

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ИНТЕРФЕЙСНОГО БЛОКА СМПО-100СА-IT

С. А. Макаров, Ю. А. Малых, А. П. Горячев, П. О. Костин, Е. И. Романчук

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

Мировой тенденцией в коммуникационных средах является увеличение пропускной способности линков, вследствие чего увеличивается пропускная способность каналов. Например, в устройствах InfiniBand и Omni-Path в настоящее время применяются каналы связи производительностью 25 Гбит/с на линк. На 4-х линках это позволяет организовать канал с пропускной способностью 100 Гбит/с. Разработанная в 2015 году отечественная система межпроцессорных обменов СМПО-10С на данный момент имеет пропускную способность 10 Гбит/с на линк, что соответствует каналу 40 Гбит/с на 4-х линках [1]. В новой версии СМПО предлагается обеспечить пропускную способность линка не менее 20 Гбит/с. С целью создания технического задела для следующего поколения системы межпроцессорного обмена выполнено исследование влияния конструкционного материала многослойной печатной платы (МПП) на качество передаваемого высокоскоростного сигнала производительностью не менее 20 Гбит/с.

Интерфейсная плата СМПО-100СА-IT

В рамках отработки технологии изготовления МПП с линиями передачи сигналов производительностью 20 Гбит/с, совместно с НИИИС им. Седакова, спроектированы и изготовлены интерфейсные платы СМПО-100СА-IT (рис. 1).

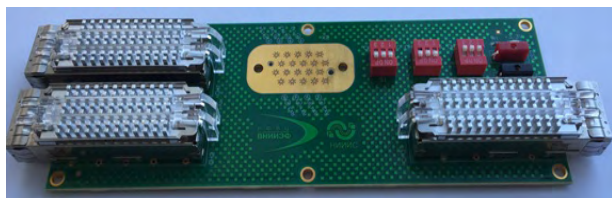


Рис. 1. Интерфейсная плата СМПО-100СА-IT

Структурная схема платы демонстрирует связь между компонентами (рис. 2). Плата позволяет использовать как медные, так и оптические кабели стандарта QSFP. Для использования оптических кабелей на плате предусмотрен разъем для подачи внешнего питания 3,3 В, а так же переключатели для настройки.

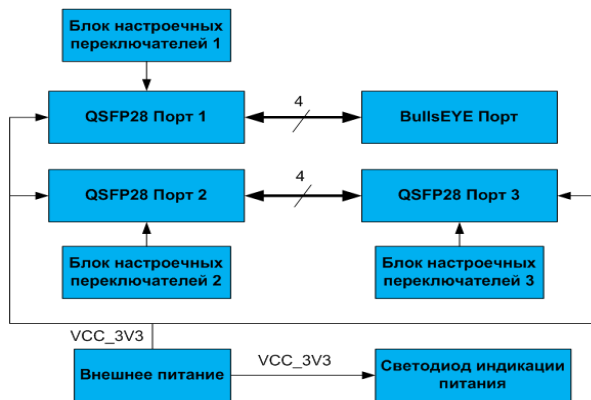


Рис. 2. Структурная схема платы СМПО-100СА-IT

Конструктивно интерфейсная плата СМПО-100СА-IT представляет собой плату размером 170x60 мм. На плате присутствует 16 высокоскоростных дифференциальных пар, спроектированных для передачи сигнала с производительностью 20 Гбит/с (рис. 3). Дифференциальные пары подключены к высокочастотным разъемам QSFP28 и BullsEYE. На плате установлено три разъема стандарта QSFP28 (X1, X3, X4) и один BullsEYE (X2), образуя два топологических канала: QSFP28– QSFP28 топологический канал X3–X4, и QSFP28 – BullsEYE топологический канал X1 – X2.

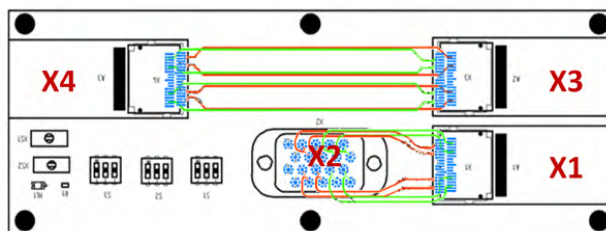


Рис. 3. Схема трассировки СМПО-100СА-IT

Измерительный стенд

Для проверки качества проектирования и изготовления высокочастотных дифференциальных пар в интерфейсных платах, разработан измерительный стенд (рис. 4).

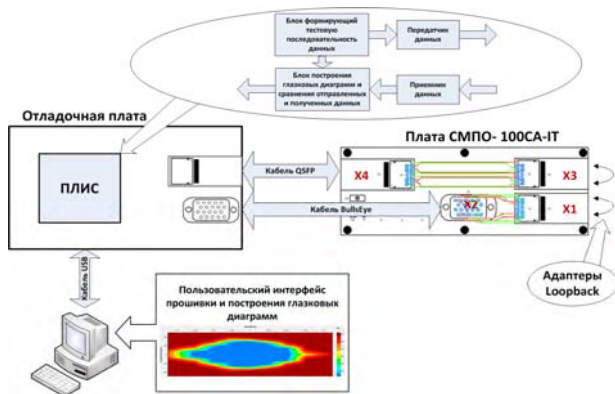


Рис. 4. Измерительный стенд для проверки дифференциальных пар

Стенд представляет собой отладочную плату на основе ПЛИС с загруженной в нее прошивкой для тестирования. Прошивка включает в себя блок управления и диагностики высокоскоростных приемопередатчиков. С компьютера через пользовательский интерфейс прошивки можно задавать параметры работы приёмопередатчиков и оценивать качество передаваемого / принимаемого сигнала по количеству ошибок в линках, по коэффициенту BER (biterrorratio) или по глазковой диаграмме.

Отладочная плата подключена кабелем стандарта QSFP к разъему X4 и кабелем стандарта BullsEYE к разъему X2 интерфейсной платы. В разъемы X1 и X3 интерфейсной платы установлены модули Loopback, которые соединяют линии передатчика с линиями приемника.

В ПЛИС генерируется сигнал тестовой последовательности, который по соответствующим кабелям поступает на разъем X2 и X4 интерфейсной платы. По дифференциальным линиям интерфейсной платы сигнал доходит до разъемов X1 и X3 с установленными модулями Loopback и направляется в приемник ПЛИС. Встроенный в прошивку компаратор сравнивает отправленную передатчиком и принятую приемником последовательность. На основе анализа этих данных производится расчет коэффициента BER и построение глазковой диаграммы.

Результаты тестирования

Параметр BER, характеризующий качество приема информации, это вероятность принятия ошибочного бита, которая вычисляется как отношение количества ошибочно принятых битов к общему количеству принятых битов. Считается, что для надежного функционирования коммуникационных систем, коэффициент BER в канале передачи данных должен составлять не более порядка 10^{-12} . На основе приведенного в п. 2 стенда, на скорости передачи данных 20 Гбит/с, протестированы оба топологических канала интерфейсной платы СМПО-100СА-IT. Для всех линков получено значение BER 10^{-13} , что является

достаточным для передачи сигнала с низкой вероятностью ошибки.

Так же получены глазковые диаграммы для каждого линка (рис. 5, рис. 6). Глазковая диаграмма это суммарный вид всех битовых периодов измеряемого сигнала, наложенных друг на друга. Глазковая диаграмма позволяет быстро и наглядно определить качество цифрового сигнала и обнаружить ошибки, вызванные большим уровнем помех и искажений в канале передачи.

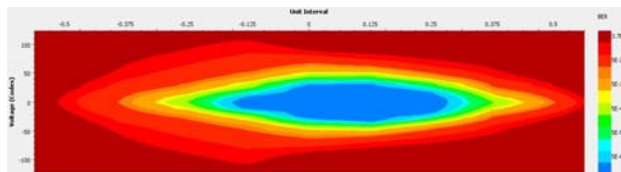


Рис. 5. Глазковая диаграмма линка 1 канала X3 – X4

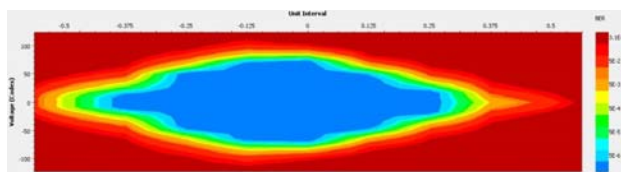


Рис. 6. Глазковая диаграмма линка 1 канала X1 – X2

По глазковым диаграммам видно, что раскрытие глаза канала X1 – X2 лучше, чем канала X3 – X4. Это может объясняться тем, что у канала X3 – X4 рядом со вторым разъемом QSFP28 присутствуют переходные отверстия, которые вносят помехи в передаваемый сигнал.

Получены частотные характеристики каналовой интерфейсной платы СМПО-100СА-IT при скорости тестовой последовательности 10, 15, 20 и 25 Гбит/с. По результатам измерений построены графики зависимости раскрытия глазковой диаграммы от скорости передаваемого сигнала (рис. 7, рис. 8).

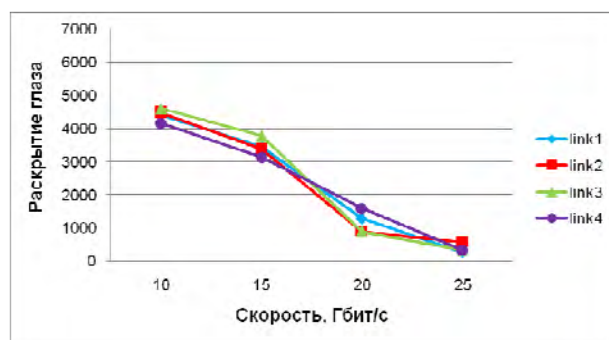


Рис. 7. Зависимость раскрытия глазковой диаграммы от скорости канала X3 – X4

Из графиков видно, что канал X1 – X2 на всех скоростях работает стабильно, при достаточно большом раскрытии глаза. Канал X3 – X4 имеет раскрытие глаза в 1,5-2 раза меньше, чем канал X1 – X2,

Заключение

Исследование показало успешный опыт проектирования и производства на отечественных предприятиях МПП с линиями передачи высокопроизводительных сигналов. В ходе исследования для всех линков получены коэффициенты BER и построены глазковые диаграммы. Анализ полученных данных позволяет говорить о том, что подобранный материал, разработанный стек слоев, трассировка и компоновка платы обеспечивают производство на отечественных предприятиях МПП, работающих с сигналами производительностью 20 Гбит/с. Принципы проектирования и изготовления будут использованы при разработке аппаратных модулей СМПО нового поколения.

Литература

1. Холостов А. А. Масштабируемая система межпроцессорных обменов 10 G // [Электронный ресурс] – Национальный суперкомпьютерный форум, 2013. Режим доступа: www.nscf.ru.

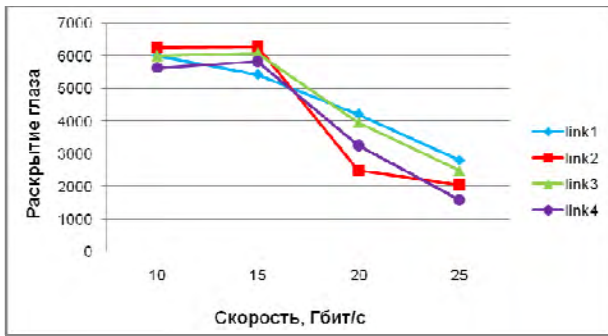


Рис. 8. Зависимость раскрытия глазковой диаграммы от скорости канала X1 – X2

на соответствующих скоростях. На скорости 25 Гбит/с X3 – X4 уже не работоспособен. Большой уровень помех и искажений в канале X3 – X4 может объясняться тем, что дифференциальные пары канала в два раза длиннее, и рядом со вторым разъемом QSFP28 присутствуют переходные отверстия. На целевых 20 Гбит/с оба канала способны передавать информацию с очень малой вероятностью принятия ошибочного бита.