

## УДК 656.25

І. О. РОМАНЦЕВ – к.т.н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

В. І. ГАВРИЛЮК – д.ф.-м.н., професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

# ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ БАЛАСТУ РЕЙКОВОГО КОЛА БЕЗ ФАЗОВИХ ВИМІРІВ ТА ВИКЛЮЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ

## Вступ

Використання сучасних пристроїв вимірювання електричних параметрів сигналу дозволяє вдосконалити складні методи вимірювання та спростити елементну базу існуючих вимірювачів в системах автоматики залізничного транспорту. Незважаючи на те, що головними засобами для контролю стану рухомого складу на залізничному транспорті є рейкові кола, в обслуговуванні пристроїв залізничної автоматики найбільш впливовому параметру – опорі ізоляції баласту (ІБ) рейкових кіл – відведена незначна частина. Це зменшує можливість прогнозування зміни стану ІБ та, як наслідок, втрата переходу рейкового кола (РК) в непрацездатний стан.

## Мета роботи

В статті основною метою є визначення залежностей для реалізації визначення опорі баласту нескладними чутливими існуючими вимірними приладами дистанції сигналізації та зв'язку без складних вимірювань фазових співвідношень сигналів та відключення живлення від колійного реле. Досягнення даної мети пов'язано з: аналізом існуючих методів контролю опорі баласту РК та їх недоліків, визначенням переваг сучасних вимірних приладів та відсутністю залежностей між опором ІБ та вимірюваними електричними параметрами.

## Основні існуючі методи визначення опорі ізоляції баласту

Існуючі методи контролю значення опорі ІБ призначені для визначення стану ізо-

ляції в РК. В загальному випадку вони призначені для визначення ізоляції баласту в рейкових колах постійного або змінного струмів. У зв'язку з переважною більшістю рейкових кіл саме змінного струму, в роботі не розглядатимуться рейкові кола постійного струму. Для РК змінного струму [1] це методи:

- 1) короткого замикання та холостого ходу рейкової лінії (РЛ) з виміром фаз векторметром або фазометром й напруг та струмів на живильному кінці;
- 2) двох коротких замикань РЛ з векторметром та виміром напруг, струмів та фаз між ними на живильному кінці;
- 3) короткого замикання та холостого ходу рейкової лінії з визначенням напруг та струмів на початку та в кінці рейкової лінії.

До загальних недоліків методів визначення опорі ізоляції баласту можна віднести:

- необхідність використання додаткових пристроїв виміру фазових співвідношень сигналів (фазометри, векторметри тощо), що призначені для вимірів тільки в рейкових колах;
- зміну в схемі рейкового кола при виконанні режиму короткого замикання (КЗ) або холостого ходу (ХХ) рейкової лінії, при яких колійне реле фіксує помилкову зайнятість РК;
- необхідність фізичного розриву рейкової лінії для включення вимірного амперметра в місці

включення живильного кінця рейкового кола;

- при виконанні короткого замикання необхідно забезпечувати мінімальний опір перехідних контактів для зменшення похибки при розрахунку кінцевих параметрів.

Для виключення цих недоліків необхідно отримати залежність опору ІБ від значень напруг та струмів вимірних приладів, що дозволять знайти шукану величину без формування сигналу помилкової зайнятості та зміни структури РЛ.

Існуючі цифрові вимірні пристрої частково зменшують приведені недоліки.

#### **Вимір напруги та струму в рейковому колі цифровими приладами**

Для розробки методу визначення опору ізоляції баласту без виміру фазових співвідношень напруг та струмів в рейковій лінії та без зміни в її структурі необхідно сформувати оптимальну схему вимірювань. За параметри оптимальності прийняті наступні засади:

- для відсутності фактичної зайнятості під час вимірювань не повинні використовуватись режими КЗ та ХХ, таким чином рейкове коло буде виконувати покладені на нього функції з постійного визначення стану дільниці колії;
- для зменшення людського фактору та часу виконання операцій з виміру напруг та струмів в рейковій лінії не використовується фізична зміна схеми рейкового кола при підключенні вимірних приладів, за рахунок чого при відновленні контактів після розриву дросельної або колійної перемички не збільшиться падіння напруги та не зменшиться загасання сигналу в тракті

передачі між генератором та приймачем сигналів;

- при вимірі електричних параметрів в рейковому колі у якості вимірних приладів застосовуються такі, що отримали масове розповсюдження при реалізаціях вимірів в системах залізничної автоматики, що дозволить зменшити базу вимірних приладів дистанції та зменшити час вимірів в рейковій лінії.

З урахуванням оптимальних параметрів вимірів в рейковій лінії схема визначення опору ІБ може бути прийнята такою, як показано на рис. 1, де використані такі позначення:  $U_{г}$  – напруга живлення рейкового кола; П, К та РЛ – 4-полюсники апаратури між генератором та рейковою лінією, РЛ та приймачем сигналів, а також 4-полюсник РЛ як лінії з розповсюдженими параметрами;  $Z_{п}$  – опір приймача сигналів РК;  $V_1, V_2$  – вольтметри для виміру напруги в РЛ;  $A_1, A_2$  – амперметри для безконтактного виміру напруги в РЛ.

Як можна побачити на рис. 1, схема вимірювання напруг та струмів враховує проведення вимірів без жодної зміни в фізичній схемі РК. Це обумовлене використанням цифрового амперметра типу А9-1, що працює в селективному діапазоні частот [2]. Аналогічні характеристики безконтактного виміру струму присутні цифровому мультиметру В7-63/1 [3], який можна застосовувати як універсальний прилад виміру напруги та струму.

Таким чином, при визначенні опору ІБ в рейковій лінії можливе застосування тільки одного вимірних приладу з проведенням безконтактного вимірювання струму. В результаті будуть отримані значення напруг та струмів в місцях включення апаратури живильного та релейного кінців до РЛ, на основі котрих необхідно знайти залежність для шуканого опору ІБ.

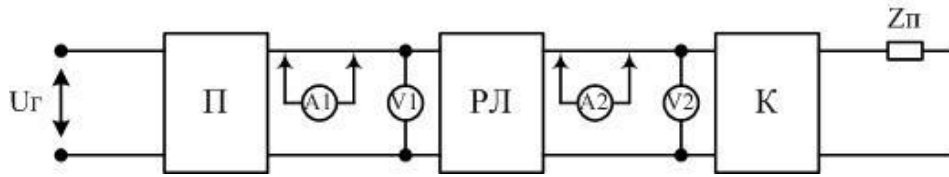


Рис. 1. Схема вимірювання електричних параметрів рейкової лінії без фазових співвідношень та виключення залежностей

### Аналітичне визначення опору ізоляції баласту з отриманих залежностей

При отриманні функціональної залежності опору ІБ від вимірюваних значень напруг та струмів в РЛ використовуємо рівняння 4-полюсників, що пов'язує електричні сигнали на початку та в кінці рейкової лінії:

$$\dot{U}_H = \underline{A} \cdot \dot{U}_K + \underline{B} \cdot \dot{I}_K, \quad (1)$$

де  $\dot{U}_H$ ,  $\dot{U}_K$  – напруги на початку та в кінці РЛ, що визначають за показанням приладів V1 та V2 відповідно (див. рис. 1);  $\dot{I}_K$  – струм в кінці РЛ, визначають за показанням приладу A2; A, B – A-параметри чотириполюсника РЛ.

В формулі (1) опір ізоляції баласту входить до складу A-параметрів 4-полюсника рейкової лінії. При заміні A і B, а також при виразі ступеневої форми залежності отримуємо:

$$|U_H| e^{j\varphi_H} = \text{ch}(\gamma l) |U_K| e^{j\varphi_K} + \underline{Z}_B \cdot \text{sh}(\gamma l) |I_K|, \quad (2)$$

де  $|U_H|$ ,  $|U_K|$ ,  $|I_K|$  – модульні значення вимірюваних напруг та струмів,  $\varphi_H$ ,  $\varphi_K$  – фазові співвідношення між електричними напругами та струмами,  $\gamma$  – коефіцієнт розповсюдження хвилі в рейковій лінії,  $l$  – до-

$$|U_H| \cdot e^{j\varphi_H} = |U_K| \cdot [\cos(\varphi_K) + j \cdot \sin(\varphi_K)] \cdot [\text{ch}(\alpha \cdot l) \cdot \text{ch}(j \cdot \beta \cdot l) + \text{sh}(\alpha \cdot l) \cdot \text{sh}(j \cdot \beta \cdot l)] + |Z_B| \cdot |I_K| \cdot \left[ \cos\left(\frac{\varphi_P}{2}\right) + j \cdot \sin\left(\frac{\varphi_P}{2}\right) \right] \cdot [\text{sh}(\alpha \cdot l) \cdot \text{ch}(j \cdot \beta \cdot l) + \text{ch}(\alpha \cdot l) \cdot \text{sh}(j \cdot \beta \cdot l)]. \quad (6)$$

Після перетворення уявних частин гіперболічних функцій та групування дійс-

вжина РЛ в кілометрах,  $\underline{Z}_B$  – хвильовий опір РЛ.

Значення  $\varphi_H$  та  $\varphi_K$  визначають як:

$$\begin{aligned} \varphi_H &\in \angle(U_H, I_K) \\ \varphi_K &\in \angle(U_K, I_K). \end{aligned} \quad (3)$$

Фаза струму в кінці прийнята нульовим значенням. В формулі (2) величини  $\gamma$  та  $\underline{Z}_B$  теж є функціями від опору ізоляції баласту, що визначають з наступної формули:

$$\begin{cases} \gamma = \alpha + j \cdot \beta, \\ \underline{Z}_B = \sqrt{|Z_P| \cdot R_B} \cdot e^{j \frac{\varphi_P}{2}} = |Z_B| \cdot e^{j \frac{\varphi_P}{2}}, \end{cases} \quad (4)$$

де  $\alpha$ ,  $\beta$  – загасання та фазовий коефіцієнти РЛ,  $|Z_P|$ ,  $\varphi_P$ ,  $R_B$  – модуль та фаза питомого опору рейок, а також питомий опір ізоляції баласту рейкової лінії.

Після підстановки формули (4) в (2) та розкриття гіперболічних функцій отримано наступний вираз:

$$|U_H| \cdot e^{j\varphi_H} = |U_K| \cdot e^{j\varphi_K} \cdot \text{ch}(\alpha \cdot l + j \cdot \beta \cdot l) + |Z_B| \cdot e^{j \frac{\varphi_P}{2}} \cdot \text{sh}(\alpha \cdot l + j \cdot \beta \cdot l) \cdot |I_K|. \quad (5)$$

Отриманий в формулі (5) вираз для подальшого спрощення перетворюємо шляхом переводу складових в алгебраїчну форму та розкладання суми гіперболічних функцій:

них та уявних складових отримуємо наступний вираз:

$$\begin{aligned}
 |U_H| \cdot e^{j\varphi_H} = & |U_K| \cdot \cos(\varphi_K) \cdot \cos(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{ch}(\alpha \cdot l) - |U_K| \cdot \sin(\varphi_K) \cdot \sin(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{sh}(\alpha \cdot l) + \\
 & + |I_K| \cdot |Z_E| \cdot \cos\left(\frac{\varphi_P}{2}\right) \cdot \cos(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{sh}(\alpha \cdot l) - |I_K| \cdot |Z_E| \cdot \sin\left(\frac{\varphi_P}{2}\right) \cdot \sin(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{ch}(\alpha \cdot l) + \\
 & + j \cdot \left[ |U_K| \cdot \sin(\varphi_K) \cdot \cos(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{ch}(\alpha \cdot l) + |U_K| \cdot \cos(\varphi_K) \cdot \sin(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{sh}(\alpha \cdot l) + \right. \\
 & \left. + |I_K| \cdot |Z_E| \cdot \sin\left(\frac{\varphi_P}{2}\right) \cdot \cos(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{sh}(\alpha \cdot l) + |I_K| \cdot |Z_E| \cdot \cos\left(\frac{\varphi_P}{2}\right) \cdot \sin(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{ch}(\alpha \cdot l) \right]. \quad (7)
 \end{aligned}$$

В формулі (7) невідомими величинами є  $\varphi_H, \varphi_K, \alpha, \beta, |Z_P|, R_{\bar{\sigma}}, \varphi_P$ . При аналітичних перетвореннях необхідно врахувати особливості рейкового кола.

При подальшому спрощенні або перетворенні формули (7) для знаходження невідомого значення опору ІБ враховані наступні особливості:

- параметри апаратури живильного та релейного кінці є постійними на протязі часу функціонування РК, виходячи з чого значення  $\varphi_K$  є фазою опору, що являє собою апаратуру релейного кінця
- опір рейок обумовлений геометричними та електромагнітними

параметрами матеріалу, різка зміна яких невластива для рейкових кіл [4-6], таким чином значення  $|Z_P|, \varphi_P$  будуть враховуватись як сталі величини. Зазначена особливість врахована у вимірних приладах визначення опору ІБ.

Для отримання залежності опору ізоляції баласту від величин напруг та струмів в рейковій лінії не залежно від фази  $\varphi_H$  знайдемо модуль напруги  $|U_H|$  з формули (7):

$$\begin{cases}
 |U_H|^2 = A^2 + B^2, \\
 A = |U_K| \cdot \cos(\varphi_K) \cdot \cos(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{ch}(\alpha \cdot l) - \\
 - |U_K| \cdot \sin(\varphi_K) \cdot \sin(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{sh}(\alpha \cdot l) + \\
 + |I_K| \cdot \sqrt{|Z_P| \cdot R_{\bar{\sigma}}} \cdot \cos(\varphi_P/2) \cdot \cos(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{sh}(\alpha \cdot l) - \\
 - |I_K| \cdot \sqrt{|Z_P| \cdot R_{\bar{\sigma}}} \cdot \sin(\varphi_P/2) \cdot \sin(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{ch}(\alpha \cdot l), \\
 B = |U_K| \cdot \sin(\varphi_K) \cdot \cos(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{ch}(\alpha \cdot l) + \\
 + |U_K| \cdot \cos(\varphi_K) \cdot \sin(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{sh}(\alpha \cdot l) + \\
 + |I_K| \cdot \sqrt{|Z_P| \cdot R_{\bar{\sigma}}} \cdot \sin(\varphi_P/2) \cdot \cos(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{sh}(\alpha \cdot l) + \\
 + |I_K| \cdot \sqrt{|Z_P| \cdot R_{\bar{\sigma}}} \cdot \cos(\varphi_P/2) \cdot \sin(\beta \cdot l) \cdot \operatorname{ch}(\alpha \cdot l).
 \end{cases} \quad (8)$$

Величини  $|Z_P|, \varphi_P$  є відомими та залежать від частот рейкових кіл [1, 4, 5], а значення  $\varphi_K$  попередньо знаходять як:

$$\varphi_K = \arg \left[ \frac{A_K \cdot \underline{Z}_n + B_K}{C_K \cdot \underline{Z}_n + D_K} \right], \quad (9)$$

де  $A_K, B_K, C_K, D_K$  – параметри 4-полосника апаратури кінця РК (див. рис. 1);  $\underline{Z}_n$  – опір реле або приймача сигналів рейкового кола.

Значення  $\alpha, \beta$ , що залежать від опору ізоляції баласту, визначають таким чином:

$$\alpha = \frac{\sqrt{|Z_P|}}{\sqrt{R_{\bar{\sigma}}}} \cdot \cos \frac{\varphi_P}{2}, \quad \beta = \frac{\sqrt{|Z_P|}}{\sqrt{R_{\bar{\sigma}}}} \cdot \sin \frac{\varphi_P}{2}. \quad (10)$$

При підстановці формули (10) в (8) отримаємо:

$$\begin{aligned}
A &= |U_k| \cdot \cos(\varphi_k) \cdot \cos\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \sin\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) \cdot \operatorname{ch}\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \cos\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) - \\
&\quad - |U_k| \cdot \sin(\varphi_k) \cdot \sin\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \sin\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) \cdot \operatorname{sh}\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \cos\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) + \\
&\quad + |I_k| \cdot \sqrt{|Z_p|} \cdot \sqrt{R_0} \cdot \cos\left(\frac{\varphi_p}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \sin\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) \cdot \operatorname{sh}\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \cos\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) - \\
&\quad - |I_k| \cdot \sqrt{|Z_p|} \cdot \sqrt{R_0} \cdot \sin\left(\frac{\varphi_p}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \sin\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) \cdot \operatorname{ch}\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \cos\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right), \\
B &= |U_k| \cdot \sin(\varphi_k) \cdot \cos\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \sin\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) \cdot \operatorname{ch}\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \cos\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) + \\
&\quad + |U_k| \cdot \cos(\varphi_k) \cdot \sin\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \sin\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) \cdot \operatorname{sh}\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \cos\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) + \\
&\quad + |I_k| \cdot \sqrt{|Z_p|} \cdot \sqrt{R_0} \cdot \sin\left(\frac{\varphi_p}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \sin\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) \cdot \operatorname{sh}\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \cos\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) + \\
&\quad + |I_k| \cdot \sqrt{|Z_p|} \cdot \sqrt{R_0} \cdot \cos\left(\frac{\varphi_p}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \sin\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right) \cdot \operatorname{ch}\left(\frac{\sqrt{|Z_p|}}{\sqrt{R_0}} \cdot \cos\frac{\varphi_p}{2} \cdot l\right). \quad (11)
\end{aligned}$$

Для більш наглядного виразу функціональної залежності опору ІБ виконаємо заміну сталих величин в рівнянні (11):

$$\begin{aligned}
C_0 &= |U_n|^2, \quad C_1 = |U_k| \cdot \cos(\varphi_k), \quad C_2 = |U_k| \cdot \sin(\varphi_k), \quad C_3 = \sqrt{|Z_p|} \cdot \cos\frac{\varphi_p}{2} \cdot l, \\
C_4 &= \sqrt{|Z_p|} \cdot \sin\frac{\varphi_p}{2} \cdot l, \quad C_5 = |I_k| \cdot \sqrt{|Z_p|} \cdot \cos\left(\frac{\varphi_p}{2}\right), \quad C_6 = |I_k| \cdot \sqrt{|Z_p|} \cdot \sin\left(\frac{\varphi_p}{2}\right). \quad (12)
\end{aligned}$$

Остаточно, опір ізоляції баласту отримують за допомогою залежності:

$$\begin{aligned}
y &= \left[ C_1 \cdot \cos\left(\frac{C_4}{\sqrt{R_0}}\right) \cdot \operatorname{ch}\left(\frac{C_3}{\sqrt{R_0}}\right) - C_2 \cdot \sin\left(\frac{C_4}{\sqrt{R_0}}\right) \cdot \operatorname{sh}\left(\frac{C_3}{\sqrt{R_0}}\right) + \right. \\
&\quad \left. + C_5 \cdot \sqrt{R_0} \cdot \cos\left(\frac{C_4}{\sqrt{R_0}}\right) \cdot \operatorname{sh}\left(\frac{C_3}{\sqrt{R_0}}\right) - C_6 \cdot \sqrt{R_0} \cdot \sin\left(\frac{C_4}{\sqrt{R_0}}\right) \cdot \operatorname{ch}\left(\frac{C_3}{\sqrt{R_0}}\right) \right]^2 + \\
&\quad + \left[ C_2 \cdot \cos\left(\frac{C_4}{\sqrt{R_0}}\right) \cdot \operatorname{ch}\left(\frac{C_3}{\sqrt{R_0}}\right) + C_1 \cdot \sin\left(\frac{C_4}{\sqrt{R_0}}\right) \cdot \operatorname{sh}\left(\frac{C_3}{\sqrt{R_0}}\right) + \right. \\
&\quad \left. + C_6 \cdot \sqrt{R_0} \cdot \cos\left(\frac{C_4}{\sqrt{R_0}}\right) \cdot \operatorname{sh}\left(\frac{C_3}{\sqrt{R_0}}\right) + C_5 \cdot \sqrt{R_0} \cdot \sin\left(\frac{C_4}{\sqrt{R_0}}\right) \cdot \operatorname{ch}\left(\frac{C_3}{\sqrt{R_0}}\right) \right]^2. \quad (13)
\end{aligned}$$

Фактично, при визначенні опору ізоляції баласту за формулою (13) або (8) необхідно вимірювати напругу на початку та в кінці рейкової лінії, а також струм в кінці РЛ. З урахуванням того, що струм на початку РЛ не визначають, схема вимірювання (див. рис. 1) спроститься і буде мати наступний вигляд (рис. 2).

Отримана в математичному пакеті Maple [7, 8] за формулою (13) залежність  $y$  від опору ізоляції баласту приведена на рис. 3.

Функція, зображена на рис. 3 приведена на прикладі результатів розрахунку та вимірів рейкового кола з наступними параметрами:

- довжина рейкового кола – 600 (верхня крива), 400, 200 та 100 м;
- несуча частота – 720 Гц;
- частота модуляції – 12 Гц;
- напруга живлення рейкового кола – 3,1 В.

Опір ізоляції визначається перетином кривої, зображеної на рис. 3, з прямою  $y = C_0$ . В процесі обслуговування РК найбільш актуальною є задача з визначення опору ізоляції баласту в діапазоні низьких значень. Це пов'язано з втратою справного

стану рейкового кола при зниженні даного опору менше граничної величини, тому прилади виміру опору ІБ виконують двох діапазонними [9]. Для отриманої залежності необхідно розглянути актуальний діапазон низьких значень та попередньо визначити чутливість методу виміру опору ІБ, тому що значення  $y$  на рис. 3 практично не змінюється після збільшення величини 2 Ом·км.

На рис. 4 зображені залежності  $y$  від опору ізоляції баласту в діапазоні низьких значень дають змогу оцінити діапазони чутливості рейкового кола значення опору ІБ. Тобто, для РЛ довжиною 600 м значення  $C_0$  значно збільшиться при зменшенні опору ізоляції величини до значення 0,5 Ом·км, а для довжини 400 м – до величини 0,255 Ом·км. Таким чином, при проведенні виміру напруг та струмів в рейковій лінії отримані залежності дають змогу оцінити наближення непрацездатного стану. А при подальшій автоматизації вимірів, зокрема при децентралізованому розміщенні апаратури рейкових кіл, сформувані межі завчасного виходу РК з працездатного стану [10, 11].

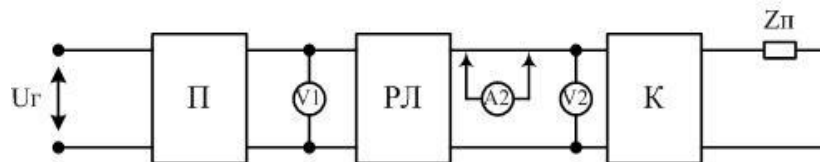


Рис. 2. Схема виміру для визначення опору ізоляції баласту

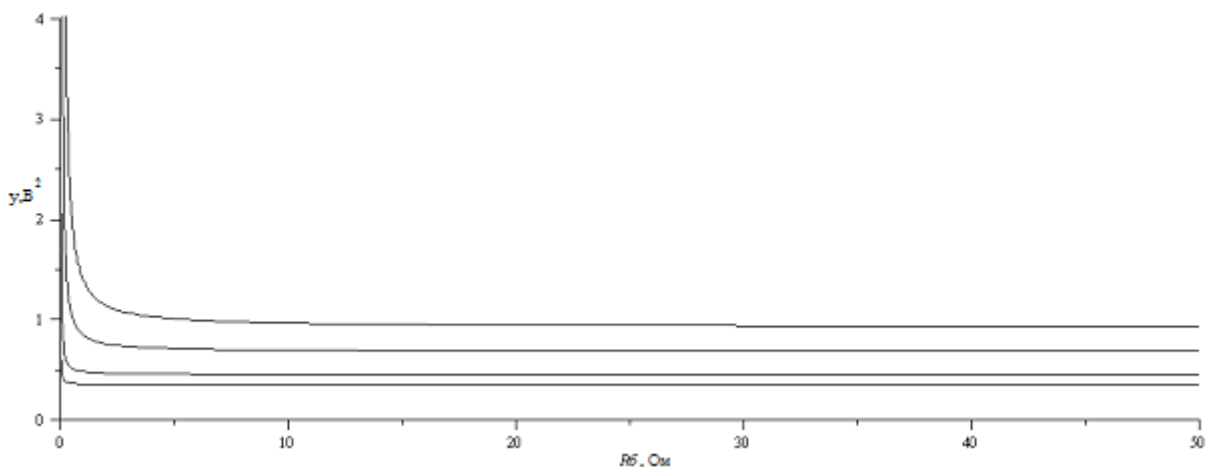


Рис. 3. Функція залежності величини  $y$  від опору ізоляції баласту

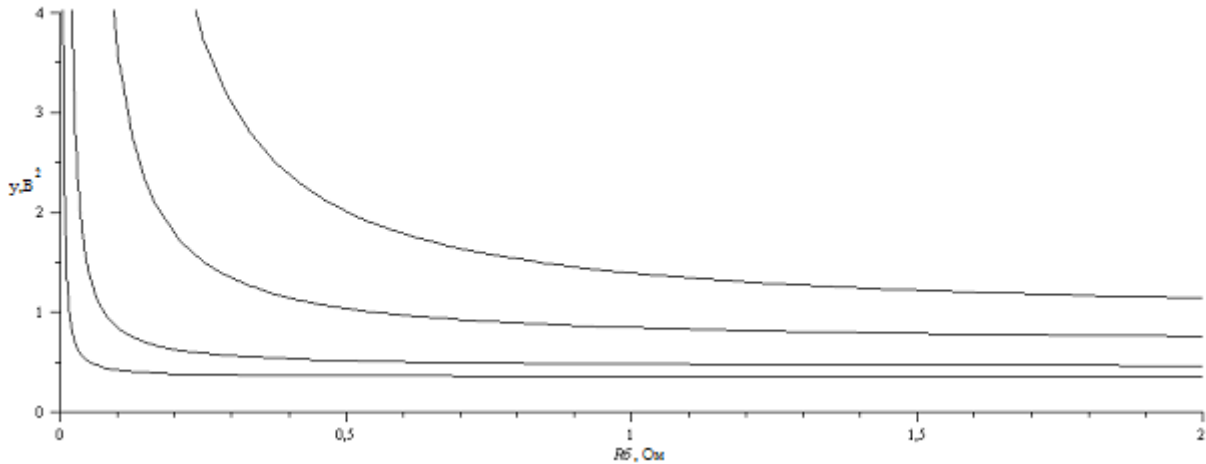


Рис. 4. Функція залежності  $u$  від опору ізоляції баласту в діапазоні низьких значень

### Висновки

В роботі при формуванні методу контролю опору ізоляції баласту рейкового кола була складена схема виміру електричних напруг та струму в рейковій лінії, отримана математична модель залежностей даних величин від опору ізоляції баласту при урахуванні недоліків існуючих методів та зменшенні кількості вимірів. Результати отриманої функціональної залежності на прикладі реального рейкового кола (рис. 3 та 4) дають змогу оцінити опір ІБ при наближенні до граничних значень, які є критеріями працездатного стану РК, а також сформулювати межі завчасного переходу рейкового кола до непрацездатного стану при використанні системи автоматичного контролю електричних параметрів в рейковій лінії.

### Бібліографічний список

1. Дмитренко, И. Е. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Учебник для вузов ж.д. трансп [Текст]. / И. Е. Дмитренко, В. В. Сапожников, Д. В. Дьяков – М.: Транспорт, 1994. – 263 с.
2. Преобразователь тока селективный А9-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. [Текст]. – 2001. – 34 с.
3. Мультиметры В7-63/1, В7-63/2. Руководство по эксплуатации. Часть 1. [Текст]. – 84 с.
4. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник [Текст] / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко – М: Транспорт, 1992. – 384 с.
5. Кулик, П. Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности [Текст] / П. Д. Кулик, Н. С. Иванкин, А. А. Удовиков – Киев: Издательский дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.
6. Мороз, В. П. Анализ відмов пристроїв залізничної автоматики. [Текст] / В. П. Мороз, А. О. Лапко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №2. – С. 64-69.
7. Дьяконов, В. П. Математическая система Maple V R3/R4/R5. [Текст] / В. П. Дьяконов – М.: Солон. 1998. – 399 с.
8. Free Maple Player – MapleSoft [Електронний ресурс] / www.maplesoft.com. – 2015. – 1 с. Режим доступу: <http://www.maplesoft.com/products/maple/Mapleplayer>.
9. Измеритель сопротивления балласта ИСБ-2.[Текст] / И. С. Кац, М. Б. Гуменник, Г. Н. Грачев и др. //

- Автоматика, зв'язь, інформатика. – 2006 – №6 – С. 20,21.
10. Пат. 50848 Україна МПК В61L 25/00. Спосіб визначення опору ізоляції баласту рейкової лінії [Текст] / В. І. Гаврилюк, І. О. Романцев, Д. В. Дунаєв; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 25.12.2009; опубліковано 25.06.2010, Бюл. №12.
11. Романцев, І. О. Діагностування стану рейкового кола тональної частоти [Текст] / І. О. Романцев, Б. М. Бондаренко, Г. Я. Мозолевич // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – 2012. – Вип. 32. – С. 117-125.

**Ключові слова:** рейкове коло, вимірювання параметрів рейкових ліній, опір ізоляції баласту, сучасні методи виміру рейкових колах.

**Ключевые слова:** рельсовая цепь, измерения параметров рельсовых линий, сопротивление изоляции балласта, современные методы измерения в рельсовых цепях.

**Keywords:** railway circuit, railway track parameters measurement, railway track electric insulation, modern measurement in railway circuit.

**Рецензенти:**  
д.т.н. А. Б. Бойнік,  
д.т.н., проф. А. М. Муха.

Надійшла до редколегії 17.04.2015.  
Прийнята до друку 29.04.2015.