

Интермодуляции в радиочастотных соединителях для мобильной и сотовой связи

Уровень интермодуляций — критический параметр, влияющий на качество сигналов и параметры систем связи. В мобильной коммуникации с передатчиком большой мощности и очень чувствительным приемником интермодуляции не позволяют оперировать на оптимальном уровне технических параметров. Развитие базовых станций мобильной связи GSM, DCS 1800, PCS 1900, а также широкополосной связи выдвинуло жесткие требования к уровню пассивной интермодуляции в применяемых радиочастотных соединителях. Возросшая емкость каналов связи и увеличение мощности передаваемых сигналов в сочетании с высокой чувствительностью приемных устройств потребовали, чтобы уровень интермодуляционных искажений в соединителях не превышал -155 дБс.

Рассмотрению интермодуляций в радиочастотных соединителях и посвящена эта статья.

Кива ДЖУРИНСКИЙ,
к. т. н.

Об интермодуляции

Термин интермодуляция (intermodulation, IM) образован из двух латинских слов: inter (между) и modulus (измерение). В широком смысле интермодуляция это взаимодействие между двумя или более частотами, проходящими через активную или пассивную нелинейную электрическую цепь или через любой компонент, который генерирует нежелательные частоты. Нелинейными являются электрические цепи и компоненты, в которых вольт-амперная характеристика и зависимость выходной мощности от входной не линейны. По своей сути интермодуляции — это нелинейный отклик двух или более сигналов различных частот, смешанных друг с другом в нелинейном компоненте.

Еще не так давно считалось само собой разумеющимся, что такие пассивные компоненты, как соединители, кабельные сборки и адаптеры, являются линейными компонентами. Но развитие систем беспроводной ком-

муникации, использующих цифровые схемы модуляции, возросшую емкость каналов, высокую мощность передачи и исключительную чувствительность приемника, поставило вопрос о линейности всех применяемых пассивных компонентов. Было установлено, что даже низкий уровень интермодуляционных сигналов, попадающих в полосу передачи, нарушает эффективность коммуникации [1].

Механизм их образования можно представить следующим образом. Если сигнал с частотой f_1 проходит через линейное пассивное устройство, то его частота на выходе устройства не изменяется, и возможно изменение только амплитуды и фазы. Но когда этот же сигнал поступает в нелинейное устройство, то наряду с несущей частотой f_1 возникают гармоники $2f_1, 3f_1 \dots nf_1$. Если же достаточно мощный входной сигнал содержит два или более гармонических сигналов с частотами $f_1; f_2 \dots f_n$, то выходной сигнал нелинейного устройства состоит из спектра частот. В результате взаимодействия этих сигналов и их гармоник в нелинейном устройстве и в ко-

нечном итоге на выходе устройства возникают интермодуляционные продукты — IMP (InterModulation Products) вида mf_1 и nf_2 (рис. 1).

Каждая из интермодуляционных составляющих характеризуется порядком, равным сумме или разности $m \pm n$, где m и n — целые положительные, отрицательные или равные нулю числа. При этом $f_1+f_2; f_2-f_1$ — IMP 2-го порядка, $2f_1-f_2; 2f_2-f_1$ — IMP 3-го порядка, $3f_1-2f_2; 3f_2-2f_1$ — IMP 5-го порядка и так далее. Совокупность интермодуляционных продуктов разных порядков имеет вид «рождественской елки» (Christmas tree).

Интермодуляционные продукты представляют серьезную проблему, так как они могут появляться внутри полосы частот приема системы «приемник — передатчик» с большим числом каналов передачи. Наибольшие неприятности причиняют интермодуляции нечетных порядков, так как они располагаются ближе всего к несущим частотам. Интермодуляции 3-го и 5-го порядков составляют приблизительно 95% всех интермодуляционных помех. При этом уровень IMP3 имеет наибольшую величину, и поэтому общепринято им характеризовать интермодуляции пассивного компонента.

В базовой станции GSM передача сигналов происходит на частотах $f_1 = 935$ и $f_2 = 960$ МГц, а полоса приема — 890–915 МГц. Интермодуляционный продукт 3-го порядка возникает на частоте $2f_1-f_2 = 910$ МГц, 5-го порядка — на частоте $3f_1-2f_2 = 885$ МГц. В базовой станции системы DCS $f_1 = 1805, f_2 = 1880$ МГц, а полоса приема — 1710–1785 МГц. Интер-

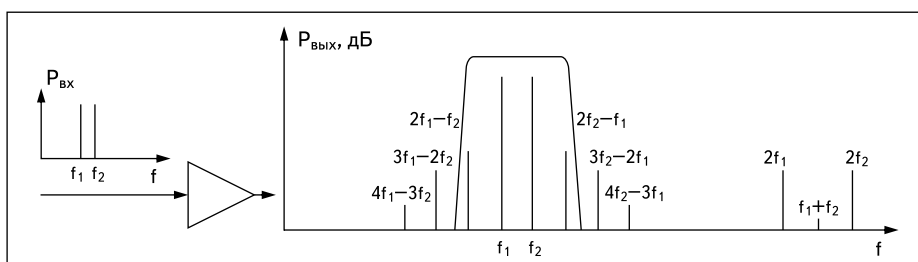


Рис. 1. Интермодуляция в пассивном устройстве с нелинейной характеристикой

модуляционные продукты 3-го и 5-го порядков возникают на частотах 1730 и 1655 МГц соответственно. В обоих случаях в полосу приема попадают интермодуляции 3-го порядка. Они обрабатываются в устройстве совместно с несущим сигналом, ухудшая качество выходного сигнала.

Уровень интермодуляционных продуктов определяется отношением мощности ИМРЗ к мощности входящего сигнала ($10\lg P_{\text{ИМРЗ}}/P_{\text{вх}}$) и измеряется в дБс. При мощности 1 мВт он равен $10\lg P_{\text{ИМРЗ}}$ (дБм). При изменении на 1 дБ мощности сигналов обеих несущих частот f_1 и f_2 уровень ИМРЗ изменяется на 3 дБ. Для сотовых систем при мощности передачи 20 Вт (43 дБм) в линии передачи с несколькими пассивными компонентами уровень ИМРЗ должен быть менее -110 дБм. Для каждого отдельного компонента он должен быть еще ниже. Например, для кабельной сборки при той же мощности передаваемого сигнала ИМРЗ должен быть менее -120 дБм. Наконец, следует отметить, что в радиочастотных соединителях интермодуляции не зависят от частоты, так как сами соединители являются широкополосными устройствами.

Условия появления ИМР

Проблемы с пассивными интермодуляционными искажениями в системах связи возникают при следующих условиях:

- достаточно высокая мощность передаваемого сигнала;
- высокая чувствительность приемного устройства;
- наличие нескольких каналов передачи;
- использование одной антенны для приема и передачи сигналов;
- наличие пассивных нелинейных компонентов в линии передачи.

Абсолютная линейность любого компонента является лишь математической идеализацией. Все пассивные компоненты в той или иной степени нелинейны. Пассивными компонентами являются кабели, соединители, кабельные сборки, адаптеры, фильтры, направленные ответвители, антенны. Каждый из этих компонентов, имеющих нелинейную вольт-амперную характеристику, может генерировать интермодуляционный продукт. Его уровень зависит от наклона кривой зависимости «напряжение – ток» и от входной мощности сигнала. На практике интермодуляции, возникающие в полосе приема, являются результатом интермодуляции многих источников. Величина результирующего уровня интермодуляций зависит от отношения фаз этих источников. Так как ИМР разных порядков имеют разные частоты, результирующий продукт не имеет постоянной амплитуды. И, кроме того, пассивные интермодуляции трудно предугадать, если изменяется мощность сигнала, проходящего через пассивный компонент.

Причины возникновения пассивной интермодуляции в радиочастотных соединителях

Существуют две основные категории нелинейности в радиочастотных соединителях:

- нелинейность контакта в соединении «металл – металл»;
- нелинейность материалов и покрытий поверхности соединителей.

Нелинейность контакта

Эта нелинейность возникает, когда неоднородности в токонесущей части контакта приводят к неполному контактированию (рис. 2) [1].

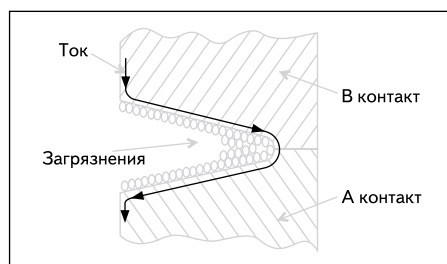


Рис. 2. Нелинейная область контакта

Видна полость между контактами, с загрязненными стенками. Удлиняется путь тока, возникает потенциальный барьер напряжения. Этот барьер может инициировать микроскопические искрения [1]. При этом генерируются интермодуляционные продукты. Ситуация усложняется, так как интермодуляция в этом случае зависит еще от температуры, вибрации и воздействия окружающей среды. Неоднородности обычно нельзя обнаружить при осмотре невооруженным глазом и трудно предугадать, в каком месте они расположены. Их причины могут быть различными:

- Состояние поверхности в области контактирования (неровности, микротрещины, различные дефекты и загрязнения). Из-за этого возникают микроразряды и нежелательные шумы.
- Коррозия. Поверхностные окислы металлов ведут себя как металлооксидные детекторы с нелинейной характеристикой («диодный эффект»). Кроме окислов, на поверхности металлов присутствуют влага, пыль, органические загрязнения и остатки различных солей металлов после операций химического травления и осаждения покрытий. Они также представляют собой некоторую нелинейность.
- Слабое усилие контактирования. Плотный контакт необходим еще и для того, чтобы при воздействии кислорода из окружающей среды не происходила коррозия. Это нежелательное явление в зарубежной технической литературе иногда называют «the rusty bolt effect» — «эффект ржавого болта».

Нелинейность материалов

Нелинейность вызывают:

- Резистивный и магнитно-резистивный эффекты в разнородных проводниках. Они приводят к локальному изменению сопротивления в области контакта. Однако влияние этих эффектов незначительно.
- Нелинейность применяемых диэлектриков.
- Изменение магнитной восприимчивости ферромагнитного материала в зависимости от напряженности магнитного поля. Это приводит к изменению индуктивного сопротивления электрической цепи и появлению интермодуляционных продуктов.

Для изготовления соединителей применяют только немагнитные материалы: латунь, бериллиевую и фосфорную бронзу. Нельзя применять нержавеющую сталь, имеющую слабые магнитные свойства, и сплавы алюминия, так как на их поверхности всегда образуется прочная окисная пленка. Для покрытия поверхности соединителя также недопустимо применение магнитных материалов, прежде всего гальванически осажденного никеля. Его нельзя применять даже в качестве подслоя под другие покрытия. Широкое применение для покрытий имеют «белая бронза» (немагнитный коррозионноустойчивый и износостойкий сплав медь – олово – цинк) и серебро [1, 2]. Уровень ИМРЗ в соединителях, корпус которых покрыт «белой бронзой» (зарубежные названия Suroplate, BBR и др.), а центральный контакт — серебром, менее -155 дБс [2].

Типы соединителей

Базовые станции мобильной и сотовой связи оперируют с достаточно высоким уровнем мощности сигналов, поэтому применяемые в них соединители и кабельные сборки должны обеспечивать их прохождение. Для этой цели пригодны «большие» соединители типов 7/16, N и реже TNC, SMA, 4,1/9,5. Эти соединители имеют высокую механическую прочность и допускают большое контактное усилие при соединении розетки и вилки [1–5].

Радиочастотные кабели

Для применения в системах с низким уровнем интермодуляционных искажений пригодны полужесткие кабели с медным одиночным сплошным центральным проводником и трубчатым наружным проводником. Хорошо зарекомендовали себя кабели 1/4", 3/8", 1/2" и другие с гофрированным медным экраном спиральной навивки [1, 2, 6, 7]. В большинстве случаев стандартные гибкие кабели с экранной оплеткой считаются неподходящими для изготовления кабельных сборок с низким уровнем интермодуляционных искажений.

Конструкция контакта

При конструировании соединителей наибольшее внимание необходимо уделять области контакта проводников соединителя, по которым протекает ток. Должно быть обеспечено высокое контактное давление наруж-

ных проводников розетки и кабельной вилки в течение срока службы соединителей. При этом нужно учитывать, что соединение может подвергаться вибрации, а кабель — изгибу.

Известны 5 способов соединения проводников в соединителях:

- пайка (реже сварка);
- стыковое соединение (butt joint);
- подпружиненный контакт;
- обжим (crimp);
- прижим (clamp).

Однако для обеспечения минимального уровня интермодуляционных искажений оптимальными являются только соединения пайкой и прижимом [2]. Пайка не требует приложения контактного давления. Пайкой обычно соединяют центральные проводники кабеля и соединителя. Соединение наружных проводников двух соединителей, как правило, резьбовое. Для более плотного контакта момент затягивания гайки соединителя «вилка» должен быть максимально большим (для соединителей 7/16 — не менее 30 Н·м), для этого применяют специальный тарированный ключ.

Способы уменьшения интермодуляционных искажений в соединителях и кабельных сборках

Для этого следует выполнять следующие основные правила:

- Избегать применения ферромагнитных материалов.
- Не использовать в области контактирования разнородные материалы.
- Поверхности контактирования не должны иметь механических дефектов, окислов, следов коррозии и различных загрязнений. Соединители требуют деликатного обращения и хранения.
- Свести к минимуму число контактных соединений.
- Чистота поверхности соединителей в области контактирования должна быть не хуже 0,4 мкм. Соединяемые поверхности должны быть строго параллельны. Изготовление соединителей с высокой точностью необходимо выполнять на обрабатывающих центрах.
- По возможности выполнять соединения пайкой.
- Использовать в кабельных сборках полужесткие и гофрированные кабели.
- Не применять заделку кабелей в соединителе обжимом.
- Резьбовое соединение розетки и вилки следует выполнять при высоком контактном сжатии, чтобы обеспечить надежный физический контакт.

Измерение уровня интермодуляций

Измерить интермодуляции в отдельном соединителе не представляется возможным, поэтому их измеряют в кабельных сбор-

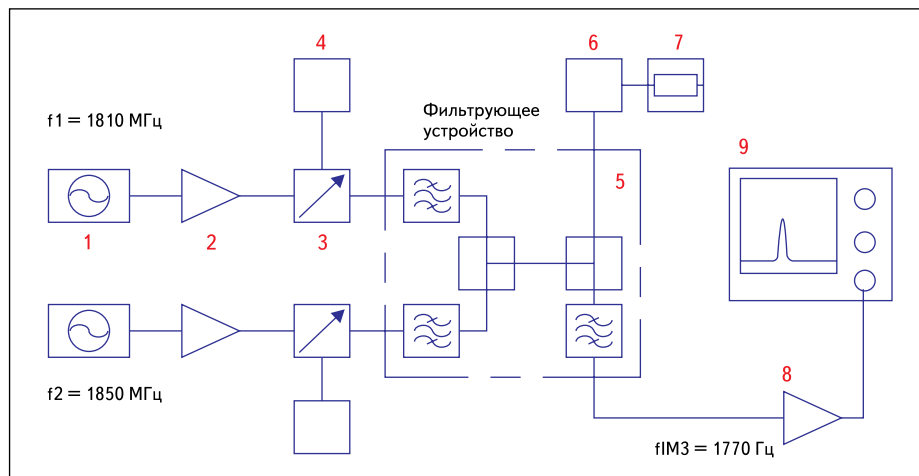


Рис. 3. Блок-схема установки для измерения интермодуляций:

- 1 — генератор сигналов; 2 — усилитель мощности; 3 — направленный ответвитель 20 дБ; 4 — измеритель мощности; 5 — фильтрующее устройство; 6 — измеряемый объект; 7 — линейная нагрузка (кабель с потерями); 8 — малошумящий усилитель; 9 — анализатор спектра

ках. Измерения выполняют в соответствии с международным стандартом IEC62037, введенным в действие в сентябре 1999 года. Стандарт регламентирует допустимый уровень интермодуляций, принципы и процедуру измерения. Измерение интермодуляций 3-го порядка осуществляют путем ввода в обследуемое устройство (DUT, device under test) двух сигналов одинаковой мощности, но разной частоты. Мощность входных сигналов принята равной 20 Вт (43 дБм). DUT может быть с одним вводом (портом) — антенны, нагрузки или с двумя портами — кабели, кабельные сборки, фильтры, смесители.

Интермодуляцию измеряют прямым методом и методом отражения. Метод отражения имеет более высокую чувствительность, его применяют для объектов с одним или двумя портами. Второй порт соединяют с линейной нагрузкой, например отрезком кабеля с большими потерями.

Согласно стандарту IEC62037 остаточный уровень интермодуляций анализатора спектра и всех других элементов измерительной схемы должен быть на 10 дБ ниже уровня интермодуляций измеряемого объекта и для точных измерений не должен превышать -170 дБс.

Принципиальные схемы измерительных устройств, разработанных разными компаниями, могут иметь различия. На рис. 3 приведена блок-схема устройства для измерения интермодуляций, разработанного французской компанией Radiall [1]. Устройство измеряет интермодуляции на уровне -175 дБс при входной мощности каждого из двух сигналов 20 Вт (43 дБм). Генераторы с регулируемой мощностью выдают сигналы на несущих частотах 1850 и 1810 МГц. Оба сигнала усиливаются и поступают в блок фильтрации, в котором удаляются гармоники и паразитные частоты, пришедшие из усилителей мощности. После прохождения DUT результирующий сигнал поступает в анализатор спектра.

Измеренный уровень интермодуляций зависит от способа изготовления кабельной сборки и может значительно изменяться при изгибе кабеля и воздействии вибрации. Поэтому допустимый уровень устанавливается в зависимости от условий (статических или динамических) работы сборки.

Аналогичные измерительные устройства разработаны Rosenberger, Huber+Suhner, Amphenol RF и другими компаниями.

Соединители с низким уровнем интермодуляционных искажений

В системах мобильной и сотовой связи, в которых особенно недопустимы интермодуляционные искажения, применяют в основном соединители типов 7/16 и N и кабельные сборки на их основе. Требования к конструкции этих соединителей изложены в разделе 3 настоящей статьи. Соединители типа N рассмотрены во многих публикациях [2–10]. Соединители 7/16 широко применяют в многоканальных сотовых системах, в базовых и контрольных станциях, антеннах с уровнем мощности до 100 Вт на канал [8]. Соединители этого типа выпускают многие зарубежные компании: Radiall, Tyco Electronics, Huber+Suhner, Rosenberger, Juebao и другие. При применении серебряного покрытия центральных проводников и покрытия серебром или «белой бронзой» наружных проводников и надежном контактировании розетки и вилки соединители 7/16 обеспечивают уровень IMP3 менее -160 дБс.

Эти соединители (рис. 4) имеют жесткую конструкцию с размерами внутреннего и наружного проводников коаксиальной линии 7 и 16 мм соответственно (отсюда и название соединителя).

Усредненные параметры соединителей 7/16 по данным разных компаний (табл. 1):

- Волновое сопротивление: 50 Ом.
- Предельная рабочая частота: 7–7,5 ГГц.

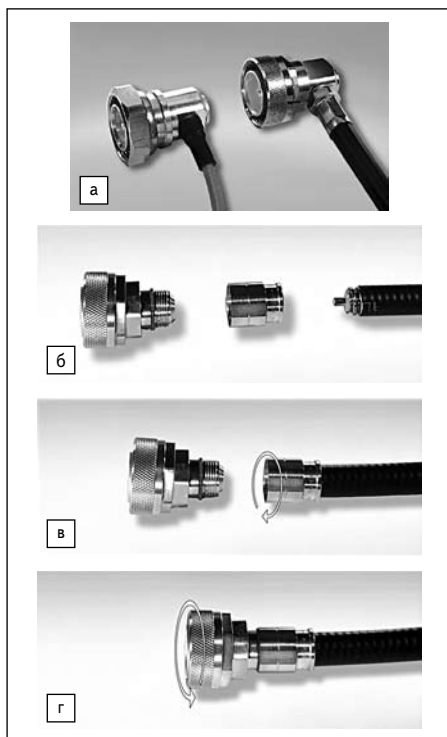


Рис. 4. Соединители 7/16 (а) и операции соединения розетки и вилки (б–г)

- КСВН: менее 1,3.
- Высокочастотные потери: менее 0,15 дБ на частотах до 4 ГГц.
- Экранное затухание: менее –125 дБ на частоте 1 ГГц.
- Рабочее напряжение: до 2700 В.
- Напряжение пробоя: 4000 В.
- Соединение вилки и розетки резьбовое (резьба М29×1,5).
- Момент закручивания гайки: 25–30 Н·м.
- Допустимое количество соединений вилки и розетки: 500.
- Рабочий диапазон температур: (–55...–65)...(+150...+165) °С.

Amphenol RF [8] выпускает соединители для сборки с гофрированным мед-

ным кабелем. Соединители обеспечивают ИМРЗ на уровне –165 дБс, имеют КСВН не более 1,3 во всем диапазоне частот, высокочастотные потери менее 0,05 дБ на частоте 1 ГГц, экранное затухание –125 дБ и максимальную допустимую мощность 3 кВт. Панельные кабельные розетки снабжены прокладками из силиконовой резины для герметичной установки на панели.

Huber+Suhner [7] производит все типы кабельных соединителей с ИМРЗ на уровне –165 дБс. КСВН соединителей не превышает 1,12 на частотах до 5 ГГц, экранное затухание –128 дБ, рабочее напряжение до 2,5 кВ, допустимая мощность — 1 кВт на частоте 2 ГГц. Соединители предназначены для сборки с медным гофрированным кабелем марки Sucofeed, разработанным этой компанией.

Radiall [1] является одним из мировых лидеров в производстве соединителей типа 7/16 с низким (–153 дБс) и сверхнизким (–168 дБс) уровнем интермодуляционных искажений. В соединителях применены неразрезной наружный проводник и серебряное покрытие внутреннего и наружного проводников. КСВН соединителей — менее 1,08, высокочастотные потери — 0,3 дБ на частотах до 2 ГГц. Соединители предназначены для сборки с гофрированным медным кабелем марки Celloflex собственного производства.

Тайваньская компания Juebao [6], название которой переводится как «быстро и живо», в последние годы весьма заметна на рынке радиочастотных соединителей. Компания производит 27 серий соединителей, кабели, кабельные сборки и другие радиочастотные компоненты. Соединители типа 7/16 имеют предельную рабочую частоту 7,5 ГГц, рабочее напряжение до 2,7 кВ, напряжение пробоя 4 кВ, экранное затухание — –128 дБ на частоте 1 ГГц. Juebao выпускает соединители для сборки как с гофрированными, так и с полужесткими кабелями.

В каталоге компании Molex [10] упомянуто о производстве соединителей типа 7/16 с низким уровнем интермодуляционных

искажений для сборки с гофрированными и полужесткими кабелями. Однако приведены параметры только одной вилки для кабеля Andrew 1/2" (аналога кабеля Sucofeed компании Huber+Suhner). Предельная частота соединителей — 7 ГГц, КСВН — менее 1,3 на частотах до 6 ГГц, высокочастотные потери 0,1 дБ, экранное затухание: –125 дБ, диапазон рабочих температур: –55...+150 °С.

Кабельные сборки

В системах мобильной и сотовой связи используют сборки на основе соединителей 7/16 и N. В сборках применяют в основном гофрированные медные кабели спиральной навивки со вспененным диэлектриком (полиэтиленом, фторопластом) для уменьшения высокочастотных потерь. Кроме того, применяют полужесткие кабели 0,141" и 0,250". Гофрированные кабели выпускают многие производители: Radiall, Huber+Suhner, Andrew, Leoni и другие компании.

Кабельные сборки делятся на сборки с низким (–153 дБс) и сверхнизким (–168 дБс) допустимым уровнем ИМРЗ. Заделку кабеля в сборках со сверхнизким уровнем ИМРЗ производят пайкой. В сборках с низким уровнем искажений заделку кабеля выполняют прижимом и пайкой.

После изготовления измеряют уровень ИМРЗ сборки. Эти измерения разделяют на две категории: статические и динамические. Статическое измерение выполняют при стабильных условиях окружающей среды, без механических и температурных воздействий. Динамическое измерение производят при изменении температуры в сочетании с повышенной влажностью, а также при воздействии ударов, вибрации и изгиба кабеля.

Сборки со сверхнизким уровнем интермодуляционных искажений производят несколько компаний: Amphenol RF, Huber+Suhner, Radiall, Juebao, Molex и др. На рис. 5 показан внешний вид, а в таблице 2 приведен перечень сборок с соединителями 7/16 и N компании Radiall [1].

Таблица 1. Кабельные соединители типа 7/16 со сверхнизким уровнем ИМРЗ разных компаний

Тип соединителя	Фирменное обозначение соединителей разных компаний / тип кабеля				
	Amphenol RF	Huber+Suhner	Radiall	Juebao	Molex
Вилка прямая	716-1141A-01 RFX (1/2")	11-716-50-4/003-Z (Sucofeed 1/4" HF)	86506250B (1/4")	7/16-3200B-1/2A (RF1/2" BHF)	734116-0050 (Andrew 1/2")
		11-716-50-7-20/003-Z (Sucofeed 3/8" HF)	86506260B (3/8") 86506270B (1/2")	7/16-3200B1-LDF4 (RF1/2" BHF)	
Вилка угловая	716-1142A-01 RFX (3/8")	16-716-50-2/003-Z (Sucofeed 1/4" HF)	86506350B (1/4")	–	–
		16-716-50-7-20/003-Z (Sucofeed 3/8" HF)	86506360B (3/8") 86506370B (1/2")	–	–
Розетка прямая	716-6141A-01 RFX (1/2")	11-716-50-7-20/003-Z (Sucofeed 1/4" HF)	86506300B (1/4")	7/16-8200B-1/2A (RF1/2" BHF)	–
		11-716-50-5-400/003-Z (Sucofeed 1/4" HF)	86506310B (3/8") 86506320B (1/2")	7/16-8200B-1/2B (1/2" Superflexible)	
Розетка угловая	–	16-716-50-7-20/003-Z (Sucofeed 1/4" HF)	–	–	–
Розетка прямая проходная	–	24-716-50-5-400/003-Z (Sucofeed 1/4" HF)	–	7/16-8305-0,141 (0,141")	–
		29-716-50-5-400/003-Z (Sucofeed 1/4" HF)	–	7/16-8305-0,250 (0,250")	
Розетка панельная фланцевая	716-6541A-01 RFX (3/8")	25-716-50-7-2/003-Z (Sucofeed 3/8" HF)	86506400B (1/4")	7/16-8346-0,141 (0,141")	–
			86506410D (3/8")	7/16-8346-0,250 (0,250")	
			86506420B (1/2")	–	

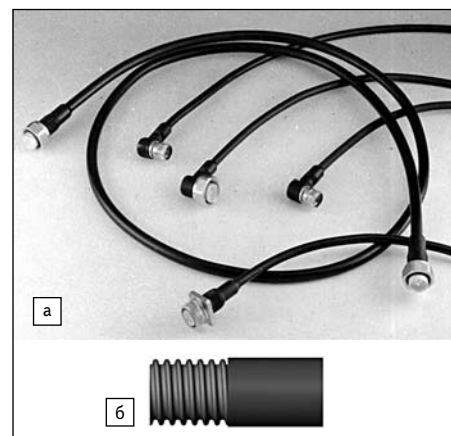


Рис. 5. а) Кабельные сборки Radiall; б) гофрированный кабель, применяемый в сборках

Таблица 2. Кабельные сборки с соединителями N и 7/16 компании Radiall

Фирменное обозначение сборки	Соединители на концах кабеля	Тип кабеля	Длина сборки ($\pm 2\%$), м
R 285 780 063	N вилка прямая – N вилка прямая	3/8"	1,5
R 285 780 083	N вилка прямая – N вилка прямая	1/2"	
R 285 783 063	N вилка прямая – N вилка угловая	3/8"	
R 285 786 063	N вилка угловая – N вилка прямая проходная		
R 285 700 063	7/16 вилка прямая – 7/16 вилка прямая	3/8"	1,5
R 285 700 082	7/16 вилка прямая – 7/16 вилка прямая	1/2"	1,0
R 285 700 083			1,5
R 285 700 084			2,0
R 285 703 083	7/16 вилка прямая – 7/16 вилка угловая	1/2"	1,5
R 285 704 063	7/16 вилка угловая – 7/16 розетка панельная	3/8"	
R 285 704 083	7/16 вилка угловая – 7/16 розетка панельная	1/2"	
R 285 720 063	N вилка прямая – 7/16 вилка прямая	3/8"	1,5
R 285 720 083		1/2"	
R 285 725 063	N вилка прямая – 7/16 розетка панельная	3/8"	1,5
R 285 725 083		1/2"	
R 285 724 042	N вилка угловая – 7/16 розетка панельная	1/4"	1

Кабельные сборки Radiall имеют КСВН менее 1,08 на частоте 2 ГГц, высокочастотные потери менее 0,3 дБ при длине кабеля 1 м и обеспечивают 500 соединений без ухудшения параметров. По желанию заказчика компания может поставлять сборки и другой длины.

Заключение

В настоящее время интермодуляционные искажения являются серьезной проблемой

для мобильных и сотовых операторов, производителей оборудования и компонентов. Борьба с нежелательной интермодуляцией — сложная, комплексная проблема. Однако важная составляющая часть этой проблемы — создание соединителей и кабельных сборок с низким уровнем интермодуляционных искажений — уже успешно решена зарубежными компаниями.

Автор выражает благодарность Е. К. Сотниковой за помощь в подготовке статьи к публикации.

Литература

1. Coaxial connectors and cable assemblies. Application guide for intermodulation. Каталог D1032DE компании Radiall, май 1999.
2. Huber + Suhner RF connector guide. Документ № 648116. 1996.
3. Джуринский К. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Техносфера, 2006.
4. RF Coaxial Solution for Communications. Каталог 130791 компании Tyco Electronics.
5. Microwave & RF component & Subsystem. Каталог компании Aeroflex Weinschel, 2008.
6. www.jyebao.com.tw
7. www.hubersuhner.com
8. Amphenol RF. Global RF Solutions. Каталог компании Amphenol, 2006.
9. RF Coaxial Connectors. Общий каталог компании Huber+Suhner, 2007/2008.
10. RF Microwave Connectors. Каталог RF-2 компании Molex, 2003.