

Московский физико-технический университет
Факультет радиотехники и кибернетики

Лабораторная работа № 3.4.5

Общая физика: электричество и магнетизм

Петля гистерезиса (динамический метод)

Работу выполнил:

Милославов Глеб, группа Б01-103

г. Долгопрудный
2022 год

Цель работы: изучение петель гистерезиса ферромагнитных материалов с помощью осциллографа.

Оборудование: автотрансформатор, понижающий трансформатор, амперметр и вольтметр (мультиметры), резистор, делитель напряжения, интегрирующая цепочка, электронный осциллограф, тороидальные образцы с двумя обмотками..

1 Теоретическое введение

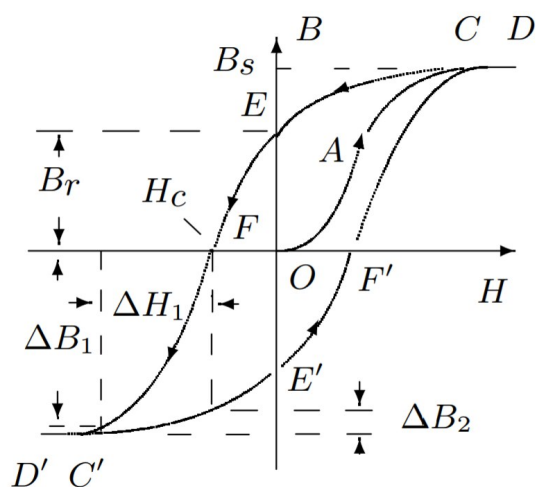


Рис. 1: Петля гистерезиса ферромагнетика

Магнитная индукция \vec{B} и напряженность магнитного поля \vec{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 рис. 1. Если к размагниченному образцу начинают прикладывать магнитное поле, то его намагничивание следует кривой $OACD$, выходящей из

начала координат. Эту кривую называют *основной кривой намагничивания*.

Индукция \vec{B} в образце состоит из индукции, связанной с намагничивающим полем \vec{B} , и индукции, создаваемой самим намагниченным образцом. В системе СИ эта связь имеет вид

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}),$$

где \vec{M} - намагниченность - магнитный момент единичного объема образца, а μ_0 - магнитная постоянная.

Намагнитим образец до насыщения - до точки D. Соответствующее значение индукции B_s называют индукцией насыщения. При уменьшении поля H до нуля зависимость $B(H)$ имеет вид кривой DCE , и при нулевом поле индукция имеет конечное ненулевое значение. Это остаточная индукция B_r . Чтобы размагнитить образец, то есть перевести его в состояние F, необходимо приложить "обратное" магнитное поле H_c , которое называют коэрцитивной силой.

Замкнутая кривая $DEFD'E'F'D$, возникающая при циклическом перемагничивании образца, намагниченного до насыщения, называется *предельной петлей гистерезиса*.

1.1 Измерение магнитной индукции в образцах.

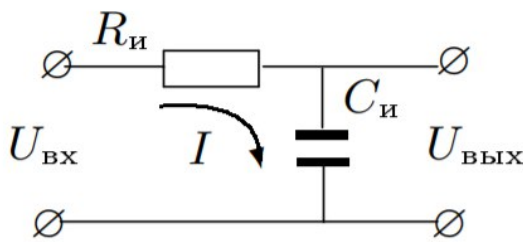
Магнитную индукцию удобно определять с помощью ЭДС, возникающей при изменении магнитного потока Φ в катушке, намотанной на образец:

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

Тогда отсюда и из формулы $\Phi = BSN_{\text{и}}$ получаем:

$$|B| = \frac{1}{SN_{\text{и}}} \int \mathcal{E} dt.$$

Для интегрирования сигнала применяют интегрирующие схемы (рис. 2).



Если выходной сигнал намного меньше входного ($U_{\text{вых}} \ll U_{\text{вх}}$), ток в цепи пропорционален входному напряжению: $I \simeq \frac{U_{\text{вх}}}{R}$, а напряжение на емкости

Рис. 2: Интегрирующая RC-цепь

$$U_{\text{вых}} \simeq \frac{1}{RC} \int U_{\text{вх}} dt.$$

Этот вывод тем ближе к истине, чем больше постоянная $\tau = RC$ 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, обозначив параметры интегрирующей цепи через $R_{\text{и}}$ и $C_{\text{и}}$, получаем

$$|B| = \frac{1}{SN_{\text{и}}} \int U_{\text{вх}} dt = \frac{R_{\text{и}}C_{\text{и}}}{SN_{\text{и}}} U_{\text{вых}}.$$

2 Экспериментальная установка.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 3.

Действующее значение переменного тока в обмотке N0 измеряется амперметром А (мультиметром GDM). Последовательно с амперметром включено сопротивление R_0 , напряжение с которого подается на вход X электронного осциллографа (ЭО). Это напряжение пропорционально току в обмотке N_0 , а следовательно и напряженности H магнитного поля в образце.

Для измерения магнитной индукции B с измерительной обмотки $N_{\text{и}}$ на вход интегрирующей RC -цепочки подается напряжение $U_{\text{и}}$ ($U_{\text{вх}}$), пропорциональное

производной \dot{B} , а с выхода снимается напряжение $U_C(U_{ВЫХ})$, пропорциональное величине B , и подается 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).

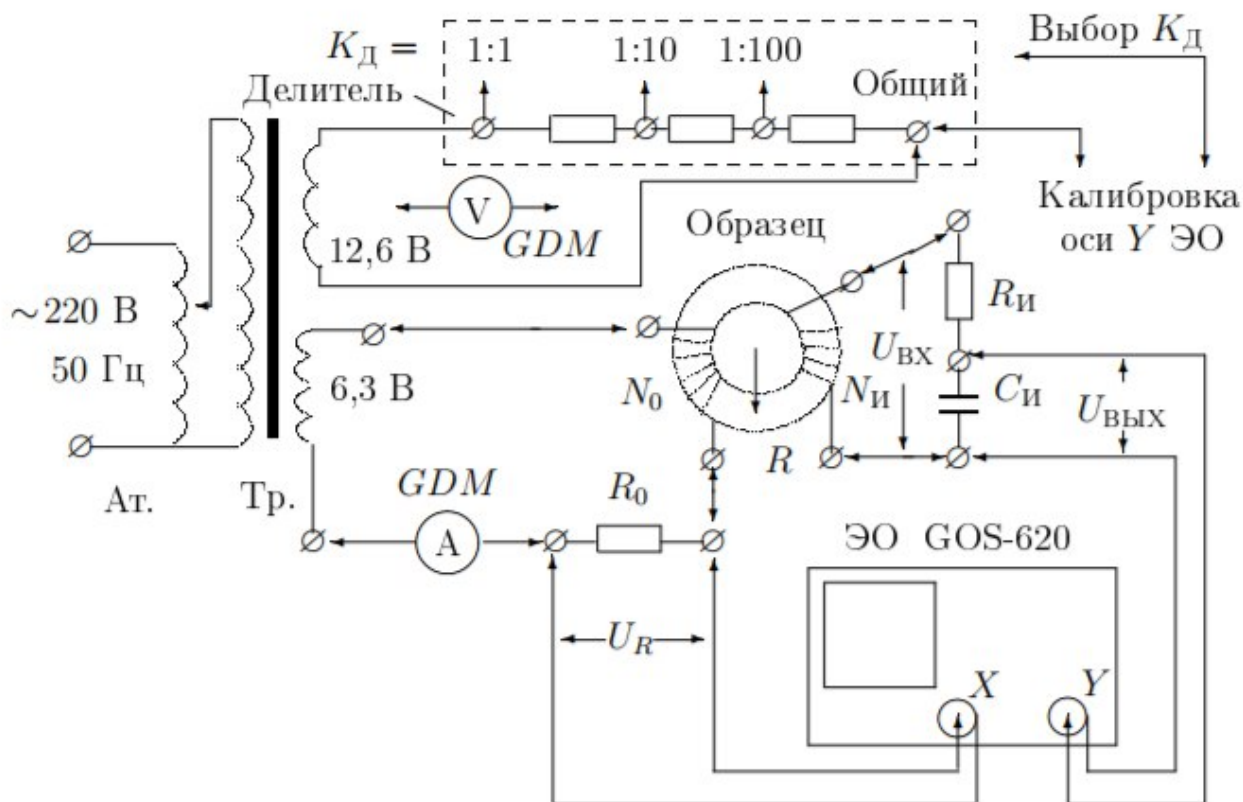


Рис. 3: Схема установки для исследования намагничивания образцов