

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

САЯПНА ІННА ОЛЕКСАНДРІВНА



УДК 656.259.12 : 004.032.26

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ
ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електротехніки та електричних машин Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Панченко Сергій Володимирович,
Український державний університет залізничного транспорту, ректор.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Фурман Ілля Олександрович,
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, професор кафедри;

кандидат технічних наук, доцент
Маловічко Володимир Володимирович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра автоматики, телемеханіки та зв'язку, доцент кафедри.

Захист відбудеться “30” червня 2017 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розіслано “ ____ ” травня 2017 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



А. В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Робота автоматизованих систем керування рухом поїздів, що відповідають за безпеку та ефективність перевізного процесу, значною мірою залежить від справної роботи первинних елементів контролю вільності блок-ділянок і цілісності рейкових ниток. Серед них перспективними є тональні рейкові кола (ТРК), що мають ряд переваг: відсутність ізолюючих стиків, які є одними з найненадійніших елементів рейкового кола (РК); виключення необхідності у встановленні дросель-трансформаторів; можливість живлення двох суміжних РК від одного загального джерела та ін. Але їх робота відбувається в складних умовах впливу безлічі завад, які виникають через вплив несиметричної за параметрами тягової мережі, що передає енергію з несинусоїдальними змінними або пульсуючими постійними напругами і струмами, протікання зворотного тягового струму по рейковій лінії (РЛ) з асиметрією параметрів, появу додаткових гармонійних складових тягового струму при рекуперативному гальмуванні і тиристорному імпульсному регулюванні тягових двигунів. Крім того, можливі впливи імпульсних завад, що виникають при грозових розрядах, аварійних і комутаційних процесах у мережах електропостачання та в контактній мережі. Останнім часом у зв'язку з впровадженням нових типів електрорухомого складу з перспективними видами тягових перетворювачів безпечна робота ТРК ускладнюється, зважаючи на завади в діапазоні робочих частот ТРК. Електрифіковані залізниці, що призначені для швидкісного руху, є джерелом потужних електромагнітних завад, які впливають на апаратуру ТРК. Все це викликає відмови в роботі ТРК, що тягне за собою простой поїздів і дорожньо-транспортні пригоди за участю людей, вантажів і технічних засобів.

Завадостійкість – це здатність системи протистояти впливу завад, що заважає. Подальше вдосконалення тональних рейкових кіл можливо завдяки переходу на нову елементну базу, яка дозволяє реалізувати більш досконалі методи обробки сигналу, знизити ймовірність помилки, підвищити селективність і завадостійкість колійного приймача. Однак існуючі методи не дозволяють повністю виключити факт впливу завад на приймальну апаратуру ТРК, тому удосконалення методів і засобів підвищення завадостійкості є актуальним науковим завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі електротехніки та електричних машин Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) згідно з Державною цільовою програмою реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки (Постанова Кабінету Міністрів України № 1390 від 16.12.2009 р.) і Стратегією розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.01.2009 р. №1555-р. Автор є виконавцем науково-дослідної роботи "Дослідження та розробка методів автоматизованого керування рухомим складом залізничного транспорту" (номер держреєстрації 0111U002240).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є вирішення наукового завдання вдосконалення методів та засобів підвищення завадостійкості ТРК. Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати чинники, що негативно впливають на роботу ТРК, та існуючі підходи щодо підвищення безпеки систем на основі ТРК, що дозволить виділити актуальний напрямок подальшого удосконалення ТРК в рамках розвитку залізниць України;

- розробити метод підвищення завадостійкості ТРК для зменшення впливу негативних чинників на його роботу;

- розробити метод адаптивного керування пристроєм підвищення завадостійкості ТРК для налаштування захисного часового інтервалу колійного приймача;

- удосконалити пристрій приймання амплітудно-маніпульованих сигналів ТРК, що дозволить захистити колійний приймач від вузькосмугових завад;

- удосконалити імітаційну модель ТРК для дослідження характеру розповсюдження інформаційних сигналів у його тракті передачі при різних умовах експлуатації;

- провести техніко-економічну оцінку впровадження результатів дисертаційної роботи.

Об'єкт дослідження – процес поширення інформаційних сигналів в ТРК.

Предмет дослідження – методи та засоби підвищення завадостійкості роботи колійного приймача ТРК.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої в роботі мети було використано наступні методи: для розроблення моделі ТРК і перевірки її на адекватність – закони електротехніки, теорії електричних кіл, теорія матриць, теорія чотиріполюсників, чисельні методи, метод програмного моделювання, методи математичної статистики; для створення моделей завад, що впливають на роботу ТРК, – метод гармонійного аналізу, перетворення Фур'є і програмне моделювання; для розроблення та наукового обґрунтування методу підвищення завадостійкості та ефективності роботи ТРК – закони електротехніки, а також програмне моделювання; для формування моделі завадостійкої ТРК – теорія нейронних мереж, теорія матриць, методи цифрової обробки сигналів, прикладної статистики, методи оптимізації (Левенберга-Марквардта і Гаусса-Ньютона).

Наукова новизна одержаних результатів роботи полягає у вирішенні наукового завдання удосконалення тонального рейкового кола за рахунок підвищення його завадостійкості.

Вперше розроблено:

- метод підвищення завадостійкості тонального рейкового кола, який дозволяє зменшити вплив завад на колійний приймач в інтервалах між імпульсами інформаційного сигналу;

- метод адаптивного керування пристроєм підвищення завадостійкості тонального рейкового кола, який коригує величину затримки сигналу залежно від умов роботи тонального рейкового кола, що дозволяє підвищити точність налаштування захисного часового інтервалу колійного приймача.

Удосконалено:

- метод приймання амплітудно-маніпульованих сигналів тонального рейкового кола, який, на відміну від існуючих, дозволяє підвищити завадостійкість колійного приймача від вузькосмугових завад.

Знайшла подальший розвиток:

- імітаційна модель тонального рейкового кола, яка, на відміну від існуючих, дає можливість досліджувати характер розповсюдження інформаційних сигналів у тракці передачі при різних умовах експлуатації і оцінити їх часові залежності.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані методи підвищення завадостійкості ТРК можуть бути впроваджені на діючих ділянках залізниць України, обладнаних ТРК з централізованим розміщенням обладнання без істотних змін у конструкції апаратури. Вони дозволять підвищити завадостійкість колійного приймача та нададуть можливість зменшити кількість відмов ТРК, що викликані впливом завад на колійний приймач, у результаті чого зменшаться експлуатаційні витрати, пов'язані з простоєм поїздів, а також дорожньо-транспортними пригодами за участю людей, вантажів і технічних засобів.

Результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі кафедри електротехніки та електричних машин, кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, а також Навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів УкрДУЗТ при підготовці фахівців служб сигналізації та зв'язку.

Основні результати роботи передані для впровадження до регіональної філії "Південна залізниця" ПАТ "Укрзалізниця", що підтверджується відповідними актами впровадження, які наведені в додатках до дисертаційної роботи. Їх впровадження дає можливість підвищити завадостійкість колійного приймача ТРК і, як наслідок, безпеку процесу перевезень, зменшити кількість відмов, розмір експлуатаційних витрат і попередити аварії й втрати вантажів.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати теоретичних та експериментальних досліджень, що наведені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто і проводились в УкрДУЗТ. За час роботи над дисертацією опубліковано 22 наукові праці, у яких відображено основні результати дисертації, з яких 15 – одноосібно, а 7 – у співавторстві, де автору належить: у статті [1] – визначення особливостей, переваг і недоліків сучасних систем регулювання рухом поїздів; у статті [3] – створення імітаційної моделі завадостійкого тонального рейкового кола, а також отримання результатів моделювання; у [4] – формування основних методологічних підходів до побудови структури рейкового кола; у [9] – визначення основних принципів побудови нейромережевої моделі; у [10] – формування ряду основних принципів, які покладено в основу пристрою приймання сигналу з рейкового кола; у [11] – визначення підходів до формування моделі рейкового кола; у [12] – розгляд особливостей методів і засобів контролю технічного стану ТРК. Усі публікації задовольняють вимогам МОН України.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися і обговорювалися на 24, 25 міжнародних науково-практичних конференціях "Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізниць України" (2011, 2012, Алушта); 27, 28, 29 міжнародних науково-практичних конференціях "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (2014, 2015, Харків, 2016, Чорноморськ); II-й міжнародній науково-практичній конференції "Людина, суспільство, комунікативні технології" (2013, Червоний Лиман); 74, 75, 76, 77 і 78 міжнародних науково-технічних конференціях

"Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті" (2012, 2013, 2014, 2015 і 2016, Харків).

Дисертацію в повному обсязі розглянуто і схвалено на розширеному засіданні кафедри електротехніки та електричних машин Українського державного університету залізничного транспорту.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 22 наукові праці, у тому числі 8 наукових статей (з них 5 – без співавторів) у фахових виданнях, затверджених МОН України, з яких 5 включені до міжнародних наукометричних баз, 2 патенти на винахід, 1 патент на корисну модель та 11 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і дев'яти додатків.

Повний обсяг роботи становить 208 сторінок, з яких обсяг основного тексту – 123 сторінки. Робота містить 54 рисунки за текстом, 2 рисунки на окремій сторінці, 21 таблицю за текстом та 1 таблицю на окремій сторінці. Список використаних джерел містить 123 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання дослідження, відображено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, методи дослідження, особистий внесок здобувача, відомості про публікації, структуру та обсяг дисертації.

Перший розділ присвячено аналізу основних чинників, що негативно впливають на роботу ТРК, та існуючих підходів щодо зменшення даних впливів і підвищення завадостійкості ТРК.

Вагомий внесок у процес дослідження та удосконалення роботи систем залізничної автоматики зробили такі вчені, як Аркатов В.С., Бабаєв М.М., Бойник А.Б., Брилеєв А.М., Гаврилюк В.І., Дмитрієв В.С., Жуковицький І.В., Котляренко М.Ф., Кравцов Ю.А., Лисенков В.М., Мойсеєнко В.І., Панченко С.В., Переборов А.С., Разгонов А.П., Сапожніков В.В., Соколов Ю.В., Степенський Б.М., Шишляков А.В., Aknin P., Oukhellou L., Weston P. та ін.

Відомо, що близько 20 % відмов систем СЦБ становлять відмови РК. Основним проблемним елементом у них є ізолюючі стики (~29 % відмов РК) і стикові з'єднувачі (~18 % відмов РК). Важливою перевагою використання ТРК є відсутність цього ненадійного елемента. Окрім ізолюючих стиків, відмови часто виникають через закорочування ТРК (~16 %), злам рейки та вплив сторонніх завад (~12 %), що порушує нормальну роботу режимів ТРК і може призвести до аварій.

Подальше погіршення електромагнітної сумісності внаслідок збільшення кількості чинників, що негативно впливають на умови роботи ТРК, поява завад у робочому діапазоні частот при впровадженні перспективного електрорухомого складу потребує подальших заходів щодо захисту ТРК від завад.

Другий розділ присвячено дослідженню характеру розповсюдження сигналів у тракті передачі ТРК (рис. 1).

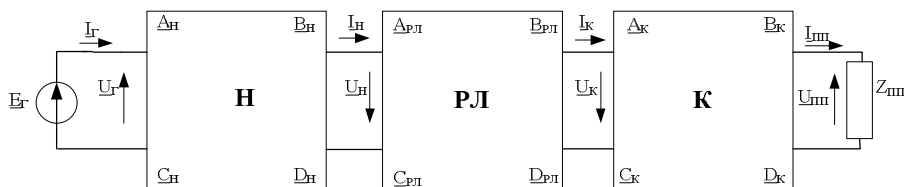


Рис. 1. Загальна схема заміщення рейкового кола

На рис. 1 основні структурні елементи схеми представлені у вигляді чотириполіусників: РЛ – чотириполіусник, що являє собою рейкову лінію, Н – апаратура живлячого кінця, К – апаратура приймального кінця, $\underline{E}_Г$ – коливний генератор, що виробляє сигнальний струм, $Z_{ПП}$ – комплексний опір, еквівалентний опору коливного приймача (КП). Кожен з чотириполіусників характеризується комплексними параметрами А, В, С і D, які є коефіцієнтами рівнянь, що пов'язують вхідні та вихідні напруги й струми:

$$\begin{vmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{I}_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{A}_{PK} & \underline{B}_{PK} \\ \underline{C}_{PK} & \underline{D}_{PK} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 \end{vmatrix}, \quad (1)$$

де $\underline{I}_1, \underline{U}_1$ – струм і напруга на вході РК;
 \underline{I}_2 та \underline{U}_2 – струм і напруга на виході РК;
 $\underline{A}_{PK}, \underline{B}_{PK}, \underline{C}_{PK}, \underline{D}_{PK}$ – коефіцієнти узагальненого чотириполіусника,

$$\begin{vmatrix} \underline{A}_{PK} & \underline{B}_{PK} \\ \underline{C}_{PK} & \underline{D}_{PK} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \underline{A}_H & \underline{B}_H \\ \underline{C}_H & \underline{D}_H \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \underline{A}_{PL} & \underline{B}_{PL} \\ \underline{C}_{PL} & \underline{D}_{PL} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \underline{A}_K & \underline{B}_K \\ \underline{C}_K & \underline{D}_K \end{vmatrix} \quad (2)$$

де $\underline{A}_H, \underline{B}_H, \underline{C}_H, \underline{D}_H$ – коефіцієнти чотириполіусника живлячого кінця РК;
 $\underline{A}_{PL}, \underline{B}_{PL}, \underline{C}_{PL}, \underline{D}_{PL}$ – коефіцієнти чотириполіусника РЛ;
 $\underline{A}_K, \underline{B}_K, \underline{C}_K, \underline{D}_K$ – коефіцієнти чотириполіусника релейного кінця РК.

За допомогою імітаційної моделі ТРК, побудованої у програмі Mathcad, проведено моделювання роботи ТРК при змінних значеннях його довжини ℓ_{PK} , частоти сигнального струму f_n та опору ізоляції R_{i3} . Проаналізовано зміну фази і часу затримки сигналу контролю стану ТРК при його розповсюдженні вздовж тракту передачі від коливного генератора до коливного приймача (рис. 2-5).

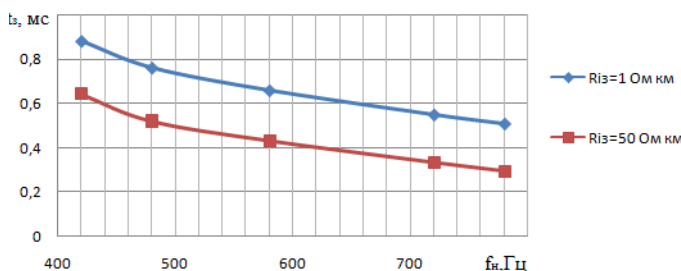


Рис. 2. Залежність часу затримки сигналу від його несучої частоти

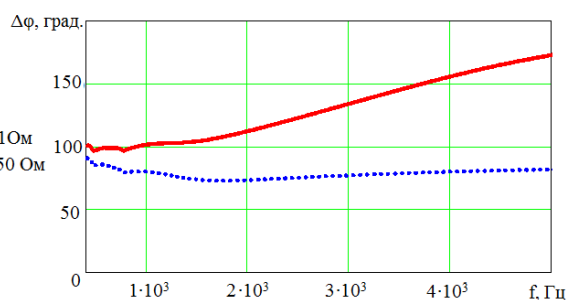


Рис. 3. Залежність зміни фази сигналу від несучої частоти при довжині РК 0,5км

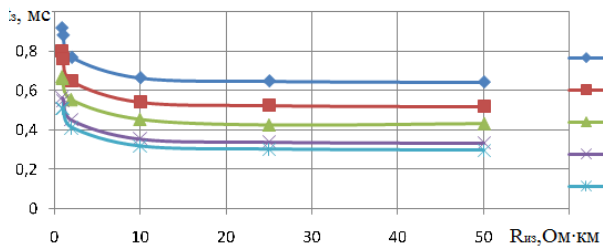


Рис. 4. Залежність часу затримки сигналу від опору баласту

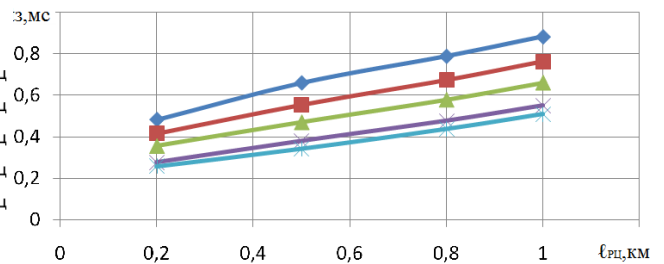


Рис. 5. Залежність часу затримки сигналу від довжини РК

За результатами розрахунків встановлено, що мінімальний час затримки сигналу 0,246 мс відповідає сигналу з частотою 780 Гц при довжині РК 0,2 км та опорі ізоляції 50 Ом. Максимальний час затримки 0,927 мс відповідає сигналу з частотою 420 Гц при довжині РК 1 км та опорі ізоляції 0,85 Ом.

Для аналізу впливу параметрів ТРК на рівень сигналу на вході колійного приймача розроблено імітаційну модель роботи ТРК, яка реалізована у програмному додатку Simulink (рис. 6). На основі розробленої моделі досліджено напругу сигналу на вході КП при зміні опорів ізоляції РЛ, а також при накладанні на рейки поїзного шунта (рис. 7).

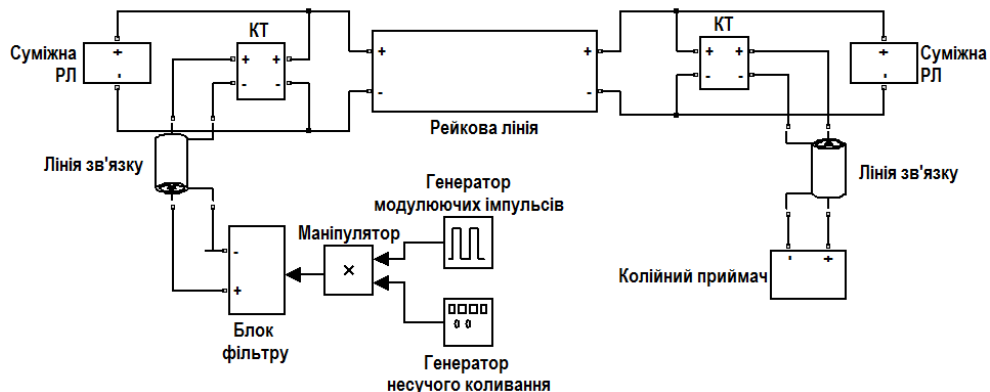


Рис.6. Модель тракту передачі сигналу ТРК

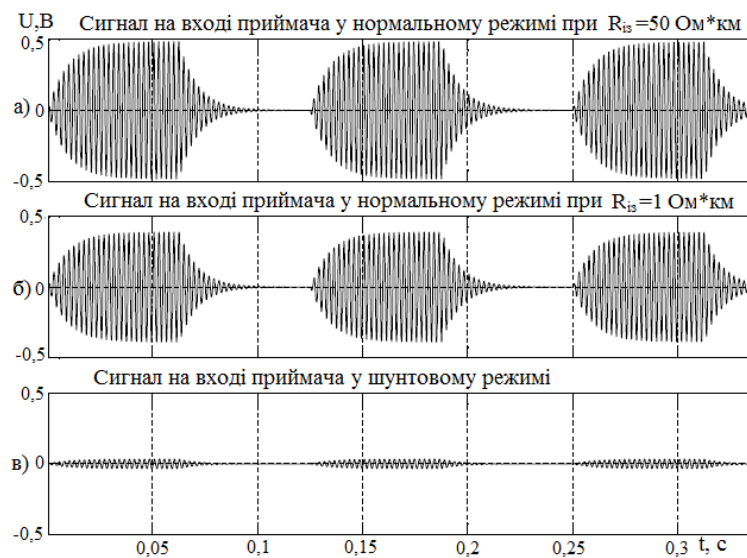


Рис. 7. Напруга на вході колійного приймача ТРК

Результати моделювання показують, що при зменшенні опору ізоляції РЛ з 50 Ом·км до 1 Ом·км рівень сигналу на вході КП зменшується на 22 %, а при накладанні поїзного шунта – на 93 % порівняно з сигналом на вході КП за відсутності поїзного шунта. Розроблена імітаційна модель тракту передачі ТРК дозволяє дослідити вплив налаштувань колійного генератора (частоти несучого коливання, частоти модуляції, значення напруги сигналу), апаратури живлячого й релейного кінців, параметрів кабельної і рейкової ліній на характеристики та рівень сигналу на вході КП, а також в інших точках тракту передачі.

Зважаючи на важливість надійної роботи рейкових кіл і її вплив на безпеку процесу перевезень, модель, що розробляється, була перевірена на адекватність реальному зразку. Для розробленої моделі було проведено ряд вимірювань значень напруги на вході колійного приймача залежно від довжини РЛ. Середньоквадратична помилка моделювання склала

$$mse = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - x_{2i})^2}{n} = 0,7 \cdot 10^{-3}. \quad (3)$$

Для перевірки відповідності отриманих емпіричних даних теоретичним даним, наведеним у довідковій літературі, був застосований U-критерій Манна-Уїтні

$$u_{емп} = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_x(n_x + 1)}{2} - T_x, \quad (4)$$

де n_1 – об'єм вибірки емпіричних даних;
 n_2 – об'єм вибірки теоретичних даних;
 n_x – об'єм найбільшої вибірки;
 T_x – найбільша рангова сума.

Значення $u_{емп}=47$ перевищує критичне значення $u_{кр}(\alpha=0,05)=23$, тобто відмінності між значеннями напруг на вході колійного приймача у двох вибірках можна вважати несуттєвими. Для додаткової перевірки за допомогою параметричних статистичних критеріїв Фішера та Стьюдента вибірки були перевірені на відповідність закону нормального розподілу. Отримане значення за критерієм Фішера

$$F_{ЕМП} = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad (5)$$

$F_{ЕМП} = 1,31$ є меншим за критичне значення $F_{кр}(p = 0,05) = 3,18$, що підтверджує гіпотезу про схожість дисперсій вибірок. Оскільки обидві вибірки належать до нормального розподілу та критерій Фішера виконується, то за допомогою t-критерію Стьюдента перевірити гіпотезу про схожість генеральних середніх обох вибірок можна, використавши t-критерій Стьюдента. Порівняння отриманого значення критерію Стьюдента $t = 0,387$ з критичним значенням при рівні значущості

$\alpha=0,05 - t_{кр}=2,093 > 0,387$ – підтверджує гіпотезу про несуттєвість розходжень між вибірками. Таким чином, адекватність моделі доведена за допомогою критеріїв Стьюдента, Фішера та Манна-Уїтні.

Третій розділ присвячено розробленню імітаційної моделі тракту передачі ТРК з можливістю аналізу впливу асиметрії тягового струму, імпульсних і флуктуаційних завад на його роботу, а також моделюванню запропонованого методу підвищення завадостійкості ТРК.

Розроблено метод підвищення завадостійкості ТРК, який дозволяє захистити колійний приймач від помилкового спрацьовування через вплив завад в інтервалах між імпульсами кодової послідовності контролю стану ТРК. Підвищення завадостійкості РК досягається завдяки введенню до його складу регульованої лінії затримки, генератора одиночного імпульсу (ГОІ) і керованого електронного ключа. При цьому довжина імпульсу, який формує ГОІ, може регулюватися. Для дослідження роботи запропонованого методу розроблено імітаційну модель тракту ТРК з пристроєм підвищення завадостійкості (рис. 8). Також удосконалено відомий метод приймання амплітудно-маніпульованих сигналів ТРК, який реалізовано за допомогою пристрою приймання амплітудно-маніпульованого сигналу, блоків спектральної (БСО) і нелінійної (БНО) обробки сигналу, електронного ключа, що керується, і підсилювача (рис. 8). Виділений пристроєм приймання амплітудно-маніпульований сигнал одночасно надходить у БНО і БСО. БНО відповідає за рішення про стан рейкової лінії, а БСО аналізує спектральні складові прийнятого сигналу на відповідність сигналу контролю РЛ. У блоці суматора виконується логічне множення двох сигналів і результат надходить до центрального керуючого процесора (ЦП).

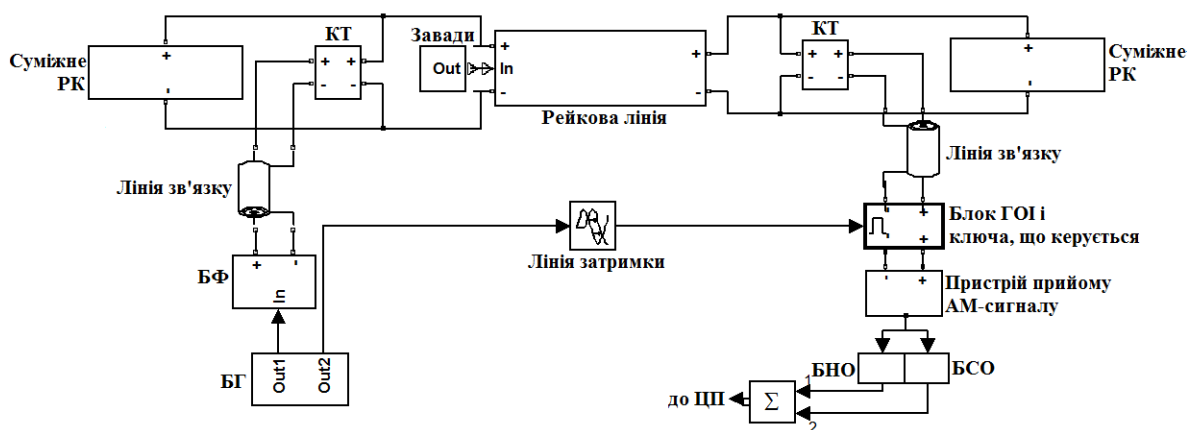


Рис. 8. Модель рейкового кола з пристроєм підвищення завадостійкості: БГ – блок генератора, БФ – блок фільтра, КТ – колійний трансформатор, БНО – блок нелінійної обробки сигналу, БСО – блок спектральної обробки сигналу

З метою зменшення громіздкості моделі вона реалізована у вигляді блоків. До апаратури живлячого кінця імітаційної моделі ТРК входить блок генератора, блок фільтра, кабельна лінія та колійний трансформатор. Блок колійного генератора в моделі складається з трьох функціональних блоків: генератора несучої частоти, генератора імпульсів і маніпулятора. Внаслідок маніпуляції вихідний сигнал може приймати один з двох варіантів:

$$u_{\text{АМн1}}(t) = U_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \text{ або } u_{\text{АМн2}}(t) = 0, \quad (6)$$

де U_m – амплітуда сигналу;
 ω_0 – його кутова частота;
 φ_0 – початкова фаза.

До блока фільтра, окрім колійного фільтра, також входить конденсатор, що розділяє, і кабельний резистор. Блок колійного трансформатора, окрім самого трансформатора, містить захисний резистор. Для імітаційного моделювання рейкової лінії використано блок, що імітує роботу лінії з розподіленими параметрами, задано її первинні параметри і довжину.

При електротязі змінного струму основні завади викликані струмом основної гармоніки частотою 50 Гц. Внаслідок роботи випрямних пристроїв локомотива спотворюється форма кривої струму, що призводить до виникнення гармонійних складових більш високого порядку. Вплив тягового струму на апаратуру ТРК на ділянці, електрифікованій змінним струмом у режимі тяги або рекуперації, описується виразом

$$U_{\text{зав}} = \sum_{i=1}^k a_i(t), \quad (7)$$

де $U_{\text{зав}}$ – сигнал завади;
 a_i – сигнал i -тої гармоніки з урахуванням коефіцієнта асиметрії РЛ для даної частоти;
 k – загальна кількість гармонік.

При визначенні впливу, що створюється зворотним тяговим струмом на ділянці, електрифікованій постійним струмом, враховано можливість впливу завад внаслідок пробією конденсатора в одному з резонансних контурів і виходу з ладу всіх контурів фільтра, що згладжує, асиметрії фазних напруг трифазного змінного струму; несправності випрямних агрегатів. Даний вплив теж описується виразом (7), але частоти гармонік при його розрахунку будуть відрізнятися відповідно до частотних складових завад. При дослідженні впливу флуктуаційних завад на ТРК завада представлена білим шумом із відомим математичним очікуванням, дисперсією і початковими умовами формування послідовності миттєвих значень завади. Проведено імітаційне моделювання з метою дослідження завади, яка є результатом впливу асиметрії тягового струму, флуктуаційних і імпульсних завад і впливає на приймальну апаратуру ТРК, електрифікованого постійним (рис. 9) і змінним (рис. 10) струмом при коефіцієнті асиметрії 4 %.

Результати моделювання показують, що при одночасному впливі на рейкове коло декількох адитивних завад результуюча завада може досягти високого рівня, а відношення сигнал/завада досягає -3,5 дБ.

Запропонований метод підвищення завадостійкості реалізований в імітаційній моделі таким чином. Колійний генератор формує амплітудно-маніпульований сигнал контролю стану РК (рис. 11, а) і має два виходи. Один його вихід з'єднаний з блоком

фільтра і призначений для подачі сигналу в РЛ. Другий вихід з'єднаний з регульованою лінією затримки, розрахованою на інтервал часу, що необхідний сигналу для подолання тракту передачі, починаючи з виходу колійного генератора і закінчуючи входом блока ГОІ, і керованого ключа.

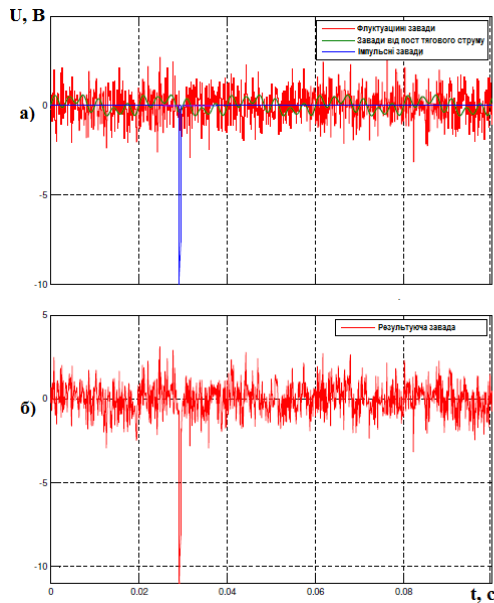


Рис. 9. Вигляд завади, що впливає на апаратуру ТРК при електрифікації ділянки постійним струмом: а – окремі завади; б – результуюча завада

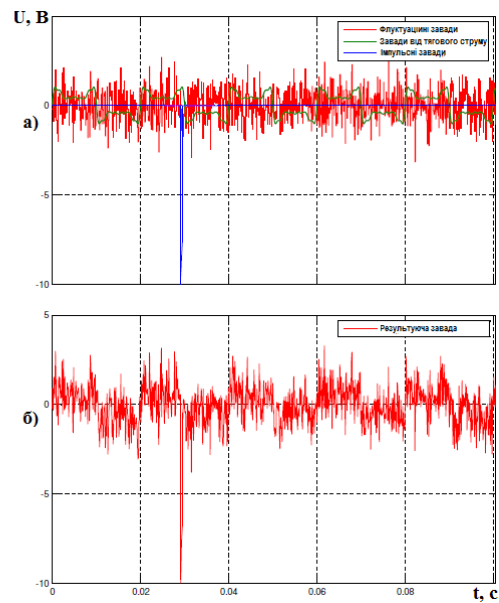


Рис. 10. Вигляд завади, що впливає на апаратуру ТРК при електрифікації ділянки змінним струмом: а – окремі завади; б – результуюча завада

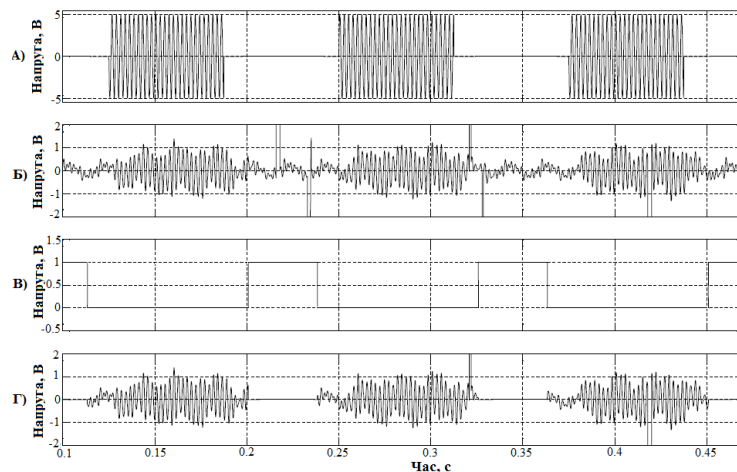


Рис. 11. Осцилограми, що ілюструють роботу пристрою підвищення завадостійкості РК, електрифікованого постійним струмом

Блок завад генерує і передає в РЛ завади, викликані внаслідок асиметрії тягового струму, тиристорного регулювання, а також імпульсні і флуктуаційні впливи. На вхід блока ГОІ і керованого ключа надходить сигнал контролю стану рейкової лінії, що передається, спотворений під впливом завад (рис. 11, б). ГОІ і керований ключ об'єднані в підсистему для меншої громіздкості моделі. Під впливом модулюючого сигналу з лінії затримки ГОІ формує імпульс, що подається на керуючий вхід електронного ключа (рис. 11, в). При цьому керований ключ

розмикається в інтервалі між імпульсами корисного сигналу, а всі завади, присутні в цьому захисному інтервалі, не потрапляють на вхід колійного приймача (рис. 11, г). Аналіз співвідношень сигнал/завада на вході колійного приймача, які отримані за допомогою імітаційного моделювання з використанням запропонованого методу, довів, що в разі дії відомих завад від тягового струму він дозволяє підвищити співвідношення сигнал/завада на вході колійного приймача від 10 % до 30 % залежно від параметрів завад і рівня корисного сигналу, а при дії імпульсних і флуктуаційних завад – від 8 % до 23 %.

Четвертий розділ присвячено розробленню нейромережевої моделі адаптивного пристрою керування лінією затримки, що входить до складу пристрою підвищення завадостійкості ТРК.

Завдання нейромережевого моделювання, що вирішується в роботі, можна класифікувати як завдання апроксимації функції залежності сигналу на виході лінії затримки від чинників, що впливають на час проходження сигналу в тракті передачі ТРК. Завдяки використанню нейронних мереж (НМ) модель лінії затримки здатна адаптувати величину затримки сигналу, враховуючи такі чинники, як частота несучого сигналу f_H , довжина рейкової ТРК ℓ , коливання опору РЛ R_{i3} та частота модуляції $f_{\text{мод}}$. Тому вхідний навчальний сигнал V_1 складається з чотирьох складових (рис. 12)

$$V_1 = |f_H \quad \ell \quad R_{i3} \quad f_{\text{мод}}|. \quad (8)$$

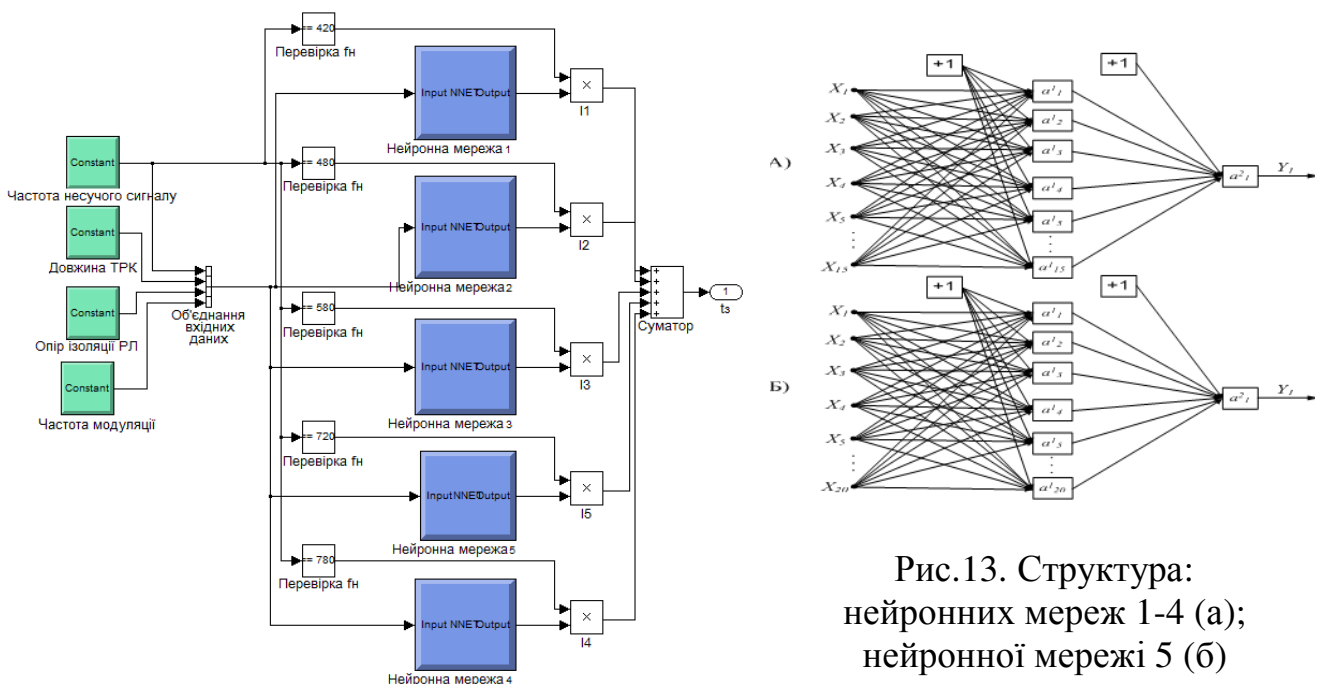


Рис. 12. Вигляд моделі адаптивного пристрою керування лінією затримки

Модель адаптивного пристрою керування лінією затримки (рис. 12) містить у своєму складі 5 НМ, кожна з яких розрахована на одну з частот несучого сигналу, які використовуються в апаратурі ТРК-3: 420, 480, 580, 720 та 780 Гц. Це дозволяє зменшити кількість нейронів у прихованому шарі та помилку навчання НМ. Блоки

перевірки несучої частоти перевіряють, чи співпадає частота сигналу, що надійшов, з частотою, для якої розрахована відповідна НМ. Якщо так, то на виході блока перевірки формується логічна одиниця, якщо ж ні – то логічний нуль. Таким чином, логічні блоки П1- П5 обнуляють свої виходи, якщо частота сигналу не відповідає підключеній до них НМ. Всі складові моделі є нейронними мережами прямого поширення сигналу і зворотного поширення помилки. НМ 1, 2, 3 та 4 мають у своєму складі один прихований шар з 15 нейронами (рис. 13, а), НМ 5 містить у прихованому шарі 20 нейронів (рис.13, б).

Кожен нейрон прихованого шару має один аксон, суматор, активаційну функцію і 4 синаптичні зв'язки, кожен з яких характеризується своєю синаптичною вагою (W).

Нейрон вихідного шару має стільки синаптичних зв'язків, скільки нейронів у прихованому шарі. Якщо вхідний сигнал i -го входу позначити x_i , то вихідний сигнал суматора нейрона визначається, як

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i + b, \quad (9)$$

де n – кількість вхідних нейронів,

b – значення зсуву,

w_i – вага i -го синапсу.

Для нейронів прихованого шару була використана гладка і неперервна функція активації – гіперболічний тангенс. Для навчання НМ 1-4 використовується метод Левенберга-Марквардта, призначений для оптимізації параметрів нелінійних регресійних моделей. Критерієм при оптимізації є середньоквадратична помилка моделі на навчальній вибірці. Робота методу спрямована на послідовне наближення початкових значень параметрів до локального оптимуму, що шукається. Прирошення функції знаходиться як

$$\Delta w = (J^T J + \mu I)^{-1} J^T (y - f(w)), \quad (10)$$

де μ – параметр регуляризації, що назначається на кожній ітерації алгоритму;

I – одинична матриця;

J – матриця Якобі функції $f(w, x)$ в точці w .

Регресійною моделлю, що безперервно диференціюється в області, є шукана нелінійна функція, яка відображує залежність між вхідним і вихідним сигналами. А безліч відомих пар "вхід-вихід" являють собою регресійну вибірку вільної і залежної змінних. За допомогою процесу навчання потрібно знайти таке значення вектора параметрів, що доставляло б функції помилки локальний мінімум

$$E_D = \sum_{n=1}^N (y_n - f(w, x_n))^2. \quad (11)$$

Алгоритм навчання завершує свою роботу, коли значення природження Δw стане менше за задане значення або знайде параметри, що забезпечують помилку E_D менше за встановлену величину (рис. 14). За допомогою метода Левенберга-

Марквардта значення середньоквадратичної помилки при навчанні складо: для НМ1 (рис. 14а), що моделює величину затримки для сигналу з несучою частотою 420 Гц, – $1,54 \cdot 10^{-4}$; для НМ2 (рис. 14, б), що моделює величину затримки для сигналу з несучою частотою 480 Гц, – $5,87 \cdot 10^{-5}$; для НМ3 (рис. 14, в), що моделює величину затримки для сигналу з несучою частотою 580 Гц, – $2 \cdot 10^{-4}$; для НМ4 (рис. 14, г), що моделює величину затримки для сигналу з несучою частотою 780 Гц, – $4,58 \cdot 10^{-5}$.

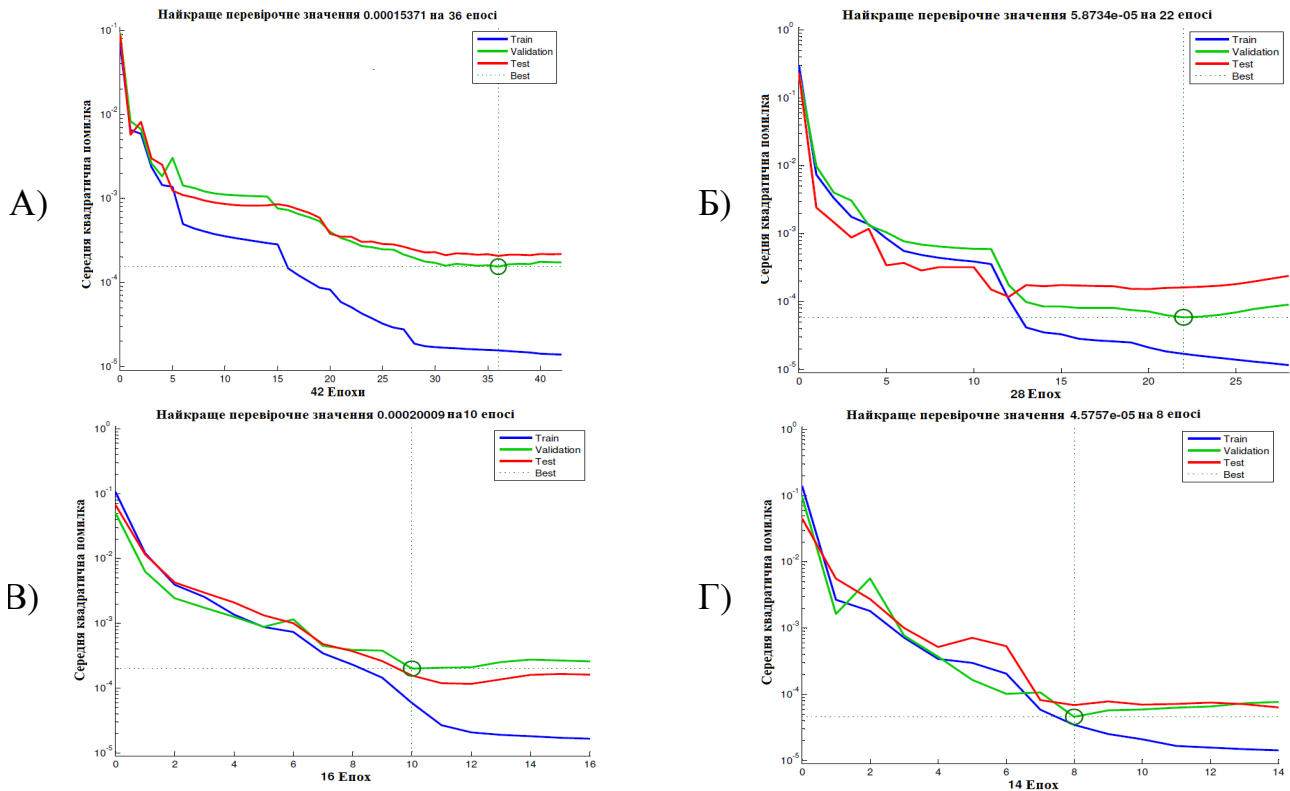


Рис. 14. Графіки зміни середньоквадратичної помилки при навчанні НМ1(а), НМ2 (б), НМ3 (в), НМ4 (г)

Навчання НМ5 (рис. 15) проводилося за допомогою методу байєсівської регуляризації, для налаштування коефіцієнтів вагів і зміщень в його основі використовувався метод Левенберга-Марквардта.

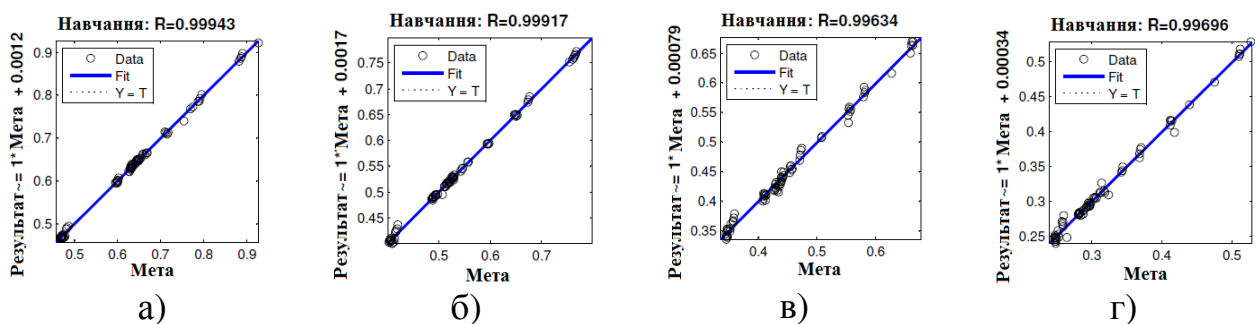


Рис. 15. Графіки регресії НМ1 (а), НМ2 (б), НМ3 (в), НМ4 (г)

Байєсівська регуляризація дозволяє мінімізувати комбінацію квадратів помилок і коефіцієнтів вагів для отримання кращих узагальнюючих властивостей. Регуляризована цільова функція має вигляд

$$F(\mathbf{w}) = \beta E_D + \alpha E_W, \quad (12)$$

де E_D – сума середньоквадратичних помилок мережі;
 E_W – сума квадратів вагів мережі;
 α та β – параметри цільової функції.

Співвідношення α і β визначає акцент при навчанні: при $\alpha \ll \beta$ алгоритм, що навчає, спрямований на мінімізацію помилки, а при $\alpha \gg \beta$ – на зменшення коефіцієнтів вагів. Розроблений адаптивний пристрій керування лінією затримки дозволяє автоматично налаштовувати захисний інтервал відповідно до частоти модуляції ТРК (рис. 16).

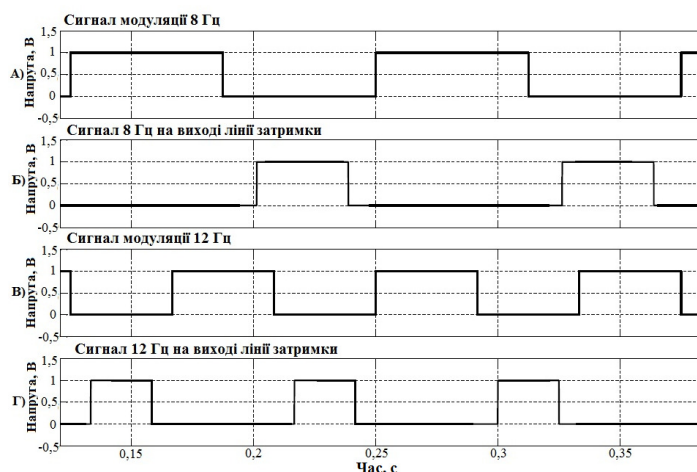


Рис. 16. Часові діаграми роботи адаптивного пристрою керування лінією затримки в залежності від частоти модуляції ТРК

Запропонований пристрій керування дозволяє адаптувати час затримки ще й відповідно до частоти несучого сигналу, довжини РЛ й значення опору її баласту. Для того щоб оцінити, наскільки він дозволяє при однаковій частоті модуляції підвищити точність налаштування захисного інтервалу, протягом якого на вхід колійного приймача не потрапляють завади, припустимо, що звичайна лінія затримки налаштована на середнє значення затримки сигналу (із даних, отриманих у розділі 2). Ураховуючи максимальну помилку навчання НМ, модель пристрою керування лінією затримки дозволяє підвищити точність налаштування захисного інтервалу до 0,4702 мс.

Кількісно і якісно оцінити економічний ефект від заходів щодо підвищення безпеки руху поїздів можна на основі реального матеріального збитку від дорожньо-транспортних пригод з залученням у них людей, вантажів, технічних засобів і безповоротного збитку від виникнення екологічних проблем у районі ДТП. Для оцінювання загальної економічної ефективності основними показниками на залізничному транспорті виступають чистий дисконтований дохід і термін окупності інвестицій.

Встановлено, що чистий дисконтований дохід від розроблення та застосування запропонованого рейкового кола впродовж 10 років у розрахунку на 1 пристрій становить 68991 грн, а період окупності складає 2,25 року.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено наукове завдання вдосконалення методів та засобів підвищення завадостійкості ТРК за рахунок зменшення впливу завад на колійний приймач в інтервалах між імпульсами амплітудно-маніпульованого сигналу контролю стану ТРК.

1. Аналіз чинників, що негативно впливають на роботу ТРК, довів, що вони працюють у несприятливих умовах впливу безлічі різних завад, серед яких можна виділити синусоїдальні, імпульсні і флюктуаційні. Незважаючи на існуючі методи захисту від негативних впливів і беручи до уваги появу додаткових впливів від перспективних видів електрорухомого складу, що впроваджуються, та інших чинників погіршення умов електромагнітної сумісності, актуальним є завдання підвищення завадостійкості ТРК.

2. На основі удосконаленої імітаційної моделі розроблено метод підвищення завадостійкості ТРК шляхом уведення до ТРК регульованої лінії затримки, генератора одиночного імпульсу і керованого електронного ключа. Запропонований метод запобігає можливості збудження колійного приймача внаслідок впливу завад в інтервалах між імпульсами сигнального струму. Результати імітаційного моделювання показують, що він дозволяє підвищити співвідношення сигнал/завада на вході колійного приймача від 10 % до 30 % залежно від параметрів завад і рівня корисного сигналу, а при дії імпульсних і флюктуаційних завад – від 8 % до 23 %.

3. Розроблено адаптивний метод керування пристроєм підвищення завадостійкості ТРК, реалізований з використанням нейронних мереж, який дозволяє підвищити точність налаштування захисного часового інтервалу, протягом якого на вхід колійного приймача не надходять завади, і адаптувати роботу пристрою в разі зміни параметрів сигналу. Це досягається за рахунок коригування часу затримки під конкретні умови роботи ТРК завдяки використанню нейронних мереж. При цьому враховується частота несучого й модулюючого сигналів, довжина ТРК і коливання опору ізоляції РЛ. Модель містить у своєму складі 5 нейронних мереж. Середньоквадратична помилка на навчальній вибірці склала $1,54 \cdot 10^{-4}$, $5,87 \cdot 10^{-5}$, $2 \cdot 10^{-4}$, $4,58 \cdot 10^{-5}$ і $1,74 \cdot 10^{-4}$ відповідно до кожної з мереж.

4. Удосконалено метод приймання амплітудно-маніпульованих сигналів ТРК, який, на відміну від існуючих, дозволяє підвищити завадостійкість колійного приймача від впливу вузькосмугових завад. Реалізований на основі нього пристрій передбачає одночасну перевірку наявності необхідного рівня сигналу контролю стану рейкового кола і перевірку на наявність вузькосмугових завад з робочою частотою корисного сигналу.

5. На основі відомої схеми заміщення і закономірностей розповсюдження сигналів у рейковому колі отримала подальший розвиток імітаційна модель тракту передачі ТРК, яка, на відміну від існуючих, дозволила дослідити характер поширення інформаційних сигналів у ТРК при різних умовах експлуатації і оцінити

їх часові залежності. Отримано часові характеристики проходження сигналу з виходу колійного генератора на вхід колійного приймача при зміні частоти несучого сигналу (для діапазонів несучих частот ТРК-3), довжини рейкової лінії (від 0,2 до 1 км) і опору ізоляції (від 0,12 Ом·км до 50 Ом·км). Мінімальний час проходження сигналу 0,246 мс відповідає сигналу з частотою 780 Гц при довжині рейкової лінії 0,2 км і опорі ізоляції 50 Ом. Максимальний час 0,927 мс відповідає сигналу з частотою 420 Гц при довжині рейкової лінії 1 км і опорі ізоляції 0,85 Ом. Середнє значення часу проходження сигналу становить 0,4565 мс, середньоквадратичне відхилення – 0,1453 мс і дисперсія – 0,0211 мс². Зміна фази сигналу при проходженні рейкової лінії прямо пропорційна довжині рейкової лінії, частоті сигнального струму і обернено пропорційна опорі ізоляції. Результати моделювання використані в процесі навчання нейронних мереж при реалізації адаптивного методу керування пристроєм підвищення завадостійкості ТРК.

б. Проведено техніко-економічне оцінювання впровадження результатів дисертаційної роботи, яке довело, що термін окупності впровадження запропонованого методу підвищення завадостійкості ТРК становить 2,25 року, а загальна сума економічного ефекту від застосування його протягом десяти років складе 68,991 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Бабаєв М.М., Саяпина І.А. Анализ современных систем регулирования движением поездов // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Донецьк: ДонІЗТ, 2011. Вип. 28. С. 66-74.

2. Саяпина І.А. Моделирование характеристик передачи сигналов тональной рельсовой цепи // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 134. С. 173-181.

3. Бабаєв М.М., Саяпина І.А. Повышение помехозащищенности тональных рельсовых цепей // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Донецьк: Донецький інститут залізничного транспорту, 2012. Вип. 32. С. 100-105.

4. Рельсове коло: пат. на винахід 101093 Україна: МПК В 61 L 23/00 / М.М. Бабаєв, С.В. Кошевий, В.О. Сотник, В.Б. Романчук, О.М. Ананьєва, І.О. Саяпіна; заявник і власник Українська державна академія залізничного транспорту. № а 201110949; заявл. 13.09.2011; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4. 5 с.

Публікації у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

5. Саяпина І.А. Исследование влияния электромагнитных помех на приемную аппаратуру тональных рельсовых цепей // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 3(100). С. 24-31.

6. Саяпина І.А. Проверка модели рельсовой цепи на адекватность // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 4(101). С. 31-36.

7. Саяпина И.А. Нейросетевое моделирование аппаратуры рельсовых цепей // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 1(104). С. 83-87.

8. Саяпина И.А. Нейросетевая модель устройства повышения помехоустойчивости рельсовой цепи // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 3(106). С. 44-48.

9. Панченко С.В., Саяпина И.А. Нейросетевая модель устройства управления помехоустойчивой тональной рельсовой цепью // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 1(122). С. 12-17.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

10. Пристрій для прийому сигналу з рейкового кола: пат. на винахід 105586 Україна: МПК В 61 L 23/00 / М.М. Бабаєв, В.С. Блиндюк, М.М. Чепцов, О.М. Ананьєва, І.О. Саяпіна; заявник і власник Українська державна академія залізничного транспорту. № а 201304049; заявл.01.04.2013; опубл.26.05.2014, Бюл. № 10. 4 с.

11. Рейкове коло: пат. на корисну модель 68742 Україна: МПК В 61 L 23/00 / М.М. Бабаєв, С.В. Кошевий, В.О. Сотник, В.Б. Романчук, О.М. Ананьєва, І.О. Саяпіна; заявник і власник Українська державна академія залізничного транспорту. № u 201111106; заявл. 19.09.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7. 5 с.

Праці апробаційного характеру:

12. Бабаєв М.М., Саяпіна І.О. Дослідження методів і засобів контролю технічного стану тональних рейкових кіл // Перспективні комп'ютерні, керуючі і телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України: тези доп. 24-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Алушта, вересень 2011 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2011. № 5. С. 121.

13. Саяпіна І.О. Моделювання системи передачі сигналів на основі тональних рейкових кіл // Перспективні комп'ютерні, керуючі і телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України: тези доп. 25-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Алушта, вересень 2012 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2012. №4 (Додаток). С. 112.

14. Саяпіна І.О. Моделювання тракту передачі сигналів у тональних рейкових колах // Збірник наукових праць УкрДАЗТ: тези доп. 74-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 129. С. 205.

15. Саяпіна І.О. Підвищення завадостійкості тональних рейкових кіл // Збірник наукових праць УкрДАЗТ: тези доп. 75-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 289-290.

16. Саяпина И.А. Повышение помехоустойчивости рельсовых цепей // Людина, суспільство, комунікативні технології: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., (м. Красний Лиман, 20-21 черв. 2013 р.). Харків – Красний Лиман, 2013. С. 277.

17. Саяпіна І.О. Нейромережеві моделі функціонування рейкових кіл // Збірник наукових праць УкрДАЗТ : тези доп. 76-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 143. С. 233.

18. Саяпіна І.О. Нейромережева модель пристрою підвищення завадостійкості рейкових кіл // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доп.

27-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, вересень 2014 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2014. №4 (Додаток). С. 60.

19. Саяпіна І.О. Нейромережева модель завадозахищеного тонального рейкового кола // Збірник наукових праць УкрДУЗТ: тези доп. 77-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 151. С. 59.

20. Саяпіна І.О. Дослідження впливу завад на роботу тонального рейкового кола // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доп. 28-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, вересень 2015 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2015. №4 (Додаток). С. 52.

21. Саяпіна І.О. Підвищення завадостійкості тональних рейкових кіл з використанням нейронних мереж // Збірник наукових праць УкрДУЗТ: тези доповідей 78-ї міжнар. наук.-техн. конф. (м. Харків). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160. С. 30-31.

22. Саяпіна І.О. Метод адаптивного керування пристроєм підвищення завадостійкості ТРК // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доп. 29-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чорноморськ, вересень 2016 р.) // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2016. №4 (Додаток). С. 41-42.

АНОТАЦІЯ

Саяпіна І.О. Удосконалення методів і засобів підвищення завадостійкості тональних рейкових кіл. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2017.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню наукового завдання удосконалення методів та засобів підвищення завадостійкості тональних рейкових кіл (ТРК).

На підставі проведеного аналізу існуючих систем регулювання рухом поїздів з використанням ТРК, чинників, що впливають на їхню роботу, та існуючих методів щодо захисту від негативних впливів виявлено актуальність подальшого удосконалення ТРК з метою підвищення їх завадостійкості.

Вперше запропоновано і теоретично обґрунтовано метод підвищення завадостійкості ТРК, заснований на введенні в пристрій рейкового кола регульованої лінії затримки, керованого генератора одиночного імпульсу з тривалістю імпульсу, що регулюється, і електронного ключа. Він дозволяє виключити можливість впливу завад на вході колійного приймача в інтервалах між імпульсами сигнального струму. За допомогою апарата нейронних мереж (НМ) розроблено модель адаптивного керуючого пристрою, що дозволяє підвищити точність налаштування захисного часового інтервалу, протягом якого на вхід колійного приймача не надходять завади.

Ключові слова: тональне рейкове коло, завадостійкість, тракт передачі сигналу, імітаційне моделювання, нейромережева модель.

АННОТАЦИЯ

Саяпина И.А. Усовершенствование методов и средств повышения помехоустойчивости тональных рельсовых цепей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, МОН Украины, Харьков, 2017.

Диссертационная работа посвящена решению научного задания усовершенствования методов и средств повышения помехоустойчивости тональных рельсовых цепей (ТРЦ).

На основании проведенного анализа существующих систем регулирования движения поездов с использованием ТРЦ, а также увеличения числа факторов, негативно влияющих на условия их работы, появления помех в рабочем диапазоне частот при внедрении перспективного электроподвижного состава актуальной является задача повышения помехоустойчивости ТРЦ. Для анализа влияния помех на работу ТРЦ разработана имитационная модель тракта прохождения сигнала ТРЦ. Для проверки адекватности модели использованы статистические критерии Фишера, Стьюдента и Манна-Уитни. Результаты моделирования показали, что неблагоприятное суммарное воздействие совокупности негативных факторов может привести к высокому уровню помех на входе путевого приемника ТРЦ, в результате чего отношение сигнал/помеха достигает -3,5 дБ.

Предложен и теоретически обоснован метод повышения помехоустойчивости ТРЦ, основанный на введении в устройство рельсовой цепи регулируемой линии задержки, управляемого генератора одиночного импульса с регулируемой длительностью импульса и электронного ключа. Суть метода заключается в том, что исключается воздействие помех на входе путевого приемника в интервалах между импульсами сигнального тока. Результаты имитационного моделирования показывают, что он позволяет повысить соотношение сигнал/помеха на входе путевого приемника от 10 % до 30 % в зависимости от параметров помех и уровня полезного сигнала, а при действии импульсных и флуктуационных помех – от 8 % до 23 %.

Разработан адаптивный метод управления устройством повышения помехоустойчивости ТРЦ, реализованный с использованием нейронных сетей, который позволяет повысить точность настройки защитного временного интервала, в течение которого на вход путевого приемника не поступают помехи, и адаптировать работу устройства в случае изменения параметров сигнала. Это достигается за счет корректировки времени задержки под конкретные условия работы ТРЦ. Модель реализована на основе нейронных сетей с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки. Для обучения нейросетей использован метод Левенберга-Марквардта и байесовская регуляризация, при этом среднеквадратическая ошибка на обучающей выборке для составляющих НМ 1-5 составила $1,54 \cdot 10^{-4}$, $5,87 \cdot 10^{-5}$, $2 \cdot 10^{-4}$, $4,58 \cdot 10^{-5}$ и $1,74 \cdot 10^{-4}$ соответственно.

Усовершенствовано устройство приема амплитудно-манипулированных сигналов ТРЦ, которое позволяет повысить помехоустойчивость путевого приемника от воздействия узкополосных помех. Предлагаемое устройство предусматривает

одновременную проверку наличия необходимого уровня сигнала контроля состояния рельсовой цепи и проверку на наличие узкополосных помех с рабочей частотой полезного сигнала.

На основе известной схемы замещения и закономерностей распространения сигналов в рельсовой цепи получила дальнейшее развитие имитационная модель тракта передачи ТРЦ, которая позволила исследовать характер распространения информационных сигналов в ТРЦ при различных условиях эксплуатации и оценить их временные зависимости. Получены временные характеристики прохождения сигнала с выхода путевого генератора на вход путевого приемника при изменении частоты несущего сигнала (для диапазонов несущих частот ТРЦ-3), длины рельсовой линии от 0,2 до 1 км и сопротивления изоляции от 0,12 до 50 Ом·км. Результаты моделирования использованы в процессе обучения нейронных сетей при реализации адаптивного метода управления устройством повышения помехоустойчивости ТРЦ.

Экономический эффект внедрения разработанного метода достигается благодаря повышению помехоустойчивости рельсовой цепи, как следствие – сокращению количества ее отказов и повышению безопасности процесса перевозок, предупреждению аварий, жертв и потерь грузов. На основании анализа экономической эффективности чистый дисконтированный доход составил 68991 грн, а срок окупаемости – 2,25 года.

Ключевые слова: тональная рельсовая цепь, помехоустойчивость, тракт передачи сигнала, имитационное моделирование, нейросетевая модель.

ABSTRACT

Saiapina I.O. Improvement of methods and means to increase audio frequency track circuits noise immunity – Manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Science on specialty 05.22.20 – operation and maintenance of transport means. – Ukrainian State University of Railway Transport, MES of Ukraine, Kharkiv, 2017.

The thesis is dedicated to the scientific problem solution of improvement of methods and means to increase audio frequency track circuits noise immunity.

On the basis of the analysis made in the fields of existing railway traffic control systems with audio frequency track circuit, of its influencing factors and of existing protection methods against negative influences, the need for further audio frequency track circuits improvement in order to increase their noise immunity is identified. The principle of audio frequency track circuit noise immunity improvement has been proposed for the first time and theoretically justified. The principle allows to exclude noise impact on the track circuit receiver in the intervals between the signal current pulses. It is based on adding a controlled delay line, a single pulse generator with an adjustable pulse duration and a electronic switch into audio frequency track circuit device. Adaptive control device model based on neural networks was designed. It allows to increase a tuning accuracy of protective time interval, that protects track receiver from noise impact. The model contains neural networks trained with Levenberg-Marquardt algorithm and bayesian regularization.

Key words: audio frequency track circuit, noise immunity, signal tract, simulation, neural network model.

САЯПІНА ІННА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 656.259.12 : 004.032.26

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ
ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. О.Є. Зінченко

**Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 0,9. Тир. 100 прим. Зам. 266-17.
Підписано до друку 27.05.17. Папір офсетний.**

**Надруковано з макету замовника у ФОП Бровін О.В.
61022, м. Харків, вул. Тринклера, 2, корп.1, к.19. Т. (057) 758-01-08, (066) 822-71-30
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК 3587 від 23.09.09 р.**