

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ФЕРРИТОВ В СИЛЬНЫХ ПОЛЯХ

Р. Б. БАКШТ

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института
высоких напряжений)

При измерении импульсных характеристик ферритов в сильных полях возникают трудности, связанные с малым (порядка 10^{-9} сек) временем перемагничивания в диапазоне полей $40 \div 300$ э. В данной работе оценено влияние собственной индуктивности измерительного витка и влияние поверхностного эффекта на перемагничивание ферритов. Блок-схема установки для исследования импульсных характеристик приведена на рис. 1. Импульс перемагничивающего поля H_m формировался при разряде линии L_1 через искровой коммутатор с азотом под высоким давлением и имел фронт после заострителя $2 \div 0,5$ нсек при длительности 250 нсек. Исследуемый ферритовый тор помещался в контейнере 4 на короткозамкнутом конце линии L_2 . Напряжение перемагничивания $U(t)$ с измерительного витка по линии L_3 подавалось непосредственно на пластины явления осциллографа 6. Время перемагничивания определялось по уровню $0,1$ от максимальной величины напряжения $U(t)$. Возможное максимальное эквивалентное сопротивление ферритового элемента [1]:

$$R_{\max} = \frac{r_m S}{l},$$

где r_m — параметр, определяемый свойствами феррита,

S — площадь сердечника,

l — длина средней магнитной линии.

Для исследуемых ферритов $r_m = 200 \div 300$ ом/см, $S = 1 \div 3 \cdot 10^{-2}$ см², $l = 2 \div 4$ см. Тогда $R_{\max} = 1 \div 3$ ом, что много меньше волнового сопротивления линии L_2 $\rho = 75$ ом. Чтобы убедиться в том, что эквивалентное сопротивление ферритового элемента не влияет на форму перемагничивающего импульса, нами был проведен эксперимент по схеме, изображенный на рис. 2. Здесь 1 — генератор типа Г5-12, выдающий импульсы с амплитудой 100 в и фронтом $0,7 \cdot 10^{-9}$ сек, 2 — осциллограф, 3 — контейнер с исследуемым ферритовым тором. На экране осциллографа наблюдался импульс, падающий на ферритовый тор и сигнал, отраженный от него. Как показал эксперимент, фронт и амплитуда отраженного импульса не отличаются от фронта и амплитуды падающего.

Как уже указывалось выше, изменение вектора намагниченности наблюдалось нами по обычной схеме с помощью измерительной петли: очевидно, что собственная индуктивность измерительной петли L_n будет

искажать вид сигнала $U(t)$. Эти искажения будут отсутствовать, если постоянная измерительной цепи T много меньше времени перематничивания τ . В [2] для индуктивности кольца дано следующее выражение:

$$L_n = \mu_0 R \ln \left(8 \frac{R}{a} - 2 \right), \quad (1)$$

где R — радиус кольца,
 a — радиус сечения провода.

Для нашего случая $R = 0,25 \cdot 10^{-2}$ м, $a = 0,35 \cdot 10^{-3}$ м и $L_n = 5 \cdot 10^{-9}$ гн, что дает постоянную затухания измерительной цепи:

$$T = \frac{L_n}{\rho} = 10^{-10} \text{ сек.}$$

T о. постоянная затухания измерительной цепи на порядок меньше минимальной длительности измеряемых сигналов, тем не менее ввиду принципиальной важности вопроса о влиянии индуктивности измерительной петли на объективность измерения времени перематничивания

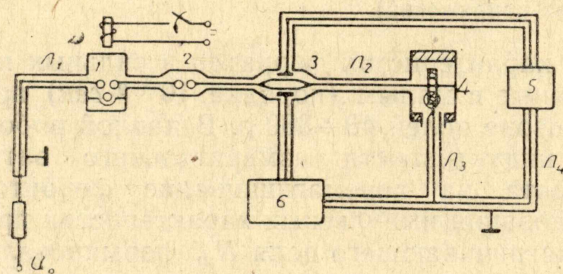


Рис. 1.

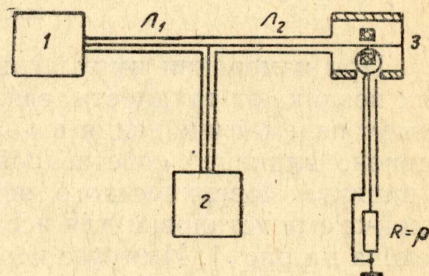


Рис. 2.

феррита нами был проделан описанный ниже контрольный эксперимент. Последовательно с измерительным витком было включено сопротивление $R = 310$ ом, благодаря чему постоянная затухания измерительной цепи была уменьшена в 6 раз, что должно было повести к соответственному уменьшению длительности измеренного сигнала в том случае, если его длительность определяется индуктивностью L_n . Как следует из рис. 3, длительность сигнала практически не изменилась при уменьшении постоянной затухания.

При изучении магнитно-вязких свойств материала необходимо учитывать влияние поверхностного эффекта. Наличие последнего может привести к затягиванию и изменению формы процесса перематничивания. Для предварительной оценки влияния поверхностного эффекта нами была применена методика, предложенная Витковым [3]. Изменение магнитного состояния поверхностных слоев ферромагнетика может быть выражено через импульс перематнивающего магнитного поля:

$$Q_l = \int_0^t (H_l - H_0) \nu t, \quad (2)$$

$$\frac{\nu B}{\nu t} = r_m \left(1 - \frac{B^2}{B_s^2} \right), \quad (3)$$

$$B = B_s \operatorname{th} \left(\frac{r_m}{B_s} Q - \varphi \right). \quad (4)$$

Здесь B_s — индукция насыщения,

r_m и H_0 — экспериментально определяемые параметры, характеризующие динамические магнитные свойства сердечника,

$$\varphi = ar \operatorname{th} \frac{B_r}{B_s}.$$

Перемагничивание внутренних слоев связано с импульсом внешнего поля сложнее. Иницируемые при перемагничивании

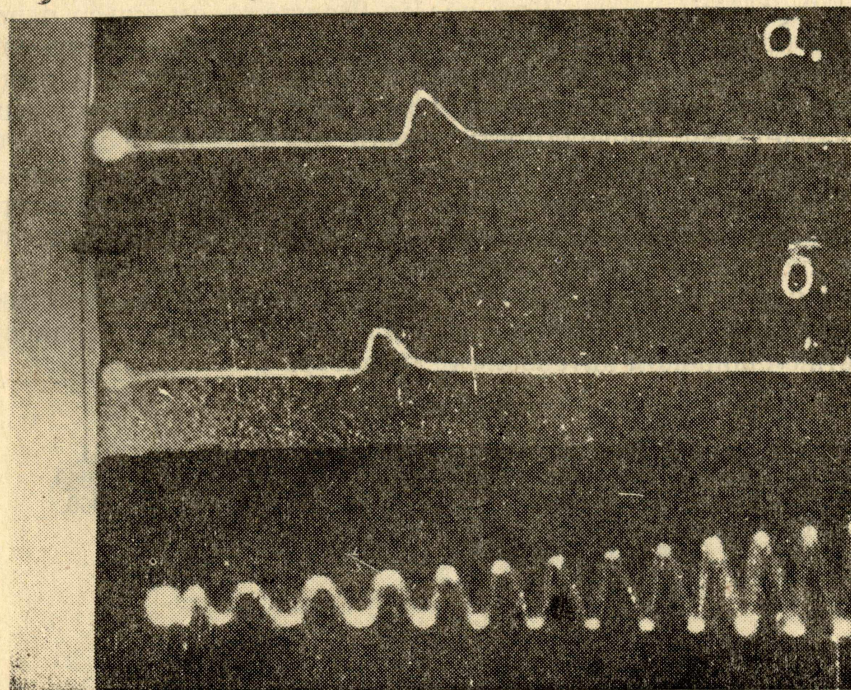


Рис. 3. Осциллограммы импульсов перемагничивания: *a* — без добавочного сопротивления (через ослабитель 15 дб); *b* — включено добавочное сопротивление 300 ом. Частота градуировочных колебаний 500 мГц.

пластины вихревые токи создают дополнительный импульс для внутренних слоев Q_v и $Q = Q_\varepsilon + Q_v$.

Поправка первого приближения состоит из поправки, зависящей от проводимости феррита,

$$Q_\sigma = -\frac{1}{2}(b^2 - x^2)\sigma(B + B_r) \quad (4a)$$

и поправки, зависящей от диэлектрической проницаемости,

$$Q_\varepsilon = -\frac{1}{2}(b^2 - x^2)\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \left(1 - \frac{B^2}{B_s^2}\right) r_m (H - H_0). \quad (5)$$

В выражениях (4a) и (5) b — толщина сердечника (в нашем случае $b = \frac{D-d}{2}$, где D — внешний, а d — внутренний диаметр сердечника), x — расстояние перемагничиваемого слоя от средней оси сердечника. Г. А. Татур [4] при расчете времени перемагничивания с учетом вязкости и поверхностного эффекта на ЭЦВМ показала, что влияние диэлектрической проницаемости на процессы пере-

магничивания начинает сказываться лишь при $\varepsilon > 10^{-2}$. Однако, по данным [5], диэлектрическая проницаемость всех ферритов при высоких частотах падает до 10. Следовательно, поправкой на токи смещения можно пренебречь.

Наибольшая величина поправки, связанной с экранирующим влиянием вихревых токов, а следовательно, и наибольшее возможное искажение формы импульса относятся к среднему слою перемагничиваемого сердечника. Наибольшая величина поправки для сердечника марки 0,16ВТ ($10 \times 7,5 \times 2$) $\sigma = 0,2 \cdot 10^{-6}$ кул/см. Величина импульса перемагничивающего поля для этого феррита равна 1 мк кул/см. Следовательно, поправка на вихревые токи сравнима с величиной импульса перемагничивающего поля лишь при $\sigma \approx 10^{-1} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$. Для исследуемых нами ферритов удельная проводимость $\sigma = 10^{-1} \div 10^{-4} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$. Однако есть основания предполагать [5], что проводимость резко увеличивается с возрастанием амплитуды перемагничивающего поля в результате роста доли высокочастотных составляющих, возникающих при наносекундных временах перемагничивания феррита. Окончательный ответ на вопрос о влиянии удельной проводимости на импульсные характеристики ферритов в сильных полях можно будет дать лишь при изучении этих характеристик в широком интервале температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Пирогов. Магнитные сердечники с ППГ. Энергия. 1964.
2. В. С. Цейтлин. Справочник по расчету индуктивностей. М., 1959.
3. М. Г. Витков. Автоматика и телемеханика, т. XXI, в. 10, 1960.
4. Т. А. Татур. Изв. вузов — Электромеханика, № 2, 1962.
5. Я. Смит, Х. Вейн. Ферриты. ИЛ, М., 1962.