

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С УЧЕТОМ ЭМС

В мае 1989 года Совет Европейского Сообщества опубликовал Директиву 89/336/ЕЕС, относящуюся к электромагнитной совместимости изделий, продаваемых в государствах-членах Европейского Сообщества. Последующая поправка 92/31/ЕЕС определила соответствие изделий Директиве 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, чтобы изделия имели высокую собственную защищенность от излучения других источников и поддерживали интенсивность излучения в строго определенных пределах.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Электромагнитная совместимость, ЭМС (Electromagnetic compatibility, EMC) – это способность в процессе функционирования не вносить чрезмерно большую величину электромагнитного излучения в окружающую среду. 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.**

* Автор перевода выражает благодарность за предоставленное разрешение авторов статьи и редакции журнала PCD&M на размещение данного перевода на сайте www.elart.narod.ru.

** Вступление написано автором перевода.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С УЧЕТОМ ЭМС: 4 ГЛАВНЫХ ПРАВИЛА

Известна общая проблема правил – чем больше вы их имеете, тем сложнее выполнить все. Поэтому чрезвычайно важна расстановка приоритетов их выполнения.

Предположим, при создании многослойной печатной платы нужно развести трассу высокочастотного сигнала от аналогового компонента к цифровому. Естественно, что при этом надо минимизировать вероятность возникновения проблемы электромагнитной совместимости. В интернете находим три рекомендации, которые, кажется, имеют отношение к нашей ситуации:

1. Минимизировать длины шин высокочастотных сигналов.
2. Разделить шины питания и земли между аналоговой и цифровой частями схемы.
3. Не разрывать полигоны земли высокочастотными проводниками.

Наше видение трех возможных вариантов разводки показано на рис.1. В первом случае трассы разводятся непосредственно между двумя компонентами, и полигон земли остается сплошным. Во втором случае формируется разрыв в полигоне, и трассы проходят поперек этого разрыва. В третьем случае трассы прокладываются вдоль разрыва в полигоне.

ОБ АВТОРАХ

Тодд Хьюбинг (Todd Hubing) – доктор, заслуженный профессор электротехники и вычислительной техники, дважды награжден призом "Лучшие публикации симпозиума" Международного симпозиума института инженеров по электротехнике и электронике.

Том Ван Дорен (Tom Van Doren) – доктор, профессор электротехники и компьютерной инженерии Лаборатории электромагнитной совместимости Университета Миссури-Ролла.

В каждом из этих случаев происходит нарушение одного из вышеперечисленных правил. Являются ли эти альтернативные случаи одинаково хорошими, поскольку они удовлетворяют двум из трех правил? Все ли они плохи, поскольку каждый из них нарушает хотя бы одно правило?

Проблема соблюдения правил состоит в том, что чем их больше, тем менее вероятно, что удастся квалифицировано их исполнить. По этой причине важно правильно расположить приоритеты в рекомендациях по разводке печатной платы. В университете Миссури-Ролла для старших студентов и аспирантов мы преподаем курс электромагнитной совместимости. Каждый год студентам предлагается решить различные дизайнерские задачи, в которых требуется разместить компоненты и вручную развести простые печатные платы. При этом студенты знакомы с понятиями паразитных индуктивностей и емкостей и теорией антенн. Их обеспечивают списком из 40 рекомендаций по ЭМС, каждая из которых подробно обсуждается в группе. Однако качество расстановки компонентов и разводки первых плат неизменно располагается в уровнях от "приемлемого" до "ужасного". Во многих случаях первые решения хуже тех, которые разрабатывались бы без учета рекомендаций.

Проблемы уменьшаются после расположения рекомендаций по приоритетам. Рекомендации к конструктивному исполнению полезны в том случае, если они хорошо поняты и составляют часть полной стратегии. После того, как дизайнеры научатся располагать рекомендации по приоритетам и понимать, как эти рекомендации должны использоваться, они смогут квалифицировано проектировать хорошие печатные платы.

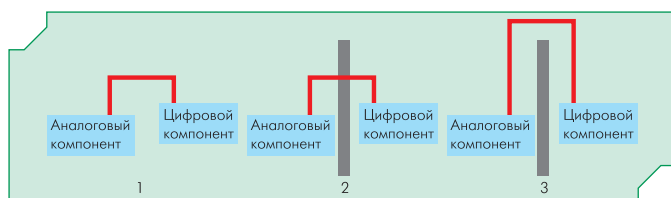


Рис. 1 Три возможных варианта разводки. Только первый вариант не противоречит нашим правилам по ЭМС. Если требуется вырез в полигоне, то третий вариант – лучший

Далее приведены четыре главных правила по ЭМС, основанные на общих особенностях изделий электроники. Во многих случаях дизайнеры печатных плат преднамеренно нарушают одно из этих правил в попытках выполнить более важные.

ПРАВИЛО 1 – МИНИМИЗИРУЙТЕ ПУТЬ СИГНАЛЬНОГО ТОКА

Это простое правило присутствует почти в каждом списке рекомендаций ЭМС, но часто оно либо игнорируется, либо значение его приуменьшается в пользу других рекомендаций. Часто дизайнер печатных плат даже не задумывается о том, где протекают сигнальные токи, и предпочитает думать о сигналах в величинах напряжения, а должен бы думать в величинах тока.

Есть две аксиомы, которые должен знать каждый дизайнер печатных плат:

- сигнальные токи всегда возвращаются к своему источнику, т.е. путь тока представляет собой петлю,
- сигнальные токи всегда используют путь с минимальным импедансом.

На частотах несколько мегагерц и выше путь сигнального тока относительно просто определить потому, что путь с минимальным импедансом есть, в общем случае, путь с минимальной индуктивностью. На рис.2 показаны два компонента на печатной плате. Сигнал частотой 50 МГц распространяется по проводнику над полигоном от компонента А к компоненту В.

Мы знаем, что такой же по величине сигнал должен распространяться обратно от компонента В к компоненту А. Предположим, что этот ток (назовем его возвратным) протекает от вывода компонента В, обозначенного GND, к выводу компонента А, обозначенного также GND.

Поскольку обеспечена целостность (неразрывность) полигона, и выводы, обозначенные как GND, обоих компонентов расположены близко друг от друга, то это склоняет к заключению, что ток выберет самый короткий путь между ними (путь 1). Однако это не правильно. Высокочастотные токи вы-

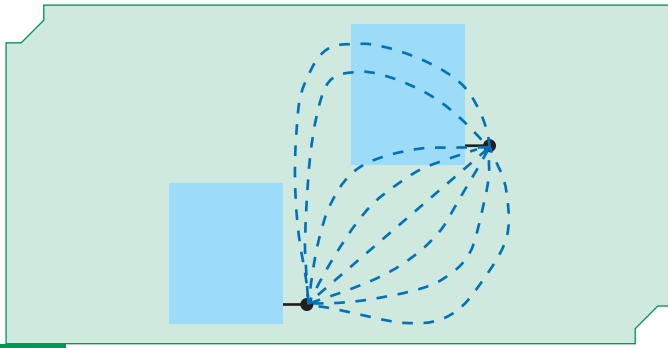


Рис. 4 Сопротивление полигонов стремится рассеять возвратный ток на низких частотах (кГц и ниже)

ми, трассами и разъемами. Соединение с корпусом должно быть ограничено областью платы около разъемов.

Несомненно, существуют такие ситуации, когда хорошо расположенный разрыв в полигоне возвратного тока требуется. Однако самый надежный метод – один сплошной полигон для всех возвратных сигнальных токов. В случаях, когда отдельный НЧ-сигнал восприимчив к наводкам (способен смешиваться с другими сигналами платы), используется трассировка на отдельном слое для возврата этого тока к источнику. Вообще, никогда не следует использовать разбиение или вырезку в полигоне возвратного сигнального тока. Если же все-таки убеждены, что вырез в полигоне необходим для решения проблемы низкочастотной развязки, посоветуйтесь с экспертом. Не полагайтесь на рекомендации к конструктивному исполнению или на приложения и не пробуйте реализовать схему, которая работала у кого-то в другой подобной конструкции.

Теперь, когда мы знакомы с двумя главными правилами ЭМС, мы готовы повторно обратиться к проблеме (см. рис.1). Который из альтернативных вариантов лучший? Первый – единственный, который не противоречит правилам. Если по каким-то причинам (вне дизайнерского желания) разрыв в земляном полигоне потребовался, то третий вариант разводки более приемлем. Трассировка вдоль разрыва минимизирует область сигнальной токовой петли.

ПРАВИЛО 3 – НЕ РАСПОЛАГАЙТЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ СХЕМЫ МЕЖДУ РАЗЪЕМАМИ

Это – одна из наиболее общих проблем среди конструкций плат, которые мы пересмотрели и оценили в нашей лаборатории. В простых платах, которые не должны были иметь никаких сбоев при всех требованиях ЭМС безо всяких дополнительных затрат и усилий, хорошая экранировка и фильтрация сводились на нет, потому что было нарушено это простое правило.

Почему размещение разъемов так важно? При частоте ниже нескольких сотен мегагерц длина волны – порядка метра или более. Проводники на плате – возможные антенны – имеют относительно малую электрическую длину и поэтому работают неэффективно. Однако кабели или другие устрой-

ства, соединенные с платой, могут быть достаточно эффективными антеннами.

Сигнальные токи, текущие по проводникам и возвращающиеся через сплошные полигоны, создают малые падения напряжений между любыми двумя точками полигона. Эти напряжения пропорциональны протекающему по полигону току. Когда все разъемы размещены с одного края платы, падение напряжения незначительно.

Однако высокоскоростные элементы схем, размещенные между разъемами, могут легко создавать разность потенциалов между разъемами до нескольких милливольт и более. Эти напряжения могут наводить токи возбуждения на подключенные кабели, увеличивая их излучение.

Плата, у которой выполняются все технические требования, когда разъемы расположены у одного края, может стать кошмаром для инженера по ЭМС, если хотя бы один разъем с подключенным кабелем расположен у противоположной стороны платы. Изделия, у которых обнаруживают эту проблему (кабели, передающие напряжения, индуцированные через целостный полигон), особенно трудно привести в нормальное состояние. Часто при этом требуется достаточно хорошая экранировка. Во многих случаях эта экранировка была бы совсем не нужна, если бы разъемы располагались у одной стороны или в углу платы.

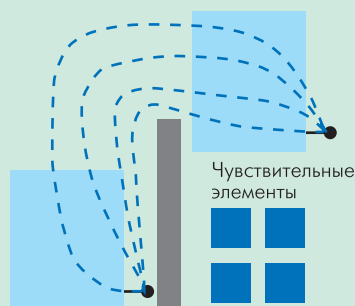


Рис.5 Хорошо расположенный вырез в полигоне защищает чувствительные элементы схемы от низкочастотных возвратных токов

ПРАВИЛО 4 – ПЕРЕХОДНОЕ ВРЕМЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО СИГНАЛА

Плата, работающая на тактовой частоте 100 МГц, никогда не должна соответствовать требованиям при работе на частоте 2 ГГц. Хорошо сформированный цифровой сигнал будет иметь большую мощность на низших гармониках и не так много мощности на высших. Управляя переходным временем сигнала, можно управлять мощностью сигнала на высших гармониках, что предпочтительно для ЭМС. Чрезмерно большое переходное время может приводить к нарушению целостности сигнала и к тепловым проблемам. В процессе разработки и дизайна должен быть достигнут компромисс между этими конкурирующими необходимыми условиями. Переходное время, равняющееся приблизительно 20% от периода сигнала, приводит к приемлемой форме сигнала, уменьшая проблемы, возникающие из-за перекрестных помех и излучения. В зависимости от применения, переходное время может быть более или менее 20% от периода сигнала. Однако это время не должно быть неконтролируемым.

Имеется три основных способа изменения фронтов цифровых сигналов:

- использование цифровых микросхем серии, быстродействие которой совпадает с требуемым быстродействием,
- размещение резистора или индуктивности на феррите последовательно с выходным сигналом,
- размещение конденсатора параллельно с выходным сигналом.

Первый способ является часто самым простым и наиболее действенным. Использование резистора или феррита предоставляет дизайнеру большую возможность управления переходным процессом и меньше воздействует на изменения, которые происходят в логических семействах спустя некоторое время. Преимущество использования конденсатора для управления заключается в том, что он может быть легко удален, если в нем нет необходимости. Однако необходимо помнить, что конденсаторы увеличивают ток источника ВЧ-сигнала.

Обратите внимание на то, что пробовать фильтровать однопроводный сигнал в пути возвратного тока – это всегда плохая идея. Например, никогда не разводите низкочастотную трассу через разрыв в полигоне возвратного сигнала, пытаясь отфильтровать высокочастотный шум. После рассмотрения первых двух правил это должно быть очевидным. Однако платы, использующие эту неверную стратегию, иногда выявляются в нашей лаборатории.

Вообще говоря, в процессе дизайна конструкции и разводки платы необходимо расставить приоритеты для выполнения правил ЭМС. Эти правила не должны быть предметом компромисса в попытках следования другим рекомендациям ЭМС. Однако имеется несколько дополнительных, заслуживающих внимания, рекомендаций. Например, важно обеспечить адекватное разделение шины питания, делать проводники ввода-вывода короткими и предусматривать фильтрацию выходных сигналов.

Хорошей идеей также является тщательный выбор активных устройств. Не все совместимые по выводам полупроводниковые компоненты эквивалентны с точки зрения шума. Два устройства с одинаковыми техническими параметрами, но сделанные различными фирмами-изготовителями, могут значительно отличаться по шуму, который они создают на входных и выходных выводах, а также на выводах питания. Это особенно справедливо для микросхем с высокой степенью интеграции, таких как микропроцессоры и большие специализированные интегральные схемы (ASIC). Хорошей идеей является оценка компонентов от различных производителей всякий раз, когда это возможно.

И, наконец, пересмотрите еще раз ваш дизайн. Даже если вы – опытный разводчик печатных плат и эксперт по ЭМС, нужно иметь кого-то, кто хорошо осведомлен относительно анализа ЭМС и знаком с конструированием печатных плат. Пусть он критически рассмотрит дизайн печатной платы.

Чьим же советам можно верить? Доверяйте любому, чьи рекомендации четко помогают выполнить четыре главные правила. Немного дополнительного внимания во время дизайна поможет сохранить много времени, денег и усилий, которые были бы потрачены впустую в попытках заставить правильно работать неуступчивое изделие. □