



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 току).

Измерение напряжения с помощью осциллографа. Исследуемый сигнал подаётся на вход  $X$  ЭО; длина  $2x$  горизонтальной черты, наблюдаемой на экране, характеризует удвоенную амплитуду сигнала.

Если известна чувствительность усилителя  $K_X$  в вольтах на деление шкалы экрана (В/см), то удвоенная амплитуда напряжения определяется произведением

$$2U_{X,0} = 2x \cdot K_X$$

Напряжение, подаваемое на ось  $Y$ , измеряется аналогично. Калибровку осей осциллографа ( $K_X$  и  $K_Y$ ) можно использовать для построения кривой гистерезиса в координатах  $B$  и  $H$  :

Зная величину сопротивления  $R_0$ , с которого снимается сигнал, можно рассчитать чувствительность канала по току  $K_{XI} = K_X/R_0$  [А/ дел ], затем определить цену деления шкалы ЭО в А/М. Проверка калибровки горизонтальной оси ЭО с помощью амперметра проводится при закороченной обмотке  $N_0$ . Эта обмотка с помещённым в неё ферромагнитным образцом является нелинейным элементом, так что ток в ней не имеет синусоидальной формы, и это не позволяет связать амплитуду тока с показаниями амперметра.

При закороченной обмотке  $N_0$  амперметр  $A$  измеряет эффективное значение синусоидального тока  $I_{\text{эф}}$ , текущего через известное сопротивление  $R_0$ . Сигнал с этого сопротивления подаётся на вход  $X$  ЭО. Измерив  $2x$  длину горизонтальной прямой на экране, можно рассчитать  $m_X$  - чувствительность канала  $X$  :

$$m_X = 2R_0\sqrt{2}I_{\text{эф}}/(2x) \quad [\text{В/ Дел}]$$

Проверка калибровки вертикальной оси ЭО с помощью вольтметра. Сигнал с потенциометра  $R_1$  подаётся на вход делителя напряжения ( $K_0$  в положении "Д". Часть этого напряжения снимается с делителя с коэффициентом деления  $K_D$  (1/10 или 1/100) и подаётся на вход  $Y$  ЭО ( вместо напряжения  $U_C$  ). Цифровой вольтметр  $V$  измеряет напряжение  $U_{\text{эф}}$  на этих же клеммах делителя. Измерив  $2y$  - длину вертикальной прямой на экране, можно рассчитать чувствительность канала  $Y$  :

$$m_Y = 2\sqrt{2}U_{\text{эф}}/(2y) \quad [\text{В/ дел}]$$

При калибровке тороид должен быть отключён, так как несинусоидальный ток нагрузки в первичной обмотке тороида приводит к искажению формы кривой напряжения и на обмотке трансформатора, питающей делитель.

Постоянную времени  $RC$ -цепочки можно определить экспериментально. С клемм "6,3" на вход интегрирующей цепочки подаётся синусоидальное напряжение  $U_{\text{ВХ}}$ . На вход  $Y$  осциллографа поочерёдно подаются сигналы со входа ( $U_{\text{ВХ}}$ ) и выхода ( $U_{\text{ВНХ}} = U_C$ )  $RC$ -цепочки. Измерив амплитуды этих сигналов с помощью осциллографа, можно рассчитать постоянную времени  $\tau = RC$ .

$$RC = \frac{U_{\text{ВХ}}}{\Omega U_{\text{ВНХ}}}$$

## 2 Результаты измерений и их обработка

### 2.1 Калибровка

#### 2.1.1 X

X=20mV		X=50mV		X=100mV	
Дел	I, mA	Дел	I, mA	Дел	I, mA
0	7	0	7	0	7
1	35	1	90	1	177
2	71	2	174	2	352
3	107	3	267	3	537
4	144	4	355	4	708
5	181	5	443	5	897
$dI = 50 \pm 3 \text{ mA}$		$dI = 124 \pm 3 \text{ mA}$		$dI = 252 \pm 6 \text{ mA}$	

Откалибруем X канал осциллографа, измерив зависимость показаний последнего от тока через амперметр. Занесем результаты в *Таблицу ??*. Рассчитаем коэффициент пересчета делений в ток  $dI$  для всех диапазонов.

#### 2.1.2 Y

Откалибруем Y канал осциллографа, сравним показания вольтметра и осциллографа и занесем результаты в *Таблицу ??*. Домножив  $U$  на  $2\sqrt{2}$  получим, что в среднем  $U_{vm}$  отличается от  $U_{osc}$  на 2%.

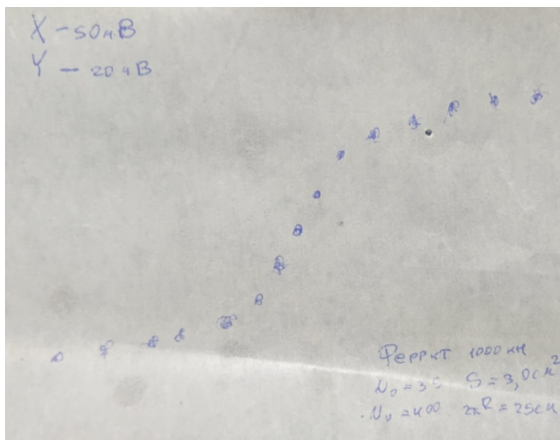
$U_{vm}, \text{ мВ}$	$U_{osc}, \text{ мВ}$
20	50
40	110
60	170
80	220
100	275
120	325
140	390

### 2.2 Феррит

$N_0$	35
$N_u$	400
$S$	$3.0 \text{ см}^2$
$2\pi R$	$25 \text{ см}$

X=50mV		Y=10mV	
$[X_s]:$	1.75 дел.	$217 \pm 18 \text{ mA}$	$30 \pm 3 \text{ A/м}$
$[Y_s]:$	3.75 дел.	$38 \pm 2 \text{ mV}$	$0.126 \pm 0.007 \text{ Тл}$
$[X_c]:$	0.40 дел.	$52 \pm 5 \text{ mA}$	$7.2 \pm 0.6 \text{ A/м}$
$[Y_r]:$	1.5 дел.	$15 \pm 2 \text{ mV}$	$0.050 \pm 0.007 \text{ Тл}$

Измерим параметры предельной претли и пересчитаем значения В и Н.



Из кривой намагничивания найдем значение дифференциальной магнитной проницаемости:

$$\frac{\mu_{diff}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 6 \cdot 10^3$$

И сравним с табличным:

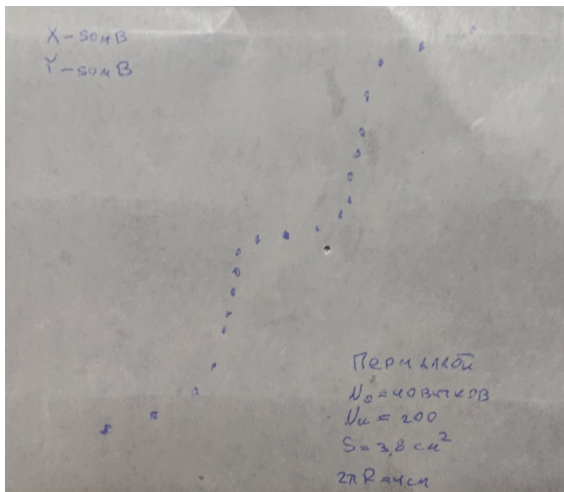
$$\frac{\mu_{diff tabular}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 5 \cdot 10^3$$

## 2.3 Пермаллой

$N_0$	40
$N_u$	200
$S$	$3.8 \text{ см}^2$
$2\pi R$	4 см

X=20mV		Y=50mV	
$[X_s]:$	5 дел.	$250 \pm 18 \text{ mA}$	$250 \pm 18 \text{ A/м}$
$[Y_s]:$	2.8 дел.	$140 \pm 3 \text{ mV}$	$0.736 \pm 0.016 \text{ Тл}$
$[X_c]:$	0.5 дел.	$25.0 \pm 0.5 \text{ mA}$	$25.0 \pm 0.5 \text{ A/м}$
$[Y_r]:$	1.6 дел.	$80 \pm 3 \text{ mA}$	$0.42 \pm 0.02 \text{ Тл}$

Измерим параметры предельной претли и пересчитаем значения В и Н. Сравним их с табличными значениями.



Из кривой намагничивания найдем значение дифференциальной магнитной проницаемости:

$$\frac{\mu_{diff}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 1.6 \cdot 10^2$$

И сравним с табличным:

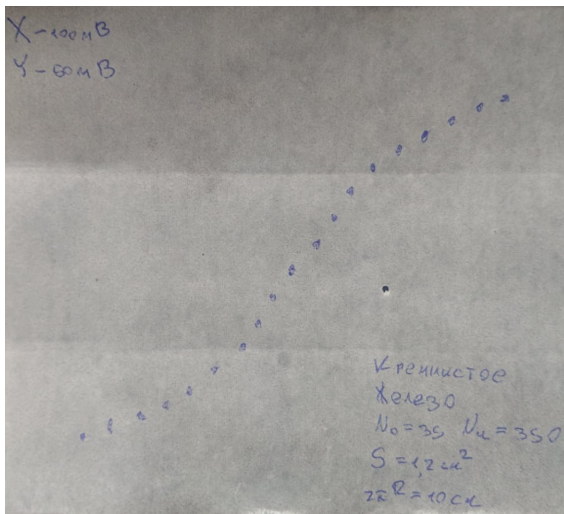
$$\frac{\mu_{diff tabular}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 10^4$$

## 2.4 Кремнистое железо

$N_0$	35
$N_u$	350
$S$	$1.2 \text{ см}^2$
$2\pi R$	10 см

X=100mV		Y=50mV	
$[X_s]:$	4.25 дел.	$(107 \pm 3) \cdot 10 \text{ mA}$	$(37 \pm 1) \cdot 10 \text{ A/м}$
$[Y_s]:$	3 дел.	$150 \pm 3 \text{ mV}$	$1.43 \pm 0.03 \text{ Тл}$
$[X_c]:$	0.5 дел.	$126 \pm 25 \text{ mA}$	$44 \pm 9 \text{ A/м}$
$[Y_r]:$	1.9 дел.	$95 \pm 3 \text{ mV}$	$0.91 \pm 0.03 \text{ Тл}$

Измерим параметры предельной претли и пересчитаем значения В и Н. Сравним их с табличными значениями.



Из кривой намагничивания найдем значение дифференциальной магнитной проницаемости:

$$\frac{\mu_{diff}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 6.7 \cdot 10^3$$

И сравним с табличным:

$$\frac{\mu_{diff tabular}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} dB/dH = 5.6 \cdot 10^3$$

Проверим применимость интегрирующей цепочки:

$$RC\Omega = \frac{U_{in}}{U_{out}} \approx 20 \gg 1$$

, значит цепочка применима.

### 3 Выводы

Для двух (*феррит и кремнистое железо*) из трех образцов мы получили результаты близкие к теоретическим. Отклонение от табличных значений сложно объяснить одной погрешностью измерений, так что, вероятно, большой вклад в отклонение внес тот факт, что сам момент, когда петля становится предельной, опередлить сложно. Для третьего образца значения получились значительно отличающиеся от теоретических, что, скорее всего, является следствием неправильно записанного диапазона измерений осциллографа или параметров образца.