



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4440/2-81

31/8-81

9-81-337

+

Ю.А.Метелкин, В.А.Саввин

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРМАЛЛОЯ,
ПРИМЕНЯЕМОГО В СЕРДЕЧНИКАХ ЛИУ

1981

Известно^{1,2/}, что процесс перемагничивания ферромагнетика с прямоугольной петлей гистерезиса описывается уравнением

$$\frac{dB}{dt} = R(1 - B^2/B_s^2)(H_d + \nu H_d^2), \quad /1/$$

где R, ν - динамические параметры ферромагнетика, имеющие размерности Ом/м и м/А, B, B_s - индукция и индукция насыщения, H_d - действующее значение магнитного поля.

Определение динамических параметров для непроводящих ферромагнетиков затруднений не вызывает и описано в работе^{1/}. Суть метода заключается в экспериментальном определении значений максимума скорости перемагничивания при воздействии прямоугольных импульсов внешнего магнитного поля. Из графика получаемой зависимости

$$\frac{dB/dt_{\max}}{H_d} = f(H_d), \quad \text{где } H_d = H - H_{\text{ст}}(B),$$

определяются значения R и $\nu/H_{\text{ст}}(B)$ описывает статическую петлю гистерезиса/.

В случае проводящих ферромагнетиков этот способ, как он описан, неприменим из-за неоднородности величин, входящих в /1/, обусловленной вихревыми токами.

Для определения динамических характеристик проводящего ферромагнетика воспользуемся результатами работы^{3/}, в которой индукция и действующее магнитное поле H_d представлены в виде степенных рядов

$$B(x, t) = B_0(t) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k(t) x^{2k}, \quad /2/$$

$$H_d(x, t) = H_{d0}(t) + \sum_{k=1}^{\infty} \tilde{h}_k(t) x^{2k}, \quad /3/$$

где $B_0(t)$ и $H_{d0}(t)$ - значения индукции и действующего магнитного поля в плоскости симметрии ферромагнитной ленты.

В^{3/} также получены дифференциальные уравнения для определения членов рядов /2/ и /3/.

Согласно /1/, /2/ и /3/, максимальное значение средней по сечению ленты скорости перемагничивания будет

$$\frac{dB}{dt_{\max}} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} R \left[1 - \frac{(B_0 + \sum b_k x^{2k})^2}{B_s^2} \right] [H_{d0} + \sum \tilde{h}_k x^{2k} + \nu (H_{d0} + \sum \tilde{h}_k x^{2k})^2] dx \quad /4/$$

$$\text{или } \frac{d\bar{B}}{dt_{\max}} = R(P + \nu Q), \quad /4'/$$

$$\text{где } P = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} \left[1 - \frac{(B_0 + \sum b_k x^{2k})^2}{B_s^2} \right] [H_{до} + \sum \tilde{h}_k x^{2k}] dx, \quad /5/$$

$$Q = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} \left[1 - \frac{(B_0 + \sum b_k x^{2k})^2}{B_s^2} \right] [H_{до} + \sum \tilde{h}_k x^{2k}]^2 dx. \quad /6/$$

Здесь δ - полутолщина ленты, а величины B_0 , $H_{до}$, b_k , \tilde{h}_k берутся в момент времени, соответствующий максимуму dB/dt .

Таким образом, используя /5/ и /6/, можно рассчитать последовательность величин P_i, Q_i ($i=1, 2, \dots, N$) для экспериментальных значений перепадов внешнего магнитного поля H_i ($i=1, \dots, N$). Обозначим экспериментальные значения средней скорости перемагничивания f_i . Применяя далее метод наименьших квадратов для определения величин R и ν , получим

$$R = \frac{1}{\det |M|} \begin{vmatrix} \sum_i f_i Q_i & \sum_i Q_i^2 \\ \sum_i f_i P_i & \sum_i P_i Q_i \end{vmatrix}, \quad /7/$$

$$\nu = \frac{\begin{vmatrix} \sum_i P_i Q_i & \sum_i f_i Q_i \\ \sum_i P_i^2 & \sum_i f_i P_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum_i f_i Q_i & \sum_i Q_i^2 \\ \sum_i f_i P_i & \sum_i P_i Q_i \end{vmatrix}}, \quad /8/$$

где

$$\det |M| = \begin{vmatrix} \sum_i P_i Q_i & \sum_i Q_i^2 \\ \sum_i P_i^2 & \sum_i P_i Q_i \end{vmatrix}.$$

Отметим, что в выражения /5/ и /6/ для определения P и Q входят коэффициенты \tilde{h}_k , зависящие от R и ν /см. /3/. Поэтому /7/ и /8/ можно рассматривать как рекуррентные соотношения для последующего приближения к истинным значениям параметров ν и R .

Измерение магнитных свойств ферромагнетика проводилось на тороидальном сердечнике, изготовленном из пермаллоевой ленты, толщиной 10 мкм и шириной 15 мм. Наружный диаметр образца равнялся 190 мм, внутренний - 168 мм, коэффициент заполнения - 0,63.

Перемагничивание сердечника осуществлялось с помощью специального генератора прямоугольных импульсов тока с длительностью фронта 0,2 мкс и длительностью плоской части 12 мкс. Перед подачей импульса перемагничивания на сердечник подавался импульс обратной полярности для обеспечения однородного по всему объему ферромагнетика намагничивания до значения индукции, равного B_r / B_r - остаточная индукция/.

Результаты измерений сведены в табл.

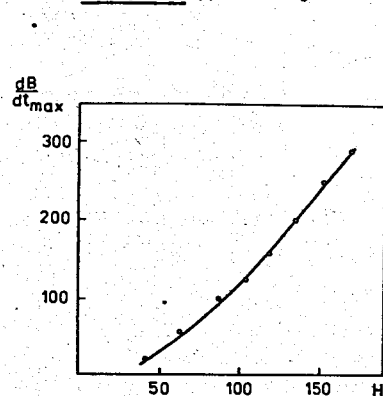
Таблица

H (А/м)	41,8	62,8	87,2	104,5	118,5	135,2	153,0	170,5
r (В/см ²)	20,1	55,1	96,3	124,0	157,0	200,9	249,5	289,0

После обработки данных указанным выше методом были получены следующие значения динамических параметров:

$$R = 1,37 \cdot 10^4 \text{ Ом/м}, \quad \nu = 1,31 \cdot 10^{-2} \text{ м/А}.$$

На рисунке для полученных значений R и ν построена расчетная



зависимость $\frac{dB}{dt_{\max}}(H)$, для сравнения на этот же график нанесены экспериментальные точки.

В заключение авторы выносят искреннюю благодарность А.И.Анацкому за подготовку образцов и ценные замечания.

Рис. Зависимость максимального значения средней скорости перемагничивания в В/см² от напряженности внешнего магнитного поля в А/м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копорский А.С., Пирогов А.И., Шамаев Ю.М. Автоматика и телемеханика, 1964, XXУ, 10, с. 1502.
2. Пирогов А.И., Шамаев Ю.М. Магнитные сердечники в автоматике и вычислительной технике. М., Энергия, 1964.
3. Саввин В.А. ОИЯИ, Р9-12377, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 мая 1981 года.