

УДК 621.3.013.1

Яримбаш Д.С.¹, Яримбаш С.Т.², Солодовнікова Т.П.³

¹ д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

³ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАХОДІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ПИТОМИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВТРАТ У СИСТЕМІ ВІДВОДИ ОБМОТОК - БАК ТРАНСФОРМАТОРА

Потужні силові трансформатори відграють важливу роль у магістральних системах передачі електричної енергії великої потужності на значні відстані. Таку саму роль відіграють і, так звані, блочні трансформатори, які з'єднуються з надпотужними синхронними електрогенераторами, наприклад, на атомних електростанціях. У такому електрообладнанні виникає необхідність вирішувати складні інженерні задачі, що пов'язані із значними питомими електричними втратами, що виділяються у конструктивних елементах баку трансформатора під дією полів розсіювання [1].

На практиці, під час проектування, доводиться передбачати спеціальні заходи, щоб зменшити індукцію поля розсіювання на стінках бака трансформатора біля відводів обмоток низької напруги із великими струмовими навантаженнями. Традиційною конструкторською практикою є розрахунок полів розсіювання у горизонтальному перерізі активної частини трансформатора з відводами низької напруги і стінками бака із конструкційної сталі [1].

За даними польових розрахунків визначають міста установки магнітних екранів на стінках бака трансформатора. Маса таких екранів із шихтованої електротехнічної сталі може сягати декількох сотень кілограмів, що не тільки збільшує загальну масу трансформатора, а також призводить до додаткових витрат на активні матеріали у виробництві.

Тому є актуальними у науковому і практичному плані питання розробки заходів для зменшення електричних втрат у системі відводи обмоток – бак трансформатора без додаткових витрат активних матеріалів.

У теперішній час великий обсяг досліджень проводиться із застосуванням прикладного програмного забезпечення польового моделювання та використанням 2D і 3D геометричних моделей електротехнічних об'єктів. Моделювання електромагнітних полів у робочих режимах електротехнічного обладнання здійснюється на основі рівнянь Максвелла у диференціальній формі, математичних описів середовищ з лінійними і нелінійними властивостями, граничними умовами і умовами спряження, а також з умовами нерозривності просторових полів.

Область електромагнітного перетворення електричної енергії змінного струму визначається як область моделювання, яка поєднує різні багатокомпонентні складальні одиниці активної частини трансформатора. Це значно ускладнює числову реалізацію моделей на основі метода кінцевих елементів, що потребує значних витрат часу і апаратних ресурсів і знижує ефективність пошуку необхідних для практичної реалізації конструктивних рішень.

Тому задача спрощення фізичних, математичних і геометричних моделей, у тому числі, перехід від 3D до 2D моделювання без істотного збільшення похибок розрахунків стає актуальною і в науковому і в практичному сенсі.

Метою роботи є розробка технічних рішень для зменшення індукції магнітного поля розсіювання на феромагнітних поверхнях шляхом переходу від 3D моделі до 2D моделі електромагнітного поля у частотній постановці в області горизонтального перерізу конструктивної системи відводів обмоток і стінок баку трансформатора.

Перехід від 3D геометричної моделі активної частини трансформатора обґрунтовується наступними чинниками: радіальний розмір обмоток є значно

меншим за їх висоту; товщина стінок бака на декілька порядків менше ніж його висота; розміри поперечного перерізу відводів також є значно меншими за їх довжину. Якщо у рівняннях Максвелла [3] перейти до відносних значень геометричних розмірів, приймаючи висоту активної частини за одиницю виміру, то коефіцієнти для похідних осьових складових індукції і напруженості магнітного поля будуть на декілька порядків меншими за коефіцієнти для похідних складових поля у площі горизонтального перерізу активної частини трансформатора. Це дозволяє знехтувати осьовою складовою магнітних полів і робить можливим застосувати для вирішення практичних завдань 2D модель у горизонтальному перерізі активної частини трансформатора. Висота такого перерізу дорівнює $1/4$ висоти обмоток, що обумовлено лінійним вводом у середину обмоток високої напруги.

Розрахунки електромагнітних полів виконувалися засобами програмного забезпечення Femm [4] для трьох варіантів конструктивного виконання.

Перший варіант: обмотки трансформатора і відводи низької напруги завантажені струмами з номінальними значеннями, шихтовані магнітні екрани на плоских стінках бака відсутні.

Другий варіант: обмотки трансформатора і відводи низької напруги завантажені струмами з номінальними значеннями, контур стінки має хвилю, що повторює контур силової лінії магнітного поля за розрахунками першого варіанта.

Третій варіант: обмотки трансформатора і відводи низької напруги завантажені струмами з номінальними значеннями, напроти відводів низької напруги на плоских стінках бака установлені шихтовані магнітні екрани з електротехнічної сталі.

За даними польових розрахунків визначалися максимальні значення питомих електричних втрати у стінках бака трансформатора. Базою для порівняльного аналізу трьох дослідних варіантів приймалося максимальне значення питомих електричних втрат, що було розраховано у номінальному режимі навантаження для першого дослідного конструктивного виконання.

Для другого варіанту дослідного конструктивного виконання контур бака був змінений шляхом сполучення плоскої стінки із циліндричною поверхнею, дуга якої проходила на потроєній відстані від відводів у порівнянні з першим варіантом. Центр даної дуги був розташований на осі симетрії прямокутного горизонтального перерізу шини відводів. Відносне значення максимальних питомих втрат склало 18% від першого варіанту виконання.

Для третього дослідів відстань між баком і відводом було збільшено на розмір магнітного екрану. Це забезпечило зменшення відносного значення максимальних питомих втрат до 14% у порівнянні з першим дослідом. Слід

зазначити, що для третього варіанту маса трансформатора збільшується на масу магнітних екранів і на масу конструкційної сталі сталевієї полоси з довжиною контуру баку і шириною у дві ширини магнітного екрана.

Для другого конструктивного виконання маса бака також збільшується але тільки на 4,2% від її зростання для третього варіанта.

Таким чином, у випадках, коли габарити трансформатора не обмежуються максимально припустимими габаритами для його транспортування залізничним транспортом або коли можливо транспортування трансформатора річковими, морськими судами і на спеціальних платформах автомобільними шляхами, слід визнати найбільш ефективним спеціальне профілювання контуру бака трансформатора з розширеннями напроти відводів низької напруги. Проте за наявності залізничних транспортних обмежень застосування магнітних екранів на стінка бака трансформатора залишається безальтернативним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Colonel Wm. T. McLyman Transformer and Inductor Design Handbook, Third Edition (3rd ed.). CRC Press. 2004. 556 p. <https://doi.org/10.1201/9780203913598>
2. Kulkarni, S.V. Transformer Engineering: Design and Practice [Text] / S.V. Kulkarni, S.A. Khaparde. – New York: Marcel Dekker, 2004. – 478 p.
3. Дивчук, Т. Е. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Э. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, И. М. Коцур, Ю. С. Безверхняя // Електротехніка та електроенергетика. – 2017. – №2. – С. 56-66. DOI: 10.15588/1607-6761-2017-2-6
4. Finite Element Method Magnetics: <https://www.femm.info>