

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ В ДВОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Добровольська Л. Н., Романюк М. В.

Луцький національний технічний університет

Запропоновано метод контролю ізоляції в двопровідних мережах постійного струму, який ґрунтується на комбінації статичної і динамічної характеристики вимірювального експерименту.

Постановка задачі

В електроенергетиці двопровідні мережі постійного струму використовуються в якості оперативних для живлення засобів релейного захисту, автоматики, апаратури дистанційного керування, аварійної та попереджувальної сигналізації, а також електропостачання особливо відповідальних механізмів власних потреб електричних станцій та підстанцій. В промисловості двопровідні мережі постійного струму широко застосовують для живлення приводу постійного струму високопродуктивних машин і механізмів. В процесі експлуатації промислових електричних мереж постійного струму крім пошкодження ізоляції полюсів відносно землі існує висока імовірність дотику людини до струмоведучої частини яка знаходиться під напругою.

Основним видом пошкодження (95 %) є утворення шунтувальних зв'язків між полюсом мережі та землею в результаті забруднення поверхні кабелю, зволоження його ізоляції, перенапруг, механічних пошкоджень. Як діагностичний параметр, що найбільш чутливий до зміни працездатності ізоляції, розглядається омичний опір полюса (полюсів) відносно землі. Для визначення омичного опору полюсів можуть бути використані значення напруги полюсів відносно землі та струму в штучно створених каналах від джерела живлення РМПС і стороннього джерела живлення. На результати вимірювання впливають ємність мережі відносно землі, яка є нечутливою до зміни працездатності ізоляції, перехідні процеси при зміні навантаження, кількість границь розділу вимірювальної системи, співвідношення між імпедансом і навантаженням та інші.

Для зменшення впливу цих факторів запропоновано комбінований метод контролю технічного стану ізоляції, в якому здійснюється безперервний контроль омичного опору ізоляції РМПС та окремих приєднань і періодичний контроль ізоляції окремих полюсів. Для неперервного контролю ізоляції широке застосування знайшли методи, що ґрунтуються на використанні врівноваженого мосту, важелями якого є опори ізоляції [2,3,4]. Наприклад на рисунку 1 зображена принципова схема пристрою за допомогою якого здійснюється сигналізація зниження рівня ізоляції полюса мережі відносно землі за допомогою двох реле KV1 та KV2. За допомогою кнопок SB1, SB2 здійснюють вимірювання струмів, за якими визначають опори полюсів за рівняннями

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{U_0 - (I_1 + I_2) \cdot R}{I_2} ; \\ R_2 &= \frac{U_0 - (I_1 + I_2) \cdot R}{I_1} ; \end{aligned} \right\}$$

де $R = R_d + R_p$;

U_0 - напруга на шинах;

I_1, I_2 - струм в міліамперметрі при розриві кола відповідно кнопками SB1, SB2;

R_p - опір обмотки реле;

R_d - додатковий опір;

C - ємність полюса відносно землі.

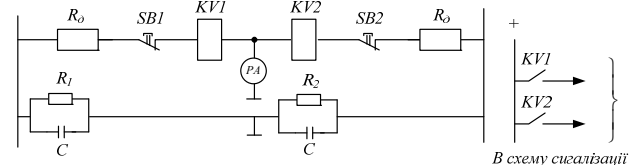


Рисунок 1 – Схема безупинного контролю ізоляції полюсів мережі постійного струму відносно землі

В сталому режимі, якщо гранична відносна похибка вимірювання напруги $\epsilon_u = \pm 5\%$, струму $\epsilon_I = \pm 2,5\%$, установлення опору R_d $\epsilon_R = \pm 5\%$ і $R_d = 16$ кОм (УКІ – 1), то похибка визначення омичного опору полюса може досягти 40%.

Таким чином, не зважаючи на просту схему реалізації, мостові схеми мають відносно велику похибку при вимірюванні, штучно знижують омичний опір полюсів відносно землі, погіршують умови безпеки, не реагують на симетричне зниження опору ізоляції полюсів, реагують лише на ступінь несиметрії ізоляції полюсів відносно землі.

Крім мостових схем, широке розповсюдження отримали засоби контролю, які ґрунтуються на принципі накладання стороннього джерела живлення промислової та підвищеної частоти [5-10] на контрольовану мережу. Недоліком цих схем контролю є суттєвий вплив ємностей мережі відносно землі, тому використовують різні методи компенсації цього впливу, що значно ускладнює пристрій і не дає бажаного результату.

Мета статті

Підвищити точність визначення омичного опору полюсів відносно землі шляхом спрощення алгоритму визначення омичного опору, зменшення впливу ємності ізоляції мережі на результати вимірювання і дублювання вимірювального експерименту.

Основні матеріали дослідження

В комбінованому методі для підвищення точності вимірювання омичного опору ізоляції полюсів відносно землі запропоновано здійснювати накладання на двопровідну мережу постійного струму стороннього джерела живлення постійного струму різної полярності.

Для теоретичного обґрунтування методу розглянемо розрахункову схему, яка зображена на рис. 2. Для простоти аналізу знехтуємо внутрішнім опором джерела живлення R_0 і стороннього джерела живлення R_c , а також опором навантаження двопровідної

мережі Z_H порівняно з омичним опором ізоляції двопровідної мережі R_1, R_2 і опорами R_d дільника приєднання стороннього джерела живлення ЕС.

Струм I_k в усталеному режимі ($k=1,2$) у вимірювальній системі при під'єднанні стороннього джерела живлення з відповідною полярністю визначимо як:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{E_0(R_2 - R_1)}{2R_1R_2 + R_d(R_1 + R_2)} + \frac{E_c}{R_{i3} + \frac{R_d}{2}}; \\ I_2 &= \frac{E_0(R_2 - R_1)}{2R_1R_2 + R_d(R_1 + R_2)} - \frac{E_c}{R_{i3} + \frac{R_d}{2}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де $R_{i3} = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}$ – загальний омичний опір ізоляції мережі відносно землі.

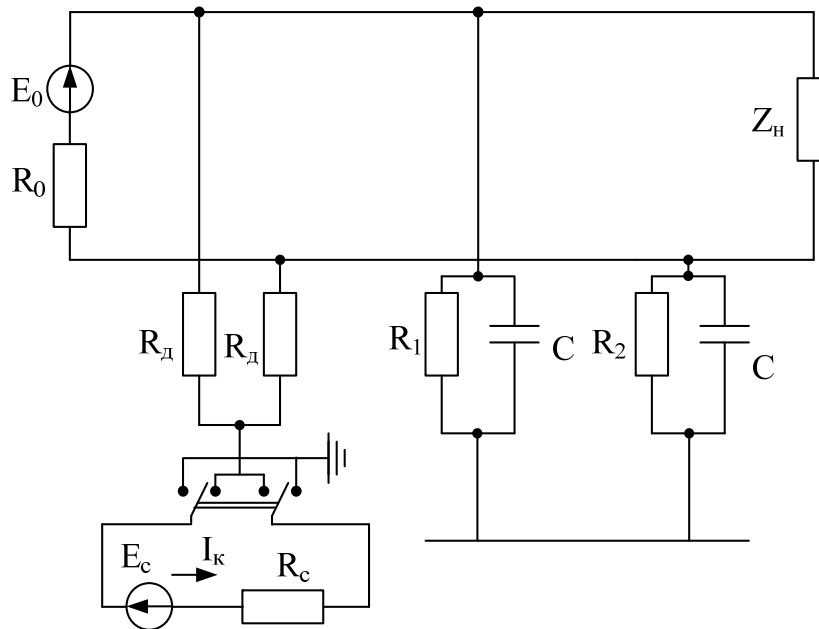


Рисунок 2 – Розрахункова схема методу контролю ізоляції в двопровідній мережі постійного струму

З системи рівнянь (1) загальний опір R_{i3} визначимо як

$$R_{i3} = \frac{2E_c}{I_1 - I_2} - \frac{R_d}{2}. \quad (2)$$

Тоді опір ізоляції окремих полюсів відносно землі:

$$\left. \begin{aligned} R_2 &= \frac{2E_0 \cdot R_{i3}}{E_0 - I_\Sigma (R_{i3} - \frac{R_d}{2})}; \\ R_1 &= \frac{R_{i3} \cdot R_2}{R_2 - R_{i3}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де $I_\Sigma = I_1 + I_2$.

Визначимо граничну відносну похибку обчислення R_{i3}, R_1, R_2 , використовуючи рівняння (1) – (3). Гранична відносна похибка визначення омичного опору полюсів двопровідної мережі відносно землі

$$\begin{aligned} E_{R_{i3}} &= \frac{1}{R_{i3}} \left(\left| \frac{\partial R_{i3}}{\partial E_c} dE_c \right| + \left| \frac{\partial R_{i3}}{\partial I_1} dI_1 \right| + \left| \frac{\partial R_{i3}}{\partial I_2} dI_2 \right| + \left| \frac{\partial R_{i3}}{\partial R_d} dR_d \right| \right) = \\ &= \left| \left(\varepsilon_{E_c} + 2\varepsilon_I \right) \cdot \left(\frac{K_1 + K_2 \cdot (1 + K_1)}{K_1} \right) \right| + \left| \varepsilon_{R_d} \cdot \frac{K_2 \cdot (1 + K_1)}{2 \cdot K_1} \right|, \end{aligned} \quad (4)$$

де $\varepsilon_{E_c}, \varepsilon_I, \varepsilon_{R_d}$, – відповідно відносні похибки вимірювання напруги, струму і установки опору діль-

ника напруги; $K_1 = R_2 / R_1$, $K_2 = R_d / R_1$.

Аналогічно визначимо граничну відносну похибку обчислення опору ізоляції полюсів мережі відносно землі

$$\varepsilon_{R_2} = \frac{1}{R_2} \left(\left| \frac{\partial R_2}{\partial E_0} dE_0 \right| + \left| \frac{\partial R_2}{\partial R_b} dR_b \right| + \left| \frac{\partial R_2}{\partial I_\Sigma} dI_\Sigma \right| + \left| \frac{\partial R_2}{\partial R_d} dR_d \right| \right) = \left| \frac{1-K_2}{2} \right| + \left| \varepsilon_{R_b} \cdot \left(1 + \frac{K_1-1}{2+K_2 \cdot \left(\frac{1}{K_1} + 1 \right)} \right) \right| + \left| \varepsilon_i \cdot \left(1 - \frac{1}{K_1} \right) \right| + \left| \varepsilon_{R_d} K_2 \frac{K_1^2 - 1}{(4K_1 + 2K_2(1+K_1))} \right|; \quad (5)$$

Для кількісної оцінки похибки, враховуючи технічно досягнуті параметри контролю, будемо вважати, що

$$K_1 \leq 5, K_2 \leq 1; \varepsilon_c = \varepsilon_{E_0} = \varepsilon_I = \varepsilon_{R_d} = 0,01.$$

$$\varepsilon_{R_1} = \left| \varepsilon_{R_b} \left(1 + \frac{1}{K_1} \right) \right| + \left| \varepsilon_{R_2} \cdot \left(1 - \frac{1}{K_1} \right) \right|. \quad (6)$$

Для відносних граничних значень похибок отримаємо такі результати: $\varepsilon_{R_b} \max = 7.2\%$; $\varepsilon_{R_2} \max = \varepsilon_{R_1} \max = 10.8\%$. Вплив коливань напруги мережі постійного струму та опору на точність вимірювання можна усунути шляхом дублювання експерименту.

Для вибору рівня сигналу, що накладається на контрольовану мережу, розглянемо граничний випадок, коли $R_1 = 0$, а $R_2 \rightarrow \infty$, тоді із системи (1) маємо:

$$\frac{E_0}{R_d} = \frac{2E_c}{R_d}, \quad (7)$$

тобто $E_c = E_0 / 2$.

Висновки

Для підвищення точності вимірювання омичного опору ізоляції полюсів в двопровідній мережі постійного струму доцільно застосовувати комбінацію статичної і динамічної характеристики вимірювального експерименту і дублювання. Це дозволяє зменшити вплив ємності мережі на результати вимірювань і похибку від неспівпадаючих з часом вимірювань при коливанні напруги і зміні навантаження двопровідної мережі постійного струму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТАРАТУРИ

- ГДК 34.20.507 – 2003 Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила: Об'єднання енергетичних підприємств "Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики", Київ, - 2003, - 329 с.
- Беркович М. А., Основы техники релейной защиты / Беркович М. А., Молчанов В. В., Семенов В. А.: - 6-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат 1984 – 367 с. ил. – Библиогр с. 369 -373.

3. Вавин В. Н. Релейная защита блоков турбогенератор-трансформатор. – М.: Энергоатомиздат – 1982 – 256 с. – Библиография: с.254 – 255.

4. Гумин И. Я. Вторичные схемы электрических станций и подстанций / Гумин И.Я., Гумин М. И., Устинов В. Ф. – М.: Л.: 1964 – 175 с. – Библиография с. 174 – 176.

5. Кононенко В. П. Исследование и разработка защиты от утечек в подземных изолированных от земли электрических сетях постоянного тока: Дис. На соискание ученой степени канд. техн. наук: спец 05.09.03 – "Электрооборудование горного производства" / Кононенко Владимир Петрович: Донецкий ордена Трудового Красного знамени политехнический институт / - Донецк, 1971 – 212 с. Библиогр.: с.166 – 173.

6. Кутин В. М. Диагностирование электрических распределительных сетей / В. М. Кутин, О. И. Кульматицкий – К.: Техніка, 1993 – 160 с. Библиография с. 160 – ISBN№5-335-00668-4.

7. Кутин В. М., Рубаненко О. С., Ештіба Алі Мусбах, Аль Нсур Мохамед. Система диагностики розподільних мереж постійного струму станцій і підстанцій. // Вісник Вінницького політехнічного інституту - 1994. - № 2. - С. 51-56.

8. Овсянников А. А. Автоматизация поиска замыканий на землю в оперативных цепях постоянного тока /А. А.Овсянников, В. А. Айбисович, В. В. Шлык // Электрические станции. – 1962. - №2. – С. 61 – 63.

9. Трояновский В. А. Установка для непрерывного контроля изоляции в сетях постоянного тока // Промышленная энергетика. – 1962. - №6. – С. 14 – 15.

10. Цепенко Е. Ф. Контроль изоляции в сетях до 1000 В. – М.: Энергия. 1972 – 130 с.

Анотация

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ В ДВУХПРОВОДНОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Добровольская Л. Н., Романюк М. В.

Предложен метод контроля изоляции в двухпроводных сетях постоянного тока, который основывается на комбинации статической и динамической характеристики измерительного эксперимента.

Abstract

THE THEORETICAL JUSTIFICATION COMBINED CONTROL METHOD ISOLATION IN TWO-WIRE DIRECT CURRENT NETWORK

L. Dobrovolska, M. Romaniuk

The method of control of isolation is offered in the two-wire n etworks of direct-current which is based on combination of static and dynamic description of measuring experiment.