

Работа 3.4.5

Петля Гистерезиса

Шарапов Денис, Зелёный Николай, Б05-005

Содержание

1	Аннотация	2
2	Теоретические сведения	2
2.1	Экспериментальная установка	2
3	Результаты измерений и обработка данных	3
3.1	Калибровка	4
3.2	Исследование образцов	4
4	Вывод	5

1 Аннотация

В работе используются: автотрансформатор, понижающий трансформатор, интегрирующая ячейка, амперметр и вольтметр, резистор, делитель напряжения, электронный осциллограф, тороидальные образцы с двумя обмотками.

2 Теоретические сведения

К ферромагнетикам принадлежат железо, никель, кобальт, гадолиний, их многочисленные сплавы с другими металлами. К ним примыкают ферриты — диэлектрики со структурой антиферромагнетика.

Магнитная индукция B и напряженность магнитного поля H в ферромагнитном материале неоднозначно связаны между собой: индукция зависит не только от напряженности, но и от предыстории образца.

2.1 Экспериментальная установка

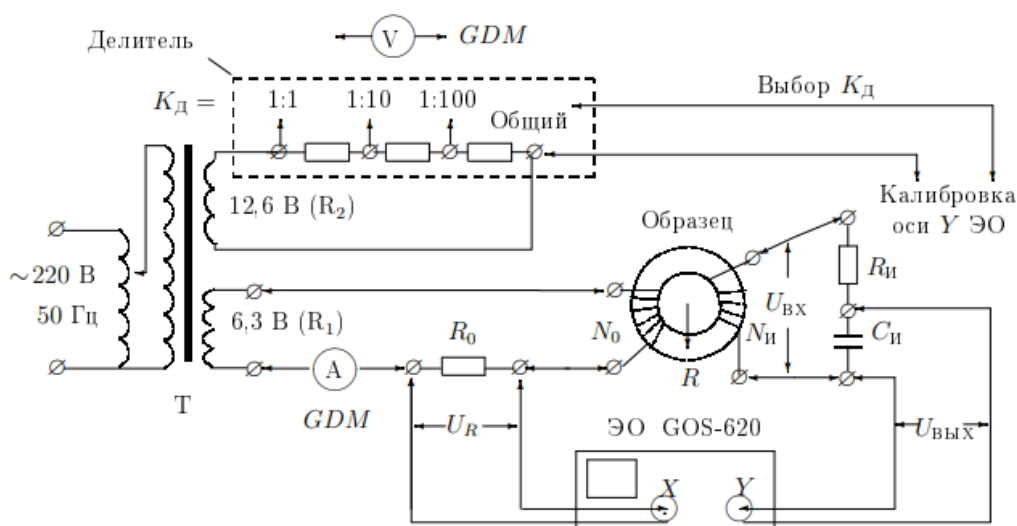


Рис. 1: Схема установки

Схема установки приведена на рис. 1. Напряжение сети (220 В , 50 Гц) через разделительный понижающий трансформатор T подается на реостат R_1 , включенный как потенциометр. Регулируемое напряжение $\sim 6,3\text{ В}$ 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 подается на намагничивающую обмотку N_0 исследуемого образца.

Ток в обмотке N_0 измеряется мультиметром A . Напряжение с сопротивления R_0 , включенного последовательно с обмоткой N_0 , подается на вход X электронного осциллографа (ЭО). 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 $N_{и}$ на вход интегрирующей RC — цепочки подается напряжение $U_{ВХ}$, пропорциональное производной

\dot{B} , а с выхода снимается напряжение $U_{\text{вых}} = U_C$, 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 помощью осциллографа. Исследуемый сигнал подаётся на вход X ЭО; длина $2x$ горизонтальной черты, наблюдаемой на экране, характеризует удвоенную амплитуду сигнала.

Если известна чувствительность усилителя K_X в вольтах на деление шкалы экрана (В/см), то удвоенная амплитуда напряжения определяется произведением

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

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 $K_{XI} = K_X/R_0$ [А / дел], затем определить цену деления шкалы ЭО в А/М. Проверка калибровки горизонтальной оси ЭО с помощью 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 $I_{\text{эф}}$, 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 :

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

Проверка калибровки вертикальной оси ЭО 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_D (1/10 или 1/100) и подаётся на вход Y ЭО (вместо напряжения U_C). Цифровой вольтметр V измеряет напряжение $U_{\text{эф}}$ на этих же клеммах делителя. Измерив $2y$ — длину вертикальной прямой на экране, можно рассчитать чувствительность канала Y :

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

3 Результаты измерений и обработка данных

Параметры исследуемых образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1: Параметры образцов

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

3.1 Калибровка

Откалибруем X канал осциллографа, измерив зависимость показаний осциллографа от тока через амперметр. Занесем результаты в таблицу 2. Рассчитаем коэффициент пересчета делений в ток dI для всех диапазонов.

Откалибруем Y канал осциллографа, сравним показания вольтметра и осциллографа и занесем результаты в таблицу 3. Домножив U на $2\sqrt{2}$ получим, что в среднем U_V отличается от U_O на 2%.

Таблица 2: Калибровка канала X

$X = 20$ мВ		$X = 50$ мВ		$X = 100$ мВ	
Дел	I , мА	Дел	I , мА	Дел	I , мА
0	6	0	6	0	6
1	34	1	89	1	176
2	70	2	173	2	351
3	106	3	266	3	536
4	143	4	354	4	707
5	181	5	442	5	896
$dI \approx 36,0 \pm 3$ мА		$dI \approx 88,4 \pm 3$ мА		$dI \approx 180 \pm 6$ мА	

Таблица 3: Калибровка канала Y

U_V , мВ	U_O , мВ
20	50
40	110
60	170
80	220
100	275
120	325
140	390

3.2 Исследование образцов

Для каждого образца запишем значения коэффициентов усиления K_x и K_y , ток $I_{эф}$. Измерим двойные амплитуды для коэрцитивной силы $2x(c)$ и индукции насыщения $2y(s)$. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4: Результаты измерения коэффициентов усиления и двойных амплитуд образцов

	K_x , $\frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$	K_y , $\frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$	$I_{эф}$, мА	$2x$, дел	$2y$, дел
Феррит	100	20	990	6,2	6,8
Пермаллой	20	50	218	7	3,5
Кремнистое железо	10	50	92,6	7,1	8

Снимем для каждого образца начальную кривую намагничивания (табл. 5-7), плавно уменьшая ток до нуля и отмечая вершины частных петель.

Таблица 5: Начальная кривая намагничивания для кремнистого железа

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
x , дел	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0,0
y , дел	3,0	2,8	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0	1,6	1,2	0,7	0,4	0,1	0,0

Таблица 6: Начальная кривая намагничивания для пермаллоя

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
x , дел	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	1,5	1,2	0,8	0,5	0,2	0,0
y , дел	1,8	1,7	1,5	1,4	1,1	1,0	0,9	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1	0,0

Таблица 7: Начальная кривая намагничивания для феррита

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
x , дел	3,0	2,5	2,3	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0
y , дел	3,6	3,4	3,3	3,1	3,0	2,7	2,4	2,2	2,0	1,2	0,5	0,2	0,0

Восстановим предельные петли для образцов и рассчитаем B и H . После чего рассчитаем коэрцитивную силу H_c и индукцию насыщения B_s для каждого образца. Результаты измерений внесём в таблицу 8.

Таблица 8: Результаты измерений магнитной индукции и напряженности для: 1. феррит; 2. пермаллой; 3. кремнистое железо

	H , А / м	B , Тл / дел	H_c , А / м	B_s , Тл / дел
1	$9,0 \pm 1,0$	$(3,33 \pm 0,6) \cdot 10^{-2}$	$8,1 \pm 0,2$	$(12,9 \pm 0,02) \cdot 10^{-2}$
2	$10,6 \pm 1,2$	$1,01 \pm 0,2$	$24,4 \pm 0,5$	$1,82 \pm 0,6$
3	$90,9 \pm 10,1$	$0,20 \pm 0,03$	$54,5 \pm 0,8$	$0,70 \pm 0,1$

Из графиков, представленных на рисунках 2-4 определим максимальные значения дифференциальной магнитной проницаемости. Результаты внесём в таблицу 9.

Таблица 9: Результаты измерения максимальной магнитной проницаемости

	μ_{max}
Феррит	$(7,6 \pm 0,6) \cdot 10^3$
Пермаллой	$(89,7 \pm 7,6) \cdot 10^3$
Кремнистое железо	$(30,6 \pm 2,9) \cdot 10^3$

4 Вывод

Петля гистерезиса является качественной характеристикой намагничивания ферромагнетика, показывая такие эффекты, как домены, скачки Баркгаузена (которые можно было бы увидеть при значительно большем масштабе, но в любом случае), в том числе площадь петли пропорциональна энергии, теряемой в единице объёма вещества за время цикла.

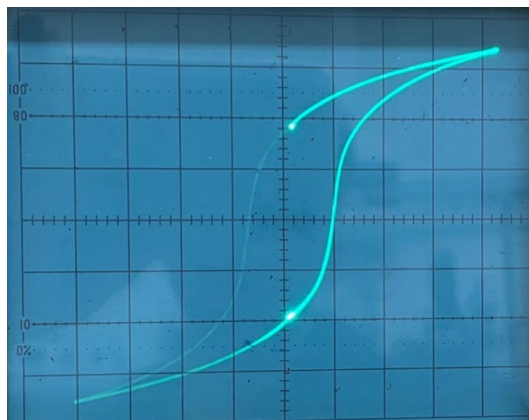


Рис. 2: Петля Гистериза для феррита

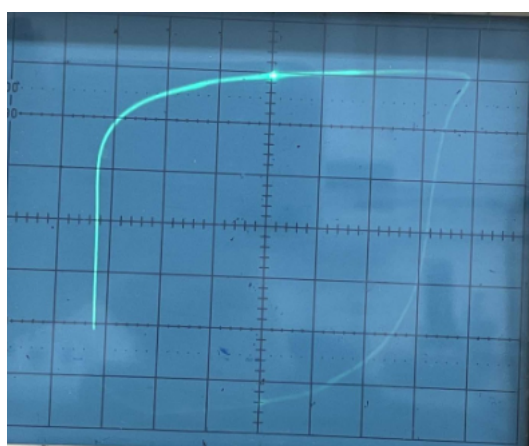


Рис. 3: Петля Гистериза для пермаллоя

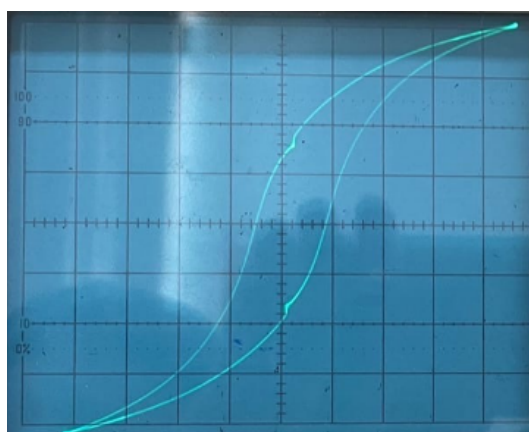


Рис. 4: Петля Гистериза для кремнистого железа