

УДК 621.371

## Ответвители-соединители на коаксиальных линиях передачи

**Р.В. Антипенко**, канд. техн. наук, **Г.О. Мирських**, канд. техн. наук, **А.Т. Орлов**, канд. техн. наук, **Н.М.Руденко**, канд. физ.-мат. наук

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”,  
просп. Перемоги, 37, г. Киев, 03056, Украина.

Приведены конструкции и результаты экспериментальных исследований в диапазоне частот от 2 до 18 ГГц направленных ответвителей на основе выпускаемых серийно полужестких коаксиальных линий передачи. Ответвители обеспечивают переходное ослабление от 3 до 20 дБ при развязке до 28 дБ в частотном диапазоне одной октавы и предназначены для одновременного решения задач ответвления энергии и соединения отдельных узлов СВЧ аппаратуры. Библ. 2, рис. 6.

**Ключевые слова:** направленные ответвители, ответвители-соединители, коаксиальные линии передачи, аппаратура СВЧ.

### Введение

Ответвление части мощности СВЧ сигнала из тракта его передачи (с целью параллельной обработки, осуществления контроля, пр.) является одной из наиболее распространенных задач, среди тех, которые требуют решения в процессе проектирования систем различного назначения. Эта задача обычно решается с помощью направленных ответвителей (НО). Решения этой задачи, в целом, хорошо известны, соответствующие конструкции НО, методы их расчеты разработаны [2], и при ее решении базовым часто выступает критерий стоимости, которая должна быть минимальной в заданных условиях применения НО.

Нами рассмотрена задача ответвления мощности в СВЧ тракте, содержащем различные узлы, связанные друг с другом серийно-выпускаемыми полужесткими коаксиальными линиями передачи [1]. При этом предложено интегрировать НО в указанные соединительные линии, путем соответствующей обработки и взаимного соединения последних. Такой НО не требует дополнительных элементов для включения в СВЧ тракт, отличается высокой технологичностью и устойчивостью к воздействиям внешних дестабилизирующих факторов (температура, влажность, вибрация т.п.), обеспечивает минимум затрат для решения задачи ответвления СВЧ энергии. Учитывая потребительские

свойства предлагаемых НО, их целесообразно называть направленными ответвителями-соединителями (ОС), что наиболее точно отражает их функциональное назначение, роль и место в общей классификации НО.

### Основная часть

В качестве базовой нами использована коаксиальная линия РК50-2-25, поперечное сечение которой показано на рис. 1. Выбор именно этого типа КЛ не является принципиальным для решения задачи создания ОС, а обусловлен технологическими возможностями и задачами достижения требуемых характеристик в заданном диапазоне частот. Внутренний и внешний проводники КЛ выполнены из меди, а диэлектрическое заполнение имеет вид втулки, выполненной из фторопласта. Такая КЛ, согласно технических условий, может быть изогнута с минимальным радиусом изгиба равным 5 мм.

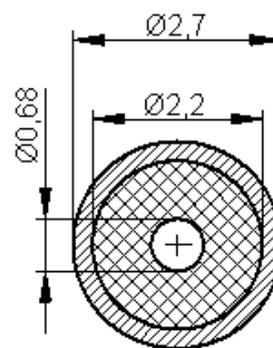


Рис. 1. Поперечный разрез полужесткой коаксиальной линии РК50-2-25

Для реализации ОС два отрезка КЛ следует соответствующим образом изогнуть (два возможных варианта формы изгиба приведены на рис. 2), обработать в области изгиба (поперечный разрез ОС в месте обработки показан на рис. 3) и соединить друг с другом, например, пайкой (при необходимости в области изгиба можно установить дополнительную диэлектрическую прокладку). При этом обработанная область изгиба и есть областью связи КЛ, т.е., по сути, и образует направленный ответвитель.

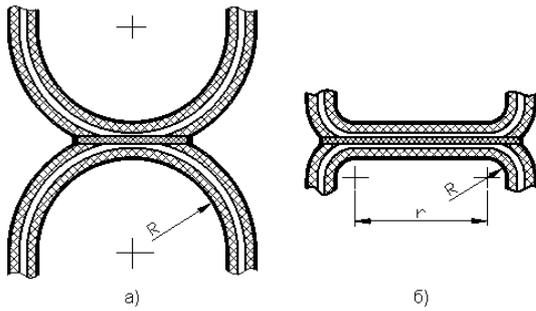


Рис. 2. Конструктивное выполнение направленных ответвителей-соединителей

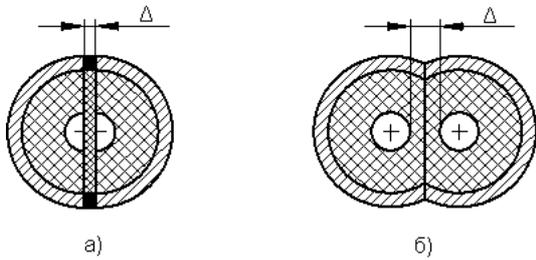


Рис. 3. Поперечный разрез направленных ответвителей-соединителей в области изгиба (в области связи КЛ); а) – полукруглые проводники с дополнительной диэлектрической вставкой; б) – круглые проводники (дополнительная диэлектрическая вставка не есть обязательным элементом)

Нами проведено численное моделирование направленных ответвителей-соединителей с полукруглыми и круглыми внутренними проводниками (рис. 3а и рис. 3б), с использованием метода конечных элементов. При этом были получены частотные зависимости элементов матрицы рассеяния [S] структуры. На рис. 4 показаны частотные зависимости элементов [S] структуры с полукруглыми внутренними проводниками (рис. 3 а) при различных расстояниях  $\Delta$  между ними (см. рис. 4, где а, б, в соответствуют конструкции, показанной на рис. 2 а; г, д, е - конструкции, показанной на рис. 2 б).

На рис. 5 показаны частотные зависимости элементов [S] структуры с круглыми внутренними проводниками (рис. 3 б) при различных расстояниях  $\Delta$  между ними (см. рис. 4, где а, б, в соответствуют конструкции, показанной на рис. 2 а; г, д, е - конструкции, показанной на рис. 2 б).

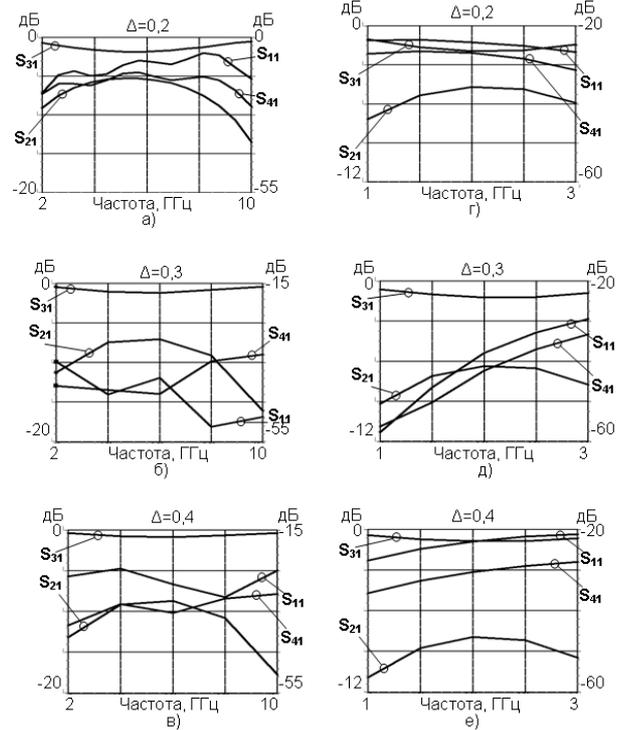


Рис. 4. Частотные зависимости элементов [S] структуры с полукруглыми внутренними проводниками при различных расстояниях  $\Delta$  между ними (а, б, в – изгиб согласно рис. 2 а; г, д, е – изгиб согласно рис. 2 б)

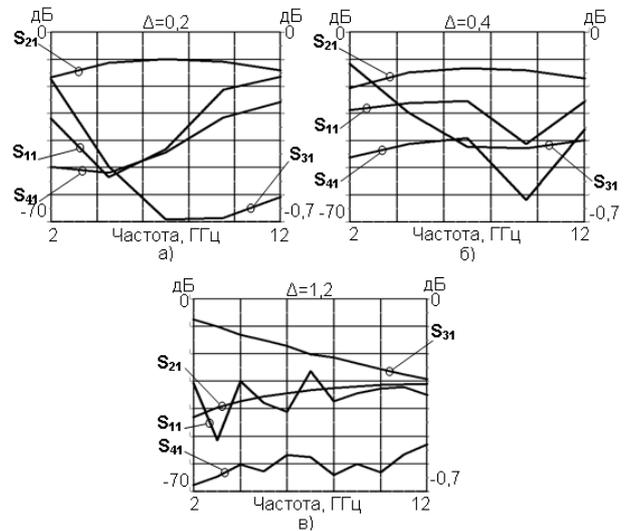


Рис. 5. Частотные зависимости элементов [S] структуры с полукруглыми внутренними проводниками при различных расстояниях  $\Delta$  между ними (радиус изгиба КЛ  $R=24,65$  мм)

На рис. 4, 5 показаны частотные зависимости элементов матрицы рассеяния для различных конструкций НО, представленные для на -

глядности в виде кусочно-линейной аппроксимации результатов расчета в отдельных точках частотного диапазона. Из графиков видно, что переходное ослабление в зависимости от расстояния между внутренними проводниками составляет от 3 до 20 дБ. При этом обеспечивается развязка не менее 28 дБ в частотном диапазоне не менее одной октавы.

На представленных рис. 4, 5 показаны частотные зависимости полученные кусочно-линейной аппроксимацией результатов расчета упомянутых элементов в отдельных точках диапазона.

Известно [1], что основными этапами проектирования любых НО являются выбор конфигурации и расчет геометрических размеров области связи линий передачи. Проведенные теоретические исследования и разработанная с учетом конструктивных особенностей примененных линий передачи (РК50-2-25) технология изготовления предлагаемых ОС позволили сформулировать базовые положения относительно выбора конфигурации области связи, а именно:

- структура рис. 3 а, предпочтительна при проектировании ОС с переходным ослаблением  $C_0$  от 3 до 10 дБ, тогда как область рис. 3 б, предпочтительно можно использовать при условии  $C_0 \geq 10$  дБ;
- если конструктивное выполнение КЛ соответствует рис. 2 а, технологически затруднительно реализовать ОС, средняя частота рабочего диапазона частот  $F_0$  которого меньше 6 ГГц;
- если изгиб КЛ отвечает рис. 2 б, технологически просто реализовать ОС при  $F_0$ , начиная с 3 ГГц, верхнее значение  $F_0$  при этом ограничивается "естественным" преобразованием конструкции, показанной на рис. 2 б, в конструкцию, представленную на рис. 2 а ( $r=0$ ).

Целесообразно обратить внимание на последовательность операций и технологические особенности изготовления предлагаемых ОС, а именно:

- изгиб и фрезерование КЛ в соответствии с выбранной формой области связи (рис. 2, 3);
  - установка прокладки в область связи (при необходимости);
  - наложение на область связи «оплетки» (рядовая укладка луженой проволоки или ленты);
  - пайка области связи.
- Расчет ОС может быть проведен непосредственно

методами параметрического синтеза на основе алгоритма конечных элементов (или другого алгоритма, пригодного для анализа электродинамической структуры, образованной областью связи). Однако сложность области связи ОС с точки зрения электродинамики приводит к значительным временным затратам. В то же время проведенные экспериментальные исследования показали, что чувствительность элементов матрицы рассеяния ОС к изменению геометрических размеров области связи при соблюдении указанной технологии изготовления невелика. Это позволило предложить графоаналитическую методику проектирования ОС, которая может с успехом использоваться, если в процессе проектирования ограничиваться такими параметрами, как переходное ослабление и диапазон рабочих частот, оставляя вне внимания другие (однозначно связанные с указанными вследствие малых диссипативных потерь в структуре) параметры - коэффициент стоячей волны (КСВН), развязка. Последовательность проектирования ОС можно представить в следующем виде:

1) выбрать конфигурацию поперечного разреза ОС в области связи и конфигурацию изгиба КЛ, опираясь на приведенные положения и достигнутый (в конкретных условиях) уровень технологии изготовления ОС;

2) исходя из средней длины волны заданного рабочего диапазона  $\lambda_0$  и выбранной в п.1 конфигурации, рассчитать геометрические характеристики ОС  $R$  и  $r$  (см. рис. 2); при этом:

- если поперечное сечение области связи отвечает рис. 3 а, то при изгибе КЛ согласно рис. 2 а -  $\lambda_0 = 9,33\sqrt{R+1,52}$  [мм], а при изгибе КЛ согласно рис. 2 б -  $\lambda_0 = 5,66r + 9,33\sqrt{R+1,52}$  [мм] (соотношения для  $\lambda_0$  получены из решения соответствующей геометрической задачи с учетом геометрических размеров и характеристик КЛ РК50-2-25 – см. рис. 1);
- если поперечное сечение области связи отвечает рис. 3 б, то при фиксированном значении  $R=5$  мм до значений  $C_0 \approx 20$  дБ можно принять  $\lambda_0 = 5,66r$  [мм];

3) по заданному переходному ослаблению  $C_0$  рассчитать зазор  $\Delta$  между проводниками в области связи, используя графики соответствующих зависимостей (см. рис. 6).

Согласно приведенным рекомендациям по расчету и изготовлению были спроектированы и изготовлены ОС с различными параметрами (см. табл. 1).

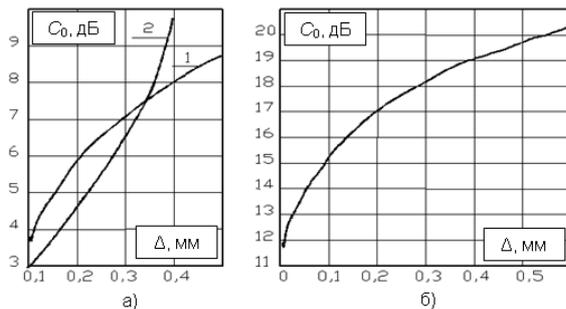


Рис. 6. Зависимости переходного ослабления от величины зазора между центральными проводниками КЛ для ответвителей-соединителей с полукруглыми (а) и круглыми (б) внутренними проводниками

По заданному переходному ослаблению  $C_0$  рассчитывается зазор  $\Delta$  между проводниками в области связи, используя графики соответствующих зависимостей (рис. 6). При этом для структур с полукруглыми центральными проводниками в области связи используется кривая 1 в диапазоне частот до 6 ГГц и кривая 2 в диапазоне частот более 6 ГГц.

УДК 621.371

## Відгалужувачі-з'єднувачі на коаксіальних лініях передачі

**Р.В. Антипенко**, канд. техн. наук, **Г.О. Мірських**, канд. техн. наук, **А.Т. Орлов**, канд. техн. наук, **Н.М. Руденко**, канд. фіз.-мат. наук  
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",  
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна.

Наведені конструкції та результати експериментальних досліджень спрямованих відгалужувачів у діапазоні частот від 2 до 18 ГГц на основі напівжорстких коаксіальних ліній передачі, що випускаються серійно. Відгалужувачі забезпечують перехідне затухання від 3 до 20 дБ при розв'язуванні до 28дБ в частотному діапазоні однієї октави та призначені для одночасного вирішення задач відгалужування енергії і з'єднання окремих вузлів НВЧ апаратури. Бібл. 2, рис. 6.

**Ключові слова:** спрямовані відгалужувачі, відгалужувачі-з'єднувачі, коаксіальні лінії передачі, апаратура НВЧ.

Таблица 1

Диапазон частот, ГГц	2...4	2...4	3...6	3...6	4...8	9...18
Переходное ослабление, дБ	3,5±0,3	10±1	3±0,3	13±1,3	6±1	3,5±0,6
Развязка, дБ, не менее	17	22	20	28	16	12
КСВН, не более	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,7

## Выводы

Исследования показали, что предложенная методика обеспечивает удовлетворительную точность проектирования ответвителей данного класса и может быть рекомендована для широкого применения.

## Литература

1. Microwave cables and assemblies. General catalogue//Huber+Suhner AG, Edition 2007, pp. 17-42.
2. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование//Пер. с англ.- М.: Радио и связь. 1990. – 288 с.

UDC 621.371

## Coupler-joint on coaxial transmission lines

**R.V. Antipenko**, Ph. D., **G.O. Mirskikh**, Ph. D., **A.T. Orlov**, Ph. D., **N.M. Rudenko**, Ph. D.  
National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute",  
37 Peremogy Ave., Kyiv, 03056, Ukraine.

**Constructions and results of the experimental research of directional couplers based on semi-rigid coaxial series-produced transmission lines in 2...18 GHz frequency range are described. Couplers provide coupling from 3 to 20 dB with directivity up to 28 dB in one octave frequency range and accommodated for simultaneous decision of the tasks of energy branching and connecting of separate microwave units in apparatus. Reference 2, figures 6.**

**Keywords:** *directional couplers, coupler-joint, coaxial transmission lines microwave apparatus.*

### References

1. Microwave cables and assemblies. (2007), [General catalogue] Huber+Suhner AG, Edition pp. 17-42.
2. V. Fusko (1987), Microwave circuits: [Analysis and Computer-Aided Design] Prentice Hall. P. 288. (Rus)

*Поступила в редакцию 14 января 2013 г.*