

МУНИЦИПАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ГОРОДСКОГО ОКРУГА  
БАЛАШИХА  
"СРЕДНЯЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ШКОЛА  
№26"  
Презентация на  
тему:  
"Конденсатор"

Балашиха  
2018 г.

Выполнила ученица 10.1 класса:  
Герасимова Алиса  
Александровна  
Проверила учитель по физике:  
Елькина Галина Владимировна

# ИСТОРИЯ



Лейденская банка



В [1745 году](#) в [Лейдене](#) немецкий каноник [Эвальд Юрген фон Клейст](#) и независимо от него голландский физик [Питер ван Мушенбрук](#) изобрели конструкцию-прототип электрического конденсатора — «[лейденскую банку](#)». Первые конденсаторы, состоящие из двух проводников, разделенных непроводником ([диэлектриком](#)), упоминаемые обычно как конденсатор [Эпинуса](#) или электрический лист, были созданы ещё раньше.

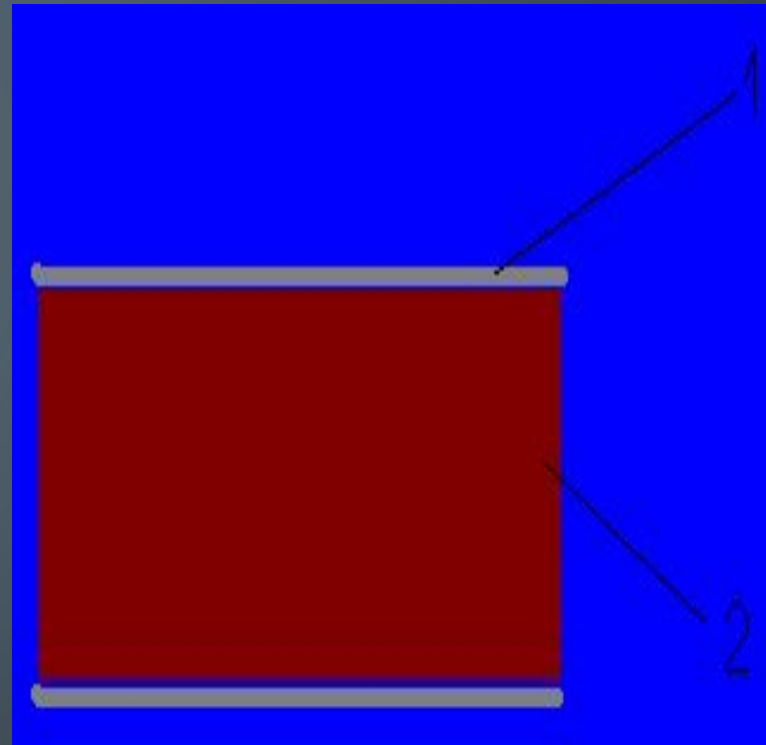
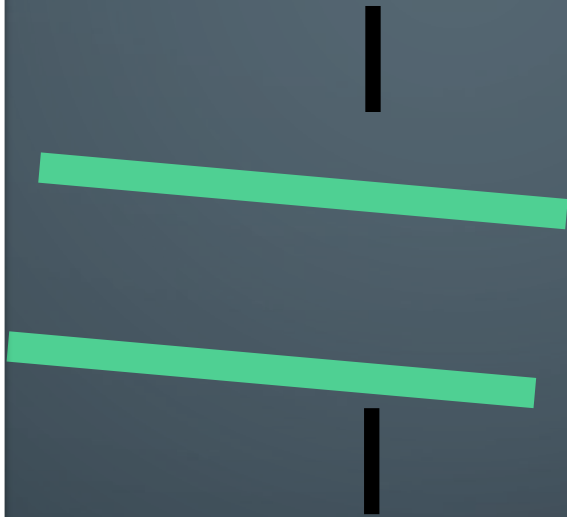
# КОНДЕНСАТОР



**Конденсáтор** (от [лат.](#) *condensare* — «уплотнять», «сгущать» или от [лат.](#) *condensatio* — «накопление») — [двухполюсник](#) с постоянным или переменным значением [ёмкости](#) и малой [проводимостью](#), устройство для накопления [заряда](#) и энергии электрического поля.



Основа конструкции конденсатора — две токопроводящие обкладки, между которыми находится диэлектрик



1. Обкладки.
2. Диэлектрик.

Конденсатор представляет собой два проводника, разделенные слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводников.



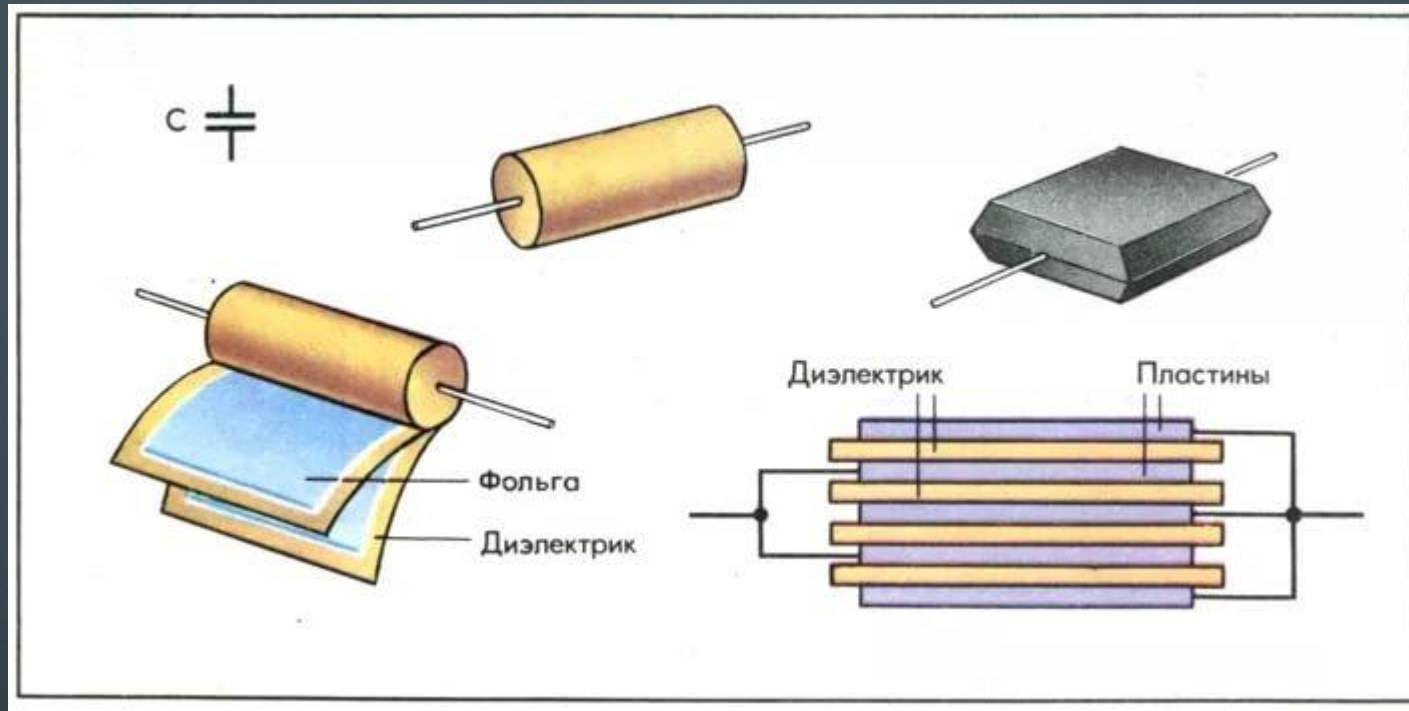
Конденсатор является пассивным электронным компонентом. В простейшем варианте конструкция состоит из двух электродов в форме пластин (называемых *обкладками*), разделённых диэлектриком, толщина которого мала по сравнению с размерами обкладок.

Практически применяемые конденсаторы имеют много слоёв диэлектрика и многослойные электроды, или ленты чередующихся диэлектрика и электродов, свёрнутые в цилиндр или параллелепипед со скруглёнными четырьмя рёбрами (из-за намотки). Ёмкость конденсатора измеряется в фарадах.

# ДИЭЛЕКТРИКИ

ДИЭЛЕКТРИКИ - вещества, плохо проводящие электрический ток  
(удельное сопротивление  $10^8$ - $10^{12}$  Ом\*м).

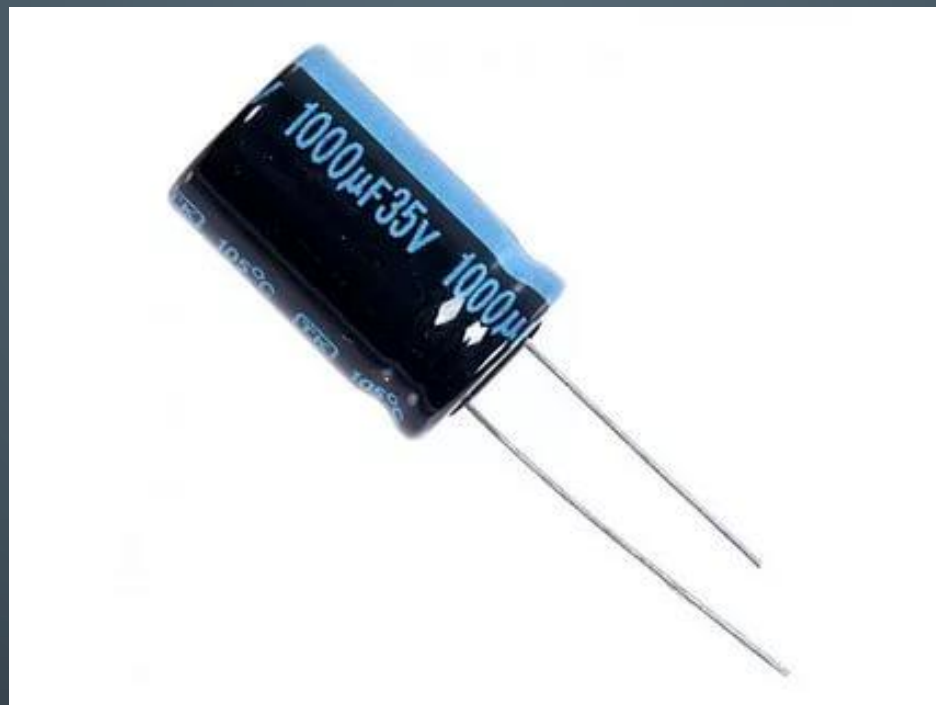
# КОНСТРУКЦИЯ КОНДЕНСАТОРА



Конденсатор является пассивным электронным компонентом. В простейшем варианте конструкция состоит из двух электродов в форме пластин (называемых *обкладками*), разделённых диэлектриком, толщина которого мала по сравнению с размерами обкладок.

Практически применяемые конденсаторы имеют много слоёв диэлектрика и многослойные электроды, или ленты чередующихся диэлектрика и электродов, свёрнутые в цилиндр или параллелепипед со скруглёнными четырьмя рёбрами (из-за намотки).

# СВОЙСТВА КОНДЕНСАТОРА



Конденсатор в цепи постоянного тока может проводить ток в момент включения его в цепь (происходит зарядка или перезарядка конденсатора), по окончании переходного процесса ток через конденсатор не течёт, так как его обкладки разделены диэлектриком. В цепи же переменного тока он проводит колебания переменного тока посредством циклической перезарядки конденсатора, замыкаясь так называемым током смещения.



С точки зрения [метода комплексных амплитуд](#) конденсатор обладает комплексным [импедансом](#)

$$\hat{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C} = -\frac{j}{2\pi f C},$$

где  $j$  — мнимая единица,  $\omega$  — циклическая частота (радиан/с) протекающего синусоидального тока,  $f$  — частота в герцах,  $C$  — ёмкость конденсатора (фарад). Отсюда также следует, что реактивное сопротивление конденсатора равно  $X_C = \frac{1}{\omega C}$ . Для постоянного тока частота равна нулю, следовательно, реактивное сопротивление конденсатора бесконечно (в идеальном случае).

При изменении частоты изменяются диэлектрическая проницаемость диэлектрика и степень влияния паразитных параметров — собственной индуктивности и сопротивления потерь. На высоких частотах любой конденсатор можно рассматривать как последовательный колебательный контур, образуемый ёмкостью  $C$ , собственной индуктивностью  $L_c$  и сопротивлением потерь  $R_n$ .

Резонансная частота конденсатора равна

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_c C}}$$

При  $f > f_p$  конденсатор в цепи переменного тока ведёт себя как катушка индуктивности. Следовательно, конденсатор целесообразно использовать лишь на частотах  $f < f_p$ , на которых его сопротивление носит ёмкостный характер. Обычно максимальная рабочая частота конденсатора примерно в 2—3 раза ниже резонансной.


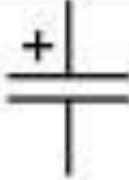
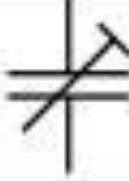

Конденсатор может накапливать электрическую энергию. Энергия заряженного конденсатора:

Конденсатор может накапливать электрическую энергию. Энергия заряженного конденсатора:

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

где  $U$  — напряжение (разность потенциалов), до которого заряжен конденсатор,  $q$  — электрический заряд.

# ОБОЗНАЧЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ НА СХЕМАХ

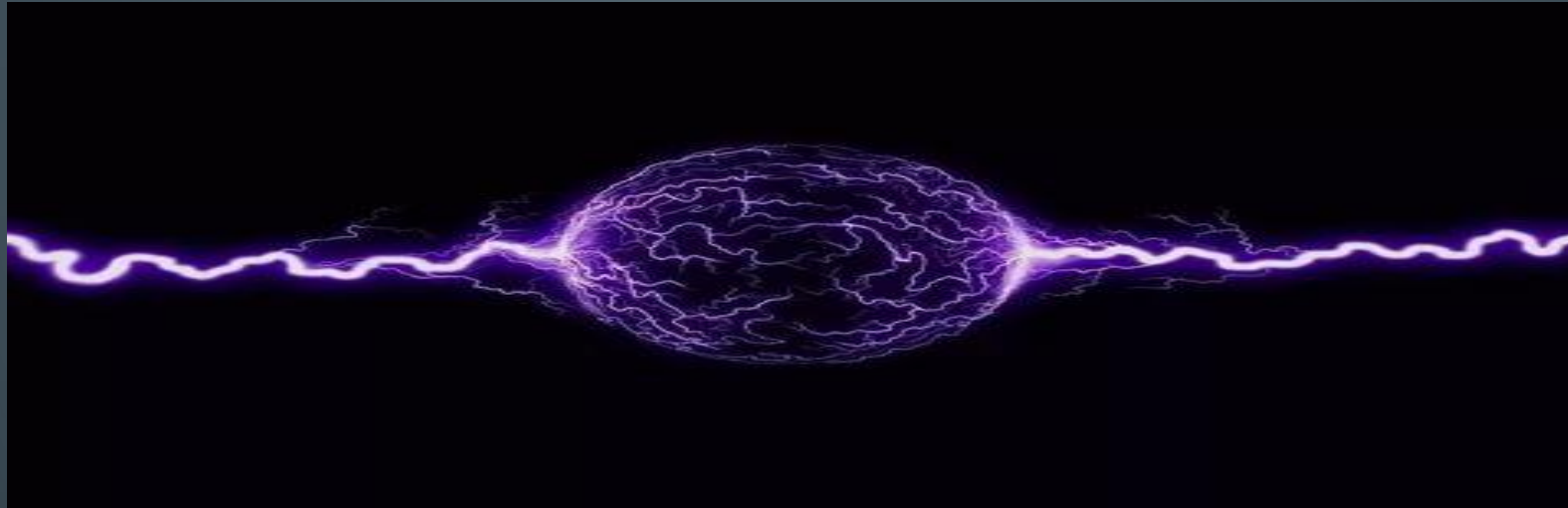
Обозначение по ГОСТ 2.728-74	Описание
	Конденсатор постоянной ёмкости
	Поляризованный (полярный) конденсатор
	Подстроечный конденсатор переменной ёмкости
	Варикап

В России для условных графических обозначений конденсаторов на схемах рекомендуется использовать [ГОСТ](#) 2.728-74 либо стандарт международной ассоциации [IEEE](#) 315—1975

На электрических принципиальных схемах номинальная ёмкость конденсаторов обычно указывается в микрофарадах ( $1 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^6 \text{ пФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ ) и пикофарадах ( $1 \text{ пФ} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$ ), но нередко и в нанофарадах ( $1 \text{ нФ} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$ ). При ёмкости не более  $0,01 \text{ мкФ}$ , ёмкость конденсатора указывают в пикофарадах, при этом допустимо не указывать единицу измерения, то есть постфикс «пФ» опускают. При обозначении номинала ёмкости в других единицах указывают единицу измерения.

Для электролитических конденсаторов, а также для высоковольтных конденсаторов на схемах, после обозначения номинала ёмкости, указывают их максимальное рабочее напряжение в вольтах (В) или киловольтах (кВ). Например так: « $10 \text{ мкФ} \times 10 \text{ В}$ ». Для переменных конденсаторов указывают диапазон изменения ёмкости, например так: « $10—180$ ». В настоящее время изготавливаются конденсаторы с номинальными ёмкостями из десятичнологарифмических рядов значений E3, E6, E12, E24, то есть на одну декаду приходится 3, 6, 12, 24 значения, так, чтобы значения с соответствующим допуском (разбросом) перекрывали всю декаду.

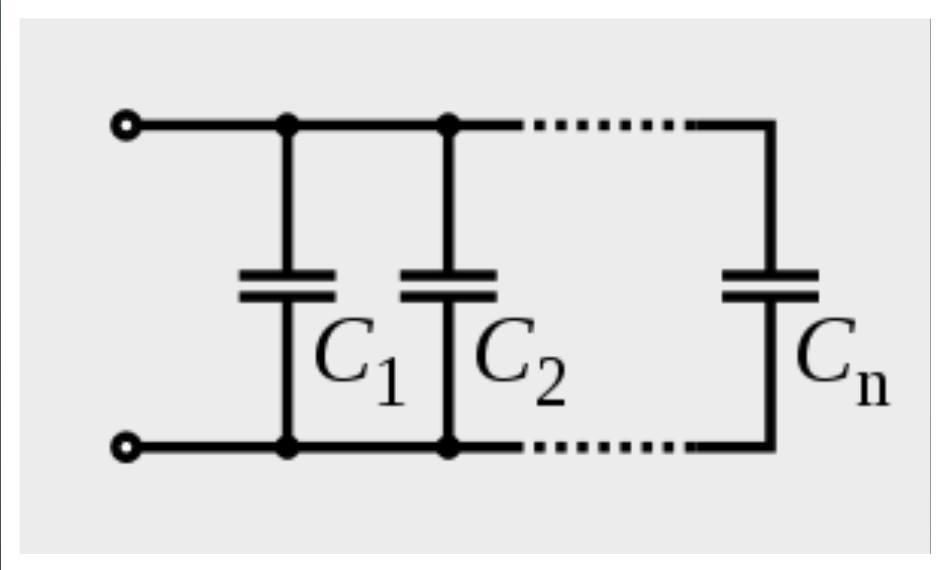
# ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРОВ



**Ёмкость:** Основной характеристикой конденсатора является его ёмкость, характеризующая способность конденсатора накапливать электрический заряд. В обозначении конденсатора фигурирует значение номинальной ёмкости, в то время как реальная ёмкость может значительно меняться в зависимости от многих факторов. Реальная ёмкость конденсатора определяет его электрические свойства. Так, по определению ёмкости, заряд на обкладке пропорционален напряжению между обкладками ( $q = CU$ ). Типичные значения ёмкости конденсаторов составляют от единиц пикофарад до тысяч микрофарад. Однако существуют конденсаторы (ионисторы) с ёмкостью до десятков фарад.

Ёмкость плоского конденсатора, состоящего из двух параллельных металлических пластин площадью  $S$  каждая, расположенных на расстоянии  $d$  друг от друга, в системе СИ выражается формулой  $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$ , где  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость среды, заполняющая пространство между пластинами (в вакууме равна единице),  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная, численно равная  $8,854187817 \cdot 10^{-12}$  Ф/м. Эта формула справедлива, лишь когда  $d$  намного меньше линейных размеров пластин.

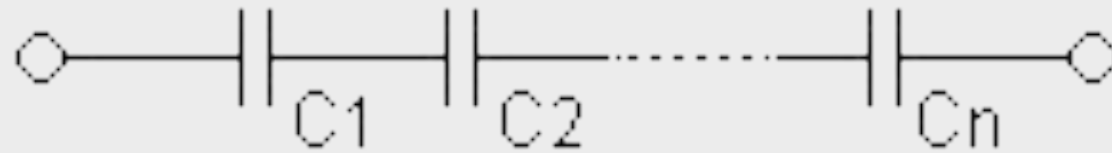
Для получения больших ёмкостей конденсаторы соединяют параллельно. При этом напряжение между обкладками всех конденсаторов одинаково. Общая ёмкость батареи *параллельно* соединённых конденсаторов равна сумме ёмкостей всех конденсаторов, входящих в батарею.



$$C = \sum_{i=1}^N C_i \text{ ИЛИ } C = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

Если у всех параллельно соединённых конденсаторов расстояние между обкладками и свойства диэлектрика одинаковы, то эти конденсаторы можно представить как один большой конденсатор, разделённый на фрагменты меньшей площади.

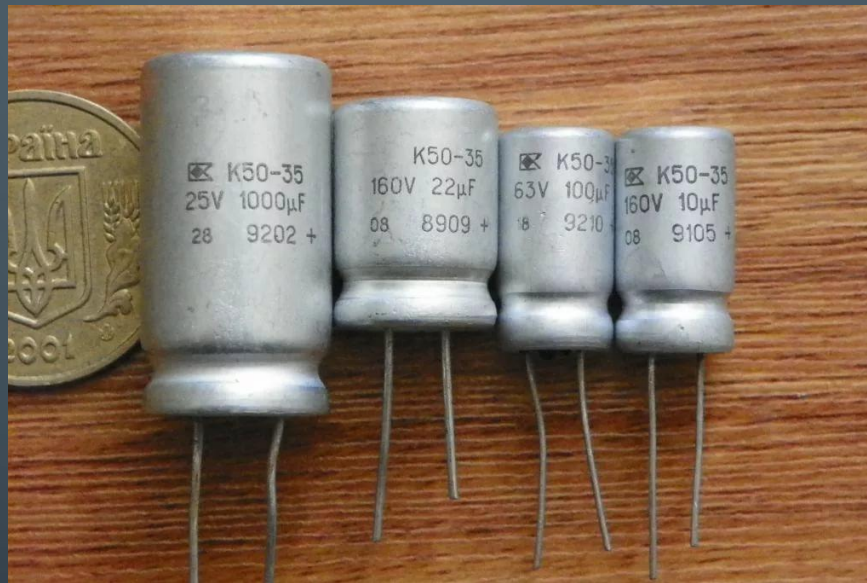
При последовательном соединении конденсаторов заряды всех конденсаторов одинаковы, так как от источника питания они поступают только на внешние электроды, а на внутренних электродах они получают только за счёт разделения зарядов, ранее нейтрализовавших друг друга. Общая ёмкость батареи *последовательно* соединённых конденсаторов равна



$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^N 1/C_i} \text{ или } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$



Эта ёмкость всегда меньше минимальной ёмкости конденсатора, входящего в батарею. Однако при последовательном соединении уменьшается возможность пробоя конденсаторов, так как на каждый конденсатор приходится лишь часть разницы потенциалов источника напряжения.



Если площадь обкладок всех конденсаторов, соединённых последовательно, одинакова, то эти конденсаторы можно представить в виде одного большого конденсатора, между обкладками которого находится стопка из пластин диэлектрика всех составляющих его конденсаторов.

# УДЕЛЬНАЯ ЁМКОСТЬ

Конденсаторы также характеризуются удельной ёмкостью — отношением ёмкости к объёму (или массе) диэлектрика. Максимальное значение удельной ёмкости достигается при минимальной толщине диэлектрика, однако при этом уменьшается его напряжение пробоя.

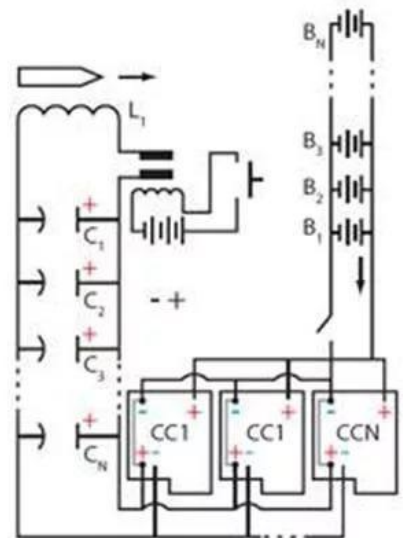
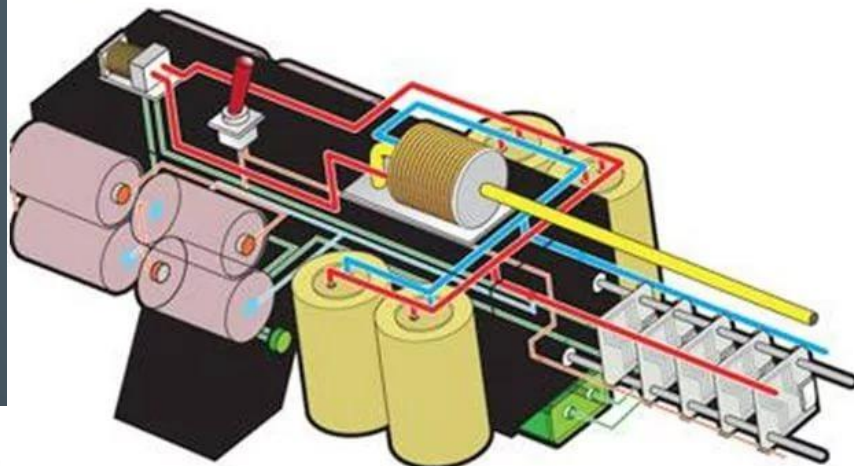
# ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГИИ



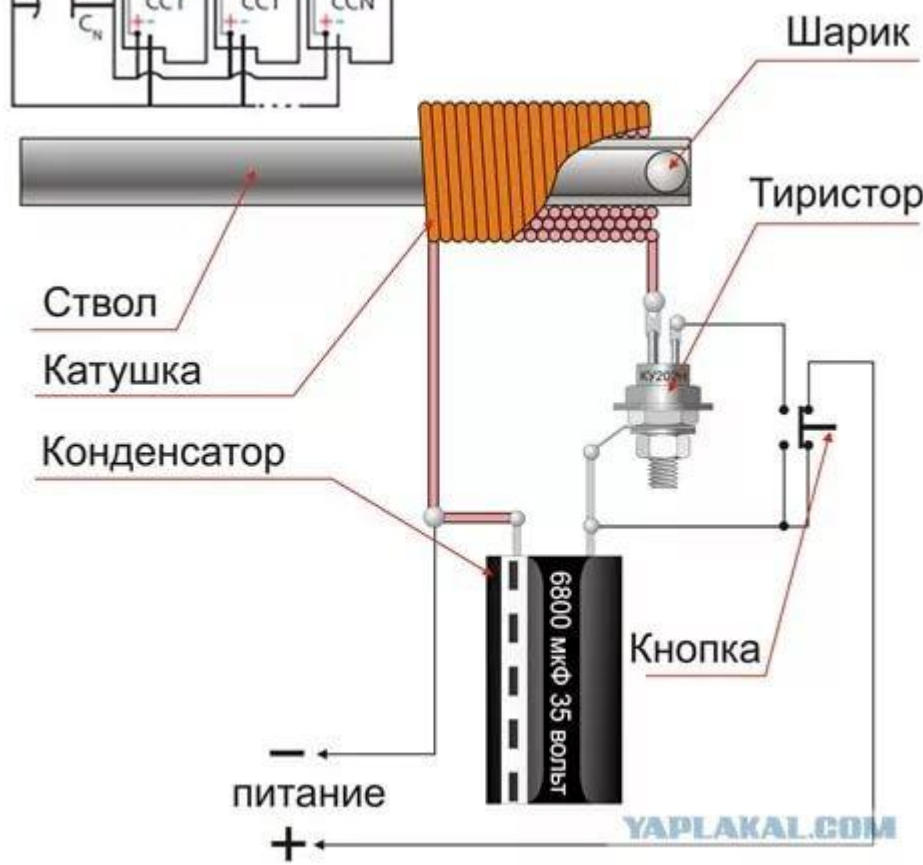
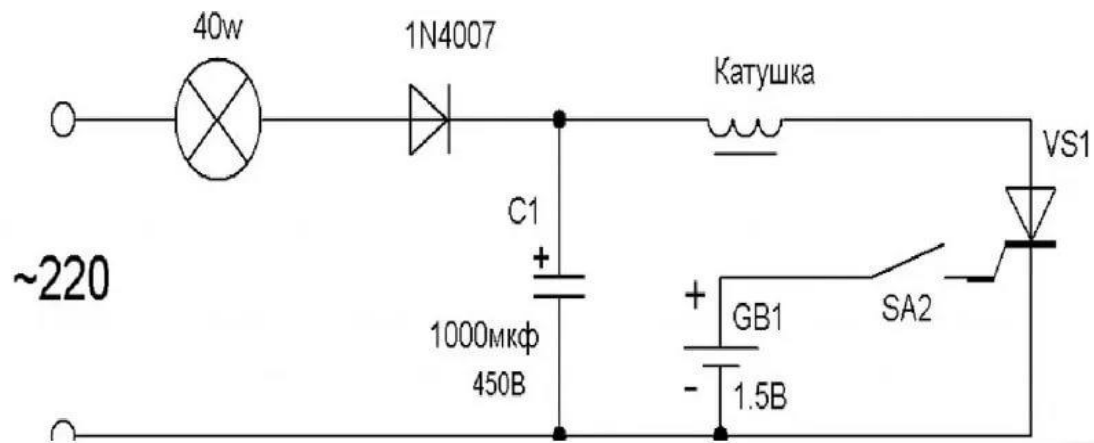
Плотность энергии электролитического конденсатора зависит от конструктивного исполнения. Максимальная плотность достигается у больших конденсаторов, где масса корпуса невелика по сравнению с массой обкладок и электролита. Например, у конденсатора EPCOS B4345 с ёмкостью 12 000 мкФ, максимально допустимым напряжением 450 В и массой 1,9 кг плотность энергии при максимальном напряжении составляет 639 Дж/кг или 845 Дж/л. Особенно важен этот параметр при использовании конденсатора в качестве накопителя энергии, с последующим мгновенным её высвобождением, например, в [пушке Гаусса](#).

### РЕНТГЕН ПУШКИ ГАУССА

- высоковольтный контур (+)
- высоковольтный контур (-)
- низковольтный контур (+)
- низковольтный контур (-)
- управляющий контур



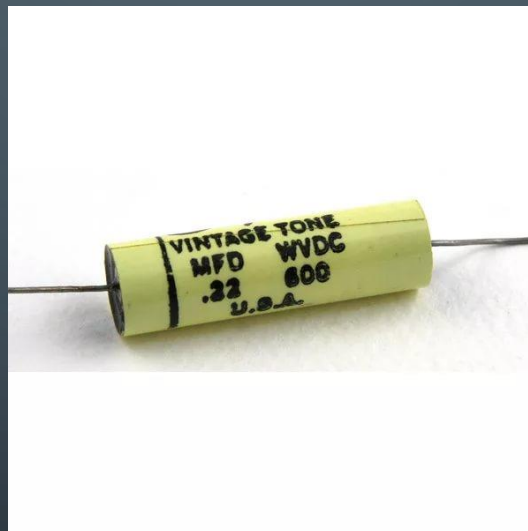
## Схема Гаусс пушки



Емкость конденсатора = 1000 мкФ, напряжение 450 В, лампа 40 ватт, катушка ,2 полупроводника 1N4007, VS1, источник питания-1,5 В. Используя данную схему была собрана пушка Гаусса

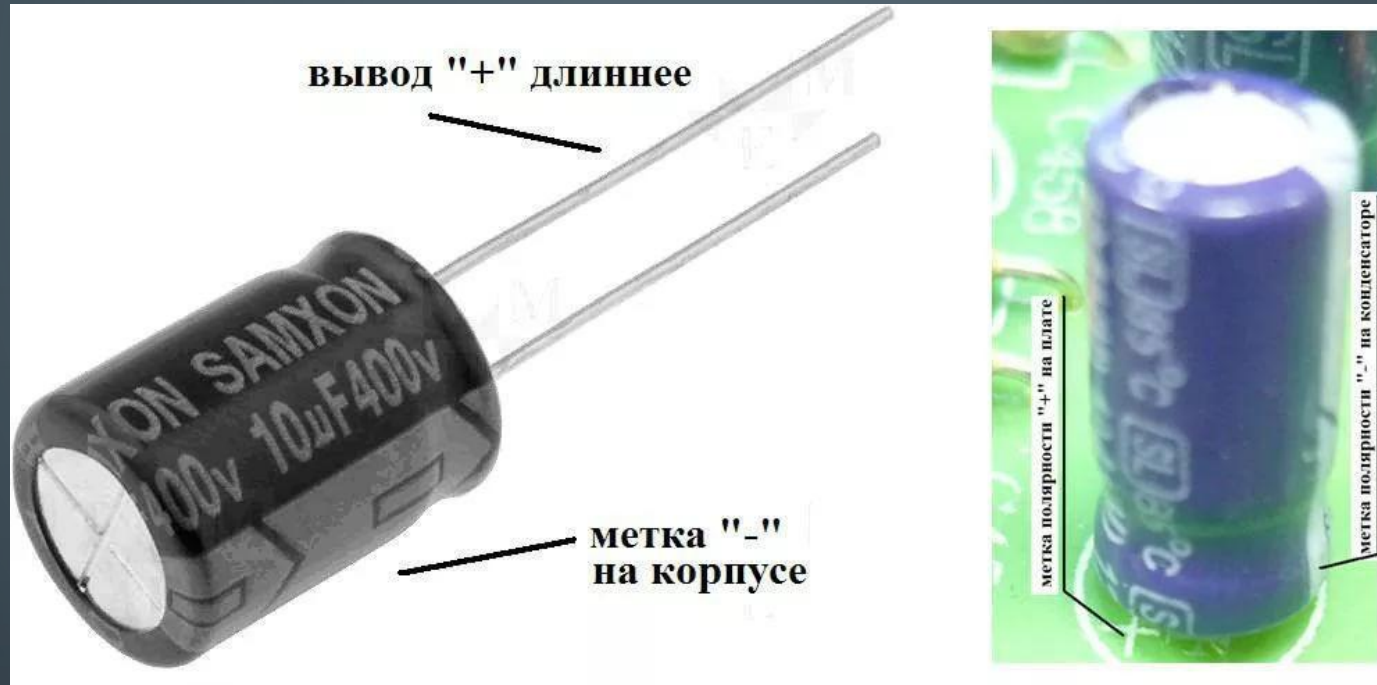
# НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Другой не менее важной характеристикой конденсаторов является номинальное напряжение — значение напряжения, обозначенное на конденсаторе, при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах.



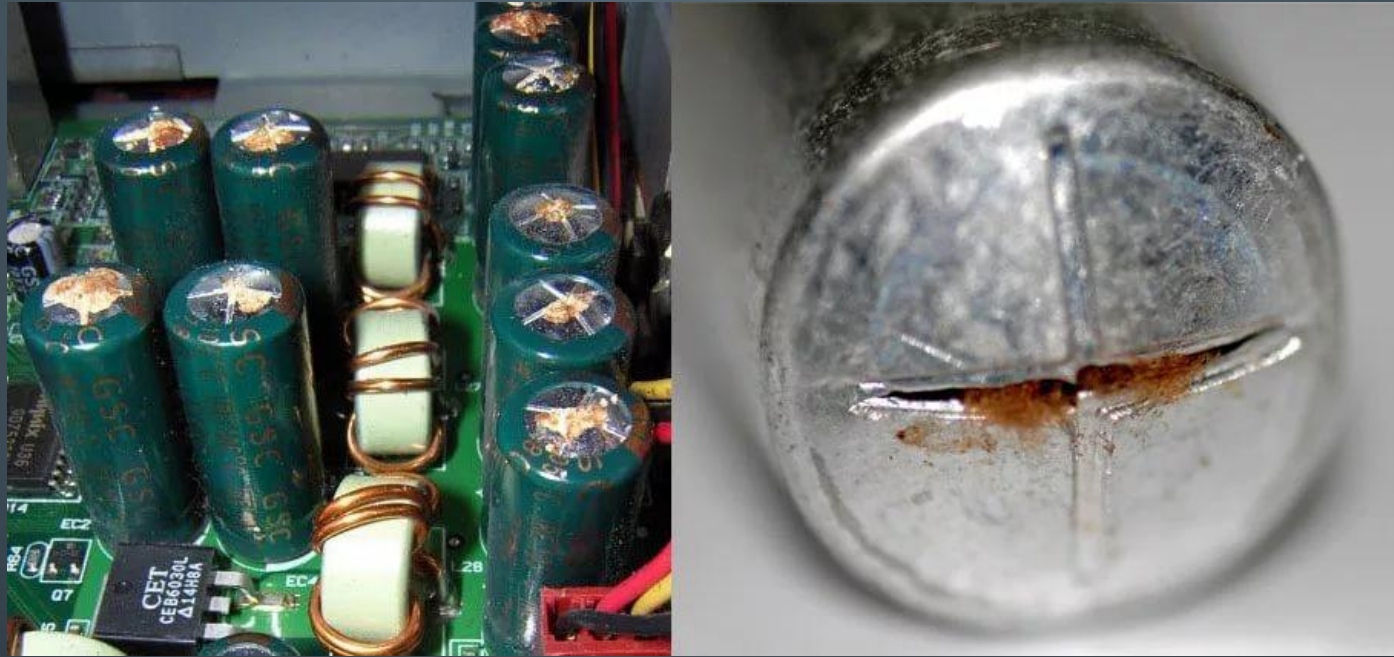
Номинальное напряжение зависит от конструкции конденсатора и свойств применяемых материалов. Эксплуатационное напряжение на конденсаторе должно быть не выше номинального.

# ПОЛЯРНОСТЬ



Многие конденсаторы с оксидным диэлектриком ([электролитические](#)) функционируют только при корректной полярности напряжения из-за химических особенностей взаимодействия электролита с диэлектриком. При обратной полярности напряжения электролитические конденсаторы обычно выходят из строя из-за химического разрушения диэлектрика с последующим увеличением тока, вскипанием [электролита](#) внутри и, как следствие, с вероятностью [взрыва](#) корпуса.

# ОПАСНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ (ВЗРЫВА)



Взрывы электролитических конденсаторов — довольно распространённое явление. Основной причиной взрывов является перегрев конденсатора, вызываемый в большинстве случаев утечкой или повышением эквивалентного последовательного сопротивления вследствие старения (актуально для импульсных устройств). В современных компьютерах перегрев конденсаторов частая причина выхода их из строя вследствие близкого расположения с источниками тепла, например, рядом с радиатором охлаждения.



Для уменьшения повреждений других деталей и травматизма персонала в современных конденсаторах большой ёмкости устанавливают вышибной предохранительный клапан или выполняют надсечку корпуса (часто её можно заметить в виде креста или в форме букв X, K или T на торце цилиндрического корпуса, иногда, на больших конденсаторах, она покрыта пластиком). При повышении внутреннего давления вышибается пробка клапана или корпус разрушается по насечке, пары электролита выходят в виде едкого газа и, даже, брызг жидкости. При этом разрушение корпуса конденсатора происходит без взрыва, разбрасывания обкладок и сепаратора.





Современные конденсаторы, разрушившиеся без взрыва благодаря специальной разрывающейся конструкции верхней крышки. Разрушение возможно из-за нарушения режима эксплуатации (температуры, напряжения, полярности) или старения. Конденсаторы с разорванной крышкой практически неработоспособны и требуют замены, а если она просто вздувшаяся, но ещё не разорвана, то, скорее всего, скоро он выйдет из строя или сильно изменятся параметры, что сделает его использование невозможным.



Взорвавшийся электролитический конденсатор на печатной плате жидкокристаллического монитора. Видны волокна бумажного сепаратора обкладок и развернувшиеся фольговые алюминиевые обкладки.

# ПАРАЗИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Реальные конденсаторы, помимо ёмкости, обладают также собственными последовательным и параллельным сопротивлением и индуктивностью. С достаточной для практики точностью, эквивалентную схему реального конденсатора можно представить как показано на рисунке, где все двухполюсники подразумеваются идеальными.

# ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ДИЭЛЕКТРИКА КОНДЕНСАТОРА, ПОВЕРХНОСТНЫЕ УТЕЧКИ $R_d$ И САМОРАЗРЯД

Сопротивление изоляции — это сопротивление конденсатора постоянному току, определяемое соотношением  $R_d = U / I_{\text{ут}}$ , где  $U$  — напряжение, приложенное к конденсатору,  $I_{\text{ут}}$  — ток утечки.

Из-за тока утечки, протекающего через слой диэлектрика между обкладками и по поверхности диэлектрика, предварительно заряженный конденсатор с течением времени теряет заряд (саморазряд конденсатора). Часто, в спецификациях на конденсаторы, сопротивление утечки определяют через постоянную времени  $T$  саморазряда конденсатора, которая численно равна произведению ёмкости на сопротивление утечки:

$$T = R_d C_0$$

$T$  — это время, за которое начальное напряжение на конденсаторе, неподключенном ко внешней цепи уменьшится в  $e$  раз.

Хорошие конденсаторы с полимерными и керамическими диэлектриками имеют постоянные времени саморазряда достигающие многих сотен тысяч часов.

$$Z(\omega) = j \cdot \omega \cdot Li + Rs + \frac{Rd \cdot \left( \frac{1}{j \cdot \omega \cdot Co} \right)}{Rd + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot Co}}$$

$$Z(\omega) = \frac{Rs \cdot Co^2 \cdot Rd^2 \cdot \omega^2 + Rd + Rs}{Co^2 \cdot Rd^2 \cdot \omega^2 + 1} + \frac{\omega \cdot (Li \cdot Co^2 \cdot Rd^2 \cdot \omega^2 - Co \cdot Rd^2 + Li)}{Co^2 \cdot Rd^2 \cdot \omega^2 + 1} \cdot j$$

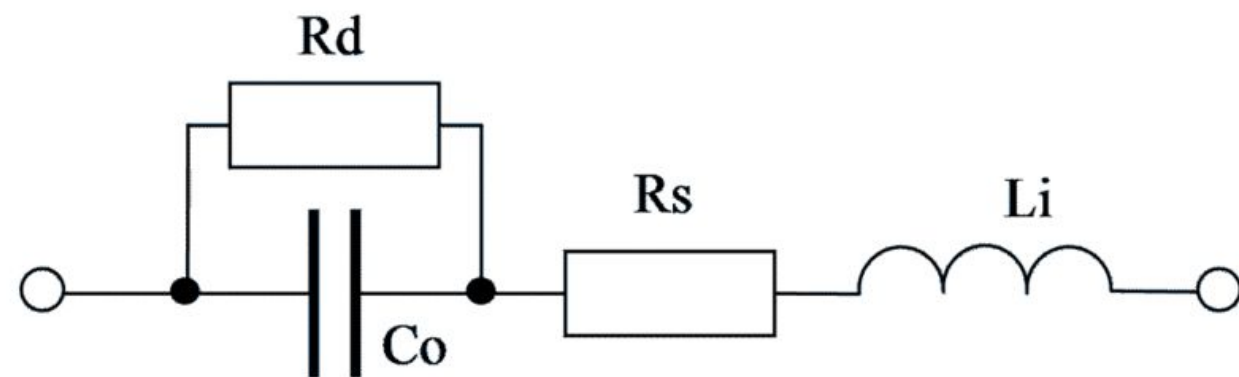
$$|Z| = \sqrt{Rs^2 + Li^2 \cdot \omega^2 + \frac{Rd^2 - 2 \cdot Co \cdot Li \cdot Rd^2 \cdot \omega^2 + 2 \cdot Rs \cdot Rd}{Co^2 \cdot Rd^2 \cdot \omega^2 + 1}}$$

Резонансная частота  $\omega_0$ :

$$\omega_0 = \frac{\sqrt{Co \cdot Rd^2 - Li}}{Co \cdot \sqrt{Li \cdot Rd}}$$

Модуль импеданса на резонансной частоте:

$$|Z_0| = \frac{Li + Co \cdot Rd \cdot Rs}{Co \cdot Rd}$$



Эквивалентная схема реального конденсатора и некоторые формулы.

$C_0$  — собственная ёмкость конденсатора;

$R_d$  — сопротивление изоляции конденсатора;

$R_s$  — эквивалентное последовательное сопротивление;

$L_i$  — эквивалентная последовательная индуктивность.

# ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЁМКОСТИ (ТКЕ)

ТКЕ — относительное изменение ёмкости при изменении температуры окружающей среды на один градус Цельсия (кельвин). ТКЕ определяется так:

$$ТКЕ = \frac{\Delta C}{C \Delta T}$$

где  $\Delta C$  — изменение ёмкости, вызванное изменением температуры на  $\Delta T$ .

Таким образом, изменение ёмкости от температуры (при не слишком больших изменениях температуры) выражается линейной функцией:

$$C(T) = C_{н.у.} + ТКЕ \cdot C_{н.у.} \cdot \Delta T_{,,}$$

где  $\Delta T$  — изменение температуры в °С или К относительно нормальных условий, при которых специфицировано значение ёмкости,  $C_{н.у.}$  — ёмкость при нормальных условиях. ТКЕ применяется для характеристики конденсаторов с практически линейной зависимостью ёмкости от температуры. Однако ТКЕ указывается в спецификациях не для всех типов конденсаторов.

Для конденсаторов, имеющих существенно нелинейную зависимость ёмкости от температуры и для конденсаторов с большими изменениями ёмкости от воздействия температуры окружающей среды в спецификациях нормируются относительное изменение ёмкости в рабочем диапазоне температур или в виде графика зависимости ёмкости от температуры.

# САМОВОССТАНОВЛЕНИЕ

Конденсаторы с металлизированным электродом (бумажный и пленочный диэлектрик) обладают важным свойством самовосстановления (англ. self-healing, cleaning) электрической прочности после пробоя диэлектрика. Механизм самовосстановления заключается в отгорании металлизации электрода после локального пробоя диэлектрика посредством микродугового электрического разряда.

# КЛАССИФИКАЦИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

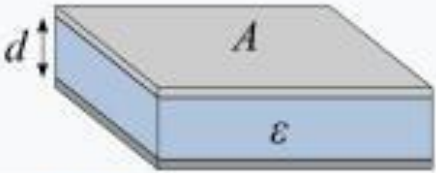
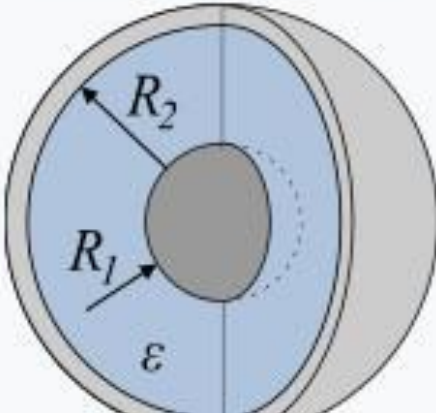
По виду диэлектрика различают:

- *Конденсаторы вакуумные* (между обкладками находится [вакуум](#)).
- *Конденсаторы с [газообразным](#) диэлектриком.*
- *Конденсаторы с [жидким](#) диэлектриком.*
- *Конденсаторы с твёрдым неорганическим диэлектриком: [стеклянные](#)*
- *Конденсаторы с твёрдым органическим диэлектриком: [бумажные](#)*
- *Электролитические и оксидно-полупроводниковые конденсаторы.*
- *Твердотельные конденсаторы*

Кроме того, конденсаторы различаются по возможности изменения своей ёмкости:

- *Постоянные конденсаторы* — основной класс конденсаторов, не меняющие своей ёмкости (кроме как в течение срока службы).
- *Переменные конденсаторы* — конденсаторы, которые допускают изменение ёмкости в процессе функционирования аппаратуры.
- *Подстроечные конденсаторы* — конденсаторы, ёмкость которых изменяется при разовой или периодической регулировке и не изменяется в процессе функционирования аппаратуры.



Название	Ёмкость	Электрическое поле	Схема
Плоский конденсатор	$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$	$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r A}$	
Цилиндрический конденсатор	$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{l}{\ln(R_2/R_1)}$	$E(r) = \frac{Q}{2\pi r l \epsilon_0 \epsilon_r}$	
Сферический конденсатор	$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)^{-1}$	$E(r) = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0 \epsilon_r}$	
Сфера	$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1$		

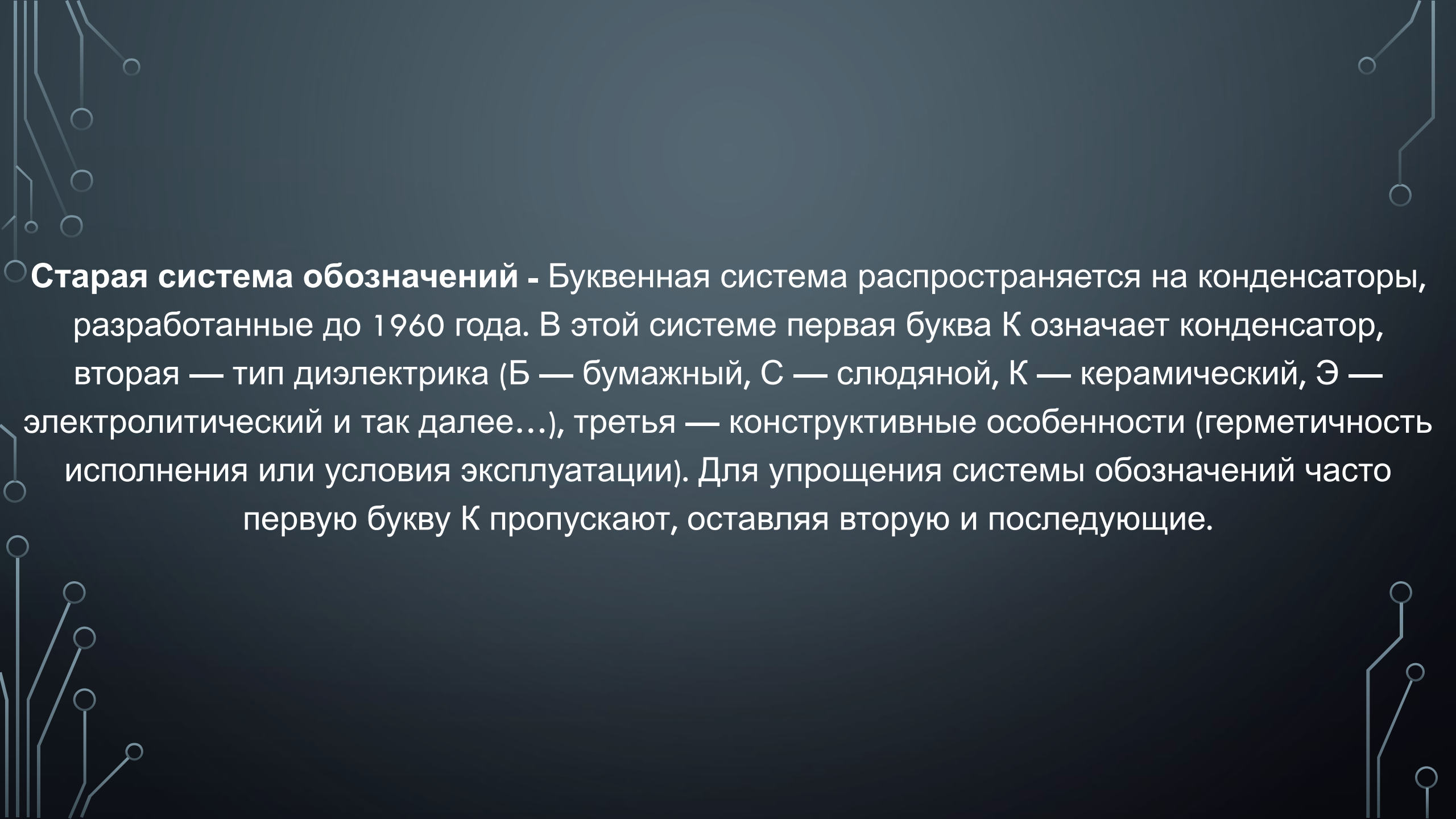
Также различают конденсаторы по форме обкладок: плоские, цилиндрические, сферические и другие.

# НАЗНАЧЕНИЕ

- Накапливать на короткое время заряд или энергию.
- Не пропускать постоянный ток.
- В радиотехнике: колебательный контур, выпрямитель.
- Фотовспышка.

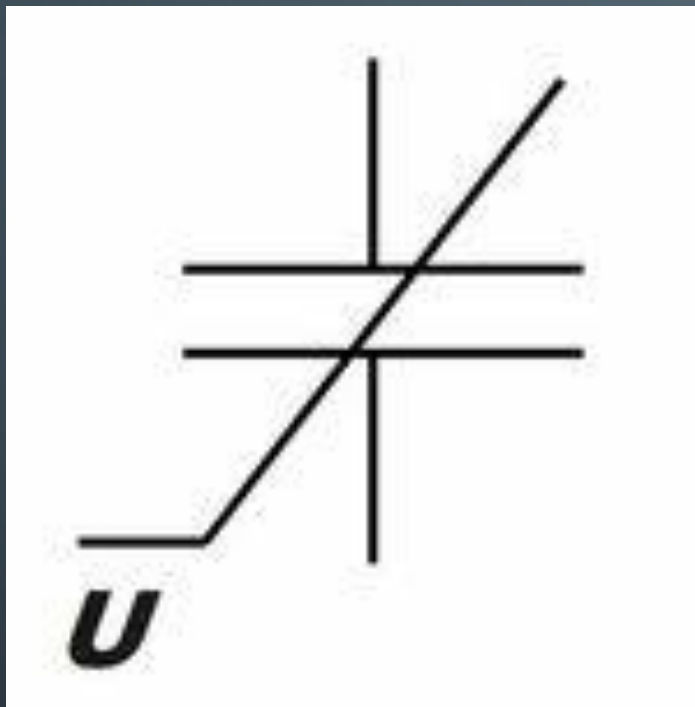
# МАРКИРОВКА КОНДЕНСАТОРОВ

**Новая система обозначений** - В соответствии с новой (цифровой) системой маркировки конденсаторы делятся на группы по виду диэлектрика, назначению и варианту исполнения. Согласно этой системе, первая буква «К» означает «конденсатор», дальше следует цифра, обозначающая вид диэлектрика, и буква, указывающая, в каких цепях может использоваться конденсатор; после неё стоит номер разработки или буква, указывающая вариант конструкции.



**Старая система обозначений** - Буквенная система распространяется на конденсаторы, разработанные до 1960 года. В этой системе первая буква К означает конденсатор, вторая — тип диэлектрика (Б — бумажный, С — слюдяной, К — керамический, Э — электролитический и так далее...), третья — конструктивные особенности (герметичность исполнения или условия эксплуатации). Для упрощения системы обозначений часто первую букву К пропускают, оставляя вторую и последующие.

# ВАРИКОНД

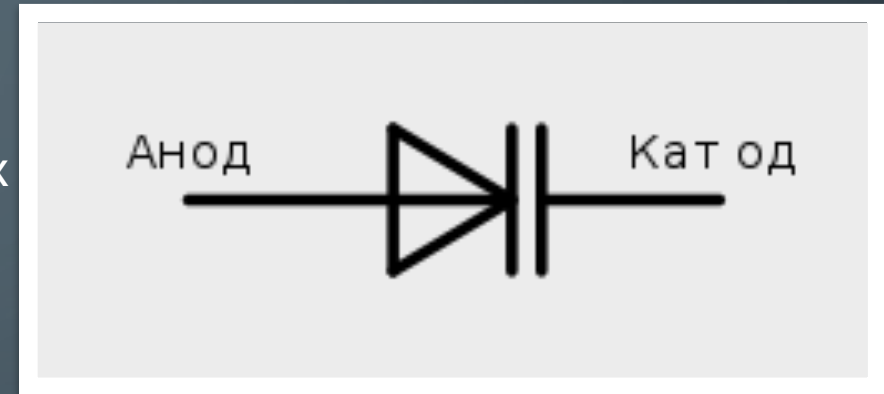


Условное графическое обозначение вариконда

**Вариконд** (англ. *vari(able)*) — переменный и англ. *cond(enser)* — конденсатор) — электрический конденсатор, ёмкость которого нелинейно изменяется в широких пределах в зависимости от напряжения, приложенного к его обкладкам.

# ВАРИКАП

Обозначение варикапа на принципиальных электрических схемах.



**Варика́п** ([акроним](#) от [англ.](#) *vari(able)* — «переменный», и *cap(acitance)* — «[электрическая] ёмкость») — электронный прибор, [полупроводниковый диод](#), работа которого основана на зависимости барьерной [ёмкости p-n-перехода](#) от обратного [напряжения](#).

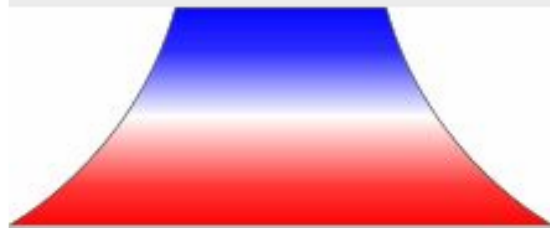
Варикапы с большой рассеиваемой мощностью, предназначенные для умножения частоты в радиопередатчиках, принято называть [варакторами](#).

Варикапы применяются в качестве элементов с электрически управляемой ёмкостью в схемах перестройки частоты [колебательного контура](#) в частотноизбирательных цепях, деления и умножения частоты, [частотной модуляции](#), управляемых [фазовращателей](#) и др.

# ПРИНЦИП РАБОТЫ ВАРИКАПА

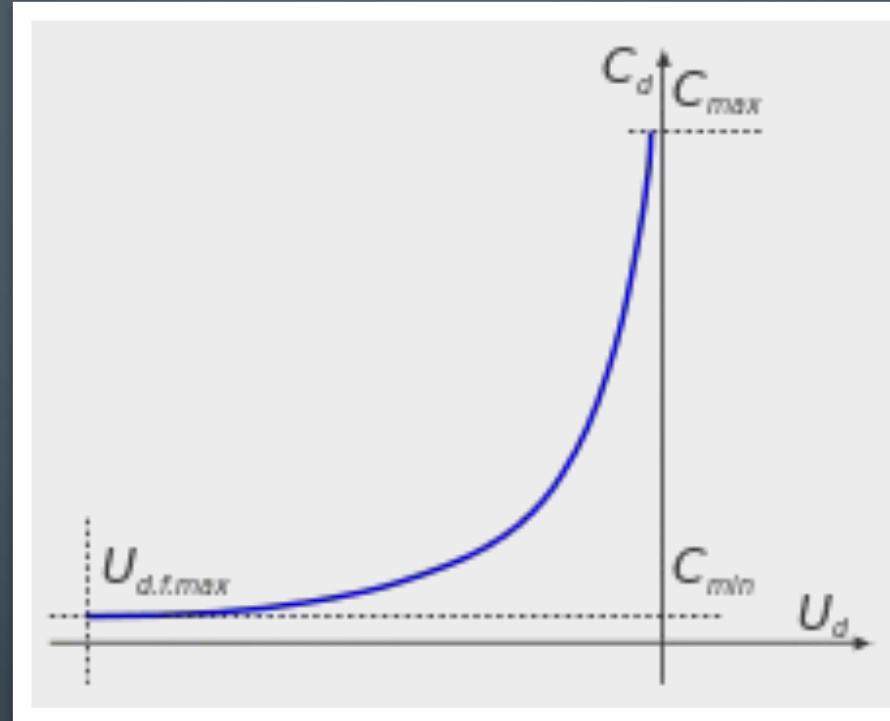


При низком напряжении на р-п переходе толщина обеднённого слоя мала, ёмкость высока

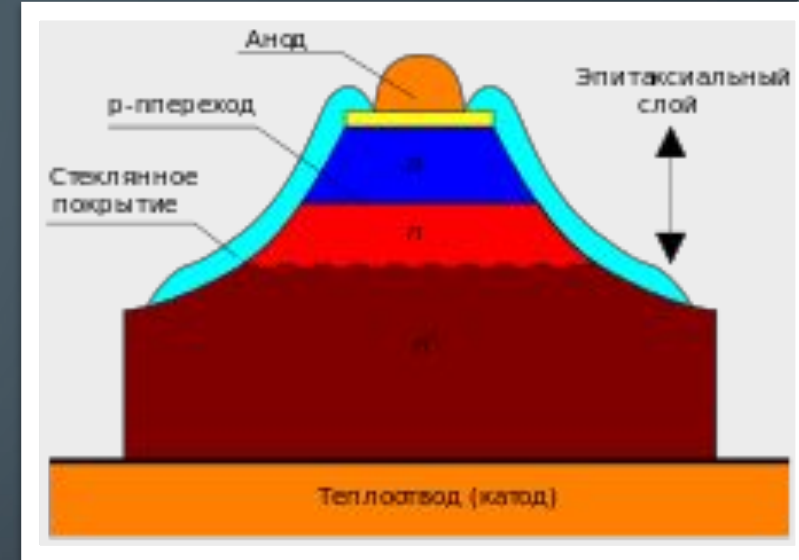


При высоком напряжении на р-п переходе толщина обеднённого слоя больше, ёмкость ниже

Изменение толщины барьерного обеднённого слоя вблизи р-п-перехода при изменении обратного напряжения, приложенного к структуре.



Типичная вольт-фарадная характеристика варикапа.



Внутренняя структура варикапа.

Так как при изменении обратного напряжения толщина диэлектрика (обеднённого слоя) изменяется в широких пределах, для характеристики изменения ёмкости варикапа от приложенного напряжения применяют динамическую  $C_d$  или дифференциальную ёмкость — ёмкость для малого изменения напряжения на приборе (малосигнальный параметр).

Динамическая ёмкость определяется как:

$$C_d(U) = dQ/dU,$$

где  $dQ$  — приращение электрического заряда конденсатора;

$dU$  — приращение напряжения.

Дифференциальная ёмкость согласно ГОСТ Р 52002-2003 — это динамическая ёмкость для очень медленного изменения напряжения.

Зависимость динамической ёмкости от напряжения называется вольт-фарадной характеристикой и для варикапа приближённо описывается функцией:

$$C_d(U) = \frac{C_0}{(1 + U/U_0)^n},$$

где  $C_0$  — динамическая ёмкость прибора при нулевом напряжении;

$U$  — приложенное обратное напряжение;

$U_0$  — некоторая константа, имеющая размерность напряжения и приближённо равная прямому напряжению р-п-перехода, при небольших прямых токах, для кремниевого прибора около 0,55 В;

$n$  — показатель, характеризующий величину градиента концентрации легирующей примеси в р-п-переходе, для переходов с плавным, например, линейным изменением концентрации  $n \approx 0,33$ , для резких переходов



The image features a dark blue background with white, stylized circuit board traces in the corners. These traces consist of straight lines and right-angle turns, ending in small circles that represent components or connection points. The traces are located in the top-left, top-right, bottom-left, and bottom-right corners, framing the central text.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**