

Микропроцессор BE-S1000

Рекомендации по проектированию печатных плат с интерфейсом PCIe Gen4

Версия 1.00
31 января 2022

Содержание

1	ВВЕДЕНИЕ.....	2
2	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТРАССИРОВКЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ.....	3
2.1	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТРАССИРОВКЕ ЦЕПЕЙ ПИТАНИЯ.....	3
2.2	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТРАССИРОВКЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛИНИЙ.....	4
3	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТРАССИРОВКЕ ИНТЕРФЕЙСОВ PCIe GEN4.....	9
	ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ.....	11
	КОНТАКТНЫЕ ДАННЫЕ.....	11

Список рисунков

Рис. 2-1	Выполнение изгибов под углами 45° или 135°	5
Рис. 2-2	Минимизация перекрестных помех путем максимального разнеса проводников	5
Рис. 2-3	Пример создания одной линии для подтягивающих резисторов	6
Рис. 2-4	Пример трассировки проводников высокоскоростных дифференциальных пар.....	6
Рис. 2-5	Применение дополнительной петли вместо согласующего меандра	7
Рис. 3-1	Расстояния между проводниками меандра	10

1 Введение

В данном документе содержатся рекомендации по проектированию печатных плат, работающих с высокоскоростным интерфейсом **Peripheral Component Interconnect Express (PCIe)** поколения 4.0, и характерные особенности разработки печатных плат с таким типом интерфейса.

Правильно разработанная топология платы позволяет повысить надежность работы и уменьшить вероятность возникновения ошибок при обмене данными.

Документ предназначен для специалистов, разрабатывающих платы на базе микропроцессора BE-S1000.

Данный документ носит рекомендательный характер и может уточняться и дополняться на протяжении жизненного цикла микропроцессора BE-S1000.

2 Рекомендации по трассировке высокоскоростных интерфейсов

2.1 Рекомендации по трассировке цепей питания

- Если на основной плате размещаются импульсные повышающие или понижающие преобразователи, следует убедиться, что их расположение соответствует рекомендациям производителя.
- При разводке проводников питания высокочастотных плат рекомендуется уделять особое внимание таким паразитным параметрам, как электрическое сопротивление и индуктивность. Следует делать проводники питания максимально широкими или использовать сплошные полигоны. Величина толщины металлизации должна составлять не менее 18 мкм.
- Рекомендуется использовать развязывающие конденсаторы, подключенные к выводам питания цифровых микросхем. Развязывающие конденсаторы действуют в качестве резервных локальных источников питания и обеспечивают протекание значительных импульсных токов в течение коротких промежутков времени. В идеальном случае индивидуальные развязывающие конденсаторы должны быть размещены возле каждого вывода питания интегральной схемы.
- Если контакты питания находятся близко друг к другу, то допускается использование одного общего конденсатора для нескольких выводов. Расстояние между конденсатором и выводами питания должно быть минимальным, а сами проводники - минимально короткими и максимально широкими.
- Необходимо, чтобы протекающий ток сначала проходил развязывающий конденсатор, а затем попадал на вывод питания.
- Если развязывающие конденсаторы расположены на другой стороне печатной платы, а ток должен проходить через сквозные отверстия, то необходимо учитывать возможные последствия, связанные с протеканием пиковых значений тока.
- Для выполнения развязки по питанию рекомендуется применять комбинацию из конденсаторов различной (большой и малой) емкости (например, 100 нФ + 10 мкФ). При этом конденсатор меньшей емкости должен располагаться ближе к выводу питания, чем конденсатор большей емкости. Подбор номиналов рекомендуется выполнять с учетом общих характеристик питающей цепи, а контролировать с помощью моделирования в программном обеспечении (HyperLynx или аналогичном).
- Рекомендуется использовать необходимое количество переходных отверстий для подключения к слоям питания, которое выбирается из расчета одно сквозное отверстие на один ампер тока (для точной оценки необходимо использовать специальное программное обеспечение, такое как Polar Instruments или

аналогичное). Количество переходных отверстий к слою земли должно быть равно количеству переходных отверстий к слою питания.

- Переходные отверстия линий приводят к появлению вырезов в металлизации слоев питания и земли. Группы близко расположенных отверстий создают места повышенной плотности тока в слое между ними. Эти области становятся точками перегрева, что может стать причиной перегрева компонента и изменения величины импеданса. Для решения данной проблемы рекомендуется равномерно размещать переходные отверстия по площади платы, чтобы между ними оставалось достаточно места для протекания тока.

2.2 Рекомендации по трассировке высокоскоростных линий

- Проводники дифференциальной пары могут быть разделены на сегменты разъемами, разделительными конденсаторами или переходными отверстиями, однако делать этого не рекомендуется. В случае если этого избежать невозможно, рекомендуется каждый такой сегмент согласовывать индивидуально.
- Необходимо стараться избегать пересечений между высокоскоростными проводниками, а также проводниками, по которым проходят разные типы сигналов на плате, к примеру аналоговых и высокоскоростных цифровых. Лучше всего размещать проводники на удаленном расстоянии друг от друга или в разных слоях платы. Расстояние между разными сигналами должно быть не менее 0,5 мм. Взаимное влияние рекомендуется оценивать с помощью моделирования в программном обеспечении (HyperLynx или аналогичном).
- Рекомендуется избегать возникновения больших неметаллизированных зон на опорных слоях.
- Рекомендуется располагать высокоскоростные линии и чувствительные схемы на максимальном удалении от цепей тактирования и мощных импульсных схем, таких как источники питания, осцилляторы, генераторы тактовых сигналов, а также от крепежных отверстий.
- Переходные отверстия высокоскоростных сигнальных линий приводят к появлению вырезов в металлизации слоев питания и земли. Группы близко расположенных отверстий создают места повышенной плотности тока. Эти области становятся точками перегрева. Для решения данной проблемы рекомендуется равномерно размещать переходные отверстия по площади платы, чтобы между ними оставалось достаточно места для протекания тока.

- При трассировке высокоскоростных сигналов рекомендуется сводить к минимуму количество изгибов печатных дорожек. При необходимости следует выполнять изгибы под углами 45° и 135° , а не 90° . На следующем изображении показано как это нужно выполнять.

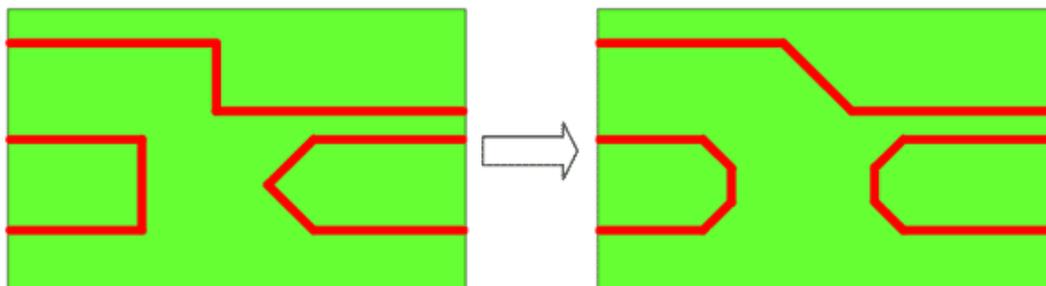


Рис. 2-1 Выполнение изгибов под углами 45° или 135°

- Не рекомендуется располагать различные единичные высокоскоростные проводники друг к другу, так как это может стать причиной возникновения перекрестных помех. Для этого необходимо сократить количество и минимизировать протяженность таких участков, а за их пределами - увеличить расстояние между проводниками (как показано на диаграмме ниже). Если на плате имеется свободное пространство, то рекомендуется разнести их как можно дальше друг от друга. Для минимизации перекрестных помех расстояние между сигнальными парами рекомендуется брать минимум в 5 раз больше ширины трассы. Рекомендуется для каждого конкретного случая применять программы для анализа целостности сигналов (например HyperLynx или Micro-Cap).

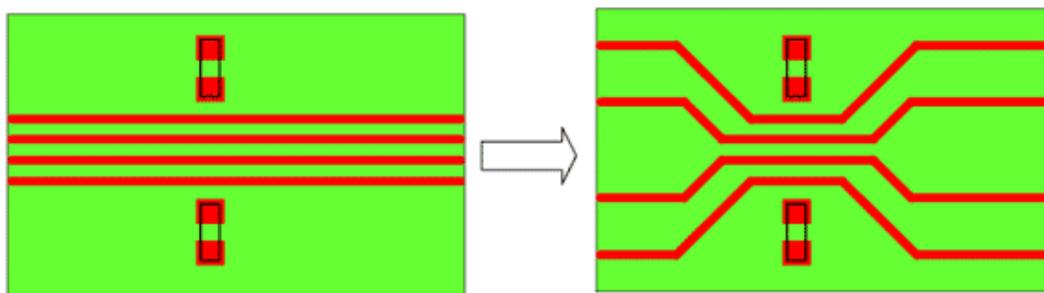


Рис. 2-2 Минимизация перекрестных помех путем максимального разноса проводников

- Длинные отводы (более $0,1$ от длины волны) от основной дорожки могут действовать как антенны и, следовательно, приводить к проблемам, связанным с электромагнитной совместимостью. На длинных отводах, длина которых кратна $\frac{1}{4}$ длине волны, возникают

переотражения, которые существенно сказываются на качестве сигнала. В случае необходимости применения подтягивающих или терминирующих резисторов для данных линий рекомендуется размещать контактные площадки для терминалов соответствующих резисторов непосредственно на пути линий, тем самым избегая ответвлений. Вместо нескольких отводов лучше применять одну дорожку, которая будет последовательно соединять все резисторы, как показано на рисунке ниже.

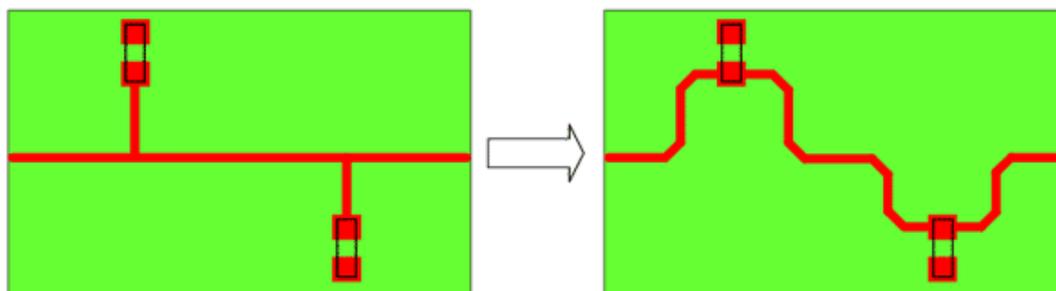


Рис. 2-3 Пример создания одной линии для подтягивающих резисторов

- Проводники высокоскоростных дифференциальных пар рекомендуется располагать параллельно на определенном постоянном расстоянии друг от друга (не менее, чем в 3 раза). Точность подбора длины проводников пары определяется частотой сигнала и типом используемого материала. Кроме этого, рекомендуется при их трассировке минимизировать число различных неоднородностей, как показано на рисунке ниже.

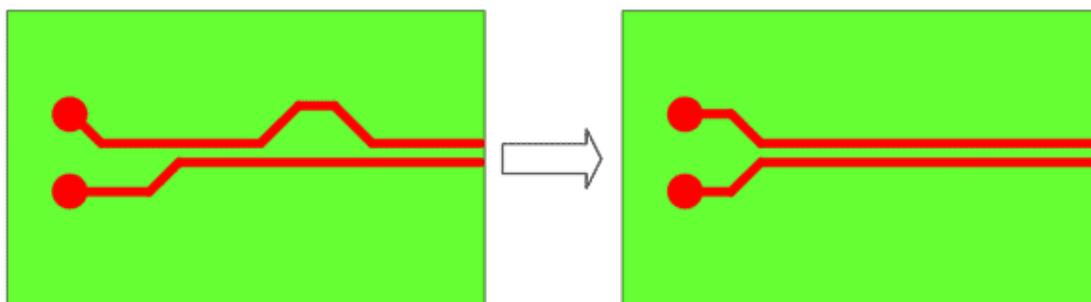


Рис. 2-4 Пример трассировки проводников высокоскоростных дифференциальных пар

- Подключение проводников дифференциальных пар к контактам и выводам по возможности также рекомендуется выполнять симметрично, чтобы избежать рассогласования длин. Если пространство между контактами позволяет, то лучше добавить небольшую петлю к дорожке с меньшей длиной вместо того, чтобы использовать согласующий меандр, как показано на рисунке ниже.

При необходимости лучше использовать дополнительную петлю вместо согласующего меандра.

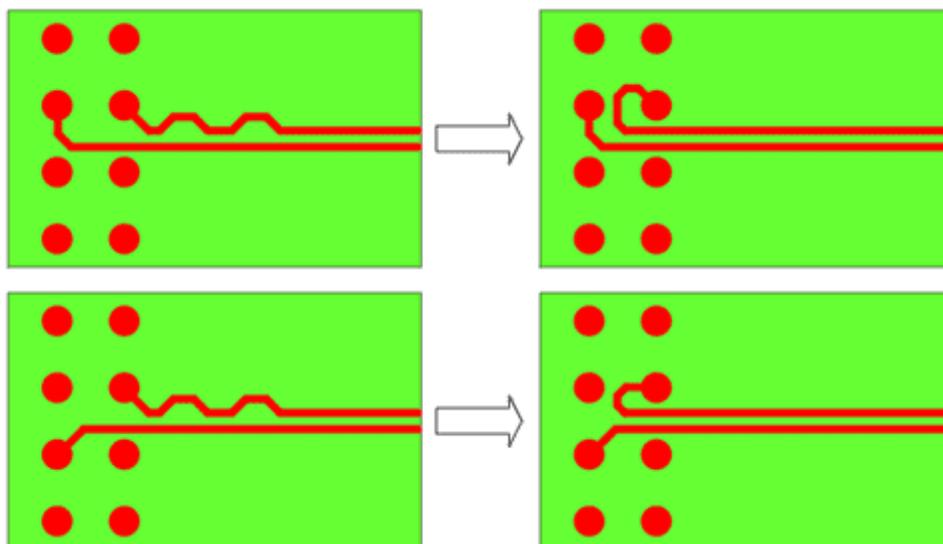


Рис. 2-5 Применение дополнительной петли вместо согласующего меандра

- Высокоскоростные интерфейсы предъявляют жесткие требования к временным задержкам сигналов. Поэтому при работе с высокоскоростными интерфейсами необходимо выравнивание длин проводников. При выполнении трассировки необходимо контролировать шаг и параметры сегментов меандра.
- Для расчета максимальной разности длин дорожек необходимо оценить скорость распространения сигналов на печатной плате по следующей формуле

$$V=C/\epsilon_r^{0,5},$$

где C - скорость света в вакууме;

ϵ_r - относительная диэлектрическая проницаемость материала между дорожкой и опорной плоскостью (для верхнего и нижнего слоев необходимо также учитывать диэлектрическую проницаемость маски).

- Для высокоскоростных сигналов дифференциальных линий наибольшее значение имеет дифференциальный импеданс, однако необходимо учитывать и импеданс отдельной линии. Величина импеданса должна быть согласована по всей протяженности линии. Согласование импеданса рекомендуется проводить путем выбора необходимой геометрии проводников. Также рекомендуется, чтобы сегменты проводников дифференциальной линии располагались на одном слое и имели одинаковое число переходов.

- Импеданс контактной площадки будет значительно меньше, чем у подключенной к ней дорожки. Это различие в импедансе может вызвать отражения, что негативно скажется на целостности сигнала. Рекомендуется под разъемами и массивными контактными площадками выполнять вырез в металлизации опорного слоя земли, а активную плоскость земли рекомендуется располагать на другом слое.
- Переходные отверстия создают существенную неоднородность импеданса дифференциальных линий. Для высокочастотных сигналов рекомендуется отказаться от межслойных переходов или хотя бы минимизировать их количество. В случае если избежать использования переходных отверстий не удастся, рекомендуется удалить неиспользуемую металлизацию переходных отверстий на внутренних слоях.
- При использовании переходных отверстий рекомендуется прибегать к таким вариантам, как «глухие» или «слепые» переходные отверстия, обратная засверловка. Для ограждения отверстий от помех рекомендуется применять заземляющие переходные отверстия вокруг сигнального перехода.
- Рекомендуется избегать трассировки высокоскоростных сигналов на границе «питающих» слоев или вблизи границ печатной платы. В противном случае это может отрицательно повлиять на согласование импедансов цепей.
- Рекомендуется выбирать путь возвратного тока, исходя из положения источника и приемника сигнала. Печатный проводник не должен проходить над вырезами в слое земли, так как в этом случае возвратный ток не сможет в точности повторить путь исходного сигнала. Если плоскость земли разделена, то лучше всего прокладывать дорожку между источником и приемником сигнала в обход выреза.
- Рекомендуется избегать трассировки высокочастотных сигналов над вырезами в опорных слоях и полигонах.
- При переходе линии с одного слоя на другой рекомендуется разместить переходные отверстия между опорными слоями земли в максимальной близости от точки перехода. Для дифференциальных сигналов переходные отверстия между слоями земли следует располагать симметрично. Сигнальные линии должны пересекать границу полигонов под углом 90° .
- Если при переводе линии на другой слой вместо слоя земли опорным становится слой питания, то рекомендуется применять объединительные конденсаторы, позволяющие возвратному току беспрепятственно переходить между слоем земли и слоем питания. Для дифференциальных сигналов объединяющие конденсаторы необходимо размещать симметрично.

3 Рекомендации по трассировке интерфейсов PCIe Gen4

Основными регламентирующими документами, содержащими рекомендации по трассировке печатных плат для PCIe Gen4, являются:

- ***PCI Express Card Electromechanical Specification Revision 4***
- ***PCI Express Base Specification Revision 4***

В них содержится вся необходимая информация для правильной трассировки интерфейсов PCIe Gen4. В частности спецификации содержат следующие требования:

- При выборе материала, из которого будет изготавливаться плата, рекомендуется учитывать, что максимальная скорость передачи данных может составлять 16 ГТ/с (для интерфейса CCIX - 25 ГТ/с).
- Рекомендуется составлять структуру слоев платы таким образом, чтобы сигнальные линии были обособлены опорными слоями (полигонами питания или земли) без разрывов вдоль пути следования сигнала.
- Трассировка всех высокоскоростных линий должна выполняться при минимально возможном количестве задействованных слоев и переходных отверстий.
- Для разводки цепей питания и земли рекомендуется использовать отдельный слой или же максимально широкий полигон. Располагать их рекомендуется на верхнем и нижнем слоях платы.
- Рекомендуется проводить функциональную верификацию разработанной схемы с целью проверки адекватности ее работы. Для этого могут использоваться различные инструменты, разработанные компаниями Cadence или Synopsys.
- Рекомендуется производить анализ целостности сигналов (см. Lane Margining) с использованием специальных программных средств (например HyperLynx, позволяющий учитывать влияние разнообразных источников помех).
- На всем протяжении дифференциальной линии сигналов PCIe Gen4 величина импеданса должна быть одинаковой. Для PCIe Gen4, который работает на скорости 16 ГТ/с, значение импеданса должно составлять $100 \Omega \pm 10\%$ для дифференциальных пар и $50 \Omega \pm 10\%$ одиночных сигнальных цепей.
- Рекомендуется произвести расчет необходимых значений в профильном программном обеспечении. В качестве примера для PCIe Gen4 интерфейса можно использовать следующие базовые параметры:
 - ширина трассы 5 mils (0,127 мм)
 - зазор между проводниками внутри одной трассы 5 mils (0,127 мм) для внешних слоев (top, bottom) и 7 mils (0,178 мм) для внутренних

- Разница между длинами трасс одной дифференциальной пары должна быть не более 5 mils (0,127 мм).
- Выравнивание длин линий данных должно согласовано со временем передачи сигнала синхронизации. Рекомендуется, чтобы возможные отклонения не превышали 9-10 нс.
- Интерфейс PCIe Gen4 поддерживает смену полярности дифференциальных сигналов. В том случае, если используемые в сигнальной цепи PCIe Gen4 интерфейса микросхемы допускают данную функцию, то рекомендуется осуществлять изменение контактов положительного и отрицательного сигналов местами, чтобы избежать пересечения проводников дифференциального сигнала.
- При работе с PCIe Gen4 интерфейсом рекомендуется производить выравнивание длин проводников путем трассировки в виде меандра (а не линиями под углом 45°), пример которой показан на рисунке ниже. Рекомендуется, чтобы расстояние между проводниками меандра было как минимум в 4 раза больше ширины дорожки, а длина перпендикулярных частей меандра должна быть в 1,5 раза больше ширины дорожки.

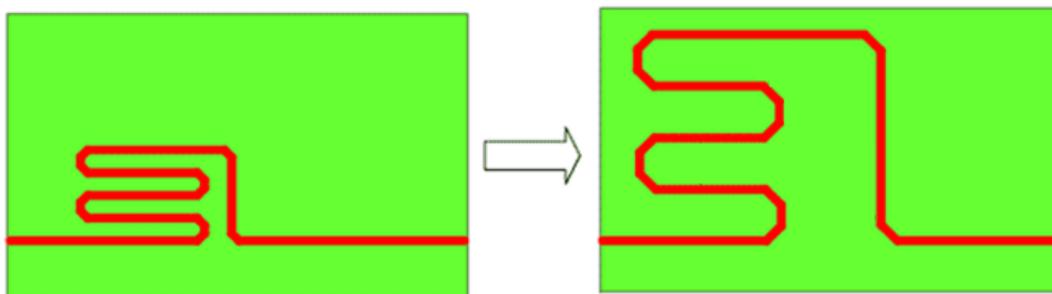


Рис. 3-1 Расстояния между проводниками меандра

- Необходимо контролировать шаг и параметры сегментов меандра. Меандр необходимо помещать рядом с точкой, где начинается рассогласование длин проводников дифференциальной пары, что приведен к наиболее синхронному распространению положительной и отрицательной составляющих сигнала.
- Расстояние между процессором и разъемом PCIe Gen4 должно быть минимальным, но не должно превышать 300 мм.
- Рекомендуется устанавливать последовательно подключенные разделительные конденсаторы для снижения уровня паразитного влияния, которые должны быть расположены максимально близко к источнику сигнала. Также это обеспечивает токовую развязку по постоянному току. Типовое значение емкостей объединительных конденсатора составляет 150...250 нФ. Рекомендуется применять малогабаритные корпуса типоразмера 0402, реже - типоразмера 0201.

Контактные данные



АО «Байкал Электроникс»

www.baikalelectronics.com



Центральный офис

www.baikalelectronics.com/contacts



Почта

info@baikalelectronics.ru



Телефон

+7 495 221-39-47

Лист регистрации изменений

Номер версии	Дата	Внесенные изменения
1.00	31.01.2022	Первая версия документа