

3.4.5.

## Петля гистерезиса (динамический метод)

Семёнов Андрей Б02-010

13 октября 2021г.

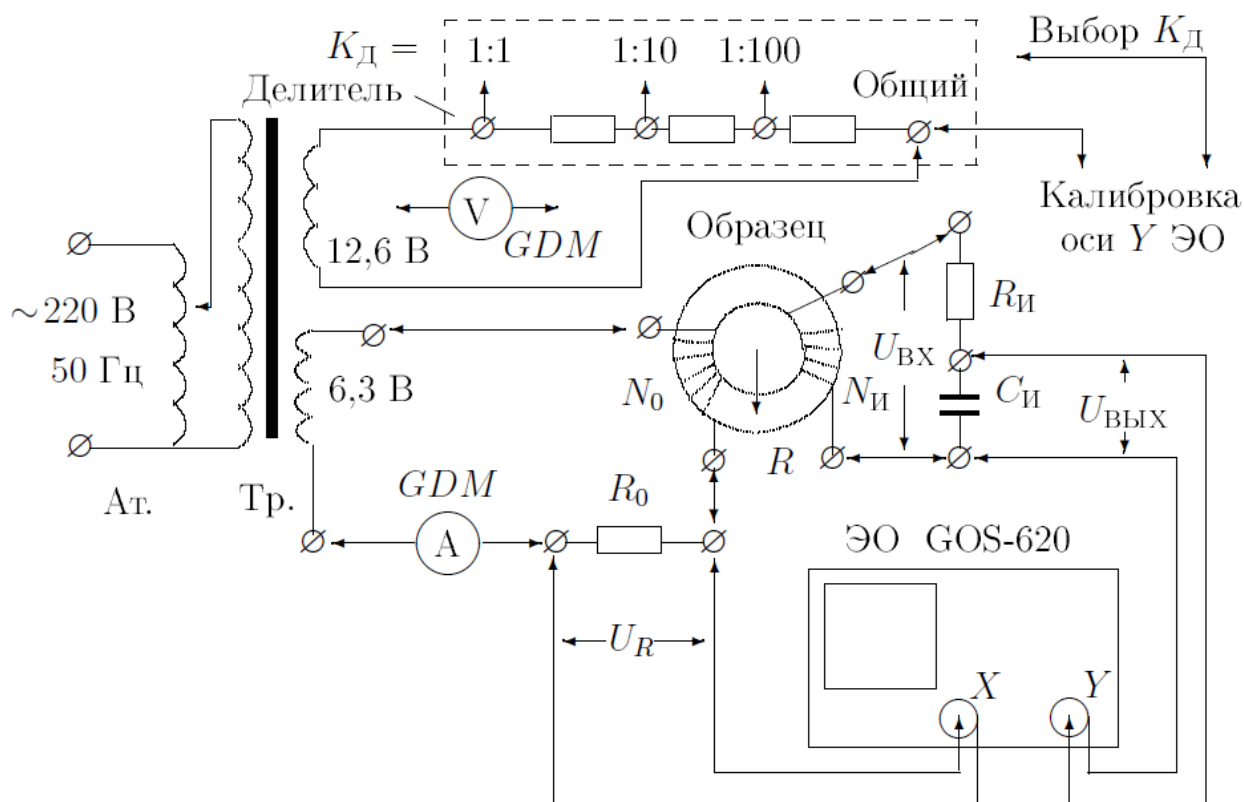
## Цель работы

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  $\tau$  интегрирующей цепочки.

## В работе используются

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

## Схема установки



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

**Таблица 1.** Некоторые характеристики образцов.

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

**Таблица 2.** Параметры установки.

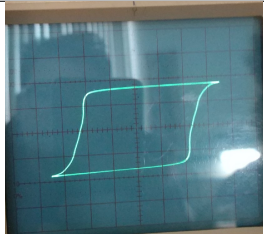
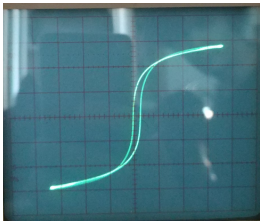
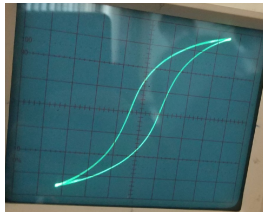
$R_0$ , Ом	0,2
$R_{\text{и}}$ , кОм	20
$C_{\text{и}}$ , мкФ	20

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.

**Таблица 3.** Данные петли гистерезиса.

	Величина	$\sigma$	Величина	$\sigma$	Величина	$\sigma$
	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

## 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).

**Таблица 4.** Калибровка осей осциллографа.

	Величина	$\sigma$	Величина	$\sigma$	Величина	$\sigma$
	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

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

## Расчет $\tau$ 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  $\tau$  по формуле (5) и через параметры установки.

**Таблица 5.** Измерение  $\tau$ .

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
$\tau$ из формулы, с	0,41	0,02
$\tau$ из пар. уст., с	0,40	0,02

Сравним  $H_c$  и  $B_s$  с табличными.

**Таблица 6.** Сверка с табличными значениями.

	Ампл.	Fe-Ni	Fe-Si	Феррит
эксп	$H_c$ , А/м	$47 \pm 6$	$320 \pm 20$	$132 \pm 11$
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