

Измерение энергии активации.

13 сентября 2022 г.

1.Аннотация.

В работе измеряются величины остаточной индукции магнитного поля B_r , коэрцитивной силы H_c , амплитуда магнитной индукции B_s и напряжённости магнитного поля H_s предельной петли гистерезиса для ферромагнитных образцов из трёх различных материалов: феррита, пермаллоя и кремнистого железа — тороидной формы. Для измерений используются фигуры лиссажу, получаемые при помощи электронного осциллографа, подключённого к установке, возбуждающей колебания. Схему установки см. на рис. 1.

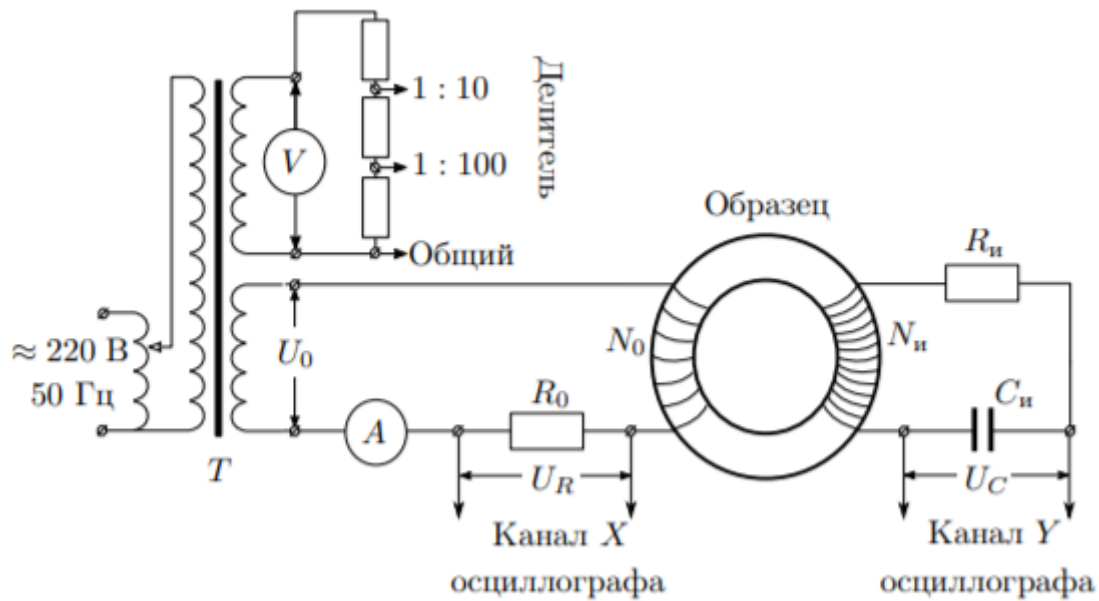


Рис. 1: Схема экспериментальной установки.

2.Теоретическое введение.

Для нахождения напряжённости поля в образце воспользуемся формулой, следующей из теоремы о циркуляции:

$$H = \frac{IN_0}{2\pi R}, \quad (1)$$

где I — величина намагничивающего тока, N_0 — число витков в намагничивающей обмотке, а R — средний радиус тора.

Намагничивающий ток измеряется при помощи ЭО с использованием закона Ома (см. рис. 1). Окончательно, исходя из 1, получим

$$H = \frac{U_X N_0}{2\pi R R_0}, \quad (2)$$

Методика измерения магнитной индукции в образце основывается на формуле

$$B = \frac{R_i C_i}{S N_i} U_{out}, \quad (3)$$

где $U_{out} = U_Y$ — выходное напряжение интегрирующей ячейки, R_i и C_i — её сопротивление и ёмкость соответственно, S — площадь поперечного сечения образца, а N_i — число витков в его вторичной обмотке.

Подключая U_X и U_Y к соответствующим каналам удаётся получить на экране осциллографа петлю гистерезиса. Для измерения её параметров используется сетка на экране.

Для калибровки масштаба шкал осциллографа в случае оси X используется синусоидальный ток эффективное значение которого I_{eff} измеряется независимо при помощи цифрового амперметра, пропускаемый через известное сопротивление R_0 (катушка образца на время калибровки закорачивалась). Рабочая формула в этом случае:

$$K_X = \frac{2R_0 \sqrt{2} I_{eff}}{2x}, \quad (4)$$

где K_X — масштаб по оси X , а $2x$ — длина горизонтального отрезка на экране. В случае же оси Y было произведено независимое (при помощи цифрового вольтметра и ЭО) измерение синусоидаль напряжения на клеммах "1/100" и "общий" делителя напряжений (см. рис. 1) (измерения также проводятся без подключения образца). Рабочая формула в этом случае:

$$K_Y = \frac{2\sqrt{2} U_{eff}}{2y}, \quad (5)$$

где K_Y — измеряемый масштаб, U_{eff} — эффективное напряжение, измеряемое вольтметром, а $2y$ — длина вертикального отрезка на экране осциллографа.

Для выяснения характерного времени разрядки конденсатора интегрирующей ячейки воспользуемся формулой $\tau_i = C_i R_i$. Параметры C_i и R_i указаны на установке. Подставляя их в формулу находим, что $\tau \gg \frac{1}{\omega}$, где ω — частота напряжения, указанная на установке. Используемые значения: $R_i = 20$ кОм, $C_i = 20$ мкФ $\omega = 50$ Гц

3. Приборы и материалы

Указанные на установке параметры представлены в таблице

Таблица 1: Параметры измерительной установки, согласно маркировке

R_0 , Ом	R_i , кОм	C_i , мкФ
0,22	20	20

В следующей таблице указаны параметры используемых образцов

Таблица 2: Параметры используемых образцов, согласно маркировке

Материал	N_0 , шт	N_i , шт	S , см ²	$2\pi R$, см
Феррит	42	400	3,0	25
Пермаллой	20	400	0,76	13,3
Кремнистое железо	25	250	2,5	11

4. Результаты измерений и обработка данных.

Полученные результаты измерений представлены ниже. Под K_X и K_Y понимается масштаб соответствующей оси осциллографа, согласно значениям на ручках прибора.

Таблица 3: Измеренные значения напряжения

Материал	h , дел/5	K_Y , $\frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$	w , дел/5	K_X , $\frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$	$2X_c$, дел/5	K_X , $\frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$	Y_r , дел/5	K_Y , $\frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$
Феррит	40	20	37	200	30	10	31	10
Пермаллой	20	50	10	50	46	10	18	50
Кремнистое железо	25	50	36	200	32	20	24	20

В таблице ниже представлены значения, полученные при калибровке ЭО. Под K_X и K_Y понимается масштаб соответствующей оси осциллографа, согласно значениям на ручках прибора. K_X^m и K_Y^m — рассчитанный по измерениям масштаб соответствующих осей ЭО.

Таблица 4: Проверка калибровки ЭО.

K_X , $\frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$	I_{eff} , мА	K_X^m , $\frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$	K_Y , $\frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$	U_{eff} , мВ	K_Y^m , $\frac{\text{мВ}}{\text{дел}}$
10	152	9,45	10	27	9,54
20	306	19,05	20	55	19,44
50	765	47,60	50	136	48,08
200	1550	192,90	—	—	—

Исходя из этих данных, можно заключить, что осциллограф откалиброван достаточно точно, чтобы использовать в расчётах величины K_X и K_Y .

В таблице далее представлены рассчитанные по данным из таблицы 3 величины коэрцитивной силы (H_c), остаточной индукции (B_r) и амплитуд напряжённости (H_s) и индукции поля (B_s) для предельной петли гистерезиса каждого образца.

Таблица 5: Измеренные характеристики различных образцов

Материал	H_c , $\frac{\text{А}}{\text{м}}$	B_r , Т	H_s , $\frac{\text{А}}{\text{м}}$	B_s , Т
Феррит	22,9	0,03	1221	0,16
Пермаллой	31,4	1,56	136	1,73
Кремнистое железо	66,1	0,12	1033	0,92

5. Обсуждение результатов и выводы

TODO: Вывод