

Тема 6

**Електроємкость. Конденсатори и
их применение. Енергія и
плотність енергії зарядженого
конденсатора**

ОГЛАВЛЕНИЕ

6.1. Электроемкость.

6.2. Конденсаторы и их применение.

6.3. Энергия и плотность энергии
заряженного конденсатора.

6.1. Електроємкость

Если сравнить формулы, описывающие зависимость напряженности электрического поля и потенциала этого поля от величины заряда тела, то можно заметить, что для большинства проводников между напряженностью поля вблизи поверхности проводника E и его потенциалом φ существует прямо пропорциональная зависимость.

С другой стороны, известно, что напряженность поля E прямо пропорциональна плотности заряда (либо τ , либо σ , либо ρ) и, следовательно, величине самого заряда тела. Таким образом, можно записать, что E прямо пропорциональна q , это означает, что для большинства тел существует прямо пропорциональная зависимость между зарядом и потенциалом, т. е.

$$q = C\varphi \Rightarrow C = \frac{q}{\varphi} \quad (6.1)$$

где C — электроємкость.

Электроємкостью называется физическая величина, равная заряду, при сообщении которого потенциал повышается на единицу.

Электроємкость зависит от формы, размера проводника и диэлектрической проницаемости среды, окружающей проводник.

$$[C] = \Phi, \quad 1\Phi = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}$$

[← К оглавлению](#)

6.2. Конденсаторы и их применение

Устройство для накопления электрических зарядов называется конденсатором. Любой конденсатор состоит из двух металлических проводников — обкладок, разделенных слоем диэлектрика.

Конденсаторы бывают плоские, сферические, цилиндрические. По роду диэлектрика они подразделяются на воздушные, бумажные, слюдяные, керамические. По способу изготовления можно выделить особую группу — электролитические конденсаторы.

Опыт 6.1. С плоским конденсатором

Оборудование:

1. Конденсатор разборный.
2. Штативы изолирующие.
3. Электрометр.
4. Палочка эбонитовая или стеклянная с куском меха.
5. Штатив универсальный.
6. Провода соединительные.
7. Линейка или метр демонстрационный.

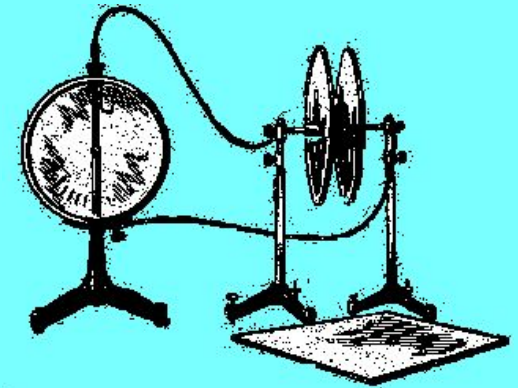


Рис. 6.1.

Ход работы:

1. Две металлические пластины, образующие плоский конденсатор, подключим к электрометру — прибору, измеряющему разность потенциалов. Убедимся, что электрометр показывает не заряд, а разность потенциалов.

2. Зарядив Диск В от электрофорной машины или от высоковольтного преобразователя до заряда Q , при котором стрелка электрометра отклонится до деления, близкого к наибольшему. Диск А зарядится через влияние зарядом, противоположным по знаку заряду на диске В. Пусть площадь каждой пластины (диска) S , расстояние между дисками $d = 2$ см. Заметим показание электрометра U при заряде конденсатора Q .

3. Уменьшим расстояние между пластинами в 2 раза. При этом заряд на пластинках не изменится. Получим новый конденсатор, у которого $S_1 = S$, или $C_1 = 2C$ (емкость конденсатора увеличилась в 2 раза). Так как, то . Поскольку емкость увеличилась в 2 раза, разность потенциалов должна уменьшиться в 2 раза, что и наблюдается при выполнении опыта. (Заряд Q не изменился, а показания электрометра изменились в соответствии с изменением разности потенциалов.).

4. Если увеличить расстояние d в 3 раза, то емкость уменьшится в 3 раза, а разность потенциалов возрастет в 3 раза.

Вывод:

1. Чем меньше площадь перекрытия — активная площадь, тем меньше емкость (и наоборот)

$$C \sim S.$$

2. Чем меньше расстояние между обкладками, тем больше емкость (и наоборот)

$$C \sim \frac{1}{d}$$

3. Чем меньше проницаемость диэлектриков, тем меньше емкость (и наоборот)

$$C \sim \varepsilon$$

Обобщая результаты опыта, приходим к следующей зависимости

$$C \sim \frac{\varepsilon S}{d}$$

Если ввести коэффициент, учитывающий выбор системы единиц, то можно перейти к строгому равенству. Приведем (без вывода) формулу емкости плоского конденсатора в СИ

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}. \quad (6.2)$$

Конденсаторы, возможно, объединять в различные схемы. Существует два вида соединений конденсаторов: последовательное и параллельное.

Последовательное соединение

Рассмотрим последовательное соединение конденсаторов. Для последовательного соединения можно указать, что падение потенциала на всей цепи равно сумме разностей потенциалов на обкладках всех конденсаторов, составляющих батарею.

$$U_1 = \varphi_1 - \varphi_2$$
$$U_2 = \varphi_2 - \varphi_3$$
$$\dots \quad \dots$$
$$U_n = \varphi_n - \varphi_{n+1}$$

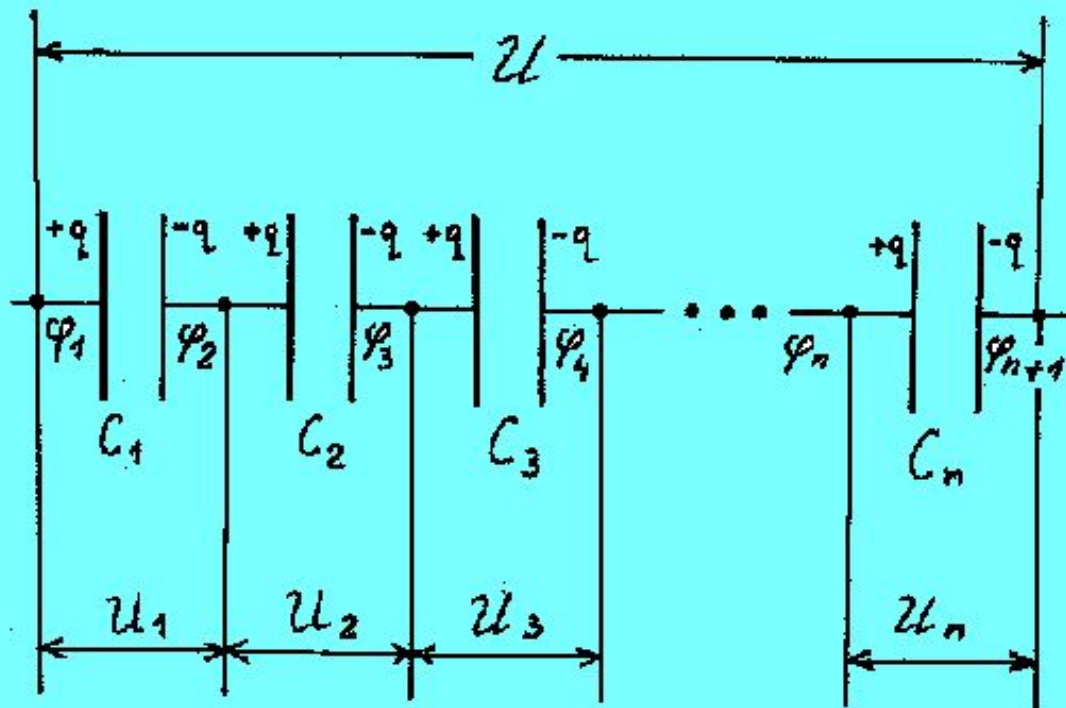


Рис. 6.2. Последовательное соединение конденсаторов.

При суммировании получим:

$$U = \varphi_1 - \varphi_{n+1}$$

Но тогда для каждого конденсатора

$$U_n = \frac{q}{C_n}.$$

$$\text{Но } U = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} + \dots + \frac{q}{C_n}.$$

$$\frac{q}{C_{\text{экв}}} = \sum_{i=1}^n \frac{q}{C_i},$$

$$\text{Тогда } \frac{1}{C_{\text{экв}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

(6.3)

Итак, при последовательном соединении конденсаторов величина, обратная эквивалентной емкости, равна сумме величин, обратных емкостям конденсаторов, составляющих батарею. Поэтому эквивалентная емкость меньше, чем наименьшая емкость, включенная в цепь.

Параллельное соединение

При таком соединении $U=const$, а $q = \sum_{i=1}^n q_i$ Тогда

$$UC_{экв} = UC_1 + UC_2 + \dots + UC_n$$

$$C_{экв} = \sum_{i=1}^n C_i \quad (6.4)$$

т.е. при параллельном соединении конденсаторов их емкости складываются.

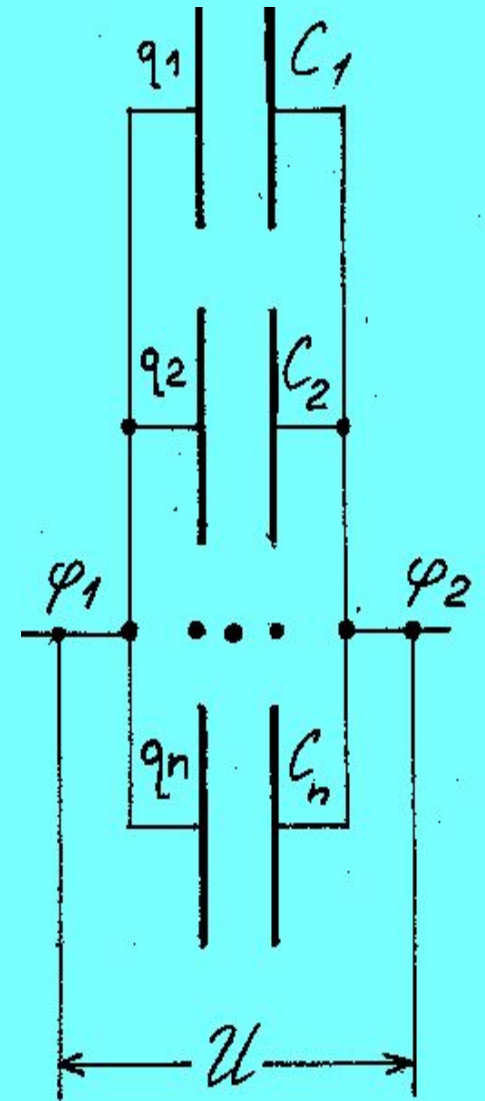


Рис. 6.3. Параллельное соединение конденсаторов

6.3. Энергия и плотность энергии заряженного конденсатора

Рассмотрим заряженный конденсатор. Обкладки конденсатора взаимодействуют, а внутри конденсатора происходит поляризация диэлектрика. При этом совершается работа, следовательно, можно говорить об энергии электростатического поля. Чтобы вычислить энергию поля найдем работу по зарядке конденсатора.

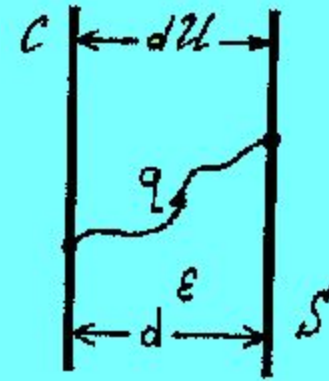


Рис. 6.4. Обкладки конденсатора

$$dA = qdU = CUdU$$

$$A = \int_0^U CUdU = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2} \quad (6.5)$$

т.е. поле внутри конденсатора обладает энергией

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2} \quad (6.6)$$

Такой же энергией обладает любое электростатическое поле. Если конденсатор плоский, то

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}, \quad U = Ed, \quad \text{тогда} \quad W = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S E^2 d^2}{2d} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} V,$$

$$\omega = \frac{W}{V} \quad \text{—} \quad \text{объемная плотность энергии электростатического поля,} \quad (6.7)$$

$$\text{тогда} \quad \omega = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{DE}{2} \quad (6.8)$$

Для анизотропных диэлектриков

$$\omega = \frac{\vec{D} \cdot \vec{E}}{2}$$

Конденсаторы используются для накапливания энергии и выпрямления переменного и постоянного тока в электронных устройствах.

В России запатентовано устройство, которое представляет собой батарею конденсаторов, способное заменить аккумулятор в автомобилях. Выгода очевидна: конденсаторы не замерзают, в них не надо добавлять воду и т.д.