

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 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.

Теоретические положения

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

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

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

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 - линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора \vec{E} . На рис. 1.1 пунктирными линиями

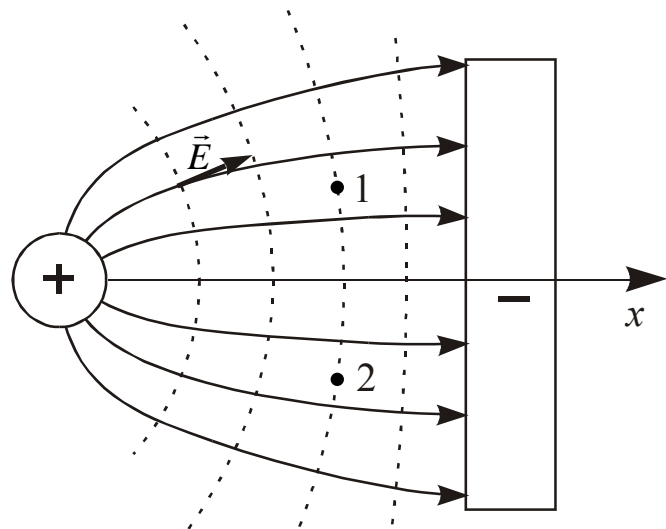


Рис. 1.1

представлены эквипотенциальными поверхностями (эквипотенциаль), сплошными - силовые линии электрического поля.

Разность потенциалов между точками 1 и 2 равна нулю, так как они находятся на одной эквипотенциальной поверхности. В этом случае из

(1.1) $\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = 0$ или $\int_1^2 E dl \cos(\vec{E} d\vec{l}) = 0$. 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 $\pi/2$, так что силовые линии и эквипотенциали образуют "криволинейные квадраты".

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 эквипотенциалами. 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 вектора напряжённости \vec{E} на выбранное направление x , усредненное по некоторому интервалу координаты Δx :

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

где Δx — приращение координаты при переходе с одной эквипотенциали на другую, м; $\Delta\varphi$ - соответствующее ему приращение потенциала, В; $\langle E_x \rangle$ — среднее значение проекции E_x между двумя эквипотенциалами, В/м; E_x — проекция \vec{E} на ось x , В/м.

У поверхности металла напряжённость связана с величиной поверхностной плотности заряда σ соотношением

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

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

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 аналогично расположению линий электрических токов.

То же утверждение справедливо для потенциалов. Распределение потенциалов 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 электро-

да на плёнке, а высота бесконечно велика. Например, при использовании моделей электродов, приведенных на рис. 1.2, на проводящей плёнке возникает такое же распределение потенциалов, как в электростатическом поле в вакууме, созданном двумя бесконечно длинными плоскостями, перпендикулярными плоскости плёнки.

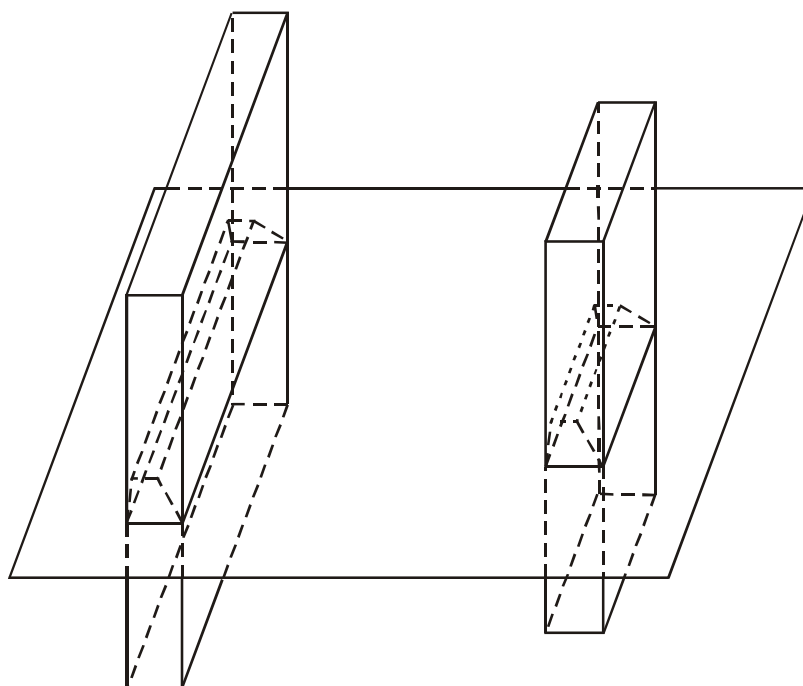


Рис. 1.2

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

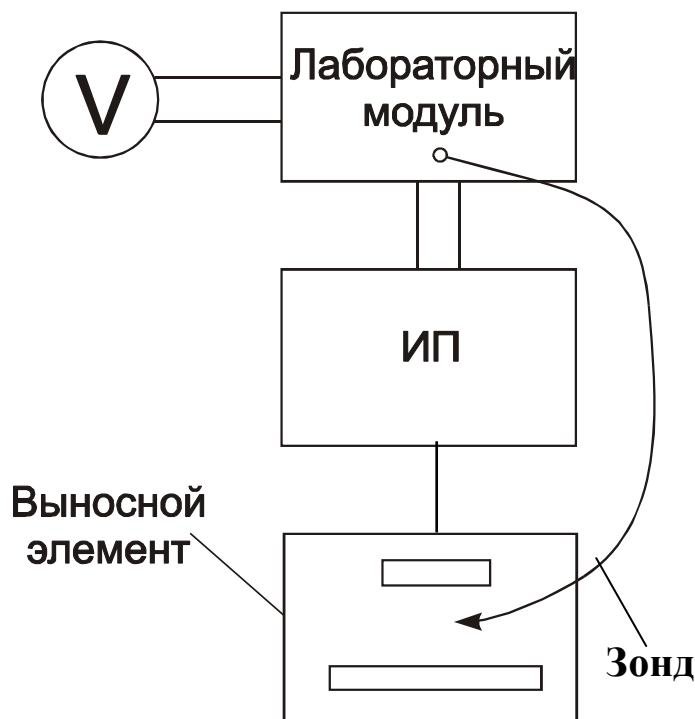


Рис. 1.3

проводящей бумагой. Для исследования электростатического поля применяется установка (рис. 1.3), 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. Напряжение от источника питания ИП с ЭДС E_1 подается на однополюсные розетки 1 и 2, к которым подключаются электроды, установленные на электропроводящей бумаге. К модулю также подключаются зонд (к однополюсной розетке 3) и вольтметр (к однополюсным розеткам 4 и 5). В качестве вольтметра используется мультиметр.

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 разность потенциалов между одним из электродов и зондом (точкой на электропроводящей бумаге, которой касается зонд). Для построения эквипотенциалей необходимо найти 7 - 8 точек с одинаковым потенциалом. Нахождение точек осуществляется путем перемещения зонда по электропроводящей бумаге. Для построения модели электростатического поля необходимо определить местонахождение 6 - 7 эквипотенциалей.

В качестве источника питания в данной работе используется источник питания "Марс".

Порядок выполнения работы

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

2. Установить на электропроводящей бумаге электроды, моделирующие систему "плоскость – плоскость" или "длинный цилиндр над плоскостью".

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

4. Снять картину электрического поля:

а) касаясь зондом электродов, определить потенциалы электродов и обвести контуры электродов. Контуры электродов определяют крайние эквипотенциали;

б) перемещая зонд по бумаге, найти и отметить точки, соответствующие данной эквипотенциали. Точки отмечают в момент, когда вольтметр показывает одинаковое значение разности потенциалов между данной точкой на электропроводящей бумаге и одним из электродов (первая серия (7-8 точек) - 1,5 В, вторая серия - 3,0 В, третья серия - 4,5 В и т.д.);

в) отключить лабораторную установку от сети;

г) снять миллиметровку 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	...
φ , 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 в середине каждой пары эквипотенциалей. Результаты занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

№	$x_{\text{ср}}$	$\varphi_i, \text{В}$	$\varphi_{i-1}, \text{В}$	$\Delta\varphi_i = \varphi_i - \varphi_{i-1}, \text{В}$	$\Delta x, \text{см}$	$\langle E_x \rangle, \text{В/см}$
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 разностью потенциалов, потенциалом 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?
6. Каковы особенности взаимного расположения эквипотенциалей и силовых линий электростатического поля?

Лабораторная работа
Моделирование электрических полей на
электропроводящей бумаге

Состав работы:

- источник питания типа “HY150 2D” _____ 1 шт.
- микрокалькулятор типа “MAS-830B” _____ 1 шт.
- адаптер типа AC-DC _____ 1 шт.
- электроды _____ 2 шт.
- электропроводящая бумага ЭКУ-120 _____ 2 л.
- полка _____ 1 шт.

Параметры работы: напряжение источника питания не более 10В.