

# Трансивер Fast Ethernet. Рекомендации по компоновке и дизайну печатных плат

**Иосиф Каршенбойм**

В статье приведен ряд рекомендаций по проектированию печатных плат (PCB) при разработке систем с Ethernet 10/100 PHY, поскольку эти устройства представляют собой сложный аналого-цифровой проект, работающий на достаточно большой частоте. При проектировании следует учитывать многочисленные требования, начиная от гальванической развязки компонентов до устойчивости к электростатическому разряду. В предлагаемом читателю материале собраны и обобщены рекомендации, приводимые различными производителями микросхем [1, 2].

Печатная плата — это самый важный компонент, определяющий электромагнитные шумы, влияние электростатического разряда и производительность устройства в целом. Целью проектирования печатной платы является снижение шума, вносимого цифровыми схемами, и общего фонового шума, а также обеспечение экранирования между внутренней схемой на PCB и внешним оборудованием. От выполнения всех этих требований при PCB-дизайне зависит качество выполнения всего устройства в целом. Эти требования по проектированию должны выполняться для всех PCB-систем, а не только в устройствах с Ethernet 10/100 PHY.

## Общие правила

Компоненты должны быть расположены так, чтобы избежать длинных петлеобразных трасс. 10/100M трансформатор размещают насколько возможно ближе к трансиверу и разъему RJ-45. Например, для DM9000 не больше, чем 20 мм, (рис. 1). Для того чтобы закрыть схему входной части устройства, необходимо использовать металлический экран.

Чтобы уменьшить электромагнитные шумы, на проводе питания DC лучше использовать ферритовый дроссель.

Кварцевый резонатор 25 МГц не должен быть расположен около трасс высокочастотных сигналов (например, типа RX или TX) трансформатора, а также у края PCB.

Следуйте рекомендациям для дифференциальных пар по размещению слоев “земли” и высокоскоростных сигналов.

Рекомендуется, чтобы цепи типа RX и TX имели угол поворота трасс в 45° или шли по дуге. Не проводите трассы под прямым углом (рис. 1).

Избегайте использовать переходные отверстия при прокладке трасс для пар сигналов RX и TX.

Обеспечьте разнесение в пространстве трасс сигналов синхрочастоты и высокоскоростных цифровых сигналов. Размещайте согласующие резисторы номиналом 50 Ом настолько близко к 10/100M трансформатору и входам RX и TX, насколько это возможно. Эти резисторы и конденсаторы с сигналов TX и RX на “землю” должны быть помещены непосредственно около трансивера, как показано на рис. 2 (для DM9000 не дальше, чем 10 мм). Обеспечьте соответствие импеданса на высокоскоростных трассах сигналов, чтобы предотвратить отражения сигналов в линии.

Электропитание должно соответствовать требованиям по мощности.

Обеспечьте для импульсных источников фильтрацию выходных напряжений и соответствующее экранирование, поскольку импульсные источники могут

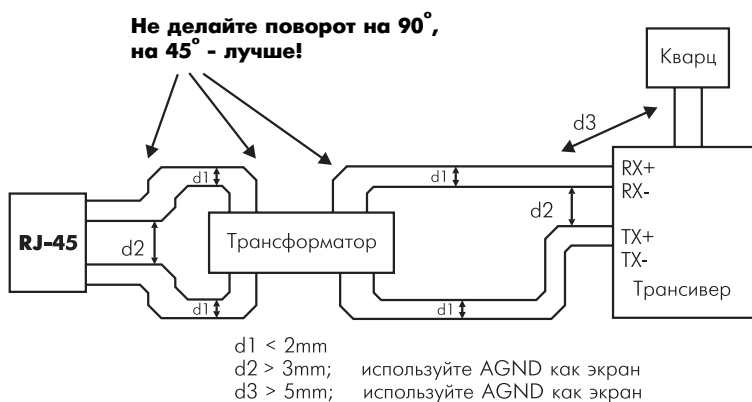


Рис. 1. Расположение компонентов и трасс на плате

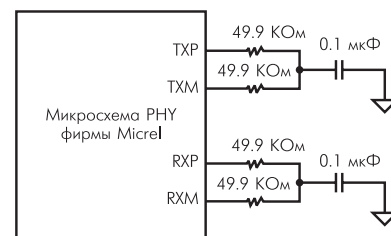
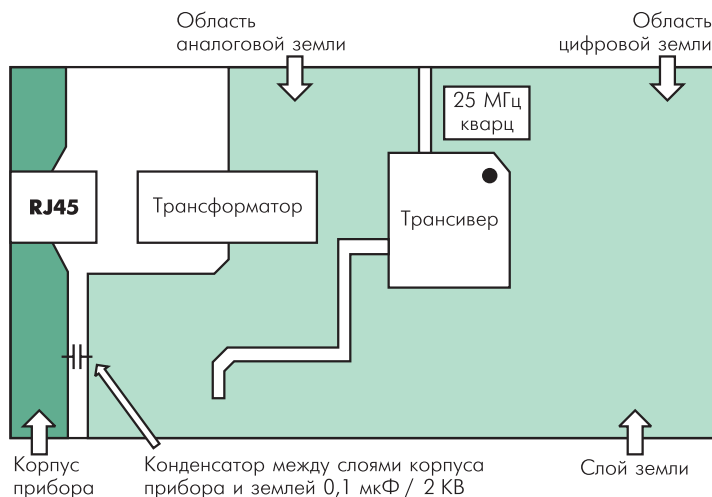
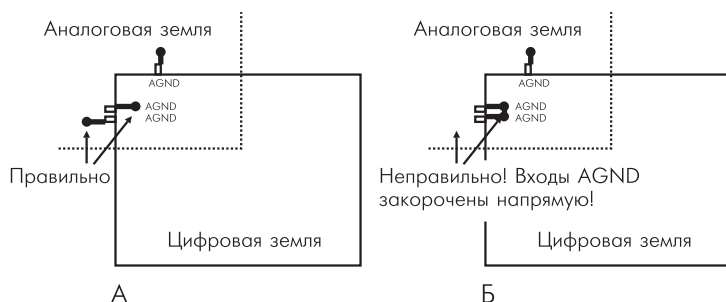


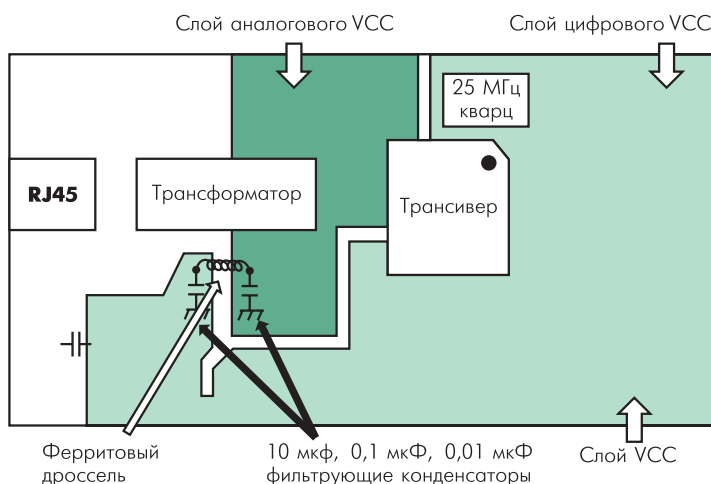
Рис. 2. Терминация цепей TX и RX



**Рис. 3. Расположение областей цифровой и аналоговой "земли"**



**Рис. 4. Подключение выводов микросхемы к аналоговой "земле"**



**Рис. 5. Расположение областей цифрового и аналогового питания**

Разместите переходные отверстия так, чтобы избежать длинных щелей в слоях из-за переходных отверстий.

**Слой "земли"**

Область "земли" должна быть выполнена одним непрерывным слоем, поскольку разделение слоя "земли" может вызвать увеличенную эмиссию электромагнитных шумов.

Слой "земли" может быть разделен на отдельные домены — аналоговый и цифровой (GNDD, GNDA и GNDS). Аналоговый домен слоя "земли" и цифровой домен слоя "земли" должны соединяться перемычкой, которая должна находиться далеко от входов AGND трансивера, так как это рекомендовано в литературе [1] и [2] (рис. 3, 4).

Все входы AGND у микросхемы трансивера не должны непосредственно соединяться друг с другом, (рис. 4, А). Они должны быть непосредственно подключены к аналоговому домену слоя "земли" (рис. 4, Б).

**Слой аналогового питания (VCC)**

Разместите аналоговые компоненты в пределах слоя аналогового питания (VCC). Отделите аналоговые слои питания от слоев питания логических схем, имеющих повышенный шум (рис. 5).

**Слой цифрового питания (VCC)**

Разместите цифровые компоненты в пределах слоя цифрового питания (VCC). Выполнение слоя питания показано на рис. 6. Для DM9000 ферритовый дроссель должен иметь импеданс 100 Ом при 100 МГц и быть рассчитан на ток более 250 мА. Подходящий компонент для поверхностного монтажа — Panasonic EXCCL4532U или аналогичный. Электролитические блокировочные конденсаторы с номиналами 10, 0,1 и 0,01 мкФ должны быть установлены между VDD с заземлением в точке подключения каждого ферритового дросселя.

**Зона повышенного шума под трансформатором**

Необходимо удалить слои питания и "земли" на всех слоях РСВ непосредственно под трансформаторами.

Корпус прибора должен быть соединен с экраном на соединителе RJ-45 и на трансформаторе (рис. 6).

быть источниками довольно мощных электромагнитных шумов. Питание и "земля" не должны иметь шум более 50 мВ пик-пик.

**Слои "земли" и "питания"**

Не разбивайте слои "земли" на отдельные слои для аналоговых сигналов, цифровых сигналов и силовых цепей.

Рекомендуется делать объединенный слой для изделий 10/100 Ethernet фирмы Micrel.

Проложите высокоскоростные сигналы выше непрерывного слоя "земли".

Заполните медными полигонами (площадками) неиспользованные области сигнальных слоев и подключите их к слою "земли" через переходные отверстия.

Не проводите цифровые сигналы между PNY и разъемом RJ-45. Проводите трассы для пар сигналов TX и RX далеко от всех других активных сигналов и "корпуса" блока.

### Фильтрующие конденсаторы

Все фильтрующие конденсаторы для всех входов электропитания следует помещать как можно ближе на контактные площадки напряжения питания (например, для DM9000 не дальше, чем 2,5 мм от вышеупомянутых входов, [2]). Рекомендованный номинал фильтрующего конденсатора — 0,1 или 0,01 мкФ.

Фильтрующий конденсатор с номиналом 0,1–0,01 мкФ должен быть включен между DVDD/DGND и AVDD/AGND и установлен настолько близко к входам трансивера. Консервативный подход состоит в том, чтобы использовать два конденсатора в каждой цепи DVDD/DGND и AVDD/AGND. Один фильтрующий конденсатор номиналом 0,1 мкФ — для низкочастотного шума, другой номиналом 0,01 мкФ — для высокочастотного шума на электропитании.

Размещение слоев и фильтрация электропитания на PCB должны обеспечить достаточное подавление шумов, для того чтобы достигнуть следующих показателей при измерении в устройстве:

- все DVDDs и AVDDs должны быть в пределах 50 мВ пик-пик;
- все DGNDs и AGNDs должны быть в пределах 50 мВ пик-пик;
- результирующее напряжение шума AC, измеренное для DVDD/DGND и AVDD/AGND, должно быть меньше, чем 100 мВ пик-пик.

Напряжения AVDD, подключенное к средней точке передающего трансформатора, должно быть хорошо отфильтровано, чтобы исключить передачу шума от электропитания в витую пару. Рекомендуется, чтобы фильтрующий конденсатор с номиналом 0,01 мкФ был помещен между средней точкой трансформатора с напряжением AVDD на слой "земли" AGND. Этот фильтрующий конденсатор должен быть помещен так близко, насколько это возможно, к средней точке трансформатора.

### Сигнал "корпус"

Корпус (шасси) блока и трансформаторы выполняют две задачи: они помогают уменьшить уровень электромаг-

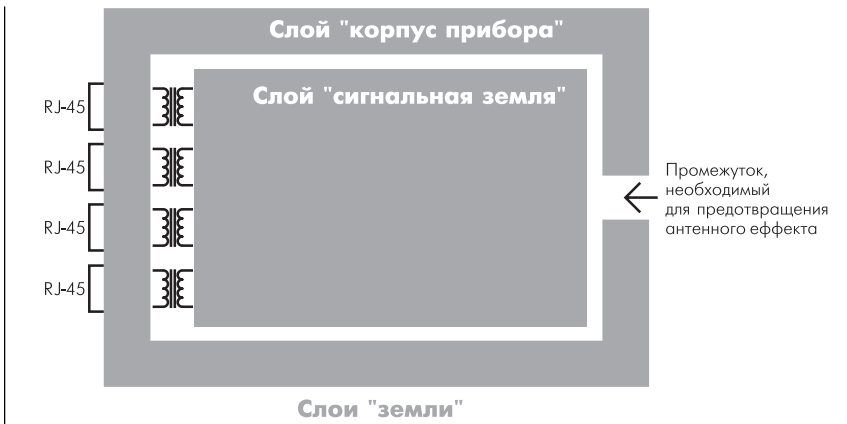


Рис. 6. Расположение слоев "земли" и "корпуса"

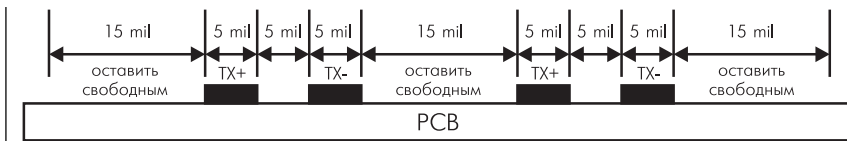


Рис. 7. Примеры расположения трасс сигналов TX и RX

нитных шумов, излучаемых во внешнее по отношению к PCB пространство, действуют как экран, чтобы защитить компоненты, находящиеся на PCB, от электростатического разряда (ESD). Поэтому необходимо выполнять следующие рекомендации:

- расположите трассу сигнала "корпус" блока во всех слоях, кроме слоев питания;
- используйте переходные отверстия с низким переходным сопротивлением, чтобы соединить корпус блока с различными слоями PCB;
- подключите корпус блока в нескольких точках на внешний корпус прибора и/или металлическую рамку модуля;
- используйте зазор, чтобы изолировать слой корпуса блока от слоя сигнальной "земли".

Область корпуса блока простирается от переднего фронта PCB (RJ-45 соединители) к трансформаторам и по краям платы (рис. 3, 4).

### Размещение трасс для дифференциальных сигналов

Расположите дифференциальные пары по возможности ближе друг к другу и удалите их от всех других сигналов.

Оба провода дифференциальной пары должны быть расположены в одном и том же слое PCB.

Расположите обе трассы каждой дифференциальной пары идентично друг другу. Такие трассы, как RX и TX, направленные от трансивера к трансформатору и к разъему RJ-45, должны выполняться по кратчайшему расстоянию симметрично и близко для каждой пары (не больше, чем 2 мм). Пары сигналов RX и TX и синхрочастоты должны быть по возможности короче. Не размещайте пару RX поперек пары TX. Расположите принимающую пару далеко от передающей пары (не меньше, чем 3 мм). Лучше всего между этими двумя парами трасс положить слой "земли" [2].

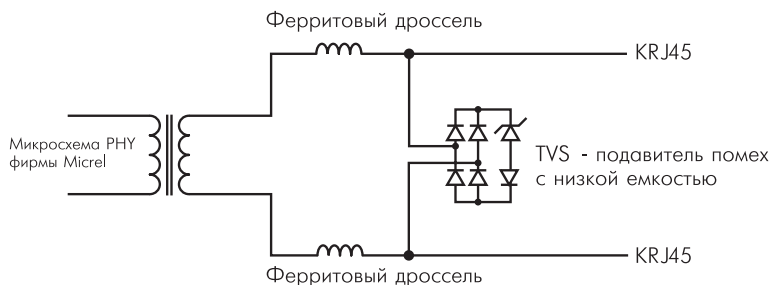
Расположите пары линий передачи данных (TX) и пары линий приема данных (RX) не менее чем на тройном расстоянии друг от друга.

Проводите дифференциальные пары для сигналов TX и RX, используя ширину трассировки 5-mil и интервал в 5-mil (рис. 7) [1].

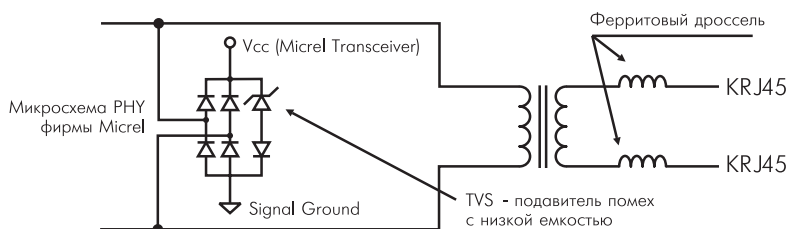
### Рекомендации по размещению слоя синхрочастоты

Проводите трассы синхрочастоты как можно короче, а сигналы синхрочастоты так, чтобы их трассы находились над ненарушенным слоем земли.

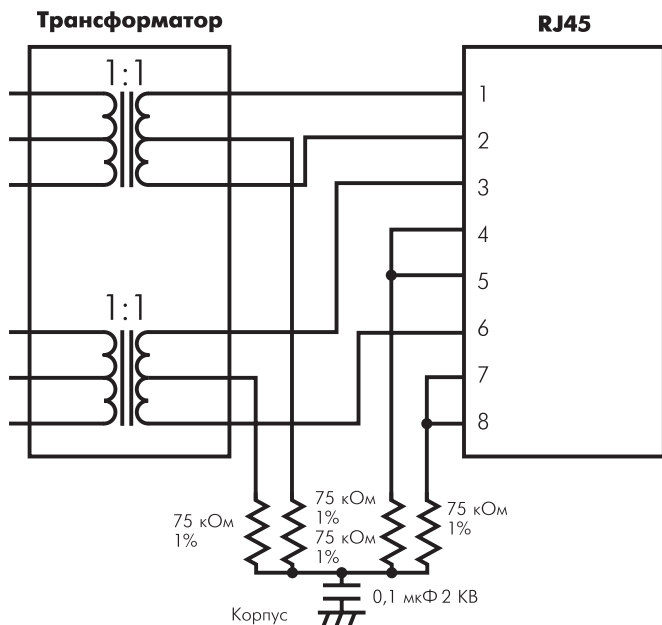
Используйте буферный формирователь тактовых импульсов при необходимости распределить синхрочастоту одного генератора на несколько нагрузок.



**Рис. 8.** Подключение защиты от перенапряжения на стороне разъема RJ-45



**Рис. 9.** Подключение защиты от перенапряжения на стороне трансивера



**Рис. 10.** Подключение согласующихся компонентов к свободным жилам сетевого кабеля и к средним точкам трансформатора

Согласуйте все сигналы синхрос частоты. Например, поместите последовательный согласующий резистор номиналом 33–50 Ом в непосредственной близости к источнику синхрос частоты.

### Защита от электростатического разряда (ESD)

В устройствах могут использоваться различные методы защиты от электростатического разряда. Уровень за-

щиты от электростатического разряда, обеспечиваемый каждым методом, изменяется и зависит от типа используемого устройства защиты. На рис. 8 и 9 показаны два примера методов защиты от электростатического разряда.

Поместите подавитель выбросов напряжения (TVS — transient voltage suppressor) на входах дифференциальных пар TX и RX, для того чтобы увеличить защиту устройства от электростатического разряда.

Эти устройства подключены параллельно линиям ввода–вывода, которые будут защищены.

Подключите все неиспользованные входы или на “землю” через резистор 1 КОм, или на питание через резистор 10 КОм в зависимости от требуемого состояния в установке микросхемы при старте устройства.

Расположите согласующие резисторы для дифференциальных пар сигналов TX и RX в непосредственной близости у микросхемы трансивера (рис. 2).

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

Входы 4, 5, 7 и 8 сетевого разъема RJ-45 (рис. 9) должны быть подключены к резисторам номиналом 75 Ом и установлены насколько возможно близко к корпусу блока и блокировочному конденсатору с номиналом 0,01 мкФ (рис. 10). При этом эти компоненты должны располагаться не ближе, чем в 2 мм от трансформатора [2]. То же самое относится и к проводам от средних точек трансформаторов.

### Рекомендации по выбору трансформатора и кварца

Фирмы-производители обычно дают список рекомендованных для применения трансформаторов и кварцевых резонаторов.

Конечно, приведенные здесь рекомендации не являются исчерпывающими для всех типов устройств. Для более качественного выполнения проекта необходимо точно следовать рекомендациям производителей компонентов. Но автор надеется, что приведенные здесь рекомендации позволят правильно выполнить проект PCB.

В следующей статье данного цикла будет описаны стартовые наборы для трансиверов KS8721 и KS8001.

### Литература

1. Application Note 111 “General PCB Design and Layout Guidelines Micrel 10/100 Switches and PHYs” <http://www.micrel.com>.
2. DM9000 Layout Guide; DM9000-LG-V01.