



УКРАЇНА

(19) UA (11) 79454 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
G01R 31/08МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ДО МІСЦЯ ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

1

(21) 20041008683  
(22) 25.10.2004  
(24) 25.06.2007  
(46) 25.06.2007, Бюл. №9, 2007р.  
(72) Стогній Борис Сергійович, Рогоза Владислав Васильович, Сопель Михайло Федорович, Голубов Олег Юрійович  
(73) ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ НАН УКРАЇНИ  
(56) RU 2222026 C1, 27.07.2003  
US 6601001 B1, 29.07.2003  
US 3474333, 21.10.1969  
(57) Спосіб визначення відстані до місця однофазного замикання на землю в електричних мережах з ізолюованою нейтраллю, який полягає в тому, що на основі реєстрації напруг і струмів на живлячому кінці пошкодженої лінії і їхнього аналізу визначають відстань до місця замикання, який **відрізняється** тим, що визначають момент переходу стру-

2

му замикання через нуль, реєструють миттєві значення струмів і напруг усіх фаз у цей момент, обчислюють їх перші і другі похідні, а потім визначають відстань до місця замикання шляхом розрахунку за формулою:

$$\ell_3 = \frac{U_A}{I_{A1}R + L_A \frac{dI_{A1}}{dt} + M_{AB} \frac{dI_{B1}}{dt} + M_{CA} \frac{dI_{C1}}{dt}},$$

де:

 $U_A, I_{A1}$  - напруга і струм пошкодженої фази лінії; $\frac{dI_{A1}}{dt}, \frac{dI_{B1}}{dt}, \frac{dI_{C1}}{dt}$  - похідні фазних струмів лінії; $R, L_A$  - погонні значення фазних активного опору і індуктивності лінії; $M_{AB}, M_{CA}$  - погонні значення взаємних індуктивностей лінії.

Запропонований винахід відноситься до електроенергетики і може бути використаний для визначення відстані до місця однофазного замикання на землю в лініях електропередачі розподільчих мереж. Відомий спосіб визначення відстані до місця однофазного замикання на землю [1], згідно з яким із струму пошкодженої фази і з напруги пошкодженої фази фільтрують по дві гармонійні складові, а потім за величиною індуктивності пошкодженої ділянки визначають відстань до місця замикання. Указаний спосіб має принциповий недолік. Оскільки перехідний опір в місці замикання на землю має нелінійний характер, розкладання кривих струму і напруги в ряд Фур'є некоректне і є передумовою отримання результатів з істотними похибками.

Відомий також спосіб визначення відстані до місця замикання [2], який полягає в тому, що від джерела постійного струму заряджають конденсатор, ємність якого на порядок більша від ємності дроту пошкодженої лінії відносно землі, розряджають його в контурі „пошкоджена фаза лінії - земля”, вимірюють частоту вільних коливань, по-

тім додатково заряджають від джерела постійного струму другий конденсатор, ємність якого більша від ємності першого конденсатора, розряджають його, вимірюють частоту вільних коливань в контурі, і розраховують відстань до місця замикання, використовуючи значення вимірюваних частот, величин ємностей конденсаторів, питомої індуктивності контура „дріт-земля”.

Недоліком способу є необхідність відключення лінії, що ускладнює його технічну реалізацію, а при нестійкому замиканні через перехідний опір велика ймовірність того, що в процесі вимірювань перехідний опір змінить своє значення, що може призвести до істотної похибки при визначенні місця пошкодження.

Крім того, відомий спосіб визначення відстані до місця замикання на землю, узятий як прототип, який базується на реєстрації і аналізі напруги на пошкодженій фазі [3]. Указаний аналіз проводять таким чином: напругу в початковий момент однофазного замикання апроксимують поліномом другого ступеню, визначають модуль максимального значення похідної на початку ділянки апроксимації,

(13) C2

(11) 79454

(19) UA

нормують по відношенню до напруги пробою і по розрахунковій залежності відстані до місця однофазного замикання від максимуму модуля нормованої похідної напруги для конкретної лінії в даній мережі визначають відстань до місця замикання.

Недоліком способу є необхідність попереднього отримання великої кількості залежностей відстані до місця замикання від максимуму модуля нормованої похідної від напруги у момент пробою для всіх ліній мережі при всіх можливих її конфігураціях, причому, нормування проводиться по відношенню до пробивної напруги лінії, що є величиною невизначеною, залежною від багатьох чинників впливу, унаслідок чого неможливо достатньо точно визначити місце пошкодження.

Задачею винаходу є розробка способу, в якому шляхом реєстрації миттєвих значень фазних струмів і напруг в режимі однофазного замикання на землю (ОЗЗ) і їхнього аналізу досягається новий технічний результат, а саме:

підвищується точність визначення місця пошкодження (ВМП), забезпечується універсальність способу, що виражається в тому, що відключення пошкодженої лінії для визначення місця замикання непотрібне.

Поставлена задача досягається тим, що в заявленому способі визначення відстані до місця однофазного замикання на землю в електричних мережах з ізольованою нейтраллю, який полягає в тому, що на основі реєстрації напруг і струмів на живлячому кінці пошкодженої лінії і їхнього аналізу визначають відстань до місця замикання, визначають момент переходу струму замикання через нуль, реєструють миттєві значення струмів і напруг всіх фаз у цей момент, обчислюють їхні перші і другі похідні і потім шляхом розрахунків визначають відстань до місця замикання.

Порівняльний аналіз відомих технічних рішень показує, що запропонований спосіб ВМП є найбільш ефективним, оскільки використання для цих цілей миттєвих значень струмів і напруг пошкодженої лінії шляхом їхньої реєстрації і подальшої обробки у відповідності до розроблених алгоритмів дозволяє більш точно визначити місце пошкодження з мінімальною витратою часу. При цьому немає необхідності відключати пошкоджену лінію, тобто знеструмлювати споживачів, яких живить ця лінія, а також встановлювати на лінії додаткове устаткування, що є необхідним при реалізації інших способів ВМП.

На основі наведеного вище можна зробити висновки про те, що сукупність істотних ознак, висловлених у формулі винаходу, необхідна і достатня для досягнення нового технічного результату - підвищення ефективності визначення місця пошкодження при однофазному замиканні на землю в мережі з ізольованою нейтраллю, оскільки підвищується точність ВМП, значно зменшується час визначення замикання, немає необхідності відключати лінію і припиняти електропостачання споживачів.

На Фіг.1 наведена схема заміщення лінії, працюючої в режимі ОЗЗ в мережі з ізольованою нейтраллю.

На Фіг.2 представлена векторна діаграма напруг при замиканні на землю фази А.

На Фіг.3 представлені часові залежності фазних струмів при замиканні на землю фази А.

Запропонований спосіб може бути реалізований за допомогою пристрою, який реєструє миттєві значення струмів і напруг в режимі ОЗЗ, наприклад, за допомогою інформаційно-діагностичного комплексу "Регина".

Напруга пошкодженої фази визначається падінням напруги уздовж пошкодженої ділянки і падінням напруги в місці замикання

$$U_A = \Delta U_L - \Delta U_3 \quad (1)$$

Диференціальне рівняння, що описує процес ОЗЗ

$$U_A = (I_{A1}R + L I_{A1}' I_{B1} + M_{CA} I_{C1}') I_3 + (C_A U_{A1} + C_B U_{B1} + C_C U_{C1}') I_{R3} \quad (2)$$

де:

$I_A, I_B, I_C$  - фазні струми лінії в місці вимірювання,

$I_{A1}, I_{B1}, I_{C1}$  - фазні струми лінії з урахуванням впливу розподілених ємностей. Для однорідної лінії, усереднені значення цих струмів на пошкодженій ділянці (фіг.1).

$$I_{A1} = I_A - \frac{1}{2} (I_{AB1} - I_{CA1} + I_{A01})$$

$$I_{B1} = I_B - \frac{1}{2} (I_{BC1} - I_{AB1} + I_{B01})$$

$$I_{C1} = I_C - \frac{1}{2} (I_{CA1} - I_{BC1} + I_{C01})$$

$I_{A01}, I_{B01}, I_{C01}$  - складові фазних струмів, які визначаються добутком ємності на землю, на пошкодженій ділянці, на похідну від фазної напруги.

$$I_{A01} = I_3 C_A U_A$$

$$I_{B01} = I_3 C_B U_B$$

$$I_{C01} = I_3 C_C U_C$$

$I_{AB1}, I_{BC1}, I_{CA1}$  - складові фазних струмів, які визначаються міжфазними ємностями на пошкодженій ділянці

$$I_{CA1} = I_3 C_{AB} U_{AB}$$

$$I_{BC1} = I_3 C_{BC} U_{BC}$$

$$I_{AB1} = I_3 C_{CA} U_{CA}$$

де:

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

$$U_{BC} = U_B - U_C$$

$$U_{CA} = U_C - U_A$$

$I_{A1}, I_{B1}, I_{C1}$  и  $U_A, U_B, U_C$  - похідні фазних струмів і напруг лінії.

$R$  - погонне значення активного опору лінії

$C_A, C_B, C_C$  и  $L$  - погонні значення індуктивності і ємності фаз лінії.  $M_{AB}, M_{BC}, M_{CA}$  и  $C_{AB}, C_{BC}, C_{CA}$  - погонні значення міжфазних ємностей і взаємних індуктивностей лінії.

У момент переходу струму  $I_3$  через 0 другий доданок в рівнянні (1) звертається в нуль, унаслідок

док чого виключається вплив перехідного опору, в місці замикання і, після перетворення, одержуємо розрахункову формулу

$$\left[ \gamma U_C + \beta U_B + \alpha U_A + R(C_{AB}U_B + C_{CA}U_C - \delta U_A) \right] \frac{I_3}{2} = U_A + \quad (3)$$

$$+ L I_A + M A B I_B + M C A I_C + I_A R$$

де:

$$\alpha = M_{AB}C_{AB} + M_{CA}C_{CA} - L(C_{AB} + C_{CA} + C_A)$$

$$\beta = L C_{AB} + M_{CA}C_{BC} - M_{AB}(C_{BC} + C_{AB} + C_B)$$

$$\gamma = L C_{CA} + M_{AB}C_{BC} - M_{CA}(C_{CA} + C_{BC} + C_C)$$

$$\delta = C_{AB} + C_{CA} + C_A$$

Оскільки індуктивність має логарифмічну залежність від відстані до місця пошкодження

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln\left(\frac{2l}{r} - 1\right) + \frac{\mu_0}{8\pi}, \quad M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln\left(\frac{2l}{D} - 1\right)$$

розрахункова формула не має аналітичного рішення, і виникає необхідність застосовувати чисельні методи розв'язання.

Доцільно скористатися методом Ньютона по ітераційній формулі [4]

$$x_{1+m} = x_m - \frac{F(x_m)}{F'(x_m)}; \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

де:

$$x_0 - \text{початкове наближення} \quad F'(x_m) = \frac{dF(x)}{dx}$$

похідна від  $F(x)$

$m$  - ітераційний індекс

В якості початкового наближення використовується формула

$$I_{30} = \frac{U_A}{I_A R + L_A \frac{dI_A}{dt} + M_{AB} \frac{dI_B}{dt} + M_{CA} \frac{dI_C}{dt}}$$

Подальше уточнення по ітераційній формулі

$$I_{30(1+m)} = I_{30(m)} - \frac{\Delta U_L(I_{30(m)}) - U_A}{\Delta U_L'(I_{30(m)})}; \quad (4)$$

$$m = 0, 1, 2, \dots$$

Для визначення моменту  $t_0$  (Фіг.3) також застосовується метод Ньютона

Струм замикання на землю  $I_3$  з визначається напругою і ємністю по відношенню до землі здорових фаз (в першому наближенні складовою струму ОЗЗ від пошкодженої фази в даному випадку можна знехтувати)

$$I_3 = C_B U_B + C_C U_C$$

Для визначення початкового наближення моменту переходу струму через нуль  $t_0(0)$  прийма-

ється, що форма кривої напруги здорових фаз синусоїдальна, і напруги зсунуті по фазі на  $60^\circ$  (фіг.2)

Тоді

$$I_3(t) = \omega C_B U_{Bm} \cos(\omega t + \Psi_B) + \omega C_C U_{Cm} \cos(\omega t + \Psi_C) = 0$$

і при

$$U_{Cm} = U_{Bm} = U_m, \quad \Psi_B = \Psi_C + 60^\circ$$

$U_{Cm}$ ,  $U_{Bm}$ ,  $U_m$  - амплітуди фазних напруг

$\Psi_B$ ,  $\Psi_C$  - фазні кути (кут між ЕРС фази А і напругами відповідних фаз)

$$I_3(t) = \omega C U_m (\cos(\omega t + \Psi_C + 60^\circ) + \cos(\omega t + \Psi_C)) = 0 \quad (5)$$

Розв'язання рівняння (5) визначає значення  $t_0(0)$ .

$$t_0(0) = \frac{\arctg\left(\frac{C_C + 2C_B}{\sqrt{3}C_B}\right) - \Psi_C}{\omega}$$

Подальше уточнення по ітераційній формулі

$$t_0(1+m) = t_0(m) - \frac{I_3(t_0(m))}{I_3'(t_0(m))}; \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Точність запропонованого способу визначається тим, що в розрахунковій формулі відсутній опір  $R_3$ , а вищі гармоніки в мережі ураховуються автоматично, оскільки при аналізі використовуються миттєві значення струмів і напруг.

Тобто, для розрахунку відстані до місця пошкодження необхідно знати погонні значення параметрів лінії, які звичайно визначаються по її технічному паспорту, а також миттєві значення струмів і напруг на початку лінії в режимі ОЗЗ, і їхніх похідних у момент переходу струму замикання через нуль.

Таким чином, у порівнянні з прототипом, даний спосіб дозволяє більш точно і надійно, визначати відстань до місця пошкодження при ОЗЗ в лінії в мережі з ізолюваною нейтраллю.

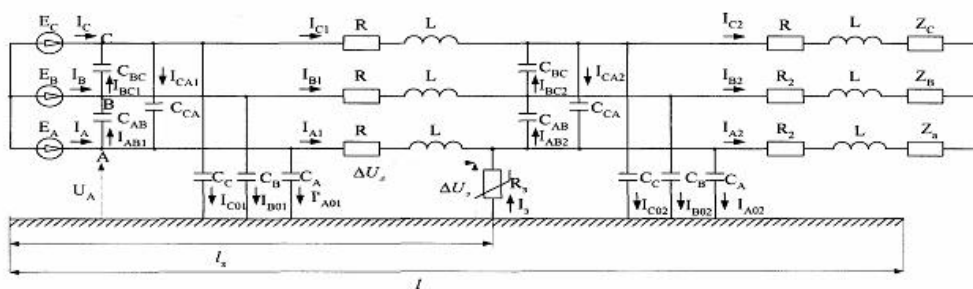
Література:

1. Авторське свідоцтво СРСР № 1250995, МПК G01R31/08, 1981.-Бюл. № 30, 1986.

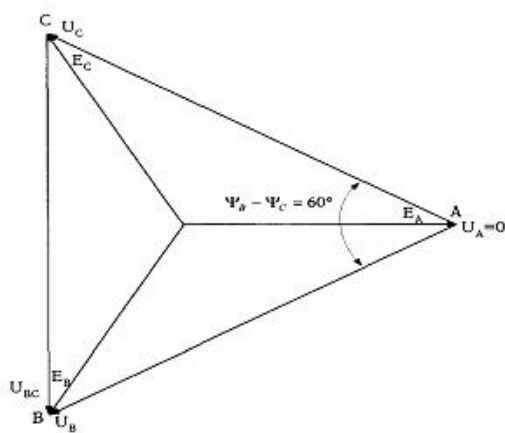
2. Авторське свідоцтво СРСР № 1290212, МПК G01R31/08, 1985.-Бюл. № 6, 1987.

3. Патент Російської Федерації № 2222026 С2, МПК G01R31/08; 2002, 2004.

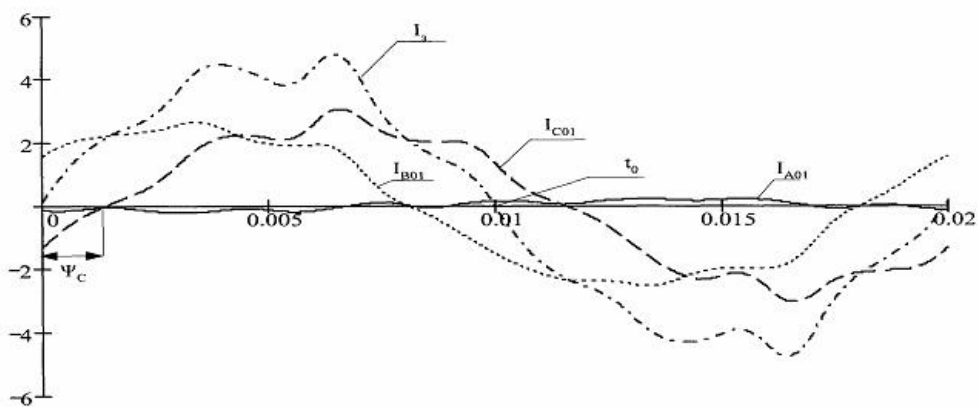
4. Бронштейн И. П., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. -М: Наука. 1981г.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3