

# КАК РАЗРАБОТАТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ЭМС

**В**ведение в России ГОСТов Р 51317, Р 51318 и обязательной сертификации радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) на электромагнитную совместимость (ЭМС) усложнило жизнь разработчикам РЭА. Заказчики стали требовать сертификат соответствия электронных блоков и печатных узлов этим нормативным документам. В публикуемой статье автор рекомендует конкретные решения, которые помогут молодым специалистам разрабатывать радиоэлектронные изделия, соответствующие современным требованиям ЭМС.

Введение в России новых ГОСТов на ЭМС и обязательной сертификации РЭА нередко ставит в тупик не только начинающих разработчиков. Рынок диктует правило: делай быстрее и дешевле, иначе не продашь свое изделие. Но времена меняются. Еще недавно следование ГОСТам на ЭМС носило рекомендательный характер, а сертификация была добровольной. Поэтому разработчики РЭА в основном следовали принципу "главное – работает", не придавая значения мировым тенденциям. Между тем, на Западе давно уже живут по правилу: нет ЭМС – нет продаж. В мае 1989 года Совет Европейского Сообщества опубликовал Директиву 89/336/ЕЕС, относящуюся к электромагнитной совместимости изделий, продаваемых среди государств-членов Европейского Сообщества.

Последующая поправка 92/31/ЕЕС установила соответствие изделий Директиве, начиная с 1 января 1996 года. Директива относится к устройствам, которые либо подвержены электромагнитному воздействию, либо сами оказывают такое воздействие, т.е. к изделиям, относящимся к электротехническим или электронным продуктам. Директива требует, что-

бы изделия имели высокую собственную защищенность от излучения других источников и поддерживали интенсивность своего излучения в строго определенных пределах.

Ситуация для отечественных разработчиков усугубляется еще и тем, что в современных разработках РЭА они, как правило, используют функционально готовые блоки (например, блоки питания и другие), которые, зачастую, закупаются на восточных рынках "без документов", и поэтому об их ЭМС, практически, ничего не известно. Однако с некоторых пор заказчики стали интересоваться соответствием разработанной аппаратуры определенным ГОСТам и наличием требуемых сертификатов. Особенно это стало важным с ростом участия частного бизнеса в развитии оборонной промышленности и других изделий специального назначения.

## ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ?

В общем случае радиоэлектронное изделие не должно излучать помехи в эфир и в питающие провода и должно быть устойчиво к чужим помехам. Обратимся к официальным определениям.

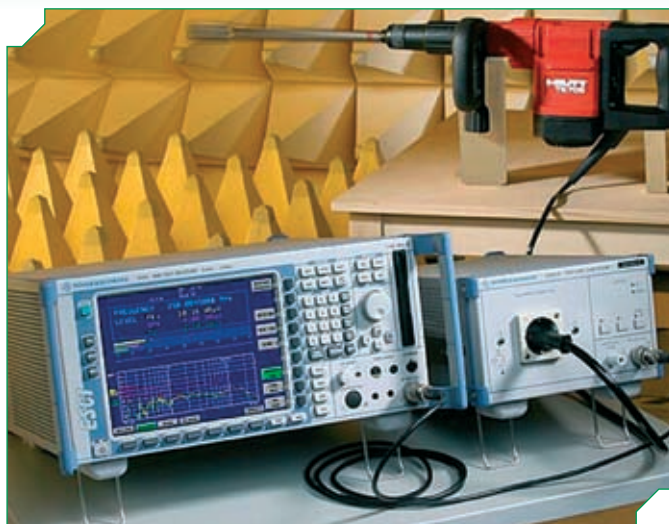


Рис. 1 Комплекс для измерения ЭМС

Электромагнитная совместимость, ЭМС (Electromagnetic compatibility, EMC) – это способность в процессе функционирования не вносить в окружающую обстановку чрезмерно большого электромагнитного излучения. Когда это условие выполняется, все электронные составляющие совместно работают корректно.

Электромагнитные помехи, ЭМП (Electromagnetic interference, EMI) – это электромагнитная энергия, излучаемая одним устройством, которая может приводить к нарушению качественных характеристик другого устройства.

Электромагнитная помехоустойчивость, ЭМПУ (Electromagnetic immunity, или susceptibility, EMS) – это толерантность (устойчивость) к воздействию электромагнитной энергии.

Устойчивость к помехам проверяют специальными генераторами помех, генерирующими высоковольтные микросекундные и наносекундные импульсы. Побочное излучение аппаратуры изучают при помощи специального радиоприемника. При этом изделие помещают в безэховую камеру. На рис.1 показано поглощающее покрытие безэховой камеры и измерительный радиоприемник фирмы Rohde & Schwarz.

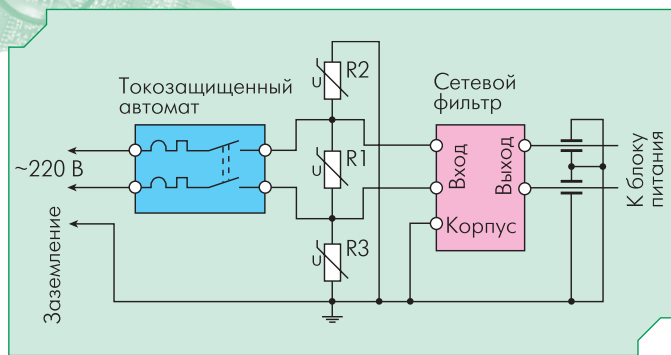
На заднем плане – тестируемое изделие, подключенное к эквиваленту питающей сети. На экране измерительного радиоприемника строится спектрограмма в интересующем диапазоне частот с учетом частотной характеристики безэховой камеры и антенны, или, как на рис.1, проводятся исследования излучения помех в сетевые провода. При этом входной сигнал снимают с эквивалента питающей сети.

Особо следует отметить случаи влияния собственного электромагнитного излучения на работоспособность самого изделия. Часто, особенно в силовых схемах, помехи от мощного транзистора или тиристора воздействуют на входной каскад, и возникает нежелательная обратная связь, которая приводит к полной неработоспособности изделия.

Высокая стоимость измерительной аппаратуры для исследования побочных излучений создает разработчику РЭА дополнительные проблемы. Доводку изделия приходится вести вслепую методом затыкания больших и маленьких дыр. Именно поэтому при подготовке изделия к сертификации на ЭМС нужно обращать внимание практически на все, что может излучать, и на все лазейки, через которые электромагнитное излучение может пройти. Иногда простая щель в корпусе приводит к нежелательным излучениям, а неэкранированный кабель питания становится хорошо излучающей антенной. Поиск и реализация мер, направленных на снижение побочных излучений РЭА, является признаком высокой культуры проектирования.

### ТРЕБОВАНИЯ ПО ЭМС – ЭТО НЕ НОВОСТЬ

Как спроектировать и изготовить радиоэлектронное изделие, отвечающее требованиям ЭМС? Большинство требований и методы их удовлетворения давно известны опытным разработчикам РЭА. Не претендуя на новизну и не загружая статью формулами, рассмотрим практические вопросы и приемы, которые следует принимать во внимание при разработке РЭА для достижения ЭМС (под ЭМС будем понимать следование ГОСТам Р 51317 и Р 51318).



**Рис.2** Типовая электрическая схема цепей питания переменного тока

Известно, что импульсный блок питания вносит основной вклад в излучение помех в диапазоне частот до 30 МГц. Если применен AC/DC-преобразователь, то следует использовать готовый сетевой фильтр. Он должен быть двух- или трехзвенным и конструктивно выполнен в металлическом экранирующем корпусе. Каждое последующее звено фильтра должно подавлять паразитные резонансы предыдущего. До сетевого фильтра должен стоять блок варисторной защиты от перенапряжений, а до варисторов – двухполюсный токозащитный автомат или плавкие предохранители.

Любой сетевой фильтр имеет частоту, выше которой помехоподавляющие свойства фильтра ухудшаются, и сетевой провод начинает играть роль паразитной передающей антенны. Чтобы задержать распространение электромагнитных волн по сетевым проводам, надо последовательно с сетевым фильтром установить проходные конденсаторы емкостью 0,2–0,47 мкФ. Известно, что основным средством подавления радиочастот выше 10 МГц является деление корпуса аппаратуры на отсеки с целью установки между ними проходных конденсаторов. Если корпус на отсеки не делить, устанавливать проходной конденсатор все равно следует: он, благодаря своей низкой индуктивности, также дает эффект, хотя и в меньшей степени. В общем, входные цепи питания радиоэлектронных устройств должны соответствовать электрической схеме, показанной на рис.2.

Если в устройстве используется импульсный блок питания собственной разработки и изготовления, то следует обратить внимание на демпфирующие цепи. Вид демпфирующей цепи влияет на уровень помех, излучаемых источником. Выпрямительные диоды следует зашунтировать керамическими конденсаторами. Исследовать паразитные излучения источника питания можно при помощи всеволнового радиоприемника. Для этой цели автор использовал китайский радиоприемник Degen-1103. Необходимо расположить на столе блок питания с нагрузкой и сетевой фильтр со шнуром питания, затем надо настроить приемник на одну из гармоник преобразователя и вести антенну приемника вдоль блока питания, фильтра и сетевого шнура. По громкости сигнала и индикатору приемника можно определить степень эффективности сетевого фильтра, и тогда станет понятно, что под-

ключение лучше делать вилкой с заземлением и для чего необходимо экранировать сетевой кабель.

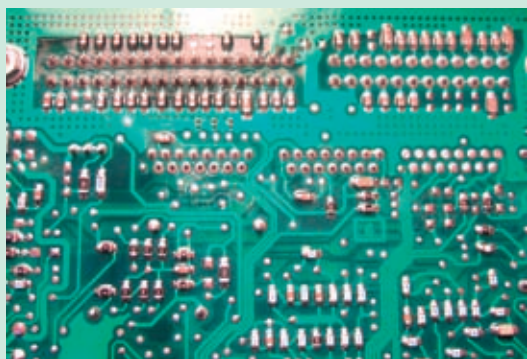
В некоторых случаях можно перевести аппаратуру на DC/DC-питание пониженным напряжением. Как правило, излучение помех уменьшается, так как при понижении напряжения энергия помехи также уменьшается. Только надо помнить, что на плате все равно будет стоять импульсный DC/DC-преобразователь, и ему также потребуется фильтр. Сетевой фильтр, рассчитанный на переменное напряжение, в этом случае не подходит, а выбор покупных фильтров для постоянного напряжения ограничен.

Если устройство потребляет из сети мощность более 500 Вт, то в состав блока питания должен входить корректор коэффициента мощности (ККМ), который устанавливается перед блоком питания. ККМ обеспечивает синусоидальность потребляемого тока, и он же принимает на себя первый "удар" от высоковольтных помех, приходящих из сети. Если используется ККМ собственной разработки, то регулирующий транзистор должен быть рассчитан на максимальное напряжение. Запас по току у транзистора может быть небольшим, а запас по напряжению должен быть двойным, а лучше – тройным. Если через сетевой фильтр помеха все-таки пройдет, запас по току не помогает, а запас по напряжению может оказаться достаточным для того, чтобы транзистор не пробился. Все сказанное относится и к силовым транзисторам импульсного блока питания.

### РОЛЬ ТРАССИРОВКИ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Важную роль в излучении помех и в помехоустойчивости печатных узлов играет разводка печатной платы. Рассмотрим случай, когда устройство состоит из микроконтроллера или микрокомпьютера и аналоговых и цифровых блоков ввода/вывода. Начинаящий разработчик, как правило, знает, что дорожки, подводящие питание к микросхемам, должны быть широкими, и что "по питанию" надо установить керамические блокировочные конденсаторы. Такой прием искусственно понижает волновое сопротивление шин питания для исключения "звона" фронтов импульсов на выходе быстродействующих логических вентилях. Поэтому блокировочные конденсаторы должны быть равномерно распределены вдоль шин питания устройства и установлены в непосредственной близости от скоростных и многофункциональных микросхем. Разводка шин питания будет оптимальной, если их расположить одну под другой на разных сторонах печатной платы. В крайнем случае, шины питания должны быть расположены рядом друг с другом.

Чтобы снизить излучающую способность дорожек между микросхемами, также необходимо понизить их волновое сопротивление. Для этого разводку сигнальных цепей желательно сосредоточить на одной стороне платы, а другую сторону залить сплошным полигоном "земли". Земляной поли-



**Рис.3** Фрагмент платы электронного блока управления двигателем внутреннего сгорания

гон создаст распределенную емкость, которая благотворно сказывается на понижении волнового сопротивления линии и уменьшает излучение в эфир. Низкое выходное сопротивление выходных логических вентилях подразумевает столь же низкое волновое сопротивление линий связей. Несогласованность волновых сопротивлений логического выхода и линии связи приводит к переотражениям фронтов импульсов и образованию паразитной излучающей антенны. Кроме того, земляной полигон обеспечивает дополнительное экранирование дорожек.

Все эти меры легко можно выполнить на многослойной печатной плате, где одна из сторон целиком отдается под "землю". Существенно сложнее выполнить их на двухсторонней плате. Можно порекомендовать такой подход: разводку двухсторонней платы выполнить с процентным соотношением сигнальных проводников по сторонам платы как 70 к 30, а все свободное место со стороны 30% проводников залить "землей". Если плата устанавливается в экранирующий корпус, сторона с земляным полигоном должна быть стороной компонентов для экранирования дорожек печатной платы. Тогда дорожки будут находиться между земляным полигоном и экранирующим корпусом.

Еще одним фактором, влияющим на излучающую способность дорожек печатной платы, является магнитная составляющая электромагнитного поля. Магнитный поток порождает электрический ток, текущий по замкнутому контуру. Магнитное поле сложно экранировать, поэтому практически единственным средством борьбы с его излучением является уменьшение площади токопроводящей рамки, образованной дорожками связи печатной платы и земли.

Рассмотрим такой пример. Допустим, что в состав радиоэлектронного изделия входит промышленный одноплатный компьютер с тактовой частотой 40 МГц. При этом к внутренней шине ISA должно быть подключено устройство ввода/вывода. Четверть длины волны, начиная с пятой и выше гармоник тактовой частоты, будет соизмерима с размерами печатной платы. Если, например, шина данных проходит вдали от возвратного земляного провода, то образовавшаяся рамка



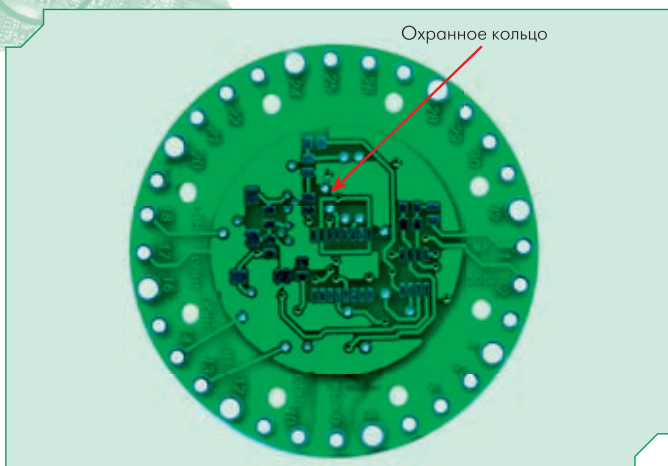


Рис. 4 Охранное кольцо проходит через незадействованные выводы входного ОУ

с током может попасть в резонанс с гармониками тактовой частоты. В этом случае можно рекомендовать следующий вариант разводки. Вокруг земляного проводника следует сгруппировать проводники с тактовой частотой. За ними надо расположить проводники шины данных, затем проводники младших адресов интерфейса, и по нарастающей – до старших адресов. Вероятность появления тактовой частоты на старших адресах интерфейса небольшая, поэтому и площадь рамки на старших адресах увеличивается. Отметим, что все проблемы легко решаются, если использовать многослойную печатную плату.

При проектировании двухсторонней печатной платы необходимо делать бордюрную землю по периметру платы. Бордюрная земля – это корпус устройства. Через нее должны проходить крепежные отверстия платы. Бордюрная земля должна быть связана с сигнальной землей через условный резистор в одной точке. В зависимости от конкретного устройства при наладке этот условный резистор можно заменить либо ферритовой бусинкой, либо резистором 10–100 Ом, либо перемычкой. Все внешние подключения и все разъемы должны находиться в кольце из бордюрной земли. Каждый вывод разъема должен иметь чип-конденсатор на бордюрную землю. Рабочее напряжение конденсатора должно быть максимальным для данного типоразмера, емкость конденсатора не критична (от десятков пикофард и выше). Главное назначение бордюрной земли – отвести помеху от чувствительной части схемы на корпус устройства. Фрагмент печатной платы электронного блока управления двигателем внутреннего сгорания (рис.3) наглядно демонстрирует применение описанных приемов разводки. Одного взгляда на плату достаточно, чтобы понять – это устройство прошло сертификацию.

Любые длинные линии связи, выходящие из устройства, должны иметь защиту от перенапряжения. В простейшем случае это может быть цепочка из последовательного много-разового предохранителя PoliSwich и параллельно соединенного варистора, рассчитанного на соответствующее напряже-

ние. Предохранитель PoliSwich не даст перегореть дорожкам печатной платы при длительных перенапряжениях.

При использовании защитных устройств необходимо помнить два простых правила. Первое – без заземления электронного блока на корпус защитные устройства шунтирующего действия не работают, и второе – заземление таких устройств необходимо выполнять только на бордюрную землю печатной платы или на корпус блока. Если на плате бордюрная земля не предусмотрена, а для заземления, например, варистора, используется обычная (чистая) земля, то создаются предпосылки к проникновению высокого напряжения в схему.

Правильно сделанная защита должна быть трехступенчатой: разрядник, варистор, защитный стабилитрон. Такая защита способна защитить электронное устройство даже от прямого разряда электрошокера. Полезно так же на печатной плате перед варистором установить "нарисованный" разрядник. Он представляет собой направленные друг к другу две заостренные в виде стрел дорожки печатной платы, между остриями которых должно быть расположено неметаллизированное отверстие диаметром 0,2–0,3 мм. Такие нарисованные разрядники присутствуют, например, в блоке строчной развертки телевизоров с электронно-лучевой трубкой. При экспериментах с электрошокером было видно, как варистор "тормозит" из-за внутренней емкости, а безынерционный разрядник, пробиваясь, берет на себя часть энергии помехи.

Если устройство не должно терять работоспособность при воздействии высоковольтного импульса, то нужно исключить применение вакуумных разрядников. При срабатывании разрядники замыкают накоротко защищаемую цепь, вызывая тем самым срабатывание защитного отключения. В этом случае так же полезно применение нарисованного разрядника, который из-за кратковременности помехи до определенного рабочего напряжения не вызывает срабатывания предохранителя. Если же кратковременная потеря работоспособности допускается, то применение вакуумного разрядника – оптимальное решение.

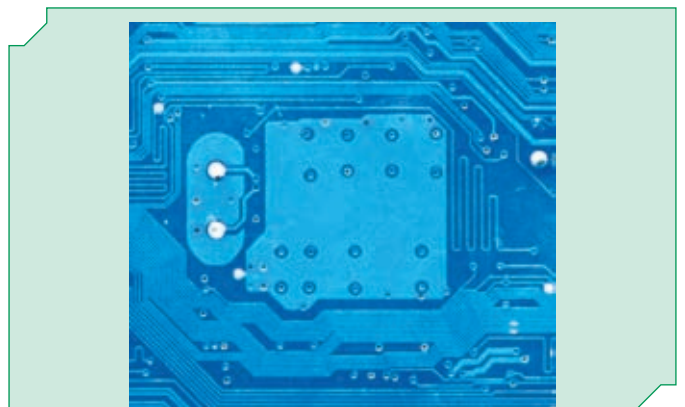
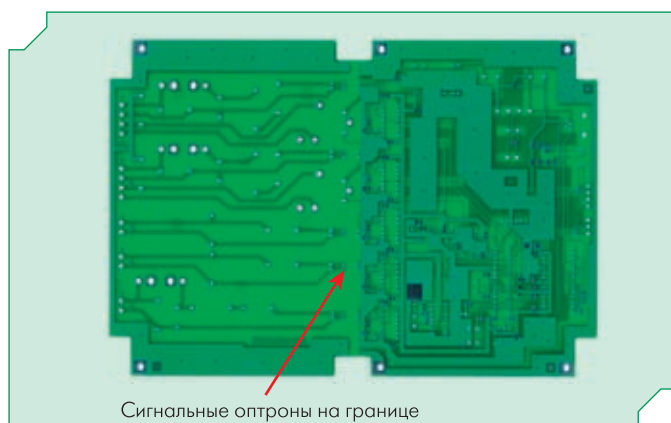


Рис. 5 Микроконтроллер с обратной стороны защищен сплошным полигоном земли



**Рис. 6** Гальванически изолированные участки схемы физически разделены

Для борьбы с помехами рекомендуется постоянно следить за появлением новых защитных элементов. К их числу можно отнести низкоиндуктивные ЕМI-конденсаторы с большим рабочим напряжением, супрессоры (быстродействующие защитные стабилитроны), допускающие большой ударный ток, современные проходные чип-конденсаторы, мультипредохранители, многослойные MLV-миниваристоры. Проходной чип-конденсатор, например, эффективно работает между бордюрной землей платы и выводами разъемов. При защите цепей питания необходимо использовать еще и фильтр, который возьмет на себя остатки помехи.

### СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ЭМС

Тема влияния схемотехники на ЭМС практически необъятна, а формат статьи ограничивает число возможных рекомендаций. Поэтому рассмотрим наиболее часто встречающиеся случаи.

Если в состав устройства входят операционные усилители, то следует соблюдать "правило инвертирующего входа": его разводка должна быть максимально короткой, иначе этот вход соберет все помехи. Хорошим тоном будет также наличие охранных эквипотенциальных колец вокруг высокоомных и чувствительных элементов схемы. А в случае, если в схеме есть операционные усилители с полевыми транзисторами на входе, такие кольца нужно делать обязательно. Например, на печатной плате усилителя гидрофона (рис.4) с входным сопротивлением 100 МОм охранный проводник проходит через незадействованные выводы входного операционного усилителя.

Разводка кварцевого резонатора также должна быть максимально короткой и компактной. Часто кварцевый генератор реализуют на обычном логическом инверторе, переводя его отрицательной обратной связью в линейный режим. Вход такого инвертора – это типичный "инвертирующий вход". Особое внимание следует уделять разводке кварцевого резонатора тактового генератора микроконтроллера. Неправильная разводка этого узла вызовет сбои при воздействии высоковольтных импульсов. Кроме максимально коротких связей, нужно организовать под резонатором земляной полигон и со-

единить с ним земляные выводы конденсаторов, сопровождающих генератор. Земляной полигон соединяется только с выводом земли микроконтроллера. Корпус резонатора желательно также заземлить на полигон. На фрагменте печатной платы с разводкой кварцевого резонатора (рис.5) видно, что микроконтроллер с обратной стороны защищен сплошным полигоном земли. Рядом с кварцевым резонатором не должно быть сильноточных цепей, и располагать его надо подальше от бордюрной земли печатной платы. В некоторых случаях целесообразно отказаться от кварцевого резонатора в пользу интегрального кварцевого генератора.

### ПРИМЕНЕНИЕ ОПТРОНОВ И ТРАНСФОРМАТОРОВ

Для передачи информации между блоками или платами часто бывает необходимо использовать оптроны. При этом надо обращать внимание на проходную емкость оптрона, так как через эту емкость на высокой частоте происходит паразитное излучение. Параметр этот указывают не всегда. Косвенно о проходной емкости оптрона можно судить по его напряжению изоляции – чем оно выше, тем меньше емкость. Практика показала, что оптроны с напряжением изоляции менее 4 кВ применять не следует. Для приборов, работающих в тяжелой электромагнитной обстановке, желательно применять оптроны с напряжением изоляции 10 кВ. Рассмотрим в качестве примера популярную микросхему MAX 1480 – драйвер интерфейса RS 485. В состав микросхемы входят трансформаторный преобразователь питания, схема приемопередатчика RS 485 и гальваническая развязка сигналов на оптронах. Удачная в целом микросхема имеет такую проходную емкость, что через нее свободно проходят гармоники с частотами выше 50 МГц. Оптроны, входящие в состав MAX 1480, имеют напряжение изоляции всего 1,6 кВ, дополнительно проходную емкость увеличивает трансформатор встроенного преобразователя напряжения.

В некоторых случаях, например, при передаче сигналов с платы на плату, гальваническая развязка не требуется. Лучшим решением будет плоский кабель, у которого каждая вторая жила соединена с землей. Для цифровых сигналов получается линия передачи с равномерным волновым сопротивлением, а для передачи аналоговых сигналов близость земли создаст эффект экранирования. Одновременно снижается излучение магнитного поля из-за небольшой площади паразитной рамки с током.

Практически ни одно устройство не обходится без трансформаторов. Трансформаторы питания, выходные, переходные, согласующие, телефонные, компьютерных сетей независимо от материала сердечника должны иметь заземленный электростатический экран для уменьшения прохождения помех через межобмоточную проходную емкость. Межобмоточный экран можно выполнить двумя способами: в виде незамкнутого витка из фольги или однослойной обмотки

с выводом с одной стороны. Для силовых трансформаторов предпочтительней второй способ, так как в случае пробоя изоляции первичной обмотки на экран трансформатор должен выдержать ток короткого замыкания до срабатывания предохранителя.

### ЗНАЧЕНИЕ ЗЕМЛИ ДЛЯ ЭМС

Рассмотрим ряд вопросов, связанных с влиянием земли на ЭМС. Если в устройстве будет использована чувствительная аналого-цифровая схема, и разработчик решит гальванически развязать аналоговую часть, то может появиться гальванически развязанная земля. Ее еще называют плавающей землей. Часто начинающий разработчик так и оставляет ее "плавать", а между тем, это грубейшая ошибка. Плавающую землю нужно обязательно тем или иным способом соединить с корпусом прибора или устройства. В противном случае незаземленная часть схемы будет набирать статический потенциал, и в какой-то момент при его разряде произойдет сбой в работе прибора.

Если соединение плавающей земли с корпусом напрямую вызывает помехи в работе прибора, то следует соединить землю через резистор или поискать другое место соединения. Таким же способом можно соединять аналоговые и цифровые земли, земли входных и выходных каскадов усилителей мощности. В некоторых случаях для уменьшения помех соединить гальванически изолированные части схемы можно через конденсатор, зашунтированный резистором. Конденсатор должен иметь емкость несколько нанофарад, а резистор – сопротивление примерно 1 МОм. Такое соединение называется "конденсатор земля – земля". Оно эффективно ослабляет помехи, направляя их на землю устройства мимо чувствительной части схемы. Параллельно включенный резистор уравнивает статические потенциалы гальванически изолированных частей схемы. Необходимо помнить, что если применяется соединение "конденсатор земля – земля" в высоковольтном преобразователе напряжения, то рабочее напряжение конденсатора должно соответствовать напряжению изоляции устройства. При разводке гальванически изолированных участков схемы необходимо физически разделить их на плате, особенно если устройство – гальванически развязанный преобразователь напряжения. На границе раздела следует ставить развязывающий трансформатор, оптроны связи и конденсатор земля – земля. На рис.6 показана плата управления по интерфейсу RS 485 нагрузками, подключенными к сети 220 В с контролем напряжения на них. Видно, что на плате гальванически изолированные участки схемы физически разделены.

Допустим, что в состав устройства входит жидкокристаллический индикатор. Если не закрыть его защитным стеклом, то испытания на статическое электричество вряд ли удастся преодолеть. Следует обратить внимание также на клавиатуру

туру. В некоторых случаях клавиатуру желательно заменить пленочной, которая клеится на корпус устройства, снижая влияние статического электричества. Вся пластмасса в устройстве не должна электризоваться, т.е. она не должна быть идеальным диэлектриком.

Если устройство выполнено на микроконтроллере, надо избегать низковольтного внутрисхемного программирования. Мощная помеха, действуя на микроконтроллер, может случайно перевести его в режим программирования и стереть несколько байт программы. Если избежать низковольтного внутрисхемного программирования все же не удастся, то после программирования все выводы микросхемы должны быть подключены к земле.

О помехоустойчивом программировании микроконтроллеров, роли корпусов РЭА и других вопросах, связанных с ЭМС радиоэлектронных устройств, поговорим в следующем номере журнала.

---

Хотя статья не окончена, хочу подчеркнуть одну мысль. Проектирование радиоэлектронного оборудования, соответствующего требованиям ЭМС, невозможно без творческого подхода. Кроме стандартных приемов, многократно описанных в литературе, разработчику не обойтись без глубокого понимания внутренних процессов, происходящих в каждой конкретной схеме. Автоматическое применение всего описанного арсенала приемов не будет свидетельством профессионализма и может повлечь за собой только неоправданное удорожание аппаратуры.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51317, ГОСТ Р 51318.
2. **Хьюбинг Т., Ван Дорен Т.** Проектирование печатных плат с учетом ЭМС. – Печатный монтаж, 2008, № 5.
3. **Отт Г.** Методы подавления шумов и помех в электронных системах. – М.: Мир, 1979.
4. **Семенов В.** Сертификация РЭА на соответствие требованиям ЭМС. – Chip News, 2004, №3.
5. <http://www.rohde-schwarz.ru>
6. **Полонский Н.Б.** Конструирование электромагнитных экранов для РЭА. – М.: Советское радио, 1979.
7. **Уайт Р.** ЭМС электронных средств и непреднамеренные помехи. – М.: Советское радио, 1977.
8. **Барнс Дж.** Электронное конструирование: методы борьбы с помехами. – М.: Мир, 1990.
9. **Рогинский В.Ю.** Экранирование в радиоустройствах. – М.: Энергия, 1969.
10. **Кравченко В.И.** Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. – М.: Советское радио, 1987.
11. **Иванов В.А. и др.** ЭМС радиоэлектронных средств. – М.: Техника, 1983.
12. **Князев А.Д. и др.** Проблемы обеспечения совместной работы РЭА. – М.: Советское радио, 1971.
13. **Волин М.Л.** Паразитные процессы в РЭА. – М.: Радио и связь, 1981.