

Стандарты соединителей для однопарного Ethernet (SPE)

Маттиас Фритше (HARTING Technology Group)

Внедрение однопарного Ethernet обещает целый ряд технических и экономических преимуществ в самых различных областях применения. В статье рассматриваются вопросы стандартизации соединителей SPE, их основные характеристики и особенности.

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

В настоящее время Ethernet является преобладающей технологией передачи данных. С появлением однопарного Ethernet в качестве дополнительного «физического уровня» стало возможным расширить сферу применения протокола сети «Интернет» (IP) и добиться согласованного взаимодействия устройств уровня управления с сетями датчиков и исполнительных устройств. Таким образом, промышленный Ethernet можно внедрять на более низком уровне и, руководствуясь соображениями цифровизации, заменять существующие аналоговые соединения. Становится очевидным, что технология SPE будет востребована в целом ряде отраслей: автомобилестроении, сфере информационных технологий и промышленных сетях датчиков и исполнительных устройств [1].

С учётом стандартов IEEE802.3 для однопарного Ethernet во все процедуры стандартизации медных кабелей передачи данных, соединителей и систем кабельных соединений будут

внесены поправки и уточнения. Будет уточнён их текущий статус и внедрены два стандарта соединителей для SPE, разработанные комитетами IEEE802.3, ISO/IEC и TIA42. Кроме того, ведётся подробное обсуждение конструкции соединителя для промышленного сектора, который должен соответствовать серии стандартов IEC 63171-х, в частности рекомендации IEC 63171-6 (ранее IEC 61076-3-125). Исходя из стандарта IEC 63171-6, для разъёма SPE представлены наиболее важные параметры и даны пояснения по различным вариантам исполнения – IP20 и IP65/67.

Для обеспечения высокой совместимости разъёма, независимо от различий защитных корпусов по степени защиты IP, был разработан специальный вариант исполнения, который позволяет применять соединители IP20 в разъёмах IP65/67. Вариант исполнения IP65/67 реализован с применением проверенных временем защитных корпусов M8 и M12. В целях повышения удобства работы с этими защитными корпусами, помимо классических вин-

товых соединений, в них реализован механизм блокировки PushPull. Данные корпуса доступны в двух вариантах исполнения – внутреннем и внешнем.

Сетевые специалисты привыкли считать, что для реализации технологии Fast Ethernet (10/100 Мбит/с) необходимо кабельное соединение с двумя парами проводов, а для реализации Gigabit Ethernet требуются все четыре пары. Теперь же на рынке распространяется новая технология однопарного Ethernet, которая обеспечивает передачу потоков данных TCP/IP всего по одной паре проводов (см. рис. 1).

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ MPE И SPE

Несмотря на то что в существующих 4-парных кабельных системах передачи данных, как и в системах с технологией SPE, применяется витая пара, требования к технологиям кабельных соединений, особенно касающиеся дальности передачи, довольно сильно отличаются от стандартов передачи данных по технологии SPE. Отличия также присутствуют в требованиях к частотным характеристикам и особенно заметны в полосе пропускания (см. таблицу).

Скорость передачи данных по одной паре проводов высока, так почему бы не объединить четыре канала SPE в рамках существующей инфраструктуры? Хотя в отдельных случаях «совместное использование кабеля» возможно, в техническом и экономическом отношении оно лишено смысла. Кабельным системам, использующим технологию SPE, требуется более широкая полоса пропускания по сравнению с MPE в первую очередь ввиду перекрёстных помех. В сравнении с дальностью передачи 100 м для технологии MPE, технология SPE в настоящий момент обладает дальностью передачи 40 м для экранированных кабелей 1000BASE-T1. Следовательно, при таком сценарии перехода необходимо заново проверять существующие кабельные соединения на предмет того, удовлетворяют ли они требованиям SPE. Таким

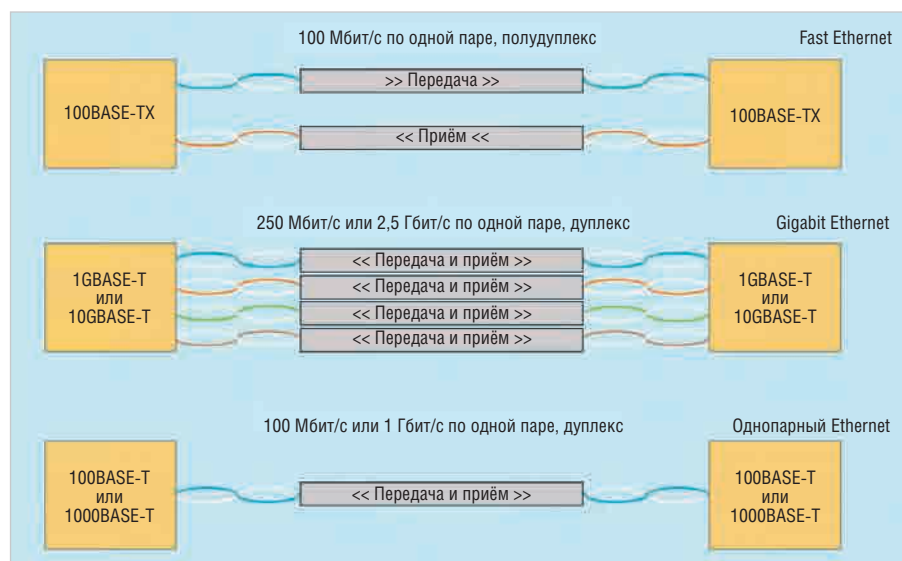


Рис. 1. Схематическое представление методов передачи данных Ethernet

образом, экономическая целесообразность данного подхода сомнительна. Например, чтобы задействовать имеющийся кабель категории 6A под стандарт 1000BASE-T1, дальность передачи не должна превышать 40 м, а полоса пропускания должна составлять не менее 600 МГц. Даже при идеальном соблюдении этих условий технология SPE обеспечивает максимальную скорость передачи данных 1 Гбит/с, тогда как в сетях с технологией MPE кабели категории 6A можно использовать для передачи данных на скорости 10 Гбит/с.

ДЕЙСТВУЮЩИЕ СТАНДАРТЫ IEEE 802.3

Начало реализации технологии SPE положил стандарт BroadR-Reach, который был разработан корпорацией Broadcom. Как только этот метод передачи данных на базе стека протоколов TCP/IP заметили в сфере автомобилестроения, где как раз искали замену шине CAN, рабочей группой IEEE 802.3 был опубликован первый стандарт SPE в виде стандарта 100BASE-T1 в рекомендации IEEE 802.3bw-2015. Однако в автомобилях с ручным или полуавтономным режимом управления требуются ещё более высокие скорости передачи данных, поэтому вслед за первым стандартом SPE для скорости 100 Мбит/с появился стандарт для скорости 1 Гбит/с. Доступная технология Ethernet в соответствии с IEEE 802.3bp 1000Base-T1 обеспечивает скорость передачи 1 Гбит/с всего по одной паре медных проводов. В настоящее время IEEE ведёт работу над следующим стандартом для более высоких скоростей передачи данных – до 10 Гбит/с (IEEE 802.3ch), который необходим для датчиков и передачи видео в высоком разрешении. Кроме того, продолжается разработка стандарта для скорости 10 Мбит/с (IEEE 802.3cg). Этот стандарт также особенно востребован во многих отраслях промышленности, поскольку позволяет увеличить дальность передачи данных до 1000 м и, следовательно, может заменить собой практически все действующие промышленные сети. В марте 2019 года была создана ещё одна рабочая группа, которая занимается вопросами передачи данных на скоростях 25–50 Гбит/с. Такие высокие скорости представляют собой технологическую основу для создания бес-

Сравнение технологий SPE и MPE

Скорость передачи данных	Соединение MPE		Соединение SPE	
	полоса пропускания (Категория)	дальность передачи	полоса пропускания	дальность передачи
10 Мбит/с	16 МГц (Кат. 3)	100 м	20 МГц	1000 м
100 Мбит/с	100 МГц (Кат. 5)	100 м	166 МГц	40 м
1000 Мбит/с	100 МГц (Кат. 5)	100 м	600 МГц	40 м
10 Гбит/с	500 МГц (Кат. 6A)	100 м	Планируется 4...5 ГГц	15 м

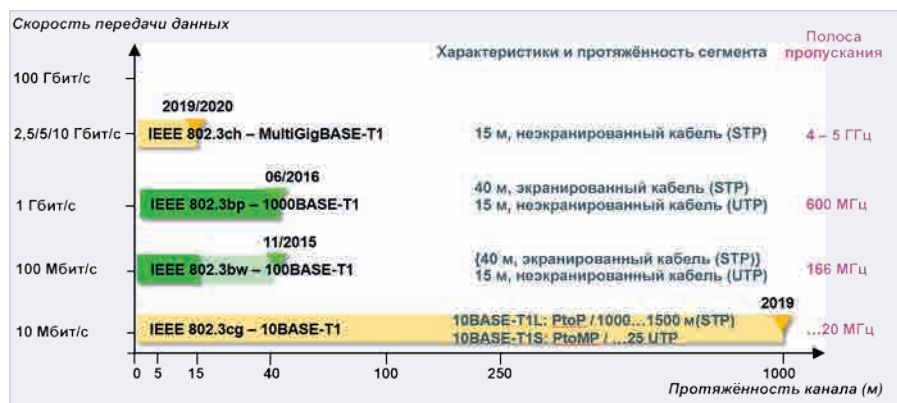


Рис. 2. Дальность и скорость передачи для действующих стандартов IEEE 802.3 для SPE

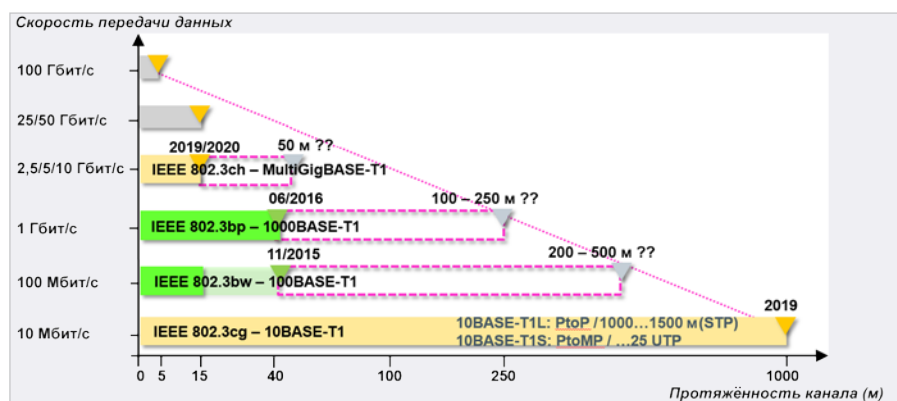


Рис. 3. Дальность и скорость передачи для будущих стандартов IEEE 802.3 для SPE повышенной дальности

пилотных автомобилей и новой распределённой компьютерной архитектуры в транспортных средствах. На рисунке 2 показана дальность соединения и скорость передачи для технологии SPE.

Так же, как и для систем с многопарными кабельными соединениями, для SPE существует новый стандарт, аналогичный стандарту Power over Ethernet (PoE), называемый PoDL – Power over Data Line (IEEE 802.3bu). Одновременная передача данных и электропитания с применением технологии очень малых соединителей и однопарных кабелей отвечает современным трендам миниатюризации, повышения скоростей передачи данных и модульности оборудования. Таким образом, созданы все необходимые условия для развития рынка практического применения технологии SPE не только в сфере

автомобилестроения, но и в промышленности, в технологиях умных городов, зданий и др.

Технология SPE за короткий отрезок времени продемонстрировала те же результаты, что и преобладающая в настоящее время технология «многопарного Ethernet» (MPE). Единственным существенным ограничением на настоящий момент является дальность передачи для SPE на скоростях 100 Мбит/с и 1 Гбит/с (15 м и 40 м соответственно). Причиной этому послужили требования, предъявляемые к технологии её основными потребителями в сфере автомобилестроения.

Специалисты считают, что в данном случае можно добиться большей дальности передачи. На рисунке 3 показано, какая дальность передачи технически достижима. Однако для того чтобы реализовать эти улучшенные версии

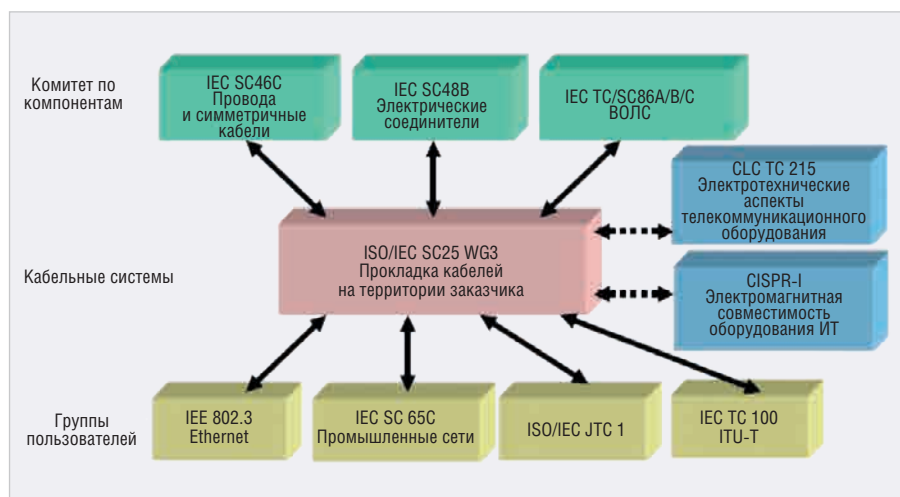


Рис. 4. Комитеты по стандартизации в составе ISO/IEC JTC 1/SC 25/WG 3

стандартов SPE в рамках IEEE802.3 и в особенности для того чтобы привлечь инвестиции в разработку новых наборов микросхем со стороны предприятий полупроводниковой промышленности, необходимо чётко обозначить новые сферы применения технологии и её рыночный потенциал. Для этого необходимо открытое сотрудничество всех сторон, заинтересованных в увеличении дальности передачи данных по технологии SPE. Рабочая группа IEEE802.3 уже выпустила первые публикации по этой теме, которые нашли положительный отклик.

КОМИТЕТЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И ТЕКУЩИЕ ПРОЕКТЫ

Ключевую роль в деятельности по стандартизации выполняют организации ISO/IEC JTC 1/SC 25/WG 3 (см. рис. 4). Кабельные соединения создаются согласно стандартам ISO/IEC 11801, а их техническое обслуживание выполняется на основании стандартов IEEE802.3. Кроме того, рабочая группа IEEE802.3 активно обменивается информацией и сотрудничает с комитетами, ответственными за компоненты кабельных соединений. Это касается медных кабелей передачи данных IEC SC46C и связанных с ними соединителей IEC SC48B.

В настоящее время рабочая группа SC46C комитета IEC продолжает работу над следующими проектами по стандартизации кабелей передачи данных:

- IEC 61156-11 – кабель передачи данных SPE с полосой пропускания до 600 МГц для стационарной установки (опубликована окончательная версия стандарта);
- IEC 61156-12 – кабель передачи данных SPE с полосой пропускания до

600 МГц для гибкой установки (доступна CD-версия);

- IEC 61156-13 – кабель передачи данных SPE с полосой пропускания до 20 МГц для стационарной установки (доступна CD-версия);
- IEC 61156-14 – кабель передачи данных SPE с полосой пропускания до 20 МГц для гибкой установки (планируется).

В будущем будут разрабатываться и проекты последующих стандартов, например для более широких полос пропускания с целью обеспечения скоростей передачи данных выше 1 Гбит/с.

Конструкция первого соединителя SPE была предложена рабочей группе SC48B компанией HARTING в 2016 году, после чего была опубликована CD-версия стандарта IEC 61076-3-125. В 2017 году компания CommScope предложила для стандартизации ещё один соединитель SPE, после чего было принято решение создать серию стандартов IEC 63171 для всех соединителей SPE. В рамках рабочей группы SC48B была создана проектная подгруппа PT63171, перед которой была поставлена задача разработки новой серии стандартов. В настоящее время продолжается работа над следующими проектами:

- IEC 63171 – базовый стандарт со всеми необходимыми спецификациями и последовательностями испытаний (CD-версия готовится к выходу);
- IEC 63171-1 – соединитель для SPE производства компании CommScope с механизмом фиксации LC для применения в среде $M_1I_1C_1E_1$ (доступна CDV-версия);
- IEC 63171-2 – соединитель для SPE производства компании Reichle &

De-Massari для применения в среде $M_1I_1C_1E_1$ (доступна CD-версия);

- IEC 63171-3 – соединитель для SPE производства компании Siemon на базе известного соединителя Tera для применения в среде $M_1I_1C_1E_1$ (доступна NP-версия);
- IEC 63171-4 – соединитель для SPE производства компании BKS для применения в среде $M_1I_1C_1E_1$ (доступна NP-версия);
- IEC 63171-5 – соединитель для SPE производства компании Phoenix Contact на базе соединителя IEC 63171-2 для применения в средах $M_2I_2C_2E_2$ и $M_3I_3C_3E_3$ (доступна CD-версия);
- IEC 63171-6 (ранее IEC 61076-3-125) – соединители для SPE производства компаний HARTING и TE Connectivity для применения в средах $M_2I_2C_2E_2$ и $M_3I_3C_3E_3$ (доступна CDV-версия, готовится FDIS-версия и окончательная публикация в 2019 году).

IEC 63171-1 (соединитель в исполнении LC) и IEC 63171-6 (соединитель в промышленном исполнении) являются полноценными стандартами со всеми необходимыми спецификациями и последовательностями испытаний. Все стандарты, внедрённые впоследствии, ссылаются на базовый стандарт IEC 63171 и содержат только описания различных вариантов механического исполнения.

СТАНДАРТЫ КАБЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ SPE

Технология SPE вместе с соответствующими стандартизированными соединителями определяется в текущих стандартах для кабельных соединений. На международном уровне это отражено преимущественно в серии стандартов для структурированных кабельных соединений в соответствии с ISO/IEC 11801:2017, а также в серии европейских стандартов CENELEC в соответствии с EN 50173. Во втором случае технология SPE путём внесения поправок включена в раздел 3 «Промышленные кабельные соединения». Основным документом, на который ссылаются эти поправки, является ISO/IEC 11801 TR9906 «Технический отчёт: каналы до 600 МГц с использованием симметричного однопарного кабеля». Описание технологии SPE в документах ISO/IEC 11801 имеет очень большое значение, поскольку это единственный стандарт, описывающий кабельные каналы и все необ-

ходимые параметры (длину, количество соединений, пропускную способность, полный набор технических параметров передачи, среди которых: NEXT, FEXT, свойства экранирования и т. д.) для среды MICE. Соответственно, после монтажа можно производить метрологическую поверку всех перечисленных параметров и характеристик.

Соответствующим образом будут скорректированы стандарты монтажа для промышленного сектора, являющиеся основой решений для автоматизации в соответствии с IEC 61918 (IEC SC65C). В какой степени это повлияет на сами сценарии автоматизации, ещё предстоит оценить. Очевидно, что компании PI (с решением PROFINET в соответствии с IEC 61784-5-3) и ODVA (с решением EtherNet/IP в соответствии с IEC 61784-5-2) примут активное участие в дальнейшей разработке и внедрении стандартов для технологии SPE.

В сочетании со стандартами для соединителей и кабелей все пользователи технологии SPE получают чёткие рекомендации по установке и испытанию соответствующих каналов передачи данных. На первоначальном этапе данная кабельная система ограничена дальностью 40 м для скорости 1 Гбит/с. Дальность 1000 м и выше доступна для скорости 10 Мбит/с.

В рамках рекомендаций ANSI/TIA-568.5 и TIA TR42.7 готовятся дополнительные документы, регламентирующие применение кабельных систем с технологией SPE на территории США, Канады и Мексики. В документы TIA42 вносится приложение TIA-1005-A-3.

В стандартах для кабельных систем представлена информация о структуре кабельных соединений, компонентах, используемых для обеспечения показателей, приведённых в спецификациях, и о предельных значениях поверки кабельных соединений. Всё это делает данный стандарт самым важным инструментом для установки и ввода в эксплуатацию кабельных соединений SPE. При этом обеспечивается совместимость устройств и кабельных соединений с учётом стандартов для компонентов, например соединителей, соответствующих IEC 63171-6. Совместимость является базовым требованием для функционирования сетей и соединений по технологии SPE и, соответственно – основой для IoT/IIoT. Возможно применение дру-

гих компонентов кабельных соединений, но они уже не соответствуют требованиям стандарта, т.е. их использование влечёт за собой риск возникновения несовместимости и потери эффективности.

Именно по этой причине комитеты по стандартизации ISO/IEC JTC 1/SC 25/WG 3 и TIA42 в начале 2018 года приступили к работе по выбору стандартизированного промышленного соединения. Одним из инициаторов этой работы выступила рабочая группа IEEE 802.3, запросившая у комитетов ISO/IEC и TIA рекомендацию для соединителя SPE MDI. В работе принимали участие более 20 экспертных групп, которые остановили свой выбор на двух соединителях:

1. соединитель для кабельных систем в зданиях (среда $M_1I_1C_1E_1$), предложенный компанией CommScope, соответствующий рекомендации IEC 63171-1;
2. соединитель для применения в промышленности и смежных областях (среды $M_1I_2C_2E_2$ и $M_3I_3C_3E_3$), соответствующий рекомендации IEC 63171-6 (ранее IEC 61076-3-125), на основе соединителя T1 Industrial от компании HARTING.

Подкомитет TIA42 подтвердил результаты работы, проведённой комитетом ISO/IEC, в результате чего в отношении соединений с использованием технологии SPE была выработана согласованная позиция. В настоящее время выбранные соединители включены в соответствующие международные стандарты кабельных соединений. Кроме того, рабочая группа IEEE 802.3 включила эти соединители в документ IEEE 802.3cg в качестве рекомендуемых промышленных соединений, зависящих от передающей среды (MDI).

Таким образом, обеспечены необходимые условия для широкого применения, а следовательно, и успешного продвижения технологии SPE на рынке с учётом сквозной совместимости устройств, кабелей и соединителей в различных сферах практического применения.

В спецификациях MICE содержится описание условий окружающей среды для установки и представлены спецификации технического оборудования и кабелей. В спецификациях приводятся требования к механической прочности (М), степени защиты IPxx (I), химической и климатической устойчивости (С), а также электромаг-

нитной безопасности (Е). В широком смысле в спецификации $M_1I_1C_1E_1$ содержится описание условий окружающей среды, соответствующих условиям в помещениях административных зданий, тогда как в спецификации $M_3I_3C_3E_3$ описываются крайне неблагоприятные условия окружающей среды, подобные условиям в производственных помещениях или на открытом воздухе.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНИТЕЛЕЙ SPE

Номинальное напряжение. Для передачи данных Ethernet обычно используется дифференциальный сигнал напряжением ± 1 В. Однако при определении номинального напряжения соединителя SPE необходимо учитывать параллельное использование двух жил для дистанционного электропитания. Метод, применяемый в технологии SPE, называется Power over Data Line (PoDL), и он стандартизирован в соответствии с рекомендацией IEEE 802.3bu. Как и в случае с технологией PoE, максимальное номинальное напряжение составляет 48 В постоянного тока, в результате чего максимальное напряжение питающего оборудования (PSE) составляет 60 В. В отличие от технологии PoE в PoDL используются напряжения номиналом 12 и 24 В постоянного тока, аналогичные тем, что применяются в автомобилях.

Изоляционное напряжение. В стандартах IEEE 802.3 для технологии SPE подробные требования к изоляции, предъявляемые отраслью автомобилестроения, не приводятся. При этом к кабельным системам в административных зданиях и на промышленных предприятиях предъявляются те же требования, что и к 4-парному Ethernet с напряжением 1,5 кВ (среднеквадратичное значение) при замыкании на экран и 1,0 кВ (среднеквадратичное значение) – при замыкании на контакт [2].

Номинальный ток. При расчёте номинального тока требования PoDL также являются определяющими. В соответствии с текущим стандартом в таблице 104-1 рекомендации [3] приводится максимальное значение мощности электропитания 63,3 Вт, которое соответствует максимальной мощности 50 Вт на питаемом устройстве. В результате минимальное допустимое напряжение электропитания составляет 48 В

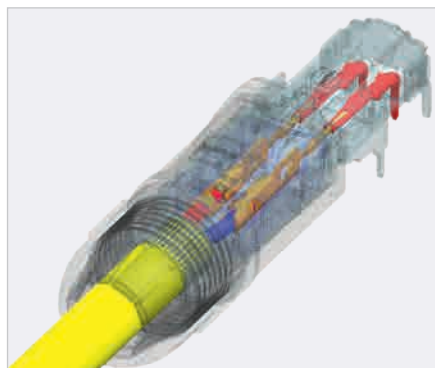


Рис. 5. Симметричная конструкция соединителя для SPE, соответствующего рекомендации IEC 63171-6

при токе 1,36 А. Однако, исходя из соображений будущих перспектив, для соединителя выбрано значение 4 А постоянного тока.

Частотные характеристики передачи данных. Для передачи данных в технологии SPE используется дуплексное соединение по разделённым парам проводов сопротивлением 100 Ом. Для обеспечения большей помехоустойчивости, в частности при использовании в электромобилях, для технологии SPE были выбраны более низкие методы кодирования: PAM3 – для стандарта 1000BASE-T1 и PAM4 – для стандартов 2.5/5/10GBASE-T1. Это приводит к существенному повышению требований к полосе пропускания в сравнении со стандартами MPE. В настоящее время в рамках разрабатываемой рекомендации IEEE 802.3ch ведётся обсуждение стандарта SPE для 10GBASE-T1 с полосой пропускания до 4 ГГц. Это приводит к повышению требований к частотным характеристикам кабеля, соединительным технологиям и необходимости использования строго симметричной конструкции соединителя. По этой причине контакты в соединителе T1 Industrial располагаются симметрично в полностью закрытом экранированном корпусе (см. рис. 5). Таким образом, значения переходной ёмкости и индуктивности обоих проводников при замыкании на экран или печатную плату полностью совпадают, что позволяет исключить появление помех для независимой передачи данных. Кроме того, оба контакта расположены параллельно плате и выровнены относительно друг друга. В результате пути прохождения сигнала в обоих проводниках полностью совпадают, благодаря чему удаётся избежать возникновения разности во времени распространения сигналов.



Рис. 6. Соединитель для SPE, соответствующий рекомендации IEC 63171-6, в исполнении IP20

При разработке соединителя для технологии SPE во внимание были приняты все перечисленные выше электрические характеристики и заложен достаточный запас для перспективных систем с увеличенной полосой пропускания и дополнительными требованиями к дистанционному электропитанию (PoDL). Кроме того, были выбраны распространённые и доступные варианты исполнения корпусов. Большое внимание было уделено тому, чтобы исполнение соединителя было оптимальным и обеспечивало простоту его эксплуатации, с одной стороны, и соответствовало требованиям рынка, предъявляемым к компактности соединений и их высокой надёжности, с другой стороны. В соответствии с этими целями была выбрана схема расположения контактов с интервалом 2,8 мм и контактами толщиной 0,5 мм. Для передачи данных на короткие расстояния в стандартах 100BASE-T1 и 1000BASE-T1 используются проводники AWG 28/26 или AWG 22 диаметром приблизительно 1 мм или 1,6 мм соответственно. Однако для передачи данных на расстояние до 1000 м в стандарте 10BASE-T1L необходимы проводники AWG 16/18 с диаметром 2 мм, поэтому интервал 2,8 мм между контактами является оптимальным.

Согласно стандартам IEEE 802.3, увеличенная дальность передачи данных достигается только в экранированных каналах передачи. Исходя из этого, была последовательно реализована экранированная конструкция, которая также обеспечивает надёжную передачу данных в неблагоприятных промышленных условиях. Помимо этого, экранирующие пластины способствуют надёжной механической фиксации соединителя в исполнении IP20

(см. рис. 6). Металлический фиксатор устраняет проблему фиксации, которая часто становится объектом критики при использовании соединителей RJ45. Круглые соединители M8 и M12 нашли широкое практическое применение в промышленности.

Новый соединитель для SPE был создан как унифицированный «контейнер» на базе M8 в исполнении с винтовой фиксацией, фиксацией посредством защёлки и механизмом блокировки PushPull. Кроме того, были стандартизированы и соединители M12 в исполнении с винтовой фиксацией и механизмом блокировки PushPull, что позволило применять их совместно с кабелями большого поперечного сечения в каналах 10BASE-T1L с дальностью передачи до 1000 м. Это означает, что во всех вариантах исполнения применяется один и тот же соединитель. Соответственно, соединители в исполнении IP20 можно также подключать к разъёмам IP65/67 для проведения метрологических измерений или испытаний. Применение распространённых вариантов исполнения M8/M12 обеспечивает хорошую доступность позиции на рынке и снижает капиталовложения.

Применение идентичных разъёмов и контактных вставок во всех вариантах исполнения гарантирует унификацию технических характеристик во всех линейках продуктов и обеспечивает благоприятные условия для экономически выгодного производства. Таким образом, соединитель для технологии SPE, соответствующий рекомендации IEC 63171-6, представляет собой стандартизированный на международном уровне соединитель, который оптимально подходит для использования в перспективных отраслях промышленности. Применение стан-

дартизированного «контейнера» SPE облегчает интеграцию соединителя, соответствующего IEC 63171, с другими типами, такими как соединительная система M12 с механизмом блокировки PushPull, которая в настоящее время разрабатывается в виде нового стандарта.

На рисунке 7 представлены различные варианты исполнения соединителя с классом защиты IP65/67 и IP20. В будущем эта линейка продуктов будет расширяться на базе рекомендации IEC 63171-6 и станет линейкой полноценных решений, включающих в себя все компоненты, начиная с разъёмов печатных плат и заканчивая компонентами для проходного монтажа. В настоящее время ведётся работа над сопутствующей технологией эксплуатационных измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Новые сферы практического применения, такие как беспилотные автомобили, IoT и IIoT, требуют более мощных сетевых технологий. Одной из таких технологий является SPE. Способность одновременно питать устройства электроэнергией и передавать данные является огромным преимуществом этой технологии перед беспроводными решениями. Дистанционное электропитание посредством технологии PoDL устраняет необходимость в батареях и аккумуляторах, что является дополнительным преимуществом в плане совместимости с условиями окружающей среды и экологичности. Проводные методы передачи данных имеют ещё одно преимущество, заключающееся в том, что на них не накладываются нормативные ограничения относительно используемых диапазонов частот, а следовательно, отсутствуют сборы за предоставление необходимых частотных диапазонов. Эта проблема теряет актуальность при использовании проводных методов передачи данных, которые позволяют выпускать унифицированные устройства, пригодные для эксплуатации в любой точке мира [4].

Наряду со стандартами для сетей с ограниченным временем действия (TSN), разрабатываемыми рабочей группой IEEE 802.1, производится усовершенствование технологии Ethernet путём внедрения всех механизмов, необходимых для обеспечения надёжной передачи данных для всех прило-



Рис. 7. Соединители для SPE в вариантах исполнения IP65/67 и IP20

жений, работающих в режиме реального времени.

Таким образом, технология SPE представляет собой идеальное решение с точки зрения инфраструктуры, являясь серьёзным подспорьем для развития IoT и IIoT и фундаментальным элементом Integrated Industry. Для того чтобы в полной мере реализовать этот потенциал технологии SPE, необходимо тесное сотрудничество с представителями различных отраслей промышленности в рамках существующей экосистемы. Этот процесс начинается с совместной выработки международных стандартов комитетами IEEE 802, ISO/IEC и TIA и продолжается разработкой и поставкой необходимых компонентов: полупроводников, магнитных компонентов, соединителей, компонентов кабельных соединений и измерительных технологий. Полноценное использование возможностей устройств с передачей данных по технологии SPE и развитие новых сфер практического применения станет возможным только в том случае, если будет обеспечено наличие стандартов и компонентов хотя бы на уровне опытных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Matheus K., Königseder Th.* Automotive Ethernet. Cambridge: Cambridge University Press. 2017.
2. IEEE 802.3bz – 2016: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 2.5 Gb/s and 5 Gb/s Operation, Types 2.5GBASE-T and 5GBASE-T.
3. IEEE 802.3bu – 2016: Physical Layer and Management Parameters for Power over Data Lines (PoDL) of Single Balanced Twisted-Pair Ethernet.

4. *Schoeche T.* Re-Inventing Wires: The Future of Landlines and Networks, National Institute for Science, Law and Public Policy. <http://electromagnetichealth.org/wp-content/uploads/2018/02/ReInventing-Wires-1-25-18.pdf>.
5. IEEE 802.3bt – 2018: Physical Layer and Management Parameters for Power over Ethernet (PoE) over 4 pairs.
6. IEEE 802.3bw – 2015: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 100 Mb/s Operation over a Single Balanced Twisted Pair Cable (100BASE-T1).
7. IEEE 802.3bp – 2016: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 1 Gb/s Operation over a Single Twisted Pair Copper Cable (1000BASE-T1).
8. IEEE 802.3cg предварительная версия 3.0 – март 2019: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Mb/s Operation and Associated Power Delivery over a Single Balanced Pair of Conductors (10BASE-T1L & 10BASE-T1S).
9. IEEE 802.3ch предварительная версия 1.3 – апрель 2019: Physical Layer Specifications and Management Parameters for Greater Than 1 Gb/s Automotive Ethernet (2.5GBASE-T1, 5GBASE-T1 & 10GBASE-T1).
10. *Bergner B., Engel A.* Vortrag «Miniaturisierte Automotive Steckverbinder für 1 Gbit/s Ethernet» gehalten auf dem 9. Anwenderkongress Steckverbinder 15.-17. Июнь 2015. Вюрцбург.
11. *Schmidt R.* Vortrag «Single Pair Ethernet – Neue Möglichkeiten bei der Industrievernetzung und Baustein für Industrie 4.02» gehalten auf dem 9. Anwenderkongress Steckverbinder 15.-17. Июнь 2017. Вюрцбург.
12. *Sendler U.* Das Gespinnst der Digitalisierung – Menschheit im Umbruch – auf dem Weg zu einer neuen Weltanschauung. Мюнхен: Springer. 2018.

