

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Изучение основных магнитных свойств ферро и ферромагнитных материалов

Цель работы: Изучить процесс намагничивания ферри и ферромагнетиков, установить основные параметры намагничивания.

Задание

1. Уяснить физическую природу явления намагничивания магнетиков.
2. Изучить и собрать схему экспериментальной установки.
3. Выполнить измерения и построить кривую намагничивания ($B = f(H)$) и петлю гистерезиса при положительных и отрицательных значениях напряженности магнитного поля для ферро – или ферромагнетика. Проследить эти закономерности на осциллографе.
4. Из данных измерения кривой ($B = f(H)$) построить зависимость магнитной проницаемости (μ) от напряженности магнитного поля (H).
5. Провести анализ полученных закономерностей.

Электрическая схема установки

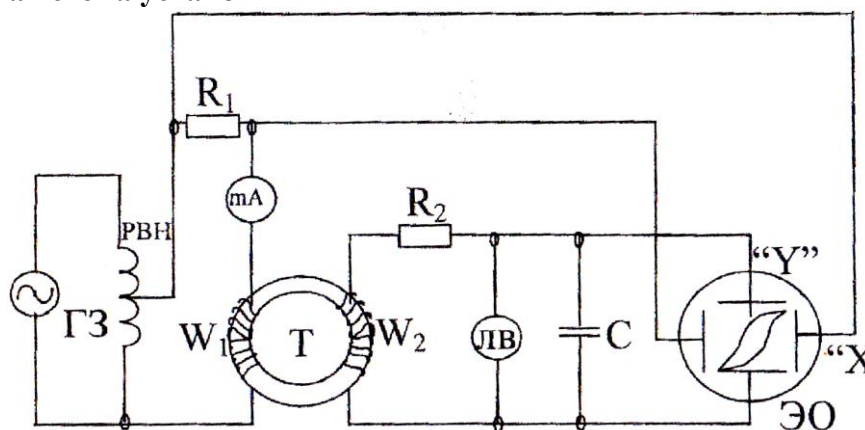


Рисунок 1 Принципиальная электрическая схема установки.

ГЗ – генератор звуковой частоты, РВН – регулятор входного напряжения генератора, w_1 – число витков первичной обмотки тороида, w_2 – число витков вторичной обмотки тороида, mA – миллиамперметр, ЭО – электронный осциллограф, ЛВ – вольтметр.

Свойства магнитных материалов изучаются на тороидах, изготовленных из соответствующих магнетиков. На тороид намотаны первичная и вторичная обмотки с числом витков W_1 и W_2 . На первичную обмотку подается напряжение U_1 от генератора. Часть U_1 снимается с сопротивления R_1 и подается на горизонтальные отклоняющие пластины осциллографа. Наведенная во вторичной обмотки ЭДС U_2 подается с ёмкости C на вертикально отклоняющие обкладки осциллографа. При этом за один период изменения напряжения электронный луч на экране осциллографа описывает полную петлю гистерезиса

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Согласно рисунку 2 выполнить электрические соединения модулей. **Монтаж схемы производить при отключенном питании.** Для отсечения постоянной составляющей переменного тока, в цепь первичной обмотки включен конденсатор C_1 . В качестве амперметра РА использовать мультиметр в режиме измерения переменного тока “A~” с пределом 200mA. Выход “┴” модуля “Функциональный генератор” соединить с гнездом “mA” мультиметра, а гнездо “СОМ” мультиметра соединить со входом схемы модуля “магнитомягкие материалы”. В качестве

вольтметра PV использовать второй мультиметр в режиме изменения переменного напряжения “V~” с пределом 20В. После проверки правильности соединений схемы преподавателем или лаборантом, подать напряжение питания на комплект включением автоматического выключателя и УЗО “Модуля питания”. Включить функциональный генератор кнопкой “Питание”. Настроить его на частоту 50 Гц. Установить прямоугольную форму сигнала.

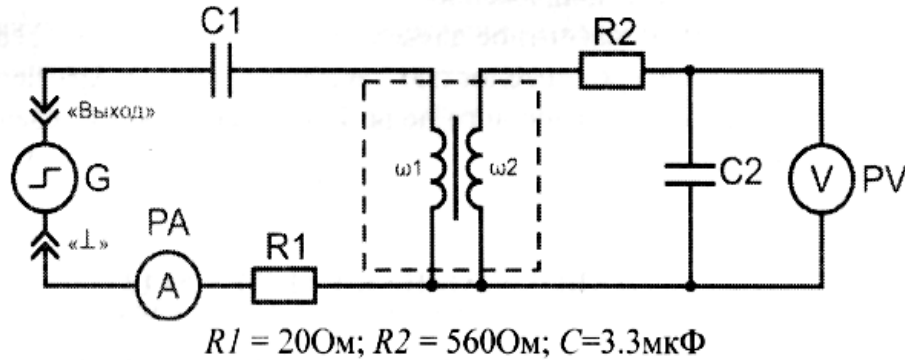


Рисунок 2 - Электрическая схема соединений типового комплекта для получения основной кривой намагничивания

2. Изменяя ток в цепи с помощью кнопок “Амплитуда” модуля “Функциональный генератор”, установить минимальное значение силы тока в первичной цепи (по амперметру PA) и заносить в таблицу это значение и значение напряжения на конденсаторе C_2 (вольтметр PV). Провести аналогичные измерения, изменяя ток на 0.01 – 0.15 мА. Не допускается поднимать значение тока выше 200мА. Выключить питание.
3. Рассчитать значения H , B , и μ , для каждого замера по формулам (1,2,3), полученные данные занести в таблицу 1. Построить графики зависимостей магнитной индукции от напряженности магнитного поля $B(H)$ (основная кривая намагничивания ферромагнетика) и магнитной проницаемости сердечника от напряженности магнитного поля $\mu(H)$.

Таблица 1

№ п.п.	I, mA	U, B	H, A/м	B, Тл	μ_r
1					
2					
...					

$$H = \frac{i_1 \cdot \omega_1}{l_{cp}} \quad (1)$$

i_1 - действующее значение тока в первичной обмотке (I, A), ω_1 - число витков первичной обмотки, l_{cp} - длина средней линии сердечника (м).

ω_1, l_{cp} значения данных величин указаны на корпусе испытуемого модуля.

$$B = \frac{U \cdot R_2 \cdot C_2}{\omega_2 \cdot S} \quad (2)$$

U - действующее значение напряжения на конденсаторе (В), ω_2 - число витков вторичной обмотки, S - эффективная площадь сечения сердечника (м^2).

ω_2, S значения данных величин указаны на корпусе испытуемого модуля.

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 \cdot H} \quad (3)$$

μ_0 - магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (Гн/м)

Контрольные вопросы

1. Назовите основное отличие кривой намагничивания магнитомягких и магнитотвердых материалов.
2. Приведите определение магнитной проницаемости и назовите ее основные виды?
3. Опишите основные точки и участки кривой намагничивания.
4. Опишите метод измерения напряженности поля H и магнитной проницаемости μ применяемый в данной работе.
5. Почему в области магнитного насыщения ферромагнетика индукция не возрастет с увеличением заряженности магнитного поля?
6. В однородное магнитное поле помещен цилиндр из ферромагнитного материала с высокой проницаемостью так, что если ось цилиндра перпендикулярна вектору напряженности магнитного поля. Изобразите распределение линий магнитной индукции.
7. Каким образом получаются частные петли гистерезиса?
8. Какие характеристики ферромагнетика определяются по предельной петле гистерезиса?
9. Как оценить предельную энергию перемагничивания вещества?
10. С ростом частоты перемагничивания ферромагнитного материала удельные потери увеличиваются, уменьшаются или остаются неизменными?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Изучение влияния температуры на величину относительной магнитной проницаемости ферро и ферромагнитных материалов

Цель работы: Экспериментальная оценка изменения относительной магнитной проницаемости ферритов при изменении температуры.

Задание

1. Ознакомиться с физической природой процесса намагничивания материалов.
2. Изучить схему и порядок работы на экспериментальной установке.
3. При комнатной температуре и через определенные интервалы температур (по заданию преподавателя) измерить индуктивность катушки L_m , намотанной на тороидальный ферритовый сердечник.
4. Рассчитать индуктивность той же катушки в вакууме L_0 .
5. Рассчитать текущие значения относительной магнитной проницаемости μ .
6. Экспериментальные и расчетные данные занести в табл.1.
7. Построить графическую зависимость $\mu = f(T^\circ\text{C})$, оценить точку Кюри.
8. Выполнить анализ полученных результатов.

Расчетные формулы

При практических исследованиях значения μ можно оценить из соотношения индуктивности L_m катушки, намотанной на ферритовый сердечник, и индуктивности L_0 катушки тех же размеров и формы, находящейся в вакууме:

$$\mu = \frac{L_m}{L_0}. \quad (1)$$

Для вакуума индуктивность тороидальной катушки L_0 определяется геометрическими размерами и числом витков n (рис. 1)

$$L_0 = \mu_0 \frac{n^2 \cdot S}{\ell_{cp}}, \quad (2)$$

где ℓ_{cp} и S – соответственно, длина тороида по средней линии (м) и площадь поперечного сечения магнитопровода (м²).

$$\ell_{cp} = \pi \cdot d_{cp} = \pi \frac{d_1 + d_2}{2}; \quad S = h \frac{d_2 - d_1}{2}. \quad (3)$$

Порядок проведения измерений

Индуктивность тороидальной катушки L_m определяются с помощью цифрового автоматического моста переменного тока Е7–8.

Для измерения индуктивности исследуемой тороидальной катушки L_m необходимо:

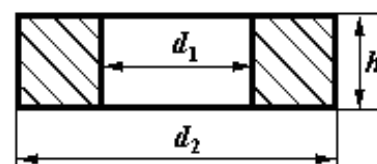


Рис. 1. Сечение тороидального магнитопровода

1. Установить переключатель « $U_{\text{поляр.}}$, $I_{\text{подмагн.}}$ » в положение «ВЫКЛ.», переключатель «Пределы измерений» в положение «АВТ», переключатель «Знак C , L » в положение «АВТ».
2. Установить переключатели «Вид измерения» в положения « L , R » и « G , R », переключатель «Запуск» в положение «Следящий».
3. Включить тумблер «Сеть» и дать прогреться прибору не менее 5 мин.
4. Прибор без участия оператора начинает измерения. В процессе измерения на табло прибора высвечивается надпись «Небаланс». По окончании измерения (надпись «Небаланс» гаснет) при заданной температуре прочесть результаты измерения на табло прибора.

Примечания: При использовании иного оборудования для измерения индуктивности L_x порядок измерения объясняется преподавателем.

Форма представления результатов

Параметры катушки и ферритового тороида:

- число витков в катушке, n ;
- внешний d_2 и внутренний d_1 диаметры тороида (м);
- высота тороида, h (м).

Экспериментальные и расчетные данные представляются в табл.1.

Таблица 1

№ п/п	Температура, T (°C)	Индуктивность, L_m (Гн)	Относительная магнитная проницаемость, μ

Контрольные вопросы

1. В чем заключается процесс намагничивания материала?
2. Назвать основные характеристики магнитного поля, их взаимо-связь и физический смысл.
3. Каким образом можно оценить величину μ ?
4. Какие факторы влияют на μ ?
5. Объяснить особенности намагничивания ферромагнетиков.
6. Что такое точка Кюри?

Лабораторная работа

Изучение температурной зависимости сопротивления проводника

Цель работы: исследование влияния температуры на сопротивление проводниковых материалов и определение температурного коэффициента сопротивления.

Задание

1. Уяснить физическую природу явления электропроводности проводников.
2. Изучить и собрать схему экспериментальной установки.
3. Измерить и построить зависимость изменения сопротивления проводниковых материалов от температуры.
4. Провести анализ полученных закономерностей.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Согласно рисунку 1 выполнить электрическое соединение модулей. **Монтаж схемы производить при отключенном питании.**

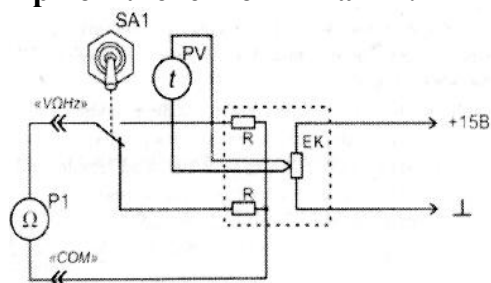


Рисунок 1 – Электрическая схема соединений типового комплекта для измерения ТКС проводников

В качестве источника питания для нагрева использовать нерегулируемый выход «+15В» модуля питания. Установить минимодуль «ТКС проводником» в соответствующие гнезда модуля «Магнитомягкие материалы и тепловой коэффициент сопротивления/емкости» (минимодуль выделен пунктирной линией), располагать его так, как указано на рисунке 1

В качестве омметра P1 использовать RLC-метр, выбрать режим измерения сопротивления, нажимая кнопку L/C/R; диапазон измерения выбирается автоматически при измерении.

После проверки правильности соединения схемы преподавателем, подать напряжение питания на комплект включением автоматического выключателя и УЗО «Модуля питания».

Включить мультиметр. На мультиметре установить режим измерения температуры «°C» на индикаторе будет отображена комнатная температура. Подключить термопару с вилкой к входу «ТЕМП» мультиметра и, в случае если показания температуры на мультиметре ниже комнатных, изменить полярность подключения выводов термопары.

2. Измерить сопротивление проводников при комнатной температуре. Полученные значения занести в таблицу 1

Температура, T [°C]	Сопротивление проводника, R [Ом]					
	Нагревание		Охлаждение		Среднее сопротивление	
	Образец1	Образец2	Образец1	Образец2	Образец1	Образец2

3. Включить нагрев. Контролировать показания термометра и омметра, через каждые $5-10^{\circ}\text{C}$, одновременно заносить значения сопротивлений проводников и температуры в таблицу 1. Для переключения между проводниками использовать тумблер SA1. Верхнее положение тумблера соответствует сплаву вольфрама минимодуля «ТКС проводников», ниже положение тумблера – сплаву меди соответственно. Измерения проводить до 100°C . **НЕ ДОПУСКАТЬ НАГРЕВАТЬ ОБРАЗЦЫ ВЫШЕ 100°C**
4. Вынуть штырь из гнезда «+15В» модуля питания (разрешается выполнять при включенном питании комплекта) и провести измерения в тех же температурных точках при охлаждении образцов. Полученные значения заносить в таблицу 1. Так как охлаждение ниже 40°C происходит значительно медленнее, допускается не охлаждать ниже $30-40^{\circ}\text{C}$ (по указанию преподавателя).
5. После оформления отчета и проверки результатов преподавателем необходимо разобрать схему, предоставить комплект в полном составе и исправности преподавателю или лаборанту.
6. По данным таблицы 1 построить графики зависимостей сопротивлений проводников от температуры $R = f(T)$. За начало координат принять точно 0°C . Выбранные масштабы должны обеспечить угол наклона графиков не менее 40° .
7. По графикам определить значение углового коэффициента α . Сравнить полученное значение ТКС со справочными данными для материала проводников.

Контрольные вопросы

1. В чем принципиальное отличие проводников и диэлектриков?
2. Проводники с какими ТКС используются для изготовления резисторов?
3. Приведите определение ТКС проводника? Единицы его измерения.
4. Приведите определение положительного и отрицательного ТКС?
5. Описать метод определения температурного коэффициента сопротивления.

Лабораторная работа

Контактные явления и термоэлектродвижущая сила

Цель работы: изучить явления, возникающие при контакте двух проводников, измерить термоЭДС исследуемой термопары.

Задание

1. Уяснить физическую природу явления возникновения ТермоЭДС в проводниках.
2. Изучить и собрать схему экспериментальной установки.
3. Измерить и построить зависимость изменения напряжения термоЭДС термопары от температуры.
4. Провести анализ полученных закономерностей.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Согласно рисунку 1 выполнить электрические соединения модулей.

Монтаж схемы производить при отключенном питании.

В качестве нагревания использовать минимодуль «ТКС проводников» (он оснащен двумя термопарами).

В качестве источника питания для нагрева «15В» использовать нерегулируемый выход модуля питания «15В».

В качестве термометра P1 использовать мультиметр в режиме измерения температуры «С°».

В качестве вольтметра PV1 использовать мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения с пределом 200мВ. Для подключения исследуемой термопары к вольтметру необходимо использовать щупы с зажимами. Подключить «+» термопары к гнезду «VΩHz» мультиметра P1, а «-» к гнезду «COM».

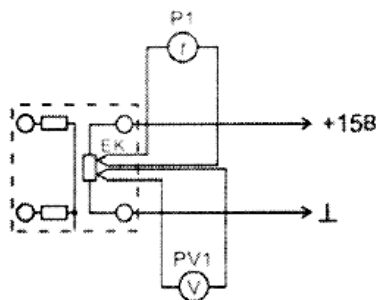


Рисунок 1 - Схема электрических соединений типового комплекта для измерения термоэдс.

2. После проверки правильности соединений схемы преподавателем или лаборантом, подать напряжение питания на комплект включения автоматического выключателя УЗО «Модуля питания».
3. Включить мультиметры. Если термопара не соединена с гнездами мультиметра P1, на его индикаторе будет отображаться комнатная температура (комнатная температура равна температуре свободных концов t_c). Соединить термопару с гнездами «ТЕМП» мультиметра P1 и, в случае если показания температуры на мультиметре ниже комнатной, изменить полярность подключения выводов термопары (перевернуть вилку). Заносить значение температуры в таблицу 1

$t_p, [^{\circ}\text{C}]$	$U, [\text{В}]$	$(t_p - t_c), [^{\circ}\text{C}]$	$t_c, [^{\circ}\text{C}]$	α_t

4. Измерить температуру рабочего спая t_p мультиметра P1 и термоэдс U мультиметра PV1. Значения заносить в таблицу 1
5. Заносить показания мультиметров в таблицу 1 через 5-10 $^{\circ}\text{C}$. **Не нагревать минимодуль более 100 $^{\circ}\text{C}$.**
6. Рассчитать разность температур рабочего спая и свободных концов термопары, для каждого пункта таблицы 1
7. Построить график зависимости $U = f(t_p - t_c)$. По графику определить относительную удельную термоЭДС α_t , как тангенс угла наклона графика, и сравнить со справочным значением для данной термопары.
8. После оформления отчета и проверки результатов преподавателем необходимо разобрать схему, предоставить комплект в полном составе и исправности преподавателю или лаборанту.

Контрольные Вопросы:

1. В каких условиях возможно появление термоэдс в замкнутой цепи?
2. Назовите основные механизмы возникновения термоэдс.
3. Приведите определение рабочего спая термопары?
4. Каков физический смысл относительной удельной термоэдс?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение скин-эффекта резонансным методом

Цель работы: изучить физическую сущность скин-эффекта, исследовать зависимость активного сопротивления цилиндрического проводника от частоты переменного тока, протекающего через него и оценить глубину скин-слоя для разных частот, определить удельную проводимость образца.

Задание

1. Уяснить физическую природу явления возникновения Скин-эффекта в проводниках.
2. Изучить схему экспериментальной установки.
3. Измерить и построить зависимость изменения активного сопротивления цилиндрического проводника от частоты переменного тока, протекающего через него и оценить глубину скин-слоя для разных частот.
4. Провести анализ полученных закономерностей.

Порядок выполнения

1. Перед включением следует проверить целостность всех соединительных и сетевых проводов устройств.
2. Включить лабораторный модуль в сеть 220В
3. Перевести переключатель СЕТЬ на панели установки в положение “ВКЛ” при этом должен загореться соответствующий сигнальный светодиод. Дать прибору прогреться не менее 5-7 минут
4. Рассчитать по формуле сопротивление одной обмотки на постоянном токе

$$R_{L\text{пост}}$$

$$R_{L\text{пост}} = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

где ρ – удельное сопротивление меди, $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ [Ом · м],

l – длина провода обмотки, $l = N \cdot \pi \cdot D$ [м],

N – число витков обмотки, $N = 115$, D – диаметр витка, $D = 0,05$ [м],

S – площадь сечения провода, [м²]

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

где d – диаметр провода, $d = 2,26 \cdot 10^{-3}$ [м]

5. Подготовить таблицу 1 для записи результатов эксперимента

Таблица 1

Частота, f [Гц]	Частота, ω , $\omega = 2\pi f$ [радиан]	Емкость, C [Ф]	U_1 , [В] (одна обмотка)	U_2 , [В] (две обмотки)	Добротность (одна обмотка) $Q_1 = \frac{U_1}{\varepsilon}$	Добротность (две обмотки) $Q_2 = \frac{U_2}{\varepsilon}$	$R_{L\text{пост}}$ Ом	$\delta_{\text{эксп}}$ м

6. Записать в таблицу 1 первое значение установленной частоты f , Гц по показаниям частотомера на “Измерительном приборе”. Вычислить значение круговой частоты $\omega = 2\pi f$. Записать установленное значение емкости контура C (отображаемое на “Измерительном приборе” значение емкости перевести в единицы СИ $1 \text{ нФ} = 1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$, $1 \text{ пФ} = 1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$)

7. Записать в таблицу 1 измеренное напряжение на конденсаторе U1 при включенной одной обмотке (при этом LCD ЖКД индикаторе отображается L2)
8. Кнопками “КАТУШКА” подключить параллельную обмотку и записать в таблицу 1 измеренное значение напряжения на конденсаторе U2 при включенных двух параллельных обмотках (при этом на LCD ЖКД индикаторе отображается L2)
9. Вычислить по формуле $Q = \frac{U}{\varepsilon}$ добротность контуров Q₁ и Q₂ при включенной одной обмотке и двух параллельных обмотках соответственно ($\varepsilon = 0.06$ [В])
10. По формуле вычислить экспериментальное значение глубины скин-слоя $\delta_{\text{эксп}}$

$$\delta_{\text{эксп}} \approx \frac{r_0}{2} \cdot \frac{R_{L\text{пост}}}{R_{L\text{перем}}}$$

где r_0 – радиус провода, $r_0 = 1,13 \cdot 10^{-3}$ [м]

$$R_{L\text{перем}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \left(\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_2} \right)$$

где L – индуктивность катушки, $L = 400 \cdot 10^{-6}$ [Гн]

11. Установить другую частоту f , Гц с помощью кнопок “Частота” и повторить действия пп. 6-10
 12. Повторить пп. 6-10 для всех других доступных частот
 13. Рассчитать для 3-4 экспериментальных частот теоретическое значение глубины скин-слоя $\delta_{\text{расч}}$ и сравнить эти значения с полученными вами экспериментальными $\delta_{\text{эксп}}$. Значение магнитной проницаемости образца (медного провода) принять $\mu = 1$
- $$\delta_{\text{расч}} = \sqrt{\frac{2}{\mu \cdot \mu_0 \cdot \gamma \cdot \omega}}$$
- где γ – удельная проводимость материала провода, $\gamma_{\text{Cu}} = 5,88 \cdot 10^7$ [Ом·м]⁻¹,
 μ_0 – относительная магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [Гн/м],
 ω – частота, $\omega = 2\pi \cdot f$
14. Построить зависимость изменения глубины скин-слоя от частоты переменного тока $\delta_{\text{эксп}} = F(f)$

Контрольные вопросы

1. Что такое скин-эффект?
2. Как количественно оценивается величина скин-эффекта?
3. Написать формулу, выражающую глубину скин-слоя для пластины.
4. Изобразить графически распределение плотности переменного тока в сечении проводника.
5. Как проявляется скин-эффект в случае цилиндрического проводника?
6. В чем идея резонансного метода изучения скин-эффекта?
7. Нарисовать схему экспериментальной установки.
8. Что такое добротность резонансного контура? Как ее можно определить экспериментально?
9. Как вычислить активное сопротивление катушки индуктивности (по результатам измерений)?
10. Как рассчитать глубину скин-слоя (по результатам измерений)?