



УКРАЇНА

(19) UA (11) 39639 (13) A

(51) 7 H02J3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ТРАНСФОРМАТОРНИЙ АГРЕГАТ

(21) 2000116584

(22) 21 11 2000

(24) 15 06 2001

(46) 15 06 2001, Бюл № 5, 2001 р

(72) Лисяк Георгій Миколайович, Маліновський
Антон Антонович, Никоненко Леонід Олексійович(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА", ВІДКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ЗАХІДЕНЕРГО"

(57) 1 Трансформаторний агрегат, який містить два трансформатори, одні обмотки яких з'єднані послідовно між собою, який відрізняється тим, що трансформатори виконані з однаковою кількістю

других обмоток та з однаковими коефіцієнтами трансформації при цьому другі обмотки трансформаторів з'єднані між собою послідовно

2 Трансформаторний агрегат за п 1, який відрізняється тим, що трансформатори виконані з пристроями зміни кількості витків обмоток

3 Трансформаторний агрегат за пп 1, 2, який відрізняється тим, що обмотка трансформатора з'єднана паралельно з вихідними виводами струмокомпенсуючого блока

4 Трансформаторний агрегат за п 3, який відрізняється тим, що струмокомпенсуючий блок виконаний з вхідними виводами

Винахід відноситься до електроенергетики та може знайти застосування на електростанціях і підстанціях з трансформаторами

На електростанціях і підстанціях встановлюють трансформатори, які складаються з магнітопровода, первинних і вторинних обмоток. В цих трансформаторах, незважаючи на простоту та надійність їх конструкції, під час тривалої експлуатації можуть виникати різні пошкодження. Параметр потоку відмов для потужних трансформаторів становить біля 0,05 [Некпеліаєв Б. Н., Крючков І. П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учебное пособие для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 680 с., с. 448]. Одними з найнебезпечніших пошкоджень трансформаторів є виткові короткі замикання, під час виникнення яких струм від джерела живлення практично не змінюється, що унеможливорює створення швидкодіючих захистів, оснований на принципах контролювання значень електричних координат режиму. Основним захистом від виткових коротких замикань є газовий захист. При цьому підвищення надійності роботи трансформаторів досягається правильним розрахунком ізоляції, високим технологічним рівнем заводу-виробника й дотриманням правил технічної експлуатації трансформаторів [Копылов И. П. Электрические машины. Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 360 с., с. 133-134].

Відомий трансформаторний агрегат, який містить два трансформатори, одні обмотки яких з'єднані послідовно між собою [Электрическая часть станций и подстанций. Учеб. для вузов / А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова и др., Под ред. А. А. Васильева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 576 с., с. 322-323, 325-326].

Однак під час виткових коротких замикань в такому агрегаті струм у замкнених витках може в десятки і сотні разів перевищувати номінальне значення струму обмотки, виникають недопустимий місцевий нагрів і великі електродинамічні зусилля на ці витки, відбувається руйнування трансформаторів і вихід їх з ладу, що зменшує надійність роботи трансформаторного агрегата.

В основу винаходу поставлено завдання створити трансформаторний агрегат, у якому нове виконання елементів і зв'язів між ними дозволило б зменшити значення струмів під час виткових коротких замикань в обмотках, і тим самим, підвищити надійність роботи трансформаторного агрегата.

Поставлене завдання досягається тим, що у трансформаторному агрегаті, який містить два трансформатори, одні обмотки яких з'єднані послідовно між собою, згідно винаходу трансформатори виконані з однаковою кількістю других обмоток та з однаковими коефіцієнтами трансформації, при цьому другі обмотки трансформаторів з'єднані між собою послідовно.

(19) UA (11) 39639 (13) A

Таке виконання трансформаторного агрегата дозволяє шляхом параметричного збільшення його опору відносно місця виткового короткого замикання забезпечити зменшення значення струму в закорочених витках обмотки та у вітці, яка утворила таке замикання, місцевого нагріву та електродинамічних зусиль на ці витки, і тим самим, підвищити надійність роботи трансформаторного агрегата.

Поставлене завдання досягається також тим, що у трансформаторному агрегаті трансформатори виконані з пристроями зміни кількості витків обмоток.

Це дозволяє додатково забезпечити регулювання напруги між виводами трансформаторного агрегата і тим самим підвищити надійність роботи.

Поставлене завдання досягається також тим, що у трансформаторному агрегаті обмотка трансформатора з'єднана паралельно з вихідними виводами струмокомпенсувального блоку.

Це дозволяє шляхом компенсації реактивних складових струмів намагнічення трансформаторів забезпечити додаткове зменшення значення струму в закорочених витках іншої обмотки та у вітці, яка утворила таке замикання і тим самим підвищити надійність роботи.

Поставлене завдання досягається також тим, що у трансформаторному агрегаті струмокомпенсувальний блок виконаний з вхідними виводами.

Це дозволяє шляхом компенсації активних складових струмів намагнічення трансформаторів забезпечити додаткове зменшення значення струму в закорочених витках іншої обмотки та у вітці, яка утворила таке замикання і тим самим підвищити надійність роботи.

Технічна суть і принцип дії запропонованого пристрою пояснюються фіг. 1-5. На фіг. 1 зображений трансформаторний агрегат з двома двообмотковими трансформаторами, на фіг. 2 - трансформаторний агрегат з двома триобмотковими трансформаторами; на фіг. 3 - трансформаторний агрегат з двома двообмотковими трансформаторами, виконаними з пристроями зміни кількості витків обмоток; на фіг. 4 - трансформаторний агрегат з двома двообмотковими трансформаторами, обмотки яких з'єднані відповідно паралельно з вихідними виводами струмокомпенсувальних блоків; на фіг. 5 - трансформаторний агрегат з двома двообмотковими трансформаторами та струмокомпенсувальними блоками з вхідними виводами, до яких прикладені напруги.

Трансформаторний агрегат (фіг. 1, 2) містить два трансформатори 1 і 2 з однаковими коефіцієнтами трансформації. У варіанті, зображеному на фіг. 1, трансформатори 1 і 2 виконані двообмотковими з одними 3 і 4 та другими 5 і 6 обмотками, з'єднаними відповідно послідовно між собою та з одними 7 і 8 та другими 9 і 10 виводами трансформаторного агрегата. У варіанті, зображеному на фіг. 2, трансформатори виконані триобмотковими з додатковими другими обмотками 11 і 12, з'єднаними відповідно послідовно між собою та додатковими другими виводами 13 і 14 трансформаторного агрегата. Кількість додаткових других обмоток може бути довільною.

Трансформаторний агрегат може містити трансформатори, виконані з пристроями зміни

кількості витків обмоток. На фіг. 3 зображений варіант такого трансформаторного агрегата, який додатково до елементів трансформаторного агрегата на фіг. 1 містить пристрої 15 і 16 зміни кількості витків обмоток 3 і 4 трансформаторів 1 і 2.

Трансформаторний агрегат може містити один і більше струмокомпенсувальних блоків з вихідними виводами, які приєднані паралельно до обмоток трансформаторів. На фіг. 4 зображений варіант такого трансформаторного агрегата, який додатково до елементів трансформаторного агрегата на фіг. 1 містить струмокомпенсувальні блоки 17-20, вихідні виводи 21-28 яких приєднані паралельно відповідно до обмоток 3-6 трансформаторів 1 і 2. Струмокомпенсувальні блоки 17-20 можуть містити резистивні та реактивні елементи, керовані та некеровані комутаційні апарати і захисні пристрої.

Трансформаторний агрегат може містити струмокомпенсувальні блоки, виконані з вхідними виводами, до яких прикладена напруга. На фіг. 5 зображений варіант такого трансформаторного агрегата, який містить всі елементи трансформаторного агрегата на фіг. 4, при цьому струмокомпенсувальні блоки 17-20 виконані відповідно з вхідними виводами 29-36, до яких прикладені напруги.

Трансформаторний агрегат працює так.

Під час нормальних режимів трансформаторного агрегата (фіг. 1), за умови відсутності виткових коротких замикань в обмотках 3-6 трансформаторів 1 і 2, має місце наступне: в обмотках 3 і 4 та 5 і 6 протікають відповідно однакові струми, тому ці обмотки повинні бути розраховані на відповідно однакові номінальні значення струмів; струми обмоток 3 і 5 трансформатора 1, приведені до числа витків однієї з цих обмоток, відрізняються між собою на приведені до цього ж числа витків значення струму намагнічення трансформатора 1; струми обмоток 4 і 6 трансформатора 2, приведені до числа витків однієї з цих обмоток, відрізняються між собою на приведені до цього ж числа витків значення струму намагнічення трансформатора 2; струми намагнічення трансформаторів 1 і 2 мають активні та реактивні складові; напруги між виводами 7 і 8 та 9 і 10 розподіляються відповідно між обмотками 3 і 4 та 5 і 6 в залежності від характеристик намагнічування відповідно трансформаторів 1 і 2, а приведені значення напруг між цими виводами відрізняються між собою на приведені значення спадів напруг на активних опорах і реактансах розсіювання обмоток 3-6 трансформаторів 1 і 2.

Під час поздовжнього короткого замикання всіх витків однієї з обмоток 3-6 одного з трансформаторів 1 і 2 можливе продовження роботи трансформаторного агрегата. Припустимо, що виникло поздовжнє коротке замикання обмотки 4 трансформатора 2. У цьому випадку напруга на обмотці 4 трансформатора 2 стане рівною нулю, а напруга на обмотці 3 трансформатора 1 зросте й стане рівною напрузі між виводами 7 і 8 трансформаторного агрегата, при цьому напруга на обмотці 6 трансформатора 2 також зменшиться практично до нуля, а напруга на обмотці 5 трансформатора 1 зросте і стане практично рівною напрузі між виводами 9 і 10, значення якої практично не зміниться, внаслідок чого забезпечується можливість продовження роботи трансформаторного агрегата. Тому маг-

нітні системи кожного з трансформаторів 1 і 2 повинні бути розраховані на дію повної напруги між виводами 7 і 8 та 9 і 10 трансформаторного агрегата протягом розрахункового часу існування поздовжнього короткого замикання обмотки 4. При цьому з виразів для обчислення магніторушійних сил кожного з трансформаторів 1 і 2 випливає, що через витку, яка утворила поздовжнє коротке замикання обмотки 4 трансформатора 2, протікатиме різниця струмів намагнічення трансформаторів 1 і 2, значення яких, приведені відповідно до числа витків обмотки 3 трансформатора 1 та обмотки 4 трансформатора 2.

Аналогічно під час поздовжнього короткого замикання обмотки 6 трансформатора 2 через витку, що утворила таке замикання, протікатиме також різниця струмів намагнічення трансформаторів 1 і 2, але значення яких приведені вже відповідно до числа витків обмотки 5 трансформатора 1 та обмотки 6 трансформатора 2. В обох розглянутих випадках значення цих різниць струмів намагнічення трансформаторів у сотні разів менші за номінальні значення струмів відповідних обмоток трансформаторів, тобто має місце параметричне збільшення опору трансформаторного агрегата відносно витки, яка утворила поздовжнє коротке замикання обмотки.

Отже режим поздовжнього короткого замикання однієї з обмоток 3-6 одного з трансформаторів 1 і 2 трансформаторного агрегата принципово відрізняється від режиму поздовжнього короткого замикання обмотки типового випадку окремо працюючого трансформатора, під час якого у витці, що утворила таке коротке замикання, протікатиме струм у декілька разів більший за номінальне значення струму цієї обмотки.

Режим короткого замикання частини витків однієї з обмоток 3-6 одного з трансформаторів 1 і 2 трансформаторного агрегата також принципово відрізнятиметься від режиму короткого замикання аналогічної частини витків обмотки окремо працюючого трансформатора. Припустимо, що виникло коротке замикання частини витків обмотки 4 трансформатора 2. Тоді у витці, яка утворила коротке замикання, протікатиме струм, значення якого пропорційне відношенню різниці відповідно приведених струмів намагнічення трансформаторів 1 і 2 до відносного числа закорочених витків обмотки 4. У граничному випадку короткого замикання одного витка обмотки 4 значення цього струму дорівнюватиме різниці відповідно приведених струмів намагнічення трансформаторів 1 і 2, помножених на число витків обмотки 4 і може у декілька разів перевищувати номінальне значення струму цієї обмотки. У той же час, під час аналогічного режиму типового випадку окремо працюючого трансформатора значення струму у витці, яка утворила коротке замикання одного витка обмотки, перевищуватиме номінальне значення струму цієї обмотки у десятки та сотні разів. Отже відносно мале значення струмів під час виткових коротких замикань у запропонованому трансформаторному агрегаті забезпечуватиме зменшення місцевого нагріву та електродинамічних зусиль на закорочені витки й сприятиме погасанню дуги та самеліквідації пошкодження в середовищі трансформаторної олії, особливо для малопотужних трансформа-

торів, що підвищить надійність роботи трансформаторного агрегата.

Для варіанта трансформаторного агрегата (фиг. 2) трансформатори 1 і 2 якого виконані відповідно з додатковими другими обмотками 11 і 12, з'єднаними відповідно послідовно між собою та з додатковими виводами 13 і 14, особливості режимів під час виткових коротких замикань обмоток повністю аналогічні описаним вище для трансформаторного агрегата на фиг. 1, що також забезпечує підвищення надійності роботи трансформаторного агрегата, трансформатори якого виконані з додатковими другими обмотками.

У трансформаторному агрегаті (фиг. 3) трансформатори 1 і 2 якого виконані відповідно з пристроями 11 і 12 зміни кількості витків відповідно обмоток 3 і 4, забезпечується можливість регулювання напруги між виводами 7 і 8 або 9 і 10 трансформаторного агрегата, при цьому за умови, що після зміни кількості витків обмоток 3 і 4 коефіцієнти трансформації трансформаторів 1 і 2 будуть рівними між собою, особливості режимів під час виткових коротких замикань обмоток повністю аналогічні описаним вище для трансформаторного агрегата на фиг. 1, що забезпечує підвищення надійності роботи.

У трансформаторному агрегаті (фиг. 4), кожна з обмоток 3-6 трансформаторів 1 і 2 якого з'єднана відповідно паралельно з відповідними вихідними виводами 17-24 відповідних струмокомпенсувальних блоків 25-28, під час виткових коротких замикань через витку, що утворила таке замикання, протікатиме струм, значення якого дорівнюватиме різниці відповідно приведених струмів намагнічення трансформаторів 1 і 2 та струмів струмокомпенсувальних блоків 25-28, які забезпечуватимуть необхідну компенсацію реактивних складових струмів намагнічення трансформаторів 1 і 2 і, тим самим, зменшення значення струму у витці, що утворила виткове коротке замикання, порівняно з трансформаторним агрегатом на фиг. 1. Окрім того, струмокомпенсувальні блоки 25-28 можуть зменшувати дію імпульсних перенапруг на виткову ізоляцію обмоток 3-6 трансформатора 1 і 2, що також підвищує надійність роботи трансформаторного агрегата. Таке паралельне з'єднання обмоток трансформаторів з відповідними вихідними виводами відповідних струмокомпенсувальних блоків може виконуватися також у трансформаторних агрегатах, зображених на фиг. 2, 3.

У трансформаторному агрегаті (фиг. 5), у якому струмокомпенсувальні блоки 25-28 виконані з відповідними вхідними виводами 29-36, до яких прикладені відповідні напруги, під час режимів виткових коротких замикань струмокомпенсувальні блоки 25-28 забезпечуватимуть додатково необхідну компенсацію активних складових струмів намагнічення трансформаторів 1 і 2 і, тим самим, додаткове, порівняно з трансформаторним агрегатом на фиг. 4, зменшення значення струму у витці, що утворила виткове коротке замикання, що підвищить надійність роботи трансформаторного агрегата.

Запропонований трансформаторний агрегат реалізується з використанням стандартного обладнання й може знайти застосування під час спорудження нових і реконструкції діючих електрос-

танцій і підстанцій. Він дозволяє шляхом зменшення значень струмів під час виткових коротких замикань обмоток суттєво покращити умови роботи трансформаторів, обмежити обсяг руйнувань та ремонтів, або навіть повністю усунути їх, і тим самим підвищити надійність роботи електростанцій і підстанцій. Для прикладу були виконані розрахунки режимів короткого замикання одного витка обмотки нижчої напруги (номінальна напруга - 10,5 кВ, кількість витків обмотки - 360) силового трансформатора ТМ-6300/35 як для стандартного випадку його окремої роботи, так і для випадку роботи двох таких трансформаторів у складі запропонованого трансформаторного агрегата. Такі режими короткого замикання одного витка характеризуються найбільшими значеннями струмів у витці, яка утворила коротке замикання. Для стандартного випадку окремої роботи трансформатора значення струму короткого замикання одного витка становить $2177 I_{ном.}$, а для випадку роботи трансформатора у складі трансформаторного агрегата (фіг. 1) - всього $2,3 I_{ном.}$. Компенсація реактивних складових струмів намагнічення трансформаторів трансформаторного агрегата за допомогою струмокомпенсуювальних блоків (фіг. 4) призвела до додаткового зменшення значення струму виткового короткого замикання у 5,3 рази, тобто до рівня $0,43 I_{ном.}$.

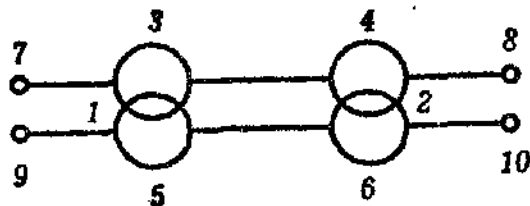
Застосування трансформаторного агрегата у схемах основних електричних з'єднань електростанцій і підстанцій вимагає встановлення двох трансформаторів з такими ж параметрами, які має один трансформатор в типових схемах. Тому теплові втрати активної потужності в обмотках кожного з трансформаторів трансформаторного агрегата будуть такими ж, а в сталі - у чотири рази меншими, порівняно з відповідними втратами типового випадку окремо працюючого трансформатора. Знехтувавши в першому наближенні втратами активної потужності в сталі трансформаторів трансформаторного агрегата та прийнявши для потужних трансформаторів відношення втрат ак-

тивної потужності холостого ходу ΔP_x до втрат "короткого замикання" ΔP_k рівним $\Delta P_x/\Delta P_k = 0,37$, одержимо, що збільшення втрат активної потужності у трансформаторному агрегаті під час режиму завантаження номінальним струмом становитиме.

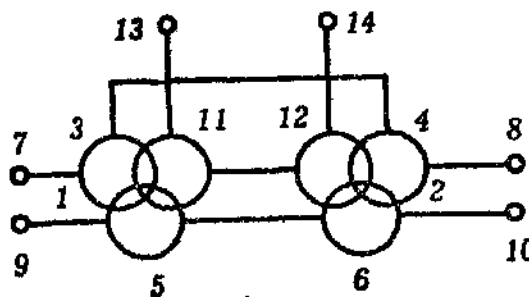
$$\begin{aligned}\Delta P_{ма}/\Delta P_{м} &= 2\Delta P_k/(\Delta P_x + \Delta P_k) = \\ &= 2\Delta P_k/(1,37\Delta P_k) = 1,46.\end{aligned}$$

Для характерного графіка навантаження з $T_{ис} = 5000$ год, $\cos \varphi_{ном} = 0,85$ одержимо час максимальних втрат $\tau = 3500$ год. За таких умов сумарні річні втрати енергії у трансформаторному агрегаті становитимуть 104%, а у кожному з його трансформаторів - 52% від втрат енергії для типового випадку в окремо працюючому трансформаторі. За прийнятого вище співвідношення $\Delta P_x/\Delta P_k$ таке зменшення втрат активної потужності й енергії в кожному з трансформаторів трансформаторного агрегата приведе до зменшення в усталених режимах температури верхніх шарів олії на $10,8^\circ\text{C}$, що збільшує строк роботи цих трансформаторів у $2^{10,8/6} = 3,5$ разів і, відповідно, зменшує в 3,5 разів параметр потоку відмов кожного з цих трансформаторів. Отже, параметр потоку відмов трансформаторного агрегата, що складається з двох послідовно з'єднаних трансформаторів, параметр потоку відмов яких під час їх роботи у типових схемах дорівнював 0,05, становитиме $2 \cdot 0,05/3,5 = 0,029$, тобто зменшиться в 1,75 разів. Збільшення строку служби трансформаторів трансформаторного агрегата у 3,5 разів, а також зменшення обсягу руйнувань під час виткових коротких замикань дозволяє зменшити складові амортизаційних відрахувань на реновацію та капітальний ремонт.

Застосування трансформаторного агрегата доцільно, якщо збільшення розрахункових затрат окупається зменшенням збитків від аварійних вимкнень за рахунок вищої його надійності.



Фиг. 1



Фиг. 2

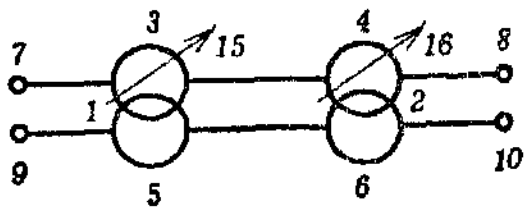


Fig. 3

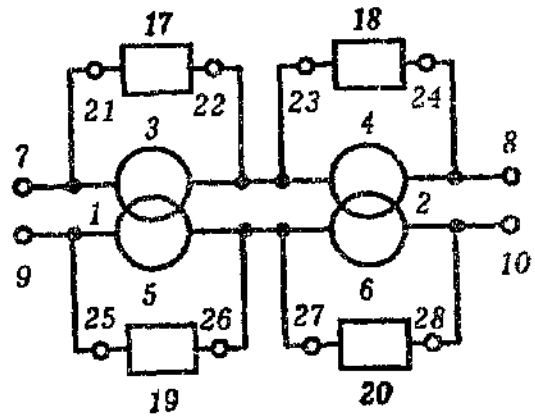


Fig. 4

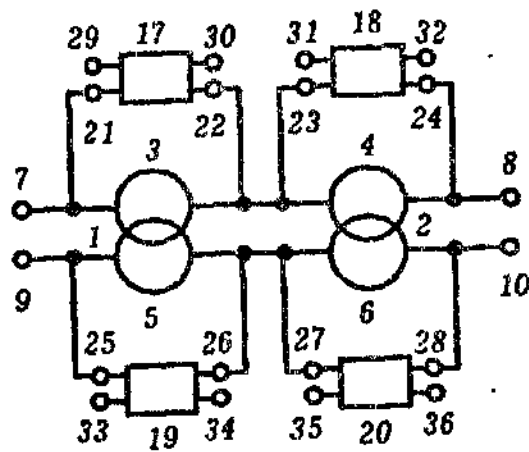


Fig. 5

Тираж 50 экз

Відкрите акціонерне товариство «Патент»
 Україна, 68000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101
 (03122) 3-72-89 (03122) 2-57-03

