

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.4.5

## **Петля гистерезиса**

Б03-102

Куланов Александр

Долгопрудный, 2022 г.

- **Цель работы:** изучение петель гистерезиса различных ферромагнитных материалов в переменных полях.
- **В работе используются:** автотрансформатор, понижающий трансформатор, интегрирующая цепочка, амперметр, вольтметр, электронный осциллограф, делитель напряжения, тороидальные образцы с двумя обмотками.

## 1 Экспериментальная установка

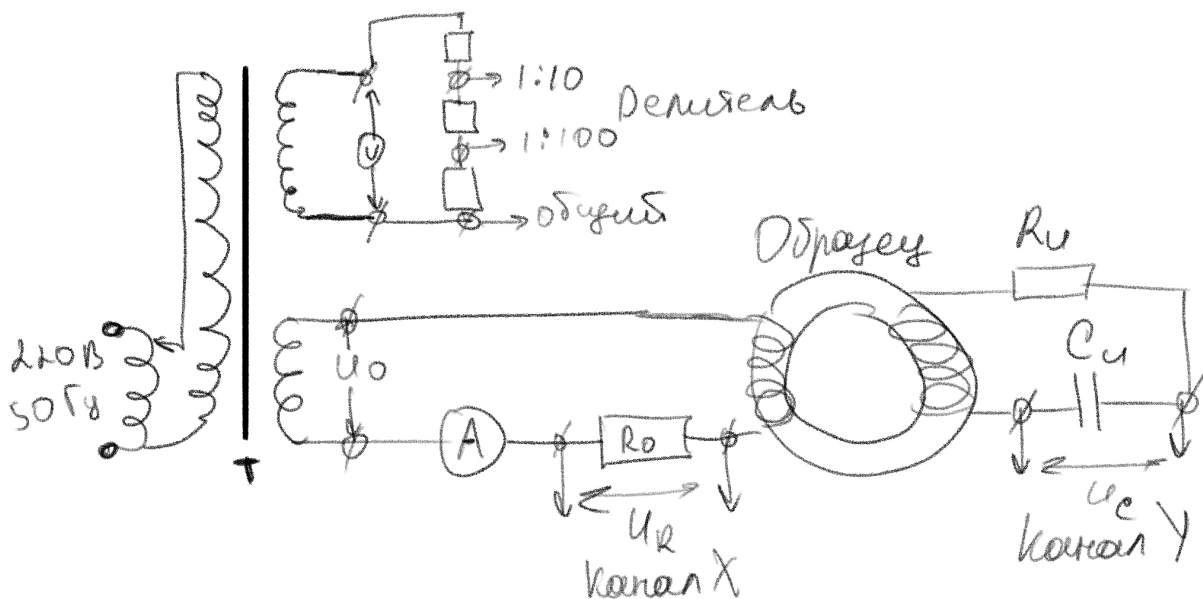


Рис. 1: Схема установки

Схема установки представлена на рисунке 1. Напряжение сети (220 В, 50 Гц) с помощью трансформаторного блока Т, состоящего из регулировочного автотрансформатора и разделительного понижающего трансформатора, подаётся на намагничивающую обмотку  $N_0$  исследуемого образца. В цепь намагничивающей катушки, на которую подаётся некоторое напряжение  $V_0$ , последовательно включено сопротивление  $R_0$ . Напряжение на  $R_0$ , равное  $U_R = R_0 I_0$ , где  $I_0$  - ток в намагничивающей обмотке  $N_0$ , подаётся на канал X осциллографа. Связь напряжённости  $H$  в образце и тока  $I_0$  рассчитывается по теореме о циркуляции. Действующее значение переменного тока в обмотке  $N_0$  измеряется амперметром А.

Для измерения магнитной индукции  $B$  с измерительной обмоткой  $N_{\text{вх}}$ , пропорциональное производной  $dB/dt$ . С интегрирующей ёмкости  $C_{\text{и}}$  снимается напряжение  $U_{\text{вых}}$ , пропорциональное величине  $B$ , и подается на вход Y осциллографа. Значение индукции поля  $B$  рассчитывается по формуле 1

$$|B| = \frac{1}{SN} \int U_{\text{вх}} dt = \frac{\tau_{\text{и}}}{SN} U_{\text{вых}}, \quad (1)$$

где  $\tau_{и} = R_{и}C_{и}$  — постоянная времени  $RC$ -цепочки. Замкнутая кривая, возникающая на экране осциллографа, воспроизводит в масштабе петлю гистерезиса, который выбирается вручную.

## 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. Связь между индукцией и напряженностью поля типичного ферромагнетика иллюстрирует рисунок 2.

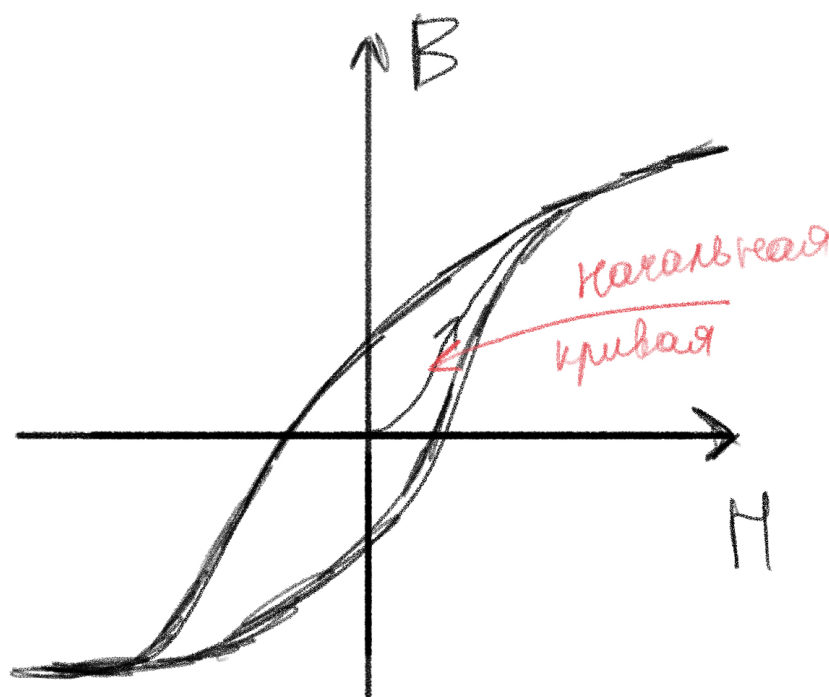


Рис. 2: Петля гистерезиса

## 3 Обработка результатов

Занесем характеристики образцов в таблицу 1:

Материал	$N_0$	$N_u$	$S$ , см	$2\pi R$ , см
FeNi	35	220	3,8	24
FeSi	40	400	1,2	10
Ferrit	40	400	3	25

Таблица 1: Характеристики образцов

Для каждого из трех образцов будем подбирать коэффициенты усиления на осциллографе так, чтобы предельная петля занимала большую часть экрана. Занесем в таблицу 2 полные высоты предельной петли  $2X_s, 2Y_s$ , соответствующие удвоенной амплитуде колебания напряженности  $H_s$  и индукции  $B_s$ , а так же двойные амплитуды коэрцитивного поля и остаточной индукции:

Материал	$2X_s$	$2Y_s$	$2X_c$	$2Y_r$
FeNi	5,2	4,6	2,4	4,4
FeSi	8,4	5	1	2
Ferrit	7,6	2	0,8	2,4

Таблица 2: Характеристики предельной петли

Затем по формулам 2 и 3

$$H = \frac{IR_0}{2\pi R} \quad (2)$$

$$B = \frac{R_{\text{и}} C_{\text{и}} U_{\text{вых}}}{SN_{\text{и}}} \quad (3)$$

рассчитаем цену деления по каждой из осей для каждого образца. Результаты занесем в таблицу 3

Материал	H, А/м/дел	B, Тл/дел
FeNi	24,3	0,48
FeSi	133,3	0,83
Ferrit	10,7	0,07

Таблица 3: Цены деления

Теперь, зная цену деления можем найти двойные амплитудные значения предельной напряженности и индукции, а так же двойные амплитуды коэрцитивного поля и остаточной индукции:

Материал	2H, А/м	€	2B, Тл	€
FeNi	126.36	0.10	2.20	0.11
FeSi	1119.72	0.06	4.15	0.10
Ferrit	81.32	0.07	0.14	0.24

Таблица 4: Амплитудные значения

Материал	$2H_c$ , А/м	€	$2B_s$ , Тл	€
FeNi	58.32	0.21	2.11	0.11
FeSi	133.30	0.50	1.66	0.25
Ferrit	8.56	0.62	168.00	0.20

Таблица 5: Амплитудные значения коэрц. поля и ост. индукции

Для сравнения приведем табличные данные:

Материал	$H_c$ , А/м	$B_s$ , Тл
FeNi	11–40	1,51
Fesi	50–100	1,21
Ferrit	20	0,27

Таблица 6: Табличные данные

## 4 Приложение

Графики начальных кривых намагничивания:

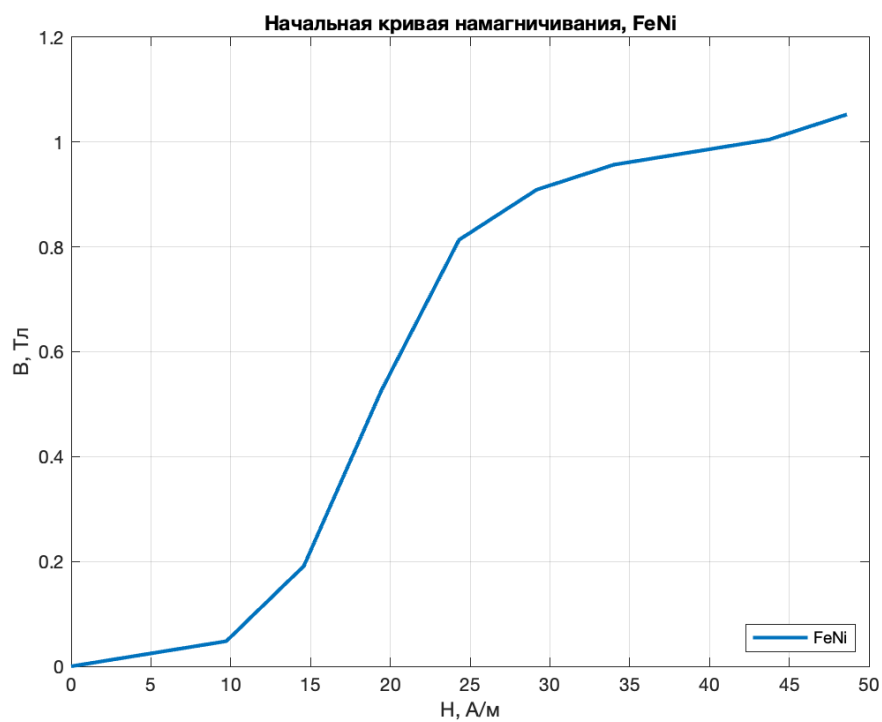


Рис. 3: Начальная кривая FeNi

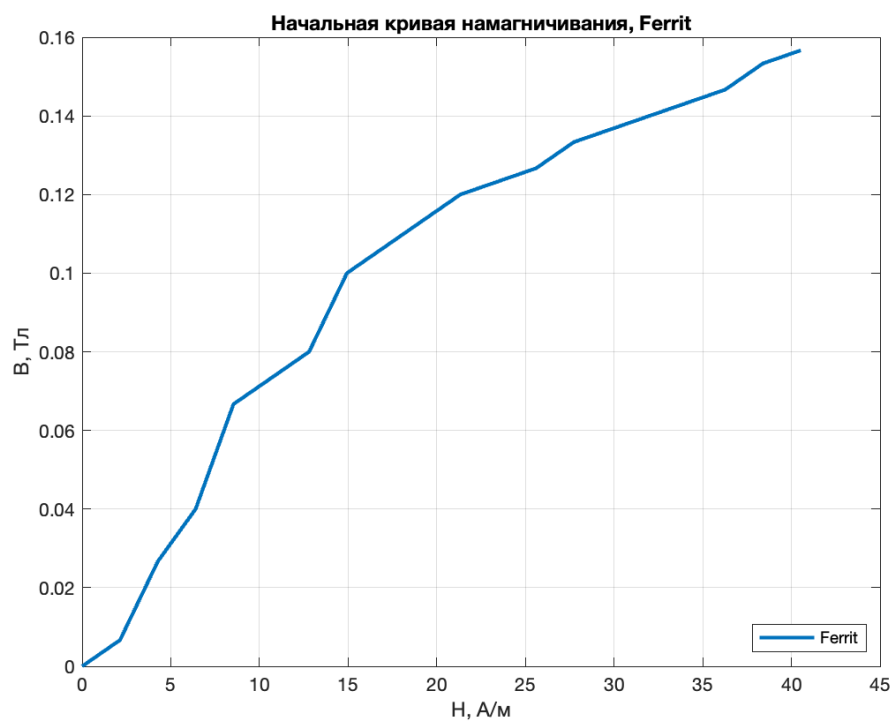


Рис. 4: Начальная кривая Ferrit

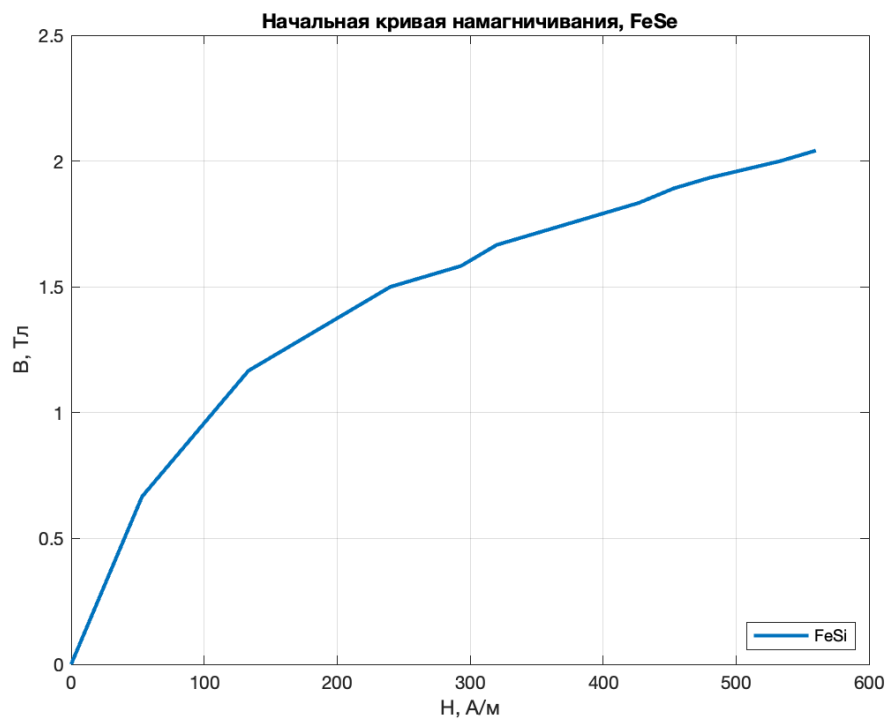


Рис. 5: Начальная кривая FeSi