

## Работа 3.4.5

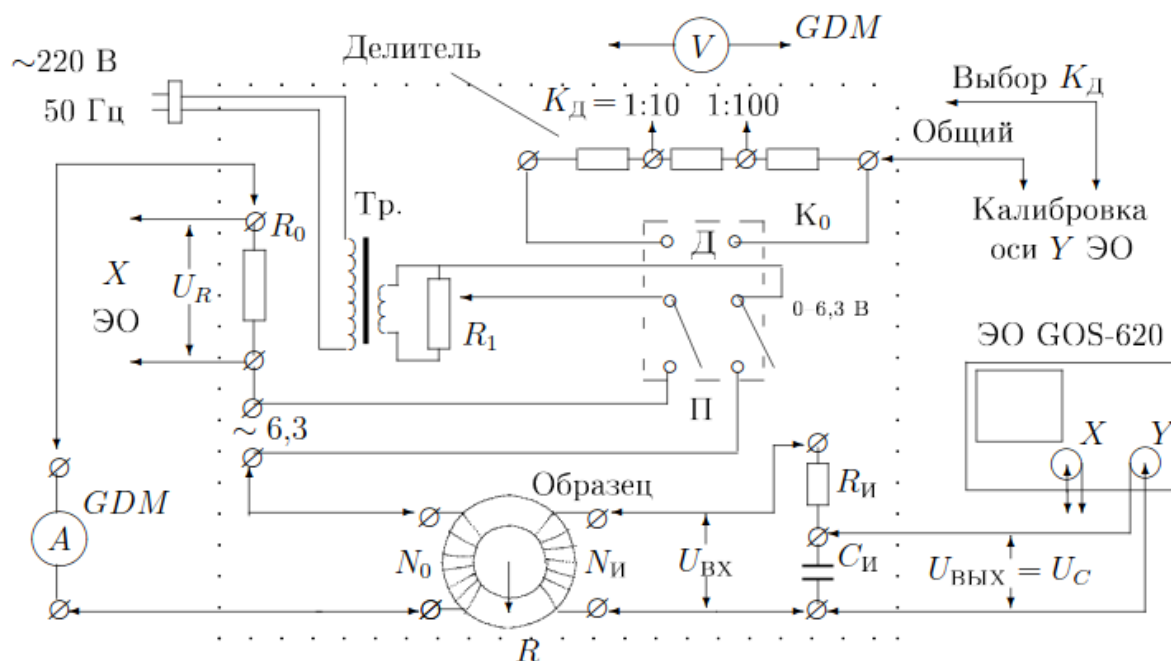
### Петля гистерезиса (динамический метод)

Киркича Андрей, Б01-202, МФТИ

### Экспериментальная установка

**В работе используются:** понижающий трансформатор, реостат, резистор, интегрирующая цепочка, амперметр и вольтметр (мультиметры), электронный осциллограф, делитель напряжения, переключатель, тороидальные образцы с двумя обмотками.

Схема установки представлена ниже. Напряжение сети через разделительный понижающий трансформатор Тр. подаётся на намагничивающую обмотку  $N_0$  образца. Значение тока в обмотке измеряется амперметром А, с ним последовательно подключено сопротивление  $R_0$ , напряжение с которого подаётся на вход Х электронного осциллографа ЭО. Это напряжение пропорционально току в обмотке  $N_0$ , а значит и напряжённости магнитного поля  $H$  в образце.



Для измерения магнитной индукции  $B$  с измерительной обмотки  $N_{II}$  на вход интегрирующей RC-цепочки подаётся напряжение  $U_{ВХ}$ , пропорциональное производной  $\frac{dB}{dt}$ , а с выхода снимается напряжение  $U_{ВЫХ} = U_C$ , пропорциональное величине  $B$ , и подаётся на вход  $Y$  электронного осциллографа.

# Обработка результатов измерений

## Изучение петель гистерезиса

С помощью автотрансформатора были подобраны коэффициенты усиления осциллографа и ток питания в намагничивающей обмотке таким образом, чтобы предельная петля гистерезиса занимала большую часть экрана. Характеристики катушек разных материалов представлены в таблице ниже.

Материал	$N_0$	$N_{\text{и}}$	$S, \text{ см}^2$	$2\pi R, \text{ см}$
Феррит	40	400	3,0	25,0
Пермаллой	20	300	0,8	13,3
Крем. железо	25	250	2,0	11,0

Для каждого образца мы получили передельные петли гистерезиса, по коэффициентам усиления  $K_x$  и  $K_y$  рассчитали масштабы, определили двойные амплитуды коэрцитивной

силы  $[2x(c)]$  и индукции насыщения  $[2y(s)]$ . Масштабы по осям  $X$  и  $Y$  рассчитаны по формулам:

$$H = IN_0/(2\pi R), \quad B = R_{\text{и}}C_{\text{и}}U_{\text{вых}}/(SN_{\text{и}}),$$

где  $I = K_x/R_0$ ,  $U_{\text{вых}} = K_y$ . Результаты измерений и вычислений представлены в таблице ниже.

Материал	$[2x(c)], \text{ дел}$	$[2y(s)], \text{ дел}$	$K_x, \frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$	$K_y, \frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$	$I_{\text{эфф}}, \text{ мА}$	$H, \frac{\text{А}\cdot\text{м}^{-1}}{\text{дел}}$	$B, \frac{\text{Тл}}{\text{дел}}$
Феррит	1,0	4,8	20	20	215	14,5	0,07
Пермаллой	3,6	3,6	20	50	165	13,7	0,88
Крем. железо	1,2	4,4	100	50	238	103,3	0,40

Материал	$H_c, \text{ А/м}$	$B_s, \text{ Тл}$	$H_c^{\text{теор}}, \text{ А/м}$	$B_s^{\text{теор}}, \text{ Тл}$
Феррит	$7,3 \pm 0,8$	$0,16 \pm 0,01$	20	0,27
Пермаллой	$24,6 \pm 2,2$	$1,58 \pm 0,13$	11–40	1,51
Крем. железо	$62,0 \pm 7,3$	$0,88 \pm 0,06$	50–100	1,21

Зная масштабы по осям, можно определить значения коэрцитивной силы  $H_c$  и индукции насыщения  $B_s$ . Сравни-

вая полученные данные с табличными можно утверждать, что они совпадают, по крайней мере, по порядку величины. Ниже приведены фотографии предельных петель гистерезиса.

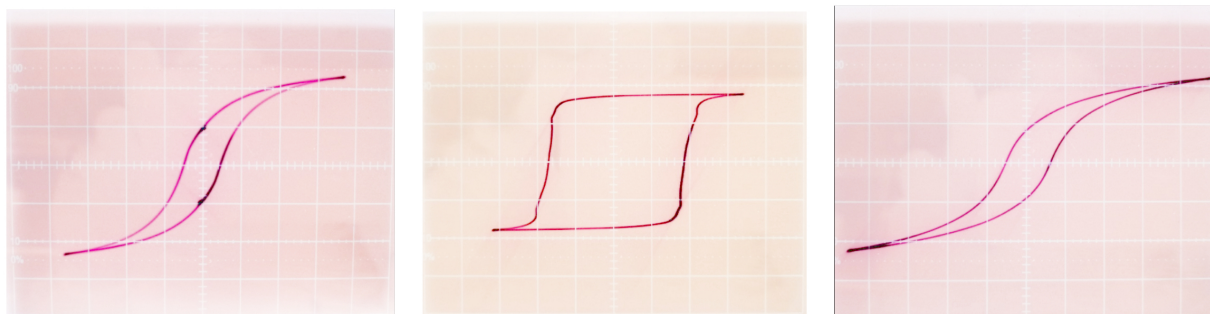


Рис. 1: Предельные петли гистерезиса феррита, пермаллоя и кремнистого железа (слева направо)

## Проверка калибровки осциллографа

Была проверена калибровка осциллографа по оси  $X$ . Для этого мы отключили намагничивающую обмотку  $N_0$  от цепи, соединив оба провода, идущих к обмотке, на одной ее клемме. С помощью автотрансформатора был подобран такой ток через  $R_0$ , при котором горизонтальная прямая занимала большую часть экрана. При  $K_x = 0,1$  В/дел была рассчитана чувствительность  $m_x = 0,097$  В/дел, аналогичные действия были проведены при  $K_x = 0,02$  В/дел. Получили  $m_x = 0,019$  В/дел.

Так как  $m_x \approx K_x$ , осциллограф откалиброван по оси  $X$  корректно.

Также нужно было проверить калибровку по оси  $Y$ . Для этого мы соединили вход  $Y$  с клеммами делителя "1:100 - земля". Не меняя рабочего коэффициента  $K_y = 0,05$  В/дел, подбрали с помощью трансформатора напряжение, при котором вертикальная прямая занимала большую часть экрана. Подключив вольтметр  $V$  к тем же клеммам делителя и используя измеренное  $U_{эф}$ , рассчитали чувствительность  $m_y = 0,048$  В/дел, те же действия повторили при  $K_y = 0,02$  В/дел. Получили  $m_y = 0,017$  В/дел.

Так как  $m_y \approx K_y$ , осциллограф откалиброван по оси  $Y$  корректно.

## Заключение

В ходе выполнения данной лабораторной работы были исследованы петли гистерезиса для трех различных образцов и получены характерные величины для каждого образца, которые сошлись с табличными значениями по порядку величины. Кроме того, была проверена применимость используемого метода в условиях нашего эксперимента. В итоге было установлено, что условия применимости выполняются и метод является неплохим способом определения характерных параметров для ферромагнитных материалов.

## Список литературы

1. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Том 3. Электричество и магнетизм, 2004
2. *Кириченко Н.А.* Электричество и магнетизм, 2011
3. *Максимычев А.В., Никулин М.Г.* Лабораторный практикум по общей физике. Том 2. Электричество и магнетизм.