

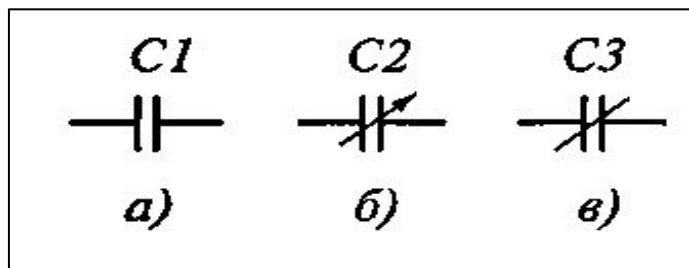
Конденсаторы

Конденсатор представляет собой систему из двух или более токопроводящих обкладок, разделенных диэлектриком и предназначенных для создания емкости .

Конденсатор не пропускает постоянный ток, так как его обкладки разделены диэлектриком. Однако переразряд конденсатора под действием переменного напряжения будет эквивалентен пропусканию им переменного тока. Это свойство конденсаторов широко применяется для разделения постоянной и переменной составляющих пульсирующего тока. Кроме того, конденсаторы используются в качестве элементов колебательных контуров и частотных фильтров на их основе. Сопротивление конденсатора Z_k переменному току обратно пропорционально емкости конденсатора C и частоте переменного тока f :

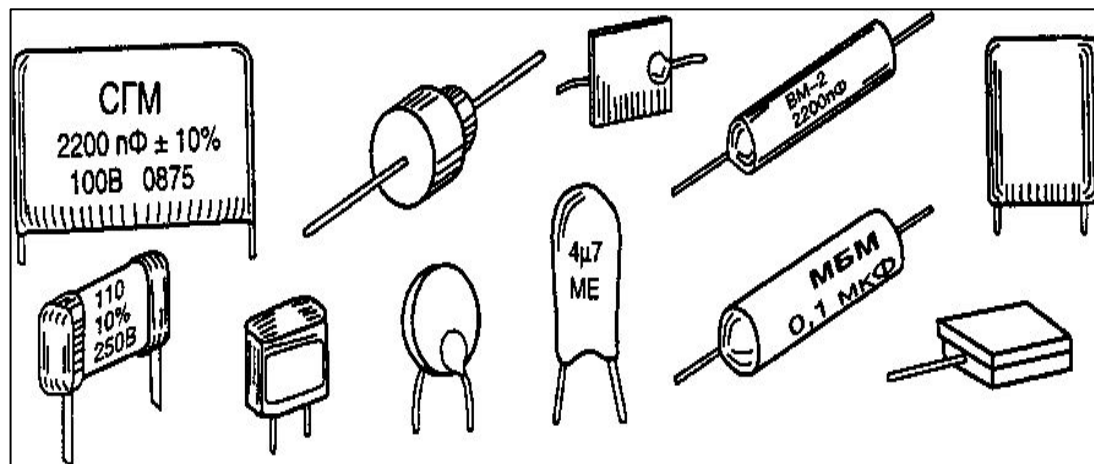
$$Z_k = \frac{1}{2\pi f C}.$$

Конденсатор не рассеивает тепло при прохождении через него электрического тока, так как его сопротивление принципиально отличается от сопротивления резистора. Резистор, пропуская переменный ток, поглощает энергию в течение всего периода колебаний тока. Конденсатор в начале периода поглощает энергию из цепи, а затем отдает обратно в цепь всю накопленную им энергию. Благодаря этому свойству конденсатор является *реактивным элементом* в отличие от резистора, обладающего активным сопротивлением. В связи с этим номинальная мощность конденсаторов не нормируется.



Условные обозначения
конденсаторов на электрической
схеме:

- a* — постоянный;
- б* — переменный;
- в* — подстроенный



Различные виды конденсаторов

Емкость постоянных конденсаторов нельзя изменять в отличие от емкости переменных, которую можно плавно регулировать. Емкость подстроечных (или полупеременных) конденсаторов также можно плавно изменять до определенного значения, по достижении которого они будут работать как постоянные.

Основные параметры конденсаторов

1. *Емкость* — способность конденсатора накапливать и удерживать на своих обкладках электрические заряды под действием приложенного напряжения. Если к конденсатору приложить напряжение U (В), то на его обкладках будет накапливаться заряд Q (Кл), и емкость будет определяться по формуле

$$C = Q/U.$$

Единицей измерения емкости является *фарада*, но поскольку это очень большая величина, емкость конденсатора принято измерять в микрофарадах (мкФ), нанофарадах (нФ) или пикофарадах (пФ):

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

Емкость, указанная на конденсаторе, называется *номинальной*.

Фактическая емкость конденсатора $C_{\text{ф}}$ может отличаться от номинальной $C_{\text{н}}$ на значение допустимого отклонения, которое выражается в процентах.

Величина допуска характеризует класс точности конденсаторов. В зависимости от допустимого отклонения емкости различают 11 классов точности конденсаторов .

Класс точности конденсаторов и допустимое отклонение емкости

Класс точности	001	002	005	00	0	I	II	III	IV	V	VI
Отклонение, %	$\pm 0,01$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	$\begin{matrix} -10 \\ +20 \end{matrix}$	$\begin{matrix} -20 \\ +30 \end{matrix}$	$\begin{matrix} -20 \\ +50 \end{matrix}$

Чаще всего применяются конденсаторы I, II, III классов точности. Допустимое отклонение емкости электролитических конденсаторов может составлять от +80 до —20 %.

Кодированное обозначение допустимого отклонения емкости

Обозначение	Ж	У	Д	Р	Л	И	С	В	Ф	Э	Б	А	Я	Ю
Допуск, %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	± 30	$\begin{smallmatrix} +50 \\ -80 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +50 \\ -20 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +80 \\ -20 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +100 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} +100 \\ -10 \end{smallmatrix}$

2. *Температурный коэффициент емкости* (ТКЕ) характеризует изменение емкости конденсатора при изменении температуры на 1 °С:

$$\text{ТКЕ} = (C_2 - C_1) / (C_1(T_2 - T_1))$$

где C_1 и C_2 — емкости конденсатора при температурах T_1 и T_2 .

Температурный коэффициент емкости может быть положительным и отрицательным.

Сопротивление изоляции конденсатора R_m (МОм) зависит от качества диэлектрика и определяется отношением напряжения постоянного тока, приложенного к конденсатору, к току утечки и выражается в мегаомах и гигаомах.

С увеличением влажности и температуры окружающей среды сопротивление изоляции уменьшается, что может привести к пробое изоляции.

3. *Потери энергии в конденсаторе* складываются из потерь энергии в диэлектрике и обкладках. В процессе эксплуатации часть подводимой к конденсатору энергии переменного тока расходуется на его нагрев, сопровождаемый рассеиванием тепла в окружающую среду.

Потери энергии приводят к нагреву диэлектрика, ухудшают его качество и снижают электрическую прочность конденсатора, определяемую способностью диэлектрика выдерживать электрическое поле без пробоя.

4. *Электрическая прочность* оценивается пробивным, испытательным и номинальным (рабочим) напряжениями. Напряжение, при плавном подъеме которого происходит пробой конденсатора, называется *пробивным*.

Напряжение, при котором конденсатор может надежно работать в течение гарантированного срока с сохранением основных параметров, называется *номинальным*, или *рабочим*.

5. *Собственная индуктивность* конденсатора — это индуктивность, создаваемая выводами и обкладками. Снижение собственной индуктивности конденсатора обеспечивается укорачиванием выводов.

Условные обозначения конденсаторов

Сокращенное условное обозначение конденсаторов состоит из следующих элементов.

Первый элемент — одна или две буквы — определяет тип конденсатора:

К — конденсатор постоянной емкости; **КП** — конденсатор переменной емкости; **КТ** — конденсатор подстроенный.

Второй элемент — цифры — обозначает используемый тип диэлектрика между обкладками и группу по рабочему напряжению. В табл. 2.7 приведена расшифровка второго элемента обозначения конденсаторов.

Третий элемент представляет собой порядковый номер разработки конкретного типа, в состав которого может входить и буквенное обозначение (**Ч** — для работы в цепях переменного тока, **П** — для работы в цепях постоянного и переменного тока, **И** — для работы в импульсном режиме, **У** — универсальные). Отсутствие третьего элемента обозначения указывает на то, что конденсатор предназначен для работы с постоянным и пульсирующим током.

Так, например, К75-10-250В-0,1 мкФ + 5% В ОЖО.484.865 ТУ обозначает пленочный конденсатор К75-10 с номинальным напряжением 250 В, номинальной емкостью 1,0 мкФ, допустимым отклонением по емкости +5 % и группой по климатическому исполнению В; ОЖО.484.865 ТУ — документ на поставку.

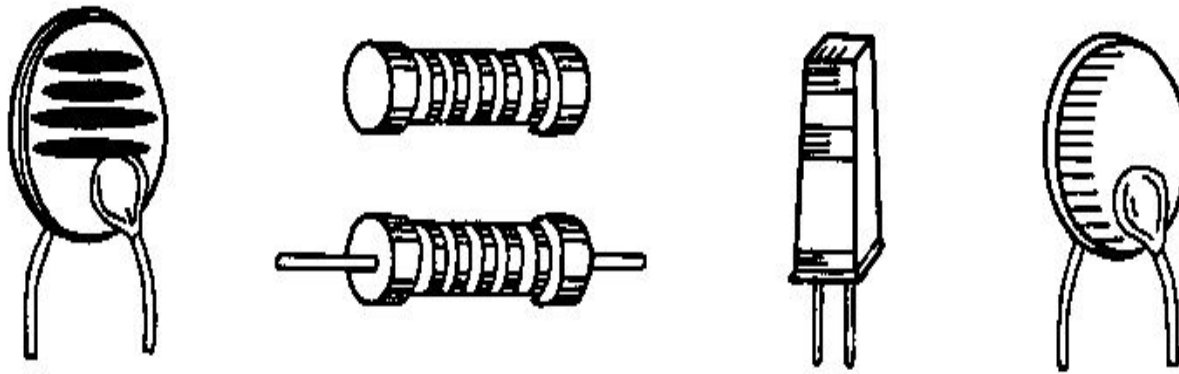
Типы конденсаторов в зависимости от вида диэлектрика и их условное обозначение

Конденсатор	Обозначение
<i>Постоянной емкости</i>	
Керамический на номинальное напряжение ниже 1600 В	K10
Керамический на номинальное напряжение 1600 В и выше	K15
Стекланный	K21
Стеклокерамический	K22
Стеклоэмалевый	K23
Слюдяной малой емкости	K31
Слюдяной большой емкости	K32
Бумажно-фольговый на напряжение ниже 1600 В	K40
Бумажно-фольговый на напряжение 1600 В и выше	K41
Металлобумажный	K42
Электролитический алюминиевый	K50
Электролитический танталовый фольговый	K51
Электролитический танталовый объемно-пористый	K52
Оксидно-полупроводниковый	K53
Воздушный	K60
Вакуумный	K61
Полистирольный с фольговыми обкладками	K70
Полистирольный с металлизированными обкладками	K71
Фторопластовый	K72
Полиэтилентерефталатный с металлизированными обкладками	K73
Полиэтилентерефталатный с фольговыми обкладками	K74
Комбинированный	K75
Лакопленочный	K76

<i>Подстроечный</i>	
Вакуумный	КТ1
Воздушный	КТ2
Газообразный	КТ3
Твердый	КТ4
<i>Переменной емкости</i>	
Вакуумный	КП1
Воздушный	КП2
Газообразный	КП3
Твердый	КП4

Для маркировки малогабаритных керамических конденсаторов используется также цветная кодировка. Кроме того, она применяется для маркировки конденсаторов, номинальное рабочее напряжение которых не превышает 63 В. Маркировка наносится в виде цветных точек или полос .

Каждому цвету соответствует определенное цифровое значение. Маркировочные знаки на конденсаторах сдвинуты к одному из выводов и располагаются слева направо. Ширина полос, обозначающих величину ТКЕ, делается примерно в два раза больше других.



Расположение маркировочных знаков на керамических конденсаторах с номинальным напряжением до 63 В

Цвета, используемые для маркировки конденсаторов с номинальным напряжением до 63 В

Цвет	Номинальная емкость, пФ		Допуска- емое отклонение емкости, %	Номинальное напряжение, В
	первая и вторая цифры	множи- тель		
Черный	10	1	± 20	4
Коричневый	12	10	± 1	6,3
Красный	15	100	± 2	10
Оранжевый	18	1000	$\pm 0,25$	16
Желтый	22	10^4	$\pm 0,5$	40
Зеленый	27	10^5	± 5	25 или 20
Голубой	33	10^6	± 1	32 или 30
Фиолетовый	29	10^7	$-20...+50$	50
Серый	47	10^8	$-20...+80$	—
Белый	56	10^9	± 10	63
Золотистый	82	10^{-1}	—	1,5
Серебряный	68	10^{-2}	—	2,5

Конденсаторы с малой величиной допуска (0,1... 10 %) маркируются шестью цветовыми кольцами. Первые три кольца обозначают числовое значение емкости в пикофарадах, четвертое кольцо — множитель, пятое кольцо — допуск, шестое кольцо — ТКЕ. Конденсаторы с величиной допуска $\pm 20\%$ маркируются четырьмя цветовыми кольцами. Первые два кольца — числовое значение емкости в пикофарадах (ноль в третьем разряде не маркируется), третье кольцо — множитель, четвертое кольцо — ТКЕ. Величина допуска (пятое кольцо) не маркируется.

Цветная маркировка конденсаторов с малой величиной допуска

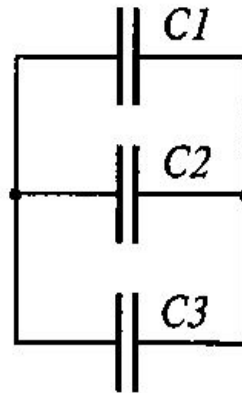
Цвет	Номинальная емкость, пФ			Множи- тель	Допуск, %	ТКЕ
	первая полоса	вторая полоса	третья полоса	четвертая полоса	пятая полоса	шестая полоса
Серебряный	—	—	—	10^{-2}	± 10	—
Золотой	—	—	—	10^{-1}	± 5	—
Черный	—	0	0	1	—	± 250
Коричневый	1	1	1	10	± 1	± 100
Красный	2	2	2	10^2	± 2	± 50
Оранжевый	3	3	3	10^3	—	± 15
Желтый	4	4	4	10^4	—	± 25
Зеленый	5	5	5	10^5	$\pm 0,5$	± 20
Синий (голубой)	6	6	6	10^6	$\pm 0,25$	± 10
Фиолетовый	7	7	7	10^8	$\pm 0,1$	± 5
Серый	8	8	8	10^9	—	± 1
Белый	9	9	9	—	—	—

Соединение конденсаторов

При отсутствии в ассортименте конденсаторов с требуемой номинальной емкостью используются конденсаторы с другими номинальными емкостями, соединенные определенным образом для обеспечения необходимой эквивалентной емкости.

На практике применяется параллельное и последовательное соединение конденсаторов.

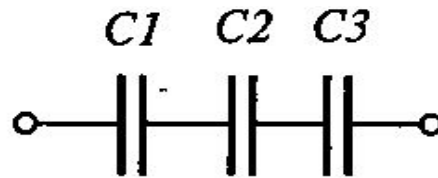
При **параллельном соединении** конденсаторов эквивалентная емкость равна сумме емкостей соединяемых конденсаторов: $C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$.



**Параллельное соединение конденса
торов**

Если требуется конденсатор с емкостью меньшей, чем есть в ассортименте, то необходимо использовать **последовательное соединение** конденсаторов . Так, например, если требуется емкость 0,5 мкФ, то можно использовать два последовательно соединенных конденсатора по 1 мкФ.

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



Последовательное соединение конденсаторов

Общая емкость более чем двух конденсаторов определяется по формуле

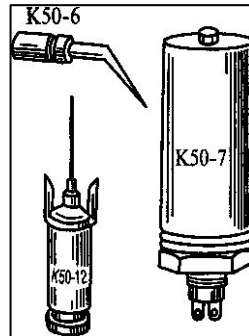
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Характеристики конденсаторов различных типов

Электролитические конденсаторы имеют две обкладки. Одна из них (анод) выполнена из фольги или в виде таблетки из специальных материалов, а другая (катод) представляет собой жидкий электролит или твердый полупроводник. В качестве диэлектрика используется оксидная тонкая пленка, электрохимически создаваемая на аноде.

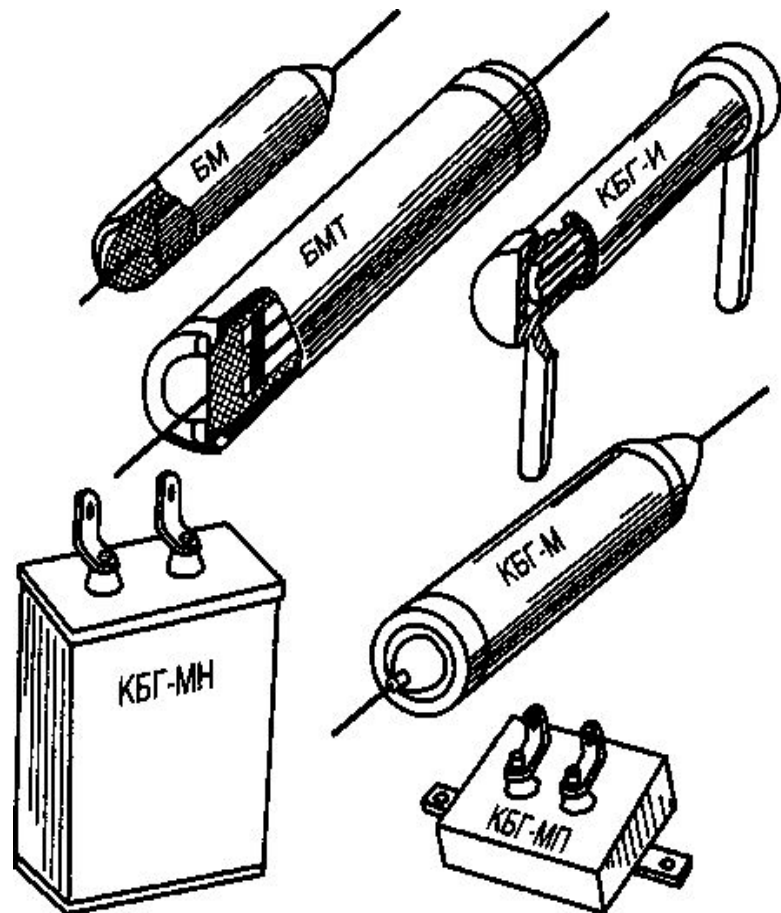
Преимуществом электролитических конденсаторов по сравнению с конденсаторами других типов является большая удельная емкость, а недостатком — значительное ее снижение при низкой температуре и увеличение тока утечки при высокой температуре.

Электролитические конденсаторы подразделяются на *полярные*, работающие только в цепях с постоянным или пульсирующим напряжением, и *неполярные*, используемые в цепях переменного тока.

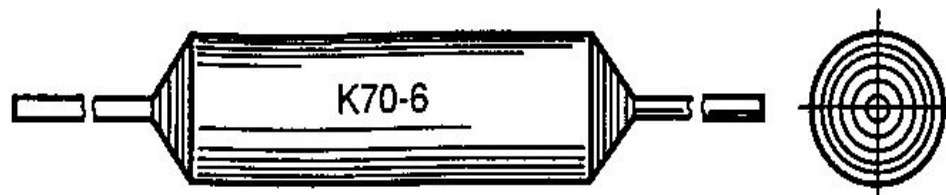


Электролитические конденсаторы

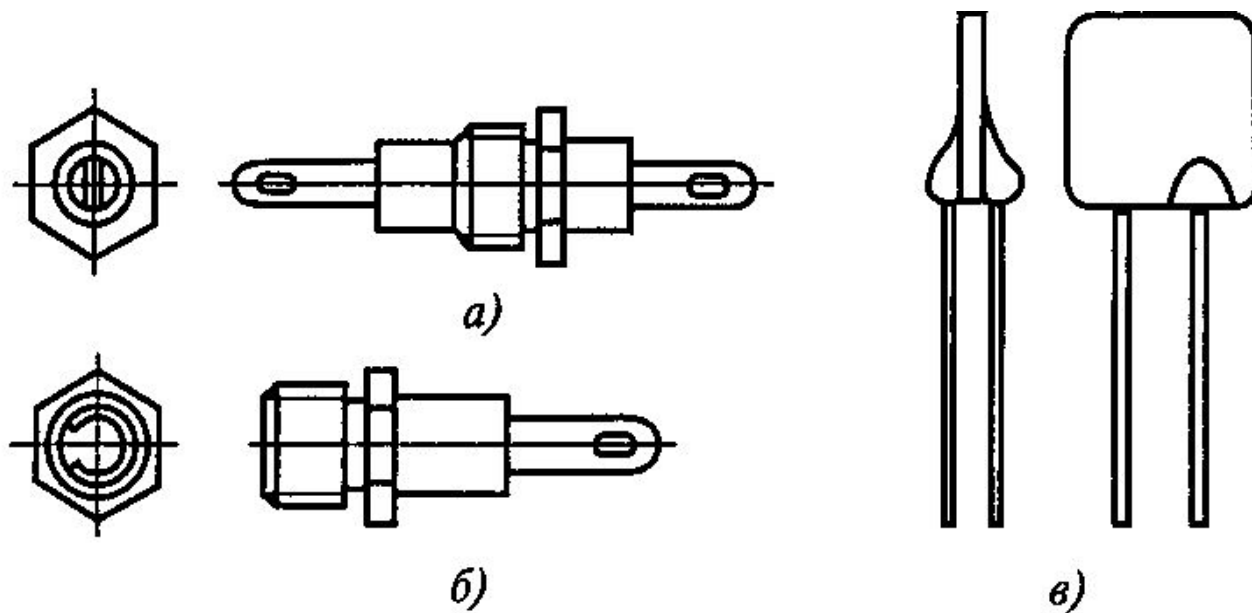
Бумажные и металlobумажные конденсаторы выполняются из мотка металлической фольги, перевитой специальной конденсаторной бумажной лентой, служащей диэлектриком. В металlobумажных конденсаторах в качестве диэлектрика применяют конденсаторную бумагу с односторонней металлизацией.



Пленочные конденсаторы. Диэлектриком в таких конденсаторах служит полистироловая пленка. Пленочные конденсаторы имеют марки ПМ, ПМ-1 и ПМ-2 и по внешнему виду напоминают конденсаторы марки БМ. Рассчитаны на напряжение 60 В. Внутренние потери в полистироловых конденсаторах значительно ниже, чем в бумажных, поэтому их применяют в высокочастотных цепях.

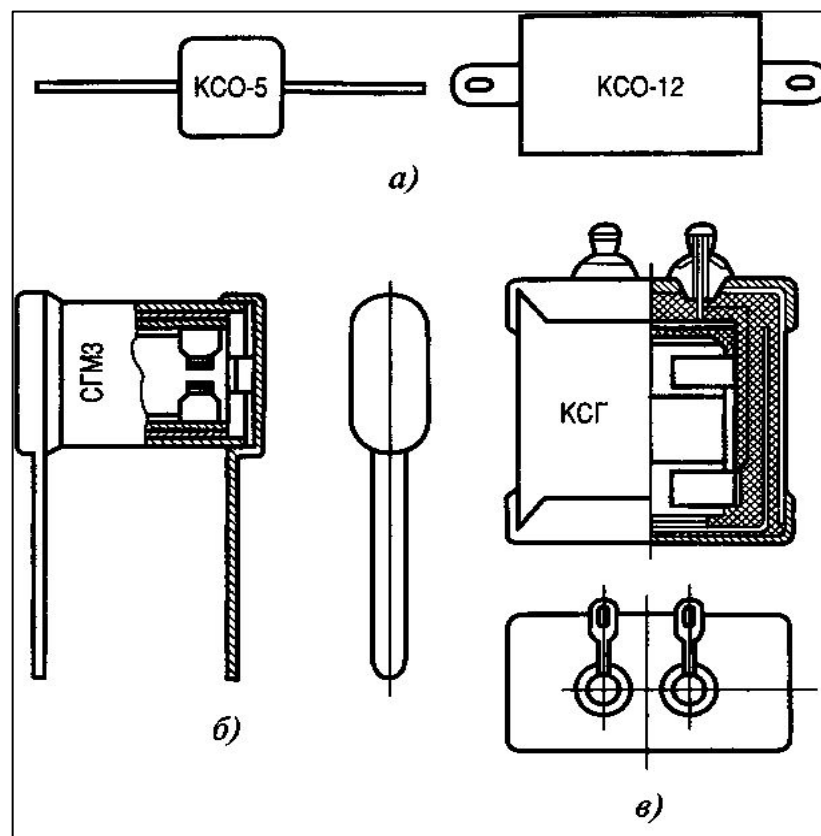


Керамические конденсаторы имеют керамический диэлектрик. В зависимости от электрических свойств керамики конденсаторы могут быть высокочастотными, низкочастотными, термостабильными и термокомпенсационными. Высокочастотная керамика (тиконд и др.) обладает малыми диэлектрическими потерями и невысокой диэлектрической проницаемостью (от 12 до 1500).



Керамические конденсаторы: а — проходной трубчатый КТП;
б — опорный КДО; в — пластинчатый К10-7

В **слюдяных конденсаторах** в качестве диэлектрика используют природный материал — слюду, обладающую высокими механической и электрической прочностью и относительно высокой диэлектрической проницаемостью. Промышленностью выпускаются слюдяные конденсаторы постоянной емкости КСО (рис *а*) и КСОТ, опрессованные пластмассой, а также герметизированные СГМ и СГМЗ (рис. *б*) в керамическом корпусе или КСГ (рис. *в*) и ССГ в металлическом корпусе.



Слюдяные конденсаторы

Подстроечные конденсаторы снабжены подвижной системой. Как и у конденсаторов переменной емкости, управление емкостью подстроечных конденсаторов осуществляется регулированием величины площади взаимного перекрытия обкладок. Как видно при повороте подвижной обкладки происходит изменение площади перекрытия, а вместе с ней и емкости конденсатора.

Подстроечные конденсаторы применяются в схемах колебательных контуров, где требуется точная установка резонансной частоты настройки. Номинальная емкость таких конденсаторов не превышает нескольких сотен пикофарад.

Конденсаторы переменной емкости (КПЕ) предназначены для перестройки частоты входных и гетеродинных контуров в радиоприемниках. На одном вале размещаются, как правило, роторы двух или трех переменных конденсаторов. В высококлассной радиоприемной аппаратуре применяются КПЕ с воздушным зазором между обкладками.

В малогабаритных приемниках используются двухсекционные КПЕ с твердым диэлектриком. Число пластин ротора и статора в каждой секции составляет 10... 15 шт. Это позволяет во много раз увеличить диапазоны регулировки между минимальными и максимальными значениями. На рис. 2.22 показаны переменные (КПК-М) и подстроечные (КТ4-2, КТ4-23) конденсаторы.

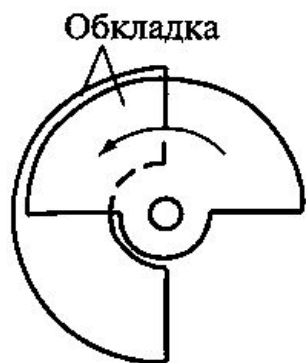


Рис. 2.21. Конструкция подстроечных конденсаторов

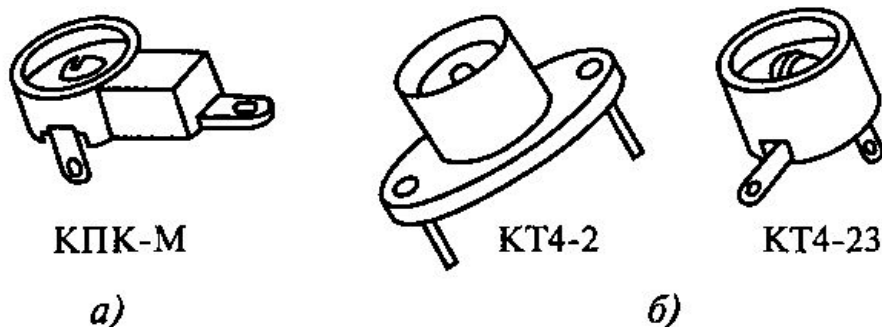


Рис. 2.22. Переменные (а) и подстроечные (б) конденсаторы

