

Занятие №26 Конденсаторы. Соединение конденсаторов в батарею. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля

При любом способе электризации тел-с помощью трения, электростатической машины, гальванического элемента и т.д., первоначально нейтральные тела заряжаются вследствие того, что некоторая часть заряженных частиц переходит от одного тела к другому. Обычно этими частицами являются электроны.

При электризации двух проводников один из них приобретает положительный заряд, а другой отрицательный. Между проводниками возникает электрическое поле и появляется разность потенциалов(напряжение).С увеличением заряда проводников электрическое поле между ними увеличивается. В сильном электрическом поле диэлектрик становится проводящим. Возможен, так сказать, пробой диэлектрика: между проводниками проскакивает искра, и они разряжаются. Чем меньше увеличивается напряжение между проводниками с увеличением их зарядов, тем больший заряд на них можно накопить.

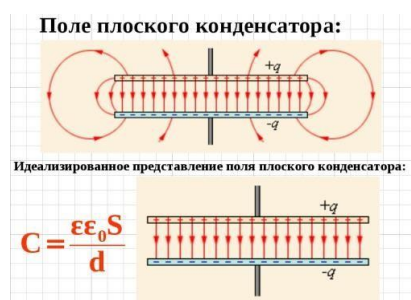
Конденсатор – устройство для накопления электрического заряда. Он представляет собой систему двух изолированных друг от друга проводников (обкладок конденсатора), разделённых слоем диэлектрика.

Демонстрация модели плоского конденсатора.



Рис.1

Плоский конденсатор состоит из двух одинаковых параллельных пластин. Заряды пластин одинаковы по модулю и противоположны по знаку. Электрическое поле сосредоточено между обкладками конденсатора и однородно.



Зарядка конденсатора - процесс накапливания зарядов на обкладках.

Разрядка конденсатора – процесс нейтрализации зарядов при соединении обкладок конденсатора проводником.

Величина, которая количественно характеризует способность конденсатора накапливать электрические заряды, называется электрическая емкость **C** (электроемкость).

Электроемкость (емкость) – физическая скалярная величина, равная отношению заряда одного из проводников к напряжению (разности потенциалов) между ними.

Или

Электроемкость (емкость) – физическая скалярная величина, равная отношению заряда конденсатора к напряжению между его обкладками.

$C = \frac{q}{U}$ где q - заряд на обкладках конденсатора, U – напряжение между его обкладками.

$$C = \frac{q}{\varphi}$$

C – электроемкость

q – электрический заряд

φ – потенциал

$$[q] = 1 \text{ Кл}$$

$$[\varphi] = 1 \text{ В}$$

$$[C] = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = 1 \text{ Ф} \text{ (Фарад)}$$

Емкость двух проводников равна 1 Ф, если при сообщении им зарядов в 1 Кл и -1 Кл между ними возникает напряжение 1 В.

1 Ф — очень большая электроёмкость. Электроёмкостью $C = 1 \text{ Ф}$ обладал бы находящийся в вакууме уединённый шар радиусом $R = 9 \cdot 10^9 \text{ м}$ (для сравнения: радиус земного шара $R_3 = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$). Поэтому на практике применяют дольные единицы:

микрофарад ($1 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$),

нанофарад ($1 \text{ нФ} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$) и пикофарад ($1 \text{ пФ} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$).

Например, электроёмкость такого огромного проводника, как земной шар, равна $C = 0,71 \text{ мФ}$, а электроёмкость человеческого тела примерно $C = 50 \text{ нФ}$.



В основном конденсаторы бывают трех форм: *плоские, сферические и цилиндрические.*

Диэлектрики в конденсаторах

Керамические



Бумажные



Электролитические



Также конденсаторы разделяют по типу диэлектрика на *керамические, бумажные и электролитические конденсаторы.*

Кроме этого, конденсаторы классифицируются по назначению.



Конденсатор постоянной емкости – это свернутая в рулон трехслойная лента (две ленты проводника и лента диэлектрика между ними).

Конденсаторы переменной емкости – приборы, используемые в радиотехнике, позволяющие регулировать параметры, от которых зависит емкость – ширина пластин и расстояние между ними. Конденсаторы с переменной емкостью широко используются в радиотехнике. Например, изменяя емкость конденсатора, можно настраивать радиоприемник на нужную частоту (или, как мы говорим, на нужную волну).

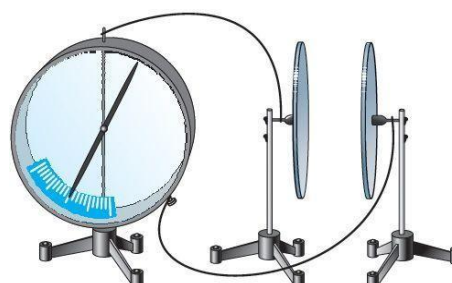
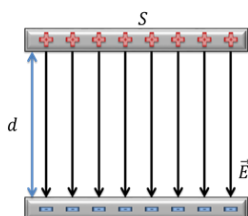


Батарея конденсаторов – это несколько конденсаторов, связанных определенным видом соединения (последовательным, параллельным или смешанным).

Емкость зависит от формы проводника! Поэтому для каждого вида существует своя формула расчета емкости.

На сегодняшнем уроке мы рассмотрим плоский конденсатор

Плоский конденсатор состоит из двух параллельных пластин, находящихся на малом расстоянии друг от друга.



Поле внутри такого конденсатора будет однородным. Для того чтобы зарядить конденсатор, достаточно подключить его к полюсам источника тока. Накопив заряд, конденсатор может сам являться источником тока некоторое время. Но, надо сказать, что конденсатор разряжается очень быстро. Электроемкость плоского конденсатора характеризуется площадью пластин и расстоянием между этими пластинами:

$$C \sim S$$

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

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

Очевидно, что чем больше площадь пластин, тем больший заряд можно на них накопить. Тем не менее, чем больше расстояние между пластинами, тем выше напряжение между ними:

Поскольку электроемкость обратно пропорциональна напряжению, мы можем заключить, что чем больше расстояние между пластинами, тем меньше электроемкость плоского конденсатора:

Конечно же, электроемкость зависит и от диэлектрика, который используется в конденсаторе, поэтому в формуле мы видим диэлектрическую проницаемость. Также, в формуле есть коэффициент пропорциональности, который называется электрической постоянной.

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$$

Таким образом, мы выяснили, что *электроемкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади пластин и обратно пропорциональна расстоянию между ними, а также зависит от диэлектрика, находящегося между обкладками конденсатора.*

Электроемкость плоского конденсатора

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

C – электроемкость

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками

ϵ_0 – электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$

S – площадь обкладки конденсатора

d – расстояние между обкладками

$[d] = 1\text{м}$ $[\epsilon_0] = 1 \frac{\Phi}{\text{м}}$ $[C] = 1\Phi$

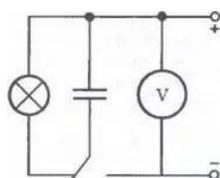
$[\epsilon]$ – безразмерная $[S] = 1\text{м}^2$

Обобщив эти выводы, мы получим формулу для расчета электроемкости плоского конденсатора

Чтобы зарядить конденсатор, нужно отделить положительные и отрицательные заряды друг от друга. Но

положительные и отрицательные заряды испытывают взаимное притяжение. Если мы хотим всё же разделить заряды, мы должны затратить энергию, мерой изменения которой является работа против сил притяжения. Затраченная энергия не пропадает бесследно. За счёт этой энергии конденсатор приобретает потенциальную энергию, равную совершённой работе.

Демонстрация зависимости энергии конденсатора от его ёмкости и напряжения на обкладках.

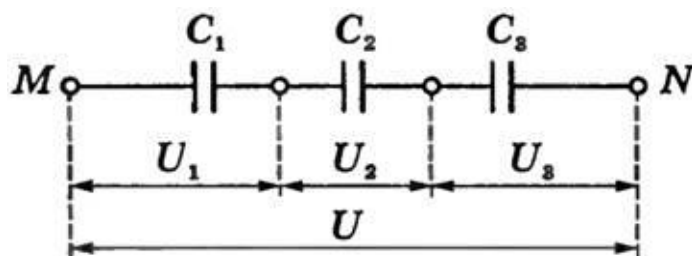


Собираем установку по схеме.

Убедимся, что заряженный конденсатор обладает энергией. Разрядим его через цепь, содержащую лампу накаливания. При разрядке конденсатора лампа вспыхивает. Энергия конденсатора превращается в тепло и энергию излучения.

Вводим формулу $W = CU^2/2$.

1) Последовательным соединением конденсаторов в батарею называют такое соединение, когда положительно заряженная обкладка предыдущего конденсатора соединяется с отрицательно заряженной обкладкой последующего.



Если сообщить одной из обкладок первого конденсатора заряд $+q$, то у второй обкладки будет заряд $-q$, у соседней обкладки второго конденсатора заряд $+q$ и т.д.

Следовательно, $q_1 = q_2 = q_3 = q$

Напряжение на батарее равно сумме напряжений на всех конденсаторах

$$U_6 = U_1 + U_2 + U_3$$

$$\begin{aligned} \text{Т.к. } C = q/U \rightarrow \quad U_6 &= \frac{q}{C_6} \quad U_1 = \frac{q}{C_1} \quad U_2 = \frac{q}{C_2} \quad U_3 = \frac{q}{C_3} \\ \frac{q}{C_6} &= \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{C_6} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \\ \frac{1}{C_6} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \end{aligned}$$

Итак, величина, обратная емкостям батареи последовательно соединенных конденсаторов, равна сумме величин, обратных емкостям отдельных конденсаторов.

При таком соединении ёмкость всей батареи будет меньше, чем самая маленькая ёмкость отдельного конденсатора.

Если последовательно соединены n одинаковых конденсаторов, то $C = \frac{C_1}{n}$

2) При параллельном соединении конденсаторов положительно заряженные обкладки всех конденсаторов соединяются в один узел, отрицательно заряженные — в другой узел.

Общий заряд равен алгебраической сумме зарядов каждой из обкладок отдельных конденсаторов

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

Так как соединенные обкладки представляют собой один проводник, то потенциалы всех соединенных в один узел обкладок одинаковы и разность потенциалов между обкладками всех конденсаторов одинакова: $U_1 = U_2 = U_3$

$$q_6 = C_6 U; \quad q_1 = C_1 U; \quad q_2 = C_2 U; \quad q_3 = C_3 U \quad C_6 U = C_1 U + C_2 U + C_3 U$$


$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad C = \sum_{i=1}^n C_i.$$

Ёмкость батареи параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов.

При таком соединении ёмкость всей батареи будет больше, чем самая большая ёмкость отдельного конденсатора.

Если параллельно соединены n одинаковых конденсаторов, то $C = nC_1$.

Энергия заряженного конденсатора

Если на обкладках конденсатора емкостью C находятся электрические заряды $+q$ и $-q$, то согласно формуле напряжение между обкладками конденсатора равно $U = \frac{q}{C}$

В процессе разрядки конденсатора напряжение между его обкладками убывает прямо пропорционально заряду q от первоначального значения U до 0.

Среднее значение напряжения в процессе раз[ряда] $U_{\text{ср}} = \frac{U}{2} = \frac{q}{2C}$.

Для работы A , совершаемой электрическим полем при разрядке конденсатора, будем иметь:

$$A = qU_{\text{ср}} = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2}$$

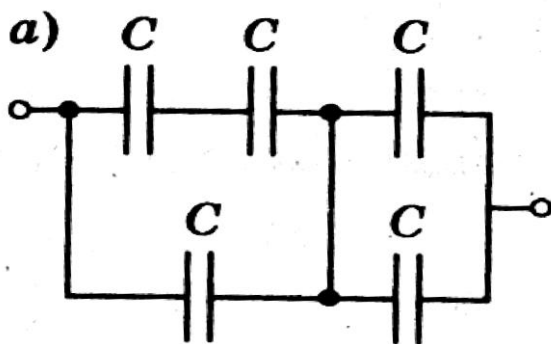
Следовательно, потенциальная энергия W_p конденсатора емкостью C , заряженного до напряжения U , равна

$$W_p = A = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2}.$$

Энергия конденсатора обусловлена тем, что электрическое поле между его обкладками обладает энергией.

Решение задач

Найти ёмкость системы конденсаторов, изображенных на рисунках



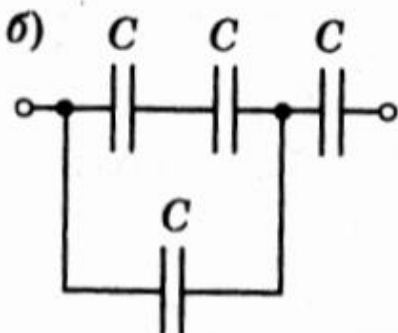
Зарисовываем схемы в тетради:

Для случая а) Т.к первые два конденсатора

одинаковые, то $C_1 = \frac{C}{2}$, с третьим конденсатором они соединены параллельно $C_2 = \frac{C}{2} + C = \frac{3C}{2}$. 4-тый и 5-тый между собой параллельно и емкости $C_3 = 2C$; между собой подключены последовательно

$$\frac{1}{C_6} = \frac{2}{3C} + \frac{1}{2C} = \frac{7}{6C}; \quad C_6 = \frac{6C}{7}$$

Ответ: $C_6 = \frac{6C}{7}$

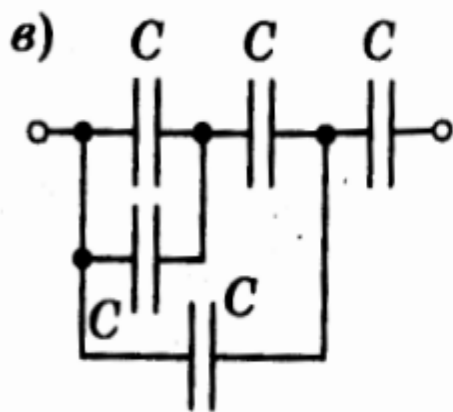


Для случая б) Т.к первые два конденсатора соединены последовательно и их емкости одинаковые, то $C_1 = \frac{C}{2}$,

с третьим конденсатором они соединены параллельно $C_2 = \frac{C}{2} + C = \frac{3C}{2}$, 4-тый конденсатор подключён

последовательно $\frac{1}{C_6} = \frac{2}{3C} + \frac{1}{C} = \frac{5}{3C}; C_6 = \frac{3C}{5}$

Ответ: $C_6 = \frac{3C}{5}$



Для случая в)

Т.к первые два конденсатора соединены параллельно и их емкости одинаковые $C = 2C$,

третий конденсатор соединен последовательно

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{2C} + \frac{1}{C} = \frac{3}{2C}; C_2 = \frac{2C}{3}, \text{ 4-тый соединён с ними}$$

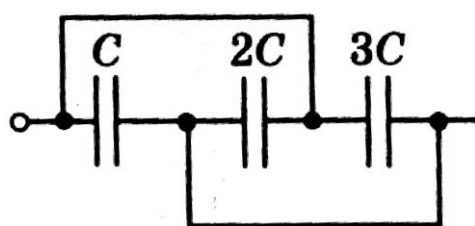
параллельно $C_3 = \frac{2C}{3} + C = \frac{5C}{3}$; а пятый подключается

последовательно

$$\frac{1}{C_6} = \frac{3}{5C} + \frac{1}{C} = \frac{8}{5C}; C_6 = \frac{5C}{8}$$

Ответ: $C_6 = \frac{5C}{8}$

г)



Для случая г)

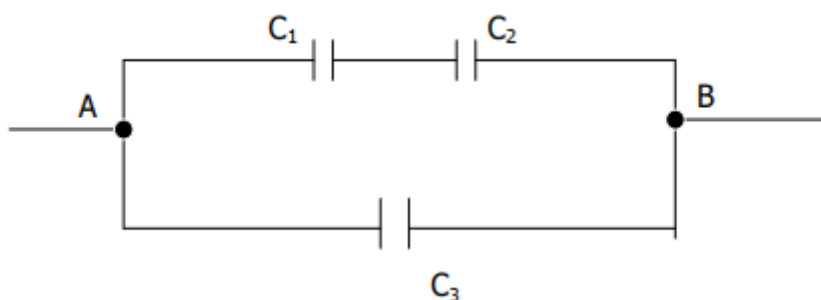
Все конденсаторы подключаются параллельно

$$C_6 = C + 2C + 3C = 6C$$

Ответ: $C_6 = C + 2C + 3C = 6C$

Решение расчётных задач

1. Три конденсатора соединены, как показано на рисунке. Напряжение, подведенное к точкам А и В, равно 250 В, емкость первого конденсатора 1,5 мкФ, емкость второго конденсатора 3 мкФ, ёмкость третьего равна 4 мкФ. Какой заряд накоплен всеми конденсаторами? Чему равна суммарная энергия конденсаторов?



Решение.

- 1) Конденсаторы с ёмкостями C_1 и C_2 соединены последовательно

$$\frac{1}{C_{1,2}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_{1,2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}; [C] = \frac{\Phi \cdot \Phi}{\Phi + \Phi} = \frac{\Phi \cdot \Phi}{\Phi} = \Phi$$

$$C_{1,2} = \frac{1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{4,5 \cdot 10^{-6}} = 1 \cdot 10^{-6} \Phi;$$

- 2) Конденсатор с ёмкостью C_3 соединен с первыми двумя параллельно

$$C_6 = C_{1,2} + C_3 = 1 \cdot 10^{-6} \Phi + 4 \cdot 10^{-6} \Phi = 5 \cdot 10^{-6} \Phi.$$

- 3) Определим заряд батареи $C_6 = \frac{q_6}{U} \Rightarrow q_6 = C_6 \cdot U$

$$[q_6] = \Phi \cdot B = \text{Кл} / B \cdot B = \text{Кл}$$

$$q_6 = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 250 \text{ Кл} = 1250 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}.$$

- 4) Определим энергию электрического поля заряженного конденсатора

$$W = \frac{q \cdot U}{2} = \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 250}{2} = 0,156 \text{ Дж}.$$

Ответ : $q_6 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$, $W = 0,156 \text{ Дж}$.

Реши задачи сам:

1. Плоскому конденсатору электроемкостью 0,6 мкФ сообщен заряд 3 нКл. Определить модуль напряженности электростатического поля между обкладками конденсатора, если расстояние между ними 6 мм.
2. Пространство между обкладками конденсатора заполнено диэлектриком. Конденсатор зарядили до напряжения $U_1 = 1,5 \text{ кВ}$ и отключили от источника тока. Определите диэлектрическую проницаемость диэлектрика, если после его удаления из конденсатора напряжение увеличилось до $U_2 = 4,5 \text{ кВ}$?