МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физика»

МОСТОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Лабораторный практикум по физике

Э2, Э3

Ростов-на-Дону

ДГТУ

2023

УДК 530.1

Составители: Т.П. Жданова, А.П. Кудря, Г.Ф.Лемешко,

О.А. Лещёва, О.М. Холодова

Мостовые методы измерений: лабораторный практикум по физике Э2, Э3 /сост. Т.П. Жданова, А.П. Кудря, Г.Ф.Лемешко, О.А. Лещёва, О.М. Холодова – Ростов н/Д: Донской гос. техн. ун-т, 2023. –

17 с.

Практикум содержит краткую теорию по теме «Мостовые методы измерений», описание рабочих установок и методику экспериментального исследования.

Предназначен для студентов инженерных специальностей всех форм обучения, в программу учебного курса которых входит выполнение лабораторных работ по физике (раздел «Электричество и магнетизм»).

УДК 530.1

Печатается по решению редакционно-издательского совета

Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Физика» д-р физ.-мат. наук, проф. А.В.Благин

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В печать 17.01.2023 г.

Формат 60х84/16 Объем 1,1 усл.п.л.

Тираж 50 экз. Заказ № 95

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия 344000 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.

© Донской государственный

технический университет, 2023

# Мостиковая схема в полной цепи

Мостиковые схемы часто применяется в различных технических устройствах и являются основными для измерения сопротивлений ***R***, емкостей ***С*** и индуктивностей ***L***. На рис. 1 приведена схема моста переменного тока в общем виде, в котором различают плечи ***АС, СВ, ВD*** и ***DA***. Плечи ***ВD*** и ***DA*** - это участки реохорда, сопротивлениями ***R1*** и ***R2***, величина которых

изменяется с помощью скользящего контакта. В диагональ моста ***АВ*** подключен источник переменного тока , а *в диагональ* ***СD*** *–* *индикатор баланса моста* ***И***. В качестве индикатора используются наушники или нульгальванометр.

Рис.1

В плечи моста ***АС*** и ***СВ*** могут быть включены омические ***R*** , индуктив-

1

ные ***L*** и емкостные сопротивления. Полные сопротивления этих плеч ***C***

моста равны

2 1 2

***Z*** ***R***  **(*****L*** **) ,** ***C***

а сдвиг фаз между током и напряжением могут быть рассчитаны по формуле:

***U*** ***U*** 1 1

***tg*** ***L C***   **(*****L*** **),**

***R*** ***C U R***

При отсутствии тока в диагонали ***CD*** мост считается *сбалансированным*. При этом, падение напряжения ***U***1  ***i***1***Z***1на плече ***АС*** равно падению напряжения ***U***2  ***i***2 ***R***1 на плече ***AD***

***i***1***Z***1  ***i***2***R***1**,** (1.1)

а падение напряжения ***U***3  ***i***1***Z***2 на плече ***СВ*** равно падению напряжении

***U***4  ***i***2 ***R***2на плече ***DB***

***i***1***Z***2  ***i***2***R***2 (1.2)

При этих условиях токи в плечах ***АС*** и ***СВ***, а также в плечах ***АD*** и ***DB*** совпадают по величине.

Разделив (1.1) на (1.2), получаем *условие равновесия (баланса) моста переменного тока:*

***Z***1  ***R***1 **.** (1.3)

***Z***2 ***R***2

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

Точность измерений ***R, С*** 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 ***Z2=ZЭ***, а в другом – неизвестный ***Z1=ZХ***. Кроме того, сопротивления ***R1*** и ***R2*** можно выразить через удельное сопротивление ***ρ*** проволоки, ее площади сечения ***S*** и

длины участков реохорда ***l***1 **и *l***2:

***R***1 ***l***1 **, *R***2 ***l***2 . (1.4)

***S S***

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

***ZX***  ***l***1  ***l***1 **.** (1.5)

***ZЭ l***2 ***l***  ***l***1

# Описание экспериментальной установки



**1**



**2**



**3**



**4**



**5**



**6**



**7**

Рис.2

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.

Источник 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 нульгальванометр), 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:

***dq Кл***

***I***  **,** ***I***1 1***A*** ***dt c***

– векторная физическая величина (**j**), определяемая ***Плотность тока*** силой тока, проходящего через единицу площади поперечного сечения проводника, перпендикулярного направлению тока

***dI А***

***j***  ***dS*** **,** ***j***1***м***2 **,**

 Вектор ***j*** сонаправлен с вектором средней скорости   упорядоченного движения положительных носителей.

Зависимость сопротивления от параметров проводника:

***l***

***R***  , ***R***1***Ом*** ***S***

где ***l*** – длина проводника, ***S*** – площадь поперечного сечения проводника,

1

 – удельное сопротивление, – удельная проводимость.



Законы Ома:

***I*** 1 2  ***U*** - для однородного участка цепи,

***R R***

***I*** 1 2 1**,**2 - для неоднородного участка цепи,

***R***

***I***   - для замкнутой цепи,

***R*** ***r***

***j*** ***E*** - в дифференциальной форме, где ***U*** – напряжение на однородном участке цепи, 1 2 – разность потенциалов на концах участка цепи,  – ЭДС источника, ***r*** – внутреннее со-

***j*** – плотность тока, – удельная проводипротивление источника тока,

мость, ***E***–напряжённость поля.

**Разность потенциалов** 1 2 определяется работой сил электрического (кулоновского) поля ***AКУЛ*** по перемещению единичного положительного заряда из одной точки электрического поля в другую ***AКУЛ***

 .

***q***

**Электродвижущая сила источника *ЭДС*** *-*- это физическая величина, определяемая работой *сторонних сил* (сил неэлектрического происхождения) ***AСТОР***по перемещению единичного положительного заряда **q** вдоль замкнутой цепи сторонними силами:***AСТОР*.** , 1 ***Дж*** 1***В*** .



***q Кл***

***Напряжение*** *–* это физическая величина, определяемая работой по перемещению единичного положительного заряда на участке цепи как кулоновскими, так и сторонними силами.

***AКУЛ* .. *AСТОР*.** .

***U***    ***q q***

Правила Кирхгофа:

1) ***Ii*** 0 – для узлов; 2)  *I Ri i*  *k* – для контуров,

***i*** *i k*

где  ***I i*** – алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, ***к*** – ал-

***i к*** гебраическая 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 ***IkRk*** входит в уравнение со знаком “плюс”, если направление тока в данном участке совпадает с выбранным направлением обхода контура, в противном случае произведение ***IkRk*** 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, имеющихся в цепи. Например:

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

***I1 – I2 – I3 = 0.***

По второму правилу Кирхгофа имеем для контура ***ACDFA***:

***– I1R1 – I2R2 = –*** ***1***, или после умножения обеих частей равенства на – 1:

***I1R1 + I2R2 =*** ***1 .***

Соответственно для контура ***AFGHA*** найдем:

***I1R1 + I3R3 =*** ***2.***

Далее решаем систему уравнений.

# Выполнение работы

Для измерения сопротивления в схему моста (рис.1) в плечо ***АС*** подключить только измеряемое сопротивление ***RХ***, а в плечо ***СВ*** только эталонное - ***RЭ***, тогда уравнение (1.5) примет вид:

***RX***  ***RЭ l***1 **.** (1) ***l***  ***l***1

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

В качестве эталонного сопротивления используется магазин сопротивлений, класс точности эталонного сопротивления указан на рабочем месте. Точность измерения длины участков проволоки реохорда *Δl*= 0,5 мм. При этом относительную погрешность, допущенную при измерении неизвестного сопротивления, можно определить по формуле:

***Rx***  ***RX***  ***RЭ***  ***l***  ***l***2  ***l***1**.** (2)

***RX RЭ l***1***l***2

**Задание 1.** *Определение сопротивления резисторов*

1. Собрать цепь по схеме, изображенной на рис.1, подсоединив неизвестное сопротивление ***RX*1** в плечо ***АС***, а эталонное сопротивление ***RЭ*** (магазин сопротивлений) – в плечо ***СВ***.
2. Установить движок реохорда посередине шкалы.
3. Подбором эталонных сопротивлений на магазине добиться отсутствия тока через индикатор нуля (или отсутствует звук в наушниках). Значения ***l*** , ***l*1**, ***RЭ*** занести в таблицу 1.
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. Для каждого измерения вычислить по формуле (1) сопротивление ***RX*** .
7. Найти среднее значение***RX*1**, относительную погрешность, по формуле

(2), доверительный интервал ***Rx*** . Результаты занести в таблицу 1.

1. Повторить пункты 2-7 для неизвестного сопротивления***RX*2**.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | ***l*** | ***l***1 | ***RЭ*** | ***RX*** | ***RX*** | ***RX*** |
| [ ] | мм | мм | Ом | Ом | Ом | % |
|  |  | Первое сопротивление ***RX*1**: | | | |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| ср |  |  |  |  |  |  |
|  |  | Второе сопротивление ***RX*2**: | | | |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| ср |  |  |  |  |  |  |

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

1. Соединить измеренные резисторы ***RX*1** и ***RX*2** параллельно и повторить пункты 2-6 задания 1. Найти средние значения ***RX*** и абсолютной погрешности ***Rx*** . Результаты занести в таблицу 2.
2. Используя средние значения ***RX*1** и ***RX*2** вычислить сопротивление ***RТЕОР*** для параллельного соединения, по формуле

*ТЕОР R RX*1 *X*2 .

*R* 

*R RX*1  *X*2

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | ***l*** | ***l***1 | ***RЭ*** | ***RX*** | ***RX*** | ***RX*** | ***RТЕОР*** | ***R*** |
| [ ] | мм | мм | Ом | Ом | Ом | % | Ом | % |
| При параллельном соединении ***RX*1**и ***RX*2**: | | | | | | | | |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| ср |  |  |  |  |  |  |  |  |
| При последовательном соединении ***RX*1**и ***RX*2** : | | | | | | | | |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| ср |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Оценить относительную погрешность по формуле: *RЭКС*  *RТЕОР* .



*RX*  100

*RТЕОР*.

1. Соединить измеренные резисторы ***RX*1** и ***RX*2** последовательно и повторить пункты 2-6 задания 1. Найти средние значения ***RX*** и абсолютной погрешности ***Rx*** . Результаты занести в таблицу 2.
2. Используя средние значения ***RX*1** и ***RX*2** вычислить сопротивление *RТЕОР* для последовательного соединения, по формуле:

***RТЕОР*** ***RX***1 ***RX***2**.**

1. Повторить пункт 3. Результаты занести в таблицу 2.
2. По выполненной работе сделать вывод.

***Контрольные вопросы***

1. Что называется постоянным электрическим током? Какими параметрами он характеризуется?
2. Сформулируйте законы Ома для полной цепи и для участка цепи, содержащего и не содержащего ЭДС.
3. Сформулируйте основные закономерности для силы тока, напряжения и сопротивления при последовательном и параллельном соединении сопротивлений.
4. В чём заключается метод измерения неизвестного сопротивления с помощью моста Уитстона?
5. В чем заключается физический смысл ЭДС?
6. Что называется напряжением?
7. Составьте систему уравнений по правилам Кирхгофа.

# 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. Емкость проводника не зависит ни от заряда, ни от потенциала. Она зависит от геометрии проводника (размеры, форма), от свойств среды (диэлектрическая проницаемость), от расположения заряженных тел.

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

Электрическое поле сосредоточенно 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:

***q q Кл***

***C***   . ***C***1 1***Ф***

1 2 ***U В***

***Электроемкость плоского конденсатора*:**

0***S*** ,

***C*** 

***d***

где *S* - площадь каждой обкладки, *d* - расстояние между ними.

Для измерения электроемкости в схему моста (рис.1) включают в плечо ***АС*** только измеряемую электроемкость *CX* , а в плечо ***СВ*** только эталонную *CЭ*. Тогда уравнение (1.5) примет вид:

***CX***  ***CЭ l***  ***l***1 **.** (1)

***l***1

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

В качестве эталонной электроемкости используется магазин емкостей, класс точности эталонной электроемкости указан на рабочем месте. Точность измерения длины участков проволоки реохорда ***Δl*** = 0,5мм. При этом относительную погрешность, допущенную при измерении неизвестного сопротивления, можно определить по формуле:

*СХ*  *CX*  *CЭ*   *l l*2 *l*1 . (2)

*CX CЭ l l*1 2

# Выполнение работы

**Задание 1.** *Определение электроемкости конденсаторов*

1. Собрать цепь по схеме, изображенной на рис.1, подсоединив неизвестную электроемкость *CX*1 в плечо ***АС***, а эталонную электроемкость ***СЭ1***– в плечо ***СВ***. Подключить мост в цепь переменного тока.
2. Перемещая движок реохорда добиться баланса моста (ток в индикаторе отсутствует или отсутствует звук в наушниках).
3. Значения ***l*** ,***l*1**, ***CЭ***1занести в таблицу 1.
4. Вместо ***СЭ1***подключить в плечо ***СВ*** эталонную электроемкость ***СЭ2*** и повторить пункты 2-3.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | ***l*** | ***l***1 | ***СЭ*** | ***СХ*** | ***СХ*** | ***СХ*** |
| [ ] | мм | мм | мкФ | мкФ | мкФ | % |
| Электроемкость первого конденсатора ***СХ***1 : | | | | | |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| ср |  |  |  |  |  |  |
| Электроемкость второго конденсатора ***С Х***2 : | | | | | |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| cр. |  |  |  |  |  |  |

1. Вместо ***СЭ2***подключить в плечо ***СВ*** эталонную электроемкость ***СЭ3*** и повторить пункты 2-3.
2. Для каждого измерения вычислить по формуле (1) величину электроемкости ***CX*** .
3. Найти среднее значение ***CX***1, относительную погрешность, по формуле

(2), и доверительный интервал ***СХ*** . Результаты занести в таблицу 1. .

1. Повторить пункты 1-7 для неизвестного сопротивления***CX***2.

**Задание 2.** *Определение электроемкости при параллельном и последовательном соединении конденсаторов*

1. Соединить измеренные резисторы ***CX***1 и ***CX*** 2 параллельно и повторить пункты 2-6 задания 1. Найти средние значения ***СХ*** и абсолютной погрешности ***СХ*** . Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | ***l*** | ***l***1 | ***СЭ*** | ***СХ*** | ***СХ*** | ***СХ*** | ***СТЕОР*.** | ***С*** |
| [ ] | мм | мм | мкФ | мкФ | мкФ | % | мкФ | % |
| При параллельном соединении ***СХ***1 и ***С Х***2 : | | | | | | | | |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| ср |  |  |  |  |  |  |  |  |
| При последовательном соединении ***СХ***1 и ***С Х***2 : | | | | | | | | |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| ср |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Используя средние значения ***CX***1  и ***CX*** 2  вычислить электроемкость

*CТЕОР*. для параллельного соединения, по формуле ***CТЕОР***  ***CX***1  ***CX***2  .

1. Рассчитать относительную погрешность по формуле:

*CX*  *СЭКС* *СТЕОР* 100 .



*СТЕОР*

1. Соединить измеренные конденсаторы ***CX***1 и ***CX***2 последовательно и повторить пункты 2-6 задания 1. Найти средние значения ***СХ*** и абсолютной погрешности ***СХ*** . Результаты занести в таблицу 2.
2. Используя средние значения ***CX***1 и ***CX***2 вычислить электроемкость ***CТЕОР*.**

для последовательного соединения, по формуле

1  1  1 .

***СТЕОР СX***1 ***CX***2

1. Повторить пункт 3. Результаты занести в таблицу 2.
2. По выполненной работе сделать вывод.

# Контрольные вопросы

1. Что называется электроемкостью уединенного проводника и конденсатора? От чего она зависит?
2. В каких единицах измеряется электроемкость?
3. Что представляет собой конденсатор?
4. Опишите устройство и принцип действия моста Сотти.
5. В чем заключается условие равновесия (баланса) моста?
6. Написать формулу электроемкости плоского конденсатора.
7. Как определить общую электроемкость при параллельном и последовательном соединении?

**Литература**

1. Лабораторный практикум мостовые методы измерения/Т.П. Жданова, В.В. Илясов, А.П. Кудря, В.С. Кунаков, О.А. Лещёва, О.М. Холодова– Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2017. – 26 с.

2. Электростатика. Постоянный электрический ток: учеб. пособие./B.C. Кунаков, И.В. Мардасова, О.М. Холодова, В.А. Тызыхян. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 66 с.