

Сверхширокополосные направленные ответвители для диапазона СВЧ

Филипп Михеев, Сергей Павлов, Владимир Семибратов, Вадим Щуров (г. Томск)

В статье рассмотрены вопросы классификации и применения современных направленных ответвителей. Приведены основные параметры направленных ответвителей в сравнении с лучшими зарубежными аналогами.

Направленный ответвитель (НО) – это четырёхпортовое (восьмиполюсное) пассивное устройство, предназначенное, в первую очередь, для сепарации (разделения) волн, распространяющихся в линии передачи в противоположных направлениях. Ещё одна полезная функция НО – направленный отбор мощности из основного канала во вторичный.

Благодаря своим свойствам, ответвители широко применяются в радиоизмерительной аппаратуре и в других радиотехнических системах для сложения, разветвления и смешивания сигналов, для измерения параметров передачи и отражения, для контроля и стабилизации уровня мощности и частоты сигнала и т.д.

В зависимости от типа линий передачи, образующих основной и вторичный каналы, ответвители могут быть коаксиальными, волноводными, волноводно-коаксиальными.

По характеру ответвления мощности во вторичный канал различают ответвители сонаправленные и противополононаправленные (см. рис. 1).

Основным параметром НО является направленность – параметр, характеризующий то, насколько хорошо ответвитель разделяет сигналы, распространя-

ющиеся в прямом и обратном направлениях (определяется как отношение мощностей на связанном и несвязанном портах вторичного канала). В идеальном НО (на примере сонаправленного) падающая на порт 1 волна не отражается от всех портов, а разделяется между портами 2 и 3, в то время как порт 4 изолирован. И наоборот, падающая на порт 2 волна разделяется между портами 1 и 4, в то время как порт 3 изолирован. Из-за нулевой протечки энергии в изолированный порт направленность идеального НО бесконечна. Однако реальные направленные ответвители из-за конечности протечек в изолированные порты и неидеального согласования входов обладают конечной направленностью.

Вторым основным параметром, характеризующим НО, является переходное ослабление (ответвление). Данным параметром определяется величина связи между основным и вторичным каналами, которая находится как отношение мощностей на входе основного и выходе вторичного каналов.

Для полной характеристики реального направленного ответвителя требуется ещё два параметра:

а) *потери в основном канале*, определяются отношением мощностей на входном и выходном портах;

б) *коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) портов*, характеризует степень согласования основного или вторичного каналов и измеряется при условии, что неиспользуемые порты нагружены на согласованные нагрузки.

В зависимости от функционального назначения направленные ответвители можно разделить на измерительные ответвители и ответвители с малой частотной зависимостью переходного ослабления.

Направленные ответвители с малой частотной зависимостью переходного ослабления применяются в схемах для контроля и стабилизации мощности источников сигнала. Основными параметрами этих устройств являются значение переходного ослабления и неравномерность его величины в диапазоне частот.

Измерительные ответвители (ответвители с высокой направленностью) используются для измерения падающих и отражённых волн в схемах рефлектометров. Основными параметрами этих ответвителей, определяющими погрешность измерения коэффициента отражения, являются направленность и КСВН основного канала. При измерении малых значений коэффициента отражения погрешность измерения определяется, в основном, величиной направленности, а при измерении больших значений – величиной КСВН основного канала.

Рассмотрим направленные ответвители первой группы, применяемые, например, в системах АРМ (автоматический регулятор мощности) для контроля уровня мощности. Такой НО, как правило, выполнен на основе смещённых связанных полосковых линий в многослойной диэлектрической структуре с соединителями типа SMA (розетка). Развязанный порт НО нагружается на внешнюю согласованную нагрузку. Направленный ответвитель данного класса, производимый ЗАО «НПФ «Микран», имеет обозначение НО16-2-20-12Р-12Р (см. рис. 2). Его зарубежным аналогом является модель 102020016 производства фирмы Klytair.

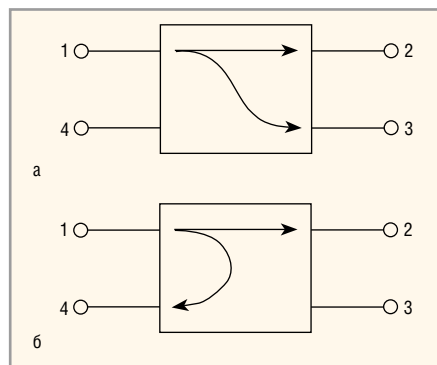


Рис. 1. Направленные ответвители: а – сонаправленный; б – противополононаправленный



Рис. 2. Направленный ответвитель НО16-2-20-12Р-12Р

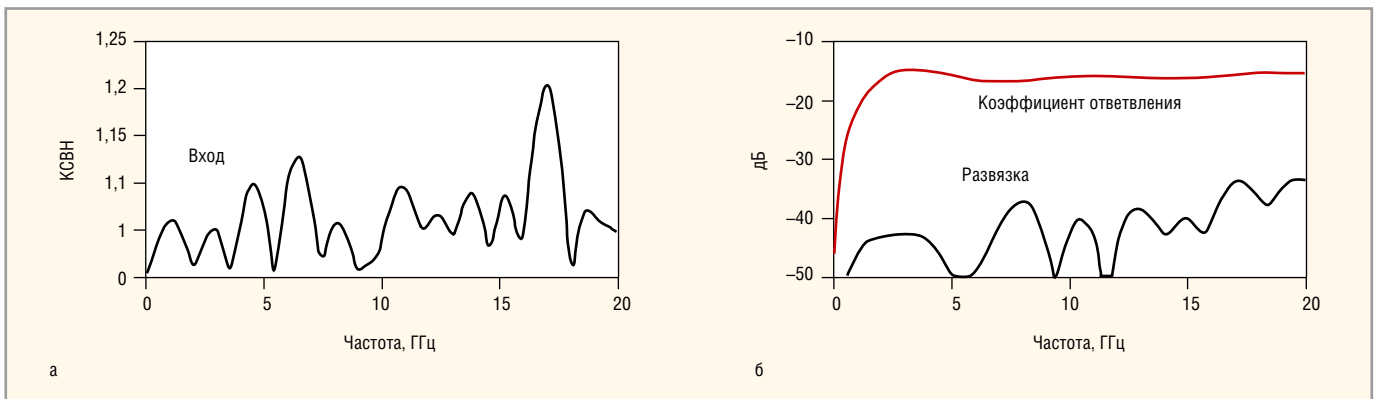


Рис. 3. КСВН входа (а), коэффициент ответвления и развязка (б) направленного ответвителя НО16-2-20-12Р-12Р

Компания Keysight Technologies, так же как и Krytar, предлагает направленные ответвители только в микрополосковом исполнении. Ближайшим аналогом НО16-2-20-12Р-12Р является модель 87300В. Характеристики данных НО приведены в таблице, а графики основных параметров – на рисунке 3.

Во вторую функциональную группу направленных ответвителей попадают НО с воздушным диэлектрическим заполнением. Помимо ЗАО «НПФ «Микран», такие НО предлагает китай-

ская корпорация 41st Institute. Компания Keysight Technologies не продаёт собственные НО с воздушным заполнением, хотя широко применяет их в своей линейке измерительной техники. Воздушный направленный ответвитель представляет собой две связанные прямоугольные линии, подвешенные в канале прямоугольного сечения с воздушным заполнением. Развязанный порт НО нагружается на встроенную согласованную нагрузку. Аналогом НО15-0,5-26-13Р является AV70602, а аналогом НО15-0,5-50-05Р

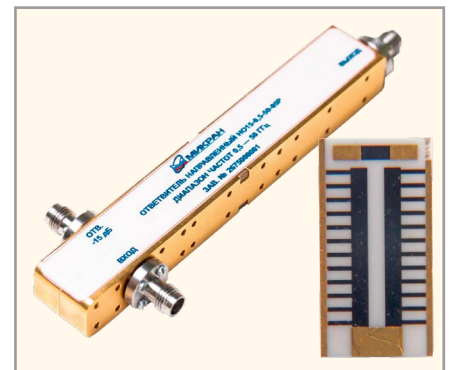


Рис. 4. Направленный ответвитель НО15-0,5-50-05Р и плата согласованной нагрузки

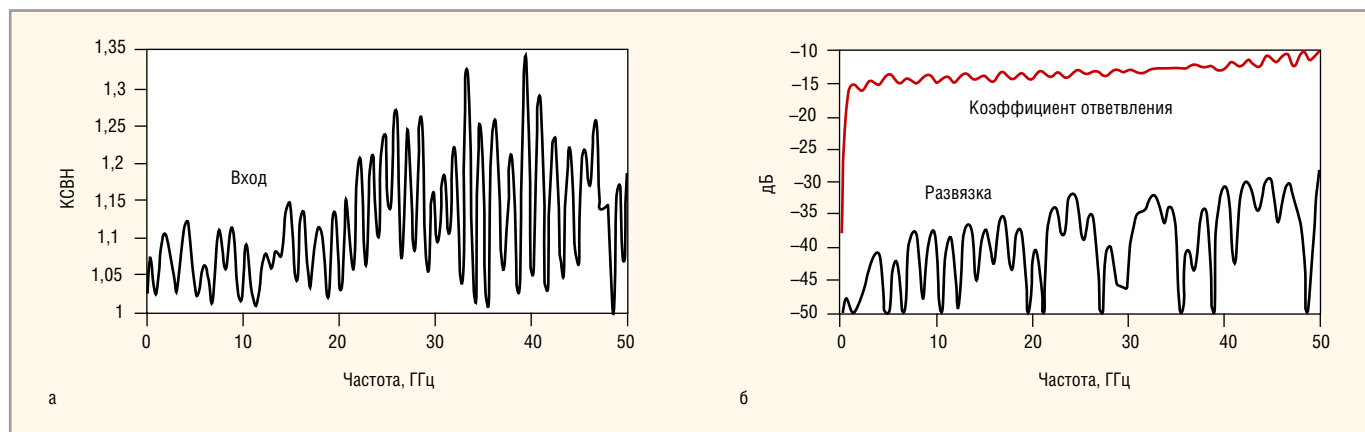


Рис. 5. КСВН входа (а), коэффициент отвлечения и развязка (б) направленного ответвителя НО15-0,5-50-05Р

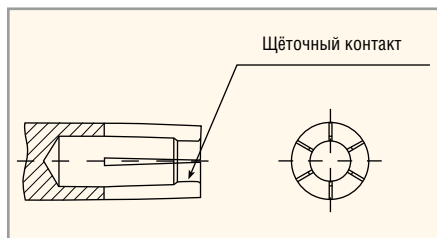


Рис. 6. Щёточный контакт

(см. рис. 4) – AV70601. Характеристики данных НО приведены в таблице, а частотные характеристики направленного ответвителя НО15-0,5-50-05Р – на рисунке 5.

Направленные ответвители НО15-0,5-26-13Р (НО15-0,5-26-03Р) и НО15-0,5-50-05Р имеют схожую между собой конструкцию, так как выполнены с применением связанных прямоугольных линий передачи с воздушным диэлектрическим заполнением. Корпуса покрыты износостойким золотом для улучшения характеристик на СВЧ и имеют крепёжные отверстия для установки устройства в блок прибора.

На корпуса направленных ответвителей при помощи стягивающих винтов устанавливаются коаксиальные фланцевые соединители. У направленного ответвителя НО15-0,5-26-03Р корпус фланцевого соединителя имеет метрическую резьбу М6х0,75-6г, а у НО15-0,5-26-13Р – дюймовую 1/4"-36UNS-2А, что позволяет НО состыковаться как с отечественной, так и с зарубежной аппаратурой. У направленного ответвителя НО15-0,5-50-05Р корпус фланцевого соединителя имеет резьбу М7х0,75-6г.

Гнездовые контакты центральных проводников покрыты износостойким золотом и термообработаны определённым образом, что позволяет достичь отличной стабильности параметров, увеличить ресурс контактов и сделать их менее восприимчивыми к воздействию некачественных ответных частей. Гнездовые контакты центральных проводников в тракте 3,5/1,52 мм имеют «щёточную» конструкцию (патент РФ №122206), что показано на рисунке 6.

При соединении центрального проводника коаксиальной линии с линейей связи используется специальный пружинный контакт, обеспечивающий механическую и температурную развязку. Он позволяет получить хорошие характеристики по отражению, температурной стабильности, а также упростить сборку направленного ответвителя.

В конструкции направленных ответвителей с воздушным диэлектрическим заполнением используется сверхширокополосная согласованная нагрузка на основе распределённых резистивных слоёв на микрополосковой плате. Достоинства по сравнению с нагрузками на дискретных элементах и на коаксиальных резисторах: уменьшенные габариты НО и превосходные параметры по согласованию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы. Коллективная монография. Под ред. А.М. Кудрявцева. М. Радиотехника. 2006. 208 с. ил.
2. Андронов Е.В., Глазов Г.Н. Теоретический аппарат измерений на СВЧ. Т.1. Методы измерений на СВЧ. Томск. ТМЛ-Пресс. 2010. 804 с.
3. Pozar, David M. Microwave engineering. David M. Pozar. 4th ed. JohnWiley & Sons, Inc. 2012. 756 p.
4. Tullio Rozzi, Antonio Morini. Directional couplers. Encyclopedia of Rf and microwave engineering. Kai Chang, editor-in-chief. John Wiley&Sons, Inc. 2005. 1076–1085 p.
5. Dunsmore, Joel P. Handbook of microwave component measurements with advanced VNA techniques. Joel P. Dunsmore John Wiley & Sons, Ltd. 2012. 611 p.

Характеристики направленных ответвителей

Модель	Соединители	Диапазон частот, ГГц	КСВН портов, не более	Отвлекание, дБ	Направленность, дБ, не менее	Вносимые потери, дБ, не более
НО16-2-20-12Р-12Р	Тип SMA (розетка)	4–20	1,25	17 ± 1	16	1
102020016	Тип SMA (розетка)	2–20	1,35	16 ± 0,5	16	1
87300В	Тип SMA (розетка)	1–20	1,35	10 ± 0,5	16	1,5
НО15-0,5-26-13Р	Тип 3,5 мм (розетка)	0,5–26,5	1,2	17,5 ± 2,5 (0,5 – 1 ГГц) 15 ± 1,5 (1 – 26,5 ГГц)	22	1,5
AV70602	Тип 3,5 мм (розетка)	2–26,5	1,35	15 ± 2	16	1,5
НО15-0,5-50-05Р	Тип 2,4 мм (розетка)	0,5–50	1,4	17,5 ± 2,5 (0,5 – 1 ГГц) 13 ± 3,5 (1 – 50 ГГц)	16	1,8
AV70601	Тип 2,4 мм (розетка)	2–40	1,42	15,5 ± 2,5	15	1,8

