

Лабораторная работа №12*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Цель работы – найти и построить эквипотенциальные поверхности и силовые линии электрического поля между двумя электродами произвольной формы; определить напряжённость и потенциал в некоторых точках поля.

Приборы и принадлежности: плоская ванна из пластмассы с токопроводящей жидкостью (водой), генератор звуковых частот ЗГ, вольтметр V.

Введение

Всякий электрический заряд окружён электрическим полем. Электрическое поле – вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие электрических зарядов. Если электрическое поле рассматривается в системе отсчёта, неподвижной относительно заряда, создающего поле, оно является электростатическим.

Основными характеристиками электростатического поля являются напряжённость $\vec{E}$ и потенциал φ (силовая и энергетическая характеристики поля).

Напряжённостью данной точки электрического поля называется векторная величина, численно равная силе $\vec{F}$, действующей со стороны поля на единичный положительный заряд, помещённый в рассматриваемую точку поля, и направленная в сторону действия этой силы.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (1)$$

Потенциалом электрического поля в данной точке называется скалярная величина, численно равная отношению потенциальной энергии Π заряда, помещённого в данную точку поля, к величине этого заряда.

$$\varphi = \frac{\Pi}{q}. \quad (2)$$

Напряжённость и потенциал связаны между собой уравнением

$$\vec{E} = - \text{grad } \varphi, \quad (3)$$

где $\text{grad } \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \vec{k}$; $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ – орты осей x , y и z .

Знак минус указывает, что вектор напряжённости $\vec{E}$ направлен в сторону убывания потенциала, т. е. противоположно $\text{grad}\phi$.

Графически электростатические поля изображаются силовыми линиями и эквипотенциальными поверхностями. Силовые линии – это линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора $\vec{E}$, а густота силовых линий пропорциональна величине напряжённости поля. Эквипотенциальные поверхности представляют собой геометрическое место точек равного потенциала.

Обычно при исследовании электростатических полей вначале изображают не силовые линии электростатического поля, а эквипотенциальные поверхности, что гораздо проще. Достаточно найти положение эквипотенциальных поверхностей, а затем, зная, что силовые линии поля перпендикулярны этим поверхностям, построить силовые линии и получить графическое изображение электростатического поля.

Описание лабораторной установки

В ванночку из пластмассы, заполненной слабопроводящей жидкостью (водой), помещают два металлических электрода произвольной формы. От звукового генератора (ЗГ) на электроды подают переменное напряжение частотой 1000 Гц. Между электродами возникает переменное электрическое поле, и в воде появляется слабый переменный ток, идущий от точек с большим потенциалом к точкам с меньшим потенциалом.

Для измерения потенциалов в различных точках проводящей среды берут два небольших проводника (зонда) в виде коротких металлических стержней, присоединённых к зажимам вольтметра. Один зонд заземляют или подсоединяют к любому электроду в ванне. Другой зонд помещают в разные точки проводящей среды и находят последовательно координаты точек одинакового потенциала для построения эквипотенциальной линии. Перемещая зонд, аналогичным способом находят координаты точек следующей эквипотенциальной линии с другим значением потенциала и т. д. Распределение эквипотенциальных линий в ванне будет зависеть от формы и взаимного расположения электродов.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Собрать электрическую схему согласно рис. 1 и подготовить к работе звуковой генератор ЗГ и вольтметр V.

Подготовка ЗГ:

– переключатель звуковых частот «F» установить в положение №4 и при помощи ручки плавной регулировки частоты подобрать частоту ~1000 Гц;

– переключатель напряжения «U» установить в положение “max”.

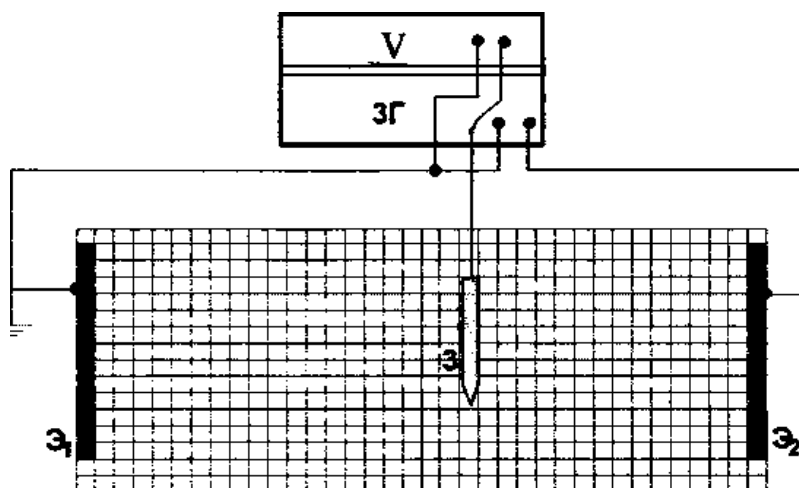


Рис. 1. Установка для исследования электростатических полей

Подготовка V:

– установить предел измерения 200 V (при этом положении переключателя происходит округление значений потенциала до десятых долей вольта);

– переключатель режимов работы вольтметра установить в положение ~ напряжения.

Включить в сеть ЗГ и V.

Коснуться зондом незаземлённого электрода Э₂ (см. рис. 1) и получить на индикаторе V значение max напряжения.

Упражнение №1

Исследование однородного электрического поля

1. Расчертить в тетради масштабную сетку, подобную той, которая нанесена на дне ванны, и отметить на ней положение электродов.

2. Поместить зонд З (см. рис. 1) между электродами вблизи одного из них (зонд при измерениях держать вертикально). С помощью вольтметра найти точки (не менее пяти), имеющие одинаковый потенциал. Перенести координаты найденных точек на масштабную сетку и соединить их плавной линией, указывая потенциал, которому соответствуют эти точки.

3. Перемещая зонд к другому электроду, построить ещё две эквипотенциальные кривые.

4. На основании полученных эквипотенциальных кривых провести 6–7 силовых линий.

5. По формуле

$$E = \frac{\Delta\varphi}{\Delta n} \quad (4)$$

рассчитать напряжённости электрического поля E_1 и E_2 , где $\Delta\varphi$ – разность потенциалов двух соседних эквипотенциальных кривых; Δn – расстояние между этими кривыми вдоль силовых линий.

6. Определить среднее значение напряжённости электрического поля.

Упражнение №2

Исследование формы неоднородных полей

1. В центр ванны поместить электроды цилиндрической формы, соединив их проводами с вольтметром и звуковым генератором.

2. Построить в тетради на масштабной сетке три эквипотенциальные поверхности (число точек, принадлежащих одной эквипотенциальной поверхности, не менее 12).

3. По полученной картине эквипотенциальных кривых провести 6–7 силовых линий.

4. По формуле (4) рассчитать напряжённости E_1 и E_2 электрического поля.

Контрольные вопросы

1. Физический смысл напряжённости и потенциала электрического поля и связь между ними. Градиент потенциала.
2. Силовые и эквипотенциальные линии поля. Их основные свойства.
3. Влияние формы электродов на характер электростатического поля (объяснить на примере картины поля экспериментальной установки).
4. Расчёт напряжённости электрического поля в данной работе.

Лабораторная работа №15*

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы – измерить неизвестные сопротивления при помощи:
1) амперметра и вольтметра; 2) моста постоянного тока.

Приборы и принадлежности: генератор постоянного напряжения (ГН), амперметр-вольтметр (АВ), стенд СЗ-эм01, магазин сопротивлений.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Измерение сопротивления с помощью амперметра и вольтметра (АВ)

Найти величину неизвестного сопротивления R_x можно, воспользовавшись законом Ома для однородного участка цепи $I = \frac{U}{R_x}$, где

U – падение напряжения на участке цепи; I – ток в цепи.

Откуда

$$R_x = \frac{U}{I}. \quad (1)$$

Так как амперметр имеет внутреннее сопротивление, отличное от нуля, а внутреннее сопротивление вольтметра меньше, чем ∞ , то в зависимости от величины измеряемого сопротивления возможны два варианта включения АВ.

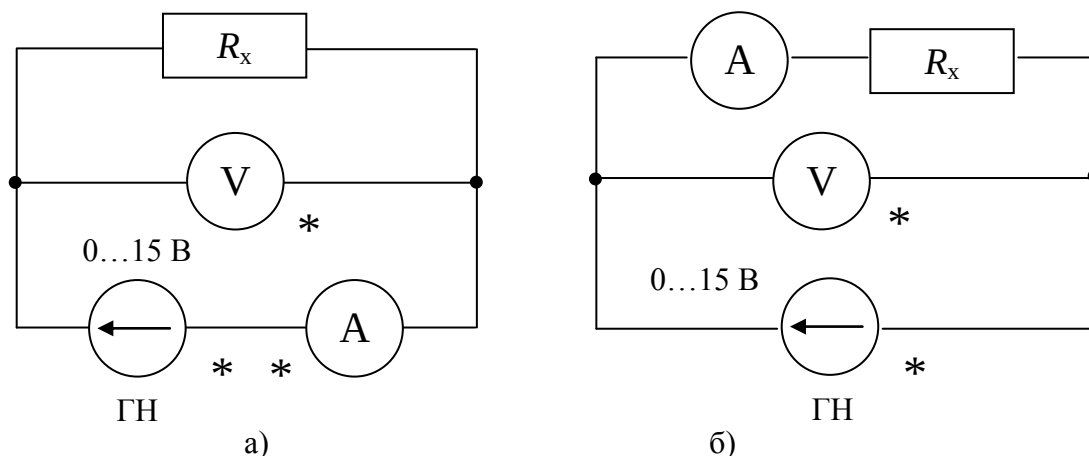


Рис. 1. Варианты включения АВ

Первый вариант включения АВ (рис. 1, а) лучше подходит при следующем условии:

– внутреннее сопротивление вольтметра намного больше измеряемого сопротивления.

Второй вариант включения АВ (рис. 1, б) предпочтительнее при следующем условии:

– внутреннее сопротивление вольтметра соизмеримо с измеряемым сопротивлением, а внутреннее сопротивление амперметра намного меньше измеряемого сопротивления.

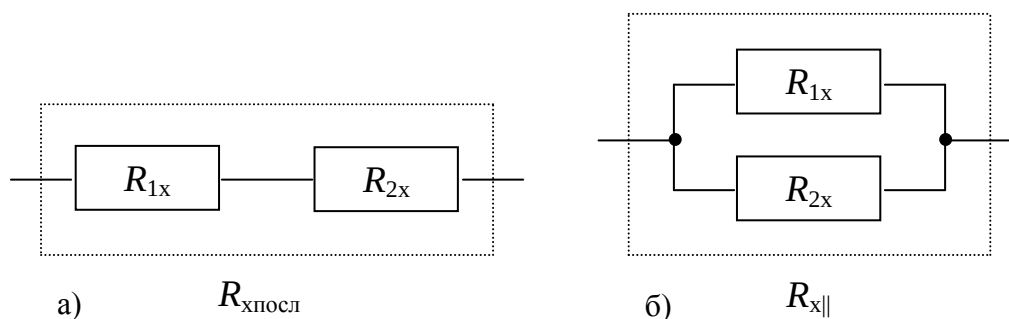


Рис. 2. Соединение двух сопротивлений

В данной лабораторной работе в качестве измеряемого сопротивления R_x (см. рис. 1) используются сопротивления R_{1x} и R_{2x} со стенда СЗ-эм01, подключаемые в зависимости от выполняемого упражнения по отдельности или вместе. При их последовательном (рис. 2, а) или параллельном (рис. 2, б) соединении суммарное сопротивление равно:

$$R_{x \text{ посл}} = R_{1x} + R_{2x}, \quad (2)$$

$$R_{x||} = \frac{R_{1x} \cdot R_{2x}}{R_{1x} + R_{2x}}. \quad (3)$$

Измерение неизвестного сопротивления при помощи моста постоянного тока

Еще одним способом измерения сопротивления является измерение с помощью моста постоянного тока (рис. 3).

На представленном рисунке сопротивления R_1 и R_2 являются известными (см. стенд СЗ-эм01). Сопротивление R – переменное, значения его проградуированы (магазин сопротивлений). Между точками B и D моста (см. рис. 3) включается нуль-индикатор (вольтметр или микроамперметр с большим внутренним сопротивлением). Воспользуемся

правилами Кирхгофа для расчёта схемы моста постоянного тока (см. рис. 3).

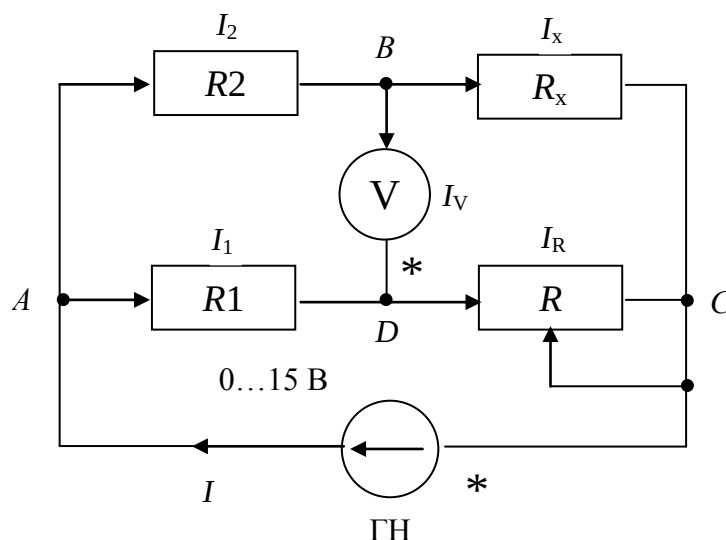


Рис. 3. Схема моста постоянного тока

Первое правило: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum_{k=1}^N I_k = 0.$$

Узел – это точка цепи, в которой сходятся не менее трёх проводников. Токам, сходящимся в узле, приписываются в зависимости от направления знаки «плюс» или «минус». Токам, входящим в узел, приписывается один знак, выходящим из узла – другой.

Второе правило: в любом замкнутом контуре разветвлённой цепи алгебраическая сумма напряжений равна алгебраической сумме ЭДС, встречающихся в этом контуре:

$$\sum_{k=1}^N I_k R_k = \sum_{i=1}^M \varepsilon_i.$$

Направление обхода контура выбирают произвольно (по часовой стрелке или против). Если направление тока совпадает с направлением обхода, его принято считать положительным, если не совпадает – отрицательным. Если источник тока повышает потенциал в направлении обхода (направление обхода совпадает с течением тока в источнике от его минуса к плюсу), то ЭДС такого источника считается положительной, если наоборот – отрицательной.

Используя первое правило Кирхгофа для узлов *A*, *B* и *C* (см. рис. 3), имеем соответственно:

$$I - I_1 - I_2 = 0,$$

$$I_2 - I_V - I_x = 0,$$

$$I_x + I_R - I = 0.$$

Используя второе правило Кирхгофа для контуров $ABDA$ и $BCDB$ (см. рис. 3), при направлении обхода по часовой стрелке имеем:

$$I_2 \cdot R_2 + I_V \cdot R_V - I_1 \cdot R_1 = 0,$$

$$I_x \cdot R_x - I_R \cdot R - I_V \cdot R_V = 0.$$

Так как ток через вольтметр при равновесии моста не протекает ($I_V = 0$), то

$$I_2 = I_x, \quad I_2 \cdot R_2 = I_1 \cdot R_1,$$

$$I_1 = I_R, \quad I_x \cdot R_x = I_R \cdot R.$$

Отсюда следует, что

$$\frac{R_2}{R_x} = \frac{R_1}{R}.$$

Откуда значение неизвестного сопротивления находим по формуле

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R \quad (4)$$

при условии, что нуль-индикатор покажет 0.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Упражнение №1

Измерение сопротивления с помощью амперметра и вольтметра (АВ)

1. Собрать схему (см. рис. 1, а), подключив вместо R_x сопротивление R_{1x} . Внутреннее сопротивление ГН выключить.

2. Выбрать пределы измерений шкал вольтметра 20 В и амперметра 200 мА. Изменяя значения ЭДС генератора (в диапазоне 0÷15 В) произвольным образом не менее четырёх раз, записать показания АВ в табл. 1.

Таблица 1

№ измерения	U , В	I , мА	R_{1x} , Ом
1			
2			
3			
4			

3. Повторить пункт 2 для второго сопротивления R_{2x} . Полученные данные занести в табл. 2.

Таблица 2

№ измерения	U , В	I , мА	R_{2x} , Ом
1			
2			
3			
4			

4. Соединить сопротивления R_{1x} и R_{2x} последовательно (см. рис. 2, а) и подключить их в схему вместо R_x (см. рис. 1, а).

5. Повторить пункт 2. Полученные данные занести в табл. 3.

Таблица 3

№ измерения	U , В	I , мА	$R_{x\text{посл}}$, Ом
1			
2			
3			
4			

6. Соединить сопротивления R_{1x} и R_{2x} параллельно (см. рис. 2, б) и подключить их в схему вместо R_x (см. рис. 1, а).

7. Повторить пункт 2. Полученные данные занести в табл. 4.

Таблица 4

№ измерения	U , В	I , мА	$R_{x\parallel}$, Ом
1			
2			
3			
4			

8. По формуле (1) рассчитать сопротивления R_{1x} , R_{2x} , $R_{x\text{посл}}$ и $R_{x\parallel}$.

9. Вычислить погрешность косвенного измерения одного из сопротивлений.

10. Рассчитать $R_{x\text{посл}}$ и $R_{x\parallel}$ по формулам (2) и (3), взяв значения R_{1x} и R_{2x} из табл. 1 и 2. Сравнить полученные значения с аналогичными из табл. 3 и 4. Сделать вывод.

Упражнение №2

Измерение неизвестного сопротивления при помощи моста постоянного тока

1. Собрать схему (см. рис. 3), подключив вместо R_x сопротивление R_{1x} . Внутреннее сопротивление ГН должно быть выключено.

Вместо переменного резистора в схему желательно подключить магазин сопротивлений.

2. Выбрать предел измерений шкалы вольтметра 20 В. Установить выходное напряжение ГН примерно 1 В. При этом сопротивление переменного резистора (магазина сопротивлений) должно быть равно нулю.

3. Плавно изменять величину переменного резистора R (сопротивление магазина изменяется дискретно) от нуля до такого значения, при котором показание вольтметра по величине будет минимальным (примерно равным нулю). Для этого необходимо переключиться (по мере уменьшения показаний вольтметра) на меньший предел измерений шкалы вольтметра 2 В.

4. Записать полученное значение R в табл. 5.

Таблица 5

R_1 , Ом	R_2 , Ом	R , Ом	R_{1x} , Ом

5. Подключить вместо R_{1x} сопротивление R_{2x} и повторить пункты 2–3. Записать полученное значение R в табл. 6.

Таблица 6

R_1 , Ом	R_2 , Ом	R , Ом	R_{2x} , Ом

6. Соединить сопротивления R_{1x} и R_{2x} последовательно (см. рис. 2, а) и подключить их в схему вместо R_x (см. рис. 3). Повторить пункты 2 и 3. Записать полученное значение R в табл. 7.

Таблица 7

R_1 , Ом	R_2 , Ом	R , Ом	$R_{\text{хпосл}}$, Ом

7. Соединить сопротивления R_{1x} и R_{2x} параллельно (см. рис. 2, б) и подключить их в схему вместо R_x (см. рис. 3). Повторить пункты 2 и 3. Записать полученное значение R в табл. 8.

Таблица 8

R_1 , Ом	R_2 , Ом	R , Ом	$R_{x }$, Ом

8. По формуле (4) рассчитать сопротивления R_{1x} , R_{2x} , $R_{x\text{посл}}$, $R_{x||}$ и занести их в табл. 5–8.

9. Вычислить погрешность косвенного измерения одного из сопротивлений.

10. Сравнить R_{1x} , R_{2x} , $R_{x\text{посл}}$ и $R_{x||}$ из табл. 5–8 с их соответствующими значениями из табл. 1–4. Сделать соответствующий вывод.

Контрольные вопросы

1. Сопротивление. Удельное сопротивление. Электропроводность.
2. Законы Ома. Параллельное и последовательное соединение сопротивлений.
3. Правила Кирхгофа.
4. Мост постоянного тока. Формула для определения неизвестного сопротивления.