

Сравнительный анализ характеристик высокоскоростного соединителя Multigig RT2 (США) и отечественного аналога производства АО «Радиант-ЭК»

В. Шаломанов¹, Д. Баканин², Э. Шадрунов³

УДК 621.317.3 | ВАК 2.2.4

В рамках импортозамещения компания «Радиант-ЭК» начинает производство модульного высокоскоростного соединителя, соответствующего международному стандарту VPX. Соединитель разработан с использованием технологии монтажа Press Fit, которая предусматривает запрессовку в печатную плату без пайки. В статье обсуждаются результаты измерения вносимых потерь и скорости передачи данных нового отечественного соединителя в сравнении с зарубежным аналогом Multigig RT2 производства TE Connectivity (США).

В современных высокоскоростных системах передачи данных требования к качеству соединений и их электрическим характеристикам становятся все более строгими. Это особенно актуально для интерфейсов, используемых в вычислительной технике, телекоммуникационном оборудовании и системах реального времени, где скорость передачи данных достигает десятков гигабит в секунду. Международный стандарт VPX (VITA 46) задает базовые требования к архитектуре модульных систем, обеспечивая высокую пропускную способность, надежность и гибкость масштабирования.

В условиях импортозамещения растет потребность в разработке отечественных решений, соответствующих международным стандартам. Компания «Радиант-ЭК» взяла на себя задачу создания линейки модульных высокоскоростных соединителей, совместимых с VPX, с использованием технологии Press Fit для монтажа на печатные платы. Данный подход исключает пайку, что повышает надежность соединений и продлевает срок службы оборудования [1].

Цель настоящей статьи – провести детальный анализ характеристик отечественного соединителя, разработанного компанией «Радиант-ЭК», с фокусом на измерение вносимых потерь и оценку скорости передачи данных. Для сравнения будут использованы данные по зарубежному

аналогу Multigig RT2 от компании TE Connectivity, который является одним из наиболее распространенных решений в данной области (рис. 1). Результаты исследования позволят оценить конкурентоспособность отечественных разработок и определить перспективы их применения в современных высокотехнологичных системах [2].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОСНАСТКА

Для сравнительного анализа характеристик были выбраны следующие ответные модули высокоскоростных соединителей:

- TE Connectivity: вилка TE 1410187-3, розетка TE 1410140-1;
- АО «Радиант-ЭК»: модуль вилки МВД1, модуль розетки МР1.

Обе конструкции вилок основаны на наборе дифференциальных подложек, где дифференциальные пары харак-

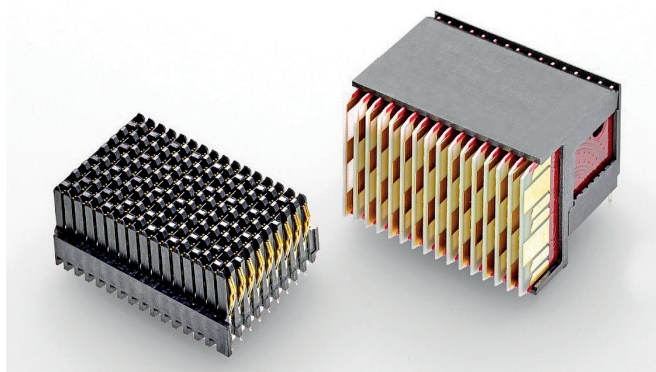


Рис. 1. Высокоскоростной соединитель Multigig RT2 от компании TE Connectivity

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

² АО «Радиант-ЭК», начальник конструкторско-технологического отдела, d.bakanin@ranet.ru.

³ АО «Радиант-ЭК», заместитель директора производства, e.shadrunov@ranet.ru.

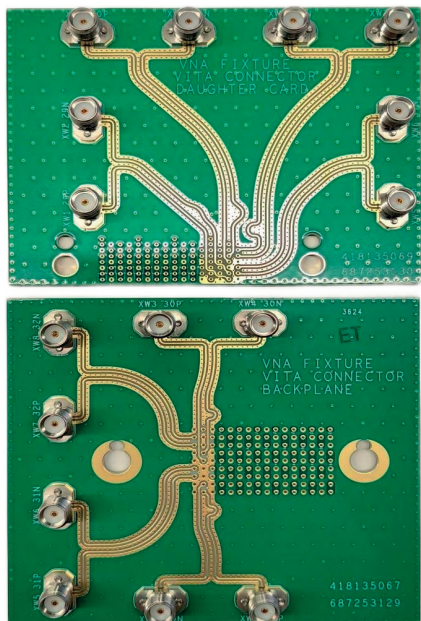


Рис. 2. Экспериментальная оснастка: сверху – для вилки (с расположением отверстий для соединителя на краю платы), внизу – для розетки (с расположением отверстий для соединителя в центре платы)

теризуются дифференциальным импедансом $Z_0=100$ Ом, что обеспечивает стабильную работу при передаче сигналов высокой частоты. Данные соединители спроектированы для работы со скоростью передачи данных 10 Гбит/с.

В рамках исследования скорости передачи данных и величины вносимых потерь была разработана экспериментальная оснастка, обеспечивающая возможность подключения балансного векторного анализатора цепей (VNA). Оснастка представляет собой печатную плату с отверстиями для запрессовки исследуемых соединителей и установленными SMA-соединителями, предназначенными для физического подключения тестируемых устройств (рис. 2).

Оснастка предназначена для точной оценки вносимых потерь и других параметров высокоскоростных соединителей. Ее основные компоненты:

- **печатные платы для запрессовки соединителей:** изготовлены с использованием материалов с низкими потерями в диэлектрике, что минимизирует влияние самой платы на результаты измерений. На платах реализованы дифференциальные трассы с точно выверенным импедансом $Z_0=100$ Ом, чтобы обеспечить совместимость с исследуемыми соединителями;
- **SMA-соединители с контактами типа rogo-pin:** обеспечивают устойчивый электрический контакт и минимальные дополнительные потери в цепи;
- **место для запрессовки соединителей:** спроектировано таким образом, чтобы исключить механические напряжения и деформации при установке исследуемых соединителей.

На рис. 3 и 4 показано подключение экспериментальной оснастки к векторному анализатору цепей.

ИЗМЕРЯЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Основными характеристиками, измеряемыми с использованием экспериментальной оснастки, являются:

- **вносимые потери:** измеряются в децибелах и характеризуют снижение мощности сигнала после прохождения через соединитель. Критическим значением считается порог -3 дБ, превышение которого снижает качество сигнала в два раза;
- **частотная характеристика:** анализируется полоса пропускания канала, чтобы определить соответствие требованиям скорости передачи данных;
- **импеданс:** проверяется соответствие импеданса дифференциальных пар стандарту $Z_0=100$ Ом, что является ключевым фактором для минимизации отражений сигнала;
- **скорость передачи данных:** показатель, характеризующий объем информации, который может быть передан через канал связи за единицу времени. Измеряется в битах в секунду (бит/с) или его производных единицах: кбит/с, Мбит/с, Гбит/с.

Исследуемый в данной статье соединитель является функциональной частью тракта передачи данных и предназначен для обеспечения электрической совместимости с множеством стандартов интерфейсов. Различные интерфейсные стандарты предъявляют для компонентов трактов передачи данных, таких как соединители, разнообразные требования к электрическим характеристикам сигналов

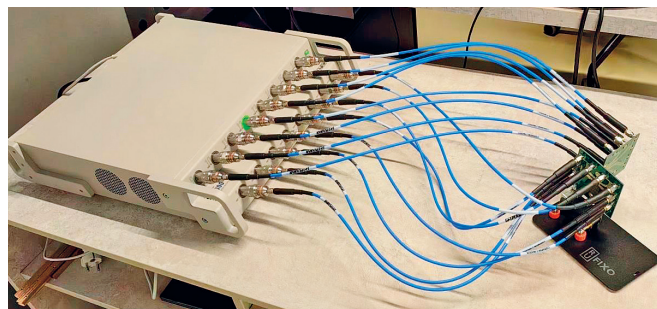


Рис. 3. Анализатор цепей с подключенной оснасткой

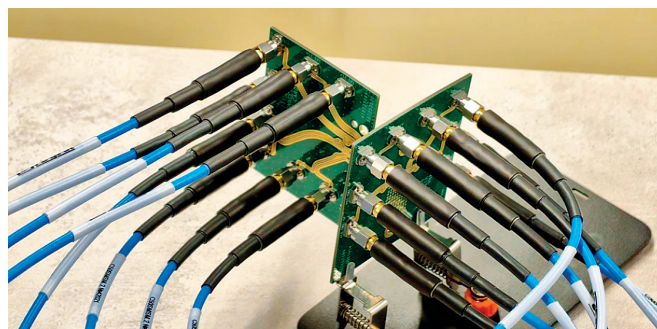


Рис. 4. Подключенная оснастка

(коэффициенту ослабления мощности, потерями в цепях и др.), поэтому в международной общепромышленной практике установлено универсальное значение максимально допустимого ослабления мощности на уровне -3 дБ. Данное значение соответствует уменьшению мощности входного сигнала в два раза.

На таком уровне ослабления большинство приемников сигналов различных стандартов (интерфейсов) способно гарантировать стабильную работоспособность, включая корректное детектирование и декодирование поступающих сигналов. Например, согласно спецификации стандарта EIA/TIA-644-A для технологии LVDS пороговые значения входного напряжения составляют 100 мВ для логической единицы и -100 мВ для логического нуля [6]. Эти значения превышают пороговые уровни приемника ± 50 мВ вдвое по абсолютной величине. Соответственно, отношение допустимой мощности сигнала к минимально необходимой пороговой мощности вычисляется, как $10 \cdot \log_{10}(100/50) = -3$ дБ, что подтверждает принятый уровень допустимого ослабления мощности, как оптимальный для обеспечения надежной работы систем связи. Можно предположить, что если численные значения потерь на частоте 5 ГГц составляют менее -3 дБ, тогда по теореме Найквиста исследуемые модульные соединители могут использоваться в линиях связи со скоростью 10 Гбит/с.

Согласно теореме Найквиста, максимальная скорость передачи дискретных символов (бит/с) без шума в канале связи с полосой пропускания B определяется как [3]:

$$C = 2B \cdot \log_2(M),$$

где C – максимальная скорость передачи данных (бит/с); B – полоса пропускания канала (Гц), M – количество уровней сигнала (размер алфавита).

Если используется бинарный сигнал ($M = 2$), формула упрощается до $C = 2B$ (бит/с).

Для достижения скорости передачи данных 10 Гбит/с примем следующие параметры:

- полоса пропускания канала: $B = 5$ ГГц = $5 \cdot 10^9$ Гц;
- необходимо подобрать количество уровней сигнала M так, чтобы скорость передачи достигала 10 Гбит/с.

Для достижения скорости передачи данных 10 Гбит/с при полосе пропускания канала $B = 5$ ГГц необходимо использовать сигнал с двоичной модуляцией ($M = 2$), например, NRZ (Non-Return-to-Zero) или другие двоичные кодировки. В современных высокоскоростных системах часто используются многоуровневые модуляции, такие как PAM-4 ($M = 4$), которые позволяют увеличить скорость передачи данных при той же полосе пропускания.

Для примера, если взять $M = 4$: $C = 2 \cdot B \cdot \log_2(4) = 2 \cdot (5 \cdot 10^9) \cdot 2 = 20$ Гбит/с.

Таким образом, использование PAM-4 позволяет достичь скорости 20 Гбит/с при той же полосе пропускания

$B = 5$ ГГц. Это делает PAM-4 популярным выбором для высокоскоростных интерфейсов, таких как PCIe Gen 5 и Ethernet 400G.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В ходе проведенного исследования были выполнены измерения ключевых электрических характеристик высокоскоростных соединителей – вносимых потерь и дифференциального импеданса. Измерения проводились с использованием современного векторного анализатора цепей в диапазоне частот от 10 МГц до 9 ГГц. Показания векторного анализатора представлены на рис. 5–8.

Ниже представлены результаты измерений.

Вносимые потери:

- соединитель TE Connectivity продемонстрировал уровень вносимых потерь в пределах $0,2$ – $0,8$ дБ при частотах до 9 ГГц;
- соединитель АО «Радиант-ЭК» показал схожий уровень вносимых потерь: $0,2$ – $0,9$ дБ в диапазоне до 9 ГГц.

Дифференциальный импеданс:

- у соединителя TE Connectivity дифференциальный импеданс составил 85 – 115 Ом, что соответствует заявленным спецификациям производителя;
- соединитель АО «Радиант-ЭК» продемонстрировал значение дифференциального импеданса в диапазоне 80 – 120 Ом, что также находится в допустимых пределах для VPX-стандарта (номинальное значение 100 Ом с допуском $\pm 20\%$).

Скорость передачи данных:

- в диапазоне частот от 0 до 5 ГГц значения вносимых потерь соединителей как зарубежного, так и отечественного производства продемонстрировали высокую степень соответствия. Значения вносимых потерь указывают на то, что исследуемые соединители обладают достаточной полосой пропускания для обеспечения скорости передачи данных не менее 10 Гбит/с, что подтверждается расчетами на основе теоремы Найквиста;
- соединитель АО «Радиант-ЭК» по данному показателю не уступает заявленным характеристикам соединителя TE Connectivity.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Полученные результаты свидетельствуют о высокой степени соответствия характеристик соединителей АО «Радиант-ЭК» международным стандартам и зарубежным аналогам. В частности, следует отметить:

- **близость значений вносимых потерь и скорости передачи данных.** Сходство этих параметров указывает на то, что конструктивные решения, применяемые в отечественных соединителях, обеспечивают эффективное подавление паразитных эффектов, таких

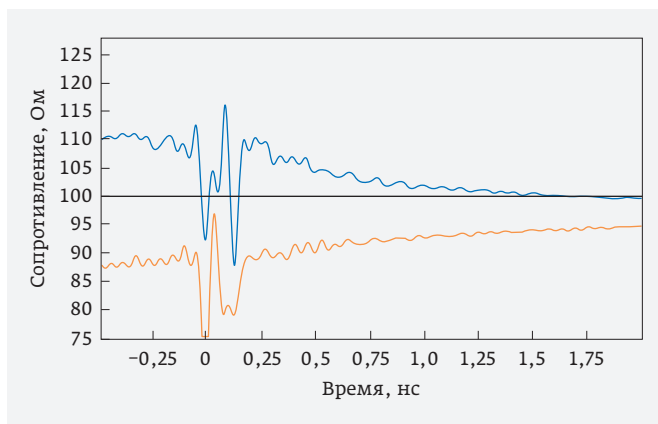


Рис. 5. Измерение импеданса соединителя TE Connectivity

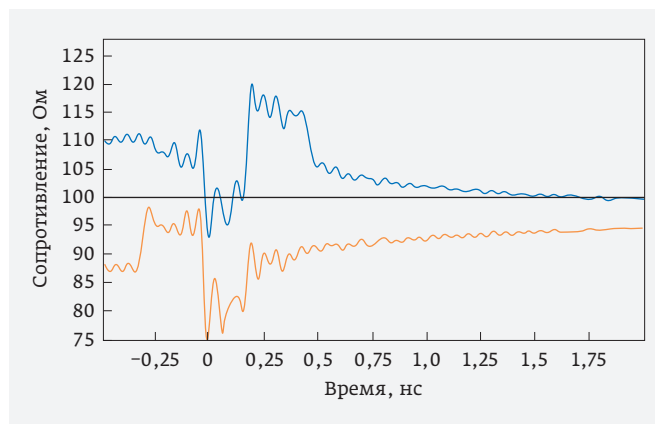


Рис. 6. Измерение импеданса соединителя АО «Радиант-ЭК»

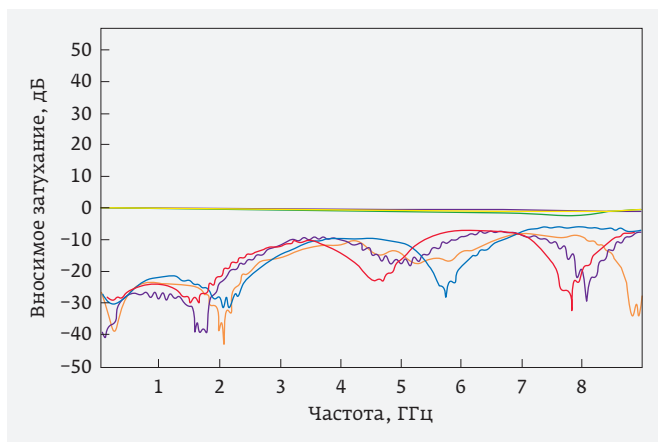


Рис. 7. Измерение вносимых потерь соединителя TE Connectivity

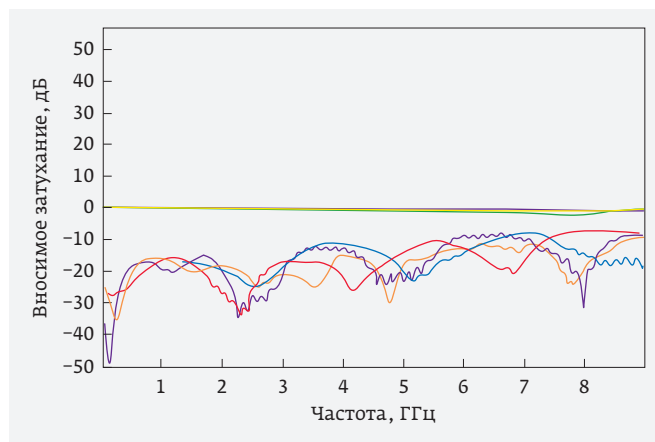


Рис. 8. Измерение вносимых потерь соединителя АО «Радиант-ЭК»

как дисперсия, затухание сигнала и нелинейные искажения. Это достигается за счет оптимизации геометрии токопроводящих проводников в составе плат и использования материалов с низкими потерями [4];

- **стабильность дифференциального импеданса.** Хорошее соответствие значений дифференциального импеданса у обеих групп соединителей подтверждает правильность выбора конструктивных параметров и технологических процессов при производстве отечественных изделий. Стабильность импеданса обеспечивает минимизацию отражений сигнала и повышает качество передачи данных;
- **высокий уровень технологической зрелости.** Результаты исследования демонстрируют высокий уровень технологической зрелости продукции АО «Радиант-ЭК». Применение технологии монтажа без пайки Press Fit позволяет сохранять стабильные

электрические характеристики даже при длительной эксплуатации, что особенно важно для систем, работающих в сложных условиях.

Дополнительные исследования взаимозаменяемости соединителей различных производителей подтвердили их совместимость в реальных условиях применения. В рамках эксперимента были проведены измерения на комбинированных парах соединителей: вилка АО «Радиант-ЭК» с розеткой TE Connectivity и, наоборот, вилка TE Connectivity с розеткой АО «Радиант-ЭК». Поскольку данные соединители разработаны в соответствии с международным стандартом VPRX, они являются взаимозаменяемыми. Полученные результаты показали, что ключевые электрические характеристики – вносимые потери, дифференциальный импеданс и скорость передачи данных – остаются в пределах допустимых значений даже при использовании смешанных ответных модулей

соединителей. Это демонстрирует высокий уровень продукции АО «Радиант-ЭК» и ее полную совместимость с зарубежными аналогами, что является важным преимуществом для внедрения отечественных решений в существующие системы передачи данных.

Аналогом отечественного соединителя, разработанного АО «Радиант-ЭК», является соединитель серии RVPX компании Amphenol [6]. На основе данных из открытых источников можно провести сравнительный анализ ключевых электрических характеристик указанных соединителей, включая вносимые потери и дифференциальный импеданс. Результаты измерения вносимых потерь и импеданса для соединителей серии RVPX представлены на рис. 9 и 10. Анализ графиков показывает худшие показатели по сравнению с результатами, полученными для соединителя Multigig RT2 от TE Connectivity и отечественного соединителя производства АО «Радиант-ЭК». Однако следует отметить, что данные из открытых источников были получены с использованием измерительной оснастки, отличной от той, которая применялась в текущем исследовании, что может оказывать влияние на абсолютные значения измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ результатов измерения электрических параметров показал, что отечественный соединитель производства АО «Радиант-ЭК» полностью соответствует характеристикам зарубежного аналога Multigig RT2 производства TE Connectivity. Близость значений вносимых потерь и дифференциального импеданса подтверждает высокое качество отечественной разработки и ее готовность к применению в современных высокоскоростных системах передачи данных. Это открывает широкие возможности для их использования в рамках программ импортозамещения без снижения технических характеристик оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Баканин Д.В., Шоломанов В.И.** Отечественный модульный высокоскоростной соединитель стан-

- дarta VPX (VITA 46) от АО «Радиант-ЭК» // Электронные компоненты. 2023. № 2. С. 56–60.
2. TE Connectivity. Multigig RT2 High-Speed Connector Series. Technical Specifications. 2022 // www.te.com.
3. **Найквист Г.** Теоретические основы передачи сигналов в каналах связи // Теория связи. 1928. Т. 12. С. 123–145.
4. **Шоломанов В.И., Баканин Д.В.** Высокоскоростные дифференциальные пары на печатной плате для модульного соединителя // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2024. № 3. С. 142–146.
5. Amphenol. RVPX Series Connectors. Datasheet. 2021 // www.amphenol.com.

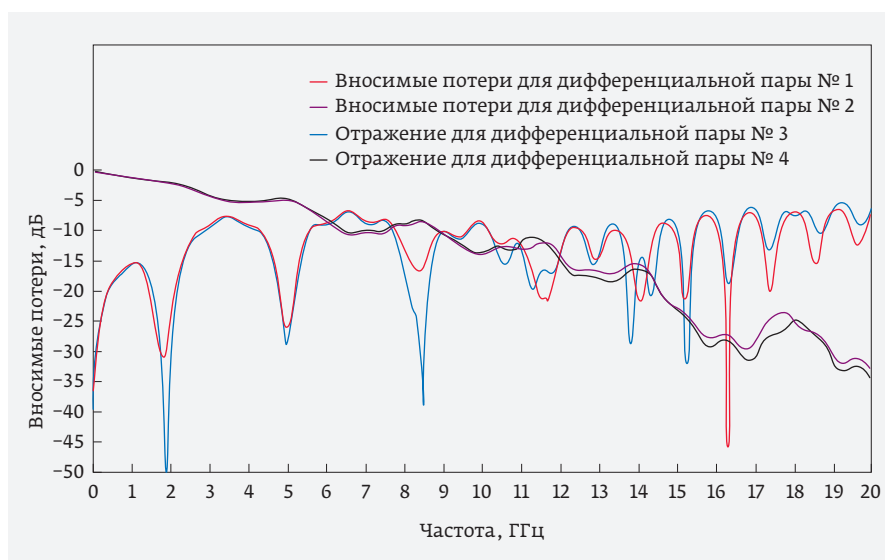


Рис. 9. Вносимые потери соединителя серии RVPX от Amphenol

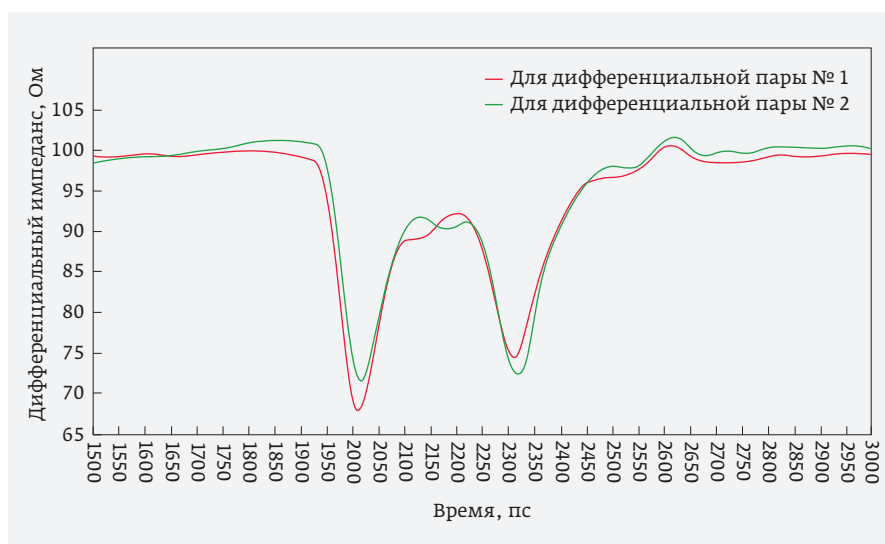


Рис. 10. Импеданс соединителя серии RVPX от Amphenol



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

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

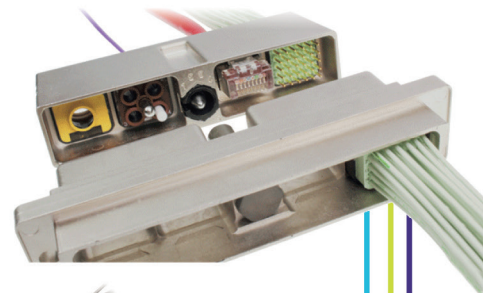
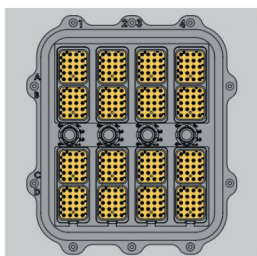
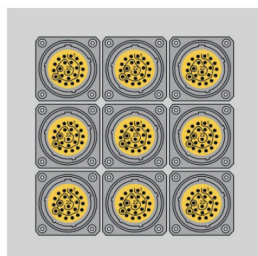
Новосибирск
+7 (383) 207-56-78
nsk@ranet.ru



radiant.su

Соединители типа SIM как концепция конфигурации модульных облегченных систем

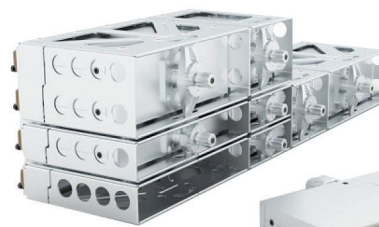
Прямоугольные модульные многофункциональные соединители типа SIM, производства АО «Радиант-ЭК» являются аналогом соединителей, изготавливаемых по стандарту EN4165. По виду монтажа контактов в аппаратуре относятся к соединителям объемного и печатного монтажа с извлекаемыми контактами. Соединители стойки к воздействию ВВФ, установленных в ГОСТ РВ 0020-39.414 для группы исполнения 4У. Диапазон изменения температуры среды: от -65 до 175 °С.



Цилиндрический соединитель типа СНЦ144
198 контактов #22 AWG, 5A
Масса: 309 гр. (без панели)
36+9 панельных вырезов

Прямоугольный соединитель типа СНП468
320 контактов #22 AWG, 5A
Масса: 149 гр. (без панели)
10+1 панельных вырезов

Высокая плотность контактов, разрабатываемые под требования Заказчика различные формфакторы корпусов, модульность и возможность комбинировать интерфейсы (электрика, оптика, Ethernet, PC) позволяет сократить на 50-70% количество всех соединителей, размера области панели и, как следствие, количество вырезов под соединители, снижает вес и стоимость конечного изделия.

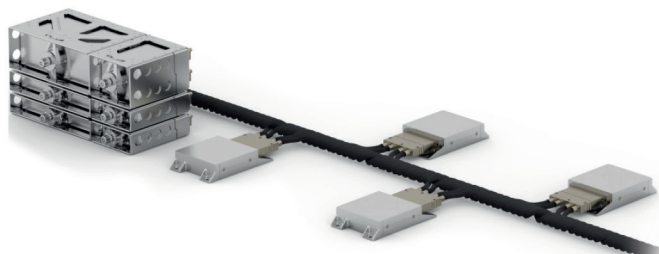


ARINC 404

ARINC 600

EN4165

Модульная архитектура авионики, основанная на стандарте EN4165 позволяет экономить до 40% пространства и снижать вес до 60% по сравнению с традиционными системами авионики.



Заказы на образцы и дополнительную информацию принимаются на электронную почту

Avizo@ranet.ru