

[Радиоматериалы и радиокомпоненты]

[210303.65 «Бытовая радиоэлектронная аппаратура»

210305.65 «Средства радиоэлектронной борьбы» ]

[ИИБС, кафедра Электроники]

[Преподаватель Останин Борис Павлович]

---

# Радиоматериалы и радиокомпоненты

---



Раздел 3  
Конденсаторы

Лекция 1

# КОНДЕНСАТОРЫ

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.

Количественная мера способности накапливать электрические заряды – ёмкость. Для простейшего воздушного конденсатора

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$$

$C_0$  - ёмкость конденсатора (Ф)

$\varepsilon_0$  - абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума (8,84 · 10<sup>-12</sup> Ф/м),

$S$  - площадь обкладок конденсатора (м<sup>2</sup>),

$d$  - расстояние между обкладками (м).

При этом на обкладках конденсатора будут электрические заряды

$$Q_0 = C_0 U$$

При наличии диэлектрика

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d}$$

$\varepsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика.

Если выразить ёмкость в пФ

$$C = 0,0884 \frac{\varepsilon S}{d}$$

$C$  - ёмкость конденсатора (пФ)

$S$  - площадь обкладок конденсатора (см<sup>2</sup>),

$d$  - расстояние между обкладками (см).

# Классификация конденсаторов

1. Конденсаторы общего назначения
2. Конденсаторы специального назначения

## 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.

### По назначению

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

### По характеру изменения ёмкости

1. Постоянные
2. Переменные
3. Подстроечные 22.. 33..

### По материалу диэлектрика

1. С твёрдым диэлектриком
2. С газообразным диэлектриком
3. С жидким диэлектриком

### По способу крепления

1. Для навесного и печатного монтажа
2. Для микромодулей и микросхем



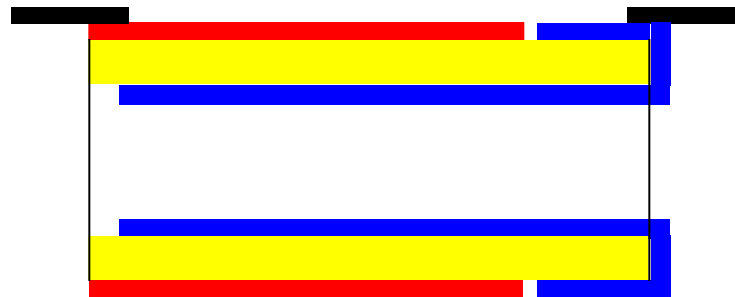
## *Конструкция конденсаторов*

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.

## Трубчатая конструкция

# ФОТО 1

Находится на «Конденсаторы фото»

## Трубчатая конструкция

# ФОТО 2

Находится на «Конденсаторы фото»

*Дисковая конструкция.* Высокочастотные керамические конденсаторы. На керамический диск с двух сторон наносятся серебряные обкладки. К ним присоединяются выводы.

## ФОТО 3

Находится на «Конденсаторы фото»

*Литая секционная конструкция.* Изготавливают путём литья горячей керамики. Толщина стенок около 100 мкм. Толщина прорезей между стенками 130...150 мкм. Потом заготовку окунают в серебряную пасту. После чего осуществляется вжигание серебра в керамику. В конденсаторах для гибридных ИМС гибкие выводы отсутствуют. Они присоединяются с помощью контактола.

*Литая секционная конструкция*

**ФОТО 4**

Находится на «Конденсаторы фото»



**Рулонная конструкция.** Применяется в бумажных плёночных низкочастотных конденсаторах, обладающих большой ёмкостью. У бумажных конденсаторов толщина бумажной ленты 5...6 мкм. Толщина металлической фольги 10..20 мкм. В металlobумажных конденсаторах вместо фольги применяют тонкую металлическую плёнку (толщина менее 1 мкм), нанесённую на бумажную ленту.

$$C = 0,1768 \frac{\varepsilon bl}{d}$$

- $b$  - ширина ленты,
- $l$  - длина ленты
- $d$  -толщина бумаги.

Ёмкость бумажных конденсаторов достигает 10 мкФ, металlobумажных - 30 мкФ.

## Рулонная конструкция

# ФОТО 5

Находится на «Конденсаторы фото»

***Конденсаторы гибридных ИМС.*** Это трёхслойная структура. На диэлектрическую подложку наносят металлическую плёнку, затем диэлектрическую плёнку и снова металлическую плёнку. Получается бутерброд, в середине которого металлическая плёнка.

В качестве конденсаторов полупроводниковых ИМС используют один из электроннодырочных переходов транзистора или МДП структуру, в которой роль одной обкладки выполняет полупроводниковая подложка, роль диэлектрика слой оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), роль другой обкладки – металлическая плёнка.

***Подстроечные конденсаторы.*** После регулировки их ёмкость должна сохраняться постоянной и не должна изменяться под воздействием ударов и вибраций. Они могут быть с воздушным или твёрдым диэлектриком. Минимальная ёмкость (плёнки не перекрыты) несколько пикофард, а максимальная (плёнки перекрыты) несколько десятков пФ.

## Подстроечные конденсаторы

# ФОТО5 и ФОТО 6

**ДВА ФОТО (КПК И С ВОЗДУШНЫМ ДИЭЛЕКТРИКОМ)**

Находится на «Конденсаторы фото»

*КПЕ*

КПЕ

**ФОТО 7**

Находится на «Конденсаторы фото»

## Параметры конденсаторов

### Основные

1. Номинальная ёмкость
2. Рабочее напряжение

Кроме того, конденсаторы характеризуются рядом паразитных параметров.

**Ёмкость конденсатора** – электрическая ёмкость между электродами конденсатора (ГОСТ 19880 – 74), определяемая отношением, накапливаемого в нём заряду 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  $C_{НОМ}$***   
- емкость, которую должен иметь конденсатор  
в соответствие с нормативной документацией  
(ГОСТ или ТУ).

Номинальные значения ёмкости  $C_{НОМ}$   
высокочастотных конденсаторов так же как и  
номинальные значения сопротивлений,  
стандартизованы и определяются рядами E6,  
E12, E24, E48, E96, E192. Смотри таблицу  
номинальных значений сопротивления  
резисторов.

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.

***Допустимое отклонение от номинала  $\Delta C$***   
характеризует точность значения ёмкости и  
определяется классом точности.

Класс	0,01	0,02	0,05	0	00	I	II	III	IV	V	VI
Допуск %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 20$	- 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

$$R_{ИЗ} = \frac{U}{I_{УТ}}$$

$U$  - 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  $25 \pm 10$  °С, относительная влажность 45...75 %, атмосферное давление 86...106 кПа).

С повышением температуры сопротивление изоляции уменьшается.

## *Частотные свойства*

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

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

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

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  $C$ ,  $L_C$ ,  $R_{II}$ . В большинстве случаев  $C_d$  уменьшается с ростом частоты во всём указанном диапазоне частот. Вблизи резонансной частоты она всегда уменьшается и стремится к нулю.



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

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

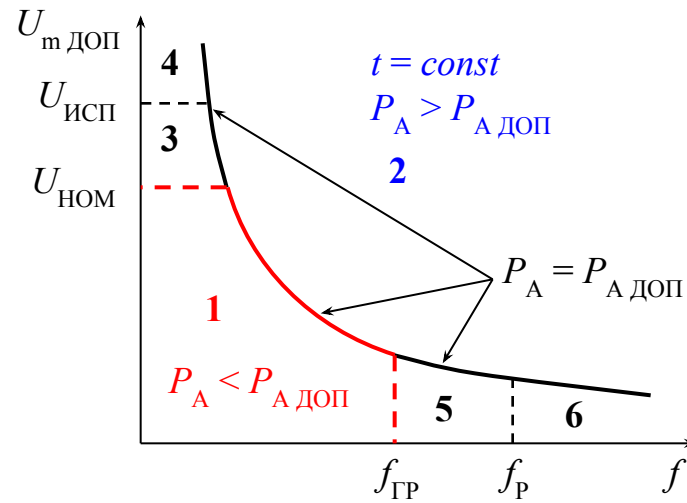
$Q_{P \text{ доп}}$  - допустимая реактивная мощность конденсатора, В · А

$f$  - 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

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. Н20  $\pm 20 \%$
2. Н30  $\pm 30 \%$
3. Н90 + 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  $tg\delta = 0,1 \dots 1,0$

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните устройство конденсатора.
2. Запишите формулу простейшего воздушного конденсатора.
3. Укажите классификацию конденсатор.
4. Укажите виды конструкций конденсаторов.
5. Укажите основные параметры конденсаторов.
6. Поясните, что называют ёмкостью конденсатора.
7. Укажите, какие факторы влияют на частотные свойства конденсаторов.
8. Укажите, от каких условий эксплуатации зависят свойства и срок службы конденсаторов.