

Н.Ю. Иванова
И.Э. Комарова
И.Б. Бондаренко



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Учебное пособие

ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТЫ ЧАСТЬ II ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ



Санкт-Петербург
2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Н.Ю. Иванова, И.Э. Комарова, И.Б. Бондаренко

ЭЛЕКТРОРАДИОЭЛЕМЕНТЫ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Учебное пособие

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург
2015

Иванова Н.Ю., Комарова И.Э., Бондаренко И.Б., Электрорадиоэлементы. Часть 2. Электрические конденсаторы.– СПб: Университет ИТМО, 2015. – 94с.

В учебном пособии описаны основные свойства таких электрорадиоэлементов, как электрические конденсаторы. Рассмотрена классификация конденсаторов, рассмотрен принцип работы, приведены параметры представителей как электроэлементов общего, так и специального назначения.

Работа предназначена для бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям подготовки: 211000 "Конструирование и технология электронных средств» и 090900 "Информационная безопасность". Пособие может использоваться специалистами и радиолюбителями, связанными с разработкой и эксплуатацией радиоэлектронной аппаратуры, систем автоматики и сбора данных.

Рекомендовано к печати на заседании Ученого совета факультета Компьютерных технологий и управления «20» января 2015г., протокол заседания № 1.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

©Университет ИТМО, 2015.
©Н.Ю. Иванова, И.Э. Комарова, И.Б. Бондаренко, 2015.

Содержание

	Стр.
Введение.....	4
1. Основные параметры и свойства конденсаторов.....	5
1.1. Общие свойства конденсаторов.....	5
1.2. Классификация конденсаторов.....	12
Контрольные вопросы.....	19
2. Конденсаторы постоянной емкости.....	20
2.1. Маркировка конденсаторов постоянной емкости..	20
2.2. Керамические конденсаторы.....	24
2.3. Стекланные и стеклокерамические конденсаторы.....	29
2.4. Слюдяные конденсаторы.....	31
2.5. Бумажные и металобумажные конденсаторы.....	32
2.6. Пленочные конденсаторы.....	34
2.7. Оксидные (электролитические) конденсаторы.....	47
2.8. Маркировка оксидных электролитических конденсаторов.....	60
Контрольные вопросы.....	62
3. Конденсаторы переменной емкости.....	63
3.1. Особые параметры.....	63
3.2. Подстроечные конденсаторы.....	63
3.3. Конденсаторы переменной емкости.....	64
3.4. Маркировка и представители.....	66
Контрольные вопросы.....	69
4. Особые виды конденсаторов.....	70
4.1. Ионисторы.....	70
4.2. Вариконды.....	78
4.3. Варикапы.....	81
4.4. Термоконденсаторы.....	85
Контрольные вопросы.....	87
Литература.....	88

Введение

Учебное пособие предназначено для бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям 211000 "Конструирование и технология электронных средств" и 090900 "Информационная безопасность". Пособие составлено в соответствии с программой курса "Электроэлементы и передача данных в компьютерных системах".

Конденсаторы относятся к изделиям массового производства электронной промышленности. Они составляют около четвертой части всех комплектующих компонентов электронной аппаратуры. Широкое использование конденсаторов обусловлено многообразием типов и подтипов, а также размеров, достигающих 530x360 мм, и массы – до 65 кг. С другой стороны это обстоятельство усложняет выбор электрического конденсатора для использования в конкретной схеме.

Хочется отметить, что пособие составлено не как справочник, поэтому приводятся основные параметры нескольких представителей электрических конденсаторов для количественного подтверждения основных свойств различных их типов без использования дополнительных источников информации. Пособие ни в коей мере не претендует на полноту сведений по электрорадиоэлементам.

Для более глубокого усвоения материала, а также для ознакомления с полным перечнем электрических конденсаторов, выпускаемых как отечественной, так и зарубежной электронной промышленностью, рекомендуется пользоваться литературой, указанной в конце учебного пособия.

Целью учебного пособия является знакомство с основными свойствами и параметрами различных типов электрических конденсаторов, а также с принципом их работы.

Пособие содержит краткие теоретические сведения, необходимые для успешного освоения дисциплины "Электроэлементы и передача данных в компьютерных системах", и является основным материалом для подготовки к лабораторным работам [1], их защиты и сдачи экзамена.

Авторы благодарят за помощь коллектив кафедры "Проектирования и безопасности компьютерных систем", а также студентов Университета ИТМО, принимавших активное участие при подготовке данного учебного пособия.

1. Основные параметры и свойства конденсаторов

Конденсатором называется система из двух или более проводников (обкладок), разделенных диэлектриком, предназначенная для использования ее электрической емкости. Доля конденсаторов в радиоэлектронной аппаратуре составляет около 25 % от всех элементов схемы.

1.1. Общие свойства конденсаторов

Параметры и свойства электроэлементов были описаны в [1].

1. Электрическая емкость – способность накапливать на обкладках конденсатора электрический заряд. Если взять две изолированные металлические пластины, расположенные на некотором расстоянии друг от друга, и зарядить их равными разноименными зарядами, то на одну из пластин при этом перейдет некоторый отрицательный заряд (добавится некоторое избыточное число электронов), а на другой появится равный ему положительный заряд (соответствующее число электронов будет удалено из пластины). Емкость характеризуется отношением заряда к величине напряжения на обкладках:

$$C = \frac{q}{U}.$$

Емкость зависит от геометрических размеров обкладок, толщины диэлектрика и его диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая проницаемость в свою очередь у конденсаторов постоянной емкости – константа, а у нелинейных конденсаторов – зависит от напряженности электрического поля.

Номинальная емкость – условное значение емкости, полученное на стадии проектирования, указываемое на корпусе электроэлемента или таре.

Указывается в единицах Фарад: нФ (nF), мкФ (μ F), пФ (pF). Для справки: емкость Земли составляет 708 мкФ. Промышленностью изготавливаются конденсаторы постоянной емкости от одного пФ до нескольких десятков тысяч мкФ. Номинальные значения емкости выбираются из рядов E3, E6, E12 и E24[1].

2. Удельная емкость определяется как отношение емкости к объему конденсатора:

$$C_{уд} = \frac{C}{V}, \left[\frac{\text{мкФ}}{\text{см}^3} \right].$$

У оксидно-полупроводниковых конденсаторов значение удельной емкости достигает 300 мкФ/см^3 .

Основные конструкции конденсаторов изображены на рисунке 1.1. Для каждой из них емкость определяется по определенной формуле.

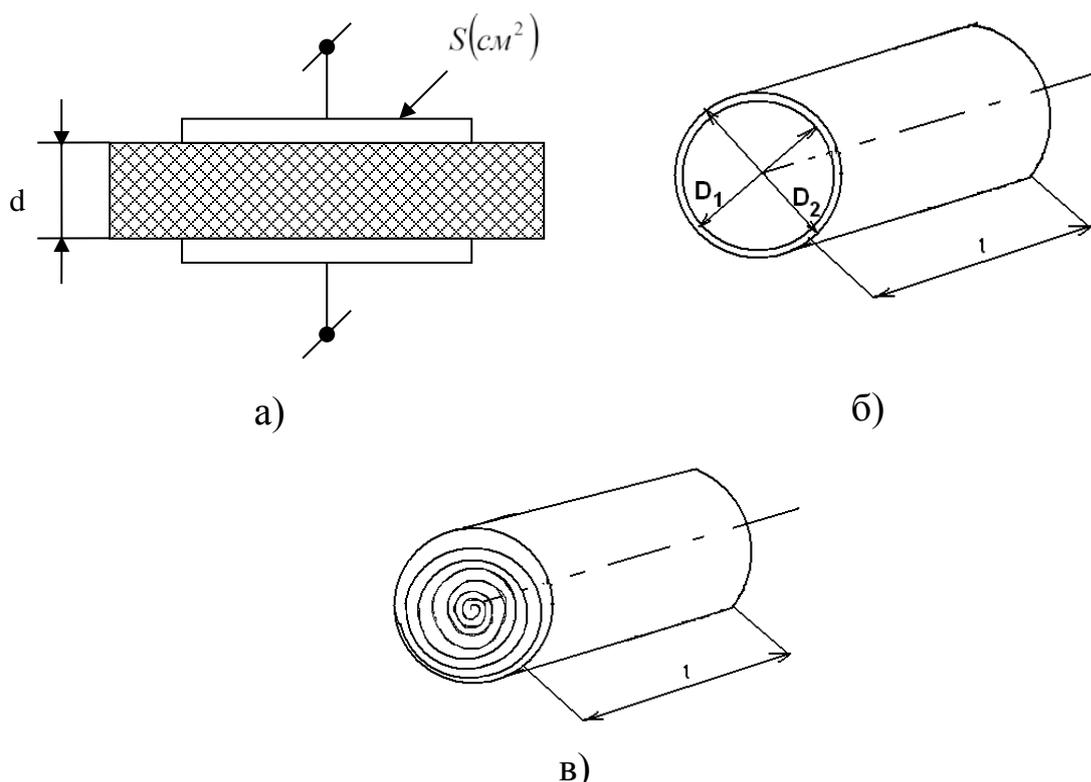


Рис. 1.1. Конструкции конденсаторов: а) пластинчатая; б) цилиндрическая; в) спиральная

3. Допускаемое отклонение фактической величины от номинальной называется допуском и указывается в процентах или с помощью класса точности, аналогично резисторам. То есть первому классу соответствует допустимое отклонение $\pm 5\%$, второму – $\pm 10\%$, третьему – $\pm 15\%$, четвертому – от минус 20% до 30% , пятому – от минус 20% до 50% и т.д. Классы точности и допуски регламентированы ГОСТ 9661-73 [2]. Конденсаторы первого класса точности используются в колебательных контурах и в ответственных цепях, а в развязывающих и блокирующих цепях достаточно использовать элементы третьего класса.

4. Электрическая прочность – важный параметр для конденсатора, зависящий от свойств и геометрических размеров диэлектрика. На корпусе или на упаковке указывается $U_{ном}$ –

максимальное (обычно постоянное напряжение), под которым при нормальных условиях (температура 15...25°C; влажность 45...75 %, давление 650...800 мм.рт.ст.) конденсатор может находиться в течение всего гарантированного срока службы. Электрическую прочность характеризуют также:

$U_{раб}$ — напряжение, при котором конденсатор может работать длительное время (до 10 тыс. часов). Для его определения необходимо использовать значение реактивной мощности при заданной емкости и частоте сигнала:

$$U_{дон} = \sqrt{\frac{P_{дон}}{2\pi f C}} .$$

При превышении значения $U_{дон}$ произойдет тепловой пробой конденсатора.

$U_{исп}$ — напряжение, которое конденсатор может выдержать без пробоя незначительное время (от 5 с до 1 мин);

$U_{проб}$ — минимальное напряжение, которое приводит к пробую.

Величина электрической прочности конденсатора в значительной мере определяется механизмом пробоя диэлектрика. При тепловом характере пробоя повышение температуры, частоты и напряжения снижает электрическую прочность конденсатора.

Наличие воздушных включений в диэлектрике и их ионизация под воздействием электрического поля приводит к местному перегреву и к снижению электрической прочности.

Помимо сквозного пробоя может наблюдаться и поверхностный. Для высоковольтных конденсаторов увеличивают закраины и изготавливают их специальной формы.

5. Собственная индуктивность — должна учитываться при использовании конденсаторов в индуктивно-частотных цепях, поскольку конденсаторы обладают кроме емкостного x_c еще активным r и индуктивным сопротивлением x_L . Индуктивное сопротивление создается за счет индукции внешних и внутренних соединительных проводников. Последовательная эквивалентная схема конденсатора изображена на рис. 1.2.

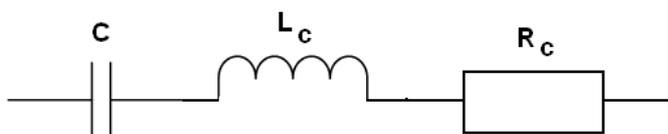


Рис. 1.2. Эквивалентная схема конденсатора

Зависимость полного сопротивления конденсатора от частоты имеет U-образный характер (рис. 1.3) и определяется соотношением:

$$Z = \sqrt{r^2 + (x_c - x_L)^2}.$$

При частоте выше резонансной:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_C C}},$$

конденсатор проявляет свойства индуктивности, поэтому рабочая частота должна быть в 2...3 раза меньше значения f_0 . Величина f_0 в основном зависит от собственной индуктивности конденсатора.

Наибольшими значениями f_0 и, следовательно, наименьшим значением L_C обладают керамические и некоторые виды слюдяных конденсаторов (3...10) 10^{-3} мкГн. Самым низким значением L_C обладают опорные дисковые керамические конденсаторы ($f_0=2000$ МГц). Собственная индуктивность снижается при уменьшении: размеров конденсаторной секции и длины внутренних соединений электроэлемента, длины выводов, а также при увеличении толщины выводов (лучше всего выводы, изготовленные в виде лент).

На практике для обеспечения работы блокировочных конденсаторов, у которых обкладки выполнены в виде длинных лент из фольги, свернутых вместе с диэлектриком в рулон круглой или иной формы, в широком диапазоне частот, параллельно бумажному подключают керамический или слюдяной конденсатор небольшой емкости.

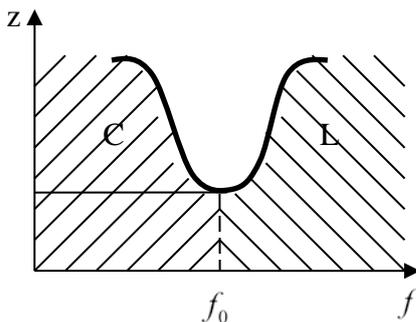


Рис. 1.3.

6. Параметры, характеризующие потери в конденсаторе.

а) Сопротивление изоляции. При подаче напряжения через диэлектрик конденсатора начинает протекать ток утечки, обусловленный наличием в материале свободных ионов, перемещающихся под действием электрического поля, а также

дефектами кристаллической решетки. Ток утечки замеряют после нахождения конденсатора под напряжением в течение одной минуты. Диапазон значений сопротивления изоляции: $10^3 \dots 10^4$ МОм. Оно зависит от температуры и относительной влажности и с повышением этих параметров сопротивление изоляции может уменьшаться на несколько порядков.

Например, у бумажных конденсаторов ток утечки составляет десятые доли мкА, а у слюдяных – единицы мА. Наличие тока утечки является причиной саморазряда конденсатора.

Скорость изменения напряжения (снижение) на выводах конденсатора в процессе саморазряда определяется постоянной времени:

$$\tau_C = R_{из} C, [МОм \cdot мкФ].$$

Постоянная времени τ_C численно равна количеству секунд, необходимых для того, чтобы напряжение на выводах конденсатора в процессе саморазряда упало до 37% от первоначального значения. Для различных типов конденсаторов величина τ_C различна. Например, у электролитических τ_C составляет несколько секунд, у керамических – несколько минут, у бумажных – несколько часов, у полистирольных и фторопластовых – несколько дней.

б) Добротность – характеристика потерь энергии в конденсаторе (суммарные потери в диэлектрике и металлических элементах). Добротность – величина, обратная тангенсу угла потерь:

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}.$$

На низких частотах определяющими являются потери в диэлектрике, на высоких – в металле. Потери зависят от температуры, влажности, частоты. Температурная зависимость потерь конденсатора определяется зависимостью потерь диэлектрика от температуры. С повышением температуры, частоты и влажности потери в диэлектрике и металле увеличиваются, так как возрастают потери на проводимость.

7. Параметры, характеризующие стабильность. Стабильность – это способность элементов сохранять свои первоначальные параметры в пределах, установленных ТУ и ГОСТ при воздействии внешних факторов. В первую очередь учитывается температура окружающей среды. Изменения, вызываемые колебанием температуры делятся на обратимые и необратимые. Обратимое изменение параметра – это такое, при котором параметр изменяется в

соответствии с изменением температуры, а после установления первоначальной температуры параметр возвращается к своему исходному значению. Такие изменения характеризуются температурным коэффициентом (ТК).

ТК показывает относительное изменение величины параметра при изменении температуры на 1 градус Цельсия (Кельвина):

$$TKE = \frac{\Delta C}{C_0 \cdot \Delta R}$$

Конденсаторы с линейной или близкой к ней зависимостью емкости от температуры разделены на группы по ТКЕ (табл. 1.1), а с нелинейной – на группы по допускаемому изменению емкости от температуры в % (табл. 1.2).

Таблица 1.1.

Группы конденсаторов по ТКЕ

Группа (обозначение)	ТКЕ при $t=20...85$ °С , $\times 10^{-6}$, 1/°С
П100 (П120)	+100 (+120)
П60	+60
П33	+33
МП0	0
М33	-33
М47	-47
М75	-75
М150	-150
М220	-220
М330	-330
М470	-470
М750 (М700)	-750 (-700)
М1500 (М1300)	-1500 (-1300)
М2200	-2200
М3300	-3300

Необратимые изменения – изменения при неоднократном воздействии температуры, когда параметр не возвращается к своему исходному значению при возвращении температуры к начальному значению. Они характеризуются коэффициентом температурной нестабильности (КТН).

КТН – относительное изменение параметра после изменений температуры:

$$KTNE = \beta_c = \Delta C / C$$

Таблица 1.2.

Группы конденсаторов по отклонению емкости

Группа (обозначение)	Отклонение в интервале рабочих температур, %
H10	±10
H20	±20
H30	±30
H50	±50
H70	±70
H90	±90

Необратимые изменения свидетельствуют о несовершенстве конструкции элемента, в котором могут возникать остаточные деформации и проявляться механизмы старения.

Для сохранения настройки колебательных контуров при работе в широком диапазоне температур используется последовательное и параллельное соединение конденсаторов, у которых ТКЕ имеют разные знаки. Благодаря этому при изменении температуры частота настройки такого термокомпенсированного контура останется практически неизменной.

8. Диэлектрическая абсорбция конденсаторов – явление, заключающееся в появлении напряжения на обкладках конденсатора после кратковременной разрядки конденсатора (рис. 1.4). Обуславливается замедленными процессами поляризации в диэлектрике. Напряжение $U_{ост}$ зависит от длительности зарядки t_1 , времени разряда и времени, прошедшего после этих процессов. Абсорбция диэлектрика конденсаторов характеризуется коэффициентом K_a , значения которого минимальны у полистирольных и фторопластовых конденсаторов 0,03...0,1 % и максимальны у керамических: 5...15 %. С повышением температуры окружающей среды значение K_a увеличивается.

9. Параметры, характеризующие надежность. 80% – отказов конденсаторов происходит из-за пробоя, 8% – из-за уменьшения емкости, 5% – из-за ухудшения изоляции, остальная часть – по другим причинам.

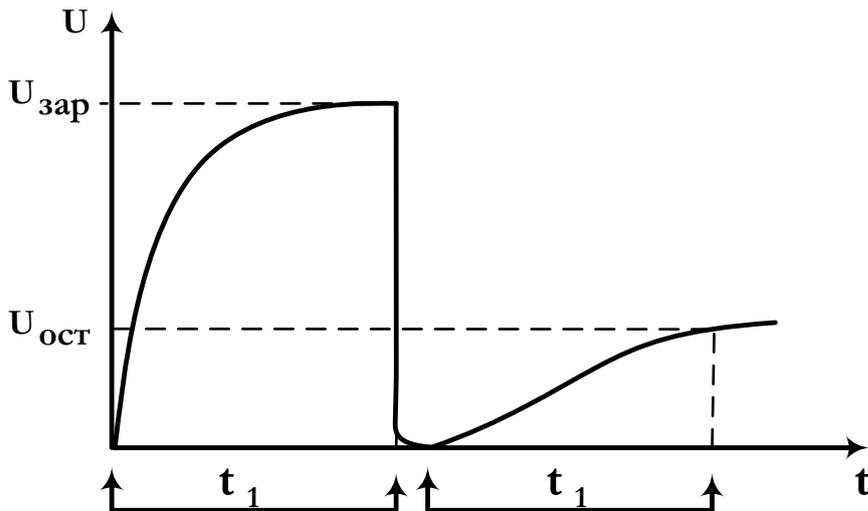


Рис. 1.4. Явление абсорбции конденсатора

1.2. Классификации конденсаторов

По характеру изменения емкости конденсаторы по аналогии с резисторами делятся на следующие виды: постоянной емкости, переменной емкости и подстроечные. На электрических схемах в зависимости от вида различается и обозначение конденсаторов (см. рис.1.5).

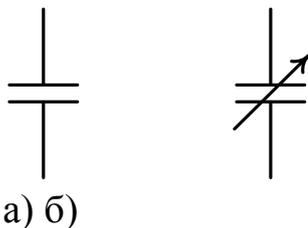


Рис. 1.5. Обозначение на электрической принципиальной схеме конденсаторов: а) – постоянной емкости; б) – переменной емкости и подстроечные

Конденсаторы с постоянной емкостью используются как элементы контуров в фильтрах вместе с катушками индуктивности и резисторами, для разделения сигналов, сглаживания колебаний напряжения и для блокировки.

Конденсаторы с переменной емкостью используются при настройке контуров и режимов работы схем при частых регулировках в процессе работы аппаратуры. Изменение емкости может осуществляться механически, с помощью приложенного напряжения (вариконды и варикапы) и температуры (термоконденсаторы).

Подстроечные конденсаторы используются при подгонке емкости до заданной величины в процессе настройки электронной аппаратуры.

Конденсаторы постоянной емкости и подстроечные стандартизованы ГОСТ, а переменной емкости – выпускаются по индивидуальным заказам.

Поскольку электрические свойства и область применения конденсаторов в основном определяется диэлектриком, разделяющим обкладки, то классификация производится по типу диэлектрика.

Буквенная кодировка обозначает тип, свойства и конструктивное исполнение конденсатора (см. табл. 1.3).

Например, КЛС – керамические литые секционные; КБГИ – конденсаторы бумажные герметизированные изолированные; МБГЧ – металобумажные герметизированные частотные; КЭГ – конденсаторы электролитические герметизированные и т.п.

В ГОСТ 13 453-68[3] введена система обозначений следующего вида:

К/КП/КТ □□□.

Первый элемент обозначает вид электроэлемента: К – конденсатор постоянной емкости, КП – переменной емкости, КТ – подстроечные.

Второй элемент – число, в котором закодирована группа конденсатора по типу диэлектрика и свойства электроэлемента (рассмотрены ниже).

Третий элемент – буква, обозначающая режим работы. Варианты:

П – для работы в цепях постоянного и переменного тока;

Ч – для цепей переменного тока;

У – в цепях постоянного и переменного импульсных токов (универсальные);

И – в импульсном режиме;

отсутствие буквы – для цепей постоянного и пульсирующего токов.

Четвертый элемент обозначает исполнение или номер разработки.

По типу диэлектрика конденсаторы делятся на следующие группы.

Группа

К10 – керамические низковольтные $U_{ном} < 1600$ В;

К15 – то же $U_{ном} > 1600$ В.

Таблица 1.3.

Типовые обозначения и маркировка конденсаторов

Свойство конденсатора	Маркировка	Расшифровка
1. Тип диэлектрика	Б	Бумажный
	МБ	Металлобумажный
	П	Пленочный
	МП	Металлопленочный
	С	Слюдяной
	К	Керамический
	Э	Электролитический
	Ф	Фторопластовый
2. Вид защиты от внешних воздействий	СК	Стеклокерамический
	О	Открытый или опрессованный
3. Конструктивные особенности	Г	Герметизированный
	Т	Трубчатый
	Д	Дисковый
	И	Пластинчатый или плоский
	Б	Бочоночный
	Г	Горшкообразный
	Ц	Цилиндрический
	М	Монолитный
4. Особенность	С	Секционный
	Л	Литой
	В	Высоковольтный
	Т	Термостойкий
	М	Малогобаритный
	П	Проходной
	Ч	Частотный
	У	Ультракоротковолновый
О	Объемно-пористый анод	
Т	Танталовый	

II группа

- К20 – кварцевые;
- К21 – стеклянные;
- К22 – стеклокерамические;
- К23 – стеклоэмалевые.

III группа

- К31 – слюдяные маломощные;
- К32 – слюдяные большой мощности.

IV группа

- К40 – бумажные с фольговыми обкладками $U_{ном} < 2000$ В;
- К41 – тоже $U_{ном} > 2000$ В;
- К42 – бумажные, с металлизированными обкладками.

V группа

- К50 – электролитические с алюминиевым анодом;
 - К51 – электролитические с фольгированными обкладками из тантала или ниобия;
 - К52 – электролитические, танталовые с объемно-пористым анодом;
 - К53 – электролитические, оксидно-полупроводниковые;
 - К54 – электролитические, оксидно-металлические;
- у 50, 51 типа – электролит пастообразный; у 52 – жидкий; у 54 электролита нет и они могут работать до 300...400°С.

VI группа

С воздушным диэлектриком. Применяются в мощных передающих устройствах.

- К60 – воздушные;
- К61 – вакуумные.

VII группа

- К70 – полистирольные с фольговыми обкладками;
- К71 – полистирольные с металлизированными обкладками;
- К72 – фторопластовые с фольговыми обкладками;
- К73 – с полиэтилентерефталатной пленкой (лавсан) и с металлизированными обкладками;
- К74 – то же, с фольговыми обкладками;
- К75 – комбинированные (лавсановая пленка и бумага);
- К76 – лакопленочные (пленка целлюлозы);
- К77 – поликарбонатные;
- К78 – полипропиленовые.

По назначению конденсаторы можно разделить на две группы:

– общего назначения, к которой относятся наиболее распространенные типы низковольтных конденсаторов, используемых в аппаратуре общего назначения, к параметрам которых не предъявляются жесткие требования;

– специального назначения: высоковольтные, высокочастотные, импульсные, помехоподавляющие, дозиметрические, пусковые и другие.

По способу монтажа конденсаторы могут быть предназначены для навесного монтажа или печатного. А выводы конденсаторов могут быть жесткие или мягкие; проволочные или ленточные, в виде лепестков, с кабельным вводом, в виде опорных проходных шпилек, опорных винтов и т.п.

Конденсаторы постоянной емкости в зависимости от применяемого диэлектрика подразделяются на конденсаторы с воздушным и с твердым диэлектриком. Конденсаторы с воздушным диэлектриком обладают большими размерами и высокой стоимостью. Находят в настоящее время ограниченное применение в контурах мощных радиопередатчиков и в промышленных генераторах высокой частоты (ВЧ).

В свою очередь конденсаторы с твердым диэлектриком делятся на: конденсаторы с органическим диэлектриком, к которым относится бумага, полистирол, фторопласт и другие органические пленки, нашедшие широкое применение в конденсаторостроении; и конденсаторы с неорганическим диэлектриком, к которым относятся керамика, стекло, стеклокерамика, слюда.

Конденсаторы с **органическим диэлектриком** изготавливают намоткой тонких длинных лент, а обкладки либо фольговые, либо напыляются. Эта группа конденсаторов обладает пониженной стабильностью параметров, высокими значениями потерь на переменном токе. Исключение составляют конденсаторы, изготовленные на основе неполярных пленок; для этой группы конденсаторов характерны емкости, достигающие нескольких десятков микрофард.

К низкочастотным пленочным относятся конденсаторы с диэлектриком из полярных и слабополярных пленок: бумажные, металобумажные, полиэтилентерефталатные, комбинированные, лакопленочные, поликарбонатные и полипропиленовые. Частота работы до 10^5 Гц.

К высокочастотным пленочным относятся конденсаторы на основе неполярных пленок: полистирольные и фторопластовые. Частота работы до 10^7 Гц.

В высоковольтных конденсаторах постоянного напряжения используется бумага, полистирол, политетрафторэтилен, полиэтилентерефталат, комбинированный состав. Импульсные высоковольтные конденсаторы производят на основе бумажного и комбинированного диэлектрика, они имеют относительно большое время заряда и малое время разряда. Высоковольтные конденсаторы должны иметь большое сопротивление изоляции и возможность быстро разряжаться.

Помехоподавляющие конденсаторы предназначены для ослабления электромагнитных помех в широком спектре частот. Они обладают малой собственной индуктивностью, из-за чего повышается резонансная частота и полоса подавляемых частот. Диэлектрик в таких конденсаторах бумажный, пленочный или комбинированный.

Дозиметрические конденсаторы работают с низким уровнем токовых нагрузок, но они должны обладать малым саморазрядом, большим сопротивлением изоляции, а, следовательно, большой величиной постоянной времени τ_C .

Пусковые конденсаторы используются в асинхронных двигателях, в которых конденсатор используется только в момент пуска двигателя.

Конденсаторы с **неорганическим диэлектриком** обладают высокой стабильностью параметров, повышенной диэлектрической проницаемостью, большой нагревостойкостью, механической прочностью, высокой химической стабильностью, но из-за больших габаритов не могут быть выполнены с большим значением номинальной емкости. Их предел – несколько тысяч пикофард. В эту группу входят низковольтные, высоковольтные и помехоподавляющие электроэлементы. Конденсаторы, используемые для работы в резонансных контурах должны иметь малые потери и высокую стабильность емкости (слюдяные и стеклоэмалевые, керамические и стеклокерамические), а для работы в фильтрах, блокировки и развязки – такие качества не требуются (керамические и стеклокерамические). Керамические конденсаторы с барьерным слоем имеют меньшее значение сопротивления изоляции и большее значение тангенса угла потерь, что ограничивает их использование на высоких частотах.

Помехоподавляющие конденсаторы предназначены для подавления индустриальных и высокочастотных помех, создаваемых промышленными и бытовыми приборами, т.е. они являются фильтрами нижних частот (ФНЧ). Они делятся на опорные (один из выводов – опорная пластина с резьбовым соединением) и проходные – коаксиальная конструкция у которой один из выводов представляет собой тонкий стержень, по которому протекает ток внутренней цепи.

В особую группу выделены конденсаторы с диэлектриком в виде оксидной пленки, образованной на поверхности металлических электродов. Это группа оксидных (электролитических) конденсаторов, которые обладают значительной емкостью, достигающей несколько сотен микрофарад, но имеют невысокую электрическую прочность и плохую стабильность емкости, поэтому они применяются только в цепях постоянного и пульсирующего токов.

По характеру защиты от внешних воздействий конструкции конденсаторов бывают:

- защищенные – допускается эксплуатация в аппаратуре любого конструктивного исполнения;
- незащищенные – допускают эксплуатацию в условиях повышенной влажности только в составе герметизированной аппаратуры;
- изолированные – с покрытием;
- неизолированные – не допускают касания корпуса к шасси прибора;
- уплотненные – имеют опрессовку органическими материалами;
- герметизированные – исключают взаимодействие частей конденсатора с окружающей средой. Герметичность обеспечивается при использовании металлических и керамических корпусов или запайкой конструкции в стеклянную колбу.

Запись в конструкторской документации (КД), например, К75-10-250В-0,1мкФ±5%-В-ОЖО.484.865 ТУ, состоит из сокращенного обозначения, значений основных параметров и характеристик электрического конденсатора.

Контрольные вопросы

1. Почему важно учитывать резонансную частоту конденсатора?
2. От каких параметров зависит электрическая прочность конденсатора?
3. Из-за чего происходят необратимые изменения емкости электрического конденсатора?
4. Как добиться термокомпенсации частотного контура, содержащего конденсаторы?
5. Чем объясняется абсорбция конденсаторов?
6. Почему конденсаторы с воздушным диэлектриком нашли ограниченное применение?
7. Почему необходимо снижать собственную индуктивность помехоподавляющих конденсаторов?
8. Для чего предназначены пусковые электрические конденсаторы?
9. Какой недостаток у керамических конденсаторов с барьерным слоем?
10. Как изготавливаются герметизированные конструкции электрических конденсаторов?

2. Конденсаторы постоянной емкости

2.1. Маркировка конденсаторов постоянной емкости

На конденсаторы достаточно большого размера маркируется тип, номинальная емкость, допуск или класс точности, номинальное напряжение, логотип завода-изготовителя, дата изготовления (месяц, год), номер партии. Если конденсаторы определенного типа выпускаются только одного класса точности, то отклонение не маркируется. С помощью цвета или специальных знаков кодируется ТКЕ. Маркировка конденсаторов стандартизирована [4-6]. В зависимости от размеров конденсаторов используется полная или сокращенная (кодированная) система.

Первый способ предусматривает использование двух или трех цифр и буквы, обозначающей множитель:

– для обозначения пФ: "р" или "П" (например, 5,6пФ=5р6=5П6);

– для нФ: "н" или "Н" (например, 150пФ=150р=n15=150П=Н15);

– для мкФ: "m" или "M"; (например, 2,2 мкФ=2m2=2M2);

– для мФ: "m" или "M";

– для Фарад: "F" или "Ф" (например, 220 мкФ=220m=m22=
=150M=И150).

Маркировка отклонений или соответствующих им классов точности, наносимых на корпус конденсаторов, приведены в таблице 2.1 [7].

Значение номинального напряжения конденсатора кодируется по аналогичному принципу: числу соответствует буква латинского алфавита (см. табл. 2.2).

Необходимо отметить, что кодированные значения номинальной емкости и допустимых отклонений маркируются одной строчкой без разделительных знаков. Далее проставляются коды в порядке, установленными ГОСТ и ТУ на конкретный вид конденсаторов. При этом год выпуска конденсаторов также кодируется двумя буквами латинского алфавита, либо буквой и арабской цифрой.

Основные параметры конденсаторов: номинал, допуск и номинальное напряжение могут быть закодированы цветовой маркировкой в виде колец (см. табл. 2.3). Это производится по аналогии с кодированием параметров резисторов, описанным в [1].

Таблица 2.1.

Соответствие отклонений классам точности, маркируемым на конденсаторах

Допустимое отклонение, %	Класс точности (новое/старое обозначение)	Допустимое отклонение, %	Класс точности (новое/старое обозначение)
±0,001	E/-	±5,0	J/И
±0,002	L/-	±10	K/С
±0,005	R/-	±20	M/В
±0,01	P/-	±30	N/Ф
±0,02	U/-	-10...+30	Q/-
±0,05	X/-	-10...+50	T/Э
±0,1	B/Ж	-10...+100	Y/Ю
±0,25	C/У	-20...+50	S/Б
±0,5	D/Д	-20...+80	Z/А
±1,0	F/Р	+100	-/Я
±2,0	G/Л		

Таблица 2.2.

Кодированные значения номинальных напряжений конденсаторов

$U_{ном}, В$	Обозначение	$U_{ном}, В$	Обозначение
1,0	I	63	K
1,6	R	80	L
2,5	M	100	N
3,2	A	125	P
4,0	C	160	Q
6,3	B	200	Z
10	D	250	W
16	E	315	X
20	F	350	T
25	G	400	Y
32	H	450	U
40	S	500	V
50	J		

Таблица 2.3.

Кодирование основных параметров конденсаторов с помощью
цветовой маркировки

Цвет полоски	Номиналь- ная емкость, пФ (первая полоса)	Множи- тель емкост и	Допусти- мое отклон ение, %	Номинально е напряжение, В
Серый	–	–	–	3,2
Черный	10	1	±20	4,0
Коричневый	12	10 ¹	±1	6,3
Красный	15	10 ²	±2	10
Оранжевый	18	10 ³	±0,25	16
Желтый	22	10 ⁴	±0,5	40
Зеленый	27	10 ⁵	±1,0	25
Голубой	33	10 ⁶	-20...+50	32
Фиолетовый	39	10 ⁷	-20...+80	50
Серый	47	10 ⁻²	±10	–
Белый	56	10 ⁻¹	–	63
Серебристый	68	–	–	2,5
Золотистый	82	–	–	1,5

Кроме отечественной маркировки, применяется способ цифровой кодировки номинальной емкости с помощью трех или четырех цифр (см. табл. 2.4) в соответствии со стандартом IЕС (Международной электротехнической комиссии) для импортной элементной базы. Первые две или три цифры обозначают значение емкости в пикофарадах, а последняя цифра – степень множителя 10 (количество нулей). При обозначении емкостей 1 пФ и менее первая цифра – "0" (то есть 010 обозначает 1 пФ), а при обозначении емкостей менее 10 пФ последней цифрой может быть "9" (например, "109" также обозначает номинал в 1 пФ). В качестве разделительной запятой используется "R" (например, запись "0R5" обозначает 0,5 пФ).

Для кодировки емкостей конденсаторов в микрофарадах применяются обозначения: "1" – 1 мкФ, "10" – 10 мкФ, "100" – 100 мкФ. В качестве разделительной запятой также используется буква "R": "R1" обозначает 0,1 мкФ, "R22" – 0,22 мкФ, "3R3" – 3,3 мкФ. При этом при обозначении емкости в мкФ перед буквой "R" цифра "0" не ставится (она указывается только при обозначении емкостей менее 1 пФ).

После обозначения емкости может маркироваться класс точности – буквенный символ.

Таблица 2.4.

Кодирование номиналов конденсаторов с помощью трех и четырех цифр

Цифровой код	Номинальная емкость, пФ	Цифровой код	Номинальная емкость, пФ
109	1,0	103	10000
159	1,5	153	15000
229	2,2	223	22000
339	3,3	333	33000
479	4,7	473	47000
689	6,8	683	68000
100	10	104	100000
150	15	154	150000
220	22	224	220000
330	33	334	330000
470	47	474	470000
680	68	684	680000
101	100	105	1000000
151	150	1622	16200
221	220	4753	475000
331	330		
471	470		
681	680		
102	1000		
152	1500		
222	2200		
332	3300		
472	4700		
682	6800		

ТКЕ, если он положительный, обозначается "Р", отрицательный – "N".

SMD-конденсаторы маркируются двумя (одной) буквами и цифрой. Первая буква, если она указана, обозначает код завода-изготовителя (например, "К" – Kemet). Вторая буква кодирует мантиссу (см. табл. 2.5), а цифра обозначает степень десятичного

основания в пФ. Например, маркировка "В3" обозначает $1,1 \times 10^3$ пФ или 1,1 нФ.

Таблица 2.5.

Кодирование мантиисы емкости SMD-конденсаторов

Код	Значение мантиисы	Код	Значение мантиисы
A	1,0	d	4,0
B	1,1	R	4,3
C	1,2	e	4,5
D	1,3	S	4,7
E	1,5	f	5,0
F	1,6	T	5,1
G	1,8	U	5,6
H	2,0	m	6,0
J	2,2	V	6,2
K	2,4	W	6,8
a	2,5	n	7,0
L	2,7	X	7,5
M	3,0	t	8,0
N	3,3	Y	8,2
b	3,5	y	9,0
P	3,6	Z	9,1
Q	3,9		

2.2. Керамические конденсаторы

Наибольшее распространение среди конденсаторов с неорганическим диэлектриком получили керамические конденсаторы. Составы керамических диэлектриков весьма разнообразны, что обеспечивает большой диапазоном изменения величины диэлектрической проницаемости ξ от 6 единиц до десятков тысяч и ТКЕ: $(-3,3 \dots 0,12) \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$. Составы подразделяются на ВЧ– тип I и НЧ – типы II и III. Первый тип имеет: малые потери, незначительную собственную индуктивность и нормированное значение ТКЕ. Конденсаторы II и III типов за счет большой диэлектрической проницаемости имеют значительную удельную емкость, но и большие потери.

Все керамические конденсаторы состоят из керамического диэлектрика, электродов, нанесенных путем вжигания металлов (в основном благородных – серебро, платина, палладий), припаянных выводов и защитного покрытия. Для этого типа конденсаторов используется пластинчатая конструкция электродов, при этом можно получить лишь незначительную емкость. Один из способов увеличения площади обкладок керамических конденсаторов реализуется в пакетной конструкции (рис. 2.1). Она применяется также в слюдяных, стеклоэмалевых и стеклокерамических конденсаторах. На тонкую основу 1 толщиной 0,015...0,025 мм напыляется металл, который образует обкладки 2 к которым присоединяются полоски фольги 3. Такие полоски служат для образования общего контакта. Пакет собирается и спрессовывается обжимами 4, к которым присоединяются гибкие выводы 5. Вся конструкция покрывается влагозащитной эмалью. Количество пластин может достигать 100 штук. Такой пакет можно изготовить и с помощью групповой технологии, суть которой в следующем. На сырые керамические пленки наносится металлосодержащая паста, после чего формируют пакеты и обжигают их при температуре 1100...1450 °С. В связи с тем, что температура обжига велика, то необходимо использовать металлы с высокой температурой плавления (платина, палладий). Это увеличивает стоимость готовых конденсаторов, поэтому такие модели электроэлементов используются только в ответственных случаях.

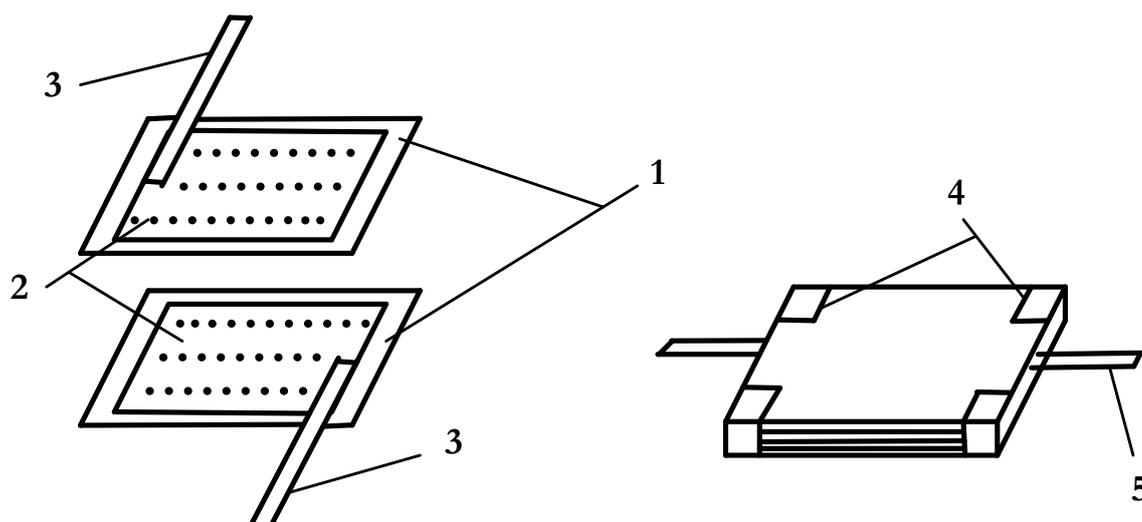


Рис. 2.1. Пакетная конструкция конденсаторов

Обозначались конденсаторы такой конструкции маркировкой КМ – керамические монолитные, а в случае одной секции: КП – керамические пластинчатые. Параметры конденсаторов с пакетной

конструкцией приведены в таблице 2.6, а с пластинчатой и секционной – в таблице 2.7[8]. Пластинчатые конденсаторы с керамическим диэлектриком могут иметь форму диска или прямоугольную конструкцию.

Таблица 2.6.

Параметры некоторых представителей керамических монолитных конденсаторов

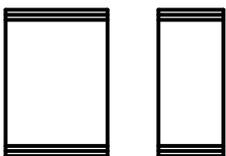
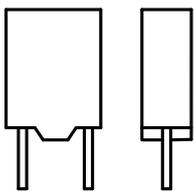
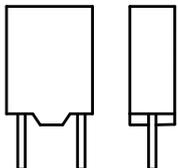
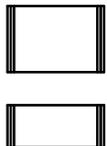
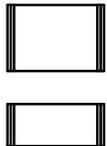
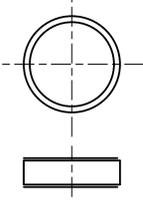
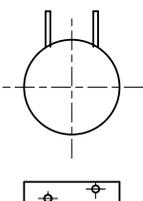
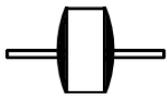
Тип	Параметр	Значение
К10-9 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	5,6 пФ...6,8 мкФ
	Отн. влажность	До 80 %
	Масса	До 1г
	ТКЕ	М1500...П33; Н20, Н30, Н90
К10-17 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	5,6 пФ...6,8 мкФ
	Отн. влажность	До 80 %
	$U_{ном}$	До 100 В
	Масса	До 2 г
	ТКЕ	М1500...П33; Н50,Н90
К10-23 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	2,2 пФ...0,033 мкФ
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 16 В
	Масса	До 1 г
	ТКЕ	М1500...П33; Н30
К10-52 	$t_{окр.ср.}$	-60...+315°C
	$C_{ном}$	10...7500 пФ
	Отн. влажность	До 80 %
	$U_{ном}$	До 100 В
	Масса	До 1 г
	ТКЕ	М47, П120
К10-42 СВЧ 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	1 пФ...22пФ
	Отн. влажность	До 80 %
	$U_{ном}$	До 50 В
	$f_{раб}$	До 2 ГГц
	Масса	До 0,1 г

Таблица 2.7.

Параметры некоторых представителей керамических пластинчатых и секционных конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
К10-18 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	1...2200пФ
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 500 В
	Масса	До 1,5 г
	ТКЕ	М1300...П100; Н70
К10-19 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	1...2200 пФ
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 160 В
	Масса	До 1 г
	ТКЕ	М1500...П33; Н70
КЛС литой секционный 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	8,2 пФ...0,068мкФ
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 200 В
	Масса	До 1,8 г
	ТКЕ	М1500...М47; Н30...Н90

Секционная конструкция (рис. 2.2) позволяет увеличить емкость керамических конденсаторов за счет увеличения площади обкладок. Такие конденсаторы изготовляют путем литья горячей керамики, в результате чего получают керамическую заготовку с толщиной стенок около 100 мкм и прорезями (пазами) между ними, толщина которых порядка 130...150 мкм. Затем эта заготовка окунается в серебряную пасту, которая заполняет пазы, после чего осуществляют вжигание серебра в керамику. В результате образуется две группы серебряных пластин, расположенных в пазах керамической заготовки, к которым припаиваются гибкие выводы. Снаружи вся структура покрывается защитной краской.

Конденсаторы с трубчатой конструкцией используются для работы на высоких частотах и представляет собой керамическую трубку с толщиной стенок около 0,25 мм, на внутреннюю и внешнюю поверхность которой методом вжигания нанесены серебряные

обкладки. Для присоединения гибких проволочных выводов внутреннюю обкладку выводят на внешнюю поверхность трубки и создают между ней и внешней обкладкой изолирующий поясок, снаружи на трубку наносится защитный состав.

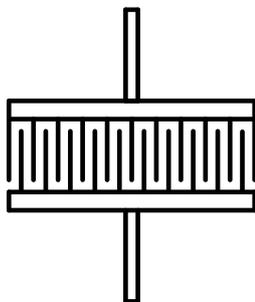


Рис. 2.2. Секционная конструкция конденсаторов

С изменением состава керамики меняются параметры конденсаторов. Например, зарубежные керамические SMD-конденсаторы в зависимости от типа керамики, образуют следующие основные группы[9]:

- NPO (COG) – высокостабильный керамический диэлектрик 1-го класса по стандартам EIA, обладающий хорошей температурной стабильностью (ТКЕ линейный и близкий к нулю), электрические параметры не зависят от времени, напряжения и частоты сигнала, но имеющий низкую диэлектрическую проницаемость. SMD-конденсаторы больших номиналов, изготовленные с применением этого диэлектрика, наиболее дорогостоящие. Конденсаторы этой группы применяются в радиочастотных генераторах, точных таймерах, в ультрастабильных и прецизионных электронных устройствах.

- X7R – материал 2-го класса по EIA, имеет более высокую диэлектрическую проницаемость, но меньшую температурную стабильность (ТКЕ $\pm 15\%$). Электрические параметры прогнозируемо зависят от времени, напряжения и частоты сигнала. Конденсаторы с этим типом диэлектрика используются в радио, телеприемниках, компьютерах, аудио и видеотехнике в качестве развязывающих, шунтирующих, фильтрующих и защитных элементов, где небольшое изменение емкости при изменении температуры не является критичным.

- Z5U (ТКЕ $-56...+22\%$).

- Y5V (ТКЕ $-82...+22\%$).

Диэлектрики последних двух групп – это материалы общепромышленного назначения 3-го класса стабильности. Имеют

очень высокую диэлектрическую проницаемость, что позволяет изготовить конденсаторы с большими значениями номинальной емкости, но разброс параметров таких электроэлементов значителен. Конденсаторы с диэлектриками этих типов применяются в фильтрах и развязывающих схемах радиоустройств.

Конденсаторы с диэлектриками NPO (COG) и X7R в SMD исполнении рассчитаны на напряжение 16...10 000 В.

В кодировке типа керамики согласно стандарту EIA используется три символа. Первый и второй обозначают нижний и верхний температурный диапазон работы электроэлемента, а третий – допустимое отклонение (см. табл. 2.8).

Таблица 2.8.

Кодирование типа керамики по стандарту EIA

Рабочий диапазон температур, °С				Допускаемое отклонение емкости	
Первый символ	Нижний предел	Второй символ	Верхний предел	Третий символ	Допуск, %
Z	+10	2	+45	A	±1,0
Y	-30	4	+65	B	±1,5
X	-55	5	+85	C	±2,2
		6	+105	D	±3,3
		7	+125	E	±4,7
		8	+150	F	±7,5
		9	+200	P	±10
				R	±15
				S	±22
				T	-33...+22
				U	-56...+22
				V	-82...+22

Керамические НЧ конденсаторы (группы "Я" по ТКЕ табл. 2.1) применяют в качестве шунтирующих, блокировочных, фильтровых, а также для связи между каскадами на низкой частоте.

2.3. Стекланные и стеклокерамические конденсаторы

К группе стекланных конденсаторов можно отнести конденсаторы, диэлектриком в которых служит стекло, стеклокерамика и стеклоэмаль. По своим характеристикам эти

конденсаторы близки к керамическим и могут эксплуатироваться в цепях постоянного, переменного, пульсирующего и импульсного тока. Достоинства стеклянных конденсаторов:

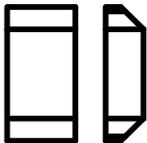
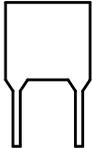
- диэлектрик обжигается при более низких температурах (500...750 °С);
- для электродов применяются менее дефицитные металлы – алюминий, серебро;
- высокая теплостойкость;
- не требуют защиты от влаги.

Для изготовления берется основа – тонкий лист стекла, который нарезается на заготовки. Их перекладывают фольгой и кладут на покровное стекло, спекают, а затем режут алмазным кругом.

Параметры некоторых представителей стеклянных и стеклокерамических конденсаторов приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9.

Параметры некоторых представителей стеклянных и стеклокерамических конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
<p>СКМ-1</p> <p>С разнонаправленными выводами или безвыводные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+100°С
	$C_{ном}$	10...1500 пФ
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 250 В
	Масса	До 1,5 г
	ТКЕ	МПО, М47, М330, Н30
<p>К 22-4</p> <p>незащищенные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°С
	$C_{ном}$	33 пФ...0,12 мкФ
	Отн. влажность	До 80 %
	$U_{ном}$	До 25 В
	Масса	До 2,5 г
	ТКЕ	М75, М470, Н10
<p>К 22-5</p> <p>Изолированные и неизолированные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°С
	$C_{ном}$	75 пФ...0,12 мкФ
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 25 В
	Масса	До 4 г
	ТКЕ	М75, М47, Н10

2.4. Слюдяные конденсаторы

Слюда – природный материал, способный расщепляться на тонкие пластинки толщиной до 0,001 мм. Конструкция таких конденсаторов – многослойная. Слюдяные конденсаторы обладают следующими достоинствами:

- простота технологии изготовления (не требуется обжиг);
- высокая удельная емкость по сравнению с керамическими конденсаторами из-за большой величины диэлектрической проницаемости;
- высокая электрическая прочность;
- устойчивость к коронным разрядам;
- высокая стабильность параметров при эксплуатации и хранении;
- малые потери.

Недостатками являются:

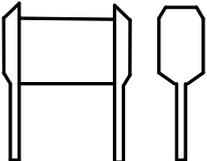
- зависимость емкости от силы тока;
- большие габариты и масса;
- сложно прогнозируемое поведение слюды в электрическом поле;
- относительно высокая стоимость.

Обкладки могут быть фольговые или изготавливаться напылением металла.

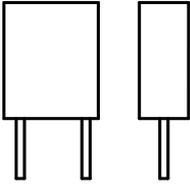
Из-за больших массогабаритных параметров нашли ограниченное применение. Параметры некоторых представителей слюдяных конденсаторов приведены в таблице 2.10. Конденсаторы СГМ, КСО, КСГ, КЗ1-10 и КЗ1-11 предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов.

Таблица 2.10.

Параметры некоторых представителей слюдяных конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
СГМ-1...4 Герметизированные малогабаритные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	51...10 000 пФ
	Допуск	(±0,3... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 1600 В
	Масса	До 11 г
	ТКЕ, $\times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$	±50; ±200

Продолжение таблицы 2.10.

<p>К 31-10</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	50...10 000 пФ
	Допуск	(±0,25...±10) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 100 В
	Масса	До 2 г
	ТКЕ, $\times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$	33±30
<p>К 31-11 округленные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	51...10 000 пФ
	Допуск	(±2...±20) %
	Отн. влажность	До 80 %
	$U_{ном}$	До 500 В
	Масса	До 6 г
	ТКЕ, $\times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$	±50; ±100; ±200

2.5. Бумажные и металобумажные конденсаторы

Основа конструкции таких конденсаторов – конденсаторная секция в виде смотанных в спираль двух металлических лент – обкладок с проложенными между ними одной или несколькими лентами бумаги, пропитанными трансформаторным маслом, воском, эпоксидной смолой, вазелином, церезином. Секции могут быть цилиндрические и плоскопрессованные. Цилиндрическая конструкция изготавливается для односекционных конденсаторов небольшой емкости с низким рабочим напряжением, а плоскопрессованная применяется в корпусах в виде параллелепипеда, при этом конденсаторные секции лучше заполняют корпус [10].

Взаимное расположение обкладок и бумаги в секции может быть различным (рис. 2.3). Наиболее распространенной является обычная конструкция, рис. 2.3 (а) – со скрытой фольгой. Конструкция (б) – безындукционная, служит для уменьшения собственной индукции и обеспечивает более надежную работу при малых напряжениях (до 1 В), т.к. выводы припаиваются к выступающим у торцов секций краям обкладок. Конструкция на рис. 2.3(в) – проходная.

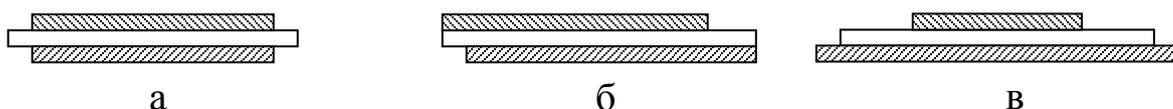


Рис. 2.3. Варианты взаимного расположения обкладок и диэлектрика

Для существенного снижения индуктивности конденсатора используется технология нанесения расплавленного цинка на боковые кромки фольги для соединения всех точек обкладки; в результате чего образуются эквипотенциальные поверхности при изготовлении спиральной конструкции конденсатора.

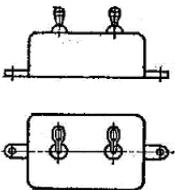
Секции при любой конструкции должны иметь закраину – полосу диэлектрика, не покрытую фольгой. Ее размер зависит от величины рабочего напряжения.

В бумажных конденсаторах между слоями фольги располагаются несколько слоев конденсаторной бумаги, чтобы исключить ее сквозной пробой через различные дефекты: неоднородности материала, поры, токопроводящие включения, а также влагу, попадающие в зазоры между обкладкой и диэлектриком. Бумажные конденсаторы используются в шунтирующих и помехоподавляющих схемах, в качестве шунтирующих элементов, – там, где требуется длительная работа под нагрузкой, небольшая точность и стабильность емкости. По конструкции бывают цилиндрические: БМ, БМТ, ОКБГ, К40-11 и другие модели, а также прямоугольные: КБГ, К40У-5 и др. Использование фольговых обкладок увеличивает нагрузочную способность конденсаторов по току, но и уменьшает их удельную емкость.

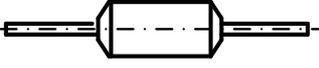
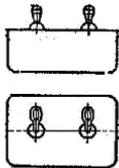
Параметры некоторых представителей бумажных конденсаторов приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11.

Параметры некоторых представителей бумажных конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
КБГ Герметизированные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+70°C
	$C_{ном}$	(0,1...2)мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 1500 В
	Масса	До 150 г

Продолжение таблицы 2.11.

БМ (БМТ) малогабаритные (и термостойкие) 	$t_{окр.ср.}$	-60...+100°C
	$C_{ном}$	1000 пФ...0,25 мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 630 В
	Масса	До 20 г
К40-11 Герметизированные 	$t_{окр.ср.}$	-15...+50°C
	$C_{ном}$	0,22...2 мкФ
	Допуск	(±10; ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 200 В
	Масса	До 75 г

Бумажные конденсаторы могут иметь многосекционное исполнение – до трех отдельных секций с различными вариантами соединений (КБГ-МП). Количество выводов тогда возрастает до трех, не считая вывода корпуса.

В металlobумажных конденсаторах на конденсаторную бумагу методом вакуумного испарения наносится слой металла (Al, Zn) толщиной 0,03...0,05 мкм, за счет этого увеличивается удельная емкость и исключены зазоры. В таких электроэлементах используется только один слой бумаги, т.к. при ее пробое (из-за малой толщины обкладок) происходит самовосстановление емкости конденсатора.

Быстродействующий процесс ($10^{-6}...10^{-5}$ с) заключается в прогорании металла в точке пробоя диэлектрика и, таким образом, в самоликвидации короткого замыкания. Конструкции металlobумажных конденсаторов также можно разделить на цилиндрические: МБМ, МБГЦ, К42-2, К42-4, К42-11 и др. и прямоугольные: МБГТ, МБГП, МБГО и др. Параметры некоторых металlobумажных конденсаторов приведены в таблице 2.12.

2.6. Пленочные конденсаторы

Диэлектриком в пленочных и металlopленочных конденсаторах служат синтетические пленки. Такие диэлектрики можно разделить на четыре группы: неполярные, полярные, комбинированные и лакопленочные. Так как свойства материалов диэлектриков можно

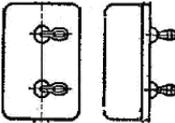
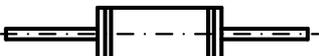
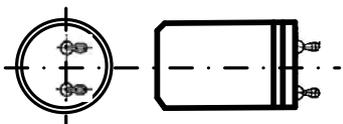
изменять в широких пределах, то пленочные конденсаторы характеризуются:

- большим сопротивлением изоляции;
- большой величиной постоянной времени;
- высокой термостойкостью;
- малыми потерями (на порядок меньшими, чем у бумажных конденсаторов).

Рассмотрим основные подвиды пленочных конденсаторов.

Таблица 2.12.

Параметры некоторых представителей бумажных конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
МБГТ, К42-4 Герметизированные, термостойкие 	$t_{окр.ср.}$	-60...+100°C
	$C_{ном}$	(0,1...30) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 80 %
	$U_{ном}$	До 1000 В
	Масса	До 1,35кг
К42-11 	$t_{окр.ср.}$	-60...+70°C
	$C_{ном}$	(3,3...10) мкФ
	Допуск	(±10; ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	125 В
	Масса	До 70 г
МБМ малогабаритный 	$t_{окр.ср.}$	-60...+70°C
	$C_{ном}$	(0,0051...1) мкФ
	Допуск	(±10; ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 1500 В
	Масса	До 25 г
К42-19 	$t_{окр.ср.}$	-25...+55°C
	$C_{ном}$	(1...20) мкФ
	Допуск	(±10; ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 500 В
	Масса	До 740 г

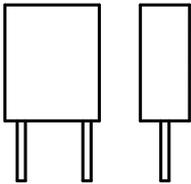
а) **Полистирольные.** Такие конденсаторы могут работать на постоянном токе, на токах высокой частоты и в импульсных режимах. Достоинствами полистирольных конденсаторов являются:

- наибольшие значения номинальной емкости среди пленочных;
- хорошие частотные характеристики;
- малая величина потерь (тангенс угла потерь не больше 0,0005);
- большое сопротивление изоляции (до 0,1 ГОм);
- низкий коэффициент абсорбции электрических зарядов (0,01...0,1%);
- высокая стабильность параметров;
- высокая точность изготовления;
- невысокая стоимость.

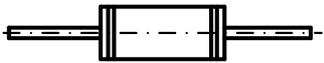
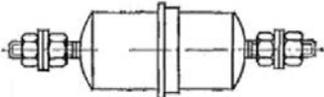
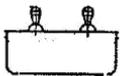
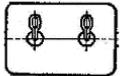
Основными представителями полистирольных конденсаторов являются типы К70 – с фольговыми обкладками и К71 – с металлизированными. С особыми свойствами можно выделить конструкции: ОППТ – особый полистирольный проходной термостойкий (для подавления радиопомех), ПО и МПО – открытые, ПМ – малогабаритный, ПОВ – высоковольтный, МПГО – герметизированный с однослойной изоляцией. Параметры основных представителей пленочных полистирольных конденсаторов сведены в таблицу 2.13.

Таблица 2.13.

Параметры основных представителей полистирольных конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
К71-5, К71-6 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	0,012 мкФ...10 мФ
	Допуск	(±0,5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 300 В
	Масса	До 30 г

Продолжение таблицы 2.13.

К70-3, К70-6, ПО, ПМ фольговые 	$t_{окр.ср.}$	-40...+85°C
	$C_{ном}$	22 мкФ...100мФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 80 %
	$U_{ном}$	До 1600 В
	Масса	До 10 г
ОППТ фольговый 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	(0,1...0,25) мкФ
	Допуск	От -10% до 100%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	50 В
	Масса	До 200 г
К70-4, К70-7, МПО, МПГО металлопленочный  	$t_{окр.ср.}$	-60...+60°C
	$C_{ном}$	15нФ...10 мкФ
	Допуск	(±0,25... ±20) %
	Отн. влажность	До 85 %
	$U_{ном}$	До 1600 В
	Масса	До 1,6 кг

Используются в точных временных цепях, интегрирующих устройствах, в контурах с высокой добротностью, в магазинах.

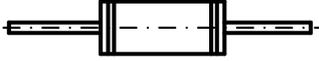
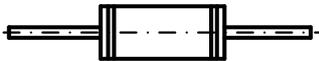
б) **Фторопластовые.** Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного, пульсирующего тока и в импульсном режиме. В основном область применения фторопластовых конденсаторов – ВЧ устройства и дозиметры. По свойствам близки к полистирольным конденсаторам, но обладают дополнительными достоинствами:

- повышенная рабочая температура (до 200 °С);
- емкость не зависит от частоты вплоть до десятков МГц;
- малый ток утечки;
- хорошие электрические характеристики в широком интервале температур и частот.

Параметры основных представителей пленочных фторопластовых конденсаторов сведены в таблицу 2.14. Дозиметрические конденсаторы с фторопластовым диэлектриком работают в цепях постоянного тока.

Таблица 2.14.

Параметры основных представителей фторопластовых конденсаторов

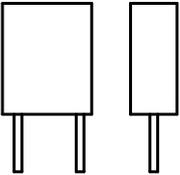
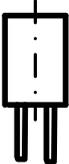
Тип	Параметр	Значение
К72-6, К72-9 Герметизированные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+200°C
	$C_{ном}$	(0,00047...2,2) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 1600 В
	Масса	До 650 г
К72-11, 11А Герметизированные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+100°C
	$C_{ном}$	(0,1...4,7) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 1000 В
	Масса	До 1720 г
ФТ, ФЧ Термостойкие, частотные, герметизированные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+150°C
	$C_{ном}$	(0,1...4,7) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 600 В
	Масса	До 40 г
К72-1, К72-4 дозиметрические 	$t_{окр.ср.}$	-50...+50°C
	$C_{ном}$	(0,00005...0,005) мкФ
	Допуск	(±5... ±10) %
	Отн. влажность	К72-1 до 80 %, К72-4 до 50%
	$U_{ном}$	До 500 В
	Масса	До 7 г
К72-8 дозиметрические 	$t_{окр.ср.}$	-60...+60°C
	$C_{ном}$	(0,0005...0,003) мкФ
	Допуск	(±5... ±10) %
	Отн. влажность	До 80 %
	$U_{ном}$	До 300 В
	Масса	До 7,5 г

в) **Полипропиленовые.** Удельные характеристики лучше в несколько раз по сравнению с полистирольными. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного, пульсирующего тока и в импульсном режиме. Параметры основных представителей

пленочных полипропиленовых конденсаторов сведены в таблице 2.15. Модели К78-4 используются в схемах с асинхронными двигателями, работающих с частотой 50 Гц. Характеризуются большим сроком сохраняемости параметров (у К78-5 – 10 лет). Полипропиленовые конденсаторы используются в телевизионной технике.

Таблица 2.15.

Параметры основных представителей полипропиленовых конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
<p>К78-2</p> <p>Прямоугольные в изоляционной оболочке</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	(0,01...0,15) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 1000 В
	Масса	До 35 г
<p>К78-3</p> <p>Цилиндрические, уплотненные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	(0,27...0,56) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 630 В
	Масса	До 250 г
<p>К78-4</p> <p>Цилиндрические, уплотненные, низковольтные, низкочастотные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+70°C
	$C_{ном}$	(0,47...68) мкФ
	Допуск	(±10... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 500 В
	Масса	До 350 г
<p>К78-5</p> <p>Цилиндрические, с ленточными выводами, незащищенные, высоковольтные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	(0,00047...0,047) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 2 000 В
	Масса	До 25 г

Эти три вида пленок относятся к неполярным диэлектрикам. Их основные достоинства: малые потери, высокое сопротивление изоляции, низкая абсорбция, большие значения постоянной времени, которая слабо зависит от температуры. Области применения таких конденсаторов схожи, но фторопластовые могут использоваться при повышенных температурах и с более жесткими требованиями к электрическим параметрам.

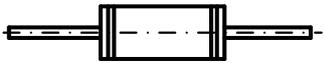
г) **Полиэтилентерефталатные.** Распространенный вид конденсаторов с номенклатурой более 26 модификаций. Диэлектрическая проницаемость материала 3,3, обкладки изготавливаются с помощью металлизации, – это позволяет достичь меньших габаритов по сравнению с металлобумажными. Предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока. Имеют очень большие значения сопротивления изоляции (например, сопротивление вывод-вывод для К74-7 составляет не менее 1 000 000 МОм), низкую абсорбцию, расширенный диапазон рабочих температур, а также большой срок сохраняемости параметров – 12 лет. Потери у полиэтилентерефталатных конденсаторов того же порядка, что и у бумажных, поэтому используются в тех же областях. Модели К73 выпускаются с металлизированными обкладками, а К74 – с фольговыми.

Некоторые параметры представителей полиэтилентерефталатных конденсаторов – в таблице 2.16.

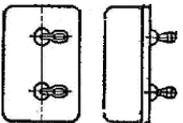
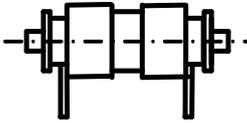
д) **Лакопленочные.** Изготавливаются на основе тонких эфирцеллюлозных полярных пленок с металлизацией. Сначала лак наносится на подложку, затем производится металлизация пленки.

Таблица 2.16.

Параметры основных представителей полиэтилентерефталатных конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
К73-15, К73-16, К73-22, К73П-2 Цилиндрические 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	(0,00047...22) мкФ
	Допуск	(±0,5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 1600 В
	Масса	До 65 г

Продолжение таблицы 2.16.

<p>К73-5, К73-9, К73-17, К73-24</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+100°C
	$C_{ном}$	(0,001...4,7) мкФ
	Допуск	(±0,5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 630 В
	Масса	До 14 г
<p>К73П-2, К73П-4, ПМГП Герметизированные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	(0,25...15) мкФ
	Допуск	(±0,5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 1 000 В
	Масса	До 1 000 г
<p>К74-7, К74-12...14 Цилиндрические, незащищенные с проволочными выводами</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+70°C
	$C_{ном}$	(0,00015...0,1) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 80 %
	$U_{ном}$	До 30 000 В
	Масса	До 75 г
<p>К74-6 Цилиндрические, незащищенные с пластинчатыми выводами</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+70°C
	$C_{ном}$	0,0051 мкФ
	Допуск	±5 %
	Отн. влажность	До 80 %
	$U_{ном}$	5 000 В
	Масса	До 90 г

Ленты нарезаются, освобождаются от подложки и наматываются. Имеют наибольшую удельную емкость среди конденсаторов с органическим диэлектриком, достигающую значений 4,5 мкФ/см³.

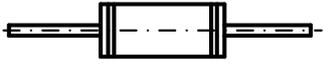
Емкость приближается к значениям, присущим оксидно-электролитическим конденсаторам, поэтому лакопленочные могут заменить их, работая при переменном токе.

Конденсаторы допускают эксплуатацию на переменном токе с частотой до 20 кГц. Большой срок сохраняемости параметров – около 15 лет. Правда, такие конденсаторы рассчитаны на невысокое напряжение – до 250 В. С дефектами при металлизации тонких пленок лака борются, используя двухслойную лакировку ацетицеллюлозным и этилцеллюлозным лаками.

Лакопленочные конденсаторы предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока. Параметры представителей лакопленочных конденсаторов приведены в таблице 2.17.

Таблица 2.17.

Параметры основных представителей лакопленочных конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
К76П-1А, К76-4, К76-5 Герметизированные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+70°С
	$C_{ном}$	(0,47...22) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 63 В
	Масса	До 50 г
К76П-1Б, К76-3 Уплотненные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°С
	$C_{ном}$	(0,1...22) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 250 В
	Масса	До 53 г

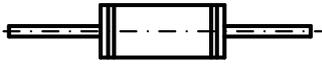
е) **Поликарбонатные.** Выпускаются с металлизированными обкладками. Характеризуются еще меньшими потерями и небольшими значениями допустимых отклонений емкости. Используются на высоких частотах. По размерам и характеристикам близки к полиэтилентерефталатным конденсаторам. Рассчитаны на напряжение до 400 В, а их емкость находится в диапазоне 1000пФ...100 мкФ. Параметры представителей поликарбонатных пленочных конденсаторов приведены в таблице 2.18.

ж) **С комбинированным диэлектриком.** В этих конденсаторах используются ленты из нескольких материалов диэлектрика, обычно из двух: полярная пленка и бумага; неполярная пленка и бумага; полярная и неполярная пленка. Таким образом, комбинированные

диэлектрики сочетают достоинства нескольких материалов (табл. 2.19).

Таблица 2.18.

Параметры основных представителей поликарбонатных конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
К77-1, К77-2А, К77-4А Цилиндрические 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°С
	$C_{ном}$	(0,001...22) мкФ
	Допуск	(±0,5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 400 В
	Масса	До 105 г

Это самая многочисленная группа конденсаторов, включающая более 50 модификаций. Конденсаторы предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока (К75-10 до 10 кГц).

Модели К75-17 и К75-40 – импульсные высоковольтные конденсаторы для лазерной техники, электроинструмента, сварочного оборудования, электротранспорта, обладают малым внутренним сопротивлением, малым временем разряда (доли секунды), а заряд возможен от маломощных источников.

Конденсаторы К75-31 предназначены для работы в тиристорных преобразователях.

Модели К75-17 и К75-18 имеют наибольшие значения номинальной емкости, но могут работать в цепях с напряжением до 1000 В и имеют небольшой диапазон рабочих температур с верхней границей 30...50 °С.

Конденсаторы общего назначения К75-12 и К75-57 используются в качестве накопителей энергии для лазеров со значением номинальной емкости до 10 мкФ.

Представители К75П-4 и К75-41 с диэлектриком в виде конденсаторной бумаги и полиэтилентерефталатной пленки, а также конденсаторы К75-37, К75-42 и К75-43 предназначены для устранения помех радиоприему от источников: бытовых приборов, электрического оборудования, электрических силовых щитов станций и подстанций и т.п. в диапазоне частот 0,15...1000 МГц. Их номинальное напряжение не превышает 1000 В.

Таблица 2.19.

Достоинства от использования комбинированных диэлектриков

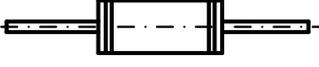
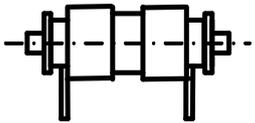
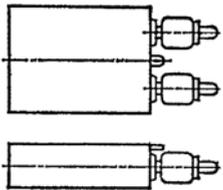
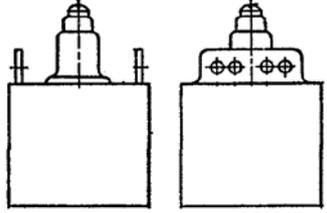
Диэлектрик Достоинства в сочетании с:	Бумага	Полярная пленка
Бумагой	—	Те же, что и у бумаги с полярным диэлектриком.
Полярной пленкой	– увеличение сопротивления изоляции в 10 раз; – рост диэлектрической проницаемости; – лучше смачиваемость пропитками.	—
Неполярной пленкой	– лучше смачиваемость пропитками; – лучше термостабильность; – выше нагревостойкость.	– взаимная компенсация ТК диэлектриков; – большая емкость.

Высоковольтные образцы конденсаторов с комбинированным диэлектриком К75-14, К75-19, К75-20, К75-27, К75-28, К75-34, К75-40, К75-46 с металлизированными обкладками рассчитаны на напряжение до 5 кВ, имеют большие номиналы – до 200 мкФ, но небольшие максимальные температуры эксплуатации до 60 °С. Конденсаторы с фольговыми обкладками рассчитаны на напряжение до 250 кВ, но имеют меньшие значения номинальных емкостей. Наивысшее значение верхней границы диапазона рабочих температур имеет фольговый конденсатор К75-29 – до 185 °С. Модели представляют собой герметичную конструкцию.

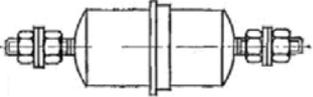
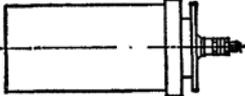
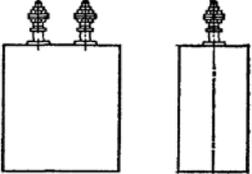
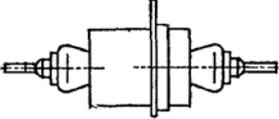
Параметры выборочных представителей конденсаторов с комбинированным диэлектриком приведены в таблице 2.20.

Таблица 2.20.

Параметры основных представителей конденсаторов с
комбинированным диэлектриком

Тип	Параметр	Значение
К75-10, К75-12, К75-24, К75-38 Герметизированные, проволочные выводы 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	(0,00015...10) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 1600 В
	Масса	До 96 г
К75-10, К75-24 Герметизированные, лепестковые выводы 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	(0,15...10) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 1600 В
	Масса	До 685 г
К75-15, К75-22Б, К75- 29А,Б Прямоугольные, герметизированные, высоковольтные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	(0,025...1) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 50 000 В
	Масса	До 23 000 г
К75-45 Герметизированные, прямоугольные, высоковольтные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+70°C
	$C_{ном}$	(0,1...10) мкФ
	Допуск	(±5... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 63 000 В
	Масса	До 65 000 г (530x360мм)

Продолжение таблицы 2.20.

<p>К75-51 Герметизированные, высоковольтные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-10...+55°C
	$C_{ном}$	(0,022...0,1) мкФ
	Допуск	(±10... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 250 000 В
	Масса	До 46 000 г
<p>К75-30, К75-48 Высоковольтные, импульсные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+70°C
	$C_{ном}$	(0,1...10) мкФ
	Допуск	(±10... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 25 000 В
	Масса	До 9500 г
<p>К75-11, К75-14, К75-17...20, К75-27, К75-28, К75-40, К75-46 Высоковольтные, импульсные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+40°C
	$C_{ном}$	(20...100) мкФ
	Допуск	(±10... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 5 000 В
	Масса	До 8600 г
<p>К75-42 Подавление радиопомех</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	(0,0047...0,56) мкФ
	Допуск	(±10... ±20) %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 1600 В
	$I_{ном}$	До 63А
	Масса	До 195 г

В эту группу включены линии формирования высоковольтных импульсов Б4-1, представляющие собой три последовательно подключенных LC-цепи. Номинальная длительность импульса 0,63...10 мкс, волновое сопротивление 2,5...6,3 Ом, номинальное напряжение 1,6 кВ, масса до 3 кг в зависимости от параметров модели.

2.7. Оксидные (электролитические) конденсаторы

Электролитические конденсаторы представляют собой особый вид электроэлементов, в которых в качестве диэлектрика используется тонкий слой оксида вентильного металла (Ta_2O_5 , Al_2O_3 и Nb_2O_5), образованного электролитическим путем при подаче напряжения на конденсатор. Толщина слоя оксида зависит от величины напряжения (при небольшом напряжении толщина этого слоя составляет доли микрона). Сочетание малой толщины оксида (около 1,5 нм на 1В приложенного напряжения), большой площади обкладок с относительно большой диэлектрической проницаемостью $\xi=10...100$ позволяет производить конденсаторы с номинальной емкостью, достигающей сотен тысяч мкФ. При этом удельные характеристики у этой группы – самые большие. Для того, чтобы образовывался окисел, на вентильный металл наносится электролит в жидком, пастообразном или твердом виде. Катодная фольга служит для обеспечения хорошего контакта со слоем электролита.

Спиральная конструкция с фольговым анодом (рис. 2.4) используется в алюминиевых и танталовых конденсаторах, а с анодом в виде таблетки, полученной спеканием металлического порошка, – в танталовых[11]. Реже можно встретить конструкцию, в которой анод выполнен в виде проволоки.

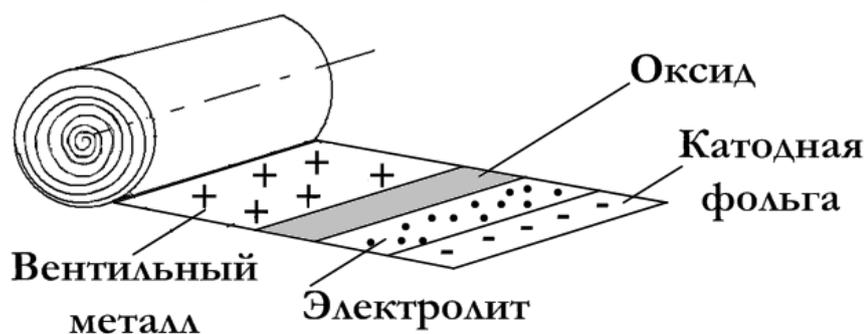


Рис. 2.4. Строение электролитических конденсаторов

Отмеченные достоинства "компенсируются" несколькими существенными недостатками.

1. При анодном включении сложно получить высокую электрическую прочность (максимальное напряжение, которое способен выдержать "стандартный" конденсатор, не превышает 500 В), а при изменении полярности включения оксидный слой растворяется, и конденсатор начинает пропускать электрический ток (электрическая прочность электролитических конденсаторов определяется толщиной слоя оксида, рост которого в определенный

момент времени прекращается из-за невозможности протекания электролитической реакции). Поэтому электролитические конденсаторы – униполярные приборы. При проектировании печатных плат и монтаже необходимо соблюдать полярность. Если включить встречно последовательно два полярных конденсатора, то получим неполярный.

2. Наличие электролита приводит к увеличению сопротивления одной из обкладок. А так как:

$$\operatorname{tg} \delta = \omega C_{OKC} r_{ЭЛ},$$

то увеличение сопротивления электролита приводит к росту потерь. Они также линейно растут с увеличением частоты сигнала, поэтому электролитические конденсаторы применяют только в цепях постоянного или пульсирующего тока.

3. При понижении температуры $r_{ЭЛ}$ увеличивается, что ведет к увеличению потерь. Поэтому диапазон рабочих температур небольшой, особенно в отрицательной области.

4. Пастообразный электролит, а жидкий – в еще большей степени, со временем изменяет свои свойства (высыхает) из-за несовершенства уплотнителей, что ведет к уменьшению емкости. "Подсохшие" конденсаторы больше чувствительны к повышению температуры эксплуатации. Все это накладывает ограничения на срок сохраняемости параметров конденсаторов при эксплуатации и хранении. Вдобавок к этому электролитические конденсаторы иногда могут вспучиваться и даже взрываться при превышении допустимого напряжения и тока, а также при подаче напряжения неправильной полярности.

5. В связи с тем, что параметры конденсаторов изменяются в ходе эксплуатации, то их допустимые отклонения велики. Даже модели с отклонением $\pm 10\%$ от номинала не рекомендуется применять в частях схемы, критичных к значительному изменению емкости.

6. При длительном отключении оборудования происходят структурные изменения в окисле: в нем появляются токопроводящие участки. Поэтому при включении протекает процесс повторной формовки окисла, сопровождающийся большими токами утечки. Причем чем дольше период простоя, тем дольше по времени и больше по значению токи утечки, а это может вызвать сильный разогрев электролита, сопровождающийся его испарением. Поэтому в схемах, содержащих электролитические конденсаторы предусматриваются автотрансформаторы, постепенно

увеличивающие напряжение питания оборудования. А для предотвращения разрыва корпуса электролитических конденсаторов используются резиновые уплотнители (в конденсаторах большой емкости) и выемки в корпусе (в конденсаторах с малой емкостью), обеспечивающие управляемый разрыв материала и выход пара. Эти приемы позволяют уменьшить ущерб при разрыве конденсаторов и визуально судить о выходе их из строя.

Параметры представителей алюминиевых оксидных конденсаторов приведены в таблице 2.21, а танталовых – в таблице 2.22 [12-14]. Алюминиевые оксидно-электролитические конденсаторы – самые массовые в производстве (более 40 модификаций), их номиналы доходят до сотен тысяч мкФ, а напряжения – до 500 В. Области использования алюминиевых конденсаторов – источники вторичного электропитания, в качестве накопительных и фильтрующих элементов в развязочных цепях и переходных цепях полупроводниковых устройств в диапазоне частот до 100 кГц.

подавляющее число модификаций конденсаторов с алюминиевым анодом выпускается с диапазоном номиналов от 22 до 22 000 мкФ, но есть модели (K50-32 и K50-37), емкость которых достигает 470 000 мкФ, правда при небольшом значении номинального напряжения и соответствующей массе электроэлемента.

Имеются представители: 118АНТ и 119АНТ производства VISHAY с увеличенным сроком службы – до 8 000 ч при 125°C и до 1000 000 ч – при 40 °С, к тому же выдерживающие большие токи пульсаций [15].

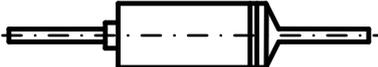
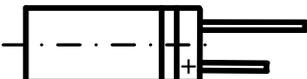
Алюминиевые электролитические конденсаторы самые дешевые в изготовлении, их конструкция постоянно совершенствуется, но у танталовых конденсаторов:

- более высокие значения диэлектрической проницаемости оксида (около 27, что примерно в 3 раза больше, чем у алюминиевых), что уменьшает габариты электроэлемента;
- значение удельной емкости в 18 раз больше, чем у алюминиевых аналогов;
- больше надежность;
- лучшие электроизоляционные свойства окисной пленки;
- большая стойкость к агрессивным средам;
- меньше токи утечки,

а недостатком является дороговизна, поэтому танталовые конденсаторы применяются только при небольших $U_{ном}$, а за счет низкой собственной индуктивности по сравнению с алюминиевыми, они используются в стабилизаторах напряжения полосовых фильтров и логических схем [16]. Ниобиевые электролитические конденсаторы по своим характеристикам близки к танталовым, но стоимость их меньше.

Таблица 2.21.

Параметры основных представителей оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
К50-3, К50-20, К50-29, К50-31 	$t_{окр.ср.}$	-40...+70°C
	$C_{ном}$	1...1000 мкФ
	Допуск	(-20...+50)... (-10...+100)%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 300 В
	Масса	До 5 г
К50-31 	$t_{окр.ср.}$	-40...+70°C
	$C_{ном}$	2,2...4700 мкФ
	Допуск	(-20...+50)%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 450 В
	Масса	До 25 г
К50-22 С лепестковыми выводами 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	100...22 000 мкФ
	Допуск	(-20...+50)%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 160 В
	Масса	До 85 г
К50-6, К50-16 Со штыревыми и лепестковыми выводами 	$t_{окр.ср.}$	-10...+85°C
	$C_{ном}$	47...22000 мкФ
	Допуск	(-20...+80)%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 160 В
	Масса	До 150 г

Продолжение таблицы 2.21.

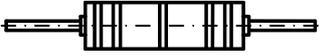
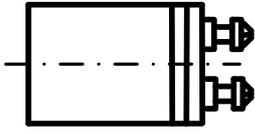
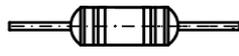
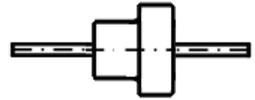
<p>К50-15 неполярные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	4,7...100 мкФ
	Допуск	(-20...+80)%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 100 В
	Масса	До 15 г
<p>К50-18, К50-32 С резьбовыми выводами</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	330...470 000 мкФ
	Допуск	(-20...+50)%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 450 В
	Масса	До 1,3кг
<p>118 АНТ (MAL2118) 119 АНТ (MAL2119) высокотемпературные с повышенным сроком службы</p> 	$t_{окр.ср.}$	-55...+150°C
	$C_{ном}$	4,7...4700 мкФ
	Допуск	(-10...+50)%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 200 В

Таблица 2.22.

Параметры основных представителей оксидных танталовых конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
<p>ЭТ Фольговые, уплотненные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+100°C
	$C_{ном}$	5...500 мкФ
	Допуск	± 20 ; ± 30 ; (-20...+50)%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 150 В
	Масса	До 30 г
<p>К52-8 Фольговые, неполярные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	3,3...330 мкФ
	Допуск	± 10 ; ± 20 ; ± 30 %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 100 В
	Масса	До 28 г

а) Объемно-пористый анод

Перечисленные недостатки сдерживают распространение оксидных электролитических конденсаторов повсеместно при различных условиях эксплуатации. Но работа по совершенствованию конструкций электролитических конденсаторов ведется постоянно.

Для улучшения параметров электролитических фольговых конденсаторов была разработана конструкция объемно-пористого анода из порошкхимически стойкого металла: чаще всего – тантала, реже – ниобия или алюминия. Иногда используются смеси металлов.

Изготовление объемно-пористого анода состоит из следующих основных операций. Сначала порошок металла прессуют, применяя связующее вещество (камфару, раствор парафина в бензине и др.). Затем заготовку в виде таблетки спекают при температуре, достаточной, чтобы металл подплавился и произошло соединение в местах соприкосновения зерен порошка между собой. В результате образуется пористая объемная структура с большой площадью поверхности (в десятки раз больше по сравнению с не пористой). После этого таблетку оксидируют электрохимическим способом; в результате процесса образуется окисел на зернах. Затем наносится электролит в твердой форме или таблетку помещают в жидкость, закрепляя в нескольких местах танталовой проволокой. Конструкцию помещают в серебряный стакан, который в свою очередь корпусируют в стальной баллончик для повышения устойчивости конденсатора к механическим воздействиям.

Для увеличения площади поверхности катода – внутренней поверхности серебряного корпуса, что необходимо при небольших номинальных напряжениях и больших размерах конденсатора, ее покрывают платиновой чернью, слоем палладия или используют механическую обработку.

После сборки конденсаторов производится их формовка второй раз. При постоянном напряжении, плавно растущем до номинального значения, и небольшом токе 1...10 мА, конденсаторы выдерживают 2...5 часов при температуре 20°C и, затем, 6...8 часов – при температуре 100 °C.

Достоинствами электролитических конденсаторов с объемно-пористым анодом является очень большой срок сохраняемости их параметров – более 25 лет, поэтому, они используются в высокотехнологичном оборудовании и аппаратуре специального назначения.

Еще больше увеличить удельную емкость танталовых конденсаторов с объемно-пористым анодом можно, используя особо чистые порошки с уменьшенными размерами зерен (приблизительно в два раза). Здесь надо отметить, что уменьшение размеров зерен для увеличения удельного заряда конденсатора приводит к тому, что размеры пор, заполненные электролитом, уменьшаются, возрастает эквивалентное последовательное сопротивление и ухудшаются частотные характеристики, что делает использование таких электрорадиоэлементов в ВЧ блоках недопустимым. По этой причине современные малогабаритные окисно-электролитические SMD-конденсаторы проигрывают моделям двадцатилетней давности с достаточно большими размерами пор, но имеющие лучшую частотную стабильность емкости при $f > 10$ кГц и меньшее последовательное сопротивление. Частично эта проблема решается производителями с помощью мультианодной конструкции (параллельное соединение, например, трех анодов с соответственно уменьшенной емкостью), хотя эффективность такого решения невелика, а емкость конденсатора может снижаться в несколько раз при частотах в сотни килогерц.

Использование тантала вместо алюминия для изготовления объемно-пористого анода позволило в жидкостных конденсаторах использовать более агрессивный электролит, а именно 38% раствор H_2SO_4 , что привело к :

- уменьшению удельного сопротивления электролита;
- повышению удельной емкости;
- уменьшению токов утечки по сравнению с алюминиевыми конденсаторами;
- тому, что потери перестали зависеть от температуры;
- увеличению рабочей температуры до 200 °С.

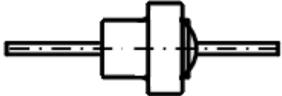
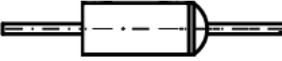
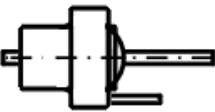
Недостатком всех жидкостных конденсаторов с объемно-пористым анодом являются: относительно высокая стоимость, а также небольшой верхний предел рабочего напряжения: 100...125 В (при высоких напряжениях, прикладываемых к конденсатору, происходит искрение). Последний недостаток можно исключить, если поместить последовательно одну на другую несколько секций конденсаторов и разместить такую конструкцию в общем цилиндрическом корпусе.

Параметры представителей танталовых окисных конденсаторов с объемно-пористым анодом приведены в таблице 2.23.

Производство алюминиевых оксидно-электролитических конденсаторов с объемно-пористым анодом в мире постоянно снижается из-за вытеснения их другими моделями. Понятно, что для алюминиевых конденсаторов применяются менее агрессивные некислотные электролиты, например, растворы этиленгликоля, диметилформамида и др. [12, 17].

Таблица 2.23.

Параметры основных представителей оксидных танталовых конденсаторов с объемно-пористым анодом

Тип	Параметр	Значение
ЭТО-1, ЭТО-2, К52-2, К52-5 	$t_{окр.ср.}$	-60...+155°C
	$C_{ном}$	6,8...1 000 мкФ
	Допуск	±10; ±20; ±30; (-20...+50)%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 90 В
	Масса	До 25 г
К52-1, К52-10 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	1,5...680 мкФ
	Допуск	±10; ±20%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 100 В
	Масса	До 7,5 г
К52-7А Уплотненные с проволочным объемным выводом 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	680...2 200 мкФ
	Допуск	±10; ±20; ±30 %
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 63 В
	Масса	До 55 г

К сожалению, НИОКР по поиску и реализации современных конструктивных и технологических решений высокочастотных танталовых конденсаторов в последние годы всерьез не проводились в связи с отсутствием финансирования.

б) Оксидно-полупроводниковые конденсаторы

Оксидно-полупроводниковые конденсаторы – это электролитические конденсаторы, в которых "традиционный" электролит заменен на твердый электронный полупроводниковый материал (чаще всего MnO_2). Диоксид марганца получают

пиролитическим разложением раствора нитрата марганца при температуре 300...400°C. Для получения полупроводникового слоя толщиной 1 мм требуется повторение операции пироллиза до 10 раз.

Для изготовления оксидно-полупроводниковых конденсаторов с небольшой емкостью (до 1 мкФ) на анод из тантала, покрытый оксидной пленкой (впоследствии скручиваемый в спираль), наносится слой полупроводника, который выполняет роль второй обкладки. На полупроводник наносится порошок графита для улучшения контакта. Конденсатор корпусируется в стальной или серебряный стаканчик.

Конструкция оксидно-полупроводниковых конденсаторов с большей емкостью отличается тем, что анод выполняется в виде таблетки из прессованного танталового порошка, что позволяет изготавливать конденсаторы как цилиндрической, так и прямоугольной формы.

Замена электролита твердым полупроводником приводит к тому, что:

- уменьшается сопротивление "электролитического" слоя, которое не зависит от температуры и частоты;
- улучшаются частотные характеристики (рабочая частота увеличивается до десятков кГц);
- уменьшаются потери и растут значения рабочих напряжений;
- в области низких температур потери слабо зависят от температуры;
- улучшается термостабильность и термостойкость;
- униполярный эффект проявляется слабее;
- "электролиту" не свойственно высыхание.

Материалом анода могут служить: алюминий, тантал, или ниобий. Не смотря на дороговизну технологии с использованием тантала, такие конденсаторы обладают приблизительно такими же токами утечки как алюминиевые, аналогичные по параметрам модели, а также:

- улучшенной термостабильностью в диапазоне температур (-55...+125) °C;
- более высоким значением относительной диэлектрической проницаемости пленки окисла;
- меньшим активным сопротивлением на высоких частотах (100 кГц), что хорошо при использовании конденсаторов в импульсных источниках питания.

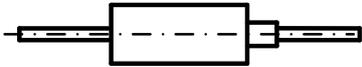
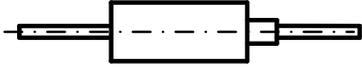
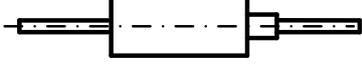
Недостатками оксидно-полупроводниковых конденсаторов с танталовым анодом являются:

- относительно большое уменьшение емкости с ростом частоты;
- большая чувствительность к переполюсовке и перегрузкам по напряжению, что заставляет предусматривать двойной запас по $U_{ном}$;
- возможность короткого замыкания при очень больших токах заряда, образующихся при включении питания, что может сопровождаться выделением дыма и ярко-белой вспышкой.

Параметры некоторых представителей танталовых, алюминиевых и ниобиевых оксидно-полупроводниковых конденсаторов приведены в таблице 2.24.

Таблица 2.24.

Параметры основных представителей оксидно-полупроводниковых танталовых, алюминиевых и ниобиевых конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
К53-1, К53-18 Танталовые, полярные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	$C_{ном}$	0,15...1 000 мкФ
	Допуск	±10%; ±20%; ±30%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 100 В
	Масса	До 11 г
К53-7 Танталовые, неполярные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	0,1...47 мкФ
	Допуск	±10%; ±20%; ±30%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 30 В
	Масса	До 11 г
К53-14 Алюминиевые 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	0,033...100 мкФ
	Допуск	±10%; ±20%; ±30%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 30 В
	Масса	До 5 г

Продолжение таблицы 2.24.

<p>К53-4, К53-4А, К53-27 Ниобиевые</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	0,1...330 мкФ
	Допуск	±10%; ±20%; ±30%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 50 В
	Масса	До 14 г
<p>К53-19 Ниобиевые</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	0,33...330 мкФ
	Допуск	±10%; ±20%; ±30%
	Отн. влажность	До 98 %
	$U_{ном}$	До 20 В
	Масса	До 10 г

В настоящее время ведутся разработки новых материалов для анодов электролитических конденсаторов, например, сплавов алюминия с титаном, титана, имеющего диэлектрическую проницаемость пленки окисла около 100, микрокристаллических материалов, – для уменьшения потребления дорогостоящего тантала, а также работы по совершенствованию алюминиевых технологий как наиболее дешевого материала для конденсаторостроения.

в) Полимерные конденсаторы

В настоящее время завоевывают рынки полимерные (твердотельные) конденсаторы – оксидные конденсаторы в которых используется вместо жидкого электролита токопроводящий полимер (PEDT), или полимеризованный органический полупроводник (TCNQ), или смеси полимеров, например, поливинилиденфторида (PVDF) с (CTFE). Конструкция полимерных схожа с оксидными конденсаторами; в качестве анода используется алюминиевая или танталовая фольга. В отличие от оксидных конденсаторов, полимерные обладают следующими особенностями:

- большой срок службы;
- время наработки на отказ около 50000 часов при температуре 85°C (при повышении температуры до 105 °C становится равным значениям для "обычных" оксидных конденсаторов);
- стабильная работа при высоких температурах;

- малочувствительны к перепаду температур;
- меньше эквивалентное последовательное сопротивление у некоторых образцов;
- меньше габариты и масса по сравнению с аналогичными по параметрам моделями;
- лучше частотные характеристики;
- рабочее напряжение не превышает 35 В;
- не имеют в конструкции клапанов или насечки на корпусе, так как не взрываются, электролит не испаряется;
- выше стоимость.

Параметры некоторых полимерных конденсаторов приведены в таблице 2.25[18,19]. Элементы серии UPS используются в качестве резервных источников питания микропроцессоров, в импульсных источниках питания, преобразователях напряжения. Эквивалентное последовательное сопротивление составляет 7 мОм. Конденсаторы RP-серии используются как резервные источники питания микропроцессоров, в схемах ЖК и плазменных телевизионных приемников, в цифровых устройствах, импульсных устройствах питания, преобразователях напряжения. Эквивалентное последовательное сопротивление – 12 мОм.

Таблица 2.25.

Параметры некоторых представителей полимерных конденсаторов

Тип	Параметр	Значение
Elite (Chinsan Electronic Group, Тайвань) серии UPS, UP и RP 	$t_{окр.ср.}$	-55...+105°C
	$C_{ном}$	100...2700 мкФ
	$U_{ном}$	До 16 В
FB Ni-CAP 	$t_{окр.ср.}$	-55...+105°C
	$C_{ном}$	6,8...1500 мкФ
	Допуск	±20%
	$U_{ном}$	До 25 В

Продолжение таблицы 2.25.

ECAS (производитель Murata) Алюминиевые 	$t_{окр.ср.}$	-40...+105°C
	$C_{ном}$	6,8...470 мкФ
	Допуск	±20%
	$U_{ном}$	До 16 В
ZA-серия V-тип (производитель Panasonic) Алюминиевые гибридные 	$t_{окр.ср.}$	-55...+105°C
	$C_{ном}$	10...330 мкФ
	Допуск	±20%
	$U_{ном}$	До 80 В

Конденсаторы FB серии выдерживают высокие токи пульсаций. Эквивалентное последовательное сопротивление у конденсаторов ECAS 6...70 мОм [15].

Танталовые конденсаторы с полимерным покрытием сочетают высокую емкость с высокой удельной проводимостью полимеров. Проводимость полимеров, используемых в конденсаторостроении в 1000 раз больше, чем у конденсаторов с жидким электролитом, в 100 раз больше, чем у MnO_2 и в 10 раз больше, чем с органическим полупроводниковым материалом (TCNQ). Таким образом, можно получить последовательное сопротивление конденсатора в несколько мОм.

Несмотря на высокую стоимость полимерных оксидных конденсаторов, многие производители в настоящее время полностью перешли на этот вид конденсаторов даже для бюджетных моделей электронной техники.

Ведутся разработки новых полимерных материалов, которые в скором времени заменят используемые материалы. Так, уже появились в продаже новые конденсаторы с полимерными материалами с высокой проводимостью (Ni-сCAP). Они имеют еще больший срок службы, высокую проводимость и термостойкость. Еще одна интересная особенность конденсаторов Ni-сCAP – они имеют плоскую форму, поэтому при их использовании улучшается теплообмен внутри корпуса аппаратуры.

Другим направлением развития электролитических конденсаторов является силовая электроника. Силовые электролитические конденсаторы используются в промышленных

конверторах, для подавления помех и в тиристорных схемах управления двигателями. Представители, производимые фирмой EPCOS (B25 834, B25 855, B25 856), имеют диапазон номиналов 0,1...30 000 мкФ и рабочие напряжения до 4 000 В [15].

2.8. Маркировка оксидных электролитических конденсаторов

У электролитических SMD-конденсаторов емкость и номинальное напряжение может маркироваться непосредственно на корпусе в виде записи: емкость в микрофарадах, напряжение в вольтах [20]. Некоторые фирмы используют для этого кодировку, содержащую букву и три цифры. Буква обозначает напряжение (см. табл. 2.26), а цифры – емкость в пФ, причем последняя цифра – это степень десятичного основания множителя. Например, запись "J223" обозначает 22×10^3 пФх6,3В.

Таблица 2.26.

Кодировка напряжения конденсатора с помощью одной буквы

Код	e	G	J	A	C	D	E	V	H
$U_{ном}, В$	2,5	4	6,3	10	16	20	25	35	50

Еще сложнее "расшифровать" информацию, закодированную в виде строки "2E223M". В записи такого вида значение емкости не изменилось: 22 нФ, а напряжение закодировано уже двумя знаками, и буква в конце используется для кодирования допуска (см. табл. 2.26). Из таблицы 2.27 видно, что цифра для кодирования номинального напряжения обозначает множитель (степень основания десятки) на который умножается значение для получения чисел из таблицы 2.26. Таким образом, запись означает, что у данного конденсатора следующие параметры: $22 \text{нФ} \times 250 \text{В} \pm 20\%$.

Таблица 2.27.

Кодировка напряжения на конденсаторе и допуска

Код	–	–	–	0E	0G	–	–	0J
$U_{ном}, В$	–	–	–	2,5	4	–	–	7
Код	1A	1C	1D	1E	–	1V	1H	1J
$U_{ном}, В$	10	16	20	25	–	35	50	63
Код	2A	–	–	2E	2G	–	–	2J
$U_{ном}, В$	100	–	–	250	400	–	–	630
Код	J	K	M					

Допуск, %	±5	±10	±20
-----------	----	-----	-----

Более лаконичная надпись на конденсаторе "223М 10" обозначает параметры: 22нФх10В±20%.

Цветовая раскраска на полимерных оксидных конденсаторах обозначает фирму-производителя: зеленовато-голубой – Chemicon; сиреневый – Sanyo; красный – Fujitsu, синий – Nichicon и т.д.

Контрольные вопросы

1. Какие недостатки у системы кодирования параметров электрических конденсаторов с помощью цветных полосок?
2. Перечислите недостатки слюдяных конденсаторов. Почему спрогнозировать поведение слюды в электрическом поле сложно?
3. Как снизить паразитную индуктивность спиральной конструкции конденсаторов?
4. Для чего делают закраину, например, в секциях бумажных конденсаторов?
5. При каких условиях происходит самовосстановление емкости конденсатора при пробое диэлектрика?
6. Почему фторопластовые конденсаторы подходят для использования в качестве дозиметрических, а керамические – нет?
7. В чем состоят достоинства фторопластовых конденсаторов?
8. Почему конденсаторы с диэлектриком из синтетических пленок лучше по параметрам по сравнению с бумажными, керамическими?
9. Каким образом можно исключить образование дефектов в лакопленочных электрических конденсаторах?
10. Какие достоинства у конденсаторов с комбинированным диэлектриком?
11. Чем и почему тантал лучший материал для оксидно-электролитических конденсаторов?
12. Какие параметры ухудшаются при уменьшении размера зерен в объемно-пористом аноде?
13. Зачем производители используют мультианодную конструкцию конденсаторов?
14. Почему и при каких условиях происходит искрение в объемно-пористом аноде?
15. Почему объемно-пористый анод не производят из алюминия?
16. Какие достоинства у полимерных конденсаторов?
17. Поясните: как можно еще больше увеличить эффективную площадь поверхности анода при изготовлении электролитического конденсатора (перед началом процесса анодного окисления)?
18. Почему у электролитических конденсаторов понизить собственную индуктивность нанесением слоя цинка на торец спиральной конструкции не представляется возможным?

3. Конденсаторы переменной емкости

3.1. Особые параметры

Подстроечные конденсаторы и с переменной емкостью наряду с основными параметрами, имеют особенные, учитывающие особенности конструктивного исполнения и функциональность.

Вместо параметра номинальная емкость указывается диапазон – минимальное и максимальное значение емкости, которое можно получить, вращая подвижную систему.

Момент вращения – минимальный момент, необходимый для непрерывного вращения вала конденсатора.

Износоустойчивость – способность конденсатора сохранять свои параметры при многократных вращениях вала. Указывается количество циклов – число перестроек емкости от минимальной до максимальной и обратно.

Скорость перестройки емкости – максимальное количество циклов перестройки емкости в минуту, которое может выдержать конденсатор без снижения надежности и прочности конструкции. Для керамических конденсаторов скорость перестройки емкости составляет 10...15 циклов/мин, для вакуумных – не более 5...30 циклов/мин.

Износоустойчивость и скорость перестройки емкости зависят от конструкции конденсатора, свойств материалов и технологии изготовления.

3.2. Подстроечные конденсаторы

Особенностью этих конденсаторов является то, что их емкость изменяется в процессе производства аппаратуры, а в процессе эксплуатации емкость таких конденсаторов должна сохраняться постоянной и не изменяться под воздействием вибрации и ударов.

Подстроечные конденсаторы используются в ВЧ усилителях, фильтрах, частотных контурах, кварцевых резонаторах и т.д.

Они могут быть с воздушным или твердым диэлектриком. На рис. 3.1 показано устройство подстроечного конденсатора с твердым диэлектриком (керамический типа TZVX4 производства Murata).

Такой конденсатор состоит из основания – статора и вращающего диска – ротора, имеющих полукруглую форму. При

вращении ротора изменяется площадь перекрытия обкладок, а, следовательно, и емкость конденсатора. Как правило, минимальная емкость подстроечного конденсатора, когда нет перекрытия обкладок, составляет несколько пикофард, а при полном перекрытии – емкость максимальна (несколько десятков пикофард). От ротора и статора сделаны внешние выводы. Плотное прилегание ротора к статору обеспечивается прижимной пружиной. Имеется паз для осуществления регулировки емкости либо сверху, либо сбоку, либо снизу через отверстие в печатной плате.

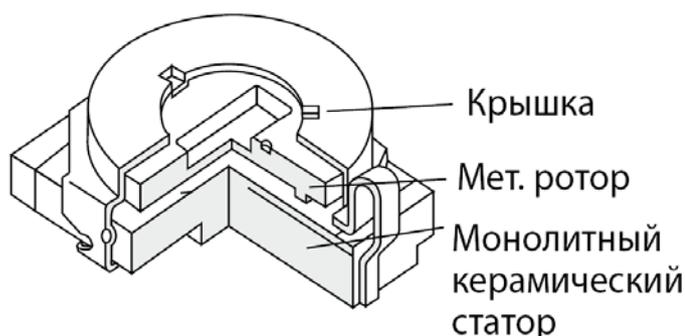


Рис. 3.1. Конструкция подстроечного SMD-конденсатора с твердым диэлектриком

Устройство подстроечного конденсатора с воздушным диэлектриком – схожее с предыдущей конструкцией, но разница состоит в том, что к ротору и статору крепится несколько наборов пластин для увеличения емкости. Такая конструкция используется реже.

3.3. Конденсаторы переменной емкости

Емкость этих конденсаторов может плавно изменяться в процессе эксплуатации аппаратуры. Они используются для настройки колебательных контуров приемников. Так же, как и подстроечные, конденсаторы переменной емкости состоят из статора и ротора, но количество роторных и статорных пластин велико для получения максимальной емкости порядка 500 пФ. Как правило, эти конденсаторы имеют воздушный диэлектрик (см. рис. 3.2). Статорные и роторные пластины изготавливают из пластин алюминия, латуни, стали или инвара, а для особо ответственных случаев – литьем под давлением.

Устройство конденсатора переменной емкости может включать несколько секций, каждая из которых служит для настройки отдельного колебательного контура. Для подгонки емкости отдельных секций в крайних пластинах делаются прорезы.

Для защиты конструкции от внешних воздействий, ее помещают в металлостеклянную или металлокерамическую оболочку и откачивают воздух.

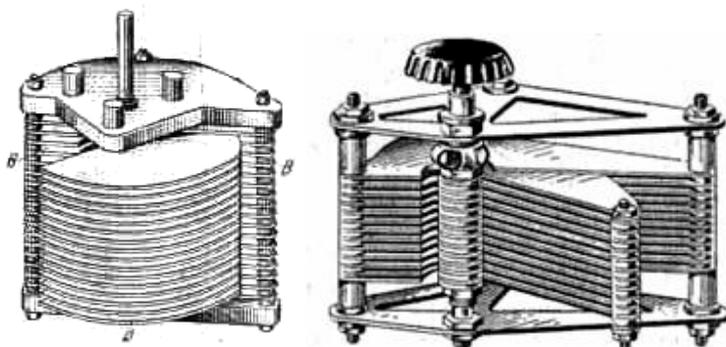


Рис. 3.2. Конструкция конденсатора переменной емкости с воздушным диэлектриком

Форма пластин ротора и статора определяет вид зависимости изменения емкости конденсатора от угла поворота ротора, которые бывают:

- с линейной зависимостью емкости от угла поворота (прямоемкостной);
- с линейной зависимостью резонансной частоты от угла поворота (прямочастотный);
- с постоянным изменением по всей шкале зависимостью емкости от угла поворота (средневолновый или логарифмический).

Прямочастотные конденсаторы нашли широкое применение в радио электронной аппаратуре, как и логарифмические, обеспечивающие к тому же одинаковую точность отсчета по всему диапазону. Остальные формы зависимостей используются в конденсаторах с ограниченным применением. Отметим, что изменить функциональную характеристику у конденсаторов можно также: приданием специальных изломов пластинам, вырезом на статоре, изготовлением ступенчатых радиусов, подключением дополнительных емкостей, смещением оси

вращения ротора относительно центра пластин, изменением формы пластин и т.д.

Вконструкциях конденсаторов переменной емкости с плоскими пластинами используется вращательное движение, а с цилиндрическими пластинами –находят применение: как с поступательным, так и вращательным перемещением одних секций относительно других.

3.4.Маркировка и представители

Отечественные конденсаторы с изменяемой емкостью имеют обозначение:

КП/КТ □□-□/□.

КП – конденсатор с переменной емкостью, КТ – подстроечный, далее тип диэлектрика, количество секций. В конце обозначения минимальная и максимальная емкость в пикофарадах. Например, запись "КПКЗ-10/17" обозначает, что перед вами керамический трехсекционный конденсатор, имеющий возможность изменять свою емкость в пределах 10...17 пФ.

Импортные конденсаторы маркируются следующим образом. Указывается тип и серия, затем максимальная емкость в пФ и тип выводов (RA – для пайки с обратной стороны платы, RSM – SMD-компонент). Например, запись "СТС-05-20-RSM" означает СТС серию 5 тип, максимальная емкость 20 пФ SMD-компонента. Между типом и максимальной емкостью может указываться тип по ТКЕ в виде латинской буквы (Z – NPO, N – N200, T – N450, R – N750, P – N1200 и т.п.). После максимальной емкости могут следовать буквы – обозначение дополнительных конструкционных параметров и данных, например, наличие защитной пленки, вид конструкции, сторона регулировки, индивидуальные коды и т.д. Цветовая маркировка корпуса служит для определения типа конденсатора.

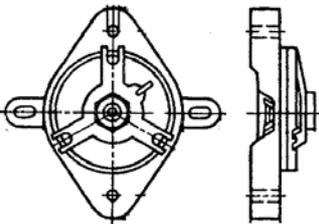
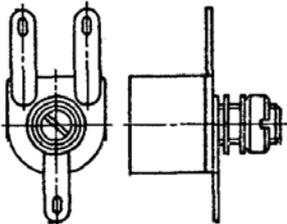
Представители подстроечных и конденсаторов переменной емкости представлены в таблице 3.1.

Вакуумные модели по сравнению с конденсаторами с воздушным диэлектриком обладают большими удельными емкостями, меньшими потерями, более высокой электрической прочностью (работа при токах до 1 000 А) и стабильностью параметров. Они используются в мощных передающих устройствах (до 2 000 кВт) в широком диапазоне частот, в качестве

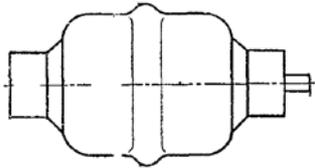
блокировочных, разделительных и фильтровых элементов, накопителей в импульсных формирователях.

Таблица 3.1.

Параметры некоторых представителей конденсаторов с изменяемой емкостью

Тип	Параметр	Значение
КПК-2, КПК-3 Керамические подстроечные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	C_{min} / C_{max}	От 8/до 450 пФ
	$U_{ном}$	До 500 В
	Отн. влажность	До 80 %
	Масса	До 40 г
	ТКЕ	$-(20...80) \cdot 10^{-5} 1/°C$
	Момент вращения	500...2500 гс·см
КТ4-21, КТ4-25, КТ4-32 Керамические подстроечные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	C_{min} / C_{max}	От 0,4/ до 40 пФ
	$U_{ном}$	До 250 В
	Отн. влажность	До 98 %
	Масса	0,6 г
	ТКЕ	М750, М470, М75 МПО, П100
	Момент вращения	30...350 гс·см
Количество циклов перестройки	200	
КТ2-17...21, Керамические подстроечные 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	C_{min} / C_{max}	От 1,5/ до 50 пФ
	$U_{ном}$	160 В
	Отн. влажность	До 98 %
	ТКЕ	$3 \cdot 10^{-4} 1/°C$
Момент вращения	60...400 гс·см (для КТ2-23 250...600 гс·см)	

Продолжение таблицы 3.1.

<p>СТС-05 Керамические подстроечные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-30...+85°C
	C_{min} / C_{max}	От 1,0/до 70пФ
	$U_{ном}$	До 400 В (постоянного тока)
	$U_{раб}$	До 200 В (постоянного тока)
	ТКЕ	НРО...N2200
<p>TZBX4, TZC03, TZV02, TZVY2 Керамические подстроечные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-55...+85°C
	C_{min} / C_{max}	От 0,65/до 45 пФ
	$U_{раб}$	До 100 В
	ТКЕ	НРО...N1200
<p>КП1-3, КП1-4, КП1-6 Переменной емкости, вакуумный</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+125°C
	C_{min} / C_{max}	От 3/до 1000 пФ
	$U_{ном}$	До 45 В
	$U_{номmax}$	До 45кВ
	$I_{номmax}$ (при +70 °С /при +125 °С	До 100 А/до 6А
	f_{max}	До 30 МГц
	Отн. влажность	До 98 %
	Масса	До 7 150 г
	T_0	До 5 000 ч
	ТКЕ	$(30 \pm 10) \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$
	Момент вращения	До 0,1 кгс·м
	Число оборотов от C_{min} к C_{max}	44
	Скорость перестройки	5 циклов/мин
	Количество циклов перестройки	5 000

Контрольные вопросы

1. Поясните, какие отличия в параметрах у конденсаторов переменной емкости от элементов постоянной емкости?
2. Почему в подстроечных конденсаторах используются преимущественно керамические материалы?
3. Где могут использоваться вакуумные конденсаторы переменной емкости?
4. Какие недостатки у конденсаторов переменной емкости с воздушным диэлектриком?
5. Где могут использоваться конденсаторы переменной емкости? Подстроечные конденсаторы?
6. Зачем изменяют форму пластин статора и ротора?
7. Чем отличаются вакуумные конденсаторы переменной емкости?
8. Какое количество выводов будет у конденсатора с тремя секциями?
9. Как предотвратить возникновение шумов у конденсаторов переменной емкости с твердым диэлектриком, возникающих при вращении вала?

4. Особые виды конденсаторов

4.1. Ионисторы

Ионисторы, суперконденсаторы, ультраконденсаторы, электрохимические конденсаторы, двухслойные конденсаторы – все эти названия относятся к одному и тому же типу электрорадиоэлементов. По своим функциям ионисторы занимают промежуточное положение между обычными "электронными" конденсаторами и источниками питания. Ионисторы – перспективные электроэлементы; они обладают еще большей удельной емкостью (в 1000 больше, чем у любого типа конденсаторов) и используются в качестве миниатюрных накопителей энергии и источников резервного питания, в качестве источников импульсов тока (фотовспышки), в схемах питания от солнечных батарей, в гибридных автомобилях (в начале движения и при ускорении/торможении) и в электротранспорте, а также в качестве стартеров небольших двигателей. Большая емкость в несколько Фарад достигается за счет увеличения площади обкладок и уменьшения расстояния между ними до нескольких нанометров. Обкладки у ионистора выполнены из гранулированного или порошкового углерода (см. рис. 4.1)[21]. Такие активированные углеродные материалы содержат большое количество пор, следовательно, имеют большую площадь поверхности. Можно в качестве обкладок использовать вспененные металлы, углеродные нанотрубки, графен. В связи с этим есть возможность получения значений удельной емкости более 200 кФ на 1 кг обкладки и накопленной энергии более 100 кДж/кг при потенциале 1 В. Основные требования к обкладкам – большая удельная площадь поверхности (у угольных электродов достигает значений 1000...1500 м²/г) и малое удельное сопротивление (в углерод добавляется порошок металла).

Между обкладками расположен разделитель (сепаратор) из пористого полимерного материала: полиэтилена, полипропилена или поливинилхлорида, пропитанного электролитом[22]. При контакте обкладок с электролитом с двух сторон их межфазовой границы формируются слои с избыточными носителями противоположной полярности. Диэлектриком конденсатора служит тонкая межфазовая граница раздела двух веществ толщиной в несколько нанометров. По обе стороны разделителя образуется по две таких области,

Поэтому ионисторы называют также электрохимическими двухслойными конденсаторами.

Схема замещения ионистора, представлена нарис. 4.2(используется для расчетов), а его обозначение на электрической принципиальной схеме – на рис.4.3.

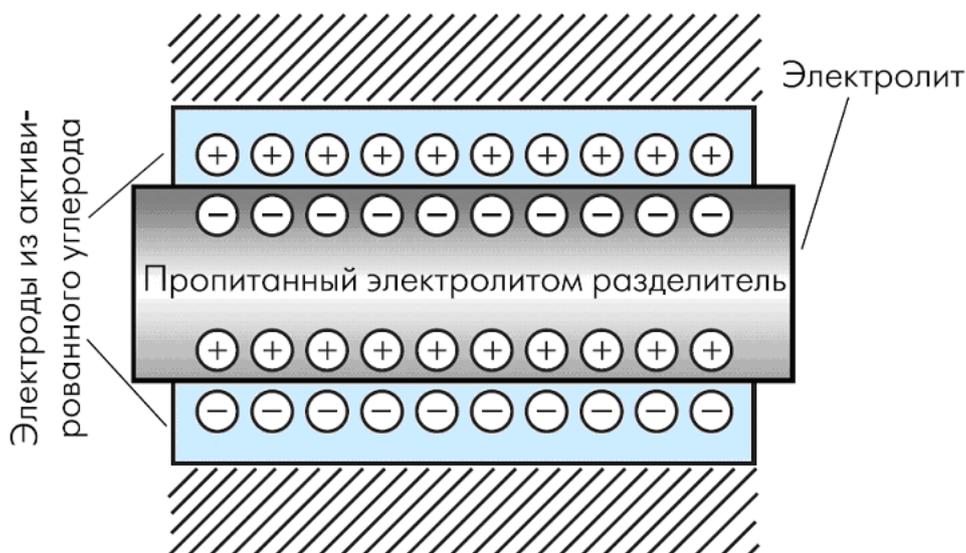


Рис. 4.1. Структура и эквивалентная схема ионистора

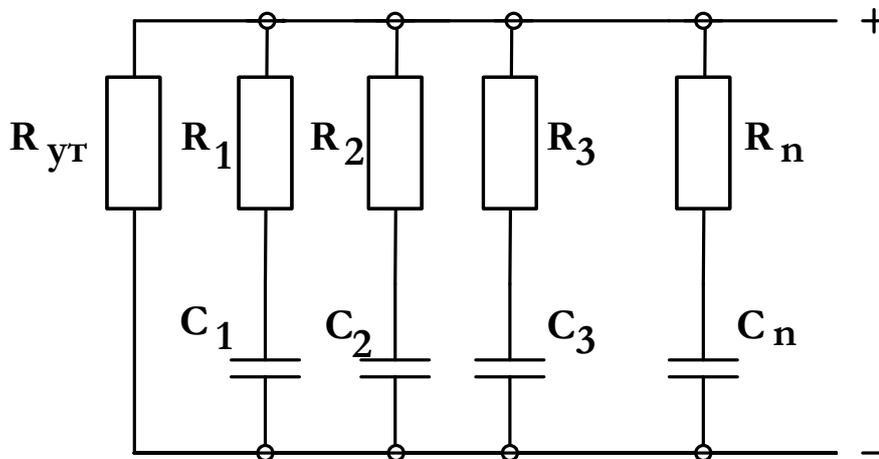


Рис. 4.2. Схема замещения

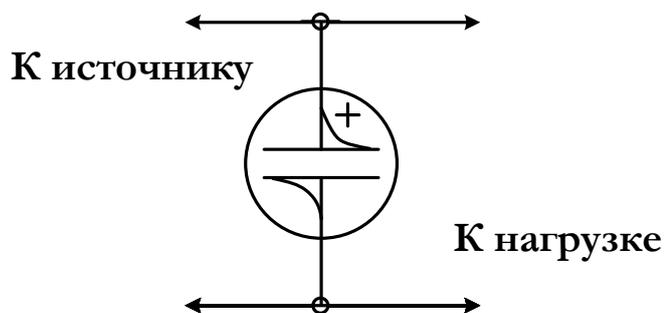


Рис. 4.3. Обозначение на схеме

Ионисторы можно разделить на три вида[23].

1. "Идеальные" ионисторы с "идеально" поляризуемыми углеродными электродами. Как электрохимические системы их можно записать, например, следующим образом:

- $C / 30\%$ водный раствор $KOH / C+$;
- $C / 38\%$ водный раствор $H_2SO_4 / C+$;
- $C /$ органический электролит / $C+$.

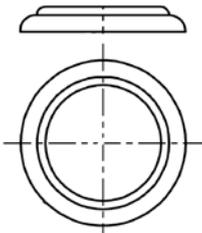
В этом типе ионисторов на электродах (в рабочем интервале напряжений) не протекают электрохимические реакции, накладывающие ограничения на скорость зарядки и разрядки, поэтому по величине энергии и мощности, температурному диапазону и количеству циклов они ближе остальных типов ионисторов к окисдно-электролитическим конденсаторам. Параметры представителей этого типа ионисторов с органическим электролитом приведены в таблице 4.1 [8]. У ионисторов типа К58-6 и К58-16 количество циклов зависит от токов заряда и разряда.

2. "Гибридные" ионисторы с "идеально" поляризуемым углеродным электродом и неполяризуемым или слабо поляризуемым катодом (или анодом). Как электрохимические системы они представляют собой:

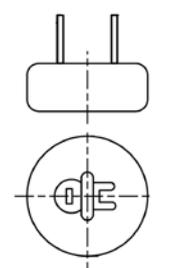
- $Ag /$ Твердый электролит $RbAg_4I_5 / C+$;
- $C / 30\%$ водный раствор $KOH / NiOOH+$.

Таблица 4.1.

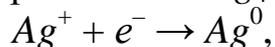
Параметры некоторых представителей ионисторов с органическим электролитом

Тип	Параметр	Значение
К58-4 А,Б, К58-5 В,Г Маломощные полярные, уплотненные, "пуговичные" 	$t_{окр.ср.}$	-25...+70°C
	$C_{ном}$	1,5...4,7 Ф
	$U_{ном}$	2,5 В
	$I_{зартах} / I_{разртах}$	100 мА/500 мА
	$U_{зартах} / U_{разрmin}$	2,5 В/0,0 В
	Допуск	-20...+80 %
	Масса	До 5 г
	T_0	40 000ч
	Срок сохраняемости	6 лет
	Количество циклов при сроке службы до 6 лет	500 000 циклов

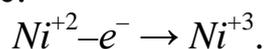
Продолжение таблицы 4.1.

<p>К58-6А...Г Маломощные полярные, уплотненные, цилиндрические</p> 	$t_{окр.ср.}$	-25...+70°C
	$C_{ном}$	0,47...2,2 Ф
	$U_{ном}$	5,5...6,3 В
	$I_{зартах} / I_{разртах}$	100 мА/500 мА
	$U_{зартах} / U_{разрmin}$	(5,5)6,3В/1,0 В
	Допуск	-20...+80 %
	Масса	До 23 г
	T_0	40 000ч
	Срок сохраняемости	6 лет
	Количество циклов при сроке службы до 6 лет	500 000 циклов
<p>К58-15 Средней мощности полярные, герметизированные, прямоугольные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-50...+50°C
	$C_{ном}$	10 Ф
	$U_{ном}$	5,5 В
	$R_{внутр}$	До 0,2 Ом
	$I_{зартах} / I_{разртах}$	1,2А/1,2 А
	$U_{зартах} / U_{разрmin}$	5,5В/0,8 В
	Допуск	-20...+50 %
	Масса	До 80 г
	Срок сохраняемости	12 лет
	Количество циклов при типовом режиме эксплуатации	15 000 циклов
<p>К58-16 Средней мощности полярные, герметизированные, прямоугольные</p> 	$t_{окр.ср.}$	-50...+70°C
	$C_{ном}$	33;47 Ф
	$U_{ном}$	2,3 В
	$I_{зартах} / I_{разртах}$	7 А/8А
	$U_{зартах} / U_{разрmin}$	2,3В/0,0 В
	Допуск	-20...+50 %
	T_0	100 000ч
	Масса	До 20 г
	Срок сохраняемости	12 лет
	Количество циклов при сроке службы до 6 лет	500 000 циклов

В этом типе ионистров на одном из электродов (катоде или аноде) протекает электрохимическая реакция как в аккумуляторах, поэтому их называют гибридными суперконденсаторами (то есть гибридом конденсатора и аккумулятора). В конденсаторе с твердым электролитом $RbAg_4I_5$ реакция протекает на катоде:



а в конденсаторе с 30% водным раствором KOH реакция протекает на аноде:

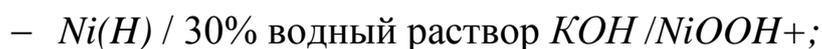


Емкость ионистров с жидким электролитом в два раза выше, чем у конденсаторов с твердым электролитом, так как емкость неполяризуемого электрода замкнута через сопротивление, образованное из-за протекающей электрохимической реакции. Эта реакция накладывает диффузионные и кинетические ограничения на скорость зарядки и разрядки ионистров с жидким электролитом, поэтому по величине удельной энергии и мощности, температурному диапазону и количеству циклов ионистры этого типа ближе к области, занимаемой аккумуляторами, чем ионистры с электролитом $RbAg_4I_5$.

Ионистры с твердым электролитом используются преимущественно в качестве резервных источников тока, не требующих обслуживания или замены в течение всего срока службы электронных изделий. Они могут работать в широком интервале температур, имеют сверхвысокую стойкость к воздействию факторам и поэтому используются при жестких условиях.

Параметры и характеристики ионистров, предназначенных для этих целей, приведены в таблице 4.2.

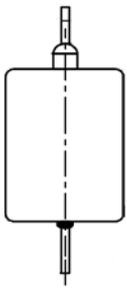
3. Псевдоконденсаторы – это ионистры, при заряде и разряде которых на поверхности электродов протекают обратимые электрохимические процессы (хемосорбция или интеркаляция ионов, содержащихся в электролите). Как электрохимические системы их можно записать:



По принципу накопления энергии псевдоконденсаторы можно отнести как к ионистрам (если энергия накапливается только в поверхностном слое электродов), так и к аккумуляторам (если энергия накапливается не только в поверхностном слое, но и в объеме электродов).

Таблица 4.2.

Параметры некоторых представителей ионисторов с твердым электролитом

Тип	Параметр	Значение
<p>К58-1 Защищенные, полярные, цилиндрические</p> 	$t_{окр.ср.}$	-60...+85°C
	$C_{ном}$	0,1...1,0 Ф
	$U_{ном}$	6,3 В
	Допуск	-20...+80 %
	$I_{зартах} / I_{разртах}$	10 мА/30 мА
	$U_{зартах} / U_{разртин}$	6,3В/2 В
	T_0	10 000ч
	Масса	До 180 г
	Срок сохраняемости	12 лет
	Количество циклов при сроке службы до 12 лет	5 000 циклов
	<p>К58-2 уплотненные, полярные, "пуговичные"</p>	$t_{окр.ср.}$
$C_{ном}$		1,5...15 Ф
$U_{ном}$		0,5 В
Допуск		-20...+80 %
$I_{зартах} / I_{разртах}$		10 мА/30 мА
$U_{зартах} / U_{разртин}$		0,5В/0,0 В
T_0		10 000ч
Срок сохраняемости		6 лет
Количество циклов при сроке службы до 12 лет		5 000 циклов

Удельная энергия псевдоконденсаторов благодаря протеканию электрохимических реакций на обоих электродах сравнима с энергией, накапливаемой в аккумуляторах, однако величина удельной мощности и количество циклов заряд-разряд могут быть на порядок выше значений, характерных для аккумуляторов, так как диффузионные и кинетические ограничения удается минимизировать за счет увеличения площади поверхности электродов. По величине удельной энергии и мощности, рабочим температурам и количеству циклов, псевдоконденсаторы ближе всех типов конденсаторов к аккумуляторам.

Достоинства ионисторов:

- большое значение емкости при малых габаритах;
- быстрый перезаряд по сравнению с аккумуляторами;
- не нужны специальные схемы зарядки или схемы управления процессом разрядки;
- малое внутреннее сопротивление;
- работа при любом напряжении, не превосходящим номинального;
- неограниченное число циклов заряд/разряд (более 10^5 циклов);
- возможность пайки выводов, отсюда высокая стабильность контактов;
- биполярность в отличие от электролитических конденсаторов (хотя на ионисторах и указаны «+» и «-», это делается для обозначения полярности остаточного напряжения после зарядки конденсатора на заводе-изготовителе);
- высокая эффективность (более 95 %);
- малые габариты и масса;
- небольшая стоимость, которая зависит от номинальной емкости и напряжения[15];
- экологичность;
- большой срок службы.

Недостатки ионисторов являются следствием наличия ионной проводимости, аналогично электролитическим конденсаторам. Поскольку подвижность ионов меньше, чем электронов, то фактическое значение емкости при импульсах малой длительности может снизиться. Низкие температуры увеличивают вязкость электролита, снижают подвижность ионов и повышают внутреннее сопротивление элемента. При длительной работе и хранении электролит высыхает и теряет свои свойства.

При разряде ионистора из-за большой величины внутреннего сопротивления напряжение сначала резко падает, а затем убывает по экспоненциальному закону. Типовые разрядные характеристики ионисторов в зависимости от сопротивления нагрузки приведены на рис. 4.4.

При разряде большими импульсными токами необходимы ионисторы с малым внутренним сопротивлением, а при работе с малыми токами – с большой емкостью.

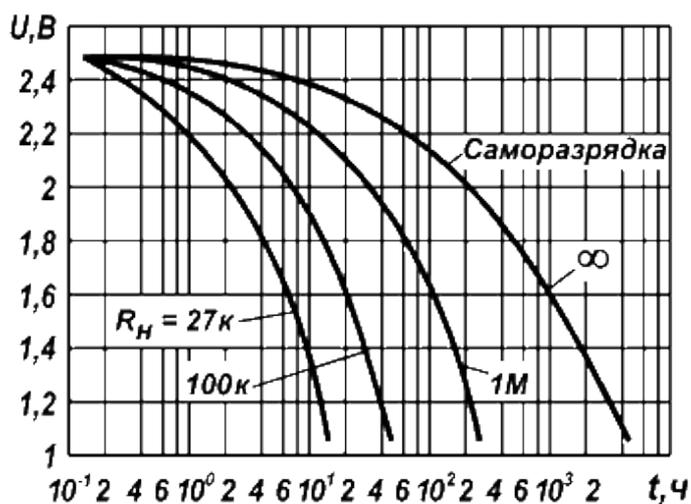


Рис. 4.4. Разряд ионисторов при использовании их в качестве резервных источников питания

Для зарядки ионисторов можно использовать: источники постоянного тока, электрическую батарею или аккумулятор, топливный или солнечный элемент и т.п.

Максимальный зарядный ток не должен превышать величину:

$$I_{\text{заряда max}} < \frac{U_0}{5R},$$

где U_0 – зарядное напряжение, R – полное сопротивление ионистора, иначе из-за роста внутреннего сопротивления возможен перегрев электролита с выделением паров вещества, сокращению жизненного цикла или разрушению элемента. Вдобавок к этому напряжение на ионисторе зависит от степени его разряженности.

Еще одним недостатком ионисторов является их высокий саморазряд (порядка 1 мкА для представителя 2 Ф х 2,5 В).

Для большинства ионисторов $U_{\text{раб}} = (2,3 \dots 2,5) \text{ В}$, хотя они могут выдерживать кратковременные перегрузки по напряжению. Иногда встречаются модели, рассчитанные на 3...4 В, но при этом параметры таких ионисторов быстро деградируют. Диапазон рабочих температур ионисторов составляет $-25 \dots +70 \text{ }^\circ\text{C}$. Превышение указанного в ТУ максимального значения температуры, например, на $10 \text{ }^\circ\text{C}$ может привести к сокращению срока службы элемента в два раза. Если превышение температуры ионистора избежать не удастся, то нагрев необходимо компенсировать снижением рабочего напряжения, а при низких температурах окружающей среды, наоборот, можно увеличить рабочее напряжение больше значения, указанного в ТУ.

Ионисторы могут выдерживать более 500 тыс. циклов заряд/разряд без изменения емкости, а минимальный срок службы достигает 10 лет.

Внутреннее сопротивление ионистора рассчитывают по формуле:

$$R_{\text{внутр}} = \frac{U}{I_{\text{кз}}},$$

где $I_{\text{кз}}$ – ток короткого замыкания, А.

Электрическая емкость ионистора рассчитывается:

$$C = \frac{I \cdot t}{U_{\text{ном}}},$$

где C – емкость в Ф; I – постоянный ток разрядки, А; t – время разрядки ионистора от $U_{\text{ном}}$ до 0, в секундах.

Исследованиями, разработками, производством и проблемами использования конденсаторов с двойным электрическим слоем в настоящее время заняты десятки фирм и университетов. Серийные и опытные образцы конденсаторов с двойным электрическим слоем различных фирм (Maxwell, EPCOS, Elna, NEC и др.) способны практически полностью перекрыть диапазон по удельной энергии и удельной мощности между электролитическими конденсаторами и аккумуляторами, а в некоторых случаях даже конкурировать с ними в приграничных областях.

Усиление конкуренции между ионисторами оксидно-электролитическими конденсаторами возможно в перспективе, при условии снижения рабочих напряжений, требуемых в электронной технике, до 1...1,5 В. Это связано с тем, что использование оксидно-электролитических конденсаторов при напряжениях до 1,5 В проблематично, так как оксидные диэлектрики образуются только при напряжениях свыше 1,5 В.

4.2. Вариконды

Это конденсаторы, емкость которых резко и нелинейно зависит от напряженности электрического поля. Они выполняются на основе сегнетоэлектриков (титаната бария, стронция, кальция и т.д.), например твердые растворы $Ba(Ti, Sn)O_3$ или $Pb(Ti, Zr, Sn)O_3$ [24]. Для них характерны высокие значения относительной диэлектрической проницаемости и ее сильная зависимость от напряженности

электрического поля и температуры. При этом диэлектрическая проницаемость растет с ростом напряженности электрического поля – достигает максимального значения при относительно слабых полях (примерно 150 В/мм), а затем снижается. Максимальные значения диэлектрической проницаемости могут превышать в 5...6 раз значения при отсутствии поля. Отношение максимального значения диэлектрической проницаемости, а, следовательно, и электрической емкости, достигаемой при максимальной для данного материала напряженности электрического поля, к первоначальному значению называется коэффициентом нелинейности. Его значения могут изменяться в диапазоне 4...50. Степень нелинейности и емкость варикондов зависят от температуры.

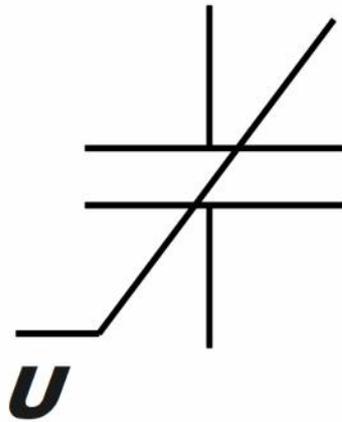
Вариконды применяются в схемах усилителей переменного и постоянного тока, умножителей частоты, стабилизаторов напряжения, частотных модуляторов, генераторов импульсов и колебательных контуров. Если вариконд включить в цепь резонансного LC-контура и изменять постоянное напряжение, подводимое к нему от источника, имеющего высокое внутреннее сопротивление (оно необходимо для того, чтобы источник не ухудшал добротность колебательного контура), то можно изменять резонансную частоту этого контура. Можно также управлять параметрами импульсов во времени для построения схем: преобразователей постоянного напряжения в импульсное, проверки конденсаторов с нелинейными емкостями, высокочувствительных датчиков систем допускового контроля, задержки с различными типами функциональной характеристики после прохождения максимума, слежения для астатических систем каналов управления, кодирующих устройств – импульсных шифраторов, использующих кодово-импульсную модуляцию, импульсных генераторов для делителей частоты с переменным коэффициентом деления и чувствительных преобразователей времени в шифраторах с импульсно-кодовой модуляцией и т.д.

Достоинствами являются: большой срок службы, низкая стоимость, простота конструкции, небольшие габариты и масса.

К недостаткам варикондов можно отнести: нестабильность емкости, ограниченный диапазон рабочих частот и температур.

По принципу действия схожи с варикапами.

Условное обозначение варикондов на схемах:



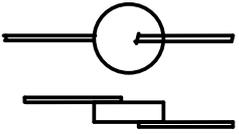
Измеряется номинальная емкость таких электроэлементов при определенном классификационном напряжении $U_{кл}$ и частоте $f_{кл}$. Так для варикондов ВК-2 при $U=60...100$ В, а для ВК-4 при $U=80...120$ В, значение емкости достигает максимального значения, которое отличается от первоначального в 8...10 раз[25].

По конструкции вариконды бывают: шариковые – для небольших значений номинальных емкостей, дисковые – для средних, и монолитные – для больших значений емкости.

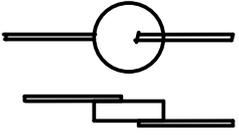
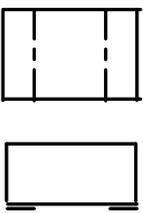
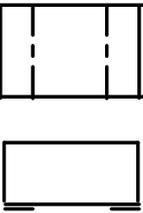
В таблице 4.3 приведены основные параметры некоторых представителей варикондов. Для них значение коэффициента нелинейности по напряжению переменного тока составляет не менее 8.

Таблица 4.3.

Параметры некоторых представителей варикондов

Тип	Параметр	Значение
ВК2-1 неизолированные с проволочными выводами 	$t_{окр.ср.}$	-40...+60°C
	$C_{ном}$	470 пФ
	<i>Отн. влажность</i>	До 98 %
	$U_{макс}$	-160 В/~100 В (до 1000 Гц)
	Масса	До 1 г
	$U_{кл}/f_{кл}$	~1,5...2 В/1000 Гц

Продолжение таблицы 4.3.

ВК4-1 неизолированные с проволочными выводами 	$t_{окр.ср.}$	-40...+85°C
	$C_{ном}$	220 пФ
	<i>Отн. влажность</i>	До 98 %
	$U_{макс}$	-160 В/~100 В (до 1000 Гц)
	Масса	До 1 г
	$U_{кл}/f_{кл}$	~1,5...2 В/1000 Гц
КН1-5 СВЧ незащищенные 	$t_{окр.ср.}$	+1...+45°C
	$C_{ном}$	2,2...47 пФ
	$f_{раб}$	До 200 МГц
	<i>Отн. влажность</i>	До 80 %
	Масса	До 0,2 г
	$U_{кл}/f_{кл}$	~0,06...3,2 В/0,1...1,0 МГц
КН1-6 СВЧ незащищенные 	$t_{окр.ср.}$	+10...+55°C
	$C_{ном}$	4,7...10 пФ
	$f_{раб}$	До 10 ГГц
	<i>Отн. влажность</i>	До 80 %
	Масса	До 0,2 г
	$U_{кл}/f_{кл}$	~0,06...3,2 В/0,1...1,0 МГц

4.3. Варикапы

Это конденсаторы, емкость которых зависит от приложенного к электрорадиоэлементу напряжения. Варикапы – это одна из разновидностей полупроводникового диода, который работает при обратном смещении, в результате чего изменяется его барьерная емкость. Барьерная емкость р-п-перехода определяется [26]:

$$C_6 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{\Delta \chi},$$

где ε – диэлектрическая проницаемость материала, ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, т.е. это емкость плоского конденсатора с площадью обкладок S , определяемой площадью р-п-перехода, с расстоянием $\Delta \chi$ между ними – шириной области

объемного заряда (ОПЗ). С ростом обратного напряжения область ОПЗ увеличивается под действием электрического поля (дырки больше оттесняются в р-область, а электроны – вглубь n-области) и барьерная емкость уменьшается (рис. 4.5).

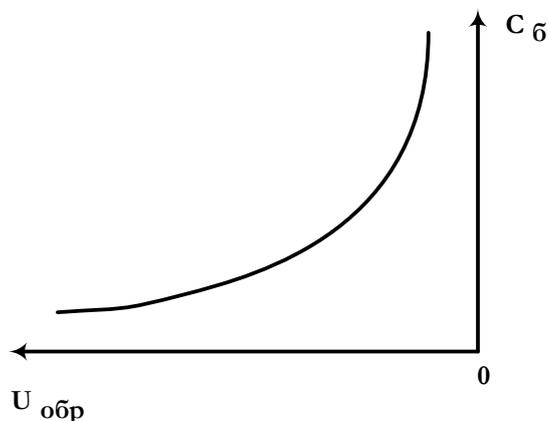


Рис. 4.5. Характер изменения барьерной емкости от приложенного напряжения к р-п-переходу

Таким образом, емкостью варикапа можно управлять с помощью обратного напряжения. Наряду с номинальной емкостью варикапа, измеряемой при определенном обратном напряжении, важнейшим параметром является добротность Q . Для повышения добротности электроэлемента необходимо увеличивать сопротивление р-п-перехода и уменьшать омическое сопротивление варикапа (сумма сопротивления омических контактов и распределенного сопротивления базы). Поэтому, необходимо, с одной стороны, уменьшать токи утечки по поверхности полупроводникового кристалла, а с другой стороны – уменьшать толщину базы и удельное сопротивление материала. Главная трудность при проектировании варикапов – получить высокую добротность в широком диапазоне изменения емкости электроэлемента (обеспечивая высокое напряжение пробоя, высокое удельное сопротивление и минимальную толщину базы). Материал варикапа выбирают с такой минимальной величиной удельного сопротивления, которая позволяет обеспечить необходимое $U_{проб}$.

Стабильность работы варикапа в диапазоне температур характеризуют следующие коэффициенты. ТКЕ – относительное изменение емкости варикапа при заданном напряжении смещения при изменении температуры окружающей среды на 1 градус. ТКД – относительное изменение добротности варикапа при заданном напряжении смещения при изменении температуры окружающей среды на 1 градус.

Коэффициент перекрытия по емкости $K_c = C_{\max}/C_{\min}$ – отношение максимальной к минимальной емкости варикапа.

Варикапы характеризуются: $U_{обр. макс}$, значением постоянного $I_{обр}$, соответствующего значению $U_{обр}$, максимальной рассеиваемой мощностью.

Достоинствами варикапов являются: достаточно высокая добротность емкости, низкий уровень собственных шумов, постоянство емкости в широком диапазоне частот, хорошая замена дорогостоящих и ненадежных конденсаторов переменной емкости.

Варикапы делятся на подстроечные и умножительные (варакторы). Подстроечные варикапы используются для плавной подстройки резонансной частоты колебательных контуров и фильтров как вручную, так и с помощью систем автоподстройки. В схемах применяется последовательное встречное включение нескольких варикапов для расширения диапазона емкости, поэтому получили распространение сборки из варикапов, имеющие общий анод или катод, или не связанные электрически между собой.

Умножительные варикапы применяются в генераторах, смесителях, частотных преобразователях и т.п. для умножения частоты сигнала. Пропуская через варактор гармонический сигнал, спектр выходного сигнала обогащается высшими гармониками. Иногда варакторы включаются в режиме частичного открытия р-п-перехода. В этом случае к барьерной емкости добавляется диффузионная емкость, которая зависит от напряжения еще резче, но при этом возрастают потери и шумы, а добротность падает[27].

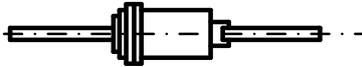
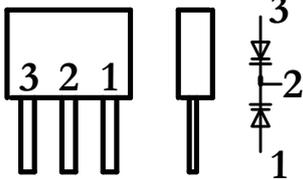
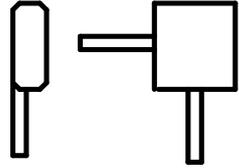
Параметры некоторых моделей варикапов приведены в таблице 4.4[28, 29].

Таблица 4.4.

Параметры некоторых представителей варикапов

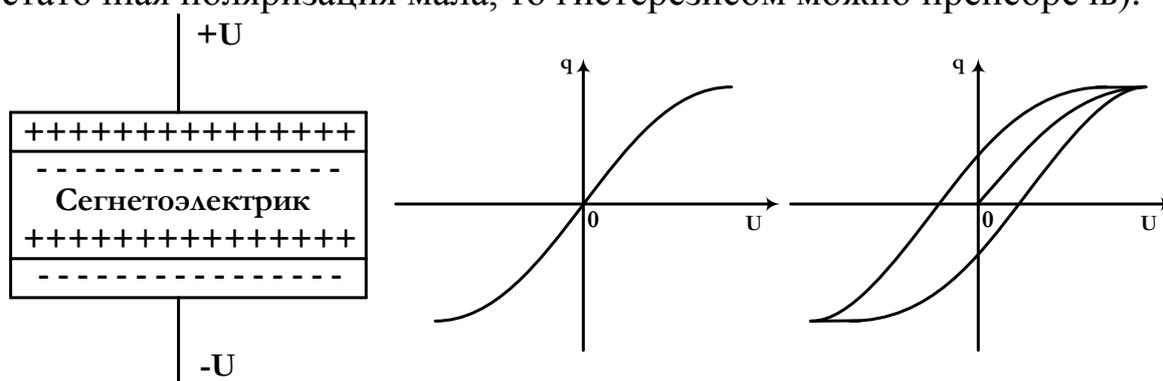
Тип	Параметр	Значение
КВ102 А...Д Кремниевые, подстроечные. Перестройка контуров резонансных усилителей 	$t_{окр. ср.}$	-40...+85°C
	$C_{\min} \dots C_{\max}$ (при U)	14...40 пФ (при 4 В)
	K_c	2,5...3,5
	Q (при U и f)	40;100 (при 4В и 50 МГц)
	$I_{обр}/U_{обр}$	1 мкА/(45; 80)В
	$U_{обр. макс}$	(45; 80) В
	$P_{ном}$	90 мВт
	Масса	До 0,1 г

Продолжение таблицы 4.4.

<p>КВ105 А...Б То же</p> 	$t_{окр.ср.}$	-55...+100°С
	$C_{min}...C_{max}(при U)$	400...600 пФ (при 4 В)
	$K_c (при U_1 и U_2)$	3,0; 3,8 (при 4 и 50; 90 В)
	$Q(при U и f)$	500 (при 4В и 1 МГц)
	$I_{обр}/U_{обр}$	30 мкА/(50; 90)В
	$U_{обр.макс}$	(50; 90) В
	$P_{ном}$	150 мВт
	Масса	До 2,5 г
	ТКЕ(при U)	$5 \cdot 10^{-4} 1/°C$ (при 4 В)
<p>КВС111 А,Б УКВ блоки радиоприемников</p> 	$t_{окр.ср.}$	-40...+100°С
	$C_{min}...C_{max}(при U)$	19,7...36,3 пФ (при 4 В)
	$K_c (при U_1 и U_2)$	2,1 (при 4 и 30 В)
	$Q(при U и f)$	150; 200 (при 4В и 50 МГц)
	$I_{обр}/U_{обр}$	1 мкА/30 В
	$U_{обр.макс}$	30 В
	Масса	До 0,2 г
	ТКЕ	$5 \cdot 10^{-4} 1/°C$
<p>КВ116 А Широкополосные усилители, управляемые по частоте генераторы</p> 	$t_{окр.ср.}$	-40...+85°С
	$C_{min}...C_{max}(при U)$	168...252 пФ (при 1 В)
	$K_c (при U_1 и U_2)$	18 (при 1 и 10 В)
	$Q(при U и f)$	100 (при 1В и 1 МГц)
	$I_{обр}/U_{обр}$	1 мкА/10 В
	$U_{обр.макс}$	10 В
	Масса	До 0,006 г
ТКЕ(при U)	$2 \cdot 10^{-4} 1/°C$ (при 4 В)	
<p>КВ117А Перестройка контуров резонансных усилителей</p> 	$t_{окр.ср.}$	-40...+100°С
	$C_{min}...C_{max}$	26,4...39,6 пФ
	$K_c (при U_1 и U_2)$	5...7 (при 3 и 25 В)
	$Q (при U и f)$	180 (при 3 В и 50 МГц)
	$U_{обр}$	3В
	$I_{обр} /U_{обр}$	1 мкА/25 В
	$U_{обр.макс}$	25 В
	Масса	До 0,25 г
ТКЕ(при U)	$6 \cdot 10^{-4} 1/°C$ (при 3 В)	

4.4. Термоконденсаторы

Термоконденсатор – тип конденсатора, у которого характеристика зависимости емкости от температуры нелинейная. Степень изменения $C(t)$ характеризует ТКЕ. Выпускаются термоконденсаторы как с положительным, так и с отрицательным ТКЕ. В качестве диэлектрика используются различные сорта сегнетокерамики. Такое название материалы получили из-за открытия следующего эффекта у сегнетовой соли. При небольшой величине электрического поля (небольшом напряжении между обкладками) происходит сильная поляризация сегнетоэлектрика, при этом в поверхностных слоях диэлектрика появляются заряды, противоположные по знаку заряду в обкладках конденсатора (см. рис. 4.6(а)) и образуется внутреннее поле, противоположное внешнему. В результате этого эффекта разность потенциалов оказывается меньше, чем в конденсаторе с обычным диэлектриком, а емкость – больше. Если приложенное к термоконденсатору напряжение велико, эффект поляризации претерпевает насыщение и действие внутреннего поля на внешнее уменьшается. В результате зависимость $q(U)$ перестает возрастать (рис. 4.6 (б)). На практике в сегнетоэлектриках наблюдается эффект остаточной поляризации, из-за которого появляется петля гистерезиса (рис. 4.6 (в)), т.е. зависимость величины накапливаемого заряда от предыдущего его значения (если остаточная поляризация мала, то гистерезисом можно пренебречь).



а) б) в)

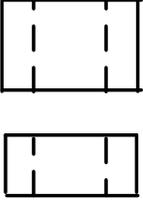
Рис. 4.6. Конденсатор с сегнетоэлектриком (а); зависимость $q(U)$ без учета (б) и с учетом (в) гистерезиса

Предназначены для работы в кварцевых генераторах электронных наручных часов, в цепях переменного и постоянного тока. Как и в случае измерения сопротивления терморезисторов, емкость термоконденсаторов измеряется при определенной

температуре (для модели КН2-2 это значение составляет $27 \pm 0,5$ °С) [11]. Параметры терموконденсатора КН2-2 приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5.

Параметры представителя терموконденсаторов

Тип	Параметр	Значение
КН2-2 незащищенный 	$t_{окр.ср.}$	-5...+40°С
	$C_{ном}$	47,68,100пФ
	Допуск	± 10 %
	Отн. влажность	До 80 %
	$U_{ном}$	3,2 В
	Масса	До 0,1 г

Контрольные вопросы

1. Поясните, какие требования предъявляются к ионисторам?
 2. За счет чего удается получить большую удельную емкость у ионисторов?
 3. Какие типы ионисторов могут использоваться в автомобилях?
 4. Какие недостатки у ионисторов?
 5. Что произойдет при превышении рабочей температуры ионистора, указанной в ТУ? Как этого избежать?
 6. При каком условии ионисторы вытеснят оксидно-электролитические конденсаторы?
 7. Какова область применения варикондов?
 8. Какие возникают проблемы при разработке варикапа с требуемыми параметрами?
 9. Что характеризует коэффициент покрытия по емкости варикапа?
 10. Каково назначение варакторов?
 11. Зачем выпускаются микросборки из варикапов?
 12. Поясните, на каком принципе работает термоконденсатор?
- Для чего применяются такие радиоэлементы?

Литература

1. Бондаренко И.Б. Электрорадиоэлементы. Часть 1. Резисторы. – СПб: СПб НИУ ИТМО, 2012. – 108 с.
2. ГОСТ 9661-73 Конденсаторы постоянной емкости. Допускаемые отклонения значения емкости от номинальной. – М. Издательство стандартов, 1973.–12с.
3. ГОСТ 13 453-68Конденсаторы, резисторы, болометры. Система сокращенных обозначений. – М. Издательство стандартов, 1973.–15с.
4. ГОСТ 11076-69 Конденсаторы и резисторы. Обозначение электрических параметров. – М. Издательство стандартов, 1969.–5с.
5. СТСЭВ 1810-79Резисторы и конденсаторы. Обозначение электрических параметров.
6. www.eliron.ru/catalog/keramicheskie_kondensatory/ – каталог керамических конденсаторов.
7. <http://triod.lgb.ru> – маркировка конденсаторов.
8. Справочник по электрическим конденсаторам/М.Н.Дьяконов, В.И. Кабанов, В.И. Присняков и др.; под общ. ред. И.И. Четверткова и В.Ф. Смирнова.–М.: Радио и связь, 1983.–576с.
9. http://novacap.apls.ru/production/std_smd/ – различные типы керамических конденсаторов.
10. Петров К.С. Радиометариалы, радиокомпоненты и электроника: учебное пособие для вузов. – СПб: Питер, 2003. – 512 с.
11. Горячева В.Г., Добромыслов Е.Р. Конденсаторы. Справочник. – М.:Радио и связь, 1984. – 88с.
12. Электролитические конденсаторы: особенности применения [Электронный ресурс] / 2014 - Режим доступа: <http://www.compel.ru/lib/articles/elektroliticheskie-kondensatoryi-osobennosti-primeneniya/>
13. Aluminum Electrolytic Capacitor Application Guide, справочникфирмыCorniellDubilier / Режимдоступа:<http://www.cde.com/resources/catalogs/AEappGUIDE.pdf>
14. General Descriptions of Aluminum Electrolytic Capacitors, справочникфирмы Nichicon Corporation / Режимдоступа: <http://www.nichicon.co.jp/english/products/pdf/aluminum.pdf>
15. <http://www.platan.ru/cgi-bin/qweryv.pl/0w10608.html>.
16. Акимов Н.Н. и др. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА:

Справочник / Н.Н.Акимов, Е.П.Вашуков, В.А.Прохоренко, Ю.П.Ходоренок. Мн.: Беларусь, 2005. – 591 с.

17. Ханин С.Д., С.Д. Адер, В.Н. Воронцов, О.В. Денисова, В.Ю.Холкин. Пассивные радиокомпоненты. Часть I. Электрические конденсаторы: учебное пособие – СПб.,СЗПИ, 1998. – 86 с.

18. http://www.taiwantrade.com.tw/elite/overseasbranchesdetail/en_US/10495/ – конденсаторыElite.

19. <http://chinsan.co.th/index.asp> – разновидности конденсаторов производства CEGroup.

20. <http://www.radiant.su/rus/articles/> – маркировка SMD конденсаторов.

21. <http://www.electrosad.ru/Electronics/SuperCon.htm> - описание суперконденсаторов.

22. Журнал «Электроника: Наука, Технология, Бизнес», 3/2003, статья «Ионисторы» http://www.electronics.ru/pdf/3_2003/04.pdf.

23. Электроника: Наука, технология, бизнес №7, 2008, «Танталовые конденсаторы – проблемы и перспективы», с.54-57.

24. Справочник «Любительская Радиоэлектроника» <http://vicgain.sdot.ru/ionistor/ionist1.htm>.

25. Вариконды ВК-2, ВК-4: www.1551a3.ru/varikond.htm

26. www.support17.com исследование параметров варикондов.

27. <http://www.club155.ru/diods-varicap-param>.

28. <http://chiplist.ru/varicaps> – параметры моделей варикапов

29. <http://kazus.ru/guide/varicaps/> – назначение моделей варикапов.

30. S.R.C.Vivekchand; Chandra Sekhar Rout, K.S.Subrahmanyam, A.Govindaraj and C.N.R.Rao (2008). «Graphene-based electrochemical supercapacitors». J. Chem. Sci., IndianAcademy of Sciences 120, January 2008: 9–13.

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ

1945-1966 РЛПУ (кафедра радиолокационных приборов и устройств). Решением Советского правительства в августе 1945 г. в ЛИТМО был открыт факультет электроприборостроения. Приказом по институту от 17 сентября 1945 г. на этом факультете была организована кафедра радиолокационных приборов и устройств, которая стала готовить инженеров, специализирующихся в новых направлениях радиоэлектронной техники, таких как радиолокация, радиоуправление, теленаведение и др. Организатором и первым заведующим кафедрой был д.т.н., профессор С. И. Зилитинкевич (до 1951 г.). Выпускникам кафедры присваивалась квалификация инженер-радиомеханик, а с 1956 г. – радиоинженер (специальность 0705).

В разные годы кафедрой заведовали доцент Б.С. Мишин, доцент И.П. Захаров, доцент А.Н. Иванов.

1966–1970 КиПРЭА (кафедра конструирования и производства радиоэлектронной аппаратуры). Каждый учебный план специальности 0705 коренным образом отличался от предыдущих планов радиотехнической специальности своей четко выраженной конструкторско-технологической направленностью. Оканчивающим институт по этой специальности присваивалась квалификация инженер-конструктор-технолог РЭА.

Заведовал кафедрой доцент А.Н. Иванов.

1970–1988 КиПЭВА (кафедра конструирования и производства электронной вычислительной аппаратуры). Бурное развитие электронной вычислительной техники и внедрение ее во все отрасли народного хозяйства потребовали от отечественной радиоэлектронной промышленности решения новых ответственных задач. Кафедра стала готовить инженеров по специальности 0648. Подготовка проводилась по двум направлениям –

автоматизация конструирования ЭВА и технология микросхем ЭВА.

Заведовали кафедрой: д.т.н., проф. В.В. Новиков (до 1976 г.), затем проф. Г.А. Петухов.

1988–1997 МАП (кафедра микроэлектроники и автоматизации проектирования). Кафедра выпускала инженеров-конструкторов-технологов по микроэлектронике и автоматизации проектирования вычислительных средств (специальность 2205). Выпускники этой кафедры имеют хорошую технологическую подготовку и успешно работают как в производстве полупроводниковых интегральных микросхем, так и при их проектировании, используя современные методы автоматизации проектирования. Инженеры специальности 2205 требуются микроэлектронной промышленности и предприятиям-разработчикам вычислительных систем.

Кафедрой с 1988 г. по 1992 г. руководил проф. С.А. Арустамов, затем снова проф. Г.А. Петухов.

С **1997ПКС** (кафедра проектирования компьютерных систем). Кафедра выпускает инженеров по специальности 210202 «Проектирование и технология электронно-вычислительных средств». Область профессиональной деятельности выпускников включает в себя проектирование, конструирование и технологию электронных средств, отвечающих целям их функционирования, требованиям надежности, дизайна и условиям эксплуатации. Кроме того, кафедра готовит специалистов по защите информации, специальность 090104 «Комплексная защита объектов информатизации». Объектами профессиональной деятельности специалиста по защите информации являются методы, средства и системы обеспечения защиты информации на объектах информатизации.

С 1996 г. кафедрой заведует д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин.

За время своего существования кафедра выпустила более 4500 специалистов, бакалавров и магистров в области информационной безопасности компьютерных систем и проектирования электронно-вычислительных средств.

С2011ПБКС (кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем). Готовит бакалавров и магистров по направлениям 090900 "Информационная безопасность" и 211000 "Конструирование и технология электронных средств".

В 2009 и 2010 кафедра заняла второе, а в 2011 году – почетное первое место в конкурсе среди кафедр университета.

На кафедре защищено 70 кандидатских и 7 докторских диссертаций.

ИвановаНаталия Юрьевна
Комарова Ирина Эриковна
Бондаренко Игорь Борисович

**Электрорадиоэлементы.
Электрические конденсаторы**

Учебное пособие

В авторской редакции дизайн обложки И.Б. Бондаренко

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати

Заказ №

Тираж 100 экз.

Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург,
Кронверкский пр., 49**