

Материалы ЭМС — для каждого?

Игорь ЕВСЮКОВ
eiv@techno.ru

В настоящей статье рассматриваются некоторые материалы, доступные сегодня российским производителям оборудования для обеспечения электромагнитной совместимости выпускаемого оборудования.

Рассмотрим конкретные применения материалов электромагнитной совместимости. Так, например, медные ленты с токопроводящим липким слоем могут использоваться для подачи питания на оконные пленки, меняющие свою прозрачность в зависимости от потенциала на краю стекла. Из ткани можно шить одежду, необходимую для «чистых комнат». Установка листового ферритового поглотителя позволяет разъединить 2 системы доступа в помещении, исключая ложное срабатывание кардридера, установленного с обратной стороны двери. Установка ферритовых клипс позволяет снизить шум от импульсных блоков питания на 15 дБ, а при их установке на сигнальные кабели — повысить скорость передачи информации почти вдвое из-за уменьшения влияния высокочастотных наводок. Множество применений материалов еще просто не изучено. Как правило, в условиях реального производства борьба с ЭМП начинается уже после того, как изделие запущено в серию, а модернизация невозможна. Поэтому конструкторы и технологи разработанных изде-

лий ищут панацею, чтобы при минимуме затрат и усилий добиться от уже выпущенной техники ее соответствия заявленным требованиям в спецификациях.

К огромному сожалению, невозможно добиться от техники, за микросекунды переключающей килоамперные токи, снижения шумов на 40–60 дБ только с помощью материалов ЭМС. Для этого необходимы дополнительные доработки, связанные с модернизацией печатных плат, внимательным и детальным изучением состава изделий. К примеру, невозможно добиться нормальных параметров по помехозащищенности и нормам излучений радиопомех от плат, на которых рядом с микроконтроллером ALTERA с мощным токовым выходом стоят советские конденсаторно-резисторные сборки серии Б34. Во многих случаях разработчики вынуждены заменять вышедшую из строя микросхему серии К133 на ее аналог серии 74LS, что возвращает устройству функциональность, но не учитывает разницу в деталях. Советская К133 сделана в металлическом корпусе, являющемся для нее

экраном, а 74LS — в пластике, который не может экранировать выходные ключи и входные цепи микросхемы. А при наличии находящихся рядом мощных IGBT-транзисторов входные цепи микросхем начинают жить своей жизнью, что приводит к сбоям системы в целом.

Иногда возникает предложение у разработчиков: если устройство мешает другим, значит надо заэкранировать все устройство. Это крайне неверное суждение. Проблема состоит в том, что экран — это зеркало для падающей на него волны. Как человек смотрит в зеркало и видит там себя, так и радиочастотная волна, попадая на металл, отражается от него по правилам, известным из законов оптики. Куда попадет отраженная волна? Конечно, в 95% случаев — на источник помехи, а в 5% — на слаботочные, сигнальные, информационные и другие цепи в составе устройства. В результате экранированное устройство теряет устойчивость, и начинается самовозбуждение. В этих случаях единственное лекарство — убрать зеркальный эффект от плоскости экрана. Это можно сделать, установив на экране тонколистовой ферритовый поглотитель, который внесет необходимое подавление как падающей волны, так и отраженной. Пусть его коэффициент поглощения и невелик — от 2 до 8 дБ в зависимости от частоты, направленности волны и прочих пространственных факторов, зато подавляется и прямая, и отраженная волна. Как правило, устройство, имеющее возбуждение на частотах от сотен мегагерц до единиц гигагерц, требует материала толщиной не более 0,38 мм, после установки которого самовозбуждение полностью прекращается. Кроме того, этот материал подавляет наведенную на экран извне радиочастотную помеху, что тоже улучшает частотные свойства изделия с точки зрения помехоустойчивости. Цена таких доработок не превышает 1–2% стоимости изделий, а среднестатистический эффект от применения (по оценкам наших покупателей) — не хуже 20 дБ, даже при не вполне корректной установке материалов.

Приведем краткий обзор материалов ЭМС, поставляемых ОАО «Техно».

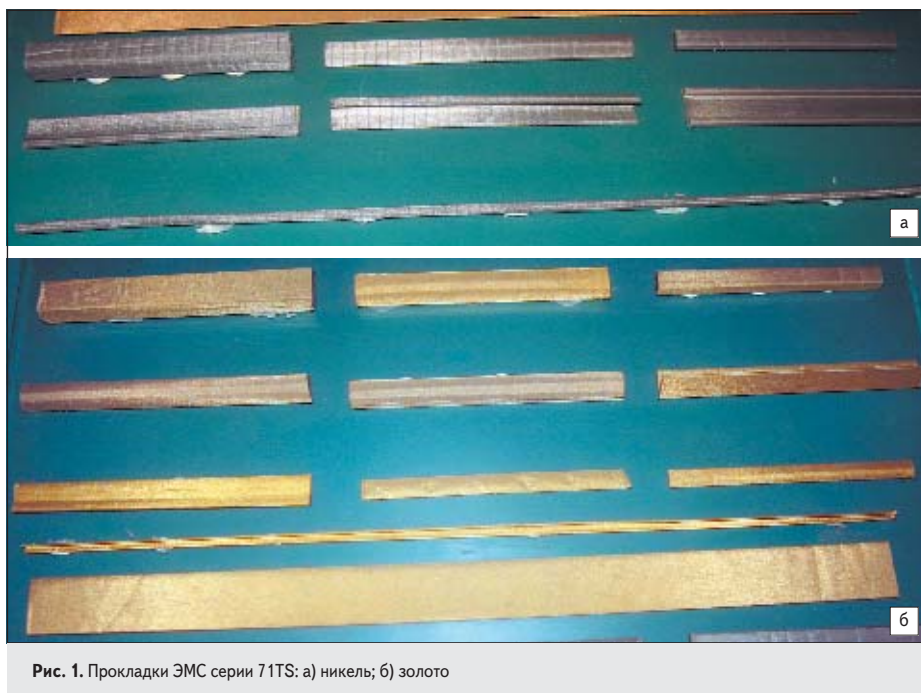


Рис. 1. Прокладки ЭМС серии 71TS: а) никель; б) золото

Ставшие уже классикой и первым средством для устранения щелевого излучения радиочастот — прокладки ЭМС серии 71TS (рис. 1).

Прокладки состоят из полимерной металлизированной ткани, наклеенной на вспененный полимер. Большинство из них имеет токопроводящий липкий слой, упрощающий установку.

Они сконструированы для обеспечения электромагнитной совместимости в коммерческой, военной и прочих областях производства, где необходимо создать хороший экранирующий эффект и учесть конструктивные особенности аппаратуры.

Использование при производстве различных патентов обеспечивает прокладкам свойства, по многим параметрам превосходящие мировые стандарты для этих изделий. Прокладки серии 71TS_K- имеют международный сертификат по пламяподавлению.

Отдельно производится прокладка серии 71TS_G- с нанесенным золотым слоем толщиной 24 мкм (технология 24 Kdex), имеющие уменьшенное поверхностное сопротивление и препятствующие возникновению аллергии у человека.

Для обеспечения мягкого и электрически устойчивого контакта между большими плоскостями, например, контакт стекла для экранирования индикаторов и корпуса изделия, применяются упругие прокладки ЭМС серии EXCC толщиной от 0,5 до 1,5 мм (рис. 2). Из них можно вырубить или вырезать любую сложную конфигурацию прокладок и затем наклеить на несущую часть с помощью токопроводящего липкого слоя.

Для экранировки и бандажа внутренних сигнальных и питающих жгутов применяются термоусадочные экранирующие трубки серии SST. Термоусадочная экранирующая трубка состоит из двух слоев. Наружным слоем является изолирующий термоусадочный материал. Внутренний слой состоит из токопроводящей ткани M2-Rip CNK. За счет применения токопроводящей ткани обеспечивается экранирование кабеля не хуже 60 дБ в диапазоне частот не уже 500 кГц – 10 ГГц. В термоусадочную экранирующую трубку протягивается экранируемый кабель, затем с помощью термофена производится осаждение трубки по диаметру кабеля. Внутренний слой ткани выполнен с разрезом, кото-

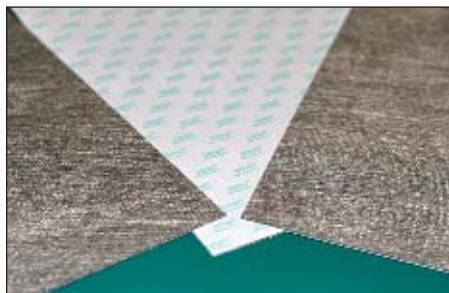


Рис. 2. Упругие прокладки ЭМС серии EXCC

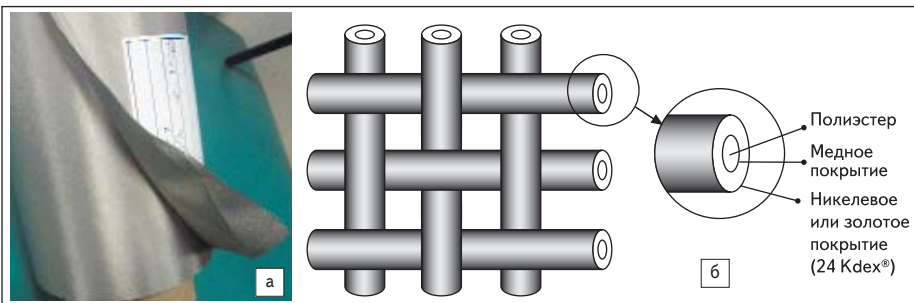


Рис. 3. а) Внешний вид ткани с нанесенным по технологии 24 Kdex слоем золота; б) структура ткани

рый обеспечивает плотное обхватывание кабеля при термоосаждении. Номинальный коэффициент усадки по диаметру кабеля равен 2. Для соединения трубок по длине до усадки подрезается часть наружной трубки, затем ткань с наращиваемой трубкой подкладывается под существующую до совмещения краев изолирующих частей стыкуемых трубок. С обеих сторон изготовленного жгута возможна приклейка или припайка к токопроводящей ткани.

Если стоит задача сделать экран большой площади, малой толщины и веса, можно воспользоваться токопроводящими тканями серии М. Токопроводящая ткань состоит из полиэстеровых нитей, на которые гальваническим способом осаждены медь с никелем в качестве базового токопроводящего слоя. Лицевой слой ткани обеспечивает минимальное поверхностное сопротивление, что позволяет обеспечивать требования ЭМС в тех местах и полостях, где невозможно применить готовые формы, например, прокладки ЭМС. Низкое поверхностное сопротивление материала обеспечивает прекрасное экранирование при обеспечении замкнутого контура.

Ткань идеально подходит для создания экранированных комнат путем наклейки ее на стены, потолок и пол. Возможно использование ткани в медицинских учреждениях, например, в качестве контактных площадок, накладываемых на участки тела при проведении ЭКГ. Изготавливается несколько видов ткани с разной фактурой поверхности и несколькими видами покрытий как рабочей (лицевой) стороны, так и оборотной. Ткань с нанесенным по технологии 24 Kdex слоем золота препятствует возникновению аллергии у человека и имеет пониженное поверхностное сопротивление по сравнению с медно-никелевой. Такая ткань обладает большей экранирующей способностью (рис. 3).

Нанесение на оборотную сторону ткани пламяподавляющего полимера обеспечивает соответствие требованиям по противопожарной безопасности.

Увеличение промежутка между волокнами ткани приводит к тому, что ее можно применять в качестве экранирующей сетки для экранирования мониторов и прочих визуальных устройств. В этом случае необходимо помнить, что ткань не будет давать искажений

изображения, если она аккуратно растянута на пальцах и затем жестко укреплена на несущей поверхности фильтра. Для уменьшения блика производятся ткани с чернением.

Бывают случаи, когда материал должен соответствовать требованиям определенного климатического исполнения, например обеспечивать водонепроницаемость. В этих случаях применяется токопроводящий силикон серии EXC и клеевой состав из силикона серии EX-A300 (рис. 4). Токопроводящий силикон состоит из полимерных электрически и химически инертных шариков с нанесенным на них слоем токопроводящего материала. Поставляется в виде спеченных профилей и форм для обеспечения требований ЭМС и климатической защиты.

При спекании получаемая форма обладает достоинствами проводника электрического тока за счет применения меди и серебра в качестве покрытия полимерных шариков, а также свойствами герметика за счет использования силиконового наполнителя.

Профили выпекаемого силикона позволяют удовлетворить потребности практически любого конструктора радиоэлектронной аппаратуры, для которого требования по ЭМС изделия являются одними из главных. Токопроводящий силикон применяется везде, где есть требования по ЭМС и климатическому исполнению. Силикон обеспечивает климатическое исполнение до IP67 включительно при соблюдении требуемого усилия прижатия. Необходимо учитывать, что это усилие обеспечивается при сжатии на 5–15% от исходного размера для цельных форм и на 10–25% — для пустотелых.

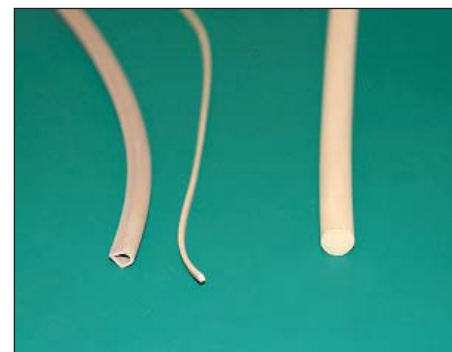


Рис. 4. Токопроводящий силикон серии EXC



Рис. 5. Токопроводящий силикон в шприцах серии EX-A302L

Для приклеивания готовых профилей или создания профилей m -вида применяется вязкий клеевой состав серии EX-A300 (рис. 5). По своему химическому составу он полностью аналогичен готовым профилям и полностью совместим с ними по электрохимическим и механическим параметрам. При установке прокладки достаточно обезжирить несущую поверхность и нанести тонкий слой клея. Нанесение клея лучше всего производить через дозатор. Затем устанавливается силиконовый профиль, который приводится в рабочее состояние путем прижима. Можно склеивать две поверхности для постоянного электромеханического контакта, для чего склеиваемую поверхность прижимают сразу после нанесения клея.

Также к классическим материалам обеспечения ЭМС аппаратуры можно отнести токопроводящие ленты серии DK (рис. 6). Эти ленты состоят из проводящего слоя разнообразной металлической и неметаллической природы и проводящего липкого слоя. Они предназначены для обеспечения требования ЭМС аппаратуры и заземления корпусов, плат и ячеек. Новые виды лент (например DK-K1022) в соответствии с требованиями сертификации по UL approval (E210796) содержат пламяподавительный слой.



Рис. 6. Токопроводящие ленты серии DK



Рис. 7. Металлические контактные дорожки серии EXF

Ленты очень гибкие, разнообразной толщины и ширины (на заказ). Ленты серий DK-101 и DK-1011 имеют антикоррозионное покрытие медной фольги. Наиболее гибкими являются ленты с двусторонним липким слоем, например DK-1042. Ленты выпускаются в рулонах по 25 или 50 м шириной от 0,5 до 350 мм.

Излюбленным материалом, чаще всего применяемым в военном ведомстве, являются металлические контактные дорожки серии EXF (рис. 7). Их начали производить еще в эпоху радиоламповой аппаратуры. Но даже сегодня в некоторых применениях бериллиевая бронза является единственным материалом, удовлетворяющим требованиям разработчика и заказчика аппаратуры. Металлические контактные дорожки серии EXF изготовлены из тонкой, упругой, специальным образом формованной металлической ленты (бериллиевая или фосфористая бронза или нержавеющая сталь). В зависимости от применений на контакты может быть гальванически нанесен никель, олово или золото. Дорожки изготавливаются с липким основанием, клипсовыми зажимами или отверстиями под винт. Они имеют большой коэффициент подавления (не менее 90 дБ на частотах от 1 до 1000 МГц).

На базе токопроводящей ткани с разрежением нитей и стекол поставляются защит-

ные экраны ЭМС серии EX-W. Защитный экран ЭМС предназначен для подавления излучения от видеоприборов (прежде всего жидкокристаллических мониторов), обеспечивая максимальную степень прозрачности для видимого диапазона света и максимальную защиту в радиочастотной области спектра, начиная от низших частот и заканчивая СВЧ-диапазоном. Экраны ЭМС устанавливаются в непосредственной близости от излучающей матрицы и должны отвечать требованиям:

- максимальная пропускная способность в видимом диапазоне света;
- минимальная световозвращающая способность от внешнего источника света (или эффект зеркала);
- минимальная переотражающая способность от матрицы излучателя (двоение изображения);
- минимальное геометрическое и цветовое искажение изображения экрана.

Для максимального обеспечения указанных свойств применяются экраны с жестко укрепленными сетками из медно-никелевой проволоки, предварительно растянутой на пальцах. Сетку жестко прикрепляют к стеклу через полимерный токопроводящий прозрачный слой, предварительно повернув ее относительно длинной стороны на 32° для матриц с дельто-

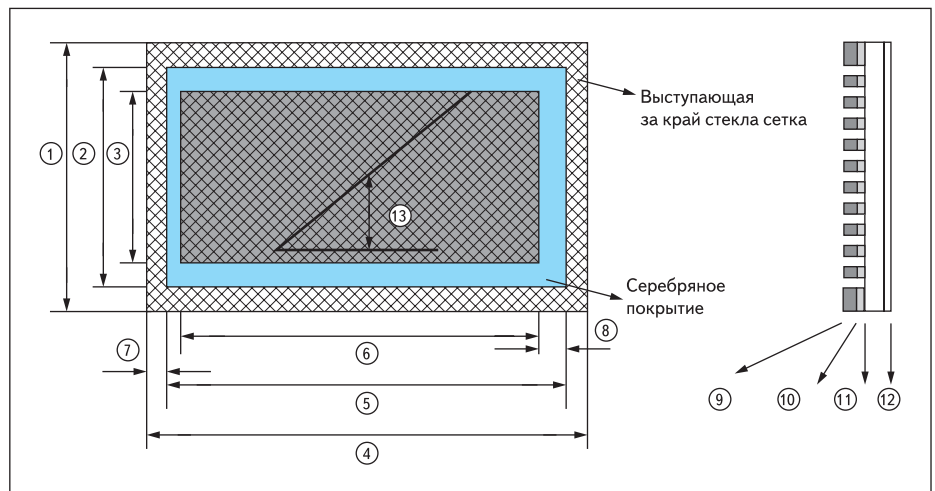


Рис. 8. Конструкция стекла с сеткой

видным расположением прожекторов или на 36° для матриц с последовательным расположением прожекторов. Такие углы наклона обеспечивают минимальное геометрическое искажение цвета типа «радуга» на изображении. Если экранируются 7-сегментные индикаторы, то лучше всего применять сетки с ортогональным расположением проволок относительно длинной стороны.

Для подавления бликов применяется антибликовое (AR) покрытие, состоящее из угля, который напылен на медно-никелевую сетку, жестко растянутую на пальцах (чтобы не нарушить контакт в местах перекрещивания проволок). Для обеспечения антиперееотражающих свойств применяется AG-фильтр в виде полимерной пленки, нанесенной на готовое стекло со стороны активной матрицы (рис. 8).

Как обеспечить надежный экран между дверцей шкафной стойки и несущей рамой? Дверь сделана из тонколистовой стали и имеет размер порядка $1 \times 2,5$ м, изгибная жесткость очень маленькая, зато плоскость для возникновения наведенных ВЧ-токов — огромная. Для решения этой проблемы предлагается мягкая прокладка серии 43SOFT. Она состоит из полиуретанового основания, которое оплетено скрученной проволочной сеткой вязаного типа с нанесенным липким проводящим слоем. Прокладка применяется в тех местах, где необходимо малое усилие прижатия, малое сопротивление по линии контакта или большие зазоры в месте стыковки двух половинок корпуса. Она обладает хорошими коррозионными свойствами, большим подавлением (от 62 дБ при 1 МГц до 51 дБ при 500 МГц) внешних радиоволн, малым переходным сопротивлением (не более 0,03 Ом), имеет температурный диапазон от -40 до $+80$ °С, очень мягкая и не меняет цвет в процессе эксплуатации.

В нашей стране очень любят красить. Заборы, вывески, стены, поезда, самолеты, радиостанции, платы — все. Иногда не задумываясь, что краска между двумя частями металлического фрезерованного экранирующего корпуса — диэлектрик, приводящий к появлению щелевого излучения ВЧ-радиоволн. Красить, конечно, надо. Надо только выбрать правильную краску исходя из задач, которые решают те или иные устройства.

Во всем мире давно отказались от фрезерования алюминия — слишком дорого и долго. Проще сделать пластмассовую штамповку, а чтобы она обладала качествами, превосходящими фрезерованный корпус, — покрасить краской на основе металла, например серебра. ОАО «Техно» выпускает токопроводящую краску серии EXCP, предназначенную для покрытия проводящим слоем малой толщины больших площадей поверхности, не проводящей электрический ток и не обеспечивающей требуемые параметры электромагнитной совместимости. Однокомпонентный проводящий лак на водной основе со-

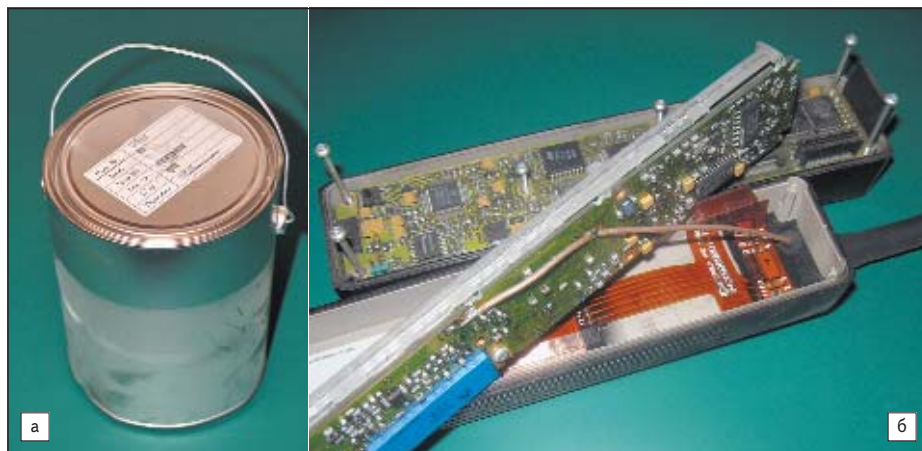


Рис. 9. а) Банка с токопроводящей краской; б) пример окрашенного корпуса

держит высокопроводное серебро или серебряно-медный порошок. Лак обеспечивает низкочастотную защиту от радиопомех на изолирующих поверхностях, например поликарбонат. Он обладает большим коэффициентом сцепления с несущей поверхностью, допускает распыление и нанесение кистью. Растворяется этиловым спиртом (рис. 9).

Для экранирования кабелей различного назначения без разборки готовых жгутов применяется экран для плоских и круглых жгутов с замком Zipper Tubing и внешняя проволочная оплетка серий СЕХР (из металлизированных нитей) и серии GEXP (из лавсановых нитей).

Экраны серий OTG, OTF, GPJ, SHNF, SHX2 и SHX4 имеют диаметр от 10 до 100 мм. Особенность этих экранов в том, что они могут устанавливаться уже после монтажа кабелей за счет крепления с помощью защелки (как на «молнии»). Защелки могут быть типа Z-TRAC, R-TRAC, S-TRAC и M-TRAC. Все они легко устанавливаются и при необходимости допускают снятие и повторную установку экрана. Рекомендуются к применению во многих областях, например, при модернизации компьютеров и устройств автоматики, в офисном оборудовании, системах коммуникации, в системах автоматики на предприятиях и в лабораториях, в образцовых средствах измерений, химической промышленности, морских приборах навигации, медицинском оборудовании и даже в сельском хозяйстве. Среди материалов экранов есть такие, кото-

рые выдерживают воздействие ацетона, неорганических и органических кислот, карбонатов и гидрокарбонатов, масел различного состава, хлора, кетона и его производных, красок, лаков, спиртов и т. д.

Внешняя проволочная полимерная оплетка кабеля серии СЕХР применяется для уменьшения эффекта наводки на кабель, как на антенну, по которому идут сигналы разных частот и интенсивностей, а также для обеспечения механической прочности кабеля. Оплетка состоит из переплетенной проволоки из полимера, на котором гальванически осажден сплав меди с никелем. За счет лужения оловом и особого плетения достигается хороший коэффициент подавления (не менее 40 дБ в диапазоне от 30 МГц до 1 ГГц), особенно если длинный кабель работает в расширенном температурном диапазоне (от -70 до $+125$ °С) (рис. 10).

Внешняя проволочная полимерная оплетка кабеля серии GEXP предназначена для формирования жгутов, не требующих экранировки.

Оплетка очень легко надевается на кабель путем натягивания «как чулок». Это обеспечивается специальным плетением проволок. Необходимая длина оплетки пересчитывается в зависимости от увеличения внутреннего диаметра оплетки в линейной пропорции. После растягивания оплетки по длине кабеля обеспечивается дополнительное упрочнение кабеля на разрыв. Края оплетки пропускаются под внутреннюю гайку разъема и прижима-

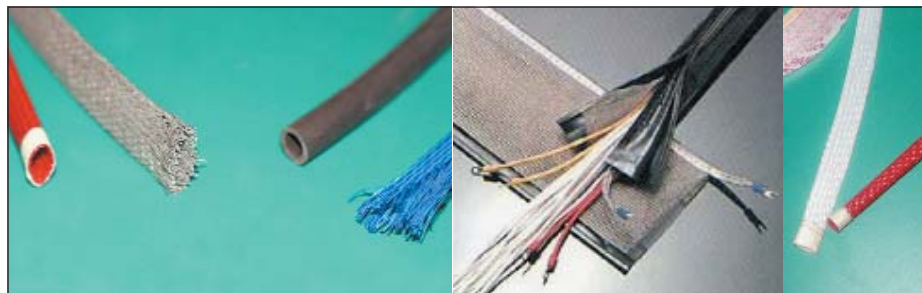


Рис. 10. Пример проволочной и полимерной оплеток для кабеля

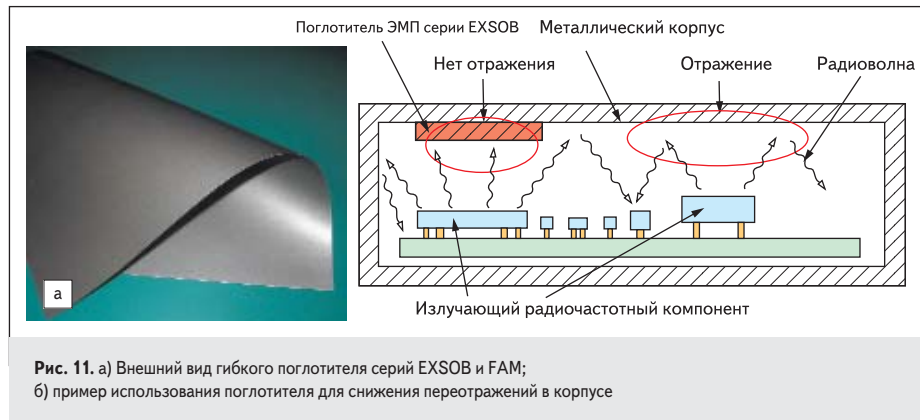


Рис. 11. а) Внешний вид гибкого поглотителя серий EXSOB и FAM; б) пример использования поглотителя для снижения переотражений в корпусе

ются к металлическому корпусу разъема изнутри. При монтаже в пластмассовый разъем оплетку можно припаять через «косичку» к металлической проставке разъема. Затем оплетка механически прижимается вместе с кабелем.

На этом заканчивается экранирование. Что же делать, если экранирование недостаточно для реализации требуемых свойств аппаратуры? В этом случае следует применять пассивные поглотители радиоволн.

Для корпусов, экранов на платах и межблочных экранов с большой площадью идеально подходят листовые поглотители радиоволн серий EXSOB и FAM (рис. 11).

Материалы серии EXSOB и изделия из них применяются для поглощения радиочастотных помех, производимых корпусами микросхем и проводниками сигналов внутри аппаратуры в широком диапазоне частот. Они обеспечивают защиту от помех в диапазонах частот от 300 МГц до 18 ГГц и преобразуют помехи в тепловое излучение (ИК-диапазон), которое затем отводится на корпус изделия. Основное отличие поглотителя от других защитных материалов в том, что радиоволны, попадающие на материал, не отражаются и не пропускаются, а преобразуются в тепло. Остаточная плотность радиоволны не превышает 30% начальной. Наиболее применимы изделия в виде прямоугольных или круглых пластинок с липким слоем или в виде трубок требуемого диаметра. Размер поглотителя определяется исходя из следующих параметров: требуемый частотный диапазон поглощения; размер корпуса изделия, допустимый уровень непоглощенного сигнала, способ крепления поглотителя к теплоотводу. Затем подбирается требуемая толщина поглотителя, длина и ширина, а также место его установки.



Рис. 12. Изделия серии CF Round Cable Suppression Cores

Гибкий листовый поглотитель радиоволн серии FAM состоит из ферритового порошка с большой коэрцитивной силой и максимальной петлей гистерезиса в диапазоне от 10 МГц до 60 ГГц, а также полимерного наполнителя, обеспечивающего гибкость и возможность механической обработки листов. Содержание феррита в листе достигает 70%. Он легко режется ножом для придания листу требуемого профиля в конструкции изделия. Удельное поверхностное сопротивление поглотителя достигает 10^6 – 10^8 Ом/см, что позволяет устанавливать его непосредственно на токоведущие части аппаратуры.

Гибкий листовый поглотитель радиоволн позволяет восстановить дальность устойчивого считывания карт доступа, даже если они находятся на металлической поверхности. Это актуально, когда карта установлена на борту автомобиля, а считыватель находится в зоне проезда транспортных средств. Установка гибкого листового поглотителя радиоволн позволяет восстановить дальность считывания до 90% от начальной.

На хорошем интерфейсном шнуре для подключения через порты USB или IEEE1394 всегда есть ферритовая клипса, которая позволяет с большей скоростью и снизить уровень наводок на кабель. Ферритовые изделия серии CF Round Cable Suppression Cores предназначены для установки на круглый кабель. Они состоят из двух половинок, соединяющихся с помощью защелки при установке (рис. 12).

В случае, если необходимо поставить такую же клипсу на плоский ленточный кабель, применяют ферритовые изделия для плоского кабеля, например, ферритовые изделия серии RP Flat Cable Suppression Cores овальной и прямоугольной формы, разъемные и неразъемные.

Эти изделия устанавливаются на стандартный плоский и сверхплоский кабель с количеством проводников от 9 до 60. Никель-цинковый феррит, применяющийся в изделиях, осуществляет поглощение радиочастотных излучений кабеля по всей его длине, обеспечивая необходимые условия электромагнитной совместимости внутри корпуса аппаратуры и на длинных линиях связи.

Готовые неразъемные ферриты серий RH и T выполнены в виде колец, надеваемых на кабель по длине, и предназначены для внесения активного сопротивления, зависящего от частоты (рис. 13). Это обуславливает затухание высокочастотной радиопомехи, наводимой на кабель. Кроме того, снижается излучение самого кабеля в рабочем диапазоне частот феррита.



Рис. 13. Готовые неразъемные ферриты серий RH и T

Серия T представляет собой замкнутые тороиды. Их можно использовать не только как фильтры ЭМС, но и как кольца для намотки тороидальных трансформаторов.

Если в аппаратуре есть блочные технологические разъемы, они обязаны иметь L-фильтры, установленные между платой и разъемом. Ферритовые фильтры для разъемов D-sub предназначены для снижения помехоэмиссии от выводов разъемов при неподключенном выходном кабеле (рис. 14).

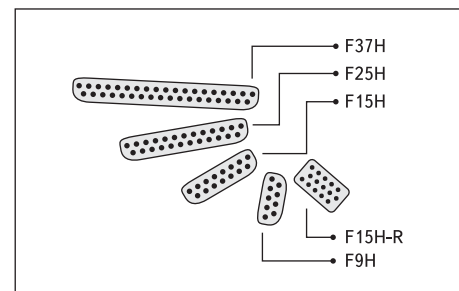


Рис. 14. Ферритовые фильтры для разъемов D-sub

Хочется пожелать разработчикам, конструкторам и технологам производств нашей страны внимательнее учитывать взаимное влияние аппаратуры и научиться применять материалы для обеспечения ЭМС до того, как в этом преуспеют зарубежные конкуренты. Отечественная техника должна соответствовать самым высоким международным стандартам!