



УКРАЇНА

(19) UA (11) 56978 (13) U
(51) МПК (2011.01)
G01R 31/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ КОНТРОЛЮ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРІШНЬОЇ ІЗОЛЯЦІЇ КОНДЕНСАТОРНОГО ТИПУ ВВОДІВ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ

1

2

(21) u201004400

(22) 15.04.2010

(24) 10.02.2011

(46) 10.02.2011, Бюл.№ 3, 2011 р.

(72) ЗАГАЙНОВА ОЛЕКСАНДРА АНАТОЛІЙВНА,
БОГАТИРЬОВ ІГОР МИКОЛАЙОВИЧ, МІНЧЕНКО
АНАТОЛІЙ АНДРІЙОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(57) Спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів та вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою, по якому перевіряють у часі зміни потужності втрат в ізоляції контрольованого об'єкта як результат опосередкованих вимірювань, який визначається за результатами прямих вимірювань струму в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладинки ізоляції об'єкта контролю і фазної напруги вказано-

го об'єкта, множення миттєвих значень струму на миттєві значення напруги та розрахунку середнього значення добутку за період промислової частоти, який **відрізняється** тим, що вимірюють навантаження і коефіцієнт потужності навантаження вимірювального трансформатора напруги, приєднаного до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт, при відсутності дефекту і при контролі, розраховують його погрішності в напрузі і кутову, з компенсацією яких визначають фазну напругу об'єкта контролю і результат опосередкованих вимірювань потужності втрат, а також запам'ятовують значення робочої фазної напруги при відсутності дефекту та множать при кожному контролі результат опосередкованих вимірювань потужності втрат в ізоляції контрольованого об'єкта на квадрат відношення робочих фазних напруг при відсутності дефекту і при контролі.

Корисна модель відноситься до електроенергетики і може бути використана для безперервного контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу високовольтних вводів силових трансформаторів та вимірювальних трансформаторів струму (далі - об'єктів) під робочою напругою електроустановки.

В енергосистемах отримали поширення пристрої безперервного контролю об'єктів під робо-

чою напругою, засновані на способі перевірки I_{Σ}^* - відношення суми попередньо вирівняних струмів на виході пристроїв приєднання трьох фаз об'єктів I_{Σ} до струму на виході пристрою однієї з фаз, наприклад, з мінімальним струмом витоку, прийнятому за базовий. При цьому може вимірюватись тільки I_{Σ} . Це - нерівноважно-компенсаційний метод. Крім того, іншим методом, мостовим, може контролюватися зміна різниці тангенсів кута діелектричних втрат ізоляції та ємності двох однойменних фаз електричних установок різних приєднань [1, с.78-89; 2].

Забезпечення високої чутливості пристроїв, що реалізують спосіб контролю, заснований на нерівноважно-компенсаційному методі, можливе лише при зменшенні сумарного струму небалансу, тобто суми струмів не симетрії 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 диференційного кута; цей метод є більш результативним [2].

Відомий також спосіб контролю об'єктів під робочою напругою, що передбачає визначення відношення модуля приросту струму витоку кожного з контрольованих об'єктів до модуля струму витоку через його ізоляцію при відсутності дефекту і перевірки нормованого струму, тобто

U
(13)

56978
(11)

UA
(19)

$$\left| \frac{\Delta I}{I_0} \right|_{\text{ВІТ}} = \left| \frac{I - I_0}{I_0} \right| = \Delta I^* \Delta I^*_{\text{норм}}$$

[1, с.75-78; 4].

Однак, реалізація цього способу контролю, коли вимірюється струм на виході приєднання, тобто в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта, характеризується тим, що цей струм являє собою суму струму витоку через ізоляцію (діагностичний параметр) і струму впливу, що протікає від обмоток (для вводів), шин, сусіднього устаткування внаслідок впливу електричного поля електроустановки [1,2,4]. Природно, що в цьому випадку підвищення достовірності контролю залежить від зменшення погіршень, викликаних струмами впливу. Відомі [1] методи зменшення цих погіршень, що використовуються стосовно до відповідного способу контролю. Слід зазначити, що амплітуда і фаза струму впливу в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта визначається низкою важко врахованих факторів, таких як: конструкція устаткування, його розташування на території електроустановки, робоча напруга, зміна схеми комутації електроустановки й інших.

Задачу врахування струму впливу вирішено в способі контролю діелектричних характеристик об'єктів під робочою напругою, що полягає [5] в наступному: при визначенні відношення модуля приросту струму витоку кожного з контрольованих об'єктів до модуля струму витоку через його ізоляцію при відсутності дефекту шляхом виміру струму в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта і перевірки нормованої зміни струму виконують розрахунок струму впливу і віднімають його миттєві значення від результатів виміру миттєвих значень струму в зазначеному вище колі заземлення 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, крім того, перевіряють відсутність струму дебалансу попередньо симетрованої суми перших гармонік струмів отриманих в результаті зазначених 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. Цей спосіб контролю орієнтовний на реалізацію як елемент АСК ТП підстанції, тобто на основі цифрової техніки і промислових ЕОМ.

Відомий також спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу об'єктів під робочою напругою, що передбачає контроль зміни модуля повної провідності вказаної ізоляції [6]. Спосіб контролю передбачає

перевірку зміни модуля комплексної провідності ізоляції шляхом вимірювання струму в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта контролю, включає відтворення на імітаційній моделі дії впливаючих електроустановок при їх поточних схемі і режимі, результатом якого є струм впливу, і виключення цього струму з результатів вимірювання; при контролі вимірюється також фазна напруга об'єкта контролю як для визначення модуля комплексної провідності, так і для розрахунку струму впливу. Узгодження у часі миттєвих значень заміряного струму і струму впливу проводиться щодо вторинної фазної напруги з початковою фазою прийнятою рівною нулю вимірювального трансформатора напруги, приєданого до тієї ж фази системи шин, що і об'єкт контролю. Реалізація способу з використанням сучасної елементної бази, тобто в підсистемі АСК ТП підстанції, дає можливість аналізувати зміну електричних параметрів у часі. По цьому способу контролюється зміна модуля повної провідності ізоляції конденсаторного типу, як:

$$\left| \frac{\Delta Y}{Y_0} \right| = \left| \frac{I \cdot f_0 \cdot U_{\Phi,k}^{-1} \cdot f_k^{-1} - I_0 \cdot U_{\Phi,0}^{-1}}{I \cdot U_{\Phi,0}^{-1}} \right|,$$

яке запам'ятовується і зіставляється з граничним значенням.

При наладці пристрою контролю ізоляції (перший контроль - дефект відсутній), програмно обчислюються і запам'ятовуються електричні параметри, що використовуються для контролю: струм витоку через ізоляцію конденсаторного типу об'єкта контролю за відсутності дефекту (індекс фази

не вказаний) I^{-0} , частота мережі f_0 і робоча фазна напруга $U_{\Phi,0}$. При кожному контролі проводиться

обчислення величин I^{-k} , f_k та $U_{\Phi,k}$.

Однак, як відмічається в роботі [7], на першій стадії розвитку дефекти в ізоляції конденсаторного типу можна виявити вимірюванням тангенса кута діелектричних втрат $\tan \delta$ під робочою напругою та тепловізіонними вимірами. При чому тут [7] підкреслено, що саме тангенса кута діелектричних втрат під робочою напругою, а не комплексної провідності та якихось інших параметрів. Це пояснюється тим, що дефекти в ізоляції конденсаторного типу є місцевими навіть при сильному ступені розвитку, при яких сумарне значення кута діелектричних втрат змінюється незначно і може не досягти браковочного значення. В той же час зміна комплексної провідності - нижча за чутливість схеми вимірювань та флуктуацій характеристик елементів схеми вимірювань.

Відомий [1] також ватметровий метод, що дає практичне співпадіння результатів вимірювань $\tan \delta$ ізоляції вводів трансформаторів струму 330 кВ з даними вимірювань мостовою схемою при напрузі 10 кВ. Метод базується на вимірюванні потужності втрат. Згідно [1] при реалізації цього методу кола напруги схеми живляться від вторинної обмотки трансформатора напруги підстанції, а струмові кола - через узгоджувальний трансформатор

струму, що необхідний для розв'язки кіл заземлення об'єкта контролю і трансформатора напруги. Виключення систематичної погрішності досягається при цьому введенням в схему вимірювань пристрою для створення кутового зсуву, що дорівнює сумарному зсуву фаз внаслідок вказаних вище факторів, або відніманням від результатів вимірів відповідної поправки.

Таким чином, спосіб [1] контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою, що полягає у перевірці в часі зміни потужності втрат в ізоляції контрольованого об'єкта як результат опосередкованих вимірювань, який визначається по результатам прямих вимірювань струму в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкту контролю і фазної напруги вказаного об'єкту, множенні миттєвих значень струму на миттєві значення напруги та розрахунку середнього значення добутку за період промислової частоти, розглядається як прототип.

В основу корисної моделі поставлено задачу для способу контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою, по якому перевіряють у часі зміни потужності втрат в ізоляції контрольованого об'єкта як результати опосередкованих вимірювань, що визначається по результатам прямих вимірювань струму в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта контролю і фазної напруги вказаного об'єкту, множення миттєвих значень струму на миттєві значення напруги і розрахунку середнього значення добутку за період промислової частоти, забезпечити підвищення достовірності контролю.

Задача вирішується у такий спосіб: вимірюють навантаження і коефіцієнт потужності навантаження вимірювального трансформатора напруги, приєднаного до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт, при відсутності дефекту і при контролі, розраховують його погрішність в напрузі і кутову, з компенсацією яких визначають фазну напругу об'єкта контролю і результат опосередкованих вимірювань потужності втрат, а також запам'ятовують значення робочої фазної напруги при відсутності дефекту та множать при кожному контролі результат опосередкованих вимірювань потужності втрат в ізоляції контрольованого об'єкта на квадрат відношення робочих фазних напруг при відсутності дефекту і при контролі.

На фіг. 1 зображена функціональна схема реалізації відповідного пристрою контролю на основі цифрової техніки та промислових ЕОМ. На фіг.1 позначені: 1 - ізоляція конденсаторного типу об'єкту контролю трансформаторної системи; 2 - вимірювальний резистор пристрою приєднання до низько потенційного виводу вимірювальної обкладки ізоляції конденсаторного типу; 3 - вимірювальний трансформатор напруги, приєднаний до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт; 4 - пристрій контролю на основі цифрової техніки; 5 - промислова ЕОМ; 6 - пристрій введення; 7 - блок перетворення аналогового сигналу у

цифровий код; 8 - блок живлення; 9 - пристрій керування; 10 - пристрій передачі цифрового коду.

На фіг.2 зображена спрощена структурна схема програмної реалізації способу контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою.

Істотна відмінність полягає в тім, що в порівнянні з прототипом при перевірці у часі зміни потужності втрат в ізоляції контрольованого об'єкта, отриманої як результат опосередкованих вимірювань, що визначається по результатам прямих вимірювань струму в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладки ізоляції об'єкта контролю і фазної напруги вказаного об'єкта, множення миттєвих значень струму на миттєві значення напруги і розрахунку середнього значення добутку за період промислової частоти, виконують вимірювання навантаження і коефіцієнт потужності навантаження вимірювального трансформатора напруги приєднаного до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт, при відсутності дефекту і при контролі, розраховують його погрішність в напрузі і кутову, з компенсацією яких визначають фазну напругу об'єкта контролю і результат опосередкованих вимірювань потужності втрат, запам'ятовують значення робочої фазної напруги при відсутності дефекту та множать при кожному контролі результат опосередкованих вимірювань потужності втрат в ізоляції контрольованого об'єкта на квадрат відношення робочих фазних напруг при відсутності дефекту і при контролі.

Підвищення достовірності контролю полягає у наступному. Контроль ізоляції конденсаторного типу по зміні у часі модуля повної провідності згідно [1] характеризує як зміну $\Delta \operatorname{tg} \delta$, так і ємності ізоляції конструкції, тобто $\Delta \operatorname{tg} \delta$ та ΔC :

$$\left| \frac{\Delta Y}{Y_0} \right| \cong \left[(\Delta \operatorname{tg} \delta)^2 + (\Delta C / C_0)^2 \right]^{1/2}.$$

Доповнення цього контролю контролем зміни у часі потужності діелектричних втрат в ізоляції, тобто зміни $\Delta \operatorname{tg} \delta$, що забезпечує ватметровий метод, дає можливість класифікувати при контролі дефекти контрольованих об'єктів. Дійсно, згідно [1] при контролі під робочою напругою методи, що використовують зміну у часі діелектричних втрат, найбільш ефективні при дефектах в твердій ізоляції, що знаходяться в ізоляційному остові виробу.

Окрім того, компенсація погрішності в напрузі і кутової вимірювального трансформатора напруги дозволяє забезпечити реєстрацію дефекту, що розвивається, в ізоляції конденсаторного типу. Граничні значення параметрів при безперервному контролі [8] наступні:

клас напруги, кВ,	$\Delta \operatorname{tg} \delta$ та $\Delta Y / Y_0$, %
110-220	3,0,
330-500	2,0,
750	1,5.

При цьому признаку дефекту, що розвивається, відповідає згідно [1] значення $\Delta \operatorname{tg} \delta \left(\Delta Y / Y_0 \right) > 0,5\%$.

Проаналізуємо можливість реєстрації дефекту з використанням запропонованого способу контролю на прикладі контролю ізоляції вводів 330 кВ автотрансформатора ПС «Артема-330В», скориставшись наведеними в роботі [6] фактичними та розрахованими даними. Так для вводів 330 кВ з параметрами $C = 627$ пФ та $\tan \delta = 0,57$ при $U_{роб} = U = 339,15 / \sqrt{3}$ кВ маємо струм витоку $I_- = 38,599 \angle 89,67^\circ$ мА та його активну складову $I_A = 0,22$ мА. Потужність втрат відповідно складає $P = 43,13$ Вт. Признаку дефекту, що розвивається, за умови $\Delta \tan \delta > 0,5\%$ та при незмінності напруги об'єкта контролю $U_{роб} = \text{const}$ відповідає зміна потужності втрат $\Delta P = 0,22$ Вт; граничному значенню $\Delta \tan \delta = 2\%$ - відповідає $\Delta P = 0,86$ Вт.

Реєстрація дефекту, що розвивається, з використанням способу контролю потужності втрат означає, що спосіб забезпечить можливість реєстрації, якщо максимальне значення абсолютної погрішності опосередкованих вимірювань потужності втрат в ізоляції об'єкта буде меншою, ніж $\Delta P = 0,22$ Вт. Виконаємо оцінку середнього квадратичного відхилення випадкової погрішності $S_{вим}$ результату опосередкованого вимірювання потужності втрат

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) \cdot u(t) dt = U \cdot I_A.$$

Тоді згідно [9] маємо:

$$S_{вим} = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial P}{\partial U} \right)^2 \cdot S_U^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial I_A} \right)^2 \cdot S_{I_A}^2 \right)} = \sqrt{I_A^2 \cdot S_U^2 + U^2 \cdot S_{I_A}^2},$$

де S_U та S_{I_A} - оцінки середнього квадратичного відхилення погрішності результату вимірювань U та I_A .

Зміну величини $S_{вим}$ завдяки компенсації погрішності в напрузі і кутової вимірювального трансформатора напруги можна охарактеризувати наступним чином. Скориставшись наведеними в роботі [6] даними про оцінки S_U та S_{I_A} , (оцінка середнього квадратичного відхилення погрішності результату вимірювань I) при контролі зміни повної провідності ізоляції вводів 330 кВ автотрансформатора ПС «Артема-330кВ», що дорівнюють відповідно $S_U = 369,228$ В та $S_I = 0,028 \cdot 10^{-3}$ А і оці-

$$S_{I_A} = S_I \cdot \frac{I_A}{I} = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ А},$$

нивши S_{I_A} , по S_I як отримуємо оцінку $S_{вим}$:

$$S_{вим} = \sqrt{(0,22 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 369,228^2 + \left(\frac{339,15}{\sqrt{3}} \cdot 10^3 \right)^2 \cdot (0,16 \cdot 10^{-6})^2} = 0,087$$

Вт.

Таким чином, згідно [9] довірчий інтервал потужності втрат в ізоляції розглядаємих вводів 330 кВ при відсутності дефекту складає:

$$P = 43,13 \pm 3S_{вим} = 42,87 - 43,39 \text{ Вт},$$

і при цьому є можливість реєстрації дефекту при $\Delta \tan \delta = 2\%$, коли зміна потужності втрат складе $P = 43,7 - 44,25$ Вт.

Звичайно, компенсація погрішності в напрузі і кутової вимірювального трансформатора напруги приведе до зменшення значення S_U . Виходячи з того, що при реалізації апаратної частини способу контролю, а саме пристрою контролю (елемент 4 на фіг. 1) в пристроях введення сигналу від вимірювального трансформатора напруги використовуються узгоджувальні трансформатори напруги для розв'язки кіл заземлення об'єктів контролю і вимірювальних трансформаторів напруги, складава в величині S_U від яких може бути врахована відповідною поправкою, вказана вище компенсація може забезпечити $S_U \rightarrow 0$. Значення $S_{вим}$, Як граничне, при цьому складе $S_{вим} = 0,031$ Вт, а довірчий інтервал потужності втрат при відсутності дефекту

$$P = 43,13 \pm 3S_{вим} = 43,04 - 43,22 \text{ Вт},$$

що дає можливість реєструвати дефекти при $\Delta \tan \delta < 2\%$.

Таким чином, запропонований спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою дозволяє класифікувати дефекти і реєструвати дефекти, що розвиваються, тобто підвищує достовірність контролю.

Множення при контролі потужності втрат на квадрат відношення робочих фазних і напруг при відсутності дефекту і при контролі дозволяє привести контрольовану величину до базових умов.

Погрішність в напрузі і кутова вимірювального трансформатора напруги залежить від його навантаження і коефіцієнта потужності навантаження, які можуть змінюватись в залежності від поточної схеми електроустановки (нормальна, ремонтні); крім того, навантаження й коефіцієнт потужності навантаження різняться залежно від типових схем розподільчої установки. Компенсація погрішності вимірювального трансформатора напруги з урахуванням означеного вище дозволяє удосконалити діагностику високовольтної ізоляції конденсаторного типу.

Джерела інформації

1. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1992.

2. Шинкаренко Г.В. Контроль опорных трансформаторов тока и вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением в энергосистемах Украины // Электр. станц.-2001.-№5.-С. 55-62.

3. Гречко О.Н., Казачек В.Е., Петкевич Г.И., Поляков В.С., Попов В.И. Ресурсные испытания и диагностика изоляции трансформаторов тока 330 кВ // Электр. станц.-1995.-№12. С. 36-43.

4. Бондаренко В.Е., Минченко А.А. Анализ методов непрерывного контроля диэлектрических характеристик изоляции при рабочем напряжении на объекте // Вестн. Харьк. госуд. политехи, универ. - Харьков: ХГПУ, 1998. - Вып. 11. С. 55-57.

5. Бондаренко В.О., Минченко А.А. Спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою // Патент України №479475 А. Бюл. №7. 2002.

6. Минченко А.А. Совершенствование диагностики высоковольтной изоляции конденсаторного типа на основе учета пространственно распределенных емкостных токов: дис. канд. техн. наук, Харьков, 2006. -277 с.

7. Поляков В.С. Анализ схем измерений характеристик изоляции высоковольтных вводов и трансформаторов токов под рабочим напряжением. Электронный ресурс. Санкт-Петербург. - Режим доступа: <http://ird.vstu.edu.ru/stati.html>.

8. ГКД 34.20.302-2002. Норми випробування електрообладнання. - Київ: ОЕП «ГРІФРЕ», 2002.- 216с.

9. Атамальян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин: Учеб. пособие для вузов. - М.: Дрофа, 2005.-415 с.

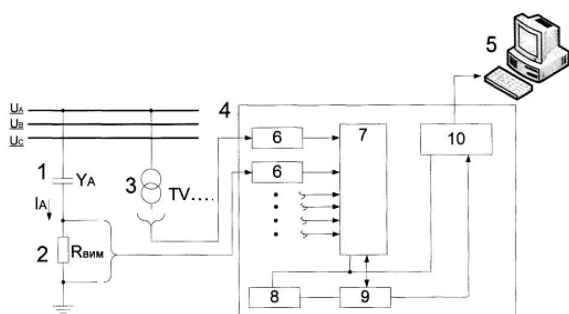


Fig. 1

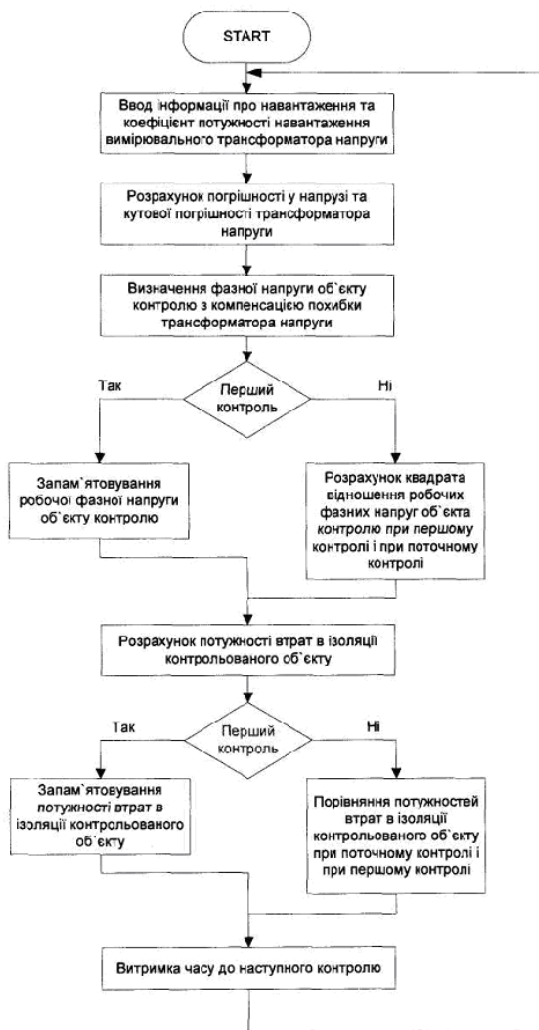


Fig. 2