



УКРАЇНА

(19) UA (11) 91067 (13) C2
(51) МПК (2009)
H02H 7/04
G01R 31/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ДІАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРА В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

1

(21) a200802713
(22) 03.03.2008
(24) 25.06.2010
(46) 25.06.2010, Бюл.№ 12, 2010 р.
(72) МИХАЙЛІВ ВАСИЛЬ ІВАНОВИЧ, ТИМЧИШИН
ВІТАЛІЙ БОГДАНОВИЧ
(73) ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕ-
ХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ
(56) UA 59888 C2, 15.09.2003
UA 47975 A, 15.07.2002
UA 47452 C2, 15.07.2002
UA 9577 A, 30.09.1996
UA 61173 C2, 17.11.2003
US 4654806 A, 31.03.1987
JP 56064665 A, 01.06.1981
RU 2010253 C1, 30.03.1994
US 7140237 B2, 28.11.2006
US 4857856 A, 15.08.1989
US 4835478 A, 30.05.1989
JP 60211812 A, 24.10.1985
(57) Спосіб діагностики трансформатора в процесі експлуатації, що включає періодичну фіксацію його параметрів за допомогою датчиків, цифрування, аналіз параметрів за допомогою мікропроцесора, контроль щонайменше одного параметра, пов'язаного зі станом трансформатора, встановлення

2

допустимих меж вказаного параметра та порівняння періодичних даних з граничними, оцінку стану трансформатора на основі отриманої інформації, який **відрізняється** тим, що для аналізу стану внутрішньої ізоляції вимірюють, наприклад, за допомогою мікрофона чи п'єзодатчика, звуковий сигнал, створений трансформатором, цифрують його, а за оцифрованими даними мікропроцесором визначають співвідношення $\frac{I_2}{I_1}$,

де $I_1 = |a_k - a_{k-1}|$,

$I_2 = |a_{k+2} - a_{k-1}|$ в момент часу t_{k+2} , при цьому $(a_i)_{i \in Z}$ - рівні звуку, що відповідають екстремумам звукової кривої та досягаються в моменти часу $(t_i)_{i \in Z}$, причому $i \geq j \Leftrightarrow t_i \geq t_j$,

$a_k \in \mathcal{A} \mid i \in Z$ - рівень звуку в момент досягнення максимального значення модуля намагніченості, та контролюють його відхилення від визначеного безпосередньо після стандартних випробувань або його сталість у часі, та/або контролюють загальний рівень шуму, створюваний трансформатором, та оцінюють стан його внутрішньої ізоляції.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки та може бути використаний для діагностики стану трансформатора в процесі експлуатації.

З рівня техніки відомі способи перевірки стану трансформатора чи окремих його частин. Зокрема спосіб діагностики стану ізоляції трифазного трансформатора [патент UA 47452, бюл. №7, 2002р.], спосіб контролю ізоляції електроустаткування [патент UA 9577, бюл. №3]. Основним недоліком вказаних способів є те, що вони потребують виведення трансформатора з роботи. Відомі також способи діагностики стану трансформатора під час роботи, зокрема спосіб тестування трансформатора [патент US 4,857,856 від 15.08.1989р.]. Його основним недоліком являється складність та необхідність проходження високочастотного сигналу

через трансформатор, що не завжди зручно і може заважати роботі трансформатора. Також відомі способи контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу введів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою [патент UA 47975, бюл. №7, 2002р.] та система моніторингу трансформатора [патент US 7,140,237 від 28.11.2006р.], але вони обмежують клас трансформаторів, моніторинг яких можна проводити, а також в них аналізується недостатня кількість параметрів, що зменшує надійність роботи.

Найбільш близьким за технічною суттю є спосіб моніторингу трансформаторів [патент US 4,654,806 від 31.03.1987р.], який дає можливість проводити неперервний моніторинг стану транс-

(19) UA (11) 91067 (13) C2

форматора, не виводячи його з роботи шляхом вимірювання деяких фізичних параметрів і їх аналізу за допомогою мікропроцесора. Вразі, якщо якийсь із параметрів виходить за допустимі межі, система повідомляє про це, або самостійно змінює режим роботи трансформатора, або вимикає його.

Основним недоліком даного способу є відсутність способу, що дозволяє окремо контролювати стан внутрішньої ізоляції трансформатора.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення способу моніторингу трансформатора, щоб отримати можливість ефективно оцінити стан внутрішньої ізоляції трансформатора, не виводячи його з роботи і не під'єднуючи датчики безпосередньо в електричне коло трансформатора.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що у способі діагностики трансформатора в процесі експлуатації, що включає аналіз мікропроцесором даних, отриманих від датчиків, згідно з винаходом додатково вимірюють і аналізують звуковий сигнал створений трансформатором в процесі роботи для аналізу стану внутрішньої ізоляції.

Змінне електромагнітне поле створене катушкою призводить до магнітострикційної зміни розмірів магнітопроводу, внаслідок чого і виникає звукова хвиля. Саме цим ефектом пояснюється гудіння трансформаторів змінного струму.

Важливо зазначити, що магнітопровід виготовлений з електротехнічної сталі, в якій практично відсутні домішки. Таким чином вмістом домішок можна знехтувати при розрахунку магнітострикційного ефекту, тобто вважати, що він повністю викликаний залізом у складі магнітопровода.

Принцип створення винаходу ґрунтується на особливості магнітострикційного ефекту для заліза (Фіг.1). Якщо постійно збільшувати вплив електромагнітного поля, що діє на зразок заліза, то зростатиме напруженість магнітного поля в магнітопроводі і внаслідок магнітострикційного ефекту, як видно з графіка, його розміри спочатку зростатимуть, а потім, починаючи з певного значення намагніченості (точка 1 на Фіг.1), зростання припиниться і перейде в спад. Під час роботи трансформатора його магнітопровід перебуває у електромагнітному полі, що змінюється за періодичним законом. В такому випадку відбуватиметься періодична зміна розмірів магнітопроводу, а отже форма звукового сигналу, виглядатиме як на фото 1. Точки 2, 4 і 5 відповідають значенню намагніченості при зміні видовження стиском (точка 1 на Фіг.1), а точка 3 максимальному значенню намагніченості. Несиметрія графіка відносно точки 3 викликана явищем магнітного гістерезису. Таким

чином, якщо визначити співвідношення $\frac{I_2}{I_1}$ (Фіг.2)

(Якщо $((a_i)_{i \in Z}$ - рівні звуку, що відповідають екстремумам звукової кривої та досягаються в моменти часу $(t_i)_{i \in Z}$, при чому $i \geq j \Leftrightarrow t_i \geq t_j$, а

$a_k \in \{a_i | i \in Z\}$ - рівень звуку в момент досягнення максимального значення модуля намагніченості, то в момент часу

$t_{k+2} : I_1 = |a_k - a_{k-1}|, I_2 = |a_{k+2} - a_{k-1}|$), то воно буде характеризувати максимальне значення намагніченості, що досягається у магнітопроводі. При розшихтуванні, порушенні міжпластинної ізоляції, міжвиткових замиканнях і т.ін. воно змінюватиметься, а отже змінюватиметься і $\frac{I_2}{I_1}$. Більше

того, міжпластинне замикання, розшихтування, будь-які дефекти внутрішньої ізоляції, що призводять до зростання вихрових струмів у магнітопроводі, а також прогресуючий дефект міжвиткової ізоляції, чи будь-які інші дефекти внутрішньої ізоляції, що призводять до неперіодичності закону зміни напруженості магнітного поля у магнітопроводі, очевидно викликають те, що $\frac{I_2}{I_1}$ починає змі-

нюватися з часом, тобто $\left| \frac{I_2(t_1)}{I_1(t_1)} - \frac{I_2(t_2)}{I_1(t_2)} \right| > 0$,

$|t_1 - t_2| \gg T$. Тут t_1, t_2 - два різні моменти часу, в які проводилось вимірювання, T - період (1/50 сек для промислової мережі). Зручність використання

саме відношення $\frac{I_2}{I_1}$ можна проілюструвати наступним чином.

Віддалення чи наближення звукового датчика (напр. мікрофона чи п'єзодатчика) до трансформатора, розміщення між ним та трансформатором предметів, що послаблюють звук, і т.ін. призводить до пропорційного зменшення чи збільшення амплітуди звукової кривої. Тим не менше, відношення $\frac{I_2}{I_1}$ залишається при таких перетво-

реннях незмінним ($\frac{I_2}{I_1} = \frac{C \cdot I_2}{C \cdot I_1}$, C - довільна константа), що дозволяє уникнути подібних проблем.

Для діагностики трансформатора пропонується вимірювати звуковий сигнал створений трансформатором (наприклад за допомогою мікрофона чи п'єзодатчика), цифрувати (наприклад за допомогою Аналогово-Цифрового Перетворювача) та за оцифрованими даними за допомогою мікропроцесора проводити їх аналіз (в принципі містить всі вищевказані вузли та реалізує всю необхідну функціональність і навіть більше сучасний персональний комп'ютер з підключеним до нього датчиком звуку (напр. мікрофоном), що дозволяє, створивши відповідне програмне забезпечення, використовувати його для цієї мети). За оцифрованими даними визначається співвідношення $\frac{I_2}{I_1}$.

Подальшу діагностику трансформатора пропонується робити двома можливими способами.

При введенні трансформатора в експлуатацію проводяться стандартні випробування з оформленням протоколу. Під час цих випробувань пропонується додатково провести дослідження звукової кривої, наприклад, це можна зробити під час проведення досліду холостого ходу, що не потребує ввімкнення в електричне коло додаткових приладів і не заважає проведенню будь-яких інших випробувань. Отримане при цьому співвідношення

$L_{\text{станд}} = \frac{I_2}{I_1}$ надалі використовують при діагностиці, періодично перевіряючи, чи співпадають отримані значення $\frac{I_2}{I_1}$ з $L_{\text{станд}}$. Якщо ні, то виникає підозра на несправність, а отже необхідність перевірки трансформатора на наявність дефектів внутрішньої ізоляції, його вимкнення чи переведення в інший режим роботи. Цей метод дозволяє виявити будь-які дефекти внутрішньої ізоляції, що викликають зміну $\frac{I_2}{I_1}$ (міжвиткове замикання, розшихтування, міжпластинне замикання і т.ін.).

Отримуючи дані неперервним потоком, можна оновлювати результати діагностики стану внутрішньої ізоляції вже через час T .

Інший метод без зняття початкової характеристики полягає в тому, що через проміжки часу $\tau > T$ визначається відношення $\frac{I_2}{I_1}$ та порівнюється з вимірним в попередній момент часу (напр. визначають $\left| \frac{I_2(t)}{I_1(t)} - \frac{I_2(t+\tau)}{I_1(t+\tau)} \right|$ (t - момент часу, коли зроб-

лено попередній вимір, $t+\tau$ - момент часу, коли зроблено останній вимір) і порівнюють з нулем). Згідно з вищесказаним, цей метод дозволяє виявити будь-які дефекти внутрішньої ізоляції, що викликають неперіодичність зміни намагніченості магнітопроводу (розшихтування, міжпластинне замикання, прогресуючий дефект міжвиткової ізоляції, ...). Також може бути виявлено непрогресуючий дефект міжвиткової ізоляції, якщо тільки він виник під час проведення діагностики. Отримуючи дані неперервним потоком, можна оновлювати результати діагностики стану внутрішньої ізоляції вже через час τ не менше періоду коливань (не швидше 1/50 сек для промислової мережі).

Поряд з вищевказаним аналізом звукової кривої для обох способів пропонується проводити аналіз середнього рівня звуку створеного трансформатором (напр. якщо частина оцифрованої звукової кривої представлена рядом $a_1 \dots a_N$, як у сучасних ЕОМ, при чому a_1 відповідає якомусь моменту часу t , а a_N - $t+T$, при чому a_i та a_j відповідають точкам 2 і 5 (фото 1), то можна, наприклад, визначати $S(t) = |a_i - a_j|^{-1} N^{-1} \sum_{k=1}^N |a_k|$ (N^{-1} робить результат незалежним від швидкості оцифрування даних - бітрейту) і порівнювати в різні моменти часу (напр. визначати $|S(t) - S(t+\tau)|$, $\tau > T$ і порівнювати з нулем)). Це дає можливість вияви-

ти зростання втрат на магніострикцію, а отже також свідчитиме про пошкодження внутрішньої ізоляції.

У разі виникнення підозри на несправність може бути подано сигнал (напр. за допомогою зумера), вимкнено трансформатор, чи переведено його в інший режим роботи, в залежності від попередніх налаштувань. Також даний спосіб дозволяє встановлювати межі, в яких може знаходитись кожен з параметрів, для кожного трансформатора індивідуально (виходячи з його типу відповідальності об'єкта, ...), чи застосовувати стандартну практику, при якій нормальним вважається відхилення якихось параметрів до 5%.

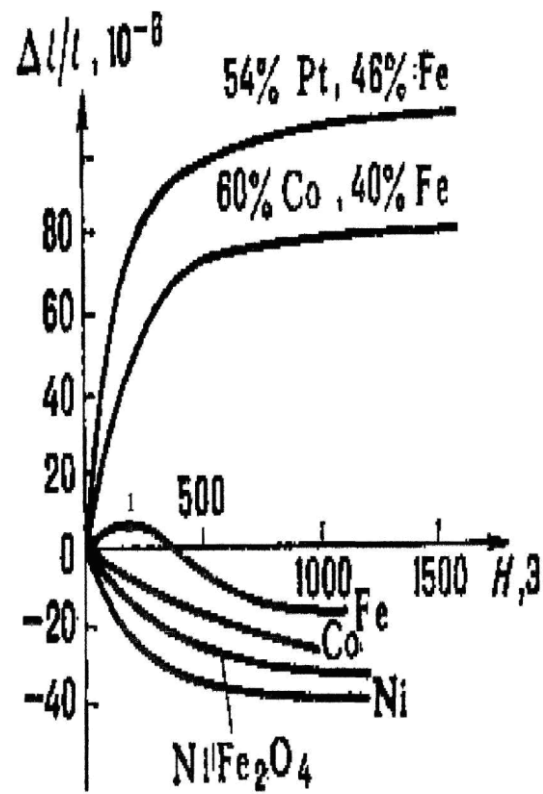
Доцільність вказаного способу експериментально підтверджено. Трансформатор вмикався в мережу на номінальну напругу і працював у звичайному режимі. Для імітації пошкоджень було проведено замірювання при частково та повністю зашунтованому магнітопроводі для імітації замикання між пластинами магнітопроводу і зсунутій верхній частині ярма, а також міжвитковому замиканні. Результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2

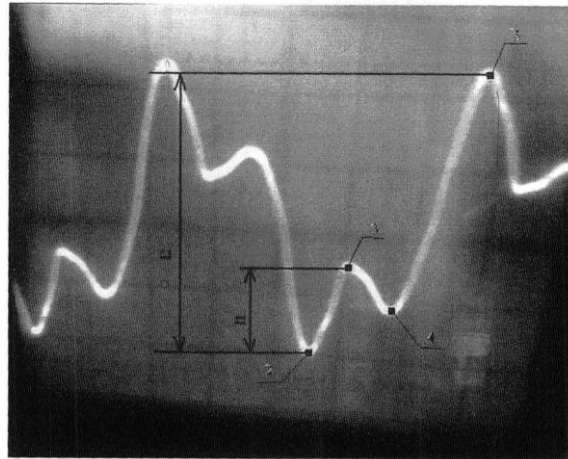
Стан магнітопроводу	$\frac{I_2}{I_1}$
Без дефектів	1.5
Міжвиткове замикання 10 витків вторинної обмотки	1.9
Міжвиткове замикання 10 витків первинної обмотки	2.1
Верхня частина ярма зсунута на 3мм	2.6
Верхня частина ярма зсунута на 5мм	2.75
Ярмо на 1см екрановане фольгою	3
Верхня частина ярма повністю екранована фольгою	3.5
Без верхньої частини ярма	4

Як бачимо спосіб достатньо чутливо відгукується на будь-які дефекти у внутрішній ізоляції.

Основними перевагами такого способу діагностики є те, що він дозволяє проводити перевірку стану трансформатора без виведення його з роботи і відповідно здійснювати його неперервний контроль у випадку необхідності, наприклад на відповідальних об'єктах. Також спосіб дозволяє окремо контролювати стан внутрішньої ізоляції трансформатора без підключення будь-якої виміральної техніки безпосередньо до трансформатора, що робить його зручним з точки зору техніки безпеки, а також не потребує складного чи дорогого обладнання, що робить його доступним.



Фиг.1



Фиг.2