

Новый высокочастотный разъем Würth Elektronik

для подключения антенны
к модулю беспроводной связи

Развитие сенсорных и локальных сетей предприятий, «умных» систем учета ресурсов, «умных» домов и городов требует большого количества беспроводных устройств, которые служат узлами сети. Для этих целей разрабатываются и используются приемо-передающие модули самых разных технологий, основанные на стандартных протоколах ближней и дальней связи [1]. Однако мало выбрать оптимальный модуль, для него, кроме интерфейса с датчиком и организации питания, требуется подключение к антенне, часто через дополнительный усилитель мощности. Учитывая, что подобные решения функционируют, как правило, в области очень высоких частот, задача становится далеко не простой и для ее решения лучше обратиться к профессионалам отрасли, таким как компания Würth Elektronik.

Владимир Рентюк
Rvk.modul@gmail.com

Введение

Функция линии передачи радиочастоты от модуля беспроводной связи заключается в направлении радиочастотного сигнала от источника (усилителя модуля) к нагрузке (антенне) или от источника (антенны) к входу приемника. Выполнить это необходимо с минимальными потерями (затуханием) и искажениями. Причем важную роль в передаче сигнала играет согласование линии передачи по импедансу. Даже если выходной импеданс источника и входной нагрузки совпадают, то добавление разъема в линию передачи способно привести к неоднородности из-за несоответствия импеданса и, следовательно, искажения сигнала ввиду возникновения отражений. Еще большую проблему создают кабельные переходы, так как в этом случае можно получить пять неоднородностей на трассе передачи — кабель и сочлененные разъемы. И если ВЧ-разъемы даже для области относительно низких высоких частот никто делать будет, то вот спаять кабельную сборку — попытаются (мол, что тут особенного: кабель и разъемы есть, мы же не лыком шиты).

Все верно, однако в практике автора статьи был случай, когда по так и не выясненной причине некоторые кабельные сборки (патчи длиной 20 см), правильно с точки зрения подключения собранные и прозвоненные, разрушали целостность высокочастотного сигнала — скорее всего, проблема была в утечках по изоляции, что влияло на их волновое сопротивление.

Так что лучше приобретать не только разъемы, но и проверенные кабельные сборки, тем более для области гигагерцевых частот. Однако купить —

это одно, а вот как их правильно применить — уже совсем другое дело. Для ответа обратимся к теории, опыту и практике, без которой, как известно, всякая теория мертва [2].

Импеданс и проблема подключения

Согласование импеданса определяет характеристики линии передачи. Характеристическое сопротивление стандартной линии передачи выражается как:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

Согласно приведенной выше формуле, основные факторы, влияющие на импеданс, включают: R (сопротивление на метр), L (индуктивность на метр), C (емкость на метр), G (проводимость на метр) и, наконец, не в последнюю очередь угловую частоту $\omega = 2\pi f$, где f — это частота сигнала.

Учитывая, что речь идет об области очень высоких гигагерцевых частот, подключение разъема требует тщательно продуманного решения линии передачи, выбор подходящего типа которой определяется конкретным приложением. Для организации таких линий передачи сигнала от выхода источника до разъема для подключения антенны или промежуточной кабельной сборки разработчикам доступны три основных варианта, приведенных в таблице 1.

Наиболее подходящим вариантом для подключения коаксиальных разъемов, как правило, становится копланарный волновод с плоскостью заземления. Детально он показан на рис. 1.

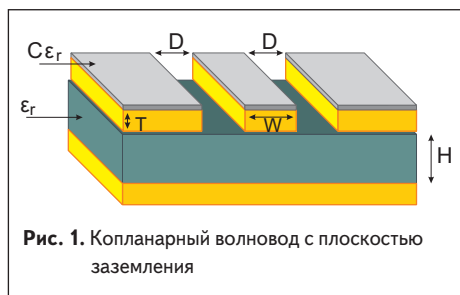


Рис. 1. Копланарный волновод с плоскостью заземления

Выглядит он просто, но в реальной жизни все сложно. Посмотрите на факторы, определяющие характеристический импеданс линии передачи копланарного волновода на печатной плате:

- ϵ_r — относительная диэлектрическая проницаемость подложки;
- W — ширина проводника;
- H — толщина диэлектрика основания;
- T — толщина проводника (толщина меди);
- D — расстояние от сигнальной линии до копланарных заземляющих проводников;
- ϵ_{ϵ_r} — относительная диэлектрическая проницаемость покрытия (припой или защитное покрытие).

Важно понимать, что на импеданс линии передачи влияет каждый фактор, но основное значение имеет выбор материала печатной платы. Его влияние мы используем для наглядности. В качестве подложки для печатной платы используются различные типы материалов —

Таблица 1. Три основных варианта линии передачи

Встроенная полосковая линия		Сверху и снизу есть плоскости заземления, а диэлектрик вокруг трассы однородный.
Микрополосковая линия		Диэлектрический материал над дорожкой отличается от материала под дорожкой. Под трассой должна быть плоскость заземления, а плоскость заземления над трассой можно не использовать. Обычно применяется на тестовых печатных платах.
Копланарный волновод с плоскостью заземления		Копланарный волновод состоит из сигнальной дорожки с двумя соседними дорожками заземления слева и справа. Кроме того, под копланарным волноводом для уменьшения паразитных неоднородностей может быть плоскость заземления. Эта структура обычно используется в приложениях, которые должны подключаться к ВЧ-разъему или антенне. Плоскость заземления дополнительно помогает защитить линию передачи от паразитных связей и изолировать ее от внешних металлических предметов.

обычно FR-1, FR-4, СЕМ-1 и другие. Каждая такая подложка имеет свою относительную диэлектрическую проницаемость — это безразмерная физическая величина, которая характеризует свойства изолирующей (диэлектрической) среды по отношению к вакууму и дополнительно варьируется не только у разных производителей (у наиболее популярного FR-1 — в пределах 5,5–6), но и в зависимости от частоты. В качестве примера на рис. 2 приведена зависимость характеристического импеданса от относительной диэлектрической проницаемости подложки и ширины печатного проводника. Обсуждение

влияния на импеданс линии передачи других факторов выходит за рамки данной статьи и подробно описывается в [2].

То, о чем мы говорили выше, касалось только части линии передачи. Не менее важным моментом для рассматриваемой области частот становится само подключение разъема к этой части линии. Обычно для этого используется монтаж в стык платы, как это показано на рис. 3. Однако разъемы с круглыми штырями имеют больший центральный штифт, что создает значительные нарушения целостности импеданса после пайки, поэтому ширину дорожки рядом с центральным контактом разъема (рис. 26) обычно уменьшают. Однако чем меньше ширина печатного проводника в конце, тем лучше согласование, но сложнее пайка.

Для копланарного волновода значение импеданса можно повысить, уменьшив ширину сигнального проводника. Также достичь идеального импеданса удастся с увеличением расстояния между дорожкой и ее копланарным заземлением (GND), как это показано на рис. 4.

Оба предыдущих варианта, кроме, скажем так, традиционных проблем с согласованием импеданса выносных разъемов, устанавливают габариты устройства, что не всегда удобно для ряда компактных приложений, например упомянутых в начале статьи узлов сенсорной сети. Для этой цели предпочтительны разъемы, установленные на печатную плату.

Здесь нам доступно два варианта — с установкой в отверстие (Thought Hole, ТНТ)

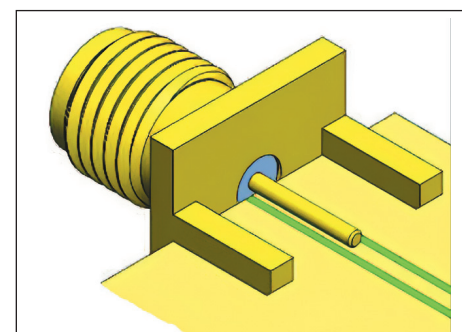


Рис. 3. Типовой ВЧ-разъем и вариант его монтажа на печатную плату

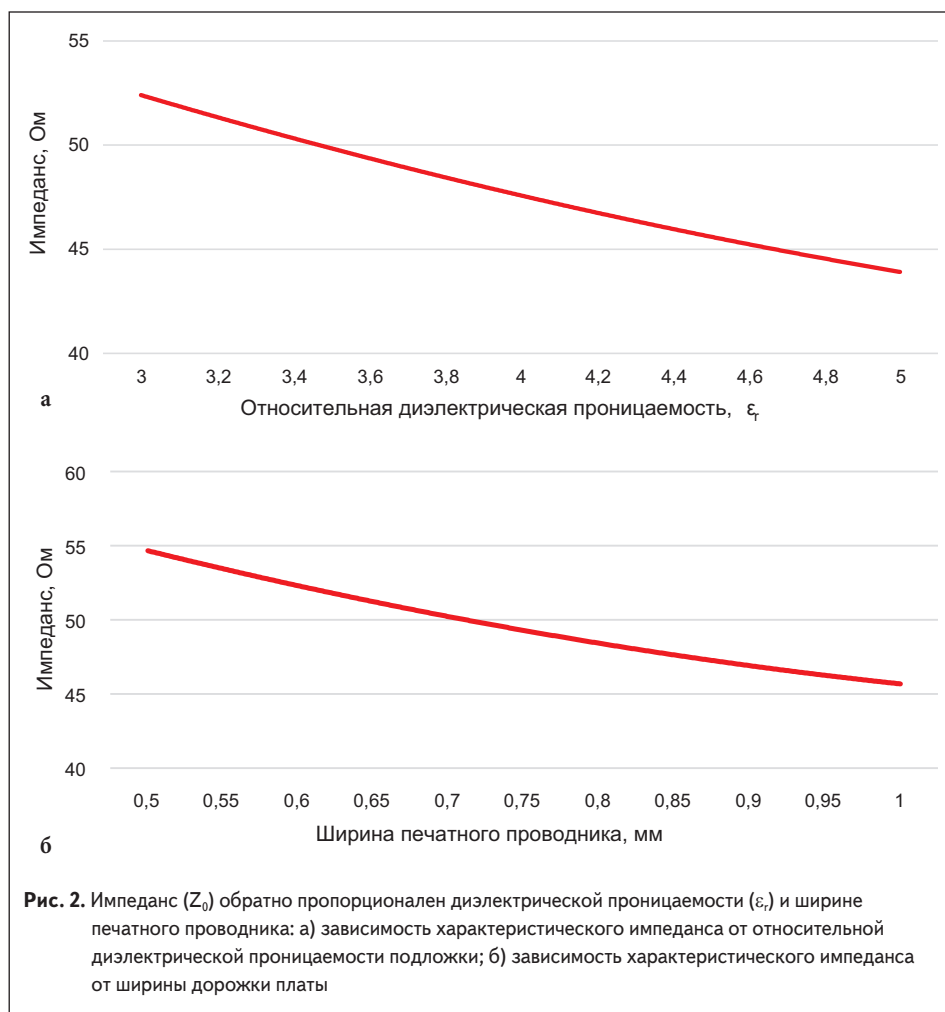
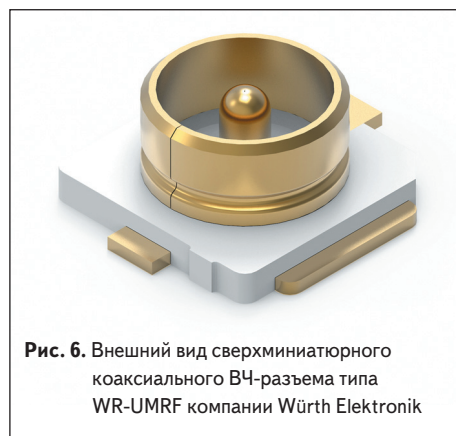
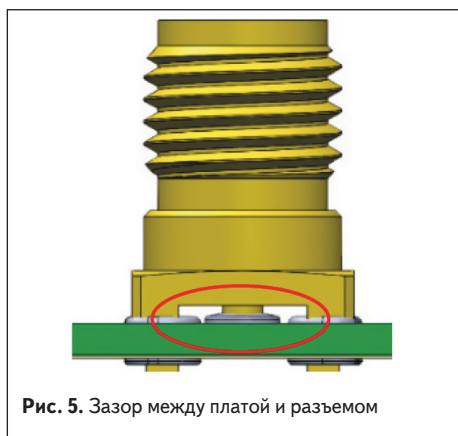
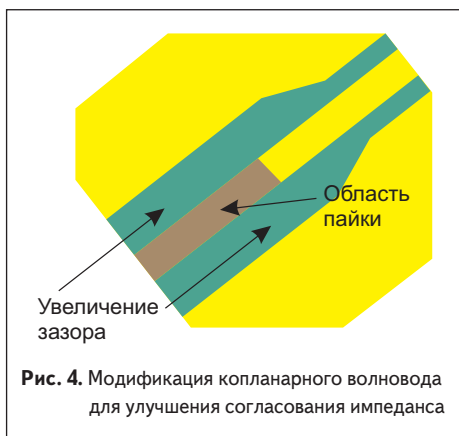


Рис. 2. Импеданс (Z_0) обратно пропорционален диэлектрической проницаемости (ϵ_r) и ширине печатного проводника: а) зависимость характеристического импеданса от относительной диэлектрической проницаемости подложки; б) зависимость характеристического импеданса от ширины дорожки платы



и с установкой на поверхность (Surface Montage Device, SMD). Однако для типовых разъемов ТНТ и SMT достичь идеального соответствия сложнее. Часто это происходит из-за наличия плохо контролируемого зазора после припайки разъема к плате, который увеличит значение импеданса (рис. 5).

Кроме того, разъемы ТНТ и SMT расположены перпендикулярно дорожке на печатной плате, что снижает импеданс. Так, удлиненные ножки соединителя для центрального контакта ТНТ уменьшают значение импеданса. Разрыв импеданса возникает на очень коротком расстоянии для разъемов ТНТ, поэтому его труднее исправить корректировкой дорожек на печатной плате. По этой причине из-за связанной с ней проблемы с согласованием импеданса типовые разъемы ТНТ и SMT обычно не используются в высокочастотных продуктах.

Для решения описанной задачи компания Würth Elektronik расширила свою номенклатуру коаксиальных соединителей, выпустив сверхминиатюрный коаксиальный ВЧ-разъем типа WR-UMRF (Ultra-Miniature RF) [3], чей внешний вид показан на рис. 6, а чертежи приведены на рис. 7.

Предлагаемый WR-UMRF — это новый, чрезвычайно компактный высокочастотный коаксиальный разъем типа Receptacle, Male

Pin (розетка со штырем). Изолятор разъема выполнен из жидкокристаллического полимера (LCP), контактная система — из латуни и фосфористой бронзы с покрытием «золото по никелю». Вилка защелкивается в розетку, образуя стабильное вертикальное соединение кабеля с платой, высота которого составляет всего 2,5 мм. Подобная экономичная технология соединения особенно удобна для подключения антенн к радиомодулям. Диапазон рабочих частот разъема WR-UMRF — от напряжения постоянного тока и вплоть до 6 ГГц при волновом сопротивлении 50 Ом. Имея высоту 2,5 мм, разъем WR-UMRF представляет собой низкопрофильное соединение, и для его размещения на печатной плате нужна площадка

размером 3,1×3 мм. По своим техническим характеристикам разъем WR-UMRF совместим со многими аналогичными изделиями на рынке. Технические характеристики разъема WR-UMRF приведены в таблице 2.

КСВН (коэффициент стоячей волны по напряжению) в конкретном приложении может различаться в зависимости от компоновки печатной платы, причем влияние оказывает не только разброс по относительной диэлектрической проницаемости материала, но и допуски при ее производстве. Иногда даже шероховатость медного слоя становится фактором, влияющим на импеданс линии передачи. Поэтому крайне важно не только качественно изготовить печатную плату, но и выбрать разъем с минимальными

Таблица 2. Разъем WR-UMRF компании Würth Elektronik, технические характеристики

Характеристики	Условия измерений	Значение
Импеданс	DC-6 ГГц	50 Ом
Диапазон частот		DC-6 ГГц
КСВН	DC-3 ГГц	1,3
Вносимые потери	DC-3 ГГц	0,3 дБ
КСВН	3-6 ГГц	1,4
Вносимые потери	3-6 ГГц	0,6 дБ
Сопротивление изоляции	100 В (DC), 120 с	500 МОм
Выдерживаемое напряжение	200 В (AC), 60 с	200 В (с.к.з.)
Диапазон рабочих температур		-40...+90 °C



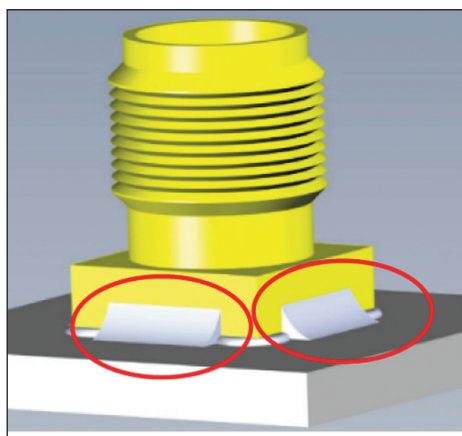


Рис. 8. Установка разъема с исключением зазора

вносимыми потерями и низким КСВН. Именно такими характеристиками обладает разъем типа WR-UMRF компании Würth Elektronik.

Преимущество разъема в том, что его конструкция позволяет улучшить импеданс непосредственной посадкой WR-UMRF на печатную плату и пайкой трех плоских контактных площадок, которые ложатся на ППП (рис. 8), а не заполнением зазора паяльной пастой, как рекомендовано в [2] (рис. 5). Естественно, в любом случае пайка влияет на импеданс, увеличивая его. Для его уменьшения можно расширить зазор между сигнальным проводником и заземлением, как показано на рис. 8.

Установка разъема иногда требует переходных отверстий, естественно влияющих на согласование импеданса. Причем для варианта копланарного волновода без таких переходов просто не обойтись.

При использовании копланарной конструкции волновода рекомендуется добавить несколько сквозных отверстий к копланарному заземлению, окружающему трассу (рис. 10). Сквозные отверстия соединяют верхние трассы и нижний слой, который является слоем заземления. В зависимости от максимальной частоты сигнала переходные отверстия должны располагаться на расстоянии не более 2–4 мм, это необходимо, чтобы копланарные дорожки заземления сохраняли свой потенциал заземления. Полезная общая информация по разводке печатных плат с высокочастотными сигналами, в том числе

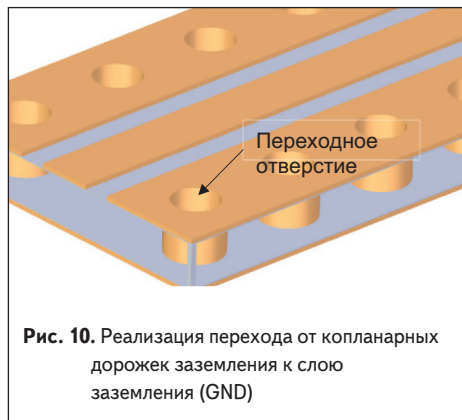


Рис. 10. Реализация перехода от копланарных дорожек заземления к слою заземления (GND)

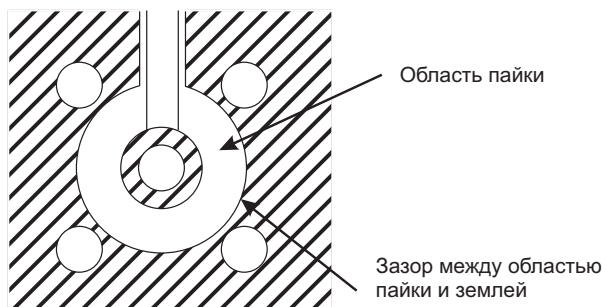


Рис. 9. Создание зазора между сигнальным проводником и плоскостью заземления для согласования импеданса

и с использованием копланарных волноводов, доступна по ссылке [5].

Кроме разъема типа WR-UMRF компания Würth Elektronik предлагает соответствующие ему кабельные сборки, значительно упрощающие монтаж антенн, вынесенных за плату модуля. Полная номенклатура таких сборок доступна по ссылке [4]. Кабельные сборки выполнены с различными комбинациями разъемов UMRF к SMA или к RPSMA. В качестве опции предлагаются сборки с разъемами SMA и RPSMA и защитой класса IP67. В номенклатуре сборок представлены модели длиной 100–1000 мм с кабелями диаметром 1,13; 1,32 и 1,37 мм (подробности по ссылке [4]). Общие варианты исполнения представлены в таблице 3.

Заключение

Для успешного применения беспроводных и радиочастотных технологий важно не только правильно выбрать или при необходимости самостоятельно разработать высокочастотный приемо-передающий модуль и соответствующую антенну. Необходимо обеспечить их точное сопряжение с учетом всего тракта передачи радиочастотного сигнала, то есть от модуля беспроводной связи как источника сигнала или усилителя мощности к нагрузке (антенне) с минимальными потерями и искажениями. Поскольку на этом пути не обойтись без разъемов, а порой и кабельных сборок, к их выбору необходимо

подходить ответственно и со всей тщательностью. Выбор при этом должен быть сделан в пользу компании, имеющей опыт в их изготовлении и гарантирующей заявленные характеристики своей продукции. Такой компанией и является компания Würth Elektronik из группы компаний Würth Elektronik Group. Кроме того, не меньшее значение имеет и выбор ответственного поставщика, способного предложить необходимый продукт и уполномоченного представлять компанию на вашем локальном рынке. ■

Литература

1. Рентюк В. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей» // Control Engineering Россия. 2017. № 6. 2018. № 1, 2.
2. Tsai O. Coaxial PCB Connector — PCB-Transmission Line Design Guide. Application Note ANE012a, 2021-07-30. www.we-online.com/catalog/media/o563287v410%20ANE012a%20EN.pdf
3. WR-UMRF PCB Receptacle SMT with 3 Pads. www.we-online.com/catalog/en/PCB_RECECTACLE_SMT_WITH_3_PADS
4. www.we-online.com/catalog/en/em/connectors/coax/coaxial_connectors_cable_assemblies/umrf_combinations
5. Уайтт К. Особенности конструирования печатных плат с выполнением требований по ЭМС // Компоненты и технологии. 2019. № 6.

Таблица 3. Общие варианты исполнения РЧ кабельных сборок компании Würth Elektronik, выполненных на основе нового разъема WR-UMRF

Вариант конструктивного исполнения	Описание	
	У изготовителя	У поставщика
	WR-UMRF UMRF Right Angle Plug to UMRF Right Angle Plug	WR-UMRF правоуголной штекер UMRF к правоуголному штекеру UMRF
	WR-UMRF UMRF SMA Bulkhead Jack to UMRF Right Angle Plug	WR-UMRF UMRF SMA разъем на стенку к правоуголному штекеру UMRF
	WR-UMRF UMRF IP67 RPSMA Bulkhead Jack to UMRF Right Angle Plug	WR-UMRF UMRF IP67 RPSMA разъем на стенку к правоуголному штекеру UMRF
	WR-UMRF UMRF IP67 SMA Bulkhead Jack to UMRF Right Angle Plug	WR-UMRF UMRF IP67 SMA разъем на стенку к правоуголному штекеру UMRF
	WR-UMRF UMRF RPSMA Bulkhead Jack to UMRF Right Angle Plug	WR-UMRF UMRF RPSMA разъем на стенку к правоуголному штекеру UMRF