

Электроёмкость

Конденсаторы



Если двум изолированным друг от друга проводникам сообщить заряды q_1 и q_2 , то между ними возникает некоторая разность потенциалов $\Delta\varphi$, зависящая от величин зарядов и геометрии проводников. Разность потенциалов $\Delta\varphi$ между двумя точками в электрическом поле часто называют напряжением и обозначают буквой U . Наибольший практический интерес представляет случай, когда заряды проводников одинаковы по модулю и противоположны по знаку: $q_1 = -q_2 = q$. В этом случае можно ввести понятие электрической емкости.

Електроємністю системи из двух проводников называется физическая величина, определяемая как отношение заряда q одного из проводников к разности потенциалов $\Delta\varphi$ между ними:

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{U}.$$

В системе СИ единица емкости называется **фарад** (Ф):

$$1 \text{ Ф} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}}.$$

Величина емкости зависит от формы и размеров проводников и от свойств диэлектрика, разделяющего проводники.

Существуют такие конфигурации проводников, при которых электрическое поле оказывается сосредоточенным (локализованным) лишь в некоторой области пространства. Такие системы называются **конденсаторами**, а проводники, составляющие конденсатор, называются **обкладками**.

Вид конденсатора:

Простейший конденсатор – система из двух плоских проводящих пластин, расположенных параллельно друг другу на малом по сравнению с размерами пластин расстоянии и разделенных слоем диэлектрика. Такой конденсатор называется **плоским**. Электрическое поле плоского конденсатора в основном локализовано между пластинами (смотрите рисунок на сл. слайде); однако, вблизи краев пластин и в окружающем пространстве также возникает сравнительно слабое электрическое поле, которое называют **полем рассеяния**. В целом ряде задач можно приближенно пренебрегать полем рассеяния и полагать, что электрическое поле плоского конденсатора целиком сосредоточено между его обкладками (рисунок №2). Но в других задачах пренебрежение полем рассеяния может привести к грубым ошибкам, так как при этом нарушается потенциальный характер электрического поля

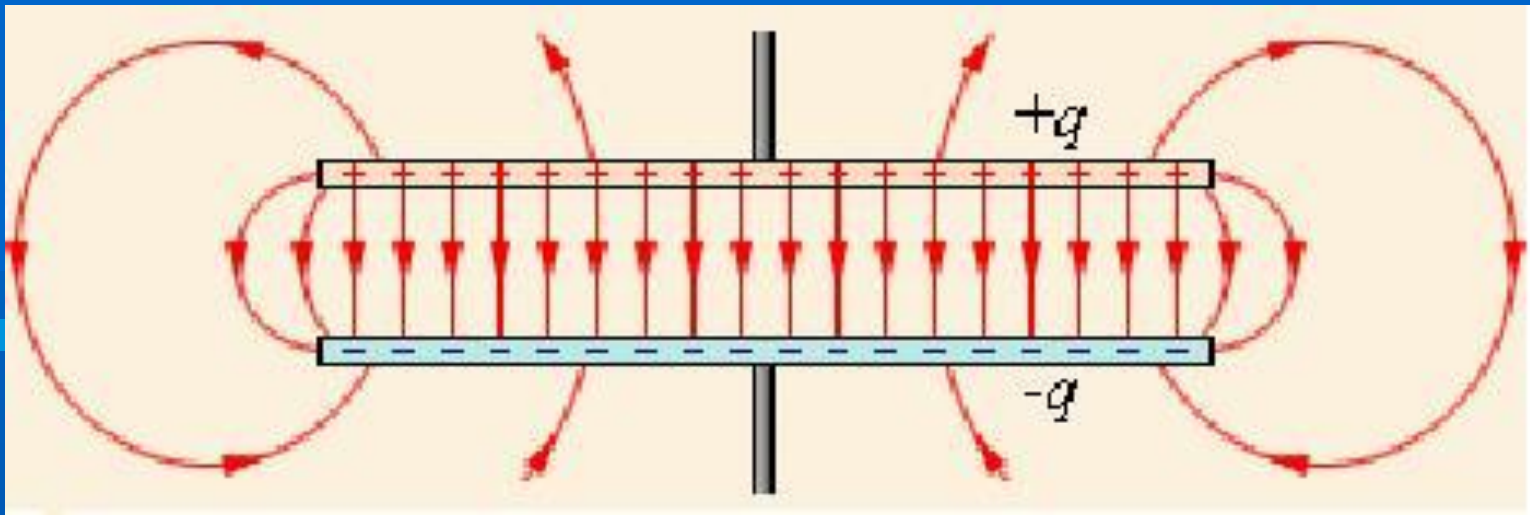


рис. 1

Поле плоского конденсатора.

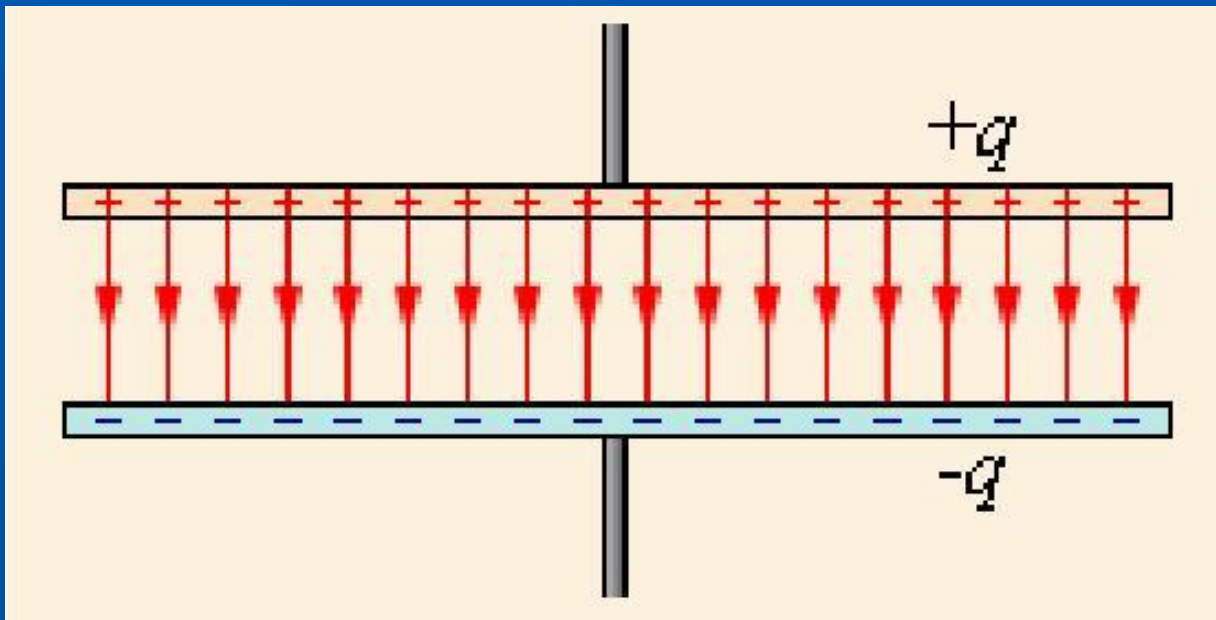


рис. 2

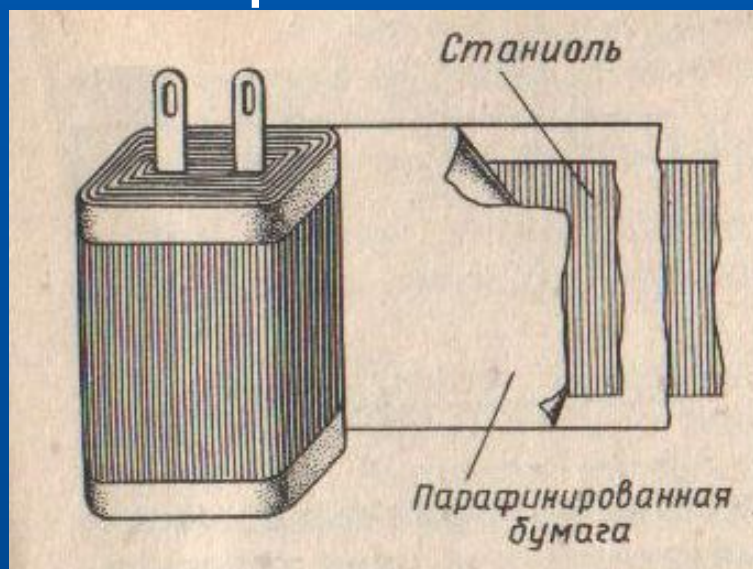
Идеализированное представление поля плоского конденсатора. Такое поле не обладает свойством потенциальности.

Каждая из заряженных пластин
плоского конденсатора создает вблизи
поверхности электрическое поле,
модуль напряженности которого
выражается соотношением

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}.$$

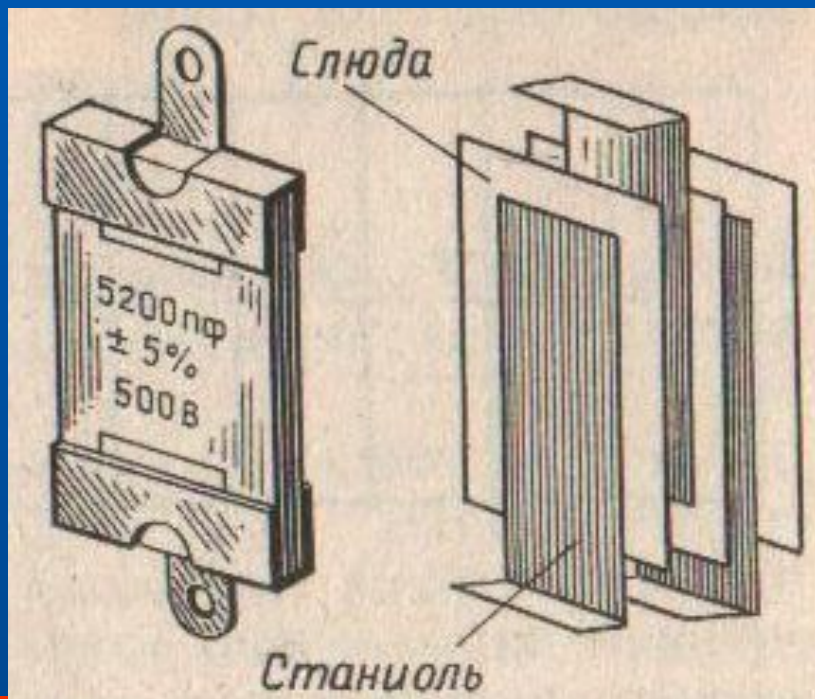
Бумажный конденсатор

В настоящее время широко применяются бумажные конденсаторы для напряжений в несколько сот вольт и ёмкостью в несколько микрофард. В таких конденсаторах обкладками служат две длинные ленты тонкой металлической фольги, а изолирующей прокладкой между ними – несколько более широкая бумажная лента, пропитанная парафином. Бумажной лентой покрывается одна из обкладок, затем ленты туго свёртываются в рулон и укладываются в специальный корпус. Такой конденсатор, имея размеры спичечного коробка, обладает ёмкостью 10мкФ (металлический шар такой ёмкости имел бы радиус 90км).



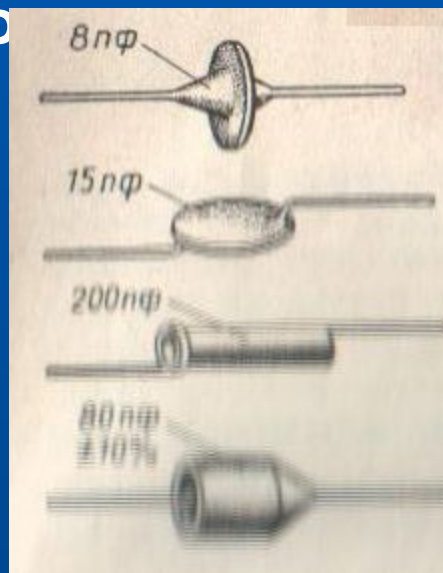
Слюдяной конденсатор

В радиотехнике применяются слюдяные конденсаторы небольшой ёмкости (от десятков до десятков тысяч пикофарад). В них листки станиоля прокладываются слюдой так, что все нечётные листки станиоля, соединённые вместе, образуют одну обкладку конденсатора, тогда как чётные листки образуют другую обкладку. Внешний вид и отдельные части такого конденсатора показаны на рисунке. Эти конденсаторы могут работать при напряжениях от сотен до тысяч вольт.



Керамический конденсатор

В последнее время слюдяные конденсаторы в радиотехнике начали заменять керамическими. Диэлектриком в них служит специальная керамика. Обкладки керамических конденсаторов изготавливаются в виде слоя серебра, нанесённого на поверхность керамики и защищённого слоем лака. Керамические конденсаторы изготавливаются на ёмкости от единиц до сотен пикофарад и на напряжения от сотен до тысяч во



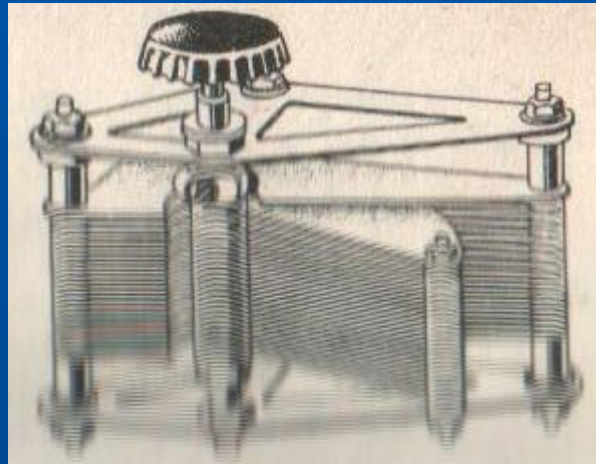
Электролитические конденсаторы

Широкое распространение получили так называемые электролитические конденсаторы, диэлектриком в которых служит тончайший окисный слой на поверхности алюминия или тантала, находящийся в контакте со специальным электролитом. Эти конденсаторы имеют большую ёмкость (до нескольких тысяч микрофарад) при небольших размерах.



Конденсаторы переменной ёмкости с воздушным или твёрдым диэлектриком

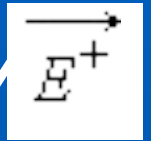
Часто используются конденсаторы переменной емкости с воздушным или твёрдым диэлектриком. Они состоят из двух систем металлических пластин, изолированных друг от друга. Одна система пластин неподвижна, вторая может вращаться вокруг оси. Вращая подвижную систему, плавно изменяют ёмкость конденсатора.



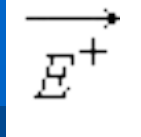
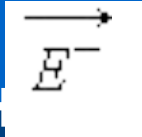
Согласно принципу суперпозиции,
напряженность $\vec{E}$ поля,
создаваемого обеими пластинами,
равна сумме напряженностей $\vec{E}^+$ $\vec{E}^-$
полей каждой из пластин:

$$\vec{E} = \vec{E}^+ + \vec{E}^-.$$

Внутри конденсатора вектора
и E^- параллельны; поэтому модуль
напряженности суммарного поля
равен



$$E = 2E_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}.$$

Вне пластин вектора   направлены в разные стороны, и поэтому $E = 0$.

Поверхностная плотность σ заряда пластин равна q / S , где q – заряд, а S – площадь каждой пластины. Разность потенциалов $\Delta\varphi$ между пластинами в однородном электрическом поле равна Ed , где d – расстояние между пластинами. Из этих соотношений можно получить формулу для емкости плоского конденсатора, где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$ – электрическая постоянная.

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{\sigma \cdot S}{E \cdot d} = \frac{\epsilon_0 S}{d}.$$

Таким образом, емкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади пластин (обкладок) и обратно пропорциональна расстоянию между ними. Если пространство между обкладками заполнено диэлектриком, емкость конденсатора увеличивается в ϵ раз:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}.$$

Примерами конденсаторов с другой конфигурацией обкладок могут служить сферический и цилиндрический конденсаторы. **Сферический конденсатор** – это система из двух концентрических проводящих сфер радиусов R_1 и R_2 . **Цилиндрический конденсатор** – система из двух соосных проводящих цилиндров радиусов R_1 и R_2 и длины L . Емкости этих конденсаторов, заполненных диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ , выражаются формулами:

$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon \frac{L}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \quad (\text{цилиндрический конденсатор}).$$

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} \quad (\text{сферический конденсатор}).$$

Конденсаторы могут соединяться между собой, образуя батареи конденсаторов. При **параллельном соединении** конденсаторов (рисунок №3) напряжения на конденсаторах одинаковы: $U_1 = U_2 = U$, а заряды равны $q_1 = C_1 U$ и $q_2 = C_2 U$. Такую систему можно рассматривать как единый конденсатор емкости C , заряженный зарядом $q = q_1 + q_2$ при напряжении между обкладками равном U . Отсюда следует

$$C = \frac{q_1 + q_2}{U} \text{ или } C = C_1 + C_2$$

Таким образом, при параллельном соединении электроемкости складываются.

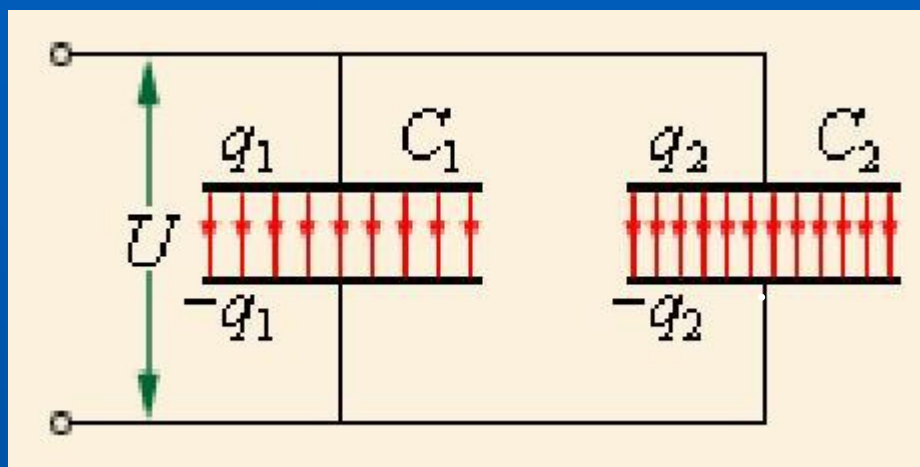


рис. 3

Параллельное соединение конденсаторов. $C = C_1 + C_2$.

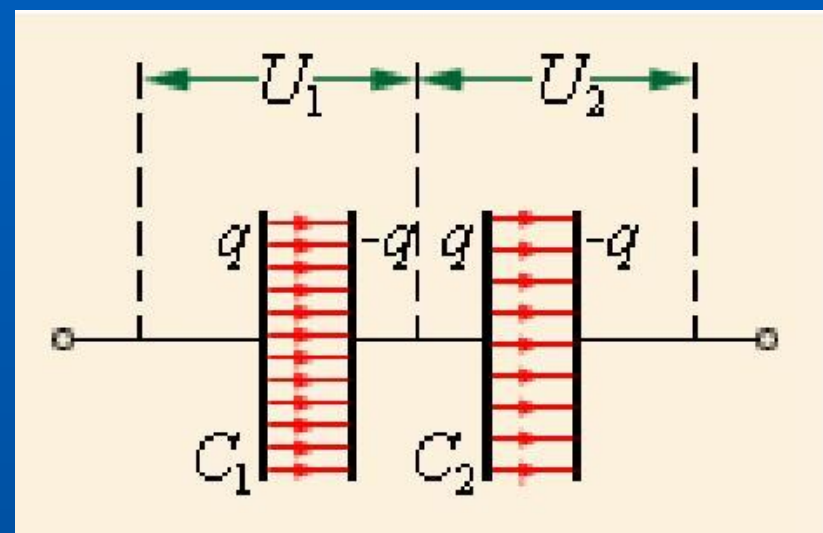


рис. 4

Последовательное соединение конденсаторов.

соединение

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

При последовательном соединении (рисунок 4) одинаковыми оказываются заряды обоих конденсаторов: $q_1 = q_2 = q$, а напряжения на них равны $U_1 = \frac{q}{C_1}$ и $U_2 = \frac{q}{C_2}$. Таковую систему можно рассматривать как единый конденсатор, заряженный зарядом q при напряжении между обкладками $U = U_1 + U_2$. Следовательно,

$$C = \frac{q}{U_1 + U_2} \quad \text{или} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

