

Миниатюрные проходные помехоподавляющие фильтры для микроэлектроники СВЧ.

Часть 2. Типы фильтров, их выбор и применение, сравнение зарубежных и отечественных фильтров

Кива Джуринский

Описаны конструкции и параметры основных типов помехоподавляющих фильтров: миниатюрных, герметизированных с одного торца металlostеклянным спаем, а с другого торца – эпоксидным компаундом; резьбовых: стандартных и без шестигранной головки; для прессовой установки; «глазковых»; фильтрующих сборок. Приведены основные правила выбора необходимого фильтра. Рассмотрены способы установки фильтров в корпуса изделий. Проведено сравнение зарубежных и отечественных фильтров.

1. Основные типы миниатюрных помехоподавляющих фильтров

В табл. 1 приведены основные типы миниатюрных помехоподавляющих фильтров, выпускаемых зарубежными компаниями.

Значительная часть из них – миниатюрные проходные, впаиваемые в корпуса изделий безрезьбовые фильтры с С- или L-схемами, герметизирован-

ные с одного торца металlostеклянным спаем, а с другого торца – эпоксидным компаундом с низким коэффициентом термического расширения (рис. 1) [5]. Электрическая ёмкость этих фильтров от 5 пФ до 0,15 мкФ, номинальный ток 5...15 А, напряжение 50...400 В. Во всех зарубежных фильтрах этого типа применены многослойные дисковые конденсаторы, индуктивностью является ферритовое кольцо, надетое на центральный вывод. Компания Kyocera

(AVX) выпускает 5 серий таких фильтров, самые большие из которых серии ZS и ZR. Каждая серия состоит из 46 типоразмеров. Диаметр центрального проводника $0,76 \pm 0,05$ мм, диаметр корпуса $3,25 \pm 0,13$ мм. Золотое покрытие металлических поверхностей обеспечивает хорошую паяемость и свариваемость при установке фильтров в изделия. Допустимая температура кратковременного нагрева при впаивании фильтров в корпуса изделий составляет $+300^\circ\text{C}$.

Вторая большая группа фильтров – резьбовые фильтры, герметизированные эпоксидным компаундом, впаиваемые в корпуса изделий или закрепляемые на панели изделия гайкой с шайбой (рис. 2) [2].

Диаметр центрального проводника фильтров – 0,65 и 0,81 мм соответственно. Разработано множество



Рис. 1. Миниатюрные герметичные безрезьбовые С-фильтры: а) внешний вид, б) конструкция



Рис. 2. Резьбовые фильтры, герметизированные эпоксидным компаундом: а) впаиваемые, б) закрепляемые на панели изделия гайкой с шайбой

Таблица 1. Основные типы зарубежных миниатюрных помехоподавляющих фильтров

Конструктивное исполнение миниатюрных фильтров	Обозначение в зарубежной литературе	Номер рисунка
Миниатюрные проходные безрезьбовые фильтры, впаиваемые в корпуса изделий, герметизируемые металлотекстильным спаем и/или эпоксидным компаундом	Solder-in filters. Solder mounted filters. Solder-in styles filters	1
Резьбовые фильтры, герметизированные эпоксидным компаундом	Panel mount screw-in filters. Screw mounted filters. Threaded filters. Bolt-in-filters	2
Фильтры с накаткой на корпусе для прессовой посадки в корпус изделия	Press fit filters. Press-in filters. Press-in feedthrough	3
Миниатюрные резьбовые (резьба 2-56 UNC) фильтры без шестигранной головки для применения в изделиях с плотной компоновкой	Spin filters. Bashing feedthrough. Spanner head filters. Microslim filters	4
Миниатюрные «глазковые» фильтры с С- и Pi-электрической схемой	Eyelet style filters	5
Проходной фильтр, устанавливаемый в отверстия в панели и закрепляемый с обратной стороны шайбой и гайкой	Bulkhead filter	6
Безрезьбовые и резьбовые фильтры, герметизированные с обоих концов эпоксидным компаундом	Resin sealed filters. Epoxy sealed filters	1a, 2a, 4
Фильтрующие сборки	Filter assemblies	6

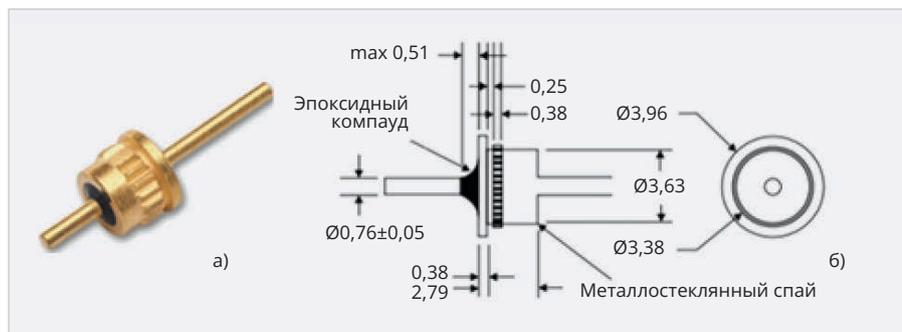


Рис. 3. Фильтр для прессовой посадки в корпус изделия. Внешний вид (а), конструкция (б)

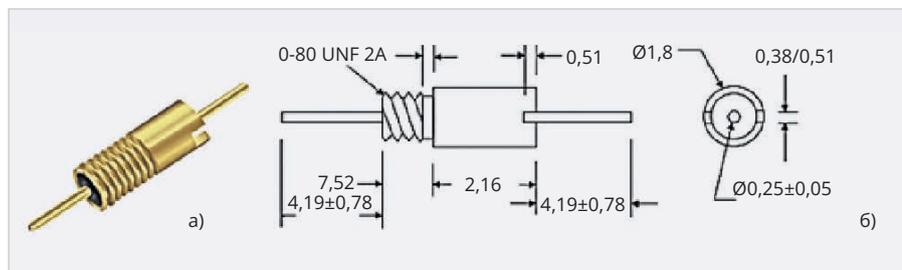


Рис. 4. Фильтры для плотной упаковки изделий: внешний вид (а), конструкция (б)

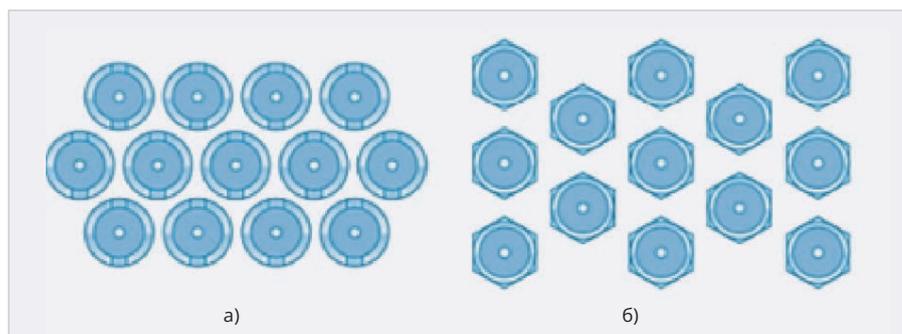


Рис. 5. Схема, показывающая экономию пространства при использовании фильтров круглой формы (а) по сравнению с фильтрами с шестигранными головками (б)

типов резьбовых фильтров с разной длиной корпуса и с укороченной резьбой. Миниатюрные фильтры выпускают с дюймовой резьбой на корпусе 4-40UNC-2A, 6-32 UNC-2A, 8-32UNC-2A, приблизительно эквивалентной метрической резьбе M3×0,5, M3,5×0,6 и M4×0,5, с электрическими схемами всех типов [1]. Один торец резьбового фильтра герметизируют эпоксидным компаундом. Номинальное напряжение фильтров 50 В, 100 В и 200 В, номинальный ток – 5 А и 10 А, типичная ёмкость от 100 пФ до 0,3 мкФ.

Однако зарубежные компании не выпускают миниатюрные резьбовые фильтры, герметизированные металлостеклянным спаем, хотя такие фильтры наиболее востребованы для герметизированных изделий СВЧ повышенной надёжности.

Достаточно широко известны безрезьбовые фильтры с накаткой на корпусе для прессовой установки в корпусе изделий (рис. 3) [2, 3]. Фильтры для автоматизированной прессовой посадки применяют в тех случаях, когда нагрев изделия при пайке в него фильтров недопустим из-за опасности повреждения других компонентов изделия. Для обеспечения прессовой посадки на корпусе фильтра выполнена накатка. Компания Souriau PA&E разработала серию миниатюрных фильтров для прессовой посадки [3].

Фильтры для прессовой установки в корпусе изделий имеют диаметр цилиндрической части с накаткой 4 мм, диаметр центрального проводника 0,76 мм. Корпус фильтра изготовлен из стали, центральный проводник из железо-никелевого сплава 52, покрытие – золото. Фильтры имеют следующие

параметры: ёмкость от 5 пФ до 27 нФ, номинальное напряжение постоянного тока 200 В, максимальный ток 5А.

Для миниатюрных изделий с плотной компоновкой на основе монолитных дисковых конденсаторов разработаны миниатюрные резьбовые фильтры без стандартной шестигранной головки, герметизированные эпоксидным компаундом (рис. 4) [2, 5]. На корпусе фильтра выполнена миниатюрная резьба 0-80UNF-2A. В торце корпуса сделана прорезь глубиной 0,5 мм, в которую вставляют специальную отвёртку при вкручивании фильтра в корпус изделия. Фильтры выпускают с электрическими схемами С, L-С, Pi и Т. Корпуса фильтров изготовлены из стали и покрыты золотом или серебром. В качестве примера на рис. 4 показан С-фильтр с номинальным током 1 А. Если для компактности электронного устройства важно уменьшить шаг установки фильтров, рекомендуется выбрать резьбовой фильтр без шестигранной головки (круглой формы). Такие фильтры можно устанавливать в корпусе почти вплотную друг к другу (рис. 5) [6, 12].

Ещё одна большая группа фильтров – миниатюрные «глазковые» фильтры с С- и Pi-электрическими схемами, герметизированные эпоксидным компаундом (рис. 6) [2, 4].

Миниатюрные «глазковые» фильтры (Eyelet Style) – керамические фильтры с наружной тонкостенной втулкой для крепления в корпус изделия. Фильтры имеют ёмкость до 5000 пФ и рассчитаны на ток до 10 А. Диапазоны рабочих температур: –55...+85°С и –55...+125°С.

Наконец, для сложных изделий микроэлектроники СВЧ разработаны сборки фильтров, установленных в требуемых количествах в металлические платы (рис. 7) [5].

2. Выбор помехоподавляющего фильтра

Фильтры EMI/RFI играют важную роль в современной электронике, обеспечивая надёжную работу систем в условиях электромагнитных и радиочастотных помех. От правильного выбора помехоподавляющего фильтра зависит, будет ли электронное устройство работать должным образом.

Первым шагом при выборе фильтра является изучение требований к параметрам в спецификациях на фильтры [6, 7]. Сюда входят такие параме-



Рис. 6. Миниатюрные «глазковые» фильтры

тры, как вносимое затухание, напряжение, сила тока, рабочая температура, выдерживаемое диэлектриком напряжение, сопротивление изоляции (ток утечки). Эти характеристики обычно указываются как максимальные значения, которые фильтр может выдержать без снижения параметров.

Основные параметры фильтра – частота среза и вносимое затухание в заданном диапазоне частот. Поэтому прежде всего нужно определить конкретный частотный диапазон электромагнитных помех, которые необходимо подавить. Для этого, если возможно, желательно измерить помехи защищаемого устройства без использования фильтра. Эти данные помогут определить, на какой частоте и при какой величине вносимого затухания требуется подавление помех [8, 9]. Требуемый уровень вносимого затухания фильтра для критически важных приложений должен быть не менее 50 дБ [9].

При рассмотрении данных о вносимом затухании фильтра следует учитывать, что его поведение не будет точно соответствовать указанному в спецификации. Обычно производители измеряют вносимые потери фильтра при стандартном импедансе 50 Ом на входе и на выходе. Однако в реальных условиях импеданс системы может быть другим. Это может повлиять на фактическую эффективность фильтра.

Электрическая ёмкость фильтра – важнейший параметр, определяющий все его основные параметры. Для фильтров питания стремятся получить как можно большую ёмкость, чтобы максимально возможно увеличить вносимое затухание. Однако для пропускания без искажения наносекундных импульсов с верхней частотой 100–200 МГц фильтр должен иметь небольшую электрическую ёмкость: 50–100 пФ [10].

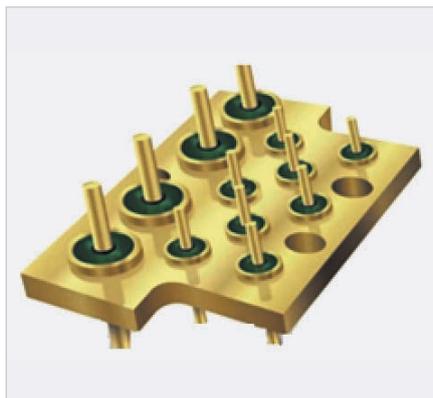


Рис. 7. Сборка фильтров на плате

Важными параметрами являются номинальное напряжение, ток и сопротивление изоляции фильтра. Номинальное напряжение должно быть равно или превышать максимальное входное напряжение, подаваемое на фильтруемое устройство. Номинальный ток фильтра должен быть равен или превышать максимальный постоянный входной ток, который может потреблять устройство [8].

Сопротивление изоляции – электрическое сопротивление изоляции при определённом напряжении, определяющее токи утечки фильтра. Обычно фильтры имеют достаточно высокое сопротивление изоляции (до 10 ГОм). Но после впаивания в корпус изделия припойными пастами оно уменьшается до десятков МОм.

Кроме того, необходимо знать максимальную температуру, при которой фильтр рассчитан на работу с полным номинальным током. Если фактическая рабочая температура превышает температуру окружающей среды, указанную для фильтра, номинальный ток должен быть снижен [8].

Необходимо учитывать доступное пространство для установки фильтра в требуемом месте и выбрать фильтр в резьбовом или безрезьбовом исполнении необходимых размеров и способ его установки в корпус изделия. Для современных изделий микроэлектроники с плотной компоновкой компонентов требуются миниатюрные фильтры. Хотя фильтры меньших размеров и веса предпочтительнее, они обеспечивают меньшее вносимое затухание по сравнению с более крупными аналогами.

Наконец, для применения в изделиях микроэлектроники СВЧ повышенной надёжности необходимо применять только фильтры, герметизированные металлокерамическим спаем.

Таблица 2. Момент вкручивания фильтров в резьбовое отверстие

Тип резьбы на корпусе фильтра	Максимальная величина момента вкручивания, Нм
4-40 UNC; M2,5×0,45; M3×0,5	0,15
6-32 UNC; M3,5×0,6	0,18
8-32 UNC; M4×0,5	0,25
12-32 UNC; M5×0,5	0,30

3. Способы установки помехоподавляющих фильтров

Установка фильтров разной конструкции имеет свои особенности.

Резьбовые фильтры. Чтобы не допустить повреждения конденсатора и нарушения герметизации в результате деформации корпуса фильтра, необходимо выполнять его вкручивание в резьбовое отверстие в корпусе или панели с рекомендуемым моментом вкручивания (табл. 2) [12]. Стандартные резьбовые фильтры с шестигранными головками следует монтировать, используя подходящие динамометрические ключи. Запрещается применять для вкручивания фильтра плоскогубцы, струбцины и другие подобные инструменты, которые могут его повредить. Миниатюрные фильтры без шестигранных головок с прорезями в верхней части корпуса завинчивают в резьбовые отверстия с помощью специальной отвёртки. Максимальную толщину стенки корпуса или панели в месте установки фильтра указывают в спецификации для каждого типа фильтров.

Следует избегать скручивания и изгиба выводов фильтров. Если есть необходимость обрезки вывода, её надо выполнять со всеми предосторожностями до монтажа фильтра в корпус изделия.

Для выполнения прессовой посадки фильтров (рис. 3) на корпусе фильтра сделана накатка. Диаметр отверстия в корпусе, в которое запрессовывают фильтр, должен быть приблизительно на 0,1 мм меньше диаметра корпуса фильтра в области накатки. Например, фильтры компании Oxley с диаметром накатки 5,1±0,1 мм запрессовывают в отверстие диаметром 5±0,02 мм [1].

Фильтры большинства типов устанавливают в корпуса изделий низкотемпературной пайкой оловянно-свинцовым эвтектическим припоем

Таблица 3. Точность размеров отечественных и зарубежных конденсаторов

Компания	Многослойные дисковые конденсаторы			Трубчатые конденсаторы		
	Наружный диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм	Наружный диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Высота, мм
ОАО «Кулон»	ОЖО.460.199ТУ			ФАЦТ.673511.001ТУ		
	4±0,5	1,3 ^{+0,3} / _{-0,45}	3,0	2,4 ^{+0,1} / _{-0,2}	1,5 ^{+0,15} / _{-0,005}	8,0
ВЗРД «Монолит», Белоруссия	–			Неметаллизированные трубки		
				2,6 ^{+0,05} , 1,87 _{-0,05}	1,8 ^{+0,05} , 1,3 ^{+0,05}	7,5
Spectrum Control, Германия	2,54±0,127,	1,0±0,127,	1,0,	1,83±0,08,	1,19±0,05,	8,4,
	3,35±0,127,	1,0±0,127,	1,5,	2,06±0,08,	0,94±0,05,	10,8,
	4,95±0,127	1,57±0,127	1,8	-2,41±0,08	-1,19±0,05	11,43

ПОС-61 с температурой плавления +183°C. Резкие перепады температуры во время пайки могут стать причиной образования микротрещин в керамическом корпусе фильтра, что приведёт к короткому замыканию или снижению сопротивления изоляции.

Температурный профиль пайки состоит из четырёх стадий: предварительного нагрева, стабилизации, расплавления припоя (пайки) и охлаждения [12].

Стадия предварительного нагрева необходима для равномерного распределения тепла и снижения термического удара, который может вызвать трещины в керамическом конденсаторе и/или в металлостеклянном спае. При пайке паяльными пастами на этой стадии происходит испарение растворителя из паяльной пасты. Температура предварительного нагрева ~150°C, скорость изменения температуры составляет 2,0...4,0°C/с. Высокая скорость предварительного нагрева может приводить к повреждению компонентов, разбрызгиванию шариков припоя, образованию перемычек. Однако если скорость предварительного нагрева низка, то при пайке на воздухе может происходить окисление контактных поверхностей и частиц припоя.

На стадии стабилизации происходит медленное равномерное распределение температуры. Рекомендуемое время стабилизации составляет 90–150 с. В конце зоны стабилизации температура обычно достигает 150–170°C.

Скорость нагрева при пайке не должна превышать 3°C/с. При пайке паяльником температура его жала должна быть менее +260°C, время выдержки при пайке фильтров должно составлять не более 3–5 секунд. По возможности следует применять теплоотвод от корпуса фильтра. Необходимо избегать прямого контакта паяльника с керамическим корпусом фильтра.

Охлаждение до температуры окружающей среды должно происходить

естественным путем. Естественное охлаждение позволяет постепенно снизить термические напряжения в паяных соединениях.

4. Зарубежные и отечественные проходные фильтры для микроэлектроники СВЧ. Какие лучше?

Сравним отечественные и зарубежные проходные фильтры по основным параметрам. Электрические параметры зарубежных и отечественных фильтров подробно рассмотрены в работах [1, 2, 11].

Вносимое затухание в заданном диапазоне частот. В целом по этому параметру отечественные фильтры последних разработок не уступают зарубежным аналогам.

Миниатюрность. Габаритные и присоединительные размеры фильтра и его массу выбирают с учётом размеров и толщины стенки корпуса изделия, а также с учётом необходимого количества устанавливаемых фильтров. Необходимо, чтобы диаметр корпуса фильтров для этих изделий был не более 4 мм. Компании США, Европы и Азии выпускают сотни многих типов таких фильтров (табл. 1). Миниатюрные проходные фильтры, устанавливаемые в стенку корпуса изделий, отечественная промышленность (ОАО «Кулон» и АО НИИ «Гириконд», г. Санкт-Петербург) не выпускает.

Герметичность. Существует два способа герметизации фильтров. Первый – заливка обоих торцов его корпуса термостойким эпоксидным компаундом. Этот способ использован во всех серийно выпускаемых отечественных фильтрах: Б7-2, Б14, Б23А, Б24, Б28, Б30-1, Б30-2. Герметичность таких фильтров не регламентируется. Второй способ герметизации – применение металлостеклянного спае. В этом случае обеспечивается вакуумная плотность фильтра – скорость натекания

не превышает $1,3 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \times \text{Па/с}$. Отечественная промышленность выпускает только фильтры, герметизированные эпоксидным компаундом. За рубежом разработаны многие типы фильтров, герметизированные с одного торца эпоксидным компаундом, а с другого – металлостеклянным спаем.

Тип конденсатора: трубчатый или дисковый. В табл. 3 приведены данные по точности изготовления отечественных и зарубежных конденсаторов.

Большинство зарубежных фильтров всех типов созданы с дисковыми конденсаторами. По своим размерам и точности отечественные дисковые конденсаторы непригодны для создания миниатюрных фильтров. Низкая точность размеров трубчатых конденсаторов (исключая конденсаторы предприятия «Монолит») не позволяет применять их при создании фильтров, герметизированных металлостеклянным спаем.

Особенности монтажа фильтров в корпусе изделий. Основы конструкции отечественных фильтров были разработаны ещё в 60-е годы прошлого века. Её отличительная черта – использование керамического трубчатого конденсатора в качестве элемента корпуса фильтра. Так устроены фильтры Б7-2, Б23А, Б24 (варианты а и б). В фильтрах Б14 и Б24 (вариант в) на конденсатор припаяется резьбовая втулка, являющаяся элементом крепления и служащая для отвода помех «на землю», но это принципиально не меняет сути конструкции.

Все зарубежные проходные фильтры без исключения выпускаются в металлическом корпусе. Для того чтобы нашим предприятиям начать выпускать фильтры в металлическом корпусе, понадобилось четверть века. И вот, наконец, в 2025 году главный конструктор ОАО «Кулон» Д.В. Махин сообщает: «Ведутся работы по переводу всех помехоподавляющих фильтров на металлический корпус вместо керамического» [13].

В связи с применением эпоксидного компаунда монтаж фильтров в корпусе изделий возможен только путём низкотемпературной пайки припоями типа ПОСК50-18 (температура плавления 145°C) паяльником с температурой жала +200±10°C или вклеиванием. Соединение выводов фильтров с электрической схемой необходимо выполнять пайкой припоями ПОСК50-18 или ПСрОС-58. При этом рекомендуется применять теплоотвод от контактного узла фильтра, поскольку перегрев приводит к размягчению компаунда и смещению вывода, а также к возникновению трещин в керамическом корпусе.

Миниатюрные зарубежные фильтры герметизированы с одного торца металлокерамическим спаем, а с другого – термостойким компаундом (рис. 1). Допустимая предельная температура кратковременного (не более 6 с) нагрева фильтров при пайке в корпусе изделий составляет +275±5°C. Металлические корпус и выводы фильтра покрыты серебром или золотом. Диапазон рабочих температур фильтров от -55°C до +125°C.

Заключение

Для применения в устройствах специального назначения необходимы герметичные помехоподавляющие фильтры с высоким уровнем электрических параметров и уменьшенными размерами и массой. Создание таких фильтров возможно только на основе многослойных дисковых керамических конденсаторов и герметизации фильтров металлокерамическим спаем без применения органических компаундов.

Литература

1. *Джуринский К.Б.* Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры / под ред. д.т.н. А.А. Борисова. СПб.: Изд-во ЗАО «Медиа Группа Файнстрит», 2014. 426 с.
2. *Джуринский К.Б.* Миниатюрные помехоподавляющие фильтры СВЧ диапазона частот // Современная электроника. 2023. № 8. С. 28–33.
3. PAE. cat.057. Souirau PA&E. 2007. Vol. 3.
4. Choosing the Right EMI Filter | Spectrum Control. URL: <https://www.spectrumcontrol.com>.
5. Miniature EMI Filters KYOCERA-AVX. URL: <https://www.kyocera-avx.com>.
6. *Matthews P.* Application and Installation Considerations for Filters. URL: blog.knowlescapacitors.com.
7. Process for Selecting an EMI Filter – Premier Filters. URL: <https://premieremc.com>.
8. Step-by-Step Process for Selecting An EMI Filter. Selecting An EMI Filter | Astrodyne TDI. URL: <https://astrodynetdi.com>.
9. EMI Filters Selection Guide – EEE Parts... | URL: <https://doEEEt.com>.
10. *Harris J.* The Engineer’s Practical Guide to EMI Filters in Aviation. URL: <https://superavionics.com>.
11. *Джуринский К.Б.* Миниатюрные коаксиальные фильтры для цепей управления микроэлектронных устройств // Компоненты и технология. 2007. № 2. С. 90–95.
12. Syfer – The EMI Filter Specialist. URL: <https://wts-electronic.de>.
13. *Махин В.Д.* Наши приоритеты – модернизация производства и расширение линейки продукции // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2025. № 2. С. 54–57.



ООО «Пространство технологий» (ООО «ПРОТЕХ») - аккредитованная ИТ-компания, разработчик систем хранения данных.

Программное обеспечение «Система управления СХД SpaceSAN» разработано ООО «ПРОТЕХ» с учетом имеющегося 20-летнего опыта эксплуатации подобных систем в различных отраслях и внесена в реестр Минцифры РФ (реестровая запись № 23324 от 25.07.2024)



- УПРОЩЕНИЕ РАБОТЫ
- СНИЖЕНИЕ ПОРОГА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
- УСКОРЕНИЕ РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ



www.spacesan.ru
info@spacesan.ru
 +7 (995) 930-16-17

Линейка оборудования SpaceSAN:

SpaceSAN Infinity

хранение данных на HDD носителях (для бекапирования или видеонаблюдения)



SpaceSAN Star

хранение данных на SSD носителях с высокой скоростью доступа к данным



SpaceSAN Gem

в двухузловом исполнении отказоустойчивая СХД, обеспечивает непрерывную работу системы и защиту данных в случае отказа любого из компонентов



Приглашаем посетить наш стенд № E155

на выставке «Электроника России», где вы сможете ознакомиться с нашим оборудованием и интерфейсом программного продукта, а также получить разъяснение и консультацию экспертов!

Реклама