



УКРАЇНА

(19) UA (11) 57397 (13) U
(51) МПК (2011.01)
H01F 27/22 (2011.01)
H01F 38/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ СУХОГО ТРАНСФОРМАТОРА

1

(21) u201009687

(22) 02.08.2010

(24) 25.02.2011

(46) 25.02.2011, Бюл.№ 4, 2011 р.

(72) НАГОРНИЙ МИХАЙЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ,
ЦВАНГ ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ(73) НАГОРНИЙ МИХАЙЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ,
ЦВАНГ ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ

(57) 1. Спосіб виготовлення сухого трансформатора, що включає намотування витків обмотки, що охоплює стрижні магнітної системи, обпресування, просочення її ізоляційним лаком і запікання, який **відрізняється** тим, що частину витків обмотки, що охоплюють стрижні магнітної системи, розміщених у зоні найбільшого її нагрівання, виконують з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості й з'єднують їх з основними витками обмотки, наприклад, за допомогою пайки срібним припоєм, стики витків

2

з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості з основними витками обмотки ізолюють ізоляцією відповідного класу нагрівостійкості.

2. Спосіб виготовлення сухого трансформатора за п. 1, який **відрізняється** тим, що основні витки обмотки розміщують нижче й вище від найбільш нагрітої зони витків обмотки з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості.

3. Спосіб виготовлення сухого трансформатора за пп. 1 і 2, який **відрізняється** тим, що частина витків обмотки з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості утворює зону найбільшого нагрівання таким чином, щоб нагрівання основних витків обмотки при навантаженні, обумовлене включенням витків з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості в її сполуку, не перевищувало припустимого нагрівання ізоляції основних витків обмотки.

Корисна модель ставиться до сухих з повітряним охолодженням трансформаторів, переважно вибухозахищених, призначених для використання у вугільній й інших галузях промисловості, а також може бути використай в інших електромагнітних пристроях - сухих трансформаторах загального призначення, дроселях, реакторах і т. ін.

Відомий спосіб виготовлення сухого трансформатора, що включає виготовлення оболонки й активної частини, що містить магнітну систему зі стрижнями і ярмами, і обмотку з її ізоляцією, що представляє сукупність витків, що утворюють електричне коло, у якій підсумуються ЕДС, наведені у витках, що охоплюють стрижні магнітної системи [1].

Активну частину такого трансформатора, що представляє собою магнітопровід з насадженими на його стрижні обмотками, що складаються з дискових котушок, що чергуються, розміщують в оболонці (кожусі). Стрижні магнітопроводу розміщують горизонтально, а один щодо іншого - у вертикальній площині.

Для зниження перепаду температур між активною частиною й кожухом, і між котушками розміщують плоскі тепловідводячі пластини, вільні кінці

яких заходять у виконанні з бічних сторін гофри кожуха. Кожух з розміщеною в ньому активною частиною заповнюють кварцовим піском, що забезпечує вибухозахист і знижує тепловий опір між тепловідводящими пластинами й бічними гофрами кожуха.

Такі сухі (кварценоповнені) трансформатори, що володіють багатьма перевагами й можливостями, тривалий час випускалися Донецьким енергозаводом, що забезпечував у повному об'ємі потреби вугільної промисловості СРСР і деяких закордонних країн. У підсумку вони прослужили на шахтах по кілька років і згодом були виведені з підприємств вугільної промисловості внаслідок тривалості їхньої експлуатації.

Ці трансформатори мали недолік, що полягав в тому, що для виконання активної частини застосовувалися додатково охолоджуючі пластини, виконані з алюмінію, що ускладнювало процес виготовлення і активної частини, й кожуха. Наявність кварцового піску, а також застосування ізоляції класу нагрівостійкості F, що допускає максимальну температуру нагрівання до 155°C [2], були факторами, що приводить до підвищення маси. Це й те, що в активну частину фактично включався додат-

(19) UA (11) 57397 (13) U

ковий провідний електричний струм і тепло, метал, з'явилося також одним з стримуючих факторів подальшого їхнього застосування й розвитку.

Відомий також спосіб виготовлення сухого з повітряним охолодженням трансформатора, узятий нами за прототип, що включає намотування витків, що охоплюють стрижні магнітної системи, обпресування, просочення ізоляційним лаком і запікання [3, 4].

У сухих трансформаторах для виготовлення обмотки застосовані кремнійорганічна ізоляція й лак класу нагрівостійкості Н, що допускають нагрівання до 180°C [4].

Особливістю нагрівання обмотки сухого з повітряним охолодженням трансформатора є нерівномірність її нагрівання по висоті. Найбільш нагріта зона (крапка) обмотки перебуває не у верхній частині, а приблизно на 0,75 $L_{об}$, де $L_{об}$ - висота обмотки трансформатора. Це пояснюється тим, що від верхньої частини обмотки відтік тепла здійснюється до ярових балок більш інтенсивно. Найбільш імовірною причиною ушкодження сухих трансформаторів є перегрів обмотки в зоні найбільшого її нагрівання. У цій зоні й відбувається ушкодження обмотки, що закінчується найчастіше аварійними наслідками - небезпекою вибуху атмосфери, що тягне за собою загибель людей, припинення вуглевидобутку, додаткові витрати на його заміну й т. ін.

Найбільше нагрівання обмотки в будь-якій її крапці не повинен перевищувати значень, що допускають її класом ізоляції. Нагрівання обмотки, наприклад, виконаної із застосуванням ізоляції класу Н не повинен перевищувати 180°C при тривалому безперервному навантаженні трансформатора. Нерівномірність нагрівання обмотки по висоті, що досягає до 100...120°C для трансформаторів потужністю 1000...1600кВ·А є причиною недовикористання ізоляції в тепловому відношенні. Різниця температур проміж найбільш нагрітої крапкою обмотки й температурою в її нижньої частині вдається трохи знизити за рахунок зменшення довжини стрижнів і відповідно висоти обмотки. Однак характер температури обмотки від витка до витка по всій її довжині залишається все-таки незмінним. Застосування ізоляції проводів обмотки, що допускає більшу температуру нагрівання, не змінює суть картини температурного поля в частині використання її теплового навантаження й додатково приводить до перевитрати витрат на електроізоляційні матеріали, що відповідно підвищує собівартість виготовлення активної частини трансформатора.

В основу корисної моделі поставлене завдання зниження витрати електроізоляційних матеріалів на виконання повздовжньої (виткової) ізоляції обмотки трансформатора з одночасним підвищенням його потужності при рівних витраті провідникового матеріалу й габаритних розмірів трансформатора.

Рішення поставленого завдання досягнуте тим, що при виготовленні обмотки сухого трансформатора, що включає намотування витків обмотки, що охоплюють стрижні магнітної системи, обпресування, просочення ізоляційним лаком і

запікання, частину витків обмотки, що охоплюють стрижні магнітної системи, розміщених у зоні крапки найбільшого її нагрівання, виповнюють з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості й з'єднують їх з основними вітками обмотки, наприклад, за допомогою пайки срібним припоєм, стики витків з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості з основними витками обмотки ізолюють ізоляцією відповідного класу нагрівостійкості.

Основні витки розміщають нижче й вище від найбільш нагрітої зони витків обмотки з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості.

Частина витків обмотки з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості утворює зону найбільшого нагрівання таким чином, щоб нагрівання основних витків обмотки при навантаженні, обумовленої включенням витків з підвищеним класом нагрівостійкості ізоляції в її сполуку, не перевищував припустимого нагрівання ізоляції основних витків обмотки.

Між сукупністю істотних ознак - виконанням частини витків обмотки існує причинно-наслідковий зв'язок, що полягає в тому, що при виготовленні обмотки сухого трансформатора, що включає намотування витків обмотки, що охоплюють стрижні магнітної системи, обпресування, просочення ізоляційним лаком і запікання, частину витків обмотки, що охоплюють стрижні магнітної системи, розміщених у зоні крапки найбільшого її нагрівання, виконують з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості й з'єднують їх з основними витками обмотки, наприклад, за допомогою пайки срібним припоєм, стики витків з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості з основними витками обмотки ізолюють ізоляцією відповідного класу нагрівостійкості, при такому виконанні сухого трансформатора, досягнуте зниження витрати електроізоляційних матеріалів з одночасним можливим підвищенням потужності трансформатора.

Запропонована корисна модель відповідає вимогам винахідницького рівня, тому що істотні ознаки сухого з повітряним охолодженням трансформатора, що відрізняють технічне рішення, що заявляється, від прототипу, у відомих способах і пристроях не виявлені.

Запропонований сухий трансформатор дозволяє досягти наступних переваг у порівнянні з відомим способом виготовлення:

- знизити витраті електроізоляційних матеріалів підвищеної нагрівостійкості на повздовжню ізоляцію обмотки, тому що витки з ізоляцією підвищеної нагрівостійкості перебувають тільки в зоні найбільшого нагрівання обмотки трансформатора;

- при використанні частини витків обмотки підвищеної нагрівостійкості в зоні найбільшого її нагрівання, може бути підвищена потужність при рівних витраті провідникового матеріалу й габаритних розмірів трансформатора, розміщеного в герметичній оболонці.

- при розрахунку потужності, орієнтованій на використання ізоляції, що допускає менший, у порівнянні з уведеними витками нагрівання ізоляції, може бути підвищена надійність виробу, що є особливо важливим при використанні трансформатора в умовах вибухонебезпечної атмосфери.

Сутність запропонованого технічного рішення пояснюється кресленням, де на Фіг.1 схематично зображені криві зміни температури обмотки однієї фази трансформатора по висоті.

Запропонований спосіб виготовлення сухого трансформатора, що містить у собі оболонку (на кресленні не показана) і активну частину (властиво трансформатор) передбачає виготовлення активної частини, що містить магнітну систему зі стрижнями і, ярмами 11 обмоткою і, що представляє сукупність витків, що охоплюють стрижні 1 магнітної системи, що утворюють електричне коло, у якій підсумуються електрорушійні сили (ЕДС), наведені у витках. Трансформатор може бути однофазний або трифазний. На кресленні з метою спрощення, показана одна фаза трансформатора.

Частина витків 4 обмотки 3, з нанесеної на стрижні ізоляцією підвищеної нагрівостійкості розміщена в найбільш нагрітій її зоні. Виконана обмотка піддається просоченню ізоляційним лаком, спікається й насаджується на стрижні активної частини трансформатора. Активна частина міститься в оболонку (на Фіг.1 не показане).

При підключенні трансформатора під напругу й навантажуючи його до номінальної потужності, в активній частині 1 виникають в ній втрати потужності приводять до нагрівання магнітопроводу й обмотки трансформатора. Характер нагрівання обмотки, розміщеної на стрижнях активної частини вертикально приводить до нерівномірного її нагрівання (крива 5). Розміщення витків обмотки підвищеної нагрівостійкості практично не змінює форму й характер температурного поля активної частини трансформатора (крива 6), тобто криві нагрівання 5 і 6 є практично конгруентними. Включення ж до складу обмотки частини витків підвищеної нагрівостійкості дозволяє підвищити надійність активної частини трансформатора, що особливо важливо для трансформаторів, призначених для експлуатації у вибухозахищених середовищах. Наприклад, якщо обмотка трансформатора має виткову ізоляцію, що допускає нагрівання до 180°C, а витки в найбільш нагрітій зоні допускають нагрівання ізоляції до 200°C, тобто зона найбільш нагрітої частини обмотки 4 надійно захищається від перегріву й не може служити причиною можливого uszkodження обмотки трансформатора. Надійність у цьому випадку досягнута за рахунок використання не всієї обмотки, а тільки частини витків з ізоляцією підвищеної нагрівостійкості, що удешевляє витрати у виготовленні. Так само при більшому перекритті зони використання витків обмотки з ізоляцією підвищеної нагрівостійкості може бути збільшена потужність трансформатора. Обмежувачами умовами при цьому може бути температура нагрівання обмотки у верхній її частині. Витки основної частини обмотки, розташовані нижче найбільшої температури нагрівання і дотичні з ними, повинні мати температуру нагрівання з верхніми витками, що стикаються з витками найбільш нагрітої частини обмотки (точки дотику витків найбільш нагрітої частини обмотки з верхніми й нижніми основними витками - «а» і «в» на кривій 6), не перевищуючої припустимої температури нагрівання основних витків обмотки. Інакше

кажучи, якщо ізоляція основних витків обмотки розрахована на температуру нагрівання 180°C, то й витки, що стикаються з витками обмотки, що мають підвищену припустиму температуру нагрівання, повинні мати в крапках їхнього зіткнення «а» і «б» температуру не більше 180°C.

Витки обмотки з ізоляцією підвищеного класу нагрівостійкості включаються в розсічку між основними витками обмотки в крапках «а» і «б» шляхом забезпечення надійного гальванічного зв'язку, наприклад, за допомогою пайки срібним припоєм. Пайка здійснюється також у процесі намотування або шляхом попередньої заготівлі проведення для намотування відомим способом. Механічні характеристики обмотки при цьому не знижуються. При виконанні обмотки з декількох паралельних проводів витки з ізоляцією підвищеної нагрівостійкості трохи зміщаються друг щодо друга для виключення неприпустимого збільшення геометричних розмірів в одному вузлі й забезпечення достатньої стійкості до пробію ізоляції.

Проілюструємо ефективність застосування запропонованого способу на прикладі.

У ремонт надійшов трансформатор вибухобезпечної трансформаторної підстанції, обмотка якого виконана з ізоляцією класу нагрівостійкості Н, що допускає максимальну температуру нагрівання 180°C [2]. У результаті проведеної дефектації встановлено, що обмотка uszkodжена через тепловий вплив, внаслідок чого частина витків обмотки вищої напруги в зоні максимального нагрівання вигоріла. Ремонт обмотки передбачає заміну вигорілих витків рівного перетину, що мають ізоляцію класу нагрівостійкості 200. Відомо також, що в результаті попередніх лабораторних досліджень даного типу й потужності трансформаторів, розподіл температури нагрівання обмотки Θ починаючи знизу, підкоряється залежності

$$\Theta = A \cdot e^{\gamma \beta}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

де A й γ - коефіцієнти;

e - підстава натуральних логарифмів;

$$\beta = \frac{I_{\text{нг}}}{I_{\text{ном}}} \text{ де } I_{\text{нг}} \text{ й } I_{\text{ном}} - \text{ навантажувальний і номінальний струми відповідно.}$$

Потрібно визначити ступінь підвищення потужності трансформатора після заміни частини витків у найбільш нагрітій крапці (зоні) обмотки витками, що мають ізоляцію класу нагрівостійкості 200.

Для трансформатора, що надійшов у ремонт, залежність температури нагрівання обмотки представляється формулою:

$$\Theta = 74,4 \cdot e^{0,882\beta}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

Перетворивши формулу (2), визначимо ступінь підвищення потужності в результаті заміни частини витків, позначену по висоті літерами «а» і «б», що мають ізоляцію класу нагрівостійкості Н, на витки, що мають ізоляцію класу нагрівостійкості 200.

$$\beta = \frac{\ln \frac{200}{74,4}}{0,882} = 1,12.$$

Тобто після заміни частини основних витків обмотки, виконаних з ізоляцією класу нагрівостійкості Н, що допускає нагрів її до 180°C на витки з ізоляцією класу нагрівостійкості 200, потужність трансформатора підвищиться на 12%.

Так само, при виконанні обмотки з ізоляцією класу Н і класів 200 або 250, шляхом їхньої комбінації, вартість виготовлення трансформатора може бути знижена.

Попутно помітимо, що при застосуванні зазначеної частини витків обмотки з ізоляцією класу нагрівостійкості 220 й 250, потужність трансформатора може бути збільшена приблизно на 23 і 37% відповідно. Так, наприклад, при ремонті трансформатора потужністю 630кВ·А, його потужність таким чином у результаті ремонту складе 775 і 863 кВ·А відповідно.

Однак, у зв'язку з тим, що в цей час на шахтах країн СНД в експлуатації перебувають в основному трансформатори й трансформаторні підстанції, обмотки яких виконані з ізоляцією класу Н, то потужність всіх трансформаторів, що надійшли в ремонт, може бути без великих витрат істотно збільшена, особливо при застосуванні ізоляції класу 250.

Природним є й те, що потужність трансформатора після проведеного ремонту може бути перемаркована.

Запропоноване технічне рішення дозволяє за рахунок застосування тільки частини витків обмотки з ізоляцією класу підвищеної температури нагрівання, істотно підвищити надійність трансформатора, скоротити вихід з ладу через ушкодження ізоляції в найбільш нагрітій зоні, що в загальному підвищить безпеку їхньої експлуатації особливо в умовах вибухонебезпечних виробництв, таких як вугільні шахти.

З іншої сторони при перекритті зони найбільшого нагрівання обмотки трансформатора, його потужність може бути збільшена в заданих габаритних розмірах, що також важливо для економії активних матеріалів і для трансформаторів призначених для експлуатації зі стиснутими умовами

проведення робіт, наприклад, для вугільної промисловості.

Запропоноване технічне рішення може бути поширене на інші типи сухих трансформаторів, особливо з обмотками, великої висоти, дроселів, реакторів та інших електромагнітних пристроїв і, таким чином, знизити потребу в дорогій ізоляції, що допускає підвищене нагрівання.

При ремонтах існуючих трансформаторів, використання запропонованого способу виготовлення, дозволяє не тільки підвищити надійність, що поступили в ремонт трансформатора, але також збільшити його потужність, а при його використанні, орієнтованому на колишню його потужність, що не передбачає перемаркування його потужності, істотно підвищити його надійність і термін служби, тому що зниження температури нагрівання найбільш нагрітої частини витків обмотки, залежно від різниці припустимого нагрівання колишньої й знову прийнятої ізоляції, дозволить підвищити його термін служби більш ніж у два-чотири рази.

Виготовлення запропонованого сухого з повітряним заповненням трансформатора не вимагає підвищення кваліфікації персоналу й практично не відрізняється від виготовлення трансформатора, прийнятого нами за прототип.

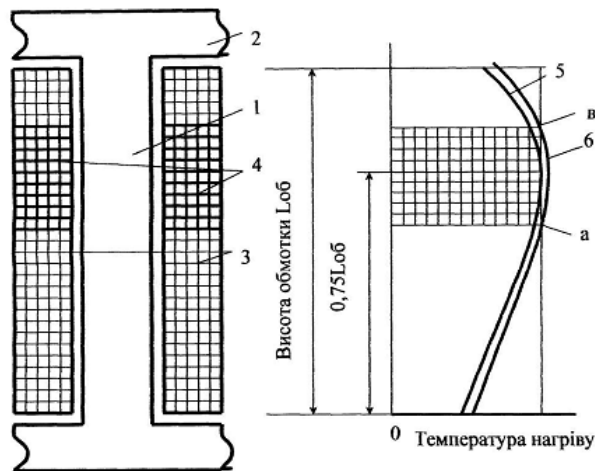
Джерела інформації:

1. Зайцев И.И. и др. Кварценополненные взрывобезопасные трансформаторы и подстанции. - М.: Энергия, 1970. с. 38 -50.

2. ГОСТ 8865- (МЭК 85-84). Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация. - Киев: Госстандарт Украины, 19%. - 8 с.

3. Подстанции трансформаторные взрывобезопасные ТСШВП. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ОАШ.140.324. Донецк, 1977. - 31с.

4. Тихомиров П.М. Расчёт трансформаторов. Учеб. пособие для вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. -528 с: ил. (с.214). ил.



Фиг. 1

