

Работа 3.4.5

Петля гистерезиса (динамический метод)

Валеев Рауф Раушанович
группа 825

17 октября 2019 г.

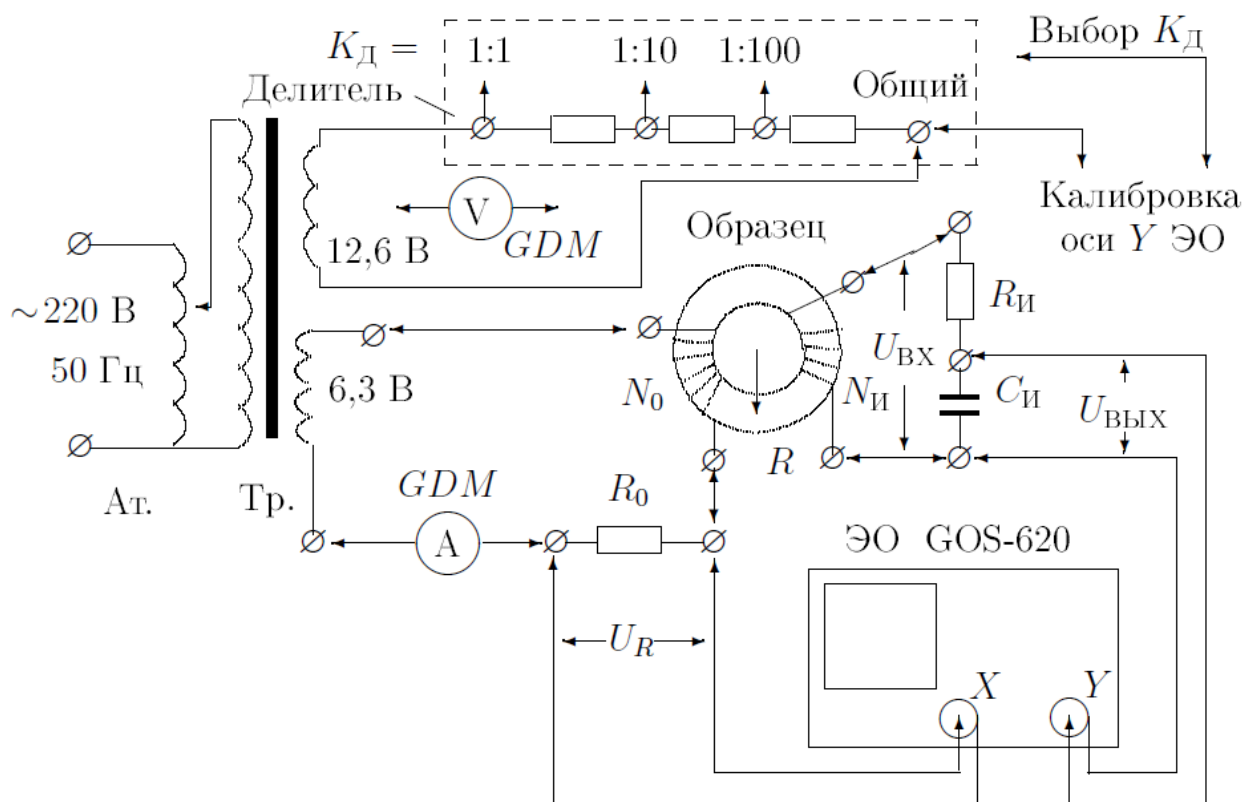
Цель работы

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_i на вход интегрирующей RC -цепочки подается напряжение $U_i(U_{вх})$, пропорциональное \dot{B} , а, с выхода снимается напряжение $U_c(U_{вых})$, 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

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

Ход работы

Петля гистерезиса

Запишем некоторые характеристики образцов в таблицу

	Пермаллой	Кремнистое железо	Феррит 1000нн
N_0	15	20	45
$N_{\text{и}}$	300	200	400
S , см ²	0,66	2	3
$2\pi R$, см	14,1	11	25

Таблица 1. Некоторые характеристики образцов.

R_0 , Ом	0,2
$R_{\text{и}}$, кОм	20
$C_{\text{и}}$, мкФ	20

Таблица 2. Некоторые параметры установки.

Далее получим предельную петлю, нанесем ее на кальку и снимем на нее же начальную кривую намагничивания, постепенно уменьшая ток.

Восстановим предельную петлю, измерим двойные амплитуды для коэрцитивной силы $[2x(c)]$ и индукции насыщения $[2y(s)]$. Запишем амплитуды и K_x , K_y в таблицу. По формулам (1) и (2), подставив $I = K_x/R_0$, $U_{\text{вых}} = K_y$. Получив цену деления мы можем посчитать H_c и B_s .

Повторим эти действия для всех образцов и занесем их в таблицу.

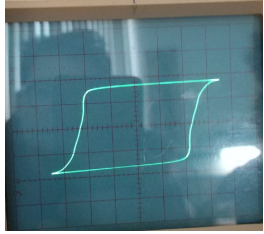
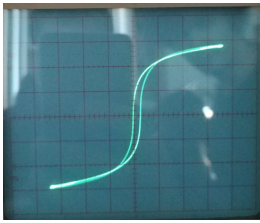
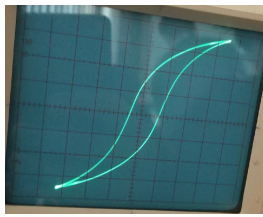
	Величина	σ	Величина	σ	Величина	σ
	Пермаллой		Феррит 1000нн		Кремнистое железо	
Петля						
$I_{\text{эф}}$, А	0,217	0,001	0,570	0,001	1,000	0,001
$[2x(c)]$, ед	4,4	0,2	7,0	0,2	7,0	0,2
$[2y(s)]$, ед	3,2	0,2	6,0	0,2	5,8	0,2
K_x	0,02	0	0,02	0	0,05	0
K_y	0,05	0	0,1	0	0,02	0
H , А/м	10,6	0,02	18,2	0,2	45	0,3
H_c , А/м	47	6	132	11	320	20
B , Тл/дел	1,012	0,011	1,000	0,011	0,067	0,002
B_s , Тл	3,2	0,2	6,0	0,2	0,39	0,02

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 3.

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	Величина	σ	Величина	σ
	Пермаллой		Феррит 1000нн		Кремнистое железо	
$2x$, ед	6,0	0,1	7,0	0,1	10,0	0,1
m_X , [В/дел]	0,020	0,001	0,092	0,001	0,057	0,001
$U_{эф}$, В	0,13	0,01	0,50	0,01	0,50	0,01
$2y$, ед	8,0	0,1	7,0	0,1	7,0	0,1
m_Y , [В/дел]	0,046	0,001	0,202	0,001	0,202	0,001
K_x	0,02	0	0,02	0	0,05	0
K_y	0,05	0	0,1	0	0,02	0

Таблица 4. Калибровка осей осциллографа.

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

Расчет τ постоянной времени для цепочки

Считаем $U_{вх} = 2y \cdot K_y$ и $U_{вых} = 2x \cdot K_x$.

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

Величина	Значение	Ошибка
$2y$, ед	8,0	0,2
K_y , В/ед	2	0
$2x$, ед	6,2	0,2
K_x , В/ед	0,02	0
$U_{вх}$, В	16,0	0,2
$U_{вых}$, В	0,124	0,002
τ из формулы, с	0,41	0,02
τ из пар. уст., с	0,40	0,02

Таблица 5. Измерение τ .

Сравним H_c и B_s с табличными.

	Ампл.	Fe-Ni	Fe-Si	Феррит
эксп	H_c , А/м	47 ± 6	320 ± 20	132 ± 11
табл		4	8	8-600
эксп	B_s , Тл	$3,2 \pm 0,2$	$0,39 \pm 0,02$	$6,0 \pm 0,2$
табл		1,08	2	0,2-0,4

Таблица 6. Сверка с табличными значениями.

Литература

1. **Лабораторный практикум по общей физике:** Учебное пособие. В трех томах. Т. 2. Электричество и магнетизм /Гладун А.Д., Александров Д.А., Берулёва Н.С. и др.; Под ред. А.Д. Гладуна - М.: МФТИ, 2007. - 280 с.
2. **Дополнительное описание лабораторной работы 3.3.5:** Эффект Холла в металлах; Под ред. МФТИ, 2016. - 5 с.