

# ЛЕКЦИЯ 1

***РАЗДЕЛ 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ  
ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
КОНДЕНСАТОРАХ.***

**Электрический конденсатор** – это устройство, состоящее из системы проводящих электрический ток обкладок и диэлектрика между ними.

- Существует большое разнообразие схемных применений конденсаторов, но используется их основное свойство – накапливать (и соответственно отдавать) электрическую энергию и свойства вытекающих из основного – способность создавать ток, опережающий по фазе напряжение и изменять свое сопротивление с частотой.

# КРАТКИЙ ОБЗОР КАНДЕНСАТОРОСТРОЕНИЯ

- Электрический конденсатор появился в 1745 году, то есть почти за 150 лет до появления кабеля и за 100 лет до появления электрической машины. Это одно из изобретений человечества, которое длительное время практически не применялось. В XVIII в. в науке об электричестве господствовало представление о существовании «электрических жидкостей». Приборы, применявшиеся для сгущения, или конденсирования, этих жидкостей (накопления электрических зарядов), были названы «конденсаторами». Название «конденсатор» сохранено до настоящего времени.

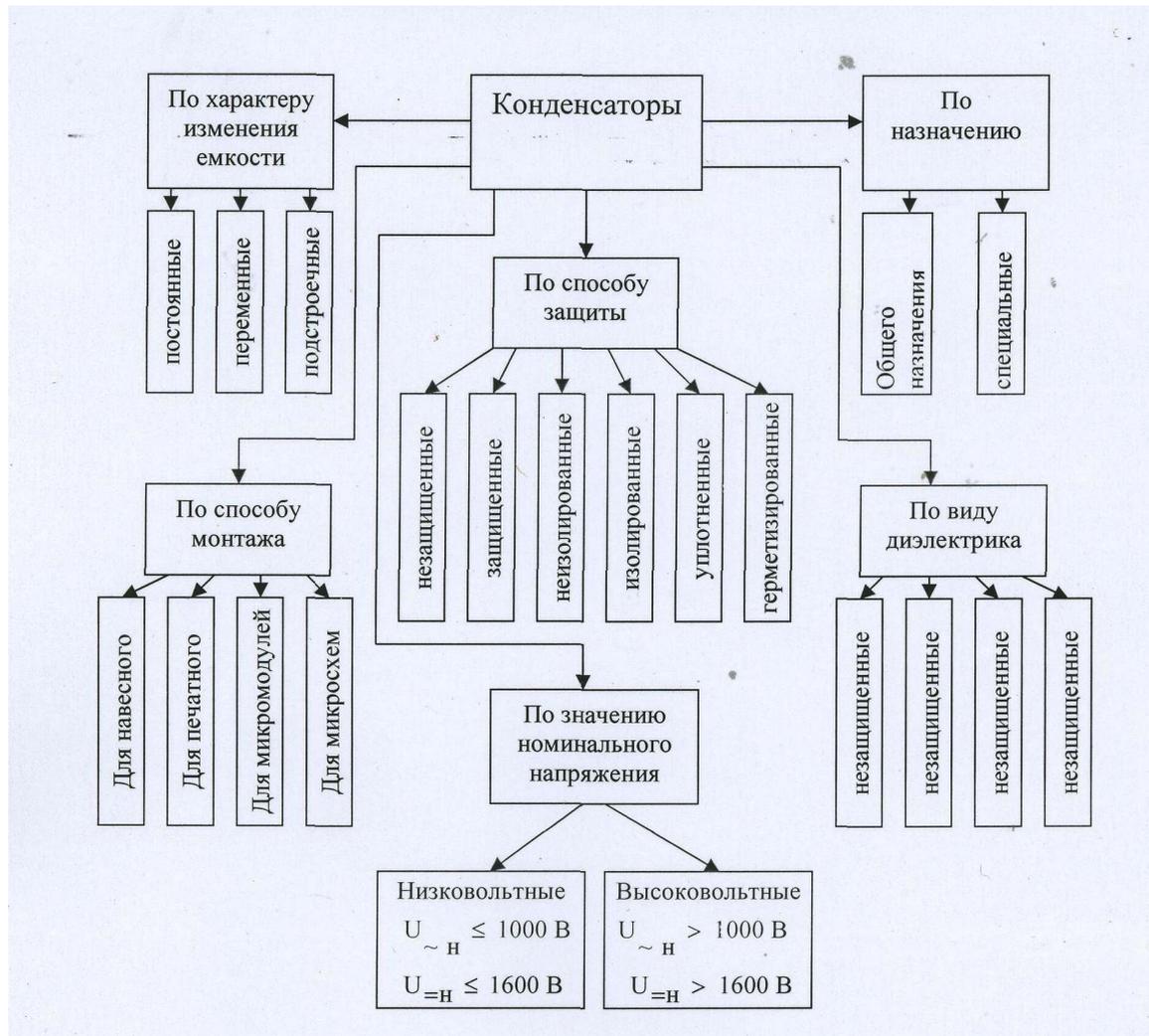
- Первым конденсатором, появившимся в 1745-1746 гг., была лейденская банка, изобретенная в Померании Э. Клейстом и проф. Лейденского университета П. Мушенброком. Случайно сделанное в 18 веке открытие эффекта накопления электрических зарядов Лейденской банкой было как бы преждевременным, ибо появилось раньше, чем возникла необходимость и возможность его использования.
- В России конденсаторы впервые были использованы в 1752 г. М. В. Ломоносовым и Г. В. Рихманом при изучении атмосферного электричества. В электротехнике конденсаторы стали применять с 1877 г., когда русский ученый П. Н. Яблочков предложил для схем электрического освещения использовать наряду со стеклянными конденсаторы из парафинированной бумаги. Однако необходимость широкого промышленного производства конденсаторов возникла только после изобретения А. С. Поповым в 1895 году радио.

- В этот период появляются конденсаторы с различными диэлектриками: слюдяные, воздушные, электролитические. За рубежом начинается выпуск бумажных силовых конденсаторов.
- Начало отечественного конденсаторостроения относится к 1920-1930 гг., когда на заводах радиотехнической промышленности появились подсобные конденсаторные цехи.
- Силовые бумажно-масляные конденсаторы для повышения коэффициента мощности впервые были разработаны в 1932 г. научно-исследовательским сектором Киевского политехнического института под руководством М. М. Морозова и выпускались опытными мастерскими института. В 1935 г. начался выпуск силовых конденсаторов на Московском трансформаторном заводе, а в 1938 г.- на Киевском заводе электротехнической аппаратуры.

- После окончания Великой Отечественной войны в ряде городов СССР строят специализированные заводы по массовому выпуску конденсаторов и осваивается выпуск технологического оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры для оснащения конденсаторного производства. Производство силовых конденсаторов организуется в Серпухове (1944), а затем в Усть-Каменогорске (1959) и в Ленинкане (1969).

- В настоящее время конденсаторы всевозможных размеров, свойств и назначений широко используются в электронике, электротехнике и энергетике.
- Расширение областей использования конденсаторов и повышение требований, которым они должны удовлетворять, обусловили интенсивные научные исследования, как самих конденсаторов, так и материалов, из которых они изготавливаются. Материалы, а так же технология производства и определяют дальнейший прогресс в конденсаторостроении.

- Развитие микроэлектронной техники, внедрение систем связи на волоконной оптике, развитие промышленной и бытовой электроники привело к созданию многослойных керамических конденсаторов большой емкости, конденсаторов со сложными двойными и тройными диэлектриками, применению диэлектрических систем конденсаторов редкоземельных элементов, созданию импульсных конденсаторов для высоких частот повторения. Большое внимание уделяется созданию конденсаторов для работы в условиях сверхнизких и сверхвысоких температур.



# Классификация конденсаторов

# Основные области применения конденсаторов

Радиоконденсаторы,  
используемые в  
технике слабых  
ТОКОВ

Телефония и телеграфия;  
Радиотехническая, телевизионная и радиолокационная аппаратура;  
автоматика и телемеханика;  
Счетно-решающие устройства и электро-измерительная техника;  
Фотография и т.д.

Силовые конденсаторы,  
применяемые в технике  
сильных ТОКОВ и ВЫСОКИХ  
напряжений

Для повышения коэффициента мощности

промышленных и индукционных электротермических установок;  
Продольной компенсации реактивного сопротивления дольных линий электропередачи; высокочастотной связи и защиты линий электропередачи ВН;  
отбора мощности от линий передачи высокого напряжения; фильтров тяговых подстанций;  
генераторов импульсных токов и напряжений; пуска конденсаторных электродвигателей; бесконтактных рудничных электровозов; разрушения твердых пород, очистки литья, штамповки (на основе электрогидравлического эффекта); ультразвуковых установок; тиристорного управления электроприводом и т. д.

- В современной технике в зависимости от области применения и условий работы используют различные типы конденсаторов размером от нескольких миллиметров до метра и более и массой от нескольких частей грамма до нескольких тонн. Емкость конденсаторов составляет от нескольких пикофарад до десятков тысяч микрофарад в одной единице. Рабочие напряжения конденсаторов могут быть от нескольких вольт до нескольких сотен киловольт.

# Электрическое поле

- Если в каком-либо пространстве находятся электрические заряды, они взаимодействуют друг с другом, причем, заряды, имеющие одинаковый знак, отталкиваются друг от друга, а противоположных знаков притягиваются друг к другу.
- Пространство, в котором проявляется действие электрических зарядов, называется **электрическим полем**, а электрическое поле вокруг неподвижного заряда-**электростатическим**.

- Модуль силы электростатического взаимодействия точечных заряженных тел (Н) прямо пропорционален произведению количества электричества на этих телах и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними, если размеры тел малы по сравнению с расстоянием между ними:

$$N = k * q_1 q_2 / r^2, \quad k = 1/4\pi \epsilon_0 \epsilon,$$

- Где  $q_1$  и  $q_2$  - модуль зарядов, Кл
- $\epsilon_0 = 1/36 * 10^9$  – электрическая постоянная, Ф/м
- $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость
- $r$  – расстояния между зарядами, м

Произведение электрической постоянной и относительной диэлектрической проницаемостью называется **абсолютной диэлектрической проницаемостью.**

- Интенсивность электрического поля оценивается по механическим силам с которыми поле действует на заряженные тела.
- Механическая сила, с которой поле в данной точке пространства действует на единичный положительный заряд, помещенный в эту точку называется **напряженностью электрического поля.**
  - $E = F/q$ , (В/м)

Электрическое поле, напряженность которого в разных точках пространства одинакова по величине и направлению, называется **однородным**.

- Напряженность **однородного электрического поля (В/м)**, воздействующая на диэлектрик, находящийся между обкладками конденсатора, определяется как отношение приложенного к обкладкам напряжения к расстоянию между ними:

$$E = U/d$$

# Электрическая емкость

- Основным свойством конденсатора, определяющим его способность накапливать и удерживать на обкладках электрический заряд, является **электрическая ёмкость**, или просто ёмкость. Ёмкость конденсатора определяется отношением заряда на его обкладках к напряжению между ними:

$$C = Q/U, (\Phi) \quad (1)$$

где  $Q$  – электрический заряд на обкладках конденсатора в кулонах [Кл];

$U$  – напряжение приложенное к обкладкам [В].

# Емкость конденсатора измеряется в *Фарадах*

*Фарада* – крупная единица, поэтому для оценки емкости используют меньшие единицы, между которыми существует следующее соотношение:

$$1\text{Ф} = 10^6 \text{ мкФ} = 10^9 \text{ нФ} = 10^{12} \text{ пФ}. \quad (2)$$

Емкость конденсатора зависит от его геометрических размеров. Чем больше площадь обкладок и меньше расстояние между ними, тем больше емкость конденсатора.

Емкость конденсатора зависит от его геометрических размеров (от площади обкладок и расстояния между ними) и типа диэлектрика (от величины диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ )

Емкость плоского конденсатора выражается формулой:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S}{h} = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{\epsilon \cdot S}{h} \text{ [Ф]}, \quad [3]$$

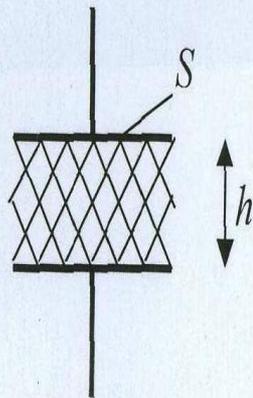


Рис.1

где  $S$  – площадь обкладки [ $\text{м}^2$ ];  
 $h$  – толщина диэлектрика [м].

# Ёмкость плоского многopластинчатого конденсатора

Для плоского многopластинчатого конденсатора, собранного из  $N$  обкладок, соединенных через одну параллельно:

$$C = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{\varepsilon \cdot S \cdot (N - 1)}{h} \text{ [Ф]}, \quad [4]$$

где  $h$  – расстояние между обкладками.

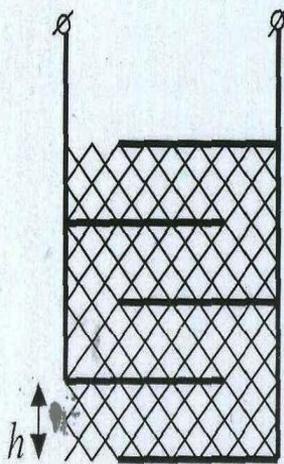


Рис.2

# Цилиндрического конденсатора, состоящий из двух коаксиальных проводящих цилиндров, разделенных диэлектриком

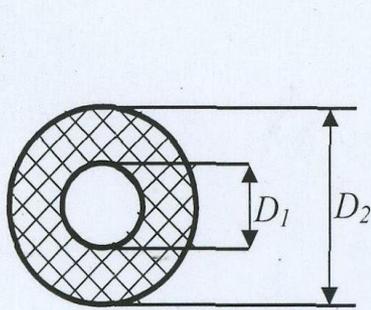
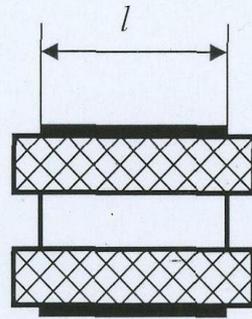


Рис.3



$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{\ln \frac{D_2}{D_1}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{\ln \frac{R_1}{R_2}} \quad [\Phi], \quad [5]$$

где  $l$  - длина обкладок [м];

$D_1$  - диаметр внутреннего электрода [м];

$D_2$  - диаметр наружного электрода [м].

Для спиральных конденсаторов емкость равна удвоенному значению емкости такого же конденсатора, но развернутого в плоскую длинную ленту:

$$C = 1.768 \cdot 10^{-11} \frac{\varepsilon \cdot b \cdot l}{h} \quad [\Phi], \quad [6]$$

где  $b$  - ширина обкладок [м];

$l$  - длина обкладок [м];

$h$  - толщина диэлектрика между обкладками [м].

# Шаровой конденсатор

Для шарового конденсатора:

$$C = 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r \text{ [Ф]}, \quad [7]$$

где  $r$  – радиус сферического конденсатора [м].

Эти формулы справедливы для однородного поля, и не учитывают его искажения у края конденсаторных обкладок. Если учитывать искажения, то вводят поправку на краевую емкость  $C_{кр}$ .

# Конденсаторы соединяют в группы – параллельно, последовательно и смешанно.

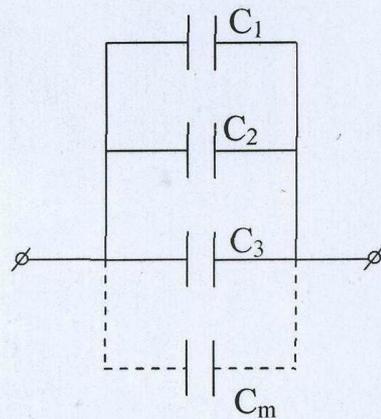


Рис.4

При параллельном соединении конденсаторов общая емкость равна сумме емкостей:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_m$$

[8]

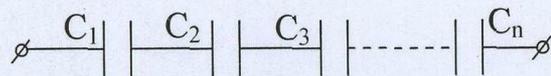


Рис.5

При последовательном соединении величина обратная общей емкости группы равна сумме обратных величин отдельных емкостей.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad [9]$$

Общая емкость двух последовательно соединенных конденсаторов равна:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad [10]$$

При смешанном соединении конденсаторов общую емкость находят, применяя эти формулы к отдельным участкам цепи.

Конденсатор большей емкости часто собирают из параллельно соединенных одинаковых секций. Если число секций  $m$  и емкость каждой секции  $C_c$ , то емкость конденсатора равна:

$$C = mC_c \quad (11)$$

# Последовательное соединение секций конденсаторов

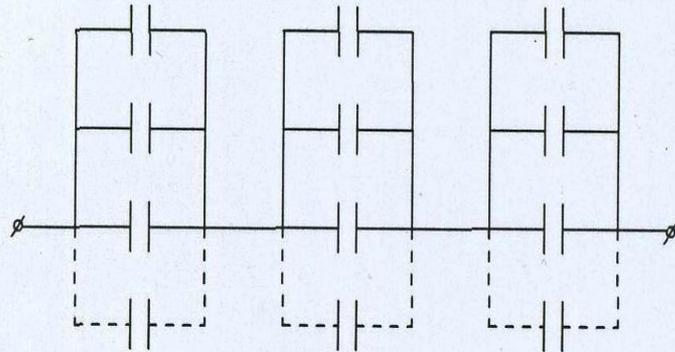


Рис.6

При последовательном соединении секций:

$$C = \frac{C_c}{n} \quad [12]$$

Если конденсатор собран из « $n$ » последовательно соединенных групп секций, а каждая группа составлена из « $m$ » параллельно соединенных секций, то емкость конденсатора равна:

$$C = \frac{m}{n} \cdot C_c \quad [13]$$

# Сопротивление изоляции конденсатора.

Если к диэлектрику, находящемуся между обкладками конденсатора, приложить постоянное напряжение, то по окончании заряда конденсатора, через диэлектрик будет проходить электрический ток, называемый током утечки или током сквозной проводимости. Ток утечки вызывается тем, что реальные диэлектрики имеют свободные заряды в виде ионов и электронов.

Под действием электрического поля положительные заряды диэлектрика будут двигаться к отрицательно заряженной обкладке, а отрицательные заряды – к положительно заряженной обкладке. Дойдя до обкладок, заряды нейтрализуются. Движение зарядов внутри диэлектрика также вызывает прохождение тока во внешней цепи.

Диэлектрики могут иметь ионную или электронную проводимость в зависимости от преобладания в них свободных ионов или электронов.

Зная приложенное к обкладкам конденсатора напряжения  $U$  и значение тока утечки  $i_{ym}$  определяют сопротивление изоляции конденсатора, оказываемое прохождению постоянного тока:

$$R_{из} = U/i_{ym}, (M\Omega)$$

Сопротивление изоляции является одной из его качественных характеристик. Чем больше сопротивление изоляции, тем выше качество диэлектрика.

При больших емкостях (свыше 0,1 мкФ) качество диэлектрика конденсаторов характеризуется произведением сопротивления изоляции конденсатора на его емкость ( $R_{из}C$ ), которое называется постоянной времени конденсатора и выражается в МОМ\*мкФ, Ом\*Ф или секундах.

# Ток абсорбции

Зарядный ток, возникаемый в реальном конденсаторе в результате относительно медленного перемещения электрических зарядов в толщине диэлектрика называется **током абсорбции**. Этот ток сопровождает ток утечки.

# Определение сопротивления ИЗОЛЯЦИИ

- Для того чтобы измерить сопротивление изоляции, ток измеряют через минуту после подачи напряжения на конденсатор.
- Сопротивление изоляции зависит от влажности и температуры окружающей среды: с их увеличением сопротивление диэлектриков резко уменьшается. Иногда на величину сопротивления влияет напряженность электрического поля.