

# Пассивная фильтрация ЭМИ.

## Обзор компонентной базы.

### Часть 2

Василий ГОРБАЧЕВ,  
Виктор КОЧЕМАСОВ,  
к.т.н.

В этой части публикации (см. начало в ЭК5, 2024 г.) завершается обзор фильтров электромагнитных помех, в частности, пассивных SMD-компонентов, 3-выводных фильтров, фильтров X2Y, ферритовых бусин и выводных фильтров для монтажа на панель. Кроме того, анализируются преимущества и недостатки материалов, которые применяются для изготовления описываемых устройств.

#### Неметаллы

К недостаткам металлов следует отнести недостаточную гибкость и эластичность, необходимость в механической обработке и сварке, вес и во многих случаях цену. Возможности современной химии позволяют создавать композитные материалы именно с целью преодоления указанных недостатков. В настоящее время наиболее востребованными основами для композитов являются силикон, полиуретан и неопрен. Иногда все три материала называются эластомерами (резинами). Для изготовления проводящих прокладок с малым усилием сжатия используется пенополиуретан с открытыми порами, покрытый медью и никелем. Такие прокладки выпускаются многими производителями чаще всего в виде лент (рис. 20).

Представленные на рис. 20 прокладки имеют стандартный набор сечений как экструдированных, так и нарезанных из листов (рис. 21).

В стандартных комплектациях такие прокладки имеют поверхность вспененного полиуретана медную подложку, покрытую никелем. Для маркировки изделий (Part Number) используются размеры W и H (рис. 21). Диапазон рабочей температуры: -40...90°C. Степень сжатия: 2,6%. Поверхностное сопротивление: менее 0,02 Ом. Опционально эти прокладки могут оснащаться двухсторонним скотчем на одной из поверхностей [8] (в этой публикации используется сквозная нумерация: предыдущие четыре позиции списка «Литература» см. в Части 1 – прим. ред.).

Кроме ленточных прокладок выпускаются листовые экранирующие материалы на вспененной и эластомерной основах, а также прокладки готовых форм для стандартных корпусов аппаратуры.

Примером сочетания достоинств металлов и неметаллов в одном изделии для по-

давления радио- и электромагнитных помех являются поглощающие вентиляционные панели. В стандартном виде такая вентиляционная панель представляет собой алюминиевую решетку с неметаллической проводящей поглощающей прокладкой. Недостатком этих панелей является повышенный акустический шум и значительное сопротивление потоку возду-

ха. Для купирования этих проблем компания Tech Etch предлагает вентиляционную панель в виде соевой неметаллической решетки, вмонтированной в литую рамку из алюминия через поглощающую прокладку. Такая конструкция перекрывает только 5% площади вентканала, обеспечивая поглощение ЭМП на уровне 90 дБ (рис. 22).

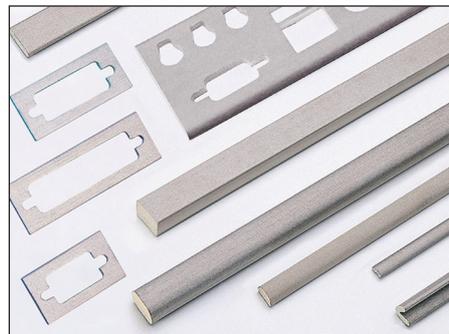


Рис. 20. Гибкие проводящие неметаллические прокладки для экранирования

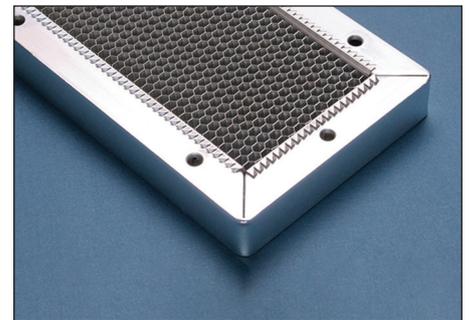


Рис. 22. Композитная поглощающая вентиляционная панель Tech Etch

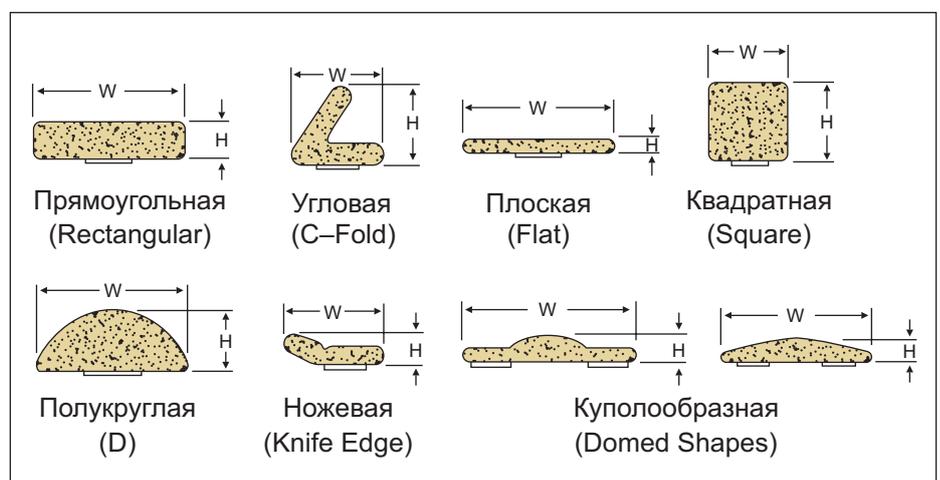


Рис. 21. Формы сечений экранирующих прокладок



Рис. 23. Поглощающая лента и рукав

В завершение раздела о неметаллических поглощающих материалах упомянем еще две формы, в виде которых производятся защитные материалы. Это ленты и рукава. Примеры их применения представлены на рис. 23.

### Пассивные SMD-компоненты для подавления ЭМИ

В привычном для инженерного сообщества представлении аббревиатура SMD ассоциируется с безвыводными и часто весьма малогабаритными компонентами, монтируемыми на поверхность печатной платы без монтажных отверстий. Применительно к теме подавления ЭМП термин приходится использовать с достаточной степенью условности, поскольку множество компонентов, имеющих базовые признаки использования SMD-технологии, могут, тем не менее, монтироваться иными способами. Например, компания Sufer, входящая в группу Knowles, в описании своей SMD-серии SBS указывает, что группы компонентов SBSP, SBSG и SBSM могут монтироваться на стенку или перегородку платы. Утверждается, что такие способы монтажа улучшают экранирование между входом и выходом фильтра и, соответственно, частотную характеристику (рис. 24).

Фильтры рассчитаны на токи до 1 А (SBSP в конфигурации Pi), до 5 А (SBSG в конфигурации Pi), до 10 А (SBSG в конфигурации C и SBSM в Pi) и до 20 А (SBSM – в конфигурации C). Диапазон рабочих напряжений: 100–500 В DC.

Еще один SMD-компонент, имеющий специфические особенности монтажа, производит компания Spectrum Control. Это

серия мощных фильтров PSM (Power Surface Mount) (рис. 25).

Фильтры рассчитаны на токи до 20 А (С-фильтр) и до 5 А (Pi-фильтр) и имеют прямоугольную форму сечения корпуса и терминалов, что позволяет увеличить площадь контакта с дорожками платы. Кроме того, в качестве комплектующих для этих фильтров выпускались специальные защитные экраны с прямоугольными вырезами на одной из сторон (элементы клетки Фарадея) и монтажные клипсы (рис. 25) для установки фильтра в стенку клетки Фарадея. Производитель указывает, что частотные характеристики вносимых потерь фильтров разные в зависимости от типа установки. Так, например, при стандартной SMD-установке Pi-фильтра емкостью 4000 пФ на плату максимум вносимых потерь составит ~43 дБ на частоте ~100 МГц с плавным понижением до 3 ГГц. Этот же фильтр, установленный на плату, сквозь стенку экрана обеспечивает ослабление величиной ~85 дБ на частоте ~600 МГц, и эта величина сохраняется до 3 ГГц.

Одним из двух основных или часто единственным компонентом фильтра является конденсатор. Для построения SMD-фильтров чаще всего используются MLCC-конденсаторы. При этом все основные параметры конденсатора за время эксплуатации

зависят от стабильности диэлектрической проницаемости используемой керамики. Под стабильностью в данном случае понимается устойчивость к влиянию таких факторов как напряжение, температура, частота и время. Измеряется стабильность в миллионных долях (ppm). По параметру стабильности принято разделение на три группы: сверхстабильные, стабильные и общеупотребительные. В первую группу входят керамические конденсаторы класса COG/NP0, во вторую – X7R, а в третью – Z5U, Y5V или X7W. Поскольку основным параметром фильтра является вносимое ослабление, понятно, что на работоспособность фильтра влияет изменение емкости, связанное со стабильностью керамики. Компания Sufer, которая производит фильтры только на керамике COG/NP0 и X7R, тем не менее провела исследования конденсаторов со всеми пятью упомянутыми диэлектриками. Для этого использовались пять конденсаторов из разной керамики на 5000 пФ, которые в течение 10 000 ч отработали при 85 °С и напряжении 100 В DC. Финишные значения емкости конденсаторов представлены на рис. 26.

Обратим внимание на один из параметров исследования. Рабочая температура в эксперименте составила 85 °С. Существует общепринятая практика применения конденсатор-

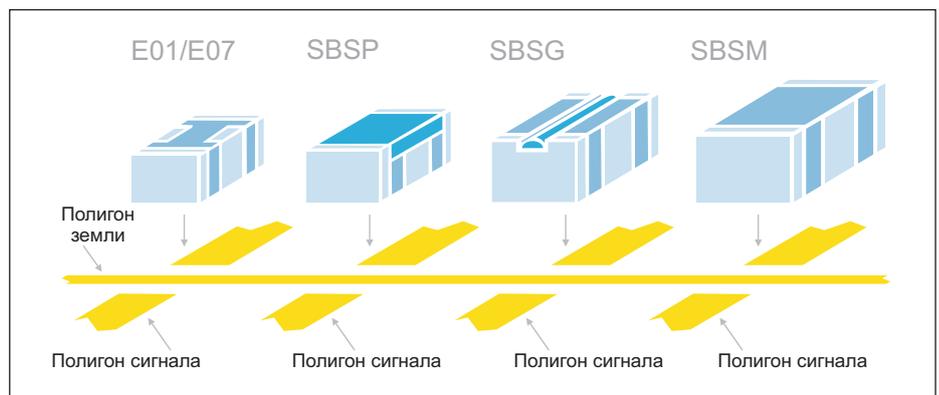


Рис. 24. Корпусы и сравнительные размеры компонентов серии SBS

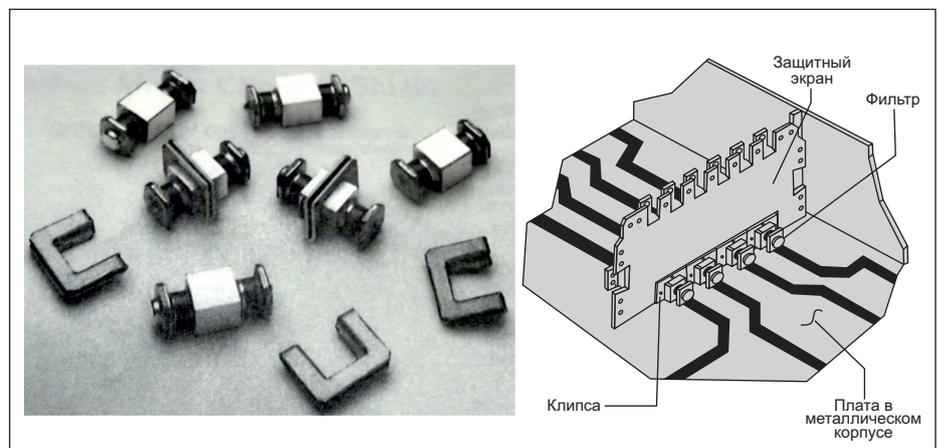


Рис. 25. Внешний вид и монтаж фильтров PSM Spectrum Control [9]

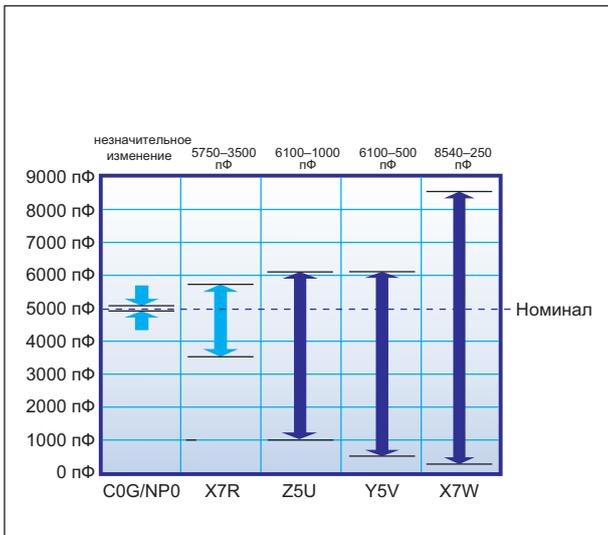


Рис. 26. Сравнение керамических материалов

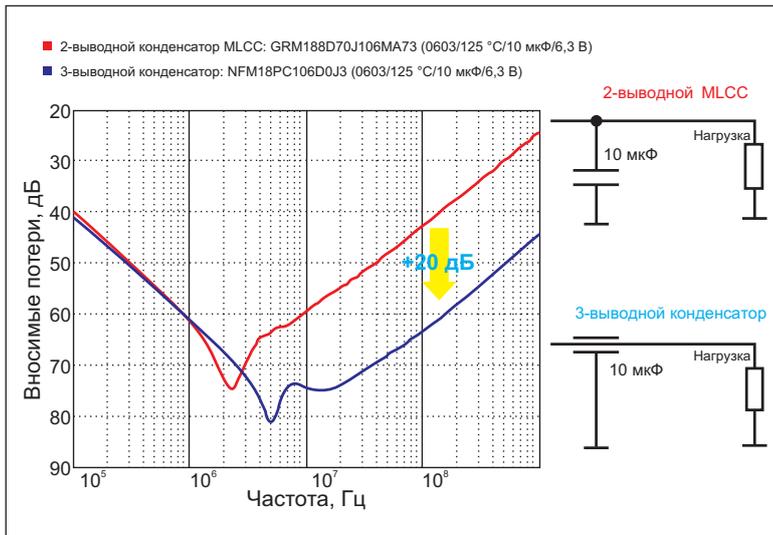


Рис. 27. Сравнение вносимых потерь двух конденсаторов

ной керамики, в рамках которой материалы C0G, X7R и X7W работают в диапазоне –55...125 °C, керамика Z5U – при температуре –10...85 °C, а Y5V – при –30...85 °C. Соответственно, 85 °C является верхней границей либо верхней частью температурного диапазона для всех исследуемых керамических материалов.

И еще одно замечание. Производители фильтров довольно часто не указывают тип керамики, использованной в производстве изделия, но всегда упоминают диапазон рабочей температуры. Зная связь между этими двумя параметрами, можно косвенно определить тип керамики конкретного фильтра. Впрочем, и в этом случае заметим, что подавляющее большинство SMD-фильтров работает в диапазоне –55...125 °C.

### 3-выводные фильтры

Значительный объем выпуска пассивных фильтров для подавления ЭМП приходится на керамические SMD-компоненты с тремя выводами. Основные электрические схемы этих фильтров приведены на рис. 3. Часто

фильтры этого типа называют проходными. Одна из особенностей таких изделий заключается в том, что в силу своей конструкции они должны работать на полном токе защищаемой линии и, как следствие, обеспечивать теплоотвод и термостабильность параметров. Это одна из причин, по которой такие фильтры изготавливаются из высокостабильных керамических материалов. Очень представительную линейку трехвыводных фильтров выпускает компания Murata. В эту линейку входят такие серии как NFM – с одним конденсатором, NFL – конденсатор и индуктивность, NFA – массивы фильтров для защиты шин. Руководящий документ компании [10] описывает преимущества этого однокомпонентного фильтра в сравнении со стандартным конденсатором и с трехкомпонентным фильтром на сосредоточенных элементах. Так сравнение вносимых потерь двух конкретных моделей двух- и трехвыводного конденсатора в корпусах 0603 представлено на рис. 27.

Из сравнения видно, что, начиная с 10 МГц, потери 3-выводного фильтра на 20 дБ больше.

Отечественным аналогом NFM-серии (Murata) и SF-серии (Spectrum Control) являются 3-выводные проходные чип-фильтры серии Б36 (ООО «Кулон»).

Сравнение подавления высокочастотного шума в DC/DC источнике питания представлено на рис. 28. И в этом случае у 3-выводного проходного фильтра преимущество – его потери на 15 дБ больше.

И в завершение рассмотрим результаты исследования подавления высокочастотного шума, генерируемого DC/DC-преобразователем на своем входе (рис. 29). На этот раз сравнение происходило в трех конфигурациях: без фильтра на входе источника питания (рис. 29а), с 3-компонентным Pi-фильтром на сосредоточенных элементах (рис. 29б) и 3-выводным однокомпонентным проходным фильтром (рис. 29в).

Из рисунка видно, что проходной фильтр, состоящий из одного компонента, способен заменить собой фильтр из трех компонентов.

Еще одна область устойчивого и успешного применения 3-выводных фильтров связана с такой особенностью этих изделий

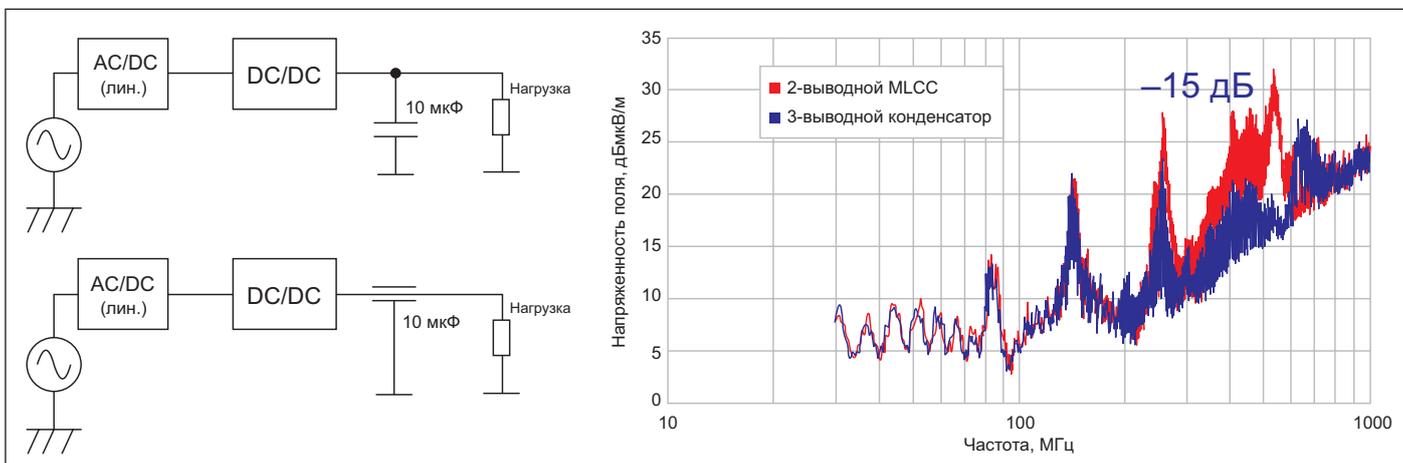


Рис. 28. Сравнение подавления шума

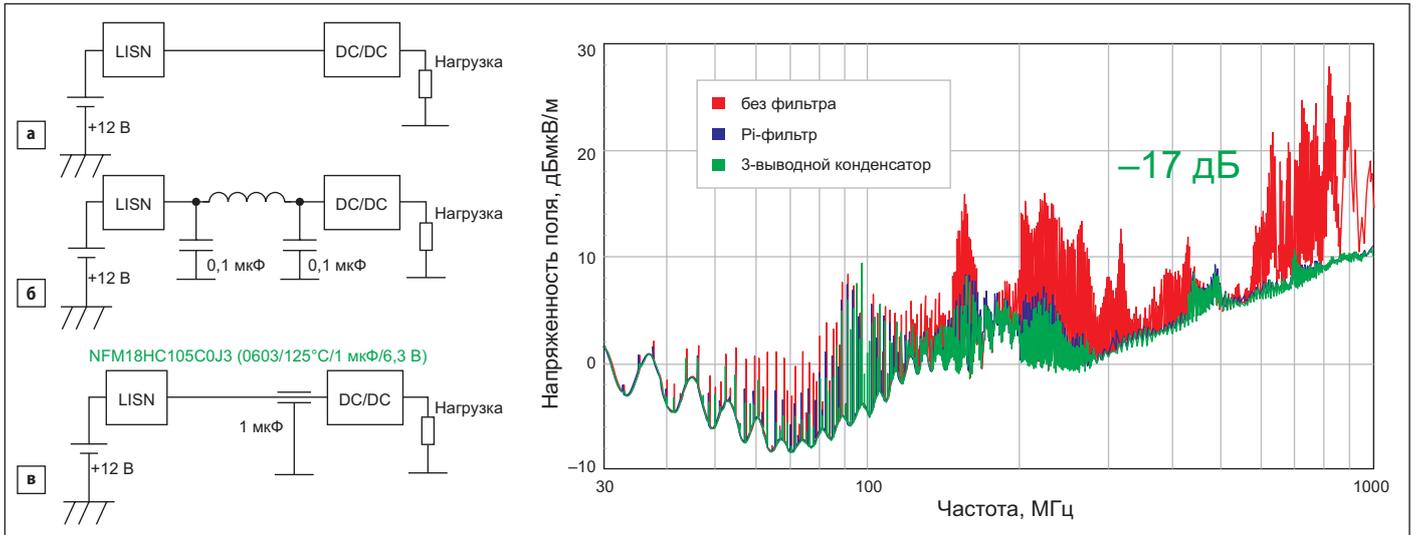


Рис. 29. Сравнение трехвыводного конденсатора и Pi-фильтра

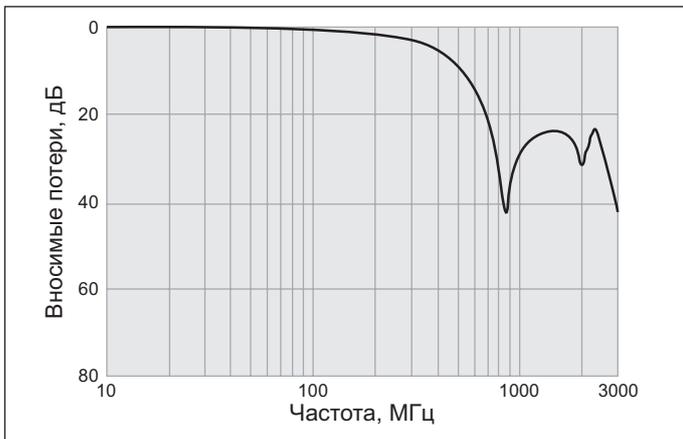


Рис. 30. Множественный собственный резонанс фильтра

как множественный собственный резонанс. Она проявляется в 2- и 3-компонентных фильтрах. При этом частотная зависимость вносимых потерь имеет, соответственно, два и три резонанса (рис. 30). Такие фильтры широко используются в мобильных радиоустройствах, которые работают в нескольких диапазонах частот. Например, в мобильных телефонах 2-частотной схемы (~800 МГц, ~2 ГГц) эти фильтры применяются для защиты шин экрана от наводок несущей частоты радиоканала.

### X2Y-фильтры

Рассматривая эти изделия в разделе, посвященном 3-выводным фильтрам, наверное, правильнее было бы назвать их 3-шинными, поскольку на корпусе X2Y-фильтров имеются четыре вывода, два из которых соединены внутри прибора и, соответственно, подключаются к одной цепи электрической схемы конечного устройства.

Собственно говоря, в документации фирмы Johanson Dielectrics они называются SMD-конденсаторами с четырьмя выводами (рис. 31).

Основное отличие X2Y-фильтра от 3-выводного проходного в том, что X2Y – фильтр шунтирующего типа, у которого отсутствуют ограничения по току, протекающему по защищаемой цепи. Конструкция, свойства и способы применения X2Y-фильтров изложены в [11]. Отметим в этой связи несколько моментов.

Свое название эти изделия получили из-за особенностей конструкции (рис. 32а). Соответственно, изменились конструкция и эквивалентная схема фильтра. На рис. 32б сравниваются замещающие схемы стандартного и X2Y-конденсаторов. Заметим, что представленная на рисунке замещающая схема стандартного конденсатора подразумевает его применение как фильтра низких частот. Свойства X2Y-фильтра определяются тем, что применение набора защитных электродов с выводами G1 и G2 (рис. 31) создало структуры наподобие клеток Фарадея, в которые установлены наборы электродов А и В (рис. 31). Этот факт даже нашел отражение в электрической схеме фильтра (рис. 31). Основными достоинствами X2Y-фильтров считают очень малое значение ESL и обусловленная способом производства хорошая балансировка Y-конденсаторов, вследствие чего этот фильтр также называют балансным. Существуют две общепринятые схемы включения X2Y-фильтров (рис. 33).

На рис. 33а классическая схема фильтрации дифференциальных и синфазных помех и хорошая балансировка Y-конденсаторов позволяет качественно подавить синфазную помеху, в том числе на высоких частотах. На рис. 33б показана развязывающая схема с параллельным включением Y-конденсаторов и соответственным удвоением емкости. При таком построении фильтра индуктивность параллельного монтажа меньше, чем в случае применения двух одиночных конденсаторов, что увеличивает верхнюю частотную границу подавления шума.

В дополнение к примерам применения X2Y, представленным в [11], приведем еще пример замещения дросселя синфазных помех и Pi-фильтра двумя X2Y-конденсаторами, предложенный компанией Johanson Dielectrics (рис. 34).

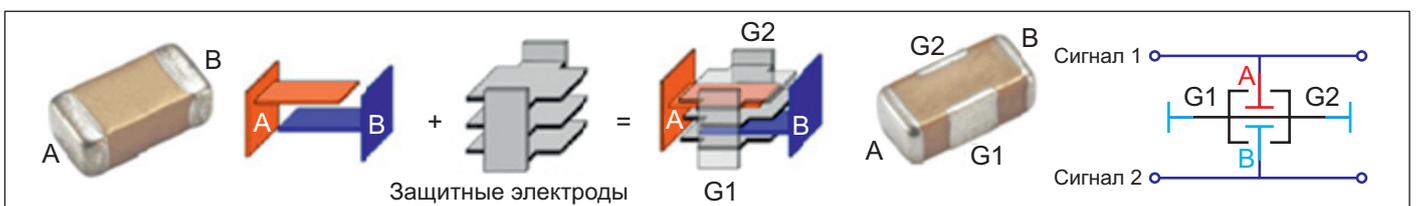


Рис. 31. Устройство и электрическая схема X2Y-фильтра

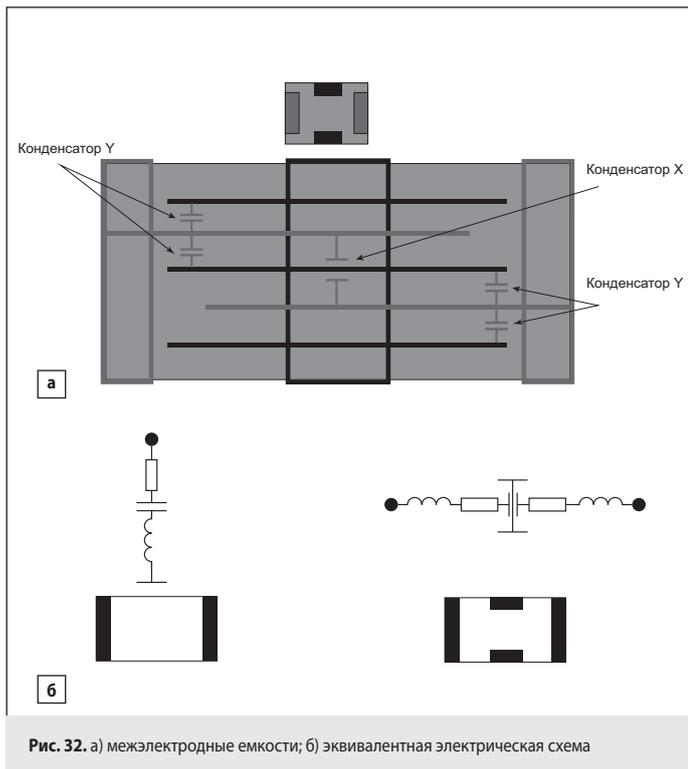


Рис. 32. а) межэлектродные емкости; б) эквивалентная электрическая схема

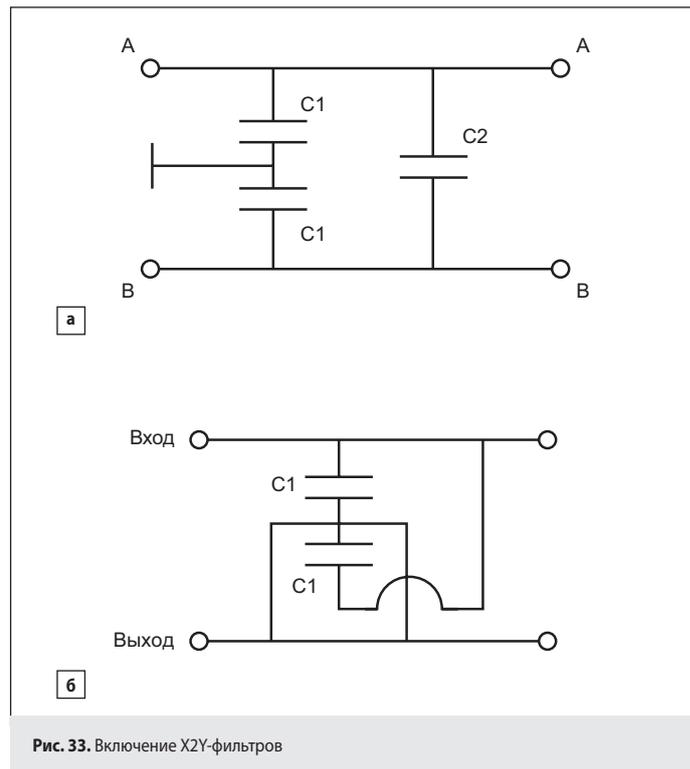


Рис. 33. Включение X2Y-фильтров

В этой связи обратит внимание на разное включение X2Y-фильтров, что, соответственно, приведет к разному дизайну посадочных мест фильтров на плате. В завершение раздела об X2Y-фильтрах мы представляем сравнительные результаты подавления синфазной помехи шестью разными индуктивными компонентами (четыре из них – дроссели

синфазных помех) и пятью X2Y-фильтрами разной емкости (рис. 35).

Видно, что на частоте 1 ГГц разница в подавлении синфазной помехи составляет 15 дБ «в пользу» X2Y-фильтра. И, безусловно, замена двух конденсаторов и двух дросселей двумя X2Y-конденсаторами благотворно скажется на экономике проекта.

### Ферритовые бусины (beads)

Первоначально своим названием этот вид пассивных компонентов для подавления шума обязан ферритовым муфтам, надевавшимся на отдельные проводники и действительно напоминавшим бусы. Неумолимая миниатюризация кардинально изменила внешний вид и конструкцию этих индуктивных фильтров – они стали многослойными миниатюрными проходными индуктивными фильтрами, но при этом сохранили свое название. Классические бусины-муфты также выпускаются многими отраслевыми компаниями.

В настоящее время эти компоненты производятся из ферритовых листов-заготовок, на которые наносятся проводящие фрагменты катушки, после чего методом спекания получается конечное изделие. Наиболее часто для производства бусин используется никель-цинковый феррит. Основным параметром, характеризующим работу фильтра, является его полный импеданс, частотная зависимость импеданса и его резистивный, индуктивный и емкостной компоненты. Как и проходные 3-выводные фильтры, эти бусины выпускаются сериями по параметрам номинального тока и частотной полосы подавления. Существуют как минимум две конструкции многослойного стека. Выбор между ними определяется именно частотными свойствами фильтра. На примере двух серий ферритовых бусин WE-CBF (стандартной) и WE-CBF HF (высокочастотной) от компании Würth Elektronik можно увидеть различия в конструкции стека (рис. 36).

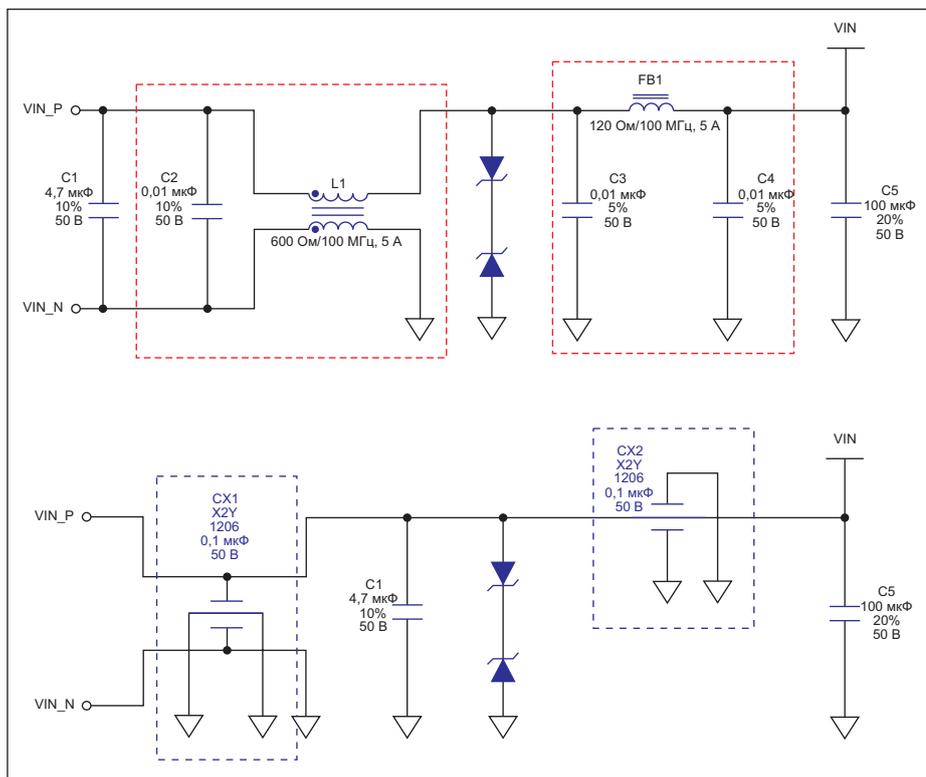


Рис. 34. Замена синфазного дросселя X2Y-фильтром [12]

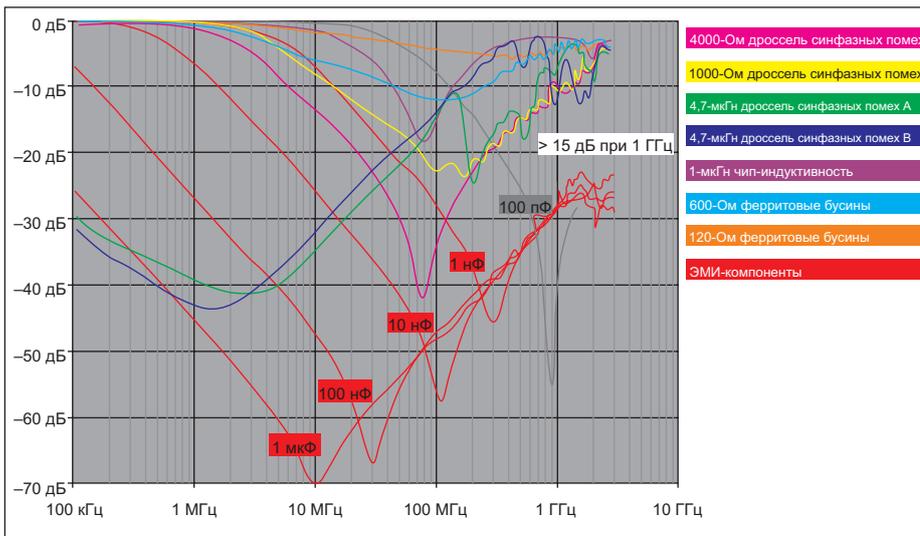


Рис. 35. Демонстрация возможностей XZY-фильтра

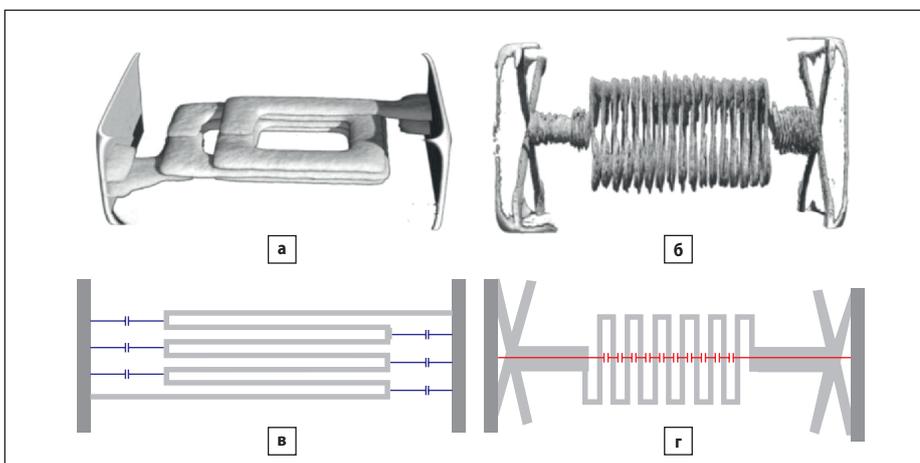


Рис. 36. Конструкции низкочастотного и высокочастотного стеков [13]

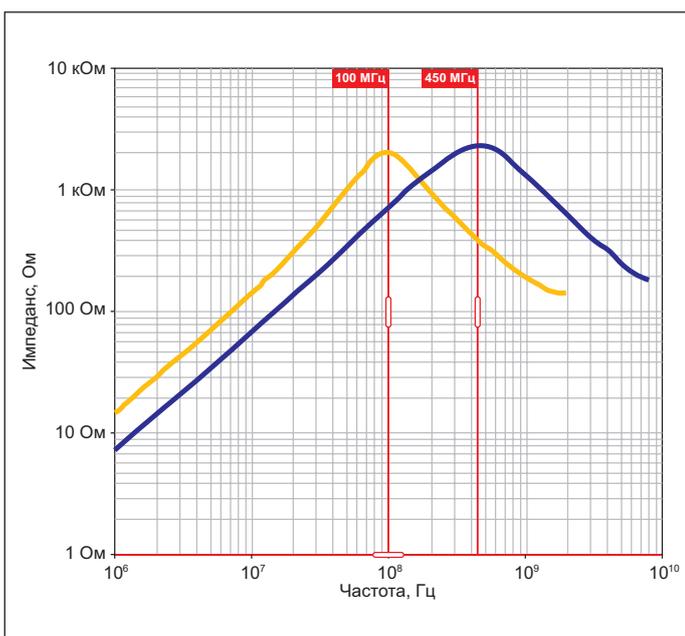


Рис. 37. Частотные характеристики импеданса серий WE-CBF (оранж.) и WE-CBF HF (синий)

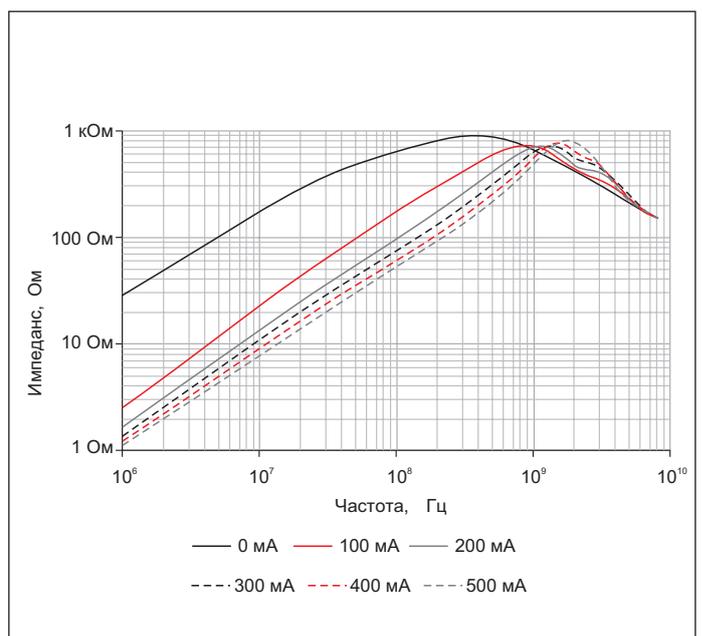


Рис. 38. Действие постоянного тока смещения для бусин серии WE-CBF HF

Набор на рис. 36а условно называется горизонтальным. Он относительно прост, дешев в производстве и применяется на низких частотах благодаря тому, что паразитные емкости конструкции соединяются параллельно, сдвигая, таким образом, собственный резонанс фильтра в область низких частот (рис. 36в). Еще одним ограничением этой конструкции является невозможность произвольно наращивать количество слоев стека, поскольку их число ограничено стандартными размерами терминала бусины. Всех перечисленных выше недостатков лишен набор на рис. 36б, условно называемый вертикальным, но к числу его собственных недостатков относится сложность и дороговизна изготовления в сравнении с горизонтальным стеком. Главным же его достоинством является последовательная структура внутренней распределенной паразитной емкости (рис. 36г). Количественное сравнение частотных свойств рассмотренных стеков представлено на рис. 37.

Заметим также, что частотные кривые получены в условиях отсутствия постоянного тока смещения, о чем имеется специальное указание в правом верхнем углу на рис. 37. Наличие такого тока в цепи приводит к уменьшению индуктивности фильтра из-за насыщения, которое зависит не только от силы тока, но и от материала феррита. При этом паразитная емкость остается на том же уровне. Все эти факторы вызывают смещение максимума импеданса в область высоких частот (рис. 38).

Кроме того, из рис. 38 видно, что добротность улучшается и все кривые сходятся в одну точку. Первое происходит из-за уменьшения демпфирующего сопротивления фильтра, а второе, по мнению исследователей,

обусловлено наличием собственного магнитного поля бусины (ферромагнитный эффект).

Температурные особенности бусин полностью определяются материалом чипа. Для начала заметим, что при производстве ферритовых фильтров используется стандартный температурный ряд с верхними границами диапазонов: 85, 105 и 125 °С. Однако если в случае конденсаторных фильтров эти числа определяются значениями диэлектрической проницаемости керамических материалов, то в случае ферритовых бусин добавляется еще такой весомый фактор как точка Кюри. Как известно, температура Кюри зависит от конкретного процентного соотношения компонентов феррита, но существует общее правило: чем больше начальное значение магнитной проницаемости, тем ниже температура Кюри (см. табл. 1). Так, например, у марганцево-цинковых ферритов больше магнитная проницаемость, чем у никель-цинковых. Сравнивая конкретные марки ферритов безотносительно к их частотным свойствам, констатируем следующее: точка Кюри марганцевого феррита N30 (производитель – компания TDK) превышает 130 °С, а у никель-цинкового материала K10 (тот же производитель) она выше 150 °С. Температура Кюри никель-цинковой шпинели 1С49 производства ОАО «Завод Магнетон» (г. Санкт-Петербург) равна 345 °С. И, хотя

температура 125 °С позволяет использовать высокочастотные ферриты обоих типов для производства индуктивных фильтров подавления ЭМП, существуют приложения, где требуется более широкий температурный диапазон. Одним из них является автомобильная электроника, генерирующая широкий радиоспектр практически до 10 ГГц, наполненный всеми видами помех. Именно для таких приложений компания Murata выпускает высокотемпературную чип-бусину BLM31KN121BH. Эти изделия предназначены для фильтрации шин питания, рассчитаны на ток до 4 А и работают в диапазоне температур –55...150 °С. Сопротивление постоянному току – 0,009 Ом. Номинальное значение импеданса 120 Ом у бусины заявлено при токе 4 А и температуре 125 °С. Заметим, что у остальных трех компонентов этой серии номинальный импеданс равен 1000 Ом, ток – до 2 А, диапазон рабочей температуры – до 125 °С. Вся серия выполнена в корпусах 1206 и рассчитана на подавление шума в полосе до 100 МГц.

Кроме собственно чип-бусин выпускаются фильтрующие компоненты более объем-

ных форм для поверхностного монтажа. Так, в производственной программе компании Jantek (Тайвань) содержится 26 серий индуктивных компонентов для монтажа на плату без отверстий. Некоторые из них представлены в табл. 3.

### Выводные фильтры для монтажа на панель (panel-mount)

Фильтры этого типа сохраняют эффективность клетки Фарадея при монтаже проводников через ее стенки и выпускаются на широкий диапазон токов и частот. Основные виды фильтров представлены в производственных линейках Exxelia и CTS Tusonix (рис. 39).

В спецификациях на фильтры производители обычно указывают, что проходной фильтр может устанавливаться и на стенку, и на плату, но во втором случае, как упоминается в техническом описании от компании Exxelia, эффективность работы фильтра значительно ниже (рис. 40).

Таблица 3. SMD-фильтры Jantek.

В скобках – размеры в мм: например, (3225) соответствует размеру 3,2×2,5 мм

	Моточная индуктивность 25 МГц (3235)
	Высокочастотная индуктивность 150–250 МГц (1005)
	Низкопрофильный дроссель питания 100 кГц (3030)
	Синфазный дроссель с магнитным экраном (3816)
	Моточный синфазный дроссель 6 ГГц (2612)
	Катушка с воздушным сердечником 150–800 МГц (3629)
	Моточный дроссель питания с магнитом (1008)
	Моточная катушка 1 МГц (3225)
Дроссели питания	
	
	
	
(4458)	(7373)
(3530)	(6191)
(94129)	



Рис. 39. Типы проходных фильтров для монтажа на панель

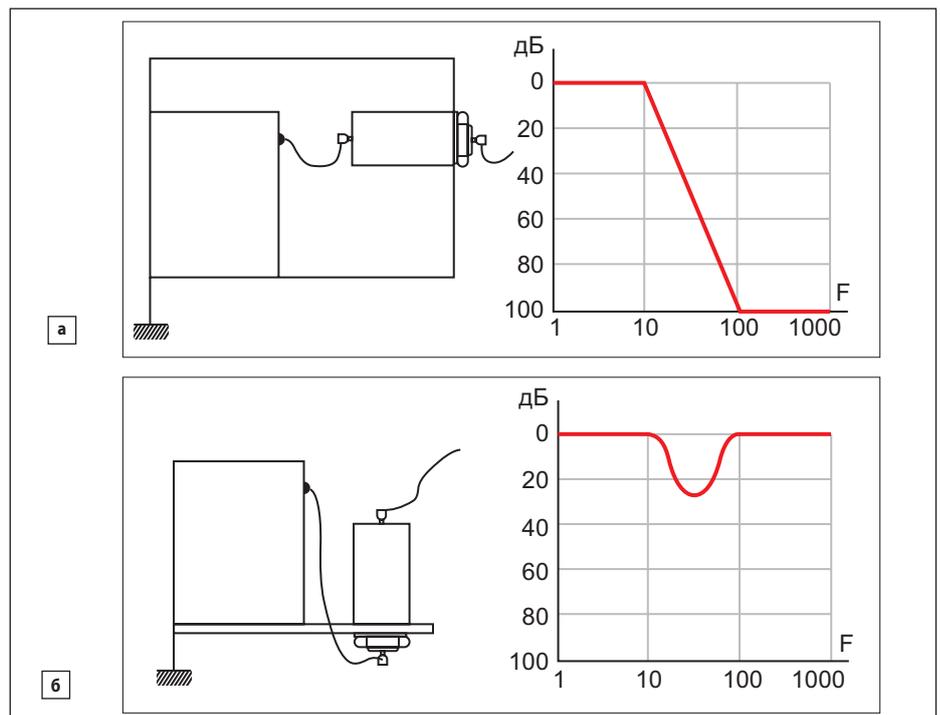


Рис. 40. Варианты установки фильтра на: а) корпус; б) плату

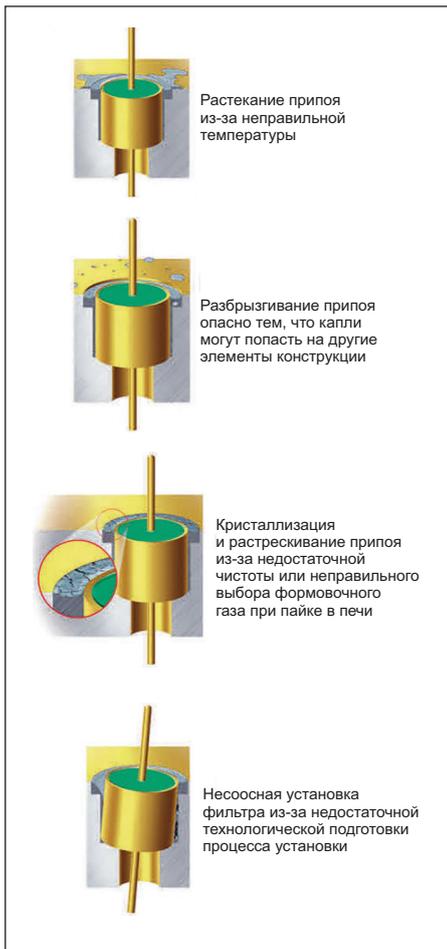


Рис. 41. Технологические проблемы при пайке на примере пин-коннекторов

Наиболее экономичным решением является применение фильтров под пайку. Технологическая подготовка под установку такого фильтра проще, чем нарезание резьбы для винтового устройства (если фильтр применяется без гайки). Кроме того, стоимость фильтра под пайку меньше, чем резьбового с гайкой и шайбой. Для монтажа фильтров запрессовкой необходимо калиброванное отверстие, и используется специальное оборудование, что тоже увеличивает стоимость конечного изделия. Тем не менее пайка фильтров требует определенной технологической культуры, поскольку требует корректного выполнения технологических операций, о которых предупреждают производители фильтров. В руководстве [14] от компании Thunderline-Z перечислены десять основных проблем, которые могут возникнуть при пайке компонентов на панель. Часть из них представлена на рис. 41.

Заметим, что на рис. 41 представлены не фильтры, а высокочастотные коаксиальные пин-коннекторы производства Thunderline-Z как наиболее сложный и ответственный пример пайки. Понятно, что при пайке фильтров некоторые из десяти описанных проблем не являются актуальными. Собственно ЭМИ-фильтры производ-

ства Thunderline-Z, как и пин-коннекторы, выполнены с использованием технологии герметизации Glass-to-Metal (GTM) и в силу этого работают в диапазоне до 300 °С. Эта серия фильтров емкостью 5–47000 пФ называется CupFeeds.

Герметизация обоих торцов фильтра стеклом – распространенный технологический прием, который значительно улучшает параметры фильтра по сравнению со случаем, когда один из торцов фильтра заливается стеклом, другой эпоксидным компаундом, или оба торца герметизируются резиной. Такие изделия не относятся к разряду бюджетных и применяются в авиакосмической и военной отраслях. Например, компания AVX производит по стандарту MIL-F-28861 четыре серии высокотемпературных проходных фильтров под запайку (рис. 42).

В этом фильтре используется дисковый конденсатор усиленной конструкции. В ней не применяются полимерные материалы для исключения газовыделения при высоких температурах. Корпус дополнительно усилен вкладышем из металлургического сплава. Минимальная степень герметизации корпуса составляет  $1 \cdot 10^{-7}$  атм·см<sup>3</sup>/с. Оба торца фильтра финализируются стеклом. Четыре серии фильтров WQ, XQ, YQ и ZQ отличаются диаметрами. Номинальная температура эксплуатации у всех серий: –55...200 °С. Температура монтажа: до 400 °С. Номинальное напряжение: до 300 В DC и до 200 В AC. Емкость: 10 пФ...

1,4 мкФ. Номинальный ток: до 25 А. Все серии фильтров производятся по схеме С.

Подобное же изделие имеется и в производственной линейке компании Spectrum Control. Это серия 51-875, в которую входят четыре компонента в цилиндрических корпусах диаметром 0,69 дюйма (рис. 44).

Отличие этого фильтра от предыдущего заключается в том, что в схеме имеется синфазный дроссель. Кроме того, оба торца фильтра герметизированы стеклом. Компоненты серии различаются токами от 1 до 10 А. Номинальное напряжение: до 200 В DC и до 130 В AC. Максимальное подавление на частоте 100 МГц: 70 дБ. Производитель провел сравнительные испытания двухлинейного фильтра с эквивалентным по

схема С.

схема С.

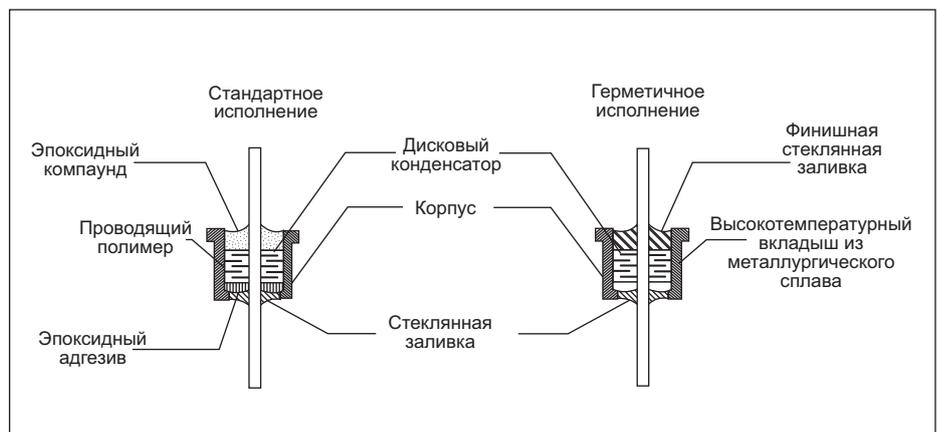


Рис. 42. Высокотемпературный герметичный проходной фильтр AVX [15]

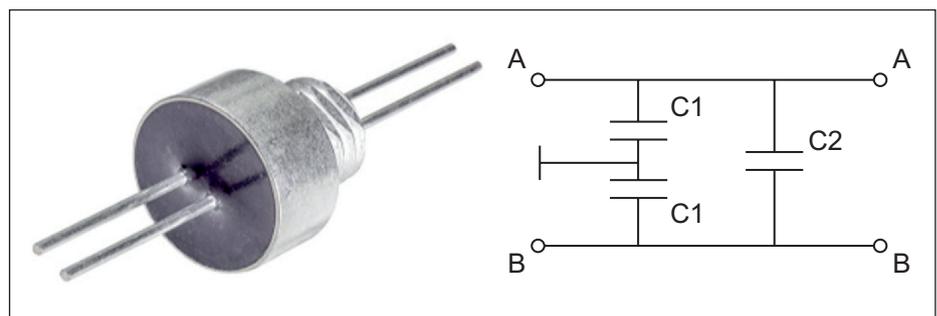


Рис. 43. 4-выводной панельный фильтр X2Y от Syfer [16]

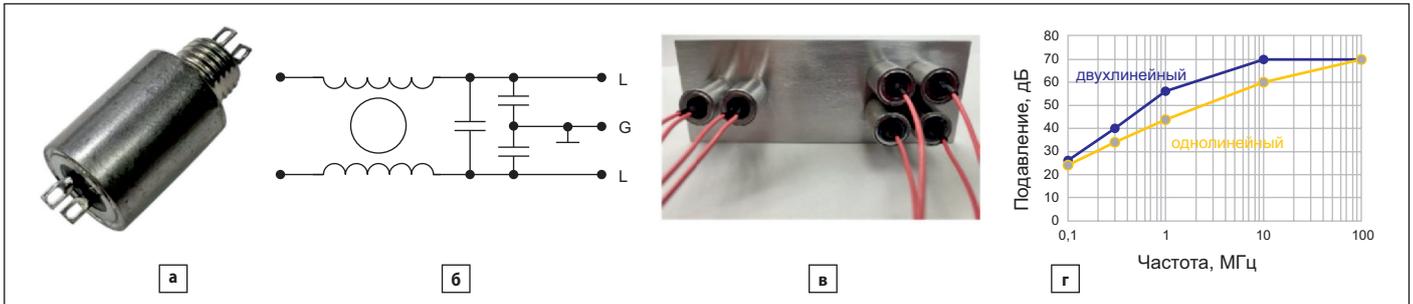


Рис. 44. а) внешний вид; б) схема; в-г) сравнение с однолинейными фильтрами

функциональности набором однолинейных (рис. 44в). Сравнение вносимых потерь представлено на рис. 44г.

**Литература**

8. Metalized Fabric Gaskets // <https://www.idgroup.ca>.
9. Power Surface Mount Filters. Spectrum Control. Data Sheet // <https://www.spectrumcontrol.com>.
10. Noise Countermeasure Using 3-Terminal Capacitors with through Connection. Murata // <https://article.murata.com>.
11. Михаил Крюков. Новый тип чип конденсатора X2Y широкого применения фирмы Phycomp. Компоненты и технологии. № 5. 2003.
12. X2Y to Replace a Common Mode Choke. Johanson Dielectrics // <https://www.johansondielectrics.com>.
13. Joanne Wu. ANP045. Behind The Magic of Frequency SMT Chip Bead Ferrites. Würth Electronik.
14. A Guide. Top Ten Soldering Pitfalls and How to Avoid Them. Thunderline-Z.
15. <https://www.avx.com>.
16. Filter Type SFJGB. Integrated Passive Component Datasheet // <https://www.knowlescapacitors.com>.

185x152 мм