

Методика проектирования печатной платы для контроллеров Ethernet KSZ8841/42

Перевод И. Г. Каршенбойм, iosifk@eltech.spb.ru

ВВЕДЕНИЕ

Для того, чтобы успешно выполнить проект по разработке печатной платы (PCB) для быстродействующих схем и учесть проблемы целостности сигнала, необходимо тщательно выполнить все требования по расположению компонентов на плате и принять все необходимые меры по фильтрации питания.

Эта методика описывает некоторые общие принципы и рекомендации, которые облегчат проектирование PCB и ускорят время отладки системы для микросхем KSZ8841/42 – семейства контроллеров Ethernet в ЛВС.

Будут рассмотрены следующие темы:

- расположение компонентов и стратегия использования слоев PCB;
- вопросы электропитания и фильтрации помех;
- аналоговая часть схемы стыка с Ethernet и проблемы защиты от электростатического разряда (ESD);
- проблемы целостности сигнала;
- практические методы отладки для платы KSZ8841/42.

РАСПОЛОЖЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ И СТРАТЕГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЛОЕВ PCB

Micrel настоятельно рекомендует использовать для высокоскоростных проектов устройств, подключаемых к ЛВС Ethernet, печатные платы, имеющие, по крайней мере, 4 слоя. Известно, что стоимость печатной платы пропорциональна площади поверхности платы и числу слоев. Типичная плата с 4 слоями выполняется так, чтобы чувствительные к быстродействию трассы сигналов и дифференциальные пары не проходили бы через переходные отверстия. Это необходимо, чтобы соединить микросхемы, расположенные на слое компонентов (верхняя поверхность платы). Второй слой – непрерывный и широкий слой земли. Аналогично слою земли выполнен и третий слой – слой питания. Четвертый, самый нижний слой – это слой, по которому проходят трассы сигналов. Эти четыре слоя и показаны на рис. 1.

Рекомендации к проектированию PCB:

1. Используйте единственную точку соединения слоя земли с корпусом прибора – шасси. Корпус прибора должен быть отделен от слоя “цифровой” земли, чтобы уменьшить EMI и вместе с тем улучшить защиту от электростатического разряда, так, как показано на рис. 1;
2. Удаляйте все слои питания и земли на всех слоях платы непосредственно под трансформаторами;
3. Не проводите маршруты трасс сигналов с поворотами на 90 градусов. Вместо этого должны быть выполнены повороты на 45 градусов, с шириной дорожки PCB, рассчитанной с учетом номинала тока, который ожидается в данной цепи;
4. Для проходящих по плате высокоскоростных сигналов, примите дополнительные меры, а именно: избегайте переходных отверстий и контактных площадок на дорожках этих сигналов, так как переходные отверстия создадут нежелательную емкость и индуктивность, а это, в свою очередь, может вызвать отражения и искажения сигналов из-за неоднородности импеданса при переходе от отверстия к трассе;
5. Убедитесь, что Вы проверили и согласовали импедансы на всех трассах высокоскоростных сигналов, и там везде есть соответствующие схемы согласования;
6. Все линии данных/синхросигналы для высокоскоростных сигналов, и дифференциальные трассы должны иметь одинаковую длину;
7. Отделяйте области с различными тактовыми частотами между аналоговыми и цифровыми компонентами схемы, чтобы избежать взаимовлияния друг на друга;
8. Помните о том, что задержка распространения по трассе, проходящей по внешнему слою составляет 57 пс на см, в то время как задержка распространения по трассе, проходящей по внутренним слоям – 71 пс на см;
9. Из-за того, что физические параметры материала имеют ограничения, материал FR-4 используется только для частот до 500 МГц, а материал GE-Tek можно применяться и до 800 МГц. Материал GE-Tek позволяет повысить производительность по сравнению с FR-4, но он дороже;
10. Все компоненты схемы (в том числе кварцевые резонаторы) должны быть расположены как можно ближе к выводам входов/выходов микросхемы, находиться в верхнем слое и иметь нестабильность частоты в пределах ± 50 PPM.

Все спецификации и документацию можно получить на сайте Micrel: www.micrel.com.

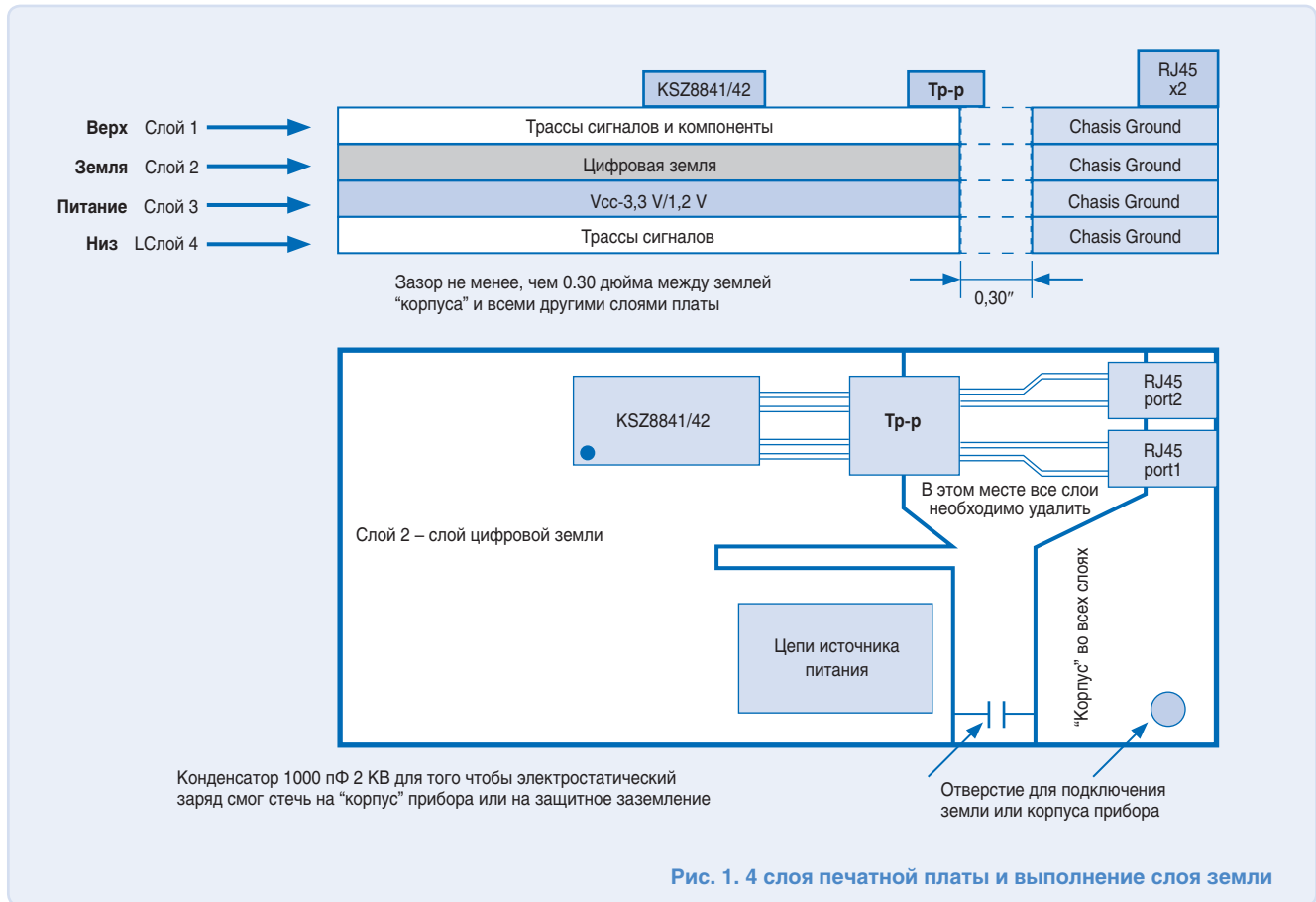


Рис. 1. 4 слоя печатной платы и выполнение слоя земли

ВОПРОСЫ ПИТАНИЯ И ФИЛЬТРАЦИИ ПОМЕХ

Проблемы проектирования питания и фильтрация помех в печатных платах для высокочастотных систем, достаточно серьезны, так как необходимо удовлетворять большому количеству разнообразных требований.

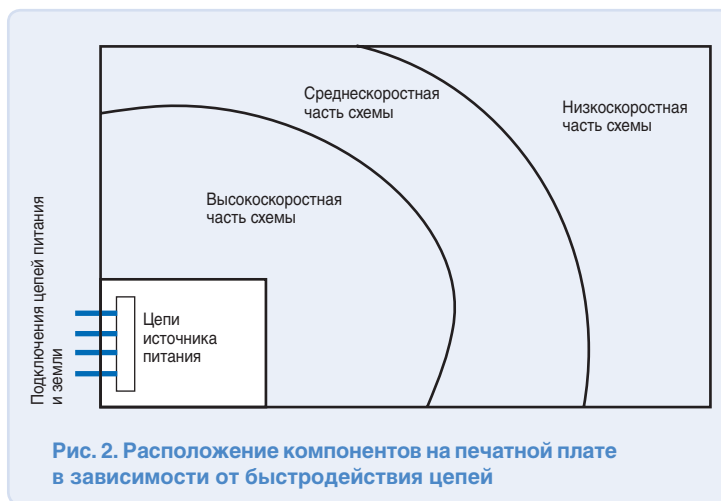


Рис. 2. Расположение компонентов на печатной плате в зависимости от быстродействия цепей

В общем случае, высокочастотные цепи потребляют большую мощность, чем подобные низкочастотные цепи. Это означает, что разводка электропитания должна быть выполнена так, чтобы слои питания были способны обеспечить большие импульсные и постоянные токи, и соответственно, слой земли должен покрывать как можно большую область платы для того, чтобы уменьшить длину и индуктивность цепей земли по которым токи текут обратно в источник питания.

Такой подход к проектированию позволяет устранить шум в цепях земли. Лучший результат дает такое расположение компонентов схемы на печатной плате, когда самые высокочастотные компоненты схемы расположены в непосредственной близости к разъему питания, и, следовательно, имеют самый короткий путь для прохождения тока питания и возвратного тока, так как показано на рис. 2.

Методы фильтрации для KSZ8841/42

Проблемы фильтрации, возникающие при проектировании печатной платы можно разделить на две части: фильтрация входного напряжения и фильтрация напряжения на уровне микросхемы. В обоих случаях, фильтрующие конденсаторы и ферритовые бусинки позволяют получить быстрый отклик по току, не создавая шумы или провалы напряжения, что и позволяет иметь уровень шумов питания и земли ниже чем 50 мВ (размах).

В типичной схеме распределения питания, рядом с входным разъемом питания устанавливается фильтрующий конденсатор, относительно большой емкости (100 мкФ или больше).

**АНАЛОГОВАЯ ЧАСТЬ СТЫКА С ETHERNET
И ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА**

На рис. 4 изображена схема аналоговой части стыка с Ethernet, выполненная для KSZ8841/42. На этой схеме представлены компоненты, необходимые для работы по медному кабелю, начиная от разъема RJ45 и трансформатора до самой микросхемы KSZ8841/42, а также элементы согласования, необходимые для работы в этом режиме.

Проектируя аналоговую часть стыка с Ethernet, необходимо помнить:

1. Трансформатор должен быть расположен как можно ближе к разъему RJ45;
2. Трансформатор обеспечивает EMI и изоляцию от электростатического разряда между микросхемой KSZ8841/42 и кабелем, подключенным к разъему RJ45;
3. Микросхемы KSZ8841/42 необходимо размещать как можно ближе к трансформатору;
4. Чтобы обеспечить наиболее эффективную защиту от электростатического разряда, необходимо применять дискретный трансформатор, а не модуль, в котором объединены трансформатор и разъем RJ45. Это обеспечит лучшую изоляцию между контроллером Ethernet и разъемом RJ45;
5. Дифференциальные пары (TX+/- или RX+/-) необходимо расположить как можно дальше от всех других сигналов и как можно ближе друг к другу, использовать ширину дорожки 0,127 мм, расстояние между трассами – 0,127 мм, и иметь, по-возможности, одинаковую длину, то же самое необходимо сделать для цепей согласования импеданса в 100 Ом;
6. Трассы пар сигналов TX+/- и RX+/- необходимо располагать как можно дальше друг от друга, минимум в четыре раза больше, чем расстояние между трассами – 0,127 мм;
7. Если можно, располагайте трассы всех дифференциальных пар, относящихся к одной и той же области слоев питания и земли, в верхнем слое печатной платы, предназначенном для размещения компонентов, не используя переходные отверстия;
8. Неиспользованные пары в кабеле, приходящие на разъем RJ45 (выводы 4 и 5, 7 и 8) должны быть нагружены так, как показано на рис. 4. Все эти соединения необходимо провести широкими и короткими трассами как можно ближе к разъемам RJ45;
9. Рекомендуется использовать разъем RJ45 с металлическим корпусом. Для улучшения защиты от электростатического разряда этот корпус этого разъема должен быть связан непосредственно с корпусом прибора;
10. Чтобы упростить трассировку цепей, и улучшить защиту от электростатического разряда используйте разъем с контактами для поверхностного монтажа и без светодиодов.

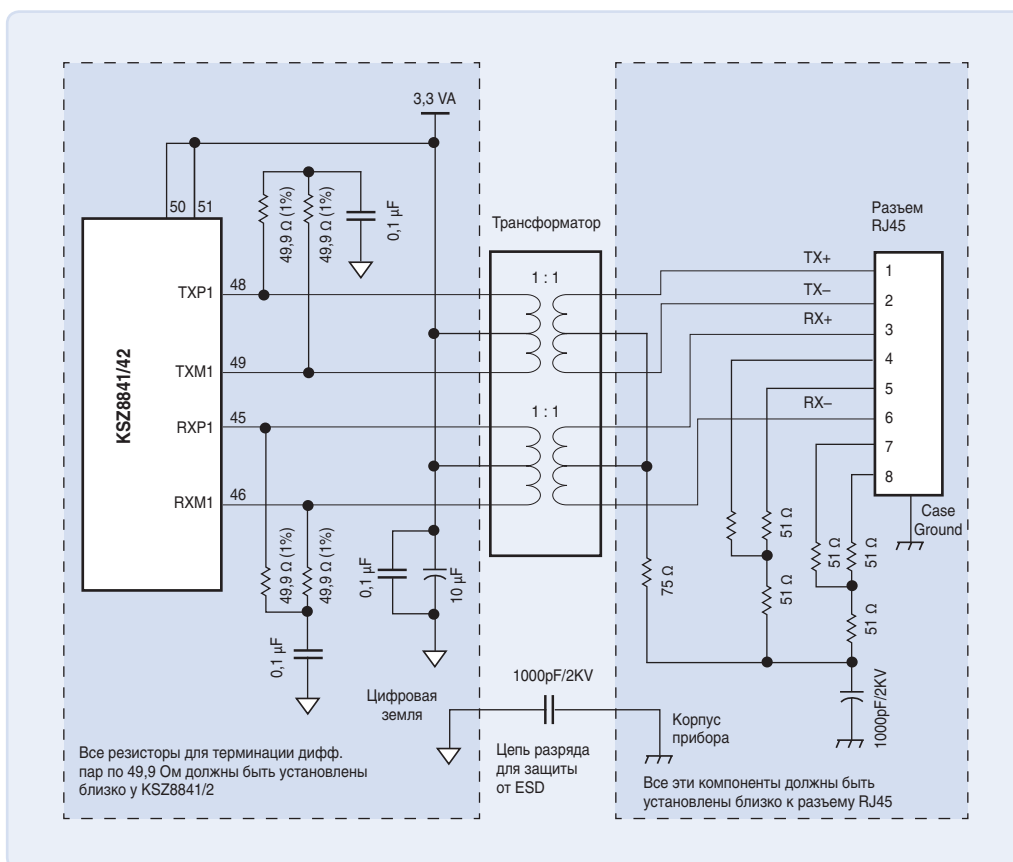


Рис. 4. Схема подключения порта микросхемы KSZ8841/42 к Ethernet

Проблемы защиты от электростатического разряда

Электростатический разряд (Electrostatic Discharge (ESD)) наносит в электронной индустрии ущерб в миллионы долларов ежегодно, причиняя повреждения или вызывая ухудшения в работе приборов. Все эти повреждения происходят в результате того, что при перемещении электростатического разряда от одного заряженного объекта к другому объекту, выделяется энергия, и поэтому электростатику стали называть “тихой убийцей”.

Как происходит электростатический разряд? Электростатический разряд (ESD) – быстропротекающий ток, возникающий при электрическом соединении двух объектов с различными электростатическими потенциалами. Электростатический разряд – переходный процесс высокого напряжения с малым временем фронта и спада.

Повреждение, связанное с электростатическим разрядом в устройствах, прежде всего возникает из-за того, что материал устройства может оплавиться при воздействии высоких температур, хотя иногда, так как это очень быстропротекающий процесс, механизм повреждения может вызвать пробой в слое окисла, поскольку там возникают очень сильные электрические поля. Типичные источники напряжения электростатического разряда представляются как модели: “модель человеческого тела” (HBM), “модель машины” (MM) и “заряженную модель устройства” (CDM). Различия среди этих источников существуют в их уровне пикового напряжения (на уровне единиц КВольт) и пикового тока (на уровне десятков ампер).

Устройства обычно испытывают воздействие электростатического разряда даже во время нормальных эксплуатационных режимов и обычных действиях обслуживающего персонала.

В качестве примера приведем обычное и часто происходящее событие – оператор накапливает заряд, наступая на поверхность ковра и, затем, дотрагивается до устройства. Как только оператор касается устройства (при высоком напряжении, разряд может произойти еще перед физическим контактом), происходит быстрое уравнивание электрических потенциалов между оператором и устройством. Хотя сегодня, при условии выполнения всех современных условий и приемов работ на производстве такое вряд ли может случиться, но все же этот пример приведен потому, что многие из нас его испытали на себе.

Разрушения, вызванные электростатическими разрядами, могут быть не обнаружены оператором-человеком, так как уровни энергии, выделяющиеся от таких разрядов, часто бывают слишком маленькими и могут быть ниже человеческого порога обнаружения.

Однако, для устройства эти разряды могут быть и часто бывают фатальными. Хотя уровень энергии может быть и низким, устройство должно рассеять эту энергию в виде тепла. Кремний – очень плохой проводник, и поэтому даже малые уровни приложенной к нему энергии, могут легко заставить материал оплавиться и деформироваться из-за неспособности кремния рассеять высокую температуру достаточно быстро. После того, как материал был деформирован локально приложенной высокой температурой, устройство будет частично повреждено.

Важно помнить, что не все воздействия электростатического разряда являются фатальными, многие из них только частично ослабят устройство, что скажется на том, что данное устройство не сможет обеспечить надежное и долговременное функционирование.

Предотвратить электростатический разряд можно легко и без особых затрат. Для осуществления защиты от электростатики существуют следующие основные правила:

- Обращайтесь со всеми чувствительными к статике устройствами только в рабочей зоне, защищенной от электростатических разрядов.
- Транспортируйте все статически-чувствительные устройства в электростатических контейнерах или пакетах.
- Устраните электростатику на рабочем месте, для этого проведите заземление и подсоедините к нему операторов, компоненты и оборудование.

Заземление предотвращает наращивание электростатического заряда и выравнивает электростатические потенциалы. Если Вы производите перевозку изделий в антистатической таре, то таким образом Вы предотвращаете повреждение изделий.

Для того, чтобы проектировать PCB с учетом требований по электростатике, необходимо тщательно рассмотреть пути протекания токов электростатического разряда к земле и места появления напряжения электростатического разряда.

Самая важная проблема при этом – необходимость предусмотреть как предотвратить собой схемы или даже ее частичные разрушения. Ниже приведены несколько основополагающих принципов проектирования PCB, устойчивых к электростатическому разряду:

- Поместите защитные диоды – супрессоры напряжения помехи (TVS) на дифференциальные пары TX+/- и RX+/-, чтобы ограничить бросок напряжения помехи безопасным для схемы или защищаемого компонента уровнем;
- Неиспользованные пары проводов кабеля (выводы 4, 5 и 7, 8), приходящие в разъем RJ45 соедините с 51 Ом резистором и с высоковольтным конденсатором (рабочее напряжение не менее 2 КВ). Другой вывод конденсатора подключите к земле PCB, соединенной с корпусом.

Эту землю “корпуса” на PCB необходимо соединить непосредственно с металлическим корпусом оборудования, который, в свою очередь, должен быть подключен к щиту электропитания и продолжаться через щит электропитания, к общему контуру заземления предприятия так, чтобы любое высокое напряжение электростатического разряда, через неиспользованные пары проводов разрядилось на контур заземления, не повреждая схему или устройство;

- Сигнальные пары проводов кабеля (выводы 1, 2 и 3, 6) с разъема RJ45 поступают на трансформатор, который должен быть выбран с учетом высокой электрической прочности изоляции.

Когда энергия электростатического разряда поступает на трансформатор, то она через вывод от средней точки трансформатора, через резистор согласования – 75 Ом и подключенный к нему конденсатор с высоким рабочим напряжением (2 КВ), стекает на землю корпуса РСВ.

Земля корпуса на РСВ непосредственно связана со щитом оборудования, и продолжается через щит электропитания, к общему контуру заземления предприятия так, чтобы любое высокое напряжение электростатического разряда, через сигнальные пары проводов разрядилось на контур заземления, не повреждая схему или устройство;

- Для того, чтобы был путь разряда от земли электропитания до корпуса, необходимо добавить конденсатор емкостью 1000 пФ на 2 КВ чтобы позволить потоку энергии электростатического разряда стечь сначала на землю, относящуюся к питанию устройства, а с нее на корпус.

Из-за того, что появление электростатического разряда – это обычное явление, необходимо предполагать, что все устройства в течение их жизни столкнутся, рано или поздно, со случаем ESD. Следовательно, необходимо помнить, что все устройства необходимо спроектировать таким образом, чтобы они были устойчивы к электростатическому разряду.

Проблемы целостности сигнала

Печатные проводники, на печатной плате, которые несут высокочастотные цифровые сигналы, ведут себя как линии передачи. А в линии передачи могут быть такие эффекты как отражение сигнала, “звон” на фронтах, искажения, и перекрестные связи между смежными линиями. Понимание этого поведения важно для правильного проектирования платы.

Основное эмпирическое правило – трассы печатной платы нужно рассматривать как длинные линии, если время перехода сигнала (фронт или спад) равно или меньше, чем задержка распространения сигнала по линии туда и обратно. Обычно задержка в линии передачи составляет приблизительно 63 пс на см. Например, если время перехода сигнала – 10 нс, то тогда трассу, имеющую длину более чем 80 мм, нужно рассматривать как длинную линию передачи.

Печатные платы необходимо конструировать с постоянным импедансом линии передачи и с управляемым импедансом, настолько, насколько возможно. Обширный слой земли, который должен давать возможность управлять импедансом для линий передачи, тоже необходим.

Есть три проблемы относительно целостности сигнала, и главным образом они связаны с шумом:

Звон/Отражение

Несогласованный импеданс, штырьки для подключения тестовых приборов, переходные отверстия, коннекторы и неправильное согласование – все они вызывают нежелательные эффекты, типа звона или отражения в схеме.

Чтобы уменьшить звон/отражение при переключении больших токов, необходимо минимизировать индуктивно-емкостную нагрузку, обеспечивая тем самым лучшее согласование импедансов в линии передачи между источником и нагрузкой.

Перекрестная связь

Перекрестная связь – нежелательное электромагнитное взаимовлияние между трассами сигналов и переходными отверстиями. Возможность для такого взаимовлияния сигналов увеличивается при увеличении длины трасс, идущих в параллель. Увеличение скорости переключения также создает более высокую степень перекрестной связи.

Перекрестную связь можно уменьшить, если Вы разнесете смежные трассы одну от другой в максимально возможной степени. Разделение сигнальных цепей полосками земли (Ground striping), или корпуса (shielding) – еще один эффективный способ уменьшить перекрестную связь, что позволяет лучше использовать доступную область платы.

Разделительная полоска – это трасса подключенная к земле, которую прокладывают между двумя параллельными трассами сигналов. В том случае, когда есть такая возможность, то лучший способ минимизировать перекрестную связь между трассами – это проложить их на отдельных слоях платы, со слоем земли или слоями(проводниками) питания между ними.

Шум по питанию/земле

Его также называют шум питания/земли, из-за паразитной индуктивности системы подвода напряжения питания и земли VCC/Gnd. Этот шум происходит из-за того, что все драйверы, запитанные от этого VCC/Gnd одновременно переключают свои быстродействующие сигналы выхода.

Более короткий переходный процесс (фронт сигнала) имеет более высокую скорость нарастания di/dt , что и вызывает более сильную помеху по земляным цепям в микросхеме, происходящую из-за индуктивности, присущей выводам микросхемы. **Фильтрация** – важный аспект в борьбе с шумами по питанию/земле, к этой проблеме относится выбор значений номиналов оптимизированных конденсаторов фильтров, размещение, и правильная комбинация компонентов фильтрации, которые мы обсудили в предыдущей секции.

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОТЛАДКИ ПЛАТЫ С МИКРОСХЕМАМИ KSZ8841/42

Микросхемы KSZ8841 Micrel – однопортовый, а KSZ8842 – двухпортовый контроллер Ethernet. Интерфейс хоста разработан для 8-, 16- или 32-разрядных интерфейсов процессорной шины. Ниже предоставлен основной список вопросов, необходимый для проверки и отладки платы:

1. Проверить питание для VDDIO – 3,3 В (выводы 10, 79, 92, 108, 125) и VDDARX/TX – 3,3 ВА (выводы 50, 51). Сигналы центра трансформатора на стороне микросхемы KSZ8841/42 должны соединиться 3,3 ВА;

2. Питание 1,2 В выход от VDDCO (вывод 24) связано с VDDC (вывод 91), VDDA (выводы 38, 43, 57) и VDDAP (вывод 63). Это 1,2 В основное питание – только для внутренней логики. Не используйте это питание для других схем или устройств;
3. Все выводы земли (аналоговой и цифровой) связаны с тем же самым непрерывным слоем земли;
4. Проверить синхросигнал 25 МГц на входе X1 (вывод 65) и проверить, что эта синхросигнал удовлетворяет требованию быть в пределах ± 50 ppm, как для кварцевого резонатора, так и для генератора;
5. опорное напряжение ISET в выводе 61 – составляет 500 мВ, и этот вывод подтянут к земле резистором 3,01 КОм (1% допуск);
6. Базовый адрес по умолчанию – 0x0300, когда EEEN (вывод 26) подтянут к земле (вариант включения без EEPROM). EEDI (вывод 30) может быть подтянут к земле для 8-ми разрядной шины или подтянут к питанию для 16-ти разрядной шины или не подключен в варианте включения для 32-х разрядной шины (только для KSZ8841/42M не для PCI устройства);
7. Базовый адрес по умолчанию загружается из внешнего EEPROM, когда EEEN (вывод 26) подтянут к питанию (с EEPROM),
 - EECS (вывод 19) соединяется с выводом CS у микросхемы EEPROM,
 - EESK (вывод 29) соединяется с выводом SK у микросхемы EEPROM,
 - EEDO (вывод 28) соединяется с выводом DI у микросхемы EEPROM, и
 - EEDI (вывод 30) соединяется с выводом DO у микросхемы EEPROM (только для KSZ8841/42M не для PCI устройства).
8. Необходимо подключить внешний резистор 4,7 КОм для подключения к питанию следующих выводов: ARDY (вывод 20), INTRN (вывод 16);
9. Измерить нормальную форму пульса link pulse на TX+/- или на RX+/-, которые будут передаваться каждые 16 мс, при этом сетевой кабель не подключается. Форма импульса показана на рис. 5;
10. Измерить нормальные диаграммы передачи/получения кадров 100 ВТ на TX+/- или на RX+/-, когда кабель подключен, так как показано на рис. 6;
11. Проверить, что есть минимум 1 нс (время – t1 в описании на микросхему), когда сигналы A [1:15], AEN, BExN [3:0] установлены, и сигнал RDN, WRN – находится в активном состоянии. К микросхеме эти сигналы приходят от хоста по асинхронному интерфейсу (только для KSZ8841/42M не для PCI устройства);
12. Проверить, что есть минимум 1 нс (время – t2 в описании на микросхему), когда сигналы A [1:15], AEN, BExN [3:0] сохраняются после того, как сигналы RDN, WRN – переходят в неактивное состояние. К микросхеме эти сигналы приходят от хоста по асинхронному интерфейсу (только для KSZ8841/42M не для PCI устройства).

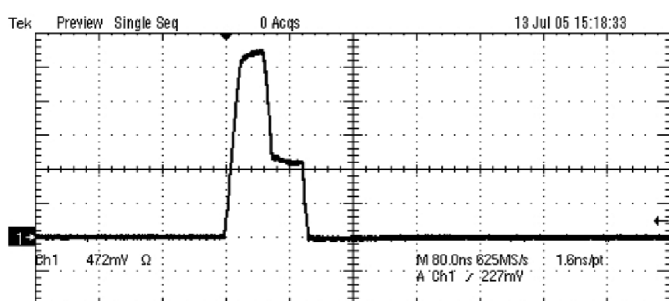


Рис. 5. Форма импульса Link Pulse (100 нс и 1,5 В размах)

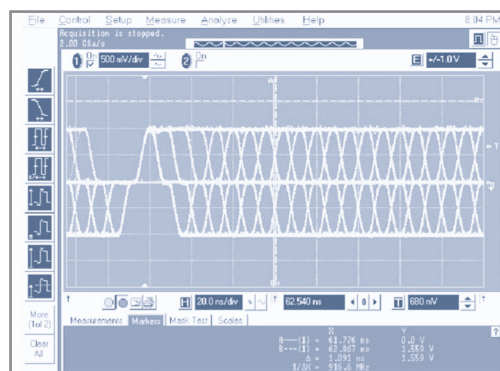


Рис. 6. Нормальные выходные импульсы для 100 ВТ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В приведенной выше методике рассмотрены проблемы, очень важные для проектирования PCB. К этим проблемам относятся: расположение слоев PCB, разводка электропитания, фильтрация помех и защита от электростатического разряда – все эти проблемы возникают при использовании микросхем встроенных контроллеров Ethernet – KSZ8841 и KSZ8842.

Фирма Micrel предлагает сегодня наибольшее в промышленности семейство однопортовых и двухпортовых встроенных контроллеров Ethernet. Все необходимое для разработки, включая описания, схемные решения, файлы Gerber, модели IBIS и драйверы программного обеспечения – можно свободно загрузить с сайта фирмы Micrel. Описания оценочных плат и руководства пользователя также доступны на сайте.

Литература:

1. AN 139, micrel.com