

Б. Ф. ЦОМАКИОН и В. Ф. ИВЛЕВ

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ НЕОБРАТИМЫХ СКАЧКОВ ПЕРЕМАГНИЧЕНИЯ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 20 XI 1950)

Известно, что явление намагничивания ферромагнетика в области процесса инверсии происходит скачкообразно, т. е. при небольшом увеличении напряженности внешнего поля намагниченность образца изменяется на весьма заметную величину (¹⁻³). Измеряя величину изменения намагниченности образца при одиночном скачке, можно оценить порядок величины объема перемагничивающейся области (домена).

Изучению процесса скачкообразного намагничивания и определению величины объема доменов посвящен ряд исследований, в которых используются самые разнообразные методы (⁴⁻⁸). В данной работе излагается метод экспериментального определения средней величины объемов доменов ферромагнетиков.

Отличительной чертой данного метода от методов, применявшихся ранее (⁴⁻⁸), является то, что он дает возможность определять скачки перемагничивания в довольно узком интервале объемов доменов, отличающихся друг от друга не более, чем на $0,5 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3$, кроме того, данный метод позволяет производить фотозапись числа скачков перемагничивания в заданных пределах объемов доменов.

Объем перемагничивающейся области может быть вычислен из выражения:

$$v = \frac{V \cdot 10^8}{8\pi I_s q n} \int_0^{\tau} E dt, \quad (1)$$

где v — объем домена; V — объем образца; q — поперечное сечение образца; $8\pi I_s q$ — изменение магнитного потока, вызванное перемагничиванием всего образца; n — число витков искательной катушки;

$\frac{10^8}{n} \int_0^{\tau} E dt = p\Phi$ — изменение магнитного потока при одиночном скачке;

E — мгновенная эдс в вольтах, развиваемая на концах искательной катушки одиночным скачком; τ — длительность одиночного скачка в секундах.

Для определения объема домена по уравнению (1) значение $\int E dt$ определялось путем сравнения с искусственными импульсами, как по величине (амплитуде), так и по времени их длительности равными импульсам, получаемым от скачков перемагничивания. Для определения средней длительности скачков перемагничивания импульсы напря-

жения, возникающие на концах искательной катушки от скачков, через усилитель подавались на катодный осциллограф и наблюдались визуальным способом. При скорости изменения намагничивающего $\approx 0,01$ эрст./сек. конфигурация и длительность скачков наблюдались очень четко. Зная скорость горизонтальной развертки осциллографа, можно было легко определить среднюю длительность одного скачка.

Средняя длительность скачка, определенная данным способом, для никеля оказалась равной $\approx 2 \cdot 10^{-4}$ сек.

Искусственные импульсы создавались установкой, изображенной на рис. 1. Принцип работы установки заключается в следующем.

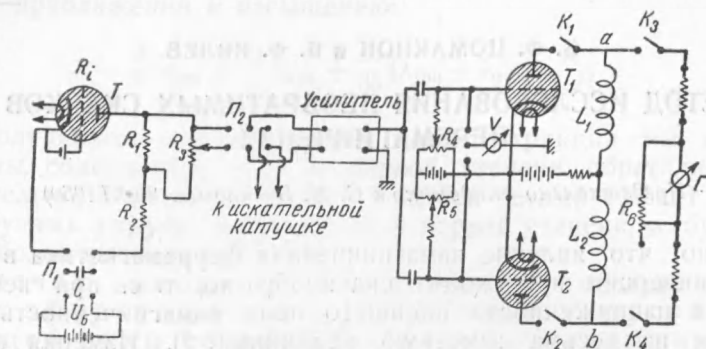


Рис. 1. Принципиальная схема установки. T — тиристор для создания одиночных импульсов; R_i — внутреннее сопротивление тиристора T ; V — ламповый вольтметр; T_1, T_2 — тиристоры; L_1, L_2 — катушки ондулятора; Γ — зеркальный гальванометр; R_B — шунт гальванометра

Конденсатор C , заряженный до напряжения U_0 , разряжался через тиристор T , при этом на сопротивление r (часть сопротивления R_3) возникал импульс напряжения, равный:

$$U = U_0 e^{-t/RC}, \quad (2)$$

где

$$U_0 = \frac{U_E R_1}{R R_3} r, \quad (3)$$

$$R = R_i + R_1 + R_2.$$

Длительность импульса, определяемая из уравнения

$$\tau = RC \ln \frac{U_E}{U_\Gamma} \quad (4)$$

(U_Γ — потенциал гашения тиристора), путем изменения емкости C подбиралась равной средней длительности скачка перемагничивания.

Импульс напряжения с сопротивления r через усилитель подавался на сетку тиристора T_1 ; тиристор T_2 и зеркальный гальванометр Γ , назначение которого описывается ниже, при этом отключались.

В анодной цепи тиристора T_1 включался телеграфный ондулятор (счетчик импульсов), записывающий скачки на телеграфную ленту.

Тиристор T_1 при данном напряжении U_0 на его сетке зажигался лишь в том случае, если напряжение U_0 после усиления превышало потенциал зажигания тиристора. При этом чем больше U_0 , тем больше

нужно U_0 , чтобы тиратрон T_1 зажегся. Таким образом, в смысле условий зажигания тиратрона T_1 U_0 будет функцией v_{g1} ,

$$U_0 = f(v_{g1}). \quad (5)$$

Если теперь на вход усилителя подключить исключительную катушку, внутри которой помещен испытуемый образец и вставленную внутрь намагничивающей катушки, то очевидно, что тиратрон T_1 зажжется лишь в том случае, когда наибольшее значение E_0 , развиваемое на концах искательной катушки отдельным скачком перемагничивания, будет равно U_0 , полученному от искусственного импульса:

$$E_0 = U_0.$$

т. е. значение E_0 при заданном U_0 можно определить из уравнения (5).

Наблюдения показали, что между импульсами, получаемыми от скачков перемагничивания, и искусственными импульсами при визуальном наблюдении на катодном осциллографе не наблюдается почти никакого различия.

На основании этого можно полагать, что эдс, развиваемая отдельным скачком перемагничивания, изменяется по тому же закону, что эдс от искусственного импульса, а именно:

$$E = U = U_0 e^{-t/RC}. \quad (6)$$

Комбинируя уравнения (1), (5), (6), получаем:

$$v = \frac{V \cdot 10^8}{8\pi I_s q n} U_0(v_{g1}) \int_0^{\tau} e^{-t/RC} dt.$$

После интегрирования и подстановки τ из (4) получаем:

$$v = \frac{A}{I_s} U_0(v_{g1}), \quad (7)$$

где

$$A = \frac{V \cdot 10^8}{8\pi q n} RC \left(1 - e^{-\ln \frac{U_E}{U_I}} \right). \quad (8)$$

Уравнение (7) позволяет определить минимальную величину объема домена, фиксируемую установкой при данном v_{g1} , счетчик же импульсов, включенный в анодную цепь тиратрона T_1 , при данном v_{g1} подсчитывает скачки доменов, начиная с величины, определяемой из уравнения (7), и выше. Следовательно, мы не можем сказать, какое число скачков доменов, подсчитанных при данном v_{g1} , имеют ту или иную величину.

Для разделения скачков доменов по их величинам использовалась та же установка (рис. 1), но теперь тиратроны T_1 и T_2 , имеющие совершенно одинаковые параметры, включались одновременно. При этом зеркальный гальванометр отключался, а ондулятор приключался. На сетку тиратрона T_1 подавалось отрицательное напряжение v_{g1} меньше, чем напряжение v_{g2} , подаваемое на сетку тиратрона T_2 . Если напряжение импульса, поступающего одновременно на оба тиратрона, превосходило потенциал зажигания второго тиратрона, а следовательно, больше первого, то зажигались оба тиратрона, но ондулятор при этом не срабатывал, так как токи от двух тиратронов протекали

по индикаторной катушке ондулятора в противоположных направлениях.

Если же на сетку тиратронов поступал импульс меньше потенциала зажигания второго тиратрона, но больше первого, то зажигался только первый тиратрон, ондулятор срабатывал, и на телеграфной ленте получалась одна вертикальная черточка, соответствующая одному импульсу. Величину объема домена в этом случае можно вычислить из уравнения:

$$v = \frac{A}{I_s} U_0 (v_{g_1} v_{g_2}),$$

где U_0 — амплитуда искусственного импульса, необходимого для срабатывания ондулятора при данных v_{g_1} и v_{g_2} .

Таким образом, устанавливая различные напряжения v_{g_1} и v_{g_2} , можно установить, какое число скачков доменов из общего числа соответствует объему доменов в заданных пределах их размеров.

Для фотозаписи числа скачков перемагничивания к точкам a, b (рис. 1) подключался зеркальный гальванометр, показания которого записывались на фотобумагу, помещенную на вращающемся барабане.

Вследствие выделения скачков одинаковой величины отклонения гальванометра бу-

дут пропорциональны dn/dt , где n — число импульсов (скачков), или, вследствие равномерного нарастания поля, будут пропорциональны dn/dH . Это соотношение остается справедливым и в том случае, если подсчитывать число скачков без подразделения по их величинам (включен один тиратрон T_1), так как в результате прохождения через тиратрон все они преобразуются в импульсы одинаковой величины. Таким образом, площадь магнитограмм будет пропорциональна числу скачков, получающихся за время полного перемагничивания образца.

В качестве примера на рис. 2 приведена магнитограмма скачков перемагничивания для никеля, снятая при комнатной температуре, на оси абсцисс отложена напряженность поля, а на оси ординат — показания гальванометра. Средний объем домена никеля, определенный данным методом, оказался равным $v = 1,37 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3$.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить благодарность Л. В. Киренскому за ряд ценных советов по данной работе.

Педагогический институт
г. Красноярск

Поступило
4 X 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. С. Акулов, Ферромагнетизм, 1939. ² С. В. Вонсовский и Я. С. Шур, Ферромагнетизм, 1948. ³ F. E. Haworth, Bell. Labor. Record, 9, 167 (1930). ⁴ В. К. Аркадьев, Электричество, 8, 255 (1927). ⁵ E. R. T. Tyndall, Phys. Rev., 24, 439 (1924). ⁶ R. M. Bozorth, ibid., 34, 772 (1929). ⁷ R. M. Bozorth and J. F. Dillinger, ibid., 41, 345 (1932). ⁸ H. D. Bush and R. S. Tebble, Proc. Phys. Soc., 60, 370 (1948).