

УДК 621.313

Петров К.В.¹, Савін Р.В.¹, Подус О.Р.², Дівчук Т.Є.³

¹ студ. гр. Е-219м НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-919м НУ «Запорізька політехніка»

³ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

УДОСКОНАЛЕННЯ КЛАСИЧНОЇ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ FEMM

Однією з основних задач проектування силового трансформатора є вибір конструктивної схеми магнітної системи. При її розрахунку в першу чергу повинні бути передбачені можливості зменшення втрат та струмів неробочого ходу, мінімальні витрати електротехнічної сталі. Для пласкої шихтованої магнітної системи визначають: план шихтування пластин, кількість ступенів в перерізі стрижнів та ярма, розміри пакетів – ширина пластин та товщина пакетів, розташування та розміри охолоджуючих каналів, повні та активні перерізи стрижня та ярма, висота стрижня, відстань між вісями стрижнів. Геометричні розміри магнітної системи обираються у відповідності з попереднім розрахунком, спираючись на оптимальний варіант співвідношення параметрів неробочого ходу та розмірів її конструктивних елементів, та, як наслідок, витрат активних матеріалів, що є актуальним питанням сьогодення.

Класичні методи розрахунку конструкції трансформатора базуються на спрощеннях та припущеннях. Визначення вихідних даних супроводжується розрахунком основних коефіцієнтів за допомогою яких розраховуються величини втрат та струмів неробочого ходу, густина струмів, переріз проводів, геометричні розміри активної частини, маси матеріалів та мінімальна вартість. Розміри цих величин зазвичай суттєво відрізняються від кінцевого результату проектування та їх розрахунок займає багато часу.

Існуюча конкуренція на ринку виготовлення трансформаторів та електропромислових виробів взагалі вимагає модернізації та швидкого реагування на вимоги споживачів електротехнічної продукції. Тому існує необхідність уточнення методів розрахунку та скорочення витрат часу на них.

Класична методика розрахунку трансформатора крім попереднього вибору кількох можливих марок сталей магнітної системи та відповідних їм питомих втрат та намагнічуючих потужностей передбачає розрахунок десятків допоміжних коефіцієнтів, що в результаті зводиться до отримання коефіцієнту β , який відповідає мінімальній вартості активних матеріалів. Потім, опираючись на цей коефіцієнт розраховуються кілька варіантів

можливих конструкційних рішень трансформатора, що значно збільшує витрати часу при розрахунку трансформатора. Але в цій же класичній методиці існує ряд нормалізованих діаметрів стрижня магнітної системи, які напряму залежать від коефіцієнту β при якому загальна вартість активної частини трансформатора не перевищує 1% від мінімальної вартості попередньо розрахованої.

Для обраного, як приклад, трифазного трансформатора типу ТМ-1000/35-У1 значення діаметру стрижня магнітної системи може бути обраним від 0,22 до 0,27 м. Відповідно обраним значенням можливих нормалізованих діаметрів стрижнів трифазного трансформатора типу ТМ-1000/35-У1 робимо розрахунок основних параметрів, яке зводиться до розрахунку геометричних розмірів магнітної системи, та значення електрорушійної сили.

Для оптимального вибору конструкції магнітної системи трансформатора типу ТМ-1000/35-У1 проводимо розрахунок в середовищі програмного засобу FEMM методом скінчених елементів. Реалізація розрахунків проводиться для геометричних розмірів трьох магнітних систем, значення діаметрів яких лежать в межах $1,92 < \beta < 3,96$.

З отриманих картин магнітних полів геометричних моделей активної частини трансформатора з різними діаметрами стрижнів магнітної системи за допомогою ПЗ FEMM отримані значення енергії магнітного поля та індукцій в стрижнях магнітної системи, що дає змогу розрахувати параметри неробочого ходу (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри неробочого ходу трансформатора типу ТМ-1000/35-У1 визначені засобами ПЗ FEMM

Діаметр стрижня, d _c , м	Енергія поля, Дж	Загальний опір, Ом	Індуктивність, Гн	Індуктивний опір в режимі неробочого ходу	Активний опір в режимі неробочого ходу	Втрати неробочого ходу, кВт
0,22	21,9	22047,24	96,55	21782,5	3406,42	2317,86
0,24	23,52	22047,24	103,69	21710,8	3836,94	2610,82
0,27	18,26	22047,24	80,51	21783,2	3398,1	2312,21

З таблиці видно, що втрати неробочого ходу для магнітної системи з діаметром стрижня 0,24 м зменшені в порівнянні з задами при діаметрі стрижня 0,22 м та 0,27 м для обраної марки сталі. При її змінненні можливий перерахунок за існуючими моделями магнітної системи побудованими в ПЗ FEMM. Похибка розрахунку втрат неробочого ходу складає 9,16% для

діаметра стрижня 0,22 м; 9,05% для діаметра стрижня 0,24 м; 9,158% для діаметра стрижня 0,27 м.

Удосконалення існуючого методу дозволило скоротити попередній розрахунок до визначення вартісного коефіцієнту, при визначенні параметрів неробочого ходу не використовувати наступні коефіцієнти: $k_{пр}$ – коефіцієнт, який враховує збільшення втрат при розкрою сталі, $k_{пз}$ – коефіцієнт, який враховує видалення задирок на сталі, $k_{пз}$ – коефіцієнт, який залежить від форми перерізу ярма, $k_{пш}$ – коефіцієнт, який залежить від способу пресування ярма та стрижня, $k_{пу}$ – коефіцієнт, який залежить від марки сталі, форми стиків та індукції, а перейти для дослідження реальних активних частин силового трансформатора.

Використання методу польового моделювання засобами ПЗ FEMM дозволило дослідити режим неробочого ходу та отримати характерні для нього картини поля. Визначення втрат неробочого ходу за результатами моделювання дало можливість обрання дійсної магнітної системи та прискорити розрахунок конструкції силового трансформатора.