

621.317.333.621.316.13

М.В. Романюк, В.І. Волинець, І.О. Бандура, В.В. Лишук*Луцький національний технічний університет***ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ СЕЛЕКТИВНОГО ЗАХИСНОГО
ВИМКНЕННЯ В ДВОПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ***Проведено дослідження похибки визначення загального омичного опору ізоляції РМПС відносно землі.**Ключові слова: контроль ізоляції, розподільні мережі постійного струму.***М.В. Романюк, В.И. Волинець, И.О. Бандура, В.В. Лышук****ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА СЕЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТНОГО
ОТКЛЮЧЕНИЯ В ДВУХПРОВОДНОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА***Проведено исследование погрешности определения общего омического сопротивления изоляции РСПТ относительно земли.**Ключевые слова: контроль изоляции, распределительные сети постоянного тока.***M. Romanyuk, V. Volynets, I. Bandura, V. Lyshuk****THEORETICAL GROUNDS FOR A SELECTIVE SECURITY CHANGE METHOD IN TWO-
DIRECT NETWORKS OF A PERMANENT STRUCTURE***The study of the error of determination of the total ohmic impedance of isolation of DC distributive circuits with respect to the ground is carried out.**Keywords: insulation control, distributive DC networks.*

Постановка проблеми. Людина повинна бути захищеною від ураження електричним струмом при експлуатації електроустановок. Конституція України проголошує: «Людина, її життя і здоров'я... визначаються в Україні найвищою цінністю... Обов'язок держави – захищати життя людини» [1]. Права людини як споживача електричної енергії визначені Законом України «Про енергетику» [2], а як працівника – Законом України «Про охорону праці» [3].

Про шкідливу дію електричного розряду стало відомо уже в останній чверті XVIII століття. В 1863 році француз Леруа-де-Мерклор описав виробничу травму на постійному струмі. За даними [4, 5] у країнах Європи на 1 млн жителів припадає в середньому 5,7 смертельних електротравм на рік. Для країн Азії та Африки ця цифра становить 6,3. В Україні в 1992, 1993, 1995, 2008 роках трапилось відповідно 1050, 970, 1300 і 1352 виробничих електротравм, які закінчились смертю [6, 7].

Для захисту людей від небезпечної напруги, яка може з'явитись внаслідок порушення ізоляції на металевих частинах електроустановки, що в нормальних умовах не знаходяться під напругою, облаштовують захисне заземлення. Як показує досвід експлуатації електроустановок постійного струму, найефективніше захисне заземлення не є універсальним засобом захисту від струмів витікання на землю. Дотик людини до струмоведучої частини, яка нормально знаходиться під напругою, завжди є дуже небезпечним. Особливо у виробництвах з високим рівнем вологи і великим перехідним опором між людиною та ґрунтом. Наприклад: вугільні і гірничорудні шахти, торфодобування, калійні і сірчані кар'єри, тому для забезпечення більшої безпеки експлуатації електроустановок постійного струму промислових і сільськогосподарських підприємств необхідно використовувати апарати захисного вимкнення.

Захист від витікання струму можна досягнути при вимкненні мережі при струмі витікання, який дорівнює або більше граничного короткочасно допустимого струму, або граничного довго допустимого (більше 1с) струму.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш досконалим є пристрій захисного вимкнення [8, 9], який ґрунтується на принципі накладання оперативного змінного струму промислової частоти на контрольовану мережу з автоматичною компенсацією ємності мережі відносно землі, вимірювання струму через опір полюсів відносно землі та порівняння його з еталонною величиною. Принципова схема ПЗВ типу УЗО зображена на рис. 1 [8]. Змінний оперативний струм з першої вторинної обмотки проміжного трансформатора ТЛ через випрямляч VD2 накладається до ізоляції полюсів мережі через ємнісний фільтр C_0 між полюсами мережі та землею. Струм у виконавчому органі (реле KL) пропорційний загальному опору полюсів мережі відносно землі. Вимірювання ємності мережі полюсів відносно землі здійснюють за допомогою LC генератора, який отримує живлення від VD3 виконано на одному транзисторі з ємнісно-

активним зворотнім зв'язком, на виході має підсилювач П. В схемі (рис. 1) ємність полюсів мережі відносно землі С через фільтр приєднання C_0 , конденсатор C_2 та додаткову індуктивність W_d приєднується паралельно активному опору зворотного зв'язку генератора LC. Напруга, що знімається з активного опору зворотного зв'язку, підсилюється і потрапляє на обмотку керування W_k дроселя $L_{др}$, індуктивність якого буде змінюватись залежно від ємності мережі. Обмотка $W_{др}$ [9] має дві секції, розташовані на крайніх стержнях Ш-подібного осердя дроселя, які включені зустрічно для компенсації змінної ЕРС в обмотці керування. Змінюючи струм в обмотці керування, можна змінювати індуктивність дроселя. При налагодженні параметрів дроселя $L_{др}$ в резонанс з ємністю мережі відносно землі струм в реагуючому органі буде мінімальним і визначиться тільки активним опором мережі відносно землі. Для усунення залишкового струму в обмотці реле KL , який зумовлений втратами в дроселі через діоди випрямляча $VD1$, пропускається струм від випрямляча $VD2$, який регулюють за допомогою резистора R_2 . Внаслідок цього всі діоди моста $VD1$ відкриваються і струм в реле буде визначатись різницею між струмом в першій обмотці трансформатора TL і струмом, що пропускається діодом в зворотному напрямку. Короткозамкнута обмотка використовується для зменшення впливу перехідного процесу.

Якщо вважати, що досягнута повна компенсація ємності мережі, та знехтувати ємністю фільтра приєднання C_0 , то струм у вимірювальному органі складе

$$I_{в.о.} = U_{\sim} \cdot \sqrt{1/R_{із}^2 + (2\omega C - k_{LC}/\omega L_{оп})^2}, \quad (1)$$

Де U_{\sim} – напруга змінного струму, що накладається на мережу (друга обмотка TL);

$R_{із}$ – загальний активний опір ізоляції полюсів мережі відносно землі;

$L_{оп}$ – індуктивність дроселя;

k_{LC} – коефіцієнт перетворення генератора LC.

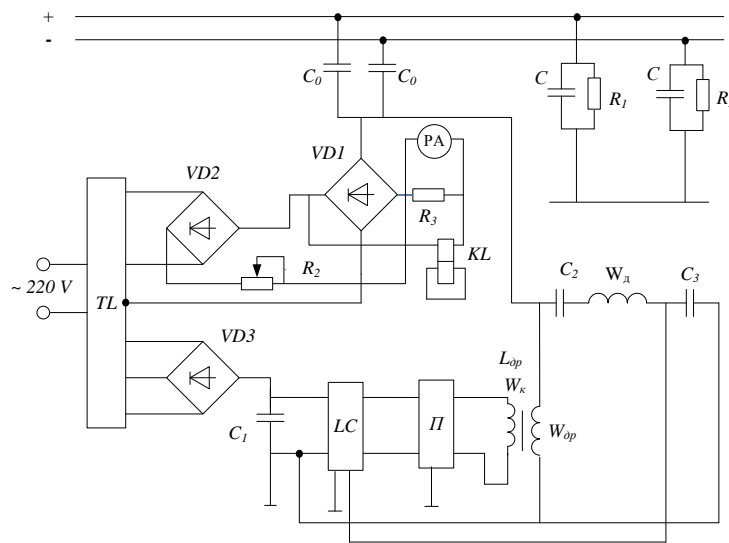


Рис. 1. Принципова схема УЗО

Якщо має місце резонансне налагодження, то $2\omega C = k_{LC}/\omega L_{оп}$ і пристрій забезпечує безперервний контроль загального активного опору полюсів мережі відносно землі. Уставка спрацювання ПЗВ [8] вибирається як:

$$R_{із} = 0,25 \cdot \frac{U_0}{I_{h\ доп}}, \quad (2)$$

де U_0 – напруга джерела постійного струму;

$I_{h\ доп}$ – допустимий струм через тіло людини у випадку, коли час його дії $t \geq 1$ с.

У разі такої уставки спрацювання реле можна забезпечити безпеку експлуатації мережі, але вона є надлишковою і призводить до невикористаних відключень машин і механізмів на всьому реально можливому діапазоні зміни опору ізоляції полюсів мережі відносно землі.

З метою усунення цього недоліку запропоновано комбінований метод контролю струму витікання у випадку дотику людини до струмоведучої частини обладнання [10-12]. Доведено, що ustalена величина струму через тіло людини може бути представлена рівнянням

$$I_h = i_h(0) \cdot \frac{R_{i3}}{R'_{i3}}, \quad (3)$$

де $i_h(0)$ – максимальне значення струму через тіло людини при $t=0$;

R'_{i3}, R_{i3} – відповідно активний опір ізоляції полюсів мережі відносно землі до моменту дотику людини (до утворення шунтувального зв'язку) до полюсів мережі та після нього.

Недолік цього методу полягає у складності узгодження захисної характеристики перехідного процесу перезаряду ємностей при виникненні шунтувального зв'язку і захисної характеристики при використанні принципу накладання змінного струму промислової частоти..

Викладення основного матеріалу. Метод селективного захисту [13] передбачає застосування загального захисного вимкнення двопровідної мережі 1 (рис. 2) та індивідуального ПЗВ, який розташований на кожному приєднанні, і його запускають від загального при виникненні шунтувального зв'язку. Індивідуальний пристрій вимірює величину активної складової струму через ізоляцію приєднання до моменту виникнення шунтувального зв'язку $I_{\phi a}$ та після виникнення шунтувального зв'язку $I'_{\phi a}$ і порівнює їх абсолютні значення (рис. 2). Порівняння здійснюється за сигналом від загального захисту 1. На пошкодженому фідері повинна завжди виконуватись умова $I'_{\phi ka} > I_{\phi ka}$, де $k=1, m$ – кількість приєднань, а на непошкодженому струм через приєднання від джерела змінного струму залишається практично незмінним, тобто $I'_{\phi ka} \approx I_{\phi ka}$. Ця ознака застосовується для визначення фідера, в якому виникає шунтувальний зв'язок, а момент порівняння визначає загальний захист, який контролює величину струму через шунтувальний зв'язок і порівнює його з допустимим значенням (нормою).

В розрахунковій схемі (рис. 2)

$$R_{ек1} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}; \quad R_{ек2} = \frac{R_{31} \cdot R_{32}}{R_{31} + R_{32}},$$

де R_1, R_2 – активний опір ізоляцій полюсів першого приєднання;

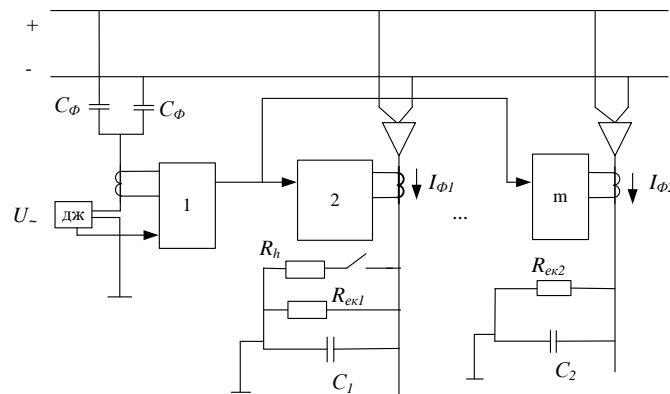


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення струму в приєднанні при накладанні на РМПС джерела змінного струму

$R_{з1}, R_{з2}$ – активні опори ізоляцій полюсів відносно землі всіх інших приєднань. Комплекс струму через джерело живлення можна визначити як:

$$i = \frac{\dot{U}_c}{\frac{1}{2j\omega C_\phi} + \frac{Z_{ек1} \cdot Z_{ек2}}{Z_{ек1} + Z_{ек2}}}, \quad (4)$$

$$\text{де } Z_{ек1} = \frac{R_{ек1}}{1 + 2j\omega C_1 R_{ек1}}; \quad Z_{ек2} = \frac{R_{ек2}}{1 + 2j\omega C_2 R_{ек2}};$$

$\dot{U}_c = U_m \cdot e^{j\varphi}$ – відповідно, комплекси опорів та напруги джерела живлення.

Комплекс струму через перше приєднання до виникнення шунтувального зв'язку

$$i_{\phi 1} = \frac{\dot{U}_c - i \frac{1}{2j\omega C_\phi}}{Z_{ек1}} = \frac{2U_c \cdot Z_{ек2} \cdot j\omega C_\phi}{Z_{ек1} + Z_{ек2} + Z_{ек1} \cdot Z_{ек2} \cdot 2j\omega C_\phi}. \quad (5)$$

Визначимо комплекс струму через перше приєднання після виникнення в ньому шунтувального зв'язку через опір R_h (рис. 3). Отримаємо:

$$i'_{\phi 1} = \frac{\dot{U}_c \cdot Z_{ек2} \cdot 2j\omega C_\phi}{Z'_{ек1} + Z_{ек2} + Z'_{ек1} \cdot Z_{ек2} \cdot 2j\omega C_\phi}, \quad (6)$$

$$\text{де } Z'_{ек1} = \frac{Z_{ек1} \cdot R_h}{Z_{ек1} + R_h}; \quad R'_{ек1} = \frac{R_{ек1} \cdot R_h (R_{ек1} + R_h)}{(R_{ек1} + R_h)^2 + \omega^2 C^2 R_{ек1}^2 R_h^2};$$

Після підстановки значень $Z_{ек1}, Z_{ек2}, Z'_{ек1}$ у вирази (5), (6) отримаємо:

$$i_{\phi 1} = \frac{\dot{U}_c \cdot 4\omega^2 C_\phi (R_{ек2} (C_2 + C_\phi) - 4C_1 R_{ек1})}{R_{ек1} \left[\frac{(R_{ек1} + R_{ек2})^2}{R_{ек1}^2 \cdot R_{ек2}} + 4 \cdot (C_1 + C_2 + C_\phi)^2 \omega^2 R_{ек2} \right]} + \quad (7)$$

$$+ j \frac{2\dot{U}_c \cdot \omega C_\phi R_{ек2} (4C_1 (C_1 + C_2 + C_\phi) R_{ек1}^2 \cdot R_{ек2} \omega^2 + R_{ек1} + R_{ек2})}{(R_{ек1} + R_{ек2})^2 + 4 \cdot (C_1 + C_2 + C_\phi)^2 R_{ек2}^2 R_{ек1}^2 \omega^2};$$

$$i'_{\phi 1} = \frac{\dot{U}_c \cdot 4\omega^2 C_\phi \left(R_{ек2} (C_2 + C_\phi) - C_1 \frac{R_h \cdot R_{ек1}}{R_h + R_{ек1}} \right)}{R'_{ек1} \left[\frac{(R_{ек1} + R_{ек2})^2}{R_{ек1}^2 \cdot R_{ек2}} + 2 \frac{R_{ек1} + R_{ек2}}{R_h \cdot R_{ек1}} + \frac{R_{ек2}}{R_h^2} + 4(C_1 + C_2 + C_\phi)^2 \omega^2 R_{ек2} \right]} +$$

$$+ j \frac{2\dot{U}_c \cdot 2\omega C_\phi R_{ек2} \left[4R_h^2 R_{ек1}^2 R_{ек2} \omega^2 (C_1 C_\phi + C_1^2 + C_1 C_2) + \left[(R_{ек1} + R_{ек2}) R_h + R_{ек1} \cdot R_{ек2} \right]^2 + \left[2(C_1 + C_2 + C_\phi) R_{ек1} \cdot R_{ек2} R_h \omega \right]^2 \dots \right]}{\dots \left[(R_h + R_{ек1}) (R_h (R_{ек1} + R_{ек2}) + R_{ек1} \cdot R_{ек2}) \right]}. \quad (8)$$

Із виразів (7) і (8) видно, що активна складова струму $I_{\phi 1a}$ до моменту виникнення шунтувального зв'язку зворотно пропорційна загальному активному опору $R_{ек1}$, а після виникнення шунтувального зв'язку $-R'_{ек}$. Проведемо дослідження впливу параметрів $C_{\phi}, C_1, C_2, R_{ек1}, R_{ек2}$ розрахункової схеми (рис. 2) на методичну похибку визначення активної складової струмів $I_{\phi 1a}, I'_{\phi 1a}$.

Методична похибка визначення може бути представлена як [74]:

$$\varepsilon_{I_{\phi a}} = \frac{|I_{\phi 1a}| - |I_D|}{|I_D|}, \quad (9)$$

де $I_D = \frac{U_c}{R_{ек1}}$ – дійсне значення активної складової струму з врахуванням (7).

$$\varepsilon_{I_{\phi a}} = \left| \frac{4\omega^2 C_{\phi} (R_{ек2} (C_2 + C_{\phi}) - 4C_1 R_{ек1})}{(R_{ек1} + R_{ек2})^2 + 4(C_1 + C_2 + C_{\phi})^2 \omega^2 R_{ек2}} - 1 \right| \cdot 100\%. \quad (10)$$

Аналогічно методичну похибку для активної складової струму першого приєднання після виникнення шунтувального зв'язку визначимо із (4) з врахуванням (8), тоді отримаємо:

$$\varepsilon_{I_{\phi a}} = \left| \frac{4\omega^2 C_{\phi} \left(R_{ек2} (C_2 + C_{\phi}) - C_1 \frac{R_h \cdot R_{ек1}}{R_h + R_{ек1}} \right)}{\frac{(R_{ек1} + R_{ек2})^2}{R_{ек1}^2 \cdot R_{ек2}} + 2 \frac{R_{ек1} + R_{ек2}}{R_h \cdot R_{ек1}} + \frac{R_{ек2}}{R_h^2} + 4(C_1 + C_2 + C_{\phi})^2 \omega^2 R_{ек2}} - 1 \right| \times 100\%. \quad (11)$$

Досвід експлуатації показав, що для промислових підприємств ємність окремого приєднання не перевищує 0,1 мкФ, а загальна ємність РМПС – 1 мкФ; активний опір ізоляції окремих приєднань може змінюватись в широких межах – від 30 до 1000 кОм. Допустиме значення опору шунтувального зв'язку для РМПС напругою 220 В може бути визначено за рівняннями як $R_h = 0,55 \div 7,33$ кОм. Допустиме симетричне зниження ізоляції РМПС $R_c = 12,48$ кОм.

Виходячи із значення цих параметрів, розрахункові значення залежності $\varepsilon_{I_{\phi a}} = f(R_{ек1}, R_{ек2})$ при $C_1 = 0,1$ мкФ, $C_2 = 1$ мкФ для двох можливих значень $C_{\phi} = 20$ і 100 мкФ, а також $\varepsilon_{I_{\phi a}} = f(R_{ек1}, R_{ек2})$ і різних значеннях $R_h = 0,55; 1; 7,33$ кОм. Геометрична інтерпретація цих залежностей показана на рис. 4 і 5.

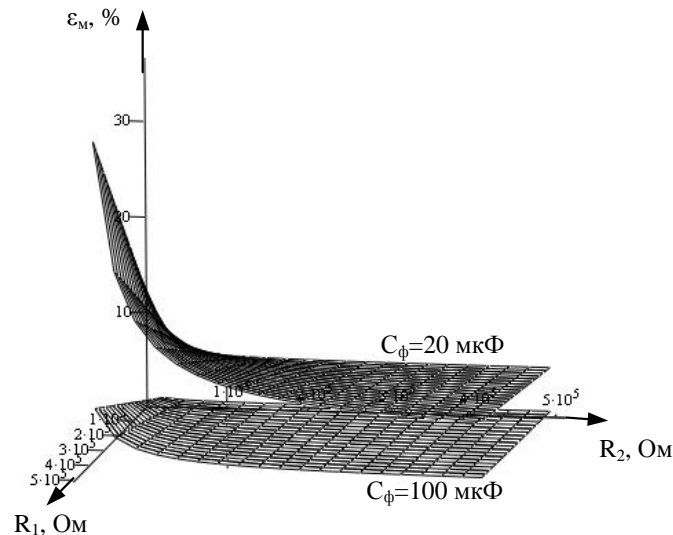


Рис. 3. Залежність методичної похибки визначення активної складової струму на першому присьднанні від активного опору $\varepsilon_m = f(R_{ек1}, R_{ек2})$, $C_1 = 0,1$ мкФ, $C_2 = 1$ мкФ при двох значеннях ємності фільтра присьднання $C_\phi = 20, 100$ (мкФ)

Аналіз отриманих результатів показав, що методична похибка визначення активної складової струму $I_{\phi 1a}$ до моменту виникнення шунтувального зв'язку, в основному, залежить від величини ємності фільтра. При збільшенні ємності фільтра від 20 до 100 мкФ відносна похибка зменшується від 5% до 1%. Методична похибка визначення активної складової струму $I'_{\phi 1a}$ — після виникнення шунтувального зв'язку, в основному, залежить від величини опору шунтувального зв'язку та при зміні $0,55 < R_h < 7,33$ (кОм), при яких спрацьовує ПЗВ, знаходиться в межах $(1 < \varepsilon < 1,25)\%$.

Величина струму на непошкодженому присьднанні до моменту виникнення пошкодження на першому присьднанні може бути визначена як: (рис. 2)

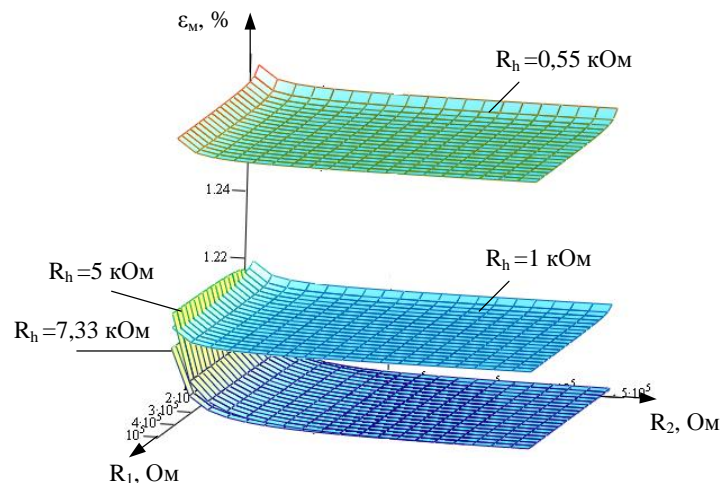


Рис. 4. Залежність методичної похибки визначення активної складової струму на першому присьднанні при виникненні шунтувального зв'язку для $0,55 < R_h < 7,33$ (кОм), $C_1 = 0,1$ мкФ, $C_2 = 1$ мкФ, $C_\phi = 100$ мкФ

$$\dot{I}_{\Phi 2} = \frac{\dot{U}_c - i \frac{1}{2j\omega C_{\Phi}}}{Z_{ек2}} = U_c \frac{Z_{ек1} \cdot 2j\omega C_{\Phi}}{Z_{ек1} \cdot Z_{ек2} + 2j\omega C_{\Phi} \cdot Z_{ек1} \cdot Z_{ек2}} \quad (12)$$

Після виникнення пошкодження на першому приєднанні

$$\dot{I}'_{\Phi 2} = \frac{U_c \cdot Z'_{ек1} \cdot 2j\omega C_{\Phi}}{Z'_{ек1} + Z_{ек2} + Z'_{ек1} \cdot Z_{ек2} \cdot 2j\omega C_{\Phi}} \quad (13)$$

Після підстановки значень $Z_{ек1}$, $Z_{ек2}$, $Z'_{ек1}$, в (8), (9) отримуємо:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\Phi 2} = & \frac{U_c}{R_{ек2}} \frac{4\omega^2 C_{\Phi} (R_{ек1} (C_2 + C_{\Phi}) - 4C_2 R_{ек2})}{\left[\frac{(R_{ек1} + R_{ек2})^2}{R_{ек2}^2 \cdot R_{ек1}} + 4(C_1 + C_2 + C_{\Phi})^2 \omega^2 R_{ек1} \right]} + \\ & + j \frac{2U_c \cdot \omega C_{\Phi} R_{ек1} (4C_2 (C_1 + C_2 + C_{\Phi}) R_{ек1} R_{ек2}^2 \omega^2 + R_{ек1} + R_{ек2})}{(R_{ек1} + R_{ек2})^2 + 4(C_1 + C_2 + C_{\Phi})^2 \omega^2 R_{ек1} R_{ек2}^2} \end{aligned} \quad (14)$$

Аналогічно для струму $I'_{\Phi 2}$

$$\begin{aligned} \dot{I}'_{\Phi 2} = & \frac{\dot{U}_c}{R_{ек2}} \left[\frac{4\omega^2 C_{\Phi} \left(C_{\Phi} - C_2 \left(\frac{R_{ек2}}{R_h} + \frac{R_{ек2}}{R_{ек1}} \right) \right)}{\left(1 + \frac{R_{ек2}}{R_h} + \frac{R_{ек2}}{R_{ек1}} \right)^2 \frac{1}{R_{ек2}^2} + 4\omega^2 (C_{\Phi} + C_2)^2} - \right. \\ & \left. - 2j \frac{\omega C_{\Phi} R_{ек2} \left(4\omega^2 R_{ек2}^2 (C_{\Phi} + C_2) C_2 - 1 - \frac{R_{ек2}}{R_h} - \frac{R_{ек2}}{R_{ек1}} \right)}{\left(1 + \frac{R_{ек2}}{R_h} + \frac{R_{ек2}}{R_{ек1}} \right)^2 + 4\omega^2 R_{ек2}^2 (C_{\Phi} + C_2)^2} \right] \end{aligned} \quad (15)$$

Різниця модулів активної складової струму до моменту виникнення шунтувального зв'язку $|\dot{I}_{a\Phi 2}|$ та після його виникнення $|\dot{I}'_{a\Phi 2}|$ може бути визначена із рівнянь (14) і (15) як:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{I}_{a\Phi 2} = & \left| \frac{\dot{I}_{a\Phi 2} - \dot{I}'_{a\Phi 2}}{\dot{I}_{a\Phi 2}} \right| \cdot 100\% = \left| 1 - \frac{\dot{I}'_{a\Phi 2}}{\dot{I}_{a\Phi 2}} \right| \cdot 100\% = \\ = & \left| 1 - \frac{\left(C_{\Phi} - C_2 \left(\frac{R_{ек2}}{R_h} + \frac{R_{ек2}}{R_{ек1}} \right) \right) (R_{ек1} + R_{ек2})^2 + 4(C_1 + C_2 + C_{\Phi})^2 \omega^2 R_{ек1}^2 \cdot R_{ек2}^2}{R_{ек1}^2 \left[R_{ек1} (C_2 + C_{\Phi}) - 4C_2 R_{ек2} \right] \left[\left(1 + \frac{R_{ек2}}{R_h} + \frac{R_{ек2}}{R_{ек1}} \right)^2 + 4\omega^2 (C_{\Phi} + C_2)^2 R_{ек2}^2 \right]} \right| \times 100\% \end{aligned} \quad (16)$$

На рис. 5 побудована залежність відносної різниці струмів від величини $R_{ек1}$ і $R_{ек2}$ при $C_2 = 1 \text{ мкФ}$, $C_{\Phi} = 500 \text{ мкФ}$ і зміні $R_h = 0,55; 1; 5; 7,33 \text{ Ом}$.

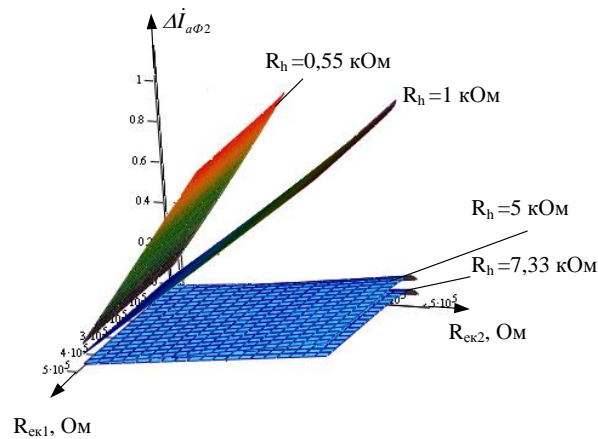


Рис. 5. Залежність відносної різниці струмів $\Delta I_{\alpha\phi 2}$ в % на пошкодженому відгалуженні від зміни опору шунтувального зв'язку на пошкодженому приєднанні

Відхилення модуля струмів при зміні $0,55 \leq R_h \leq 7,33$ не перевищує 1%.

Висновки. Безперервний контроль ізоляції необхідно доповнити періодичним контролем омичного опору ізоляції окремих полюсів відносно землі. Для розв'язання цієї задачі запропоновано метод накладання постійного струму різної полярності. Цей метод дозволяє виключити вплив ємності мережі відносно землі на результати вимірювання, і в найбільш несприятливих умовах вимірювання для середнього класу вимірювальних пристроїв ($\epsilon=1\%$) похибка контролю не перевищує $\epsilon \leq 10\%$. 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 використаних джерел:

1. Конституція України: Прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28 червня 1996р. – К.: Преса України, 1997 – 80 с.
2. Закон України “Про захист енергетику” від 16 жовтня 1997 р. №375/97-ВР.
3. Закон України “Про охорону праці” //Охорона праці.– 2003.– №1 С.3—11.
4. Народа з проблем електротравматизму в Міненерго України, 19 листопада 1996 р., Київ.
5. Манойлов В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. — 4-е изд. — Ленинград : Энергоатомиздат, 1985. — 384 с.
6. Корякин Р.Н. Научные концепции электробезопасности элект-роустановок жилых зданий / Р.Н. Корякин // Промышленния энергетика. — 1995. — № 5. — С. 29—34.
7. Народа з проблем електротравматизму в Міненерго України. 19 листопада 1996 р., Київ.
8. Кононенко В.П. Исследование и разработка защиты от утечек в подземных изолированных от земли электрических сетях постоянного тока: Дис. на соискание канд. техн. наук: спец 05.09.03 – “Электро-оборудование горного производства” / Кононенко Владимир Петрович:– Донецк: Донецкий Ордена Трудового Красного знамени
9. А.с. 246641 СССР. Устройство автоматического контроля изоляции сетей постоянного тока; / В.С. Дзюбан, В.П. Кононенко; – 3892243/21-21; Заявлено 25.05.69; Опубл. 12.03.70, Бюл. №2. С.53.
10. А.с. 1339732 СССР. Способ защитного отключение двухпроводной сети постоянного тока при прикосновении к ней человека; / В.М.Кутин; – 4735830/07; Заявл. 05.09.89; Опубл. 07.10.92, Бюл. №37. – 7 с.
11. Кутин В.М. Усовершенствованное устройство защитного отключения для сетей постоянного тока до 1000 В / В. М. Кутин // Электричество. — 1989. — № 5. – С. 64—68.
12. Кутин В. М. Метод измерения тока через утечку по параметрам переходного процесса в двухпроводных сетях постоянного тока / В.М.Кутин, Шахид Умар // Проблемы преобразовательной техники. Тез.докл. н-т конф. –Ч.І — Киев, 1991. — С. 223.
13. Добровольська Л.Н. Селективний контроль омичного опору ізо-ляції в лвопроводних мережах постійного струму / Л.Н. Добровольська , М.В. Романюк // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Випуск 3/2010 (62). Ча-стина 2. – Кременчук, 2010. – С. 90–94.

Стаття надійшла до редакції 18.03.2019