

Изучение картины эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электростатического поля с помощью электролитической ванны

Цель работы: Построение сечений эквипотенциальных поверхностей и силовых линий электростатического поля на основе экспериментального моделирования распределения потенциала в слабо проводящей среде.

Требуемое оборудование и материалы

1. Блок амперметра-вольтметра АВ1.
2. Генератор напряжений ГН1.
3. Электролитическая ванна ЭВ01 .
4. Проводящие тела разной формы.
5. Проводники Ш4/Ш1,6 : 4 шт.
6. Листы масштабно координатной бумаги (миллиметровки) формата А4: 2шт.

Краткое теоретическое введение

Структуру электростатического поля можно представить графически с помощью силовых линий и с помощью эквипотенциальных поверхностей (на чертеже обычно изображают сечения таких поверхностей).

Силовые линии строятся так, чтобы касательная в каждой точке такой линии совпадала с вектором \vec{E} электрической напряженности в этой же точке. Густота силовых линий качественно характеризует величину напряженности электростатического поля: в области, где линии идут гуще — модуль вектора \vec{E} больше. Поскольку вектор электрической напряженности в данной точке пространства определяет величину и направление силы действующей на любой точечный заряд, помещенный в данную точку, этот вектор называют силовой характеристикой электростатического поля.

Другая, энергетическая, характеристика электростатического поля — потенциал φ . Работа сил электростатического поля над зарядом при перемещении этого заряда по произвольной траектории определяется разностью потенциалов между началом и концом траектории. Поверхности равного потенциала $\varphi = const$ называются эквипотенциальными поверхностями.

Силовая и энергетическая характеристики электростатического поля связаны друг с другом соотношением:

$$\vec{E} = -\nabla\varphi. \quad (1)$$

Градиент потенциала, стоящий в правой части этого соотношения в декартовой системе координат определяется формулой

$$\nabla\varphi = \vec{i} \frac{\partial\varphi}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial\varphi}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial\varphi}{\partial z}, \quad (2)$$

где x, y, z — координаты, $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ — орты координатных осей.

Из свойств градиента следует, что:

- силовые линии пересекают эквипотенциальные поверхности под прямым углом;
- вектор напряженности направлен в сторону убывания потенциала;
- модуль вектора напряженности определяет пространственную быстроту убывания потенциала в направлении силовой линии.

Последнее означает, что, если известны потенциалы φ_1 и φ_2 двух точек, лежащих на одной силовой линии (см.рис.1), то средняя напряженность между этими точками вычисляется по формуле

$$E_{12} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l_{12}}, \quad (3)$$

где l_{12} — длина участка силовой линии между точками. Если относительное изменение локального значения напряженности между выбранными точками невелико, то формула (3) дает значение близкое к напряженности на середине участка 1-2.

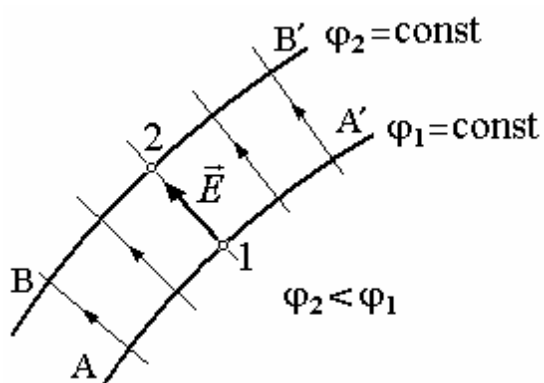


Рис.1. AA' — эквипотенциальная поверхность с потенциалом φ_1 , BB' — с потенциалом φ_2 ; 1 и 2 — две точки одной силовой линии

Методика эксперимента

В слабо проводящую среду, которая представляет собой недистиллированную воду в электролитической ванне 1, помещают два металлических проводника 2 и 3, подсоединенных к источнику переменного тока 4 (рис.2). Так как проводимость среды намного меньше проводимости помещенных в нее металлических электродов, то потенциал в разных точках этих электродов с достаточной степенью точности можно считать одинаковым. При этом топография поля в пространстве между ними будет такой же, какой

была бы топография электростатического поля между заряженными проводниками, помещенными в однородную непроводящую среду.

В однородной изотропной среде $\vec{j} = \sigma \vec{E}$, здесь \vec{j} - вектор плотности тока в проводящей среде, σ - удельная электропроводность (проводимость) среды. Метод моделирования электростатического поля в проводящей среде основан на аналогии уравнений, описывающих электрическое поле в вакууме и в изотропной проводящей среде. Метод является удобным для практики, так как позволяет получить путем экспериментального моделирования сложную картину электростатического поля, аналитический расчет которого зачастую невозможен из-за сложности граничных условий. Использование переменного тока позволяет предотвратить выделение на электродах составных частей электролита. Для переменного синусоидального тока в электролите переменное электрическое поле не является потенциальным, в каждой точке напряжение изменяется со временем. Однако понятие «эквипотенциальной поверхности» как поверхности постоянно изменяющегося, но одинакового по амплитуде потенциала можно считать справедливым. Разные эквипотенциальные поверхности при этом характеризуются разным значением амплитуды напряжения.

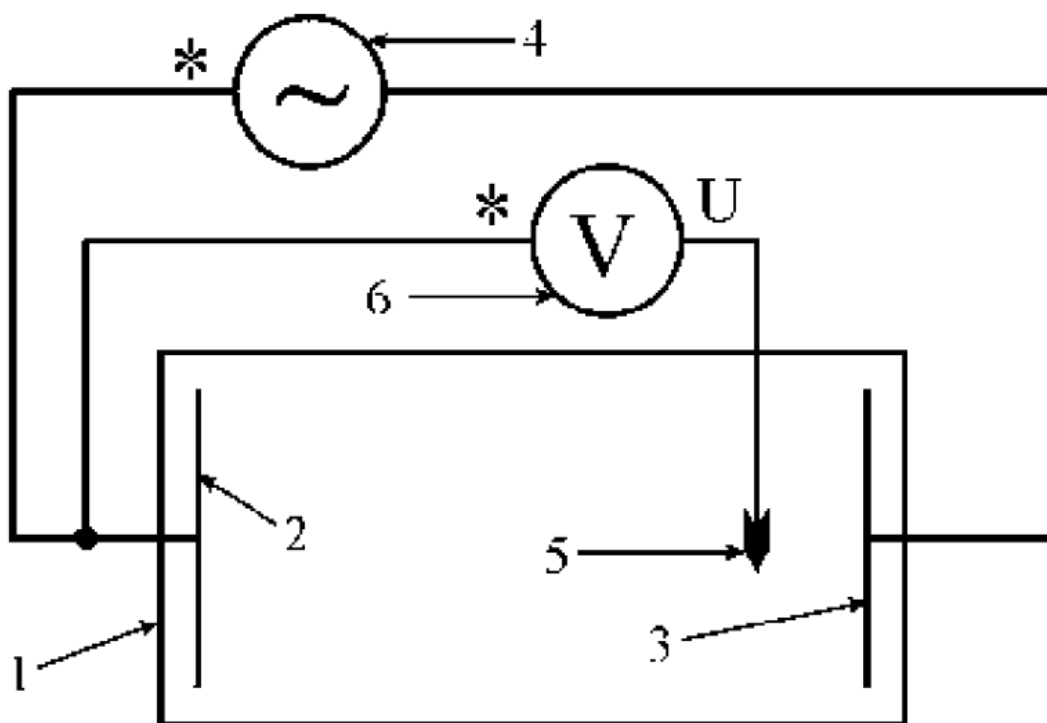


Рис.2

Рекомендуемое задание к работе

1. Согласуйте с преподавателем конфигурацию исследуемого поля.
2. Соберите схему согласно рис. 1.
3. Оцифруйте на листе масштабной-координатной бумаги в определенном масштабе координатную сетку и отметьте на ней положение и форму электродов .
4. Подключите электроды к генератору звуковых частот. Установите напряжение около 15 В и частоту в диапазоне от 50 до 200 Гц.
5. С помощью вольтметра 6 найдите точки, равноотстоящие по потенциалу (эквипотенциальные поверхности принято проводить так, чтобы между любыми соседними эквипотенциальными поверхностями разность потенциалов была бы одна и та же). Число эквипотенциальных поверхностей - не менее пяти. Число точек, принадлежащих одной эквипотенциальной поверхности – не менее семи. Зонд 5 при измерениях держите вертикально.
6. По полученной картине эквипотенциальных линий проведите 6-7 силовых линий.
7. Оцените величину напряженности электрического поля в точках указанных преподавателем.
8. Положите в ванну проводящее тело (по указанию преподавателя).
9. Начертите эквипотенциальные поверхности и силовые линии поля, повторив п.3-6.
10. Оцените величину напряженности электрического поля в точках указанных преподавателем.