

УДК 656.259.12

ВОЗНЯК О. М., старший викладач (ДНУЗТ)

Визначення режимів роботи рейкових кіл за їх характеристичними параметрами

Як відомо [1-3], рейкове коло працює у трьох основних режимах роботи: нормальному, шунтовому та контрольному. Стан рейкового кола, коли воно справне і у його межах відсутній рухомий склад відповідає його роботі у нормальному режимі. При вступі рухомої одиниці у межі рейкової лінії рейкове коло переходить у шунтовий режим. Стан пошкодження рейкової лінії відповідає роботі рейкового кола у контрольному режимі. Доцільно розробити систему (пристрій), яка визначатиме у якому з режимів працює рейкове коло за характеристичними (первинними) параметрами рейкового кола, до яких належать напруги, струми та фази напруг і струмів на початку та вкінці рейкової лінії.

Перевагами методів розпізнавання станів рейкових кіл полягає у значному розширенні функціональних можливостей класифікації станів за рахунок суттєвого збільшення глибини розпізнавання засобами множин інформативних ознак та функцій і розбиття станів на множини класів (з окремим виділенням нового класу – класу несправного стану рейкової лінії). Крім зазначеного можливо організовувати внутрішню логіку із застосуванням потужного математичного апарату при використанні комп'ютерної техніки, який дасть змогу шляхом ускладнення алгоритмів класифікації підвищити точність розпізнавання, що, у свою чергу, забезпечить нечутливість таких систем до зовнішніх впливів, а, в цілому – до підвищення надійності таких систем та безпеки руху поїздів.

Аналіз

Завдання, які виникають при побудові такого пристрою (із застосуванням принципів розпізнавання наборів значень) можна віднести до кількох галузей. Перша з них пов'язана з визначенням параметрів, за допомогою яких вдається одержати інформацію про стан рейкової лінії. Це проблема чутливості рейкових кіл, оскільки кожна вимірювана величина (рис. 1) є деякою їх характеристикою.



Рис. 1. Структурна схема проведення вимірювань первинних характеристичних ознак

Отримані результати вимірювань становлять набір значень у кожному з режимів роботи рейкового кола у різні моменти часу:

$$X_{i,j} = \{U1_{i,j}, \varphi1_{i,j}, U2_{i,j}, \varphi2_{i,j}, I1_{i,j}, \psi1_{i,j}\}, \quad (1)$$

де: $U1_{i,j}$, $\varphi1_{i,j}$, $U2_{i,j}$, $\varphi2_{i,j}$ – амплітуди та фази напруг на вході (індекс 1) і виході (індекс 2) рейкової лінії відповідно, $I1_{i,j}$, $\psi1_{i,j}$ – амплітуда та фаза струму на вході рейкової лінії; $i = 1, 2 \dots n$ – поточний номер вимірюваної величини, $j = 1, 2, 3$ – режим роботи рейкового кола (

$j=1$ – нормальний, $j=2$ – шунтовий, $j=3$ – контрольний).

Друге завдання, пов'язане з побудовою системи розпізнавання стану рейкової лінії, полягає у знаходженні оптимальних процедур, які необхідні для визначення режиму роботи рейкового кола. Такі функції (РФ) можна отримати багатьма способами. У тих випадках, коли про розпізнавані образи є повні відомості, РФ можуть бути визначені точно на основі цієї інформації. У іншому випадку необхідно використовувати навчальні процедури при створенні яких на першому етапі вибираються РФ мінімальної складності. Далі, у процесі виконання ітеративних кроків, РФ доводять до оптимального, чи прийняттого виду. У якості такої РФ доцільно застосувати лінійну функцію у виді багаточленів:

$$d(X) = \sum_{i=1}^k C_i f_i(X), \quad (2)$$

де: C_i – коефіцієнти; $f_i(X)$ – ортогональні функції (многочлени).

Третє завдання розпізнавання стану рейкової лінії пов'язане з виділенням характерних ознак, тобто систем розмірності та векторів наборів $X_{i,j}$. Цю процедуру можна реалізувати шляхом оцінювання інформативних ознак за допомогою навчальної процедури РФ.

Рейкову лінію подають у виді електричної довгої лінії з рівномірно розподіленими параметрами та високим рівнем різноманітних впливів. Зокрема, при вступанні на ділянку рейкового кола рухомої одиниці, або при порушенні цілісності рейкових ниток, відбувається перехід з характерних ознак нормального режиму у клас ознак шунтового чи контрольного режимів. Забруднення баластного шару та шпал є причиною повздовжньої асиметрії у виді неоднорідності опору ізоляції рейкової лінії, що також спричиняє зміну

структурної схеми рейкового кола.

Мета роботи

Для визначення та дослідження об'єктів існування характеристикних ознак і формування ознак станів потрібно розробити математичні моделі, які описуватимуть стани (ознаки) рейкової лінії в нормальному, шунтовому та контрольному режимах.

З цією метою для створення моделі застосовано класичний підхід моделювання рейкового кола [1–4]. Моделювання рейкового кола виконане у трьох режимах роботи при зміні питомого опору ізоляції рейкової лінії у межах від 1 до 50 Ом-Км з урахуванням заземлення контактних опор. За його результатами отримані значення, наведені на рис. 2-5.

Аналіз графіків (рис. 2, 3) показує, що амплітуди і фази напруг на вході рейкової лінії змінюються, відповідно: у нормальному режимі в 1,2 і 51 раз; у шунтовому режимі в 1,2 і 3,35 рази; у контрольному режимі в 17,8 і 0,28 рази.

Амплітуди і фази струмів на вході рейкової лінії (рис. 4, 5) змінюються, відповідно: у нормальному режимі в 1,9 і 0,3 рази, у шунтовому режимі в 1,9 і 0,21 рази, у контрольному режимі в 3,3 і 0,01 рази.

Оскільки характер зміни ознак нелінійний, це не дозволяє використовувати окремо кожну з ознак для визначення режиму роботи рейкового кола. Крім цього окремі значення ознак у різних режимах роботи повторюються. Тому необхідно використовувати сукупність ознак.

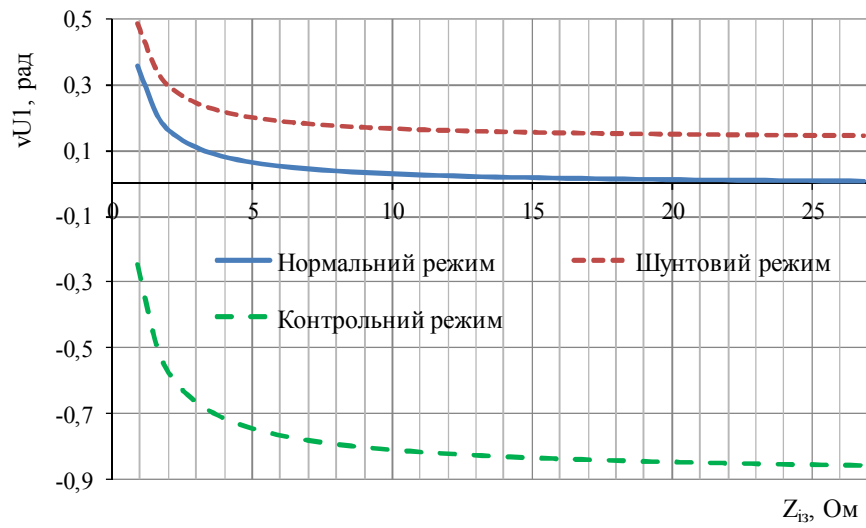


Рис. 2. Фази напруг на вході рейкової лінії у різних режимах роботи

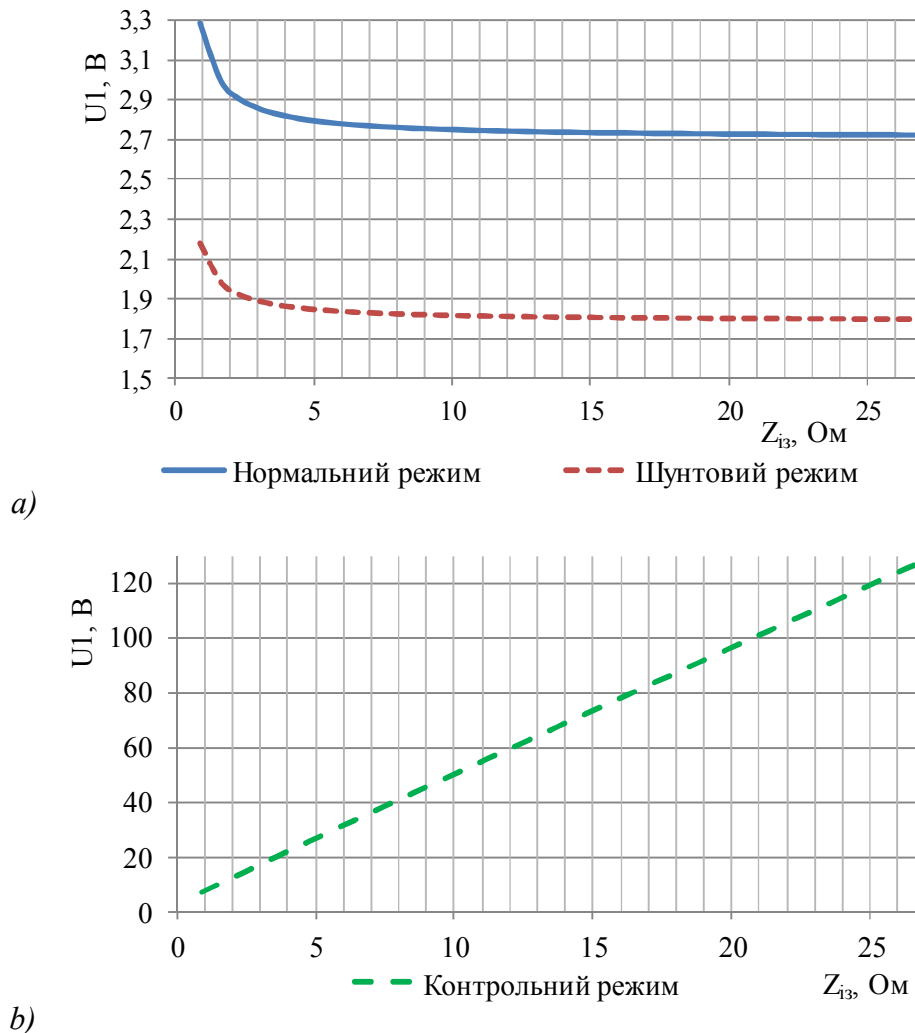


Рис. 3. Амплітуди напруг на початку рейкової лінії у різних режимах роботи:
а) – у нормальному та шунтовому; б) – у контрольному режимі

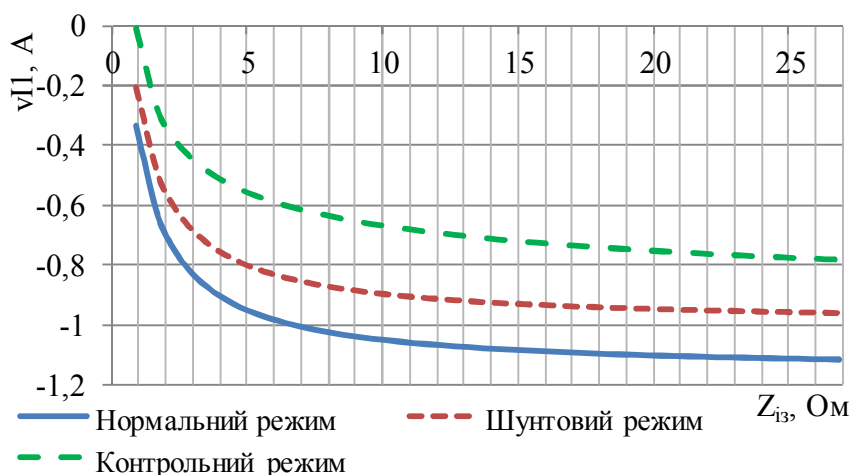


Рис. 4. Фази струмів на вході рейкової лінії у різних режимах роботи

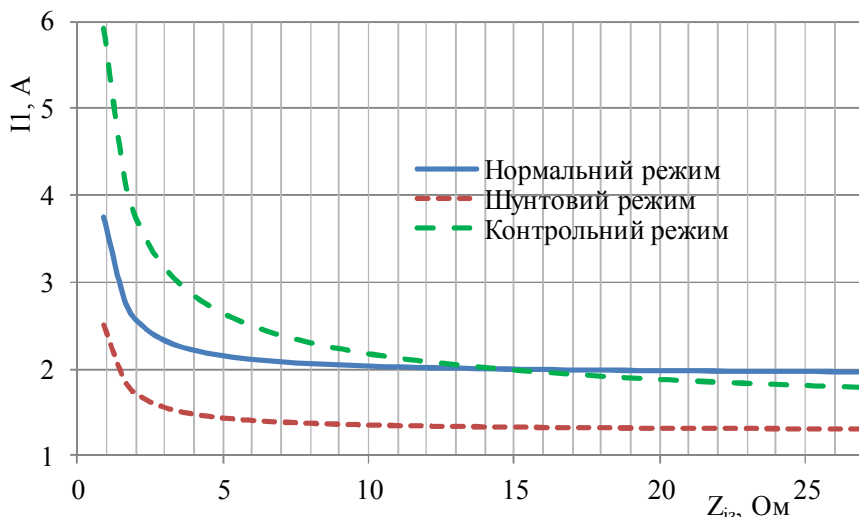


Рис. 5. Амплітуди струмів на початку рейкової лінії у різних режимах

У зв'язку із зазначеним, з метою визначення режиму роботи рейкового кола, а отже і його стану доцільно скористатися алгоритмом фіксації стану, який базується на множині функцій ознак, коли кожному зі станів рейкової лінії відповідає свій показник (ознака), а відповідно і функція ознаки.

Для формування функцій ознак станів рейкового кола необхідно вирішити наступні задачі:

- повести вибір первинних ознак станів рейкового кола та їх описати;
- сформувати функції ознак N – нормального, S – шунтового, K – контрольного режимів роботи рейкового ко-

ла.

Оскільки у якості характеристичних ознак станів рейкового кола виступають напруги $U1$ та струми $I1$, виміряні на початку рейкової лінії і їх математичний опис відповідає моделі рейкового кола у різних режимах роботи. У результаті отримаємо функції ознак станів у виді:

$N = f(\{U1_N, I1_N\})$ – для нормального режиму;

$S = f(\{U1_S, I1_S\})$ – для шунтового режиму;

$K = f(\{U1_K, I1_K\})$ – для контрольного режиму.

При визначенні ознак застосуємо

підхід, коли сукупність ознак $X_{i,(NSK)} = \{U_{1i,(NSK)}, I_{1i,(NSK)}\}$, які характеризують певний стан рейкового кола (N, S, K), описується такою функцією, яка при будь-яких значеннях X_i залишається майже незмінною у кожному зі станів (режимів роботи) рейкового кола, тобто $f_N(X_{i,N}) = F_N = \text{const}$ – у нормальному, $f_S(X_{i,S}) = F_S = \text{const}$ – у шунтовому та $f_K(X_{i,K}) = F_K = \text{const}$ – у контрольному. В якості належності до ознак F приймаються конкретні числові значення: $F_N = +1$ – для станів, коли рейкове коло працює у нормальному режимі, $F_S = -1$ – для станів, коли рейкове коло працює у шунтовому режимі та $F_K = -10$ – для станів, коли рейкове коло працює у контрольному режимі. Такий вибір значень F забезпечує подвійну перевірку станів рейкового кола: за знаком та за значенням. Якщо $F > 0$, то рейкове коло працює в нормальному режимі і рух дозволено, якщо ж $F \leq 0$, то рух заборонено.

Зазначені функції F отримаємо з застосуванням поліномів Лагерра, які ортогональні відносно вагової функції $u(x) = l^{-x}$ в інтервалі $0 \leq x < \infty$ і забезпечують достатню точність проведення класифікації станів рейкового кола при мінімальній складності самих функцій.

Багаточлени Лагерра отримують із рекурентного співвідношення [5, 6]:

$$L_{k+1}(x) - (2k+1-x) \cdot L_k(x) + k^2 L_{k-1}(x) = 0$$

, $k \geq 1$, де $L_0(x) = 1$ та $L_1(x) = -x + 1$.

На точність класифікації стану (режиму роботи) рейкового кола суттєво впливає порядок функцій F – при підвищенні порядку здатність функцій класифікувати стани зростає. При цьому, спочатку порядок функцій F вибираємо мінімальною (рівною 2), а потім доводиться до оптимального виду.

Оскільки до кожного зі станів роботи рейкового кола входить множина зна-

чень струмів і напруг при різних умовах роботи (стан опору ізоляції, положення шунта чи обриву рейкової нитки), то отримаємо наступні множини значень:

$$\begin{cases} f_N(X_{i,N}) = \sum_{k=1}^m C_{N_k} \cdot \varphi_{N_k}(X_{i,N}) \\ f_S(X_{i,S}) = \sum_{k=1}^m C_{S_k} \cdot \varphi_{S_k}(X_{i,S}) \\ f_K(X_{i,K}) = \sum_{k=1}^m C_{K_k} \cdot \varphi_{K_k}(X_{i,K}) \end{cases} \quad (3)$$

де C_{N_k} , C_{S_k} , C_{K_k} – коефіцієнти, $\varphi_{N_k}(X_{i,N})$, $\varphi_{S_k}(X_{i,S})$, $\varphi_{K_k}(X_{i,K})$ – функції множини значень вхідних параметрів.

Оскільки у цьому випадку буде отримано значну кількість рівнянь, яка залежить від кількості змодельованих значень характеристичних параметрів для кожного з режимів роботи, то з метою мінімізації похибки при визначенні коефіцієнтів C застосуємо метод найменших квадратів [5, 6].

У результаті формування функцій станів рейкової лінії для комбінацій характеристичних параметрів (U_1, I_1) та використовуючи викладений метод для рейкового кола з довжиною 1,5 км, частотою сигнального струму 50 Гц, при зміні питомого опору ізоляції від 1 до 50 Ом-км з урахуванням заземлення опор контактної мережі отримані коефіцієнти при поліномах для різних режимів роботи, які становлять: $C_{N_1} = 2,6791$, $C_{N_2} = -2,2196$, $C_{N_3} = -1,6249$, $C_{N_4} = -7,0483$ – для нормального, $C_{S_1} = -6,1226$, $C_{S_2} = -0,8259$, $C_{N_3} = 41,6314$, $C_{N_4} = 28,2436$ – для шунтового та $C_{K_1} = -7,4613$, $C_{K_2} = 2,1029$, $C_{K_3} = 56,8385$, $C_{K_4} = 35,7538$ – для контрольного режимів роботи рейкових кіл.

Висновок

за розробленою методикою сформовано ряд функцій для визначення нормального, шунтового та контрольного режимів роботи рейкових кіл, визначено та проаналізовано їх коефіцієнти. Результати аналізу свідчать, що максимальне відхилення значення функції від показника ознаки у нормальному режимі становить 1,47%, у шунтовому – 1,37%, у контрольному – 1,1% при зміні питомого опору ізоляції рейкової лінії у межах від 1 до 50 Ом-км з урахуванням опору ізоляції опор контактної мережі. Використовуючи запропонований підхід з використанням поліномів Лагерра, при збільшенні порядку функції F до 4, можливо, у подальшому, визначати координату пошкодження рейкової лінії у контрольному, чи координату і швидкість рухомої одиниці на даній рейковій лінії у шунтовому режимах роботи рейкового кола.

Використані джерела

1. Аркатов В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко. – М.: Транспорт, 1992. – 384 с.
2. Аркатов В. С. Рельсовые цепи: Анализ работы и техническое обслуживание / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
3. В. С. Аркатов, Ю. В. Аркатов, С. В. Казеев, Ю. В. Ободовский. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник – 3-е издание, переработанное и дополненное. – Москва, Издательство "ООО Миссия-М", 2006. – 496 с.
4. Каллер М. Я, Соболев Ю. В., Богданов А. Г. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Учебник для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1987г. – 335с.

5. Суетин П. К. Классические ортогональные многочлены. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 480 с.

6. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и таблицами. под ред. М. Абрамовича, И. Стигана. – М.: "Наука", 1979. – 830 с.

Анотації:

Ключові слова: Автоматика і телемеханіка, рейкові кола, режими роботи рейкових кіл, нормальний режим, шунтовий режим, контрольний режим.

У роботі розроблено методику та сформовано ряд функцій для визначення нормального, шунтового та контрольного режимів роботи рейкових кіл, визначено та проаналізовано їх коефіцієнти.

В работе произведено разработку методики и сформировано ряд функций для определения нормального, шунтового и контрольного режимов работы рельсовых цепей, определены и проанализированы их коэффициенты.

In the work the technique is defined, and a number of functions to define normal, shunt and control operation modes track circuits are formed and their coefficients analyzed

