

Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Петля гистерезиса (динамический метод)

Сибгатуллин Булат, ФРКТ

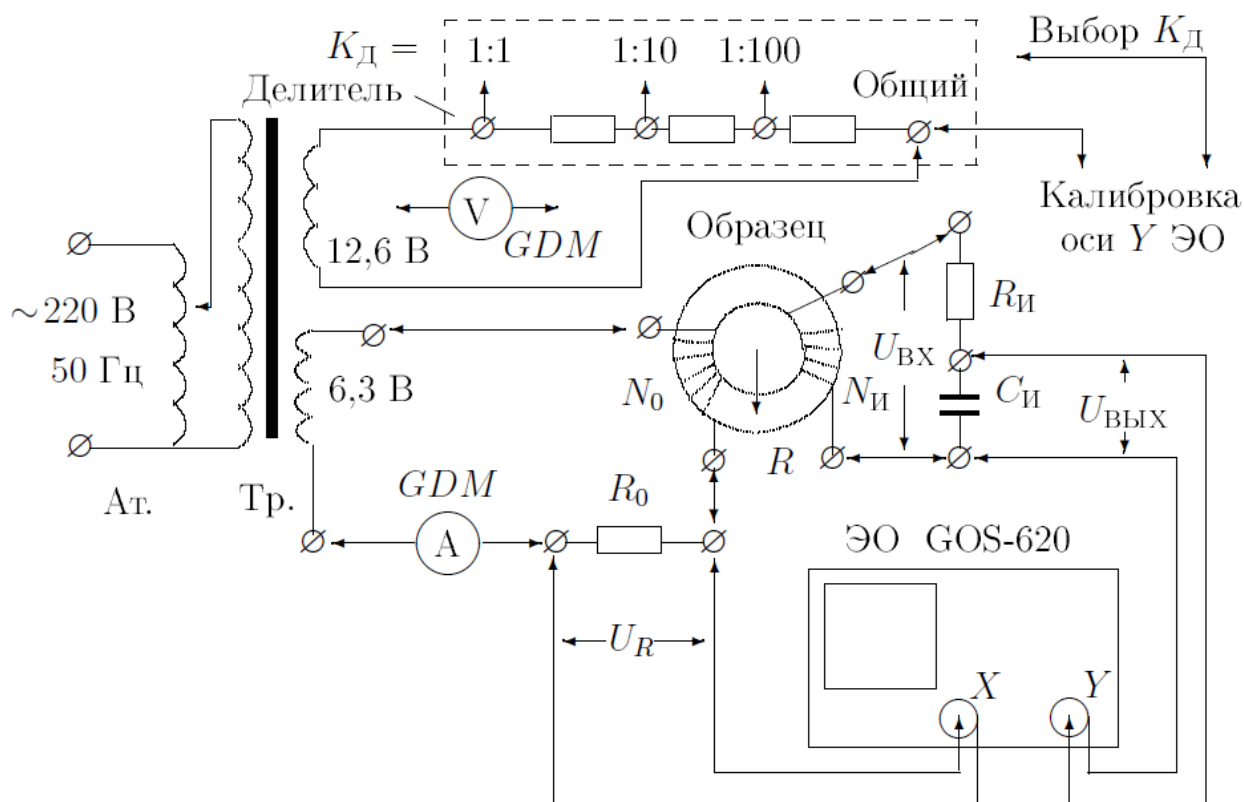
Цель работы

Исследование предельных петель гистерезиса и начальных кривых намагничивания для нескольких ферромагнитных образцов; определение магнитных характеристик материалов, чувствительность каналов X и Y осциллографа и постоянную времени τ интегрирующей цепочки.

В работе используются

автотрансформатор, понижающий трансформатор, амперметр и вольтметр, резистор, делитель напряжения, интегрирующая цепочка, электронный осциллограф, тороидальные образцы с двумя обмотками.

Экспериментальная установка



Действующее значение переменного тока в обмотке N_0 измеряется амперметром A . Последовательно с амперметром включено сопротивление R_0 , напряжение с которого подается на вход X электронного осциллографа. Это напряжение пропорционально току в обмотке N_0 , а следовательно и напряженности H магнитного поля в образце.

Для измерения магнитной индукции B с измерительной обмотки N_u на вход интегрирующей RC -цепочки подается напряжение $U_n(U_{sx})$, пропорциональное \dot{B} , а, с выхода снимается напряжение $U_c(U_{6mx})$, пропорциональное величине B , а подается на вход Y .

Теория

Измерение напряжения с помощью осциллографа

Исследуемый сигнал подается на вход X ; длина $2x$ горизонтальной черты, наблюдаемой на экране, характеризует удвоенную амплитуду сигнала.

Если известна чувствительность усилителя K_x в вольтах на деление шкалы экрана, то удвоенная амплитуда напряжения определяется произведением

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

Напряжение, подаваемое на вход Y определяется аналогично.

Калибровку осей осциллографа можно использовать для построения кривой гистерезиса в координатах B и H :

Зная величину сопротивления R_0 , с которого снимается сигнал, можно определить чувствительность канала по току $K_{XI} = \frac{K_x}{R_0}$ [А/дел]; затем, используя формулу

$$H = \frac{IN_0}{2\pi R} \quad (1)$$

определить цену деления шкалы в А/м.

Используя формулу

$$B = \frac{R_{\text{и}} C_{\text{и}} U_{\text{вых}}}{SN_{\text{и}}} \quad (2)$$

можно рассчитать цену деления вертикальной шкалы в теслах.

Проверка калибровки горизонтальной оси ЭО с помощью амперметра

проводится при закороченной обмотке N_0 . Эта обмотка с помещенным в нее ферромагнитным образцом является нелинейным элементом, так что ток в ней не имеет синусоидальной формы, и это не позволяет связать амплитуду тока с показаниями амперметра.

$$m_X = \frac{2\sqrt{2}R_0 I_{\text{эф}}}{2x} [\text{В/дел}] \quad (3)$$

Проверка калибровки вертикальной оси ЭО с помощью вольтметра

Сигнал с обмотки 12,6 В понижающего трансформатора подается на делитель напряжения. Часть этого напряжения снимается с делителя с коэффициентом деления K_d (1/10 или 1/100) и подается на вход Y . Мультиметр V измеряет напряжение $U_{\text{эф}}$ на этих же клеммах делителя.

Далее по формуле

$$m_Y = \frac{2\sqrt{2}U_{\text{эф}}}{2y} [\text{В/дел}] \quad (4)$$

можно рассчитать чувствительность канала Y .

Постоянная времени RC -цепочки

Рассчитывается по формуле

$$RC = \frac{U_{\text{вх}}}{\Omega U_{\text{вых}}} \quad (5)$$

Задание

Измерение петли гистерезиса

1. Соберем схему экспериментальной установки. Подберем ток питания в намагничивающей обмотке, так чтобы на экране ЭО наблюдалась предельная петля гиперэкстезиса. Сфотографируем данную картину и запишем значения коэффициентов усиления K_x и K_y осциллографа и действующее значение тока I в намагничивающей обмотке.
2. По экрану ЭО измерим полную ширину и высоту ($[2X_s]$ и $[2Y_s]$), соответствующие удвоенной амплитуде колебания напряженности H_s и индукции B_s поля в образце в состоянии насыщения.
3. По экрану ЭО измерим двойные амплитуды для коэрцитивного поля $[2X_c]$ и остаточной индукции $[2Y_r]$.
4. Проведем измерение начальной кривой намагничивания. Плавно уменьшая амплитуду намагничивания до нуля, будем фиксировать по экрану осциллографа положения крайних точек, наблюдаемых частных петель. Запишем материал образца и параметры тороида.
5. Повторим измерения пп. 1-4 для остальных катушек.

Калибровка осциллографа

6. Проведем калибровку горизонтальной оси осциллографа, для этого не разбирая экспериментальную установку «закоротим» намагничивающую обмотку N_0 .
Измерим длину наблюдаемой развертки по оси X , при некотором фиксированном токе I , близком к току насыщения петли гистерезиса. Проведем измерения для всех значений K_x , использовавшихся в работе.
7. Для проверки калибровки вертикальной оси ЭО подключим вольтметр и осциллограф к делителю 1:100 и сравним показания вольтметра и осциллографа. Оценим погрешность измерений амплитуды с помощью осциллографа.

Определение параметров RC -ячейки

8. Измерим постоянную времени RC -ячейки τ_u . Измерим отношение входного и выходного напряжений $U_{\text{вх}}/U_{\text{вых}}$ ячейки с помощью осциллографа. Рассчитаем постоянную времени.

9. Сравним результат с расчетом непосредственно через R_u и u , указанными на установке.

Ход работы

Петля гистерезиса

	Пермаллой	Феррит	Кремнистое железо
N_0 , витков	40	35	35
N_H , витков	200	400	350
S , см ²	3,8	3	1,2
$2\pi r$, см;	24	25	10

Таблица 1. Некоторые характеристики образцов.

Запишем параметры установки.

R_0 , Ом	0,3
R_H , Ом	20
C_H , мкФ	20

Таблица 2. Некоторые параметры установки.

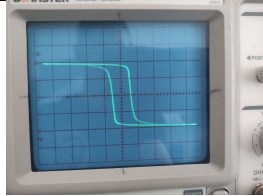
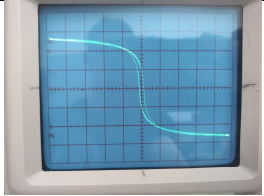
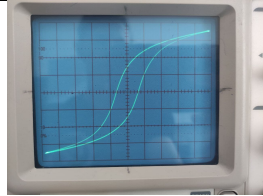
	Величина	σ	Величина	σ	Величина	σ
	Пермаллой		Феррит 1000нн		Кремнистое железо	
Петля						
$I_{эф}$, А	0,690	0,001	1,060	0,001	1,000	0,001
$[2x(c)]$, ед	9,2	0,2	10,0	0,2	9,6	0,2
$[2y(s)]$, ед	4,0	0,2	5,2	0,2	7,2	0,2
K_x , мВ/дел	100	0	100	0	100	0
K_y , мВ/дел	100	0	20	0	50	0
H , (А/м)/дел	0,556	0	0,467	0	1,167	0
H_c , А/м	5,12	0,11	4,67	0,09	11,21	0,23
B , Тл/дел	0,526	0	0,067	0	0,476	0
B_s , Тл	2,11	0,11	0,347	0,013	3,42	0,09

Таблица 3. Данные, полученные из петли гистерезиса.

Проверка калибровки оси X

Отключаем намагничивающую обмотку от цепи, соединив оба провода, идущих к обмотке, на одной из ее клемм.

Подбираем такой ток, чтобы горизонтальная прямая занимала большую часть экрана. Рассчитаем чувствительность канала m_X по формуле (3).

Результаты смотри в таблице 4.

Проверка калибровки оси Y

Разберем цепь. Соединим вход Y с клеммами делителя "1/100-земля". Не меняя рабочего коэффициента K_Y , подберем с помощью трансформатора напряжение, при котором вертикальная прямая занимает почти весь экран. Измеряем длину $2y$. Запишем данные из двух вышеизложенных пунктов в таблицу. Рассчитаем m_Y по формуле (4).

	Величина	σ
m_X , [В/дел]	0,092	0,002
K_X , [В/дел]	0,1	0
m_Y , [В/дел]	0,0198	0,0004
K_Y , [В/дел]	0,02	0
m_Y , [В/дел]	0,0964	0,0006
K_Y , [В/дел]	0,1	0

Таблица 4. Калибровка осей осциллографа.

По таблице видим, что соответствующие K и m равны с точностью до погрешности.

Расчет τ постоянной времени для цепочки

Запишем все полученные данные в таблицу и посчитаем τ по формуле (5) и через параметры установки.

	Значение	Ошибка
$U_{вх}$, В	6,5	0,2
$U_{вых}$, В	0,048	0,002
$\tau_{теор}$, с	0,43	0,02
$\tau_{эксп}$, с	0,40	0

Таблица 5. Измерение τ .

Начальные кривые намагничивания

Зарисуем графики начальных кривых намагничивания для наших образцов.

По графикам определим $\mu_{диф} = dB/dH$. Значения для $\mu_{диф}$ запишем прямо на графиках. Красная прямая будет отражать начальное значение дифференциальной магнитной проницаемости, а черная максимальное значение. Для Феррита начальное и максимальное значение совпадают.

Сравним H_c , B_s и $\mu_{диф}$ с табличными.

	Ампл.	Fe-Ni	Fe-Si	Феррит
эксп	H_c , А/м	$5,12 \pm 0,11$	$11,21 \pm 0,23$	$4,67 \pm 0,09$
табл		5,6	12	4-100
эксп	B_s , Тл	$2,11 \pm 0,11$	$3,42 \pm 0,09$	$0,347 \pm 0,013$
табл		1,6	2,01	0,3-0,4
эксп	$\mu_{нач}$	$0,47 \pm 0,03$	$0,544 \pm 0,018$	$0,434 \pm 0,064$
табл		$1,2 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^3$	10 – 2000
эксп	$\mu_{макс}$	$6,149 \pm 0,347$	$6,512 \pm 0,209$	$0,434 \pm 0,064$
табл		$3,5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4$	10 – 2000

Таблица 6. Сверка с табличными значениями.

