

РАДИОЧАСТОТНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ИЛИ СНИЖЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИМПОРТА?

К.Джуринский, к.т.н.¹

УДК 621.315
ВАК 05.27.00

При обсуждении темы импортозамещения и импортнезависимости в сфере радиочастотных соединителей особое внимание уделяется вопросу: а нужно ли полностью замещать зарубежные радиочастотные соединители? На ближайшие годы (2016–2019) запланированы и выполняются ОКР по организации серийного производства радиочастотных соединителей некоторых типов – аналогов зарубежных соединителей. Автор статьи выделяет ряд перспективных работ в этой области.

Радиочастотный коаксиальный соединитель (СВЧ-разъем) – это устройство, обеспечивающее механическое и электрическое соединение радиочастотных кабелей между собой или с микрополосковой линией, а также внутривыводное и межвыводное соединения частей устройства. Любой соединитель состоит из пары: вилка и розетка, соединяемых между собой. В данной статье речь пойдет о радиочастотных соединителях с рабочей частотой более 3 ГГц.

Начиная с 30-х годов прошлого века зарубежные компании создали и продолжают разрабатывать и выпускать огромное количество серий и модификаций (типов и типоразмеров) радиочастотных соединителей, а также кабелей и кабельных сборок. Сформировалась мощная индустрия радиочастотных соединителей с годовым объемом рынка около 3 млрд долл. Соединители производят более 400 компаний из США, Европы и Юго-Восточной Азии. Так, например, компания Radiall выпускает 49 серий соединителей, Rosenberger – столько же, Molex – 32, Huber + Suhner – 24. Каждая серия насчитывает несколько десятков и даже сотен модификаций. Radiall выпускает около 6000, Huber + Suhner – более 3000, Amphenol – более 1250 соединителей разных модификаций [1].

Самая большая группа этих соединителей – прямые и угловые кабельные, входящие в кабельные сборки. Конструкция кабельного соединителя определяется типом кабеля (гибкий, полужесткий, формуемый вручную)

и способом его заделки в соединитель (прижим, обжим, пайка).

НУЖНО ЛИ ПОЛНОЕ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЯХ ЗАРУБЕЖНЫХ РАДИОЧАСТОТНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ?

Импортозамещение означает разработку и организацию производства отечественных аналогов импортируемой сегодня электронной компонентой базы (ЭКБ) для применения в отечественных радиоэлектронных устройствах [2].

В настоящее время в отечественной радиоэлектронной аппаратуре широко применяются зарубежные радиочастотные соединители для создания аппаратуры связи и телекоммуникаций, авиационной и авиакосмической аппаратуры, медицинской техники, систем управления транспортом и др. Выбор импортных соединителей обусловлен рядом обстоятельств [1].

Во-первых, необходимо обеспечить высокие выходные параметры разрабатываемых изделий. Не секрет, что зарубежные соединители по своим параметрам превосходят отечественные аналоги, а в ряде случаев российских аналогов нет.

Во-вторых, использование зарубежной радиоизмерительной аппаратуры.

В-третьих, создание изделий в экспортном исполнении требует обязательного применения импортных выходных соединителей.

¹ АО "НПП "Исток" им. А.И.Шокина. kbd.istok@mail.ru.

Несомненно, стране, прежде всего ее оборонно-промышленному комплексу (ОПК), нужны собственные радиочастотные соединители. Задача импортозамещения в ОПК актуальна вне зависимости от санкций. Ограничения со стороны Запада, напротив, должны мотивировать отечественных разработчиков к более плодотворной работе.

Но нужно ли полностью замещать огромное количество зарубежных радиочастотных соединителей и способна ли на это российская промышленность? Производство каких типов зарубежной радиочастотной продукции необходимо организовать, чтобы избежать зависимости от импорта?

Идея полного импортозамещения имеет немало сторонников. Так, например, специалисты российского "Концерна радиоэлектронных технологий" (КРЭТ) уверены в способности отечественных производителей конкурировать с зарубежными компаниями и завершить процесс замещения зарубежных производителей российскими. Свою уверенность они сопроводили лозунгом "Долой зарубежных производителей комплектующих!" [3].

Однако не все так просто. Полная замена зарубежных соединителей в настоящее время не только не по силам отечественной промышленности, но и неприемлема. Это обусловлено в первую очередь тем, что номенклатура импорта разрослась до сотен и даже тысяч наименований. Следует также учитывать, что многие перспективные зарубежные соединители наша страна не в состоянии воспроизвести в разумные сроки вследствие многолетнего отсутствия специалистов, необходимых материалов, технологий, оборудования, средств проектирования, а также недостаточного государственного контроля и регулирования применения ЭКБ.

В тех случаях, когда удастся создать аналог импортного соединителя для применения в радиоэлектронике военного назначения, согласно нормативно-правовым

документам, замещение ЭКБ возможно только после проведения сертификационных испытаний изделия, для которого она создавалась. Необходимо также внести изменения в ГОСТы по соединителям, переработать техническую документацию, переоформить хозяйственные связи, получить дополнительное финансирование. А это займет довольно продолжительное время.

Кроме того, если импортозамещение будет основано на простом копировании отдельно взятых зарубежных радиочастотных соединителей, то возникнут, по меньшей мере, две проблемы [4, 5].

Первая. Еще на этапе постановки задачи на разработку замещающего соединителя закладывается отставание от оригинала минимум на срок проведения разработки и постановки изделия на производство, то есть более чем на три-пять лет. Следовательно, процесс прямого импортозамещения содержит элемент запрограммированного отставания.

Вторая. Ключевые радиочастотные соединители, определяющие технический уровень современной радиоэлектронной аппаратуры, чаще всего являются специализированными изделиями, ориентированными на применение в конкретной аппаратуре, поэтому неприменимы в других устройствах.

Таким образом, импортозамещение подразумевает простое копирование, что, по сути, обрекает отечественную промышленность в этом сегменте на бесконечное отставание. Отказ от закупок зарубежных соединителей означает изоляцию и отстранение нашей страны от высших достижений в сфере радиочастотных соединителей. Поэтому необходимо говорить об импортозависимости – гарантированной защищенности от ЭКБ иностранного производства жизненно важной аппаратуры, отказы которой могут иметь катастрофические последствия [2].

ИМПОРТОНЕЗАВИСИМОСТЬ

Импортонезависимость предполагает воспроизведение необходимых в первую очередь функциональных аналогов на основе собственных сил и технологических возможностей. В настоящее время объем отечественной ЭКБ, к которой относятся и радиочастотные соединители, на рынке России составляет примерно 16%, около 84% электронных компонентов закупается за рубежом [5]. Конечно, большую часть импорта составляют изделия микроэлектроники (микросхемы и др.).

С чего же начать импортозамещение зарубежных радиочастотных соединителей? Нельзя не согласиться с утверждением о том, что приступить к производству соединителей гражданского назначения бесперспективно, так как в обозримом будущем нереально обеспечить их конкурентоспособность. В Юго-Восточной Азии выпускаются достаточно качественные и дешевые соединители для всего мира [6].

Технические проблемы воспроизведения зарубежных радиочастотных соединителей

Объектом разработки и серийного производства должны быть чрезвычайно необходимые для ОПК радиочастотные соединители достаточно широкого спектра применения. К ним предъявляются следующие требования:

- широкий диапазон частот – 0...40 ГГц;
- приборная часть соединителей должна быть герметичной – скорость натекания не более $1 \cdot 10^{-11}$ м³ Па / с;
- высокая радиационная стойкость (прежде всего для устройств космического применения);
- минимальные габаритные размеры и вес;
- наличие модификаций соединителей, пригодных для поверхностного монтажа на печатные платы;
- изготовление из отечественных материалов.

При воспроизведении зарубежных соединителей возникает несколько проблем.

Первая. Основное различие отечественных и зарубежных резьбовых соединителей – вид резьбы на вилке и розетке. В отечественных соединителях применена метрическая резьба, в зарубежных – дюймовая. Соединители с метрической резьбой необходимы для изделий, не имеющих экспортного исполнения. Для устройств в экспортном исполнении и для измерения параметров с использованием зарубежной радиоизмерительной аппаратуры необходимы соединители с дюймовой резьбой. Но в любом случае потребуется дополнительно приобретать зарубежные адаптеры для перехода с дюймовой на метрическую резьбу.

Вторая. Копировать аналоги зарубежных кабельных соединителей необходимо с учетом применяемого радиочастотного кабеля. Так, например, зарубежные соединители SMB, SSMC, QMA, BMA предназначены для работы с кабелями RG-178, RG-174, RG-316 или их

аналогами. В нашей стране, насколько известно, такие кабели не выпускаются. Следовательно, для отечественных аналогов зарубежных соединителей придется приобретать зарубежный кабель.

Третья. Создание современных импортозамещающих радиочастотных соединителей в нашей стране невозможно без освоения производства следующих материалов высокого качества:

- **Радиационно-стойкие полимерные изоляционные материалы для замены фторопласта Ф4 [7, 8].** Фторопласт Ф4 отличается высоким уровнем диэлектрических свойств: диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 1,9...2,2$, тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta = (2...3) \cdot 10^{-4}$, диапазон рабочих температур (-269...260) °С. Но фторопласт Ф4 имеет ряд следующих существенных недостатков:

- низкая радиационная стойкость (менее 0,5 Мрад);
- структурная перестройка при температуре около 20 °С, приводящая к скачкообразному изменению электрической длины радиочастотных кабелей (эффект "тефлоновое колено") [7];
- высокая хладотекучесть, вызывающая нестабильность геометрических размеров даже при отсутствии механической нагрузки;
- отсутствие возможности экструзии и литья под давлением (при нагревании фторопласт не переходит в вязко-текучее состояние).

За рубежом разработаны и выпускаются следующие полимеры (их диэлектрические свойства приведены на частоте 1 МГц) [8]:

- Torlon (PAI, полиамидимид):
 $\epsilon = 3,9...4,2$; $\text{tg } \delta = (260...310) \cdot 10^{-4}$;
радиационная стойкость 1000 Мрад;
диапазон рабочих температур (-270...350) °С;
- Ultem (PEI, полиэтеримид):
 $\epsilon = 3,15...3,2$; $\text{tg } \delta = (13...30) \cdot 10^{-4}$;
радиационная стойкость 1000 Мрад;
диапазон рабочих температур (-270...350) °С;
- Noryl (PPO, полифениленоксид):
 $\epsilon = 2,5...2,7$; $\text{tg } \delta = (7...10) \cdot 10^{-4}$;
радиационная стойкость 50 Мрад;
диапазон рабочих температур (-40...190) °С;
- PEEK (полиэтерэтеркетон):
 $\epsilon = 2,2...3,3$; $\text{tg } \delta = (10...40) \cdot 10^{-4}$;
радиационная стойкость 2000 Мрад;
диапазон рабочих температур (-190...350) °С
и другие полимеры.

Справедливости ради нужно отметить, что в нашей стране разработаны фторполимеры, которые могли бы найти применение в радиочастотных соединителях:

- Ф-50, ТУ 6-05-041-663-82:
 $\epsilon = 2,0...2,2$; $\text{tg } \delta = (1...2,5) \cdot 10^{-4}$;

радиационная стойкость 5 Мрад;
диапазон рабочих температур (–270...350) °С;

- Ф-40, ТУ 301-05-17-89
и Ф-40М, ТУ 2213-036-07623164-2003:
 $\epsilon = 2,5 \dots 2,6$; $\text{tg } \delta = (60 \dots 100) \cdot 10^{-4}$;
радиационная стойкость 100...300 Мрад;
диапазон рабочих температур (–100...250) °С;
- Арфлон AR200, ТУ 2291-002-06335753-2017:
 $\epsilon = 2,1 \dots 2,2$; $\text{tg } \delta = (1 \dots 2) \cdot 10^{-4}$;
радиационная стойкость 300 Мрад;
диапазон рабочих температур (–200...250) °С.

Однако большая часть этих материалов выпускается в виде гранул для процессов экструзии и литья, требующих специального оборудования и тщательной отработки режимов. К тому же предприятия-изготовители не заинтересованы в выпуске малых объемов продукции;

- **Стекло Corning 7070 для соединителей, герметичность которых обеспечивается металлокерамическим спаем.** Диэлектрические свойства: $\epsilon = 4,0 \dots 4,1$; $\text{tg } \delta = 20 \cdot 10^{-4}$. Использование этого стекла позволит увеличить широкополосность радиочастотных соединителей и снизить величину потерь на сверхвысоких частотах [1]. Подавляющее большинство зарубежных соединителей с предельной частотой 26,5...65 ГГц выполнено с использованием стекла Corning 7070 [1]. Применяемое в нашей стране стекло марки С52-1 ($\epsilon = 5,2$, $\text{tg } \delta = 90 \cdot 10^{-4}$) обеспечивает создание соединителей с предельной частотой не выше 26,5 ГГц и с более высоким уровнем потерь на сверхвысоких частотах;
- **Клей – герметик LCP** (жидкокристаллический полимер) компании Du Pont со следующими основными параметрами: $\epsilon = 5,2$, рабочая температура 290 °С для применения в соединителях для поверхностного монтажа, например соединителей серий SMP, SSMP [1];
- **Металлы:** нержавеющая сталь и бериллиевая бронза высокого качества, используемые в производстве соединителей. Отечественные металлы: нержавеющая сталь и бериллиевая бронза — по качеству уступают зарубежным аналогам. Поэтому производители соединителей нередко вынуждены приобретать эти металлы за рубежом.

Проблема заключается еще и в том, что объемы материалов, применяемых для изготовления радиочастотных соединителей, невелики, крупные производители не заинтересованы в выпуске малых партий материалов. По-видимому, для выпуска перечисленных выше материалов необходимы специализированные предприятия с мелкосерийным производством;

- **При воспроизведении миниатюрных соединителей** для поверхностного монтажа на печатные платы

необходимо учитывать, что существуют два способа монтажа таких соединителей:

- монтаж в отверстия печатной платы PCB (Printed Circuit Board) – соединители PCB;
- монтаж непосредственно на поверхность печатной платы – соединители SMT (Surface Mount Technology), наиболее перспективный для автоматизированной сборки модулей СВЧ [1];
- **Для применения разработанных соединителей в отечественной аппаратуре** на законном основании необходимо корректировать присоединительные размеры и электрические параметры отечественных стандартов на радиочастотные соединители: ГОСТ РВ 51914-2002, ГОСТ 13317-89 и ГОСТ 20265-83. В стандарты необходимо включить соединитель типа 2,92/1,27 мм с предельной частотой 40 ГГц, широко применяемый в настоящее время. Технические характеристики соединителей следует дополнить важным параметром – потерями на сверхвысоких частотах. За рубежом этот параметр (insertion loss) обязателен для любого соединителя. Введение данного параметра не усложнит методику измерений, так как при измерениях с помощью современных векторных анализаторов цепей КСВН и потери определяются одновременно (измеряются S-параметры).

- **Наконец, давно пора ввести в стандарты и Классификатор ЕСКД** (Единой системы конструкторской документации) общепринятый за рубежом термин "кабельная сборка". Из-за его отсутствия при выпуске конструкторской документации приходится использовать предусмотренный классификатором термин "кабель" (характеристика десятичного номера – 685671), что приводит к смысловой неясности – кабель, изготовленный из кабеля [7].

РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

На 2016–2019 годы запланированы и выполняются четыре ОКР по воспроизведению и организации серийного производства коаксиальных радиочастотных соединителей, переходов (в том числе и герметичных) и малогабаритных соединителей в диапазоне частот до 40 ГГц для применения в трактах СВЧ-аппаратуры. Поставлена задача создания минимально необходимой унифицированной номенклатуры соединителей, удовлетворяющих требованиям основных потребителей этой продукции и имеющих такие же конструктивные и электрические характеристики, как аналоги ведущих зарубежных компаний. Импортозамещению подлежат соединители, разрешенные к применению в радиоэлектронном оборудовании перспективных и модернизируемых образцов вооружения, военной и специальной техники наземного, воздушного, морского и космического базирования [9–12].

Однако выполнение поставленных ОКР обеспечит лишь частичное замещение импортных радиочастотных соединителей далеко не всех типов. Полное замещение возможно лишь после решения следующих задач:

- разработки отечественных радиочастотных кабелей – аналогов зарубежных кабелей для этих соединителей;
- создания соединителей типа SMT для автоматизированного поверхностного монтажа на печатные платы;
- решения вопроса о соответствии присоединительных размеров и параметров отечественных и зарубежных аналогов;
- разработки аксессуаров радиочастотного тракта для измерения параметров разрабатываемых соединителей;
- корректировки отечественных государственных стандартов применительно к радиочастотным соединителям.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

По нашему мнению, в области радиочастотных соединителей перспективным можно считать проведение следующих ОКР:

- Совершенствование конструкции и технологии изготовления соединителей типов III и IX

ГОСТ РВ 51914–2002 в целях доведения их электрических и конструктивных характеристик до уровня зарубежных аналогов, предлагаемых компаниями Radiall, Amphenol и др.

- Разработка резьбовых кабельных соединителей (вилка и розетка), герметичных коаксиально-микроразъемных переходов и приборных вводов СВЧ с размерами коаксиальных линий 2,92/1,27 мм и 2,4/1,04 мм и диапазоном рабочих частот соответственно 0...40 и 0...50 ГГц. Устройства целесообразно создавать с использованием рассмотренных выше изоляционных материалов и технологии их литья под давлением. Определенный задел для этой работы есть в НПП "Микран" (www.micran.ru) и ООО "НПК "Таир" (www.npktair.com).
- Разработка микроминиатюрных соединителей следующих серий:
 - Mini-SMP (предельная частота 65 ГГц);
 - P-SMP (рабочий диапазон частот 0...10 ГГц, допустимая пропускаемая мощность до 200 Вт).
- Создание радиационно-стойких соединителей. Выпускаемые в нашей стране устройства с использованием фторопласта Ф4 не являются таковыми. Для радиационно-стойких соединителей потребуется применение рассмотренных выше изоляционных материалов.
- Разработка и производство миниатюрных полужестких и гибких кабелей, необходимых для отечественных кабельных соединителей и кабельных сборок на их основе.
- Создание аксессуаров коаксиального тракта (адаптеров, нагрузок согласованных, холостого хода и короткого замыкания, аттенюаторов, скользящих контактов и др.) для измерения электрических параметров разрабатываемых соединителей.

* * *

В настоящее время все, что пока мы можем делать, – это воспроизведение импортных соединителей, хотя и копировать будет непросто, так как отсутствуют необходимые материалы, отвечающие зарубежным стандартам. Но прежде всего не хватает высококвалифицированных специалистов. Можно вкладывать инвестиции, покупать дорогостоящее механическое и теххимическое оборудование, программное обеспечение, но все это будет неэффективно, если нет специалистов – разработчиков радиочастотных соединителей. У нас нет выдающихся профессионалов уровня Нейла, Маури, Чейла, Олдфилда, Розенбергера и многих других американских и европейских специалистов [1]. Да и откуда им взяться? Ни один университет нашей страны не ведет подготовку по направлению "Пассивные коаксиальные радиокомпоненты" с последующей стажировкой в ведущих зарубежных компаниях в этой области. Возможно,

поэтому так мало отечественных изобретений и публикаций по радиочастотным соединителям.

Однако обнадеживает то, что в последнее время обратили внимание на отставание в области радиочастотных соединителей, инвестируют в их разработку и организацию серийного производства. Наряду с техническим перевооружением предприятий это позволит обеспечить создание унифицированной номенклатуры соединителей с параметрами, не уступающими лучшим зарубежным аналогам.

Автор понимает, что статья носит дискуссионный характер, поэтому готов принять критические замечания, а также услышать другие мнения по данной проблеме.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Джуринский К.Б.** Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры / Под ред. д.т.н. Борисова А.А. – СПб: Изд-во ЗАО "Медиа Группа Файн-стрит", 2014. 426 с.
2. **Носов Ю., Сметанов А.** Крепить импортонезависимость страны! // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2014. № 8. С. 154–155.
3. Импортозамещение в электронике: чем можно похвастаться? politrussia.com Экономика, 28 марта 2016 г.
4. **Филаретов А.Г., Чалый В.П.** Импортозамещение твердотельной СВЧ ЭКБ – проблемы и пути решения. www.svetlana-rost.ru.
5. **Евсеев В., Наливкин И.** Импортозамещение ЭКБ и развитие радиоэлектроники. Обсуждение проблемы // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2014. № 8. С. 156–159.
6. Импортонезависимость – шанс для России // Информационно-аналитический журнал РУБЕЖ. 2014. № 4 (7). С. 36–38.
7. **Прокимов А., Джуринский К., Кузнецов Р.** Кабельные сборки СВЧ-диапазона. Назначение, классификация, особенности применения // Компоненты и технологии. 2015. № 5. С. 18–22.
8. **Прокимов А., Джуринский К., Смирнова Ю.** Перспективные изоляционные материалы для радиочастотных кабелей и соединителей // Компоненты и технологии. 2017. № 2. С. 105–113.
9. **Колмогоров Г., Шиллер В., Шпак В.** Импортонезависимость электроники России // Компоненты и технологии. 2017. № 4. С. 6–14.
10. <https://www.dvfu.ru>
11. zakupki.gov.ru
12. **Боков С.И., Воронков О.В., Исаев В.М.** Электронная версия делового журнала "Точка опоры". Февраль 2014. № 178. to-inform.ru