

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ ЖИВИЛЬНОГО КІНЦЯ РЕЙКОВОГО КОЛА ТОНАЛЬНОЇ ЧАСТОТИ

Представив д.т.н., професор Четцов М. М.

Вступ

Майже всі високошвидкісні магістралі залізниць України обладнані автоблокуванням з ТРК при центральному розміщенні апаратури. Кабельні лінії призначені для зв'язку станційного та перегінного обладнань, за допомогою котрих реалізують не тільки основну функцію рейкового кола (РК) з визначення вільності дільниці колії, а й додаткові – подача сигналів локомотивної сигналізації, контроль розриву рейок тощо. Виконання функцій РК математично обґрунтовано [1], а контроль стану рейкового кола знаходиться непрямим шляхом за допомогою контролю певних електричних параметрів [2].

За методиками розрахунків [1] кожне рейкове коло, що містить кабельну лінію (КЛ), має 2 первинні параметри, що її характеризують: кілометричний опір жил та ємнісна провідність між жилами. Але в процесі експлуатації визначають тільки активний електричний опір (провідність) ізоляції жил КЛ [2], та не врахований ємнісний опір ізоляції, що приблизно в (5...30) разів менше для частот тональних рейкових кіл.

Мета роботи

Метою роботи є створення математичної моделі, системи та методу визначення параметрів кабельної лінії живильного кінця тонального рейкового кола з центральним розміщенням апаратури за вимірами існуючих сигналів РК для подальшого впровадження в комплекс автоматичного визначення стану кабельної лінії за її первинними параметрами.

Аналіз процесів в рейковому колі

При проходженні сигнального струму ТРК від генератора до приймача на нього

впливають не тільки параметри рейкової лінії, але й параметри кабельної лінії, зокрема активний та ємнісний опір ізоляції жил та активний прокольний опір жили. При розрахунках і аналізі роботи ТРК стан кабельної лінії вважається задовільним при відсутності в ній обриву або короткого замикання, що перевіряється за допомогою реле контролю кабельної лінії [3]. Однак її фактичні параметри КЛ- питома кілометрична ємність і опір - залишаються невизначеними в процесі експлуатації [2], як і їхній вплив на амплітуду й фазу сигналу, що проходить. До недоліків відсутності даного контролю варто віднести надмірне загасання «корисного» сигналу й виникнення резонансних явищ у РК [4], у результаті яких не гарантується виконання основних функцій об'єкта контролю. Отже, пропонується контролювати параметри КЛ живильних кінців кожного РК за допомогою аналізу вже контрольованих напруг на виході колійних фільтрів ФП, а також інших величин на живильному кінці РК.

При рішенні даного завдання в нормальному режимі експлуатації використовують наступні формули

$$\begin{cases} \dot{U}_\delta = \underline{A} \cdot \dot{U}_{\text{вх}} + \underline{B} \cdot \dot{I}_{\text{вх}} / Z_{\text{вх}} \\ \dot{I}_\delta = \underline{C} \cdot \dot{U}_{\text{вх}} + \underline{D} \cdot \dot{I}_{\text{вх}} / Z_{\text{вх}} \end{cases} \quad (1)$$

де $\dot{U}_\delta, \dot{I}_\delta$ - напруга та струм на виході ФП; $\dot{U}_{\text{вх}}, Z_{\text{вх}}$ - напруга на вході КЛ та його вхідний опір відповідно; $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$ - параметри загального 4-полосника апаратури РК [5], що залежать від параметрів КЛ живильного та релейного кінця РК та його рейкової лінії РЛ.

Таким чином, кількість невідомих величин у системі перевищує кількість рівнянь, (6 невідомих в 2 рівняннях). Визначення

всіх первинних параметрів КЛ і РЛ можливо тільки при внесенні зміни в структуру ТРК. Для цього пропоную враховувати пасивну зміну стану РК як об'єкта контролю

при послідовному зайнятті та звільненні при слідуванні рухомого складу. Приклад реальної зміни напруги на вході КП зображений на рис. 1.

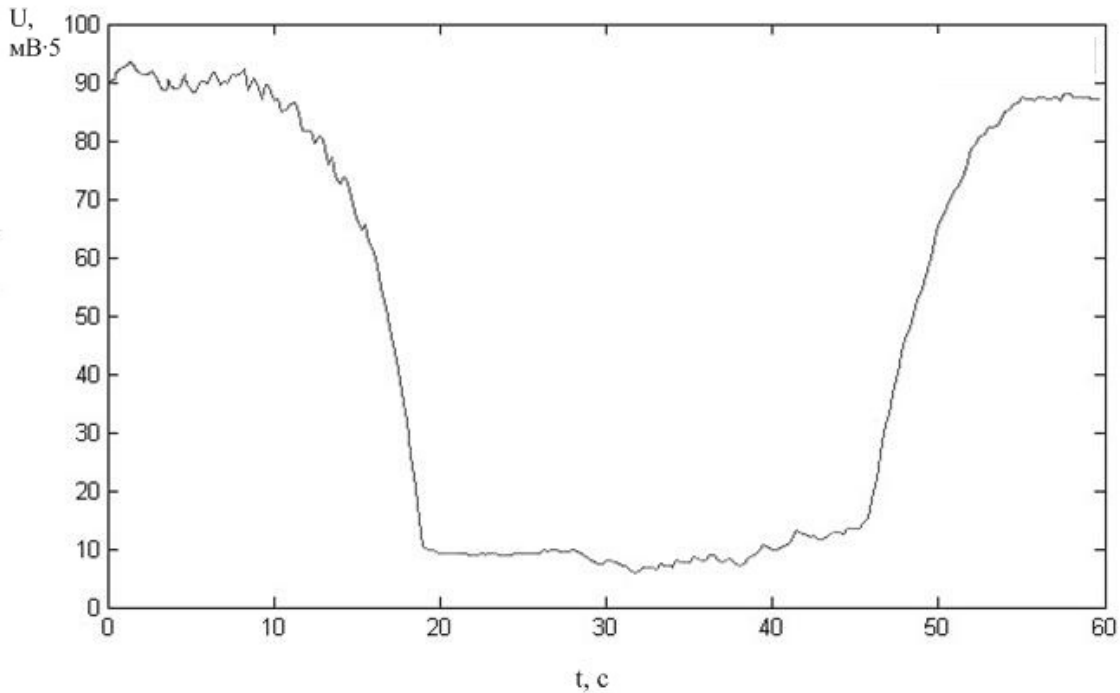


Рис. 1. Часова залежність напруги модульованого сигналу на вході колійного приймача при проходженні рухомого складу

Аналіз залежностей електричних параметрів живильного кінця показав, що при знаходженні рухомого складу на живильному кінці РК напруга та струм на виході фільтра ФП практично не залежать від параметрів РЛ та КЛ релейного кінця. Для визначення залежностей необхідно дослідити модель рейкового кола при знаходженні рухомого складу на живильному кінці ТРК.

Математичне моделювання параметрів кабельної лінії.

При наявності шунта на живильному кінці еквівалентна схема для розрахунку первинних параметрів кабельної лінії живильного кінця зображена на рис. 2.

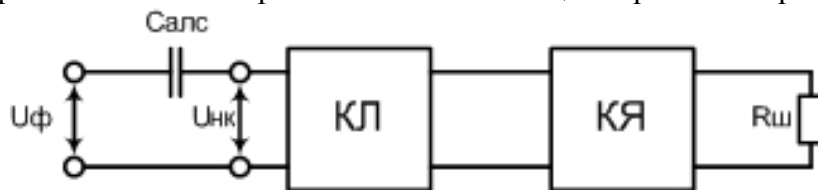


Рис. 2. Схема для розрахунку параметрів кабельної лінії живильного кінця

На рис. 2 КЛ і КЯ – 4-полюсники кабельної лінії й колійного ящика живильного кінця, R_{ϕ} – опір поїзного шунта (0.06 Ом). При розрахунку вторинних і первинних параметрів КЛ по рис. 2 необхідно використовувати рівняння:

де U_{ϕ} – напруга на нормативному шунті; $A(Z_{\hat{A}}, \gamma), B(Z_{\hat{A}}, \gamma), C(Z_{\hat{A}}, \gamma), D(Z_{\hat{A}}, \gamma)$ – параметри 4-полюсника, які є функціями від вторинних ($Z_{\hat{B}}$ і γ) параметрів КЛ і визначаються з:

$$\begin{cases} U_{\phi} = (A(Z_{\hat{A}}, \gamma) + B(Z_{\hat{A}}, \gamma) / Z_{\phi}) \cdot U_{\phi} \\ I_{\phi} = (C(Z_{\hat{A}}, \gamma) + D(Z_{\hat{A}}, \gamma) / Z_{\phi}) \cdot U_{\phi} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} \underline{A}(Z_{\hat{a}}, \gamma) & \underline{B}(Z_{\hat{a}}, \gamma) \\ \underline{C}(Z_{\hat{a}}, \gamma) & \underline{D}(Z_{\hat{a}}, \gamma) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_{\hat{a}E\hat{N}}} \\ j \cdot \omega \cdot C_{\hat{a}E\hat{N}} & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{ch}(\gamma \cdot l) & Z_{\hat{A}} \cdot \text{sh}(\gamma \cdot l) \\ \frac{\text{sh}(\gamma \cdot l)}{Z_{\hat{A}}} & \text{ch}(\gamma \cdot l) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_{\hat{I}B} & B_{\hat{I}B} \\ C_{\hat{I}B} & D_{\hat{I}B} \end{pmatrix} \quad (3)$$

де ω – циклічна несуча частота сигнального струму, l – довжина кабельної лінії.

Для зменшення громізdkості розрахунків проводиться спрощення схеми 2, яке показано на рис. 3:

На рис. 3 показано $Z_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}}$ – опір, еквівалентний 4-полюснику КЯ із шунтом як навантаженням, визначається по формулі:

$$Z_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}} = \frac{A_{\hat{E}B} \cdot R_{\hat{O}} + B_{\hat{E}B}}{C_{\hat{E}B} \cdot R_{\hat{O}} + D_{\hat{E}B}} \quad (4)$$

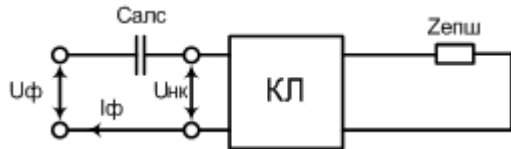


Рис. 3. Спрощена схема для розрахунку параметрів кабелю.

При використанні спрощеної схеми розрахунку параметрів кабельної лінії живильного кінця складається система рівнянь:

$$\begin{cases} U_{\hat{I}\hat{E}} = (\text{ch}(\gamma \cdot l) + Z_{\hat{A}} \cdot \text{sh}(\gamma \cdot l) / Z_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}}) \cdot U_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}} \\ I_{\hat{O}} = \left(\frac{\text{sh}(\gamma \cdot l)}{Z_{\hat{A}}} + \frac{\text{ch}(\gamma \cdot l)}{Z_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}}} \right) \cdot U_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}} \end{cases}$$

виходячи з якої знаходиться пряма залежність струму на виході фільтра від параметрів кабельної лінії

$$I_{\hat{O}} = \frac{U_{\hat{I}\hat{E}} \cdot Z_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}} \cdot \text{th}(\gamma \cdot l) + Z_{\hat{A}}}{Z_{\hat{A}} \cdot Z_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}} + Z_{\hat{A}} \cdot \text{th}(\gamma \cdot l)} \quad (6)$$

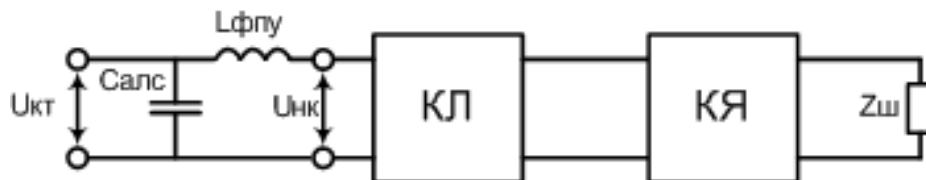


Рис. 4. Схема розрахунку параметрів кабельної лінії по кодовому струму.

Згідно однієї отриманої формули неможливо знайти вторинні й первинні параметри без додаткових досліджень по їхньому впливу на вихідний струм фільтра. Для практичного визначення пропонуємо скласти додаткове рівняння, що враховує наявність кодового струму на живильному кінці РК. Розрахункова схема наведена на рис. 4.

На рис. 4 вказане значення $L_{\hat{O}\hat{I}\hat{O}}$ являє собою зворотний вхідний опір фільтра кодовому струму. Для розрахунку параметрів кабельної лінії використовується система рівнянь:

$$\begin{cases} U_{\hat{E}\hat{O}} = \left(A(Z_{\hat{A}}, \gamma) + \frac{B(Z_{\hat{A}}, \gamma)}{Z_{\hat{O}}} \right) \cdot U_{\hat{O}} \\ I_{\hat{E}\hat{O}} = \frac{U_{L_{\hat{O}\hat{I}\hat{O}}}}{Z_{L_{\hat{O}\hat{I}\hat{O}}}} = \left(C(Z_{\hat{A}}, \gamma) + \frac{D(Z_{\hat{A}}, \gamma)}{Z_{\hat{O}}} \right) \cdot U_{\hat{O}} \end{cases} \quad (7)$$

де $U_{L_{\hat{O}\hat{I}\hat{O}}}$ – напруга на зворотному вихідному опорі фільтра, коефіцієнти A, B, C, D визначаються з:

$$\begin{pmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ j \cdot \omega \cdot C_{\hat{a}E\hat{N}} & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & j \cdot \omega \cdot L_{\hat{O}\hat{I}\hat{O}} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{ch}(\gamma \cdot l) & Z_{\hat{A}} \cdot \text{sh}(\gamma \cdot l) \\ \frac{\text{sh}(\gamma \cdot l)}{Z_{\hat{A}}} & \text{ch}(\gamma \cdot l) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_{\hat{E}B} & B_{\hat{E}B} \\ C_{\hat{E}B} & D_{\hat{E}B} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Для спрощення розрахунків рис. 4 заміняється на схему, що зображена на рис. 5.

Виходячи зі спрощеної схеми заміщення складається наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} U_{\hat{E}\hat{O}} = U_{L_{\hat{O}\hat{I}\hat{O}}} + \left(\text{ch}(\gamma \cdot l) + Z_{\hat{A}} \cdot \frac{\text{sh}(\gamma \cdot l)}{Z_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}}} \right) \cdot U_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}} \\ I_{\hat{O}} = \frac{U_{L_{\hat{O}\hat{I}\hat{O}}}}{Z_{L_{\hat{O}\hat{I}\hat{O}}}} = \left(\frac{Z_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}} \cdot \text{sh}(\gamma \cdot l)}{Z_{\hat{A}}} + \text{ch}(\gamma \cdot l) \right) \cdot I_{\hat{A}\hat{I}\hat{O}} \end{cases} \quad (9)$$

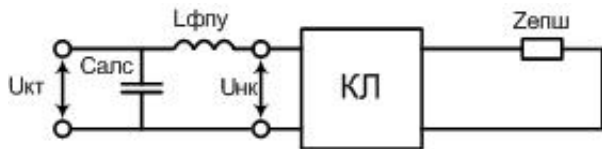


Рис. 5. Спрощена схема для розрахунку параметрів кабельної лінії

При розділі першого рівняння на друге у вищевказаній формулі одержимо

$$Z_{\text{АІ } \phi} = \frac{U_{\text{Е} \phi} - U_{\text{L} \phi \text{І } \phi}}{U_{\text{L} \phi \text{І } \phi}} \cdot Z_{\text{L} \phi \text{І } \phi} \cdot \frac{\text{th}(\gamma \cdot l) \cdot \frac{Z_{\text{АІ } \phi}}{Z_{\text{А}}} + 1}{\text{th}(\gamma \cdot l) \cdot \frac{Z_{\text{А}}}{Z_{\text{АІ } \phi}} + 1} \quad (10)$$

Таким чином, при використанні кодового струму в розрахунку параметрів кабельної лінії отримано 2 рівняння з 2 невідомими, з яких визначаються хвильовий опір і коефіцієнт розповсюдження хвилі, а потім первинні параметри - питомий опір кабельної лінії і її питома ємність. Загальна формула, що являє собою математичну модель параметрів КЛ живильного кінця КЛ, для розрахунку буде наступна:

$$\left\{ \begin{aligned} I_{\phi} &= \frac{U_{\text{CAEN}}}{Z_{\text{CAEN}}} = \frac{U_{\text{I E}}}{Z_{\text{A}}} \cdot \frac{Z_{\text{АІ } \phi} \cdot \text{th}(\gamma \cdot l) + Z_{\text{А}}}{Z_{\text{АІ } \phi} + Z_{\text{А}} \cdot \text{th}(\gamma \cdot l)} \\ Z_{\text{АІ } \phi} &= \frac{U_{\text{Е} \phi} - U_{\text{L} \phi \text{І } \phi}}{U_{\text{L} \phi \text{І } \phi}} \cdot Z_{\text{L} \phi \text{І } \phi} \cdot \frac{\text{th}(\gamma / k_x \cdot l) \cdot Z_{\text{АІ } \phi} / (Z_{\text{А}} \cdot k_x) + 1}{\text{th}(\gamma / k_x \cdot l) \cdot Z_{\text{А}} \cdot k_x / Z_{\text{АІ } \phi} + 1} \end{aligned} \right. \quad (11)$$

де $Z_{\text{А}}$ й γ – невідомі вторинні параметри кабельної лінії; k_x – коефіцієнт урахування частот, що приводить частоту кодового струму до частоти сигнального струму, і визначається так:

$$k_x = \sqrt{\frac{w_{\text{N}}}{w_{\text{E}}}}$$

По вищенаведених формулах складений програмний алгоритм автоматизованого визначення параметрів КЛ живильного кінця тонального рейкового кола та реалізована методика, що порозуміє запис сигналів (рис. 6), визначення необхідних електричних величин, аналіз частотних складових, визначення заданих параметрів КЛ.

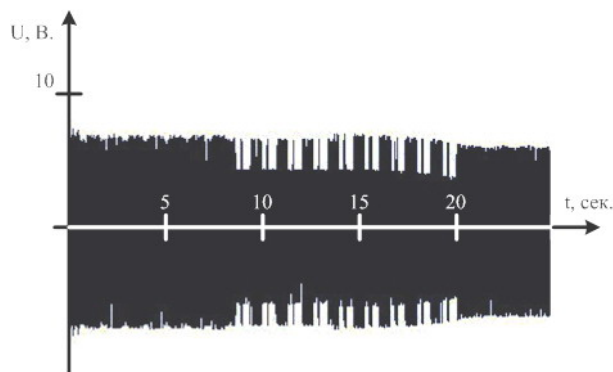


Рис. 6. Часова залежність вимірної напруги

Результати досліджень

За даною методикою було проведено експериментальне дослідження параметрів КЛ живильного кінця рейкового кола Ч5П [5], отримані результати зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати досліджень

Метод виміру	Визначені величини		
	Rкж, Ом/км	Rai, 10 ⁹ Ом·км	Zікж, 10 ⁹ Ом·км
За технологією обслуговування	немає даних	0,8	0,0041
Методика автоматизованого виміру	59	0,74	0,0027

Висновки

В роботі представлена математична модель електричних процесів в рейковому колі, з якої визначають електричні параметри кабельної лінії живильного кінця. За результатами моделювання проведені виміри електричних параметрів, згідно яких можна зробити висновки про підвищення інфор-

мативності стану кабельної лінії за рахунок отримання нових первинних даних: опір жили кабельної лінії та повна провідність її ізоляції, за якими є можливість визначення параметрів КЛ живильного кінця на частоті РК. Розбіжність результатів при використанні сформованої математичної моделі не перевищує 7,5 відсотків, та може бути викликана похибкою визначення приладу і впливом людського фактору на результати.

Бібліографічний список

1. Кулик, П. Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ [Текст] / П. Д. Кулик, Н. С. Иванкин, А. А. Удовиков. – К.: Издательский дом «Мануфактура», 2004. – 288с.

2. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. ЦШ-0042 [Текст]: Затв.: Наказ Державної адміністрації зал. транспорту України 26.04.2006. № 347-ЦЗ / Головне управління автоматики, телемеханіки та зв'язку. – К., 2006. – 461с.

3. Дмитриев, В. С. Новые системы автоблокировки [Текст] / В. С. Дмитриев, В. А. Минин. – М.: Транспорт, 1981 – 247с.

4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники [Текст] / Л. А. Бессонов. – М.: Высш. шк., 1996. – 638с.

5. Автоблокування з центральним розміщенням апаратури на дільниці Дніпродзержинськ – Пасажирський – Сухачівка Придніпровської залізниці [Текст] / Дніпророзалізничпроект. – Д., 2007. – 22с.

Ключові слова: кабельна лінія, рейкове коло, параметри, тональна частота.

Ключевые слова: кабельная линия, рельсовая цепь, параметры, тональная частота.

Key words: cable line, cable line, parameters, tonal frequency.

Надійшла до редколегії 5.07.2011.

Прийнята до друку 6.07.2011.