

УДК 621.3.013;621.365.32

Килимник І.М.¹

¹ канд. тех. наук, доц. ЗНТУ

ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Надійність експлуатації силових трансформаторів в значній мірі визначається відповідністю їх теплового стану температурним обмеженням для прийнятого проєктантами класу нагрівостійкості електроізоляції. Перевищення допустимої температури навіть на декілька градусів може майже наполовину скоротити прогнозований термін експлуатації силового трансформатора. Робота трансформатора характеризується втратами електричної енергії, які по відношенню до струмового навантаження поділяються на змінну і сталу складові, що визначають втратами короткого замикання і неробочого ходу (втрати у магнітній системі). Температурні режими трансформаторів забезпечуються різними типами систем охолодження. Найбільш ефективною є системи з направленою циркуляцією трансформаторного масла, яке омиває поверхні обмоток і магнітної системи.

Магнітна система є одним з найбільш масивних елементів конструкції трансформатора з найбільшою питомою теплоємністю. У тепловому сенсі під

час роботи трансформатора вона відіграє роль акумулятора тепла. Тому саме її температурний стан визначає стан нагріву інших систем і вузлів активної частини трансформатора. Визначення температурного стану на етапі проектування нового обладнання є складною задачею, вирішення якої слід вважати актуальним і в науковому і у виробничому планах.

Магнітна система силового трансформатора є однією з найважливіших складових його конструктивної будови. Вона складає основу його остову, на якому монтуються всі системи активної частини, а саме: системи обмоток, відводів, електроізоляції та регулювання напруги без збудження або під навантаженням. Саме магнітна система забезпечує локалізацію магнітного потоку у просторі, що охоплюється обмотками, і перетворення електричної енергії одних параметрів (струмів і напруги) до інших при постійній частоті живлення.

Магнітна система складається із окремих шихтованих пакетів, що вписані у коло круга відповідного діаметру. Пакети набираються із електро- і тепло- ізольованих листів анізотропної електротехнічної сталі таким чином, щоб напрям їх прокатки збігався із напрямом вектора магнітного потоку. У листах і пакетах магнітної системи виділяються електричні втрати, що обумовлені явищами гістерезису і вихрових струмів. Складна конструкція магнітної системи, багатокомпонентність її матеріалів з нелінійними тепловими властивостями, з одного боку, істотно ускладнюють математичну модель теплового стану, проте, з іншого боку, вимоги до інженерних проектних методик потребують її суттєвого спрощення і перетворення до алгебраїчних розрахункових співвідношень. Тому для розрахунку теплового стану магнітної системи трансформатора широко застосовуються, так звані, одночасні теплові моделі, які дозволяють визначати зміни середнього температурного стану.

Окрім значення середньої температури потребують розрахунку значення перевищення температур. Для їх визначення пропонується застосувати перетворення нелінійних диференціальних рівнянь Фур'є у лінійну форму у трансформаціях Ейерса та градаціях Шлака Сар'янта. Це дозволяє застосувати метод конформних перетворень і поєднати ефективну одночасну нестационарну модель теплового стану у вигляді лінеаризованого рівняння Коші відносно середньої температури магнітної системи із одномірною краєвою задачею Фур'є у поперечних перерізах стрижнів відносно температурних перегрівів. Для практичних інженерних потреб із рішення задачі Фур'є має визначитися тільки значення максимального перегріву. Тому для кожної із названих задач можна отримати аналітичні рішення у вигляді алгебраїчних співвідношень у трансформаціях Ейерса та градаціях Шлака Сар'янта.

Верифікація даних розрахунків температурного стану магнітної системи здійснювалася шляхом їх порівнянні з даними моделювання нестационарних просторових температурних полів у структурі засобів спеціального програмного забезпечення Comsol Multiphysics. Відносна похибка розрахунків склала 2,7% для значень середньої температури магнітної системи і 3,2% для максимальних оцінок перевищення локальних температур у магнітній системі.

Таким чином розрахункова модель теплового стану магнітної системи силового трансформатора у трансформаціях Ейерса та градаціях Шлака Сар'янта повністю задовольняє вимоги до проектування по точності, а її числова реалізація не висуває жодних додаткових вимог до обчислювальної техніки.

Крім того отримані алгебраїчні співвідношення можуть бути додані до системи обмежень для задачі умовної оптимізації конструктивних параметрів, що дозволить істотно скоротити розмірність вектора незалежно варійованих конструктивних параметрів для нових типів проєктованих силових трансформаторів.