

Методические указания к лабораторной работе № 4

Снятие основных кривых намагничивания и петель гистерезиса ферромагнитных и ферримагнитных материалов

Цель работы; Целью работы является изучение магнитных свойств, исследование с помощью осциллографа процессов намагничивания и размагничивания, экспериментальное получение основной кривой намагничивания магнитных материалов и построение зависимости магнитной проницаемости материала от напряженности магнитного поля.

Методы измерений

Основной характеристикой магнитного материала является петля гистерезиса. Существует два метода снятия петли гистерезиса магнетиков - статический и динамический. **Статический** метод позволяет исследовать кривые намагничивания с помощью баллистического гальванометра.

Динамический метод позволяет произвести измерение магнитной индукции в образцах. Магнитную индукцию удобно определять с помощью ЭДС, возникающей при изменении магнитного потока Φ в катушке, намотанной на образец. В соответствии с законом электромагнитной индукции значение ЭДС – «Е» пропорционально скорости изменения магнитного потока « Φ »:

$$E = - \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (1)$$

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

$$\Phi = B S N_2, \quad (2)$$

где N_2 число витков в измерительной катушке, а S площадь витка.

Подставляя это значение Φ в формулу (1), после интегрирования найдём

$$|B| = \frac{1}{S N_2} \int E \partial t \quad (3)$$

Таким образом, для определения B нужно проинтегрировать ЭДС, наведённую меняющимся магнитным полем в измерительной катушке, намотанной на магнитопровод из исследуемого магнитного материала.

Для интегрирования сигнала применяют разного рода интегрирующие схемы. Простейшая из них состоит из соединённых последовательно резистора R и конденсатора C (рис. 1). Схема выполняет своё назначение, если сопротивление R резистора заметно превышает ёмкостное сопротивление конденсатора (если выходной сигнал много меньше входного). При выполнении этого условия ток в цепи пропорционален входному напряжению, а напряжение на ёмкости C :

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{RC} \int U_{\text{вх}} dt \quad (4)$$

Этот вывод тем ближе к истине, чем меньше характерное время процесса (например, его период) по сравнению с постоянной времени $\tau = RC$.

Обозначив параметры интегрирующей ячейки через R и C , выразим индукцию B с помощью формул (3) и (4) через

$$|B| = \frac{RC}{SN_2} U_{\text{вых}} \quad (5)$$

Описание лабораторной установки. Применяемая в работе схема приведена на рис. 1.

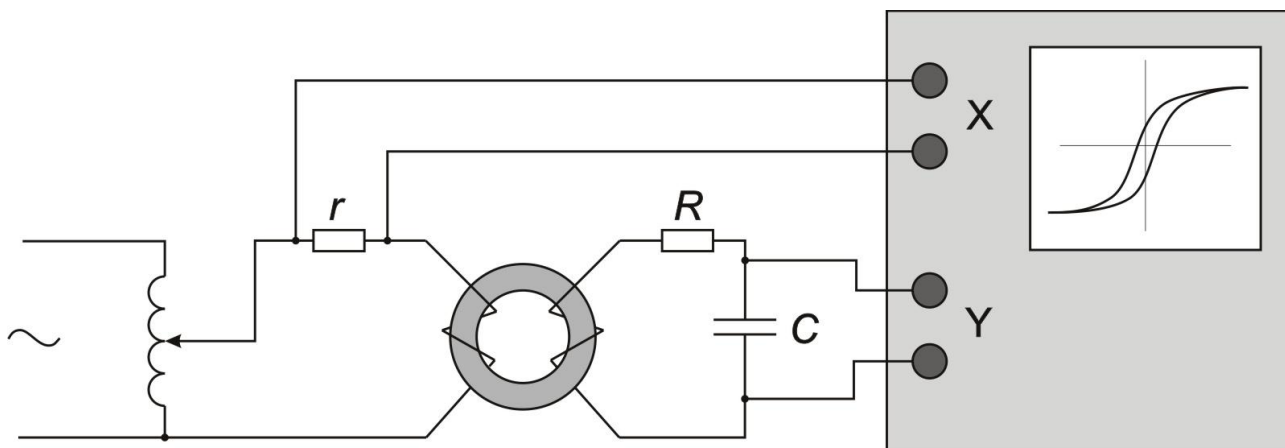


Рис. 1. Схема лабораторной установки.

r – шунт для измерения тока (напряжённости магнитного поля),

R, C – сопротивление и ёмкость интегрирующей цепочки,

X, Y – входы осциллографа, соответствующие осям координат.

Подлежащий исследованию сердечник из магнитного материала снабжается намагничивающей и измерительной обмотками. Необходимое значение намагничивающего тока устанавливается регулятором. Напряжение с шунта r , установленного в цепи тока намагничивания, подается на пластины горизонтального отклонения электронного осциллографа; отклонение луча по горизонтали в каждый данный момент будет пропорционально намагничивающему току и соответственно напряженности поля H . Благодаря интегрирующей цепочке RC мгновенное значение падения напряжения на конденсаторе C пропорционально мгновенному значению индукции в образце. Это напряжение подается на пластины вертикального отклонения осциллографа, и на экране получается изображение кривой гистерезисного цикла.

В работе исследуются магнитопроводы двух трансформаторов. Трансформатор $T1$ имеет магнитопровод из листов горячекатаной электротехнической стали. Трансформатор $T2$ имеет кольцевой магнитопровод из феррита. В таблице 1 приведены параметры магнитопроводов и катушек этих трансформаторов.

Параметры трансформаторов с исследуемыми магнитопроводами

	Трансформатор Т1	Трансформатор Т2
Материал магнитопровода	Электротехническая сталь	Феррит маргацево-цинковый
Размеры магнитопровода	высота 56 мм	диаметр внешний 28 мм
	ширина 64 мм	Диаметр внутренний 16 мм
	толщина 24 мм	толщина 9 мм
	ширина сердечника 16 мм	
Сечение магнитопровода	$S=384 \text{ мм}^2$	$S=54 \text{ мм}^2$
Длина магнитной линии	$l=152 \text{ мм}$	$l=69 \text{ мм}$
Число витков	$N_1 = 180, N_2 = 1980$	$N_1 = 10, N_2 = 33$
Параметры RC-цепочки	$R = 100 \text{ кОм}, C = 4 \text{ мкФ}$	$R = 4,7 \text{ кОм}, C = 0,075 \text{ мкФ}$
Частота измерения	50 Гц	5 кГц
Сопротивление шунта r	10,2 Ом	10,2 Ом

На панели установки размещены (рис. 2):

Исследуемые образцы 6, осциллограф 1, регулятор тока в первичной обмотке трансформатора 2, переключатель объектов измерения 3, , тумблеры «Питание генератора» 4 и «Сеть» 5.

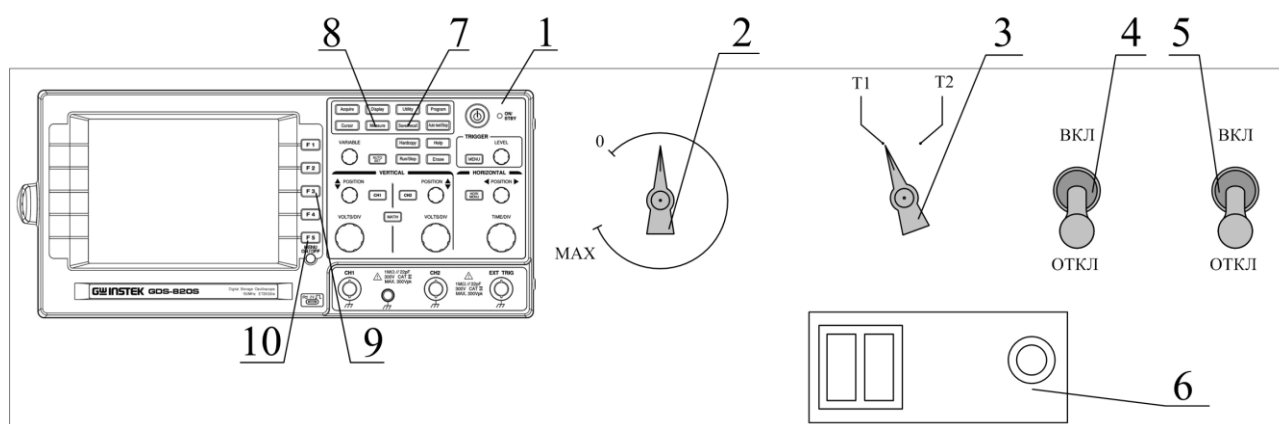


Рис. 2 Панель установки для исследования магнитных материалов

Методические указания.

В начале измерений необходимо убедиться в нулевом положении регулятора тока 2. Затем включается питание установки тумблером «Сеть» 5 и

Целебровский Ю.В., Черненко Н.А. Электротехническое материаловедение. НГТУ, 2018
включается питание осциллографа кнопкой, расположенной на панели осциллографа 1. В исходном положении экран включённого осциллографа показан на рис. 3.

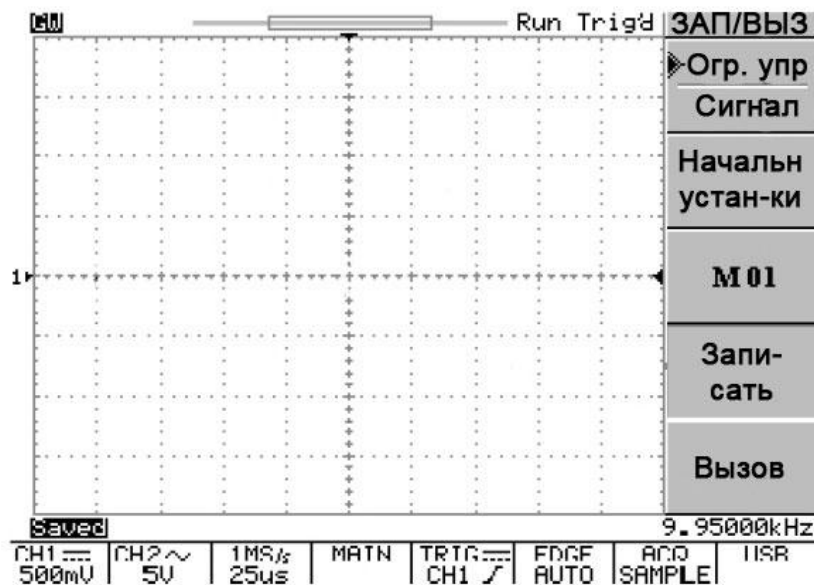


Рис 3. Исходное положение экрана осциллографа

Включается питание генератора тумблером «Питание генератора» 4 и переключателем 3 выбирается исследуемый образец (Т1 или Т2). Для каждого образца необходимо произвести переключения в осциллографе.

В положении переключателя 3 «Т1»:

- нажать кнопку **ЗАП/ВЫЗ** на осциллографе
- выбрать ячейку памяти «M1» последовательным нажатием кнопки F3 (поз. 9 на рис. 2);
- нажать кнопку «Вызов» (поз. 10 на рис. 2);
- нажать кнопку «Измерения» на осциллографе (поз. 8 на рис. 2).

После проведения этих операций в правой части экрана появятся окна измеряемых напряжений (см. рис. 4). При измерениях регистрируются амплитуды сигналов в вольтах - V_{amp} , отображаемые в верхней клетке правой части экрана: 1-амплитуда по оси «х» - U_x , 2- амплитуда по оси «у» - U_y . Этим амплитудам соответствуют координаты конечной точки петли гистерезиса (см. рис. 4)

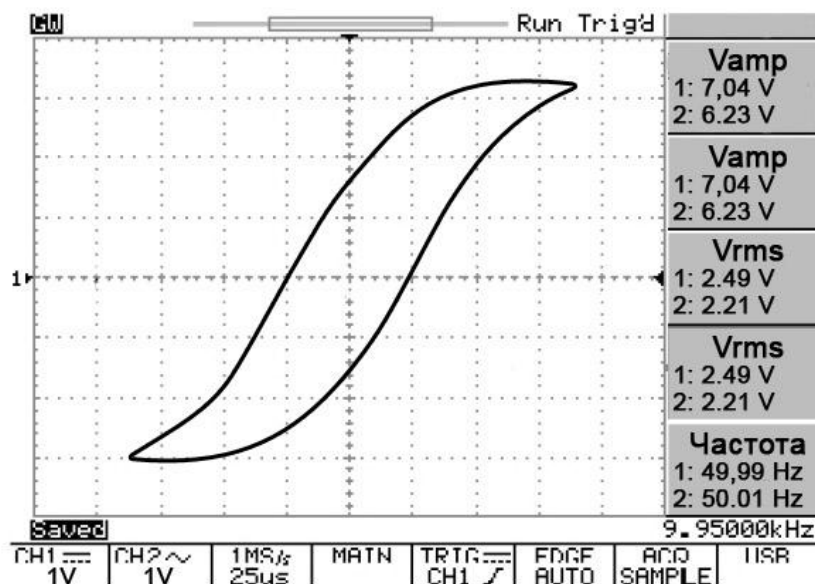


Рис. 4 Экран осциллографа при измерениях

При включённом генераторе и нулевом положении регулятора тока в центре экрана осциллографа светится точка. При этом в верхней клетке правой части экрана значения напряжений по обеим осям равны нулю. При увеличении тока с помощью регулятора 3 на экране появляется петля гистерезиса. Необходимо выставить такое положение регулятора, при котором значения напряжений минимальны, но не равны нулю. Эти напряжения записываются как первый результат.

В работе следует снять не менее 10 показаний, постепенно увеличивая ток в первичной обмотке трансформатора. При этом большее количество точек должно приходиться на начальные петли гистерезиса (3-4 точки) и на область насыщения. При последнем измерении надо зарисовать предельную петлю гистерезиса.

Напряженность поля, магнитная индукция в сердечнике и магнитная проницаемость материала рассчитываются по формулам:

$$H = \frac{N_1}{rl} \cdot \frac{U_x}{2} \quad B = \frac{RC}{N_2 S} \cdot \frac{U_y}{2} \quad B = \mu \mu_0 H$$

По полученным данным необходимо построить основную кривую намагничивания и зависимость $\mu(H)$. Отметить на рисунке с предельной петлей гистерезиса индукцию насыщения, коэрцитивную силу и остаточную индукцию.

Значения коэрцитивной силы, индукции насыщения, остаточной индукции, начальной и максимальной магнитной проницаемости сравниваются со справочными значениями.

После проведения измерений на образце Т1 необходимо отключить питание генератора тумблером 4 и переключить режим измерения с Т1 на Т2

В положении переключателя 3 «Т2»:

- нажать кнопку **ЗАП/ВЫЗ** на осциллографе
- выбрать ячейку памяти «М2» последовательным нажатием кнопки F3 (поз. 9 на рис. 2);
- нажать кнопку «Вызов» (поз. 10 на рис. 2);
- нажать кнопку «Измерения» на осциллографе (поз. 8 на рис. 2).

Повторить и обработать измерения в том же порядке, что и для образца Т1.

Контрольные вопросы:

1. Какие материалы относятся к магнитным?
2. Каково магнитное строение у ферромагнетиков?
3. Каково магнитное строение у ферримагнетиков?
4. Что такое «электротехническая сталь»?
5. Что такое «феррит»?
6. Что такое «Начальная кривая намагничивания» и «Основная кривая намагничивания»?
7. Что такое «начальная магнитная проницаемость» и «максимальная магнитная проницаемость»?
8. Что такое магнитный гистерезис?
9. Что означает насыщение ферромагнетика?
10. Что такое «индукция насыщения»?
11. Что такое коэрцитивная сила?
12. Что такое остаточная индукция?
13. В чем причина образования остаточной магнитной индукции в ферромагнетиках.
14. Чем отличаются магнитомягкие и магнитотвердые материалы?
15. Где применяются магнитомягкие и магнитотвердые материалы?
16. Какие Вы знаете виды магнитных потерь?
17. В чем различие потерь на вихревые токи и потерь на перемагничивание?
18. Как связана петля гистерезиса с затратами энергии на перемагничивание ферромагнетиков?
19. Что такое «температура Кюри»?