Работа 3.4.5

Петля гистерезиса (динамический метод)

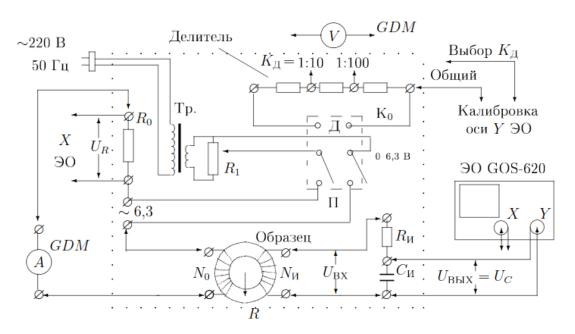
Панферов Андрей

1 Экспериментальная установка

В работе используются: понижающий трансформатор, реостат, резистор, интегрирующая цепочка, амперметр и вольтметр (мультиметры), электронный осциллограф, делитель напряжения, переключатель, тороидальные образцы с двумя обмотками.

Экспериментальная установка: Схема установки приведена на рис. ??. Напряжение сети (220В, 50Гц) через разделительный понижающий трансформатор Тр подаётся на реостат R_1 , ВКлючённый как потенциометр. Регулируемое напряжение $\sim 6,3$ В подведено к средним точкам переключателя K_0 : в положении "П"(петля) напряжение подводится к клеммам "6,3" на панели установки, В положении "Д"(делитель) - к клеммам делителя напряжения.

С клемм "6,3" регулируемое напряжение подаётся на намагничивающую обмотку N_0 исследуемого образца.



Ток в обмотке N_0 измеряется мультиметром А. Напряжение с сопротивления R_0 , включенного последовательно с обмоткой N_0 , подаётся на вход X электронного осциллографа (ЭО). Это напряжение пропорционально току в обмотке N_0 , а следовательно и напряжённости H магнитного поля в образце.

Для измерения магнитной индукции B с измерительной обмотки $N_{\rm H}$ на вход интегрирующей RC -цепочки подаётся напряжение $U_{\rm BX}$, пропорциональное производной \dot{B} , а с выхода снимается напряжение $U_{\rm BbIX} = U_C$, пропорциональное величине B, и подаётся на вход Y.

Замкнутая кривая, возникающая на экране, воспроизводит в некотором масштабе (различном для осей X и Y) петлю гистерезиса. Чтобы придать этой кривой количественный смысл, необходимо установить масштабы изображения, т.е. провести калибровку каналов X и Y ЭО. Для

этого, во-первых, надо узнать, каким напряжениям (или токам) соответствуют амплитуды сигналов, видимых на экране, и во-вторых, - каким значениям B и H соответствуют эти напряжения (или току).

Измерение напряжения с помошью осциллографа. Исследуемый сигнал подаётся на вход X Θ ; длина 2x горизонтальной черты, наблюдаемой на экране, характеризует удвоенную амплитуду сигнала.

Если известна чувствительность усилителя K_X в вольтах на деление нгкалы экрана (B/cM), то удвоенная амплитуда напряжения определяется произведени- eM

$$2U_{X,0} = 2x \cdot K_X$$

Напряжение, подаваемое на ось Y, измеряется аналогично. Калибровку осей осциллографа (K_X и K_Y) можно использовать для построения кривой гистерезиса в координатах B и H:

Зная величину сопротивления R_0 , с которого снимается сигнал, можно рассчитать чувствительность канала по току $K_{XI} = K_X/R_0[{\rm A/~gen}~]$, затем определить цену деления шкалы ЭО в A/M Проверка калибровки горизонтальной оси ЭО с помошью амперметра проводится при закороченной обмотке N_0 . Эта обмотка с помещённым В неё ферромагнитным образцом является нелинейным элементом, так что ток в ней не имеет синусоидальной формы, и это не позволяет связать амплитуду тока с показаниями амперметра.

При закороченной обмотке N_0 амперметр A измеряет эффективное значение синусоидального тока Iэф , текущего через известное сопротивление R_0 . Сигнал с этого сопротивления подаётся на вход X ЭО. Измерив 2x длину горизонтальной прямой на экране, можно рассчитать m_X - чувствительность канала X :

$$m_X = 2R_0\sqrt{2}I_{\ni\Phi}/(2x)$$
 [В/Дел]

Проверка калибровки вертикальной оси Θ О с помощью вольтметра. Сигнал с потенциометра R_1 подаётся на вход делителя напряжения (K_0 в положении "Д". Часть этого напряжения снимается с делителя с коэффициентом деления $K_{\mathcal{I}}$ (1/10 или 1/100) и подаётся на вход Y Θ О (вместо напряжения U_C). Цифровой вольтметр V измеряет напряжение U_{Θ} на этих же клеммах делителя. Измерив 2y - длину вертикальной прямой на экране, можно рассчитать чувствительность канала Y:

$$m_Y = 2\sqrt{2}U_{\ni\Phi}/(2y)$$
 [В/ дел]

При калибровке тороид должен быть отключён, так как несинусои Дальный ток нагрузки в первичной обмотке тороида приводит к искажению формы кривой напряжения и на обмотке трансформатора, питающей делитель.

Постоянную времени RC-цепочки можно определить экспериментально. С клемм "6,3"на вход интегрирующей цепочки подаётся синусоидальное напряжение $U_{\rm BX}$. На вход Y осциллографа поочерёдно подаются сигналы со входа $(U_{\rm BX})$ и выхода $(U_{\rm BHIX}=U_C)$ RC -цепочки. Измерив амплитуды этих сигналов с помощью осциллографа, можно рассчитать постоянную времени $\tau=RC$.

$$RC = \frac{U_{\rm BX}}{\Omega U_{\rm BBIX}}$$

2 Результаты измерений и их обработка

2.1 Калибровка

2.1.1 X

$X=20 \mathrm{mV}$		X=50 mV		X=100 mV	
Дел	I, mA	Дел	I, mA	Дел	I, mA
0	7	0	7	0	7
1	35	1	90	1	177
2	71	2	174	2	352
3	107	3	267	3	537
4	144	4	355	4	708
5	181	5	443	5	897
$dI = 50 \pm 3 \text{ mA}$		dI =	$124 \pm 3 \text{ mA}$	dI =	$252 \pm 6 \text{ mA}$

Откалибруем X канал осциллографа, измерив зависимость показаний последнего от тока через амперметр. Занесем результаты в Taблицу??. Рассчитаем коэффециент пересчета делений в ток dI для всех диапазонов.

2.1.2 Y

Откалибруем Y канал осциллографа, сравним показания вольтметра и осциллографа и занесем результаты в Taблицу??. Домножив U на $2\sqrt{2}$ получим, что в среднем U_{vm} отличается от U_{osc} на 2%.

U_{vm} , MB	U_{osc} , мВ
20	50
40	110
60	170
80	220
100	275
120	325
140	390

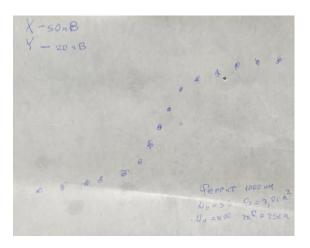
2.2 Феррит

N_0	35
N_u	400
S	3.0cm ²
$2\pi R$	25см

X=50 mV		$Y=10 \mathrm{mV}$	
$[X_s]$:	1.75 дел.	$217 \pm 18 \text{mA}$	$30 \pm 3 { m A/m}$
$[Y_s]$:	3.75 дел.	$38 \pm 2 \text{ mV}$	0.126 ± 0.007 Тл
$[X_c]$:	0.40 дел.	$52 \pm 5 \text{mA}$	7.2 ± 0.6 А/м
$[Y_r]$:	1.5 дел.	$15 \pm 2 \text{mV}$	0.050 ± 0.007 Тл

Измерим параметры предельной претли и пересчитаем значения В и Н.

3



Из кривой намагничивания найдем значение дифференциальной магнитной пронициаемости:

$$\frac{\mu_{diff}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 6 \cdot 10^3$$

И сравним с табличным:

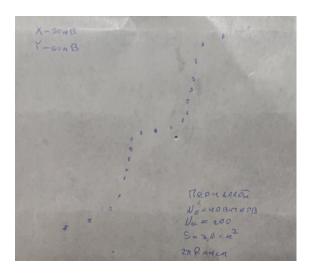
$$\frac{\mu_{diff\,tabular}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 5 \cdot 10^3$$

2.3 Пермаллой

N_0	40
N_u	200
S	3.8cm ²
$2\pi R$	4см

X=20 mV		Y=50 mV	
$[X_s]$:	5 дел.	$250 \pm 18 \text{mA}$	$250 \pm 18 \mathrm{A/m}$
[]	2.8 дел.	$140 \pm 3 \text{ mV}$	0.736 ± 0.016 T π
$[X_c]$:	0.5 дел.	$25.0 \pm 0.5 \mathrm{mA}$	$25.0 \pm 0.5 { m A/m}$
$[Y_r]$:	1.6 дел.	$80 \pm 3 \text{mA}$	$0.42 \pm 0.02 \mathrm{Tm}$

Измерим параметры предельной претли и пересчитаем значения В и Н. Сравним их с табличными значениями.



Из кривой намагничивания найдем значение дифференциальной магнитной пронициаемости:

$$\frac{\mu_{diff}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 1.6 \cdot 10^2$$

И сравним с табличным:

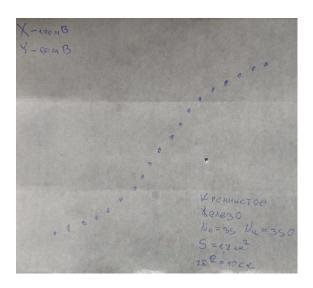
$$\frac{\mu_{diff\ tabular}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 10^4$$

2.4 Кремнистое железо

N_0	35
N_u	350
S	1.2cm ²
$2\pi R$	10см

$X=100 \mathrm{mV}$ $Y=50 \mathrm{m}$		Y=50 mV	$=50 \mathrm{mV}$	
$[X_s]$:	4.25 дел.	$(107 \pm 3) \cdot 10 \text{mA}$	$(37 \pm 1) \cdot 10 \text{A/m}$	
$[Y_s]$:	3 дел.	$150 \pm 3 \text{ mV}$	1.43 ± 0.03 Тл	
$[X_c]$:	0.5 дел.	$126 \pm 25 \text{mA}$	44 ± 9 А/м	
$[Y_r]$:	1.9 дел.	$95 \pm 3 \text{ mV}$	0.91 ± 0.03 Тл	

Измерим параметры предельной претли и пересчитаем значения В и Н. Сравним их с табличными значениями.



Из кривой намагничивания найдем значение дифференциальной магнитной пронициаемости:

$$\frac{\mu_{diff}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 6.7 \cdot 10^3$$

И сравним с табличным:

$$\frac{\mu_{diff\;tabular}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 5.6 \cdot 10^3$$

Проверим пременимость интегрирующей цепочки:

$$RC\Omega = \frac{U_{in}}{U_{out}} \approx 20 \gg 1$$

, значит цепочка применима.

3 Выводы

Для двух (феррит и кремнистое железо) из трех образцов мы получили результаты близкие к теоретическим. Отклонение от табличных значений сложно объяснить одной погрешностью измерений, так что, вероятно, большой вклад в отклонение внес тот факт, что сам момент, когда петля становится предельной, опередлить сложно. Для третьего образца значения получились значительно отличающиеся от теоретических, что, скорее всего, является следствием неправильно записанного диапазона измерений оциллографа или параметров образца.