

Экранирование радиоэлектронной аппаратуры как метод обеспечения электромагнитной совместимости

Александр Ивко (Москва)

Установка экранов на помехоизлучающие элементы обеспечивает разделение сигналов, необходимое для функционирования радиоэлектронной аппаратуры, повышает избирательность приёмников, помехозащищённость чувствительной аппаратуры, чистоту сигнала генераторов, точность работы приборов. Правильный выбор метода экранирования, материала экрана и его конструкции очень важны именно на начальном этапе проектирования, поскольку он будет определять возможность успешного прохождения испытаний на ЭМС и качественного функционирования разрабатываемой аппаратуры.

Финансовые и временные затраты на обеспечение экранирования РЭА возрастают экспоненциально с ростом размеров изделия и приближением этапа сдачи изделия. При этом цена просчёта, совершённого на начальном этапе проектирования, на этапе сдачи изделия может сравниться с его стоимостью. Пример из практики: изделие, представляющее собой набор оборудования, установленного в морской контейнер. К изделию в целом предъявляются жёсткие военные требования по излучаемым помехам в широком частотном диапазоне. Однако данные требования не были учтены на этапе проектирования контейнера. В результате в конструкции не был обеспечен надёжный контакт по периметру дверей, не были установлены фильтры ввода питания, оценочный коэффициент экранирования вентиляционной решётки оказался недостаточен для обеспечения заданного в ГОСТ коэффициента экранирования. По предварительной оценке переделка контейнера с учётом сроков сдачи изделия в эксплуатацию превышает стоимость самого контейнера.

Именно поэтому необходимо тщательно планировать помеховую обстановку изделия, применяя экраны, фильтры и поглощающие материалы.

Рассмотрим взаимодействие электромагнитной волны с экраном и определение коэффициента экранирования. В общем случае коэффициент экранирования K_s – это отношение интенсивности электромагнитного поля, измеренного до установки непрерывного бесконечного экрана и после его установки. На рисунке 1 приведены формулы для его расчёта при измерении напряжённости поля в различных величинах.

От каждой границы раздела сред происходит отражение электромагнитной волны, а в толще материала происходит поглощение. На высоких частотах коэффициент экранирования определяется в основном коэффициентом отражения E_3 , который для электромагнитного поля близок к 100% и растёт с повышением частоты и степени проводимости материала. Коэффициент отражения связан с генерацией в тонком приповерхностном слое токов той же частоты, что и воздействующее поле и, следовательно, генерацией поля противоположной направленности. Поглощение E_3 связано со скин-эффектом – протеканием токов высокой частоты в тонком приповерхностном слое проводника. Толщина скин-слоя убывает с ростом частоты и проводимости и увеличивается с ростом магнитной проницаемости. Например, для 50 Гц – 1 см, 5 кГц – 0,1 см, 0,5 МГц – 10 мкм, 2,4 ГГц – 1,67 мкм. Таким образом, для эффективного экранирования высо-

кочастотных полей достаточно иметь тонкий экран из материала с высокой проводимостью и низкой магнитной проницаемостью.

Напротив, для экранирования постоянных магнитных полей и низкочастотных электромагнитных полей, где преобладает магнитная составляющая, необходимы материалы с высокой магнитной проницаемостью. Чем выше магнитная проницаемость материала, тем выше коэффициент экранирования.

Итоговый коэффициент экранирования представляет собой сумму потерь на отражение и поглощение. На рисунке 2 приведены расчётные значения потерь на отражение и поглощение для стали (проводимость $7,69 \times 10^6$ См/м, относительная магнитная проницаемость 50) и меди (проводимость 58×10^6 См/м, проницаемость 0,9999). Для меди с ростом частоты потери на отражение уменьшаются, а потери на поглощение увеличиваются из-за её высокой проводимости. Для стали потери на отражение также уменьшаются, потери на поглощение растут (сначала даже быстрее, чем у меди), так как на низких частотах всё ещё велика магнитная составляющая. Однако с дальнейшим повышением частоты эта же проницаемость, а также низкая проводимость стали, приводит к уменьшению потерь на поглощение, и на сверхвысоких частотах сталь малоэффективна. Следовательно, для экранирования на высоких частотах предпочтительно использовать материалы с высокой проводимостью. На низких частотах – материалы с высокой проницаемостью.

Примеры металлов и сплавов сведены в таблицу. Для экранирования магнитного поля предпочтительным материалом является пермаллой с начальной проницаемостью 10×10^3 – 100×10^3 , далее, по убывающей: альсифер – 35000, железо чистое – 10000, трансформаторная сталь – 250–1000, сталь конструкционная – 50 и другие магнитомягкие материалы. Для экранирования высокочастотных электромагнитных полей необходимо

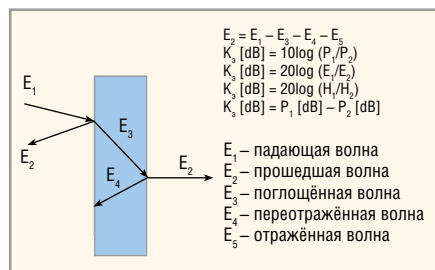


Рис. 1. Формулы для расчёта электромагнитного поля

ИСПЫТАНИЯ на ЭМС



ЗАО «ТЕСТПРИБОР»

125362, г. Москва,

ул. Свободы, д. 31, стр. 1

тел./факс: (495) 657-87-37

testpribor@test-expert.ru

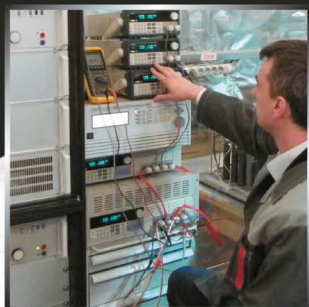
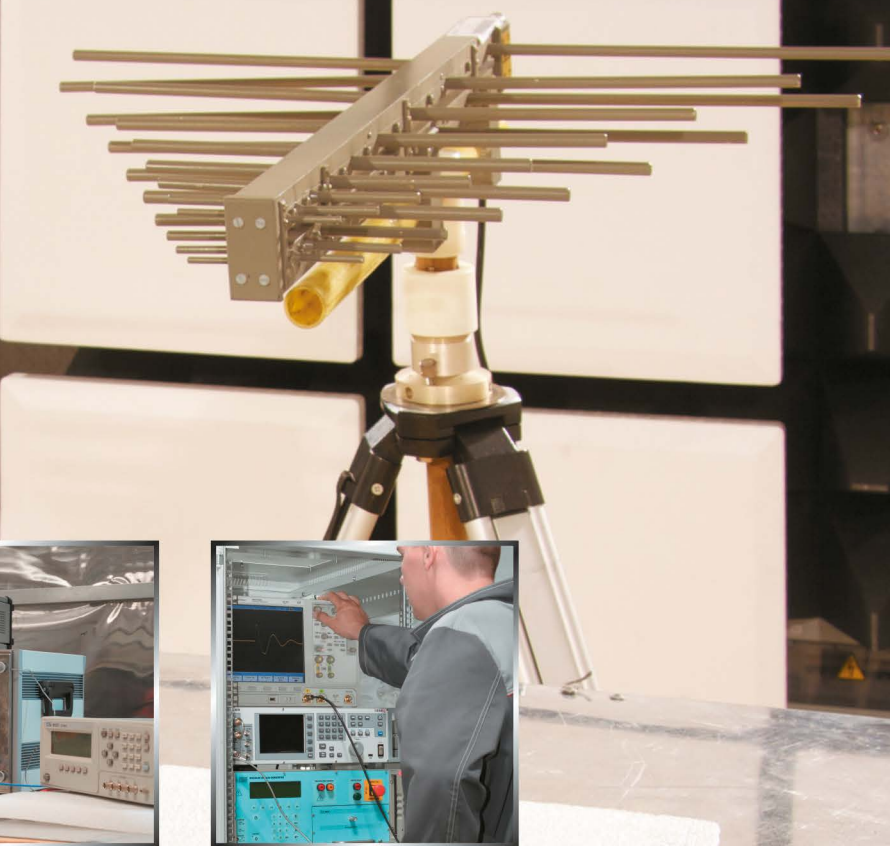
www.test-expert.ru

ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ:

- На устойчивость к изменениям в системе электропитания.
- Измерение уровня электромагнитных помех (помехоэмиссии).
- На устойчивость к кондуктивным помехам и электромагнитным полям.
- На устойчивость к воздействию электростатических разрядов.
- Проведение выездных испытаний.

АККРЕДИТАЦИЯ:

- В системе добровольной сертификации «ВОЕННЫЙ РЕГИСТР» на соответствие ГОСТ ИСО/МЭК 17025, ВР ОА 02.02 на право проведения испытаний РЭА и ТС на ЭМС.
- В системе сертификации АТ и ОГА на соответствие ПАЛ-94 Межгосударственного Авиационного Комитета (АР МАК).



ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОХОЖДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ВЫДАЕТСЯ ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ, КОТОРЫЙ ЯВЛЯЕТСЯ ОСНОВАНИЕМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЕРТИФИКАТА СООТВЕТСТВИЯ.

ПО ТРЕБОВАНИЮ ЗАКАЗЧИКА ИСПЫТАНИЯ ПРОВОДЯТСЯ ПОД КОНТРОЛЕМ ВОЕННОГО ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА МО РФ.

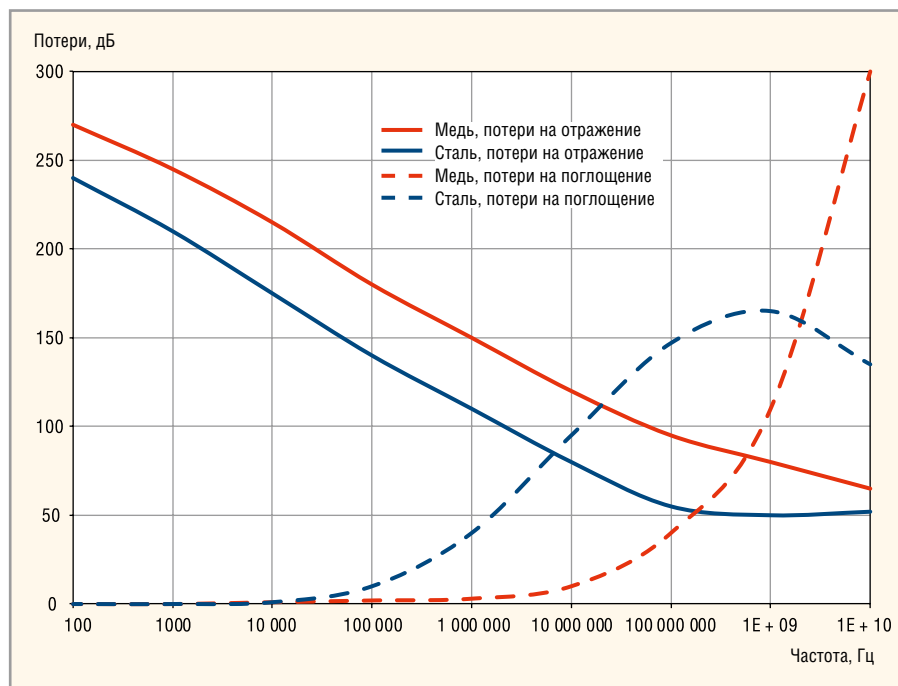


Рис. 2. Расчётные значения потерь на отражение и поглощение для стали и меди



Рис. 3. Безэховая камера

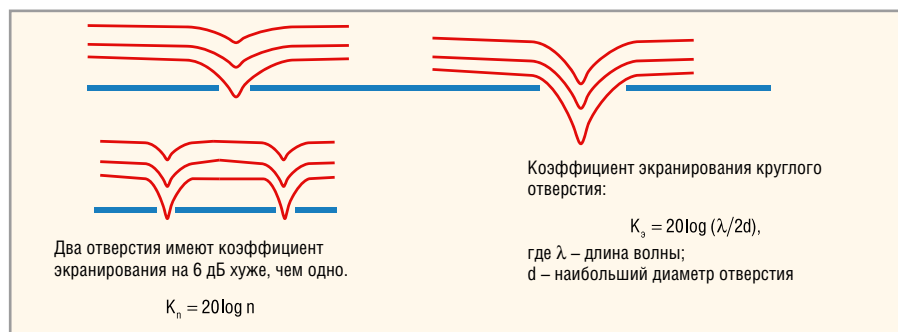


Рис. 4. Коэффициент экранирования отверстий

Примеры металлов и сплавов для экранирования магнитного поля

Экранирование постоянного магнитного поля	Экранирование высокочастотного электромагнитного поля
Пермаллой	Серебро
Альсифер	Медь
Технически чистое железо	Алюминий
Трансформаторная сталь	Латунь
Электротехническая сталь	Электротехническая сталь
Магнитомягкие материалы	Материалы с высокой проводимостью

применять материалы с высокой проводимостью: серебро – 62×10^6 См/м, медь – 58×10^6 См/м, алюминий – 37×10^6 См/м, латунь – $12,5 \times 10^6$ См/м, сталь – $7,6 \times 10^6$ См/м. При этом металлы и сплавы с высокой проводимостью, кроме стали, не годятся для экранирования постоянных магнитных полей, так как имеют магнитную проницаемость равную 1 (как у воздуха). Для экранирования в широком диапазоне частот лучше всего подходят многослойные материалы, например, сталь с нанесённым слоем из хорошо проводящего металла. Такие листы применяют для изготовления безэховых камер (см. рис. 3). Для дальнейшего повышения коэффициента экранирования возможно использование комбинированных многослойных материалов.

Конструкция экранов

Получить качественный экран с высоким коэффициентом экранирования очень просто: изготавливая замкнутый электрически герметичный контур (например, куб), с лёгкостью получаете K_s порядка 100 дБ и более. К сожалению, в реальности это невозможно, так как необходимы отверстия для ввода кабелей, вентиляции и обслуживания аппаратуры.

Каждое отверстие или щель в экране, сравнимые с $1/20$ длины волны, следует учитывать при планировании экрана (см. рис. 4). Например, для 1 ГГц отверстие диаметром 1,5 мм ухудшит коэффициент экранирования до 40 дБ, а диаметром 1,5 см – до 20 дБ. При увеличении количества отверстий коэффициент экранирования ухудшится на $K_n = 20 \log n$. Необходимо избегать больших отверстий и щелей в экране. Много маленьких отверстий лучше, чем одно большое.

В случае если всё же необходимо использовать отверстие строго определённого диаметра (например, для вентиляции или ввода диэлектрических кабелей), можно применить заперделный волновод (см. рис. 5). Это полая трубка из проводящего материала, длина которой значительно превышает диаметр. Свойства этой конструкции частотно зависимы. Электромагнитные волны ниже определённой частоты будут распространяться с очень большим затуханием. Частота, выше которой электромагнитная волна распространяется по волноводу практически без потерь, называется частотой среза волновода и определяется из его наи-

большого внутреннего размера по формуле $f = 150000/g$, где g – наибольший поперечный размер отверстия. Для прямоугольного волновода шириной 5 мм частота среза равна 30 ГГц. Коэффициент ослабления уже будет зависеть от длины волновода и частоты, а рассчитываться по формуле, представленной на рисунке 5.

Для примера на рисунке 6 построены графики коэффициентов ослабления волноводов различной конфигурации. Видно, что при уменьшении длины трубки с 20 до 10 мм K_z уменьшается со 108 до 54 дБ. При этом частота среза остаётся постоянной. При изменении диаметра отверстия изменяется и частота среза волновода. Для волновода диаметром 20 мм это 10 ГГц, для волновода диаметром 200 мм – уже 1 ГГц. У запердельного волновода есть ещё одно ограничение: если внутрь волновода ввести проводящий кабель, то волновод потеряет свои изолирующие свойства. Запердельный волновод подходит только для ввода диэлектрических кабелей типа оптических, которые не сильно искажают диэлектрическую проницаемость среды. На рисунке 7 представлены конструкции из запердельных волноводов.

Существует одна проблема – образование щелей и зазоров, неизбежно появляющихся в процессе соединения элементов конструкции друг с другом. Кроме непосредственного искривления самих элементов конструкции металлические детали имеют неровности, которые, соприкасаясь друг с другом, образуют зазоры и щели. Для надёжного электрического контакта в этом случае необходимо применить довольно большое усилие прижима либо применить проводящую прокладку, которая обеспечит непрерывный контакт на всём протяжении щели.

В настоящее время промышленность выпускает огромное количество проводящих прокладок самых различных свойств и размеров.

ПЛАНИРОВАНИЕ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ РАЗРАБОТКИ

Планировать помеховую обстановку и экранирование необходимо на начальном этапе проектирования, предотвращая распространение нежелательных сигналов от самого источника.

Первый уровень разработки – дизайн печатной платы (см. рис. 8). Сюда относятся правильное проектирование

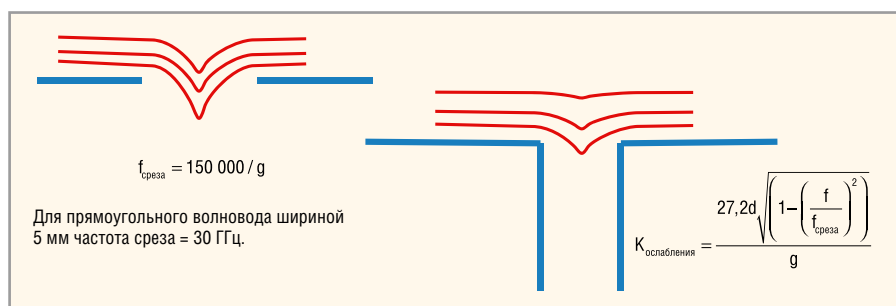


Рис. 5. Использование запердельного волновода

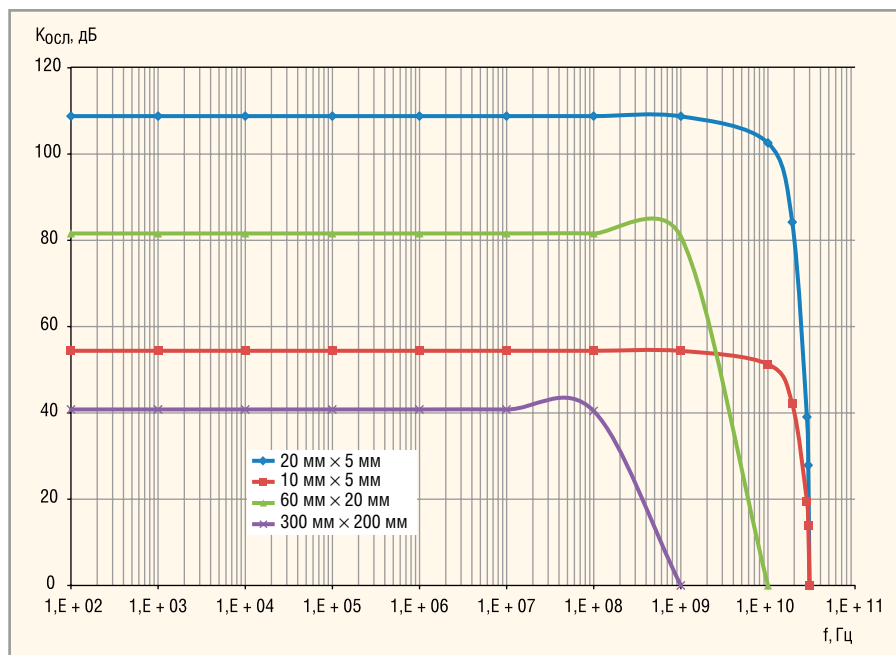


Рис. 6. Графики коэффициентов ослабления волноводов различной конфигурации

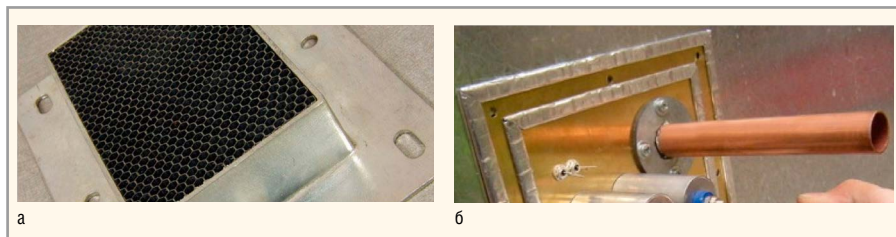


Рис. 7. Конструкции из запердельных волноводов: а – вентиляционная решетка типа Honeycomb (пчелиная сота); б – запердельный волновод для ввода оптического кабеля

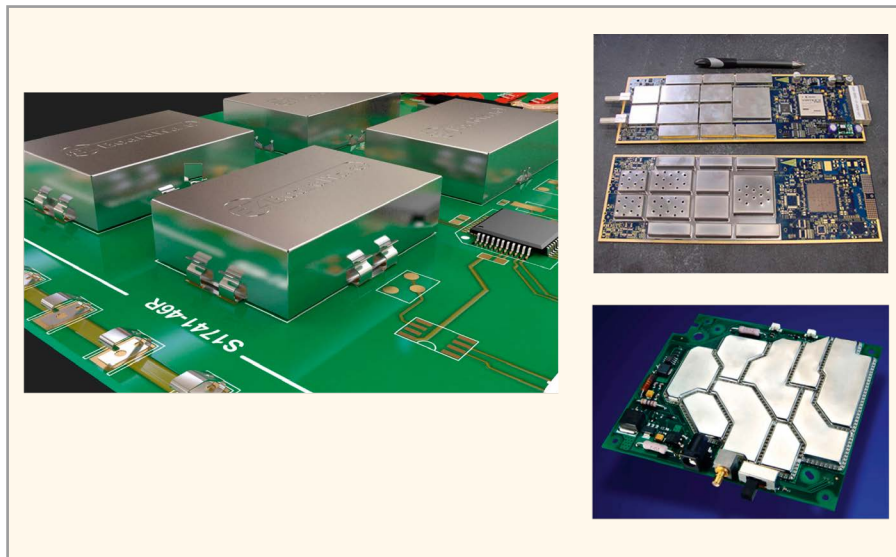


Рис. 8. Дизайн печатной платы

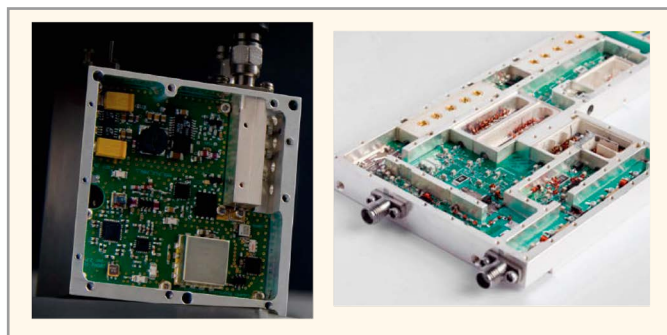


Рис. 9. Дизайн блока

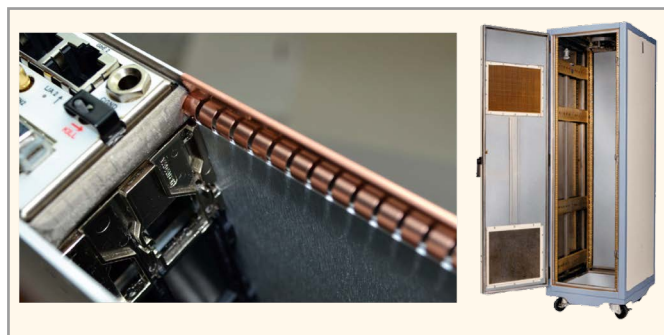


Рис. 10. Дизайн корпуса

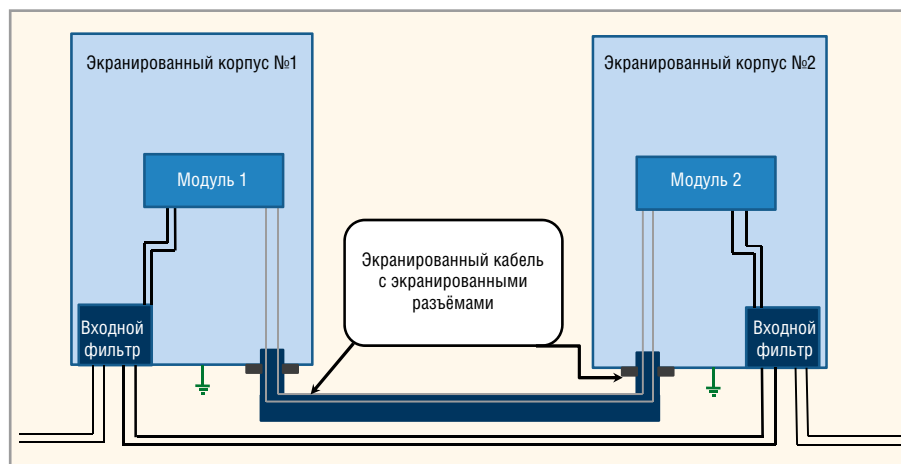


Рис. 11. Соединение двух экранированных систем

полигонов земли, линий передачи, фильтров. Для экранирования отдельных элементов или целых областей печатной платы применяются металлические экраны. Они состоят из двух частей: одна – основание, которое фиксируется на печатной плате, вторая – крышка, которая надевается сверху и фиксируется зажимами, защёлками или пайкой.

Дизайн блока

На рисунке 9 представлены блоки, направленные на создание коэффициента экранирования около 100 дБ. Шаг винтов выбирается, исходя из максимальной частоты, которую необходимо экранировать. Здесь также необходимо использовать проводящую прокладку. Корпус выполнен из цельного куска металла, что оправдано, когда необходимы сложные формы с разделением каналов, зон с разными частотами и мощностями.

Дизайн корпуса

На данном этапе появляются вентиляционные отверстия, подвижные элементы и прозрачные панели для экранов (см. рис. 10). Окончательный коэффициент экранирования такой конструкции уже довольно трудно

рассчитать, зато его можно достаточно достоверно оценить методом непосредственного измерения, благодаря тому что внутрь вполне может поместиться излучающая антенна с источником сигнала.

Следующий этап – соединение двух экранированных систем (см. рис. 11). Кабели и соединители должны быть экранированы и иметь электрический контакт по всей окружности разъёма. Необходимо избегать соединения экрана кабеля с корпусом оборудования одним тонким проводником, так как он вносит паразитную индуктивность, и, следовательно, имеет высокое полное сопротивление на высоких частотах. Ввод внешних кабелей должен осуществляться через проходные фильтры, заключённые в отдельный экранированный корпус.

Для создания эффективного экрана необходимо:

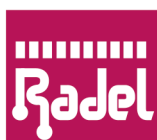
- подобрать материал, его структуру и толщину, в зависимости от составляющей электромагнитного поля, которую необходимо экранировать;
- по возможности исключить любые отверстия и щели и любые другие прерывания электрического контакта, сравнимые по размерам с $1/20$ длиной волны;

- для вентиляции и ввода кабелей использовать «запредельные волноводы»;
- для ввода сигналов и питания использовать оптические линии связи и проходные фильтры;
- для обеспечения контакта по периметру сборных конструкций использовать проводящие прокладки или пружинные контакты;
- контролировать коэффициент экранирования корпусов, проводя натурные измерения, когда это возможно.

Применяя эти правила, можно довольно дёшево и быстро решить проблемы электромагнитной совместимости, возникающие при разработке и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры, а также подтвердить соответствие радиоэлектронной аппаратуры требованиям ГОСТ в аккредитованной испытательной лаборатории. Такой организацией является Испытательная лаборатория электромагнитной совместимости ЗАО «ТЕСТПРИБОР», аккредитованная «АРМАК» и «Военным Регистром». Протокол лаборатории позволяет, в том числе, получить сертификат соответствия продукции. По требованию заказчика работы проводятся под контролем военного представителя МО РФ. Лаборатория проводит испытания на соответствие требованиям подавляющего большинства нормативных документов по ЭМС из области авиации и наземной техники. С полным списком ГОСТ можно ознакомиться в буклетах компании или на её сайте.

Сегодня трудно переоценить важность проведения испытаний на ЭМС, особенно в связи с участившимися техногенными авариями. Они лишь показывают, что необходимо не только расчётами, но и натурными испытаниями подтверждать соответствие продукции государственным стандартам. Особенно это относится к военной, космической и авиационной отраслям, где цена ошибки очень высока.



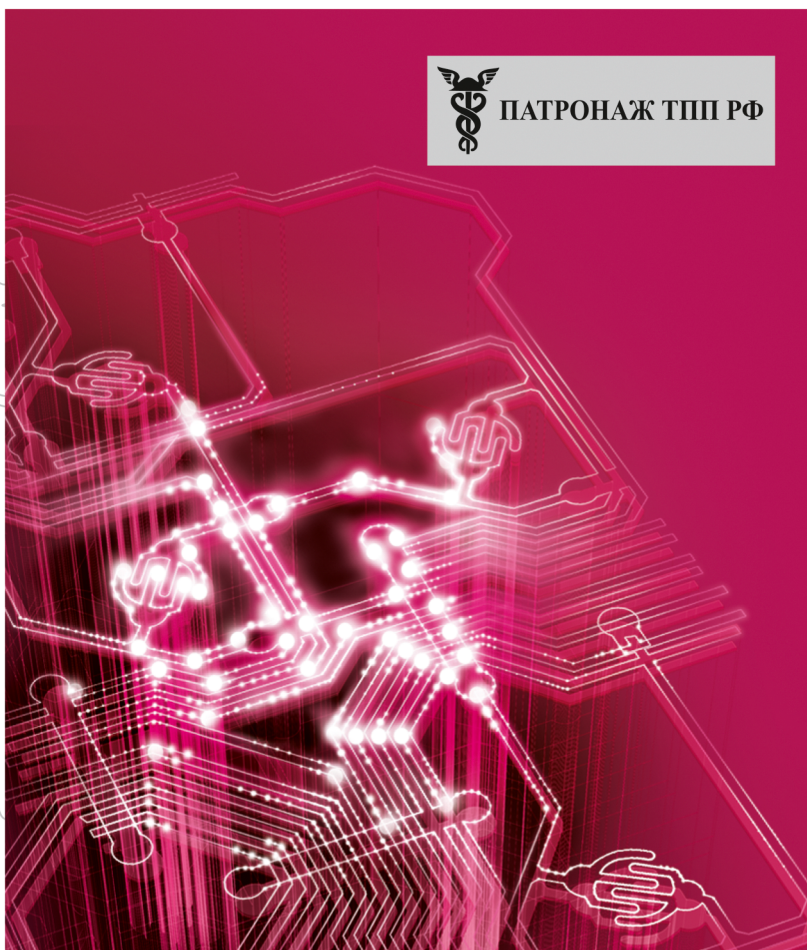


РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

XV МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



ПАТРОНАЖ ТПП РФ



Реклама

- Электронные компоненты
- Комплектующие
- Печатные платы
- Светотехника
- Материалы
- Конструктивы
- Технологии
- Промышленное оборудование и инструменты
- Контрольно-измерительные приборы и лабораторное оборудование

Организатор выставки:



FareXPO
PROFESSIONAL EXHIBITION & CONGRESS ORGANIZER



www.farexpo.ru/radel
тел.: +7 (812) 777-04-07
radel2@farexpo.ru

Место проведения: Санкт-Петербург, СКК, пр. Ю. Гагарина, 8, м. «Парк Победы»

21-23 октября 2015
Санкт-Петербург, СКК