

УДК 621.316

І.А. ЖУК, О.Є. РУБАНЕНКО (канд. техн. наук, доц.)
Державний вищий навчальний заклад
«Вінницький національний технічний університет»
zhuchokster@gmail.com rubanenko@bk.ru

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ МЕРЕЖ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Досліджено пристрої контролю ізоляції мереж оперативного постійного струму. Запропоновано вдосконалити метод визначення пошкодженої лінії в мережах оперативного постійного струму (ОПС) за допомогою накладання сигналу трьох різних частот від додаткового генератора. На основі вищезгаданого розроблено математичну модель пристроєм контролю активного опору полюсів мережі оперативного постійного струму (МОПС) відносно землі. Також досліджено характеристики приладу контролю опору полюсів мережі відносно землі на основі математичної моделі.

Ключові слова: мережі оперативного постійного струму, опір ізоляції, метод, математична модель, генератор сигналу.

Вступ. Мережі оперативного постійного струму (МОПС) електричних станцій і підстанцій призначені для живлення пристроїв релейного захисту і автоматики, систем сигналізації, відповідальних механізмів власних потреб, аварійного освітлення, котушок увімкнення та вимкнення високовольних вимикачів і т.п. Відповідальність таких споживачів висуває високі вимоги до надійності МОПС.

Існує багато пристроїв контролю мереж постійного струму [1,2], однак специфіка об'єкта контролю вимагає збільшення ймовірності правильного визначення появи небезпечного зниження ізоляції та забезпечення селективного визначення місця пошкодження.

Всю сукупність пристроїв контролю ізоляції мереж оперативного постійного струму (ОПС) можна поділити за принципом дії таким чином: пристрої, що реагують на різницю величин опорів ізоляції полюсів, утворюючи плечі вимірювального моста, в діагональ якого включений реагуючий орган (мостові схеми); пристрої з накладанням на мережу тестового змінного сигналу різної форми і частоти, що контролюються; пристрої, які реагують на струм перехідного процесу при замиканні полюса на землю; пристрої, що використовують комбіновані принципи. Специфіка об'єкта контролю така, що пристрої контролю опору ізоляції повинні: бути прості і надійні в експлуатації, безперервно контролювати величину опору ізоляції, спрацьовувати на сигнал, без додаткових перемикачів в мережі визначати пошкоджений кабель, забезпечити швидке знаходження місця замикання при зниженні активного опору ізоляції полюса відносно землі до 20 ± 0 кОм, не погіршувати параметрів мережі (симетрії напруг, полюсів відносно землі, величини опорів ізоляції, коефіцієнта пульсацій постійної напруги та ін.).

Використання мостових схем потребує доволі точного розрахунку струмів перехідного процесу для визначення небалансу у вимірювальній діагоналі схеми та налаштування реагуючого органа. Оскільки такі прилади не можуть здійснювати селективний контроль мережі, то її розподілені параметри в таких моделях відображаються зосередженими. Важливим елементом схеми заміщення є опір реагуючого приладу.

При розробці контролюючих приладів, які реагують на струми перезаряду ємностей мережі математична модель повинна відображати характер перехідних процесів в мережі не лише при виникненні небезпечного зниження опору одного з полюсів відносно землі, а й при різного роду комутаціях в мережі – ввімкненні вимкненні приєднань мережі, що викликає необхідність проведення додаткових розрахунків та внесення до схеми заміщення додаткових елементів, або ж аналізу декількох розрахункових схем для аналізу характеристик роботи приладу.

Для даного випадку пропонуємо пристрої контролю, що використовує накладання тестових сигналів трьох різних частот на мережу. Накладання таких сигналів дозволить усунути вплив ємності мережі при вимірюванні її параметрів.

Математична модель мережі з пристроєм контролю активного опору полюсів мережі ОПС відносно землі. Для побудови математичної моделі мережі з підключеним загальномережевим пристроєм контролю опору полюсів відносно землі можна запропонувати розрахункову схему (рис.1), де E_r – напруга гармонічних тестових сигналів трьох різних частот $\omega_1, \omega_2, \omega_3$; R_T – внутрішній опір генератора; C_ϕ – ємність розділових конденсаторів фільтра тестового сигналу; C – сумарна ємність полюсів мережі; R – загальний активний опір полюсів мережі ОПС відносно землі; I – струм, що протікає через сенсор струму.

Для спрощення аналізу математичної моделі на схемі не враховано опору навантаження, приєданого до мережі ОПС та повздовжнього опору кабелів оскільки вони є мізерними порівняно з опором ізоляції, розподілені параметри мережі моделюються за допомогою зосереджених. Крім того можна не враховувати також внутрішній активний опір генератора тестового сигналу.

© Жук І.А., Рубаненко О.Є., 2013

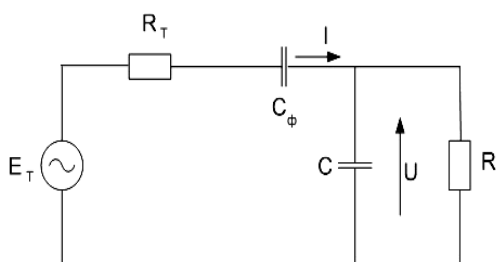


Рисунок 1 – Розрахункова схема мережі ОПС.

Розглянемо на прикладі частот ω_1 та ω_2 повні опори мережі ОПС з підключеним пристроєм контролю можна визначити за формулами:

$$Z_{cx1}^2 = \frac{1}{\frac{1}{\omega_1^2 C^2} + \frac{1}{R^2}}, \quad (1)$$

$$Z_{cx2}^2 = \frac{1}{\frac{1}{\omega_2^2 C^2} + \frac{1}{R^2}}. \quad (2)$$

Оскільки при розробці пристрою контролю можна обрати розділові конденсатори достатньо великої ємності, то модуль вхідного комплексного опору ізоляції мережі відносно землі можна визначити із співвідношень:

- для частоти ω_1 :

$$Z_{cx1} = \frac{E}{I_1}, \quad (3)$$

- для частоти ω_2 :

$$Z_{cx2} = \frac{E}{I_2}. \quad (4)$$

Для підвищення точності вимірів до схеми можна ввести сенсор напруги полюсів відносно землі, ввімкнений через фільтр, який налаштовується на частоту тестового сигналу, за рахунок чого усувається вплив ємності розділових конденсаторів.

Виходячи з отриманих співвідношень визначимо значення активного опору полюсів мережі відносно землі:

$$\begin{cases} \frac{1}{Z_{cx1}^2} = \frac{1}{\omega_1^2 C^2} + \frac{1}{R^2}, \\ \frac{1}{Z_{cx2}^2} = \frac{1}{\omega_2^2 C^2} + \frac{1}{R^2}; \end{cases} \quad (5)$$

З отриманої системи рівнянь 5 визначимо активний опір полюсів мережі відносно землі у вигляді залежності відпараметрів Z_{cx1} , Z_{cx2} , n :

$$R = Z_{cx1} Z_{cx2} \sqrt{\frac{n^2 - 1}{Z_{cx2}^2 n^2 - Z_{cx1}^2}}. \quad (6)$$

Схема заміщення, показана на рис. 1 є досить простою. Для застосування формули 6 на основі цієї схеми треба розрахувати сумарний струм в місці установки сенсора струму тестового сигналу і значення спаду напруги на опорі ізоляції мережі відносно землі, потрібні для розрахунку модуля вхідного комплексного опору мережі за відомих параметрів схеми заміщення мережі і частоти тестового сигналу.

Комплексний опір ізоляції можна визначити за формулою:

$$Z = \frac{1}{\omega C_\phi (1 + R^2 C^2 \omega^2)} \sqrt{R^2 \omega^2 C^2 \phi + (R^2 \omega^2 C C_\phi + R^2 \omega^2 C^2 + 1)^2} \quad (7)$$

Струм сенсора струму:

$$I = \frac{E \omega C_\phi (1 + R^2 C^2 \omega^2)}{\sqrt{R^2 \omega^2 C^2 \phi + (R^2 \omega^2 C C_\phi + R^2 \omega^2 C^2 + 1)^2}} \quad (8)$$

Спад напруги на опорі відносно землі:

$$U = I \cdot Z_{cx} = \frac{E \omega C_\phi R \sqrt{1 + R^2 C^2 \omega^2}}{\sqrt{R^2 \omega^2 C^2 \phi + (R^2 \omega^2 C C_\phi + R^2 \omega^2 C^2 + 1)^2}} \quad (9)$$

Як видно з формули (6) знаючи вхідні опори мережі Z_{cx1} і Z_{cx2} та співвідношення частот тестових сигналів n , за яких проводились вимірювання, можна легко визначити активний опір полюсів мережі відносно землі, а отже контролювати появу небезпечних знижень сумарного активного опору полюсів мережі відносно землі.

Вимірювання активного опору є непрямим, тому прилад контролю повинен мати не лише джерела інформації про мережу, а й блок її обробки, в якому будуть здійснюватися обчислення за формулою (6). Оскільки для достатньої точності розрахунків потрібно забезпечити високу якість сигналу сенсорів, то вони повинні вмикатись за допомогою вузькополосних фільтрів.

Дослідження характеристик приладу контролю опору полюсів мережі відносно землі на основі математичної моделі. Розроблена в попередньому розділі математична модель описує протікання тестового сигналу в контрольованій мережі та принцип роботи приладу контролю. Скористаємося нею для визначення адекватності застосування запропонованого методу розрахунку активного опору полюсів мережі відносно землі. Для цього проведемо дослідження залежності відносної похибки визначення активного опору залежно від зміни характеристик мережі: сумарна ємність мережі – $C=1$ мкФ; 10 мкФ; 40 мкФ; співвідношення частот $n=2$ ($^{100}\Gamma_{II}/_{50}\Gamma_{II}$); ємність розділових конденсаторів $C_{\Phi}=100$ мкФ; сумарний активний опір мережі відносно землі $R=1\div 40$ кОм; е.р.с джерела тестового сигналу змінюваної частоти $E=10$ В.

Визначати відносну похибку розрахунку активного опору будемо за формулою:

$$\varepsilon = \left| \frac{R - R_p}{R} \right| \times 100\% \quad (10)$$

Розрахунок проводиться з точністю до сьомого знаку після коми.

Таблиця 1 – Результати розрахунку активного опору полюсів мережі ОПС відносно землі.

C, мкФ	R, кОм										
	1	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
1	0,0000	0,0010	0,0031	0,0060	0,0053	0,0016	0,0486	0,0400	0,0346	0,0373	0,0046
10	0,0001	0,0048	0,0012	0,0315	0,1192	0,0560	0,0775	0,0315	0,2209	0,5282	0,0657
40	0,0024	0,0477	0,1073	0,3311	0,7028	0,6389	0,3293	0,3292	2,6222	0,8337	1,5299

В даній таблиці подано розрахунок відносної похибки визначення активного опору на основі запропонованої математичної моделі. Ілюстрацією тенденцій зміни похибки розрахунку є рис. 2, де показано залежності відносної похибки розрахунку у вигляді лінії тренда, побудованої в діапазоні 1-40 кОм.

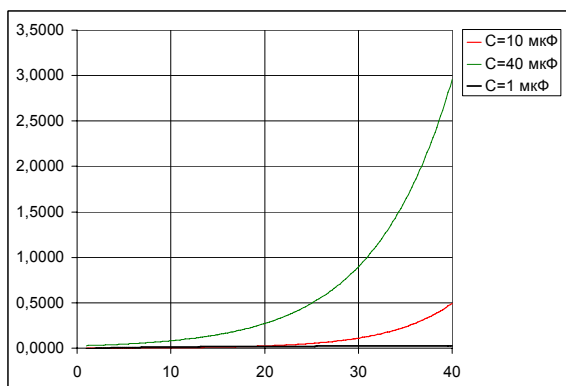


Рисунок 2 – Зміна похибки розрахунку активного опору полюсів мережі відносно землі в залежності від значення цього опору

Очевидно, що при достатній точності визначення вхідних даних – значення тестових струмів на землю та відповідних спадів напруги на опорі полюсів мережі відносно землі, необхідних для розрахунку модулів вхідних комплексних опорів відносно землі за різних частот тестового сигналу, можна з великою точністю визначати значення активного опору відносно землі і таким чином відстежувати появу небезпечних його знижень в контрольованій мережі. Третя частота потрібна для перевірки раніше отриманих результатів з метою зменшення похибки контролю шляхом визначення опору з використанням трьох комбінацій результатів вимірювань (при $\omega_1-\omega_2$, $\omega_1-\omega_3$, $\omega_2-\omega_3$), виключення хибних результатів за аномальними відхиленнями від інших і знаходження кращого результату, як середньоарифметичного з отриманих після виключення аномальних.

Висновок. Таким чином, проведені дослідження довели працездатність запропонованого методу контролю мереж оперативного постійного струму. При значній величині ємності контрольованої мережі і зниженнях активного опору відносно землі через опір від 40 кОм до 100 кОм правильна робота існуючого пристрою контролю загального мережевого опору не завжди забезпечується, тому для забезпечення достатньої точності результатів контролю параметрів слід використовувати метод трьох частот та доповнювати такий пристрій сенсорами стану окремих приєднань - оскільки ємність полюса одного кабелю набагато менша ємності всієї мережі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.с. 1316065 (СССР). Устройство для сигнализации замыканий на землю в двухпроводных сетях постоянного тока/ В.М. Кутин, А.Е. Рубаненко, В.Н. Вишнеvский, А.В. Кобылянский // Бюл. изобр.- 1987.- №21. – С.257.
2. Боруxман В.А., Кулдыкин А.Н. Устройство ИПИ-1 для отыскания мест повреждения изоляции в сетях оперативного постоянного тока //Энергетик. – 1985. - №2. – С. 28-29.

REFERENCES

1. Patent USSR 1316065. Device for signaling of earth-faults in the двухпроводных networks of direct-current/ V.N.Kutin., A.E. Rubanenko, V.N.Vishnevskiy, A.V. Kobilyanskiy // Бюл. изобр.- 1987.- №21. – p.257 (Rus).
2. Boruhman V.A., Koldukin A.N. Device of IPI-1 for searching for of sites of damage of isolation in the networks of operative direct-current//Energetik. – 1985. - №2. – p. 28-29 (Rus).

Надійшла до редакції 08.04.2013

Рецензент: М.В. Гребченко

И.А. ЖУК, О.Е. РУБАНЕНКО

Государственное высшее учебное заведение «Винницкий национальный университет»

Совершенствование методов контроля изоляции сетей оперативного постоянного тока. Исследованы устройства изоляции сетей оперативного постоянного тока. Предложено усовершенствовать метод определения поврежденной линии в сетях оперативного постоянного тока (ОПС) посредством наложения сигнала трех различных частот от дополнительного генератора. На основе вышеупомянутого разработана математическая модель устройством контроля активного сопротивления полюсов сети оперативного постоянного тока (МОПС) относительно земли. Также исследованы характеристики прибора контроля сопротивления полюсов сети относительно земли на основе математической модели.

Ключевые слова: *сети оперативного постоянного тока, сопротивление изоляции, метод, математическая модель, генератор сигнала.*

I. ZHUK, A. RUBANENKO

State Institution of Higher Education «Vinnitsa National Technical University»

Improvement of Methods For Isolation Control of DC Networks. Discussed the importance of networks of DC power in the context of a variety of consumers of electric power stations and substations. Describes the insulation monitoring device networks of DC, among which are the bridge circuits and circuits with the imposition of an additional signal generator. Provide an improved method for determining the damaged line in the networks of DC (OPT) by applying a signal of two different frequencies of the additional generator. Under this method, in the article the developed mathematical model describing the state of networks, based on which one can find the values of the resistance line to ground through frequency ratio test signals and the input impedance network of DC. Also proposed to enhance the accuracy of the scheme to introduce special sensors, the calculation of the currents and voltages are possible in the proposed mathematical model. In addition to the research paper presents the characteristics of the device resistance monitoring network with respect to the poles of the earth on the basis of a mathematical model. To do this, we study dependence of the relative errors of the resistance as a function of changes in the characteristics of the network: the capacity of the lines, the frequency ratio, capacitance coupling capacitor, the resistance to ground, the EMF source test signal of variable frequency. A formula calculated resistance, the data entered in the appropriate table, as well as built plot of error depending on the resistance. Calculations have shown that, with sufficient accuracy of the input data (the values of test current to the ground and the respective voltage drops across the resistor network pole to ground), you can accurately determine the value of the resistance to earth and so to track the emergence of dangerous drops it in a controlled network. Thus given research has proven the ability to control operating current networks based on the proposed method.

Keywords: *network of DC, insulation resistance, the method, the mathematical model, the signal generator.*