

# ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ ПРОВОДНИКА. КОНДЕНСАТОР

Преподаватель Нарватова В.Б.

# Задачи урока:

## ЗНАТЬ

- физический смысл электроемкости,
- формулу для вычисления электроемкости уединенного проводника, шара, плоского конденсатора,
- формулу для вычисления энергии заряженного конденсатора.

## УМЕТЬ

- решать задачи на расчет параллельно и последовательно соединенных конденсаторов,
- решать задачи на расчет энергии заряженного конденсатора.

# Физический диктант

- Закон Кулона
- Закон сохранения электрического заряда
- Принцип суперпозиции полей
- Напряженность электрического поля ;
- Работа электростатического поля
- Потенциал электрического поля

Электроемкость  
уединенного  
проводника.

- Любое тело способно накапливать электрический заряд.
- Характеристикой тела, описывающая его возможность накапливать электрический заряд является емкость тела  $C$  : отношение заряда тела к его потенциалу

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

$C$  – емкость уединенного проводника

$q$  – модуль заряда проводника

$\varphi$  – потенциал проводника

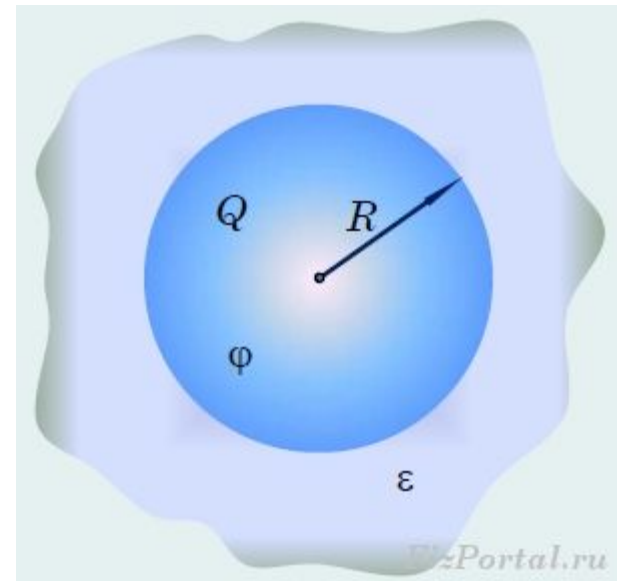
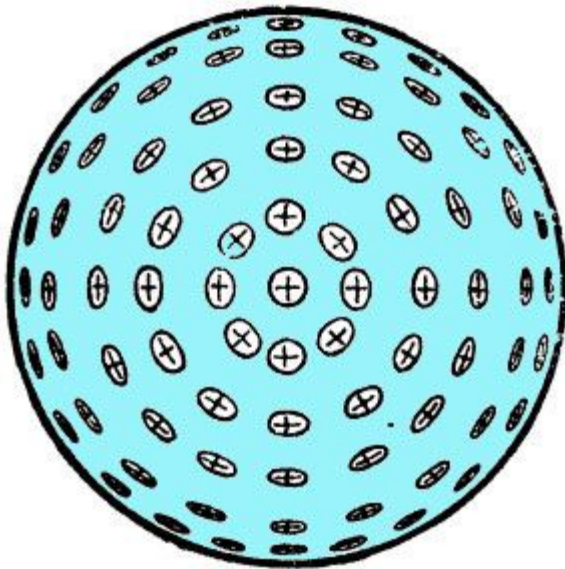
- В системе единиц СИ единицей емкости является фарад (сокращенно Ф).
- Один фарад очень большая емкость, поэтому используются долиные единицы:  
микрофарад (мкФ,  $1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$ ),  
нанофарад (нФ,  $1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$ ),  
пикофарад (пФ,  $1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$ ).

# Определение

Емкостью в 1 фарад обладает тело, потенциал которого возрастает на 1 вольт при увеличении его заряда на 1 кулон.

Электрическая  
емкость  
уединенного шара

# Распределение зарядов на поверхности металлического шара.



Найдем  
электрическую емкость  
уединенного шара  
радиуса  $R$ , находящегося  
в вакууме.

# Электрическая емкость шара.

$$C = \frac{Q}{\varphi} = 4\pi\epsilon_0\epsilon R.$$

Найдем емкость земного шара  
(радиус  $R \approx 6350$  км, находится в  
вакууме  $\epsilon = 1$ ):

$$C = 4\pi\epsilon_0 R = 4\pi \times 8,85 \times 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{М}} \times 6,35 \times 10^6 \text{ М} \approx 7 \cdot 10^{-4} \Phi.$$

## Задача 1

Найти емкость  $C$   
соединенного металлического  
шара радиусом  $R=1$  см.

## Решение задачи:

17.1

Дано

$$R = 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$$

$\epsilon = 1$

$$C = ?$$

Емкость металлического шара

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R = 4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot 0,01 \text{ м} =$$
$$= 1,11 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 1,11 \text{ пФ}$$

Ответ:  $C = 1,11 \text{ пФ}$

## Задача 2

Определить емкость  $C$  металлической сферы радиусом  $R=2$  см, погруженной в воду.

## Решение задачи:

17.2

Дано

$$R = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$$

$$\epsilon = 81$$

$$C = ?$$

Ёмкость металлической сферы,  
погружённой в воду

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R = 4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot 81 \cdot 0,02 \text{ м} =$$
$$= 1,8 \cdot 10^{-10} \text{ Ф} = 180 \text{ пФ}$$

Ответ:  $C = 180 \text{ пФ}$

# Конденсаторы

# Что такое конденсатор

Это устройство  
накапливающее и  
преобразующее  
электрический  
ТОК.

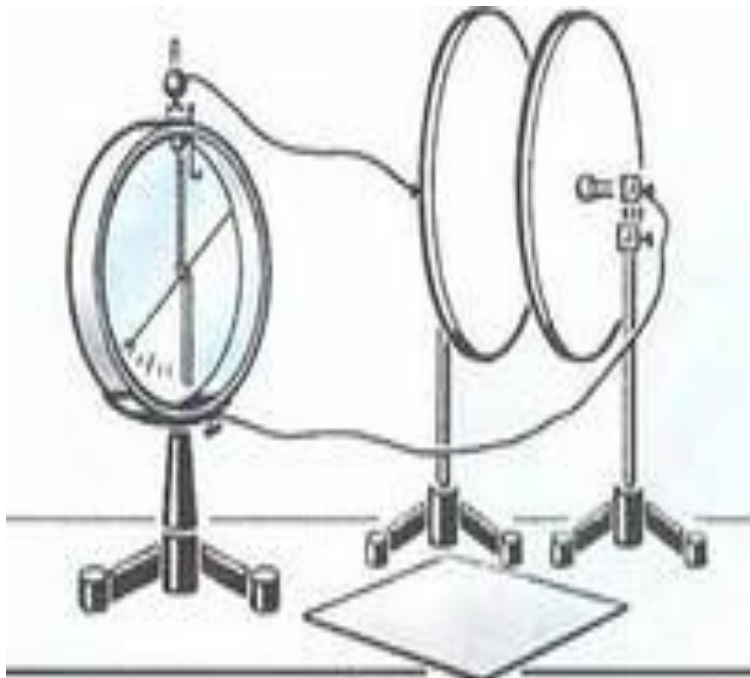


Рис. 14.34

- Конденсатор позволяет легко накапливать большие заряды в небольшом объёме пространства.
- Конденсатор — это система двух проводников, разделённых диэлектриком.
- Заряд конденсатора - это абсолютное значение заряда одной из обкладок конденсатора.

- Характеристикой конденсатора является его электроёмкость.
- Единица электроёмкости 1 Фарад [Ф].
- 1Ф – электроёмкость двух проводников, если при сообщении им зарядов  $+1\text{ Кл}$  и  $-1\text{ Кл}$  между ними возникает разность потенциалов 1В.

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

$C$  - емкость двух заряженных проводников

$q$  - модуль заряда проводника, заряды на проводниках равны, но противоположны по знаку

$U$  - разность потенциалов между проводниками

# Електроёмкость

## зависит от:

- размеров и формы проводников
- диэлектрической проницаемости среды.

## не зависит от:

- $Q$  - заряда
- $U$  - напряжения

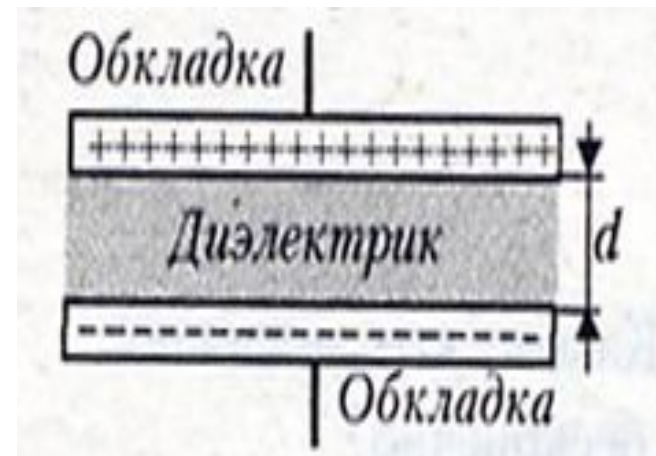
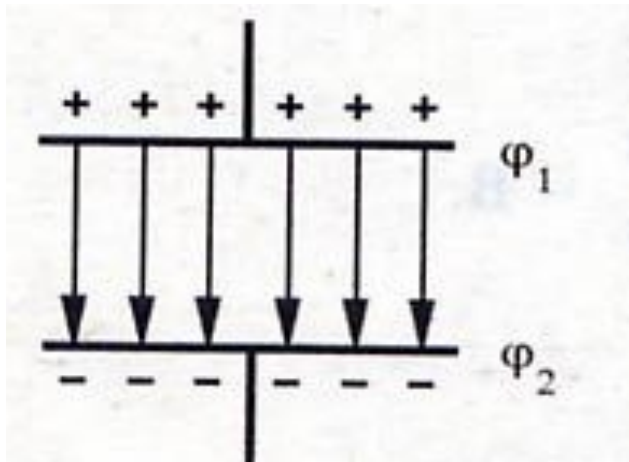
# Електроємкость плоского конденсатора

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

- где  $S$  - площадь пластины (обкладки) конденсатора
- $d$  - расстояние между пластинами
- $\epsilon_0$  - электрическая постоянная
- $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость диэлектрика

# Схема конденсатора

где  $d$  много меньше  
размеров проводника.



# Обозначения на схемах

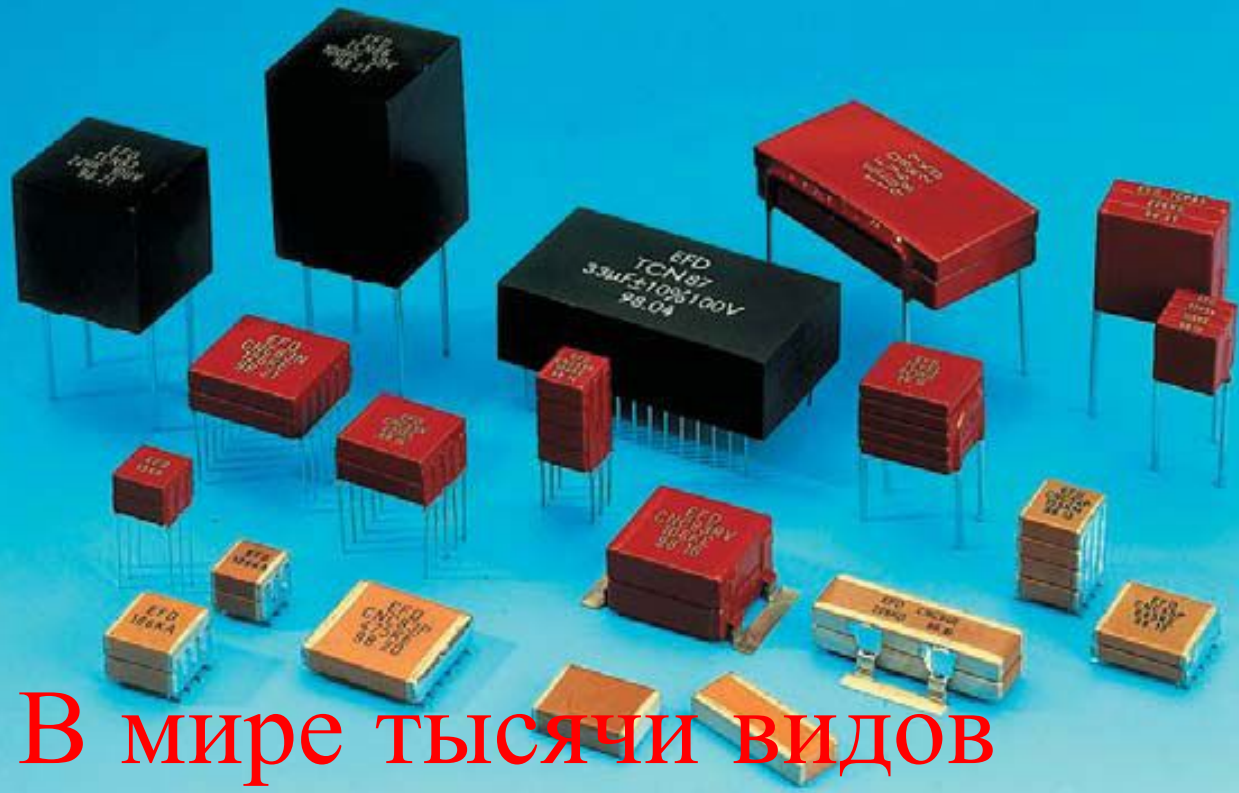
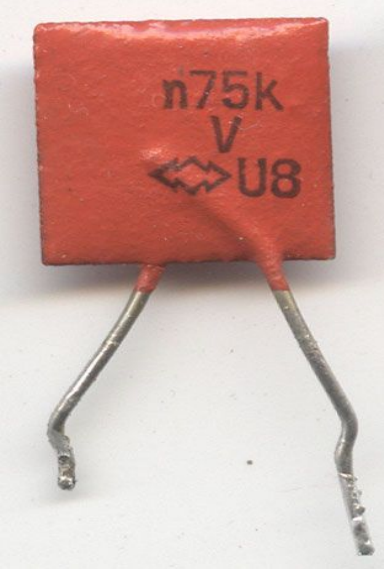


# Виды конденсаторов:

1. **по виду диэлектрика:** воздушные, слюдяные, керамические, электролитические
2. **по форме обкладок:** плоские, сферические.
3. **по величине емкости:** постоянные, переменные (подстроечные).

# Классификация конденсаторов





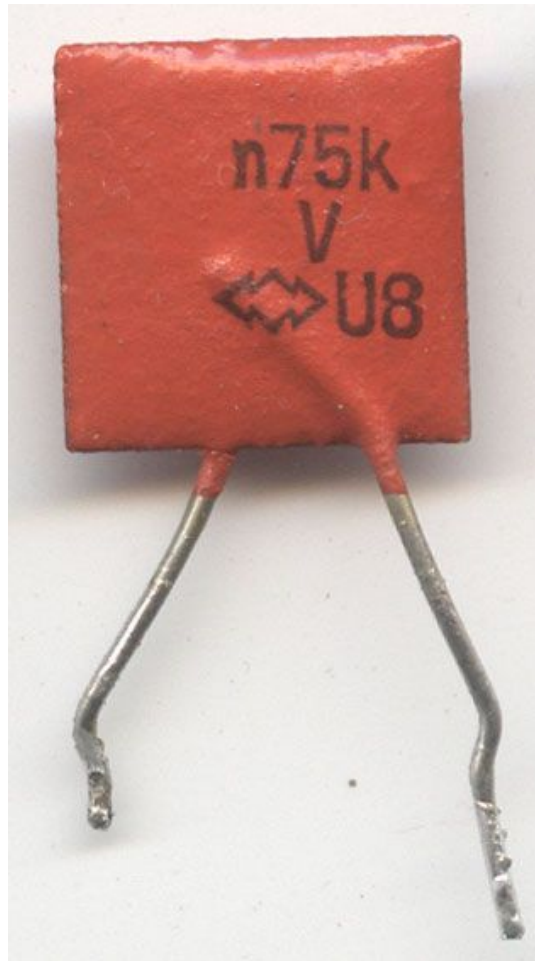
В мире тысячи видов  
конденсаторов, для разных  
областей применений...



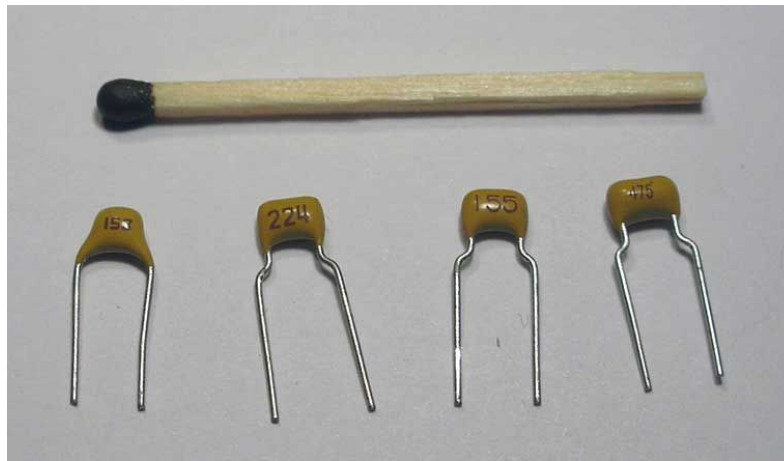
# Условные обозначения

- КДК – конденсатор дисковой керамический,
- КДМ – конденсатор дисковой малогабаритный,
- КСГ – конденсатор слюдяной герметический,
- БМ – бумажный малогабаритный,
- БГМ – бумажный герметический малогабаритный,
- КЭ – электролитический,
- КЭГ – электролитический герметический.

# конденсатор дисковой керамический



# конденсатор дисковой малогабаритный



# конденсаторы слюдяные опрессованные



Конденсаторы, у которых в качестве изоляции между пластинами используется слюда, называются слюдяными.

Высокие изоляционные качества (большое сопротивление утечки, малые потери на высокой частоте) позволяют применять слюдяные конденсаторы до очень высоких частот практически в любых цепях радиосхем.

Сопротивление утечки изоляции слюдяных конденсаторов имеет величину около  $10^{10}$  Ом, т.е. на порядок выше сопротивления утечки бумажных конденсаторов.

Но по геометрическим размерам слюдяные конденсаторы значительно больше бумажных (при одинаковых емкостях).

Существует десять  
видов конденсаторов  
КСО, которые  
различаются между  
собой по форме,  
размерам, ёмкости и  
рабочему напряжению.

# Что внутри слюдяного конденсатора

Конструктивно конденсаторы типа КСО представляют собой соответствующий набор из металлической фольги с изоляционными прокладками из листовой слюды, запрессованный в корпус из пластмассы. Такая конструкция имеет достаточную механическую прочность.



# Обкладки из серебра конденсатора КСО.



Слева —  
полоски фольги,  
справа —  
серебро,  
нанесённое на  
слюдающую  
пластинку,  
вверху — пара  
пластинок без  
серебра.



- Обкладки состоят из свинцово-оловянной фольги или серебра.
- Если обкладки конденсатора представляют собой тонкие слои серебра, нанесённые непосредственно на поверхность слюды, то такие конденсаторы имеют буквенную отметку Б, В или Г (на первой фотографии буква Г внизу слева от даты 02.64.). Причём, конденсаторы группы Г наиболее стабильны по ёмкости как в зависимости от температуры, так и от времени.
- Конденсаторы с обкладками из фольги не имеют буквенной отметки и их ёмкость подвержена небольшим изменениям с течением времени.

# конденсатор слюдяной герметический

- Конструктивно конденсаторы типа СГМ представляют собой серебряные обкладки, нанесённые на слюду, заключённые в герметизированный керамический корпус.



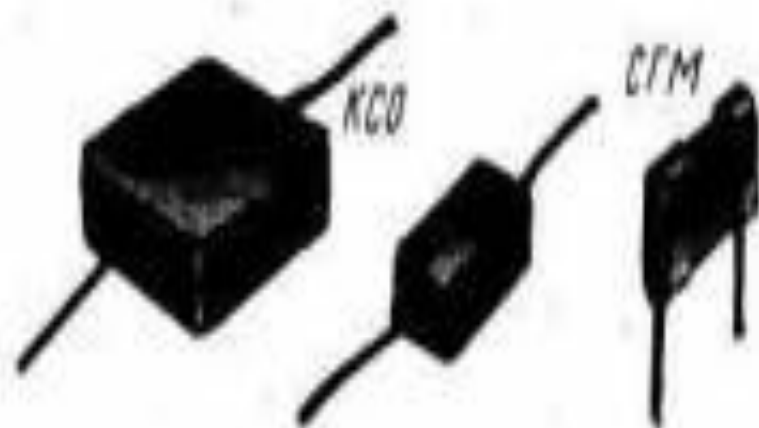
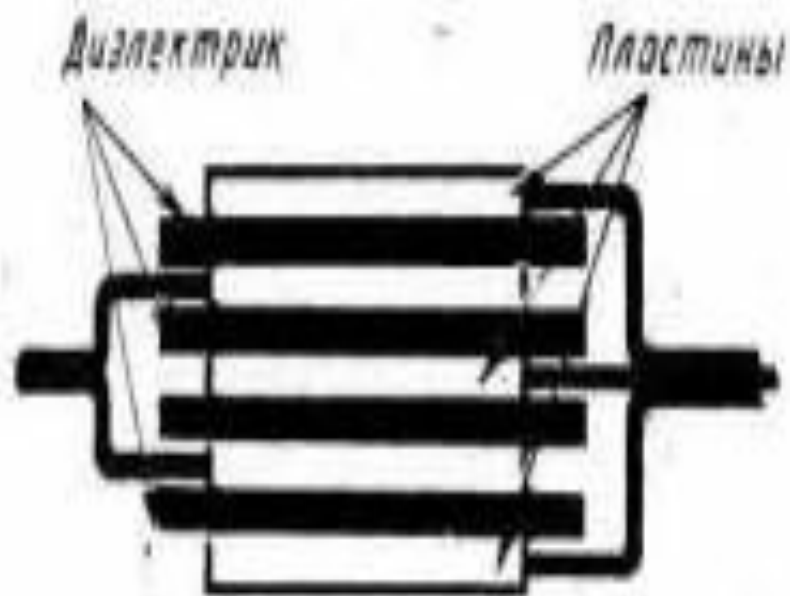
# Что внутри слюдяного конденсатора



- Внутренности конденсатора СГМ: полосы фольги и слюда с серебряным покрытием.
- На ощупь обкладки более жирные, чем у КСО.
- Конденсаторы, у которых в качестве изоляции между пластинами используется слюда, называются слюдяными.
- Высокие изоляционные качества (большое сопротивление утечки, малые потери на высокой частоте) позволяют применять слюдяные конденсаторы до очень высоких частот практически в любых цепях радиосхем.
- Сопротивление утечки изоляции слюдяных конденсаторов имеет величину около  $10^{10}$  Ом, т.е. на порядок выше сопротивления утечки бумажных конденсаторов. Но по геометрическим размерам слюдяные конденсаторы значительно больше бумажных (при одинаковых емкостях).

# Бумажные малогабаритные





Бумажные конденсаторы названы так потому, что диэлектриком в них служит специальная (конденсаторная) бумага, разделяющая две полосы металлической фольги (алюминиевой или оловянной), которые являются обкладками конденсатора.

Полоски бумаги вместе с обкладками свертывают в рулон и помещают в картонный или металлический корпус.

Чем шире и длиннее обкладки, тем больше емкость конденсатора.

Бумажные конденсаторы широко применяются в массовой аппаратуре там, где требуются конденсаторы относительно большой емкости (более 1000 пф), хотя наибольшее распространение получили конденсаторы емкостью 0,01 - 1 мкф. Бумажные конденсаторы применяют главным образом в низкочастотных цепях, а также для блокировки источников питания, в цепях сглаживающих фильтров выпрямителей, фильтров развязки. При этом требуются конденсаторы большой емкости. Бумажные конденсаторы не применяют в цепях с частотой, превышающей единицы мегагерц.

- Разновидностей конденсаторов с бумажным диэлектриком много. И все имеют в своем обозначении букву Б (бумажные).
- Конденсаторы типа БМ (бумажные малогабаритные) заключены в металлические трубочки, залитые с торцов специальной смолой (старого образца). Они изготавливаются в цилиндрических корпусах двух видов: БМ-1 — с вкладными контактами для работы при напряжении от 10В до номинального; БМ-2 — с паяными контактами для работы без ограничения нижнего предела напряжения.

Бумажные малогабаритные конденсаторы выполняются в нескольких вариантах. Номинальное рабочее напряжение зависит от величины емкости. Конденсаторы типа БМ-2, изготовленные по II и III классам точности, используются в качестве навесных радиодеталей для печатного монтажа.

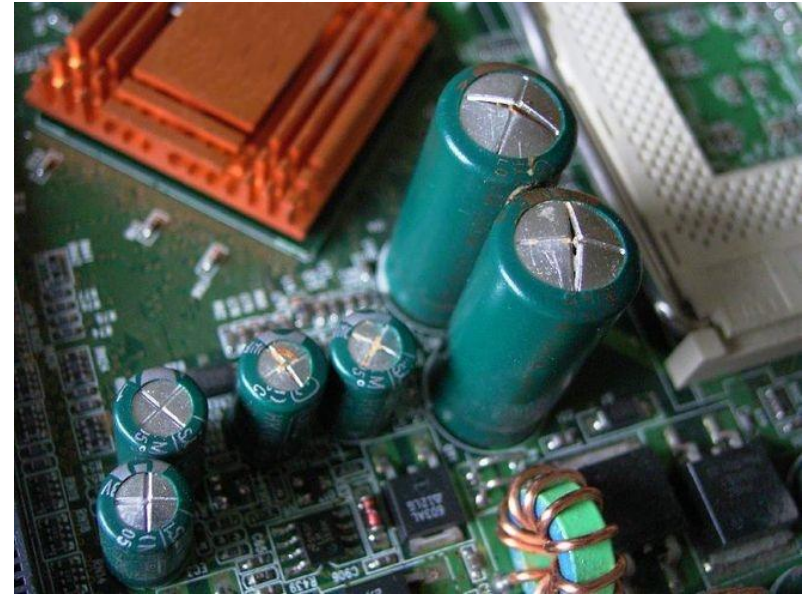
# Бумажный герметичный малогабаритный



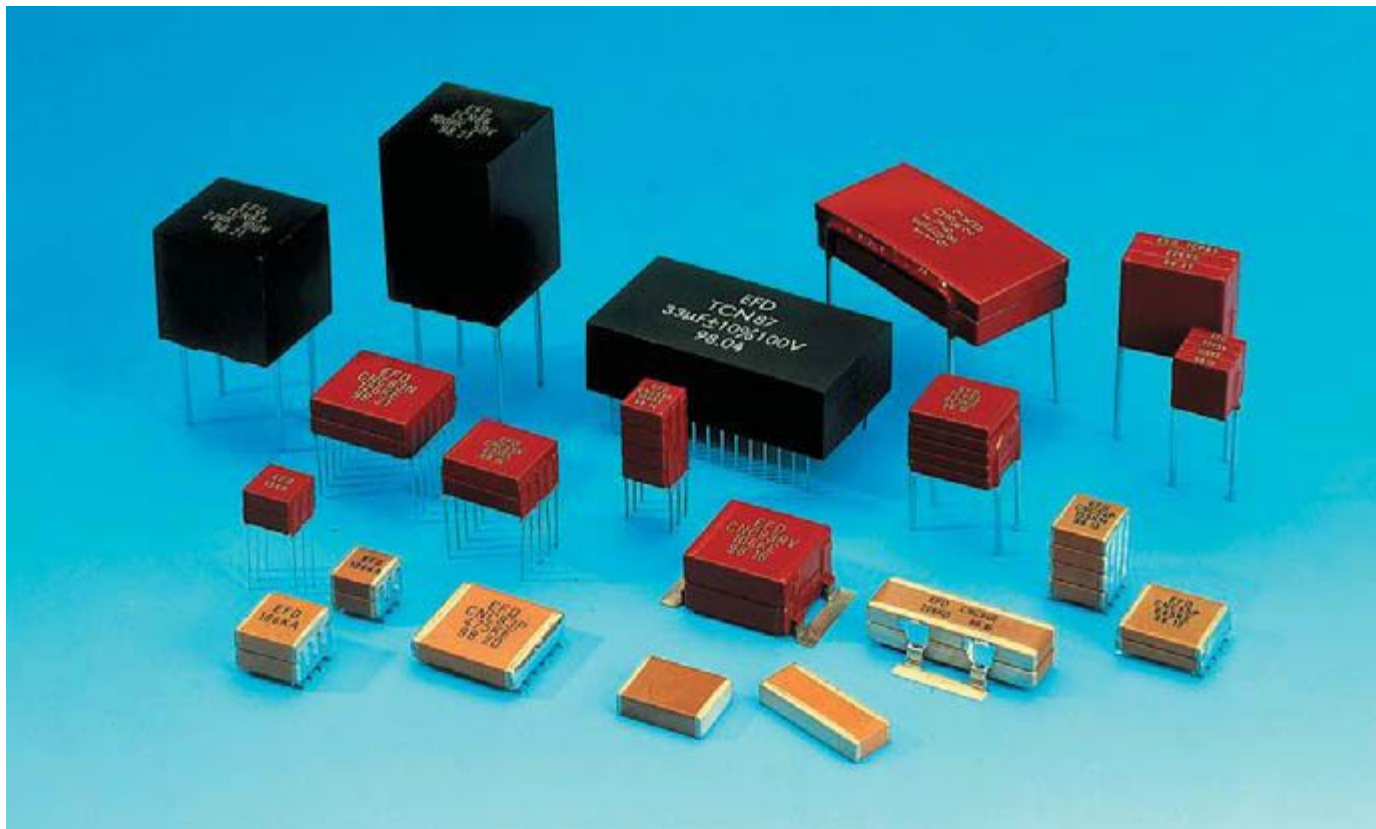
# Оксидно-электролитические алюминиевые



# Электролитические конденсаторы



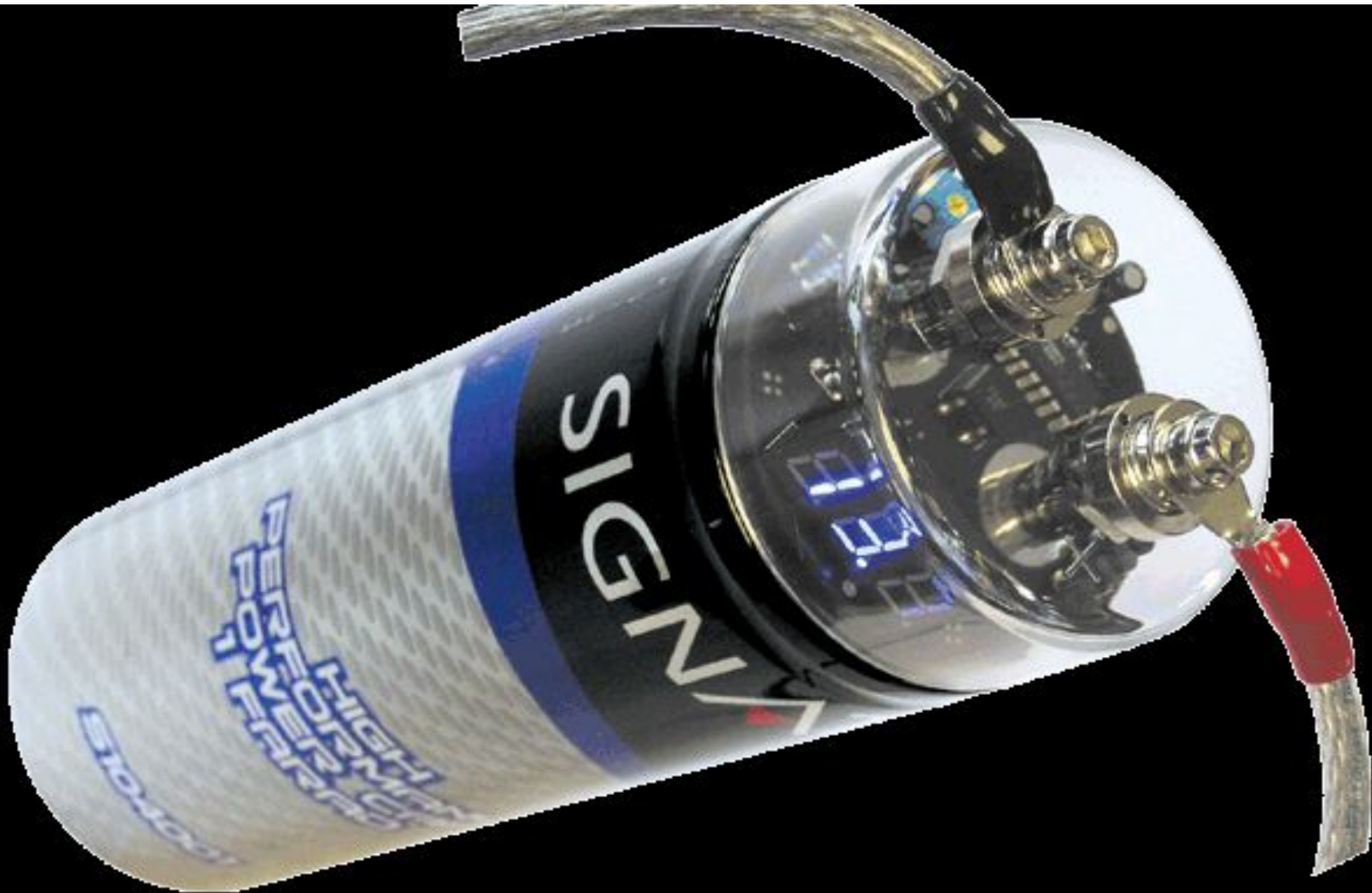
# Керамические конденсаторы



# Высоковольтные конденсаторы



# Конденсатор 1 Фарада цифровой



# BOSS CAT 00 - конденсатор 0.00 фарад



# Классификация конденсаторов.

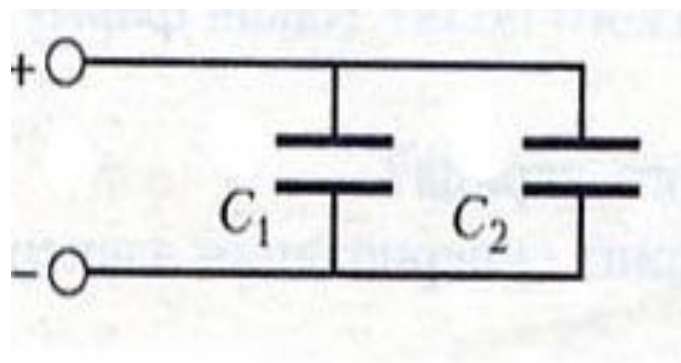
В зависимости от назначения  
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ  
конденсаторы разделяются на  
две большие группы: общего  
и специального назначения.

- Группа общего назначения включает в себя широко применяемые конденсаторы, используемые в большинстве видов и классов аппаратуры.
- Традиционно к ней относят наиболее распространённые низковольтные конденсаторы, к которым не предъявляются особые требования.

Все остальные конденсаторы являются специальными. К ним относятся: высоковольтные, импульсные, помехоподавляющие, дозиметрические, пусковые и др.

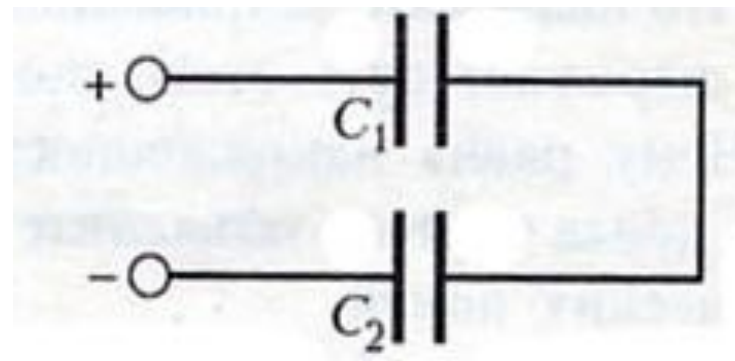
# Включение конденсаторов в электрическую цепь

**параллельное**



$$C = C_1 + C_2.$$

**последовательное**



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

## Задача 3

- Определить емкость  $C$  плоского слюдяного конденсатора, площадь  $S$  пластин которого равна  $100 \text{ см}^2$ , а расстояние между ними равно  $0,1 \text{ мм}$ .

# Решение задачи:

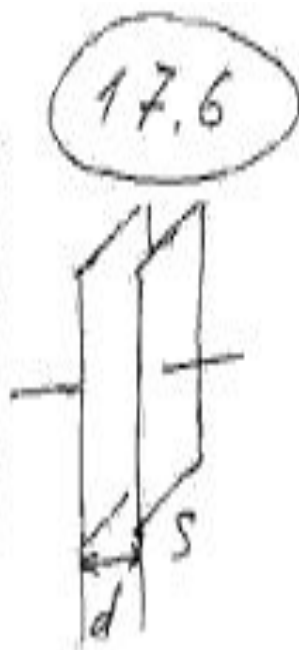
Дано

$$S = 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$d = 0,1 \text{ мм} = 10^{-4} \text{ м}$$

$$\epsilon = 7$$

$$C = ?$$



Ёмкость плоского конденсатора  $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} =$

$$= \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}} \cdot 7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2}{10^{-4} \text{ м}} =$$

$$\approx 6,2 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} = 6,2 \text{ нФ}$$

## Задача 4

- Конденсаторы соединены так, как это показано на рис. 17.1.

Емкости конденсаторов:

$C_1 = 0,2 \text{ мкФ}$ ,  $C_2 = 0,1 \text{ мкФ}$ ,

$C_3 = 0,3 \text{ мкФ}$ ,  $C_4 = 0,4 \text{ мкФ}$ .

Определить емкость  $C$  батареи конденсаторов.

# Решение задачи:

Дано

$$C_1 = 0,2 \text{ мкФ}$$

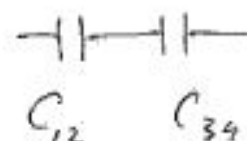
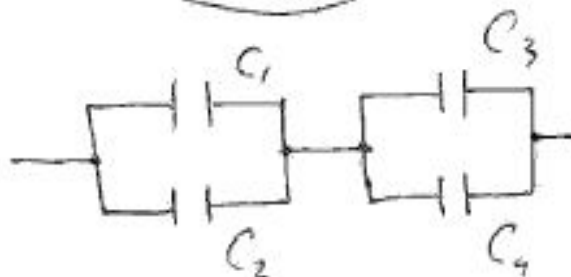
$$C_2 = 0,1 \text{ мкФ}$$

$$C_3 = 0,3 \text{ мкФ}$$

$$C_4 = 0,4 \text{ мкФ}$$

$$C = ?$$

17.20



Эквивалентная схема последователь-

ная где  $C_{12} = C_1 + C_2$ ;  $C_{34} = C_3 + C_4$ .

$$\text{Поэтому } C = \frac{C_{12} \cdot C_{34}}{C_{12} + C_{34}} = \frac{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} =$$
$$= \frac{(0,2 \text{ мкФ} + 0,1 \text{ мкФ})(0,3 \text{ мкФ} + 0,4 \text{ мкФ})}{0,2 \text{ мкФ} + 0,1 \text{ мкФ} + 0,3 \text{ мкФ} + 0,4 \text{ мкФ}} = 0,21 \text{ мкФ}$$

Ответ:  $C = 0,21 \text{ мкФ}$

## Задача 5

- Конденсаторы электроемкостями  $C_1=10$  нФ,  $C_2=40$  нФ,  $C_3=2$  нФ и  $C_4=30$  нФ соединены так, как это показано на рис. 17.3. Определить электроемкость  $C$  соединения конденсаторов.

# Решение задачи:

Дано

$$C_1 = 10 \text{ нФ};$$

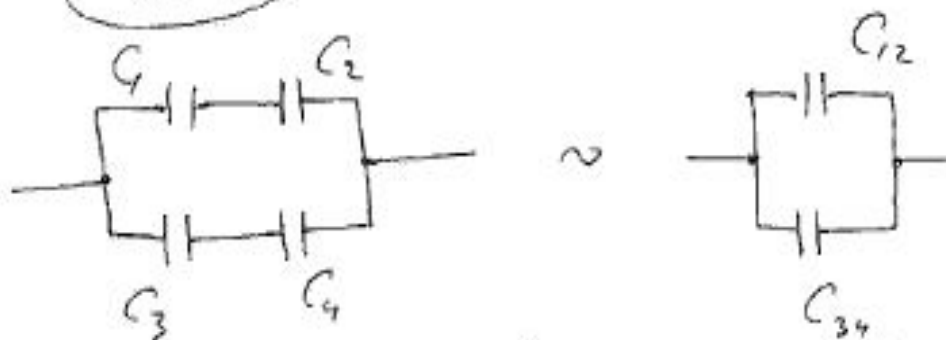
$$C_2 = 40 \text{ нФ}$$

$$C_3 = 2 \text{ нФ}$$

$$C_4 = 30 \text{ нФ}$$

$$C = ?$$

17.22



параллельное соединение конденсаторов

$$C_{12} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}; \quad C_{34} = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4}$$

$$\text{равно } C = C_{12} + C_{34} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} =$$

$$= \frac{10 \cdot 40}{50} + \frac{2 \cdot 30}{32} = 8 + 1,875 = 9,875 \text{ нФ}$$

$$\text{Ответ: } C = 9,875 \text{ нФ}$$

## Задача 6

- Конденсаторы электроемкостями  $C_1=2$  мкФ,  $C_2=2$  мкФ,  $C_3=3$  мкФ,  $C_4=1$  мкФ соединены так, как указано на рис. 17.4. Разность потенциалов на обкладках четвертого конденсатора  $U_4=100$  В. Найти заряды и разности потенциалов на обкладках каждого конденсатора, а также общий заряд и разность потенциалов батареи конденсаторов.

# Решение задачи:

Дано

$$C_1 = 2 \text{ мкФ}$$

$$C_2 = 2 \text{ мкФ}$$

$$C_3 = 3 \text{ мкФ}$$

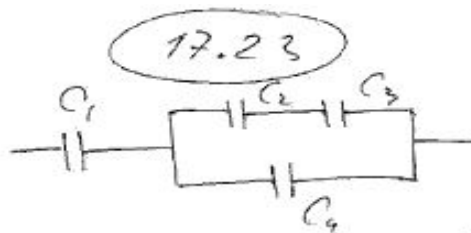
$$C_4 = 1 \text{ мкФ}$$

$$U_4 = 100 \text{ В}$$


---


$$U_1, U_2, U_3, U$$

$$Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$$



Заряд  $Q_4 = C_4 U_4 =$

$$= 10^{-6} \text{ Ф} \cdot 100 \text{ В} = 10^{-4} \text{ Кл}$$

$$Q_2 = C_2 U_2 = Q_3 = C_3 U_3$$

$$\Rightarrow U_3 = \frac{C_2 U_2}{C_3} = \frac{2}{3} U_2$$

$$\text{Но } U_2 + U_3 = U_4 \Rightarrow \left(\frac{2}{3} + 1\right) U_2 = U_4$$

$$\text{или } U_2 = \frac{3}{5} U_4 = 60 \text{ В. Тогда}$$

$$U_3 = U_4 - U_2 = 40 \text{ В; } Q_2 = Q_3 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \cdot 60 \text{ В} =$$

$$= 12 \cdot 10^{-4} \text{ Кл. Тогда } Q_1 = Q_{234} = Q_2 + Q_3 +$$

$$= 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ Кл. Поэтому } U_1 = \frac{Q_1}{C_1} =$$

$$= \frac{2,2 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}}{2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 110 \text{ В. и } U = U_1 + U_4 = 210 \text{ В.}$$

$$Q = Q_1 = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$$

Ответ:  $U_1 = 110 \text{ В; } U_2 = 60 \text{ В; } U_3 = 40 \text{ В; } U_4 = 100 \text{ В; } U = 210 \text{ В}$   
 $Q_1 = 220 \text{ мкКл; } Q_2 = 120 \text{ мкКл; } Q_3 = 120 \text{ мкКл; } Q_4 = 100 \text{ мкКл; } Q = 220 \text{ мкКл}$

в ответе неверно!  
 Действительно  $C_1 U_1 = Q_1$

# ЭНЕРГИЯ ЭАРЯЖЕННОГО КОНДЕНСАТОРА

Энергия конденсатора равна работе, которую совершит электрическое поле при сближении пластин конденсатора в плотную, или равна работе по разделению положительных и отрицательных зарядов , необходимой при зарядке конденсатора.

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

$W_p$  – энергия электрического поля заряженного конденсатора

$q$  – модуль заряда любого из проводников конденсатора

$U$  – разность потенциалов между проводниками

$C$  – емкость конденсатора

## Задача 7

- В импульсной фотовспышке лампа питается от конденсатора емкостью  $800 \text{ мкФ}$ , заряженного до напряжения  $300 \text{ В}$ . Найти энергию вспышки и среднюю мощность, если продолжительность разрядки  $2,4 \text{ мс}$ .

№ 766(759).

Дано:

$$C = 800 \text{ мкФ} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ Ф},$$

$$U = 300 \text{ В},$$

$$t = 2,4 \text{ мс} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Найти  $W, P$ .

Решение.

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{8 \cdot 10^{-4} \text{ Ф} \cdot (300 \text{ В})^2}{2} = 36 \text{ Дж};$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{36 \text{ Дж}}{2,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}} = 15 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 15 \text{ кВт}.$$

Ответ:  $W = 36 \text{ Дж}, P = 15 \text{ кВт}.$

## Задача 8:

- Во сколько раз изменится энергия конденсатора при увеличении напряжения на нем в 4 раза?

№ 767(760).

Дано:

$$\frac{U_2}{U_1} = 4.$$

Решение.

$$W_1 = \frac{CU_1^2}{2}; W_2 = \frac{CU_2^2}{2}; \frac{W_2}{W_1} = \frac{U_2^2}{U_1^2} = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 4^2 = 16.$$

Найти  $\frac{W_2}{W_1}$ .

Ответ: энергия увеличится в 16 раз.

## Задача 9:

- Конденсатору емкостью  $10 \text{ мкФ}$  сообщили заряд  $4 \text{ мкКл}$ . Какова энергия заряженного конденсатора?

№ 769(762).

Дано:

$$C = 10 \text{ мкФ} = 10^{-5} \text{ Ф},$$

$$q = 4 \text{ мкКл} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}.$$

Решение.

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{(4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл})^2}{2 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ Дж} = 800 \text{ нДж}.$$

Найти  $W$ .

Ответ:  $W = 800 \text{ нДж}$ .

# Используемая литература

1. Берков, А.В. и др. Самое полное издание типовых вариантов реальных заданий ЕГЭ 2010, Физика [Текст]: учебное пособие для выпускников. ср. учеб. заведений / А. В. Берков, В.А. Грибов. – ООО "Издательство Астрель", 2009. – 160 с.
2. Касьянов, В.А. Физика, 11 класс [Текст]: учебник для общеобразовательных школ / В.А. Касьянов. – ООО "Дрофа", 2004. – 116 с.
3. МАЙЕР В.В. Электростатика: элементы учебной физики/  
<http://fiz.1september.ru/2007/17/01.htm>
4. Мякишев, Г.Я. и др. Физика. 11 класс [Текст]: учебник для общеобразовательных школ / учебник для общеобразовательных школ Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев . – "Просвещение", 2009. – 166 с.
5. Открытая физика [текст, рисунки]/ <http://www.physics.ru>
6. Подготовка к ЕГЭ [/http://egephizika](http://egephizika)
7. Федеральный институт педагогических измерений. Контрольные измерительные материалы (КИМ) Физика //[Электронный ресурс]//  
<http://fipi.ru/view/sections/92/docs/>
8. ФИЗИКА / <http://www.ido.rudn.ru/nfpk/fizika/electro/1.html>
9. ФИЗИКА. РУ. / <http://cit.vvsu.ru/MIRROR/www.fizika.ru/theory>

Лекция окончена

