

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

ПЕТЛЯ ГИСТЕРЕЗИСА (ДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД)

Выполнил:
Деревянченко Михаил
Группа:
Б03-106

Долгопрудный, 2022

Оглавление

1. Аннотация.....	3
2. Теоретические сведения.....	4
3. Экспериментальная установка и методика измерений.....	7
4. Проведение измерений и обработка результатов.....	10
5. Обсуждение результатов.....	17

1. Аннотация

Целью данной работы являются:

1. Исследование предельных петель гистерезиса и начальных кривых намагничивания для нескольких ферромагнитных образцов
2. Определение магнитных характеристик материалов

2. Теоретические сведения

Ферромагнитные материалы часто применяются в трансформаторах, дросселях, машинах переменного тока, т.е. в устройствах, где они подвергаются периодическому перемагничиванию. Изучение магнитных характеристик ферромагнетиков в переменных полях представляет поэтому большой практический интерес. Основные характеристики ферромагнетиков — их коэрцитивная сила, магнитная проницаемость, мощность, рассеиваемая в виде тепла при перемагничивании, и т.д. — зависят от частоты перемагничивающего поля. В настоящей работе кривые гистерезиса ферромагнитных материалов изучаются в поле частоты 50Гц с помощью электронного осциллографа.

Измерение магнитной индукции в образцах

Магнитную индукцию удобно определять с помощью ЭДС, возникающей при изменении магнитного потока Φ в катушке, намотанной на образец:

$$E = \frac{-d\Phi}{dt}$$

Пусть катушка плотно охватывает образец, и индукция B в образце однородна. В этом случае

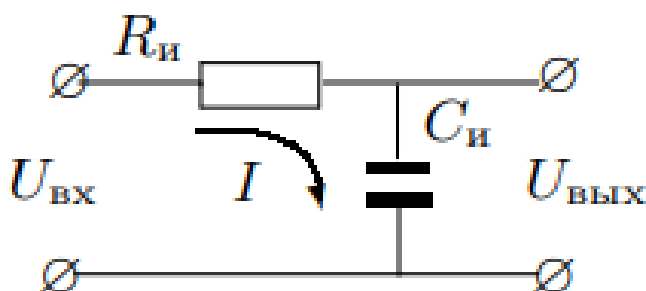
$$\Phi = BS N_u$$

где N_u — число витков в измерительной катушке, а S — площадь витка. Тогда

$$|B| = \frac{1}{S N_u} \int E dt$$

Таким образом, для определения B нужно проинтегрировать сигнал, наведённый меняющимся магнитным полем на измерительную катушку, намотанную на образец.

Для интегрирования сигнала применяют разного рода интегрирующие схемы. Простейшая из них состоит из соединённых



последовательно резистора R и конденсатора C и выполняет своё назначение, если сопротивление R резистора заметно превышает сопротивление конденсатора (если выходной сигнал много меньше входного: $U_{вых} \ll U_{вх}$). В самом деле, при выполнении этого условия ток в цепи пропорционален входному напряжению: $I \approx U_{вх}/R$, а напряжение на ёмкости C

$$U_{вых} = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int I dt \approx \frac{1}{RC} \int U_{вх} dt$$

Этот вывод тем ближе к истине, чем больше постоянная времени $\tau_i = RC$ превосходит характерное время процесса (например, его период). Для синусоидальных напряжений

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}}}{RC \Omega}$$

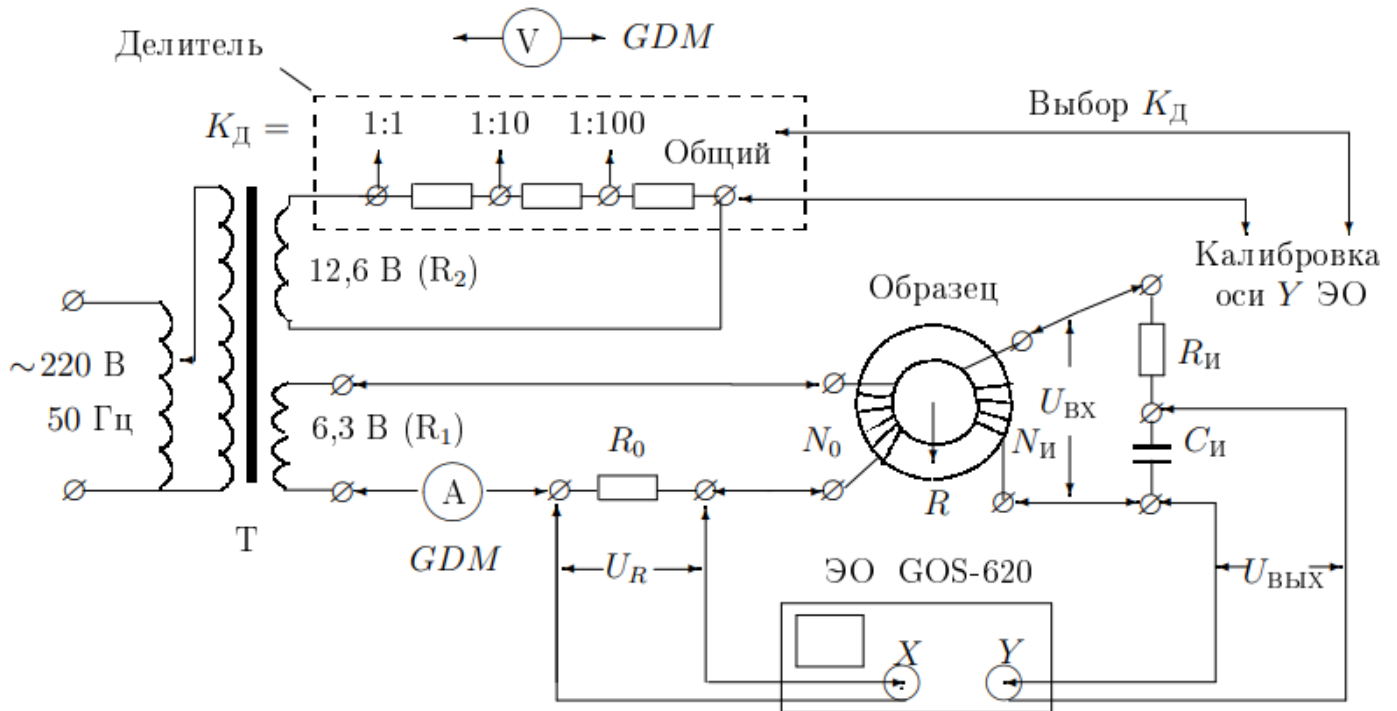
где Ω — частота сигнала.

В итоге:

$$|B| = \frac{1}{SN_u} \int E dt = \frac{1}{SN_u} \int U_{\text{вх}} dt = \frac{R_u C_u}{SN_u} U_{\text{вых}}$$

измерений

- Экспериментальная установка



- Напряжение сети (220 В, 50 Гц) с помощью регулировочного автотрансформатора Ат через разделительный понижающий трансформатор Тр подаётся на намагничивающую обмотку N0 исследуемого образца.

Действующее значение переменного ток a в обмотке N_0 измеряется амперметром A . Последовательно с амперметром включено сопротивление R_0 , напряжение с которого подаётся на вход X электронного осциллографа (ЭО). Это напряжение пропорционально току в обмотке N_0 , а следовательно, и напряжённости H магнитного поля в образце.

Для измерения магнитной индукции B с измерительной обмотки $N_{\text{и}}$ на вход RC-цепочки подаётся напряжение $U_{\text{и}}$ ($U_{\text{вх}}$), пропорциональное согласно (6) производной B' , а с интегрирующей ёмкости $C_{\text{и}}$ снимается напряжение $U_{\text{с}}$ ($U_{\text{вых}}$), пропорциональное величине B , и подаётся на вход Y осциллографа.

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 токи).

- Методика измерений:
 1. Проверка калибровки канала X
 2. Проверка калибровки канала Y
 3. Измерение параметров интегрирующей цепочки

4. Проведение измерений и обработка результатов

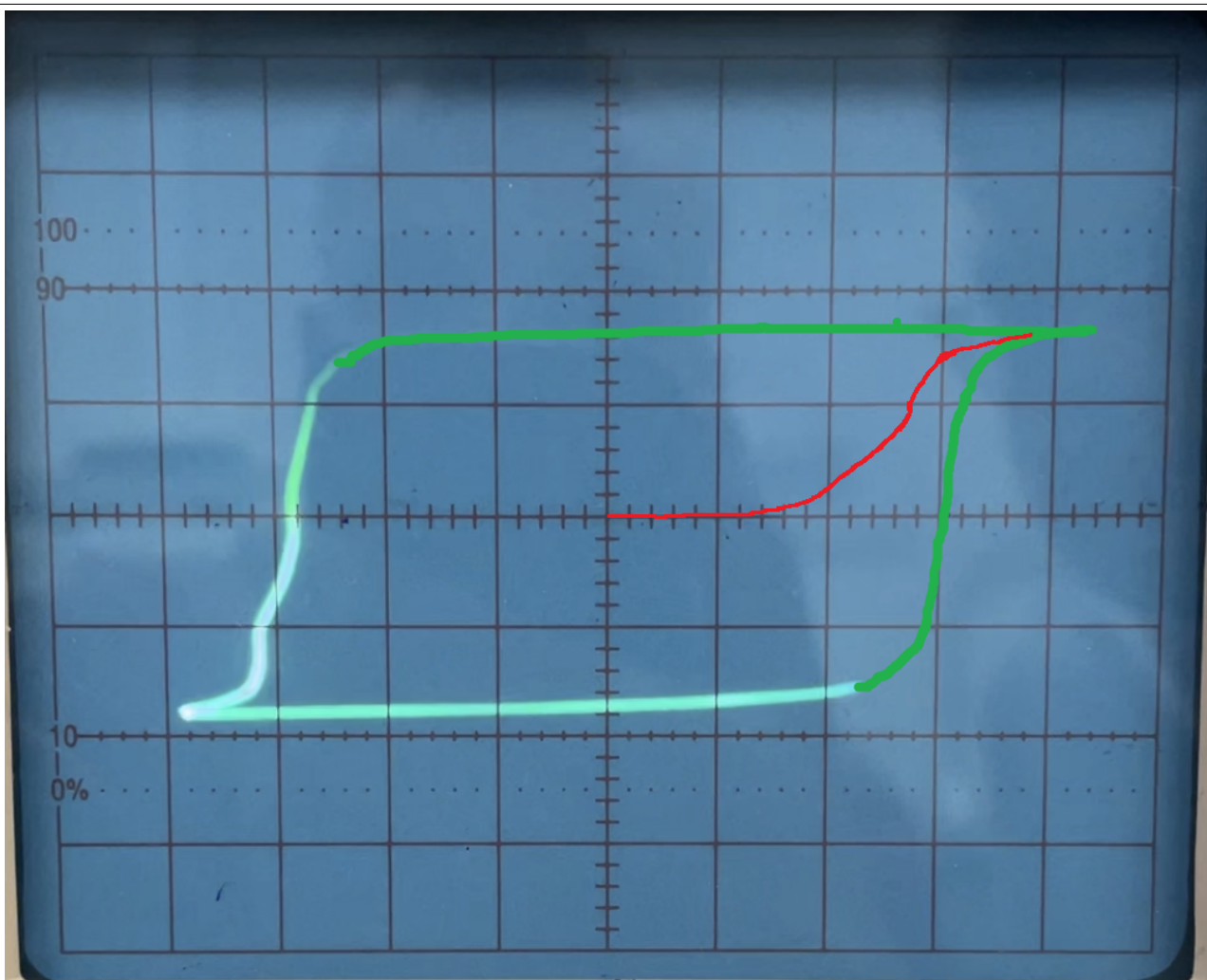
0. Параметры материалов

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

1. Измерение петли гистерезиса

$$H = \frac{I N_0}{2 \pi R} = \frac{\frac{K_x}{R_0} N_0}{2 \pi R} \quad B = \frac{R_u C_u}{S N_u} K_y$$

Пермаллой



$K_x, \text{ мВ}$

$K_y, \text{ мВ}$

$I_{\text{эф}}, \text{ мА}$

$2X_s$

$2Y_s$

$2X_c$

$2Y_r$

10

50

148

41

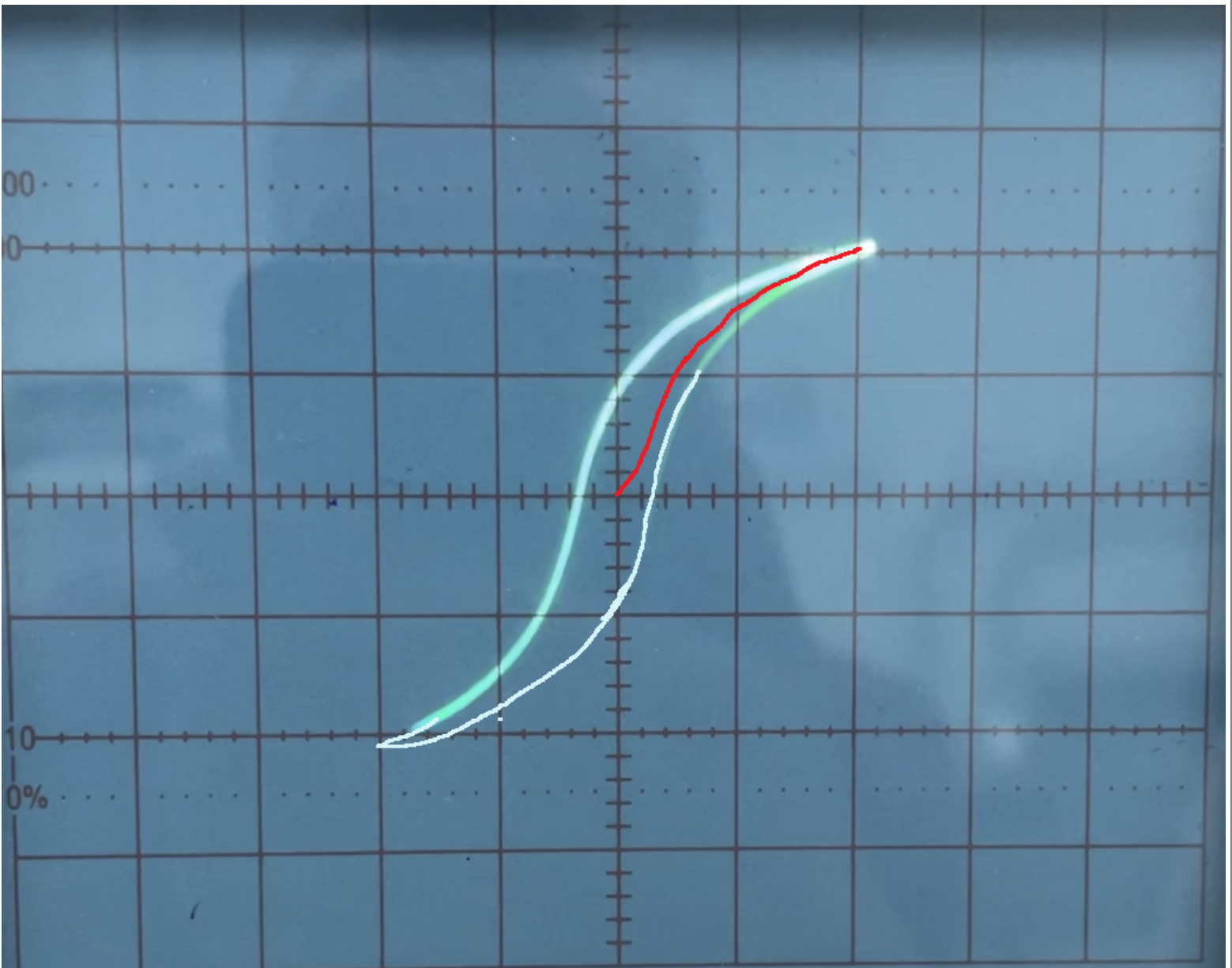
17

29

16

$H=6.9 \text{ А/м} \quad B=0.87 \text{ Тл}$

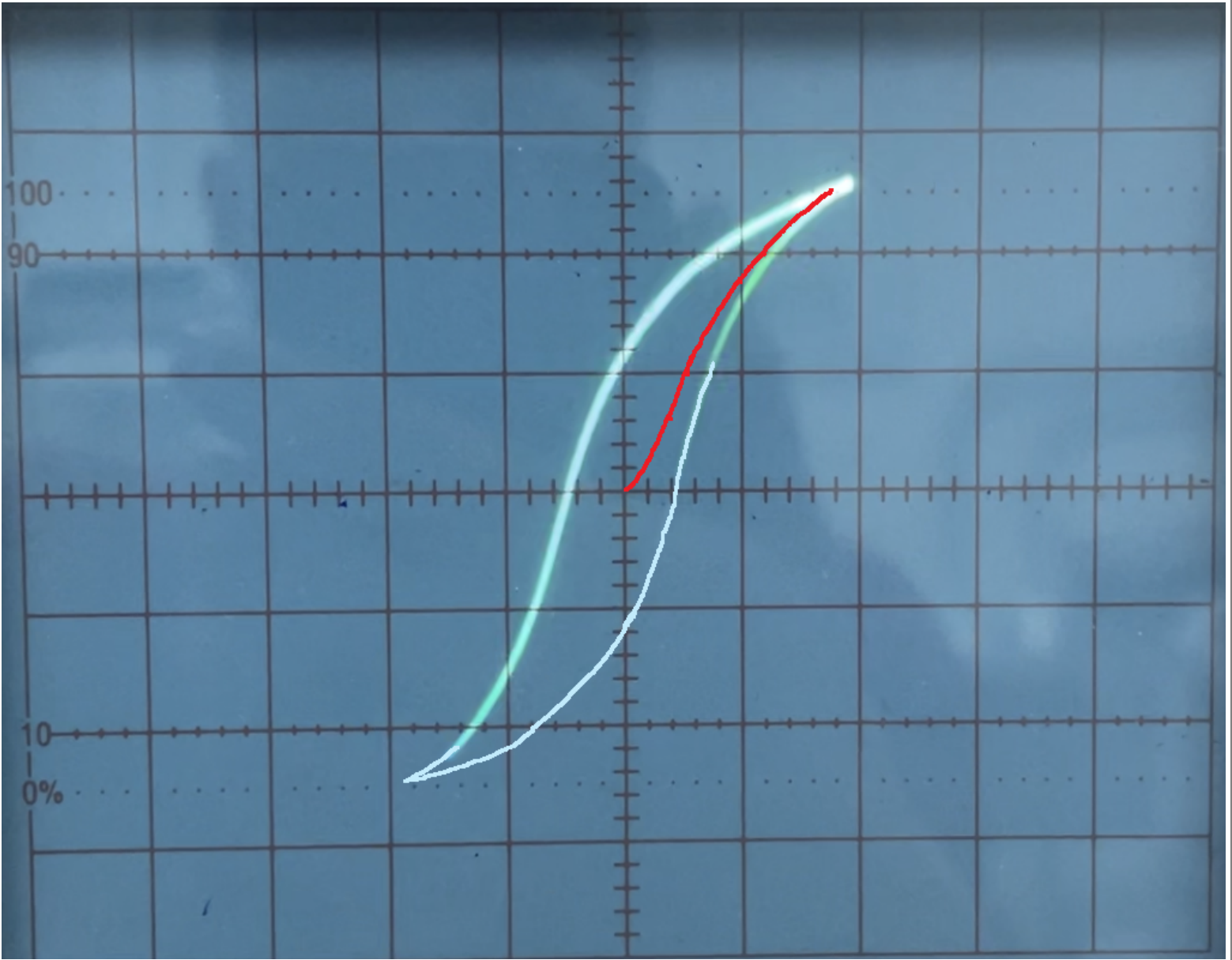
Кремниевое железо



$K_x, \text{ мВ}$	$K_y, \text{ мВ}$	$I_{\text{эф}}, \text{ мА}$	$2X_s$	$2Y_s$	$2X_c$	$2Y_r$
100	50	1970	21	21	3	9

$H=103.3 \text{ A/м} \quad B=0.4 \text{ Тл}$

Феррит



$K_x, \text{ мВ}$	$K_y, \text{ мВ}$	$I_{\phi}, \text{ мА}$	$2X_s$	$2Y_s$	$2X_c$	$2Y_r$
50	20	498	20	26	4	12

$H=38.2 \text{ A/м} \quad B=0.06 \text{ Тл}$

2. Калибровка

Канал X				
K_x , мВ	$I_{эф}$, А	R_0 , Ом	2х	$K_x = 2 R_0 \sqrt{2} I_{эф} / 2x \text{ мВ/дел}$
50	0.79	0.22	10	49.7
100	1.64			100.4
10	0.161			99.8

Канал Y				
K_y , мВ	$U_{эф}$, мВ	R_0 , Ом	2у	$K_y = 2 \sqrt{2} U_{эф} / (2y) \text{ мВ/дел}$
20	56	0.22	10	19.7
50	134			50.4

3. Определение постоянной времени интегрирующей ячейки

Вход			Выход			
K_y	2у	$U_{вх}$	K_y	2у	$U_{вых}$	ν , Гц
5В	4	20В	20мВ	7.6	152мВ	50

$$\tau_{\text{эксн}} = \frac{U_{\text{вх}}}{2 \pi \nu U_{\text{вых}}} = 0.42 \text{ с} \quad \tau_{\text{теор}} = R_u C_u = 0.4 \text{ с}$$

4. Обработка результатов

	Пермаллой	Кремниевое железо	Феррит
$H_s, \text{ А/м}$	30.36	413.2	76.4
$B_s, \text{ Тл}$	1.4	1.6	0.3
$H_c, \text{ А/м}$	20.7	62.0	15.28
$B_r, \text{ Тл}$	1.4	0.8	0.07
$\mu_{\text{нач}}, \text{ Тл*м/А}$	-	$4.8 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
$\mu_{\text{max}}, \text{ Тл*м/А}$	0.15	$11.1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$