

УДК 656.259.12

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ СИСТЕМИ АБТЦ

Д-р техн. наук А.Б. Бойнік, В.В. Чуднецов

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СИНТЕЗА ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ СИСТЕМЫ АБТЦ

Д-р техн. наук А.Б. Бойник, В.В. Чуднецов

ANALYSIS METHODS OF SYNTHESIS TONE RAIL CIRCUITS SYSTEM ABTTS

Doct. of techn. sciences A.B. Boynik, V.V. Chudnetsov

Проведено аналіз і синтез режимів роботи тональних рейкових кіл третього покоління без ізолюючих стиків системи автоблокування з централізованим розміщенням апаратури з метою підвищення безпеки та надійності функціонування діючого обладнання автоматики, телемеханіки та зв'язку на залізниці, а також дослідження тональних рейкових кіл за допомогою методу направленої графа.

Ключові слова: тональні рейкові кола, режим роботи, направлений граф, надійність, залізниця, аналіз.

Проведен анализ и синтез режимов работы тональных рельсовых цепей третьего поколения без изолирующих стыков системы автоблокировки с централизованным размещением аппаратуры с целью повышения безопасности и надежности функционирования действующего оборудования автоматики, телемеханики и связи на железной дороге, а также исследование тональных рельсовых цепей с помощью метода направленного графа.

Ключевые слова: тональные рельсовые цепи, режим работы, направленный граф, надежность, железная дорога, анализ.

The analysis and synthesis modes tonal track circuits of the third generation without insulating joints autolock system with centralized placement of equipment to improve the safety and reliability of the existing equipment automation, remote control and communication at the rail, and a study of tonal track circuits using the directed graph which allows you to achieve greater clarity flow wave processes in rail lines at different modes of operation. This system is used in areas with heavy traffic and high-speed trains and is more reliable and easy to maintain when compared with other systems that are used on the Ukrainian railways. This is primarily due to the placement of equipment to haul at stations that can significantly improve the conditions of the attendants, reduce the time spent on maintenance of appliances, as well as reduce the requirements for thermal stability and vibration hardware.

Keywords: tonal track circuits, operating mode, a directed graph, reliability, railroad, analysis.

Вступ. Працездатність пристроїв автоблокування на перегонах залізниці багато в чому залежить від якості та своєчасного обслуговування. Дослідження режимів роботи рейкових кіл дозволяє знайти раціональні параметри їхнього функціонування.

Якщо врахувати, що пристрої залізничної автоматики працюють у складних умовах, при яких треба забезпечувати безпеку руху поїздів, то стає очевидним необхідність дослідження режимів роботи рейкових кіл.

Постановка проблеми. У сучасних умовах модернізація українських залізниць

проходить не досить швидким темпом. Тому постає питання продовження терміну служби вже діючих пристроїв залізничної автоматики, більшість з яких вже відпрацювали свій нормативний термін. Однак завдяки кваліфікованому обслуговуванню обладнання знаходиться в задовільному стані та може ще працювати певний час. Виходячи з цього, експлуатація пристроїв здійснюється за технічним станом, що тягне за собою своєчасний аналіз і синтез у процесі роботи за допомогою прогресивних методів дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням аналізу в багатьох публікаціях приділяється особлива увага [1]. Так, у публікаціях деяких авторів обговорюється питання синтезу та аналізу рейкових кіл в основному у нормальному та контрольному режимах. Тому комплексне дослідження всіх режимів роботи тональних рейкових кіл має особливий інтерес як для дослідників, так і для експлуатаційників.

Мета роботи. Дослідження тональних рейкових кіл, аналіз і синтез режимів їхньої роботи.

Основна частина дослідження. У наш час на залізниці однією з перспективних систем інтервального регулювання руху поїздів на перегоні є система автоблокування з

тональними рейковими колами (ТРК) і централізованим розміщенням апаратури (АБТЦ).

Дана система застосовується на ділянках з інтенсивним і швидкісним рухом поїздів і є більш надійною та зручною в обслуговуванні.

У першу чергу це пов'язано з розміщенням апаратури для перегону на станціях, що дозволяє істотно поліпшити умови праці обслуговуючого персоналу, знизити витрати часу на обслуговування пристроїв, а також знизити вимоги до температурної стійкості та вібростійкості апаратних засобів. Завдяки використанню ТРК вдалося виключити такий ненадійний елемент рейкової лінії, як ізолюючі стики (рис. 1).

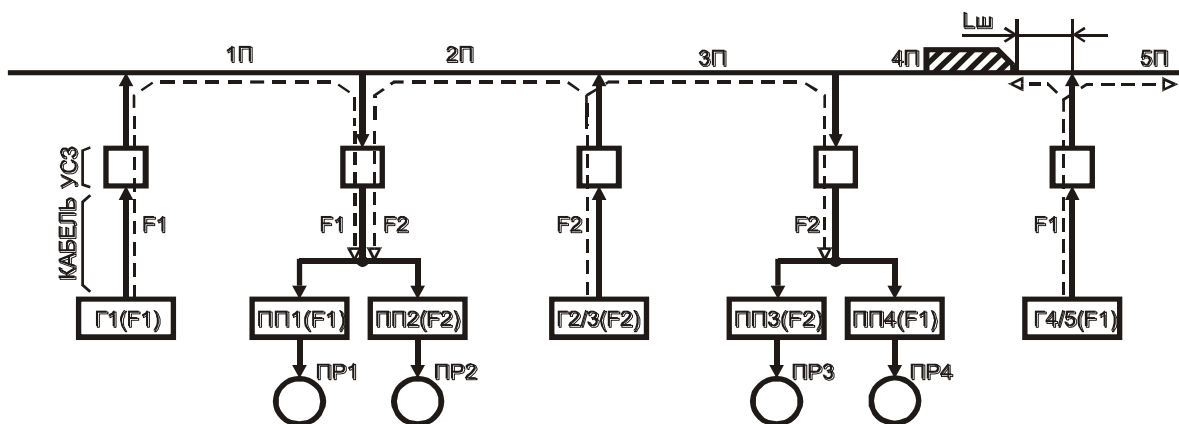


Рис. 1. Структурна схема тональних рейкових кіл

У системі АБТЦ застосовуються тональні рейкові кола з несучими частотами 420, 480, 520, 580, 720 та 780 Гц і частотами модуляції 8 та 12 Гц. Зони додаткового шунтування не перевищують 40 м, це дозволяє спростити пристрої автоблокування. До переваг даної системи також можна віднести поліпшення умов протікання зворотного тягового струму по рейкових нитках; підвищення захищеності рейкових кіл; поліпшення чутливості приймачів і, як наслідок, зниження потужності, споживання рейковим колом; застосування більш високих частот, що дозволяють простіше реалізувати добротні фільтри менших габаритів і підвищити захищеність приймачів від впливу сусідніх частот; відсутність контактних елементів (реле), що працюють в імпульсному режимі, що істотно підвищує надійність і довговічність апаратури; виключення

необхідності передачі інформації між світлофорами, на переїзди і на станцію, що спрощує схемні залежності АБ, диспетчерського контролю та схеми зміни напрямку; контроль послідовності зайняття рейкових кіл при вмиканні кодових сигналів АЛС [2].

У зв'язку з перспективністю системи та метою підвищення надійності й безпеки роботи технічних засобів запропоновано провести аналіз і синтез чотирьох основних режимів роботи рейкових кіл. До них належать нормальний, шунтовий і контрольний режими, а також режим АЛС.

При дослідженні режимів роботи тональних рейкових кіл слід враховувати особливості схем заміщення для кожного з режимів. Для аналізу рейкових кіл використано метод направленої графа, який дозволяє

досягти більшої наочності протікання хвильових процесів у рейкових лініях при різних режимах їх функціонування [3].

Схема заміщення двох рейкових ліній без ізолюючих стиків у нормальному режимі наведена на рис. 2.

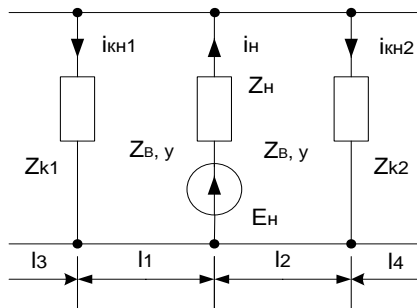


Рис. 2. Схема заміщення рейкових ліній без ізолюючих стиків у нормальному режимі

Дві рейкові лінії підключаються до одного джерела сигналів з ЕРС E_n . Апаратура

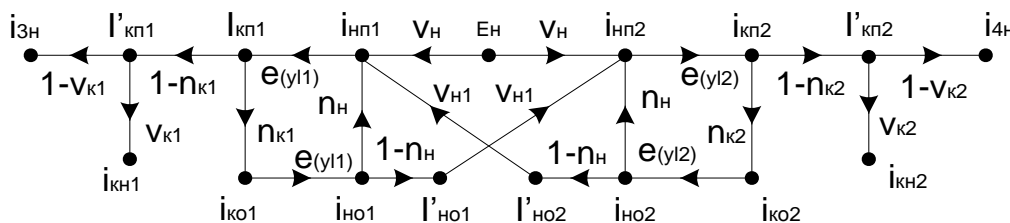


Рис. 3. Граф рейкових ліній без ізолюючих стиків у нормальному режимі

Результати розрахунків, які дозволяють зробити аналіз рейкових ліній без ізолюючих стиків у нормальному режимі, знаходять за правилом Мейсона:

$$I_{кн1} = E_n \frac{G_{н1} \cdot D_{н1} + G_{н2} \cdot D_{н2}}{D_{н} + D_{дод}}, \quad (1)$$

$$I_{кн2} = E_n \frac{G'_{н1} \cdot D'_{н1} + G'_{н2} \cdot D'_{н2}}{D_{н} + D_{дод}}, \quad (2)$$

де G_{np} – коефіцієнт передачі n -го розімкнутого кола між E_n і $I_{кн}$;

D_{np} – визначник тієї частини графа, яка не стикається з n -м розімкнутим колом;

$D_{н} + D_{дод}$ – коефіцієнт всього графа.

приймальних кінців рейкових ліній з вхідними опорами Z_{k1} і Z_{k2} підключена відповідно на відстанях l_1 і l_2 від місця підключення джерела сигналів, які зазвичай рівні між собою ($l_1=l_2=l$). Струм падаючої хвилі, що підійшов до Z_{k1} , розподіляється між Z_{k1} і хвильовим опором $Z_{в,y}$ лінії l_3 , розташованої ліворуч від Z_{k1} . Аналогічно розподіляється струм падаючої хвилі другої лінії між Z_{k2} і $Z_{в,y}$. Це означає, що сигнали від генератора з ЕРС E_n поширюються не тільки по лініях l_1 і l_2 , але також по лініях l_3 і l_4 і наступних. Особливістю хвильових процесів у рейкових лініях без ізолюючих стиків є можливість поширення хвилі, відбитої від Z_{k1} , до опору Z_{k2} і обумовлення додаткової складової $I_{к2}$. Відповідно струм хвилі, відбитої від місця підключення Z_{k2} , надходить на вхід приймача сигналів першої лінії [4].

З урахуванням перерахованих особливостей наведено направлений граф рейкових ліній без ізолюючих стиків у нормальному режимі (рис. 3).

Схема заміщення двох рейкових ліній без ізолюючих стиків у шунтовому режимі наведена на рис. 4.

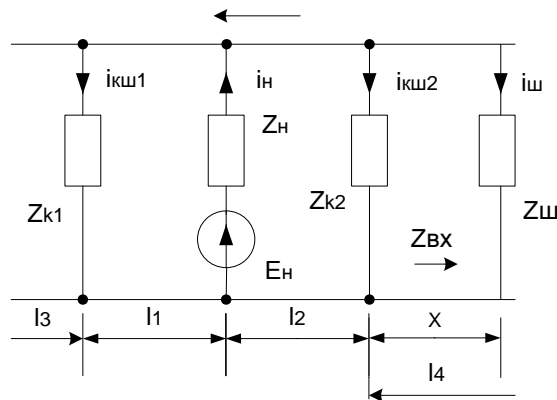


Рис. 4. Схема заміщення рейкових ліній без ізолюючих стиків у шунтовому режимі

Зображено для випадку руху поїзда справа наліво, коли він i , отже шунт $Z_{ш}$, знаходиться поза рейкових ліній l_1 і l_2 . Дослідження залежності $I_{кш2}$ від положення $Z_{ш}$ в даному випадку важливо для визначення зони додаткового шунтування. З наближенням $Z_{ш}$ до $Z_{к2}$ вхідний опір лінії $Z_{вх}$ довжиною x зменшується і при $x=0$ він стає рівним опору паралельного з'єднання $Z_{ш}$ і $Z_{в}$. Внаслідок цього струм $I_{кш2}$ зменшується з наближенням поїзда до $Z_{к2}$, тобто зі зменшенням x , і може досягти порогу спрацьовування приймального

пристрою рейкового кола з вхідним опором $Z_{к2}$. Для виключення зупинки поїзда внаслідок явища додаткового шунтування $Z_{к2}$ необхідно підключати апаратуру рейкового кола до рейкової лінії таким чином, щоб світлофор був встановлений на межі зони додаткового шунтування [4].

Граф ліній у шунтовому режимі будується за допомогою їх графа в нормальному режимі (рис. 3). Струм $I_{4н}$ (рис. 3) при накладенні шунта поширюється в напрямку останнього (рис. 5).

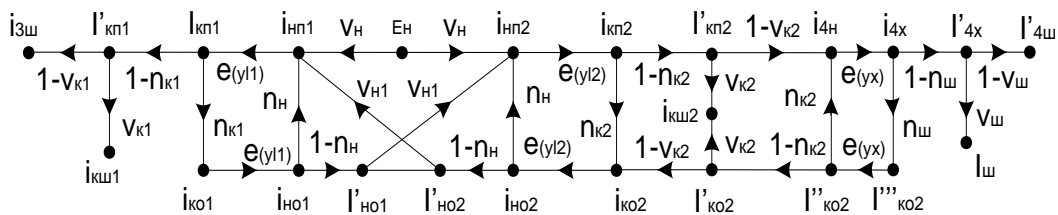


Рис. 5. Граф рейкових ліній без ізолюючих стиків у шунтовому режимі

Розв'язуючи отриманий граф за допомогою правила Мейсона, отримуємо

формулу значення струму $I_{кш2}$, що протікає через $Z_{к2}$:

$$I_{кш2} = E_{н} \frac{G_{ш1} * D_{ш1} + G_{ш2} * D_{ш2} + G_{ш3} * D_{ш3} + G_{ш4} * D_{ш4}}{D_{ш} + D_{ш \text{ дод}}} \quad (3)$$

У контрольному режимі рейкова лінія є несиметричною, тому що опір рейкової нитки із зруйнованою рейкою істотно вище, ніж у рейкової нитки без зруйнованої рейки [4].

Схема заміщення двох рейкових ліній без ізолюючих стиків, одна з яких має зруйновану рейку на відстані x від місця підключення джерела сигналів наведена на рис. 6.

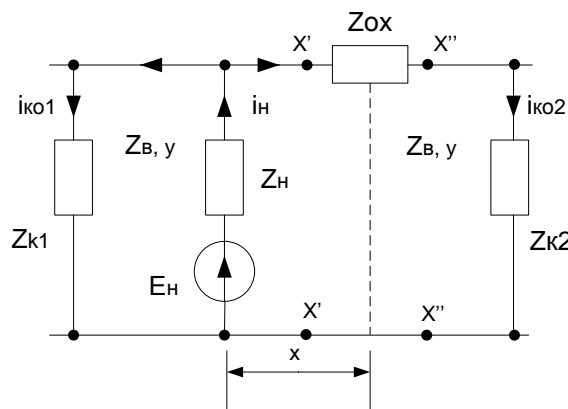


Рис. 6. Схема заміщення двох рейкових ліній без ізолюючих стиків у контрольному режимі

З урахуванням перерахованих особливостей наведено направлений граф

рейкових ліній без ізолюючих стиків у контрольному режимі (рис. 7).

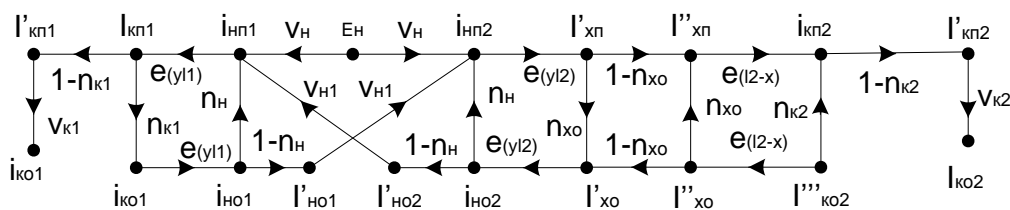


Рис. 7. Граф рейкових ліній без ізолюючих стиків у контрольному режимі

Для отримання розрахункових формул значення струму Iко1 і Iко2 застосовується правило Мейсона:

$$I_{ко2} = E_n \frac{G_{o1} \cdot D_{o1} + G_{o2} \cdot D_{o2}}{D_o + D_{дод}}, \quad (4)$$

$$I_{ко1} = E_n \frac{G'_{o1} \cdot D'_{o1} + G'_{o2} \cdot D'_{o2} + G'_{o3} \cdot D'_{o3}}{D_o + D_{дод}}. \quad (5)$$

При аналізі рейкових ліній у режимі АЛС для визначення струмів у рейках під локомотивними котушками можна використовувати графи рейкових ліній у шунтовому режимі за умови, що в даному випадку E_n - це ЕРС джерела сигналів АЛС [4]. У разі використання рейкових ліній без ізолюючих стиків при розташуванні поїзда поза рейкових ліній (рис. 4) за допомогою графа цих ліній (рис. 5) отримують такий вираз струму АЛС під локомотивними котушками:

$$i_{4x} = \frac{G_1 \cdot D_1 + G_2 \cdot D_2}{D_{ш} + D_{ш\ дод}}. \quad (6)$$

У результаті синтезу рейкової лінії повинні бути визначені оптимальні навантажувальні опори на її кінцях, при яких одночасно виконується шунтовий і контрольний режими. Чим більше відрізняються параметри струму Iкн від параметрів струмів Iкш, Iко, тим з більшою ймовірністю буде виявлений потяг чи зруйнована рейка в межах рейкової лінії [4].

Для кількісної оцінки можливих змін параметрів сигналів при переході лінії в шунтовий режим запропонований коефіцієнт

$$K_{ш} = \frac{I_{кн}}{I_{кш}}, \quad (7)$$

де Iкн, Iкш - струми, що протікають через опір навантаження в кінці ліній Z_k відповідно в нормальному і шунтовому режимах.

Як показник контрольного режиму рейкової лінії запропонований коефіцієнт

$$K_o = \frac{I_{кн}}{I_{ко}}, \quad (8)$$

де Iко – струм, що протікає через опір навантаження Z_k в кінці лінії в контрольному режимі.

Висновок. На підставі результатів дослідження можна зробити такий висновок: кожен режим роботи тональних рейкових кіл відрізняється один від одного та потребує індивідуальних налаштувань (рис. 8).

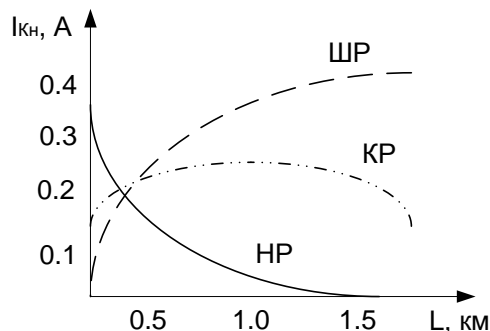


Рис. 8. Графіки функцій режимів роботи

У нормальному режимі (НР) зі збільшенням відстані суттєво зменшується рівень струму сигналів у кінці лінії. Зі збільшенням частоти рівень сигналів у кінці лінії зменшується. У шунтовому режимі (ШР) зона додаткового шунтування зменшується при зниженні струму. Розмір зони додаткового

шунтування зменшується при збільшенні частоти сигналу. У контрольному режимі (КР) витік струму з обірваної рейкової нитки відбувається як у межах даної блок-ділянки, так і в межах сусідніх. Чим менше опір, тим менше напруга на вході рейкової лінії і, як наслідок, тим менше величина струму [4].

Список використаних джерел

1. Аналіз експлуатаційної роботи пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2013. – 54 с.
2. Федоров, Н.Е. Современные системы управления с тональными рельсовыми цепями [Текст]: учеб. пособие / Н.Е. Федоров. – Самара, 2004. – 117 с.
3. Лисенков, В.М. Системы управления движением поездов на перегонах [Текст]: учеб. для вузов / В.М. Лисенков, П.Ф. Бестемьянов и др. – М., 2009. – Ч.1. – 159 с.
4. Лисенков, В.М. Системы управления движением поездов на перегонах [Текст]: учеб. для вузов / В.М. Лисенков, П.Ф. Бестемьянов и др. – М., 2009. – Ч.2. – 321 с.
5. Бойнік, А.Б. Диагностирование и прогнозирование состояния систем железнодорожной автоматики [Текст] / А.Б. Бойнік // Залізничний транспорт України. – 2002. - №4. – С. 2-5.
6. Кулик, П.Д. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл [Текст] / П.Д. Кулик, О.О. Удовіков та ін. – К.: Укрзалізниця, 2006. – 236 с.
7. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2013 році [Текст] / О.Н. Мусієнко, В.В. Крот. – К., 2013. – 110 с.
8. Бураков, В.А. Условия механизации и автоматизации станционных и перегонных процессов [Текст]: учеб. пособие / В.А. Бураков. – М., 1987. – 98 с.

Бойнік Анатолій Борисович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Української державної академії залізничного транспорту.
Чуднецов В'ячеслав Володимирович, слухач групи МЗ-АТЗ-АКСУРП-12.

Boynik A.B., doct. of techn. sciences.
Chudnetsov V.V.