

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
технический университет»

Кафедра физики

**139-2013**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторным работам по разделу «Электричество»  
дисциплины «Физика»  
для студентов всех направлений, специальностей и форм  
обучения

Воронеж 2013

Составители: канд. физ.–мат. наук А.Г. Москаленко, канд. физ.–мат. наук Т.Л. Тураева, канд. физ.–мат. наук Н.В. Матовых, канд. физ.–мат. наук А.Ф. Татаренков, канд. физ.–мат. наук И.А. Сафонов

УДК 531.07

Методические указания к лабораторным работам по разделу «Электричество» дисциплины «Физика» для студентов всех направлений, специальностей и форм обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.Г. Москаленко, Т.Л. Тураева, Н.В. Матовых, А.Ф. Татаренков, И.А. Сафонов. Воронеж, 2013. 44 с.

Методические указания содержат краткий теоретический материал и описание лабораторных работ по разделу ”Электричество” курса физики, выполняемых в учебных лабораториях ВГТУ. Предназначены для студентов технического профиля первого и второго курсов всех направлений, специальностей и форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2003 и содержатся в файле «Электричество-лаб.раб.2013.doc».

Табл. 9. Ил. 20 . Библиогр.: 4 назв.

Рецензент канд. физ.-мат. наук, проф. В.С. Железный

Ответственный за выпуск зав. кафедрой канд. физ.-мат. наук, проф. Т.Л. Тураева

Издаётся по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013

Лабораторная работа № 2.1  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ  
ПОЛЕЙ**

**Цель работы:** определение расположения эквипотенциалей, построение силовых линий электрических полей, задаваемых электродами различной конфигурации, и построение качественной зависимости напряжённости электрического поля от координаты.

**Принадлежности:** установка, состоящая из лабораторного модуля, зонда, выносного элемента, источника питания и вольтметра.

**Теоретические положения**

Между напряжённостью электрического поля и электрическим потенциалом существует интегральная и дифференциальная связь:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 (\vec{E}, d\vec{l}), \quad (1.1)$$

$$\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}} \varphi. \quad (1.2)$$

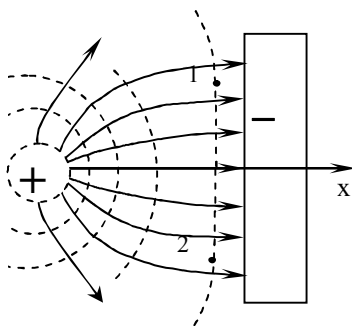


Рис. 1.1

Электростатическое поле может быть представлено графически двумя способами, дополняющими друг друга: с помощью эквипотенциальных поверхностей и линий напряжённости (силовых линий).

Поверхность, все точки которой имеют одинаковый потенциал, называется эквипотенциальной поверхностью. Линия пересечения ее с плоскостью чертежа называется эквипотенциалью. Силовые линии электростатического поля - линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора  $\vec{E}$ . На рис. 1.1 пунктирными линиями представлены эквипотенциали, сплошными - силовые линии электрического поля.

Разность потенциалов между точками 1 и 2 равна нулю, так как они находятся на одной эквипотенциали. В этом случае из (1.1)

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 (\vec{E}, d\vec{l}) = 0 \quad \text{или} \quad \int_1^2 E dl \cos \angle(\vec{E} d\vec{l}) = 0.$$

Так как  $E$  и  $dl$  не равны нулю, то  $\cos(\vec{E} d\vec{l}) = 0$ , т. е. угол между эквипотенциалью и силовой линией составляет  $\pi/2$ .

Из (1.2) следует, что силовые линии всегда направлены в сторону убывания потенциала. Величина напряжённости электрического поля определяется густотой силовых линий: чем гуще силовые линии, тем меньше расстояние между эквипотенциальями. Исходя из этих принципов, можно построить картину силовых линий, располагая картиной эквипотенциалей, и наоборот.

Достаточно подробная картина эквипотенциалей поля позволяет рассчитать в разных точках значение проекции век-

тора напряжённости  $\vec{E}$  на выбранное направление  $x$ , усредненное по некоторому интервалу координаты  $\Delta x$ :

$$\langle E_x \rangle = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}, \quad (1.3)$$

где  $\Delta x$  — приращение координаты при переходе с одной эквипотенциали на другую;  $\Delta\varphi$  - соответствующее ему приращение потенциала;  $\langle E_x \rangle$  – среднее значение проекции  $E_x$  между двумя эквипотенциалами.

У поверхности металла напряжённость связана с величиной поверхностной плотности заряда  $\sigma$  соотношением

$$|\sigma| = \varepsilon_0 E = \varepsilon_0 \left| \frac{\Delta\varphi_n}{\Delta n} \right|, \quad (1.4)$$

где  $\Delta n$  - изменение координаты в направлении, перпендикулярном поверхности металла;  $\Delta\varphi_n$  - соответствующее ему приращение потенциала.

### **Описание установки и методики измерений**

Для моделирования электростатического поля удобно использовать аналогию, существующую между электростатическим полем, созданным заряженными телами данной формы в вакууме, и электрическим полем постоянного тока, текущего по проводящей плёнке с однородной проводимостью. При этом расположение силовых линий электростатического поля оказывается аналогичным расположению линий электрического тока. То же утверждение справедливо для потенциала. Распределение потенциала поля в проводящей плёнке такое же, как в электростатическом поле в вакууме, если оно задано заряженными телами, сечение которых плоскостью плёнки совпадает со "следом", оставляемым моделью электрода на плёнке, а высота бесконечно велика.

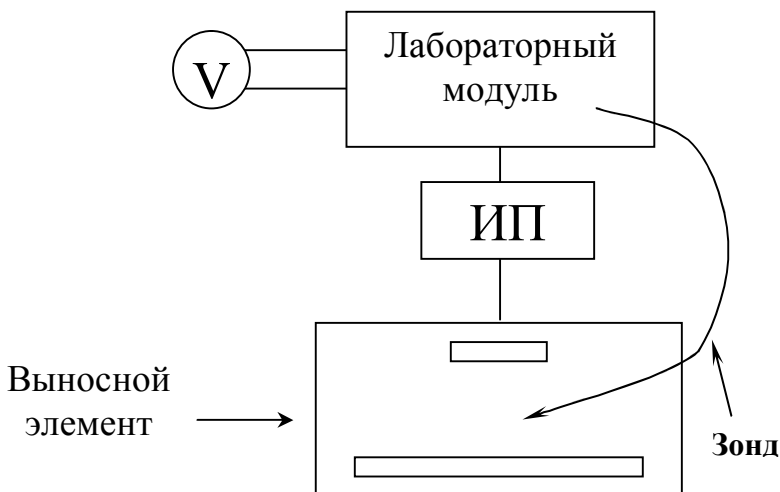


Рис. 1.2

В качестве проводящей плёнки в работе используется электропроводящая бумага с одинаковой во всех направлениях проводимостью.

На бумаге устанавливаются массивные модели электродов так, что обеспечивается хороший контакт между электродом и проводящей бумагой. Для исследования электростатического поля применяется установка (рис. 1.2), состоящая из лабораторного модуля, зонда, выносного элемента, источника питания ИП и вольтметра. Выносной элемент представляет собой диэлектрическую панель, на которую помещают лист миллиметровой бумаги, поверх нее - лист копировальной бумаги, затем – лист электропроводящей бумаги, на которой устанавливаются электроды.

Электрическая схема лабораторной работы изображена на передней панели модуля (рис. 1.3). Напряжение от источни-

ка питания ИП с ЭДС  $\mathcal{E}$  подается на гнезда 1 и 2, к которым подключаются электроды, установленные на электропроводящей бумаге. К модулю также подключаются зонд (гнездо 3) и вольтметр  $PV$  (гнезда 4 и 5). В качестве вольтметра используется мультиметр.

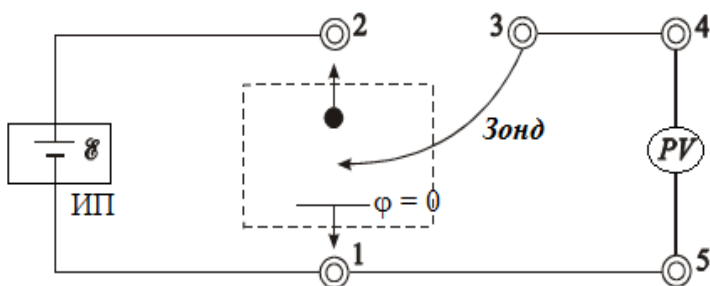


Рис. 1.3

Потенциал зонда равен потенциалу той точки поверхности электропроводящей бумаги, которой он касается. Совокупность точек, для которых потенциал одинаков, и есть изображение эквипотенциали поля. Вольтметр измеряет потенциал точки, которой касается зонд, относительно электрода с нулевым потенциалом. Для построения эквипотенциалей необходимо найти 5-6 точек с одинаковым потенциалом. Нахождение точек осуществляется путем перемещения зонда по электропроводящей бумаге. Для построения модели электростатического поля необходимо определить местонахождение 4 - 5 эквипотенциалей.

## Порядок выполнения работы

1. Укрепить на предметном столике лист бумаги, на него положить копировальную бумагу, а поверх нее лист электропроводящей бумаги.

2. Установить на электропроводящей бумаге электроды по указанию преподавателя.

3. Включить источник питания и установить по вольтметру на лицевой панели прибора напряжение 9 - 12 В.

4. Касаясь зондом электродов, определить потенциалы электродов и отметить точками их положение. Контуры электродов определяют крайние эквипотенциали.

5. Перемещая зонд по бумаге, найти и отметить 5-6 точек с одинаковым потенциалом в 1,5 или 2 В.

6. Аналогичным образом определить положение других эквипотенциалей, отличающихся друг от друга на одну и ту же разность потенциалов (1,5 – 2В).

7. Отключить лабораторную установку от сети.

8. Снять бумагу с доски и по точкам начертить эквипотенциали. На каждой эквипотенциали отметить соответствующее ей значение потенциала.

## Обработка результатов измерений

1. На картине поля начертить координатную ось  $x$ , проходящую через центры электродов.

2. В табл. 1.1 записать координаты и соответствующие им потенциалы точек поля. Построить график  $\varphi = f(x)$ .

Таблица 1.1

№	1	2	3	4	5
$\varphi$ , В					
$x$ , см					



3. Построить картину силовых линий поля. Густота и направление силовых линий должны соответствовать расположению эквипотенциалей.

4. По формуле (1.3) рассчитать средние значения напряжённости электрического поля в точках с координатами  $x_{\text{ср}}$ , расположенных примерно посередине между каждой парой эквипотенциалей. Результаты занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

№	$x_{\text{ср}}$ , см	$\varphi_i$ , В	$\varphi_{i-1}$ , В	$\Delta\varphi_i = \varphi_i - \varphi_{i-1}$ , В	$\Delta x$ , см	$\langle E_x \rangle$ , В/см
1						
2						
...						

5. Построить график зависимости  $\langle E_x \rangle(x)$  по данным табл. 1.2.

6. Рассчитать поверхностную плотность заряда на электродах, используя формулу (1.4).

### Контрольные вопросы

1. Что называется напряжённостью электростатического поля?
2. Что называется потенциалом, разностью потенциалов электростатического поля?
3. Какова дифференциальная связь между вектором напряжённости электростатического поля и потенциалом?
4. Какова интегральная связь между разностью потенциалов и напряжённостью электростатического поля?
5. На чем основывается возможность моделирования электростатических полей?

Лабораторная работа № 2.2

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЁМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА РАЗРЯДКИ

**Цель работы:** определение ёмкости конденсатора и батареи из двух конденсаторов при их параллельном и последовательном соединении.

**Принадлежности:** лабораторная установка, состоящая из лабораторного модуля, источника питания, стрелочного микроамперметра.

### Описание установки и методики измерений

В состав лабораторной установки входят: лабораторный модуль, источник питания ИП, стрелочный микроамперметр.

Электрическая схема лабораторного модуля изображена на его передней панели (рис. 2.1). Внутри лабораторного модуля на печатной плате смонтированы: поляризованное реле типа РПС–32А, а также два конденсатора. Конденсаторы подключаются к источнику питания с помощью гибких выводов

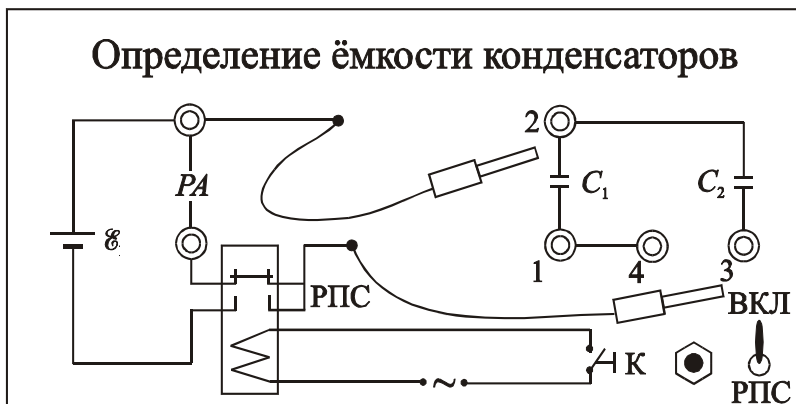


Рис.2.1

со штекерами. Один из гибких выводов подключён через поляризованное реле, а второй – непосредственно к источнику тока. Переменное питание на реле подается через тумблер "РПС" и кнопку "К" с нормально разомкнутыми контактами. К гнездам "РА" подключается микроамперметр.

В первую половину периода замыкаются контакты реле, через которое подается напряжение на конденсатор и он заряжается. Контакты, в цепь которых включен микроамперметр, разомкнуты. Во вторую половину периода размыкаются контакты реле, через которые подается напряжение на конденсатор, и замыкаются контакты, через которые к заряженному конденсатору подключается измерительный прибор. Этот процесс проходит с частотой питания обмотки поляризованного реле, равной 50 Гц.

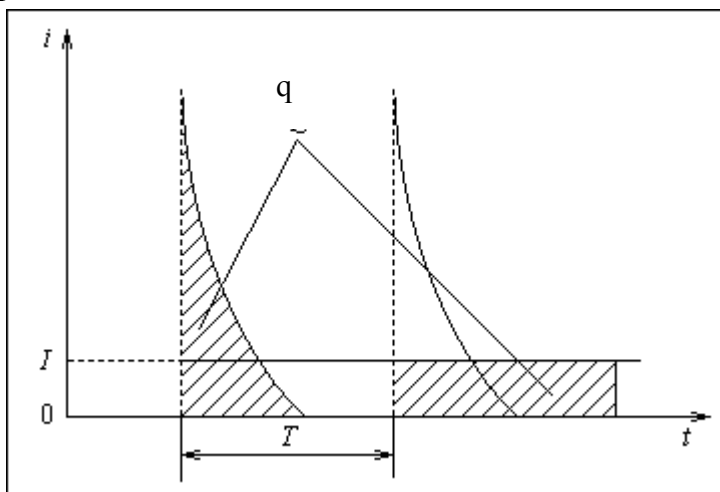


Рис.2.2

За время  $T$ , равное периоду перезарядки конденсатора, через микроамперметр пройдет заряд  $q$ , величина которого определяется площадью (рис. 2.2), ограниченной кривой тока разряда конденсатора  $i(t)$  и осью времени  $t$ . С другой стороны,

$q$  можно определить через площадь, ограниченную прямой  $I = \text{const}$  и осью времени  $t$  в пределах периода перезарядки конденсатора. Здесь  $I$  – среднее значение тока, которое показывает микроамперметр. Обе площади, выделенные на рис. 2.2, равны, следовательно, можно записать

$$q = \int_0^T i(t) dt = IT. \quad (2.1)$$

Напряжение  $U$ , заряд конденсатора  $q$  и его ёмкость  $C$  связаны известным соотношением

$$q = CU. \quad (2.2)$$

Приравнявая (2.1) и (2.2), а также учитывая соотношение  $\nu = 1/T$ , где  $\nu$  - частота перезарядки конденсатора, равная частоте питания поляризованного реле 50 Гц, получим формулу для расчёта ёмкости конденсаторов или их соединений

$$C = \frac{I}{U\nu}. \quad (2.3)$$

### Порядок выполнения работы

1. Установить на источнике питания ИП напряжение, равное 5 В.

2. Присоединить гибкие выводы на панели лабораторного модуля к гнездам 1 и 2 (рис. 2.1). Нажав и удерживая кнопку "К" в течение 3 – 4 с, измерить среднее значение тока разряда конденсатора  $C_1$ .

3. Присоединить гибкие выводы к конденсатору  $C_2$  (гнезда 2 и 3) и измерить его ток разряда.

4. Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

5. Присоединить гибкие выводы к гнездам 1 и 3 и измерить ток разряда последовательно соединенных конденсаторов  $C_1, C_2$ .

6. Закоротить гнезда 3 и 4 перемычкой, подсоединить гибкие выводы к гнездам 1 и 2 и измерить ток разряда параллельно соединенных конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ .

7. Результаты измерений занести в табл. 2.2.

8. Повторить пункты 2 – 7, установив на источнике питания ИП напряжение 7 и 9 В.

Таблица 2.1

$U, В$	$I_1, мкА$	$C_1, мкФ$	$I_2, мкА$	$C_2, мкФ$	Вычисленные значения $C_{\text{посл}}, мкФ$	Вычисленные значения $C_{\text{пар}}, мкФ$
5						
7						
9						
	$\langle C_1 \rangle =$		$\langle C_2 \rangle =$			

Таблица 2.2

$U, В$	$I_3, мкА$	$C_{\text{посл}}, мкФ$	$I_4, мкА$	$C_{\text{пар}}, мкФ$
5				
7				
9				
	$\langle C_{\text{посл}} \rangle =$		$\langle C_{\text{пар}} \rangle =$	

## Обработка результатов измерений

1. По формуле (2.3) рассчитать емкости конденсаторов  $C_1$ ,  $C_2$  и их соединений. Результаты расчета занести в табл. 2.1 и 2.2. Определить средние значения емкостей.

2. По формулам последовательного и параллельного соединения конденсаторов рассчитать  $C_{\text{пос}}$  и  $C_{\text{пар}}$ . Сопоставить экспериментальные и расчетные значения емкостей конденсаторов.

3. Рассчитать абсолютную и относительную погрешности определения одной из ёмкостей.

## Контрольные вопросы

1. От каких параметров зависит ёмкость конденсатора?
2. Изложите суть метода определения ёмкости конденсатора посредством измерения тока разрядки.
3. Какой физический смысл имеет площадь, ограниченная кривой графика  $i = i(t)$ ?
4. Выведите формулы для электроёмкости последовательно и параллельно соединённых конденсаторов.

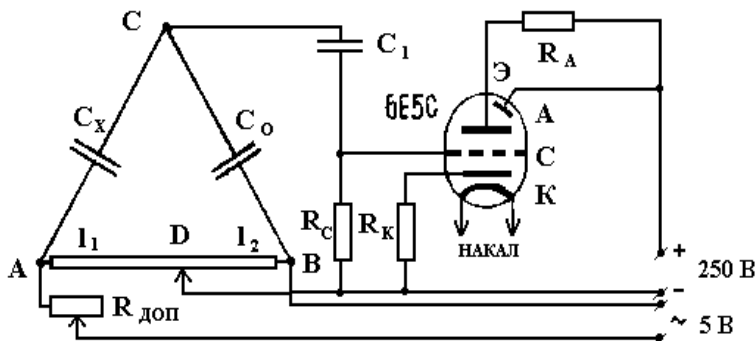
## Лабораторная работа № 2.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЁМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ МОСТИКОМ СОТИ

**Цель работы:** проведение измерений ёмкости конденсаторов с помощью метода Соты.

**Принадлежности:** установка, содержащая реохорд, батарею емкостей, измеряемые конденсаторы, электронно-оптический индикатор, источник питания мостика с действующим значением переменного напряжения 5 В.

### Описание установки и методики измерений

Мостик Соты для измерения ёмкости представляет собой мостик, собранный по схеме мостика Уитстона, в котором вместо известного сопротивления  $R_0$  и неизвестного  $R_x$  включены известная ёмкость  $C_0$  и неизвестная  $C_x$  (рисунок).



К точкам А и В подводится переменное напряжение 5В, а в диагональ CD мостика включается электронно-оптический индикатор, устанавливающий отсутствие тока в данной диагонали.

Используя условие равенства нулю тока в диагонали CD, как и для мостика Уитстона (см. вывод формулы в работе “Измерение сопротивления проводников мостиком Уитстона”), можно получить

$$\frac{X_{C_x}}{X_{C_0}} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2}, \quad (3.1)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  - сопротивления плеч реохорда, а  $l_1$  и  $l_2$  - их длина,  $X_c$  – реактивное сопротивление конденсатора.

В цепи переменного тока реактивное сопротивление конденсатора определяется по формуле

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C}, \quad (3.2)$$

где  $\omega = 2\pi\nu$  - циклическая частота переменного тока,  $\nu$  - частота переменного тока,  $C$  - ёмкость конденсатора.

Следовательно, заменяя  $X_{C_x}$  и  $X_{C_0}$  по формуле (3.2), получаем

$$C_x = \frac{l_2}{l_1} \cdot C_0. \quad (3.3)$$

Источником переменного тока служит вторичная обмотка понижающего трансформатора, первичная обмотка которого питается от сети 220 В. В качестве известной ёмкости  $C_0$  используется батарея емкостей.

Включение той или иной ёмкости достигается с помощью пакетного переключателя. Измеряемыми емкостями являются конденсаторы  $C_{x1}$ ,  $C_{x2}$ ,  $C_{x3}$ ,  $C_{x4}$ , смонтированные в одном футляре.

### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему по рисунку (ёмкость  $C_x$  задается преподавателем). Затем установить подвижный контакт D на середину реохорда АВ и подобрать ёмкость батареи  $C_0$  так, чтобы раствор темного сектора в лампе был максимальным и сектор имел наиболее резкие края. Окончательную настройку на резкость краев сектора в индикаторе получить небольшим перемещением влево-вправо подвижного контакта D реохорда. При наибольшем растворе темного сектора индикатора между точками С и D тока нет и, следовательно, потенциалы этих то-



чек равны. В соответствии с формулой (3.3) определить неизвестную ёмкость. Повторить указанные выше измерения, изменив на 10-15 % в обе стороны первоначальную ёмкость батареи  $C_0$ .

2. Соединить конденсаторы последовательно и измерить их ёмкость. Сопоставить измеренную ёмкость батареи конденсаторов с расчётной.

Номер измеряемой емкости	Номер измерения	Результаты измерений				Результаты вычислений
		$C_0$ , мкФ	$\frac{l_2}{l_1}$	$C_X$ , мкФ	$C_{X\text{ ср}}$ , мкФ	
1	1					
	2					
	3					
2	1					
	2					
	3					
Последовательное соединение № 1 и 2	1					
	2					
	3					
Параллельное соединение № 1 и 2	1					
	2					
	3					

3. Аналогичные измерения и расчеты провести для параллельного соединения конденсаторов.

4. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

## Контрольные вопросы

1. Проводники в электрическом поле.
2. На каком свойстве проводников основана электростатическая защита приборов?
3. Что называется электроемкостью? Вывод формулы емкости для цилиндрического, сферического и плоского конденсатора.
4. Вывести формулу для расчета электроемкости при параллельном и последовательном соединении конденсаторов.
5. В чем сущность метода Соти?

## Лабораторная работа № 2.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭДС ИСТОЧНИКА МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦИИ

**Цель работы:** определение ЭДС источника постоянного тока.

**Принадлежности:** нуль-гальванометр, кольцевой реохорд, реостат, исследуемый источник, нормальный элемент.

### Описание методики измерений

Определение ЭДС ( $\mathcal{E}$ ) источника с помощью вольтметра всегда даёт заниженный результат из-за падения напряжения на самом источнике  $U = \mathcal{E} - Ir$ , где  $r$  - внутреннее сопротивление источника. Для измерения ЭДС используется компенсационный метод.

Рассмотрим цепь, изображенную на рисунке. Здесь  $\mathcal{E}$  - батарея источников тока;  $\mathcal{E}_x$  - исследуемый источник;  $G$  - гальванометр; АВ - кольцевой реохорд;  $R$  - реостат,  $\mathcal{E}_n$  - нормальный элемент.

Если ЭДС исследуемого элемента меньше, чем батареи, и они включены навстречу друг другу, то на реохорде всегда можно найти такую точку  $C$ , когда в ветви  $AGC$  результирующий ток  $I$  равен нулю.

По второму закону Кирхгофа для контура  $AGCA$

$$I_2(r_x + R_g) - I_1 R_{AC} = -\mathcal{E}_x \quad (4.1)$$

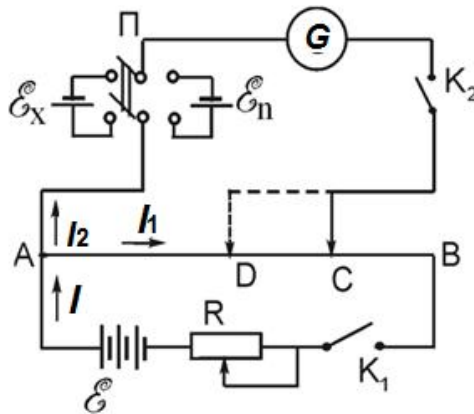
где  $r_x$  - внутреннее сопротивление исследуемого источника;  $R_{AC}$  - сопротивление участка  $AC$ ;  $R_g$  - сопротивление гальванометра.

Когда ток через гальванометр  $I_2 = 0$ , то

$$I_1 R_{AC} = \mathcal{E}_x. \quad (4.2)$$

В этом случае падение напряжения на участке  $AC$ , создаваемое батареей, равно ЭДС испытываемого элемента (ком-

пенсация). Заменяем исследуемый элемент нормальным, ЭДС которого  $\mathcal{E}_n$  известна.



Передвигая контакт С вращением ручки кольцевого реохорда, добьемся такого положения движка (положение D), чтобы ток через гальванометр отсутствовал. Тогда выражение (4.2) можно переписать в виде

$$I_1 R_{AD} = \mathcal{E}_n. \quad (4.3)$$

Ток через участок АВ остается прежним, т.к. в ветви, в которую включён гальванометр, тока нет. Разделив (4.2) на (4.3), получим:  $\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n R_{AC} / R_{AD}$ . Ввиду того, что проволока на участке АВ калиброванная, можно записать:

$$\frac{R_{AC}}{R_{AD}} = \frac{AC}{AD} = \frac{l_1}{l_2},$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – длины участков AC и AD в произвольных единицах. Поэтому

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n \frac{l_1}{l_2}. \quad (4.4)$$

Зная  $\mathcal{E}_n$  и измерив  $AC = l_1$  и  $AD = l_2$ , по формуле (4.4) вычисляем искомую ЭДС -  $\mathcal{E}_x$ .

В качестве эталона ЭДС часто используется ртутно-кадмиевый нормальный элемент Вестона, имеющий при  $20^{\circ}\text{C}$   $\mathcal{E}_n = 1,0183 \text{ В}$ .

Ввиду постоянства ЭДС нормального элемента ее удобно сравнивать с другими неизвестными ЭДС. Поэтому такой элемент применяется исключительно в компенсационных схемах. В целях обеспечения постоянства ЭДС нормального элемента нельзя использовать токи свыше  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  А.

### Порядок выполнения работы

1. Собирают схему (рисунок). Необходимо следить за правильным подключением полюсов батарей и исследуемого элемента к реохорду (подключать к точке А одноименными полюсами).

2. Устанавливают движок кольцевого реостата вблизи среднего положения и, включая на короткие промежутки времени ключи  $K_1$  и  $K_2$ , добиваются передвижением ползунка реохорда отсутствия тока через гальванометр.

3. Добившись отсутствия тока через гальванометр при включенном элементе  $\mathcal{E}_x$ , записывают  $l_1$  и переключателем П включают нормальный элемент. Для него также находят положение движка реохорда при котором гальванометр показывает отсутствие тока.

4. Вычисляют ЭДС исследуемого элемента по формуле (4.4).

5. Аналогичные измерения производят 5 раз при различных значениях сопротивления  $R$  и определяют среднее значение ЭДС.

6. Результаты оформляют в виде таблицы и вычисляют погрешности.

Номер опыта	$l_1$	$l_2$	$\mathcal{E}_x, \text{В}$	$\mathcal{E}_{\text{ср}}, \text{В}$	$\Delta \mathcal{E}_x, \text{В}$	$\Delta \mathcal{E}_{x \text{ ср}}, \text{В}$

### Контрольные вопросы

1. Что называется ЭДС? Как связана ЭДС с напряженностью поля сторонних сил?
2. Что такое потенциал и разность потенциалов?
3. В чем состоит физический смысл напряжения? Выведите формулу для расчета напряжения на произвольном участке цепи.
4. В чем заключается метод компенсации?
5. Закон Ома для однородного и неоднородного участков цепи в дифференциальной и интегральной формах.
6. Сформулируйте правила Кирхгофа.

Лабораторная работа № 2.5  
**ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ  
МОСТИКОМ УИТСТОНА**

**Цель работы:** изучение законов постоянного тока и одного из методов измерения электрического сопротивления.

**Принадлежности:** установка, содержащая реохорд, магазин сопротивлений, гальванометр, источник тока.

**Описание метода измерения**

Для измерения сопротивлений в лабораторной практике часто применяют так называемый **мостик Уитстона**, схема которого дана на рис. 5.1.

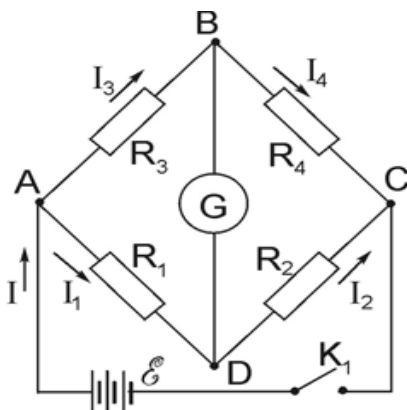


Рис. 5.1

Здесь  $R_1, R_2, R_3, R_4$  - сопротивления, составляющие замкнутый контур, в одну из диагоналей которого подключен гальванометр  $G$ , а в другую - источник тока  $\mathcal{E}$ . При произвольных сопротивлениях  $R_1, R_2, R_3, R_4$  в диагонали  $BD$  (мостик), содержащей гальванометр  $G$ , будет идти ток, вызывающий отклонение стрелки гальванометра. Подбирая соответствующим образом сопротивления, можно добиться отсутствия тока в гальванометре. В этом случае потенциалы в точках  $B$  и  $D$  рав-

ны:  $\varphi_b = \varphi_d$ . Тогда весь ток, проходящий через сопротивление  $R_3$ , пройдет через сопротивление  $R_4$ , и весь ток, проходящий через сопротивление  $R_1$ , пройдет и через сопротивление  $R_2$ , то есть  $I_4 = I_3$  и  $I_2 = I_1$ .

По закону Ома для отдельных участков цепи имеем:

$$\varphi_a - \varphi_b = I_3 R_3; \quad \varphi_a - \varphi_d = I_1 R_1; \quad \varphi_b - \varphi_c = I_4 R_4; \quad \varphi_d - \varphi_c = I_2 R_2.$$

Так как  $\varphi_b = \varphi_d$ , то  $I_3 R_3 = I_1 R_1$  и  $I_4 R_4 = I_2 R_2$ . Разделим одно равенство на другое:

$$I_3 R_3 / I_4 R_4 = I_1 R_1 / I_2 R_2.$$

Учитывая, что  $I_3 = I_4$  и  $I_1 = I_2$ , из последнего равенства находим

$$R_1 / R_2 = R_3 / R_4. \quad (5.1)$$

Таким образом, ток, проходящий через гальванометр  $G$ , включенный по диагонали  $BD$  в мостик Уитстона, равен нулю, когда сопротивления ветвей пропорциональны друг другу.

Из соотношения (5.1) следует, что неизвестное сопротивление, например  $R_x = R_3$ , можно определить при помощи трех известных ( $R_1, R_2, R_4$ ), подобранных таким образом, чтобы ток через гальванометр не проходил. Для удобства измерений в качестве сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  используется так называемый кольцевой реохорд – металлическая проволока постоянного сечения по всей длине, намотанная на барабан, по которому перемещается контакт  $D$ . В этом случае для сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  можно записать:

$$R_1 = \rho l_1 / s \quad \text{и} \quad R_2 = \rho l_2 / s.$$

Подставив эти значения в формулу (5.1), получим:

$$R_3 / R_4 = l_1 / l_2. \quad (5.2)$$

Схема мостика Уитстона с реохордом представлена на рис.5.2. Определяемое сопротивление введено в плечо  $AB$  ( $R_3 \rightarrow R_x$ ). Второе плечо  $BC$  представляет собой легко изменяемое сопротивление в виде магазина сопротивлений ( $R_4 \rightarrow R_0$ ).

Тогда равенство (5.2) переписывается в виде:

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{l_1}{l_2}.$$



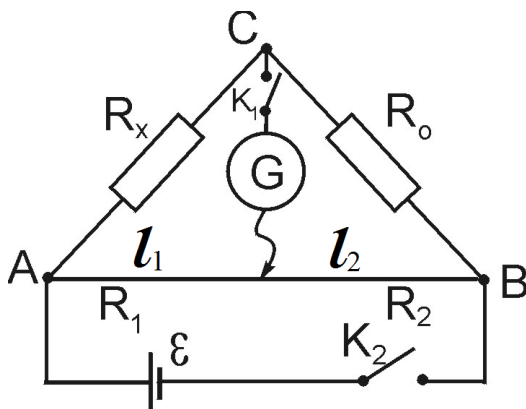


Рис.5.2

Отсюда находим величину искомого сопротивления:

$$R_x = R_0 \frac{l_1}{l_2}. \quad (5.3)$$

Точность сравнения сопротивлений  $R_x$  и  $R_0$  будет больше, когда отношение

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{l_1}{l_2}$$

не очень сильно отличается от единицы. Поэтому при измерении с помощью моста Уитстона неизвестного сопротивления  $R_x$  желательно, чтобы сопротивление  $R_0$  мало отличалось от  $R_x$ . Погрешность измерения будет минимальной при

$$l_1 = \frac{l}{2}$$

(где  $l$  = длина реохорда), т.к. при этом  $R_x = R_0$ . Поэтому при измерениях необходимо движок реохорда располагать вблизи его середины.

### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему по рис.5.2, включив в плечо АВ одно из неизвестных сопротивлений  $R_x$ .

2. Установить движок D реохорда АС на середину шкалы и ориентировочно подобрать в магазине сопротивления путем поворота его ручек известное сопротивление  $R_0$  (0,5 – 1 кОм).

3. Замкнуть ключ  $K_1$  и на мгновение - ключ  $K_2$ . Наблюдать за отклонением стрелки гальванометра G (закрывать на более продолжительное время даже уравновешенную схему не следует, т.к. нагревание всех частей схемы током вызывает изменение их сопротивления). Подобрать такое сопротивление  $R_0$ , при котором отклонение стрелки гальванометра будет наименьшим.

4. Полного отсутствия тока в гальванометре добиваются передвижением рукоятки реохорда.

5. Разомкнуть вначале ключ  $K_2$ , затем ключ  $K_1$  и определить  $R_0$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ . По формуле (5.3) рассчитать неизвестное сопротивление  $R_{X1}$ . Опыт проделать 3 раза и определить среднее значение.

6. Аналогично определяют величину другого неизвестного сопротивления  $R_{X2}$ .

7. Соединить  $R_{X1}$  и  $R_{X2}$  последовательно и найти общее сопротивление  $R_X$ . Проверить справедливость соотношения, имеющего место при последовательном соединении проводников:

$$R_X = R_{X1} + R_{X2}.$$

8. Соединить  $R_{X1}$  и  $R_{X2}$  параллельно. Найти общее сопротивление. Проверить справедливость соотношения, имеющего место при параллельном соединении сопротивлений:

$$\frac{1}{R_x} = \frac{1}{R_{x_1}} + \frac{1}{R_{x_2}},$$
$$R_x = \frac{R_{x_1} R_{x_2}}{R_{x_1} + R_{x_2}}.$$

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

Номер измеряемого сопротивления	Номер измерения	Результаты Измерений				Вычисленные значения
		$R_0,$ <i>Ом</i>	$l_1/l_2$	$R_X,$ <i>Ом</i>	$R_{Xc}$ <i>p, Ом</i>	
1	1					—
	2					
	3					
2	1					—
	2					
	3					
Последовательное соединение сопротивлений №1 и №2	1					
	2					
	3					
Параллельное соединение сопротивлений №1 и №2	1					
	2					
	3					

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение работы и мощности тока.
2. Закон Ома для однородного и неоднородного участков цепи в дифференциальной и интегральной формах.
3. Сформулируйте законы Кирхгофа.
4. Выведите формулы для расчета сопротивления при последовательном и параллельном соединении участков цепи.
5. В чем сущность метода определения сопротивления проводников с помощью мостика Уитстона?
6. Как зависит сопротивление проводников от температуры?  
В чем состоит явление сверхпроводимости?

## Лабораторная работа № 2.6

# ИЗУЧЕНИЕ ОБОБЩЁННОГО ЗАКОНА ОМА И ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦИИ

**Цель работы:** изучение зависимости силы тока от разности потенциалов на участке цепи, содержащем источник тока; определение ЭДС и полного сопротивления этого участка.

**Принадлежности:** лабораторная установка, состоящая из лабораторного модуля, источников питания ИП1 и ИП2, а также двух цифровых мультиметров, используемых в качестве вольтметра и миллиамперметра.

### Теоретическое введение

Обобщенный закон Ома для произвольного участка цепи имеет вид

$$IR_{II} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \sum \mathcal{E}_i, \quad (6.1)$$

где  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  – разность потенциалов на концах участка цепи;  $\sum \mathcal{E}_i$  – алгебраическая сумма ЭДС источников тока, входящих в состав участка;  $R_{II}$  – полное сопротивление участка цепи.

Знак ЭДС принимают положительным, если сторонние силы совершают положительную работу при перемещении положительных зарядов в направлении тока, в противном случае - ЭДС принимают отрицательным.

В такой форме закон Ома применим как для пассивных (однородных) участков цепи, не содержащих источников электрической энергии, так и для активных (неоднородных) участков, содержащих такие источники.

Применим обобщённый закон Ома к участку цепи, изображённому на рис. 6.1.

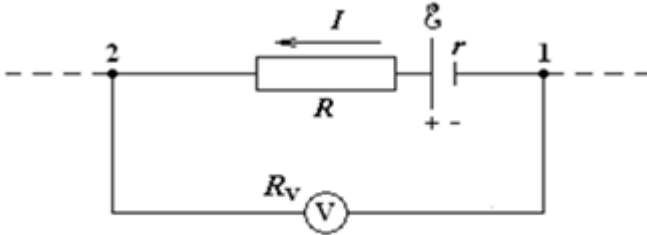


Рис. 6.1

Выберем направление тока, как показано на рисунке. Тогда для участка цепи 1– $\mathcal{E}$ – $R$ –2 получим

$$I(R + r) = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}, \quad (6.2)$$

где  $r$  – внутреннее сопротивление источника тока.

Из выражения (6.2), обозначив полное сопротивление участка  $R + r$  через  $R_{\Pi}$ , получим

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_{\Pi}} + \frac{\mathcal{E}}{R_{\Pi}}. \quad (6.3)$$

Выражение (6.3) представляет собой уравнение прямой в координатах  $(I, \varphi_1 - \varphi_2)$ , изображённой на рис. 6.2.

Из (6.3) следует, что если разность потенциалов равна ЭДС источника, взятой с обратным знаком  $\varphi_1 - \varphi_2 = -\mathcal{E}$ , то сила тока на участке цепи равна нулю; если  $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ , то  $I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\Pi}}$ .

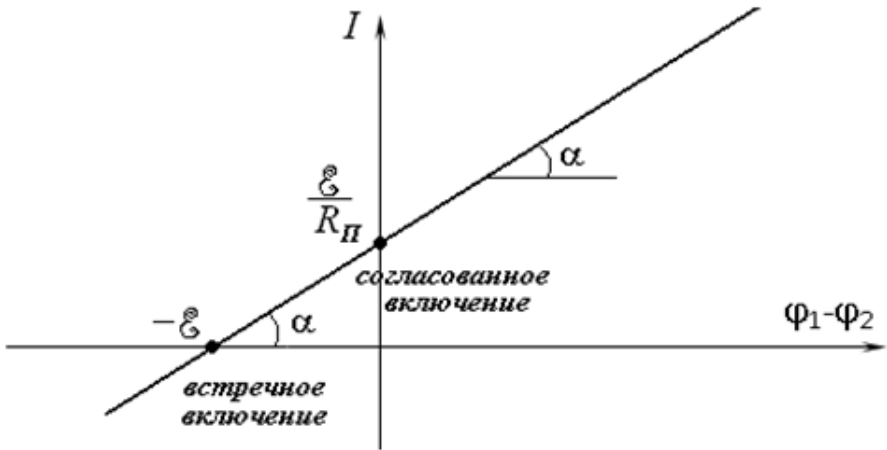


Рис. 6.2

Тангенс угла наклона прямой  $I = f(\varphi_1 - \varphi_2)$  к оси абсцисс (см. рис. 6.2) равен величине, обратной активному сопротивлению участка цепи

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{R_{\Pi}}. \quad (6.4)$$

Отсюда,  $R_{\Pi} = \operatorname{ctg} \alpha$ .

### Описание установки и методики измерений

Схема лабораторной установки приведена на рис. 6.3. В состав установки входят лабораторный модуль, источники питания ИП1 и ИП2, а также два цифровых мультиметра, используемых в качестве вольтметра и миллиамперметра.

На лицевой панели лабораторного модуля изображена электрическая схема установки (рис. 6.4) и расположены гнезда для подключения измерительных приборов. К панели также



Рис. 6.3

подведены два гибких вывода, с помощью которых можно подключать с различной полярностью ИП1 с ЭДС  $\mathcal{E}_1$  к исследуемому контуру.

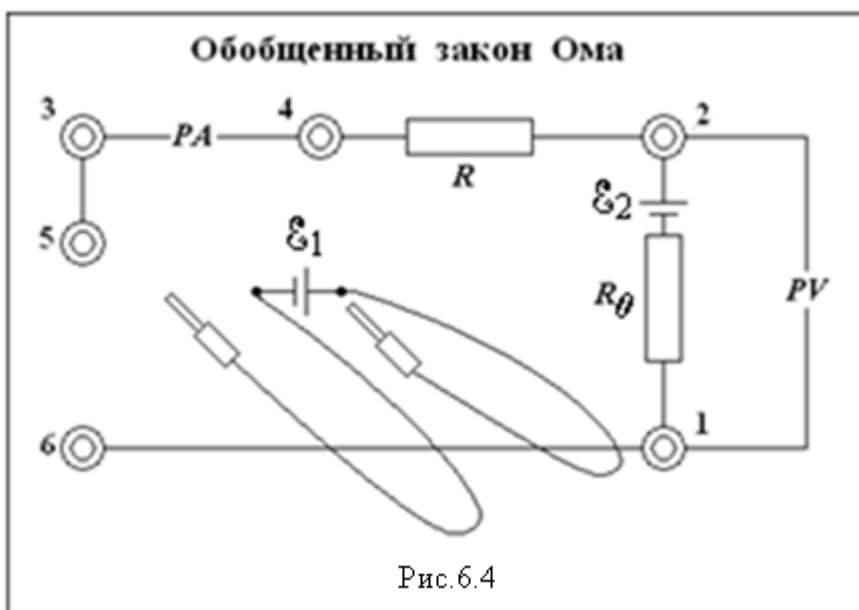


Рис. 6.4

На рис. 6.5,а показано встречное включение источников, а на рис. 6.5,б – согласованное. Применение встречного и согласованного включений позволяет получить положительную и отрицательную разность потенциалов на концах исследуемого участка цепи в достаточно широком диапазоне.

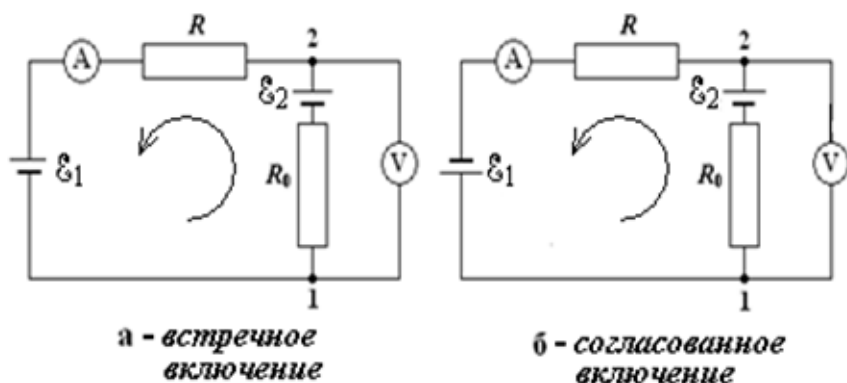


Рис.6.5

Выберем направление обхода контура против часовой стрелки, а за положительное направление тока примем направление от точки 1 к точке 2, тогда для замкнутой цепи  $1\epsilon_22\epsilon_1$  в соответствии с законом Ома можно записать

$$I(R + R_0) = \epsilon_2 \pm \epsilon_1. \quad (6.5)$$

где  $R_0$  – полное сопротивление участка цепи  $1\epsilon_22$ ,  $R$  – полное сопротивление участка цепи  $1\epsilon_12$ . Знак «-» перед  $\epsilon_1$  соответствует встречному включению источников (рис. 6.5,а), знак «+» – согласованному включению (рис. 6.5,б).

Из (6.5) получим выражение для силы тока в цепи



$$I = \frac{\mathcal{E}_2 \pm \mathcal{E}_1}{R + R_0} \quad (6.6)$$

В соответствии с обобщенным законом Ома для участка цепи 1-2 можно записать

$$IR_0 = (\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}_2,$$

$$\text{Отсюда} \quad \varphi_1 - \varphi_2 = IR_0 - \mathcal{E}_2. \quad (6.7)$$

Как видно из (6.6), сила тока при встречном включении может стать равной нулю при  $\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_1$ . При этом согласно (6.7)  $\varphi_1 - \varphi_2 = -\mathcal{E}_2$ , т. е. в момент компенсации тока вольтметр измеряет величину  $\mathcal{E}_2$  (на рис. 6.2 это состояние соответствует точке пересечения графика с осью абсцисс). Подставив выражение (6.6) для **встречного** включения в выражение (6.7), получим

$$\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{\mathcal{E}_1 R_0 + \mathcal{E}_2 R}{R + R_0}, \text{ т.е. } \varphi_1 - \varphi_2 < 0.$$

Таким образом, при встречном включении потенциал точки 2 выше, чем потенциал точки 1 (на рис. 6.2 – левая часть графика).

Подставив выражение (6.6) для **согласованного** включения в выражение (6.7), получим

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\mathcal{E}_1 R_0 - \mathcal{E}_2 R}{R + R_0}.$$

При согласованном включении потенциал точки 2 равен потенциалу точки 1, если выполняется условие  $\mathcal{E}_1 R_0 - \mathcal{E}_2 R = 0$ , т.е.  $\mathcal{E}_1 = \frac{R}{R_0} \mathcal{E}_2$  (на рис. 6.2 это состояние соответствует точке пересечения графика с осью ординат); потенциал точки 1 вы-

ше, чем потенциал точки 2, если  $\mathcal{E}_1 > \frac{R}{R_0} \mathcal{E}_2$ , и  $\varphi_1 < \varphi_2$ , если  $\mathcal{E}_1 < \frac{R}{R_0} \mathcal{E}_2$ , (на рис. 6.2 – правая часть графика).

### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему лабораторной установки (см. рис. 6.4). Источник с ЭДС  $\mathcal{E}_1$  через разъёмы 5,6 включить встречно источнику с ЭДС  $\mathcal{E}_2$  (рис. 6.5,а). Вольтметр подключить к разъёмам 1,2, а миллиамперметр - к разъёмам 3,4.

2. Подключить к сети лабораторный модуль и источники питания. Включить измерительные приборы.

3. Установить напряжение источника питания ИП2 с ЭДС  $\mathcal{E}_2$ , равное 5 В.

4. Установить напряжение источника питания ИП1 с ЭДС  $\mathcal{E}_1$ , равное 3 В. Изменяя напряжение  $\mathcal{E}_1$  в пределах 3-8 В с интервалом в 1 В, измерить значения тока и разности потенциалов на участке  $\mathcal{E}_2 - R_0$ . Занести результаты измерений в таблицу.

№	Встречное включение $\mathcal{E}_1$ и $\mathcal{E}_2$		Согласованное включение $\mathcal{E}_1$ и $\mathcal{E}_2$	
	$I$ , мА	$\varphi_1 - \varphi_2$ , В	$I$ , мА	$\varphi_1 - \varphi_2$ , В
1				
...				
$N$				

5. Источник с ЭДС  $\mathcal{E}_1$  включить согласованно источнику с ЭДС  $\mathcal{E}_2$  (рис. 6.5,б) и проделать измерения согласно п. 4. При

записи показаний измерительных приборов следует учитывать знаки соответствующих величин.

### Обработка результатов измерений

1. Используя данные таблицы, построить график зависимости  $I = f(\varphi_1 - \varphi_2)$  (рис. 6.1). Убедиться в линейном характере этой зависимости.

2. Выделить пунктирными линиями на графике полосу разброса экспериментальных данных.

3. Определить из графика значение разности потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$ , соответствующее значению  $I = 0$  (согласно (6.7) она равна  $-\mathcal{E}_2$ ). Сравнить значение  $\mathcal{E}_2$ , полученное из графика, с установленным напряжением на источнике питания ИП2.

4. Определить полное сопротивление исследуемого неоднородного участка цепи по формуле (6.4)

$$R_{II} = \frac{\Delta(\varphi_1 - \varphi_2)}{\Delta I} = ctg\alpha.$$

5. Оценить из графика значения погрешностей определения силы тока  $\Delta I$  и разности потенциалов  $\Delta\varphi$ .

### Контрольные вопросы

1. Каков физический смысл ЭДС? В каких единицах измеряется ЭДС?
2. Какой физический смысл имеет электрический потенциал?
3. Как определяется знак ЭДС при расчёте электрических цепей?
4. Сформулируйте обобщенный закон Ома в дифференциальной и интегральной формах.
5. Сформулируйте правила Кирхгофа.

Лабораторная работа № 2.7  
**ИНДУКТИВНОСТЬ И ЕМКОСТЬ В ЦЕПИ  
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

**Цель работы:** исследование зависимости индуктивного и емкостного сопротивлений от частоты переменного напряжения.

**Оборудование:** генератор гармонических колебаний; лабораторный модуль; осциллограф; микромультиметр.

**Теоретическое введение**

Рассмотрим первоначально электрическую цепь, содержащую источник переменного напряжения и резистор (сопротивление резистора называют активным) (рис.7.1а). Если напряжение изменяется по гармоническому закону

$$U = U_m \cos \omega t, \quad (7.1)$$

то мгновенное значение силы тока в соответствии с законом Ома изменяется с течением времени по закону:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \cos \omega t = I_m \cos \omega t, \quad (7.2)$$

где  $U_m$  - амплитудное значение напряжения,  $I_m = U_m / R$  - амплитуда силы тока,  $\omega$  - циклическая частота.

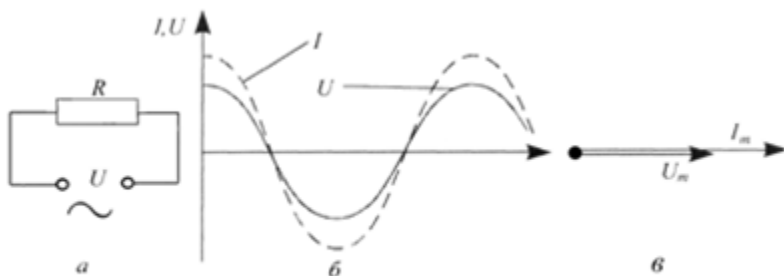


Рис. 7.1

Зависимости силы тока и напряжения от времени представлены на рис.7.1б, а на рис.7.1в представлена векторная диаграмма для амплитудных значений тока и напряжения. Из рисунков видно, что разность фаз между колебаниями силы тока и напряжения равна нулю.

Рассмотрим теперь электрическую цепь, содержащую конденсатор (рис.7.2а). Если к конденсатору приложено переменное напряжение, то конденсатор будет все время перезаряжаться и по цепи потечет переменный ток. Напряжение на конденсаторе

$$U_C = U = \frac{q}{C} = U_{Cm} \cos \omega t, \quad (7.3)$$

а мгновенное значение силы тока

$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega C U_{Cm} \sin \omega t = I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}), \quad (7.4)$$

где  $I_m = \omega C U_{Cm} = \frac{U_{Cm}}{1/\omega C}$  - амплитудное значение силы тока.

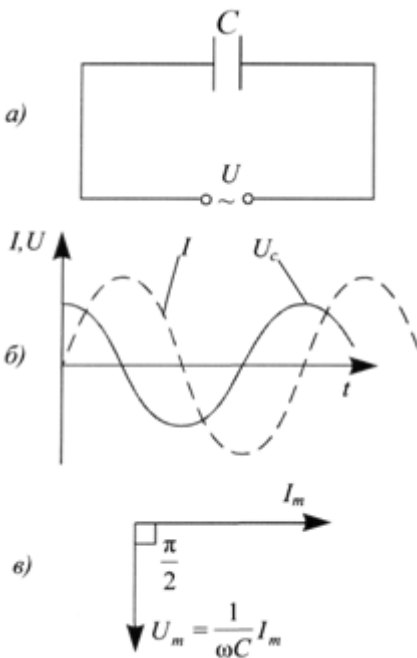


Рис 7.2

Величина  $R_C = \frac{1}{\omega C}$  назы-

вается емкостным сопротивлением. Для постоянного напряжения ( $\omega = 0$ )  $R_C = \infty$ , т.е. постоянный ток в цепи, содержащий конденсатор, течь не может.

Сопоставление выражений (3) и (4) позволяет сделать вывод, что колебания силы тока опережают колебания напряжения на конденсаторе на  $\pi/2$ , что наглядно видно на векторной диаграмме (рис.7.2в). В момент, когда конденсатор начинает заряжаться, сила тока максимальна, а напряжение равно

нулю. После того как напряжение достигает максимума, сила тока становится равной нулю и т.д. (рис.7.2б).

Перейдем теперь к рассмотрению электрической цепи, содержащей катушку индуктивностью  $L$ , омическим сопротивлением которой можно пренебречь (рис.7.3а). В этом случае в цепи потечет переменный ток, в результате чего в катушке возникнет ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{dI}{dt}. \quad (7.5)$$

Поскольку активное сопротивление катушки практически равно нулю, то и напряженность электрического поля внутри проводника в любой момент времени должна равняться нулю. Иначе сила тока, согласно закону Ома, была бы бесконечно большой. ЭДС самоиндукции равна по модулю и противоположна по знаку напряжению на концах катушки, т.е.

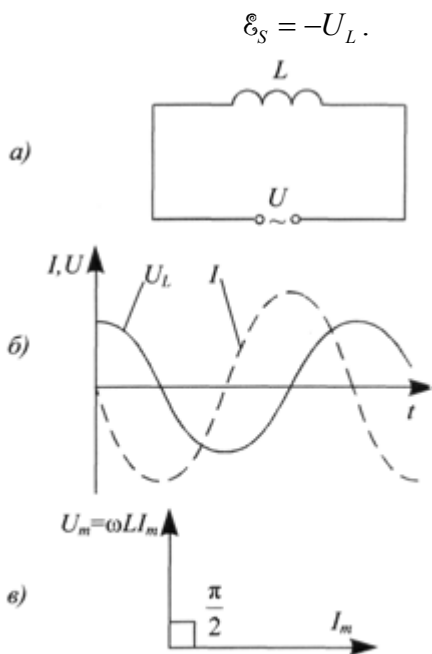


Рис. 7.3

Отсюда следует:

$$U = U_L = U_{Lm} \cos \omega t = L \frac{dI}{dt}, \quad (7.6)$$

или

$$dI = \frac{U_{Lm}}{L} \cos \omega t dt. \quad (7.7)$$

После интегрирования получим

$$I = \frac{U_{Lm}}{\omega L} \sin \omega t = \frac{U_{Lm}}{\omega L} \cos(\omega t - \pi/2) = I_m \cos(\omega t - \pi/2), \quad (7.8)$$

где  $I_m = \frac{U_{Lm}}{\omega L}$  - амплитудное значение тока.

Величина  $R_L = \omega L$  называется индуктивным сопротивлением. Из этого определения следует, что индуктивное сопротивление катушки постоянному току ( $\omega = 0$ ) равняется нулю.

Подставляя значение

$$U_{Lm} = \omega L I_m$$

в (7.6), получим

$$U_L = \omega L I_m \cos \omega t. \quad (7.9)$$

Сравнивая полученное выражение с (7.8), приходим к выводу, что колебания напряжения на катушке  $U_L$  опережают по фазе колебания силы тока  $I$ , текущего через катушку, на  $\pi/2$ .

Графики зависимости от времени напряжения и тока, а также векторная диаграмма представлены на рис.7.3б,в.

Теперь рассмотрим цепь (рис.7.4,а), состоящую из резистора сопротивлением  $R$ , катушки индуктивностью  $L$ , и конденсатора емкостью  $C$ , на концы которой подается переменное напряжение, изменяющееся по закону (7.1).

На рис.7.4,б приведена векторная диаграмма амплитуд падений напряжения на элементах цепи и результирующего напряжения  $U_m$ . Вектор амплитуды приложенного напряжения равен сумме векторов амплитуд падений напряжения на элементах цепи.

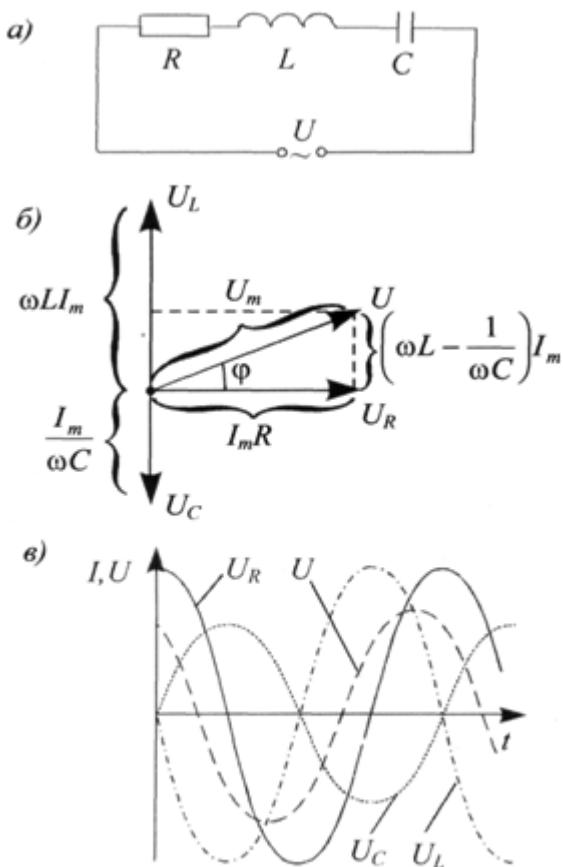


Рис. 7.4

Как видно из рис.7.4,б, угол  $\varphi$  в треугольнике напряжений равен разности фаз между напряжением на концах цепи и силой тока, и

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - 1/(\omega C)}{R}. \quad (7.10)$$

Из того же прямоугольного треугольника следует, что

$$(RI_m)^2 + ((\omega L - 1/(\omega C))I_m)^2 = U_m^2.$$

Отсюда для амплитуды силы тока получим:



$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/(\omega C))^2}}. \quad (7.11)$$

Следовательно, сила тока в данной цепи изменяется по закону

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi), \quad (7.12)$$

где  $\varphi$  и  $I_m$  определяются из уравнений (7.10) и (7.11). Графики зависимостей  $U_R, U_C, U_L$  от времени приведены на рис.7.4,в.

Выражение (7.11) представляет собой закон Ома для цепей переменного тока. Величина

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

называется полным сопротивлением цепи.

### Описание установки

Лабораторная установка включает в себя генератор гармонических колебаний, осциллограф, микроультиметр и лабораторный модуль (рис.7.5). Схема установки изображена на лицевой панели модуля (рис.7.6). К гнездам «PQ» на лицевой панели подключается генератор гармонических колебаний. Для определения зависимости реактивного сопротивления от частоты к гнездам «PA» подключается микроультиметр, с помощью которого измеряется ток, а к гнездам PO«YI» - вертикальный канал осциллографа для измерения напряжения.

### Определение зависимости реактивного сопротивления от частоты

#### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с инструкцией по работе с генератором электрических колебаний (см. приложение).
2. Подсоединить к гнездам «PQ» на лицевой панели модуля генератор гармонических колебаний. Параллельно гнез-

дам «PQ» подсоединить микроультиметр, установив в нем режим измерения переменного напряжения.

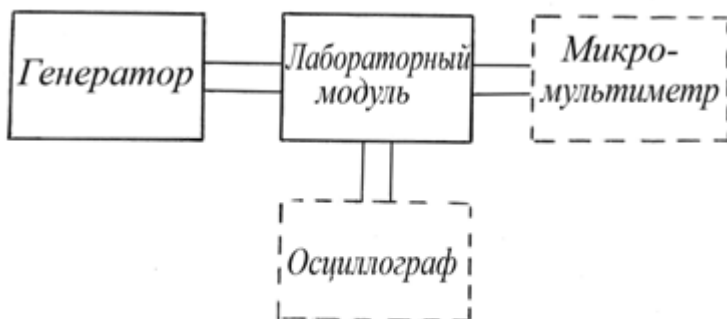


Рис. 7.5

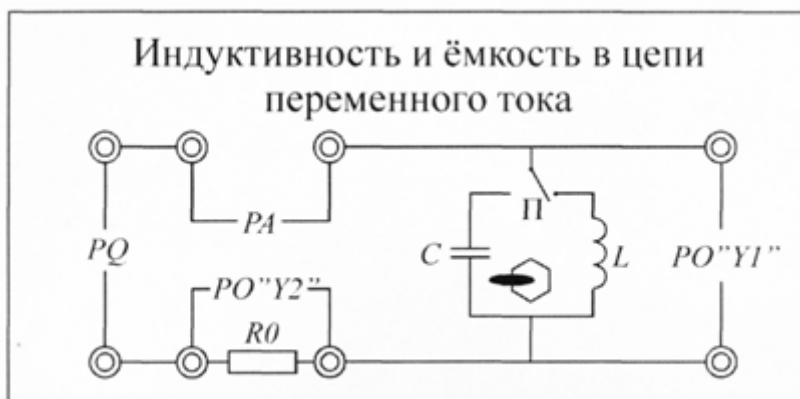


Рис. 7.6

3. Включить в сеть генератор гармонических колебаний. С помощью переключателя частотных диапазонов установить в генераторе диапазон 1к (один килогерц), а с помощью переключателя формы сигналов выбрать сигнал синусоидальной формы.

4. Включить микроультиметр. Вращением ручки генератора «AMPL», по показаниям микроультиметра установить напряжение генератора 5В.

5. Переключить микроультиметр к гнездам «РА», установив в нем режим измерения электрического тока в диапазоне 400 мА.

6. К гнездам лабораторного модуля РО«У1» с помощью специального шнура подсоединить вертикальный канал осциллографа, который будет использован для измерения напряжения. Переключатель диапазонов осциллографа установить в положение 1Вольт/дел. Ручку плавного изменения напряжения необходимо вывести в крайнее левое положение.

7. Установить переключатель П лабораторного модуля в положение «С». Изменяя частоту генератора от 0,9 кГц до 3кГц (5-7 значений), измерить значения  $U_C$  и  $I_C$ . По формуле  $R_C = U_C / I_C$  рассчитать емкостное сопротивление и результаты занести в табл.7.1.

8. Установить переключатель П в положение «L». С помощью переключателя частотных диапазонов установить в генераторе диапазон 100 Гц, а с помощью переключателя формы сигналов выбрать сигнал синусоидальной формы. Изменяя частоту генератора от 60 Гц до 300Гц (5-7 значений), измерить значения  $U_L$  и  $I_L$ .

Проделать те же измерения, что и в п.7. По формуле  $R_L = U_L / I_L$  рассчитать индуктивное сопротивление и результаты занести в табл.7.2.

6. Построить график зависимости  $R_C = f(1/\nu)$ . Убедившись в линейном характере данной зависимости, найти тангенс угла наклона полученной линии к оси абсцисс и определить емкость конденсатора в мкФ по формуле  $C = \frac{1}{2\pi \cdot \operatorname{tg}\alpha}$ .

7. Построить график зависимости  $R_L = f(\nu)$ . Убедившись в линейном характере данной зависимости, найти тан-

генс угла наклона полученной линии к оси абсцисс и определить индуктивность катушки в мГн по формуле  $L = \frac{tg\alpha}{2\pi \nu}$ .

Таблица 7.1

№п/п	$\nu$ , кГц	$U_c$ , В	$I_c$ , мА	$R_c$ , Ом	$\frac{1}{\nu}$ , с

Таблица 7.2

№п/п	$\nu$ , кГц	$U_L$ , В	$I_L$ , мА	$R_L$ , Ом

### Инструкция по работе с генератором электрических сигналов

1. Подключите генератор к электрической сети и нажмите выключатель «POWER».
2. Убедитесь, что вращающиеся ручки «DUTY», «CMOS», «OFFSET» находятся в нажатом положении.

3. Поверните регулятор амплитуды выходного сигнала «AMPL» в сторону MIN.

4. Поверните регулятор частоты «FREQ» до отказа против часовой стрелки.

5. Нажатием одной из кнопок переключателя частотных диапазонов выберите нужный диапазон частот.

6. Вращением регулятора «FREQ» установите нужную частоту сигнала.

7. С помощью специального шнура соедините выход генератора «OUTPUT» с входом «PQ» лабораторного модуля.

8. С помощью электронного вольтметра, подсоединенного к гнездам «POY1» лабораторного модуля вращением ручки генератора «AMPL» установите напряжение, равное 5 В. Если потребуется ослабление сигнала, то это достигается вытягиванием регулятора «AMPL» или нажатием клавиши «ATT».

### **Контрольные вопросы**

1. От чего зависят индуктивное и емкостное сопротивление в цепи переменного тока?
2. Поясните построение векторной диаграммы напряжений на элементах цепи переменного тока.
3. Как определяются эффективные значения тока и напряжения переменного тока?

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Савельев И.В. Курс физики/ И.В. Савельев. М.: Наука, 2010. Т. 1-5.
2. Детлаф А.А. Курс физики/ А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. М.: Высшая школа, 2003.
3. Трофимова Т.И. Курс физики/ Т.И. Трофимова. – М.: Высш. шк., 2007.
4. Яворский Б.М. Справочник по физике/ Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. М.:Наука, 1985.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 2.1. Моделирование электростатических полей.....	1
Лабораторная работа № 2.2. Определение ёмкости конденсаторов посредством измерения тока разрядки.....	8
Лабораторная работа № 2.3. Определение ёмкости конденсаторов мостиком Соти .....	13
Лабораторная работа № 2.4. Определение ЭДС источника методом компенсации .....	17
Лабораторная работа № 2.5. Измерение сопротивления проводников мостиком Уитстона .....	21
Лабораторная работа № 2.6. Изучение обобщённого закона Ома и измерение электродвижущей силы методом компенсации.....	26
Лабораторная работа № 2.7. Индуктивность и ёмкость в цепи переменного тока .....	34
Библиографический список.....	43

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по разделу «Электричество»  
дисциплины «Физика»  
для студентов всех направлений, специальностей и форм  
обучения

Составители:

Москаленко Александр Георгиевич  
Тураева Татьяна Леонидовна  
Матовых Николай Васильевич  
Татаренков Александр Федорович  
Сафонов Игорь Александрович

В авторской редакции

Подписано к изданию 04.06.2013.  
Уч.-изд. л. 2,7.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический  
Университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14