

Методика корегування та уточнення вихідних даних електромагнітного гістерезису за допомогою вейвлет – аналізу

В.В. Кирик¹, М.М. Лутчин²

Анотація - Досліджено особливості роботи з кривими намагнічування процесу гістерезису для різноманітних марок електротехнічної сталі та діаметрів осердь. Запропоновано універсальну модель виявлення відхилень значень кривої намагнічування отриманих дослідним шляхом та методика уточнення достовірного значення

Ключові слова - Крива намагнічування, Гістерезис, Вейвлет– перетворення

I. ВСТУП

Крива намагнічування магнітопроводу – одна з найважливіших характеристик для розрахунку та аналізу будь-яких усталених та перехідних режимів роботи електромагнітних пристроїв. Відповідно, від точності відтворення даної характеристики напряму залежить кінцевий результат інженерного розрахунку. Відомо, що форма кривої намагнічування визначається конструкцією магнітопроводу, хімічним складом матеріалу електротехнічної сталі й товщиною листа, особливостями технологій виготовлення, наявністю дефектів у дослідному зразку, умов використання [1].

На сьогоднішній день технічні конструктивні можливості підвищення точності найбільш масового в електроенергетиці класу вимірювальної перетворювальної техніки – високовольних трансформаторів струму виконати досить складно [2]. При цьому розроблена велика кількість математичних моделей, що достатньо адекватно описують електромагнітні процеси.

На точність визначення залежності значень магнітної індукції від напруженості електромагнітного поля в трансформаторах струму впливає наявність як апаратної, так і методичної похибки. Джерелами апаратної похибки можуть бути: неточність обладнання, швидкодія фіксації значень, невідповідність типу і параметрів схеми дослідження, недостатність повторюваності експерименту. Методологічні похибки виникають під час обробки результатів вимірювань – вирівнювання статистичних даних, згладжування гістограм, створення адекватної математичної моделі.

У даній статті здійснюється спроба вирішити задачу по мінімізації впливу методологічної та апаратної похибок на розрахунки електромагнітних перехідних процесів, шляхом розробки нової методики автоматичного виявлення випадкових величин відхилення від кривої намагнічування та подальше їх корегування у заданому діапазоні.

При задані кривої намагнічування використовувались прямокутні спрямлені характеристики. Більш точними будуть відображення кривих намагнічування шляхом апроксимації, зокрема, використовуючи математику гіперболічних синусів [3] чи теорію сплайнів [4]. Слід виділити ряд суттєвих недоліків існуючих моделей, а саме: точність апроксимації у значній мірі залежить як від кроку розбивання функції, так і від способу задавання апроксимуючих функцій кожної з ділянок; при машинній обробці даних на ділянках перегинання функції можливі розбіжності, які вносять свою похибку. Крім того, жоден зі вказаних методів не володіє внутрішнім механізмом перевірки даних та їх корекції.

II. АЛГОРИТМ ДОСЛІДЖЕННЯ

Застосовуємо апарат вейвлет – перетворення [5, 6] для кривих намагнічування магнітопроводів різних діаметрів, виконаних з електротехнічної сталі Э330А (товщина листа 0,35 мм). В результаті чого, отримуємо вибірку вейвлет - коефіцієнтів, які піддаються опису методами існуючої математичної статистики. Розглянемо можливості корегування значень початкових вибірок кривих намагнічування на прикладі реальних паспортних даних трансформатора струму (Таб. 1).

Таблиця 1

Первинні дані $H = f(B)$ кривих намагнічувань

В, Тл	Первинні дані H, А/см			
	Ø450/330	Ø590/430	Ø864/720	Ø910/790
0,002	0,0068	0,0044	0,0062	0,0068
0,004	0,0099	0,0061	0,009	0,00975
0,006	0,0122	0,0077	0,0114	0,0114
0,008	0,0143	0,0095	0,0133	0,0133
0,01	0,016	0,0105	0,0152	0,015
0,012	0,0178	0,0117	0,0169	0,0167
0,014	0,0191	0,0129	0,0182	0,018
0,016	0,0212	0,0142	0,0195	0,0192
0,018	0,022	0,0152	0,0275	0,0205
0,02	0,0232	0,0165	0,0219	0,0218
0,022	0,0245	0,0174	0,0229	0,0228
0,024	0,0255	0,0185	0,02395	0,0239
0,026	0,0267	0,0195	0,0251	0,0248
0,028	0,0278	0,0204	0,02615	0,0258
0,03	0,029	0,0212	0,0272	0,0268
0,032	0,0297	0,0221	0,0283	0,0275

¹ Академія муніципального управління м. Київ

² Національний технічний університет України «КПІ»

На першому етапі розрахунку здійснюємо приведення значень початкових величин H до шкали B :

$$H' = \frac{H = f(B)}{B_i}, \quad (1)$$

де B_i – поточне значення магнітної індукції.

Далі застосуємо метод вейвлет – перетворення (кратномасштабний аналіз) до вибірки, сформованої зі значень напруженості магнітного поля H (Таб. 1). Отримаємо 16 значень вейвлет - коефіцієнтів k .

Згідно алгоритму дослідження визначаємо параметри рівнянь гіпербол коефіцієнтів вейвлет - перетворень для досліджуваних кривих, виходячи з загального математичного виду:

$$y_i = \frac{a}{x_i} + b, \quad (2)$$

де $x_i \in [2; 16]$ – порядковий номер вейвлет – коефіцієнтів;

y_i – значення відновленого вейвлет - коефіцієнта k_i .

Зазначимо, що перше розрахункове значення k_1 різко відрізняється від загальної вибірки – резервуємо його окремо.

Далі підставивши у рівняння гіперболи (2) значення та сформувавши нову вибірку з вейвлет – коефіцієнтів, відновимо приведені значення. Для розглянутих вибірок граничні межі відхилень наступні (Таб. 2).

ТАБЛИЦЯ 2
МАКСИМАЛЬНІ ТА МІНІМАЛЬНІ ВІДХИЛЕННЯ ВІДТВОРЕНИХ
ЗНАЧЕНЬ

%	Ø450/330	Ø590/430	Ø864/720	Ø910/790
max	2,51	2,72	23,81	3,52
min	-4,13	-2,93	-7,65	-4,33

Оскільки у 5 % діапазон не входить крива, яка відповідає магнітопроводу діаметром Ø864/720, тому розглянемо точку максимального відхилення зі значенням 23,8 %. Проаналізувавши початковий ряд маємо: значення напруженості електромагнітного поля 0,0275 А/см при магнітній індукції 0,018 Тл «випадає» з послідовності ряду за рахунок досить значного приросту відносно наведеної послідовності. Відхилення від ряду проявляються у вигляді різких піків або провалів функції, що наочно графічно відображено на Рис. 3.

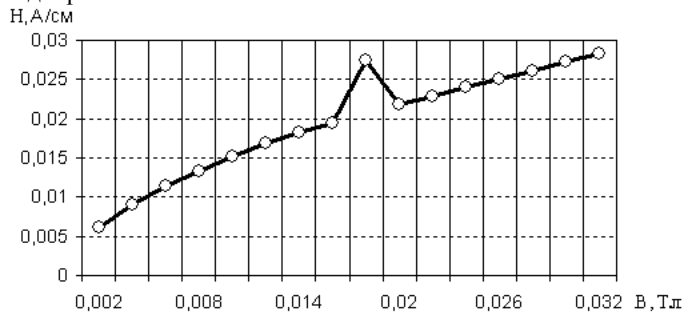


Рис. 3. Значення кривої намагнічування магнітопроводу діаметром Ø864/720

Логічно слідує, що коректне значення напруженості електромагнітного поля становить 0,02075 А/см (також можливо скористатись середньоквадратичним значенням, чи будь яким іншим існуючим методом корекції [7]).

У результаті введеної нами поправки відхилення від початкових значень не перевищують граничне значення ± 5 %.

Аналогічну корекцію було проведено для інших електротехнічних марок сталі, зокрема М6Х.

III. ВИСНОВОК

Використання апарату вейвлет - перетворення характеризується високою універсальністю та достатньою простотою. Дані переваги дозволяють не тільки з достатньою точністю описувати функції та відтворювати значення кривої намагнічування на всіх її ділянках, але і в автоматичному режимі виявляти відхилення та корегувати значення у відповідності до поставлених задач.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] В.Н. Власов, “Исследование влияние технологии изготовления трансформаторов тока на характеристики намагничивания магнитопроводов”, *Техн. Электродинамика*, 1982, №5, С. 90 – 94.
- [2] Б.С. Стогний, Н.А. Селехман, Е.Н. Танкевич, “Цифровое восстановление выходного сигнала высоковольтных измерительных преобразователей тока”, *Техническая электродинамика*, 1993, №5, С. 64 –67. – ISSN 0204-3599.
- [3] С.Е. Соколов “Аппроксимация кривых намагничивания ферромагнитных устройств”, *Электричество*, 1991, № 9, С. 84 – 86.
- [4] С.Е. Зирка, Ю.И. Мороз, Е.Ю. Мороз, “Инверсная модель магнитного гистерезиса”, *Техническая электродинамика*, 2010, № 4, С. 3 – 7.
- [5] И. Добеши, “Десять лекций по вейвлетам”, *Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”*, 2001, 464 с.
- [6] А.О. Попов, “Вейвлет – анализ дискретных сигналов для довольных масштабов” *Наукові вісті НТУУ “КПІ”*, 2010, № 2, С. 16 – 23.
- [7] И.М. Штерн, “Коррекция переменных выходных сигналов средств измерения с целью удовлетворения требуемой точности”, *Метрол. и стандартиз. в науч.- техн. революции: 8 Всес. науч. – техн. конф. молодых ученых и специалистов организаций и предприятий системы Госстандарта СССР*, 25 – 27 окт., 1989: Тезисы доклада, Новосибирск, 1989, С. 281-282.