

Окончание. Начало в № 6 '2007

Иосиф КАРШЕНБОЙМ
iosifk@eltech.spb.ru

Рекомендации по дизайну ПП и отладке устройств с физическим уровнем Ethernet

Проект аналоговой части стыка с Ethernet и проблемы защиты от электростатического разряда

На рис. 11 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 RJ-45 и трансформатора и заканчивая самой микросхемой KSZ8841/42, а также элементы согласования, необходимые для работы в этом режиме.

Проектируя аналоговую часть стыка с Ethernet, необходимо помнить, что:

1. Трансформатор должен быть расположен как можно ближе к разъему RJ-45.
2. Трансформатор обеспечивает фильтрацию ЭМИ и изоляцию электростатического разряда между микросхемой физического уровня и кабелем, подключенным к разъему RJ-45.
3. Микросхемы физического уровня должны быть помещены как можно ближе к трансформатору.
4. Чтобы иметь более эффективную защиту от электростатического разряда, проектировщик должен применять дискретный трансформатор, а не модуль, в котором объединены трансформатор и разъем RJ-45. Это может обеспечить лучшую изоляцию между микросхемой физического уровня и разъемом RJ45.
5. Дифференциальные пары (Tx+/- или Rx+/-) должны быть проложены далеко от всех других сигналов и близко друг к другу, иметь ширину дорожки 5 mil, расстояние между трассами 5 mil и одинаковую длину настолько, насколько это возможно. Тем же требованиям должны соответствовать цепи согласования импеданса в 100 Ом.
6. Трассы пар сигналов Tx+/- и Rx+/- нужно располагать далеко друг от друга — по крайней мере, расстояние между ними должно быть не менее чем в четыре раза больше, чем расстояние между трассами 5 mil.
7. Если возможно, располагайте трассы всех дифференциальных пар, относящихся

к одному и тому же региону слоев питания и «земли», на верхнем слое печатной платы, предназначенном для размещения компонентов, не используя переходные отверстия.

8. Неиспользованные пары в кабеле, входящие на разъем RJ-45 (выводы 4 и 5, 7 и 8), должны быть согласованы так, как показано на рис. 4 (см. Кит 6 '2007, стр. 119). Все эти соединения должны быть проведены широкими и короткими трассами как можно ближе к разъемам RJ-45.
9. Рекомендуется использовать разъем RJ-45 с металлическим корпусом так, чтобы корпус разъема был связан непосредственно с корпусом прибора для улучшения защиты от электростатического разряда.
10. Выбирайте разъем RJ-45 с монтируемыми на поверхность контактами, позволяющими упростить трассировку цепей, и используйте разъем без светодиодов. Все это улучшит защиту от электростатического разряда.

Проблемы защиты от электростатического разряда

Электростатический разряд наносит в электронной индустрии ущерб в миллионы долларов ежегодно, причиняя повреждения или вызывая ухудшение в работе приборов. Все эти повреждения происходят в результате выделения энергии при перемещении заряда от одного объекта к другому.

Как происходит электростатический разряд? Электростатический разряд — быстропротекающий ток, возникающий при электрическом соединении двух объектов с различными электростатическими потенциалами. Электростатический разряд — переходный процесс высокого напряжения с быстрым временем фронта и спада. Повреждение, связанное с электростатическим разрядом в устройствах, возникает прежде всего из-за того, что материал устройства может оплавиться при воздействии высоких температур, хотя иногда, учитывая, что это очень быстротекущий процесс, может произойти пробой в слое окисла, поскольку там возникают очень сильные электрические поля. Типичные источники напряжения электростатического разряда представляются как модели: «модель челове-

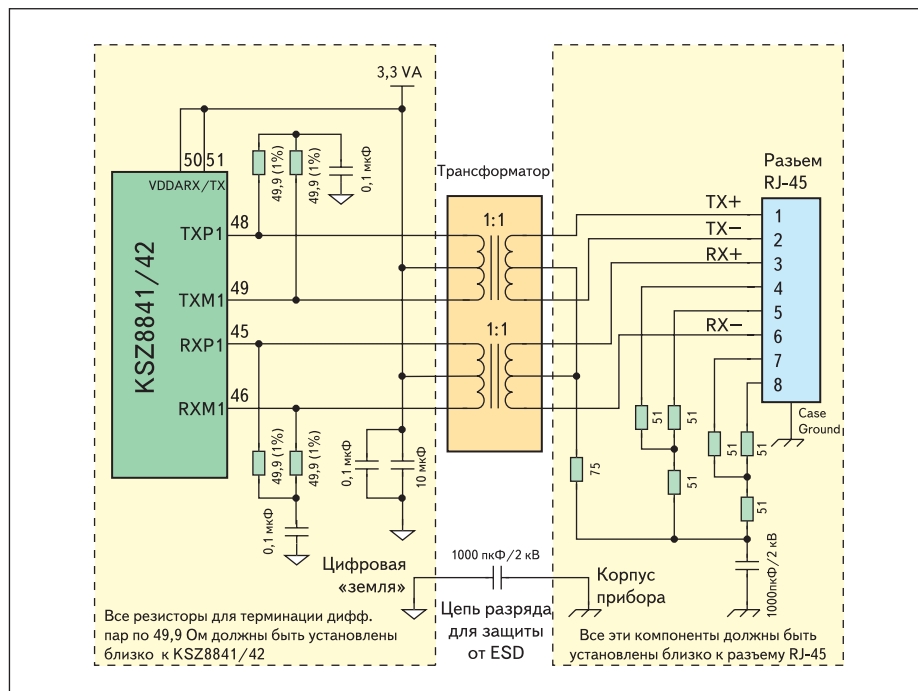


Рис. 11. Схема подключения порта микросхемы KSZ8841/42 к Ethernet

ческого тела» (HBM), «модель машины» (MM) и «заряженная модель устройства» (CDM). Различия среди этих моделей в уровне их пикового напряжения (на уровне единиц киловольт) и пикового тока (на уровне десятков ампер).

Устройства могут испытывать воздействие электростатического разряда в процессе нормальной эксплуатации и обычных действий 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 до физического контакта), происходит быстрое уравнивание электрических потенциалов между оператором и устройством. 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 побывали в такой ситуации.

Разрушения, вызванные электростатическими разрядами, могут остаться не обнаруженными 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 энергия и может быть небольшой, устройство должно рассеять ее 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 оно не сможет обеспечить надежное и долговременное функционирование.

Существуют простые и недорогие способы защиты от электростатического разряда. Для этого нужно соблюдать следующие основные правила:

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

Заземление предотвращает накопление электростатического заряда и выравнивает электростатические потенциалы. Перевозка изделий в антистатической таре предотвращает повреждение изделий.

Для того чтобы проектировать ПП с учетом требований по электростатике, необходимо тщательно рассмотреть пути, по которым токи электростатического разряда будут течь к «земле» и где появятся напряжения электростатического разряда. Самая важная проблема здесь — предотвращение сбоя схемы или даже ее частичного разрушения. Необходимо иметь в виду следующие принципы проектирования для ПП, устойчивых к электростатическому разряду.

Поместите защитные диоды — супрессоры напряжения помехи (TVS) — на дифференциальные пары Tx+/- и Rx+/-, чтобы ограничить всплеск напряжения помехи безопасным для схемы или защищаемого компонента уровнем.

Неиспользованные пары проводов кабеля (выводы 4, 5 и 7, 8), приходящие в разъем RJ-45, соедините с 51-омным резистором и с высоковольтным конденсатором (на напряжение 2 кВ). Другой вывод конденсатора подключите к «земле» ПП, подключенной на корпус. Эта «земля» корпуса на ПП должна быть непосредственно связана 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 RJ-45 поступают на

трансформатор, который должен быть выбран с учетом высокого напряжения пробоя. Когда энергия электростатического разряда поступает на трансформатор, через вывод от средней точки трансформатора, через резистор согласования 75 Ом и подключенный к нему конденсатор с высоким рабочим напряжением (2 кВ) она стекает на «землю» корпуса ПП. «Земля» корпуса на ПП 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 создать путь разряда от «земли» электропитания до корпуса, необходимо добавить конденсатор 1000 пФ/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 процессе эксплуатации рано или поздно столкнутся со случаем ESD. Следовательно, необходимо помнить, что все устройства должны быть спроектированы таким образом, чтобы они не повреждались от электростатического разряда.

Схемное решение по защите от электростатического разряда

В устройствах могут использоваться различные методы защиты от электростатического разряда. Уровень защиты от электростатического разряда зависит от типа используемого устройства защиты.

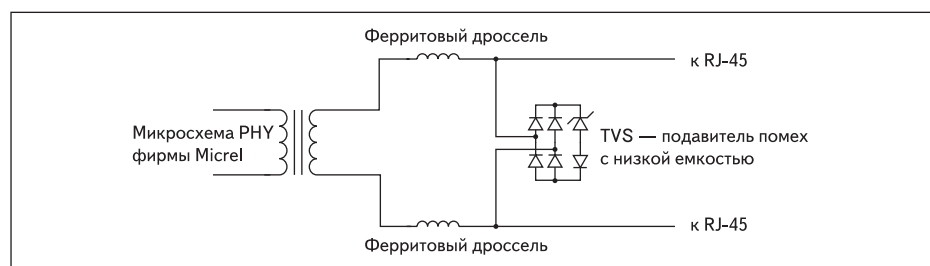


Рис. 12. Подключение защиты от перенапряжений на стороне разъема RJ-45

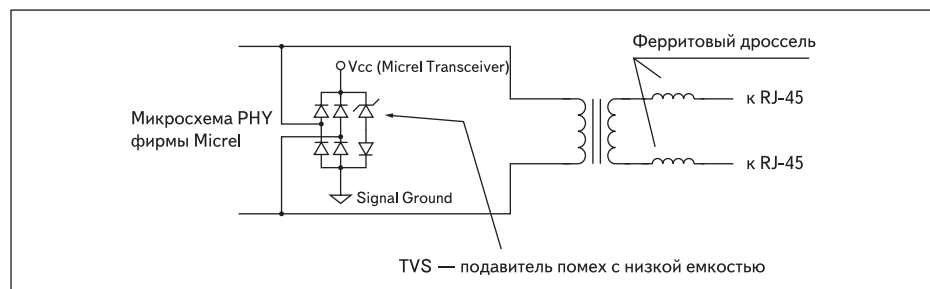


Рис. 13. Подключение защиты от перенапряжений на стороне трансивера

На рис. 12 и 13 показаны два примера методов защиты от электростатического разряда.

Разместите подавитель выбросов напряжения (TVS — transient voltage suppressor) на входах дифференциальных пар Tx и Rx, чтобы увеличить защиту устройства от электростатического разряда.

Эти устройства подключены параллельно с защищаемыми линиями ввода/вывода. Во время испытаний типа FCC или ESD удалите все неиспользованные входы разъемов, джамперы, тестовые контакты и т. д., поскольку они действуют как антенны и могут ухудшить результаты испытаний.

Рекомендации по подключению неиспользуемых пар в кабеле

Подключите все неиспользованные входы либо на «землю» через резистор 1 кОм, либо на питание через резистор 10 кОм, в зависимости от требуемого состояния микросхемы при старте устройства. Входы 4, 5, 7 и 8, сетевого разъема RJ-45 (рис. 14) должны быть подключены к резисторам согласования с номиналом 75 Ом и установлены как можно ближе к корпусу блока и к блокировочному конденсатору с номиналом 0,01 мкФ/2 кВ (рис. 10, см. Кит 6 `2007, стр. 121). Но эти компоненты должны быть не ближе чем в 2 мм от трансформатора [2]. То же самое относится и к проводам от средних точек трансформаторов.

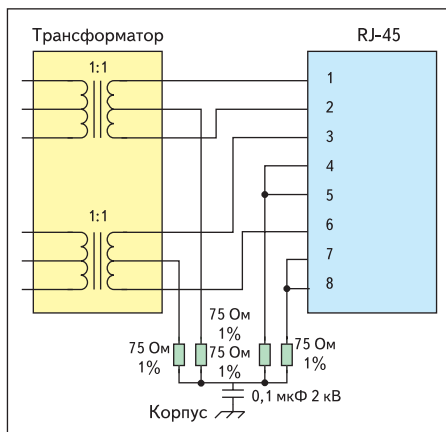


Рис. 14. Подключение терминальных компонентов к свободным жилам сетевого кабеля и к средним точкам трансформатора

Расположите резисторы согласования для дифференциальных пар сигналов Tx и Rx в непосредственной близости от микросхемы трансивера (рис. 7, см. Кит 6 `2007, стр. 120).

Проблемы целостности сигнала

В печатных проводниках, которые несут высокочастотные цифровые сигналы, могут возникать такие эффекты, как отражение сигнала, звон на фронтах, искажения и перекрестные связи между смежными линиями. Понимание этого поведения важно для правильного про-

ектирования платы. Основное эмпирическое правило — трассы печатной платы нужно рассматривать как длинные линии, если время перехода сигнала (передний или задний фронт) равно или меньше, чем задержка распространения сигнала по линии туда и обратно. Типично задержка линии передачи составляет приблизительно 63 пс/см. Например, если время перехода сигнала 1,0 нс, то трасса, имеющую длину более 7,9 см, нужно рассматривать как длинную линию передачи.

Печатные платы должны быть разработаны с постоянным импедансом линии передачи и с управляемым импедансом, если это возможно. Обширный слой «земли» должен давать возможность управлять импедансом линий передачи.

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

Звон или отражение

Несогласованный импеданс, выводы для подключения тестовых приборов, переходные отверстия, коннекторы и неправильное согласование — все они вызывают нежелательные эффекты, типа звона или отражения в схеме. Необходимо обратить внимание на то, что для переключения больших токов нужно минимизировать индуктивную (емкостную) нагрузку, чтобы уменьшить звон (отражение), 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 больше при увеличении длины трасс, идущих в параллель. Увеличение скорости переключения сигналов также создает большую перекрестную помеху. Перекрестная связь может быть уменьшена, если максимально разнести смежные трассы. Разделение сигнальных цепей полосками «земли» (Ground striping) или «корпуса» (shielding) — другой эффективный способ уменьшить перекрестную связь. Это позволяет лучше использовать доступную область платы. Разделительная полоска — это трасса, подключенная к «земле», которую прокладывают между двумя параллельными трассами сигналов. Если есть такая возможность, то лучше всего проложить трассы сигналов на отдельных слоях платы, со слоем «земли» или слоями (проводниками) питания между ними.

Шумы в линиях питания и «земли»

Шум питания и «земли» возникает из-за паразитной индуктивности линий VCC и Gnd. Этот шум происходит из-за того, что все драйверы, запитанные от VCC и Gnd, одновременно переключают свои быстродействующие сигналы выхода. Более короткий

переходный процесс (передний фронт сигнала) имеет более высокую скорость нарастания, что и вызывает более сильную помеху по цепям «земли» в микросхеме, возникающую из-за индуктивности, присущей выводам микросхемы. Фильтрация — важный аспект в борьбе с шумами питания и «земли», к этой проблеме относится выбор значений номиналов оптимизированных конденсаторов-фильтров, размещение и правильная комбинация компонентов фильтрации, которые мы обсудили в предыдущем подразделе.

Практические методы отладки для платы с микросхемами физического уровня Ethernet. Что должно происходить при включении микросхемы в линию?

Приведем список контрольных действий, необходимых для проверки и отладки платы типового устройства с микросхемами физического уровня Ethernet:

- Проверить питание на микросхеме, в том числе VDDIO-3.3V. Если цепи от средней точки трансформатора на стороне микросхемы должны соединиться с напряжением 3,3 В, то это необходимо проверить.
- Проверить наличие на всех входах требуемых аналоговых напряжений и напряжений, необходимых для смещения аналоговых цепей.
- Удостовериться в том, что все выводы «земли» (аналоговой и цифровой) связаны с тем же самым непрерывным слоем «земли».
- Убедиться в том, что завелся генератор и присутствует синхрочастота. Синхрочастота должна соответствовать выбранному режиму работы (см. далее) и быть в пределах ± 50 ppm как для кварцевого резонатора, так и для генератора.
- Проверить режим записи данных в микросхему по сигналу сброса. Многие микросхемы используют возможность программирования режимов работы путем считывания информации с выводов, которые в рабочем режиме используются как выходы. Для этой цели могут быть использованы, например, выводы, подключенные к светодиодам. Для того чтобы «защитить» требуемый режим работы, светодиод подключают на питание или на «землю». Микросхема считывает состояние вывода, определяет его как ноль или как единицу и записывает эти данные в соответствующий регистр управления режимом работы и в регистр управления светодиодом. Таким образом, после снятия сигнала «сброс» микросхема «знает», каким уровнем ей надо управлять светодиодом.

Процесс приема кода адреса при старте микросхемы трансивера показан на рис. 15. Далее эти выводы используются для выдачи сигналов трансивера, например RXD[0..3] и INT#.

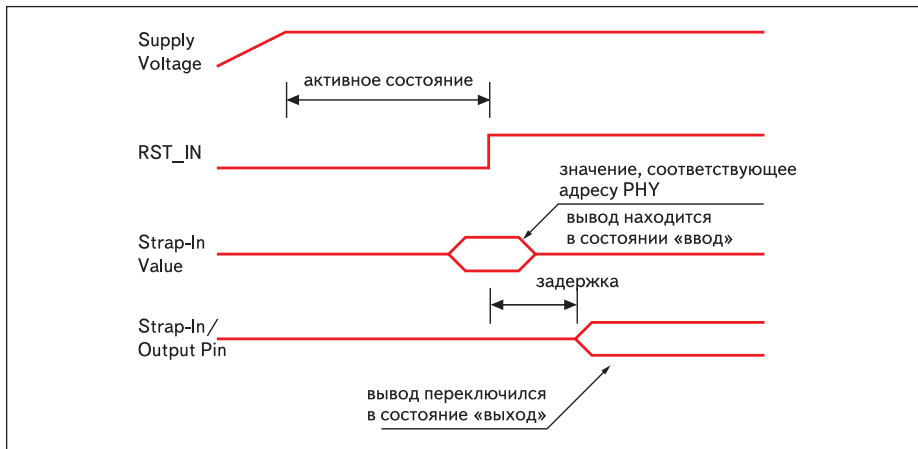


Рис. 15. Настройка режимов трансивера по аппаратному интерфейсу управления

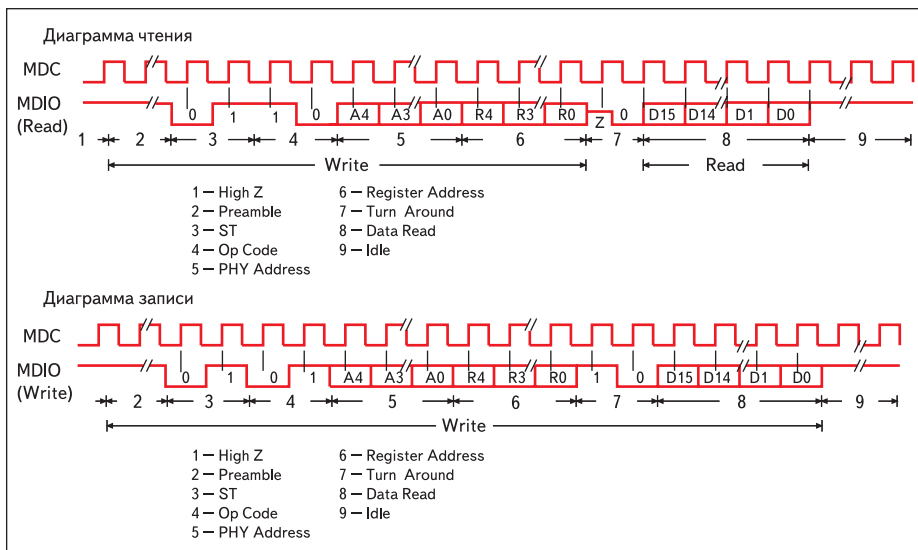


Рис. 16. Структура кадров служебного интерфейса по чтению и записи данных

• Если есть служебный интерфейс, то проверить, что он работает. Проверить осциллограмму по передаче и затем по приему. Интерфейс состоит из линии данных (MDIO) и линии частоты (MDC). Структура кадра показана на рис. 16 (чтение и запись).

Кадр начинается с преамбулы, состоящей из 32 единиц (возможно передавать «1» по состоянию (возможно передавать «1» по состоянию до начала кадра), затем передается стартовая комбинация, соответствующая передаче двух битов «01», затем передаются два бита, соответствующие коду операции — «10» для чтения и «01» для записи данных, далее передается физический адрес трансивера A[4..0] и регистра трансивера R[4..0]. Таким образом обеспечивается возможность обслуживания нескольких трансиверов по интерфейсу MI.

Физически интерфейс управления может быть подключен ко всем трансиверам устройства. Каждый трансивер должен иметь свой уникальный адрес. Для этого используется способ задания адресов при старте.

Вернемся к рассмотрению работы интерфейса MDIO. После передачи адреса в цикле записи данных передается код «10», после чего передатчик передает 16-битное слово данных. Далее передатчик приходит в исходное состояние.

В цикле чтения данных после отправки адреса передатчик переводит свой выход в третье состояние и после задержки в 2 бита, необходимой для завершения переходного процесса на шине, начинает прием 16-битного слова данных. Адресуемая микросхема после приема адреса подключается к шине и после задержки в 2 бита начинает передавать запрошенные данные.

После передачи данных микросхема переводит свои выходы в третье состояние и отключается от шины. Передатчик приходит в исходное состояние после приема данных от микросхемы. Физический адрес микросхемы, по которому она будет принимать данные при работе по интерфейсу MDIO, зашивается при помощи подключения соответствующих выводов к нулю или к питающему напряжению. Если правильно зашит адрес

микросхемы и идет обращение именно по этому адресу, то, подключив осциллограф, можно увидеть принимаемые данные. Далее можно по этому же интерфейсу записать в микросхему команду управления светодиодами и выполнить то, что можно назвать «помигать» светодиодами. Далее точно таким же образом можно прочесть регистр ID. Следующим шагом можно записать команду — «установить режим цифровой петли».

• Проверить интерфейс между микросхемой и хост-микроконтроллером. Должны быть выдержаны все требования по согласованию интерфейса по всем сигналам — данные, управление и т. д.

• После того как режим «цифровой петли» будет установлен, можно произвести тестирование цифрового интерфейса между контроллером и трансивером. Необходимо проверить, что уровни MAC и PHY имеют одинаковый режим работы — оба используют режим MII, RMII или SMII. В режиме MII для обмена данными между MAC и PHY используется по 4 линии данных на прием и на передачу, в режиме RMII — по 2 линии данных, а в SMII — по 1 линии данных на прием и на передачу. При этом необходимая тактовая частота тоже зависит от выбранного режима работы — в режиме MII — 25 МГц, в RMII — 50 МГц, в SMII — 125 МГц.

• Если микросхема имеет возможность загрузки параметров из внешней EEPROM, то нужно проверить, что на выводах микросхемы формируется заданная последовательность импульсов, необходимая для чтения/записи данных в EEPROM. В регистрах микросхемы должна читаться информация, принятая из EEPROM.

• Следующий этап — проверка работы с линией. Для начала можно перевести микросхему в режим принудительной установки скорости передачи и запретить автосогласование скоростей. Запретить режим автоопределения входов и назначить входы в определенное состояние, например для прямого подключения. И в соответствии с этим в разъем RJ-45 установить заглушку Tx–Rx.

• Микросхема должна выдавать в линию импульсы FastLinkPulse. Измерить нормальную форму пульса FastLinkPulse на Tx+/- (или на Rx+/-, если установлен режим инверсии входов/выходов) — они будут передаваться каждые 16 мс, при этом сетевой кабель не подключается. Форма импульса показана на рис. 17. Параметры импульсов приведены в таблице. Напомним, что вместо реальной сети у нас пока еще установлена заглушка. Если данные импульсы передаются и принимаются, то микросхема должна активизировать светодиод LINK. Если есть светодиод, «отвечающий» за режим линии 100 Мбит, то он тоже должен быть активизирован. Те же действия можно проделать и для режима 10 Мбит, с той

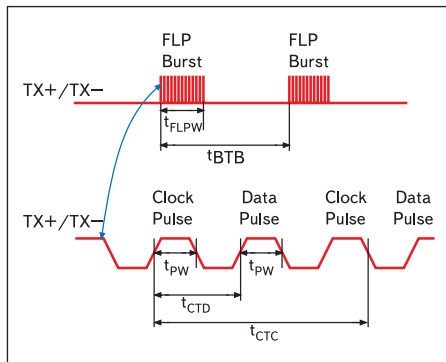


Рис. 17. Диаграмма импульсов FastLinkPulse

лишь только разницей, что форма импульса в линии должна быть другая.

- Далее по служебному интерфейсу необходимо записать команду «установить режим аналоговой петли».
- После того как режим «аналоговой петли» будет установлен, можно произвести тестирование аналогового интерфейса трансивера.
- Следующий шаг — проверка всего тракта (и цифрового, и аналогового) — тоже через заглушку Tx–Rx.
- Теперь снимаем заглушку и подключаем устройство в реальную сеть к хабу или к свичу. При этом если устройство не имеет режима автоопределения входов, то необходимо проверить, какой кабель для подключения должен быть использован — прямой или перекрестный. В случае успешной стыковки устройств на проверяемом приборе должен активизироваться светодиод LINK. Это значит, что на входе физического уровня присутствуют импульсы FastLinkPulse. Точно так же и на хабе или свиче должен активизироваться светодиод LINK. А это значит, что туда пришли импульсы FastLinkPulse от нашего проверяемого изделия. И еще эти события означают, что оба устройства имеют одинаковую скорость передачи.

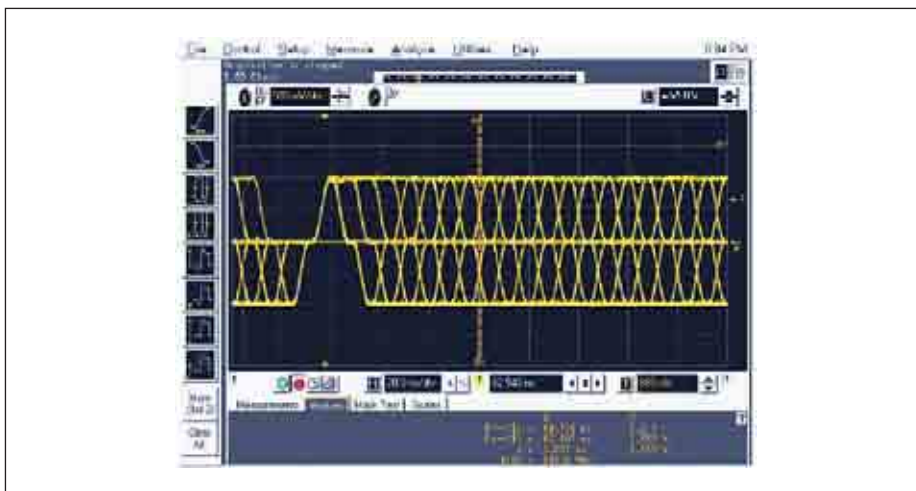


Рис. 18. Нормальные выходные импульсы для 100 BT

Таблица. Параметры импульсов FLP

Параметр	Описание	Минимальное значение	Типовое значение	Максимальное значение
t_{BTB}	Период между пачками импульсов FLP	8 мс	16 мс	24 мс
t_{FLPW}	Длительность пачки импульсов FLP		2 мс	
t_{PW}	Длительность импульса Clock/Data		100 нс	
t_{CTD}	Длительность паузы между импульсом Clock pulse и импульсом data pulse		69 мкс	
t_{CTC}	Длительность паузы между импульсом Clock pulse и Clock pulse		136 мкс	
N	Число импульсов Clock/Data в пачке FLP	17		33

- Теперь можно разрешить режим автоогласования скоростей. Если автоматическое согласование скоростей проходит успешно, то разрабатываемое устройство перейдет на ту скорость передачи, которую ему разрешит использовать соединенный с ним хаб или свич. Если хаб или свич предоставляют оператору возможность настраивать режимы работы в линии, то можно проверить работу в режиме автоогласования скоростей. Можно поменять режим работы в линии как в сторону больших, так и в сторону меньших скоростей передачи.
- Далее можно перейти к режимам проверки приема/передачи данных. Измерить нормальные диаграммы передачи и получения кадров 100 BT на Tx+/- или на Rx+/-, когда кабель подключен, так, как показано на рис. 18.

Если в этих тестах появятся сбои, вызванные искажениями данных при работе на частоте 100 Мбит, то можно принудительно задать скорость обмена 10 Мбит и провести тестирование на этой скорости. Затем перевести в режим работы на скорости 100 Мбит и начать тестирование по каналу приема/передачи данных на этой частоте. В таком режиме отладки мы исключим переходные процессы, связанные с хаотическими изменениями скорости передачи при сбоях.

- Далее производим тестирование на определение частоты неправильно переданных и принятых пакетов. Для этих тестов необходимо использовать программу-сниффер.

При помощи такой программы можно оценить число неправильно переданных пакетов. А сравнивая счетчик пакетов, переданных по адресу нашего устройства, с числом пакетов, принятых устройством, мы сможем определить число непринятых пакетов.

- Если разрабатываемое устройство имеет режим автоопределения входов, то можно разрешить использовать данный режим. И с разрешенным режимом автоопределения входов необходимо повторить испытания по приему/передаче данных. Причем в одном случае нам понадобится прямой кабель для связи с хабом или свичем, а во втором случае — перекрестный.
- Если микросхема с физическим уровнем Ethernet имеет возможность автоматического или программного перехода в режим пониженного энергопотребления при отключении сетевого кабеля, то проверяют и этот режим. Если есть режим пониженного энергопотребления, управляемый по служебному интерфейсу — то проверяют и его работу. Если есть режим “Wake on LAN”, то необходимо проверить и его.

Заключение

В этой статье рассмотрены вопросы, очень важные для проектирования ПП и отладки плат с микросхемами физического уровня Ethernet. К ним относятся: расположение слоев ПП, электропитание, фильтрация и защита от электростатического разряда. Все эти проблемы возникают при использовании микросхем трансиверов, свичей и встроенных контроллеров Ethernet.

Литература

1. General PCB Design and Layout Guidelines Micrel 10/100 Switches and PHYs. Application Note AN 111. www.micrel.com
2. PCB Design Considerations for KSZ8841/42 Family of Ethernet Controllers. Application Note AN 139. www.micrel.com
3. DM9000 Layout Guide. DM9000-LG-V01.
4. LXT972A 3.3V Dual-Speed Fast Ethernet Transceiver Datasheet. Intel Corporation.
5. Magnetic-Less Ethernet Point-to-Point Ethernet over a Backplane Application Note. Intel Corporation. 2002.
6. 82563EB/82564EB LAN on Motherboard Design Guide Application Note (AP-467). Intel Corporation.