декількох локомотивів, що рухаються в межах фідерної зони, в якості граничних умов можна використовувати тяговий струм від кожного локомотиву, що втікає в рейкову лінію. Одержані експериментальні результати використано у наступному розділі для доведення адекватності розробленої моделі розтікання завад в РЛ.

Оскільки на роботу пристроїв СЦБ впливають електричні завади, що співпадають або близькі до частоти сигнальних струмів, при статистичному аналізі гармонік тягового струму приділяли увагу саме гармонікам з частотами, сигнального струму в РЛ: 25, 420, 480, 520, 729, 780, 4545, 5000, 5555 Гц.

Границі інтервалів частот були обрані відповідно до нормативних документів [57], виходячи з того, що попадання частоти завади в цей інтервал може викликати заважаючу або небезпечну відмову в роботі рейкових кіл. Граничні значення інтервалів наведено в табл. 2.2.

Статистичний аналіз провадили для кожної частоти на 50..100 вибірках. Розроблено програму в середовищі MatLab, на основі якої визначали спектральний склад тягового струму і амплітуди гармонік з частотами, що попадають в зазначені інтервали. Статистичний аналіз проводили з використанням Statistics Toolbox (MatLab). На рис. 2.9 наведено гістограми для діючого значення струму гармонійних завад з частотами 25 ± 6 Гц, 420 ± 6 Гц, 480 ± 6 Гц. Статистичну гіпотезу про нормальний закон розподілу значень діючого струму гармонійних завад перевірено по критерію χ^2 Пірсона на рівні значимості 0.05. Значення математичного очікування ефективного (діючого) струму і середньквдратичного відхилення для гармонійних завад з частотами, що попадають в заданий інтервал для майже

стаціонарних процесів наведено в табл. 3.2. На рис. 3.13 також наведено розраховані функції щільності розподілу ймовірностей струму завад.

4. ЗМЕНШЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ НА КАБЕЛІ ЗВ'ЯЗКУ

4.1. Захист кабельних ліній від небезпечного впливу електрифікованої залізниці редуційними трансформаторами

Цей спосіб захисту відноситься до пасивних способів, що зменшують вплив на кабельні лінії зв'язку за рахунок збільшення коефіцієнта екранування оболонки кабелю. Коефіцієнт екранування кабелю визначається виразом:

$$\underline{s}_{об} = \frac{R_{o-об}}{R_{o-об} + j\omega L_{o-об}} ; \quad (4.1)$$

і якщо збільшити індуктивний опір оболонки кабелю, то його екрануюча дія покращиться. Подібний захід здійснюється включенням в розрив кабельної лінії так званого редуційного трансформатора (рис. 4.1).

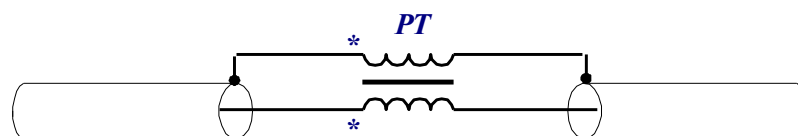


Рис 4.1. Редукційний трансформатор

Трансформатор по рис. 4.1 включений початками своїх обмоток в одну сторону, так що струм корисного сигналу протікає по його обмотках в протилежних напрямках, а наведений струм тече і по оболонці, і по жилі в одну сторону, так що в останньому варіанті в ланцюг наведеного струму виявляється включеним великий індуктивний опір трансформатора. Можна пояснити цей ефект і по-іншому: при протіканні по верхній обмотці трансформатора наведеного струму заземленої оболонки в нижній обмотці виникає напруга, яка протифазна наведеній напрузі контуру жила - земля. Формула дозволяє оцінити і внесок додаткової індуктивності в екранування:

$$\underline{z}_{об} = \frac{R_{o-об}}{R_{o-об} + j\omega L_{o-об} + j\omega L_{от}}; \quad (4.2)$$

Установка редукційних трансформаторів через 5-10 км знижує коефіцієнт екранування приблизно в десять разів.

4.2. Застосування розподільних трансформаторів

Розбиття двухпровідної лінії зв'язку на кілька гальванічних не пов'язаних ділянок за допомогою трансформаторів дозволяє знизити як небезпечні, так і заважають впливи на лінію зв'язку. Схему реалізації методу показано на рис. 4.2, на якій показано ділянку лінії зв'язку, розділену n трансформаторами. Очевидно, що небезпечні магнітні впливи тягової мережі знижуються в n раз відповідно до зменшення довжини окремих ділянок.

Оскільки розподільні трансформатори вносять додаткові фазові зрушення в напруги що наводяться, покращують симетрування ланцюга і відповідно знижують коефіцієнт чутливості, то знижуються і заважаючі впливи. З урахуванням розбросов фаз напруги, що наводяться на окремих ділянках, складають в квадратурі, тобто результуюча напруга шуму, наведена

до початку зображеної на рис. 4.3 ділянки, при нехтуванні загасанням уздовж ланцюга може бути записано так:

$$U_{ш\text{рез}} = \sqrt{U_{ш1}^2 + U_{ш2}^2 + \dots + U_{шn}^2} \approx U_{ш1} \sqrt{n}; \quad (4.3)$$

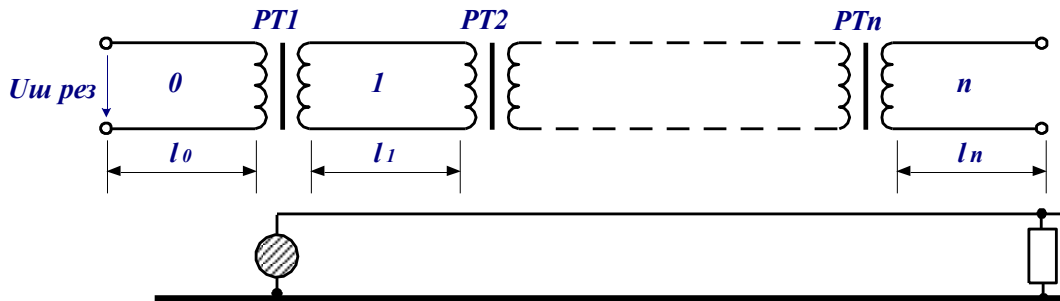


Рис. 4.2

якщо напруги що наведені на окремих ділянках близькі одна до одної за величиною. При відсутності трансформаторів наведені напруга пропорційні загальній довжині ділянки, тобто приблизно дорівнюють $U_{ш1} * n$, так що розділові трансформатори знижують напругу шуму приблизно в \sqrt{n} раз.

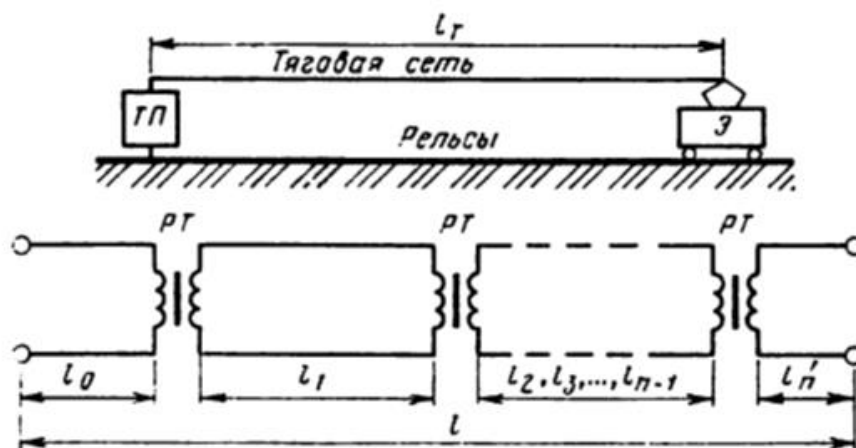


Рис. 4.3 Схема ланцюга зв'язку захищена від впливу тягової мережі розділовими трансформаторами

Заважаюча напруга $U_{ш\text{рез}}$ на початку (кінці) ланцюга зв'язку, що складається з n' ділянок, відділених одна від іншої ізолюючими трансформаторами (рис.4.3), мВ,

$$U_{\text{перз}} = \sqrt{U_{\text{ш1}}^2 e^{-2\alpha l_0} + U_{\text{ш2}}^2 e^{-2\alpha(l_0+l_1)} + \dots + U_{\text{шn}'}^2 e^{-2\alpha(l_0+l_1+\dots+l_{n'}-1)}} \quad (4.4)$$

$$U_{\text{перз}} = \sqrt{U_{\text{ш1}}^2 \cdot 10^{-0,1\alpha l_0} + U_{\text{ш2}}^2 \cdot 10^{-0,1\alpha(l_0+l_1)} + \dots + U_{\text{шn}'}^2 \cdot 10^{-0,1\alpha(l_0+l_1+\dots+l_{n'}-1)}} \quad (4.5)$$

де

$U_{\text{ш1}}, U_{\text{ш2}}, \dots, U_{\text{шn}'}$ - заважаюча напруга на початку (кінці) кожної ізолюваної ділянки кола;

α - коефіцієнт загасання двухпровідного ланцюга зв'язку на частоті, що визначає вплив, Нп/км у формулі (1) або дБ/км в формулі (2);

l_0 - довжина ділянки ланцюга зв'язку, який не піддається впливу тягової мережі і ізолюваного від решти ланцюга розділюючими трансформаторами РТ, км;

$l_1, l_2, \dots, l_{n'-1}$ - довжини складових ділянок ланцюга, схильних до впливу і відокремлених один від іншого трансформаторами РТ, км.

Заважаючий магнітний вплив на ланцюги проводового мовлення стороннього живлення. Заважаючі напруги від декількох плечей слід складати за квадратичним законом. Ефективне значення напруги перешкод в двухпровідному ланцюгу проводового мовлення на розрахунковій ділянці визначають за наведеними нижче формулами.

Якщо довжина ланцюга проводового мовлення l вкладається в межах впливаючого тягового плеча l_T , ефективна напруга перешкод, мВ,

$$U_T = 17,1 K_{\text{п}} M_{\text{ср}} S_{1130} \frac{l_0}{2} 10^6, \quad (4.6)$$

де

K_a - поправочний коефіцієнт, що залежить від виду ланцюга, питомої провідності землі (σ , См / м), ширини зближення (α , м) і кількість шляхів електрифікованої ділянки;

M_{cp} - середнє значення модуля взаємної індуктивності між двома однопровідними ланцюгами (впливаючими і схильними до впливу) на частоті 50 Гц. Гн / км;

S - результуючий коефіцієнт захисної дії на частоті 50 Гц;

n_{50} - коефіцієнт чутливості ланцюга проведеного мовлення до перешкод на частоті 50 Гц;

l_3 - довжина зближення лінії проведеного мовлення з тягової мережею, км.

При складній трасі зближення з n_j ділянками визначають середнє значення поправочного коефіцієнта:

$$K_{n\text{cp}} = \frac{\sum_{j=1}^n K_{n_j} l_{3j}}{\sum_{j=1}^n l_{3j}}, \quad (4.7)$$

де K_{n_j} - поправочний коефіцієнт на j -ій ділянці складного зближення.

Якщо довжина ланцюга проведеного мовлення l виходить за межі плеча живлення тягової мережі, причому відношення довжини впливаючого плеча l_3 , до довжини l менше або дорівнює 0,9 ефективна напруга перешкод, мВ.

4.3. Модифікований метод зменшення електромагнітного впливу з використанням розділюючого трансформатора.

Для компенсації електромагнітного впливу гармонік на сигнальний кабель СЦБ використовують кабелі з металевою оболонкою, що виконує функції екрану для жил кабелю. Але як показують результати розрахунків, а

також експериментальних вимірювань на діючих дільницях залізниці, завади від тягової мережі на жилах кабелю можуть перевищувати допустимі значення.

Для зменшення завад пропонують використовувати екрануючий провід, а також метод включення в розріз оболонки кабелю компенсуючих трансформаторів.

Недоліком останнього методу є то, що компенсація завад в жилах кабелю є не повною. Більш ефективно можна провадити компенсацію, відслідковуючи наведені тяговою мережею завади у жилах кабелю необхідно змінювати гармонійний склад компенсуючого струму по довжині лінії відповідно до струму завад в рейковій лінії. В роботі запропоновано такий регулюючий пристрій для компенсації завад в рейковій лінії [184]. За основу обрано використання екрануючого проводу [88, 89, 125, 157-159]. Суть розробленого компенсуючого пристрою зводиться до наступного. Пасивний екрануючий провід з'єднується із середніми точками дросель-трансформаторів безпосередньо або через ізолюючі трансформатори на відстані, що відповідає галузевими інструкціями. Активний ЕП під'єднується до рейкової лінії через регулюючі елементи. В запропонованому в роботі пристрої сигнал, пропорційний струму завади знімається з трансформатора, що включається у розріз броні кабелю.

Сигнал, пропорційний струму завад, через перетворювач подається на вхід регулюючого елементу РЕ, що змінює струм в екрануючому проводі за критерієм максимальної компенсації струму завад на вході колійного приймача.

На ефективність екранування струму, що наводиться в кабелі впливає висота підвису екрануючого проводу. Для визначення раціональної висоти підвису проведено моделювання. Результати моделювання приведені на рис. 3.3 у вигляді залежності коефіцієнта ослаблення наведеного струму в кабелі

K_{os} від висоти підвісу ЕП h_e та від питомої провідності землі S_g при відстані кабелю від колії 10 м.

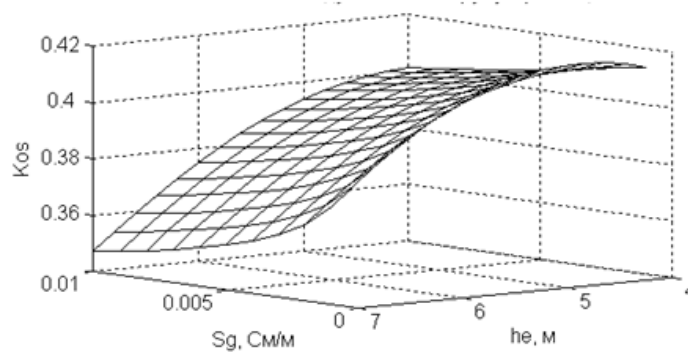


Рисунок 4.4 - Залежність коефіцієнта ослаблення наведеного струму в кабелі K_{os} від висоти підвісу ЕП h_e та від питомої провідності землі S_g при відстані кабелю від колії 10 м.

4.4. Висновки за розділом

В даному розділі розглядається захист кабельних ліній від небезпечного впливу електрифікованої залізниці редуційними трансформаторами. Цей спосіб захисту відноситься до пасивних способів, що зменшують вплив на кабельні лінії зв'язку за рахунок збільшення коефіцієнта екранування оболонки кабелю.

Також розглядається застосування розподільних трансформаторів. Оскільки розподільні трансформатори вносять додаткові фазові зрушення в напруги що наводяться, покращують симетрування ланцюга і відповідно знижують коефіцієнт чутливості, то знижуються і заважаючі впливи.

Для компенсації електромагнітного впливу гармонік на сигнальний кабель СЦБ використовують кабелі з металевією оболонкою, що виконує функції екрану для жил кабелю. Для зменшення завад пропонують

використовувати екрануючий провід, а також метод включення в розріз оболонки кабелю компенсуючих трансформаторів. На ефективність екранування струму, що наводиться в кабелі впливає також висота підвісу екрануючого проводу.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішено задачу підвищення достовірності передачі даних в лініях зв'язку шляхом зменшення впливу завад тягової мережі.

На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

- аналіз впливу тягового струму лінії зв'язку показав, що внаслідок зростання маси і швидкості руху поїздів, що спостерігається останнім часом, збільшення тягового струму і, відповідно, збільшення електромагнітного поля, що утворюється навколо тягової мережі, а також застосування електровозів і електропоїздів з імпульсними перетворювачами електричної енергії викликає значні спотворення струмів і напруг в тяговій мережі і, відповідно, появу в тяговому струмі змінних складових (пульсацій) в тональному діапазоні частот, що викликають появу значних завад у лініях зв'язку.

- проведене моделювання і розрахунки напруги показали, що напруга на оболонці і на жилах кабелю у примусовому режимі і режимі КЗ перевищує допустимі значення; ці результати підтверджуються експериментальними вимірюваннями.

- на основі аналізу існуючих методів захисту кабелів від електромагнітного впливу, розроблено метод активного захисту кабелю зв'язку від електромагнітного впливу;

- визначено залежність коефіцієнта ослаблення наведеного струму в кабелі від висоти підвісу ЕП та від питомої провідності землі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Антонов А.А., Кравцов Ю.А., Щербина О.Г. Методика дослідження електромагнітної сумісності ЕРС з імпульсним регулюванням і рейкових кіл // Удосконалення систем залізничної автоматики і телемеханіки: зб. науч. праць каф. «Автоматика і телемеханіка на залізничному транспорті» РГО ТУ П С / Під. ред. А.В. Горелика. - М .: РГОТУПС М ПС РФ, 2003. - С. 89 - 92.
2. Бадьора М.П. Електромагнітна сумісність: Посіб. для вузів ж.д. трансп. - М .: УМК адміністрації залізничного транспорту України. 2002. - 637 с.
3. Благовіщенський Д.В. Електромагнітна сумісність: Підруч. посібник. - СПб., 1999. – 81 с.
4. Валентин Андрійович Брилеєв А. М., Кравцов Ю .А., Шішляков А.В. Теорія, пристрій і робота рейкових ланцюгів. - М .: Транспорт. 1978. – 344 с.
5. Бялонь А. Забезпечення електромагнітної сумісності електрорухомого складу постійного струму нового покоління з пристроями залізничної автоматики в умовах польських залізниць: дис. канд. техн. наук. - М.. 2001. – 30 с.
6. Валтонен П. Жулев П.Н. Янов В.П. Електровоз з асинхронними двигунами // Залізничний транспорт. - 1986. - № 11. - С. 37 - 40.
7. Власов І.І. Контактна мережа. Підручник для вузів ж.-д. трансп., 2-е вид. і доп. - М .: Трансзалдорігдат, 1961. - 332 с.
8. Грищенко А.В. Стрекопитов В.В. Електричок машини і перетворювачі рухомого складу: Підручник для студ. установ середовищ, проф. освіти - М .: Видавничий центр "Академія", 2005. - 320 с.
9. Леонов А.А. Технічне обслуговування автоматичної локомотивної сигналізації. - 5-е вид., Перероб. і доп. - VI. Транспорт, 1982. - 255 с.