

Почему изделия не проходят испытания на электромагнитную совместимость

Основной задачей при проектировании современного электронного оборудования является не только обеспечение заданных рабочих параметров, но и выполнение требований по электромагнитной совместимости (ЭМС) [1]. Для решения этой задачи необходим комплексный подход. Публикуемая статья является авторским переводом публикации [2] и продолжает серию статей [3—4] одного из ведущих специалистов в этой области.

Кеннет УАЙЕТТ (Kenneth WYATT)

Введение

Тремя основными причинами отказов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), с которыми автор статьи постоянно сталкивается в своей консультационной практике, являются: 1) радиационное излучение электромагнитных помех (ЭМП); 2) восприимчивость к внешним ЭМП; 3) недостаточная устойчивость к воздействию электростатического разряда (ЭСР). Проанализировав и протестировав сотни изделий за многие годы, автор пришел к выводу, что отказ РЭА происходит по следующим пяти основным причинам.

1. Плохо продуманная топология печатной платы и некорректное расположение слоев.
2. Экран кабеля не подключен к корпусу, или отсутствует синфазная фильтрация у неэкранированных изделий, а также неправильно используется вывод для подключения экрана.
3. Высокочастотные тактовые импульсы или сигналы проходят через зазоры в тракте возвратного тока (в общем или заземляющем слое).
4. Некорректная схема распределения питания.
5. Слишком большие отверстия или длинные щели в экранированном корпусе.

Проектирование печатной платы

Первый и наиболее важный фактор в выполнении требований к ЭМС и ЭМП связан с компоновкой функциональных узлов печатной платы, ее разводкой и формированием слоев. Заметим, что не вся информация, излагаемая в книгах, журнальных статьях или в указаниях по применению от производителей компонентов верна относительно проектирования печатных плат согласно требованиям электромагнитной совместимости. В первую очередь, это замечание относится к источникам информации старше десяти лет. Кроме того, многие эмпирические правила взяты из конкретных проектов, которые

часто не соотносятся с текущими разработками, и потому не могут использоваться в качестве основы.

Печатные платы следует проектировать, рассматривая тракты высокочастотных и тактовых сигналов, схемы распределения (разводки) электропитания (PDN) как линии передачи. Таким образом, следует учитывать, что передаваемый сигнал или энергия распространяется в виде электромагнитной волны. Тракты питания являются особым случаем, поскольку по ним проходит постоянный ток и они, кроме того, должны передавать энергию для импульсных переходных процессов с минимальным уровнем помех при одновременном переключении (simultaneous switching noise, SSN). Дело в том, что с одной стороны, характеристический импеданс линий распределения электропитания является очень низким (0,1–1,0 Ом), а с другой, характеристический импеданс сигнальных трактов, как правило, составляет 50–100 Ом.

Для корректного проектирования печатной платы следует исходить из того, что: 1) все токи протекают по замкнутым контурам; 2) высокочастотные сигналы распространяются как электромагнитные волны в линиях передачи. Эти два правила тесно связаны друг с другом [3]. Мы рассмотрим их более подробно.

Ток течет по замкнутому контуру

Согласно теории цепей, ток течет в контурах от источника к нагрузке и обратно

к источнику. Во многих случаях непрохождения изделия сертификационных испытаний на ЭМС возвратный тракт тока не был четко определен или был даже нарушен. Разработчики схем часто даже не обозначают возвратный тракт высокочастотного сигнала в сторону источника, указывая только символы заземления.

Под высокими частотами мы подразумеваем значения выше 50–100 кГц. При меньших частотах обратный (или возвратный) ток, замыкая контур, следует по пути наименьшего сопротивления к своему источнику. На частотах выше 50–100 кГц обратный ток проходит непосредственно под сигнальным проводником к источнику по пути наименьшего полного сопротивления (импеданса), как видно из рис. 1 [3].

Чтобы уменьшить ЭМП, следует минимизировать площадь контуров. Из-за неопределенных разработчиками возвратных трактов часто появляются большие токовые петли между источником сигналов и нагрузкой. Эти контуры, похожие на рамочные антенны, наводят помехи, например, на кабели и на рядом находящееся оборудование.

Несоответствие требованиям к ЭМП наблюдается в тех случаях, когда возвратные сигналы с большими значениями dV/dt , например сигналы от импульсных DC/DC-преобразователей или входные сигналы с высоким уровнем di/dt от цифровой логики, а также обратные токи тактовых

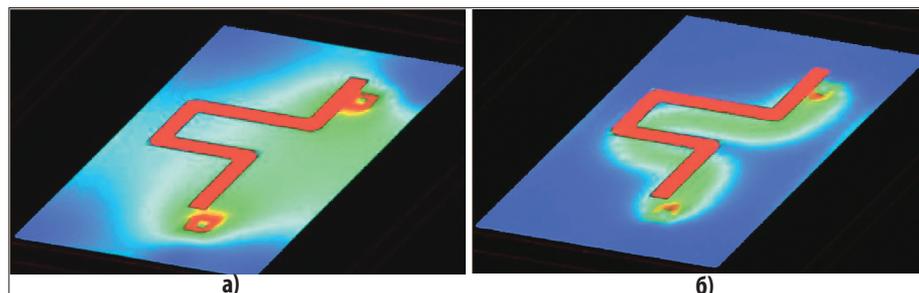


Рис. 1. Результаты моделирования тракта обратного тока (зеленым) на частоте: а) 1 кГц; б) 1 МГц

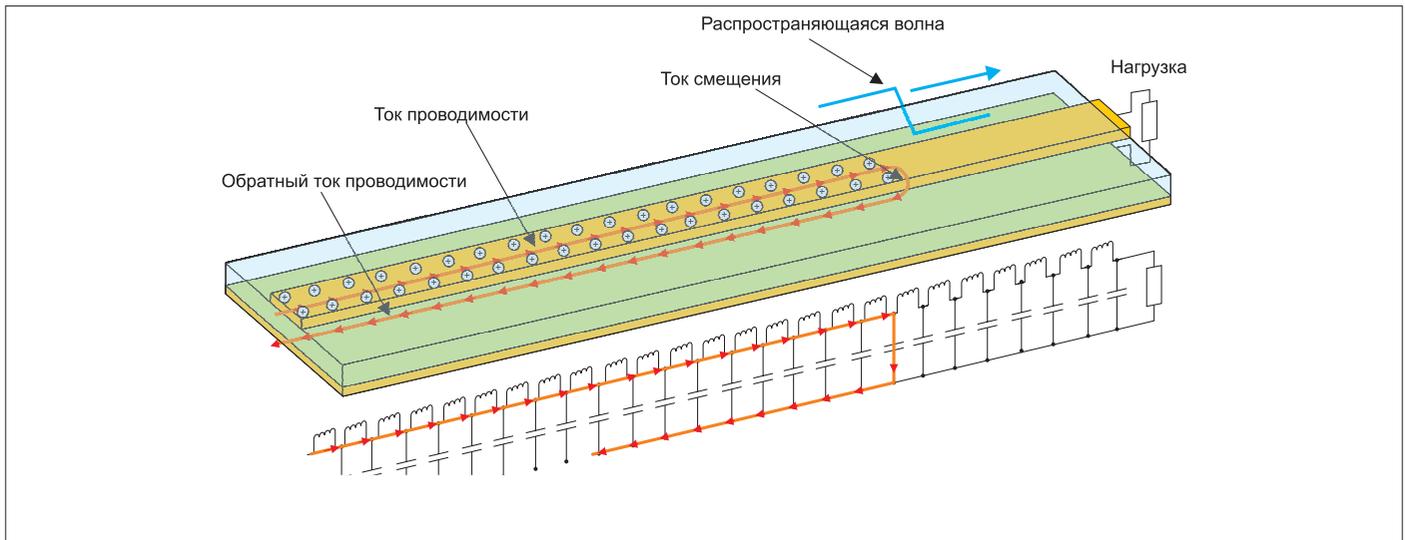


Рис. 2. Пример распространения цифрового сигнала по микрополосковой линии [5]

сигналов смешиваются с обратными токами цепи ввода-вывода, чувствительных радиочастотных модулей (особенно приемников) или с обратными токами чувствительных аналоговых схем. Следует помнить о необходимости четко определять тракты возвратных токов сигнальных цепей и источников питания. Вот почему на плате требуется использовать сплошные плоскости обратных токов под трактами высокочастотных сигналов и, кроме того, отделять друг от друга цифровые, силовые и аналоговые цепи.

Как распространяются сигналы

На частотах выше 50–100 ГГц цифровые сигналы начинают распространяться в виде электромагнитных волн в линиях передачи. Как видно из рис. 2, ВЧ-сигнал распространяется по линии передачи, а фронт волны наводит ток проводимости в медном проводнике и затем возвращается по соответствующему тракту. Этот ток не может протекать через диэлектрик печатной платы, но заряд на волновом фронте отталкивает аналогичный заряд на возвратной плоскости, создавая видимость протекания тока. Тот же эффект, который Максвелл назвал «током смещения», наблюдается, когда конденсаторы якобы пропускают переменный ток.

Волновой фронт сигнала распространяется со скоростью, которая меньше скорости света и определяется диэлектрической про-

ницаемостью материала. Ток проводимости состоит из свободных электронов, концентрация которых в нем высока. Они движутся со скоростью около 1 см/с. Токи проводимости и смещения должны проходить по непрерывному тракту обратно к своему источнику.

Сильное электрическое поле генерируется высокочастотными цифровыми сигналами, возникающими между микрополосковой линией и возвратной плоскостью. Если путь обратного тока нарушен, электрическое поле «цепляется» за следующий ближайший металлический участок, который едва ли обеспечивает желаемый обратный тракт. Когда обратный путь тока четко не определен, электромагнитное поле «просачивается» сквозь диэлектрик и становится причиной протекания синфазного тока по всей плате. Неконтролируемое поле в этом же диэлектрике через сквозные отверстия в диэлектрическом слое вызывает перекрестное взаимодействие тактовых или других высокоскоростных сигналов с десятками других дорожек. Результирующие синфазные токи вызывают помехи в антенно-подобных элементах, например в кабелях ввода-вывода, отверстиях и щелях в экранированных корпусах, приводя к возникновению электромагнитных помех в устройстве.

Слои печатных плат

Сигнал представляет собой не только поток тока, как следует из теории цепей,

но и фронт электромагнитной волны, которая согласно теории поля проходит через диэлектрик. Два этих исходных положения позволяют рассматривать трассировку проводников в т. ч. как проектирование линий передачи (сигнальных проводников с расположенными рядом обратными трактами).

Чтобы разработать печатную плату в соответствии с принципами теории цепей и теории поля, следует добиться того, чтобы плоскости питания и возвратных питающих трактов были смежными. Смежными должны быть также слои сигналов и обратных сигнальных трактов. В таком случае и у сигнальных проводников, и у проводников питания всегда будут иметься четко определенные возвратные тракты. На рис. 3 показано, как распространяется электромагнитное поле в диэлектрике по обеим сторонам возвратного слоя [3].

Если же сигнал проходит через две опорные плоскости, ситуация намного усложняется (рис. 4). Если две плоскости имеют одинаковый потенциал (например, обе используются для протекания обратных токов), к сквозным отверстиям для сигналов добавляются соединительные отверстия для формирования четко определенного обратного тракта.

В отсутствие между плоскостями непрерывной линии передачи тока (сшивки переходными отверстиями или конденсаторами)

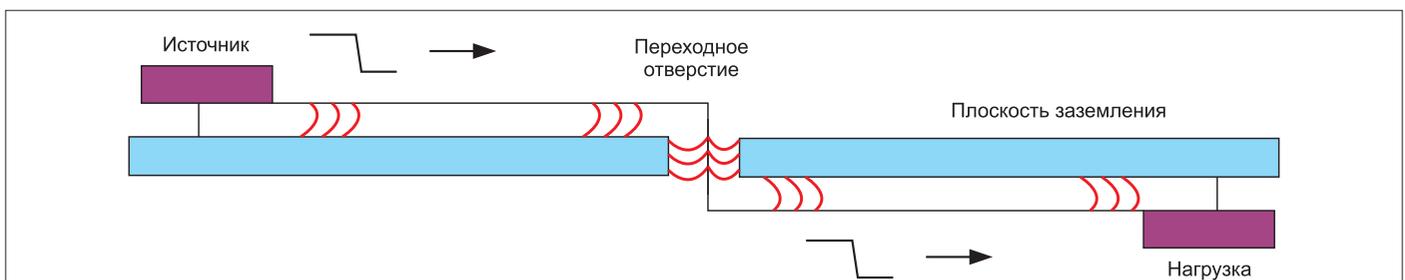


Рис. 3. Сигнальный тракт через единственную опорную плоскость. Диэлектрический слой не показан для простоты, а направление распространяющегося поля представлено красными скобками

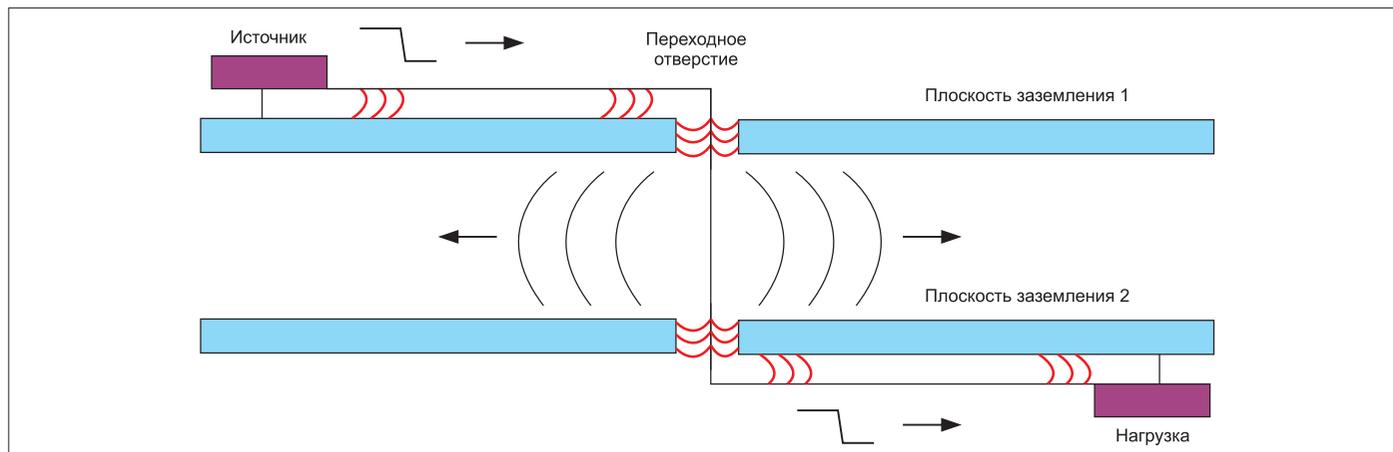


Рис. 4. Сигнальный тракт проходит через две опорные плоскости. Если тракт обратного тока не определен, возникает утечка поля в диэлектрическом слое

возникает утечка поля во всем диэлектрическом слое, когда сигнал пытается найти обратный путь к источнику. Эта энергия поля суммируется с излучениями других переходов и становится источником излучения по краям многослойной печатной платы.

Если эти две плоскости являются опорными заземляющими слоями, следует соединить их друг с другом, по крайней мере, в одном месте рядом с сигналом, проходящим через переходное отверстие, чтобы поле распространялось по всему тракту. В идеальном случае рекомендуется создать как можно больше переходных отверстий между плоскостями заземления на расстоянии 5 мм друг от друга.

Однако если у двух плоскостей (опорной заземляющей и раздачи питания) — разные потенциалы, тогда в обязательном порядке рядом с переходным отверстием для передачи сигнала устанавливается конденсатор,

«сшивающий» эти слои. Если на такой плате имеются десятки переходных отверстий для сигнала, может оказаться, что добавление сшивающего конденсатора для каждого перехода станет нецелесообразным. Это одна из причин, по которой можно равномерно распределить такие конденсаторы по всей плате. В результате уменьшатся помехи, вызванные скачками потенциала земляной шины, или шум одно-временного переключения.

В качестве примера давайте рассмотрим плохо продуманное расположение слоев печатной платы, которое очень часто встречается на практике (рис. 5).

Заметим, что между слоем питания и возвратного питающего тока — два слоя. Любые переходные процессы в схеме распределения питания будут наводить помехи на эти два промежуточных сигнальных слоя. Поскольку не все сигнальные слои оснащены смежной

плоскостью для возврата тока, обратный тракт распространяющейся волны станет проходить через любой ближайший металлический участок. При этом помехи от трактов тактового сигнала будут распространяться по всей печатной плате.

Более совершенная компоновка слоев печатной платы показана на рис. 6. В этой схеме отсутствует один сигнальный слой, но плоскости питания и возвратного тока являются смежными, а каждый сигнальный слой и слой питания имеют смежную плоскость для возврата тока. Чтобы у обратного тракта был наименьший импеданс, рекомендуется установить несколько соединительных переходных отверстий между двумя обратными плоскостями. При использовании этой или аналогичных ей конструкций уровень ЭМП значительно уменьшится. Во многих случаях для удаления помех достаточно перегруппировать слои в плате.

Заметим, что при прохождении сигналов между верхним и нижним слоями необходимо установить «сшивающие» переходные отверстия между плоскостями обратного тока и сшивающие конденсаторы между плоскостями питания и соответствующего возвратного тока в точке перехода сигнала для минимизации длины тракта возвратного тока. В идеале эти отверстия должны располагаться в пределах 1–2 мм от каждого сигнального переходного отверстия.

Дополнительные рекомендации

Все разъемы питания и системы ввода-вывода следует размещать вдоль одного края платы, чтобы уменьшить падение высокочастотного напряжения между разъемами, минимизировать излучение дорожек и кабеля. Кроме того, необходимо обеспечить пространственное разделение цифровых, аналоговых и радиочастотных каскадов и их цепей, чтобы свести к минимуму перекрестные помехи между источниками шума и чувствительными цепями.

Тракты высокочастотных тактовых сигналов или высокоскоростных сигналов данных должны быть максимально корот-

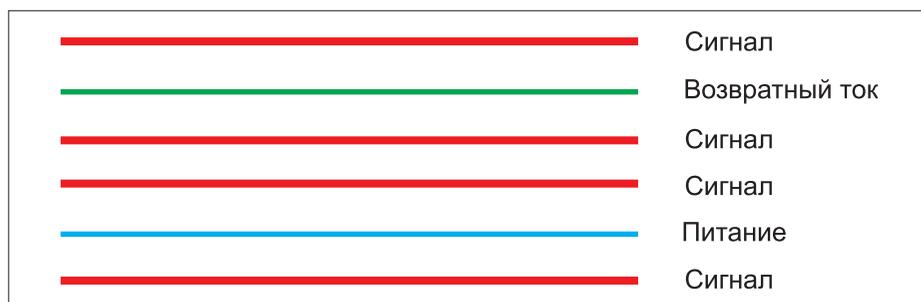


Рис. 5. Очень распространенная компоновка слоев шестислойной печатной платы с недопустимым уровнем ЭМП

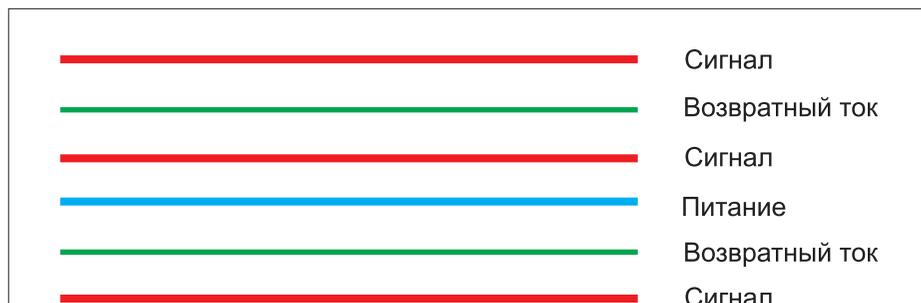


Рис. 6. Оптимальная компоновка слоев шестислойной печатной платы с точки зрения требований к ЭМП. Каждый сигнальный слой имеет смежную плоскость для возвратного тока; плоскости питания и соответствующего возвратного тока также являются смежными

кими и прямыми. Эти быстро распространяющиеся сигналы не должны проходить по длинным краям платы или вблизи разъемов. Цифровые сигналы необходимо удалять от цепей обратной связи операционных усилителей, поскольку даже небольшая емкостная связь нарушает целостность аналоговых сигналов.

Более подробную информацию о правильном конструировании печатной платы см. в [5–8]. В [4] даются рекомендации по оптимизации многослойной печатной платы. В [6] рассматривается способ установки во внутренней структуре печатной платы конденсаторов, сшивающих слои питания и возвратного тока.

Заделка экрана кабеля и экранной оплетки

Кабельный ввод

Первой проблемой, которая обнаруживается при анализе работы РЭА с недопустимо большим уровнем излучения ЭМП, является излучение кабелей. Его причина в том, что кабель введен в отверстие корпуса изделия без соответствующих защитных мер (рис. 7). Кроме того, установленные на плату разъемы могут «выглядывать» из корпуса через его отверстия, что при подключении кабелей также приводит к появлению помех, если отсутствует синфазная фильтрация на портах ввода-вывода или на разъемах питания.

В рассматриваемых случаях следует учитывать четыре возможные комбинации: экранированные и неэкранированные изделия, а также экранированные или неэкранированные кабели. Силовые кабели питания для потребительских или коммерческих изделий, как правило, не экранированы, и потому требуется фильтрация питающих линий в точке ввода или в разъеме монтажной платы. Кабели должны иметь экран, защищающий сигнальную жилу со всех сторон, и надежно соединяться с экранированным корпусом изделия. Если у изделия отсутствует экранированный корпус, необходимо установить синфазные фильтры в месте ввода кабеля или у разъемов портов ввода-вывода на печатной плате. На рис. 8 иллюстрируется случай, когда разъемы в отверстиях экранированного корпуса не оснащены должной защитой от помех.

Заделка кабельного экрана

Еще одна проблема заключается в соединении оплетки кабеля ввода-вывода с корпусом устройства или разъема косичкой, выполненной из той же экранной оплетки (рис. 9). В идеале для обеспечения низкого импеданса кабельные экраны должны быть круговыми, т. е. обеспечивать защиту в угле 360°. Косички ухудшают эффективность экранирования кабеля, увеличивая импеданс в месте подключения. Например, у 1-дюймового соединения рассматриваемого типа импеданс на частоте 100 МГц равен 12 Ом. Он растет с увеличением частоты, ухудшая экранирующие свойства

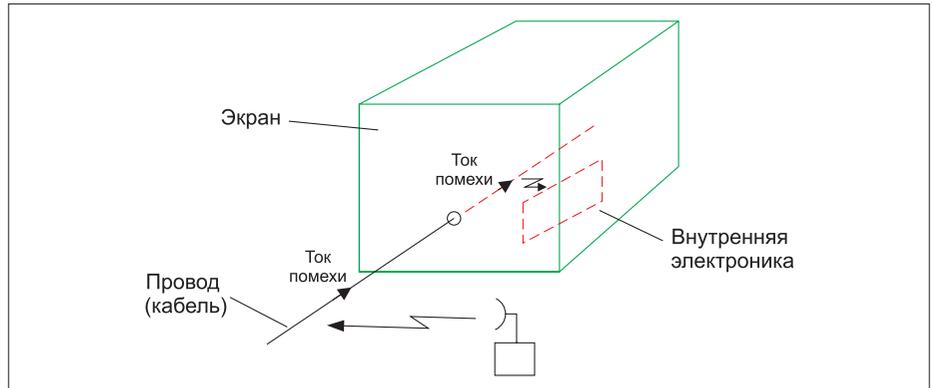


Рис. 7. Прохождение кабеля сквозь экран нарушает его защитные свойства

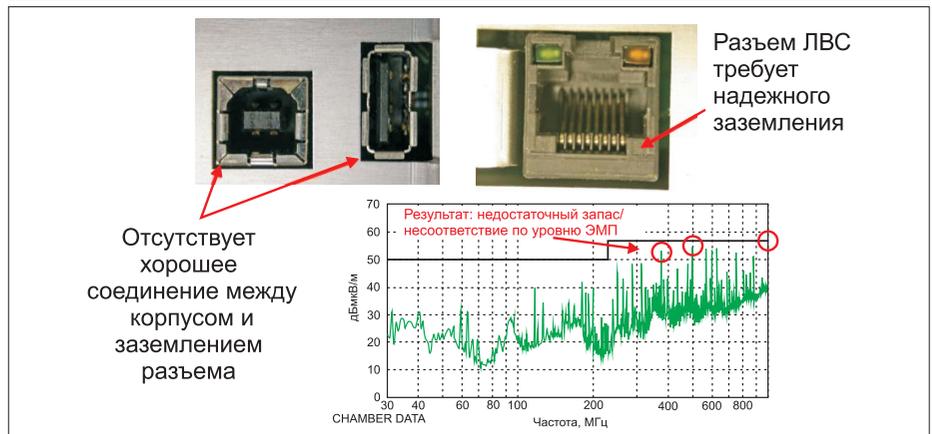


Рис. 8. Превышение уровня помех обусловлено отсутствием связи между разъемами портов ввода-вывода и экранированным корпусом



Рис. 9. Пример неудачного подключения экрана в кабеле HDMI

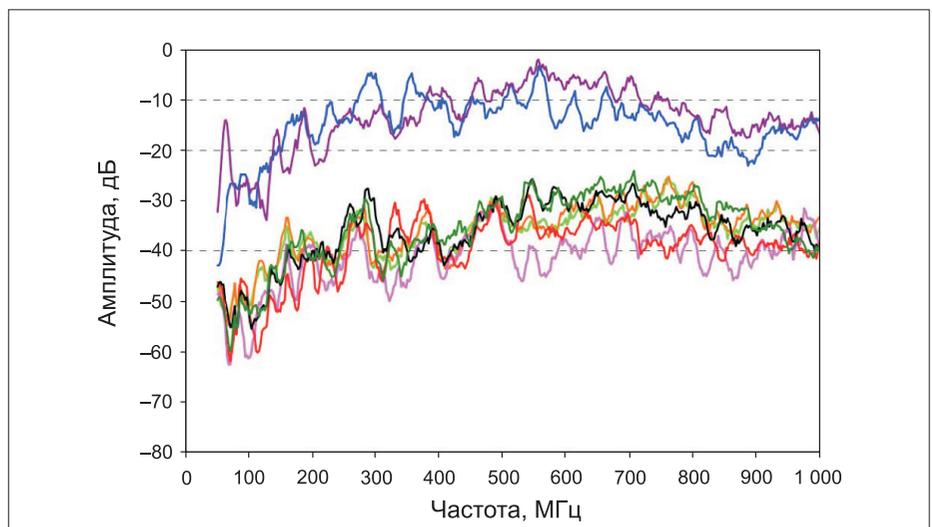


Рис. 10. Результаты тестирования восьми кабелей HDMI в полосе частот 30–1000 МГц. У двух из них излучение ЭМП на 25 дБ выше, что неприемлемо [11]

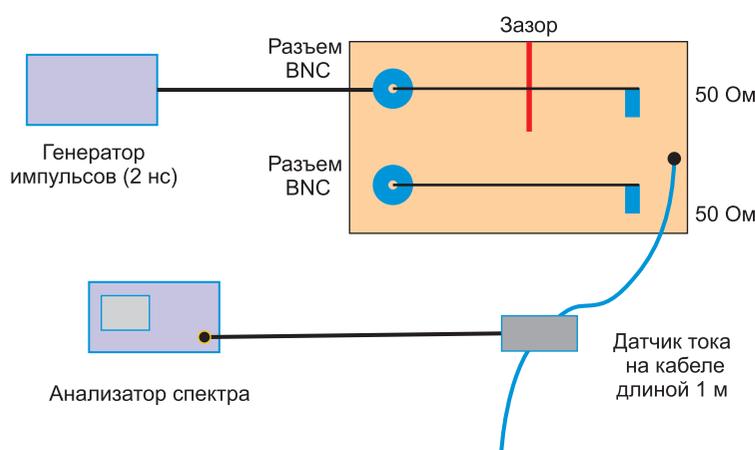
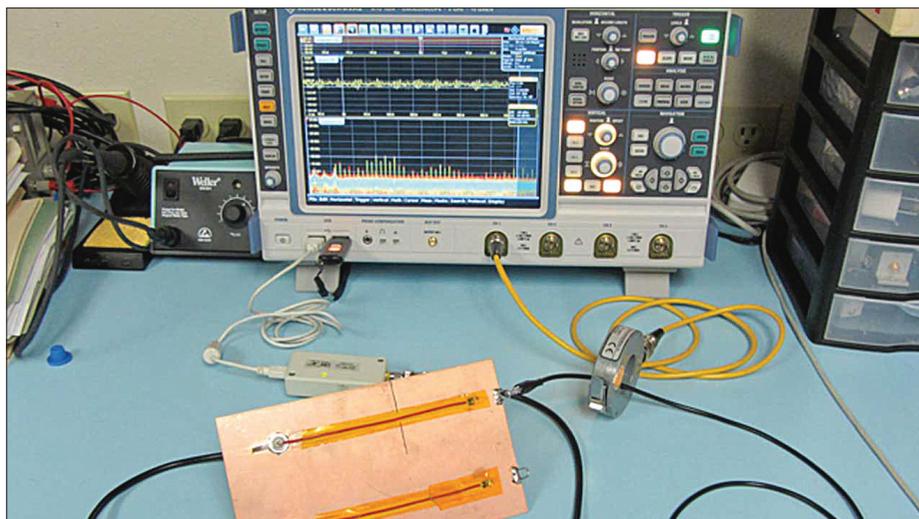


Рис. 11. Демонстрационная установка и испытательная плата с линиями передачи, нагруженными на импеданс 50 Ом. В одной линии передачи имеется зазор в плоскости обратного тока, а в другой отсутствует

кабеля. В примере на рис. 9 рассматривается соединение оплетки с кабелем HDMI, однако рабочая группа пока не смогла найти для интерфейса HDMI гарантированное решение задачи по подключению экрана кабеля к разъему.

На рис. 10 приведены результаты тестирования HDMI-кабеля восьми марок. Каждый из них возбуждался генератором сигнала, а уровень излучения ЭМП измерялся в испытательной камере путем сканирования по частоте. Подробный отчет об этом тесте см. в [10].

Щели в заземляющей плоскости

Разрывы импеданса или щели в тракте возвратного тока являются основными причинами излучения ЭМП, восприимчивости к радиоизлучению и отказов под воздействием разрядов статического электричества. Давайте вернемся к вопросу о неоднородностях тракта в плоскости обратного тока и рассмотрим подробнее, как они влияют на ЭМП. Когда тракт обратного тока в заземляющей плоскости прерывается, ток проводимости обтекает щель и находит ближайший (с наименьшим импедансом) путь к источнику. Электромагнитное поле распространяется по всей плате. В [12] и [22] рассматривается,

как неоднородности в трактах обратных токов влияют на синфазные токи, приводя к генерации ЭМП (рис. 11). Для оценки влияния неоднородностей в линии передачи сигнала поочередно в один из двух разъемов BNC подавались импульсы длительностью 2 нс, а датчик тока в проводнике, соединен-

ном с обратным трактом, измерял гармонические токи.

Разница между сигнальными цепями в слоях обратного тока с зазором и без него видна на рис. 12. Заметим, что у печатного проводника с неоднородностью в плоскости возвратного тока (показан красным) гармонические токи на 10–15 дБ выше. Эти токи являются источниками нежелательного излучения, вызывают наводки на плате и в кабеле, во многих случаях приводят к недопустимо высоким уровням ЭМП.

Рис. 11–12 весьма наглядно иллюстрируют то, как невнимательность при создании трактов обратных токов сигнала и питания может стать основной причиной несоответствия требованиям к уровню излучаемых ЭМП.

Проектирование схемы распределения питания

Схема разводки электропитания требует использования линии передачи с низким импедансом в пределах 0,1–1,0 Ом на частотах не менее 30 МГц. Назначение этой схемы состоит в передаче энергии по наиболее короткому пути от установленного на печатной плате ПК источника питания (часто модуля стабилизатора напряжения) импульсной ИС.

При переключении выходного каскада цифровой ИС появляется временной интервал, когда оба выходных транзистора двухтактного каскада частично включены. В результате возникает большой импульс сквозного тока между шиной питания и выводом обратного тракта питания микросхемы. Этот импульс уменьшает напряжение питания, вызывая т. н. шум одновременного переключения (SSN) на шине питания, который распространяется по всей печатной плате. Хорошо продуманная схемотехника и распределение питания на печатной плате минимизируют эти шумы и ЭМП.

Чтобы нейтрализовать уменьшение напряжения на шине питания,

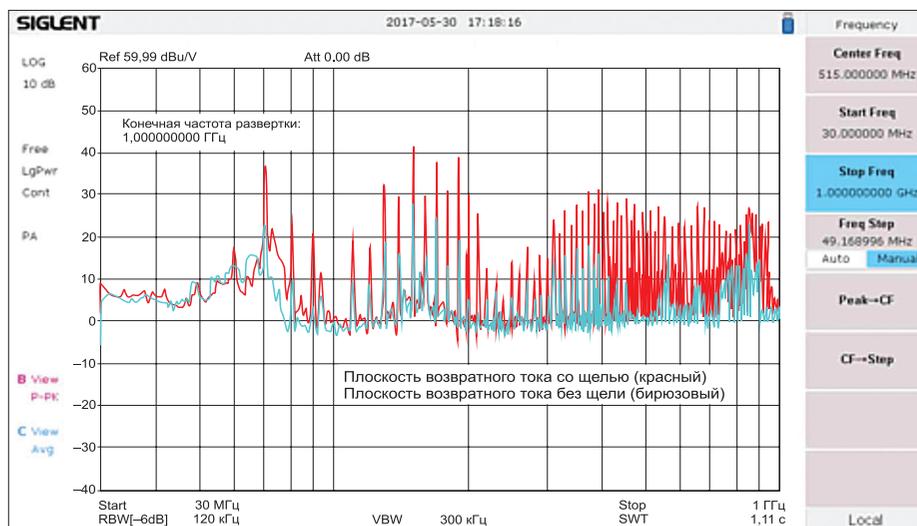


Рис. 12. Сигнал бирюзового цвета соответствует тракту возвратного тока без зазора, а красный сигнал — тракту с неоднородностью. Величина сигналов в случае возвратного тракта с зазором на 10–15 дБ больше сигналов в тракте без зазора

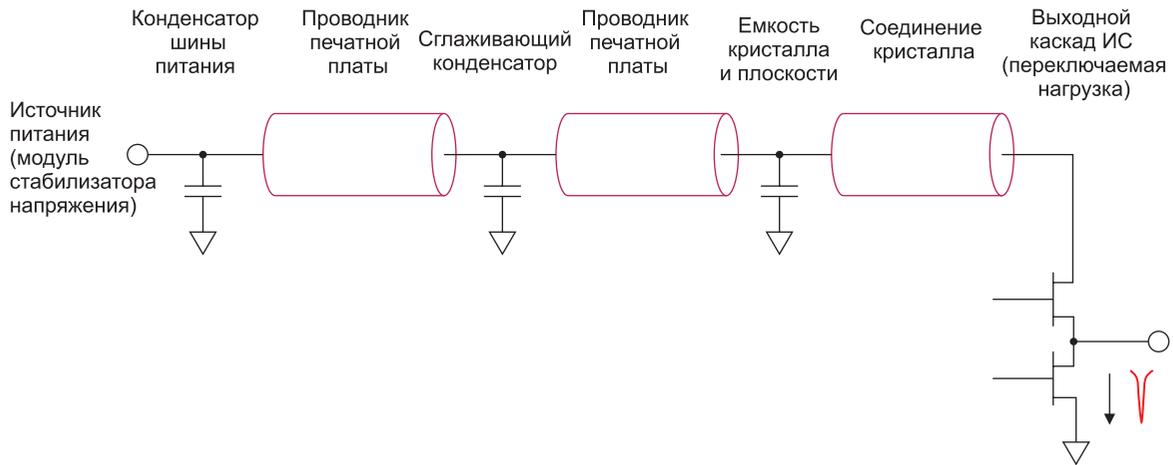


Рис. 13. Типовая модель схемы разводки электропитания

используются конденсаторы, емкость которых выбирается таким образом, чтобы ее было достаточно для накопления требуемого количества энергии. Однако это еще не все. На рис. 13 показана типичная модель схемы распределения питания с его источником, подающим энергию в ИС. Между ними имеется ряд конденсаторов (выходной для шины питания, сглаживающий и собственная емкость кристалла или плоскости) и линии передачи (тракты печатной платы). К сожалению, источнику питания требуется определенное время для передачи микросхеме необходимой энергии. Например, на передачу тока по дорожке длиной 1/16 дюйма для подключения ИС требуется около 600 пс [13]. По этой причине особенно важно, чтобы

тракты распределения питания были как можно более короткими и прямыми.

Было бы очень хорошо, если бы общая потребность в энергии удовлетворялась за счет встроенных в кристалл конденсаторов и в т. ч. с помощью распределенной емкости плоскости питания. Поскольку емкости таких конденсаторов, как правило, не хватает, чтобы удовлетворить всю потребность в энергии, используются конденсаторы, расположенные рядом с нагрузкой. Последовательная индуктивность (в виде собственной индуктивности и индуктивности печатного проводника) сглаживающих конденсаторов должна быть как можно меньше. Чем она больше, тем труднее обеспечить требуемую энергию для нагрузки, и шумы одновременного

переключения приводят к распространению помех по всей печатной плате.

Если же упомянутые конденсаторы в состоянии обеспечить потребности в энергии для подавления шумов одновременного переключения, тогда задача выходного конденсатора источника питания состоит в том, чтобы «перезарядить» следующие за ним конденсаторы в промежутке между импульсными переходными процессами, связанными с переключениями ИС. Для обеспечения максимально короткого времени перезарядки разводка цепей питания выполняется в виде линий передачи с низким импедансом.

Конденсаторы шины питания ИС емкостью 4,7–10 мкФ (тип.), как правило, устанавливаются рядом с входным разъемом цепи питания, а сглаживающие конденсаторы емкостью 1–10 нФ (тип.) — как можно ближе к самым шумным импульсным устройствам. Чтобы уменьшить последовательную индуктивность, все сглаживающие конденсаторы устанавливаются как можно ближе к ИС и максимально близко к переходным отверстиям. Чтобы в еще большей мере уменьшить эту индуктивность, используется несколько переходных отверстий для каждого вывода конденсатора. Особенности разводки цепей питания см. в [14–16].

Проектирование экранов

Для решения двух проблем с экранированными корпусами требуется, чтобы все элементы были хорошо соединены друг с другом, а кабель питания или кабель ввода-вывода проходили в корпус, не вызывая утечки синфазных токов. Для надежного соединения металлических частей требуются специальные помехопоглощающие прокладки или другие методы скрепления. На рис. 14 показана диаграмма для определения затухания на заданной частоте при заданной длине щели [13]. Например, если требуется, чтобы эффективность экранирования была не менее 20 дБ на частоте 1 ГГц, самая большая допустимая длина паза составит всего 1,27 см.

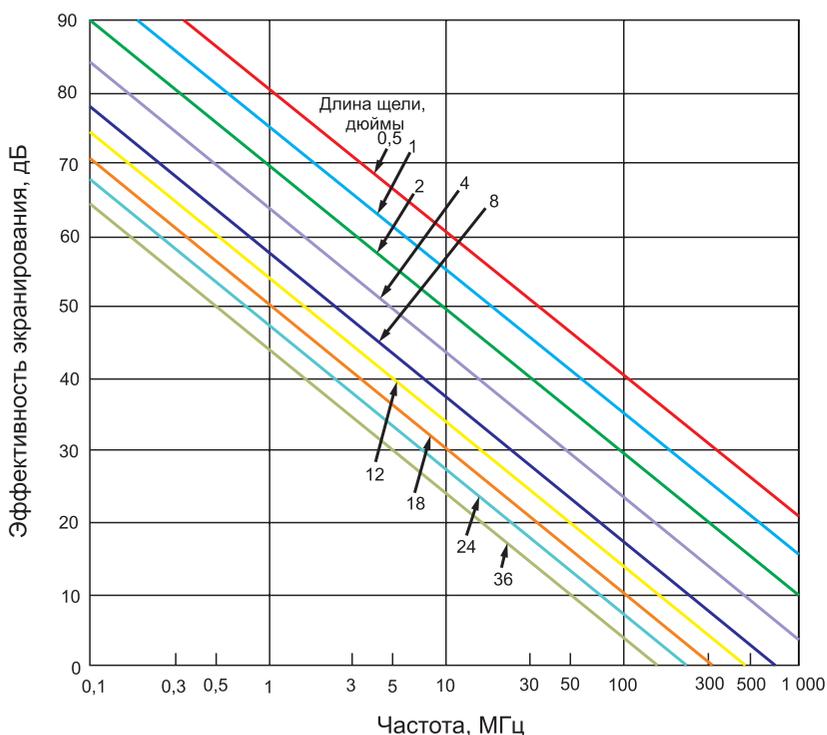


Рис. 14. Номограмма ослабления ЭМП в зависимости от длины щели и частоты

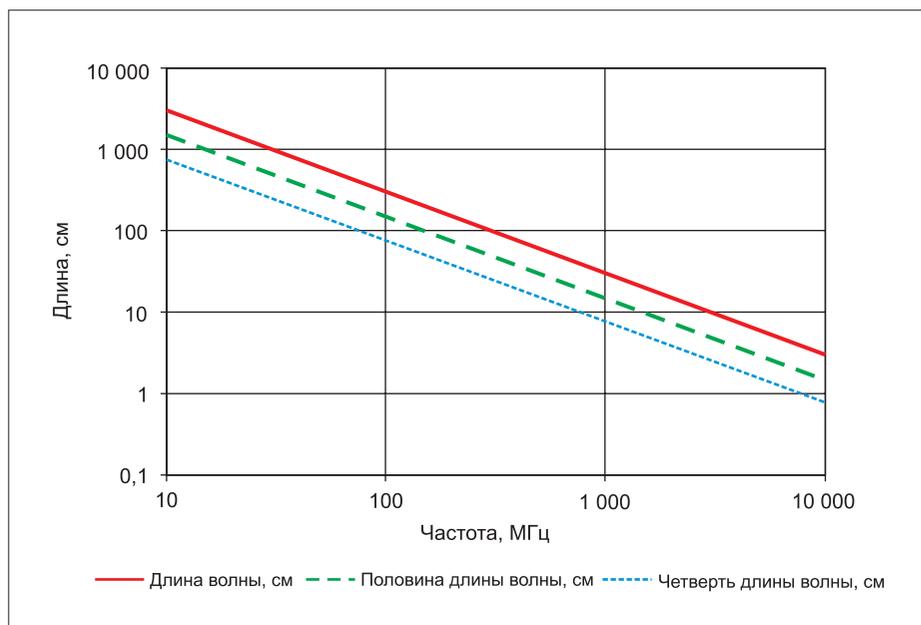


Рис. 15. Диаграмма для определения резонансной частоты в зависимости от длины кабеля или щели в свободном пространстве. Полуволновые щели работают как дипольные антенны и потому доставляют разработчикам немало хлопот

Наличие пазов или отверстий в экранированных корпусах вызывает проблему, когда их самый длинный размер приближается к половине длины волны. На рис. 15 представлен график зависимости длины волны от частоты [11]. Например, при наличии 15-см щели полуволновой резонанс возникает на частоте 1000 МГц. Как правило, вентиляционные отверстия должны быть круглым, а их диаметр — не превышать 0,64 см. Можно использовать и прорези, но они не должны быть длиннее 1,27 см, чтобы не ухудшилась заданная эффективность экранирования.

Подробнее об экранировании см. [11, 17], а также [18].

Выводы

Решение рассмотренных в этой статье проблем проектирования изделий поможет уменьшить риск повышения уровня ЭМП при тестировании устройств на соответствие требованиям. Однако если заняться решением проблем ЭМС на самых ранних этапах ОКР,

можно в итоге сэкономить немало времени и средств. ■

Литература

1. Рентюк В. Электромагнитная совместимость: проблема, от решения которой не уйти//Компоненты и технологии. 2017. № 7.
2. Wyatt Kenneth. The Top Five Reasons Products Fail EMI Testing//interferencetechnology.com/the-top-five-reasons-products-fail-emi-testing.
3. Уайетт К. Особенности конструирования печатных плат с выполнением требований по ЭМС//Компоненты и технологии. 2019. № 6.
4. Уайетт К. Особенности конструирования печатных плат с выполнением требований по ЭМС: подробнее о разбиении платы на области и маршрутизации//Компоненты и технологии. 2020. № 3
5. Bogatin Eric. Signal Integrity – Simplified. Prentice-Hall. 2009.

6. Morrison Ralph. Grounding and Shielding – Circuits and Interference. Wiley. 2016.
7. Morrison Ralph. Digital Circuit Boards – Mach 1 GHz. Wiley. 2012.
8. Beeker Daniel. Effective PCB Design//www.nxp.com.
9. Солберг Верн. Проблемы применения дискретных SMD-элементов во внутренних слоях многослойных печатных плат//Электронные компоненты. 2019. № 1.
10. Dana J. Bergey, Nathan E. Altland, EMI Shielding of Cable Assemblies. DesignCon 2008//www.magazines007.com.
11. Andr Patrick and Wyatt Kenneth. EMI Troubleshooting Cookbook for Product Designers. SciTech. 2014.
12. Wyatt Kenneth, Gaps in Return Planes – Bad News for EMI//interferencetechnology.com.
13. Ott Henry. Electromagnetic Compatibility Engineering. Wiley. 2009.
14. Larry D. Smith, Eric Bogatin. Principles of Power Integrity for PDN Design. Prentice-Hall. 2017.
15. Sandler Steven, Power Integrity. Measuring, Optimizing, and Troubleshooting Power Related Parameters in Electronic Systems. McGraw Hill. 2014.
16. Novak Istvan, Miller Jason. Frequency-Domain Characterization of Power Distribution Networks. Artech House. 2007.
17. Interference Technology's 2016 EMI Shielding Guide//learn interferencetechnology.com.
18. Рентюк В. Экраны для подавления электромагнитных помех: понимание основ и предложение компании TDK//Компоненты и технологии. 2020. № 2.
19. Kenneth Wyatt. Having Trouble Getting Your Product to Meet EMC Requirements?//www.emc-seminars.com.
20. Электромагнитная совместимость в электронике – 2018. Сборник//https://www.emc-e.ru/magazine/emc-2018/.
21. Электромагнитная совместимость в электронике – 2019. Сборник//https://www.emc-e.ru/magazine/emc-2019/.
22. Gaps in Return Plane Demo//https://www.youtube.com/watch?v=L44ITnQgy-o.

Статья опубликована в журнале «Электронные компоненты» № 05'2020

Путеводитель по электронным компонентам — настольная книга для разработчиков



Умеете ли вы читать datasheet и понимаете ли до последней строчки все, что там написано? Вряд ли большинство разработчиков дадут утвердительный ответ на этот вопрос. Часто мы лишь смотрим основные параметры и уделяем мало внимания другим разделам. Иногда такой подход сходит нам с рук, но бывают случаи, когда последствия такого пренебрежения приходится устранять паяльником на готовой плате.

«Путеводитель по электронным компонентам» подскажет вам, как избежать нелепых ошибок и на что следует обратить внимание при чтении документации. В этой книге вы найдете сведения не только по всем компонентам, но и по международным стандартам, и по контрафактам, и по многим другим вопросам, актуальным в повседневной практической деятельности инженеров и разработчиков.

С содержанием книги можно ознакомиться [по ссылке](#)
Для юридических лиц предусмотрена подписка [по счету](#)
Частные лица могут приобрести [через систему timerpad](#)

Издательство Медиа группа Файнстрит
2016.-308 с.
ISBN 978-5-7629-1749-0

Заказать книгу:
+7 812 467-45-85
padpiska@fsmedia.ru