

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВ НА РОБОТУ СУХОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Метою дослідження є встановлення чинників які визначають тепловий стан сухого трансформатора. Об'єктом дослідження є сухий трансформатор. Предметом дослідження є чинники, які впливають на технічні характеристики трансформатора.

Сухий трансформатор є основним обладнанням системи розподілу, який широко використовується в умовах коли використання масляного є неможливим або недоцільним. Також важливим фактором при виборі сухого трансформатора є те, що він безпечніший за масляні розподільні трансформатори, оскільки використовує вогнестійкі тверді ізоляційні матеріали та повітря як ізоляційне середовище [1]. В сухому трансформаторі не використовується масло або інша рідина як діелектрик замість цього вони захищені від перенапруги та перевантаження за допомогою твердого діелектрика, такого як епоксидна смола або поліефірна смола.

Потужність, що може передаватись через трансформатор визначається його номінальною потужністю та умовами охолодження. При нижчих температурах оточуючого середовища трансформатор може довше працювати з деяким перевантаженням, проте перевантаження негативно впливатимуть на стан ізоляції його обмоток. Тому доцільно встановити залежності між умовами охолодження та навантаженням на трансформатор.

Теплопровідність смоляного ізоляційного матеріалу обмотки сухого трансформатора є низькою, що призводить до його поганої тепловіддачі, і це може легко спричинити несправність [2]. Це прискорить старіння ізоляції і навіть призведе до аварійних ситуацій, пов'язаних з горінням. Для уникнення таких ситуацій є важливим математично розрахувати розсіювання тепла в сухих трансформаторах. Під час роботи сухого трансформатора основним джерелом тепла є тепло, що утворюється ефектом Джоуля на обмотках під дією струму, і тепла, що утворюється втратами на гістерезис і вихровими струмами залізного сердечника під дією змінного магнітного поля. Потік повітря приводиться в рух тепловою силою або вентилятором. При протіканні повітря через поверхню обмотки трансформатора та залізного сердечника, відбувається конвекційний теплообмін, а потім тепло передається зовнішньому середовищу [3]. Тому розрахунок розсіювання тепла сухого трансформатора включає розв'язок рівняння теплопровідності в твердій області та розв'язання рівнянь конвекційного теплообміну. Розглянемо втрати навантаження трансформатора. Втрати навантаження в обмотках трансформатора складаються з втрат опору, втрат на вихрові струми та блукаючі втрати. Оскільки тепло, що генерується сухим трансформатором, розсіюється через потік повітря, блукаючі втрати не враховуються, тому втрати навантаження можуть бути отримані за допомогою наступного рівняння (1):

$$P = I^2 * R_0(1 + \alpha(T - T_0))(1 + \beta \frac{235+T_0}{235+T}) \quad (1)$$

де, P - втрати напруги в обмотках трансформатора, В; I - струм в обмотках трансформатора, А; R_0 - питомий опір обмоток трансформатора, Ом / см; α - температурний коефіцієнт опору обмоток трансформатора, $1/^\circ\text{C}$; T - температура обмоток трансформатора, $^\circ\text{C}$; T_0 - температура навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$; β - коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього середовища на опір обмоток трансформатора [4]. Величина α залежить від матеріалу обмоток трансформатора. Для мідної обмотки $\alpha = 0,0042$. Величина β залежить від конструкції трансформатора і умов його експлуатації. Зазвичай $\beta = 0,002$.

Також для визначення втрат в трансформаторі важливо розрахувати кількість тепла яке віддає трансформатор в навколишнє середовище. Теплообмін в трансформаторі відбувається в двох основних напрямках:

- випромінювання - це перенесення тепла за допомогою електромагнітних хвиль;
- конвекція - це перенесення тепла за допомогою руху рідини або газу.

У трансформаторах теплообмін випромінюванням становить близько 10% від загального теплообміну. Конвекція є основним механізмом теплообміну в трансформаторах. Формула теплообміну конвекцією в трансформаторі визначається наступним чином:

$$Q = h * A * (T1 - T2)$$

де, Q - кількість теплоти, що передається конвекцією, Вт; h - коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К); A - площа поверхні теплообміну, м²; T1 - температура на нагрітій поверхні, К; T0 - температура на охолоджуваній поверхні, К. Температура на охолоджуваній поверхні трансформатора зазвичай визначається як температура навколишнього середовища. Вплив температури навколишнього середовища на втрати потужності в трансформаторі визначається наступним чином:

1. збільшення температури навколишнього середовища призводить до зниження різниці температур на нагрітій і охолоджуваній поверхнях;
2. зменшення різниці температур призводить до зменшення кількості теплоти, що передається конвекцією;
3. зменшення кількості теплоти, що передається конвекцією, призводить до збільшення втрат потужності в трансформаторі.

Висновки: Втрати потужності в трансформаторі зростають зі збільшенням температури навколишнього середовища. Це пов'язано з тим, що при підвищенні температури навколишнього середовища зменшується різниця температур на нагрітій і охолоджуваній поверхнях, що призводить до зменшення кількості теплоти, що передається конвекцією. Зменшення втрат потужності в трансформаторі є важливою задачею, яка дозволяє підвищити його ефективність і зменшити енергоспоживання. Досягти зниження втрат потужності можна за рахунок застосування систем примусового охолодження. При цьому можливе збільшення потужності, що передається через трансформатор на величину до 20 %.

Список використаних джерел:

1. Бублик М.Ф., Горбач В.П., Кірюхін К.А. Трансформатори. – К.: Техніка, 2009. – 480 с.
2. Вітренко В.В. Електротехніка. Підручник для вищих навчальних закладів. – К.: Вища школа, 2017. – 672 с.
3. Вітренко В.І. Втрати потужності в трансформаторах. Теорія і практика. – К.: Вища школа, 2008. – 336 с.
4. Кібіш С.В. Втрати потужності в трансформаторах. – К.: Техніка, 2010. – 320 с.

References:

1. Bublik, M. F., Gorbach, V. P., & Kiryukhin, K. A. (2009). Transformers. Kyiv: Technika.
2. Viterenko, V. I., & Viterenko, V. V. (2017). Electrical engineering: textbook for higher educational institutions. Kyiv: Vyshcha shkola.
3. Viterenko, V. I. (2008). Power losses in transformers: theory and practice. Kyiv: Vyshcha shkola.
4. Kibis, S. V. (2010). Power losses in transformers. Kyiv: Technika.