

В. Н. Гусев

**Электрические конденсаторы постоянной
емкости**

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 621.39
ББК 32
В11

B11 **В. Н. Гусев**
Электрические конденсаторы постоянной емкости / В. Н. Гусев – М.: Книга по Требованию, 2013. – 88 с.

ISBN 978-5-458-31660-6

В брошюре описываются физические процессы в конденсаторах при их эксплуатации, приводятся основные типы и характеристики выпускаемых промышленностью конденсаторов. Рассматриваются области применения конденсаторов в различных электрических режимах при одновременном воздействии климатических и механических факторов. Приводятся основные причины выхода конденсаторов из строя, а также меры по их предотвращению. Особое внимание уделяется рассмотрению вопросов надежности и долговечности, объясняются основные соотношения, характеризующие надежность применительно к электрическим конденсаторам, приводятся зависимости надежности от режима нагрузки. Брошюра содержит сведения о правилах эксплуатации конденсаторов, методах измерения основных параметров и проверки качества, порядке рекламирования конденсаторов, отказавших в процессе эксплуатации. Рассчитана на лиц, занимающихся ремонтом и эксплуатацией радиоэлектронной аппаратуры.

ISBN 978-5-458-31660-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПАРАМЕТРЫ КОНДЕНСАТОРОВ

1. ПРИНЦИП РАБОТЫ КОНДЕНСАТОРОВ. КЛАССИФИКАЦИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ

Электрический конденсатор — это система из двух или более проводников (обкладок), разделенных диэлектриком, предназначенная для создания электрической емкости между обкладками.

При подключении к обкладкам электрического напряжения в диэлектрике происходит процесс поляризации, заключающийся в ограниченном смещении зарядов или ориентации электрических диполей в электрическом поле. В зависимости от строения диэлектрика в поляризации могут участвовать электроны, ионы, диполи, ядра, отдельные области заряженных частиц (домены), полярные группы молекул. В реальных диэлектриках, как правило, всегда имеет место несколько разных видов поляризации, хотя преобладающим может быть один вид. Время установления поляризации диэлектрика зависит от вида поляризации и может быть от 10^{-15} сек (при электронной поляризации) до десятков минут (при междуслойной поляризации, наблюдающейся в неоднородных диэлектриках с накоплением зарядов на поверхности раздела).

Смещенные заряды в диэлектрике связывают часть зарядов на обкладках, поступающих от источника напряжения, в результате чего конденсатор накапливает потенциальную энергию — приобретает электрический заряд. Степень поляризации диэлектрика оценивается

Таблица 1

Краткие характеристики и сокращенные обозначения конденсаторов

Тип конденсатора по виду диэлектрика	Сокращенное обозначение	Основные особенности		Основные области применения
		К10	К15	
Керамические на номинальные напряжения ниже 1 600 в		Для высокочастотных конденсаторов: малые потери, большой выбор значений ТКЕ.	Для низкочастотных: большая удельная емкость, резкая зависимость емкости от температуры	Для высокочастотных конденсаторов: термокомпенсация, емкостная связь, фиксированная настройка контуров на высокой частоте
Керамические на номинальные напряжения 1 600 в и выше		Относительно большие реактивные мощности, большой выбор значений ТКЕ	Малые потери, высокая стабильность емкости во времени для высокочастотных конденсаторов	Для низкочастотных конденсаторов: шунтирующие, блокирующие и фильтровые цепи, связь между каскадами на низкой частоте
Стеклянные	K21	Малые потери, низкая удельная емкость, малое изменение емкости от температуры и во времени	K22	Блокировочная, фиксированная настройка высокочастотных контуров, емкостная связь, шунтирующие цепи
Стеклокерамические	K23			
Стеклоэмалевые				
Слюдяные малой мощности	K31	Малые потери, низкая удельная емкость, малое изменение емкости от температуры и во времени	K32	Блокировочные и шунтирующие, высокочастотные фильтровые цепи, емкостная связь, фиксированная настройка контуров, в цепях линий задержки
Слюдяные большой мощности				
Бумажные на номинальные напряжения ниже 1 600 в с фольговыми обкладками	K40	Относительно малые потери, высокая удельная емкость, значительная индуктивность		Блокировочные, буферные, шунтирующие, фильтровые цепи, емкостная связь

<p>Бумажные на номинальное напряжение 1 600 в и выше с фольговыми обкладками</p>	<p>Бумажные с металлизированными обкладками (металлобумажные)</p>	<p>* Электролитические алюминевые</p>	<p>Электролитические танталовые фольговые Электролитические танталовые объемнопористые Оксиднолупроводниковые</p>	<p>K41</p>	<p>Большая, чем у бумажных, удельная емкость, способность самовосстановливаться при пробое</p>	<p>Очень большая удельная емкость, большие потери, значительные токи утечки</p>	<p>По сравнению с электролитическими алюминиевыми: большая удельная емкость, меньшие потери и токи утечки, увеличенный срок хранения, более широкий интервал рабочих температур, лучшие температурно-частотные характеристики</p>	<p>Очень малые потери, очень малая удельная емкость, очень малое изменение емкости во времени</p>	<p>K42</p>	<p>Цепи развязок и фильтры, для емкостной связи не применяются</p>	<p>Шунтирующие и фильтровые цепи, накопление энергии в импульсных устройствах</p>	<p>Применяются в тех же цепях, что и электролитические алюминиевые, в основном, в транзисторной аппаратуре с повышенными требованиями к параметрам конденсаторов</p>	<p>K50</p>	<p>K51</p>	<p>Образцовые эталоны емкости, высоковольтные блокировочные, развязывающие, контурные конденсаторы</p>	<p>Точные временные цепи, интегрирующие устройства, настроенные контуры высокой добротности, образцовые емкости</p>	<p>K52</p>	<p>K53</p>	<p>K60</p> <p>Воздушные</p>	<p>K61</p> <p>Вакуумные</p>	<p>K70</p> <p>Полистирольные с фольговыми обкладками</p>	<p>K71</p> <p>Полистирольные с металлизированными обкладками</p>
---	--	--	--	-------------------	--	---	---	---	-------------------	--	---	--	-------------------	-------------------	--	---	-------------------	-------------------	---	---	--	--

Продолжение табл. 1

Тип конденсатора по виду диэлектрика	Сокращенное обозначение	Основные особенности	Основные области применения
Фторопластовые (ФТ)	K72	Высокая рабочая температура (до 200° С), очень высокое сопротивление изоляции, низкая абсорбция, очень малые потери и малое изменение емкости от температуры	В тех же цепях, что и полистирольные, при повышенных температурах и жестких требованиях к электрическим параметрам, в дозиметрических устройствах
Полиэтилентерфталатные с металлизированными обкладками	K73	Малая абсорбция, электрические характеристики несколько лучше, чем у бумажных конденсаторов	В тех же цепях, что и бумажные конденсаторы, при повышенных требованиях к электрическим параметрам
Полиэтилентерфталатные с фольговыми обкладками	K74		
Комбинированные	K75	Повышенная электрическая прочность и высокая надежность	В тех же цепях, что и бумажные конденсаторы при повышенных требованиях к надежности
Лакопленочные	K76	Высокая удельная емкость (выше, чем у металлообумажных конденсаторов), малые габаритные размеры, ток утечки меньше, чем у электролитических конденсаторов	Частично могут заменять электролитические конденсаторы (особенно при повышенных значениях переменной составляющей). Применяются в тех же цепях, что и бумажные и электролитические конденсаторы

величиной его диэлектрической проницаемости ϵ , показывающей, во сколько раз уменьшится емкость конденсатора, если данный диэлектрик между пластинами заменить вакуумом. Чем больше ϵ материала, тем меньший объем будет иметь изготовленный из него конденсатор при постоянном значении емкости и толщины диэлектрика.

При включении конденсатора в цепь постоянного тока после окончания заряда ток через конденсатор спадает до весьма малой величины, и, практически, конденсатор не пропускает постоянного тока. При включении конденсатора в цепь переменного тока процессы заряда и разряда чередуются, обусловливая протекание тока через конденсатор с сопротивлением переменному току *

$$x_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} [om], \quad (1)$$

где f — частота, $гц$; C — емкость, $ф$.

Эти свойства конденсатора и определяют в основном область его применения. Реже используются зависимости емкости от температуры (в схемах термокомпенсации), от напряжения (при использовании конденсатора в качестве управляемого элемента) и некоторые другие.

В конденсаторостроении применяется большое количество диэлектриков с различными механизмами поляризации, диэлектрическая проницаемость которых имеет значение от единицы до десятков тысяч.

В зависимости от вида диэлектрика производится классификация конденсаторов и их сокращенное обозначение (для разрабатываемых и модернизируемых с 1961 г.). Сокращенное обозначение составляется из условного индекса конденсатора постоянной емкости (K), условного обозначения диэлектрика (двухзначного числа) и порядкового номера исполнения конденсатора, который отделяется от остальных индексов черточкой. Каждому виду конденсаторов (по диэлектрику) присуща своя наиболее употребительная область, в пределах которой его применение является наиболее целесообразным.

* При использовании конденсатора на высокой частоте необходимо учитывать наличие собственной индуктивности (см. § 9).

В табл. 1 приведена классификация конденсаторов по виду диэлектрика, их условные обозначения, отличительные характеристики и наиболее рациональные области применения.

Пример обозначения. Конденсатор керамический, на напряжение ниже 1600 в, седьмая разработка, обозначается К10-7.

Для характеристики электрических и эксплуатационных свойств конденсаторов используется ряд параметров, которые приводятся в технических условиях, стандартах, справочниках и дополнениях к ТУ.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ. НОМИНАЛЬНАЯ ЕМКОСТЬ. ДОПУСТИМОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ЕМКОСТИ ОТ НОМИНАЛЬНОЙ

Электрическая емкость конденсатора — способность конденсатора накапливать на обкладках электрические заряды под воздействием электрического поля. Выражается она отношением

$$C = \frac{Q}{U}, \quad (2)$$

где C — емкость, ϕ ; Q — электрический заряд, κ ; U — приложенное к обкладкам напряжение, в.

Обычно для оценки емкости используются меньшие единицы: микрофарада ($мк\phi$), нанофарада ($н\phi$), пикофарада ($п\phi$; неправильное название ее — микромикрофарада — $мкм\phi$), между которыми существует следующее соотношение:

$$1\phi = 10^6 мк\phi = 10^9 н\phi = 10^{12} п\phi.$$

Значение емкости, отмаркированное на конденсаторах или указанное в сопроводительной документации, носит название номинальной емкости; истинное значение емкости конденсатора может отличаться от номинального не более чем на допускаемое отклонение, которое также маркируется на конденсаторе или оговаривается технической документацией. Наряду с известными полными обозначениями номинальной емкости и допускаемого отклонения для малогабаритных конденсаторов и малофотоматных схем начинают применять сокращенные

обозначения (в соответствии с ГОСТ 11076—64). Они состоят из слитно расположенных: цифры, указывающей номинальную величину емкости, буквы, обозначающей единицу измерения емкости и одновременно указывающей положение запятой десятичной дроби, и буквы, обозначающей допускаемое отклонение емкости от номинальной.

Порядок обозначения номинальных емкостей приведен в табл. 2, допускаемых отклонений — в табл. 3.

Таблица 2
Полные и сокращенные обозначения номинальной емкости

Единица измерения	Полное обозначение			Сокращенное обозначение		
	Обозначение единицы измерения	Пределы номинальных емкостей по ГОСТ 2519-60	Примеры обозначения	Обозначение единиц измерения	Пределы номинальных емкостей	Примеры обозначения
Пикофа- рада	<i>nф</i>	До 9100	1,5 <i>nф</i> 15 <i>nф</i> 150 <i>nф</i> 1500 <i>nф</i> 0,015 <i>мкф</i>	П	До 91	1П5 15П
Нанофа- рада	<i>нф</i>			Н	От 0,1 до 91	Н15 1Н5 15Н
Микрофа- рада	<i>мкф</i>	от 0,010 и выше	0,15 <i>мкф</i> 1,5 <i>мкф</i> 15 <i>мкф</i> 100 <i>мкф</i>	М	От 0,1 и выше	М15 1М5 15М 100М

Номинальные емкости конденсаторов (кроме электролитических), в зависимости от допускаемого отклонения, соответствуют значениям, приведенным в табл. 4. Величины номинальных емкостей электролитических конденсаторов должны соответствовать ряду 1—2—5—10—20—50—100—200—500—1000—2000—5000 *мкф*.

Пример кодированного обозначения. Конденсатор керамический на напряжение до 1600 в, седьмой разработка, емкостью 1500 *нф* с допускаемым отклонением $\pm 80\%$ обозначается К10-7-1Н5А

Приведенные величины не распространяются на конденсаторы специальные: вакуумные, для повышения коэффициента мощности и др. Указанными рядами можно пользоваться для выбора конденсаторов, если

Таблица 3

Полные и кодированные обозначения допускаемого отклонения емкости от номинальной

Допускаемое отклонение емкости, %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20
Кодированное обозначение	Ж	У	Д	Р	Л	И	С	В
Допускаемое отклонение емкости, %	$+30$	$+50$ -10	$+50$ -20	$+80$ -20	$+100$	$+100$ -10	$\pm 0,4 \text{ нФ}$	
Кодированное обозначение	Ф	Э	Б	А	Я	Ю		Х

в ТУ на конденсаторы указаны только пределы номинальных емкостей и допускаемое отклонение.

Величина допускаемого отклонения емкости от номинальной не является характеристикой, определяющей качество конденсатора (как, например, стабильность параметров, надежность); при выборе конденсаторов с тем или иным допуском необходимо учитывать только зависимость выходных параметров устройства от возможного отклонения емкости.

Пример. Определить номинальную емкость и допускаемое ее отклонение от номинальной емкости конденсатора, предназначенного для работы в параллельном колебательном контуре на частоте $f_0 = 400 \pm 10 \text{ кГц}$ с индуктивностью $L = 0,8 \text{ мГн}$. Для упрощения расчета не будем учитывать возможные отклонения от номинала индуктивности и изменения емкости и индуктивности в рабочем интервале температур.

Номинальное значение емкости определяется из условия резонанса на частоте f_0 :

$$C_{\text{ном}} = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L} = 200 \text{ нФ}.$$

Нижнее значение емкости, определяющее верхнюю допустимую границу частоты колебательного контура

$$f_{\text{верх}} = 400 + 10 = 410 \text{ кГц},$$

Таблица 4
Величины номинальных емкостей (по ГОСТ 2519-60) в зависимости от допускаемых отклонений

$\pm 20\%$ и более	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	$\pm 2\%$ и более	$\pm 1\%$	$\pm 0,5\%$	$\pm 0,2\%$ и более	$\pm 0,1\%$	$\pm 0,05\%$	$\pm 0,02\%$ и более	$\pm 0,01\%$	$\pm 0,005\%$	$\pm 0,002\%$	$\pm 0,001\%$	$n\phi$		$мкФ$	
														$\pm 20\%$ и более	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	$\pm 2\%$ и более
1,0	1,0	1,0	1,0	10	10	10	100	100	100	1000	1000	1000	1000	1100	1200	1300	1400
1,2	1,2	1,2	1,2	12	12	12	110	110	110	1100	1100	1100	1100	1200	1300	1400	1500
1,5	1,5	1,5	1,5	15	15	15	150	150	150	1500	1500	1500	1500	1600	1700	1800	1900
1,8	1,8	1,8	1,8	18	18	18	180	180	180	1800	1800	1800	1800	1900	2000	2100	2200
2,2	2,2	2,2	2,2	22	22	22	220	220	220	2200	2200	2200	2200	2300	2400	2500	2600
2,7	2,7	2,7	2,7	27	27	27	270	270	270	2700	2700	2700	2700	2800	2900	3000	3100
3,3	3,3	3,3	3,3	33	33	33	330	330	330	3300	3300	3300	3300	3400	3500	3600	3700
3,9	3,9	3,9	3,9	39	39	39	390	390	390	3900	3900	3900	3900	4000	4100	4200	4300
4,7	4,7	4,7	4,7	47	47	47	470	470	470	4700	4700	4700	4700	4800	4900	5000	5100
5,6	5,6	5,6	5,6	56	56	56	560	560	560	5600	5600	5600	5600	5700	5800	5900	6000
6,8	6,8	6,8	6,8	68	68	68	680	680	680	6800	6800	6800	6800	6900	7000	7100	7200
8,2	8,2	8,2	8,2	82	82	82	820	820	820	8200	8200	8200	8200	8300	8400	8500	8600
				91	91	91				9100							100

должно быть равным

$$C_{\text{нижн}} = \frac{1}{4\pi^2 f_{\text{верхн}}^2 L} = 190 \text{ пф.}$$

Верхнее значение емкости, определяющее нижнюю допустимую границу частоты колебательного контура (390 кгц),

$$C_{\text{верхн}} = \frac{1}{4\pi^2 f_{\text{нижн}}^2 L} = 210 \text{ пф.}$$

Таким образом, для колебательного контура требуется конденсатор емкостью

$$C = 200 \text{ пф} \pm 5\%.$$

Пример. Определить номинальную емкость и допустимое отклонение ее от номинальной емкости разделительного конденсатора для резонансного усилителя высокой частоты при условии, что

$$C \geq \frac{10^8}{f_{\text{мин}}} ; \quad f_{\text{мин}} = 5 \text{ Мгц.}$$

Подставляя значение $f_{\text{мин}}$ в формулу, находим, что емкость конденсатора должна быть более 200 пф. Следовательно, в этом случае можно выбрать конденсатор практически с любым значением допускаемого отклонения емкости от номинальной, например, $270 \pm 20\%$.

Приведенные примеры являются упрощенными и служат лишь иллюстрацией к вопросу о выборе допускаемых отклонений емкости от номинальной.

На практике при проектировании радиоаппаратуры обычно выбирают радиоэлементы, к которым наиболее чувствительны выходные параметры аппаратуры, определяют приращения выходных параметров как функции приращения параметров элементов и при помощи функционального (иногда вероятностного) анализа с учетом заданных граничных условий рассчитывают допустимые отклонения параметров от номинала.