



УКРАЇНА

(19) UA (11) 47975 (13) A

(51) 6 G01R31/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІДВидається під  
відповідальність  
власника  
патенту**(54) СПОСІБ КОНТРОЛЮ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРІШНЬОЇ ІЗОЛЯЦІЇ КОНДЕНСАТОРНОГО ТИПУ ВВОДІВ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ І ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ**

1

2

(21) 2002010050

(22) 03 01 2002

(24) 15 07 2002

(46) 15 07 2002, Бюл № 7, 2002 р

(72) Бондаренко Володимир Омелянович,  
Мінченко Андрій Анатолійович(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(57) Спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводитів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою, що включає визначення відношення модуля приросту струму витоку кожного з контрольованих об'єктів до модуля струму витоку через його ізоляцію при відсутності дефекту шляхом виміру струму в ланцюзі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта і перевірку нормованої зміни струму, який відрізняється тим, що при визначенні зазначеного відношення розраховують струм впливу і віднімають його миттєві значення

від результатів виміру миттєвих значень струму в ланцюзі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта при відсутності дефекту і при кожному контролі, причому проводять узгодження в часі миттєвих значень вимірюваного струму і струму впливу відносно вторинної фазної напруги з початковою фазою, прийнятою рівною нулю, вимірювального трансформатора напруги, приєданого до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт, множать при кожному контролі отримане в результаті віднімання значення струму на відношення робочих фазних напруг при відсутності дефекту і при контролі і перевіряють відсутність струму дебалансу попередньо симетрованої суми перших гармонік струмів, отриманих у результаті вказаних вище обчислювальних операцій, для трифазної системи, утвореної трьома об'єктами контролю однієї напруги, а також запам'ятовують отримане в результаті віднімання значення струму при відсутності дефекту і використовують його при кожному контролі

Винахід відноситься до електроенергетики і може бути використаний для безперервного контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу високовольтних вводитів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму (далі - об'єктів) під робочою напругою електроустановки

В енергосистемах отримали поширення пристрої безперервного контролю об'єктів під робочою напругою, засновані на способі перевірки нормованого струму  $I_{\Sigma}$  - відношення суми попередньо вирівняних струмів на виході пристроїв приєднання трьох фаз об'єктів  $I_{\Sigma}$  до струму на виході пристрою однієї з фаз, наприклад, з мінімальним струмом витоку, прийнятому за базовий. При цьому може вимірятися тільки  $I_{\Sigma}$ . Це - нерівно важно - компенсаційний метод. Крім того, іншим методом, мостовим, може контролюватися зміна

різниці тангенсів кута діелектричних втрат, ізоляції двох однойменних фаз електричних установок різних приєднань [1, с 78-89, 2]

Забезпечення високої чутливості пристроїв, що реалізують спосіб контролю, заснований на нерівно важно - компенсаційному методі, можливо лише при зменшенні сумарного струму небалансу, тобто суми струмів несиметрії і впливу, а також фільтрації гармонійних складових. Струм, що з'явився на виході суматора після симетрування схеми, може бути викликаний як розвитком дефекту в одному з контрольованих об'єктів, так і, зміною струму впливу чи іншими завадами [2]. Фільтрація гармонійних складових виключає важливий діагностичний параметр - появу третьої гармоніки в струмі витоку, що є ознакою дефекту, що розвивається, ізоляції конденсаторного типу [3]. У процесі контролю мостовим методом вимірюється тангенс диференціального кута, цей метод є більш ре-

(13) A

(11) 47975

(19) UA

зультативним [2]

Відомий також спосіб контролю об'єктів під робочою напругою, що передбачає визначення відношення модуля приросту струму витoku кожного з контрольованих об'єктів до модуля струму витoku через його ізоляцію при відсутності дефекту ( $I^*$ ) і перевірки нормованого струму  $I$  норм [1, с. 75-78, 4]. Однак, реалізація цього способу контролю, коли вимірюється струм на виході пристрою приєднання, тобто в ланцюзі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта, характеризується тим, що цей струм являє собою суму струму витoku через ізоляцію (діагностичний параметр) і струму впливу, що протікає від обмоток (для вводитів), шин, сусіднього устаткування внаслідок впливу електричного поля електроустановки [1,2,4]. Природно, що в цьому випадку підвищення достовірності контролю залежить від зменшення погрешностей, викликаних струмами впливу. Відомі [1,5] методи зменшення цих погрешностей, що використовуються стосовно до відповідного способу контролю. Слід зазначити, що амплітуда і фаза струму впливу в ланцюзі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта визначається низкою важко враховуваних факторів, таких як конструкція устаткування, його розташування на території електроустановки, робоча напруга, зміна схеми комутації електроустановки й інших.

Таким чином, спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводитів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою, що полягає у визначенні відношення модуля приросту струму витoku кожного з контрольованих об'єктів до модуля струму витoku через його ізоляцію при відсутності дефекту шляхом виміру струму в ланцюзі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта і перевірки нормованої зміни струму розглядається як прототип.

В основу винаходу поставлено задачу для способу контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводитів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою, по якому визначають відношення модуля приросту струму витoku кожного з контрольованих об'єктів до модуля струму витoku через його ізоляцію при відсутності дефекту шляхом виміру струму в ланцюзі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта і перевіряють нормовану зміну струму, при визначенні зазначеного відношення шляхом розрахунку струму впливу і віднімання його миттєвих значень від результатів виміру миттєвих значень струму в ланцюзі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта при відсутності дефекту і при кожному контролі забезпечити підвищення достовірності контролю, причому проводять узгодження в часі миттєвих значень вимірюваного струму і струму впливу відносно вторинної фазної напруги з початковою фазою прийнятою рівною нулю вимірювального трансформатора напруги, приєданого до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт, множать при кожному контролі отримане в результаті віднімання значення струму на відношення робочих фазних напруг при відсутності дефекту і при контролі і перевіряють відсутність струму небалансу попередньо симетрованої суми перших гармонік струмів, отриманих у результаті вказаних вище обчислювальних операцій, для трифазної системи, утвореної трьома об'єктами контролю однієї напруги, а також запам'ятовують отримане в результаті віднімання значення струму при відсутності дефекту і використовують його при кожному контролі.

тати віднімання значення струму на відношення робочих фазних напруг при відсутності дефекту і при контролі і перевіряють відсутність струму небалансу попередньо, симетрованої суми перших гармонік струмів, отриманих у результаті вказаних вище обчислювальних операцій, для трифазної системи, утвореної трьома об'єктами контролю однієї напруги, а також запам'ятовують отримане в результаті віднімання значення струму при відсутності дефекту і використовують його при кожному контролі.

На фіг 1 зображено заземлення вимірювального виводу від останньої (вимірювальної) обкладки ізоляції об'єкта контролю через резистор. На фіг 1 позначені об'єкт контролю 1 зі струмом витoku  $I_1(t)$  через його ізоляцію, вимірювальна обкладка 2 внутрішньої ізоляції конденсаторного типу, устаткування 3, що чинить електричний вплив на вимірювальну обкладку об'єкта контролю і утворює струм впливу  $I_{вп}(t)$  у ланцюзі її заземлення, вимірювальний резистор 4 пристрою приєднання, падіння напруги на якому  $U_{ВІМ}(t) = [I_1(t) + I_{вп}(t)] R_{ВІМ}$  визначається вимірюваним струмом  $I_{ВІМ}(t) = U_{ВІМ}(t)/R_{ВІМ}$ .

На фіг 2 зображені криві миттєвих значень вторинної фазної напруги  $U_{ТН}$  від вимірювального трансформатора напруги, приєданого до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт, вимірюваного струму  $I_{ВІМ}$  струму впливу  $I_{вп}$ , струму витoku  $I_1$ , через ізоляцію контрольованого об'єкта, отриманого відніманням від струму  $I_{ВІМ}$  струму  $I_{вп}$ .

Істотна відмінність полягає в тому, що в порівнянні з прототипом при визначенні відношення модуля приросту струму витoku кожного з контрольованих об'єктів до модуля струму витoku через його ізоляцію при відсутності дефекту розраховують струм впливу і віднімають його миттєві значення від результатів виміру миттєвих значень струму в ланцюзі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта при відсутності дефекту і при кожному контролі, причому проводять узгодження в часі миттєвих значень вимірюваного струму і струму впливу відносно вторинної фазної напруги з початковою фазою прийнятою рівною нулю вимірювального трансформатора напруги, приєданого до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт, множать при кожному контролі отримане в результаті віднімання значення струму на відношення робочих фазних напруг при відсутності дефекту і при контролі і перевіряють відсутність струму небалансу попередньо симетрованої суми перших гармонік струмів, отриманих у результаті вказаних вище обчислювальних операцій, для трифазної системи, утвореної трьома об'єктами контролю однієї напруги, а також запам'ятовують отримане в результаті віднімання значення струму при відсутності дефекту і використовують його при кожному контролі.

Спосіб контролю орієнтований на реалізацію як елемент АСУ ТП підстанції, тобто на основі цифрової техніки і промислових ЕОМ. При цьому період (0,02с) зміни вторинної фазної напруги вимірювального трансформатора напруги розбивається на  $n$  рівних інтервалів, наприклад, 100 чи 200, і всі обчислювальні операції проводяться для

цих інтервалів

Розрахунок струму впливу проводиться по алгоритму, що має таку схему [6,7]

зображення конструктивного виконання устаткування еквівалентною системою багатьох тіл,

розрахунок власних і взаємних потенційних коефіцієнтів у системі багатьох тіл,

складання системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) взаємозв'язку зарядів і потенціалів електродів у системі багатьох тіл,

визначення взаємних часткових ємностей між двома електродами, що входять у систему багатьох тіл, шляхом циклічного рішення СЛАР,

визначення струму впливу як повного струму по його складовим, що протікає через взаємні часткові ємності

При цьому розрахунок-струму впливу для об'єкта контролю виконується таким чином, що початкова фаза цього струму визначається відносно фазної напруги об'єкта, а стало бути, і до вторинної фазної напруги вимірювального трансформатора напруги, приєднаного до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт

Для об'єкта контролю при відсутності дефекту, тобто при налагодженні зазначеного елемента

$$|\Delta| = |I_k - I_0| = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left\{ [U_{\text{ВІМ}k}(t)/R_{\text{ВІМ}k} - I_{\text{В}k}(t)] \frac{U_{\text{max } 0}}{U_{\text{max } k}} - [U_{\text{ВІМ}0}(t)/R_{\text{ВІМ}0} - I_{\text{В}0}(t)] \right\}^2 dt}$$

Відношення модуля приросту струму витоку контрольованого об'єкта до струму витоку через його ізоляцію при відсутності дефекту

$$\frac{|\Delta|}{|I_0|} = \frac{|\Delta I_k - I_0|}{|I_0|} = 1.$$

порівнюється з нормованим струмом, тобто  $I \geq I \cdot \text{норм}$ , і характеризується більш високою, ніж для прототипу, достовірністю контролю, тому що виключається систематична погрішність, що обумовлена струмом впливу, з результатів виміру діагностичного параметра

Реалізація способу передбачає виконання умови  $R_{\text{ВІМ}k} = R_{\text{ВІМ}0}$ , що досягається вибором типу вимірювального резистора пристрою приєднання

У загальному випадку проводиться розрахунок струму впливу  $I_{\text{В}0}(t)$  при відсутності дефекту й  $I_{\text{В}k}(t)$  при кожному контролі, значення  $I_{\text{В}k}(t)$  може змінюватися, наприклад, унаслідок змін схеми комутації електроустановки чи значень фазних напруг об'єктів, що утворюють вплив

Узгодження миттєвих значень вимірюваного струму  $I_{\text{ВІМ}}(t)$  і віднімаемого від нього струму впливу  $I_{\text{В}0}(t)$  у момент часу  $t$  (див фіг 2) проводиться в результаті аналого-цифрового перетворення й обчислювальних операцій для струму  $I_{\text{ВІМ}}(t)$  напруги  $U_{\text{ТН}}(t)$ , а також розрахунку початкової фази струму  $I_{\text{В}0}(t)$  відносно напруги  $U_{\text{ТН}}(t)$

Умноження отриманого в результаті віднімання значення струму на відношення робочих фазних напруг при відсутності дефекту і при контролі,

тобто  $[U_{\text{ВІМ}k}(t)/R_{\text{ВІМ}k} - I_{\text{В}k}(t)] U_{\text{max } 0} / U_{\text{max } k}$  дозволяє врахувати фактичні значення робочих

АСУ ТП маємо

$$I_0(t) = U_{\text{ВІМ}0}(t) / R_{\text{ВІМ}0} - I_{\text{ТП}0}(t),$$

$U_{\text{max,раб}} = U_{\text{max } 0}$  - амплітудне значення робочої фазної напруги об'єкта,

$$|I_0| = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_{10}^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [U_{\text{ВІМ}0}(t)/R_{\text{ВІМ}0} - I_{\text{В}0}(t)]^2 dt}$$

$$T = 0,02\text{с при частоті мережі } f = 50\text{Гц}$$

Тут  $I_0(t)$  представляється у виді дискретних

значень  $I_0(t) |_{t=t^i}$  при  $i = \overline{1, N}$  за час  $T$ ,

розрахунок  $|I_0|$  проводиться при заміні інтеграла сумою

Аналогічно, при контролі буде

$$I_k(t) = [U_{\text{ВІМ}0}(t)/R_{\text{ВІМ}0} - I_{\text{В}0}(t)] \frac{U_{\text{max } 0}}{U_{\text{max } k}}$$

а модуль приросту струму витоку об'єкта контролю дорівнює

напруг об'єкта контролю, що мали місце

Перевірка відсутності струму небалансу попередньо симетризованої суми перших гармонік струмів, отриманих у результаті зазначених раніше обчислювальних операцій при відсутності дефекту  $[U_{\text{ВІМ}k}(t)/R_{\text{ВІМ}k} - I_{\text{В}k}(t)]$  і при кожному

контролі  $[U_{\text{ВІМ}k}(t)/R_{\text{ВІМ}k} - I_{\text{В}k}(t)] U_{\text{max } 0} / U_{\text{max } k}$ ,

для трифазної системи, утворюваної трьома об'єктами контролю однієї напруги, дозволяє виконати перевірку правильності розрахунку струму  $I_{\text{В}0}(t)$  і використовувати додатково можливість контролю нерівноважно-компенсаційним методом Для реалізації цього налагодження елемента АСУ ТП роблять при відсутності в мережі напруги нульової послідовності (контроль по нарузі нульової послідовності на виході вимірювального, трансформатора напруги) або, якщо має місце несиметрія фазних напруг мережі, коректують значення

$[U_{\text{ВІМ}k}(t)/R_{\text{ВІМ}k} - I_{\text{В}k}(t)]$  пофактичним значенням робочих фазних напруг об'єктів контролю Гармонійний аналіз проводиться шляхом розрахунку коефіцієнтів Фур'є по миттєвим значенням зазначених струмів, при цьому виділення поряд з першою ще і третьою гармоніки дозволяє додатково використовувати індикаторний параметр дефекту, що розвивається, відповідно до роботи [3] Симетрування при підсумовуванні перших гармонік зазначених струмів дозволяє врахувати розходження діелектричних характеристик об'єктів контролю однієї напруги

Запам'ятовування струму  $[U_{\text{ВІМ}k}(t)/R_{\text{ВІМ}k} - I_{\text{В}k}(t)]$  при відсутності дефекту дає змогу при кожному контролі визначати

струм  $I$  і порівнювати його з нормованим струмом  $I_{\text{НОРМ}}$

Запропонований спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою забезпечує підвищення достовірності контролю за рахунок виключення систематичної погрешності, обумовленої струмом впливу, з результатів виміру діагностичного параметра, а також збереження при цьому відомих додаткових діагностичних ознак - порушення балансу струмів для трифазної системи, утвореної трьома об'єктами контролю однієї напруги, і появи третьої гармоніки в струмі витоку

Як приклад реалізації способу контролю ізоляції вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою на фіг 3 наведено функціональну схему відповідного елемента АСУ ТП підстанції

Пристрій уведення забезпечує перетворення і масштабування сигналів із пристроїв приєднання на об'єктах контролю (3 канали) і від вимірювальних трансформаторів напруги (3 канали)

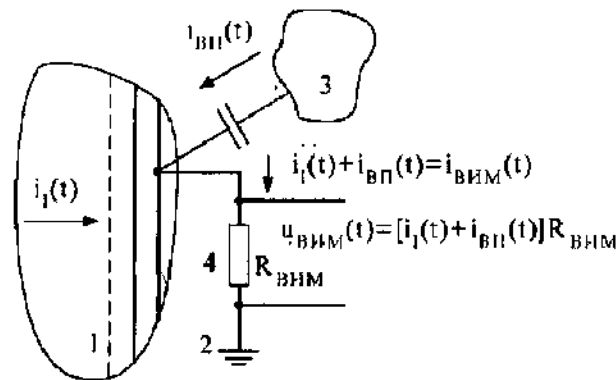
Блок перетворення аналогового сигналу в цифровий код містить у собі комутатор аналогового сигналу, що забезпечує по чергові підключення зазначених вище шести каналів на вхід АЦП, що знаходиться в цьому ж блоці АЦП здійснює перетворення миттєвих значень аналогового сигналу в цифровий код

Пристрій керування і пристрій передачі цифрового коду забезпечує відповідно керування роботою зазначеної схеми, збереження і передачу в ЕОМ по послідовному інтерфейсу цифрових кодів відповідних аналогових сигналів

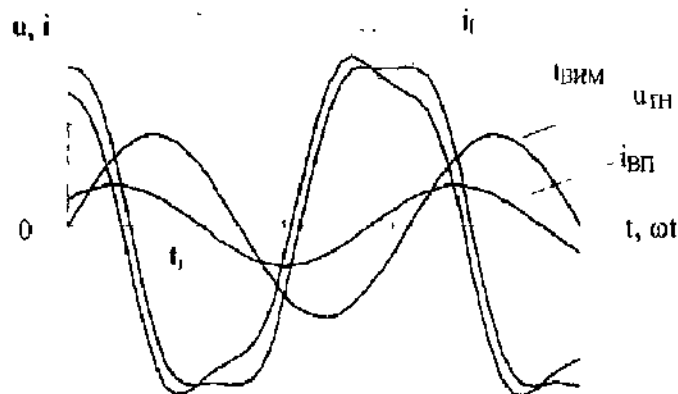
В ЕОМ передаються коди, що відповідають миттєвим значенням перетворених аналогових сигналів

Реалізація способу здійснюється у виконуваний на ЕОМ програмі, що проводить подальшу обробку отриманих від пристрою кодів по розроблених алгоритмах

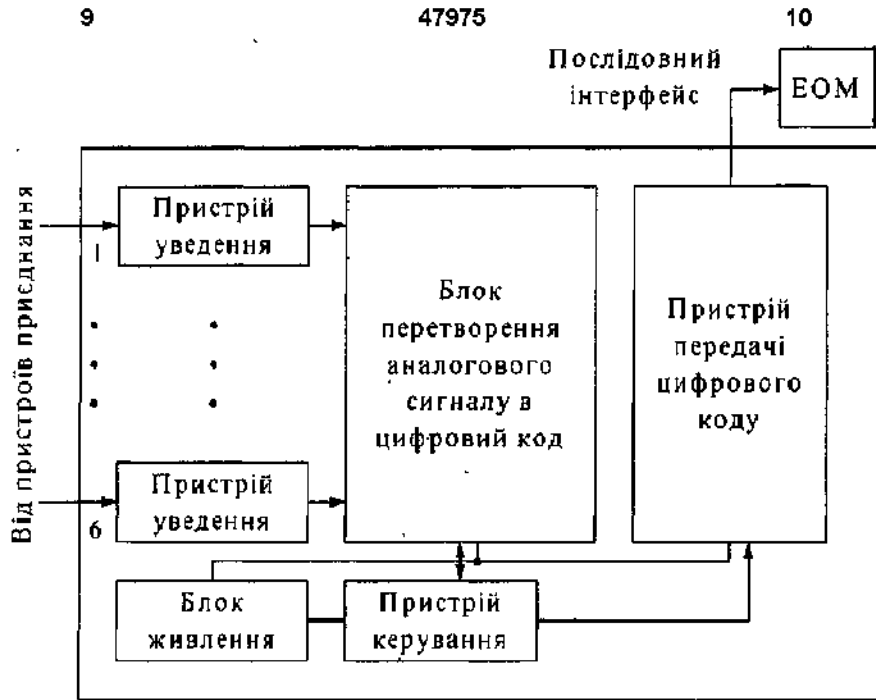
Спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою



Фіг 1



Фіг 2



Фіг 3

---

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)  
вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна  
(044) 456 – 20 – 90

---

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»  
вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна  
(044) 216 – 32 – 71