

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ СИГНАЛ КАК СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Медведев С. В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Лушакова М. С. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Описан дифференциальный сигнал в контексте передачи информации, а также его основные правила проектирования на печатных платах. Сделан анализ преимуществ и недостатков такого способа передачи сигнала при проектировании высокоскоростных интерфейсов.

Ключевые слова: дифференциальный сигнал, печатная плата, высокоскоростные интерфейсы.

Введение. Дифференциальные пары обеспечивают новый способ маршрутизации битовых потоков с высокой скоростью передачи данных, где каждый фронт сигнала обычно имеет очень малое время нарастания. Дифференциальные протоколы, используемые в высокоскоростных системах, являются основой многих распространенных стандартов передачи сигналов. USB, HDMI, Ethernet и многие другие протоколы прокладываются как дифференциальные пары и требуют тщательного проектирования и разводки сигнальных дорожек.

Дифференциальный способ передачи сигнала использует два взаимно дополняющих напряжения для передачи одного информационного сигнала. Таким образом, для передачи одного информационного сигнала требуется пара проводников: один несет сигнал с положительным напряжением, а другой – инвертированный сигнал. Приемник извлекает информацию путем обнаружения разности потенциалов между инвертированным и неинвертированным сигналами. Эти сигналы являются сбалансированными, что означает, что они имеют равную амплитуду, но противоположную полярность относительно напряжения общей моды [1].

Основная часть. При проектировании печатных плат информация по сигнальным дорожкам может передаваться в одном из трех режимов: одностороннем, дифференциальном и общем.

Односторонний режим включает в себя единственный провод или трассу между драйвером и приемником. Сигнал распространяется по трассе и возвращается обратно через систему заземления. Системой заземления может служить как полигон на соседнем слое, так и сигнальная дорожка нулевого потенциала рядом. На качество сигнала в основном влияет только способ трассировки сигнальной дорожки, однако неверно спроектированная система заземления может внести существенные помехи в такой сигнал.

Как отмечалось выше, дифференциальный режим предполагает наличие пары печатных проводников между драйвером и приемником. Поскольку сигналы равны и противоположны по знаку, то в данном режиме нет обратного сигнала через систему заземления.

Сигналы общего режима могут включать в себя либо односторонние трассы, либо один (или даже больше) набор дифференциальных трасс. Одинаковый сигнал проходит как по сигнальной дорожке и по пути возврата (система заземления) при односторонней трассе, так и по обеим трассам в дифференциальной паре. Обычно сигналы общего режима являются результатом того, что в цепь попадает шум от какого-либо другого (близлежащего или внешнего) источника [2].

Поскольку дифференциальные сигналы в стандартных вычислительных протоколах и для некоторых периферийных устройств работают с высокой частотой фронтов сигналов, они обычно требуют контроля импеданса для предотвращения отражения волны от нагрузочного конца дифференциальной пары. Все дифференциальные пары, используемые в вы-

сокоскоростных печатных платах, требуют регулировки двух проводников дифференциальной пары, чтобы сигнал каждой полярности поступал на приемник в одно и то же время. Для этого применяются следующие правила проектирования:

- односторонний и дифференциальный импеданс дифференциальной пары должны иметь строго определенное значение, равное импедансу разъёма и проводов интерфейса. Обычно это значение 45 Ом для одностороннего и 90 Ом для дифференциального импеданса. Такие значения должны быть выдержаны для предотвращения отражений и обеспечения максимальной передачи мощности в приемный компонент;

- согласование задержки или длины проводников. Это сказывается не только на сопротивлении проводников, но и на качестве доставленного сигнала. При рассогласовании длины проводников фазы сигналов в паре перестают совпадать, и на стороне приёмника это приводит к искажению сигнала и росту синфазного шума;

- согласованное расстояние между трассами. Расстояние между парами должно быть установлено как минимальное значение, которое не нарушает ограничений по импедансу, а также возможности производства. Причина заключается в том, что это поможет обеспечить как можно более низкий уровень излучаемой электромагнитной индукции общей пары, а также в том, что общий шум в результате перекрестных наводок имеет практически одинаковую величину на каждой трассе в паре [3].

Для каждого описанного выше правила есть свой способ настройки, который контролируется программным обеспечением для разработки печатной платы. Например, в САПР Altium Designer есть отдельный пункт в настройках правил проектирования, чтобы задать сопротивление дифференциальной пары, а также расстояние между проводниками для таких сигналов. Сопротивление проводников будет зависеть от слоя, на котором они расположены, диэлектрической проницаемости материала печатной платы, ширины и толщины проводника, а также расстояния между печатными проводниками в паре.

С другой стороны, согласование длины проводника должен контролировать сам инженер-проектировщик. Для этого в САПР Altium Designer есть инструмент «Interactive Length Tuning», который позволит настроить параметры изгиба одного проводника пары с более короткой длиной. Предпочтительным вариантом удлинения проводника является изгиб «Аккордеон», показанный на рисунке 1. На рисунке видно, что удлинение одного проводника позволило добиться согласования задержки сигнала и длины проводников дифференциальной пары. Разница между задержками сигналов в паре должна быть не больше 5%, а в идеальном случае – не больше 1/16 от длительности фронта волны сигнала [4].

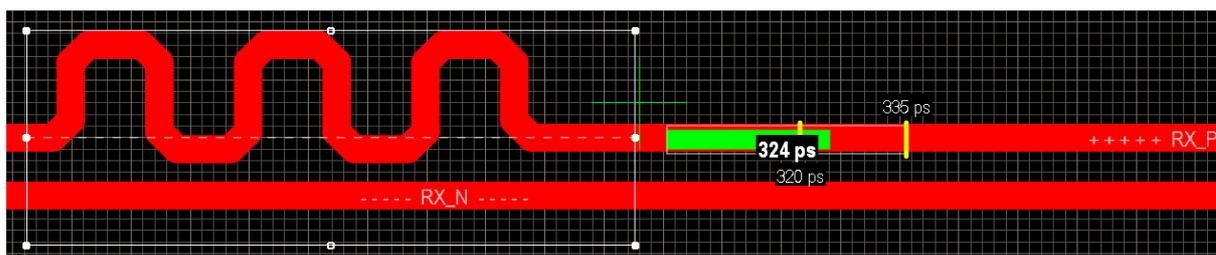


Рисунок 1 – Согласование дифференциальной пары

К несомненным преимуществам дифференциальных пар можно отнести помехоустойчивость. Если электромагнитные индукционные помехи вносятся извне дифференциальных проводников, они добавляются в равной степени к инвертированному и неинвертированному сигналу. Приемник реагирует на разницу в напряжении между двумя сигналами, а не на одностороннее (т.е. связанное с землей) напряжение, и поэтому цепь приемника значительно уменьшает амплитуду помех или наводок.

Также стоит отметить, что односторонние сигналы должны поддерживать относительно высокое напряжение для обеспечения адекватного отношения сигнал/шум. Обычно-

ми напряжениями одностороннего интерфейса являются 3,3 В и 5 В. Благодаря улучшенной помехоустойчивости дифференциальные сигналы могут использовать более низкие напряжения и сохранять адекватное значение сигнал/шум.

С другой стороны, дифференциальные сигналы имеют один очевидный недостаток по сравнению с односторонними сигналами. Они требуют двух печатных проводников вместо одного для передачи сигнала, что занимает на печатной плате в 2 раза большую площадь. Эту особенность дифференциальных пар невозможно изменить или исправить, поэтому это стоит учитывать при проектировании компактных устройств. Печатные платы с современными высокоскоростными интерфейсами, способом передачи в которых используются дифференциальные пары, должны быть 3 и выше класса точности и иметь как минимум 4 слоя (под дифференциальной парой должен находиться слой печатной платы, полностью отведённый под цепь заземления) для избежания взаимодействия между соседними сигналами и дифференциальной парой [5].

Заключение. Рассмотрение дифференциального сигнала как способа передачи информации при проектировании печатных плат позволяет определить место такого способа в системе передачи информации. Проектирование дифференциального сигнала на печатной плате требует выполнения описанных правил проектирования для передачи неискаженного сигнала, использования современных САПР, а также высококвалифицированных специалистов в данной области.

Не смотря на сложности в проектировании дифференциальный сигнал необходим в устройствах, содержащих высокоскоростные интерфейсы. Его помехоустойчивость, отсутствие обратного тока во внешних цепях и низкое напряжение передаваемого сигнала делают дифференциальную пару незаменимым способом передачи информации, когда частота сигнала достигает сотен МГц.

Список литературы

1. Сеть связи цифровая интегральная. Термины и определения : ГОСТ 22670-77. – Введ. 1979 - 01 - 01. – Москва : Гос. комитет стандартов Совета министров СССР : Издательство стандартов Госстандарт СССР, 1977. – 37 с.
2. Kaufer, S. Terminating Differential Signals on PCBs / S. Kaufer // Printed Circuit Design Magazine. - 1999. - №16. - P. 25-37.
3. Freeman, M. PCB Impedance Control: Formulas and Resources / M. Freeman // Printed Circuit Design Magazine. - 1998. - №4. - P. 18-24.
4. Differential pair routing / Z. Peterson // Altium Designer [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.altium.com/ru/documentation/altium-designer/interactively-routing-differential-pairs-pcb/>. – Дата доступа: - 23.02.2023.
5. Bogatin E. Differential Impedance, What's the Difference? / E. Bogatin // Printed Circuit Design Magazine. - 1998. - №7. - P. 15-17.

UDC 621.315.553

DIFFERENTIAL SIGNAL IS A WAY OF INFORMATION TRANSFER IN PCB DESIGN

Medvedev S. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Lushakova M. S. – associate professor of the Department of ETT

Annotation. The article describes the differential signal in the context of information transmission across printed circuit boards. There are presented the rules of differential signal design for undistorted signal transmission. The advantages and disadvantages of this type of signal transmission in the design of high-speed interfaces are analyzed.

Keywords: differential signal, printed circuit board, high-speed interfaces