



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физика»

Лабораторный практикум

по дисциплине
«Физика» Э2, Э3, Э4.

«Мостовые методы измерений»

Авторы
Жданова Т.П.,
Илясов В.В.,
Кудря А.П.,
Лемешко Г.Ф.,
Лещева О.А.,
Холодова О.М.,
Сирота М.А.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

Мостовые методы измерений: лабораторный практикум по физике предназначен для студентов инженерных специальностей всех форм обучения, в программу учебного курса которых входит выполнение лабораторных работ по физике (раздел «Электричество и магнетизм»).

Авторы

к.ф.-м.н., доцент Жданова Т.П.,
д.т.н., доцент Илясов В.В.,
доцент кафедры «Физика» Кудря А.П.,
к.ф.-м.н., доцент Лемешко Г.Ф.,
доцент кафедры «Физика» Лещева О.А.,
доцент кафедры «Физика» Холодова О.М.,
инженер кафедры «Физика» Сирота М.А.



Оглавление

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| Мостовые методы измерений..... | 4 |
| Лабораторная работа Э2 | 7 |
| Лабораторная работа Э3 | 14 |
| Лабораторная работа Э4 | 18 |
| Список литературы | 23 |

МОСТОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Мостиковая схема в полной цепи

Мостиковые схемы часто применяются в различных технических устройствах и являются основными для измерения сопротивлений R , емкостей C и индуктивностей L . На рис. 1 приведена схема моста переменного тока в общем виде, в котором различают плечи AC , CB , BD и DA . Плечи DA и BD – это участки реохорда, сопротивлениями R_1 и R_2 , величина которых изменяется с помощью скользящего контакта. В диагональ моста AB подключен источник переменного тока ε , а в диагональ CD – индикатор баланса моста I . В качестве индикатора используются наушники или нуль-гальванометр.

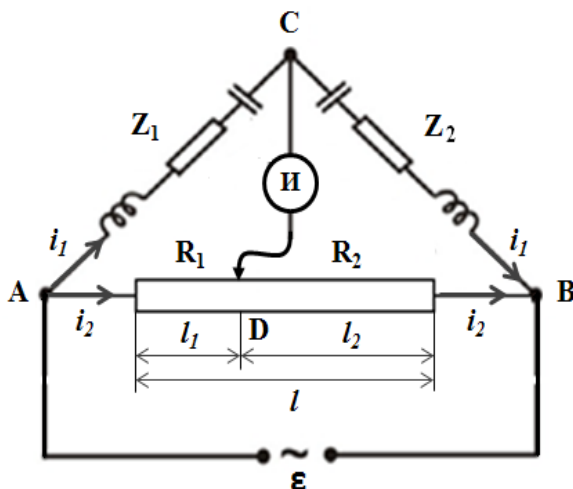


Рис. 1. Схема моста переменного тока в общем виде

В плечи моста AC и CB могут быть включены омические R , индуктивные ωL и емкостные $\frac{1}{\omega C}$ сопротивления. Полные сопротивления этих плеч моста равны

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

а сдвиг фаз между током и напряжением могут быть рас-

считаны по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{I}{R} \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right),$$

При отсутствии тока в диагонали CD мост считается *сбалансированным*. При этом, падение напряжения $U_1 = i_1 Z_1$ на плече AC равно падению напряжения $U_2 = i_2 R_1$ на плече DA

$$i_1 Z_1 = i_2 R_1, \quad (1.1)$$

а падение напряжения $U_3 = i_1 Z_2$ на плече CB равно падению напряжению $U_4 = i_2 R_2$ на плече BD

$$i_1 Z_2 = i_2 R_2. \quad (1.2)$$

При этих условиях токи в плечах AC и CB , а также в плечах DA и BD совпадают по величине. Разделив (1.1) на (1.2), получаем **условие равновесия (баланса) моста переменного тока**:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (1.3)$$

При этом потенциалы точек C и D должны быть равны в любой момент времени, то есть должны *совпадать как по амплитуде, так и по фазе*.

Точность измерений R , C и L определяется в основном *точностью эталонных сопротивлений, емкостей и индуктивностей*. Обычно измеряют мостом только сопротивление, или электроемкость, или индуктивность.

Как правило, в одном плече находится эталонный элемент цепи $Z_2 = Z_3$, а в другом – неизвестный $Z_1 = Z_x$. Кроме того, сопротивления R_1 и R_2 можно выразить через удельное сопротивление ρ проволоки, ее площади сечения S и длины участков реохорда l_1 и l_2 :

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S}, \quad R_2 = \rho \frac{l_2}{S}. \quad (1.4)$$

С учетом (1.4) условие равновесия моста (1.3) примет вид:

$$\frac{Z_x}{Z_3} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{l_1}{l-l_1}. \quad (1.5)$$

2. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 2) предназначена для определения основных характеристик полной цепи. В ее комплект входят: 1 – генератор переменного тока; 2 – реохорд; 3 – наушники; 4 – набор резисторов; 5 – набор конденсаторов; 6 – набор катушек индуктивностей; 7 – коммутационная панель; эталонные резисторы, конденсаторы и катушки индуктивностей; соединительные провода.

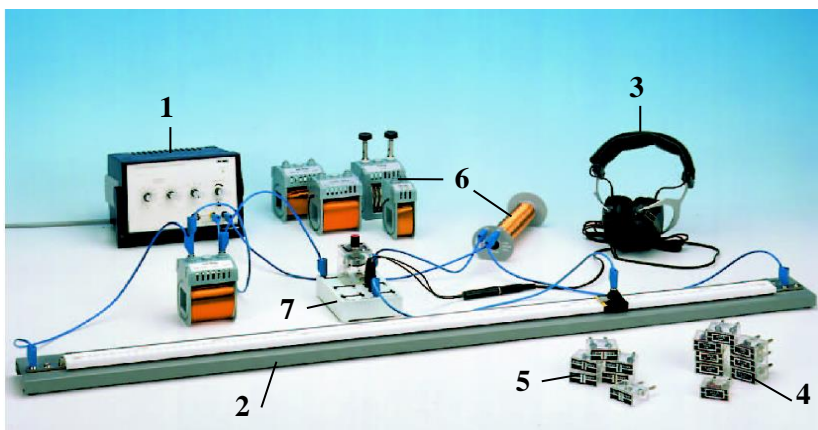


Рис. 2. Внешний вид экспериментальной установки

Генератор переменного тока позволяет регулировать амплитуду и изменять частоту во всем звуковом диапазоне. Кроме того, при измерении сопротивления резисторов мостовым методом можно использовать источник постоянного тока, а вместо наушников – нуль-гальванометр.

Лабораторная работа Э2

Определение сопротивления резисторов

Цель работы: 1) познакомиться с мостовым методом измерения неизвестных сопротивлений; 2) произвести математическую обработку результатов эксперимента.

Оборудование: реохорд, источник переменного или постоянного тока, магазин сопротивлений, набор резисторов, индикатор (наушники или нуль-гальванометр), соединительные провода.

Краткая теория

Электрический ток – это направленное упорядоченное движение электрических зарядов под действием электрического поля. За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.

Количественной характеристикой электрического тока является **сила тока** – это скалярная физическая величина, определяемая электрическим зарядом, протекающим через поперечное сечение проводника в единицу времени:

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad [I] = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{с}} = 1 \text{А}.$$

Плотность тока – векторная физическая величина (\vec{j}), определяемая силой тока, проходящего через единицу площади поперечного сечения проводника, перпендикулярного направлению тока

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS_{\perp}}, \quad [j] = 1 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}.$$

Вектор \vec{j} сонаправлен с вектором средней скорости $\langle \vec{v} \rangle$ упорядоченного движения положительных носителей.

Зависимость сопротивления от параметров проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad [R] = 1 \text{Ом}$$

где l – длина проводника; S – площадь поперечного сечения

проводника; $\rho = \frac{1}{\gamma}$ – удельное сопротивление; γ – удель-

ная проводимость.

Законы Ома:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R} \text{ – для однородного участка цепи;}$$

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{1,2}}{R} \text{ – для неоднородного участка це-}$$

пи;

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \text{ – для замкнутой цепи;}$$

$$\vec{j} = \gamma \vec{E} \text{ – в дифференциальной форме,}$$

где U – напряжение на однородном участке цепи; $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов на концах участка цепи; ε – ЭДС источника; r – внутреннее сопротивление источника тока; \vec{j} – плотность тока; γ – удельная проводимость; \vec{E} – напряжённость поля.

Разность потенциалов $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ определяется работой сил электрического поля $A_{эл}$ по перемещению единичного положительного заряда из одной точки электрического поля в другую

$$\Delta\varphi = \frac{A_{эл}}{q} .$$

Электродвижущая сила источника ε – это физическая величина, определяемая работой *сторонних сил* (сил неэлектрического происхождения) $A_{стор}$ по перемещению единичного положительного заряда q вдоль замкнутой цепи сторонними силами:

$$\varepsilon = \frac{A_{стор}}{q}, \quad [\varepsilon] = 1 \frac{Дж}{Кл} = 1В .$$

Напряжение – это физическая величина, определяемая работой по перемещению единичного положительного заряда на

участке цепи как электрическими, так и сторонними силами.

$$U = \frac{A_{\text{эл}}}{q} + \frac{A_{\text{стор}}}{q} = \Delta\varphi + \varepsilon.$$

Правила Кирхгофа:

$$1) \sum_i I_i = 0 \text{ – для узлов;} \quad 2) \sum_i I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k \text{ – для}$$

контуров,

где $\sum_i I_i$ – алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в уз-

ле; $\sum_k \varepsilon_k$ – алгебраическая сумма ЭДС в контуре.

Применяя правила Кирхгофа, следует соблюдать следующие указания:

1. Перед составлением уравнений произвольно выбрать:
а) направления токов и указать их стрелками на чертеже; б) направления обхода контуров (например, по часовой стрелке).

2. При составлении уравнений по первому правилу Кирхгофа считать токи, подходящие к узлу, положительными, а токи, отходящие от узла, отрицательными. Число уравнений, составляемых по первому правилу Кирхгофа, должно быть на единицу меньше числа узлов, содержащихся в цепи.

3. При составлении уравнений по второму правилу Кирхгофа надо считать, что а) произведение силы тока на сопротивление участка контура $I_k R_k$ входит в уравнение со знаком “плюс”, если направление тока в данном участке совпадает с выбранным направлением обхода контура, в противном случае произведение $I_k R_k$ входит в уравнение со знаком “минус”, б) ЭДС входит в уравнение со знаком “плюс”, если она повышает потенциал в направлении обхода контура, т.е. если при обходе приходится идти от минуса к плюсу внутри источника тока; в противном случае ЭДС входит в уравнение со знаком “минус”. Число уравнений, составленных по второму правилу Кирхгофа должно быть равно числу независимых контуров, имеющих в цепи. Например:

Выберем направления токов, как они показаны на рис. 3, и условимся обходить контуры по часовой стрелке. По первому правилу Кирхгофа для узла F имеем:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0.$$

По второму правилу Кирхгофа имеем для контура $ACDFA$:

$$-I_1 R_1 - I_2 R_2 = -\varepsilon_1.$$

Соответственно для контура $AFGHA$ найдем: $I_1 R_1 + I_3 R_3 = \varepsilon_2$.
Далее решаем систему уравнений.

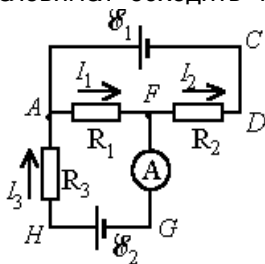


Рис. 3

Выполнение работы

Для измерения сопротивления в схему моста (см. рис. 1) в плечо AC подключить только измеряемое сопротивление R_x , а в плечо CB только эталонное – R_3 , тогда уравнение (1.5) примет вид:

$$R_x = R_3 \frac{l_1}{l - l_1}. \quad (1)$$

Уравнение (1) символизирует условие равновесия так называемого **мостика Уитстона**. В диагональ AB моста можно подключить источник постоянного тока, а в диагональ CD – нуль-гальванометр.

Задание 1. Определение сопротивления резисторов

1. Собрать цепь по схеме, изображенной на рис. 1, подсоединив неизвестное сопротивление R_{x1} в плечо AC , а эталонное сопротивление R_3 (магазин сопротивлений) – в плечо CB .
2. Установить движок реохорда посередине шкалы.
3. Добиться отсутствия тока через индикатор нуля (или отсутствует звук в наушниках) подбором эталонных сопротивлений на магазине сопротивлений. Значения l , l_1 , R_3 занести в табл.

1.

Таблица 1

| № | l | l_1 | $R_э$ | R_x | ΔR_x | δR_x |
|---------------------------------|-----|-------|-------|-------|--------------|--------------|
| [] | мм | мм | Ом | Ом | Ом | % |
| Первое сопротивление R_{x1} : | | | | | | |
| 1 | | | | | | X |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | |
| Второе сопротивление R_{x2} : | | | | | | |
| 1 | | | | | | X |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | |

4. Переместить движок реохорда на 1–2 см влево. Повторить пункт 3.

5. Переместить движок реохорда на 1–2 см вправо. Повторить пункт 3.

6. Вычислить по формуле (1) сопротивление R_{x1} для каждого измерения. Результаты занести в табл. 1.

7. Найти средние значения $\langle R_{x1} \rangle$, $\langle \Delta R_{x1} \rangle$ и относительную погрешность по формуле $\delta R_I = \frac{\langle \Delta R_I \rangle}{\langle R_I \rangle}$. Результаты занести в табл. 1.

8. Подсоединить неизвестное сопротивление R_{x2} вместо R_{x1} в плечо AC . Повторить пункты 2–7 для этого сопротивления.

Задание 2. *Определение сопротивления при параллельном и последовательном соединении резисторов*

1. Соединить измеренные резисторы R_{x1} и R_{x2} **параллельно** и повторить пункты 2–7 задания 1. Результаты занести в табл.2

Таблица 2

| № | l | l_1 | R_9 | R_X | ΔR_X | δR_X | R_{TEOP} | δR |
|---|-----|-------|-------|-------|--------------|--------------|------------|------------|
| [] | мм | мм | Ом | Ом | Ом | % | Ом | % |
| При параллельном соединении R_{X1} и R_{X2}: | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | | | |
| При последовательном соединении R_{X1} и R_{X2}: | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | | | |

2. Вычислить сопротивление R_{TEOP} для параллельного соединения, используя средние значения $\langle R_{X1} \rangle$ и $\langle R_{X2} \rangle$ из табл.1, по формуле:

$$R_{TEOP} = \frac{\langle R_{X1} \rangle \cdot \langle R_{X2} \rangle}{\langle R_{X1} \rangle + \langle R_{X2} \rangle}.$$

3. Оценить относительную погрешность по формуле:

$$\delta = \frac{|R_{ЭКСП} - R_{TEOP}|}{R_{TEOP}} \cdot 100\%,$$

где $R_{ЭКСП}$ – среднее значение сопротивления $\langle R_X \rangle$ при параллельном соединении из табл. 2

4. Соединить измеренные резисторы R_{X1} и R_{X2} **последовательно** и повторить пункты 2–7 задания 1. Результаты занести в табл. 2.

5. Используя средние значения $\langle R_{X1} \rangle$ и $\langle R_{X2} \rangle$ из табл.1

вычислить сопротивление R_{TEOP} для последовательного соединения, по формуле

$$R_{TEOP} = \langle R_{X1} \rangle + \langle R_{X2} \rangle.$$

6. Повторить пункт 3. Результаты занести в табл. 2.
7. По выполненной работе сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Что называется постоянным электрическим током? Какими параметрами он характеризуется?
2. Сформулируйте законы Ома для однородного и неоднородного участка цепи, для полной цепи и в дифференциальной форме.
4. Сформулируйте основные закономерности для силы тока, напряжения и сопротивления при последовательном и параллельном соединении проводников.
5. В чём заключается метод измерения неизвестного сопротивления с помощью моста Уитстона?
6. В чём заключается физический смысл ЭДС?
7. Составьте систему уравнений по правилам Кирхгофа.
8. В чём заключается физическая сущность сопротивления по классическим представлениям?

Лабораторная работа Э3

Определение электроемкости конденсаторов

Цель работы: 1) познакомиться с мостовым методом измерения электроемкости конденсаторов; 2) произвести математическую обработку результатов эксперимента.

Оборудование: реохорд, источник переменного тока, эталонные электроемкости, набор конденсаторов, индикатор (наушники или нуль-гальванометр), соединительные провода.

Краткая теория

Электроемкостью уединенного проводника называется мера его способности удерживать электрический заряд.

Если уединенному проводнику сообщить электрический заряд q , то потенциал проводника примет некоторое значение

$\varphi \neq 0$, причем $q \sim \varphi$, т.е. $q = C \cdot \varphi$. Следовательно, $C = \frac{q}{\varphi}$ –

электрическая емкость уединенного проводника.

Конденсатор – система из двух проводников, разделенных диэлектриком, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга.

Поле сосредоточено в пространстве между проводниками, которые называются обкладками конденсатора.

Электроемкость конденсатора численно равна заряду, который нужно сообщить одной из обкладок, чтобы разность потенциалов между ними изменить на единицу:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}, \quad [C] = I \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = 1 \text{Ф}.$$

Электроемкость плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

где S – площадь каждой обкладки; d – расстояние между ними.

Для измерения электроемкости в схему моста (см. рис. 1) включают в плечо AC только измеряемую электроемкость со-

противлением $Z_X = \frac{l}{\omega C_X}$, а в плечо **CB** только эталонную, со-

противлением $Z_X = \frac{l}{\omega C_3}$, то уравнение (1.5) примет вид:

$$C_X = C_3 \frac{l - l_1}{l_1}. \quad (1)$$

Уравнение (1) символизирует условие равновесия, так называемого **мостика Сотти**. В диагональ **AB** мостика Сотти подключают источник переменного тока, а в диагональ **CD** – наушники или нуль-гальванометр.

Выполнение работы

Задание 1. Определение электроемкости конденсаторов

1. Собрать цепь по схеме, изображенной на рис.1, подключив неизвестную электроемкость C_{X1} в плечо **AC**, а эталонную электроемкость C_{31} – в плечо **CB**. Подключить мост в цепь переменного тока.

2. Перемещая движок реохорда добиться баланса моста (ток в индикаторе отсутствует или отсутствует звук в наушниках).

3. Занести в табл. 1 значения l, l_1, C_{31} .

Таблица 1

| № | l | l_1 | C_3 | C_X | ΔC_X | δC_X |
|--|-----|-------|-------|-------|--------------|--------------|
| [] | мм | мм | Ф | Ф | Ф | % |
| Электроемкость первого конденсатора C_{X1} : | | | | | | |
| 1 | | | | | | X |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | |
| Электроемкость второго конденсатора C_{X2} : | | | | | | |
| 1 | | | | | | X |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | |

4. Подключить в плечо **СВ** эталонную электроемкость $C_{э2}$ вместо $C_{э1}$ и повторить пункты 2–3.

5. Подключить в плечо **СВ** эталонную электроемкость $C_{э3}$ вместо $C_{э2}$ и повторить пункты 2–3.

6. Для каждого измерения вычислить по формуле (1) величину электроемкости C_{X1} . Результаты занести в табл. 1.

7. Найти средние значения $\langle C_{X1} \rangle$, $\langle \Delta C_{X1} \rangle$ и относительную погрешность по формуле $\delta C_1 = \frac{\langle \Delta C_1 \rangle}{\langle C_1 \rangle}$. Результаты занести в табл. 1.

сти в табл. 1.

8. Повторить пункты 1–7 для неизвестного сопротивления C_{X2} .

Задание 2. Определение электроемкости при параллельном и последовательном соединении конденсаторов

1. Соединить измеренные конденсаторы C_{X1} и C_{X2} **параллельно** и повторить пункты 2–7 задания 1. Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

| № | l | l_1 | $C_{э}$ | C_X | ΔC_X | δC_X | $C_{ТЕОР}$ | δC |
|---|-----|-------|---------|-------|--------------|--------------|------------|------------|
| [] | мм | мм | Ф | Ф | Ф | % | Ф | % |
| При параллельном соединении C_{X1} и C_{X2}: | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | X | X | X |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | | | |
| При последовательном соединении C_{X1} и C_{X2}: | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | X | X | X |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | | | |

Физика

2. Вычислить емкость $C_{ТЕОР}$ для параллельного соединения, используя средние значения $\langle C_{X1} \rangle$ и $\langle C_{X2} \rangle$ из табл.1 по формуле

$$C_{ТЕОР} = \langle C_{X1} \rangle + \langle C_{X2} \rangle.$$

3. Рассчитать относительную погрешность по формуле:

$$\delta C_X = \frac{|C_{ЭКСП} - C_{ТЕОР}|}{C_{ТЕОР}} \cdot 100\%,$$

где $C_{ЭКСП}$ – среднее значение емкости $\langle C_X \rangle$ при параллельном соединении из табл. 2.

4. Соединить измеренные конденсаторы C_{X1} и C_{X2} **последовательно** и повторить пункты 2-7 задания 1. Результаты занести в табл. 2.

5. Вычислить емкость $C_{ТЕОР}$ для последовательного соединения, используя средние значения $\langle C_{X1} \rangle$ и $\langle C_{X2} \rangle$ из табл.1, по формуле

$$C_{ТЕОР} = \frac{\langle C_{X1} \rangle \cdot \langle C_{X2} \rangle}{\langle C_{X1} \rangle + \langle C_{X2} \rangle}.$$

6. Повторить пункт 3. Результаты занести в табл. 2.

7. По выполненной работе сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Что называется емкостью уединенного проводника? От чего она зависит?

2. В каких единицах измеряется емкость?

3. Что представляет собой конденсатор?

4. Что называется емкостью конденсатора?

5. Опишите устройство и принцип действия моста Сотти.

6. В чем заключается условие равновесия (баланса) моста?

7. Написать формулу емкости плоского конденсатора.

8. Как определить общую емкость при параллельном и последовательном соединении?

Лабораторная работа Э4

Определение индуктивности катушки

Цель работы: 1) познакомиться с мостовым методом измерения индуктивности катушки; 2) произвести математическую обработку результатов эксперимента.

Оборудование: реохорд, источник переменного тока, эталонные катушки индуктивности, набор катушек, индикатор (наушники или нуль-гальванометр), соединительные провода.

Краткая теория

Электрический ток, текущий в замкнутом контуре, создает вокруг себя магнитное поле, индукция которого, по закону Био – Савара – Лапласа, пропорциональна току. Сцепленный с контуром магнитный поток Φ поэтому пропорционален силе тока I в контуре:

$$\Phi = L \cdot I,$$

где коэффициент пропорциональности L называется **индуктивностью контура**. Единица индуктивности **генри** (Гн): 1 Гн – индуктивность такого контура, магнитный поток самоиндукции которого при токе в 1 А равен 1 Вб.

Выполнение работы

Для измерения индуктивности в схему моста (рис. 1) включают дополнительный потенциометр (рис. 4) для компенсации омического сопротивления катушек индуктивности. В плечо AC подключают измеряемую индуктивность L_X , а в плечо CB – эталонную $L_Э$. Тогда сопротивления плеч AC и CB будут равны

$$\begin{aligned} Z_1 &= R_{LX} + r_1 + i \cdot \omega L_X, \\ Z_2 &= R_{LЭ} + r_2 + i \cdot \omega L_Э, \end{aligned} \quad (1)$$

где $R_{LX}, R_{LЭ}$ – омические сопротивления катушек L_X и $L_Э$; ω – циклическая частота; $\omega L_X, \omega L_Э$ – индуктивные сопротивления неизвестной и эталонной катушек; $i = \sqrt{-1}$ –

мнимая единица.

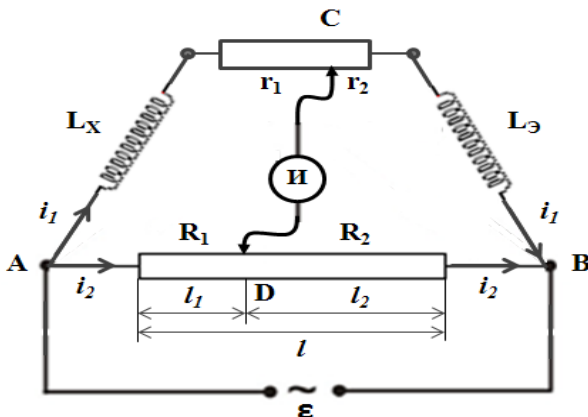


Рис. 4. Схема моста для измерения индуктивности катушек

Компенсация омического сопротивления катушек индуктивности состоит в том, что передвигая оба ползунка (на потенциометре – точка C и на реохорде – точка D), можно найти положение точек C и D , при котором потенциалы точек равны (звук в наушниках исчезает).

При наличии потенциометра, сопротивление которого равно $r_1 + r_2$, условие баланса моста (1.3) запишется так:

$$\frac{R_{LX} + r_1 + i \cdot \omega L_X}{R_{L3} + r_2 + i \cdot \omega L_3} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Для соблюдения равенства должны иметь место две пропорции:

$$\frac{R_{LX} + r_1}{R_{L3} + r_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

и

$$\frac{L_X}{L_3} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Поскольку сопротивлениям r_1 и r_2 можно придать необходимые значения, эти две пропорции могут быть сделаны справедливыми одновременно. Так как R_1 и R_2 – сопротивления плеч

реохорда, то, учитывая (1.3) и (1.5), получим:

$$L_x = L_{\text{э}} \frac{l_1}{l - l_1}. \quad (1)$$

Задание 1. Определение индуктивности катушек

1. Собрать цепь по схеме, изображенной на рис. 4, подсоединив неизвестную индуктивность L_{x1} в плечо AC , а эталонную индуктивность $L_{\text{э}1}$ – в плечо CB . Подключить мост в цепь переменного тока.

2. Перемещая оба ползунка (на потенциометре – точка C и на реохорде – точка D), найти положение точек C и D , при котором звук в наушниках исчезнет, а мост будет сбалансирован.

Таблица 1

| № | l | l_1 | $L_{\text{э}}$ | L_x | ΔL_x | δL_x |
|---------------------------------|-----|----------|----------------|-------|--------------|--------------|
| [] | мм | мм | Гн | Гн | Гн | % |
| Первая индуктивность L_{x1} : | | | | | | |
| 1 | | | | | | X |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| Среднее | | значение | | | | |
| Вторая индуктивность L_{x2} : | | | | | | |
| 1 | | | | | | X |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| Среднее | | значение | | | | |

3. Значения l , l_1 , $L_{\text{э}1}$ занести в табл. 1.

4. Вместо $L_{\text{э}1}$ подключить в плечо CB эталонную индуктивность $L_{\text{э}2}$ и повторить пункты 2–3.

5. Вместо $L_{\text{э}2}$ подключить в плечо CB эталонную индуктивность $L_{\text{э}3}$ и повторить пункты 2–3.

6. Для каждого измерения вычислить по формуле (1) величину индуктивности L_{x1} .

7. Найти средние значения $\langle L_{x1} \rangle$, $\langle \Delta L_{x1} \rangle$ и относительную

Физика

погрешность по формуле $\delta = \frac{\langle \Delta L_{X1} \rangle}{\langle L_{X1} \rangle}$. Результаты занести в

табл. 1.

8. Повторить пункты 1–7 для неизвестной индуктивности L_{X2} .

Задание 2. Определение индуктивности при параллельном и последовательном соединении катушек

1. Соединить измеренные индуктивности L_{X1} и L_{X2} параллельно и повторить пункты 2–7 задания 1. Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

| № | l | l_1 | $L_{\text{э}}$ | L_X | ΔL_X | δL_X | $L_{\text{ТЕОР.}}$ | δL |
|---|-----|-------|----------------|-------|--------------|--------------|--------------------|------------|
| [] | мм | мм | Гн | Гн | Гн | % | Гн | % |
| При параллельном соединении L_{X1} и L_{X2}: | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | | | |
| При последовательном соединении L_{X1} и L_{X2}: | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | | | |

2. Используя средние значения $\langle L_{X1} \rangle$ и $\langle L_{X2} \rangle$, вычислить индуктивность $L_{\text{ТЕОР}}$ для параллельного соединения по формуле

$$L_{\text{ТЕОР}} = \frac{\langle L_{X1} \rangle \cdot \langle L_{X2} \rangle}{\langle L_{X1} \rangle + \langle L_{X2} \rangle}$$

3. Рассчитать относительную погрешность по формуле:

Физика

$$\delta L = \frac{|L_{ЭКСП} - L_{ТЕОР}|}{L_{ТЕОР}} \cdot 100\%,$$

где $L_{ЭКСП}$ – среднее значение индуктивности $\langle L_X \rangle$ при параллельном соединении из табл. 2.

4. Соединить измеренные индуктивности L_{X1} и L_{X2} последовательно и повторить пункты 2–7 задания 1. Результаты занести в табл. 2.

5. Используя средние значения $\langle L_{X1} \rangle$ и $\langle L_{X2} \rangle$ из табл. 1 вычислить индуктивность $L_{ТЕОР}$ для последовательного соединения, по формуле $L_{ТЕОР} = \langle L_{X1} \rangle + \langle L_{X2} \rangle$.

6. Повторить пункт 3. Результаты занести в табл. 2.

7. По выполненной работе сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Что называется индуктивностью? От чего она зависит?
2. В каких единицах измеряется индуктивность?
3. Что представляет собой катушка индуктивности?
4. Опишите устройство и принцип действия моста, предназначенного для измерения индуктивности.
5. В чем заключается условие равновесия (баланса) моста?
6. Запишите формулу индуктивности соленоида, диаметр которого во много раз меньше его длины.
7. Как определить общую индуктивность при параллельном и последовательном соединении?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М.: Академия, 2013.
2. Электростатика. Постоянный электрический ток: учеб. пособие / В.С. Кунаков, И.В. Мардасова, О.М. Холодова и др. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 66 с.
3. Яворский Б.М. Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. – М.: Наука, 2006.