

Омский государственный технический университет
каф. «Электроника»

Дисциплина
Радиоматериалы и радиокомпоненты

Пассивные компоненты
Конденсаторы

Ст. преп. Пономарёв Д.Б.

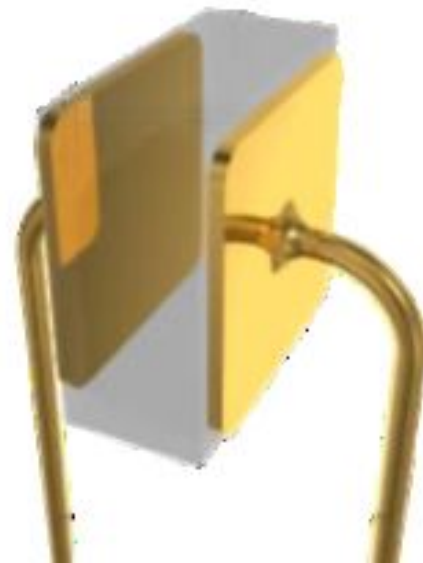


Содержание

1. Функции, классификация
 2. Система обозначений и маркировка
 3. Параметры конденсаторов
- Конструкции конденсаторов
- Эквивалентные схемы

Электрический конденсатор представляет собой систему из двух электродов (обкладок), разделённых диэлектриком, и обладает способностью накапливать электрическую энергию.

На долю конденсаторов приходится примерно 25% всех элементов принципиальной схемы.

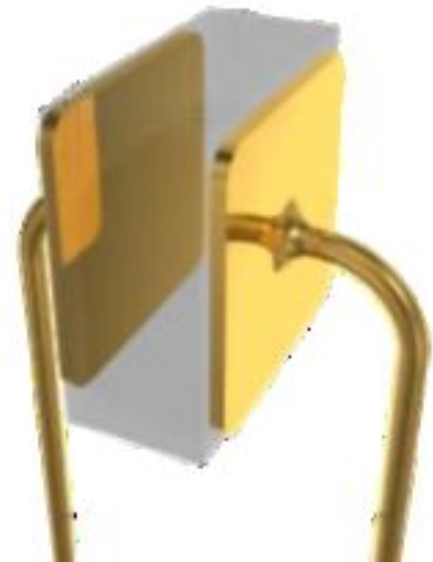


$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}, \quad \varepsilon = \frac{C}{C_0}.$$

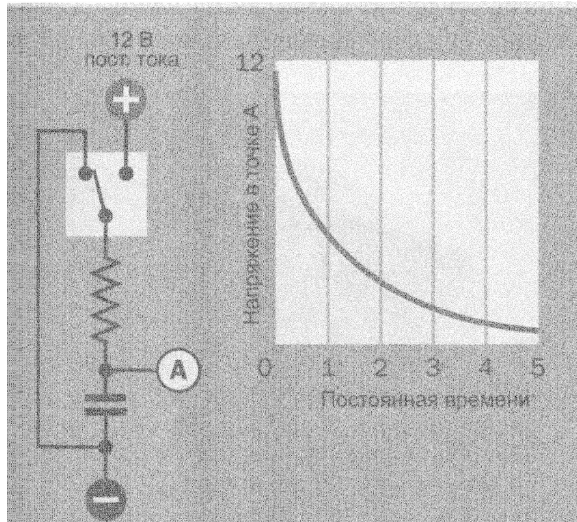
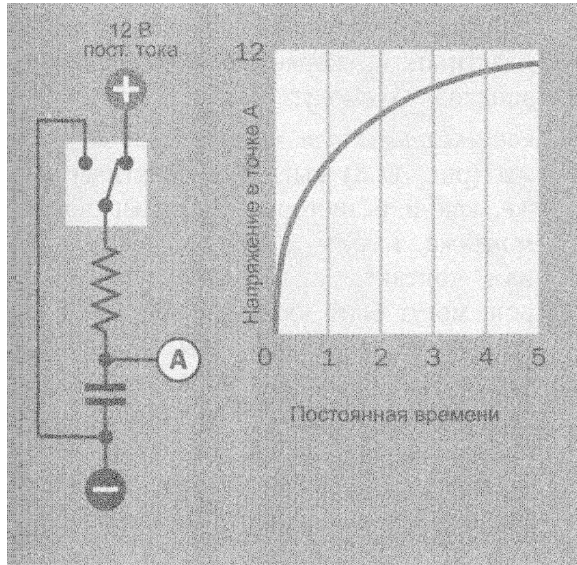
Емкость плоского конденсатора, пФ

$$C = 0,0885 \frac{\varepsilon S}{d}$$

где ε - относительная диэлектрическая
проницаемость диэлектрика ($\varepsilon > 1$),
 S - площадь обкладок конденсатора
(см²),
 d - расстояние между обкладками (см).

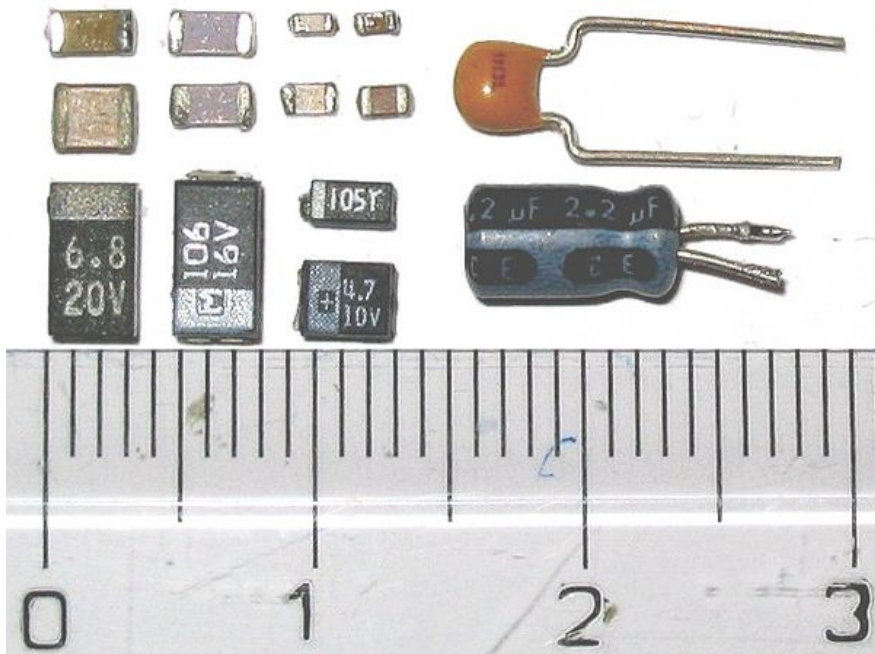


Конденсаторы



- Конденсатор в цепи постоянного тока может проводить ток в момент включения его в цепь (происходит заряд или перезаряд 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.

Конденсаторы



Слева — конденсаторы для поверхностного монтажа;

Справа — конденсаторы для объёмного монтажа;

Сверху — керамические;

Снизу — электролитические.

Классификация конденсаторов

Конденсаторы общего назначения

1. Низкочастотные
2. Высокочастотные

Конденсаторы специального назначения

1. Высоковольтные
2. Помехоподавляющие
3. Импульсные
4. Дозиметрические
5. Конденсаторы с электрически
управляемой ёмкостью
(варикапы, вариконды) и др.

Классификация конденсаторов

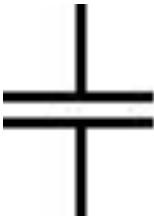
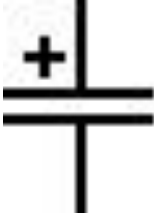
По назначению

1. Контурные
2. Разделительные
3. Блокировочные
4. Фильтровые

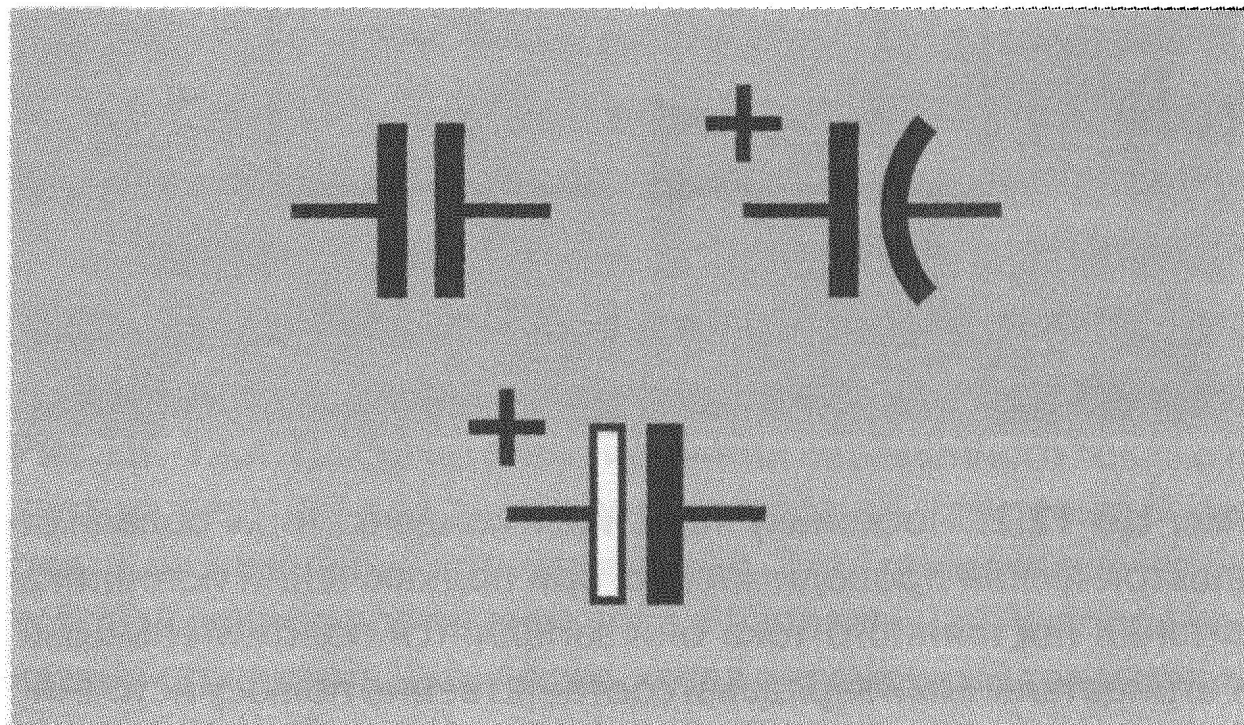
По характеру изменения ёмкости

1. Постоянные
2. Переменные
3. Подстроечные

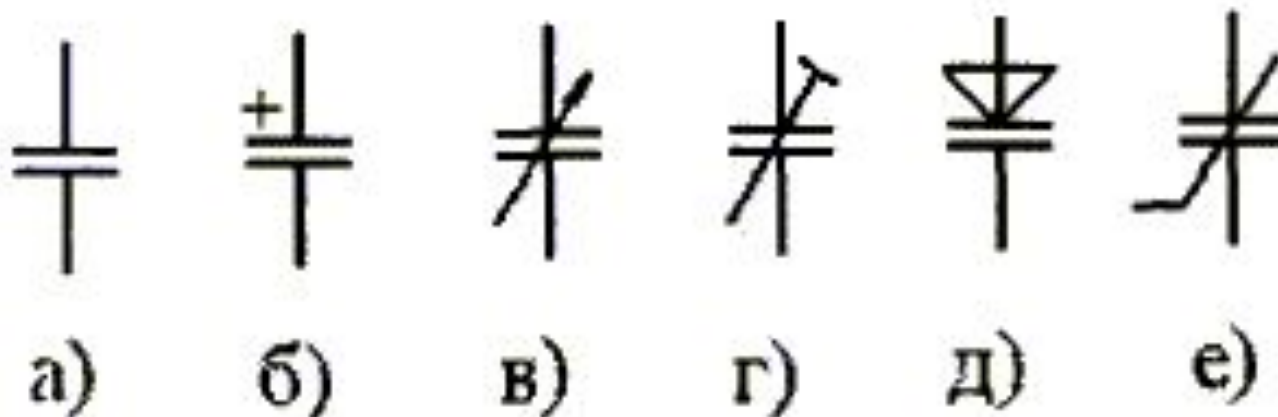
Обозначение конденсаторов на схемах

Обозначение по ГОСТ 2.728-74	Описание
	Конденсатор постоянной ёмкости
	Поляризованный конденсатор
	Подстроечный конденсатор переменной ёмкости

Обозначение конденсаторов на схемах



Обозначение конденсаторов на схемах

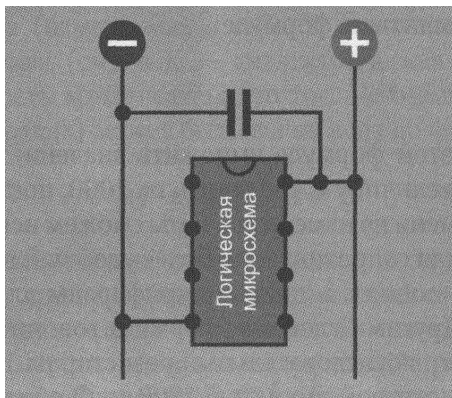


Варикапы. Это конденсаторы, емкость которых изменяется за счет изменения расстояния между его обкладками путем подведения внешнего напряжения. Варикап - это одна из разновидностей полупроводникового диода, к которому подводится обратное напряжение, изменяющее емкость диода.

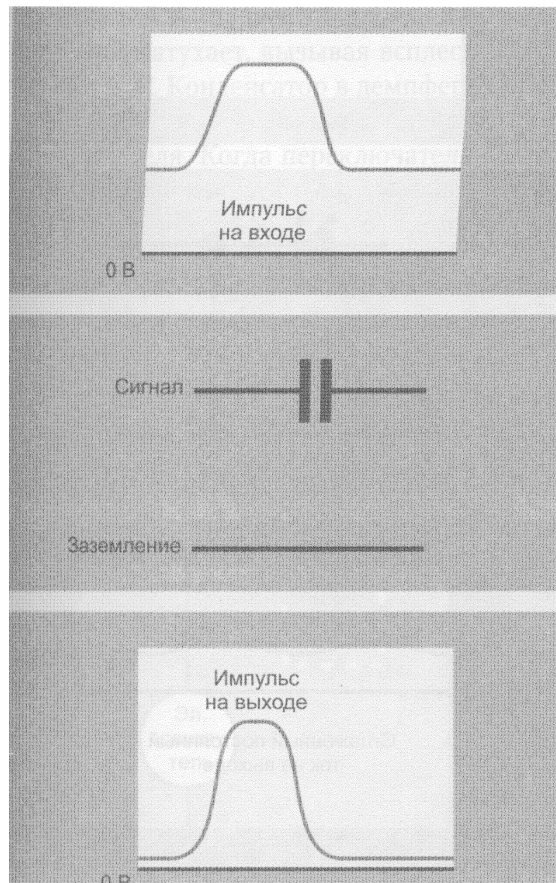
Вариконды. Это конденсаторы, емкость которых зависит от напряженности электрического поля.

Функции конденсаторов

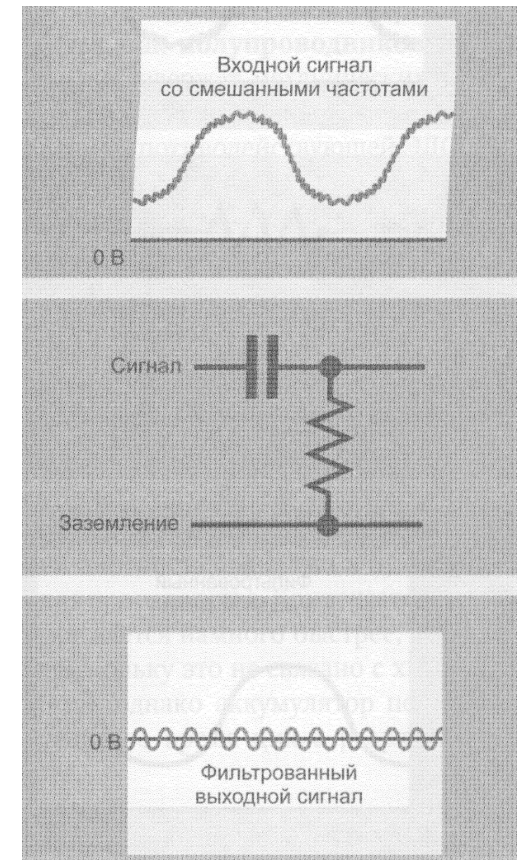
Блокировочный (развязывающий) конденсатор



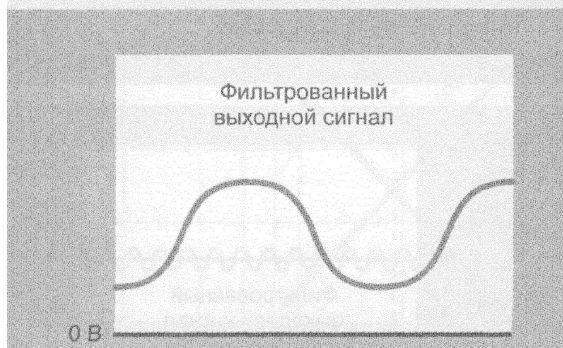
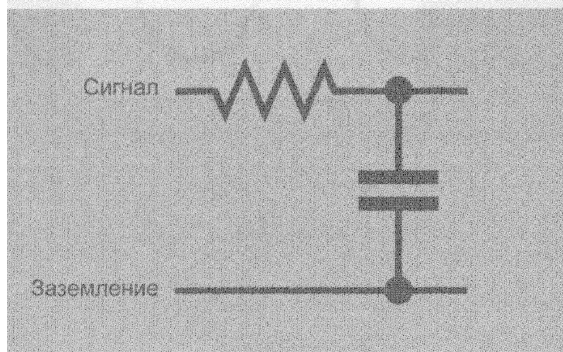
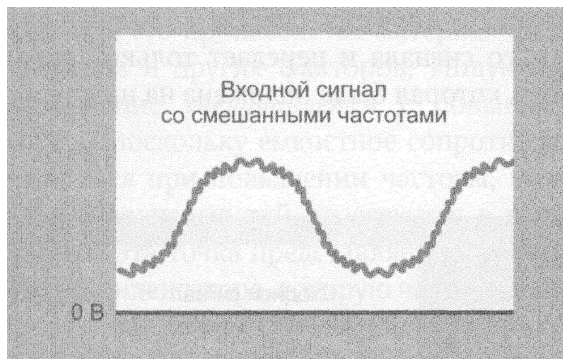
Разделительный конденсатор



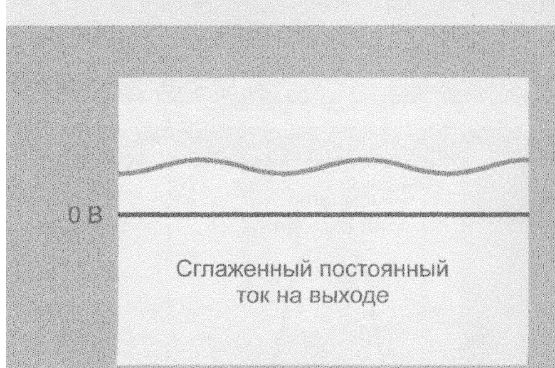
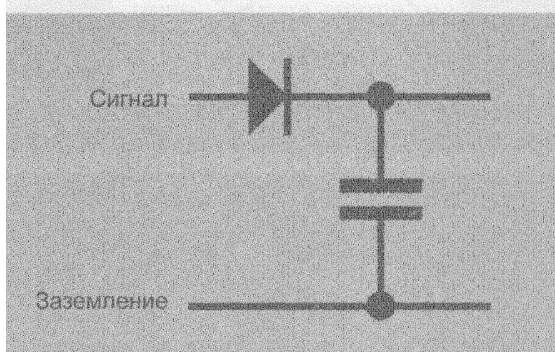
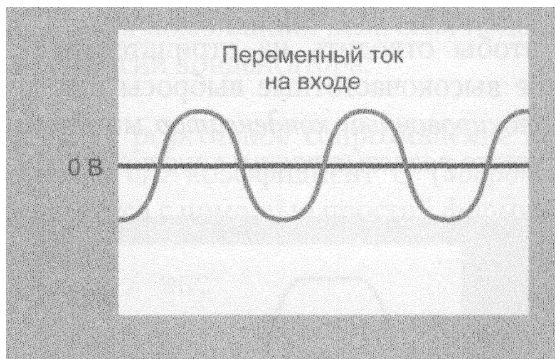
Фильтр верхних частот



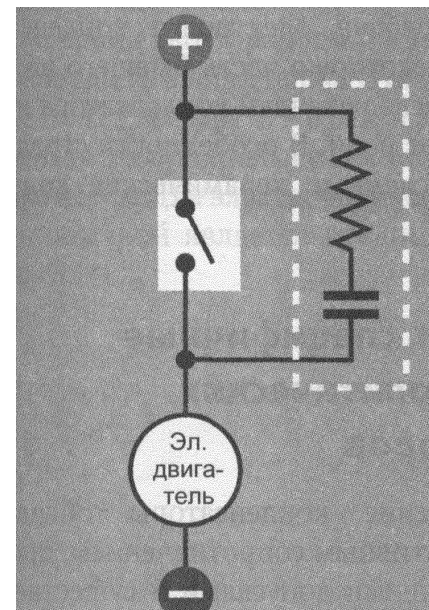
Фильтр верхних частот



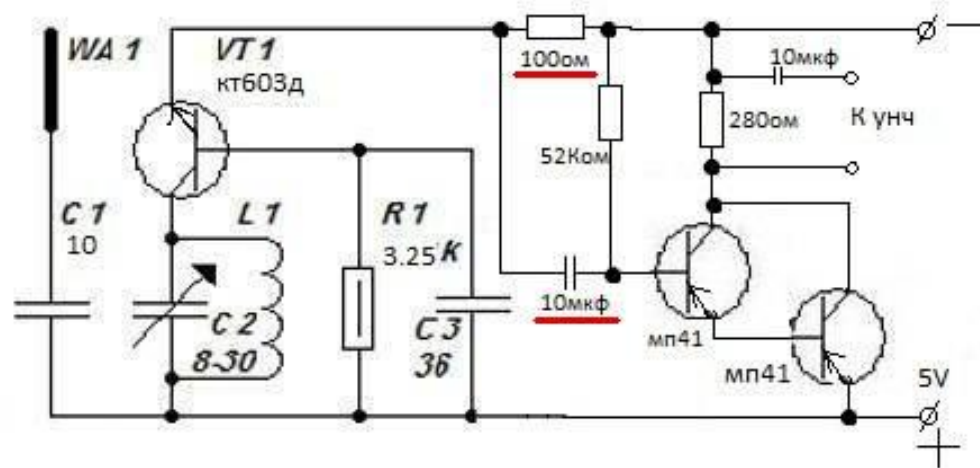
Сглаживающий конденсатор



Демпфер



Обозначение конденсаторов на схемах



- На электрических принципиальных схемах номинальная ёмкость конденсаторов обычно указывается в микрофарадах ($1 \text{ мкФ} = 10^6 \text{ пФ}$) и пикофарадах, но нередко и в нанофарадах.
- 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.

Обозначение конденсаторов на схемах

- 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 мк х 10 В».
- Для переменных конденсаторов указывают диапазон изменения ёмкости, например так: «10 — 180».
- В настоящее время изготавливаются конденсаторы с номинальными ёмкостями из десятичнологарифмических рядов значений Е3, Е6, Е12, Е24, то есть на одну декаду приходится 3, 6, 12, 24 значения, так, чтобы значения с соответствующим допуском (разбросом) перекрывали всю декаду.

Кодовая маркировка конденсаторов

- **Маркировка 3 цифрами**

Первые две цифры указывают на значение емкости в пикофарадах (пф)

Последняя — количество нулей.

Когда конденсатор имеет емкость менее 10 пФ, то последняя цифра может быть «9».

При емкостях меньше 1.0 пФ первая цифра «0».

Буква R используется в качестве десятичной запятой.

Например, код 010 равен 1.0 пФ, код 0R5 — 0.5 пф.

Кодовая маркировка	микрофарад (μF)	Нанофарад (nF)	Пикофарад (pF)
1R0	0.000001	0.001	1
100	0.00001	0.01	10
101	0.0001	0.1	100
102	0.001	1	1,000
103	0.01	10	10,000
104	0.1	100	100,000
105	1	1,000	1,000,000
106	10	10,000	10,000,000
107	100	100,000	100,000,000

Код	Емкость [пФ]	Емкость [нФ]	Емкость [мкФ]
109	1	0,001	0,000001
159	1,5	0,0015	0,000001
229	2,2	0,0022	0,000001
339	3,3	0,0033	0,000001
479	4,7	0,0047	0,000001
689	6,8	0,0068	0,000001
100*	10	0,01	0,00001
150	15	0,015	0,000015
220	22	0,022	0,000022
330	33	0,033	0,000033
470	47	0,047	0,000047
680	68	0,068	0,000068
101	100	0,1	0,0001
151	150	0,15	0,00015
221	220	0,22	0,00022
331	330	0,33	0,00033
471	470	0,47	0,00047
681	680	0,68	0,00068
102	1000	1	0,001

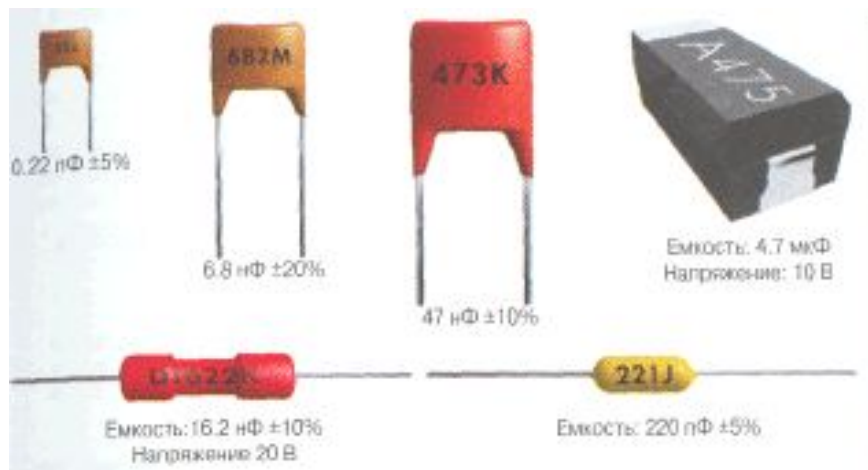
Код	Емкость [пФ]	Емкость [нФ]	Емкость [мкФ]
152	1500	1,5	0,0015
222	2200	2,2	0,0022
332	3300	3,3	0,0033
472	4700	4,7	0,0047
682	6800	6,8	0,0068
103	10000	10	0,01
153	15000	15	0,015
223	22000	22	0,022
333	33000	33	0,033
473	47000	47	0,047
683	68000	68	0,068
104	100000	100	0,1
154	150000	150	0,15
224	220000	220	0,22
334	330000	330	0,33
474	470000	470	0,47
684	680000	680	0,68
105	1000000	1000	1

* Иногда последний ноль не указывают

Кодовая маркировка конденсаторов

Код	Емкость[пФ]	Емкость[нФ]	Емкость[мкФ]
1622	16200	16,2	0,0162
4753	475000	475	0,475

- Маркировка 4 цифрами



Возможны варианты кодирования

4-значным числом.

Но и в этом случае последняя цифра указывает количество нулей,

а первые три — емкость в пикофарадах.

Кодовая маркировка конденсаторов

Код	Емкость [мкФ]
R1	0,1
R47	0,47
1	1
4R7	4,7
10	10
100	100

- Маркировка емкости в микрофарадах

Вместо десятичной точки может ставиться буква R.

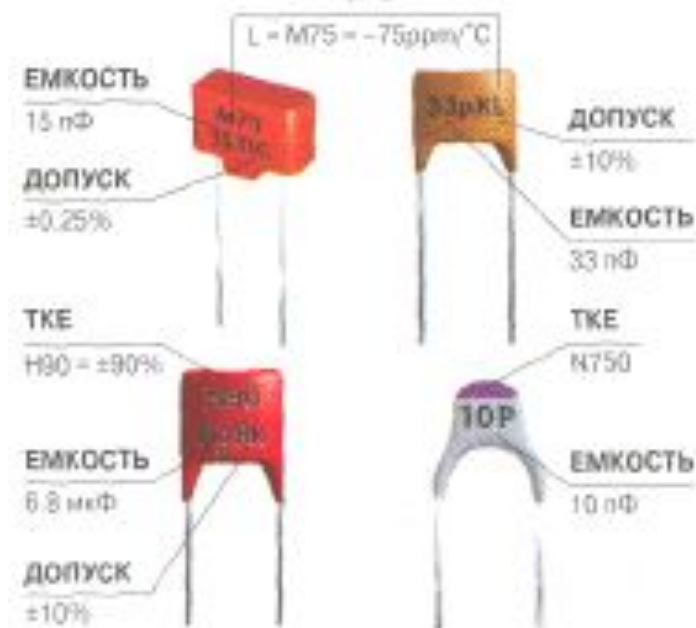


Кодовая маркировка конденсаторов

- Смешанная буквенно-цифровая маркировка емкости, допуска, ТКЕ, рабочего напряжения

В отличие от первых трех параметров, которые маркируются в соответствии со стандартами, рабочее напряжение у разных фирм имеет различную буквенно-цифровую маркировку.

Код	Емкость
p10	0,1 пФ
lp5	1,5 пФ
332p	332 пФ
1H0 или 1n0	1,0 нФ
15H или 15n	15 нФ
33H2 или 33n2	33,2 нФ
590H или 590n	590 нФ
m15	0,15 мкФ
1m5	1,5 мкФ
33m2	33,2 мкФ
330m	330 мкФ
1m0	1 мФ или 1000 мкФ
10m	10 мФ



Параметры конденсаторов

Параметры конденсаторов

1. Номинальная ёмкость
2. Рабочее напряжение



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

Ёмкость конденсатора – электрическая ёмкость между электродами конденсатора (ГОСТ 19880 – 74), определяемая отношением, накапливаемого в нём заряда к приложенному напряжению. Ёмкость конденсатора зависит от материала диэлектрика, формы и взаимного расположения электродов.

Удельная ёмкость – отношение ёмкости к массе (или объёму) конденсатора.

Номинальная ёмкость конденсатора $C_{\text{НОМ}}$ - емкость, которую должен иметь конденсатор в соответствие с нормативной документацией (ГОСТ или ТУ).

Номинальные значения ёмкости $C_{\text{НОМ}}$ электролитических конденсаторов определяются рядом:

0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000; 2000; 5000 мкФ.

Номинальные значения ёмкости $C_{\text{НОМ}}$ бумажных плёночных конденсаторов

0,05; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 6; 8; 20; 40; 60; 80; 100; 400; 600; 800; 1000 мкФ.

Международной электротехнической комиссией (МЭК) установлено семь предпочтительных рядов для значений номинальной емкости (Публикация № 63): E3; E6; E12; E24; E48; E96; E192. Цифры после буквы E указывают на число номинальных значений в каждом десятичном интервале (декаде). Номинальные емкости соответствуют числам декады и числам, полученным путем их умножения и деления на 10^n , где n - целое положительное или отрицательное число. **В производстве конденсаторов чаще всего используют**

Номинальные ряды E3, E6, E12, E24

E3	E6	E12	E24		E3	E6	E12	E24		E3	E6	E12	E24
1,0	1,0	1,0	1,0		2,2	2,2	2,2	2,2		4,7	4,7	4,7	4,7
			1,1					2,4					5,1
		1,2	1,2				2,7	2,7				5,6	5,6
			1,3					3,0					6,2
	1,5	1,5	1,5			3,3	3,3	3,3			6,8	6,8	6,8
			1,6					3,6					7,5
		1,8	1,8				3,9	3,9				8,2	8,2
			2,0					4,3					9,1

Допустимое отклонение от номинала ΔC
характеризует точность значения ёмкости и определяется классом точности.

Класс	0,01	0.02	0,05	0	00	I	II	III	IV	V	VI
Допуск %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	- 10 +20	-20 +30	-20 +50

Конденсаторы широкого применения имеют класс точности I, II или III и соответствуют рядам E6, E12, E24.

Блокировочные и разделительные конденсаторы обычно соответствуют классам II и III.

Контурные конденсаторы обычно соответствуют классам 1, 0, или 00.

Фильтровые конденсаторы обычно соответствуют классам IV, V, VI.

Номинальное рабочее напряжение конденсатора – максимальное напряжение, при котором конденсатор может работать в течение минимальной наработки, в условиях, указанных в технической документации (ГОСТ 21415 – 75). Значения номинальных напряжений установлены ГОСТ 9665 – 77. Все конденсаторы в процессе изготовления подвергают воздействию испытательного напряжения в течение 2...5 секунд.

$$U_H < U_{ИСП} < U_{ПРОБ}$$

Электрическое сопротивление изоляции конденсатора – электрическое сопротивление конденсатора постоянному току, определяемое соотношением

$$R_{из} = \frac{U}{I_{ут}} \quad R = R_0 e^{-\beta(t-t_0)}$$

U - напряжение, приложенное к конденсатору;

$I_{ут}$ - ток утечки (проводимости).

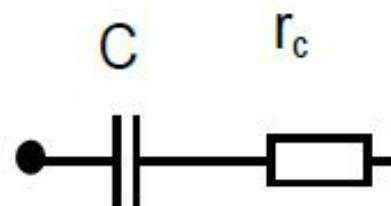
Сопротивление изоляции всех видов конденсаторов, кроме электролитических и полупроводниковых, очень велико и составляет МОм, ГОм и даже ТОм. Это сопротивление измеряют в нормальных климатических условиях (температура 25 ± 10 °С, относительная влажность 45...75 %, атмосферное давление 86...106 кПа).

С повышением температуры сопротивление изоляции уменьшается.

Эквивалентное последовательное
сопротивление ЭПС (ESR)

$$ESR = R_c + R_a$$

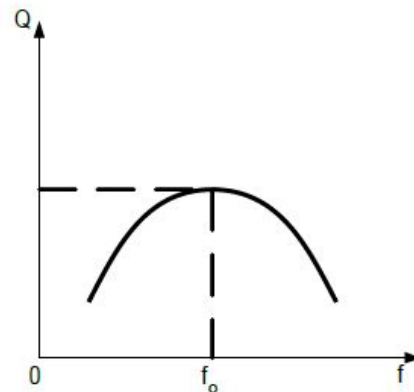
$$R_c = \frac{1}{2\pi RC}$$



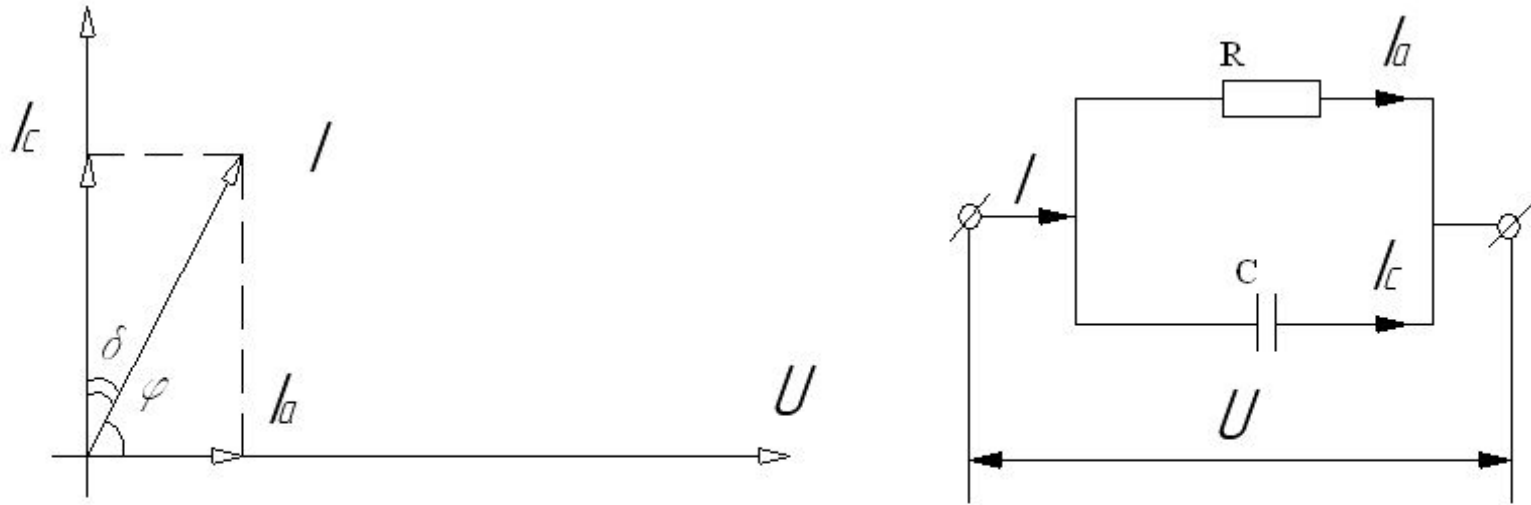
Добротность конденсатора

$$Q = \frac{R_c}{ESR}$$

$$R_{обкл} = R_{из}$$



Эквивалентная схема конденсатора



$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_c} = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R},$$

Частотные свойства

При изменении частоты изменяется диэлектрическая проницаемость диэлектрика. Увеличивается степень влияния паразитных параметров (собственной индуктивности и сопротивления потерь).

Собственная индуктивность конденсатора L_c – это индуктивность выводов и обкладок.

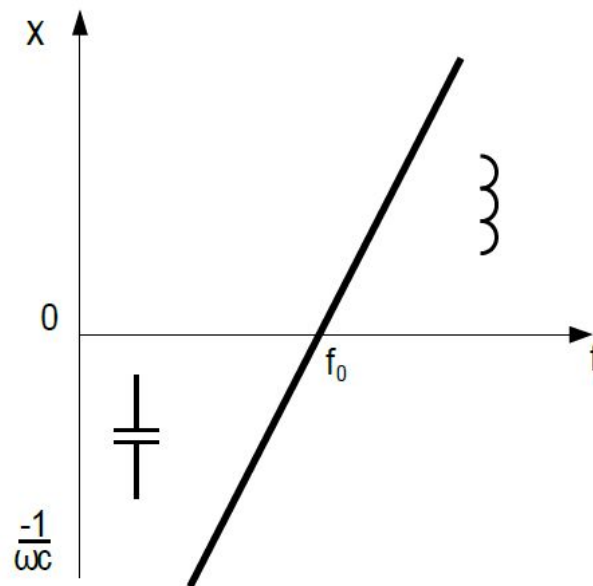
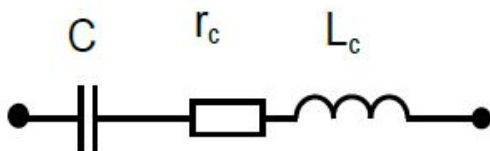
На высоких частотах любой конденсатор можно рассматривать как последовательный колебательный контур, образуемый ёмкостью, собственной индуктивностью L_c и сопротивлением потерь R_{Π} . Резонанс наступает на частоте

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

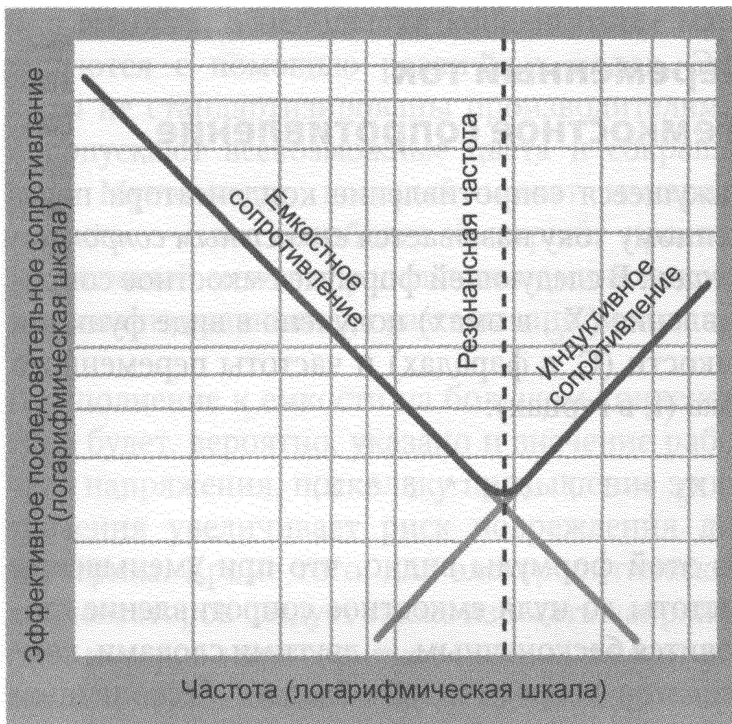
$$\tau = RC$$

При $f > f_p$ конденсатор ведёт себя как катушка индуктивности. Обычно максимальная рабочая частота конденсатора в 2...3 раза ниже резонансной.

Характер частотной зависимости действующей ёмкости C_d в диапазоне частот от нуля до f_p обуславливается соотношением C , L_c , R_{Π} . В большинстве случаев C_d уменьшается с ростом частоты во всём указанном диапазоне частот. Вблизи резонансной частоты она всегда уменьшается и стремится к нулю.



Эквивалентная емкость конденсатора



$$\frac{1}{j\omega C_s} = \frac{1}{j\omega C} + j\omega L_w = \frac{1 - \omega^2 L_w C}{j\omega C}$$
$$C_s = \frac{C}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}.$$

Рабочие частоты конденсатора должны быть существенно меньше f_0 .

Допустимая амплитуда переменного напряжения на конденсаторе $U_{m \text{ доп}}$ – амплитуда переменного напряжения, при которой потери энергии в конденсаторе не превышают допустимых. Значения $U_{m \text{ доп}}$ приводятся в справочниках или определяются по формуле

$$U_{m \text{ доп}} = \sqrt{\frac{Q_{P \text{ доп}}}{2\pi f C}}$$

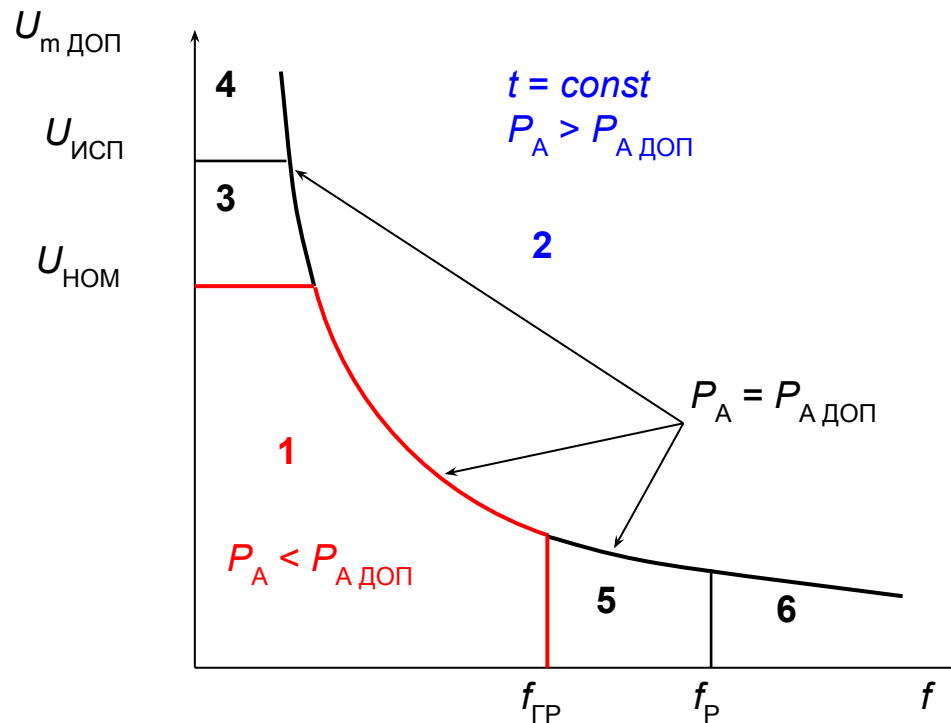
$Q_{P \text{ доп}}$ - допустимая реактивная мощность конденсатора,
В·А

f - частота напряжения на конденсаторе, Гц

C - ёмкость конденсатора, Ф

Превышение $U_{m \text{ доп}}$ может вызвать тепловой пробой диэлектрика.

Ниже представлена зависимость напряжения $U_{m \text{ доп}}$ от частоты, построенная для фиксированных значений температуры и допустимой мощности потерь $P_A = P_{A \text{ доп}}$. Граничная частота определяется допустимым снижением действующей ёмкости.



Стабильность параметров конденсаторов

Электрические свойства и срок службы конденсатора зависят от условий эксплуатации.

Воздействия

1. тепла
2. влажности
3. радиации
4. вибраций
5. ударов
6. др.

Наибольшее влияние оказывает температура.

Влияние температуры проявляется в изменении

1. ёмкости конденсатора
2. добротности конденсатора
3. электрической прочности конденсатора

Влияние температуры оценивают TKE

$$\alpha_c = \frac{\Delta C}{C_0 \Delta T}$$

Изменение ёмкости обусловлено изменением диэлектрической проницаемости (в основном), а также линейных размеров обкладок и диэлектрика конденсатора

$$TKC = TK\varepsilon + \alpha \qquad TK\varepsilon = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 (T_2 - T_1)}$$

С повышением температуры уменьшается электрическая прочность и срок службы конденсатора.

У высокочастотных конденсаторов величина ТКЕ не зависит от температуры и указывается на корпусе путём окрашивания корпуса в определённый цвет и нанесения цветной метки.

У низкочастотных конденсаторов температурная зависимость ёмкости носит нелинейный характер. Температурную стабильность этих конденсаторов оценивают величиной предельного отклонения ёмкости при крайних значениях температуры.

Низкочастотные конденсаторы разделены на три группы по величине температурной нестабильности:

1. H20 $\pm 20 \%$
2. H30 $\pm 30 \%$
3. H90 $+ 50 - 90 \%$

Понижение атмосферного давления приводит к уменьшению электрической прочности, изменениям ёмкости вследствие деформации элементов конструкции конденсатора. Возможны нарушения герметичности конденсатора.

При поглощении влаги диэлектриком конденсатора увеличивается ёмкость и резко уменьшается сопротивление изоляции. В результате возрастают потери энергии, особенно при повышенных температурах, и уменьшается электрическая прочность (повышается вероятность пробоя).

При длительном хранении конденсаторов изменяется их ёмкость. Стабильность конденсаторов во времени характеризуется коэффициентом старения

$$\beta = \frac{\Delta C}{C_0 \Delta t}$$

Потери энергии в конденсаторах обусловлены электропроводностью и поляризацией диэлектрика. Их характеризуют тангенсом угла диэлектрических потерь $tg\delta$.

1. Конденсаторы с керамическим диэлектриком имеют $tg\delta \approx 10^{-4}$
2. Конденсаторы со слюдяным диэлектриком имеют $tg\delta \approx 10^{-4}$
3. Конденсаторы с бумажным диэлектриком имеют $tg\delta = 0,01 \dots 0,02$
4. Конденсаторы с оксидным диэлектриком имеют $tg\delta = 0,1 \dots 1,0$

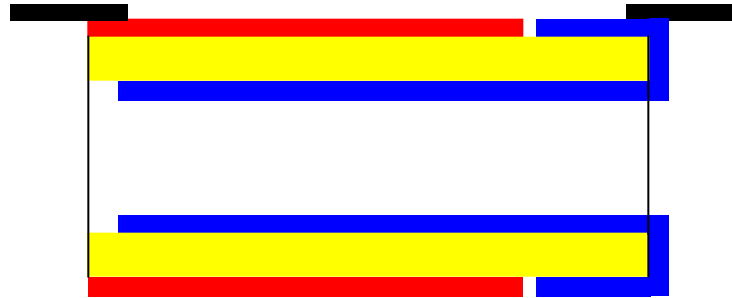
Конструкция конденсаторов

1. Пакетная
2. Трубчатая
3. Дисковая
4. Литая секционная
5. Рулонная
6. Конденсаторы гибридных
ИМС
7. Подстроечные
8. КПЕ

Пакетная. Применяется в слюдяных,стеклоэмалевых, стеклокерамических и др. видах конденсаторов. Количество пластин до 100 штук.

$$C = 0,0884 \frac{\varepsilon S}{d} (n - 1)$$

Трубчатая. Высокочастотные. Керамическая трубка. Толщина стенок 0,25 мм. На внутреннюю и внешнюю поверхность нанесены серебряные обкладки. Выводы и т.д.



Ёмкость трубчатых конденсаторов

$$C = 0,241 \frac{\varepsilon l}{\lg \frac{D_2}{D_1}}$$

l - длина перекрывающейся части обкладок,
см;

D_1 - наружный диаметр трубки;

D_2 - внутренний диаметр трубки.



Спасибо за внимание!

