

# МЕДНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОЛГОЖИВУЩИХ ИЗДЕЛИЙ

В.Майская

Увеличение производительности и плотности упаковки компонентов электронных систем стимулируют инновации в мире соединителей. За прошедшие несколько лет в массовом производстве освоено множество новых соединителей объединительных плат и плат второго уровня, а также кабельных соединителей с высокими характеристиками. При этом изготовители отдают предпочтение хорошо освоенной, надежной технологии медных соединителей. Совершенствуются конструкции каналов, методы моделирования и компоновка плат, позволяющие увеличить пропускную способность до более 10 Гбит/с. А ведь совсем недавно многие разработчики считали, что медные соединители будут непригодны для передачи данных со скоростью в несколько гигабит в секунду, что приведет к росту применения волоконно-оптических соединителей. Но прогнозы "скорой смерти" меди оказались преждевременными. Скорость передачи информации выпущенных или создаваемых медных соединителей достигает 10–40 Гбит/с. Разрабатываются стандарты, задающие каналы со скоростью передачи 40–100 Гбит/с. И число специалистов, которые все еще пытаются определить предельную пропускную способность медных соединителей, невелико.

**Р**оль соединителей в электронной аппаратуре нельзя недооценивать. Разработчики могут потратить годы и многие миллионы долларов на создание перспективного электронного устройства. И вся эта работа может оказаться безрезультатной из-за неправильного выбора соединителя. Так, в 2008 году – год максимальной популярности мобильного телефона iPhone – специалисты центра быстрого ремонта телефонов марок iPod, iPhone, Zune и других малогабаритных устройств компании Apple отметили, что основными причинами отказов столь привлекательных для пользователя мобильных устройств были неисправности соединителей. К ним относились слабый контакт гнезда для подключения наушников, слишком "тугое" гнездо с нулевым усилением установки, потеря соединения между загрузочным узлом и материнской пла-

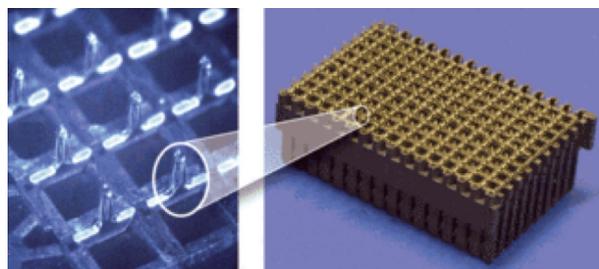
той. Достижения в конструкциях, технологии и повышении качества используемых материалов существенно улучшили характеристики соединителей. Необходимость увеличения пропускной способности, а также рост применения мобильных устройств стимулируют дальнейшее совершенствование конструкций соединителей за счет миниатюризации, улучшения заземления и использования запасных контактов.

С увеличением частоты время нарастания и спада сигналов уменьшается, и когда значения этого времени составляют лишь небольшую долю времени задержки сигнала соединителя, качество сигнала ухудшается. При частоте сигнала 100 МГц значение времени нарастания и спада в 2 нс не превышает 2,5% от времени задержки соединителя, равного 50 нс при длине вывода 15 мм. При таком отношении значений времени

нарастания сигнала и задержки свойства штыревого вывода не влияют на распространение сигнала. Но при скоростях передачи свыше 1 Гбит/с искажение сигнала возрастает. Негативное влияние оказывает и наличие вблизи сигнальных выводов низкосортного пластмассового материала.

С целью снижения перекрестных искажений сигнала, вносимых соединителем, в высококачественных компонентах используется пластмасса с низкой диэлектрической постоянной. Для формирования надежных высокоскоростных каналов возможно применение экзотических ламинатов печатных плат, хотя часто пригодны более дешевые стандартные или улучшенные FR-4 базовые материалы печатных плат.

Одна из самых действенных мер по улучшению характеристик соединителя – простое уменьшение его размера (в соответствии с механическими допусками установок автоматического захвата, транспортировки и установки). Уменьшение размера соединителя в десять раз позволяет увеличить его рабочую частоту также в десять раз без изменения его геометрии. Так, рабочая частота монтируемого на поверхность сверхминиатюрного соединителя компа-



**Рис.1.** Контакт Micro Action Pin

нии Rosenberger, который по своей конструкции не отличается от других высокочастотных соединителей, составляет 64 ГГц.

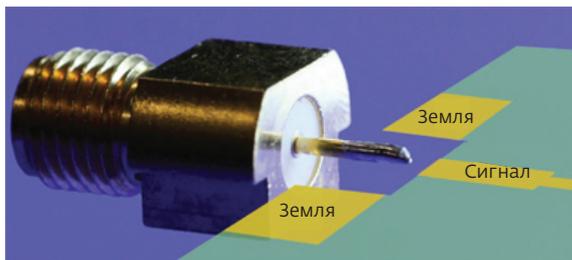
Но наибольшее искажение сигнала вызывает не сам соединитель, а область сопряжения соединителя с проводником печатной платы. Шлейфы контактов, формируемые втулками металлизированных сквозных отверстий платы, вызывают перекрестные искажения и резонанс, искажающие сигнал, передаваемый на высокой частоте. Изготовители решают эту проблему за счет уменьшения длины и диаметра легко стыкуемых штыревых выводов, при этом рекомендуется высверливать втулку ниже точки контакта до сигнальных слоев пла-

ты. Так, в новых соединителях семейства Strada Whisper компании Tyco Electronics с микроконтактами (Micro Action Pin, MAP) с прессовой посадкой диаметр штыревого контакта соединителя уменьшен с 0,6 до 0,22 мм (рис.1). Эти соединители с высокой плотностью контактов пригодны для соединения материнской и дочерних и/или мезанинных плат, плат ввода-вывода, а также объединительных плат. Они обеспечивают скорость передачи данных 25–40 Гбит/с. Предположение, что для высокопроизводительных приложений потребуется монтаж компонентов на поверхность, позволяющий уменьшить диаметр сквозных отверстий и тем самым улучшить производительность системы, может оказаться неверным. К достоинствам MAP-соединителей относится и возможность создания на плате более широких, чем обычно, проводников, что позволяет улучшать производительность системы или использовать более дешевые материалы печатной платы.

Вместе с тем, изготовители соединителей зачастую пытаются трактовать в свою пользу достигаемую разработчиками за счет компенсации характеристик микросхем целостность сигнала приемников и передатчиков. Но в этом случае увеличение полосы пропускания достигнуто за счет "кремния".

С точки зрения улучшения качества передаваемого сигнала интересен соединитель, монтируемый в отверстия печатной платы или на ее край с обеих сторон (straddle mount). Соединитель этого типа позволяет располагать ось контакта в области, совпадающей с верхней поверхностью платы (рис.2), исключая тем самым помехи, вносимые при угловом подключении соединителя.

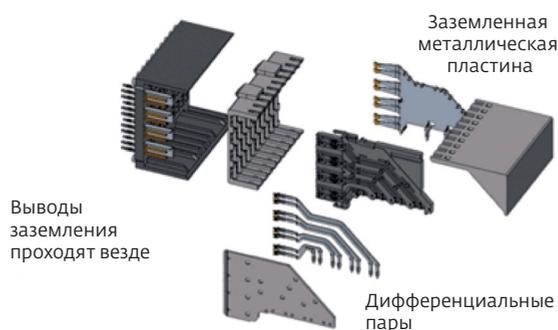
Еще один способ снижения перекрестных искажений и радиопомех – увеличение контактов заземления. Этот принцип использован в модуль-



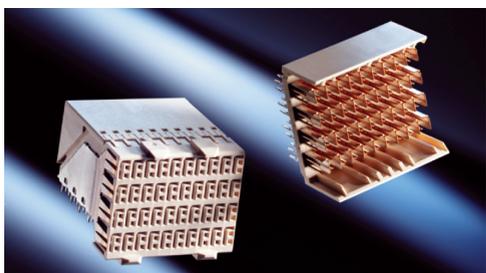
**Рис.2.** Ось этого соединителя, монтируемого с двух сторон платы (straddle mount) расположена в точке, совпадающей с верхней плоскостью платы, что решает проблемы улучшения качества сигнала при установке угловых соединителей

ных соединителях с прессовой посадкой ERmet ZD компании ERNI Electronics, обеспечивающих скорость передачи информации до 10 Гбит/с и предназначенных для телекоммуникационных систем. В соединителях этого типа сигнальные контакты чередуются с заземленными металлическими пластинами (рис.3). Размещение заземленных металлических пластин с двух сторон сигнального вывода формирует геометрию передающей линии, не похожую на конфигурацию полосковых линий передачи печатной платы. Уровни сочленения сигнальных контактов и заземляющих пластин отделены друг от друга на 1,5 мм, что обеспечивает надежное соединение. Пластины делят пространство соединителя на три области. Первая служит для передачи сигнала компонента печатной платы структуре соединителя. Сигнал распространяется практически без искажений по второй области линии, которая сформирована металлической пластиной. И, наконец, в третьей области (конечный набор контактов) сигнал покидает соединитель. Поскольку размеры областей ввода и выводы сигнала мал по сравнению с центральной передающей областью, в этих двух областях искажения сигнала невелики.

В конце 2010 года компания ERNI выпустила первый дифференциальный гнездовой соединитель следующего семейства ERmet ZD PLUS, рассчитанный на скорость передачи более 20 Гбит/с (рис.4). Конструкция и габариты нового модуля те же, что и у ERmet ZD. Для увеличения скорости передачи и дальнейшего уменьшения перекрестных искажений компания оптимизировала маршрутизацию сигнала и концевую заделку прессуемого контакта. Гнездовой соединитель сочленяется с существующими штекерными соединителями серии ERmet ZD, поэтому разработчикам при модернизации систем не нужно вносить изменения в объединительную плату.



**Рис.3.** Конструкция соединителя ERmet ZD



**Рис.4.** Соединитель ERmet ZD PLUS

Высококачественные соединители высоконадежных систем и систем военного назначения имеют множество точек контакта. В отличие от традиционных соединителей с розеточной и штыревой частями эти новые соединители обеспечивают контакты во многих очень небольших участках платы, и если где-то контакт нарушается, остальные выполняют функцию передачи сигнала. При этом, поскольку области контакта малы, масса новых соединителей меньше массы традиционных устройств. Такие соединители весьма перспективны для применения в системах, испытывающих высокочастотные колебания большой амплитуды. Правда, сейчас высокая стоимость препятствует применению этих соединителей в бытовых устройствах. Но можно ожидать, что в скором времени изготовители смогут снизить их стоимость.

Развитие электронной техники невозможно без решения проблемы обеспечения эффективного энергопотребления. Поэтому ключевые характеристики силового соединителя – эффективность переноса тока, линейная плотность тока, высота, воздушные потоки над соединителем, под ним и через него. Кроме малых размеров, для получения высокой энергоэффективности падение напряжения силового соединителя должно быть не более нескольких милливольт.

Для получения требуемой высокой энергоэффективности в соединителях новых поколений используются низкоомные медные сплавы, оптимизированные силовые контакты, предусматривается возможность вентиляции корпуса. Контакты новых поколений силовых соединителей выполняются по технологии штамповки и формовки и в сравнении с завинчиваемыми контактами позволяют получать более высокую плотность мощности. Конструкция соединителей рассматривается с точки зрения предотвращения перегрева системы, и появившиеся новые низкопрофильные соединители все меньше препятствуют протеканию охлаждающего воздуха. Так, высота

недавно выпущенного компанией FCI силового краевого соединителя печатной платы HPCE (High Power Card Edge), поставляемого в монтируемом на край платы с обеих сторон straddle mount исполнении составляет 28 мм, в конфигурации с угловыми выводами – 7,5 мм. В конструкции соединителя объединены силовые и сигнальные контакты, при этом число тех и других контактов и их расположение могут устанавливаться в соответствии с требованиями заказчика. Сопротивление силовых контактов не превышает 0,6 мОм до и после воздействия окружающей среды, сопротивление сигнальных контактов – 20 мОм. Линейная плотность тока равна 180 А/дюйм (7,2 А/мм). Контакты соединителя рассчитаны на ток 9 А, при этом температура соединителя в спокойной атмосфере увеличивается не более чем на 30°C. Прочный корпус соединителя с элементами защиты от случайных прикосновений и деталями, облегчающими монтаж, гарантирует надлежащее сочленение и улучшенное оплавление припоя.

Благодаря отличным характеристикам в сочетании с гибкостью и модульным исполнени-

ем HPC-соединитель может найти применение в компактных 1U/2U серверах следующего поколения, телекоммуникационном оборудовании и системах передачи данных, сетевой аппаратуре.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЛЯ БУДУЩЕГО

Сегодня соединители проектируют не только для выполнения современных требований систем, но и с учетом требований, которые будут предъявлены следующим поколениям соединителей. Опыт, накопленный в ходе создания современных компонентов, способствует разработке их следующих поколений. А применение того же, но усовершенствованного, соединителя позволит минимизировать изменения, вносимые в печатную плату и отработанный процесс изготовления.

Разработчики аппаратуры стремятся получить единую завершённую систему соединителей и не применять интерфейсы различных поставщиков. Перед изготовителями стоит задача создания семейств, включающих различные типы соединителей с низкой и высокой скоростями передачи информации, а также силовые устройства. Вместе с тем, изготовители комплексного оборудования (ОЕМ) не хотят быть привязанными к одному поставщику выбранного ими интерфейса. Ведущие изготовители соединителей в последнее время отреагировали на это требование путем перекрестного лицензирования своих изделий с высокими характеристиками, идентичных как по механическим, так и по электрическим свойствам. "Все перекрестно лицензируют у всех", — говорит Боб Халт, директор по технологии продукции компании **Bishop and Associates**, занимающейся анализом состояния рынка соединителей. По мнению руководства компании **Aries Electronics**, производителя разъемных и установочных изделий, перекрестное лицензирование — одна из мер по сохранению своих позиций на рынке. Другой способ завоевать рынок — выпуск специализированных устройств.

Изготовителям высокоскоростных соединителей нужно реагировать и на происходящие в промышленности изменения. Появление выпущенного Intel стандарта PCI Express 2.0 и последовательного интерфейса Intel Quick Path Interconnect (QPI), рассчитанных на дифференциальное полное сопротивление канала 85 Ом, привело к необходимости модификации соединителей с тем, чтобы они могли работать как со 100-, так и с 85-Ом системами. И хотя потребляемый ток 85-Ом соединителей больше, чем у 100-Ом устройств, а следовательно больше и расходуемая энергия, и затраты на регулиров-



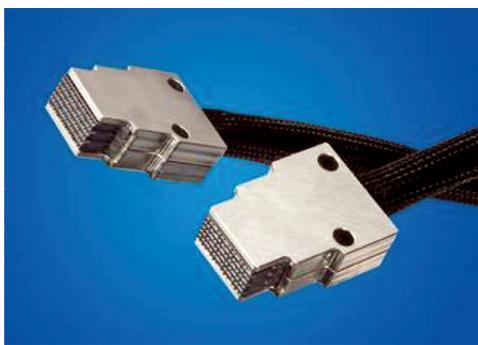
Рис.5. 85-Ом соединитель платформы Xcede

ку температуры, производители активно отвечают на это требование, считая, что эти проблемы незначительны в сравнении с достоинствами соединителей. С момента представления компаниями FCI и Intel на ежегодной конференции DesignCon 2007, посвященной проектированию и дизайну, доклада, рассматривающего возможность улучшения производительности систем путем уменьшения полного сопротивления до 85 Ом, системы с 85-Ом каналами стали реальностью.

Первой, естественно, откликнулась компания FCI, разработавшая несколько высокоскоростных 85-Ом соединителей семейства AirMax VS. Конфигурации первых соединителей содержали угловые розетки, вертикальные и угловые штекерные соединители, поддерживающие прямоугольные или копланарные топологии соединений. Испытания новых соединителей компании показали, что они отвечают требованиям систем к вносимым потерям, значению полного сопротивления и перекрестным помехам.

На конференции DesignCon 2009 разработчики высокопроизводительных соединителей системных плат уже активно продвигали 85-Ом системы соединителей для применения с интерфейсами стандарта PCI Express или QPI, что свидетельствовало о том, что системы с более низкоомным полным сопротивлением приняты промышленностью.

Компания Amphenol TCS, мировой лидер по производству высокоскоростных соедините-



**Рис.6.** Кабельный соединитель платформы XCede

лей, также добавила в свою платформу XCede-соединителей с пропускной способностью от 8 до 20 Гбит/с соединитель на 85 Ом (рис.5). Кроме того, для удовлетворения потребности в высокоскоростных кабельных решениях компания Amphenol TCS выпустила кабельный соединитель семейства XCede, рассчитанный на полное сопротивление 100 и 85 Ом и пригодный для различных кабельных исполнений с проводами сортимента 24–30 AWG (рис.6).

На выставке DesignCon 2011 компания Molex продемонстрировала 85-Ом Impact-соединитель, пополнивший семейство системных соединителей Impact Plus. Новый соединитель отличается самыми высокими на сегодняшний день пропускной способностью – до 25 Гбит/с и плотностью до 31 дифференциальной пары на линейный сантиметр. Поставляется в двух вариантах с согласованными штыревыми выводами соединителей дочерней и системной плат. Сочленяемая контактная поверхность содержит расположенные в шахматном порядке раздвоенные контакты, которые обеспечивают две точки сочленения и тем самым способствуют достижению долговременной надежности, а также позволяют уменьшить среднее усилие сочленения соединителя. Размер, плотность и шаг контактов 85-Ом соединителя те же, что и у 100-Ом компонента. Он рассчитан на то же расположение сквозных отверстий печатной платы и использует те же решения для управления и питания системы. В отличие от 100-Ом соединителей в корпусах черного цвета 85-Ом соединители поставляются в корпусах серого цвета.

Компания Tyco Electronics на выставке DesignCon 2011 представила разнообразные устройства получения соединений, в том числе систему мезанинного соединителя STRADA Meza, рассчитанного на скорость передачи данных 15 Гбит/с и выше (рис.7). Система выполнена со штыревыми и гнездовыми сигнальными контактами с



**Рис.7.** Мезанинный соединитель STRADA Meza

высокоскоростной дифференциальной, несимметричной и/или коаксиальной организацией. Плотность составляет 26 контактов на линейный сантиметр. К тому же соединитель STRADA Meza имеет и силовые контакты, рассчитанные на ток до 14 А каждый при напряжении 48 В. Система соединителя поставляется в наборных вариантах высотой от 8 до 42 мм с шагом 1 мм трех размеров с соответс-



**Рис.8.** Соединитель USB 3.0

твенно 60, 80 и 160 дифференциальными парами при полной нагрузке. Гнездовой и штыревой соединители монтируются на печатную плату пресовой посадкой. Соединитель рассчитан на 100-Ом системы, ведется разработка 85-Ом варианта.

Кроме того, компания Тусо продемонстрировала высокую скорость передачи данных, обеспечиваемую соединителем системных плат STRADA Whisper, представляющим собой на сегодняшний день самое совершенное устройство с чрезвычайно низким шумом – менее 1дБ. Одна из особенностей соединителя – наличие запасных контактов.

Потребность во все более быстродействующих соединителях со все более высокой плотностью контактов привела к совершенствованию стандартных интерфейсов бытовой аппаратуры. И сегодня соединители стандарта USB 3.0 (рис.8) активно заменяют повсеместно распространенные соединители стандарта USB 2.0. Окончательная спецификация USB 3.0, предусматривавшая передачу данных со скоростью до 4,8 Гбит/с (вместо 480 Мбит/с для USB 2.0), появилась в ноябре 2008 года. Первые сертифицированные USB 3.0 бытовые устройства были представлены в 2010 году на выставке бытовой электроники (CES 2010).

Соединители и кабели стандарта USB 3.0 физически и функционально совместимы с элементами USB 2.0. В дополнение к четырем линиям кабеля USB 2.0 кабель USB 3.0 имеет еще четыре линии связи (две витые пары) — одна пара для передачи информации, другая — для ее приема. В результате кабель USB 3.0 гораздо толще USB 2.0 кабеля. Согласно спецификации USB 3.0, увеличена не только максимальная скорость передачи информации, но и сила тока – с 500 до 900 мА, благодаря чему пользователь может питать от одного хаба устройства с более высоким уровнем энергопотребления или большее число устройств.

Интересны появившиеся в январе 2011 года сообщения о создании эргономичного так назы-

ваемого "двухстороннего" USB-соединителя. Хотя все USB-соединители имеют четкие метки (как правило, треугольник), указывающие, какой стороной их следует вставлять в разъем, пользователь зачастую забывает об этом досадном свойстве USB-портов и вставляет соединитель не той стороной. Согласно данным интернет-журнала Yanko Design, дизайнер Ма И Сюань (Ma Yi Xuan) нашел простое и изящное решение этой проблемы, создав двухсторонний USB-штекер, который можно вставлять любой стороной, не опасаясь ошибки. Предложенный им штекер имеет две идентичные пластмассовые контактные пластины с пружинами. При соединении одна из пластин (лишняя), вытесняется контактами порта и задвигается внутрь патрубка. При извлечении штекера она возвращается на место. Конечно, стоимость и, возможно, размеры штекера, когда он появится в продаже, увеличатся, но им будет проще пользоваться. Очевидно, идея создания двухстороннего USB-соединителя весьма привлекательна. В июле 2010 года компания UltraTek, специализирующаяся в области технологических исследований, также сообщила о создании двухстороннего USB-соединителя типа А, получившего название Flipper (перевертыш). Конструкция его не ясна, указывается лишь, что в середине вилки находится тонкий соединительный провод, обеспечивающий соединение независимо от того, какой стороной вставлять штекер.

UltraTek предлагает соединители Flipper для любых устройств, подключаемых к компьютеру через USB-порт: клавиатур, веб-камер, мышек, адаптеров Bluetooth и Wi-Fi и т.п.

\* \* \*

Производители высокоскоростных соединителей продолжают расширять полосу пропускания соединителей. Тонкая настройка и применение прогрессивной техники формирования сигнала продлили срок жизни существующих семейств соединителей и стимулировали создание интерфейсов следующих поколений. За прошедшие несколько лет появились освоенные в массовом производстве новые совершенные соединители. И хотя медные кабели заменяют волоконно-оптические кабели, характеризующиеся большей полосой пропускания, лучшей надежностью и меньшей массой, исследования экспертов показали, что медные соединения останутся наиболее эффективными средствами на расстояниях до 3 м. Развитию технологии новых соединителей будет способствовать и расширение систем на основе стандартов HDMI, HDBaseT и USB 3.0. ●