

Высокоскоростные дифференциальные пары на печатной плате для модульного соединителя

В. Шаломанов¹, Д. Баканин²

УДК 621.38 | ВАК 2.2.2

Компания «Радиант-ЭК» в рамках импортозамещения осваивает номенклатуру модульного высокоскоростного соединителя, соответствующего международному стандарту VPX, с монтажом на плату методом запрессовки по технологии Press Fit. Рассмотрено моделирование печатной платы с дифференциальными парами для оценки скорости передачи данных.

С ростом объемов обрабатываемой и передаваемой информации становится все более актуальной проблема высокоскоростной передачи данных. Высокоскоростная передача данных, как правило, предполагает наличие между узлами линии передач соединения с высокой пропускной способностью [1]. Высокой пропускной способностью обладают дифференциальные пары на печатных платах. В дифференциальной паре два сигнала передаются одновременно по двум проводникам, но с противоположными направлениями тока или фазы.

В данной статье рассматривается моделирование составной части высокоскоростного соединителя АО «Радиант-ЭК». Составная часть представляет собой печатную плату с двумя дифференциальными парами для передачи

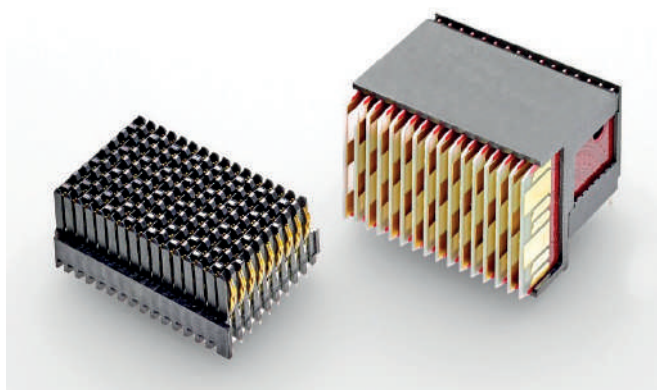


Рис. 2. Модульный соединитель MultiGig RT2

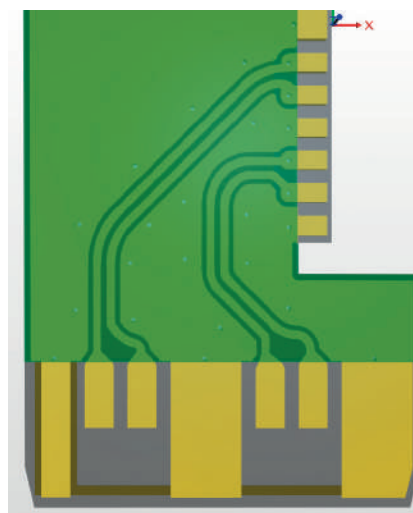


Рис. 1. Печатная плата с дифференциальными парами

сигнала со скоростью до 10 Гбит/с (рис. 1) на каждую пару. Разрабатываемый отечественный соединитель является полным аналогом и предназначен для замены импортного модульного соединителя серии MultiGig RT2 фирмы TycoElectronics (США), который представлен на рис. 2 [2].

Печатная плата представляет собой двухслойный ламинат, с дифференциальными парами на верхнем слое, на нижнем – земляной полигон (рис. 3). Материал платы подобран таким образом, чтобы удовлетворить конструктивные особенности (толщина платы играет огромную роль в сборке высокоскоростного соединителя, а также для обеспечения требуемой скорости передачи данных). Плата имеет в своем составе краевые разъемы, покрытые жестким золотом, что позволяет продлить срок службы. Толщина платы 0,32 мм (рис. 4).

СОГЛАСОВАНИЕ ПО ИМПЕДАНСУ

В системах высокоскоростной передачи данных стандартной практикой является использование соединителей, согласованных по импедансу. Это необходимо для

¹ АО «Радиант-ЭК», ведущий инженер, v.shalomanov@ranet.ru.

² АО «Радиант-ЭК», руководитель проектов, d.bakanin@ranet.ru.

минимизации отражений сигнала, точной передачи его амплитуды и максимизации мощности на принимающей стороне. Для обеспечения целостности передаваемого сигнала важно поддерживать волновое сопротивление линии передачи, включающей в себя дифференциальные пары, по величине примерно 100 Ом. Несоответствие данному требованию приводит к неоднородности в тракте передачи, что вызывает искажения сигнала в линии.

Моделирование волнового сопротивления (импеданса) дифференциальной пары можно проводить в САПР для расчета.

В представленном изделии имеется двухсторонняя печатная плата с дифференциальными парами на верхнем слое.

Для расчета волнового сопротивления необходимо задать:

- слой, по которому будет проходить сигнал;
- материал платы, который необходимо подгрузить с САПР, где была оттрассирована печатная плата;
- ширину печатных проводников и зазор между проводниками, которые входят в состав дифференциальной пары.

По результатам расчета получаем волновое сопротивление (импеданс) $Z_{\text{дифференциальное}} = 96,86$ (табл. 1). В представленном случае, когда имеется неоднородность в виде разной ширины краевых разъемов и дифференциальных печатных проводников, волновое сопротивление можно считать допустимым. Плюс ко всему, изготовители печатных плат дают допуск на импеданс, равный $\pm 10\%$.

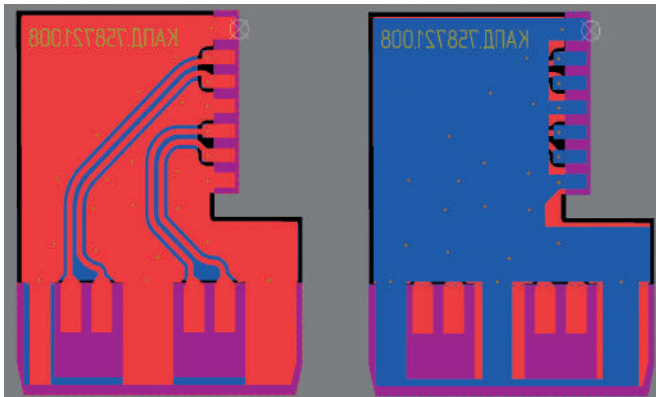


Рис. 3. Верхний и нижний слой печатной платы

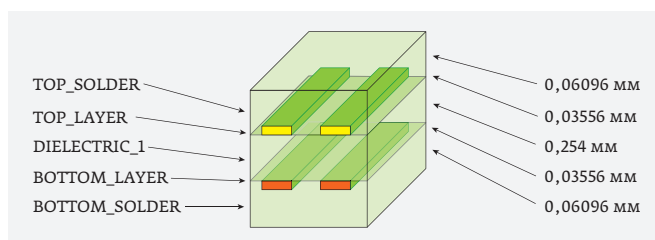


Рис. 4. Слои печатной платы

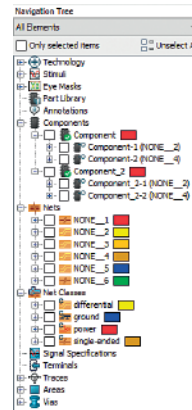


Рис. 5. Компоненты и печатные проводники

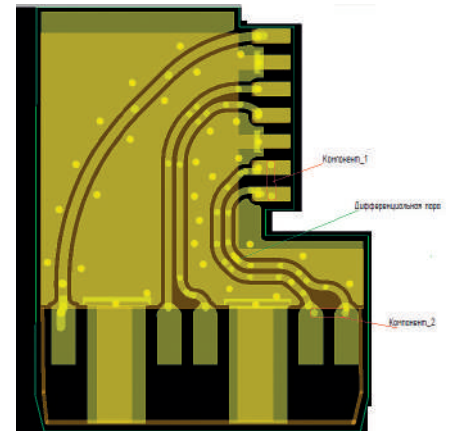


Рис. 6. Печатная плата с расположенными компонентами

СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Скорость передачи данных – это количество информации (в битах или байтах), которое может быть передано через сеть или канал связи за определенное время.

В представленной печатной плате скорость передачи данных 10 Гбит/с должна обеспечиваться одной дифференциальной парой. Моделировать измерение скорости передачи данных необходимо косвенным путем через вносимые потери и полосу пропускания сигнала.

Важно установить взаимосвязь между полосой пропускания канала ΔF и скоростью передачи данных. В 1928 году американский физик Г. Найквист доказал, что в идеальном канале (без шумов) с полосой ΔF (Гц) можно передавать информацию со скоростью в два раза большей, то есть $C_0 = 2\Delta F$ бит/с.

Так, например, канал с частотой пропускания в 6 кГц не может передавать двоичные (то есть двухуровневые) сигналы на скорости, превосходящей 12 кбит/с [3].

Если взять за основу, что 1 дБ вносимых потерь – это сигнал практически без шумов, то можно использовать данную формулу для того, чтобы получить сигнал со скоростью 10 Гбит/с. Для этого необходимо получить график вносимых потерь по уровню 1 дБ на частотах свыше 5 ГГц.

В САПР для расчета можно провести моделирование вносимых потерь для оценки скорости передачи данных.

Для этого необходимо подгрузить печатную плату и выставить компоненты, для того чтобы установить порты запуска и приема сигнала.

Для линий связи (nets с названиями NONE) необходимо задать параметры дифференциальной пары. И создать два компонента, размещая их таким образом, чтобы контактные площадки были на этих дифференциальных парах (рис. 5).

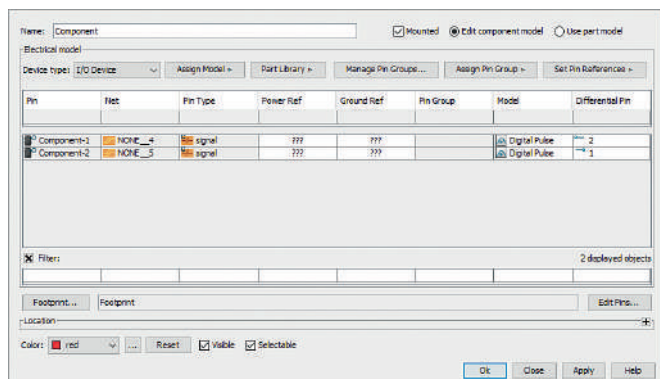


Рис. 7. Редактор компонента

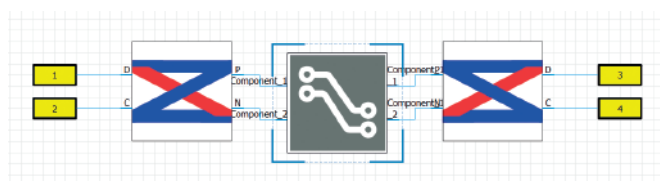


Рис. 8. Схема расчета

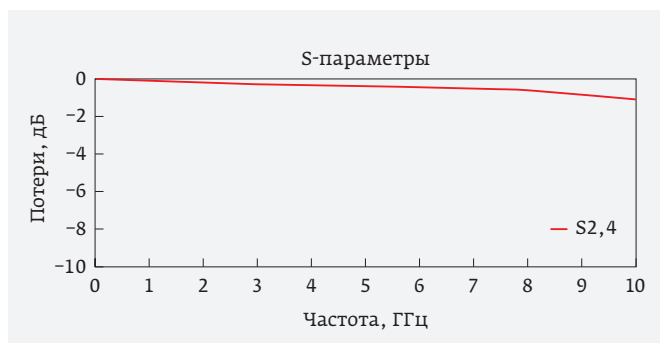


Рис. 9. Вносимые потери на дифференциальных парах

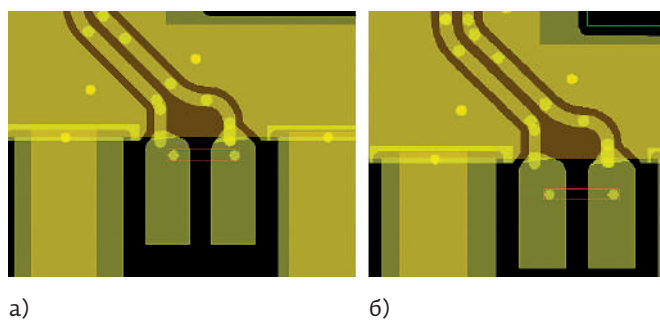


Рис. 10. Расположение компонента относительно краевого разъема: а – компонент расположен близко к дифференциальной паре; б – компонент расположен дальше от дифференциальной пары

Компоненты имеют параметры устройства ввода и вывода (I/O Device -Input/Output Device). Контактные площадки (Component 1 и 2) привязываются к дорожкам (NONE_4 и NONE_5) (рис. 6).

Компонент создается так, чтобы его выводы привязывались к необходимым печатным проводникам (component 1 привязывается к проводнику NONE_4 и обозначается как дифференциальный вывод №2) (рис. 7).

В итоге получается схема расчета (рис. 8), которая учитывает все необходимые факторы: материал, топологию печатной платы, точки подключения к краевым разъемам.

Моделирование вносимых потерь проводится в вычислителе в частотной области (FD).

САПР поддерживает целый набор частотных вычислителей, специализирующихся на различных классах задач. Они отличаются не только численными методами решения, но и типом расчетной сетки. Вычислители в частотной области общего назначения могут работать как на гексагональном, так и на тетрагональном сеточном разбиении.

Создание сетки является одним из важных этапов при использовании метода конечных элементов для моделирования. Сетка состоит из элементов, каждый из которых имеет узлы с определенными координатами в пространстве. Эти элементы формируют геометрию модели. Для правильной работы сетки в решателе конечных элементов необходимо использовать элементы с заданными формами, например кубы. Процесс создания сетки заключается в преобразовании неправильных форм в более правильные элементы.

Вычислитель в частотной области решает задачу поля для определения значений S-параметров в различных частотных точках. Полученные значения S-параметров затем используются для проведения свипирования (периодического изменения частоты колебаний) полосы частот и расчета непрерывного спектра. Настройки частотного вычислителя по умолчанию автоматически определяют необходимое количество и расположение частотных точек, чтобы достичь требуемой точности во всем диапазоне частот.

Возможность использования вычислителя в частотной области в рамках единой оболочки может быть очень удобным и простым способом получения необходимых результатов [4].

После проведения моделирования в вычислителе в частотной области (FD) и оптимизации конструкции путем изменения топологии печатной платы с дифференциальными парами, а также изменения положения точки подключения к краевым разъемам, были получены результаты, указанные на рис. 9.

Из расчета видно, что вносимые потери по уровню 1 дБ на частотах до 9 ГГц, что в свою очередь говорит о прохождении сигнала на скорости до 18 Гбит/с.

Оптимизация конструкции проходила разными способами:

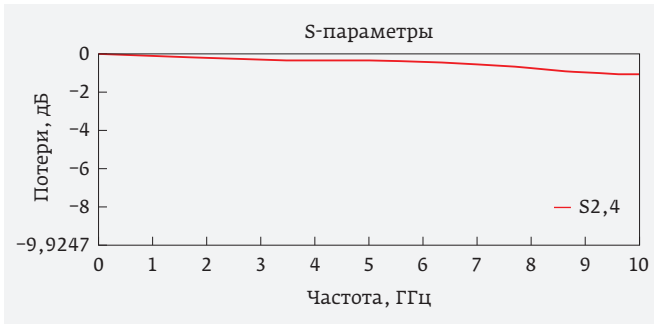


Рис. 11. Вносимые потери при расположении компонента близко к дифференциальной паре

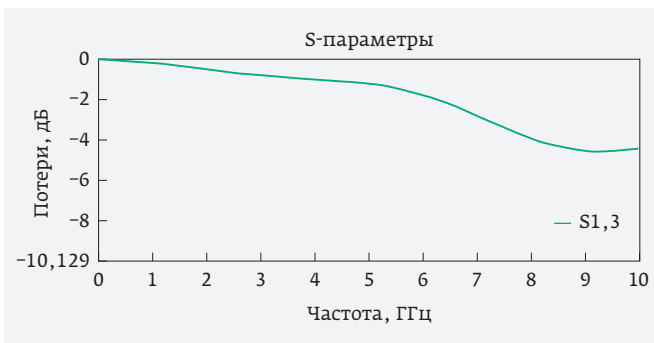


Рис. 12. Вносимые потери при расположении компонента далеко от дифференциальной пары

- Изменение точки подключения к краевым разъемам (рис. 10).
При подключении компонента к краевым разъемам, особенно в нижней части конструкции, необходимо его располагать как можно ближе к дифференциальной паре, в свою очередь необходимо учесть

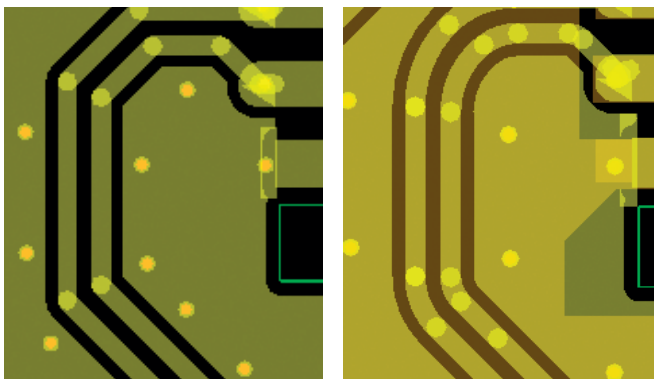


Рис. 13. Дифференциальная пара: а – без скруглений; б – со скруглениями

конструкцию изделия в целом, будет ли такое возможно. Вносимые потери указаны на рис. 11 и 12.

- Изменение топологии платы таким образом, чтобы волновое сопротивление печатного проводника (50 Ом), входящего в дифференциальную пару, и волновое сопротивление краевого разъема были близки по значению для уменьшения вносимых потерь.
- Были проработаны два варианта топологии дифференциальных пар: со скругленными углами и с углами под 135° без скруглений.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что уменьшение вносимых потерь происходит в том случае, когда точка подключения к краевому разъему находится ближе к дифференциальной паре. Это связано с уменьшением неоднородности, которую преодолевает сигнал при прохождении от одного входного порта к выходному.

ИЗМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИИ

При моделировании вносимых потерь были проработаны варианты с углами под 135° без скруглений (рис. 13).

Скругленные дифференциальные пары имеют минимальное количество неоднородностей вдоль печатного проводника, что приводит к уменьшению вносимых потерь (рис. 14 и 15).

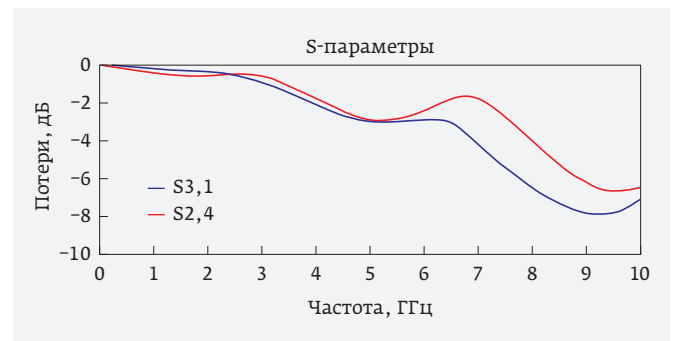


Рис. 14. Вносимые потери дифференциальной пары без скруглений

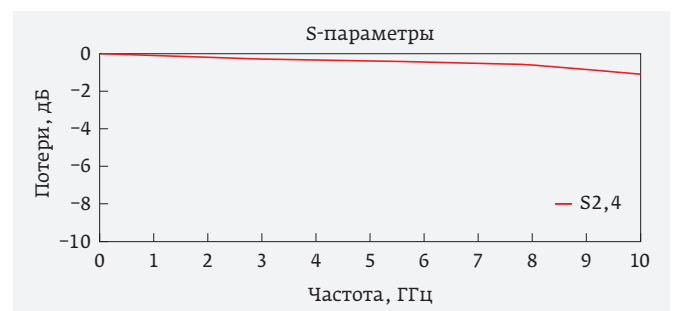


Рис. 15. Вносимые потери дифференциальной пары со скруглениями

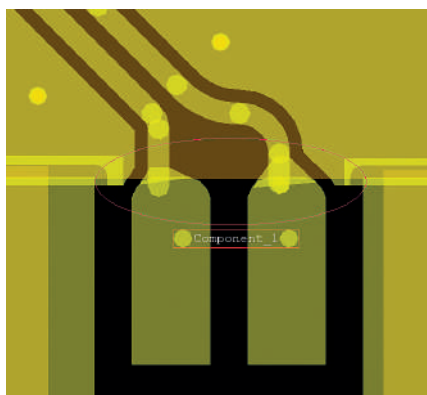


Рис. 16. Скругление краевых разъемов

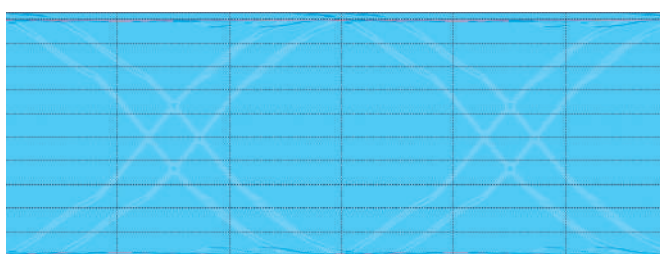


Рис. 17. Глазковая диаграмма

Оптимизация также осуществлялась изменением топологии платы так, чтобы волновое сопротивление печатного проводника (50 Ом) и волновое сопротивление краевого разъема были близки (рис. 16). Для этого необходимо добавить скругление на место подключения печатного проводника дифференциальной пары к краевому разъему.

Также можно провести моделирование глазковой диаграммы как пост-процесс расчета S-параметров. Для этого необходимо задать параметры расчета:

кодирование, длительность и др., и на выходе получится глазковая диаграмма на скорости 10 Гбит/с (рис. 17) [5].

В рамках импортозамещения, имея существенный научно-технический задел в области радиоэлектроники, компания АО «Радиант-ЭК» в данный момент занимается разработкой и освоением серийного производства межплатного модульного высокоскоростного соединителя, предназначенного для построения современных высокопроизводительных систем передачи данных между периферийными и несущими платами, магистральные соединительные шины которых соответствуют стандарту VPX (VITA 46). Направление данной работы является перспективным и соответствует «Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года».

Разрабатываемый отечественный соединитель является полным аналогом импортного модульного соединителя серии MultiGig RT2 фирмы TycoElectronics (США) и предназначен для его замены.

Изготовление соединителя планируется в первой половине 2024 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тхорик А.** Технология будущего, доступная уже сегодня // Мир автоматизации. 2009. №8. С. 28–32.
2. **Баканин Д.В., Шаломанов В.И.** Отечественный модульный высокоскоростной соединитель стандарта VPX (VITA 46) от АО «Радиант-ЭК» // Электронные компоненты. 2023. №2. С. 56–60.
3. Формула Найквиста <https://anapagis.ru/chto-takoye-formula-naykvista/>
4. SIMULIA CST Studio Suite – описание вычислителей https://eurointech.ru/eda/microwave_design/cst/CST-Solvers.phtml.
5. Основы глазковой диаграммы: чтение и применение глазковых диаграмм <https://radioprogram.ru/post/681>.

Таблица 1. Волновое сопротивление (импеданс) дифференциальной пары

Название слоя	Тип	Номер	Диэлектрич. проницаемость	Толщина, мм	Ширина проводника, мм	Зазор между проводниками, мм	Z _{одиноч. проводника}	Z _{базовое}	Z _{общее}	Z _{дифференциальное}
TOP_SOL...	Dielectric	-	4,0	0,0254	-	-	-	-	-	-
TOP_LAYER	Signal	1	-	0,03556	0,35	0,25	59,3676	57,9555	34,439	96, 8644
DIELECT...	Dielectric	-	3,7	0,0254	-	-	-	-	-	-
BOTTOM_...	Reference	2	-	0,03556	1,0	0,2	19,9762	46,525	15,6463	46, 3608
BOTTOM_...	Dielectric	-	4,0	0,0254	-	-	-	-	-	-



Москва
+7 (495) 725-04-04
radiant@ranet.ru

Санкт-Петербург
+7 (812) 748-22-60
radiant@ranet.ru

Новосибирск
+7 (383) 207-56-78
nsk@ranet.ru

radiant.su

ГИПЕРБОЛОИДНЫЕ КОНТАКТЫ

АО «РАДИАНТ-ЭК»

Стойкость к ударным воздействиям и вибрации;

Более 100 000 циклов стыковки-расстыковки;

Очень низкое контактное сопротивление <math>< 1 \text{ мОм}</math>;

Небольшое усилие стыковки $\approx 100 \text{ г}$;

Улучшенная токовая проводимость



Рисунок 1. Гиперболоидный контакт

Компания АО «РАДИАНТ-ЭК» готова спроектировать и изготовить по индивидуальному заказу решение с гиперболоидным контактом для применения в радарной технике, медицине, авиации, космосе и в коммерческих приложениях.

Гиперболоидные контакты используются для обеспечения надежного соединения в разъемах повышенной надежности и безопасности.

В гиперболоидном гнезде основным элементом является втулка в форме гиперболоида, создающая плотный и устойчивый контакт при вставке штыревого контакта. Проводники, вытянутые под углом к продольной оси, образуют упругие контактные линии, обеспечивая эффективную передачу электрического сигнала.



Рисунок 2. Разновидности гиперболоидных контактов

10 Base-T, 100 Base-T и 1G Base-T Ethernet;

Высокая производительность подключения, до 100 МГц;

Байонетное соединение;

Минимум 500 циклов сопряжения;

Диапазон температур: от -40 до $85 \text{ }^\circ\text{C}$;

Герметичен по стандарту IP 68 для работы в средах, насыщенных жидкостью и пылью

ЗАЩИЩЕННЫЙ СОЕДИНИТЕЛЬ RJ-45 СНЦ002

АО «РАДИАНТ-ЭК»

Разработанное решение позволяет защитить обычный разъем RJ-45, используемый для передачи данных в сетях Ethernet, от воздействия электромагнитного излучения, агрессивных внешних сред (жидкость, солевой туман, пыль), а также ударов и вибрации.

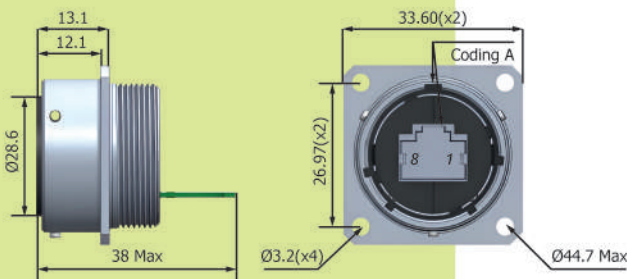


Рисунок 1. Защищенный соединитель на плату

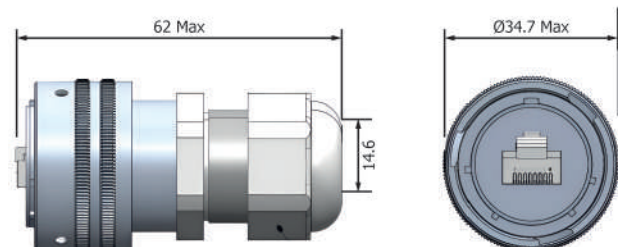


Рисунок 2. Защищенный соединитель на кабель