

3.4.5. Петля гистерезиса (динамический метод).

Дорогинин Д.В.

18 октября 2019 г.

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

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

Теория

Магнитную индукцию удобно определять с помощью ЭДС, возникающей при изменении потока в катушке, намотанной на образец. Пусть катушка плотно обхватывает образец, а индукция \vec{B} однородна. Тогда

$$\varepsilon \mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}, \Phi = BSN_{\text{и}} \Rightarrow |B| = \frac{1}{SN_{\text{и}}} \int \mathcal{E} dt,$$

где $N_{\text{и}}$ – число витков в измерительной катушке, S – площадь витка. То есть для определения B нужно проинтегрировать сигнал, наведённый на измерительную катушку.

Используя интегрирующую схему из конденсатора C сопротивления $R \gg \frac{1}{\Omega C}$ (Ω – частота сигнала в сети), с учётом $U_{\text{вых}} \ll U_{\text{вх}}$, получим

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{C} \int I dt \approx \frac{1}{RC} \int U_{\text{вх}} dt$$

Если $R_{\text{и}}$ и $C_{\text{и}}$ – параметры интегрирующей ячейки, то получим

$$|B| = \frac{R_{\text{и}} C_{\text{и}}}{SN_{\text{и}}} U_{\text{вых}}$$

Описание работы

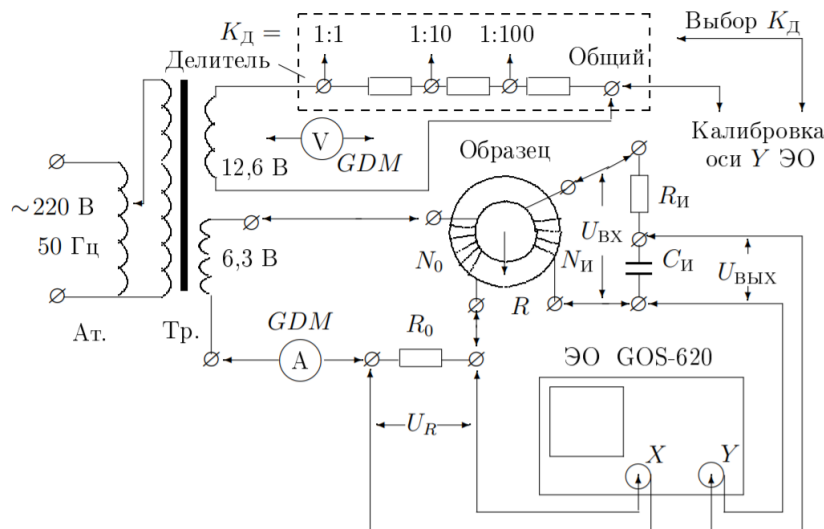


Схема установки представлена на рисунке. Напряжение сети с помощью регулировочного трансформатора Ат через разделительный понижающий трансформатор Тр подаётся на намагничивающую обмотку N_0 образца. Значение тока в обмотке измеряется амперметром

А, с ним последовательно сопротивление R_0 , напряжение с которого подается 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 в обмотке $N_{\text{и}}$ на вход интегрирующей цепочки подаётся напряжение $U_{\text{и}}$, пропорциональное $\frac{dB}{dt}$, а с выхода снимается напряжение U_C , пропорциональное B , которое подаётся на вход Y ЭО.

Кривая, возникающая на экране, воспроизводит петлю гистерезиса. По формулам

$$H = \frac{IN_0}{2\pi R}, B = \frac{R_{\text{и}}C_{\text{и}}U_{\text{вых}}}{SN_{\text{и}}}$$

где $I = K_X/R_0$, $U_{\text{вых}} = K_Y$, K_X, K_Y – чувствительность усилителя ЭФ соответствующих шкал, можно провести калибровку ЭО.

При закороченной обмотке N_0 амперметр измеряет эффективное значение синусоидального тока $I_{\text{эф}}$ через сопротивление R_0 . Если $2x$ – длина горизонтальной прямой на экране, то чувствительность канала Х

$$m_X = \frac{2\sqrt{2}R_0I_{\text{эф}}}{2x}$$

При отключённом тороиде сигнал с обмотки 12.6 В подаётся на делитель, и его часть снимается с делителя с коэффициентом деления и подаётся на Y ЭО вместо U_C . Вольтметр измеряет напряжение $U_{\text{эф}}$ на этих клеммах делителя. Если $2y$ – длина вертикальной прямой на экране, то чувствительность канал Y

$$m_Y = \frac{2\sqrt{2}U_{\text{эф}}}{2y}$$

Если измерить с помощью ЭО поочерёдно амплитуды сигналов $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ RC-цепочки, можно рассчитать постоянную времени

$$\tau = RC = \frac{U_{\text{вх}}}{\Omega U_{\text{вых}}}$$

Ход работы

1. Собираем схему, подключаем в сеть. Параметры установки $R_{\text{и}} = 20$ кОм, $C_{\text{и}} = 20$ мкФ, $R_0 = 0.22$ Ом. Параметры образцов:

	Феррит 1000нм	Пермаллой	Кремнистое железо
N_0	42	20	25
$N_{\text{и}}$	400	300	250
$S, \text{ м}^2$	3	0.76	2
$2\pi R, \text{ см}$	25	13.3	11

2. Подбираем ток питания и коэффициенты усиления ЭО так, чтобы предельная петля гистерезиса занимала большую часть экрана. Зарисуем предельную петлю на кальке.
3. Снимаем на ту же кальку начальную кривую намагничивания: плавно уменьшая ток намагничивания до нуля, будем отмечать на кальке вершины наблюдаемых частных петель. Кривая, соединяющая эти вершины, проходит вблизи начальной кривой намагничивания.

	Феррит 1000нм		Пермаллой		Кремнистое железо	
	Значение	σ	Значение	σ	Значение	σ
K_X , В	0.050	0.002	0.020	0.002	0.100	0.002
K_Y , В	0.020	0.001	0.045	0.002	0.020	0.001
I , А	0.227	0.009	0.091	0.001	0.455	0.009
H , А/м	38.2	1.5	13.67	0.15	103	2
B , Тл	0.067	0.003	0.79	0.04	0.16	0.008
x	3.00	0.05	3.00	0.05	3.00	0.05
y	3.00	0.05	3.00	0.05	2.00	0.05
$I_{эф}$, А	0.430	0.001	0.197	0.001	0.970	0.001
m_X	0.0446	0.0001	0.0204	0.0001	0.1006	0.0001
$2y$	6.0	0.1	6.0	0.1	6.0	0.1
$U_{эф}$, В	0.0424	0.0001	0.1000	0.0001	0.0424	0.0001
m_Y	0.0200	0.0003	0.0471	0.0008	0.0200	0.0003

4. Восстановим предельную петлю. Измерим на экране двойные амплитуды для коэрцитивной силы и индукции насыщения. Соответствующие значения K_X и K_Y . Вычислим цену деления ЭО для петли в А/м по оси Х и в теслах на деление для оси Y.
5. Отключим намагничивающую обмотку от цепи, соединив оба провода, идущих к обмотке, на одной из её клемм. Рассчитаем чувствительность канала Х.
6. Разберём цепь тороида. Соединим вход Y ЭО с клеммами делителя "1/100-земля" и подключим вольтметр к тем же точкам делителя. Рассчитаем чувствительность канала Х.
7. Для определения напряжений на входе и выходе интегрирующей соединим вход ячейки с обмоткой "6,3 В" трансформатора. Подключим Y-вход ЭО ко входу интегрирующей ячейки и отключим X-вход ЭО. Определим входное напряжение на RC-цепочке: $U_{вх} = 16.0 \pm 0.2$ В. Не меняя тока, переключим Y-вход ЭО к выходу ячейки и аналогичным образом определим напряжение $U_{вых} = 0.120 \pm 0.002$ В. Тогда (с учётом $\nu = 50$ Гц)

$$\tau = \frac{U_{вх}}{\Omega U_{вых}} = 0.42 \pm 0.09 \text{ с}$$

Рассчитывая через параметры цепи, $\tau = R_{и}C_{и} = 0.4$ с, что близко к полученному.

8. Рассчитаем коэрцитивную силу и индукцию насыщения для каждого образца и сравним с табличными:

	Феррит 1000нм		Пермаллой		Кремнистое железо	
	Значение	σ	Значение	σ	Значение	σ
H_c , А/м	229	11	82.0	1.6	620	16
Таблица	8 - 600		4		80	
B_s , Тл	0.40	0.02	4.7	0.2	0.64	0.04
Таблица	0.2 - 0.4		1.08		2.0	