

## ЛИТЕРАТУРА

1. L i l i e n, J. L. Comparison between experimental and numerical results on flexible conductors / J. L. Lilien. – Paris, 1980. – 10 p. (Preprint / CIGRE, 23-80 (WG-02) 18 – IWD.)
2. К о р о т к и е замыкания в электроустановках: методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания: ГОСТ 30323–95. – Введ. 01.03.1999. – Минск, 1999. – 57 с.
3. T h e m e c h a n i c a l effects of short-circuit currents open-air substations (rigid or flexible bus-bars). Brochure from CIGRE. SC 23. – Paris, 1996.
4. С е р г е й, И. И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент / И. И. Сергей, М. И. Стрелюк. – Минск: ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 252 с.
5. С е р г е й, И. И. Оценка сближения проводов распределительных устройств электростанций по допустимому импульсу электродинамических усилий / И. И. Сергей, Е. Г. Пономаренко, Ваиль Махмуд Саммур // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2004. – № 4. – С. 5–9.
6. С е р г е й, И. И. Обобщение численных решений уравнений движения проводов при коротком замыкании с помощью критериев подобия / И. И. Сергей, Е. Г. Пономаренко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 2. – С. 13–19.
7. С е р г е й, И. И. Упрощенный расчет максимальных тяжений проводов на двух стадиях их движения при коротком замыкании / И. И. Сергей, А. П. Андрукевич, Е. Г. Пономаренко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 6. – С. 12–16.

Представлена кафедрой  
электрических станций

Поступила 8.08.2007

УДК 537.624

### **ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТЕЛ ОТ СООТНОШЕНИЯ ЧАСТОТ И ВРЕМЕНИ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ**

**Канд. техн. наук, доц. МОРОЗ Р. Р.**

*Белорусский национальный технический университет*

Ферромагнитное тело можно характеризовать откликом на воздействие внешнего магнитного поля. Результатом отклика будет изменение магнитного состояния (намагниченности ферромагнитного тела). Намагниченность ферромагнитного тела определяется его магнитной структурой, под которой понимают форму областей самопроизвольной намагниченности (доменов), их размеры и ориентацию. При воздействии на ферромагнитное тело магнитным полем изменяется состояние доменов: границы доменов смещаются, их размеры увеличиваются или уменьшаются, а направление намагниченности доменов изменяется. После удаления внешнего поля гра-

ницы доменов в исходное состояние не возвращаются, тело намагничивается или размагничивается.

Процесс перемагничивания ферромагнитного тела при воздействии на него магнитным полем происходит путем перемещения плоской электромагнитной волны от поверхности в глубь размагничиваемого образца. Следовательно, изменение доменной структуры происходит по всему сечению ферромагнитного тела.

В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных исследований по определению уровня остаточной намагниченности от частоты и скорости спадающего размагничивающего электромагнитного поля (динамический метод размагничивания). Исследования проводились на образцах из стали СТ-45 с размерами: 1 –  $15 \times 15 \times 100$  мм<sup>3</sup>; 2 –  $15 \times 13 \times 100$ ; 3 –  $15 \times 11 \times 100$ ; 4 –  $15 \times 9 \times 100$ ; 5 –  $15 \times 7 \times 100$ ; 6 –  $15 \times 5 \times 100$ ; 7 –  $15 \times 2 \times 100$  мм<sup>3</sup>.

Образцы помещались в постоянное магнитное поле и намагничивались до состояния технического насыщения. Затем образцы помещались в соленоид и размагничивались при различных частотах и времени размагничивания (интенсивности спадающего поля). Об остаточной намагниченности образцов судили по показаниям феррозондового полюсоискателя ФП-1М. В качестве иллюстраций полученных экспериментальных данных на рис. 1 представлены графики зависимостей значений остаточной намагниченности образца ( $15 \times 15 \times 100$  мм<sup>3</sup>) от частоты и времени размагничивания.

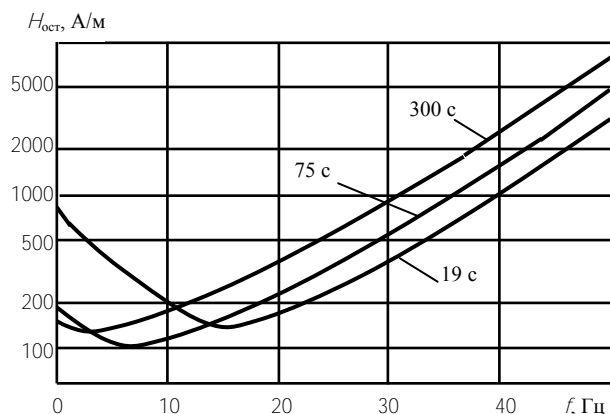


Рис. 1. Зависимость значений остаточной намагниченности ферромагнитного образца от частоты и времени размагничивания

Анализ полученных данных показывает, что значения остаточной намагниченности ферромагнитного тела зависит как от частоты, так и от времени размагничивания. Причем выбранной частоте размагничивающего поля соответствует свое определенное время размагничивания, обеспечивающее минимум остаточной намагниченности.

Объяснение такой зависимости может быть дано следующее. На изменение доменной структуры (намагниченности) ферромагнитного тела требуется энергия, которая передается размагничиваемому телу электромагнитным полем (импульсами магнитного поля). Притом при положительном импульсе (на рис. 2, площадка  $A$ ) телу передается энергия, пропорциональная площадке  $A$ , а при отрицательном импульсе – энергия, пропорциональ-

ная площадке  $B$ . Так как амплитуда импульса  $B$  меньше амплитуды импульса  $A$ , то и площадь  $B$  меньше площади  $A$ . А эти площади пропорциональны энергии, передаваемой соленоидом ферромагнитному телу. Значит, часть энергии импульса  $A$  преобразовалась в ферромагнитном теле (изменение границ доменов, изменение направления векторов намагниченности доменов и т. д.), т. е. значение намагниченности ферромагнитного тела изменилось.

При оптимальной частоте и времени размагничивания отношение интенсивности спадания поля (отношение разности между площадками  $A$  и  $B$ ) к частоте постоянно, и при этом отношении ферромагнитное тело разбивается на домены таких размеров, что остаточная намагниченность будет минимальной. Например, на рис. 1 показаны значения зависимостей  $H_{ост}$  от частоты и времени размагничивания. Определим отношение интенсивности спадания поля к частоте для частот 3,125; 6,25 и 12,5 Гц и данные вычислений сведем в табл. 1.

Напряженность магнитного поля в центре соленоида равна 60000 А/м. При частоте размагничивающего поля 3,125 Гц за время 300 с на тело действует  $N = 3,125 \text{ Гц} \cdot 300 \text{ с} \cdot 2 = 1875$  импульсов разной полярности. Значения напряженности каждого последующего импульса меньше предыдущего на  $\Delta H = 60000 : 1875 = 32 \text{ А/м}$  (рис. 2). Отношение же  $\Delta H$  к частоте составляет  $K = \Delta H / f = 32 : 3,125 = 10,24 \text{ А/м/Гц}$ .

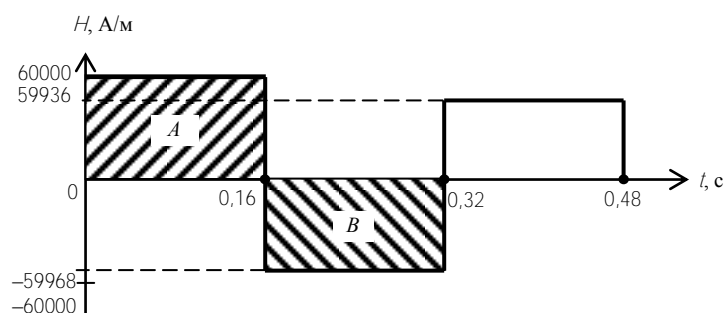


Рис. 2. Зависимость интенсивности спадания размагничивающего поля от времени

Аналогичные расчеты, проведенные при других частотах и времени размагничивания, показывают, что отношение скорости спадания поля к частоте поля, при которых  $H_{ост}$  минимальна, для одного и того же образца постоянна ( $K = 10,24 \text{ А/м/Гц}$ ) (табл. 1). Значит, ферромагнитное тело будет размагничиваться при разных частотах и времени размагничивания, но только при одной частоте и времени размагничивания обеспечивается наилучшее размагничивание,  $H_{ост}$  имеет минимальное значение.

Это можно объяснить следующим образом. Известно, что доменная структура может быть равновесной или неравновесной [1]. Если доменная структура равновесная (размеры доменов соответствуют минимуму внутренней энергии тела и сумма направлений векторов намагниченности равна нулю), то значение намагниченности будет наименьшим. Но для каждого ферромагнитного образца доменная структура, соответствующая

наименьшей намагниченности, различна. Она определяется габаритами и внутренними свойствами материала образца.

Таблица 1

**Результаты определения зависимости отношений интенсивности спада поля к частоте**

Частота размагничивающего поля $f$ , Гц	Число импульсов размагничивающего поля $N$	Разность значений последующих и предыдущих импульсов $\Delta H$ , А/м	Отношение $\Delta H$ к частоте $f$ ( $\Delta H/f$ ), А/м/Гц
3,125	1875	32	10,24
6,25	937	64	10,24
12,5	468	128	10,25

Так как доменная структура ферромагнитного образца зависит от параметров размагничивающего поля [2], для каждого образца есть определенные частота и время размагничивания, при которых тело разбивается на домены, размеры которых соответствуют равновесной доменной структуре. Этим обеспечивается наилучшее размагничивание. А значения параметров размагничивающего поля определяются габаритами и внутренними свойствами ферромагнитных тел.

#### ВЫВОД

Если доменная структура ферромагнитного тела равновесная, то значение намагниченности тела будет наименьшим. Так как при воздействии на ферромагнитное тело затухающим электромагнитным полем оно разбивается на домены, размеры которых зависят от параметров поля, то, меняя параметры поля, можно добиться, чтобы доменная структура образца была равновесной, т. е. добиться наименьшей намагниченности тела.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Френкель, Я. И. Введение в теорию металлов / Я. И. Френкель. – Л.: Наука, 1972. – С. 424.
2. Ранжуров, Н. В. К вопросу о размагничивании ферромагнитных тел / Н. В. Ранжуров, М. К. Савченко, В. С. Черкашин // Физика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1972. – № 9. – С. 119–122.

Представлена кафедрой  
электротехники и электроники

Поступила 6.06.2007