



УКРАЇНА

(19) UA (11) 51177 (13) C2  
(51) 7 G01R31/02, G01R27/18

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ БЕЗПЕРЕРВНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ПРОВІДНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ ФАЗ ВІДНОСНО ЗЕМЛІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИЄДНАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ

1

2

(21) 2002010644

(22) 25.01.2002

(24) 15.12.2004

(46) 15.12.2004, Бюл. № 12, 2004 р.

(72) Гребченко Микола Васильович, Гребченко  
В'ячеслав Миколайович

(73) ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

(56) Сидоров А.И., Хусаинова Н.А. Определение  
проводимости изоляции по отношению к земле  
для сетей напряжением 6-35кВ с изолированной  
нейтралью // Электричество. -2001. -№5. -С.12-18.

SU 335621, 11.04.1972

US 1780044, 07.12.1992

RU 2144678, 20.01.2000

US 5272440, 14.05.1992

(57) Спосіб безперервного визначення комплексної провідності ізоляції фаз відносно землі електричного приєднання навантаження у трифазних електричних мережах з ізольованою нейтраллю, згідно з яким при наявності відмін провідностей ізоляції фаз відносно землі або при виникненні дефекту ізоляції в одній з фаз виконують вимірювання параметрів режиму на початку приєднання, який **відрізняється** тим, що додатково безперервно через однакові проміжки часу вимірюються миттєві значення струмів трьох фаз і напруги трьох фаз відносно землі, на підставі чого визначаються вектори змінних струмів і напруг, обчис-

люють суму векторів трьох змінних струмів фаз на початку приєднання, обчислюють різницю між двома будь-якими векторами змінних напруг і визначають кут зсуву між обчисленим вектором суми струмів і обчисленим вектором різниці між напругами, величину вектора сумарного струму порівнюють з припустимим значенням і, якщо величина сумарного струму більше припустимої, то у залежності від величини змінного кута визначають фазу мережі, у якій виник дефект ізоляції, і розраховують значення комплексних провідностей ізоляції двох фаз відносно землі згідно з наступними співвідношеннями

$$\underline{Y}_1 = \frac{I_1(U_1 + U_2 - 2U_3) + I_3(2U_1 - U_2 - U_3)}{(U_1 + U_2 + U_3) \cdot (U_1 - U_3)},$$

$$\underline{Y}_{3i} = \underline{Y}_{1i},$$

а комплексну провідність ізоляції третьої фази, в якій виник дефект ізоляції, визначають згідно з співвідношенням

$$\underline{Y}_{2i} = \frac{1}{U_2} (I_1 + I_2 + I_3 - U_1 \cdot \underline{Y}_{1i} - U_3 \cdot \underline{Y}_{3i})$$

де  $I_1, I_2, I_3$  - вектори струмів фаз приєднання, визначені на підставі не менше двох змінних миттєвих значень струмів фаз,

$U_1, U_2, U_3$  - вектори напруг фаз відносно землі, визначені на підставі не менше двох змінних миттєвих значень напруг фаз відносно землі.

Винахід відноситься до електротехніки, а саме до трьохфазних електричних мереж з ізольованою нейтраллю і може бути використаний для визначення комплексної провідності ізоляції фаз відносно землі електричного приєднання навантаження.

Відомо спосіб [Цапенко Е.Ф. Замыкания на землю в сетях 6-35кВ. М.: Энергоатомиздат, 1986], в якому для визначення активного опору і ємностей окремих фаз мережі відносно землі пропону-

ється виконувати вимірювання напруг фаз мережі відносно землі у трьох режимах мережі: звичайному; при підключенні додаткової ємності між землею і однією з фаз мережі; при зміненому чергуванні фаз у мережі. Значення провідностей розраховуються шляхом рішення системи рівнянь, складених на підставі усіх вимірів. В симетричній мережі визначення параметрів ізоляції мережі відносно землі спрощується, оскільки зникає потреба

(13) C2

(11) 51177

(19) UA

виконувати чергування фаз і виміри параметрів у цьому режимі. Спосіб дозволяє виявляти дефекти ізоляції фаз мережі, але для визначення конкретного приєднання навантаження де виник дефект потрібно вживати додаткові заходи, наприклад послідовне вимкнення приєднань. Також недоліком цього способу є те, що для його використання у робочому режимі необхідно підключати ємність і виконувати чергування фаз, що є складними операціями і не завжди припустимими. З цього ж приводу автоматизувати цей спосіб дуже складно. У разі виникнення дефекту в ізоляції однієї із фаз по відношенню до землі, який супроводжується змінною активною або ємнісною провідністю, такий дефект можна розглядати як ввімкнення додаткової провідності. Але у цьому разі спосіб не дозволяє визначити провідності, оскільки для цього треба знати величину провідності дефекту ізоляції.

Відомо спосіб визначення активної і ємнісної складових опору ізоляції фаз мережі відносно землі [RU 2136011 С1 Способ определения активной и емкостной составляющих сопротивления изоляции фаз сети относительно земли 27.08.99, бюл. №24], згідно з яким виконують вимірювання фазної напруги мережі, напруги фаз мережі відносно землі, напруги між нейтраллю трьохфазної мережі і землею при підключенні додаткової ємності, а також виконується вимірювання цих величин до підключення ємності. На підставі вимірювань спосіб дозволяє згідно з наведеними співвідношеннями розраховувати активну і ємнісну складові опору ізоляції фаз відносно землі майже при будь-якій можливій несиметрії напруг фаз мережі відносно землі. Однак спосіб також не дозволяє визначити безпосередньо конкретне приєднання де виник дефект ізоляції. Спосіб складний з-за необхідності включення додаткової ємності. Необхідність комутацій ємності значно ускладнює виконання безперервного визначення параметрів ізоляції.

Найбільше близьким по технічній сутності є спосіб визначення провідності ізоляції по відношенню до землі [Сидоров А.И., Хусаинова Н.А. Определение проводимости изоляции по отношению к земле для сетей напряжением 6-35кВ с изолированной нейтралью. Электричество. - 2001. №5. С.12-18], згідно з яким параметри ізоляції окремих фаз розподільчої мережі визначаються по результатам вимірювання поточних значень режимних параметрів: на початку і кінці лінії визначаються напруги фаз мережі відносно землі, струми фаз та кути зсуву фаз між цими напругами і струмами. В способі враховується вплив приладів компенсації реактивної потужності і несиметрії напруг та струмів.

Загальними ознаками прототипу та заявляемого винаходу є вимірювання параметрів режиму на початку елемента мережі (лінії, приєднання навантаження) при наявності відмін провідностей ізоляції фаз відносно землі або при виникненні дефекту цієї ізоляції в одній з фаз.

Згідно із способом виконується вимірювання діючих значень струмів, напруг і кутів зсуву фаз між струмом і напругою. Спосіб складний з-за того, що потребує виконання вимірювань режимних параметрів як на початку, так і на кінці лінії. Крім того, цей спосіб не може використовуватись на

тупикових приєднаннях, наприклад на приєднанні кабель - двигун. Навіть при вимірюванні напруги на початку приєднання і на обмотці статора двигуна можна визначити провідності ізоляції тільки фаз кабелю відносно землі і неможливо визначити провідності ізоляції фаз обмотки статора двигуна відносно землі, отже неможливо визначити появу дефекту ізоляції обмотки статора двигуна. Згідно з статистичними даними дефекти ізоляції двигунів виникають майже в п'ять разів частіше, ніж у кабелях. Тому виявлення дефектів у двигунах більш важливіше. Несвоєчасне визначення дефекту ізоляції приєднання може призвести до його розвитку і переходу дефекту у пошкодження і далі до повного руйнування двигуна та виникненню збитків, які виникають з-за порушення технологічного процесу.

У основу винаходу поставлена задача створити такий спосіб безперервного визначення комплексної провідності ізоляції фаз відносно землі електричного приєднання навантаження у трьохфазних електричних мережах з ізольованою нейтраллю при наявності відмін провідностей ізоляції фаз відносно землі або у разі виникнення дефекту цієї ізоляції в одній з фаз приєднання (кабель і двигун, кабель і трансформатор та інші), у якому шляхом вимірювання тільки на початку приєднання через однакові проміжки часу миттєвих значень струмів трьох фаз і напруг трьох фаз відносно землі, забезпечити безперервне визначення комплексної провідності ізоляції фаз відносно землі.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі, згідно з яким при наявності відмін провідностей ізоляції фаз відносно землі або при виникненні дефекту ізоляції в одній з фаз виконуються вимірювання параметрів режиму на початку приєднання, відповідно до винаходу додатково безперервно через однакові проміжки часу вимірюються миттєві значення струмів трьох фаз і напруги трьох фаз відносно землі, на підставі чого визначаються вектори зміряних струмів і напруг, обчислюється сума векторів трьох зміряних струмів фаз на початку приєднання, обчислюється різниця між двома будь-якими векторами зміряних напруг і визначається кут зсуву фаз між обчисленим вектором суми струмів і обчисленим вектором різниці між напругами, величину вектора сумарного струму зрівнюють з припустимим значенням і якщо величина сумарного струму більше припустимого, то у залежності від величини зміряного кута зсуву фаз визначають фазу мережі, у якій виник дефект ізоляції і розраховують значення комплексних провідностей ізоляції двох фаз відносно землі згідно з наступними співвідношеннями:

$$\underline{Y}_{1i} = \frac{i_1(\dot{U}_1 + \dot{U}_2 - 2\dot{U}_3) + i_3(2\dot{U}_1 - \dot{U}_2 - \dot{U}_3)}{(\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3) \cdot (\dot{U}_1 - \dot{U}_3)},$$

$$\underline{Y}_{3i} = \underline{Y}_{1i}$$

а комплексну провідність ізоляції третьої фази, в якій виник дефект ізоляції, визначають згідно з співвідношенням:

$$\underline{Y}_{2i} = \frac{1}{\dot{U}_2} (i_1 + i_2 + i_3 - \dot{U}_1 \cdot \underline{Y}_{1i} - \dot{U}_3 \cdot \underline{Y}_{3i})$$

де  $i_1, i_2, i_3$  - вектори струмів фаз приєднання,

визначені на підставі не менше двох зміряних миттєвих значень струмів фаз;

$\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$  - вектори напруг фаз відносно землі, визначені на підставі не менше двох зміряних миттєвих значень напруг фаз відносно землі.

Наведені співвідношення отримані наступним чином. На фігурі наведена заступна схема приєднання кабелю-двигун. Фази приєднання 1, 2 і 3 мають зосереджені комплексні провідності ізоляції відносно землі відповідно  $Y_{1i}, Y_{2i}, Y_{3i}$  (сумарна провідність ізоляції фази кабелю і ізоляції фази обмотки статора двигуна або іншого навантаження) і також відповідно комплексні провідності фаз навантаження  $Y_{1H}, Y_{2H}, Y_{3H}$  (обмотка статора двигуна приєднання або іншого навантаження).

У працездатному стані навантаження його провідності фаз однакові і рівні одна другій. Тому можна враховувати провідності всіх фаз навантаження у нормальному робочому режимі однаковими

$$Y_{1H}=Y_{2H}=Y_{3H}=Y_H \quad (1)$$

Враховуючи (1) на підставі метода двох вузлів можна визначити напругу між нульовим вузлом навантаження і землею наступним чином:

$$U_0 = \frac{U_1 Y_{-1H} + U_2 Y_{-2H} + U_3 Y_{-3H}}{Y_{-1H} + Y_{-2H} + Y_{-3H}} = \frac{1}{3} (U_1 + U_2 + U_3). \quad (2)$$

У початковому нормальному робочому режимі дефекти в ізоляції фаз приєднання відсутні, а тому комплексні провідності ізоляції всіх фаз по відношенню до землі рівні між собою.

$$Y_{1i}=Y_{2i}=Y_{3i}$$

У нормальному режимі може мати місце відмінна провідності ізоляції однієї з фаз відносно провідностей ізоляції других фаз. Також при виникненні дефекту ізоляції в одній з фаз комплексна провідність ізоляції цієї фази, наприклад  $Y_{2i}$  фази 2, зміниться по відношенню до провідностей ізоляції двох других фаз. При цьому провідності ізоляції двох других фаз залишаються рівними між собою.

$$Y_{1i}=Y_{3i} \quad (3)$$

Згідно з законами Кірхгофа для заступної схеми, наведеної на фігурі, запишемо рівняння для струмів трьох фаз на початку приєднання.

$$I_1 = U_1 \cdot Y_{-1} + (U_1 - U_0) Y_{-H} \quad (4)$$

$$I_2 = U_2 \cdot Y_{-2i} + (U_2 - U_0) Y_{-H} \quad (5)$$

$$I_3 = U_3 \cdot Y_{-3i} + (U_3 - U_0) Y_{-H} \quad (6)$$

Запишемо рівняння для суми фазних струмів на початку приєднання.

$$\dot{U}_1 \cdot Y_{-1i} + \dot{U}_2 \cdot Y_{-2i} + \dot{U}_3 \cdot Y_{-3i} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 \quad (7)$$

Із (5) та (7) з урахуванням (3) знайдемо комплексну провідність фази навантаження.

$$Y_{-H} = \frac{Y_{1i}(\dot{U}_1 + \dot{U}_3) - \dot{I}_1 - \dot{I}_3}{\dot{U}_2 - \dot{U}_0} \quad (8)$$

Із (4) з урахуванням (8) знайдемо комплексну провідність ізоляції фази 1 відносно землі.

$$Y_{1i} = \frac{I_1(\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + 2\dot{U}_3) + I_3(2\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3)}{(\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3)(\dot{U}_1 - \dot{U}_3)} \quad (9)$$

Комплексна провідність ізоляції фази 3 відносно землі визначається згідно з (3), а фази 2 із співвідношення (7) як

$$Y_{2i} = \frac{1}{\dot{U}_2} (I_1 + I_2 + I_3 - \dot{U}_1 \cdot Y_{1i} - \dot{U}_3 \cdot Y_{3i}) \quad (10)$$

Визначення векторів струмів і напруг у сталому режимі на підставі вимірів не менше двох миттєвих значень через заданий проміжок часу  $\Delta t$  виконується на підставі того, що ці напруги і струми змінюються по синусоїдальному закону. Наприклад для двох миттєвих значень напруги

$$u_1 = U_M \sin \omega t_1 \text{ та } u_2 = U_M \sin \omega(t_1 + \Delta t)$$

де  $U_M$  - максимальне значення напруги, вектор напруги визначається як

$$\dot{U} = \frac{u_2 \cos \omega \cdot \Delta t - u_1}{\sin \omega \cdot \Delta t} + j \cdot u_2$$

Такі співвідношення можна отримати на підставі алгоритму двох вибірок.

Визначення фази приєднання, в якій виник дефект ізоляції або фази приєднання, комплексна провідність якої відрізняється від провідностей других фаз, виконується на підставі того, що вектор суми трьох струмів фаз на початку приєднання зв'язаний з вектором струму через ізоляцію цієї особливої фази.

Наприклад, для одного з приєднань власних потреб 6кВ блоку 300МВт при наявності дефекту ізоляції фази 1 відносно землі кут зсуву фаз між вектором сумарного струму трьох фаз і різницею векторів напруг фаз 1 і 2 відносно землі знаходиться у межах 0-60° або 320-360°; при наявності дефекту ізоляції фази 2 цей кут знаходиться у межах 200-300°; при наявності дефекту ізоляції фази 3 цей кут знаходиться у межах 80-180°.

Розрахунки комплексних провідностей ізоляції фаз відносно землі у разі виникнення дефекту ізоляції не в фазі 2, як розглянуто вище, а в другій фазі, виконуються згідно з співвідношеннями, аналогічними (3), (9) і (10). При цьому виконується відповідна заміна номерів фаз.

Запропонований спосіб може використовуватись при однакових провідностях ізоляції у всіх фазах (величина вектора сумарного струму рівна нулю). Для цього виконується підключення додаткової ємності між землею і однією з фаз мережі на початку приєднання, наприклад між фазою 2 і землею. Тоді комплексні провідності ізоляції фаз визначаються згідно з наведеними співвідношеннями (3), (9) і (10). Для фази, в якій виконувалось включення додаткової ємності (у прикладі фаза 2) в результаті розрахунків буде знайдено сумарну провідність ізоляції дійсної провідності і додаткової. Тому дійсна провідність ізоляції цієї фази розраховується згідно з наступним виразом

$$Y_{-2i} = Y_{-2i} - j\omega C_d$$

де  $j = \sqrt{-1}$ ;  $\omega$  - кутова частота напруги мережі  $\omega = 2\pi f$ ;  $f$  - частота напруги мережі, 1/с;  $C_d$  - величина додаткової ємності, Ф.

При необхідності активний опір і ємність кожної фази приєднання можна визначити по результатам обчислених комплексних провідностей ізоляції фаз відносно землі згідно з співвідношеннями

$$R_i = \frac{1}{\text{Re}[Y_{-i}]}$$

$$C_i = \frac{\text{Im}[Y_{-i}]}{\omega}$$

Використання способу дозволяє своєчасно виявити виникнення дефекту ізоляції електричних приєднань навантаження, що особливо важливо для електричних двигунів, а також дозволяє визначати остаточний ресурс ізоляції елементів приєднання. Спосіб не потребує додаткового вимірювального електроустаткування і забезпечує

безперервне автоматичне визначення параметрів ізоляції окремих приєднань без будь-яких комутацій. На відміну від звичайних методів, заснованих на вимірюванні струмів нульової послідовності, спосіб дозволяє визначати не тільки приєднання, а й фазу, в якій виник дефект ізоляції.

