

НОВЫЕ ИМЕНА НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ ПОМЕХОПОДАВЛЯЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

ЧАСТЬ 1. ФИЛЬТРЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ КОРПОРАЦИИ AVX

К.Джуринский, к.т.н. kd.istok@mail.ru

Борьба с электромагнитными помехами в цепях питания, управления и коммутации всегда являлась одной из серьезнейших проблем при создании радиоэлектронной аппаратуры СВЧ-диапазона, особенно военного назначения. Эта проблема стала еще более серьезной с ростом функциональных возможностей и сложности аппаратуры, ее миниатюризации, увеличения плотности компоновки и усиления взаимного влияния компонентов, повышения рабочих частот, усиления требований к надежности и долговечности и, вследствие этого, требований к герметизации аппаратуры [1, 2]. Основное средство подавления межсистемных и внутрисистемных помех, а также развязки по СВЧ в цепях постоянного и переменного тока – помехоподавляющие фильтры. Разработчики отечественной военной техники вынуждены применять импортные фильтры, так как качество и надежность отечественных фильтров пока еще не отвечают требованиям, предъявляемым к этим параметрам [3]. Так поступают во всем мире: в любой развитой стране применение фильтров иностранного производства в военной аппаратуре не является редкостью. Помехоподавляющие фильтры разрабатывают и выпускают многие зарубежные компании: Tusonix, Eurofarad, Spectrum Control, Maxwell, Oxley, Murata, EMI Filter, Souriau PA&E, Syfer и др. [1, 4–9]. Американская корпорация AVX занимает особое место в этом ряду.

О КОРПОРАЦИИ AVX

Американская корпорация AVX (головной офис в Миртл Бич, Южная Каролина) – один из признанных мировых лидеров в области проектирования, производства и поставки пассивных электронных компонентов: высоконадежных многослойных керамических, тонкопленочных, танталовых и стеклянных конденсаторов, помехоподавляющих фильтров, индуктивностей, направленных ответвителей, тонкопленочных фильтров для ВЧ- и СВЧ-диапазонов, нелинейных резисторов, варисторов, соединителей и других пассивных компонентов.

Корпорация была создана в 1972 году как дочернее предприятие компании Aerovox для производства керамических конденсаторов. Сегодня в корпорацию входят 20 производственных

предприятий, расположенных в 12 странах, и пять научно-исследовательских центров, находящихся в США, Северной Ирландии, Англии, Франции и Израиле. С 1990 года AVX находится в мажоритарной собственности японского гиганта электроники Kyocera Corp.

AVX постоянно финансирует научно-исследовательские разработки, эффективность которых подтверждают более 175 патентов. Корпорацию отличают инновационные решения проблемы фильтрации электромагнитных помех. Она одной из первых стала выпускать фильтры высокой надежности в соответствии со стандартом MIL-PRF-28861 (предъявляющим более жесткие требования к продукции, чем ранний стандарт MIL-PRF-15733) и квалифицировала производство фильтров по стандарту MIL-STD-790. AVX

первой разработала герметизированные стеклом фильтры, допускающие нагрев до 400°C при впаивании в корпуса изделий, фильтры для применения при напряжении 125 и 230 В переменного тока с частотой 400 Гц [10]. Продукция AVX используется во многих системах телекоммуникации, радиолокации и радионавигации, в автомобилестроении, бытовой электронике, в системах управления железнодорожным транспортом, медицинской технике и в военной аппаратуре.

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРОВ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЕННОЙ АППАРАТУРЕ

Основание для применения зарубежных фильтров в отечественной военной аппаратуре – невозможность реализовать требуемые тактико-технические характеристики аппаратуры на основе отечественной элементной базы. Зарубежные фильтры применяют только в технически обоснованных случаях. Для этого фильтры должны быть включены в "Перечень изделий и материалов иностранного производства, разрешенных к применению" и соответствовать следующим нормативным документам:

- РДВ.319.04.35.00-01 "Положение о порядке применения";
- РД 134-0122-2001 "Методические указания. Порядок использования ЭРИ ИП в аппаратуре РКТ. Общие положения";
- РДВ.В.319.01-09-94 "Руководство по оценке правильности применения электроизделий и средств измерений в аппаратуре военного назначения" [3].

Предпочтение следует отдавать зарубежным фильтрам, соответствующим военным стандартам. В США за разработку и внедрение военных стандартов отвечает Центр поставок Министерства обороны (Defense Supply Center Columbus, DSCC). Центр контролирует два ключевых стандарта по конденсаторам и фильтрам: MIL-PRF-15733 и более поздний и жесткий MIL-PRF-28861. Оба регламентируют основные технические характеристики фильтров, методы и периодичность их испытаний. Основные

отличия стандарта MIL-PRF-28861 от MIL-PRF-15733 следующие:

- ограничение размеров фильтров и требования к многослойным дисковым конденсаторам специальной конструкции;
- требования большего объема выборки и меньшего допустимого числа фильтров, вышедших из строя при испытаниях;
- более жесткие условия испытаний на воздействие окружающей среды;
- 100%-ный контроль вносимого затухания и паяемости фильтров;
- более жесткие требования к используемым материалам, производственному процессу и квалификации персонала и др.

ФИЛЬТРЫ КОРПОРАЦИИ AVX ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Фильтры военного назначения корпорации представляют собой высоконадежную High-Rel (High Reliability) продукцию, выпускаемую в соответствии с перечнем серийных изделий (Qualified Product List, QPL), предусматривающим единые методы квалификации продукции в соответствии со стандартами MIL-PRF-28861, MIL-STD-202, MIL-STD-220, NASA NHV 5300 и др. Обозначение серий фильтров AVX, входящих в лист спецификаций (slash sheet) QPL стандарта MIL-PRF-28861, представлены в табл.1.

Таблица 1. Обозначение серий фильтров военного назначения корпорации AVX

Серия	Обозначение	Вид стандарта MIL-PRF-28861 QPL
Резьбовые цилиндрические фильтры (Cylindrical Style EMI Filters)	JD	MIL-PRF-28861/16,17
	BK,CK	MIL-PRF-28861/01
	GK	MIL-PRF-28861/02-05
Миниатюрные резьбовые фильтры, герметизированные компаундом (Bolt Style EMI Filters-Thread-Epoxy Sealed)	SA	MIL-PRF-28861/06
	SB	MIL-PRF-28861/07
	SP	MIL-PRF-28861/09
	SN	MIL-PRF-28861/10
Миниатюрные безрезьбовые фильтры (Solder-in Style EMI Filters)	ZS, ZR	MIL-PRF-28861/12
	WS,WR	MIL-PRF-28861/13
	XS,XR	MIL-PRF-28861/14
	YS,YR	MIL-PRF-28861/15

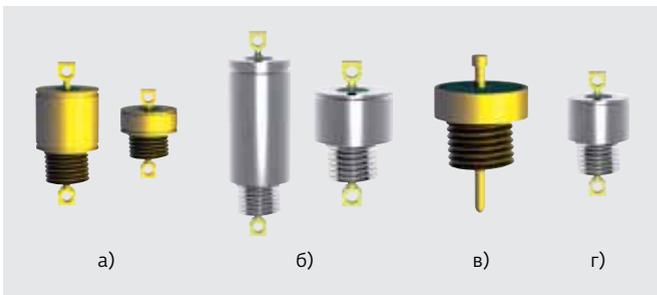


Рис.1. Резьбовые фильтры серий JD (а), BK и СК (б), BL (в) и GK (г)

Резьбовые цилиндрические фильтры серий JD, BK, СК, GK, BL предназначены для фильтрации помех в цепях постоянного и переменного

Таблица 2. Электрические параметры резьбовых цилиндрических фильтров

Серия	Емкость, мкФ (номинальное напряжение постоянного DC или переменного AC тока, В)	Номинальный ток, А	Электрическая схема фильтра
JD	1,2–2,8 (100 DC)	1–15	С (группа JD1), L-C (JD2), P _i (JD3), T (JD4)
	0,45–0,90 (100 DC)		
	0,30–0,36 (300 DC/125 AC)		
	0,15–0,20 (400 DC/230 AC, 400 Гц)		
BK	1,2 (50 DC)	1–15	С (группы BK1 и СК1), L-C (BK2 и СК2)
	0,70 (70 DC)		
	0,01–1,0 (100 DC)		
	0,25 (150 DC)		
	0,075–0,15 (200 DC/125 AC, 400 Гц)		
СК	0,75–2,0 (50 DC)	15	С, L-C, P _i , T
	0,50–1,8 (100 DC)		
	0,01–0,05 (200 DC/125 AC, 400 Гц)		
GK	0,45–1,40 (100 DC)	0,06–10	С, L-C, P _i , T
	0,25–0,5 (150 DC)		
	0,15–0,36 (200 DC)		
	0,15–0,30 (200 DC /125AC, 400 Гц)		
BL	0,75–1,4 (50 DC)	15 макс.	С, L-C
	0,5–1,2 (100 DC)		
	0,01 (200 DC)		
	0,075–0,15 (200 DC/125 AC, 400 Гц)		

тока (табл.2). Это проходные фильтры, устанавливаемые в сквозное отверстие в стенке корпуса изделия и закрепляемые с обратной стороны стенки при помощи гайки и фигурной шайбы. Фильтры военного назначения герметизированы металлоглазным спаем, что позволяет применять их при повышенной влажности и жестких воздействиях окружающей среды. Рабочий диапазон температур -55...125°С. Для гражданского применения доступны более дешевые фильтры, герметизированные эпоксидным компаундом.

В серию **JD** (Cylindrical Style EMI Filters JD Series) (рис.1а) входят фильтры 62 типоразмеров, обеспечивающих эффективное подавление помех в диапазоне частот от 18 кГц до 10 ГГц в цепях постоянного и переменного тока напряжением до 230 В и частотой до 400 Гц. Диаметр гладкой цилиндрической части составляет 17,5 мм, ее длина - 26,9–33 мм, резьба - 0,3125-24UNF-2A, длина резьбовой части - 7,9 мм. Минимальное сопротивление изоляции равно 5000 МОм. Значение вносимого затухания зависит от электрической схемы фильтра, его емкости и частоты. Наибольшее вносимое затухание имеют фильтры с P_i-схемой, наименьшее - с С-схемой. На частоте 1 МГц в зависимости от емкости и электрической схемы вносимое затухание равно 26–70 дБ, на 100 МГц - 60–80 дБ, на 1 ГГц - 70–80 дБ.

В каждую серию **BK** и **СК** (EMI Filters Series BK & СК) (рис.1б) входят фильтры 28 типоразмеров. Фильтры этих серий и серии **JD** имеют аналогичные конструкции. Диаметр гладкой цилиндрической части - 9,5 мм, длина - 6,35 (СК) и 4,32 (BK) мм, резьба - 0,250-28UNF-2A, длина резьбовой части - 4,75 или 7,93 мм. Вносимое затухание в зависимости от емкости и электрической схемы на

* Фильтры BL не входят в MIL-PRF-28861 QPL, но соответствуют требованиям MIL-PRF-15733 и находят применение в военной аппаратуре.

частоте 1 МГц равно 7-40 дБ, на 100 МГц - 46-70 дБ, на 1 ГГц - 55-70 дБ.

В составе серии **BL** (Cylindrical Style EMI Filters BL Series) (рис.1в) 22 фильтра. Диаметр гладкой цилиндрической части составляет 9,5 мм, ее длина - 3,8 мм, резьба - 0,250-28UNF-2A. Фильтры герметизированы эпоксидным компаундом, поэтому они дешевле фильтров серии GK, герметизированных металлостеклянным спаем. На частоте 1 МГц в зависимости от емкости и электрической схемы вносимое затухание равно 18-40 дБ, на 100 МГц - 40-70 дБ, на 1 ГГц - 55-70 дБ.

Герметичные фильтры серии GK (Cylindrical Style EMI Hermetically Sealed Filters GK Series) (рис.1г) (64 типоразмера) обеспечивают эффективное подавление помех в диапазоне частот от 30 кГц до 10 ГГц. Фильтры серии GK диаметром 10,4 мм отвечают требованиям QPL MIL-PRF-28861. Герметизированы металлостеклянным спаем. Диаметр гладкой цилиндрической части - 9,5 или 10,4 мм, резьба - 0,250-28UNF-2A. Минимальное сопротивление изоляции 50000 МОм при комнатной температуре и 5000 МОм

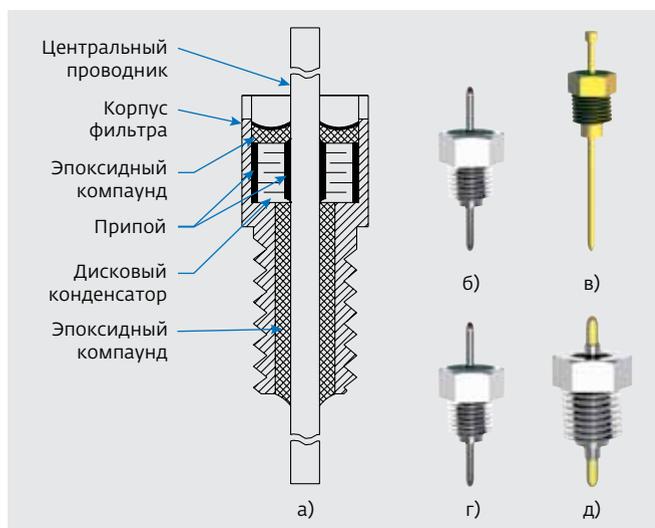


Рис.2. Конструкция фильтра с С-электрической схемой (а) и внешний вид резьбовых фильтров серий SA (б); SB (в); SP (г), SN (д)

при температуре 125°C. Вносимое затухание в зависимости от емкости и электрической схемы

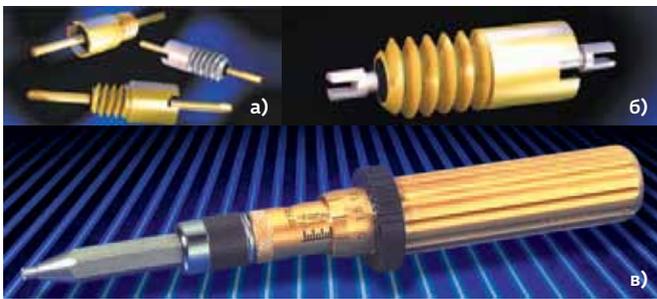


Рис.3. Миниатюрные резьбовые фильтры (а), фильтр с разрезным центральным проводником (б) и отвертка для установки фильтров в корпуса изделий (в)

на частоте 1 МГц составляет 44–70 дБ, на 100 МГц – 65–70 дБ, на 1 ГГц – 70 дБ.

Резьбовые фильтры, герметизированные компаундом, серий SA, SB, SP, SN (Bolt Style EMI Filters-Thread-Epoxy Sealed) представляют собой миниатюрные фильтры на основе многослойного дискового конденсатора. Обеспечивают эффективное подавление помех в диапазоне частот от 10 МГц до 26 ГГц. Фильтры герметизированы эпоксидным компаундом. Их устанавливают

Таблица 3. Параметры резьбовых фильтров AVX

Серия	Обозначение серии	Номинальный ток, А	Электрическая схема
SA	1000 пФ–0,05 мкФ (50 DC)	5	C (SA1), L-C (SA2)
	1000 пФ–0,045 мкФ (100 DC)		
	1000 пФ–0,01 мкФ (200 DC)		
SB	1000 пФ–0,05 мкФ (50 DC)	10 макс.	C (SB1), L-C (SB2), P _i (SB3)
	1000 пФ–0,05 мкФ (100 DC)		
	1000–5000 пФ (200 DC)		
SP	0,12–0,20 мкФ (50 DC)	10 макс.	C, L-C, P _i
	0,05–0,1 мкФ (100 DC)		
	1500 пФ–0,012 мкФ (200 DC)		
	1000 пФ–0,01 мкФ (200 DC/125 AC, 400 Гц)		
SN	0,12–0,20 мкФ (50 DC)	10 макс.	C (SN1), L-C (SN2), P _i (SN3)
	0,05–0,075 мкФ (100 DC)		
	1500 пФ–0,012 мкФ (200 DC)		
	1000 пФ–0,025 мкФ (200 DC/125 AC, 400 Гц)		

в отверстия в стенке изделий пайкой (для герметичного применения) или же закрепляют с противоположной стороны стенки при помощи гайки и фигурной шайбы. Рабочий диапазон температур –55...125°С. Разработано несколько серий этих фильтров, соответствующих стандарту MIL-PRF-28861: SA, SB, SH, SP, SN (рис.2). Фильтры применяют в технике СВЧ, спутниковой и авиакосмической аппаратуре. Основные параметры резьбовых фильтров, герметизированных компаундом, приведены в табл.3.

Миниатюрные фильтры серии SA (Bolt Style EMI Filters SA Series – 4-40 Thread-Epoxy Sealed) (см. рис.2б) подавляют помехи в диапазоне частот 10 МГц – 26 ГГц. Серия включает фильтры 26 типоразмеров, которые хорошо подходят для фильтрации помех в цепях, не требующих большой емкости. Фильтры выполнены с резьбой 0,112-40UNC-2A (4-40UNC-2A), приблизительно эквивалентной метрической резьбе M3×0,5. Центральный проводник диаметром 0,5 мм изготовлен из бериллиевой бронзы. Возможна поставка фильтров с центральным проводником диаметром 0,4 или 0,65 мм. Стандартное покрытие

металлических поверхностей – серебряное, но возможно золотое или оловянное. В зависимости от емкости и электрической схемы вносимое затухание на частоте 1 МГц достигает 15 дБ (при емкости 0,05 мкФ), на 100 МГц – 25–45 дБ, на 10 ГГц – 55–70 дБ.

Фильтры серии SB (Bolt Style EMI Filters SB Series – 8-32 Thread-Epoxy Sealed) (см. рис.2в.) эффективно подавляют помехи в диапазоне частот 1 МГц – 10 ГГц в электрических цепях, не требующих большой емкости фильтра. Серия состоит из фильтров 23 типоразмеров. Фильтры выполнены с резьбой 0,164-32UNC-2A (8-32UNC-2A), приблизительно эквивалентной метрической резьбе M4×0,7. В зависимости от емкости и электрической схемы вносимое затухание на частоте 10 МГц равно 35 дБ (при емкости 0,05 мкФ), на 100 МГц – 20–60 дБ, на 1 ГГц – 40–70 дБ, на 10 ГГц – 50–70 дБ.

Серия **SP** (Bolt Style EMI Filters SP Series - 12-32 Thread-Epoxy Sealed) (см. рис.2г) включает фильтры 16 типоразмеров. Они эффективно подавляют помехи в диапазоне частот от 100 кГц до 10 ГГц. Вносимое затухание на частоте 1 МГц - 26 дБ (при емкости 0,2 мкФ), на 100 МГц - 20-70 дБ, на 10 ГГц - 50-70 дБ. Фильтры выполнены с резьбой 0,216 UNEF-2A (12-32UNEF-2A). Диаметр центрального проводника 0,81 мм (возможна поставка с проводниками другого диаметра).

Серия **SN** (Bolt Style EMI Filters SN Series - 12-32 Thread-Hermetically Sealed) (см. рис.2д). - единственная серия герметичных резьбовых фильтров 16 типоразмеров. Фильтры герметизированы металлостеклянным спаем, гарантирующим скорость натекания менее $1 \cdot 10^{-7}$ атм·см³/с. Выполнены с резьбой 0,216 UNEF-2A (12-32 UNEF-2A), диаметр центрального проводника - 0,81 мм. Стандартное покрытие металлических поверхностей фильтра - серебряное, возможно золотое или оловянное. Фильтры эффективно подавляют помехи в диапазоне частот от 30 кГц до 1 ГГц. Вносимое затухание на частоте 1 МГц - 26 дБ (при емкости 0,2 мкФ), на 100 МГц - 20-70 дБ, на 1 ГГц - 45-70 дБ, на 10 ГГц - 50-70 дБ.

Миниатюрные резьбовые фильтры (Miniature screw-in style filters) серий **SXD**, **SYD** (по 11 типоразмеров в каждой серии) и **SZD** (13 типоразмеров) - фильтры без шестигранной головки со стандартной резьбой 2-56 UNC-2A (серии SYD и SZD) и 1-64 UNC-2A (серия SXD) и длиной резьбы - 2,3 мм (рис.3а). Фильтры устанавливаются в корпуса изделий пайкой. Разработаны также фильтры для установки в отверстие в стенке изделия и крепления с другой стороны стенки при помощи гайки и фигурной шайбы. Длина резьбовой части этих фильтров увеличена до 3,55 мм. В состав серий SYD и SZD входит модификация фильтров с разрезным с одного или обоих концов центральным проводником (рис.3б). Для вкручивания фильтров в корпуса изделий применяют специальную отвертку (рис.3в), вставляемую в прорези (шириной 0,53 и глубиной 0,51 мм) на торцевой части корпуса фильтра. Диаметр

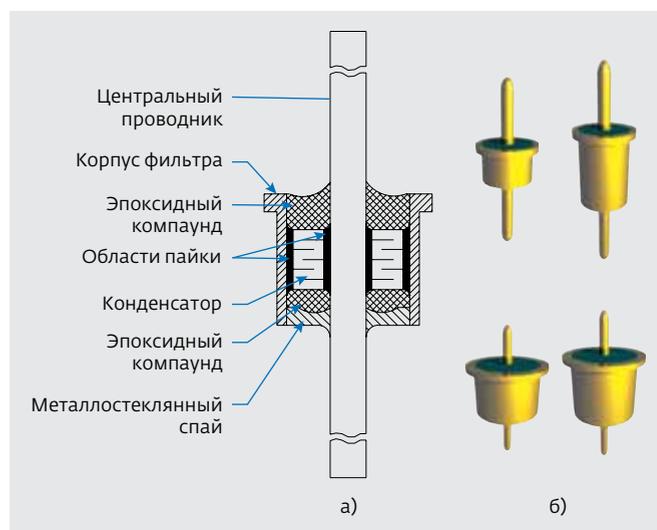


Рис.4. Конструкция (а) и внешний вид (б) миниатюрных герметичных безрезьбовых фильтров

центрального проводника фильтров серий **SXD**, **SYD** - 0,46 мм, серии **SZD** - 0,61 мм.

AVX выпускает фильтры серий **SXD**, **SYD** и **SZD** с электрической схемой С, L-С и Т для подавления помех в цепях постоянного тока напряжением 50, 100 и 200 В. Электрическая емкость фильтров серий **SXD** и **SYD** составляет 5-5000 пФ, номинальный

Таблица 4. Параметры герметичных проходных безрезьбовых фильтров AVX

Серия	Емкость (номинальное напряжение по постоянному DC или переменному AC току, В)	Номинальный ток, А
ZS/ZR	500 пФ-0,015 мкФ (50 и 100 DC)	5
	10-2700 пФ (200 DC)	
YS/YR	1500 пФ-0,1 мкФ (50 и 100 DC)	5
	1500 пФ-0,075 мкФ (200 DC)	
XS/XR	0,05-0,25 мкФ (50 DC)	5
	0,05-0,10 мкФ (100 DC)	
	0,015-0,022 мкФ (200 DC)	
	0,01 мкФ (300 DC)	
WS WR	0,15-1,20 мкФ (50 DC)	15
	0,07 мкФ (70 DC)	
	0,15-1,0 мкФ (100 DC)	
	0,050-0,15 мкФ (200 DC/125 AC, 400 Гц)	
	0,01-0,05 мкФ (400 DC)	

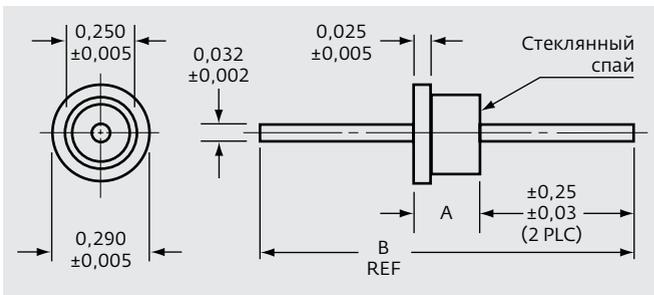


Рис.5. Конструкция фильтров серии ZS. Размеры в дюймах [2, 3]

ток – 3 А. Емкость фильтров серии SZD – 5–27000 пФ, номинальный ток – 5 А. При емкости 100 пФ частота среза фильтров составляет 100 МГц (значение вносимого затухания 3 дБ). Вносимое затухание определяется емкостью фильтра и на частоте 1 ГГц достигает 60 дБ при емкости более 10000 пФ.

Фильтры имеют малые размеры и массу, работоспособны в жестких условиях воздействия окружающей среды и поэтому применяются в микроэлектронной аппаратуре с плотной компоновкой для авиационных и спутниковых систем, в которых одновременно требуются установка и быстрая замена фильтров, расположенных близко друг от друга. Фильтры серии SXD – одни из самых миниатюрных среди фильтров с аналогичными характеристиками.

Кроме того, AVX миниатюризировала фильтры серии SA, создав серию из 28 типоразмеров (2 конструктивных варианта по 14 наименований в каждом). Они представляют собой проходные конденсаторы (С-схема), рассчитанные на номинальный ток 10 А и напряжение 50, 100 и 200 В. Возможна также поставка таких фильтров с L-С или С-Л электрической схемой. Отличия миниатюрных фильтров от стандартных серии SA следующие:

- меньшие размер "под ключ" шестигранной головки фильтров SA1 (группы А3–С3) – 3,05 против 3,91 мм и ее высота: 1,91 против 3,05 мм. При этом диаметр центрального проводника увеличен с 0,51 до 0,81 мм, что позволило вдвое (с 5 до 10 А) увеличить номинальный ток фильтров;
- больший диаметр центрального проводника фильтров SA1 (группы А1–С1): 0,66 против 0,51 мм при сохранении остальных размеров фильтров этой серии;
- минимальная электрическая емкость – 5–100 пФ против 1000 пФ для стандартных фильтров серии SA.

Герметичные проходные безрезьбовые фильтры, впаиваемые в корпуса изделий (Hermetic Solder-in style filters), включают следующие серии фильтров, удовлетворяющих требованиям стандарта MIL-PRF-28861: ZS/ZR, YS/YR, XS/XR и WS/WR (рис.4). Герметичность фильтров обеспечивает металлоглазанный спай (glass seal) на конце корпуса со стороны фланца (серии ZS, YS, XS, WS) или с противоположной его стороны (серии ZR, YR, XR, WR). Со стороны, противоположной металлоглазному спаю, фильтры герметизированы эпоксидным компаундом. Основные параметры фильтров с индексами S (standard, стандартные) и R (reverse, реверсивные) аналогичны. Емкость в фильтрах создает монолитный дисковый конденсатор, индуктивность – ферритовое кольцо. Золотое покрытие металлических поверхностей обеспечивает хорошую паяемость и свариваемость при установке фильтра в изделие. Допустимая температура нагрева при впаивании фильтров в корпуса изделий – 300°C. Фильтры эффективно подавляют помехи в цепях, не требующих большого значения емкости. Все фильтры этих серий имеют С или L-С электрическую схему. Основные параметры фильтров приведены в табл.4.

Конструкция фильтров серий ZS/ZR (ZS/ZR Series – .165 Dia.) (рис.5) в точности совпадает с конструкцией, предлагаемой MIL-PRF-28861/12. Каждая серия ZS и ZR содержит фильтры 46 типоразмеров. Диаметр цилиндрической части корпуса фильтра – 3,25 мм, фланца – 3,96 мм. Размеры А и В для фильтров схемы L-С равны соответственно 5,08 и 18,16 мм, для фильтров схемы С – 2,79 и 15,88 мм. Фильтры подавляют помехи в диапазоне частот от 10 МГц до 26 ГГц.

Фильтры серий YS/YR имеют несколько большие габариты, так как в них применены конденсаторы большей емкости. Диаметр цилиндрической части корпуса фильтра – 4,19 мм, фланца – 5,08 мм. Размеры А и В фильтров схемы L-С равны соответственно 6,35 и 19,05 мм, схемы С – 3,81 и 16,51 мм. В каждую серию входят фильтры 46 типоразмеров.



Рис.6. Миниатюрные герметичные безрезьбовые фильтры (а) и фильтр с расплюснутым (со стороны металлоглазнного спаю) выводом (б)

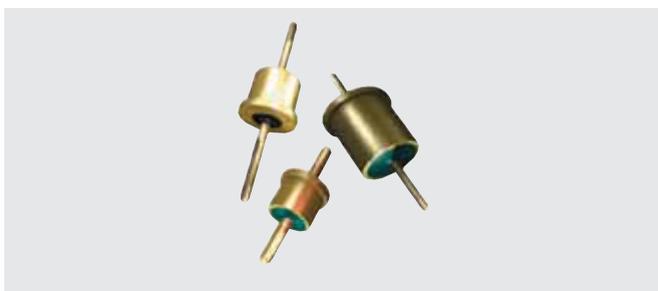


Рис.7. Высокотемпературные герметичные безрезьбовые фильтры AVX

Значение электрической емкости фильтров серии больше, чем у других серий, поэтому они подавляют помехи, начиная с частоты 1 МГц.

Размер электрической емкости фильтров серий **XS/XR** еще больше. Диаметр цилиндрической части корпуса фильтра – 6,35, фланца – 7,37 мм. Размеры А и В такие же, как у фильтров серий **YS/YR**. В каждую серию входят фильтры 22 типоразмеров. Благодаря большой электрической емкости фильтры подавляют помехи, начиная с частоты 500 кГц. Номинальный ток фильтров

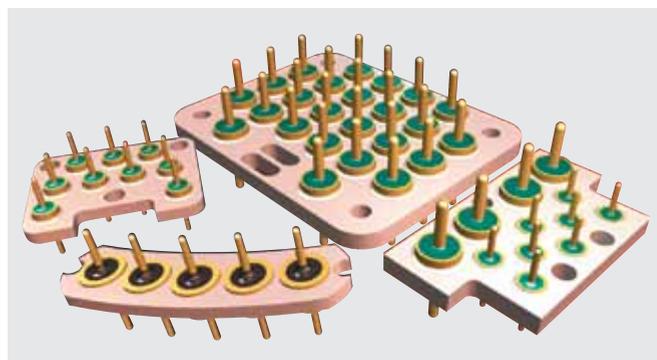


Рис.8. Фильтрующие сборки корпорации AVX

этих серий – 5 А, но AVX может поставлять фильтры с номинальным током 10 А.

Самые большие размеры и емкость (до 1 мкФ) у фильтров серий **WS/WR**. Диаметр цилиндрической части равен 10,16 мм, фланца – 11,43 мм, центрального проводника – 1,27 мм (у фильтров предыдущих серий – 0,81 мм). Поэтому номинальный ток фильтров составляет 15 А. Эффективное подавление помех начинается с частоты 500 кГц. Фильтры этих серий предназначены для цепей

со средним значением импеданса, в которых необходимы фильтры большой емкости.

Миниатюрные герметичные безрезьбовые фильтры, впаиваемые в корпуса изделий (Hermetic Solder - in style filters) серий ZXS, ZYS, ZZS с аналогичной конструкцией серий ZS, YS, XS: металлостеклянный спай на одном конце корпуса фильтра и эпоксидный компаунд на другом (рис.6). Все фильтры выполнены с С электрической схемой. Возможна поставка фильтров и с L-С схемой, правда, при этом их размеры будут увеличены. Фильтры рассчитаны на номинальное напряжение постоянного тока 50, 100 и 200 В. Фильтры с электрической емкостью до 50 пФ предназначены для использования в цепях импульсных сигналов.

Самыми миниатюрными из всех фильтров AVX и других производителей с аналогичными параметрами являются фильтры серии ZXS (12 типоразмеров). Диаметр их корпуса равен 1,9 мм, диаметр фланца 2,36 мм, длина корпуса 1,9 мм, диаметр центрального проводника 0,41 мм, а его длина 6,98 мм. Фильтры рассчитаны на номинальный ток 1,5 А, их емкость может быть выбрана от 5 до 5000 пФ. Вносимое затухание на частоте 10 ГГц – 60 дБ при емкости 5000 пФ и 15 дБ при емкости 5 пФ.

Размеры фильтров следующей серии ZYS (14 типоразмеров) больше. Диаметр их корпуса равен 2,67 мм, диаметр фланца – 3,18 мм, длина корпуса – 2,54 мм, диаметр центрального проводника – 0,51 мм, а его длина – 8,89 мм. Фильтры рассчитаны на номинальный ток 2,5 А, их емкость – 5–27000 пФ. Вносимое затухание на частоте 10 ГГц равно 70 дБ при емкости 27000 пФ и 15 дБ при емкости 5 пФ.

Размеры самых больших фильтров серии ZZS (15 типоразмеров) следующие: диаметр корпуса 3,05 мм, диаметр фланца 3,56 мм, длина корпуса 2,79 мм, диаметр центрального проводника 0,76 мм, его длина 10,16 мм. Фильтры рассчитаны на номинальный ток 5 А, их емкость – 5–50000 пФ. Вносимое затухание на частоте 10 ГГц – 70 дБ при емкости 50000 пФ и 15 дБ при емкости 5 пФ.

Миниатюрные высокотемпературные герметичные безрезьбовые фильтры, впаиваемые в корпуса изделий (Hermetic High Temperature Solder - in style filters). Создание оригинальных высокотемпературных фильтров (Advanced Technology Filters), несомненно, достижение корпорации AVX. Их основное отличие от всех остальных миниатюрных герметичных безрезьбовых проходных фильтров корпорации и других

производителей – отказ от применения эпоксидного компаунда для герметизации. Фильтры герметизированы стеклом (рис.7), их герметичность (скорость натекания) не превышает $1 \cdot 10^{-7}$, атм·см³/с.

Конструкция фильтров выполнена на основе прочного многослойного дискового конденсатора (MIL-C-123) и высокотехнологичного полупроводникового материала и допускает нагрев до температуры выше 500°C. Фильтры изготовлены без применения эпоксидного или другого полимера и флюсов. Это обеспечивает их пайку в корпуса изделий при температуре 400°C, работоспособность в жестких условиях эксплуатации (при температуре окружающей среды до 200°C) и исключает необходимость дополнительного обезжигивания при установке в герметизированную аппаратуру. Разработаны четыре серии фильтров со стандартными значениями диаметров корпусов 10,16 (серия WQ), 6,35 (XQ), 4,19 (YQ) и 3,25 мм (ZQ). Фильтры имеют С электрическую схему, рассчитаны на номинальный ток до 25 А и номинальное напряжение 50–300 В постоянного тока и 200 В переменного тока. Емкость фильтра может быть выбрана от 10 пФ до 1,4 мкФ. Фильтры полностью удовлетворяют требованиям MIL-PRF-28861. Они могут применяться как отдельные элементы, так и в составе фильтрующих сборок.

Фильтрующие сборки (Filter Plates). Из миниатюрных устанавливаемых пайкой фильтров (Solder-in style filters) конструируют фильтрующие сборки (рис.8), которые можно заказывать в AVX или изготавливать самим. Правда, в последнем случае необходимо оценить стоимость изготовления, тестирования и ремонта сборки в случае выхода из строя хотя бы одного фильтра. AVX изготавливает сборки фильтров серий ZZ, ZS, XS, WS и проводит их 100%-ное тестирование. Кроме того, возможна поставка сборок с высокотемпературными герметичными фильтрами серий WQ, XQ, YQ и ZQ для эксплуатации в жестких условиях.

Основание сборки (плату) изготавливают из алюминия, латуни, стали или других сплавов. На него наносят различные гальванические покрытия, в том числе и золотое. Алюминиевое основание может быть оксидировано. Сборки могут поставляться с предварительно облуженными центральными проводниками фильтров. AVX изготавливает сборки с числом фильтров от 2 до 200, при этом в одну сборку могут входить фильтры разных серий. Электрические параметры сборки определяют параметры входящих в нее фильтров. Обязательным условием является

соответствие фильтров требованиям MIL-PRF-28861 класса В или С.

Корпорация AVX – один из признанных мировых лидеров в области разработки и производства помехоподавляющих фильтров для авиакосмической и спутниковой аппаратуры, ракетной техники, систем вооружения, радиолокации и телекоммуникации. AVX выпускает огромную номенклатуру фильтров и целенаправленно работает над уменьшением их размеров без ухудшения электрических параметров. В настоящее время благодаря созданию корпорацией представительств в нашей стране фильтры AVX доступны отечественным разработчикам военной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Джуринский К.** Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. Издание второе. – М: Техносфера, 2006.
2. **Князев А.Д., Кечиев Л.Н., Петров Б.В.** Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости. – М.: Радио и связь, 1989.
3. **Зубавичус В.** Применение импортных ЭРИ в современной специальной аппаратуре. – Современная электроника, 2008, №4, с.18.
4. **Джуринский К.** Зарубежные миниатюрные фильтры нижних частот. Ключ к информации по фильтрам. – Компоненты и технология, 2008, №11, с.35.
5. **Воловик М., Смирнов В.** Керамические проходные конденсаторы и фильтры нижних частот. Состояние и перспективы развития. – Электроника: НТБ, 2004, №7, с.36.
6. **Джуринский К.** Новые имена на российском рынке помехоподавляющих фильтров. – Компоненты и технология, 2008, № 3, с.22.
7. **Джуринский К.** Отечественные и зарубежные фильтры для микроэлектроники СВЧ. Какие лучше? – Электроника: НТБ, 2005, №1, с.42.
8. **Красильщиков М., Смирнов В., Шалаева А.** Новые серии проходных помехоподавляющих фильтров нижних частот. – Электронная промышленность, 2009, №2.
9. **Филиппов А.** Spectrum Advanced Speciality Products. Компоненты и решения для обеспечения ЭМС РЭА. Части 1 и 2. – Компоненты и технология, 2011, № 9, 10.
10. www.avxcorp.com