

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В ТЯГОВИХ МЕРЕЖАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

СТАСЮК О.І., д.т.н., Державний економіко-технологічний університет транспорту, **ТУТИК В.Л.**, к.т.н., Інститут електродинаміки НАН України, **МАКСИМЧУК В.Ф.**, ДАЗТУ «Укрзалізниця», м. Київ.

Електричні мережі залізниць відносяться до класу територіально розподілених електричних об'єктів, автоматизація управління яких потребує розв'язку широкого спектру задач економічного, диспетчерського, технологічного та експлуатаційного управління на різних рівнях ієрархії. Серед цих задач чільне місце належить задачам технічної спрямованості, пов'язаної з визначенням місця пошкодження. Не зважаючи на те, що зниженню та попередженню збитків від ненормальних режимів, до яких належать короткі замикання, слугують, в основному, пристої релейного захисту [1,2], визначення віддалі до місця короткого замикання значно прискорює його локалізацію та підвищує надійність електропостачання. Метою даної роботи є розробка узагальнених алгоритмів визначення місця пошкодження в тягових мережах електропостачання залізниць з урахуванням особливостей їх побудови.

В узагальненому вигляді тягові лінії контактної мережі змінного струму переважно напругою 27,5 кВ можуть бути представленими як електричне коло з активним опором та індуктивністю та такими, що володіють взаємною індукцією між контактними проводами двопутної дільниці. Алгоритми визначення місця короткого замикання будемо будувати для більш узагальненого випадку живлення з двох сторін двопутної дільниці з характерними виникненнями замикань, як показано на рисунку 1.

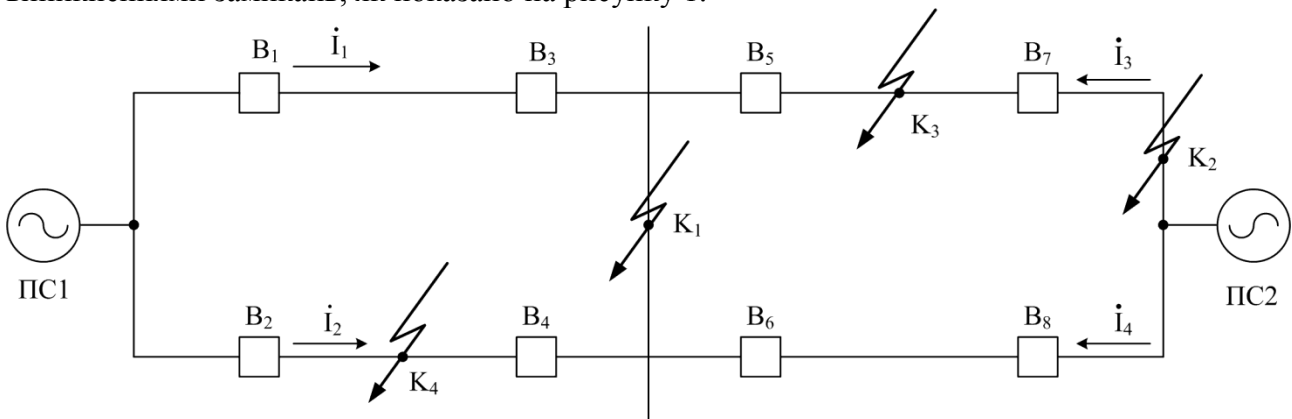


Рисунок 1. Характерні місця пошкоджень в контактній мережі.

Будемо вважати, що коротке замикання виникає лише в одному з позначених місць. Тоді для визначення віддалі $l_{кз}$ до місця короткого замикання, наприклад, в точці К1 запишемо вираз для падіння напруги на ділянці ПС1 – К1:

$$\Delta \dot{U}_1 = \dot{I}_1 \cdot \dot{Z}_{y\partial} \cdot l_{кз} + \dot{I}_2 \cdot \dot{Z}_{y\partial}^{e3} \cdot l_{кз} + \dot{I}_{кз} \cdot R_{\partial}, \quad (1)$$

де \dot{I}_1 , \dot{I}_2 та $\dot{I}_{кз}$ - комплексні значення струмів відповідно непарного та парного фідерів контактної мережі та комплекс струму в місці замикання; $\dot{Z}_{y\partial}$, $\dot{Z}_{y\partial}^{e3}$ та R_{∂} - комплексні значення питомих опорів контактного проводу та опору взаємоіндукції між парним та непарним фідерами, та опір в місці пошкодження, який, як правило, приймається активним. Зробимо в (1) деякі перетворення та запишемо

$$\Delta \dot{U}_1 = (\dot{I}_1 \cdot \dot{Z}_{y\partial} + \dot{I}_2 \cdot \dot{Z}_{y\partial}^{e3}) l_{кз} + \dot{I}_{кз} \cdot R_{\partial}. \quad (2)$$

В даному виразі два невідомих члени: $l_{кз}$ та R_{∂} . В нашій задачі шуканим являється $l_{кз}$. Для розв'язку рівняння з двома невідомими необхідно створити два рівняння, які отримаємо

шляхом поділу виразу (1) на «косинусну» (с) та «синусну» (s) складові. В ньому кожному із комплексних складових подамо у вигляді:

$$\Delta \dot{U}_1 = \Delta U_1^c + j \Delta U_1^s; \dot{I}_1 = I_1^c + j I_1^s; \dot{I}_2 = I_2^c + j I_2^s; \dot{I}_{кз} = I_{кз}^c + j I_{кз}^s; \dot{Z}_{y\delta} = R_{y\delta} + j X_{y\delta};$$

$$\dot{Z}_{y\delta}^{63} = R_{y\delta}^{63} + j X_{y\delta}^{63}; \text{ а вираз (2) перепишемо у вигляді:}$$

$$\Delta U_1^c + j \Delta U_1^s = [(I_1^c + j I_1^s)(R_{y\delta} + j X_{y\delta}) + (I_2^c + j I_2^s)(R_{y\delta}^{63} + j X_{y\delta}^{63})] l_{кз} + (I_{кз}^c + j I_{кз}^s) R_\delta. \quad (3)$$

Струм в місці короткого замикання $\dot{I}_{кз}$ для випадку К1 визначається як сума струмів $\dot{I}_{кз} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_4$, що, в свою чергу, також розкладається на дві складові: $I_{кз}^c + j I_{кз}^s = (I_1^c + I_2^c + I_3^c + I_4^c) + j (I_1^s + I_2^s + I_3^s + I_4^s)$.

В цьому перевага двосторонніх вимірювань аварійних подій перед односторонніми. Під час односторонніх вимірювань, як відомо [3], струм в точці короткого замикання приймається таким, що дорівнює струмові нульової послідовності на початку живлення. В нашому випадку струм нульової послідовності взагалі відсутній, як такий. Проте можливість отримувати значення струмів одночасно з двох кінців живлення (на рис.1 від ПС1 та ПС2) через застосування РМУ (Phase Measurement Unit) дозволяє успішно вирішити цю проблему, що і визначає вираз (3).

Зробимо перетворення в правій частині (3)

$$\Delta U_1^c + j \Delta U_1^s = [I_1^c R_{y\delta} + j I_1^c X_{y\delta} + j I_1^s R_{y\delta} - I_1^s X_{y\delta} + I_2^c R_{y\delta}^{63} + j I_2^c X_{y\delta}^{63} + j I_2^s R_{y\delta}^{63} - I_2^s X_{y\delta}^{63}] l_{кз} + I_{кз}^c R_\delta + j I_{кз}^s R_\delta$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_1^c &= [I_1^c R_{y\delta} - I_1^s X_{y\delta} + I_2^c R_{y\delta}^{63} - I_2^s X_{y\delta}^{63}] l_{кз} + I_{кз}^c R_\delta \\ j \Delta U_1^s &= j [I_1^c X_{y\delta} + I_1^s R_{y\delta} + I_2^c X_{y\delta}^{63} + I_2^s R_{y\delta}^{63}] l_{кз} + j I_{кз}^s R_\delta \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Введемо позначення:

$$E1 = I_1^c R_{y\delta} - I_1^s X_{y\delta} + I_2^c R_{y\delta}^{63} - I_2^s X_{y\delta}^{63}; \quad E2 = I_1^c X_{y\delta} + I_1^s R_{y\delta} + I_2^c X_{y\delta}^{63} + I_2^s R_{y\delta}^{63}, \quad \text{та}$$

перепишемо (4) з урахуванням прийнятих позначен

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_1^c &= E1 l_{кз} + I_{кз}^c R_\delta \\ \Delta U_1^s &= l_{кз} + I_{кз}^s R_\delta \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Після розв'язку системи (5) відносно $l_{кз}$ отримуємо:

$$l_{кз} = \frac{\Delta U_1^s I_{кз}^c - \Delta U_1^c I_{кз}^s}{E2 I_{кз}^c - E1 I_{кз}^s}. \quad (6)$$

Для визначення віддалі $l_{кз}$ до місця короткого замикання в точці К1 на випадок живлення від ПС2 необхідно записати вираз для падіння напруги на ділянці ПС2 – К1

$$\Delta \dot{U}_2 = \dot{I}_3 \cdot \dot{Z}_{y\delta} \cdot l_{кз} + \dot{I}_4 \cdot \dot{Z}_{y\delta}^{63} \cdot l_{кз} + \dot{I}_{кз} \cdot R_\delta. \quad (7)$$

Після всіх перетворень, як це було для випадку живлення від ПС1, отримуємо шукану віддаль

$$l_{кз} = \frac{\Delta U_2^s I_{кз}^c - \Delta U_2^c I_{кз}^s}{E4 I_{кз}^c - E3 I_{кз}^s}. \quad (8)$$

Тепер у виразі (8) величини E3 та E4 мають вигляд:

$$E3 = I_3^c R_{y\delta} - I_3^s X_{y\delta} + I_4^c R_{y\delta}^{63} - I_4^s X_{y\delta}^{63}; \quad E4 = I_1^c X_{y\delta} + I_1^s R_{y\delta} + I_2^c X_{y\delta}^{63} + I_2^s R_{y\delta}^{63}.$$

Особливий випадок складає визначення місця короткого замикання в точці К2. Для цього випадку при живленні від ПС1 справедливий вираз (6). При вимірюванні складових аварійної події при живленні від ПС2 умовою існування к.з. в цій точці буде: $\Delta \dot{U}_2 = 0$.

Визначення віддалі до місця пошкодження в точці К3 при живленні від ПС2 проводиться за виразом (7), а при живленні від ПС1 – за виразом (6).

Для точки К4 при живленні від ПС1 справедливий вираз (6) за винятком виразу (2) для падіння напруги $\Delta U_1 = (\dot{I}_2 \cdot \dot{Z}_{\gamma\delta} + \dot{I}_1 \cdot \dot{Z}_{\gamma\delta}^{33}) l_{\text{кз}} + \dot{I}_{\text{кз}} \cdot R_0$, в якому струми \dot{I}_1 та \dot{I}_2 поміняні місцями, а при живленні від ПС2 – вираз (7).

Як бачимо, умови живлення контактної мережі та схеми їх виконання відрізняються в деякій мірі від тих, що застосовуються в трифазних системах змінного струму. Ця різниця накладає також певні відмінності і в алгоритмах визначення віддалі до місць коротких замикань, які можна спостерігати в цих мережах. Значну перевагу для точності розрахунків в застосовуваних алгоритмах надають пристрої РМУ.

Список використаних джерел

1. Релейная защита систем электроснабжения. Расчеты защит от коротких замыканий и перегрузки. Ч.1. Тяговые сети постоянного тока напряжением 3,3 кВ.: Учебное пособие/ Е.П. Фигурнов, Т.Е. Петрова; Рост. Гос. ун-т путей сообщения. Ростов н/Д, 1998. 76 с.

2. Релейная защита систем электроснабжения. Расчеты защит от коротких замыканий и перегрузки. Ч.2. Тяговые сети переменного тока напряжением 27,5 кВ.: Учебное пособие/ Е.П. Фигурнов, Т.Е. Петрова; Рост. Гос. ун-т путей сообщения. Ростов н/Д, 1998. 90 с.

3. Методика определения места повреждения ЛЭП на базе микропроцессорной системы регистрации/ Б.С. Стогний, Ю.Н. Оробец, Н.И. Супруновская// Микропроцессорные системы управления электроэнергетическими объектами. 1 Всесоюз. научн.-тех. конф. «Проблемы комплексной автоматизации электроэнергетических систем на основе микропроцессорной техники». Матер. конф. – 1990. с. 58 – 64.