

УДК 519.2

Килимник І.М.¹, Яримбаш Д.С.²

¹ канд. тех. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² д-р тех. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СТАТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ДЖИЛСА АТТЕРТОНА

В електротехніці широке застосування знайшли феромагнітні матеріали, які використовуються в активних елементах конструкції електромеханічного обладнання. Математичний опис магнітних властивостей феромагнітних матеріалів, насамперед, різних марок електротехнічних сталей відіграє важливу роль у сучасних програмних засобах автоматизованого проектування та комп'ютерного польового моделювання. Він має забезпечувати необхідну точність проектних розрахунків паспортних параметрів намагнічування. Тому підвищення точності математичного опису гістерезисних властивостей різних типів електротехнічних сталей можна визнати актуальною задачею у науковому і практичному плані.

У сучасних програмних засобах польового моделювання, наприклад, Comsol Multiphysics [1] для опису гістерезисних властивостей феромагнітних матеріалів широко застосовується модель Джилса Аттертона [2]. Вона утворюється системою нелінійних алгебраїчних рівнянь і звичайного нелінійного диференційного рівняння відносно індукції та напруженості магнітного поля, повної намагніченості M та її похідної M' . До моделі Джилса Аттертона [2] також входить вектор коефіцієнтів $C = (c_1, \dots, c_4)$, чотири компоненти якого визначаються із розв'язку системи додаткових нелінійних рівнянь із вектором параметрів Π . Проекції вектору Π розраховують у трьох характерних точках експериментальної характеристики намагнічування, де індукції та напруженості магнітного набувають нульових значень, та для насиченого стану феромагнітного матеріалу.

У роботах [2,3] запропоновано метод простих ітерації для розв'язання додаткової системи рівнянь моделі Джилса Аттертона відносно проекцій вектору коефіцієнтів C . Тому систему додаткових рівнянь приводять до рів-

носивного виду, що потребує розкладання неявних функцій у степеневі ряди. Похибки у розрахунках рядів на кожній ітерації можуть унеможливити визначення шуканого вектору коефіцієнтів. Крім того для початкового визначення C_0 детермінант матриці Якобі може наближатися до нуля, що виключає можливість знаходження відповідного рішення додаткової системи рівнянь. Це потребує розробки узагальнених підходів для розрахунку коефіцієнтів моделі Джилса-Атертона [3] на основі методів статичної оптимізації.

Мета роботи полягає в удосконаленні методів визначення коефіцієнтів моделі Джилса-Атертона на основі базових підходів статичної оптимізації.

Для розрахунку невідомих коефіцієнтів (c_1, \dots, c_4) формується функція цілі, як сума квадратів нев'язок нелінійних рівнянь додаткової системи [1,2], та формулюється задача її мінімізації.

Визначають вектор початкового наближення параметрів оптимізації $C_0 = (c_1, \dots, c_4)$ і вектор інтервалів змін даних параметрів $\Delta C = (\Delta c_1, \dots, \Delta c_4)$, який має задовольняти умовам точності $\delta = \delta_{\min} = [1/(2N)]\{(\Delta c_1/c_{1,0}), \dots, (\Delta c_4/c_{4,0})\}$, де $(2N+1)$ – кількість вузлів, у яких розраховується функції цілі.

Для реалізації задачі оптимізації було застосовано метод упорядкованого перебору, який не має чутливості до початкового наближення. Початкові наближення та інтервали зміни параметрів оптимізації було обрано таким чином, щоб на їх границях значення нев'язок кожного з чотирьох рівнянь змінювали свій знак на протилежний. Для зменшення часу обчислень початкові розрахунки здійснювали для меншої кількості вузлів і визначали нове початкове наближення та нові інтервали зміни параметрів з меншою у декілька разів відносною похибкою розрахунків δ .

Порівняння часу обчислень для однакової точності визначення коефіцієнтів моделі Джилса-Атертона методами простої ітерації та упорядкованого перебору доводить, що метод упорядкованого перебору забезпечує скорочення часу розрахунків майже у півтора рази. Крім того метод упорядкованого перебору є менш чутливим до точності експериментальними даних, які визнаються із похибками, що обумовлені класом точності приладів і схемами вимірювання.

Дослідження гістерезисних властивостей намагнічування феромагнітних матеріалів мають подальші перспективи розвитку у напрямку поєднання методів цифрової фільтрації змінних у часі даних вимірювання із методами динамічної оптимізації для визначення параметрів моделі Джилса-Атертона.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Modeling Hysteresis Effects. – 13 p. – Режим доступу: <https://www.comsol.ru/forum/thread/attachment/64177/hysteresisloss-comsol3.5a-10327.pdf>.

2. Bastos J. P. A. Electromagnetic Modeling by Finite Element Methods [Text] / J. P. A. Bastos, N. Sadowski. – Boca Raton: CRC Press, 2003. – 510 p.
3. Iványi A. Hysteresis Models in Electromagnetic Computation / A. Iványi. – Akademia Kiadó, Budapest, 1997. – 229 p.