

62.1.319.4
р 13

О Б З О Р Ы

ПО ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКЕ

ВЫПУСК № 1 (163)

**В. Б. Рабинович, Л. В. Королькова,
Л. В. Буркина**

ПОДСТРОЕЧНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ



1973

ОБЗОРЫ ПО ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКЕ

Серия: Радиодетали

В. Б. Рабинович, Л. В. Королькова, Л. Б. Буркина

ПОДСТРОЕЧНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

(по данным иностранной печати за 1971—1973 гг.)

ВЫПУСК 1(163)

ЦНИИ «Электроника»
Москва — 1973

Рассматриваются основные технические характеристики и конструкции подстроечных конденсаторов по данным иностранной печати (журнальные статьи, книги, авторские свидетельства, патенты, каталоги) за 1971—1973 (1 квартал) гг. (в порядке исключения используется литература более ранних лет.) Определяются области применения и перспективы развития подстроечных конденсаторов.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с терминологией Международной электротехнической комиссии [1, 2], переменные конденсаторы — это конденсаторы, емкость которых можно непрерывно изменять с помощью подвижных устройств.

Переменный конденсатор может быть закодирован, согласно рекомендации МЭК, буквами и цифрами следующим образом:

Тип: **A** — настроенный конденсатор; **B** — полупеременный конденсатор; **C** — подстроечный конденсатор.

Диэлектрик: **1** — воздушный; **2** — твердый.

Вид: **1** — концентрический; **2** — пластинчатый; **3** — цилиндрический; **4** — компрессионный; **5** — дисковый.

Класс: **1** — профессиональная аппаратура; **2** — бытовая аппаратура.

Таким образом, **C231**, например, следует расшифровать как подстроечный конденсатор с твердым диэлектриком, цилиндрического вида, для профессиональной аппаратуры.

Деление конденсаторов на типы определяется их способностью выдерживать различное число циклов поворота ротора (механический срок службы).

Тип **A** — настроенный конденсатор (tuner capacitor); предназначен для непрерывной перестройки на протяжении всего срока службы. Норма механического срока службы для первого класса — 25 000 циклов поворота ротора, для второго класса — 5000 циклов. Как правило, этот конденсатор снабжается осью для регулировки, к которой прикрепляется ручка.

Тип **B** — полупеременный конденсатор (trimmer capacitor); используется для многократной подстройки в течение всего срока службы. Норма механического срока службы для первого класса — 1000 циклов поворота ротора, для второго класса — 200 циклов.

Тип **C** — подстроечный конденсатор (preset capacitor); используется как конденсатор однократной подстройки; конденсатор, как правило, не перестраивается в процессе эксплуатации аппаратуры. Норма механического срока службы для первого класса — 25 циклов поворота ротора, для второго класса — 10 циклов.

По классификации МЭК, к одному виду относятся конденсаторы одного и того же типа с одинаковыми конструктивными способами изменения емкости. Вид 1 — концентрический конденсатор с воздушным диэлектриком, емкость которого изменяется при осевом движении ротора относительно статора. Вид 2 — пластинчатый конденсатор с воздушным или твердым диэлектриком, емкость которого изменяется при вращении пластин ротора относительно пластин статора. Вид 3 — цилиндрический конденсатор с твердым диэлектриком, емкость которого изменяется при осевом движении электрода ротора относительно трубки, несущей статорный электрод. Вид 4 — компрессионный конденсатор, емкость которого изменяется при сжатии диэлектрика между электродами. Вид 5 — дисковый конденсатор с твердым диэлектриком, емкость которого изменяется при вращении диска ротора относительно статора.

КОНЦЕНТРИЧЕСКИЕ ВОЗДУШНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Концентрические подстроечные конденсаторы с воздушным диэлектриком являются наиболее универсальными для самой разнообразной аппаратуры, работающей в самом широком диапазоне частот. Ограничением их применения в ответственной аппаратуре может служить только стоимость (от 3,5 до 6 долл. за штуку) [3]. По величине добротности, индуктивности, стабильности и разрешающей способности эти конденсаторы являются непревзойденными для СВЧ-диапазона. Собственная резонансная частота основных моделей не более 2 ГГц, а для некоторых миниатюрных моделей конденсаторов превышает 10 ГГц [3]. Конденсаторы получили широкое развитие в 50-х годах [4] и в 1969 г. были включены в военную спецификацию MIL-C-14409C [4-5]. У конденсаторов этого вида отсутствует «микрофонный» эффект. Основные характеристики концентрических конденсаторов приведены в табл. 1.

Наряду с современными конструкциями концентрических воздушных конденсаторов, встречаются устаревшие крупногабаритные конструкции. К ним относится конденсатор типа 2222.804.200 фирмы MBLE [6]. Он уступает современным концентрическим [7-13] по величине удельной емкости и по стабильности.

Если сопоставить уровень качества конденсаторов шести фирм по величине удельной емкости, габаритам, добротности и ТКЕ (табл. 2), то на первом месте окажется фирма Johnson (США). В Европе по линии этой фирмы работает французская компания Tekelec-Airtronic [9]. Концентрические конденсаторы этой фирмы охватывают диапазон емкости от 0,35 до 30 пФ с коэффициентом перекрытия, для основных моделей конденсаторов близким к 10.

Таблица 1

Основные характеристики концентрических подстроечных конденсаторов

Тип конденсатора по каталогу	$C_{\text{ном}}, \text{пФ}$	$U_{\text{раб}}, \text{В}$	Q на частоте 100 МГц	$R, \text{Ом}$	ТКЕ, $10^{-6}/^\circ\text{C}$	Габариты (мм)	Объем, см^3	$C_{\text{уд. макс}}, \text{пФ/см}^3$
Фирма Johnson, США [7, 8], и Tekelec-Airtronic, Франция [9]								
5600	1,30	250	>750	10^2	0 ± 50	$\varnothing 7,2 \times 24$	0,96	31
5500	1,20	250	>1500	10^2	0 ± 30	$\varnothing 7,2 \times 19$	0,76	26
5300	1/10	400; 500	>2000	10^2	0 ± 20	$\varnothing 9,2 \times 18,2$	1,21	8
5200	0,8/10	250	>5000	10^2	0 ± 15	$\varnothing 7,2 \times 11,21$	0,45	22
5400	1/4	250	>3000	10^2	0 ± 30	$\varnothing 7,2 \times 11,21$	0,45	31
5700	0,8/10—0,4/6	250	>10 000	10^2	0 ± 15	$\varnothing 5,6 \times 12$	0,295	34
5800	0,5/5; 0,35/3,5	250	>10 000	10^2	0 ± 15	$\varnothing 3,8 \times 11,9$	0,135	36
Фирма JFD, США [10]								
V.A.M.10	0,8/10	250	>2000	10^2	0 ± 20	$\varnothing 7,2 \times 13,9$	0,565	18

Тип конденсатора	$C_{ном.}$ пФ	$U_{раб.}$ в	Q на частоте 100 МГц	R , Ω м	TKE , $10^{-6}, 1^\circ C$	Габариты (мм), мм	Объем, $см^3$	$C_{уд. макс.}$ пФ/см ³
Фирма Voltronics Corp., США [11]								
AP10	0,8-10	250	>1000	10 ¹²	50 $\pm$ 50	$\phi 7,2 \times 13,9$	0,565	18
AP14	0,8-14	125	>4000	10 ¹²	50 $\pm$ 50	$\phi 7,2 \times 13,9$	0,565	25
Фирма MBLE, Бельгия [6]								
2222-504-300	3,5-9,9	500, 425, 250	—	10 ¹⁰	40 $\pm$ 100; 30 $\pm$ 75; 10 $\pm$ 50	$\phi 13 \times 27$	3,58	8
Фирма Murata, Япония [12]								
TTA24A100	0,8-10	250	>6000	—	0 $\pm$ 20	$\phi 7,1 \times L$	—	1
TTA25A200	1-20	250	>1200	—	0 $\pm$ 50	$\phi 7,1 \times L$	—	—
Фирма Taijo, Япония [13]								
TA25/400	0,9-4,5	250	>1000	—	50 $\pm$ 50	$\phi 6,6 \times 16,2$	0,538	8
TTA25Z100	0,5-10	250	>1000	—	0 $\pm$ 20	$\phi 8,5 \times 19$	1,08	9
TTA25Z200	1-20	250	>100	—	0 $\pm$ 20	$\phi 8,5 \times 19,9$	1,13	18

Таблица 2

Распределение фирм по качеству концентрических воздушных конденсаторов

Фирма, страна	$C_{уд.}$ пФ/см ³		Габариты (мм), мм		Q_{max}		TKE, $10^{-6}, 1^\circ C$		Суммарный показатель	
	абс.	отно. [*]	абс.	отно. [*]	абс.	отно. [*]	абс.	отно. [*]	абс. ^{**}	отно. [*]
Johanson, США [7, 8], Tekelec-Mitronics, Франция [9]	36	1	$\phi 3,8$	1	10 000	1	0 $\pm$ 15	1	4	1,4
Voltronics Corp., США [11]	25	2	$\phi 7,2$	4	4000	2	50 $\pm$ 50	5	13	2
JFD, США [10]	18	3	$\phi 7,2$	5	2000	4	0 $\pm$ 20	2	14	3
Murata, Япония [12]	—	6	$\phi 7,1$	3	3000	3	0 $\pm$ 20	3	15	4
Taijo, Япония [13]	18	4	$\phi 6,6$	2	1000	5	0 $\pm$ 20	4	15	5
MBLE, Бельгия [6]	8	5	$\phi 13$	6	—	6	10 $\pm$ 50	6	23	6

* Условный показатель, характеризующий место фирмы по данному параметру среди приведенных в таблице производителей.

** Сумма условных показателей, приведенных в таблице для данной фирмы.

Габариты конденсаторов фирмы Johanson [7, 8]: наружный диаметр от 9,2 до 3,8 мм; длина от 24 до 12 мм. Наиболее распространен конденсатор 5200, имеющий наружный диаметр 7,2 мм; растет производство конденсаторов с диаметром 3,8 мм. Максимальная удельная емкость конденсаторов этого вида 31 пФ/см³. Рабочее напряжение конденсаторов, как правило, 250 в (испытательное 500 в). Для негерметизированных конденсаторов с понижением атмосферного давления допускается дерейтинг. Максимальная добротность Q конденсаторов порядка 10 000 [3]. До настоящего времени отсутствуют приборы, которые позволили бы измерять Q при частоте более 1 МГц с высокой точностью. Измерение на куметрах, например «Buntan Radio 190A», при частотах 100–250 МГц имеет оценочный характер и определяется в первую очередь добротностью эталона. Зависимости Q от частоты в указанном

диапазоне приводятся в [7] (рис. 1). Потребители оценивают величину добротности в аппаратуре или по относительной по- лосе пропускания резонатора, или по вносимым в контур потерям, или с помощью анализаторов цепей [14]. Темпера- турный коэффициент емкости концентрических конденсаторов лежит в пределах от $\pm 15 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ до $\pm 50 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Интервал рабочих температур от -65 до $+125^\circ\text{C}$, для конденсаторов фирмы Volttronics Corp. от -65 до $+150^\circ\text{C}$. Отклонение от линейности зависимости емкости от угла поворота составляет $\pm 3\%$; переходное сопротивление контакта не более $0,001 \text{ ом}$; количество циклов поворота ротора не менее 1000. Механиче- ские воздействия: синусоидальная вибрация с ускорением 20 g ; удары длительностью более 6 мсек с ускорением 275 g . Конденсаторы находят применение в космической аппаратуре. Изменение емкости при повышенной температуре и под напря- жением не превышает $0,15\%$ (рис. 2). Конструкция и техно- логия изготовления конденсаторов сильно влияют на их пара- метры, например на динамический шум (рис. 3).

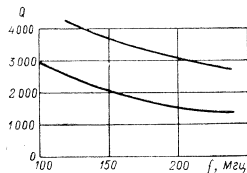


Рис. 1. Зависимость добротности концен- трических подстроечных конденсаторов от частоты (верхняя кривая — новая конструкция; нижняя кривая — старая конструкция)

Конденсаторы выпускаются в различном исполнении в за- висимости от вида монтажа (рис. 4). Вертикальный монтаж позволяет в 2 раза сократить габариты аппаратуры по срав- нению с горизонтальным. Конструктивные особенности кони- центрических подстроечных конденсаторов по данным ино- странной печати до 1970 г. описаны в [15].

За последние годы, судя по патентной информации [16— 20], фирмой Johanson произведены значительные конструк- тивные усовершенствования конденсаторов в направлении повышения их надежности и технологичности механизма ре- гулирования тормозящего момента, а также соединения арма- туры с керамической трубкой.

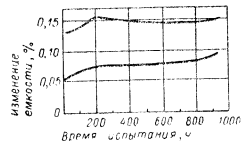


Рис. 2. Зависимость емкости конден- саторов от времени выдержки при температуре 85°C (нижняя кривая), 125°C (верхняя кривая) под нагрузкой

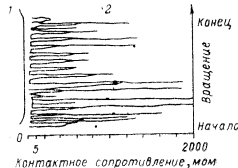


Рис. 3. Влияние конструкции на динамиче- ский шум

1 — новая конструкция; 2 — старая конструкция

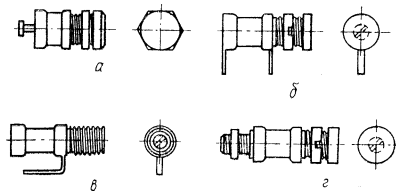


Рис. 4. Виды монтажа подстроечных конден- саторов

а — панельный; б — печатный (горизонтальный); в — пе- чатный (вертикальный); г — «пин»

На рис. 5 представлены два варианта конденсаторов с самоторможением поршня. Первый из вариантов (а) [16] предполагает две поперечные прорезы, с помощью которых создается осевое смещение в пределах упругой деформации двух частей в резьбе ротора. За счет этого смещения создается необходимый натяг в резьбе, устраняющий люфт и препятствующий самопроизвольному смещению ротора в результате внешних воздействий. При этом сохраняется необходимая для термостабильности соосность ротора и втулки. По сравнению с предыдущими конструкциями [15], предложенный вариант значительно проще (исключаются пружина и гайка) и технологичнее (уменьшается число механических операций обработки ротора и снижаются требования по точности обработки).

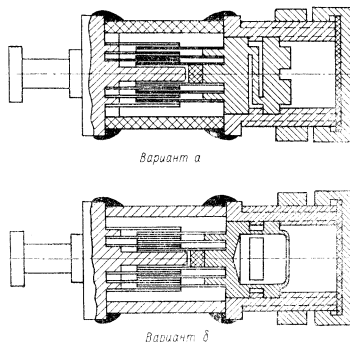


Рис. 5. Конденсатор с монолитным самоторможим ротором

Дальнейшим развитием конструкции монолитного ротора является вариант (б) [20], в котором вместо двух прорезей имеются кольцевая проточка и внутренняя выточка, причем в месте кольцевой проточки ротор деформирован с целью создания натяга в резьбе. Ротор вращается инструментом,

имеющим в сечении квадрат; это устраняет запаралич внутренней резьбы и позволяет применить в качестве материала инструмента диэлектрик, что особенно важно при настройке на высоких частотах.

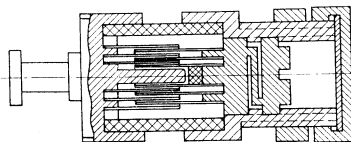


Рис. 6. Конденсатор, собранный без применения пайки и склеек

На рис. 6 [18] показан конденсатор, сборка которого осуществлена без применения пайки и склейки, что расширяет температурные возможности при эксплуатации.

ПЛАСТИНЧАТЫЕ ВОЗДУШНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Пластиначные конденсаторы с воздушным диэлектриком являются одним из старых типов подстроечных конденсаторов. Эти конденсаторы отличаются хорошим температурным коэффициентом емкости, высокой добротностью, но низкой разрешающей способностью по сравнению с концентрическими конденсаторами и плохой устойчивостью к вибрации, пыли и влаге.

Основные характеристики пластиначных воздушных конденсаторов обычной конструкции приведены в табл. 3 [21—27], дифференциального типа — в табл. 4, без скользящего контакта («баттерфляй») — в табл. 5 и с расщепленным статором — в табл. 6. В конструкции с расщепленным статором статорные пластины перекрываются двумя системами пластин ротора, укрепленных на одной и той же оси. В конструкции типа «баттерфляй» между пластинами двух секций статора помещена одна система пластин ротора [28]. Пластиначные воздушные конденсаторы охватывают широкий интервал емкостей: от 1,2/3,5 нФ (Erie, США) до 8/228 нФ (Arenpa, Франция). Такая шкала емкостей осуществляется в габаритах от 7,9×7,9×15,2 мм (Oxley, Англия) до 50×50×48 мм (Arenpa, Франция).

Основные характеристики пластинчатых подстроечных воздушных

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пФ	Количество номиналов	$U_{раб}$, в	Q
Фирма MBL,				
2222.804 0001-0005	3,5/5—3/19	5	940; 600	—
2222.804 01001-01011	3,9/4—4/44	5	750; 600; 490	—
2222.804 02001-02013	3,5/13,5—5,5/105,5	6	1130; 750; 600	—
2222.804 150	2,5/5—4/104	9	1130; 750; 600; 490	—
Фирма Johnson,				
Тип „U“ 189-500-5 189-500-100 189-500-4 189-560-1	1,2/4,2—2,4/24,5	9	650; 500	1500
Тип „V“ 193-4-5 193-4-1	1,4/14,4—2,2/36,2	4	650	1500
Тип „W“	1,9/18—2,5/54	4	650	1500
Тип „M“	1,5/5—3/32	5	1250; 650	—
Тип „S“ 148-1	2,3/15—4,5/100	6	850	—
Тип „K“ 158-1	2,3/10—5,6/147	6	1000	—
Тип „R“ 149-1	5,3/20—8/140	6	1200	—
Тип „L“ 167-1	2,2/10—5,2/75	4	1500	—

конденсаторов обычного исполнения

$R_{дв}$, ом	ТКЕ, $10^{-6} \cdot 1^{-1} \cdot ^\circ C$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уд}$, масс. пФ/см ³
Бельгия [6]				
1·10 ¹⁰	150±150	14×17×(17,5±21)	5,0	3,8
1·10 ¹⁰	150±150	17×20×(16±19,5)	6,1	7,2
1·10 ¹⁰	150±150	20×24×(23±36,5)	17,5	6,0
1·10 ¹⁰	25±25	ø25×(23±28)	13,7	7,6
США [21]				
—	45±15	11,5×11,5×(12,3±19,8)	2,62	9,4
—	50±20	12,7×12,7×(14,7±22,6)	3,64	10,0
—	—	20,3×18,1×(15,1±22,6)	8,32	6,5
—	—	19,05×15,9×(17,9±32,15)	9,73	3,3
—	—	23×19,8×(22,6±42,5)	19,35	5,17
—	—	31×23,8×(21,8±48,8)	36,0	4,09
—	—	—	—	—
—	—	34,9×34,9×(19±39,4)	—	—

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пф	Количество номиналов	$U_{раб}$, в	Q
Фирма Erie,				
540-000	1,2,3,5—2,7,17	8	325	1500
540-001	1,2,4,2—2,4,24,5	9		
Фирма Jackson,				
C801, C803, C804, C809	2,3,5—5,8,150	11	625; 375	10 000
C16, C1604	2,5,7,5—3,5,23,5	5	250	—
Фирма Oxley,				
MIC	2,9	1	250	1000
SMT	2,9,3; 3,16,6	2	375	1000
SP1	2,9,3—3,16,6	3	375	2000
FR	5,25	1	250	1000
A7	1,5,8—4,104	12	250	1000
A15	1,5,4,5—3,32	9	500	1000
Фирма Aгeпа,				
B3	1,3,6,3—1,6,16,6	4	400; 250; 160	400
C3	1,9,16,9—2,2,49,2	4	400; 250; 160	400
L2	3,0,7,7—3,5,25,5	3	630; 400; 250	400
L6	3,13—4,5,51,5	3	400; 250; 160	400
A3	4,14—8,108	6	1000; 630; 400; 250	400

$R_{из}$, ом	ТКЕ, $\{10^{-6}, 1^{\circ}\text{C}$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уд. макс}$ пф/см ³
США [22]				
$5 \cdot 10^{10}$	0 ± 80	$11,4 \times 11,05 \times (10,4 \div 20,7)$	2,61	9,4
Англия [23]				
—	25 ± 25	$31,7 \times 23,8 \times (25,4 \div 46,7)$	35,2	4,26
—	-25 ± 25	$9,5 \times 9,5 \times (10,2 \div 18,8)$	1,7	13,85
Англия [24]				
$5 \cdot 10^9$	25 ± 25	$7,9 \times 7,9 \times 15,2$	0,95	9,5
$5 \cdot 10^9$	25 ± 25	$9,9 \times 9,9 \times (12,7 \div 17,8)$	1,75	9,4
$5 \cdot 10^9$	0 ± 50	$11 \times 11 \times (12,7 \div 17,8)$	2,15	9,77
$1 \cdot 10^{10}$	25 ± 25	$10,16 \times 10,16 \times 27,94$	2,89	8,65
$1 \cdot 10^{10}$	25 ± 25	$22,2 \times 17 \times (7,4 \div 25,4)$	9,8	10,6
$1 \cdot 10^{10}$	25 ± 25	$22,9 \times 17 \times (7,6 \div 19,0)$	7,4	4,3
Франция [25, 26]				
$1 \cdot 10^{10}$	35 ± 35	$11 \times 10 \times (14 \div 15)$	1,54	10,8
$1 \cdot 10^{10}$	35 ± 35	$23,25 \times 17,5 \times (16 \div 17)$	6,87	7,2
$1 \cdot 10^{10}$	35 ± 35	$23 \times 15 \times (23 \div 26)$	8,96	2,8
$1 \cdot 10^{10}$	35 ± 35	$23 \times 15 \times (23 \div 29)$	9,65	5,3
$1 \cdot 10^{10}$	35 ± 35	$28 \times 28 \times (30 \div 38)$	29,2	3,7

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пф	Количество номиналов	$U_{раб}$, в	Q
A6	4/14—7,5/157,5	7	1000; 630; 400; 250	400
A7	4,5/14,5—8/158	7	1000; 630; 400; 250	400
D7	6,28—6/106	3	1600; 1000; 630	400
E7	7,54—8/228	3	1600; 1000; 630	400
AMT, AM	3/8—5,5/105,5	5	250	—
KV	1,6/5,1—3,3/33,3	7	400; 250	—
Фирма Ducati,				
VTA 13.01	3/12—9/100	7	500; 300	3300

Основные характеристики пластинчатых

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пф	Количество номиналов	$U_{раб}$, в	Q
Фирма MBLE,				
2222.804 09 и 01	3,5/13,5; 3,5/19,5	2	600	—
2222.804 01018-01026 01035-01038	3,9/4—3,5/28,5	4	750; 600	—
2222.804 150	2,5/5—4/44	3	1130; 600	—
Фирма Johnson,				
Тип „U“ 189-753-5	1,4/9,2—2,4/24,5	1	650; 500	1500
Тип „M“ 160-303	1,5/5—2,7/19,6	1	1250; 850	—

$R_{из}$, ом	ТКЕ, 10 ⁻⁶ ·1/°C	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уд}$, макс. пф/см ²
1·10 ¹⁰	35±35	28×28×(30÷47)	36,9	4,3
1·10 ¹⁰	30±30	28×28×(35÷47)	36,9	4,3
1·10 ¹⁰	30±30	38×38×46	66,3	1,6
1·10 ¹⁰	30±30	50×50×48	120,0	1,9
—	—	31,5×24×(21÷35)	26,5	4,0
—	—	19×16×(17÷32)	9,72	3,4
Италия [27]				
1·10 ¹⁰	0÷100	30×24×(17,5÷39)	28,1	3,6

Таблица 4
воздушных подстроечных конденсаторов дифференциального типа

$R_{из}$, ом	ТКЕ, 10 ⁻⁶ ·1/°C	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уд}$, макс. для одной секции, пф/см ²
Бельгия [6]				
1·10 ¹⁰	150÷150	14×17×21	5,0	3,9
1·10 ¹⁰	150÷150	17×20×(16÷19,5)	6,62	4,3
1·10 ¹⁰	25±25	25×(23÷28)	13,7	3,2
США [21]				
—	45±15	11,5×11,5×(13,1÷20,6)	2,72	9,0
—	—	19×13,85×(17,0÷29,8)	8,95	2,2

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пф	Количество номиналов	$U_{раб}$, в	Q
Типы S* 148-300	2,3 15—4,5 100	6	850	—
Типы L* 167-31	2,3 11—4,6 51	3	1500	—

Фирма Eric,

540-050	1,2 3,5—2,7 17	8	325	1500
---------	----------------	---	-----	------

Фирма Jackson,

C701, C702, C703, C704, C709	2,3 5—5,8 150	11	625, 375	—
------------------------------	---------------	----	----------	---

Фирма Oxley,

SDMT9	2,5 9,8; 3 13,9	2	375	1000
CD7	2 8—3 42	7	250	1000
CD15	2 4,5—3,5 30	9	500	1000

Фирма Arena,

B3C	1,4 6,4—1,7 16,7	4	400; 250; 160	400
A7C	5/15—7,5 107,5	4	1000; 630; 400; 250	400
D7C	6 28—7 107	3	1600; 1000; 630	400

Продолжение таблицы 4

$R_{из}$, ом	TKE, $10^{-6} \cdot 1^{1/2} C$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уд. макс}$ для одной секции, пф/см ²
—	—	26,8×19,8×(21÷42,4)	21,7	4,6
—	—	34,9×34,9×(19÷31,8)	38,5	1,3

США [22]

$5 \cdot 10^{10}$	0 ± 80	$12,7 \times 11,4 \times (11,05 \pm 23)$	3,3	5,1
-------------------	------------	--	-----	-----

Англия [23]

—	—	$30,2 \times 23,8 \times (26,4 \div 47,6)$	34,2	4,4
---	---	--	------	-----

Англия [24]

$5 \cdot 10^9$	25 ± 25	$9,9 \times 9,9 \times (12,7 \div 15,2)$	1,496	9,3
$1 \cdot 10^{10}$	25 ± 25	$22,2 \times (7,4 \div 14,0)$	5,42	7,8
$1 \cdot 10^{10}$	25 ± 25	$25,4 \times 17 \times (7,6 \div 19,0)$	8,2	3,7

Франция [25, 26]

$1 \cdot 10^{10}$	35 ± 35	$11 \times 10 \times (14 \div 15)$	1,65	10,1
$1 \cdot 10^{10}$	30 ± 30	$28 \times 28 \times (33 \div 38)$	29,8	3,6
$1 \cdot 10^{10}$	30 ± 30	$38 \times 38 \times 46$	66,3	1,6

Основные характеристики пластинчатых

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пФ	Количество номиналов	$U_{раб}$, В	Q
Фирма MBL.				
2222.804 06-08	2,3,6—2,5,6,5	3	1200	—
2222.804 01012-01017 01033-90541	2,4,5—2,5,8,9	3	1200	—
2222.894 02018-02026	2,4,5—3,28	6	1875; 1500; 1200	—
2222.801 150	1,5,3,1—2,5,12,5	3	1500; 940; 600	—
Фирма Johnson.				
Тип „М“ 160-200	1,5,3,1—2,7,10,8	4	1250; 850	—
Тип „S“ 148-200	1,8,9—4,4,54	5	850	—
Тип „L“ 167-20	2,3,10—5,9,50	3	1500	—
Фирма Jackson,				
C711, C712, C713, C714, C719	2,4—5,70	11	625; 375	—
Фирма Arena,				
B3P	0,7,2,7—1,8	3	400; 250	400
D6P, D2P	2,9,9,7—2,9,24,9	4	2500; 1600; 1000	400
U6P, U7P	1,6,6,3—2,24	3	1000; 630; 400	400

Таблица 5

воздушных подстроечных конденсаторов без скользящего контакта

$R_{из}$, Ом	TKE, $10^{-6} \cdot 1/^\circ\text{C}$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уд. макс.}$ пФ/см ³
Бельгия [6]				
10^{10}	150 ± 150	$14 \times 17 \times (17,5 \div 21)$	5,0	1,3
10^{10}	150 ± 150	$17 \times 20 \times (16 \div 19,5)$	6,62	1,4
10^{10}	150 ± 150	$20 \times 24 \times (23 \div 36,5)$	17,5	1,6
10^{10}	25 ± 25	$\varnothing 25 \times (23 \div 28)$	13,7	0,9
США [21]				
—	—	$19 \times 15,85 \times (17,9 \div 29,8)$	8,95	1,2
—	—	$26,2 \times 19,8 \times (21,4 \div 42,4)$	21,7	2,5
—	—	$34,9 \times 34,9 \times (21,8 \div 44,4)$	54,2	0,9
Англия [23]				
—	—	$30,2 \times 23,8 \times (25,4 \div 47,6)$	34,2	2,0
Франция [25, 26]				
10^{10}	35 ± 35	$11 \times 10 \times (14 \div 15)$	1,65	4,8
10^{10}	30 ± 30	$38 \times 38 \times (39 \div 48)$	62	0,4
10^{10}	30 ± 30	$38 \times 24 \times (26 \div 29)$	26,5	0,9

Основные характеристики пластинчатых подстроечных

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пф	Количество номиналов	$U_{раб}$, в	Q
Фирма Johnson,				
Тип „S“ 148-500	2,9 25—4,8 100	4	850	—
Тип „L“ 167-50	4,2 2,7—7,8 9,9	3	1500	—
Фирма Jackson,				
C808	3,10—4 63	1	625; 375	10 000
Фирма Arena,				
A7D	8 18—10 110	1	1000; 630; 400; 250	400
I7D	11 33—12 112	3	1000; 1000; 630	400
E7D	10 57—12 232	3	1600; 1000; 630	400

Величина удельной емкости пластинчатых конденсаторов невелика: для образцов с площадью основания 11×11 мм ее значение около 10 пф/см^2 (максимальное значение $13,8 \text{ пф/см}^2$ у фирмы Jackson Brothers Ltd., Англия), для крупногабаритных конденсаторов величина удельной емкости $2-6 \text{ пф/см}^2$. Обычные значения рабочего напряжения пластинчатых воздушных конденсаторов 250—650 в, выпускаются конденсаторы на напряжения до 1130—1500 в (фирмы MBLE, Johnson, Arena).

ТКЕ пластинчатых конденсаторов колеблется в пределах от $(45 \pm 15) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ (Johnson, США) до $(0 \pm 100) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ (Ducali, Италия) и $(150 \pm 150) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ (MBLE, Бельгия). Добротность пластинчатых конденсаторов имеет значение 1000—1500. Наибольшее значение добротности 10 000 имеют конденсаторы фирмы Jackson (Англия).

Имеются конструкции пластинчатых конденсаторов с фрезерованными пластинами, разработанные специально для СВЧ-диапазона. Добротность таких конденсаторов более 10 000 при частоте 1 МГц, т. е. такая же, как у концентриче-

Таблица 6

воздушных конденсаторов с расщепленным статором

$R_{па}$, ом	ТКЕ, $10^{-6} 1/^\circ\text{C}$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уд. макс}$ пф/см ²
США [21]				
—	—	$26,2 \times 19,8 \times (33,7 \pm 67,4)$	35	2,86
—	—	$34,9 \times 34,9 \times (41,3 \pm 61,8)$	75,3	1,32
Англия [23]				
—	25 ± 25	$31,7 \times 30 \times 46$	43,75	1,44
Франция [25, 26]				
10^{10}	30 ± 30	$28 \times 28 \times (62 \pm 73)$	57,2	1,92
10^{10}	30 ± 30	$38 \times 38 \times 90$	12,95	0,86
10^{10}	30 ± 30	$50 \times 50 \times 92$	230	0,99

ских, стоят они значительно дешевле, ТКЕ приблизительно равен $+50 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$.

Обычный интервал рабочих температур пластинчатых воздушных конденсаторов от -55 до $+125^\circ\text{C}$. Как правило, при циклических воздействиях изменение емкости конденсаторов мало. При работе на большой высоте и при повышенной влажности характеристики конденсаторов ухудшаются. Механический срок службы пластинчатых конденсаторов от 250 до 1000 циклов [27].

Кроме конструкций, перечисленных в табл. 3—6, имеются специальные конструкции, в частности, допускающие изменение ТКЕ в интервале $\pm 2000 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ (Oxley, Англия).

В табл. 7 приведены электрические характеристики только малогабаритных пластинчатых подстроечных конденсаторов с площадью $0,61-1,6 \text{ см}^2$. В табл. 8 проведено сравнение малогабаритных пластинчатых и концентрических воздушных подстроечных конденсаторов зарубежных фирм по основным параметрам.

Основные характеристики малогабаритных

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пф	Количество номиналов	$U_{раб}$, в	Q
------------------------------	----------------	----------------------	---------------	-----

Фирма Johnson,

U	1,2/4,2—2,4/24,5	9	650, 500	1500
V	1,4/14,4—2,2/36,2	4	650	1500

Фирма Erie,

540-000	1,2/3,5—2,7/17	8	325	1500
540-001	1,2/4,2—2,4/24,5	9		

Фирма Jackson,

C16 C1604	2,5/7,5—3,5/23,5	5	250	—
--------------	------------------	---	-----	---

Фирма Oxley,

MIC	2/9	1	250	1000
SMT	2,9/3; 3/16,6	2	375	1000
SPI	2,9/3—3/16,6	3	375	2000
FR	5/25	1	250	1000

Фирма Arana,

B3	1,3/6,3—1,6/16,6	4	400; 250; 160	400
----	------------------	---	------------------	-----

пластинчатых подстроечных конденсаторов

$R_{из}$, ом	TKE, 10 ⁻⁶ ·1 ⁻³ °C	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уд. макс}$ пф/см ²
---------------	--	--------------	---------------------------	--------------------------------------

США [21]

	45 ± 15	11,5 × 11,5 × (12,3 ± 19,8)	2,62	9,35
—	50 ± 20	12,7 × 12,7 × (14,7 ± 22,6)	3,64	9,95

США [22]

5 · 10 ¹⁰	0 ± 80	11,4 × 11,05 × (10,4 ± 20,7)	2,61	9,4
----------------------	--------	------------------------------	------	-----

Англия [23]

—	—25 ± 25	9,5 × 9,5 × (10,2 ± 18,8)	1,7	13,85
---	----------	---------------------------	-----	-------

Англия [24]

5 · 10 ¹⁰	25 ± 25	7,9 × 7,9 × 15,2	0,95	9,5
5 · 10 ¹⁰	25 ± 25	9,9 × 9,9 × (12,7 ± 17,8)	1,75	9,1
5 · 10 ¹⁰	0 ± 50	11 × 11 × (12,7 ± 17,8)	2,15	9,77
1 · 10 ¹⁰	25 ± 25	10,16 × 10,16 × 27,94	2,89	8,65

Франция [25, 26]

1 · 10 ¹⁰	35 ± 35	11 × 10 × (14 ± 15)	1,54	10,8
----------------------	---------	---------------------	------	------

Таблица 8

Сравнительные характеристики
малонабаитных пластинчатых и концентрических конденсаторов

Характеристики	Конденсаторы		Коэффициент качества*
	пластинчатые	концентрические	
Габариты (миним.), мм	7,9, 7,9×15,2	23,8×12,35	
Объем (миним.), см ³	0,95	0,135	7,05
Удельная емкость (макс.), пф/см ³	14	36	2,57
Номинальная емкость, пф			
макс.	36	30	0,83
мин.	1,2	0,35	3,43
Перекрытие по емкости (макс.)	16	30	1,87
Допуск по ТКЕ, 10 ⁻⁴ 1/°C	± 15	± 15	1,00
Добротность	2000	10 000	5,00
Рабочее напряжение, в	650	500	0,77
Суммарный коэффициент качества **	—	—	2,82

* Коэффициент качества — отношение лучшего параметра конденсатора к худшему.

** Суммарный коэффициент качества — отношение суммы индивидуальных коэффициентов качества к количеству сравниваемых параметров.

Концентрические воздушные конденсаторы имеют существенные преимущества перед пластинчатыми по габаритам, удельной емкости, начальной емкости, плавности настройки, добротности.

Патентные данные по пластинчатым воздушным конденсаторам касаются лишь незначительных усовершенствований технологии изготовления [29].

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Стеклопые конденсаторы

Основными преимуществами цилиндрических стеклопых конденсаторов по сравнению с концентрическими воздушными конденсаторами являются более высокая удельная емкость, рабочее напряжение и перекрытие по емкости для заданного размера.

Цилиндрические стеклопые конденсаторы характеризуются сравнительно высокими термостабильностью, доброт-

ностью и способностью противостоять неблагоприятным условиям эксплуатации. Они используются в космической аппаратуре и военной технике. В военную спецификацию MIL-C-14409C введено 15 типов цилиндрических стеклопых конденсаторов [5]. Цилиндрические стеклопые конденсаторы не рекомендуются применять для частот выше 800 Мгц, поскольку их добротность резко снижается при столь высоких частотах, а паразитная индуктивность вызывает саморезонанс [30].

Прецизионные цилиндрические конденсаторы появились около 20 лет тому назад. Основой их изготовления явилась технология формования трубок из борного стекла и кварца путем их плавления вокруг сердечника в вакууме и усадки до размера стержня с допуском $\pm 0,0025$ мм. С такой же точностью изготавливается металлический поршень. При такой точности изготовления воздушный зазор в конденсаторе имеет величину порядка 0,005 мм, и его влияние на характеристики конденсатора сильно снижается [4].

Для обеспечения больших диапазонов емкостей была разработана технология монтажа металлического электрода статора внутри стекла. Стеклопая трубка образуется из двух, причем внутренняя имеет толщину до 0,1 мм, тогда как в обычных стеклопых конденсаторах ее толщина составляет 0,5 мм [4, 30].

Основные характеристики конденсаторов со стеклопым диэлектриком приведены в табл. 9 [5]. Для цилиндрических стеклопых конденсаторов характерен широкий интервал номинальных емкостей (до 300 пф. тип ЕМС фирмы JFD) и большой коэффициент перекрытия — 200 (для того же типа конденсатора) [31]. Цилиндрические конденсаторы имеют и самое низкое значение минимальной емкости — 0,1 пф (для типа 7200, Johanson, США). Самые миниатюрные стеклопые конденсаторы выпускает фирма Johanson (США) — это типы 7200, 7240, 7250 с габаритами $\varnothing 1,9 \times 7,95$ мм. Эти конденсаторы предназначены для гибридных интегральных схем и СВЧ-полосковых схем. Конденсаторы этого типа имеют значение удельной емкости до 60,6 пф/см³. Максимальное значение удельной емкости имеют конденсаторы типа ЕМС (107 пф/см³) и TP10 (108,9 пф/см³). Обычная величина рабочего напряжения стеклопых конденсаторов 500—750 в. Миниатюрные конденсаторы серии 7200 имеют рабочее напряжение 250 в. Величина добротности стеклопых конденсаторов, как правило, 500. Для миниатюрных конденсаторов типов 7240, 7250 приводится высокая величина добротности 3000

Основные характеристики цилиндрических

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пФ	Количество номиналов	$U_{раб}$, В	Q при 20 МГц
Фирма JFD,				
NMC600	1/16—1/120	5	750	500
MC600	1/14—1/90	5	750	500
NC20G	0,8/4,5—1/38	5	750	500
EMC741	1,5/40—1,5/300	5	500	1000
Фирма Voltronics,				
TP5	0,8/4,5—0,8/38	11	750; 1250	650; 1000
TP10	1,2/10—2/180	—	1000	500; 800
Фирма Erie.				
560-013	0,8/4,5—1/30	5	750	500; 350
580-003	0,7/9—2/30	3	750	650; 600
570-013	0,8/4,5—0,8/30	5	750	500; 350
570-000	0,8/5,5—0,8/38	5	750	1000; 500
590-013	1/14—1/90	5	1000	—

Таблица 9

подстроечных стеклянных конденсаторов

$R_{из}$, Ом	TKE_{25} , $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уд. макс}$, пФ/см ³
США [31]				
10^{12}	0 ± 50	$\varnothing 7,93 \times 47,2$	2,33	51,5
10^{12}	0 ± 50	$\varnothing 7,93 \times 47,2$	2,33	38,7
10^{12}	—	$\varnothing 6,35 \times 45,5$	1,48	25,7
10^{11}	-50 ± 150	$\varnothing 7,93 \times 56,8$	2,8	107
США [11]				
10^{12}	0 ± 50	$\varnothing 6,35 \times (11,48 \pm 44,45)$	1,110	26,9
—	—	$\varnothing 6,35 \times (10,66 \pm 52,35)$	1,655	108,9
США [22]				
10^{12}	0 ± 50 0 ± 100	$\varnothing 6,1 \times 45$	1,315	22,8
10^{12}	75 ± 75 0 ± 100	$\varnothing 9,5 \times 47,8$	3,38	8,9
10^{12}	0 ± 50 0 ± 100	$\varnothing 7,9 \times 52$	2,55	11,8
10^{12}	0 ± 50 0 ± 100	$\varnothing 7,9 \times 52$	2,55	14,9
10^{12}	0 ± 150	$\varnothing 7,9 \times 50,5$	2,18	36,3

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пФ	Количество номиналов	$U_{раб. в}$	Q при 20 МГц
------------------------------	----------------	----------------------	--------------	----------------

Фирмы Johanson, США [7].

7200	0,1/1,3	1	500	>500
7210	0,3/3; 0,5/7,5	2	250	500
7240	0,2/2	1	500	>2000
7250	0,2/1,2; 0,3/1,3	2	500	>3000
7330	1/10; 1,5/10	2	500	900

Фирма Murata.

NVC20G NVC9GW	0,8/5,5—1/38	5	750	500; 1000
VC20GY VC9GYW	0,8/4,5—1/30	5	750	350; 500
NMC600 NMC620	1/16—1/120	5	1000	250; 750

Продолжение таблицы 9

$R_{изг}$, Ом	ТКЕ, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уз. макс}$ пФ/см ³
----------------	------------------------------------	--------------	------------------------	--------------------------------------

и Tekelec-Airtronic, Франция [9]

—	50 ± 50	$\varnothing 1,9 \times 13,85$	0,033	39,4
10^{12}	0 ± 100	$\varnothing 3,2 \times 14,3$	0,115	43
—	50 ± 50	$\varnothing 1,9 \times 13,85$	0,033	60,6
—	50 ± 50	$\varnothing 1,9 \times 7,95$	0,0225	57,8
10^{12}	0 ± 50	$\varnothing 6,35 \times 11,1$	0,349	28,7

Япония [12]

—	0 ± 50 0 ± 100	$\varnothing 6,35 \times (11,75 \pm 45,07)$	1,423	26,7
—	0 ± 50 0 ± 100	$\varnothing 6,35 \times (11,75 \pm 45,07)$	1,423	21,1
—	0 ± 150	$\varnothing 7,94 \times (19,05 \pm 51,99)$	2,578	46,6

при частоте 100 МГц. Механизм движения поршня в цилиндрическом конденсаторе также влияет на добротность конденсатора. В конструкции с вращающимся поршнем путь тока проходит от поршня к втулке и роторному выводу через винт. При невращающемся поршне ток проходит непосредственно от поршня к втулке. В такой конструкции саморезонанс не обнаруживается до 1200 МГц [4]. Допуск на ТКЕ стеклянных конденсаторов колеблется в пределах от $\pm 50 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ до $\pm 150 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Небольшая величина воздушного зазора в цилиндрических конденсаторах делает их узкими к влиянию загрязнений и влаги, ухудшает их электрические характеристики и затрудняет действие механизма движения поршня. Для герметизации особенно удобна конструкция с невращающимся поршнем, так как поворотный винт при вращении не перемещается вдоль оси. Сравнительные характеристики конденсаторов с вращающимся и невращающимся поршнем приведены в табл. 10 [4]. Конденсаторы с невращающимся поршнем обеспечивают лучшую линейность емкости, но и вращающиеся механизмы имеют свои преимущества: они характеризуются лучшей стабильностью и более длительным сроком службы. Соотношение проданных конденсаторов с вращающимся механизмом и невращающимся составляет 10:1 [30].

Могут быть изготовлены специальные конденсаторы, в частности конденсаторы с изменением емкости по экспоненциальному закону при линейном изменении частоты, конденсаторы с расщепленным статором (получение двух конденсаторов в одной трубке), конденсаторы дифференциального типа, а также конденсаторы для термокомпенсации. Последний вариант позволяет изменять ТКЕ до $\pm 800 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, что достигается специальной формой расщепленного статора.

Конструкция цилиндрических стеклянных конденсаторов делает возможным их применение в качестве переменных, обеспечивающих 30 000—50 000 циклов работы. Цилиндрические конденсаторы при использовании их в качестве переменных могут быть заблокированы между собой, а при соответствующей металлизации могут быть получены сопряженные колебательные контуры [30]. В цилиндрических конденсаторах в качестве диэлектрика применяется либо стандартное стекло с диэлектрической постоянной 6,7 и тангенсом угла потерь $12 \cdot 10^{-4}$, либо зеленое стекло с диэлектрической постоянной 8,3 и тангенсом угла потерь $7 \cdot 10^{-4}$.

Конструктивные особенности стеклянных подстроечных конденсаторов, по данным иностранной печати до 1970 г., представлены в [15]. За последние годы новой патентной и другой информации по конструкции этих конденсаторов не поступало.

Стеклянные цилиндрические подстроечные конденсаторы вытесняются для диапазона емкостей до 30 пф коаксиальными воздушными конденсаторами, а для более высоких емкостей — керамическими дисковыми конденсаторами.

Таблица 10

Сравнительные характеристики конденсаторов с вращающимся и невращающимся поршнем

Характеристики	Конденсаторы	
	с вращающимся поршнем	с невращающимся поршнем
Линейность настройки, %	± 10	± 1
Добротность (на частоте 20 МГц)	до 1250	до 2500
Количество циклов вращений ротора	600	10 000
Стабильность при вибрации	не определялась	лучше чем 0,001 пф
Внешнее оформление (уплотнение, изоляция)	скользящее O-образное кольцо	неподвижное O-образное кольцо
Изменение емкости, %	до 2	не изменяется
Частота собственного резонанса, МГц	100 и выше	≥ 1200
Размеры законченной конструкции	согласно спецификации MIL	на 6,3—12,7 мм меньше, чем по спецификации MIL
Разрешающая способность при настройке, об/мм	2,2	3

Коаксиальные воздушные конденсаторы имеют более высокую частоту саморезонанса, наибольшую добротность и механическую прочность, а керамические дисковые конденсаторы — большую удельную емкость.

Кварцевые конденсаторы

В тех случаях, когда в цилиндрических конденсаторах требуется получить большую величину добротности и высокие рабочее напряжение, в качестве диэлектрика вместо стекла применяется кварц. У кварцевых конденсаторов добротность легко достигает значений 4000 при 20 МГц. Стоимость кварцевых конденсаторов выше, чем стеклянных, а номинальная емкость много ниже (диэлектрическая проницаемость кварца равна 3).

Основные характеристики кварцевых подстроечных цилиндрических конденсаторов

Тип конденсатора по каталогу	$C_{\text{ном}}, \text{ пФ}$	$U_{\text{раб}}, \text{ в}$	Q	$R_{\text{из}}, \text{ ом}$	ТКЕ, $10^{-6}, 1/^\circ\text{C}$	Габариты, мм	Объем, см^3	$C_{\text{уд. макс.}}, \text{ пФ/см}^3$
Фирма Johanson, США [7]								
7168	0,5-5	2500	2000	$1 \cdot 10^{12}$	0 ± 100	$\phi 9,5 \times 41,2$	2,92	1,71
7169	1/15	—	2000	—	0 ± 100	$\phi 19,8 \times 75$	23,2	0,65
7170	0,35/3,5	3000	3000	—	0 ± 100	$26,35 \times 19,8$	0,628	5,58
7171	0,65/5	—	3500	—	0 ± 100	$\phi 7,93 \times 39,7$	1,96	2,55
7918	0,8-5	500	2500	$1 \cdot 10^{12}$	15 ± 15	$\phi 7,93 \times 11,5$	0,508	8,80
Фирма Tektronix-Airtronic, Франция [9]								
AT7585	0,8/10	2500	2000	$1 \cdot 10^{12}$	0 ± 100	$\phi 8 \times 37$	1,80	5,38
Фирма Voltronics Corp., США [11]								
QF2G QF2GA	0,6/1,8—0,8/16	1250	—	—	0 ± 25	$\phi 6,35 \times (15,85 \pm 48,8)$	1,55	10,3

Продолжение таблицы 11

Тип конденсатора по каталогу	$C_{\text{ном}}, \text{ пФ}$	$U_{\text{раб}}, \text{ в}$	Q	$R_{\text{из}}, \text{ ом}$	ТКЕ, $10^{-6}, 1/^\circ\text{C}$	Габариты, мм	Объем, см^3	$C_{\text{уд. макс.}}, \text{ пФ/см}^3$
Фирма JFD, США [31]								
NMQ100 MQ100 NMQ120 MQ120	0,6/1,8—0,8/16	750	1500	$1 \cdot 10^{12}$	25 ± 25	$\phi 6,35 \times (10,34 \pm 44,1)$	1,40	11,4
NQS170 QS170 NQS190 QS190	0,6/1,8—0,8/16	750, 1250	1500	$1 \cdot 10^{12}$	25 ± 25	$\phi 6,35 \times (19 \pm 52)$	1,65	0,97
VC16Q	0,8/2,5—1,8/7,5	500	700	$1 \cdot 10^{10}$	0 ± 100	$\phi 6,35 \times (23,8 \pm 46,9)$	1,485	5,06
VC80A	0,5/8—3,5/5,5	750	1000	$1 \cdot 10^{10}$	25 ± 25	$\phi 6,35 \times (17,46 \pm 46,9)$	1,485	3,71
Фирма Erie, США [22]								
560-033	0,6/1,8—0,8/16	750	1500	$1 \cdot 10^{12}$	25 ± 25	$\phi 6,1 \times (8,2 \pm 45)$	1,315	12,2
580-050	0,7/4,5—0,8/10	750	1500	$1 \cdot 10^{12}$	25 ± 25	$\phi 7,9 \times (17,65 \pm 31,75)$	1,555	6,4
Фирма Oxley, Англия [24]								
QT4	0,5/2—0,5/9,5	1500	2000	$2 \cdot 10^{12}$	20 ± 20	$\phi 6,1 \times (16,3 \pm 29,1)$	0,937	10,1
Фирма Murata, Япония [12]								
NMQ100 NMQ120	0,6/1,8—0,8/16	—	—	—	—	$\phi 6,35 \times (11,75 \pm 45,07)$	1,43	11,2

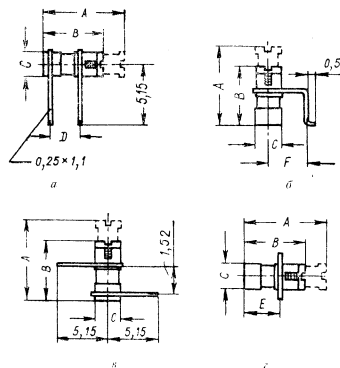
Основные характеристики кварцевых цилиндрических конденсаторов приведены в табл. 11. Максимальная емкость кварцевых конденсаторов 16 пф, максимальная удельная емкость 12 пф/см². Минимальный диаметр 6,1 мм. Рабочее напряжение достигает значений 3000 в (тип 7170, Johanson), что позволяет использовать кварцевые цилиндрические конденсаторы в мощных контурах. Обычное значение добротности кварцевых конденсаторов 1500—2000 при 20 МГц. Самую высокую добротность 3500 имеют конденсаторы типа 7171 (Johanson, США).

Кварцевые конденсаторы являются сравнительно термостабильными: величина ТКЕ $\pm 15 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Лучшее значение ТКЕ имеет конденсатор типа 7918 (Johanson, США). По сравнению со стеклянными, кварцевые конденсаторы имеют более широкий интервал рабочих температур: $-55 \div +155^\circ\text{C}$, а для некоторых типов конденсаторов $-40 \div +200^\circ\text{C}$.

По своей конструкции кварцевые конденсаторы идентичны стеклянным.

Керамические и сапфировые конденсаторы

Керамические конденсаторы — наиболее дешевые среди цилиндрических подстроечных конденсаторов, но по ТКЕ, добротности и стабильности они значительно уступают конденсаторам со стеклянным, кварцевым или фторопластовым диэлектриком, поэтому они не могут быть использованы во многих ответственных схемах. Основные характеристики цилиндрических керамических конденсаторов приведены в табл. 12 [32—36]. Максимальное значение емкости 25 пф имеют конденсаторы фирмы Centralab, США [37]. Минимальные габариты имеют конденсаторы Giga-trim (типы 7260, 7270, 7280, 7290, фирма Johanson). Габариты конденсатора типа 7260 — самые маленькие ($\varnothing 1,9 \times 5,1$ мм), а значение удельной емкости — одно из самых высоких для цилиндрических конденсаторов (104 пф/см²). В этих конденсаторах в качестве диэлектрика используются керамика и сапфир. Рабочее напряжение керамических цилиндрических конденсаторов не превышает 500 в, для миниатюрных конденсаторов с диаметром 3—3,5 мм оно снижено до значений 160—50 в. Добротность керамических цилиндрических конденсаторов высока, всего 500, а для некоторых типов снижена до 200 (тип CS410, фирма КСК). Исключения составляют конденсаторы Giga-trim, для которых величина добротности достигает 1000 при 250 МГц. В отличие от дисковых керамических подстроечных конденсаторов, группа ТКЕ керамического диэлектрика, как правило, не указывается. Обычные значения сред-



Типы	C, пф	Q на 250 МГц	A	B	C	D	E	F
7260	0,3—1,2	≥ 4000	5,33	4,32	1,905	2,03	2,28	2,28
7270	0,6—4,5	≥ 2000	7,88	6,35	3,0	3,3	4,06	4,06
7280	0,4—2,5	≥ 3000	5,33	4,32	3,0	2,03	2,28	2,28
7290	0,8—8,0	≥ 1000	14,2	10,15	3,0	1,635	5,08	5,08

Рис. 7. Конденсаторы фирмы Johanson «Giga-trim»

а — конденсаторы 7261, 7271, 7291, 7291; б — конденсаторы 7283, 7273, 7285, 7290; в — конденсаторы 7204, 7274, 7284, 7294; г — конденсаторы 7265, 7275, 7285, 7295

Основные характеристики цилиндрических

Тип конденсатора по каталогу	$C_{\text{ном}}$, пФ	Количество номиналов	$U_{\text{раб}}$, В	Q
Фирма Stettner.				
R Triko 104-122	0,5/3—3,15	6	250	500
R Triko 201	0,5/2—1/10	6	160	500
Фирма MBLE.				
2222 801.2000	0,8/3,8—1/13	4	500	—
2222 801.2005	0,8/3,8; 0,8/6,8	2	400	—
2222 801.9600	0,5/3,5; 0,7/6,7	2	500	—
2222 802.2000	0,8/3,8—1,7/19,7	5	500	—
2222 802.2001	0,5/3,5—0,9/9,9	4	500	—
2222 802.9603	0,8/3,8; 0,8/6,8	2	400	—
2222 802.960	0,5/3,5—1/13	7	500	—
2222 802.960	0,8/3,8; 0,8/6,8	2	400	—
Фирма Centralab.				
TT100	0,5/2—3,5/25	70	—	—

Таблица 12

подстроечных керамических и сапфировых конденсаторов

$R_{\text{из}}$, Ом	ТКЕ, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{\text{уд. макс}}$ пФ/см ³
ФРГ [32]				
$1 \cdot 10^{10}$	0 ± 150 ; -100 ± 150 ; -100 ± 200 ; -600 ± 300	$\varnothing 3,6 \times (9,2 \pm 12,8)$	0,316	47,5
$1 \cdot 10^{10}$	± 150	$\varnothing 3,5 \times (11,6 \pm 14,6)$	0,14	71,3
Бельгия [6]				
$1 \cdot 10^{10}$	-200 ± 200	$\varnothing 6 \times (10,5 \pm 19,5)$	0,552	23,6
$1 \cdot 10^{10}$	-200 ± 200 ; -300 ± 200	$\varnothing 4 \times (10,8 \pm 13,8)$	0,178	38,2
$1 \cdot 10^{10}$	$+150 \pm 150$; $+150 \pm 100$	$\varnothing 6 \times 13,5$	0,382	17,6
$1 \cdot 10^{10}$	-200 ± 200	$\varnothing 5,5 \times (16 \pm 25)$	0,594	33,2
$1 \cdot 10^{10}$	-10 ± 60 ; -250 ± 250	$\varnothing 5,8 \times 2$	—	—
$1 \cdot 10^{10}$	-200 ± 200 ; -300 ± 200	$\varnothing 4 \times (11,8 \pm 14,8)$	0,186	36,6
$1 \cdot 10^{10}$	-10 ± 60 ; -200 ± 150	$\varnothing 5,5 \times L$	—	—
$1 \cdot 10^{10}$	-200 ± 150	$\varnothing 4 \times L$	—	—
США [37]				
—	П120 М220 М400	$\varnothing 4,7 \times (9,5 \pm 25,4)$	0,165	60,0

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пф	Количество номиналов	$U_{раб}$, В	Q
------------------------------	----------------	----------------------	---------------	---

Фирмы Johanson, США [7].

7260	0,2 1; 0,5 1,5	2	500	>4000 (при 250 МГц)
7270	0,5 5; 0,8 5,5	2	500	>3000 (при 250 МГц)
7280	0,5 2,5; 0,8 3,0	2	500	>3000 (при 250 МГц)
7290	0,8 8	1	500	>1000 (при 250 МГц)

Фирма Murata.

TTS50SL TTS55SL	0,5 2,5—3 15	4	250	500
TTS70SL TTS75SL	0,5 3—3 15	4	250	500

Фирма TDK.

CT436SL1H	0,5 3—2 8	3	150	400
-----------	-----------	---	-----	-----

Фирма KCK.

CS410	0,7 3—1,5 7	3	50	200
-------	-------------	---	----	-----

Фирма Shinmei.

AT1-6	1,5 12	1	100	500
AT1-39	1,5 9	1	100	500
AT1-57	2,5 10	1	100	500

$R_{изг}$, Ом	ТКЕ, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уд. макс}$ пф/см ³
----------------	------------------------------------	--------------	------------------------	--------------------------------------

и Tekelec-Airtronic, Франция [9]

$1 \cdot 10^{10}$	50 ± 50	$\geq 1,9 \times 5,1$	0,0144	104
$1 \cdot 10^{10}$	50 ± 50	$\geq 3 \times 7,95$	0,0564	97
$1 \cdot 10^{10}$	50 ± 50	$\geq 3 \times 5,1$	0,0362	83
$1 \cdot 10^{10}$	50 ± 50	$\geq 3 \times 14,2$	0,10	79

Япония [12]

	± 150 ± 100 0	$\geq 8 \times L$	—	—
—	± 150 ± 100 0	$\geq 4,85 \times L$	—	—

Япония [34]

$1 \cdot 10^{10}$	± 350 ± 1000	$\geq 3,5 \times 13$	0,125	64
-------------------	-------------------------	----------------------	-------	----

Япония [35]

$5 \cdot 10^9$		$\geq 3,0 \times 11$	0,0778	90
----------------	--	----------------------	--------	----

Япония [36]

—	$M10 \pm 150$	$\geq 8,3 \times 16,5$	0,89	13,5
—	$M500 \pm 370$	$\geq 5,4 \times 16$	0,367	24,5
—	$M150 \pm 500$	$\geq 4 \times 11$	0,138	72,5

ней величины ТКЕ $(-100; -150; -200; -300) \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$. Обычная величина допуска на ТКЕ $(\pm 150; \pm 200) \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$. Наименьшие значения допуска на ТКЕ имеют конденсаторы фирмы MBLE (Бельгия) из серии 2222.802.2001 и 2222.802.960 $(\pm 60 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C})$.

Согласно патентной информации [38—40], в конструкции цилиндрических керамических конденсаторов усовершенствованию подвергается система роторных электродов и ротора в целом с целью исключения влияния неточности изготовления статора по внутреннему диаметру.

Наибольшую перспективу для специальной техники СВЧ представляют конденсаторы с керамическим и сапфировым диэлектриком типа Giga-trim.

Основные характеристики и конструктивные варианты этих конденсаторов представлены на рис. 7.

Полимерные конденсаторы

Полимерные цилиндрические подстроечные конденсаторы занимают по своим характеристикам промежуточное положение между керамическими конденсаторами с низкой стабильностью характеристик и прецизионными стеклянными или кварцевыми конденсаторами. В качестве диэлектрика в цилиндрических конденсаторах применяются фторопласт и полистирол. Основные достоинства цилиндрических фторопластовых конденсаторов — возможность достижения миниатюрных габаритов, низкая величина начальной емкости и невысокая стоимость.

Основные характеристики цилиндрических полимерных конденсаторов приведены в табл. 13.

Максимальная емкость цилиндрических полимерных конденсаторов до 30 пф. Однако наибольший интерес из этих конденсаторов представляют миниатюрные конденсаторы с начальной емкостью 0,2—0,25 пф. Их габариты $\varnothing 3,6 \times 12$ мм. Удельная емкость цилиндрических полимерных конденсаторов невелика, всего 34,6 пф/см³ (тип TU, Oxley, Англия). Рабочее напряжение фторопластовых цилиндрических конденсаторов обычно 500—600 в, максимальное значение 1250 в.

Добротность цилиндрических конденсаторов 2000 — для фторопластовых и 1000 — для полистирольных, последние имеют и сниженное сопротивление изоляции (10^9 ом).

ТКЕ конденсаторов $(+125 \pm 125) \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$, для конденсаторов типа TU $(+25 \pm 25) \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$ (Oxley, Англия). Максимальная рабочая температура фторопластовых цилиндрических конденсаторов $+125^{\circ}\text{C}$, полистирольных $+75^{\circ}\text{C}$.

Таблица 13

Основные характеристики цилиндрических подстроечных полимерных конденсаторов

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пф	$U_{раб}$, в	Q	$R_{поп}$, ом	ТКЕ $10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{уд}$, пф/см ³
Фирма Oxley, Англия [24]								
TU ¹	2,7—2,31	600	2000	$1 \cdot 10^{12}$	25 ± 25	$\varnothing 6,4 \times (20,3 \pm 27,9)$	0,896	34,6
TUT	0,5, 7	500	—	$2 \cdot 10^{12}$	0 ± 150	$\varnothing 7,5 \times 14$	—	—
PTU	0,2, 2	600	2000	$2 \cdot 10^{12}$	0 ± 50	$\varnothing 3,6 \times 12$	0,122	16
Фирма Eric, США [22]								
530 000	0,25, 1,5	600	2000	$1 \cdot 10^{12}$	—	$\varnothing 3,6 \times 12$	0,122	12
531 000 532 000	0,5, 5; 1,8	500	1000	$1 \cdot 10^9$	—	$\varnothing 7,13 \times 22$	0,899	8,9
535 000	0,7, 3	350	1000	$1 \cdot 10^9$	—	$\varnothing 5,54 \times 21,4$	0,515	5,8
Фирма Johanson, США [21]								
273-1	0,25, 1,5	600	2000	—	—	$\varnothing 3,56 \times 19,15$	0,191	7,86
273-15	0,3, 2,9	600	2000	—	—	$\varnothing 5,54 \times 30,2$	0,724	4,0

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пф	$U_{раб.}$, в	Q	$R_{кп}$, ом	ТЧЕ, $10^6 \cdot ^\circ C$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{хв.}$, пф/см ³
Фирма Jackson, Англия [23, 39]								
112, 120	0,5/12; 1/20	1250	—	—	-375 ± 875 $+125 \pm 125$	$\varnothing 10,2 \times 42,9$	3,5	5,72
312	1, 12	1250	1000	—	$+125 \pm 125$	$\varnothing 7,9 \times 34$	1,665	7,21
320, 330	2/20; 2/30	1250, 750	1000	—	$+125 \pm 125$	$\varnothing 10,6 \times 34,3$	3,02	9,95
408	0,25/8	1250	1000	—	$+125 \pm 125$	$\varnothing 5,1 \times 23$	0,47	17,0
518	0,8/18	750	1000	—	$+125 \pm 125$	$\varnothing 5,1 \times 34,1$	0,695	25,9

Стоимость полистирольных конденсаторов [41] колеблется от 10 до 15 центов за штуку, стоимость фторопластовых от 40 до 60 центов [42]. Из-за низкой рабочей температуры и химической нестабильности полистирола, на процессы пайки таких конденсаторов и промывки их растворителями накладываются ограничения [41]. Поставщики фторопластовых триммеров считают их незаменимыми в условиях большой влажности,

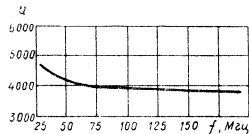


Рис. 8. Зависимость добротности цилиндрических фторопластовых конденсаторов от частоты

загрязненности и вибрации. Им нет равных при работе в диапазоне от СВЧ до УВЧ, где они сохраняют постоянную добротность. Ограничением применения фторопластовых триммеров является трудность получения емкости выше 5 пф в малых габаритах [42] из-за низкой диэлектрической проницаемости материала ($\epsilon = 2$). Добротность фторопласта довольно высокая и сохраняется постоянной в диапазоне частот 60 гц — 3000 Мгц. Кривая зависимости Q от частоты показана на рис. 8 [42].

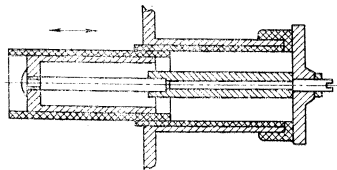


Рис. 9. Фторопластовый подстроечный конденсатор

За последние годы появился ряд патентов на конструкцию фторопластовых конденсаторов [43, 44].

На рис. 9 представлена конструкция фторопластового конденсатора, в котором трущиеся поверхности ротора и статора

принадлежат фторопластовому диэлектрику, что существенно снижает силу трения при минимальном зазоре.

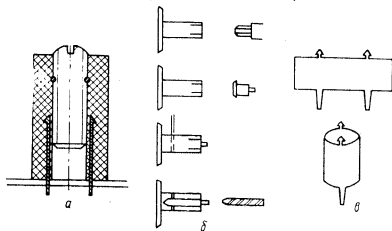


Рис. 10. Способ изготовления фторопластового конденсатора
а — разрез конденсатора; б — стадии обработки фторопласта; б₁ — стадии изготовления статора

На рис. 10 показано использование хорошей обрабатываемости фторопласта для изготовления тонкослойного конденсатора.

КОМПРЕССИОННЫЕ СЛЮДЯНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Компрессионные слюдяные конденсаторы характеризуются большими значениями максимальной емкости и большим

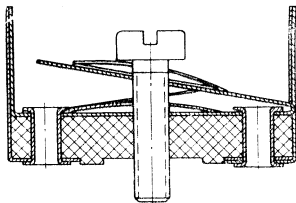


Рис. 11. Общий вид компрессионного слюдяного конденсатора фирмы Sansei Parts, Япония

коэффициентом перекрытия при значительных габаритах. Они имеют низкое значение добротности (100—500), малое сопротивление изоляции, нелинейную зависимость емкости. Конструкция конденсатора состоит обычно из прямоугольного керамического основания, на котором с помощью винта укрепляются металлические обкладки со слюдяными пластинами между ними. Емкость изменяется при вращении винта за счет изменения воздушного зазора между слюдяными пластинами и обкладками. Выпускаются двоянные блоки конденсаторов. Имеются конструкции в круглых корпусах. На рис. 11 показан общий вид слюдяных конденсаторов фирмы Sansei Parts, Япония [45].

Основные характеристики слюдяных компрессионных конденсаторов приведены в табл. 14 [46].

Таблица 14

Основные характеристики компрессионных слюдяных конденсаторов

Тип конденсатора по каталогу	$C_{ном}$, пф	C_{1000} , п	Q (при 10 МГц)	$R_{вн}$, ом	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{ст}$, пф/см ²
Фирма Electro Motive Mfg. Co., США [45]							
—	130—3055; 120—2525; 7—1400; 80—240	250; 500; 175; 175	—	—	25,4 × 11,91 × 4	—	—
Фирма Shinmei, Япония [36]							
AT-31	1,5—9	100	100	—	5,5 × 4	0,095	95
A, B, C, E, G, J, K, Z	5,65—130 1400	250; 300; 500	500	—	18 × 10 × h 23,5 × 22,5 × h	—	—
Фирма Sansei, Япония [46]							
TM-A	20—50	100	100	10 ⁸	22 × 16 × 7	2,47	20,2
TM-B	10—50	100	100	10 ⁸	12,5 × 4	0,19	102

Для специальной техники слюдяные компрессионные конденсаторы не могут быть рекомендованы из-за низкой стабильности. Для ряда случаев применения компрессионные слюдяные конденсаторы могут быть заменены керамическими дисковыми конденсаторами высокой стабильности.

ДИСКОВЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Дисковые керамические подстроечные конденсаторы нашли широкое применение благодаря самому высокому значению удельной емкости при миниатюрных габаритах, легкости настройки, высокой механической прочности и низкой стоимости. Они уступают цилиндрическим прецизионным и воздушным концентрическим конденсаторам по величине добротности, стабильности, плавности настройки.

В каталогах зарубежных фирм, наряду с конденсаторами больших габаритов с диаметром ротора до 22 мм, разработанными в 30-е годы, широко представлены характеристики миниатюрных конденсаторов с диаметром 5—7 мм выпуска 60-х годов. Основные характеристики дисковых подстроечных конденсаторов приведены в табл. 15 [47—50]. Крупногабаритные дисковые конденсаторы охватывают диапазон емкостей от 1,5/7 до 11/110 пф (Erie, США). Малогабаритные конденсаторы имеют шкалу максимальных емкостей до 20—60 пф. Фирма JFD (США) в серии MT перекрывает емкости от 1,1/5 пф до 20/120 пф. Коэффициент перекрытия по емкости дисковых конденсаторов колеблется в пределах 1,5—10. Максимальная емкость дисковых подстроечных конденсаторов ограничена величиной диэлектрической проницаемости (порядка 200): при большем значении диэлектрической проницаемости резко увеличивается ТКЕ. Второй причиной ограничений по емкости является наличие воздушного зазора между статором и ротором. Для конденсаторов зарубежных фирм нет единой системы шкалы номиналов по емкости. В табл. 15 приведены характеристики миниатюрных подстроечных конденсаторов для интегральных микросхем и электронных кварцевых часов, демонстрировавшихся на выставке 15-го Международного салона в Париже [50]. Интерес, проявленный рядом ведущих зарубежных фирм к разработке конденсаторов этого типа, вызван возможностью расширения рынка сбыта. Конденсаторы фирмы Johanson (США) типа 9410 [8, 49] также разработаны для интегральных микросхем и электронных часов, в Париже они были признаны лучшими. Конденсаторы для электронных часов имеют по сравнению с обычными миниатюрными дисковыми очень маленькую высоту, до 1,52 мм, и объем всего 0,039—0,007 см³. Удельная емкость таких конденсаторов достигает значения 1280 пф/см³. Из обычных миниатюрных дисковых подстроечных конденсаторов наибольшую величину удельной емкости имеют конденсаторы серии MT фирмы JFD (США), которая составляет 930 пф/см³. Основным выигрыш в габаритах у этого типа конденсатора — также за счет высоты.

Дисковые керамические подстроечные конденсаторы работают на рабочие напряжения от 50 до 500 в, причем для

Таблица 15

Основные характеристики дисковых подстроечных керамических конденсаторов

Тип конденсатора по назначению	$U_{раб}, в$	Q	$R_{дв}, ом$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{ном}, пф$	ТКЕ, 10 ⁻⁴ , %	$C_{уд}, макс, пф/см^3$
Фирма Stettner, ФРГ [32]								
16S-Triko	500; 450	500	10 ¹⁰	21,5×10×9 21,6×11,4	2,29	3,10; 3,15 3,15—6,30 4,20—10,60 12 100	M033 M470 M750 M1500	6,56 13,1 26,2 13,7
						2,8; 3,10 3,15 3,15—8,25 3,15—10,40 10,40; 10,60	M033 M075 M1075 M750 M1500	15,3 27,5 48,3 61,3 92,0
						2,5; 4; 2,5; 6 3,9 3,5; 10; 3,5; 13 4,5; 15; 4,5; 20 6,30; 7,35	M033 M075 M470 M750 M1500	19,5 29,2 42,2 65,0 113,5
10S-Triko	250; 350	500	10 ¹⁰	21,0×8,3	0,653			
7S-Triko	100	500	10 ¹⁰	17×8	0,308			
5S-Triko	63	500	10 ¹⁰	12,5×6,5	0,128			

Продолжение таблицы 13

Тип конденсатора по каталогу	$t_{\text{раб}}, ^\circ\text{C}$	Q	$R_{\text{из}}, \text{ом}$	Габариты, мм	Объем, см^3	$C_{\text{ном}}, \text{нФ}$	$TKE, 10^{-6}, ^\circ\text{C}$	$C_{\text{уд. макс}}, \text{нФ/см}^3$
—	63	—	10 ¹⁰	$\varnothing 5,7 \times 2,3$	0,0577	6,60	—	1004
—	—	—	10 ¹⁰	$\varnothing 5 \times 3,1$	0,0668	8,45	—	674
Фирма Eric. США [47]								
501	500	500; 350	—	$21,7 \times 16,65 \times 9,53$	3,44	1,57—4,525 3,13; 5,20 4,30; 7,45 2,6—7,45 11,110	M10 M330 M500 M650 M1500	7,28 5,82 13,10 13,10 29,10
557	330	500; 400	—	$\varnothing 13,5 \times 8,7$	1,245	1,57—5,25 5,30; 8,50 10,75	M10 M330 M750 M1500	30,1 16,1 40,2 60,2
558	330; 200	500	—	$29,55 \times 7,87$	0,564	2,85—5,518 2,511; 7,25 9,35	M10 M330 M650	32,1 44,5 62,1
511; 518	100; 50	500	—	$\varnothing 5,54 \times 4,45$	0,1075	1,3—5,25 2,3; 5,15 6,22; 7,40	M10 M750 M750	233 139,5 372
Var-Tin	—	—	—	$\varnothing 5,61 \times 2,03$	0,0502	1,3; 2,5; 9; 5,30; 7,40	—	796

Продолжение таблицы 15

Тип конденсатора по каталогу	$t_{\text{раб}}, ^\circ\text{C}$	Q	$R_{\text{из}}, \text{ом}$	Габариты, мм	Объем, см^3	$C_{\text{ном}}, \text{нФ}$	$TKE, 10^{-6}, ^\circ\text{C}$	$C_{\text{уд. макс}}, \text{нФ/см}^3$
Фирма JFD, США [10]								
1A11	350; 200	500	—	$\varnothing 9,5 \times 7$	0,496	2,8; 5,518 2,511; 8,25 3,13; 9,35 15,60	M10 M0 M330 M650 M1500	16 50,5 50,5 10 120
1A13	250	500	—	$38,85 \times 7,1$	0,262	1,76 1,7; 10; 2,720	M10 M470	38 76
AT	50	500	—	$7,1 \times 5,3 \times 3,2$ $8,6 \times 5,3 \times 3,2$ $6,35 \times 6,35 \times 3,2$	0,120 0,146 0,129	1,15; 1,69 3,12; 4,15; 3,520 5,30 6,540 8,530; 12,60 20,120	M10 M250 M450 M550 M650	75 125 250 333 500
—	—	—	—	$\varnothing 6,23 \times 4$	—	3,10—3,30	—	—
Фирма Johanson, США [7], и Tekdec-Airtronic, Франция [9]								
9300	250	500; 300; 200	10 ¹²	$\varnothing 7,9 \times 7$	0,343	1,76 2,710 2,920 3,830 4,40; 4,550	M10 M100 M100 M550 M1000	17 29 28 87 203
9310	250	300	10 ¹²	$7 \times 6 \times 7$	0,294	2,810 3,218	M350 M550	34 61

Тип конденсатора по кату	$U_{\text{раб}}, \text{в}$	Q	$R_{\text{вх}}, \text{ом}$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{\text{ном}}, \text{пф}$	ТКЕ, $10^{-6}, 1^\circ\text{C}$	$C_{\text{уд}}, \text{мкф}/\text{пф}, \text{см}^3$
--------------------------	----------------------------	-----	----------------------------	--------------	------------------------	-----------------------------	---------------------------------	--

Фирма Johnson, США [49]

3410	250	3000	10 ¹⁰	5,08×5,08×1,52	0,039	1,45	+50±30	115
		1000		5,08×5,08×1,52		2,5-10	0±100	257
		300		5,08×5,08×1,52		4,78	-200±200	462
		500		5,08×5,08×1,52		6,26	-400±200	687
		300		5,08×5,08×1,52		8,38	-750±300	975
		300		5,08×5,08×1,52		15,50	-750±300	1283
3401	250	5000	10 ¹⁰	3,56×2,79×0,76	0,0076	0,2-0,6	0±50	79
		2000		3,56×2,79×0,76		0,5-2	0±50	253
		1000		3,56×2,79×0,76		1,4	0±50	528
		750		3,56×2,79×0,76		3,12	0±50	1580

Фирма Oxley, Англия [24]

C10	250	500	10 ¹²	6,4×6,4×5,1	0,209	1,5-10	-200±350	18
C16	250	500	10 ¹²	21,9×16,5×10,2	3,69	3,5-30-10,60	—	16,25

Фирма LCC, Франция [50]

—	—	—	—	205×2	0,0303	4,45 и др.	—	1272
				27×3	0,116	1,5-4,7 3,3-10 4,7-25	M033 M470 M750	40,5 36,2 213
VT1005	63	—	—	—	—	—	—	—

Тип конденсатора по кату	$U_{\text{раб}}, \text{в}$	Q	$R_{\text{вх}}, \text{ом}$	Габариты, мм	Объем, см ³	$C_{\text{ном}}, \text{пф}$	ТКЕ, $10^{-6}, 1^\circ\text{C}$	$C_{\text{уд}}, \text{мкф}/\text{пф}, \text{см}^3$
--------------------------	----------------------------	-----	----------------------------	--------------	------------------------	-----------------------------	---------------------------------	--

Фирма Taijo, Япония [13]

CV08	350	—	—	12×8,7	0,083	2,3-8-3,5-12 3,5-20; 4-25 5,5-30	M110 M470 M750	12,2 25,4 30,5
						7,45-15,60	M1000	61
CV03	350	—	—	27×10×8	0,028	3,8-3,12 5,13 5,20	M110 M330 M470	19,15 20,7 31,9
						5,30	M750	47,8
CV01	350	—	—	19-13,5×8	2,045	2,5-7-5,80 5,13-5,25 5,30; 7,45	M110 M330 M470	9,77 12,2 22
						2-6-7,50	M750	24,4
CV07	250	—	—	17×10	0,085	3,7-3,5-10 4-10 4-10; 4,5-15	M110 M330 M470	26 26 39
						5,13-6,20	M750	52

Фирма Murata, Япония [12]

CV03	350	500	—	10-10,5	0,824	3,8-3-12 5-13 4-20	M110 M330 M470	14,6 16,5 25,5
						5,30	M750	38,2

Тип конденсатора по каталогу	$U_{раб}, в$	Q	$R_{ж}, ом$	Габариты, мм	Объем, см ³	$\epsilon_{инт}, пф$	ТКЕ, $10^{-6}, 1/^\circ C$	$C_{нз}, мкф$ нр см ²
DT05	63	500	1	25×6	0,118	2,5; 3,5; 10; 4,5; 15	М10 М470	84,8 127
DT07, DT071	250	500	—	37×6,6	0,254	2,5; 6; 3,5; 13; 4,5; 15; 4,5; 20	М10 М470 М750	23,6 151,3 79
CV070	50	500	10 ⁶	37×4	0,221	3; 8; 3; 12; 6; 20	М10 М750	54,2 90,5
CV03	315	500	—	210×4,5	0,354	3; 8; 3; 12; 5; 20; 5; 30	М10 М330 М470 М750	31,3 40,3 84,8
CV01	500	500	—	19×13,5×8	2,06	2,5; 7; 5; 20; 5; 25; 7; 45; 7; 50	М10 М330 М470 М750	9,71 12,11 21,80 24,30

Фирма TDK, Япония [34]

малых габаритов рабочее напряжение снижено. Это связано со снижением толщины диэлектрика до 120 мкм. Добротность дисковых керамических конденсаторов указывается на частоте 1 МГц и имеет значение 500. Фактическая добротность конденсаторов имеет значение 1000. Для конденсаторов серии 9401 добротность приведена на частоте 100 МГц и достигает значений 5000 для термостабильных групп керамики. Обычный диапазон рабочих температур дисковых керамических подстроечных конденсаторов $-55 \div +85^\circ C$. Фирма Erie допускает расширение интервала рабочих температур до $+125^\circ C$ со снижением рабочего напряжения до 50 в (конденсаторы типа 518) и удорожанием конденсаторов. Дисковые керамические подстроечные конденсаторы выпускаются с широким интервалом групп ТКЕ. Изменение емкости конденсаторов в интервале рабочих температур в зависимости от группы материала ротора согласно MIL-C-81 приведено в табл. 16. Там же приведены пересчитанные в единицы ТКЕ изменения емкости. Как видно из приведенных данных, ТКЕ конденсаторов далеко не соответствует ТКЕ материалов [51, 52].

Таблица 16
Изменение емкости керамических дисковых конденсаторов в интервале рабочих температур в зависимости от группы материала ротора

номинальная диэлектрическая проницаемость	группа ТКЕ и ее кодовое обозначение	Отклонения емкости от значения при 25° C, %					
		-55° C		+85° C		+125° C	
		мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
30	М10 А	-4,5	+2,0	-2,5	+2,0	-4,2	+3,4
45	М330 В	-1,0	+3,5	-2,5	-0,5	-4,2	-0,8
50	М500 С	-1,0	+6,5	-4,0	-1,0	-6,7	-1,7
57	М650 D	+1,5	+7,0	-5,0	-1,5	-8,5	-2,5
90	М750 E	-1,75	+8,0	-5,75	-1,75	-9,5	-2,8
180	М1500 F	+6,0	+16,0	-11,0	6,0	-15,0	-9,0
—	М750 G	+0,0	+14,0	-8,0	-3,0	-14,0	-5,0

Классификация групп ТКЕ согласно MIL-C-81 приводится в каталогах фирм Erie, США, и Stettner, ФРГ (для конденсаторов, изготавливаемых по военной спецификации). Американские фирмы Johanson и JFD приводят в своих каталогах отличные от MIL-C-81 группы ТКЕ и другие допуски. Классификация ТКЕ в каталогах японских фирм TDK и Taijo близка к классификации MIL-C-81. Однако нижняя температура для керамических подстроечных конденсаторов этих фирм всего $+25^{\circ}$ (TDK) и -30° (Taijo). Кроме того, из перечисленных в MIL-C-81 группы ТКЕ японские фирмы применяют только четыре первых. В каталоге фирмы Taijo приводится материал группы S с $\epsilon = 1000$, не применяемый европейскими и американскими фирмами. Наиболее узкий интервал допуска по ТКЕ имеют керамические конденсаторы фирмы Stettner общего применения. В своих новых разработках (тип 511 и 518) фирма Erie в качестве диэлектрика применяет только две группы керамических материалов МП0 и М750. Фирмы JFD, Johanson (США) и Stettner (ФРГ) в новых разработках применяют широкую шкалу интервалов по ТКЕ. Выбор вида и номинала подстроечного конденсатора диктуется в первую очередь разрешающей способностью, т. е. изменением емкости на 1° угла поворота ротора. Так как для дисковых конденсаторов максимальный угол поворота ограничен 180° , с увеличением номинала емкости происходит неизбежное ухудшение разрешающей способности.

Кроме самой высокой удельной емкости достоинством дисковых конденсаторов по сравнению с другими типами является неизменность размеров при широких пределах изменения емкости.

Дисковые подстроечные конденсаторы отличаются универсальностью с точки зрения типов монтажа (вертикальный, горизонтальный, полосковый). Следует учитывать необходимость осторожного обращения с конденсаторами при монтаже, пайке и очистке их от флюса с целью исключения механических повреждений и ухудшения электрических характеристик [52].

Параметры конденсаторов всех иностранных фирм весьма близки. Из миниатюрных дисковых конденсаторов наилучшими параметрами и наибольшей удельной емкостью (1580 нФ/см^2) обладают конденсаторы типа 9401 фирмы Johanson (США) [50]. Конструктивные особенности дисковых керамических подстроечных конденсаторов по данным иностранной печати до 1970 г. описаны в [15].

Как показывает патентная информация, за последние годы конструкция конденсаторов совершенствуется в направлении

уменьшения габаритов, применения безвыводного монтажа в печатных и интегральных схемах, улучшения качества отдельных элементов конструкции, в частности пружины,

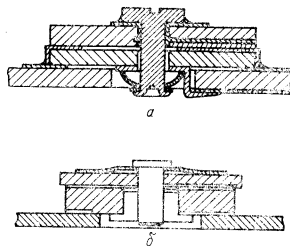


Рис. 12. Подстроечный конденсатор в печатной схеме

а — сборка до монтажа в схему; б — сборка после монтажа в схему

и использования групповой технологии изготовления элементов [53, 54].

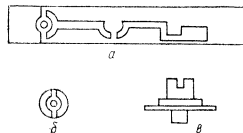


Рис. 13. Подстроечный конденсатор в интегральной схеме

а — интегральная схема; б — ротор; в — конденсатор

На рис. 12 и 13 показаны конструктивные варианты совмещения подстроечных конденсаторов с печатной [55—57] и интегральной [58] схемой. Во всех случаях безвыводная конструкция конденсаторов позволяет снизить его индуктивность и уменьшить общие габариты схемы.

На рис. 14 показаны усовершенствования упругих элементов конденсаторов путем изменения формы пружины [59] или

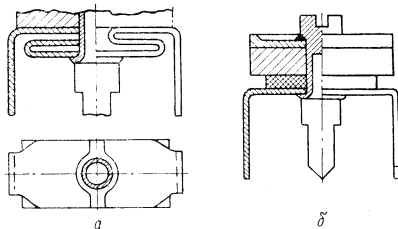


Рис. 14. Варианты конструкции упругих элементов
а — металлическая пружина; б — решетчатая пружина

введения эластомера взамен металла. Ряд элементов конденсаторов, как показано на рисунке, могут быть совмещены [60].

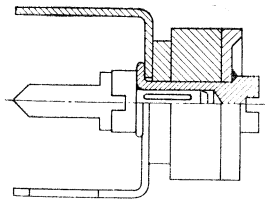


Рис. 15. Элементы конструкции с двусторонней регулировкой

Для двусторонней настройки применяется конструкция, показанная на рис. 15 [61].

На рис. 16 показана схема групповой технологии изготовления роторов на стеклянном носителе [62].

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТИПЫ ПОДСТРОЕЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

В этом разделе приводятся описание и характеристики конденсаторов, которые не могут быть отнесены к какому-либо типу по классификации МЭК.

Фирмой Voltronics Corp. (США) [63—67] разработаны миниатюрные конденсаторы СР2М и СР0М сдвигающимся электродом. В качестве диэлектрика в этих конденсаторах использован фторопласт, который наплавлен на пластинку из нержавеющей стали. Пластика выдвигается, например пинцетом, или выдвигается из зажимного контакта, служащего вторым электродом. Ограничители хода обеспечивают стабильную работу конденсаторов при вибрациях и ударах с ускорением свыше 40 g. Конденсаторы предназначены для работы на частотах до 5 ГГц и более. Основные электрические характеристики конденсаторов:

- габариты $5,08 \times 2,03 \times 1,02$ мм;
- диапазон емкостей 0,4/2,8 и 0,8/9,3 пф;
- номинальное напряжение 150 в;
- ТКЕ $\pm 100 \cdot 10^{-6}$ 1/°C;
- добротность свыше 1000 на частоте 250 МГц и свыше 100 на частоте 2 ГГц;
- интервал рабочих температур $-55 \div +125$ °C;
- контактное сопротивление 0,005 ом.

Фирмой Sprague Electric Co. (США) [68—71] запатентован керамический подстроечный конденсатор на основе толстепленочной технологии (рис. 17). Подвижный электрод конденсатора разделен на две части: подвижный элемент — омический контакт 2 и неподвижный элемент, представляющий собой многочисленные островки электрода 1, расположенные на поверхности диэлектрика 4. Подвижный элемент последовательно соединяет островки друг с другом и выводом 3. Максимальная емкость достигается при последовательном соединении всех островков электрода. Островки изготавли-

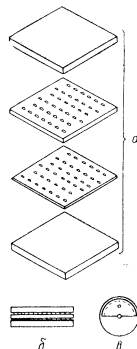


Рис. 16. Групповая технология изготовления роторов
а — схема сборки блока роторов; б — ротор в разрезе; в — ротор в плане

Основные характеристики различных типов подстроечных

Диэлектрик, обозначение по МЭК	Фирма, страна	Крайние номиналы емкости, пф	$U_{\text{раб, макс}}$, в	Q
Воздух, 11	Johanson, США	0,35/3,5 -1/30	500	1500, 10 000 (при 100 МГц)
	Voltronics, США	0,8/10	250	4000
Воздух, 21	Johnson, США	1,2/4,2—5,6/147	1500	1500
	Jackson, Англия	2,3/5—5,8/150	625	10 000
	Oxley, Англия	2/9—4/104	500	1000; 2000
	Arena, Франция	1,3/6,3—8/228	1600	400
Кварц, 32	Johanson, США	0,35/3,5—1/15	5000	3500; 2000
	JFD, США	0,6/1,8—0,8/16	750	1500
	Voltronics, США	0,6/1,8—0,8/16	1250	—
Стекло, 32	JFD, США	0,8/4,5—1,5/300	750	1000; 500
	Johanson, США	0,1/1,3—1/10	500	500 (при 100 МГц)
Фторопласт, 32	Oxley, Англия	0,2/2—2/31	600	2000
	Johnson, США	0,25/1,5—0,3/2,9	600	2000

Таблица 17

конденсаторов с разными видами диэлектрика

$R_{\text{вх}}$, ом	ТКЕ*, 10 ⁻⁶ ·1 ⁻¹ ·°C	Габариты (миним., макс.), мм	Объем (миним., макс.), см ³	$C_{\text{вх, макс}}$, пф·см ³	$I_{\text{раб}}$, С
1·10 ¹²	0±50; 0±20 0±30; 0±15	∅3,8×11,90 ∅9,2×18,2	0,135 1,21	36 8	-55÷+125
1·10 ¹²	50±50	∅7,2×13,9	0,565	18	-55÷+150
—	45±15 50±20	11,5×11,5×12,3 3×23,8×48,8	1,625 36,0	9,95 3,3	—
—	0±25 -25±25	9,5×9,5×10,2 31,7×23,8×46,7	0,92 35,2	13,85 4,26	—
5·10 ⁹	0±25 0±50	7,9×7,9×15,2 22,9×17×19	0,95 9,80	9,77 4,3	-55÷+125
1·10 ¹⁰	0±30 0±35	11×10×14 50×50×48	1,54 120,0	10,8 1,6	-55÷+125
1·10 ¹²	0±100 15±15	∅6,35×19,8 ∅19,8×75	0,628 23,20	8,8 0,05	-55÷+150 -55÷+200
1·10 ¹²	25÷25	∅6,35 (10,81×44,1)	1,4	11,1	-55÷+150
—	0±25	∅6,35 (15,85×48,8)	1,55	10,3	-55÷+150
1·10 ¹²	0±50 -50±150	∅6,35×45,5 ∅7,93×56,8	1,48 2,8	25,7 107	-55÷+125
1·10 ¹²	0±100 0±50	∅1,9×7,95 ∅6,35×11,1	0,115 0,345	43 26	-55÷+125
1·10 ¹²	0±25 0±150	∅3,6×12 ∅6,4×27,9	0,122 0,896	34,6 16	-55÷+125
—	—	∅3,56×19,15 ∅5,54×30,2	0,191 0,724	7,86 4,0	-55÷+150

Диэлектрик, обозначение по МЭК	Фирма, страна	Крайние поминалы емкости, пф	$U_{\text{раб, макс}}$, в	Q
Керамика, 32	Stettner, ФРГ	0,5/2—3/15	250	500
	MBLE, Бельгия	0,5/3,5—1,7/19,7	500	—
Сапфир, 32	Johanson, США	0,2/1—0,8/5,5	500	3000; 4000 (при 100 МГц)
Керамика, 52	Erie, США	1,5/7—11/110	500	500; 400; 350
	Stettner, ФРГ	1,5/7—12/100	500	500
Керамика, 52 (для интег- ральных микро схем и электрон- ных часов)	JFD, США	1,1/5—20/120	50	500
	Johanson, США	1,5/4,5—15/50	250	3000 (при 100 МГц)
	LCC, Франция	4/5	—	—
	Stettner, ФРГ	0/00	63	—

* Через знак дроби указываются значения ТКЕ и $C_{\text{уд, макс}}$.

$R_{\text{вх, ом}}$	ТКЕ*, 10 ⁻⁶ , 1 °C	Габариты миним. макс., мм	Объем миним. макс., см ³	$C_{\text{уд, макс, пф см}}$	$T_{\text{раб, °C}}$
1·10 ¹⁰	$\frac{0 \pm 150}{-600 \pm 150}$	$\frac{\varnothing 3,5 \times 11,6}{\varnothing 5,6 \times 12,8}$	$\frac{0,141}{0,316}$	$\frac{71,3}{17,5}$	-55 ÷ + 85
1·10 ¹⁰	$\frac{-10 \pm 60}{-300 \pm 200}$	$\frac{\varnothing 4 \times 12,8}{\varnothing 6 \times 19,5}$	$\frac{0,186}{0,594}$	$\frac{38,2}{17,6}$	-55 ÷ + 100
1·10 ¹⁰	50 ± 50	$\varnothing 1,9 \times 5,1$	0,014	104	—
—	по MIL	$\frac{\varnothing 5,54 \times 4,45}{21,7 \times 16,65 \times 9,53}$	$\frac{0,1075}{3,44}$	$\frac{372}{—}$	-55 ÷ + 125 -55 ÷ + 85
1·10 ¹⁰	$\frac{(M330) - 70}{(M1500) - 180}$	$\frac{\varnothing 5 \times 6,5}{21,5 \times 16 \times 9}$	$\frac{0,128}{2,29}$	$\frac{156}{—}$	-25 ÷ + 85 -55 ÷ + 85
1·10 ¹⁰	$\frac{(M10) \pm 150}{(M650) \pm 350}$	$6,35 \times 6,35 \times 3,2$	0,120	$\frac{75}{930}$	—
1·10 ¹⁰	$\frac{1,50 \pm 50}{750 \pm 500}$	$\frac{5,08 \times 5,08 \times 1,52}{2,5 \times 3,5 \times 0,8}$	$\frac{0,039}{0,007}$	$\frac{1720}{1283}$	—
—	—	$\varnothing 5 \times 2$	0,0303	1272	—
1·10 ¹⁰	—	$25,7 \times 2,3$	0,0574	1001	—

соответствующие минимальным (в числителе) и максимальным (в знаменателе) габаритам.

Таблица 18

Сравнительные данные по параметрам подстроечных конденсаторов различного вида *

Обозначение по МЭК**	$C_{мин}$, пф		$C_{макс}$, пф		$U_{раб}$, в		$Q_{макс}$		$R_{из}$, ом		ТКЕ, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		Объем (мин.), см ³		$C_{уд. макс}$, пф/см ³		$T_{раб. макс}$, °C		Суммарный показатель качества*	
	абс.	отн.	абс.	отн.	абс.	отн.	абс.	отн.	абс.	отн.	абс.	отн.	абс.	отн.	абс.	отн.	абс.	отн.	абс.	отн.
11	0,35 (Johanson)	5	30 (Johanson)	5	500 (Johanson)	5	10 000 (Johanson)	1	10^{12} (Johanson)	1	0 ± 15 (Johanson)	1	0,135 (Johanson)	5	36 (Johanson)	5	150 (Voltronics)	2	29	2
21	1,2 (Johnson)	8	228 (Arena)	2	1500 (Johnson)	2	10 000 (Jackson)	2	10^{10} (Arena)	5	0 ± 25 (Jackson)	3	0,92 (Jackson)	7	14 (Jackson)	7	125 (Arena)	5	41	6
32 (стекло)	0,1 (Johanson)	1	300 (JFD)	1	750 (JFD)	3	1000 (JFD)	6	10^{12} (JFD)	2	0 ± 50 (JFD)	5	0,033 (Johanson)	3	107 (JFD)	2	125 (JFD)	6	28	1
32 (керамика)	0,5 (Stettner)	7	25 (Centralab)	6	500 (Johanson)	6	500 (Stettner)	7	10^{10} (Airtronic)	6	-10 ± 60 (MBLE)	6	0,14 (Stettner)	8	71 (Stettner)	4	100 (Stettner)	5	57	8
32 (кварц)	0,35 (Johanson)	6	16 (Voltronics)	7	3500 (Johanson)	1	3500 (Johanson)	3	10^{12} (Johanson)	3	15 ± 15 (Johanson)	2	0,63 (Johanson)	6	11 (JFD)	8	200 (Johanson)	1	36	3
32 (сапфир)	0,2 (Johanson)	2	5,5 (Johanson)	8	500 (Johanson)	7	3000 (Johanson)	4	10^{10} (Johanson)	7	50 ± 50 (Johanson)	7	0,014 (Johanson)	2	104 (Johanson)	3	150 (Johanson)	3	40	5
32 (фторопласт)	0,2 (Oxley)	3	31 (Oxley)	4	600 (Oxley)	4	2000 (Oxley)	5	10^{12} (Oxley)	4	0 ± 25 (Oxley)	4	0,122 (Oxley)	4	35 (Oxley)	6	150 (Johnson)	4	38	4
52 (керамика)	0,2 (Johanson)	4	60 (Stettner)	3	500 (Stettner)	8	540 (Stettner)	8	10^{10} (Stettner)	8	-50 ± 50 (Johanson)	8	0,007 (Johanson)	1	1720 (Johanson)	1	125 (Erie)	7	50	7

* В скобках указывается фирма-изготовитель конденсатора, параметр которого приводится.

** Первая цифра — вид конструкции, вторая — вид диэлектрика (см. введение).

ваются методом шелкографии на поверхности диэлектрика. На подокруг диаметром 19 мм наносится около 1600 островков. Подвижный элемент представляет собой специально изготовленную металлическую маску с гибкой подложкой из силиконового каучука. Маска соприкасается с каждым островком в нескольких точках. К поверхности островков она прижимается посредством спиральной пружины. Конденсатор обеспечивает регулировку емкости от 10 пф до 0,03 мкф, тангенс угла диэлектрических потерь $90 \cdot 10^{-4}$, напряжение 10 в. Конденсаторы износостойчивы и выдерживают 100 000 циклов вращений.

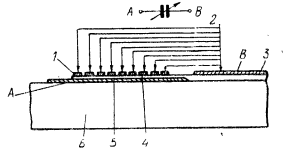


Рис. 17. Конструкция переменного конденсатора
1 — островки электрода; 2 — омический контакт; 3 — собирающий электрод; 4 — диэлектрик; 5 — второй электрод; 6 — подложка

Конденсатор этого типа, помимо США, запатентован также в Англии [72, 73] и Нидерландах [74, 75].

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДСТРОЕЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Выбор подстроечного конденсатора для определенного вида аппаратуры невозможно произвести по совокупности всех параметров без учета значимости каждого из них.

В данной главе сделана попытка оценить различные виды подстроечных конденсаторов по девяти параметрам раздельно.

С этой целью составлена табл. 17, представляющая характеристики подстроечных конденсаторов лучших зарубежных фирм.

На основании этой таблицы сделана выборка сравнительных данных по лучшим конденсаторам каждого вида и дано распределение этих конденсаторов по каждому из параметров, а также по их совокупности (табл. 18). Пользуясь табл. 18, потребитель может самостоятельно сделать выбор конденсатора по любому набору параметров. Достоинством воздушных подстроечных конденсаторов является высокая добротность и низкий ТКЕ, причем концентрические конденсаторы по совокупности параметров лучше пластинчатых.

Таблица 17

Сравнительные характеристики подстроечных конденсаторов различных типов для СВЧ-диапазона, выпускаемых фирмой США [76]

Обозначение по МЭК	Тип конденсатора по каталогу	Фирма	$C_{\text{ном}}$, пф	$Q_{\text{вх}}$	$f_{\text{Мд}}$ (значение, при котором измерялась Q)	ТКЕ, $10^{-4}, ^\circ\text{C}$	$U_{\text{раб}}$, в	Размеры, мм	Частота намотки, Гц
321 (сапфир, керамика)	7250	Johnson	0,3/1,2	4000	250	$\pm 50 \pm 50$	500	$\varnothing 2,03 \times 5,6$	6,3
321 (сапфир)	7280	"	0,4/2,5	3000	250	$\pm 50 \pm 50$	500	$\varnothing 3,05 \times 5,6$	4,8
321 (сапфир)	7270	"	0,6/4,5	2000	250	$\pm 50 \pm 50$	500	$\varnothing 3,05 \times 7,9$	2,9
321 (сапфир)	7290	"	0,8/8	1000	250	$\pm 50 \pm 75$	500	$\varnothing 3,05 \times 14,2$	1,9
111	5800	Johnson	0,35/3,5	10 000	100	$\pm 0,15$	250	$\varnothing 3,56 \times 11,9$	2,5
111	MVM003	JFD	0,35/3,5	5000	100	$\pm 0,50$	250	$\varnothing 3,59 \times 11,9$	—
111	5700	Johnson	0,6/6	10 000	100	$\pm 0,15$	250	$\varnothing 5,59 \times 11,9$	1,6
111	MVM006	JFD	0,4/6	5000	100	$\pm 0,50$	250	$\varnothing 7,1 \times 11,9$	1,3
111	5200	Johnson	0,8/10	5000	100	$\pm 0,15$	250	$\varnothing 7,1 \times 11,9$	1,3
111	MVM010	JFD	0,8/10	2000	100	$\pm 0,20$	250	$\varnothing 7,1 \times 11,9$	1,3
111	AT-10	Volttronics	1/10	4000	100	$\pm 50 \pm 50$	250	$\varnothing 7,1 \times 11,9$	1,3
521 (керамика)	9401-0	Johnson	0,2/0,6	1000	100	$\pm 0,50$	250	$\varnothing 3,81 \times 0,76$	5,5
521	9402-2	"	0,5/2	1000	100	-200 ± 200	250	$\varnothing 3,81 \times 0,76$	2,9
521	9401-4	"	1,0/4	1000	100	-700 ± 200	250	$\varnothing 3,81 \times 0,76$	2,0
521	273-0065	Johnson	1,1/3,5	300	100	-219 ± 281	50	$\varnothing 6,35 \times 4,06$	1,9
521	9410-0	Johnson	1,1/5	2000	100	$\pm 50 \pm 50$	250	$\varnothing 3,81 \times 1,28$	1,9
521	9410-1	"	3/10	500	100	-700 ± 300	250	$\varnothing 3,81 \times 0,76$	1,7
211	187-0103	Johnson	1,3/5,4	1800	200	$\pm 30 \pm 15$	125	$\varnothing 6,35 \times 9,14$	—
Специал (фторопласт)	CP-2	Volttronics	0,1/2,5	1000	250	0 ± 100	150	$6,35 \times 2,03 \times 1,02$	≥ 5
	CP-10	"	0,5/9	500	250	0 ± 100	150	$6,35 \times 2,03 \times 1,02$	≥ 5

Цилиндрические конденсаторы с твердым диэлектриком имеют широкий диапазон емкости (стеклянные), низкий ТКЕ, высокое рабочее напряжение и широкий диапазон рабочих температур (кварцевые), причем по совокупности параметров стеклянные конденсаторы наиболее универсальны.

Дисковые керамические конденсаторы имеют наименьший объем и максимальную удельную емкость среди всех видов конденсаторов. Совершенствование технологии изготовления этого вида конденсаторов, разработка новых высокочастотных керамических материалов позволяет по всем электрическим параметрам приблизиться к лучшим цилиндрическим и концентрическим конденсаторам. Добротность конденсаторов может быть доведена до 2000, минимальная емкость до 0,2 пф, максимальная — до 400 пф, рабочее напряжение до 2000 в, сопротивление изоляции до 10^{12} ом, рабочая температура до 125°С.

Учитывая тенденции к миниатюризации в современной радиоэлектронике, дисковые конденсаторы, как самые малогабаритные, следует считать одним из наиболее перспективных видов подстроечных конденсаторов.

В табл. 19 приведены сравнительные характеристики подстроечных конденсаторов различных типов для СВЧ-диапазона [76]. Наиболее высокую частоту саморезонанса и, значит, рабочую частоту имеют конденсаторы типов: 7260 (Giga-trim), 9401 и CP-2, CP-10. Эти конденсаторы на сегодняшний день являются наиболее перспективными для СВЧ-диапазона. Следует отметить нетрадиционный метод подстройки последних двух видов конденсаторов — линейное перемещение электродов. Точность настройки в этом случае зависит от многих субъективных факторов.

ВЫВОДЫ

На основании анализа зарубежной информации по подстроечным конденсаторам можно сделать следующие выводы:

1. Из воздушных подстроечных конденсаторов лучшими качествами по совокупности параметров обладают концентрические конденсаторы, имеющие наибольшую добротность (10 000) и наименьший ТКЕ ($\pm 15 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$).

2. Из конденсаторов с твердым диэлектриком наиболее широким диапазоном емкости 0,1—300 пф при рабочем напряжении до 750 в отличаются стеклянные цилиндрические конденсаторы; наивысшей удельной емкостью (1580 пф/см²) и наименьшими габаритами (2,5×3,5×0,8 мм) обладают дисковые керамические конденсаторы.

3. Наиболее перспективными для СВЧ-техники являются керамические (сапфировые) цилиндрические конденсаторы, имеющие частоту саморезонанса до 6,3 ГГц.

4. Основными тенденциями при конструировании подстроечных конденсаторов являются снижение габаритов и применение чипов. Для концентрических конденсаторов наблюдается совершенствование безлофтовой конструкции ротора. Для дисковых керамических конденсаторов характерно резкое снижение толщины диэлектрика за счет применения монокристаллической конструкции и прецизионной технологии механической обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Документ МЭК 40А(11Б)12 «Терминология и методы испытаний переменных конденсаторов, используемых в электронной аппаратуре», 1970, ноябрь.
2. Документ МЭК 40А(11Б)22 «Поправки к документу 40А(11Б)12», 1972, июль.
3. Electronics World, 1970, April, pp. 52—53.
4. Proc. National Electronic Components Conference, Washington, 1969, pp. 195—203.
5. Военная спецификация MIL-C-14409С.
6. Каталог фирмы MBE, Бельгия, 1969, фонд ОНТИ.
7. Каталог фирмы Johanson Mfg. Corp., США, 6 г., фонд ОНТИ.
8. Реклама фирмы Johanson Mfg. Corp., США, 6 г., фонд ОНТИ.
9. Каталог фирмы Tekelec-Airtronix, Франция, 1971, фонд ОНТИ.
10. Каталог фирмы JFD Electronics Corp., США, 6 г., фонд ОНТИ.
11. Каталог фирмы Volttronics Corp., США, 6 г., фонд ОНТИ.
12. Реклама фирмы Murata, Япония, 6 г., фонд ОНТИ.
13. Реклама фирмы Taijo, Япония, 6 г., фонд ОНТИ.
14. Electronics World, 1970, April, pp. 37—41.
15. Рабинович В. В., Королькова Л. В. Подстроечные конденсаторы с твердым неорганическим диэлектриком. Обзор по электронной технике. Серия: Радиодетали. Выпуск 2(278). Москва, ЦНИИ «Электроника», 1971.
16. Пат. США, кл. 317-249, № 3469160, опублик. 23.9.1969.
17. Пат. США, кл. 317-249, № 3512059, опублик. 12.5.1970.
18. Пат. США, кл. 317-249, № 3536967, опублик. 27.10.1970.
19. Пат. США, кл. 317-249, № 3656033, опублик. 11.4.1972.
20. Пат. США, кл. 317-249, № 3624469, опублик. 30.11.1971.
21. Каталог фирмы Johnson, США, 6 г., фонд ОНТИ.
22. Каталог фирмы Erie Electronics Ltd., США, 1971, фонд ОНТИ.
23. Каталог фирмы Jackson Brothers Ltd., Англия, 1972, январь, фонд ОНТИ.
24. Каталог фирмы Oxley Developments Co. Ltd., Англия, 6 г., фонд ОНТИ.
25. Каталог фирмы Aepa, Франция, 1962, фонд ОНТИ.
26. Каталог фирмы Aepa, Франция, 6 г., фонд ОНТИ.
27. Каталог фирмы Ducati Elettrotecnica Microfarad, Италия, 1971, фонд ОНТИ.
28. Дэммер Дж. В. А., Норденберг Г. М. Конденсаторы постоянной и переменной емкости. Пер. с англ. под ред. В. Т. Ренне, Госэнергоиздат, 1963.
29. Пат. ФРГ, кл. 21g, 10/01, № 1564886, заявл. 6.8.1966, опублик. 22.4.1971.
30. Electronics World, 1970, April, pp. 45—48.
31. Реклама фирмы JFD Electronics Corp., США, 1969, фонд ОНТИ.
32. Каталог фирмы Slettnier, ФРГ, 1970—1971, фонд ОНТИ.
33. Каталог фирмы MBE, Бельгия, 1971, фонд ОНТИ.
34. Каталог фирмы TDK, Япония, 6 г., фонд ОНТИ.
35. Реклама фирмы KCK, Япония, 6 г., фонд ОНТИ.

36. Реклама фирмы Shinmei Electric Co. Ltd., Япония, б. г., фонд ОНТИ
37. Electronics World, 1970, April, pp. 42—44.
38. Пат. США, кл. 317-249, № 3617831, опублик. 2.11.1971.
39. Пат. ФРГ, кл. 21g, 10/01, № 1614719, опублик. 4.5.1972.
40. Пат. ФРГ, кл. 21g, 10/01, № 1302284, опублик. 10.2.1972.
41. Electronics World, 1970, April, p. 41.
42. Electronics World, 1970, April, p. 51.
43. Пат. США, кл. 317-249, № 3675093, опублик. 4.7.1972.
44. Пат. Швейцарии, кл. H01g, 5/24, № 532830, опублик. 28.2.1973.
45. Electronics World, 1971, April, p. 44.
46. Реклама фирмы Sanei Parts, Япония, б. г., фонд ОНТИ.
47. Каталог фирмы Erie Electronics Ltd., США, 1972, фонд ОНТИ.
48. Каталог фирмы LCC, Франция, б. г., фонд ОНТИ.
49. Electronics, 1972, No. 14, p. 113.
50. Radio Mentor Electronic, 1972, No. 5, S. 194.
51. Военная спецификация MIL-C-81.
52. Electronics World, 1970, April, pp. 49—51.
53. Electronic Design, 1972, v. 20, No. 19, p. 99.
54. Electronic News, 1972, No. 898, p. 38.
55. Пат. США, кл. 317-101C, № 3681664, опублик. 1.8.1972.
56. Пат. США, кл. 317-249, № 3656033, опублик. 11.4.1972.
57. Пат. Франции, кл. H01g, 5/00, № 2072869, опублик. 30.8.1971.
58. Пат. США, кл. 317-249, № 3693058, опублик. 19.9.1972.
59. Пат. ФРГ, кл. 21g, 10/01, № 1614396, опублик. 23.9.1971.
60. Пат. ФРГ, кл. 21g, 10/01, № 1564597, заявл. 10.5.1966, опублик. 22.10.1972.
61. Пат. ФРГ, кл. 21g, 10/01, № 1614381, заявл. 2.8.1967, опублик. 2.9.1971.
62. Пат. США, кл. H01g, 13/00, № 3681828, опублик. 8.8.1972.
63. Electronic Components, 1971, v. 12, No. 13, p. 790.
64. Microwave J., 1971, v. 14, No. 7, p. 49.
65. Electronics, 1971, v. 44, No. 19, p. 157.
66. EDN/EEE, 1971, v. 16, No. 21, pp. 24—33.
67. Electronic News, 1972, No. 893, p. 37.
68. Пат. США, кл. H01g, № 3588640, опублик. 28.6.1971.
69. Пат. США, кл. H01g, № 3588641, опублик. 28.6.1971.
70. Пат. США, кл. H01g, № 3588642, опублик. 28.6.1971.
71. Electronics, 1970, v. 43, No. 19, pp. 108—112.
72. Пат. Англии, кл. H01g, 5/22, № 1279932, заявл. 30.11.1970, опублик. 28.6.1972.
73. Пат. Англии, кл. H01g, 5/22, № 1280088, заявл. 30.11.1970, опублик. 5.7.1972.
74. Пат. Нидерландов, кл. H01g, 5/06, № 7017186, заявл. 24.11.1970, опублик. 2.6.1971.
75. Пат. Нидерландов, кл. H01g, № 7017415, заявл. 27.11.1970, опублик. 20.6.1971.
76. Microwave J., 1973, No. 3, pp. 34—37.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Концентрические воздушные конденсаторы	4
Пластиначатые воздушные конденсаторы	11
Цилиндрические конденсаторы	26
Стеклянные конденсаторы	26
Кварцевые конденсаторы	33
Керамические и сапфировые конденсаторы	36
Полимерные конденсаторы	42
Компрессованные слюдяные конденсаторы	46
Дисковые керамические конденсаторы	48
Специальные типы подстроечных конденсаторов	59
Сравнительный анализ подстроечных конденсаторов	64
Выводы	66
Литература	67

*Рабинович Вилем Борисович
Королькова Лидия Владимировна
Буркина Тина Васильевна*

Подстроечные конденсаторы

Обзоры по электронной технике

Редактор *Е. П. Фидилонова*

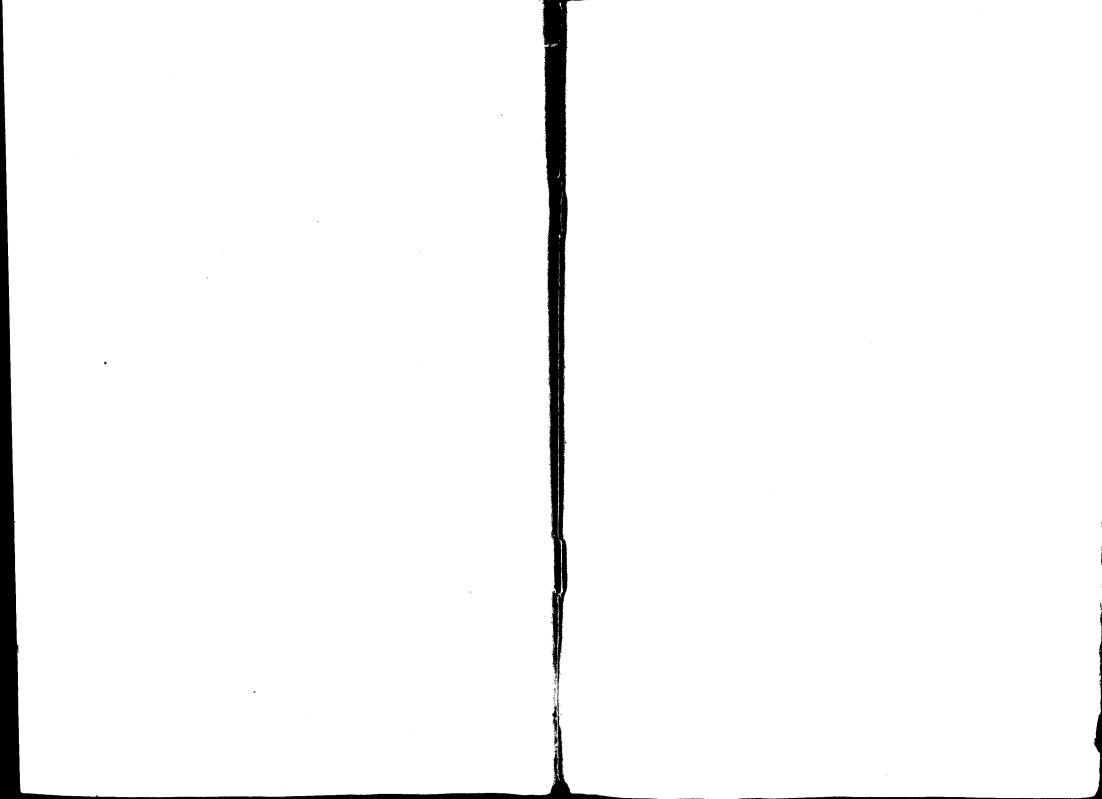
Подл. к печ. 21.XII 73 г. 06156

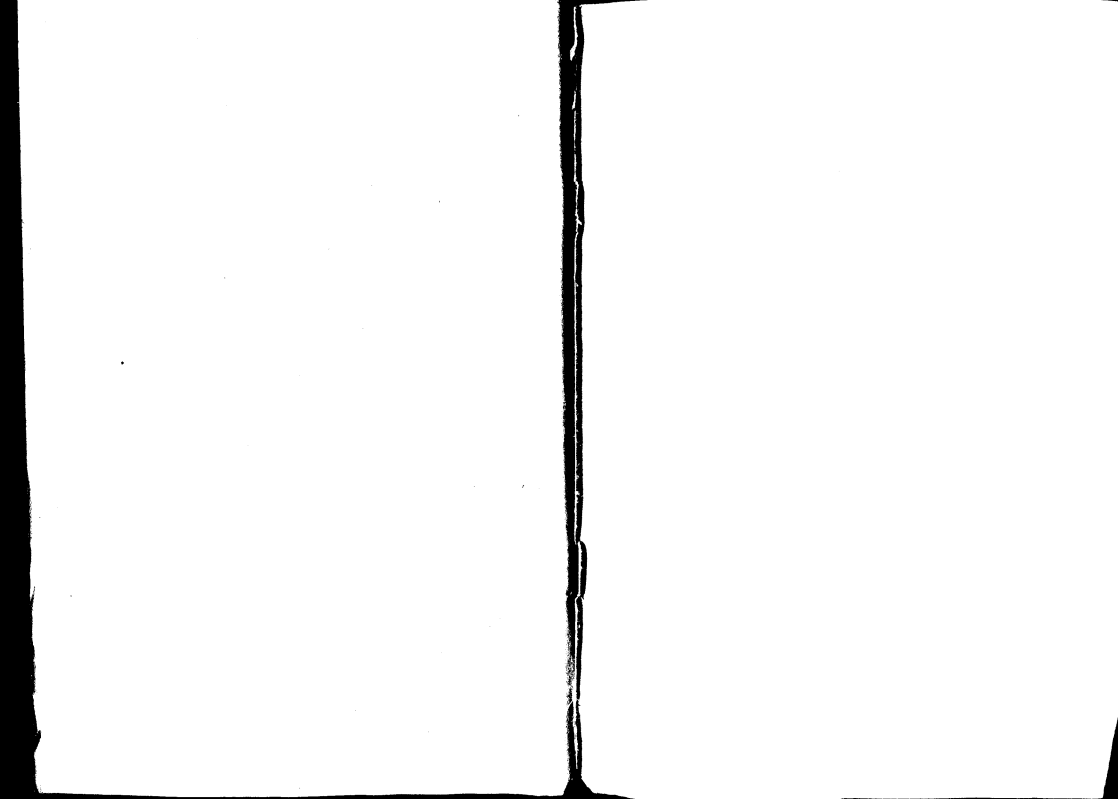
Зак. 1450

Форм. бум. 60×90/16

Печ. л. 4,2—1 вкл. Уч.-изд. л. 4,4

Цена 44 коп.





Цена 44 коп.