

# Работа 3.4.5

## Петля Гистерезиса

### (Динамический метод)

Гаврилин Илья Дмитриевич  
Б01-101

14 декабря 2022 г.

## 1 Аннотация

В работе изучили петлю Гистерезиса для различных материалов, изучили амплитудные и коэрцитивные и остаточные значения поля и индукции соответственно.

## 2 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

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

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  $U_{эф}$  на этих же клеммах делителя.

Далее по формуле

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

можно рассчитать чувствительность канала  $Y$ .

## Постоянная времени $RC$ -цепочки

Рассчитывается по формуле

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

## 3 Ход работы

### Характеристики установки

Подготовим установку согласно техническому описанию, соберем требуемую схему. Перед началом замеров запишем характеристики нанесенные на установку и образцы, результаты запишем в таблицу.

	Пермаллой	Кремнистое железо	Феррит 1000нн
$N_0$	20	25	42
$N_n$	300	250	400
$S, \text{ см}^2$	0.76	2	3
$2\pi R, \text{ см}$	13.3	11	25

Таблица 1: Характеристики образцов

$R_0, \text{ Ом}$	0,2
$R_n, \text{ кОм}$	20
$C_n, \text{ мкФ}$	20

Таблица 2: Характеристики экспериментальной установки

## Получение петли Гистерезиса

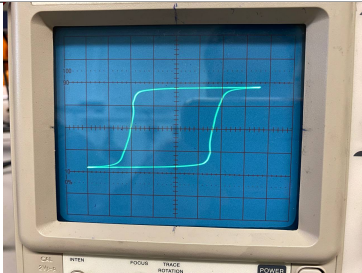
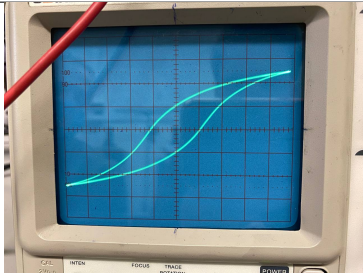
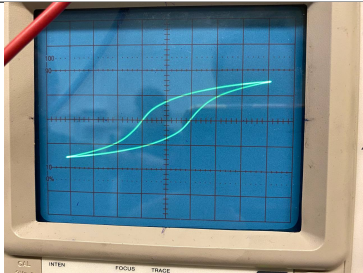
	Величина	$\sigma(x)$	Величина	$\sigma(x)$	Величина	$\sigma(x)$
	Пермаллой		Феррит 1000нн		Кремнистое железо	
Петля						
$I_{эф}$ , мА	171.8	0.9	277	0.2	588	1
$[2x(c)]$ , ед	7.2	0,2	4.2	0,2	4.8	0,2
$[2y(r)]$ , ед	3,6	0,2	4	0,2	3.8	0,2
$K_x$	0,01	0	0,01	0	0,02	0
$K_y$	0,05	0	0,01	0	0,02	0
$H$ , А/м	7.5	0,02	8.4	0,2	22.7	0,3
$H_c$ , А/м	27	3	17.6	0.6	54.5	2.1
$B_r$ , Тл/дел	0.877	0,011	0.033	0,004	0,16	0,012
$B$ , Тл	1.57	0,13	0.066	0.012	0,31	0,02

Таблица 3: Данные, полученные из петли гистерезиса

	пермаллой		феррит		железо	
	знач	$\sigma(x)$	знач	$\sigma(x)$	знач	$\sigma(x)$
$2x(s)$	7	0.2	9.6	0.2	8	0.2
$2y(s)$	3.6	0.2	5	0.2	3	0.2
$K_x$	0.02	0	0.02	0	0.05	0
$k_y$	0.05	0	0.02	0	0.05	0
$H$ , А/м дел	13.67	0.42	16.8	0.4	56.8	0.7
$H_s$ , А/м	47.85	0.2	80.64	0.41	227.2	0.8
$B$ , Тл/дел	0.877	0.011	0.067	0.011	0.4	0.05
$B_s$ , Тл	1.58	0.23	0.1675	0.011	0.6	0.06

Таблица 4: Значения поля и индукции, амплитудное

## Калибровка 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.

## Калибровка 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	$\sigma$	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

**Таблица 4.** Калибровка осей осциллографа.

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

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

**Таблица 5.** Измерение  $\tau$ .

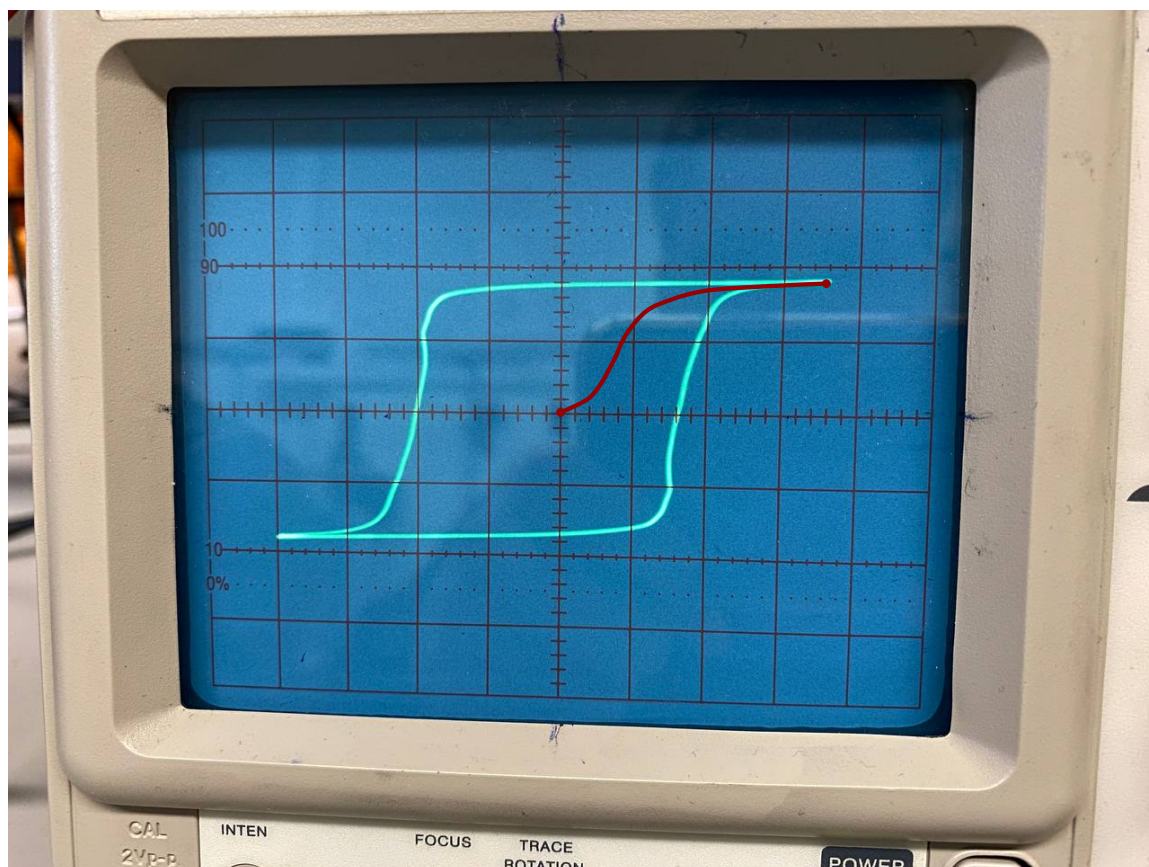


Рис. 1: Петля гистерезиса пермаллоя, с нанесенным участком убывания

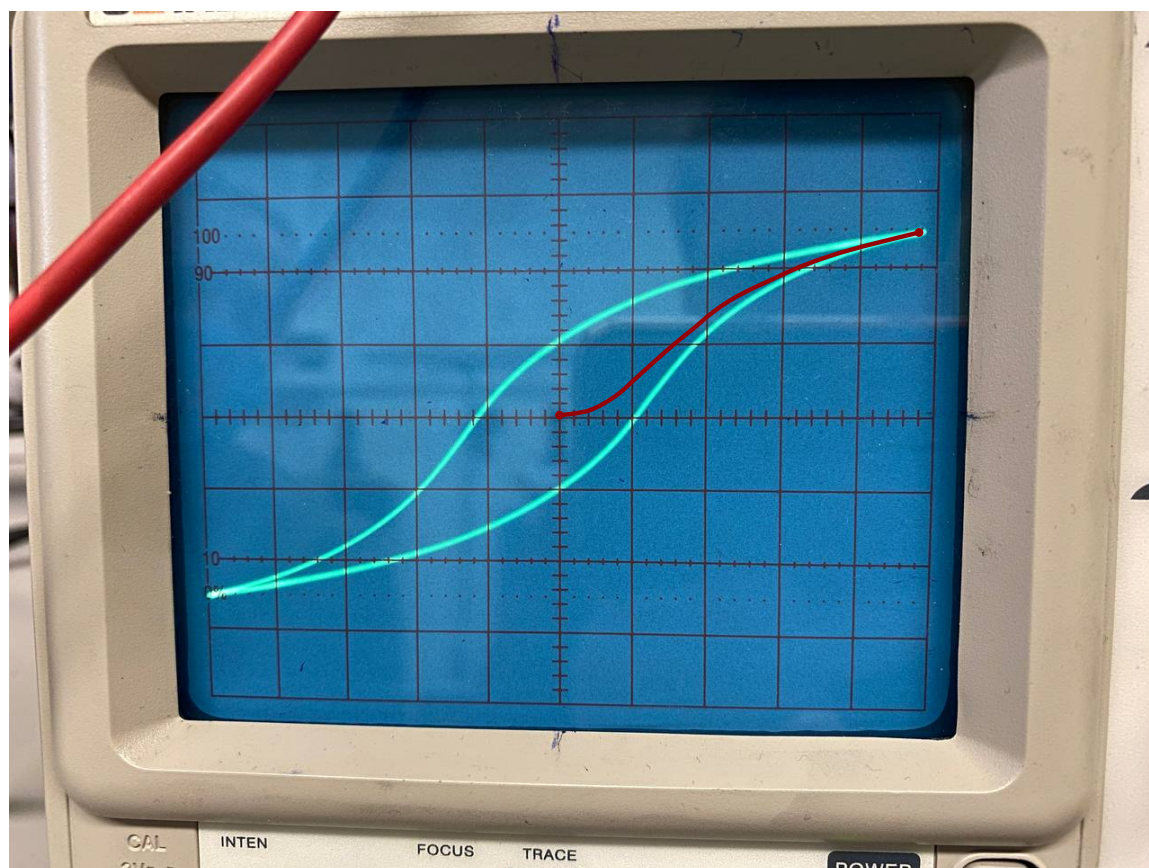


Рис. 2: Петля гистерезиса феррита, с нанесенным участком убывания



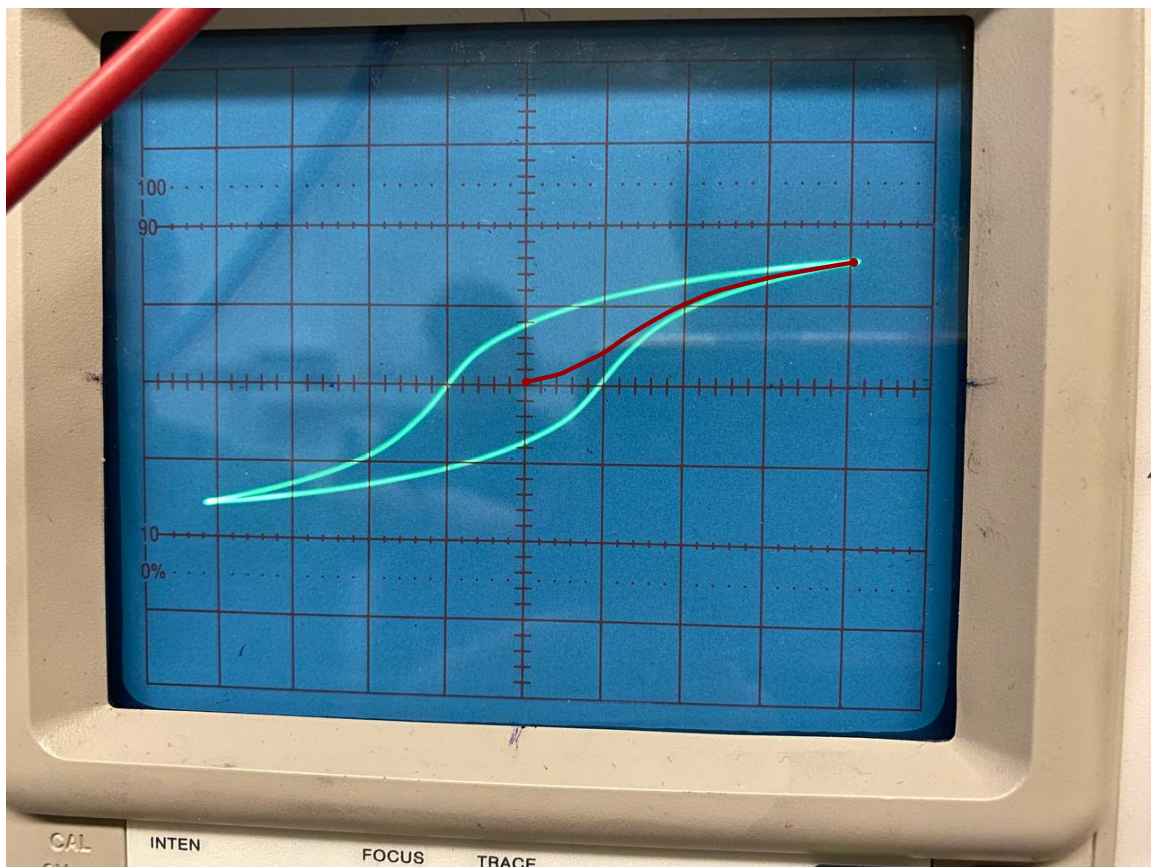


Рис. 3: Петля гистерезиса кремнистого железа, с нанесенным участком убывания

Замерить  $\mu$  для пермаллоя не представляется возможным, так как в процессе изменения напряжения контура петли Гистерезиса принимала совершенно различные формы не дающие возможности оценить значение.

Для феррита получаем:  $\mu_{\text{дифф}}/\mu_0 = 6 * 10^3$

Для кремнистого железа:  $\mu_{\text{дифф}}/\mu_0 = 8 * 10^3$

## 4 Выводы

- 1) Получили петли Гистерезиса для различных материалов.
- 2) Оценили дифференциальную магнитную проницаемость для феррита и кремнистого железа. табличные значения:

Для феррита:  $\mu_{\text{дифф}}/\mu_0 = 5 * 10^3$

Для кремнистого железа:  $\mu_{\text{дифф}}/\mu_0 = 6.3 * 10^3$

- 3) Получили значения близкие к табличным, однако судить о погрешности достаточно сложно ввиду взятия угла наклона по картинке построенной по изменению петли на экране осциллографа.