Abstract. *Innovative technological approaches to the formation of environmentally friendly and resource-efficient production based on the principles of sustainable development are considered.*

Keywords: *green production, resource efficiency, environmental innovations*.

УДК 621.314.2:621.3.011.3

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОСТОРОВИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ ТРИФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ, РЕАКТОРІВ І ДРОСЕЛІВ

Дмитро АНДРЄЄВ

Здобувач вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: *Обґрунтовано систему критеріїв для порівняльного оцінювання просторових симетричних електромагнітних систем (СЕМС) трифазних трансформаторів, реакторів і дроселів. Запропоновано узгодити напрям нормування часткових показників і визначати комплексний показник якості з урахуванням коефіцієнтів вагомості. Для коректного порівняння різних конструкцій встановлено принцип електромагнітної еквівалентності. На відміну від попереднього варіанта, у роботі не робиться висновок про оптимальність конкретної конструкції, оскільки числове порівняння з базовим аналогом і вагові коефіцієнти потребують окремого розрахункового дослідження.*

Ключові слова: *просторові електромагнітні системи, трифазний трансформатор, реактор, дросель, магнітопровід, критерій якості, матеріаломісткість, втрати, електротехнічна сталь, електромагнітна еквівалентність.*

Сучасне проєктування трифазних статичних індукційних пристроїв потребує порівняння конструктивних рішень не лише за окремими

параметрами, а за сукупністю технічних і економічних характеристик. Для цього розглядаються просторові симетричні електромагнітні системи, у яких магнітний потік у стрижнях може мати радіальний або аксіальний напрям, а магнітопроводи можуть бути шихтованими, шихтовано-пресованими, витими або комбінованими [1].

Метою роботи є обґрунтування узгодженої системи кількісних критеріїв для порівняння варіантів СЕМС за умови однакової електромагнітної функції пристрою. Основний результат полягає у формалізації комплексного показника якості, в якому всі часткові показники мають однаковий напрям покращення - збільшення значення нормованого показника.

Формування системи критеріїв

Для порівняння доцільно використовувати п’ять кількісних показників: ефективність використання геометричного об’єму, питому матеріаломісткість, вартість, сумарні втрати активної частини та рівень відходів електротехнічної сталі. Додатково можуть враховуватися якісні ознаки технологічності: кількість стиків на фазу, кількість складових елементів магнітопроводу, ідентичність елементів, кількість одиниць технологічного оснащення та потреба у складному технологічному обладнанні [1].

Щоб усунути неоднозначність напряму оптимізації, для кожного показника x_i вводиться відносний критерій q_i, причому більший q_i відповідає кращому результату. Для показника, збільшення якого є позитивним (ефективність використання об’єму), приймаємо $q_i = x_i / x_i,б$. Для показників, які потрібно мінімізувати (матеріаломісткість, вартість, сумарні втрати та відходи сталі), приймаємо $q_i = x_i,б / x_i$. Тут $x_i,б$ - значення показника базового аналога.

$$Q = \sum_{i=1}^{5} w_i \cdot q_i \to \max,\ \sum_{i=1}^{5} w_i = 1,\ w_i \geq 0 \qquad (1)$$

де Q - комплексний показник якості; q_i - нормований частковий показник; w_i - його коефіцієнт вагомості. Така форма забезпечує єдиний напрям оптимізації та не потребує обернення всього комплексного показника залежно від того, які саме характеристики належать до витратних критеріїв.

Показник	Тип	Нормування	Напрям
Ефективність використання геометричного об'єму	стимулюючий	$x_i / x_i, б$	max
Питома матеріаломісткість	витратний	$x_i, б / x_i$	min
Вартість	витратний	$x_i, б / x_i$	min
Сумарні втрати активної частини	витратний	$x_i, б / x_i$	min
Відходи електротехнічної сталі	витратний	$x_i, б / x_i$	min

Таким чином, показник відходів сталі трактують безпосередньо як витратний критерій: чим менша частка відходів, тим більше значення q_5. Це усуває суперечність, яка виникає при оберненому нормуванні коефіцієнта, якщо його визначати як відношення маси використаної сталі до маси магнітопроводу.

Порівняння конструкцій має виконуватися за принципом електромагнітної еквівалентності: для базового та досліджуваного варіантів задають однакові номінальну потужність, електромагнітні навантаження, коефіцієнти заповнення та матеріали активної частини. За таких умов відмінності комплексного показника пов'язуються передусім із конструктивними й технологічними особливостями СЕМС.

Геометричні змінні - відношення висоти до ширини обмоткового вікна, відношення діаметрів контурних кіл і центральний кут стрижня - можуть використовуватися як керовані параметри під час параметричної оптимізації. Водночас твердження про унімодальність цільових функцій та їхню незалежність від вихідних параметрів не слід поширювати на всі конструкції без окремої математичної або чисельної перевірки. Тому в межах цієї роботи вони розглядаються лише як параметри подальшого дослідження.

Важливо також розмежувати критерії та результати конкретного порівняння. Сам факт формування системи q_i і Q не дає підстав називати певну конструкцію оптимальною. Для цього необхідні: конкретний базовий аналог,

розрахункові значення п’яти показників, обґрунтовані вагові коефіцієнти w_i та результати обчислення Q для кожного варіанта. У поданій роботі такі числові дані не задані, тому результатом є саме обґрунтування методики порівняння, а не встановлення переможця серед конструкцій.

Запропоновано узгоджену систему з п’яти кількісних критеріїв і комплексного показника якості, для якого напрям покращення всіх нормованих складових є однаковим. Встановлено, що ефективність геометричного використання доцільно нормувати як стимулюючий показник, а матеріаломісткість, вартість, сумарні втрати та відходи сталі - як витратні. Для зіставлення конструкцій необхідно дотримуватися електромагнітної еквівалентності. Це створює формальну основу для подальшого чисельного порівняння просторових ЕМС трифазних трансформаторів, реакторів і дроселів.

Список використаних джерел

1. Technical solutions to reduce losses in magnetic cores and material consumption of three-phase transformer and reactor equipment / A. A. Stavynskyi et al. Electrical Engineering & Electromechanics. 2024. No. 2. P. 3–9. DOI: https://doi.org/10.20998/2074-272x.2024.2.01.

2. Geetha A., Balamurugan K. S., Geetha P., Jemimah Carmicharl M., Usha S. Optimization of Core Loss for Power Transformer Using Taguchi Method. EAI Endorsed Transactions on Energy Web. 2024. Vol. 11. DOI: https://doi.org/10.4108/ew.5051.

3. Fatih Aslan M., Sungur Tezcan S., Kul S. Core loss estimation for three phase transformer based on GPR and FEA. Advances in Machinery. 2024. P. 536–546.

Науковий керівник:

Ставинський А.А.

доктор технічних наук, професор

Миколаївський національний аграрний університет