

# КЕРАМИЧЕСКИЕ ПРОХОДНЫЕ ФНЧ С МАЛЫМИ ПОТЕРЯМИ\*



В настоящее время проблема борьбы с электромагнитными потерями при создании радиоэлектронной аппаратуры стала еще более острой вследствие возрастания функциональных возможностей, миниатюризации, увеличения плотности компоновки и сложности аппаратуры, роста взаимного влияния ее элементов. Наиболее опасными являются кондуктивные помехи, распространяющиеся в проводящих цепях питания, управления, коммутации, а также в цепях полезных сигналов. Для фильтрации таких помех служат помехоподавляющие фильтры нижних частот, к которым и относятся разрабатываемые и выпускаемые ОАО "НИИ "Гириконд" в течение многих лет керамические помехоподавляющие проходные конденсаторы и фильтры.

## ФИЛЬТРЫ Б25, Б26

Первая серия отечественных проходных помехоподавляющих керамических фильтров Б23Б [1] с использованием в качестве емкостного элемента многослойного монокристаллического конденсатора была разработана в 1982 году и до настоящего времени выпускается отечественной промышленностью в больших количествах. Корпус этих фильтров выполнен из керамического материала и имеет низкую механическую прочность. Максимальное номинальное напряжение составляет 250 В, максимальная рабочая температура – 85°C, группа температурной стабильности емкости – Н90. Для комплектования аппаратуры с повышенными требованиями к механической прочности фильтров, рабочей температуре и стабильности емкости разработана и выпускается серия фильтров Б25 с приемками "1" и "5" [9]. Емкостным элементом этих фильтров является многослойный шайбовый монокристаллический конденсатор (рис.6), что позволяет получать номинальные емкости от 4,7 пФ до 10 мкФ, широкий диапазон значений частот среза и помехоподавления.

Фильтры Б25-1,2 С- и LC-типов имеют керамический корпус таких же размеров, что и Б23Б, и дополняют се-

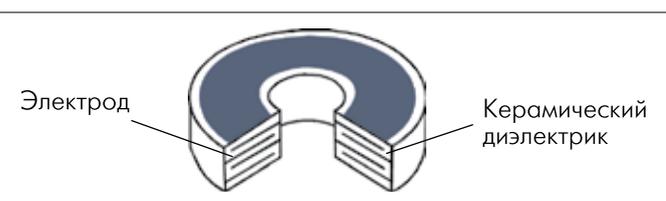
\* Продолжение. Начало – см.: ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2009, № 7, с.

М.Красильщиков, В.Смирнов, А.Шалаева  
352@giricond.spb.ru

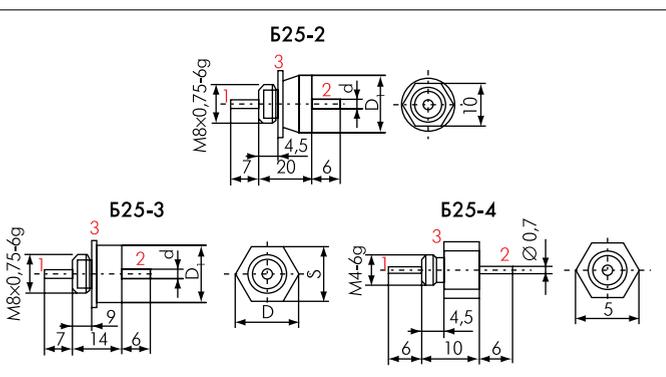
рию этих фильтров по максимальной рабочей температуре (группы МП0, Н20, Н50 – 125°C), шкале номинальных емкостей и рабочих напряжений.

Фильтры Б25-3 и Б25-4 выпускаются только С-типа, имеют металлический корпус, что делает их механически прочными, удобными при монтаже и эксплуатации. Кроме того, габаритные размеры изделий могут быть уменьшены. Фильтры такой конструкции (типа Bolt Style Epoxy Seals) выпускаются рядом зарубежных фирм [2, 3, 10] и рекомендованы для аппаратуры военного и космического назначения. Фильтры Б25-1,2 и Б25-3 имеют одинаковые группы температурной стабильности емкости и шкалы номинальных емкостей и напряжений.

Фильтры Б25-4 – малогабаритные, в металлическом корпусе, массой всего 1,5 г. Они применимы в случаях, когда критически важны масса и габариты изделия. Небольшие размеры этих фильтров определяют хорошие характеристики помехоподавления в СВЧ-диапазоне.



**Рис.6. Конструкция многослойного шайбового монокристаллического конденсатора**



**Рис.7. Конструкции фильтров Б25**

**Таблица 4. Размеры и масса фильтров Б25**

Типо-размер	Размеры, мм							Масса, г, не более			
	Б25-1			Б25-2	Б25-3			Б25-1	Б25-2	Б25-3	Б25-4
	S	D	D <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	S	D	D <sub>1</sub>				
1	9	10,5	8	–	12	13,8	6,5	5,5	–	4,5	1,5
2	10	11,6	9	–	12	13,8	7,5	6,5	–	5,0	
3	12	13,8	11	11	12	13,8	9,5	8,0	7,0	6,0	
4	14	16,4	13	13	14	16,4	11,5	11,5	10,6	9,5	
5	17	19,8	15	15	14	16,4	13,5	14,5	12,8	11	

**Таблица 5. Шкала номинальных емкостей фильтров Б25**

Группы ТКС	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Номинальные емкости	
			Б25-1,2,3	Б25-4
МПО	80	10	1200 пФ–0,082 мкФ	680–1500 пФ
		25	5600 пФ–0,082 мкФ	–
	160	10	270 пФ–0,018 мкФ	150–560 пФ
		25	2700 пФ–0,018 мкФ	–
	250	10	100–6800 мкФ	4,7–120 пФ
		25	330–6800 пФ	–
500	10	68–1800 пФ	–	
	25	68–1800 пФ	–	
Н20, Н50	50	10	0,022–2,2 мкФ	0,047–0,1 мкФ
		25	0,15–2,2 мкФ	–
	100	10	–	0,01–0,033 мкФ
		25	–	–
	160	10	0,01–0,47 мкФ	–
		25	0,033–0,33 мкФ	–
	250	10	3300 пФ–0,22 мкФ	470–6800 пФ
		25	0,01–0,15 мкФ	–
500	10	3300 пФ–0,15 мкФ	–	
	25	4700 пФ–0,1 мкФ	–	
Н90	50	10	0,22–10,0 мкФ	0,22; 0,33 мкФ
		25	0,068–6,8 мкФ	–
	100	10	–	0,047–0,15 мкФ
		25	–	–
	250	10	0,022–0,47 мкФ	0,015–0,033 мкФ
		25	0,047–0,47 мкФ	–

На рис.7 приведены конструкции, в табл. 4 – размеры, а в табл.5 – шкала номинальных емкостей фильтров Б25.

На зависимостях вносимого затухания фильтров Б25 от частоты, полученных при измерении на приборе "Обзор-103", так же, как и для фильтров Б24 на отдельных частотах наблюдались резонансные пики. При составлении справочных материалов эти пики не учитывались.

Минимальные значения вносимого затухания фильтров Б25 при измерении в схеме с волновым сопротивлением 50 Ом в диапазоне частот до 1 ГГц приведены в табл.6. Для отдельных фильтров Б25-1,2,3 в диапазоне частот от 1000 до 10000 МГц наблюдалось уменьшение вносимого затухания на 10–25% от значений при частоте 1 ГГц. Вно-

**Таблица 6. Вносимое затухание фильтров Б25 и Б26-1,2**

Номинальная емкость	Вносимое затухание, дБ, не менее								
	Частота, МГц								
	0,01	0,1	1	10	30	100	300	1000	10000
68 пФ	–	–	–	–	–	2	5	10	25
470 пФ	–	–	–	–	4	12	22	27	40
1000 пФ	–	–	–	6	15	20	30	40	50
2200 пФ	–	–	2	9	17	25	33	40	50
4700 пФ	–	–	3	15	25	35	40	45	50
0,01 мкФ	–	–	4	20	30	40	45	55	50
0,033 мкФ	–	–	6	30	35	45	50	58	60
0,047 мкФ	–	–	8	33	40	45	50	60	65
0,1 мкФ	2	8	25	45	50	52	55	60	65
0,22 мкФ	3	10	28	50	53	55	58	65	70
0,68 мкФ	7	15	35	53	55	64	65	70	75
1,0 мкФ	9	25	45	55	60	65	65	70	75
1,5 мкФ	12	25	45	56	60	65	65	70	75
4,7 мкФ	20	33	50	60	65	70	70	70	75
10,0 мкФ	30	45	55	70	70	70	70	70	75
22,0 мкФ	40	50	60	70	75	75	75	75	75

симое затухание фильтров Б25-4 в этом диапазоне частоты было не менее значений при 1 ГГц. С учетом возможных погрешностей при измерениях, максимальное значение вносимого затухания было принято равным 70 дБ.

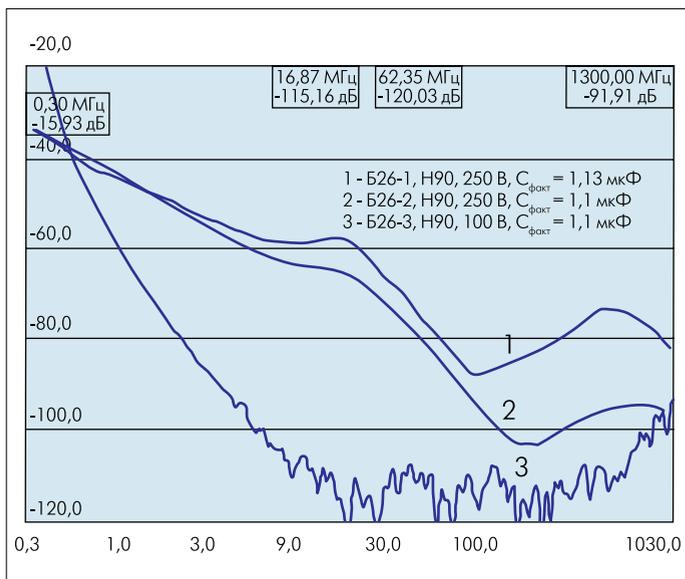
Накопленный опыт производства и эксплуатации фильтров Б25-3 С-типа позволил разработать новую серию отечественных фильтров Б26 [11] в металлических корпусах С-, LC- и Pi-типов: Б26-1 – С-тип, Б26-2 – LC-тип и Б26-3 – Pi-тип. Они имеют те же группы ТСЕ и максимальную рабочую температуру, что и Б25, пять типоразмеров и три

варианта конструкции (а, б и в). Размеры фильтров Б26-1 и Б26-2 варианта "а" практически совпадают с размерами Б25-3, а варианта "б" – с Б25-4 (рис.7, табл.4). За счет применения новых материалов номинальные напряжения фильтров повышены до 1000 В, максимальные емкости – до 22 мкФ. Номинальный ток по сравнению с Б25 увеличен с 10 до 15 А. Шкала номинальных емкостей и напряжений фильтров приведена в табл.7.

Значения вносимого затухания А фильтров Б26-1,2 и Б25-3 с одинаковыми номинальными емкостями практи-

**Таблица 7. Шкала номинальных емкостей и напряжений фильтров Б26**

Тип	I <sub>НОМ</sub> , А	Типоразмер (пакет)	C <sub>НОМ</sub>						
			МГО						
			U <sub>НОМ</sub> , В						
			100	160	250	350	500	750	1000
Б26-1б Б26-2б	10	0 (4×1,3)	2200–3300 пФ	1200–1800 пФ	220–1000 пФ	47–180 пФ	–	–	–
Б26-1а Б26-2а	15	1 (5×1,3)	3900–6800 пФ	2200–3300 пФ	1200; 1500 пФ	220–390 пФ	–	–	–
		2 (6,3×1,3)	8200 пФ– 0,018 мкФ	3900–6800 пФ	1800–3900 пФ	470–820 пФ	–	–	–
		3 (8×1,3)	0,022– 0,039 мкФ	8200–0,012 мкФ	4700–6800 пФ	1000–1500 пФ	470–820 пФ	47–470 пФ	–
		4 (10×1,3)	0,047– 0,056 мкФ	0,015–0,027 мкФ	8200; 0,012 пФ	1800–2700 пФ	1000–1500 пФ	560–1000 пФ	100–390 пФ
		5 (12×1,3)	0,068– 0,1 мкФ	0,033–0,047 мкФ	0,015–0,022 мкФ	3300–5600 пФ	1800–2700 пФ	1200; 1500 пФ	470; 560 пФ
Б26-1а	25	3 (8×2,5)	0,012– 0,033 мкФ	6800–0,01 мкФ	1200–4700 пФ	1000–1500 пФ	470–820 пФ	47–390 пФ	–
		4 (10×2,5)	0,039– 0,056 мкФ	0,012–0,022 мкФ	5600 пФ– 0,01 мкФ	1800–2200 пФ	1000–1500 пФ	470–1000 пФ	100–390 пФ
		5 (12×2,5)	0,068– 0,1 мкФ	0,027–0,047 мкФ	0,012–0,022 мкФ	2700–5600 пФ	1800; 2200 пФ	1200; 1500 пФ	–
Б26-3в	15	2 (6×1,3)	0,018– 0,033 мкФ	8200 пФ; 0,01 мкФ	1800–6800 пФ	680–1000 пФ	–	–	390; 470 пФ



**Рис.8. Зависимость вносимого затухания от частоты фильтров Б26**

**Таблица 8. Вносимое затухание фильтров Б26-3**

Номинальная емкость	А, дБ, не менее, на частоте, МГц								
	0,3	1,0	3,0	10	30	50	100	300	1000
680 пФ	–	–	–	3	10	15	30	45	50
1500 пФ	–	–	–	10	20	30	42	52	55
3300 пФ	–	–	3	15	35	45	55	60	70
6800 пФ	–	–	8	28	45	56	66	70	70
0,01 мкФ	–	3	10	35	50	62	70	70	60
0,047 мкФ	3	11	25	62	75	75	75	70	60
0,47 мкФ	20	45	65	85	85	75	75	70	60
1,0 мкФ	25	60	70	85	75	75	70	65	55
2,2 мкФ	30	70	75	85	75	75	70	65	55
4,7 мкФ	53	80	80	85	75	75	70	65	55

C <sub>НОМ</sub>								
H20, H50						H90		
U <sub>НОМ</sub> , В						U <sub>НОМ</sub> , В		
50	100	160	250	350	500	50	100	250
0,1; 0,15 мкФ	0,047–0,1 мкФ	0,015–0,033 мкФ	6800; 0,01 мкФ	470–6800 пФ	–	0,33–0,68 мкФ	0,068–0,22 мкФ	0,015–0,047 мкФ
0,15–0,33 мкФ	0,1; 0,15 мкФ	0,047; 0,068 мкФ	0,015; 0,022 мкФ	0,01 мкФ	–	0,68; 1,0 мкФ	0,33; 0,47 мкФ	0,047–0,1 мкФ
0,33; 0,47 мкФ	0,15; 0,22 мкФ	0,068; 0,1 мкФ	0,033; 0,047 мкФ	0,015; 0,022 мкФ	–	1,0–2,2 мкФ	0,47–0,68 мкФ	0,1; 0,15 мкФ
0,47–1,0 мкФ	0,33; 0,47 мкФ	0,1–0,22 мкФ	0,047; 0,068 мкФ	0,033; 0,047 мкФ	3300 пФ–0,033 мкФ	2,2; 3,3 мкФ	0,68; 1,5 мкФ	0,22; 0,33 мкФ
1,0–1,5 мкФ	0,47; 0,68 мкФ	0,22; 0,33 мкФ	0,1; 0,15 мкФ	0,068; 0,1 мкФ	0,047–0,1 мкФ	3,3–6,8 мкФ	1,5; 2,2 мкФ	0,33; 0,47 мкФ
2,2; 3,3 мкФ	1,0; 1,5 мкФ	0,47; 0,68 мкФ	0,22; 0,33 мкФ	0,15–0,33 мкФ	0,1–0,33 мкФ	6,8–22 мкФ	2,2–4,7 мкФ	0,47–1,5 мкФ
0,47; 0,68 мкФ	0,22; 0,33 мкФ	0,068–0,15 мкФ	0,047; 0,068 мкФ	0,033 мкФ	3300 пФ–0,022 мкФ	2,2; 3,3 мкФ	0,47–1,0 мкФ	0,22; 0,33 мкФ
1,0; 1,5 мкФ	0,33–0,68 мкФ	0,22; 0,33 мкФ	0,068; 0,1 мкФ	0,047; 0,068 мкФ	0,033; 0,068 мкФ	3,3; 4,7 мкФ	1,0–2,2 мкФ	0,33; 0,47 мкФ
2,2; 3,3 мкФ	0,68–1,5 мкФ	0,33; 0,47 мкФ	0,15–0,33 мкФ	0,1–0,33 мкФ	0,1–0,22 мкФ	4,7–15 мкФ	2,2–4,7 мкФ	0,47; 1,0 мкФ
0,68; 1,0 мкФ	0,33; 0,47 мкФ	0,15; 0,22 мкФ	0,068; 0,1 мкФ	6800 пФ; 0,047 мкФ	–	2,2–4,7 мкФ	0,47–1,5 мкФ	0,15–0,33 мкФ

чески совпадали. Максимальные значения А имели фильтры Б26-2а с номинальной емкостью 15 и 22 мкФ. Частота среза фильтров с фактической емкостью 23 мкФ составила 300 Гц, а измеренное максимальное значение А приблизилось к пределу измерения прибора и составило 95 дБ.

Крутизна зависимостей А(ф) фильтров Б26-1 (С-типа) на линейных участках лежала в пределах 18–23 дБ на декаду.

Фильтры Б26-2 (LC-типа) имели по сравнению с фильтрами Б26-1 более сглаженные зависимости А(ф) с крутизной 20–25 дБ на декаду.

Наибольшую крутизну (35–40 дБ на декаду) имеют фильтры Б26-3. В табл.8 приведены значения вносимого затухания этих фильтров. Для наглядности на рис.8 представлены графики зависимости вносимого затухания от частоты фильтров Б26 С-, LC- и Pi-типов с близкими значениями фактической емкости.

## НАДЕЖНОСТЬ ФИЛЬТРОВ

Интенсивность отказов  $\lambda$  фильтров в предельно допустимом режиме эксплуатации не превышает  $5 \cdot 10^{-6}$  1/ч в течение наработки  $t_\lambda = 25$  тыс. ч в пределах срока службы  $T_{сл} = 25$  лет.

Интенсивность отказов фильтров в облегченных режимах эксплуатации:

- при температуре  $70^\circ\text{C}$  и напряжении  $0,6 U_{ном}$  — не более  $2 \cdot 10^{-6}$  1/ч в течение наработки 100 тыс. ч при сроке службы 25 лет;
- при температуре  $60^\circ\text{C}$  и напряжении  $0,6 U_{ном}$  — не более  $1 \cdot 10^{-6}$  1/ч в течение наработки 150 тыс. ч при сроке службы 25 лет.

Гамма-процентный срок сохраняемости  $T_{с\gamma}$  фильтров при  $\gamma = 99,5\%$  при хранении в упаковке изготовителя в условиях хранилищ с регулируемыми параметрами атмосферы, а также вмонтированных в защищенную аппаратуру или находящихся в защищенном комплекте ЗИП, во всех местах хранения составляет не менее 25 лет.

Значения  $T_{с\gamma}$  в отличных от указанных условиях зависят от мест хранения и приводятся в технических условиях.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

При приложении к выводам 1–3 (см. рис.7) напряжения, большего величины электрической прочности, может произойти или пробой диэлектрика емкостных элементов, или электрический разряд по межэлектродному зазору или корпусу фильтра (так называемое "перекрытие"). Кратковременная и длительная электрическая прочность диэлектрика снижается с повышением температуры. Номинальное напряжение фильтров установлено для максимальной рабочей температуры  $85^\circ\text{C}$ . При эксплуатации фильтров при температурах выше этого значения необходимо снижать рабочее напряжение. Напряжение перекрытия зависит от величины давления воздуха или другого газа, окружающего фильтр, и начинает уменьшаться в диапазоне от 40 до 0,01 мм рт. ст. Это необходимо учитывать для фильтров с номинальным напряжением 500 В и выше.

Фильтры Б25, Б26 и Б24В монтируют в аппаратуру как непосредственно в резьбовые отверстия панелей, так и при помощи гаек, навинчиваемых на вывод 3 (см. рис.7). При электрическом соединении пайкой выводов 1 и 2 фильтров рекомендуется применять припой ПОС 61. Время пайки не более 4 с. Температура жала паяльника  $(260 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Паять выводы следует на расстоянии не менее 3 мм от корпуса. Изгиб и скручивание выводов 1 и 2 фильтров не допускается.

При эксплуатации фильтров в условиях длительно-го воздействия вибрационных нагрузок, во избежание самопроизвольного вывинчивания из резьбовых отверстий, крепление фильтров в аппаратуре следует производить

с помощью контргаек или использовать дополнительную приклейку.

В заключение следует сказать, что разработанные и серийно выпускаемые помехоподавляющие фильтры Б24 и Б25 категории качества ВП имеют широкий диапазон номинальных емкостей, напряжений и групп температурной стабильности емкости. Фильтры Б25-3 в металлическом корпусе типа "Болт" отвечают повышенным требованиям к механической устойчивости и в ряде случаев позволили отказаться от применения импортных аналогов. Малые размеры фильтров Б25-4 позволили расширить диапазон применения в области СВЧ.

Применение современного компьютеризированного оборудования для исследования амплитудно-частотных характеристик фильтров позволило получить более точные зависимости вносимого затухания от частоты с гарантируемой погрешностью измерения.

Авторы надеются, что приведенные в статье сведения позволят разработчикам аппаратуры лучше ориентироваться при выборе помехоподавляющих фильтров низких частот и готовы откликнуться на все замечания и пожелания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воловик М., Смирнов В. Керамические проходные конденсаторы и фильтры нижних частот. — ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №7, с 36–40.
2. EMI Filtering. Product Guide, каталог фирмы Spectrum Control inc, USA.
3. Filtres "EMI-RFI" Filters, каталог фирмы Eurofarad Франция.
4. Кечиев Л.Н., Бобков А.Л., Степанов П.В. Помехоподавляющие фильтры. Методы проектирования. — М.: МИЭМ, 1999.
5. Джуринский К. Отечественные и зарубежные помехоподавляющие фильтры для микроэлектроники СВЧ, какие лучше? — ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №1, с. 42–45.
6. Пассивные помехоподавляющие фильтры и элементы. Методы измерения вносимого затухания. ГОСТ 13661-92. Комитет стандартизации и метрологии СССР, Москва.
7. Фильтры нижних частот Б24, Б24-1. Технические условия АЖЯР.431 145.003ТУ 2008.
8. Filters EMI-RFI, каталог фирмы Tusonix.
9. Фильтры нижних частот Б25. Технические условия АЖЯР.431 145.001 ТУ 2008.
10. EMI filter application manual. Catalog No.61-08, Murata Erie North America, INC.
11. Фильтры нижних частот Б26. Технические условия АЖЯР.431 145.005 ТУ 2009.