

СВЧ-аксессуары фирмы Agilent Technologies

Владимир ДЬЯКОНОВ,
д. т. н., профессор
vpdyak@yandex.ru

При создании СВЧ-аппаратуры разного назначения, наряду с СВЧ-генераторами, осциллографами, анализаторами сигналов и анализаторами спектра и цепей, часто необходимы различные аксессуары, применяемые совместно с этими приборами. В состав аксессуаров входят коаксиальные разъемы и кабели, коммутаторы и конверторы (преобразователи) сигналов, аттенюаторы, линии передачи и задержки и т. д. [1]. В статье описаны некоторые наиболее важные СВЧ-аксессуары, выпускаемые фирмой Agilent Technologies.

На рис. 1 представлен один из наборов СВЧ-аксессуаров компании Agilent Technologies [2]. Ее продукция характеризуется разнообразием ассортимента, расширенным частотным диапазоном изделий и инновационным подходом к их разработке. Это относится как к изделиям на основе механики и электромеханики, так и, в первую очередь, к электронным изделиям.

Высокоскоростные коммутаторы на $p-i-n$ -диодах

Фирма Agilent выпускает высококачественные электромеханические коаксиальные коммутаторы, например серии N181X. Они переключают сигналы с частотами от 0 Гц до 4–26,5 ГГц с очень малым ослаблением во включенном состоянии и огромным (до 134 дБ на частоте 4 ГГц) в выключенном состоянии. Однако такие коммутаторы инерционны: их время переключения лежит в миллисекундном диапазоне и составляет от 15 до 50 мс. Поэтому далее рассматриваются только коммутаторы на твердотельных приборах — $p-i-n$ -диодах и полевых транзисторах (FET).

Особой областью применения высокоскоростных твердотельных коммутаторов является переключение СВЧ и широкополосных цепей и сигналов. Тут себя хорошо показали $p-i-n$ -диоды с высокоомной i -областью между областями p и n диода (рис. 2). Малая паразитная индуктивность (доли нГн) и емкость (доли пФ) обуславливают возможность применения таких диодов в СВЧ и широкополосных устройствах малой мощности.



Рис. 1. Набор СВЧ-аксессуаров компании Agilent Technologies

Подобные приборы используются, как правило, в 50- и 75-омных трактах. Поэтому дифференциальное сопротивление открытого диода должно быть по возможности малым — доли или единицы Ома в прямом включении. Типичная зависимость дифференциального сопротивления открытого диода от прямого тока показана на рис. 3. Ее плавный характер позволяет использовать $p-i-n$ -диоды в качестве регулируемого прямым током резистора с малыми паразитными параметрами. В обратном включении диод закрыт и имеет малую (доли пФ) емкость.

Для коммутации СВЧ-сигналов диоды включаются по последовательной (рис. 4) или параллельной схемам. К сожалению, индуктивная развязка управляющих и ВЧ сигнальных цепей повышает нижнюю

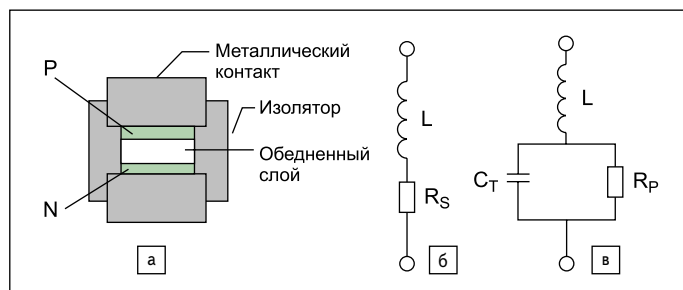


Рис. 2. а) Структура $p-i-n$ -диода; его эквивалентные схемы: б) в прямом; в) обратном включении

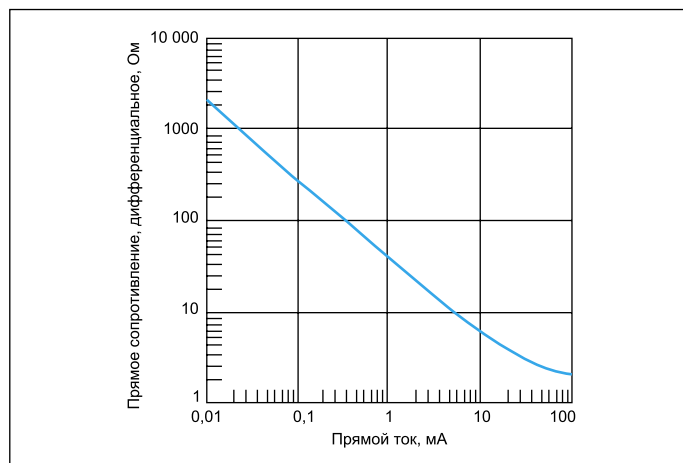


Рис. 3. Зависимость дифференциального прямого сопротивления от прямого тока

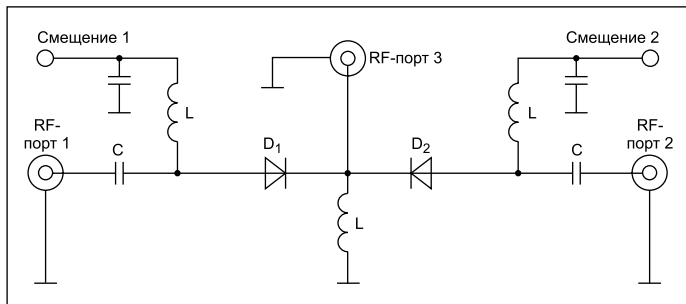


Рис. 4. Переключатель СВЧ-сигналов на *p-i-n*-диодах с последовательным включением

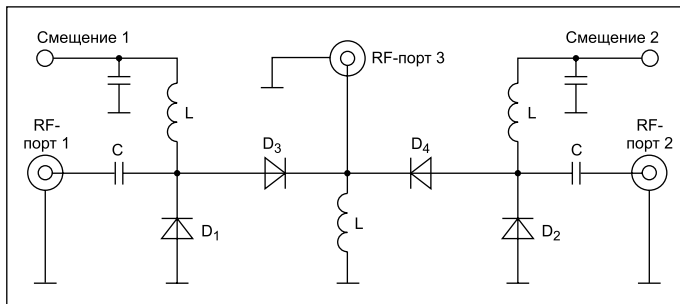


Рис. 5. Переключатель СВЧ-сигналов на *p-i-n*-диодах с комбинированным включением

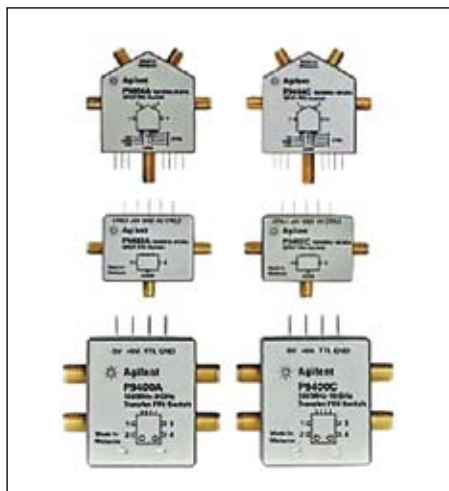


Рис. 6. Внешний вид коммутаторов на *p-i-n*-диодах фирмы Agilent Technologies



Рис. 7. Коммутатор P9402C на *p-i-n*-диодах, выполненный по схеме рис. 5



Рис. 8. Сверхширокополосные коммутаторы серии 85331/85332 на *p-i-n*-диодах

граничную частоту коммутируемых сигналов до сотен кГц и увеличивает время переключения. Также коммутаторы имеют время переключения в десятки мкс, что на 4 порядка меньше, чем у электромеханических коммутаторов, но для ряда применений (например, переключения антенны с передачи на прием) оказывается все же значительным.

Возможно и комбинированное включение диодов (рис. 5). Оно позволяет добиться большего соотношения уровней сигнала при его прохождении через коммутатор и при отключении.

Коммутаторы (переключатели) на *p-i-n*-диодах выпускаются в двух модификациях:

на два положения в одном направлении (SPDT) и на 2 или 4 положения в одном направлении (SP2T или SP4T). Коммутаторы на *p-i-n*-диодах могут переключать сигналы с частотами до 50 ГГц, а на полевых транзисторах и гибридные — на частотах до 20 ГГц. Подобные коммутаторы выпускает фирма Agilent Technologies (рис. 6). Они отличаются числом ВЧ (СВЧ) входов и подключением питающих и управляющих напряжений.

На рис. 7 показан внешний вид коммутатора P9402C на полосу переключаемых сигналов от 100 МГц до 18 ГГц. Назначение выводов и разъемов коммутатора дано на его корпусе. Это типичный SPDT-коммутатор.

Самые высокие технические характеристики среди твердотельных коммутаторов на *p-i-n*-диодах обеспечивают коммутаторы серии 85331/85332 (рис. 8). Это поглощающие переключатели, рассчитанные на диапазон частот от 45 МГц до 50 ГГц. К ним относятся коммутаторы SP4T и SP2T типа.

Высокоскоростные коммутаторы на GaAs полевых транзисторах

Наряду с *p-i-n*-диодами в коммутаторах используются полевые транзисторы. Это управляемые по затвору приборы. Отдельная цепь управления позволяет отказать от индуктивной развязки цепей управления и прохождения сигнала, расширяет полосу частот сигналов снизу и уменьшает прохождение управляющих сигналов в сигнальные цепи. В СВЧ-диапазоне обычно применяются специально сконструированные GaAs полевые транзисторы с емкостью сток-исток около 0,05 пФ. На частоте 10 ГГц и такая емкость имеет сопротивление около 320 Ом. Паразитные реактивные параметры транзисторов оказываются все же несколько большими, чем у *p-i-n*-диодов, поэтому максимальная частота переключаемых сигналов у коммутаторов на полевых транзисторах ниже примерно в 2–3 раза.

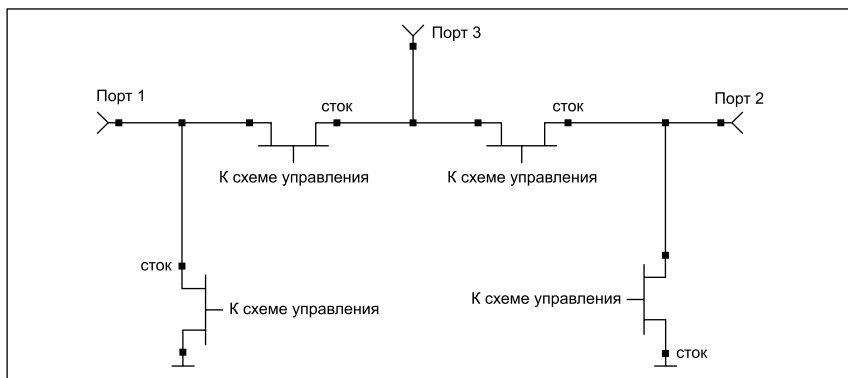


Рис. 9. Схема переключателя СВЧ-сигналов на GaAs полевых транзисторах с комбинированным включением



Рис. 10. Модули СВЧ-коммутаторов фирмы Agilent Technologies



Рис. 11. U9400C — модуль СВЧ-коммутатора фирмы Agilent Technologies

Типичная схема переключателя с применением параллельных и последовательных полевых транзисторов приведена на рис. 9. Преимущества и недостатки различных вариантов коммутаторов можно найти в статьях о коммутаторах, размещенных на сайте компании Agilent Technologies (www.agilent.com). Но очевидно, что наиболее высокие характеристики можно ожидать от комбинированных схем.

На рис. 10 показаны модули таких коммутаторов на диапазоны частот от 300 кГц до 8 ГГц (модуль U9397A) и 18 ГГц (модуль U9397C), выполненные по схеме рис. 9. Минимальная частота переключаемого сигнала у этих коммутаторов значительно ниже, чем у коммутаторов на *p-i-n*-диодах. Назначение выводов и разъемов коммутаторов также дано на их корпусах.

Еще один коммутатор серии U9400 показан на рис. 11. Он двухканальный и выполнен в прямоугольном корпусе. Полоса частот коммутируемых сигналов составляет от 300 кГц до 8 или 18 ГГц.

Коммутационные процессы и их тестирование

Несмотря на простоту схемных решений коммутаторов, переходные процессы при их переключении очень сложны, поскольку

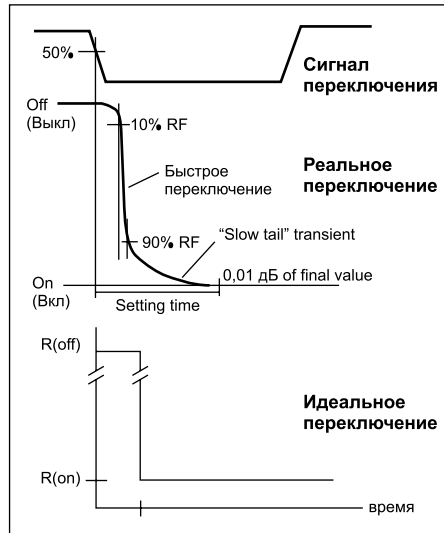


Рис. 12. Типичный коммутационный процесс у коммутатора СВЧ-сигналов

связаны не только с особенностями схемных решений, но и с физикой процессов в переключающих и резко нелинейных приборах — *p-i-n*-диодах и полевых (FET) транзисторах. Общий характер коммутационных процессов включения и выключения качественно похожи, но количественно заметно различаются.

Можно заметить, что этот процесс состоит из трех стадий: задержки переключения, быстрого переключения и медленного переключения. Эти процессы отражают только характер переключения коммутирующих диодов и не учитывают влияния разделительных индуктивностей в коммутаторах на *p-i-n*-диодах. Это влияние достаточно очевидно.

На рис. 13 показано подключение коммутатора к анализатору цепей или сверхскоростному цифровому осциллографу/анализатору для снятия характеристик коммутации. СВЧ-сигнал подается от порта выхода сигнала анализатора цепей, а управляющий импульсный сигнал — от генератора произвольных функций или импульсов. Установка, показанная

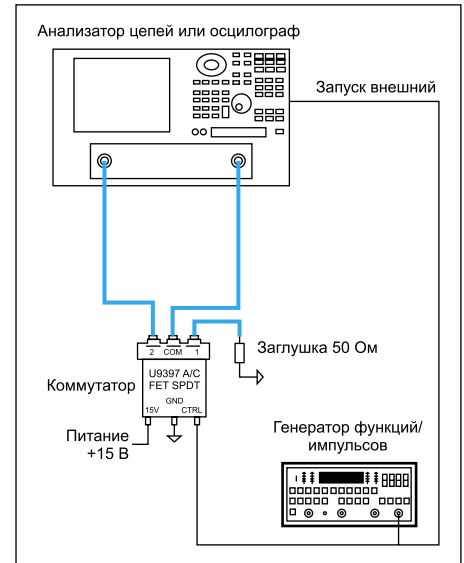


Рис. 13. Установка для снятия характеристик коммутатора СВЧ-сигналов

на рис. 13, позволяет снять основные характеристики коммутатора в динамике.

На рис. 14 приведена измеренная и заданная по спецификации зависимость ослабления включенного коммутатора на *p-i-n*-диодах U9397C от частоты сигнала. Ославление включенного коммутатора меняется от $\approx 2,5$ до 5,5 дБ в диапазоне частот от 300 кГц до 18 ГГц (модуль U9397C).

Ославление при выключенном коммутаторе лежит в пределах от -130 дБ на низких частотах до -100 дБ на частоте 18 ГГц. Это весьма хорошие показатели для такого рода устройств. Время переключения составляет обычно доли мкс (и меньше в коммутаторах на полевых транзисторах). Время полной релаксации диодов доходит до десятков мкс.

На рис. 15 показана АЧХ сверхширокополосного коммутатора 85331B в режиме Он (включено). Вносимые потери существенно зависят от частоты и на частотах до 18 ГГц составляют от -2 до $-4,5$ дБ (но могут достигать $-15,5$ дБ на частоте 50 ГГц). На рис. 15 пред-

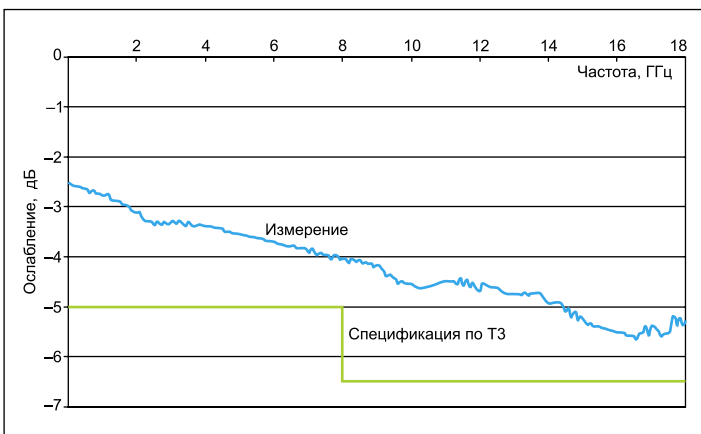


Рис. 14. Зависимость ослабления включенного коммутатора от частоты сигнала (для модуля U9397C)

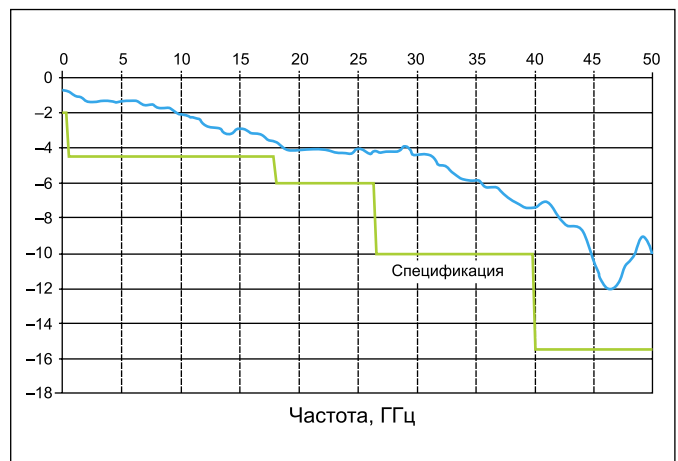


Рис. 15. АЧХ коммутатора в режиме Он (включено)

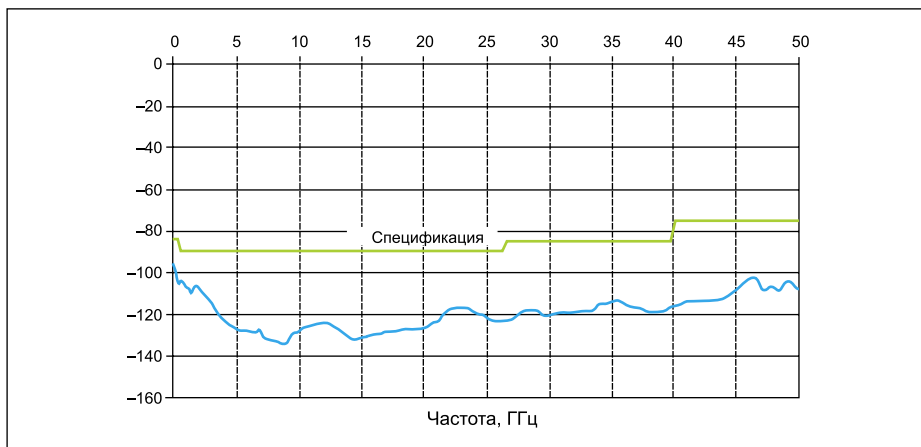


Рис. 16. АЧХ коммутатора в режиме Off (выключено)

ставлены потери в соответствии с технической спецификацией и результатами реальных измерений.

На рис. 16 показана зависимость ослабления коммутатора от частоты в режиме Off (выключено). Как видно, во всем диапазоне частот ослабление в выключенном состоянии превышает 100 дБ, и оно заметно выше заданного технической спецификацией на эти изделия.

Конверторы времени нарастания и спада импульсов

Для контроля сверхскоростных осциллографов и узлов широкополосных линий связи часто нужны импульсные сигналы со временем нарастания (и спада) импульсов менее 1 нс. Хотя уже появился ряд генераторов с такими параметрами импульсов, но все они являются очень дорогими, редкими и порою уникальными приборами. Поэтому надо признать интересным решение компании Agilent, выпустившей обширную серию формирователей импульсов с субнаносекундным временем нарастания и спада.

Серия аксессуаров под названием Transmission-Time Converters содержит 5 конверторов: 15432В, 15433В, 15434В, 15435А и 15438А. Приборы обеспечивают получение выходных импульсов с временем нарастания и спада в 150, 250 и 500, 1000 и 2000 пс



Рис. 17. Внешний вид конвертора 15435А

(на уровне 0,1 и 0,9 от амплитуды импульсов). Для приборов нормируется и граничная частота, например, она составляет 2,1 ГГц для конвертора 15435А с временем нарастания выходных импульсов 10 пс (рис. 17). Амплитуда импульса на входе задана <math>< 10 В</math>, потери — не более 0,2 дБ. Габариты конверторов — 43×28×15 мм.

На рис. 18 представлены осциллограммы выходных импульсов этих конверторов. Нетрудно заметить, что выбросы на фронтах импульсов практически отсутствуют. По-видимому, возможно последовательное включение конверторов.

Для подключения конверторов и сигнальных цепей коммутаторов фирма Agilent выпускает широкий набор 50-омных коаксиальных кабелей с разными разъемами и длиной. Например, набор 15443А представляет собой пару кабелей с разъемами SMA. Они позволяют передавать с малыми искажениями сигналы с разбросом времени задержки менее 25 пс.

Сверхширокополосные аттенюаторы с фиксированным и переменным ослаблением

Аттенюаторы (широкополосные делители напряжения с согласованным трактом) находят широкое применение при построении различных СВЧ-устройств и измерительных систем. Наиболее распространены коаксиальные 50-омные аттенюаторы с фиксированным ослаблением. Их выпускают многие фирмы, и в том числе Agilent Technologies (рис. 19).

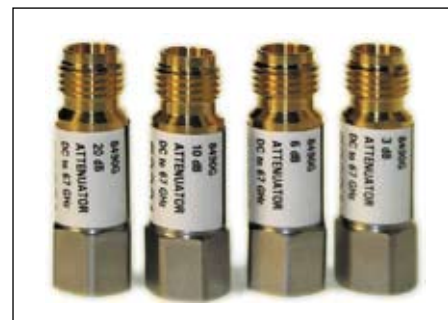


Рис. 19. Набор фиксированных коаксиальных аттенюаторов серии 8490G

Отличительными чертами аттенюаторов этой группы фирмы Agilent являются безупречный внешний вид изделий, сверхширокий диапазон частот ослабляемых сигналов (от 0 до 67 ГГц) и ровная, без заметных колебаний АЧХ. Все это достигнуто в результате тщательной проработки конструкции изделий. Выпускается ряд серий таких изделий. Наиболее распространенные имеют ослабление в 3, 6, 10 и 20 дБ. Некоторые аттенюаторы поставляются в виде наборов в изящных ящиках. Возможно последовательное включение таких аттенюаторов. Agilent производит и аттенюаторы с повышенной (до 25 Вт) мощностью рассеивания.

При построении анализаторов спектра, измерительных приемников и других изделий часто возникает необходимость в применении аттенюаторов с переключаемым (как механически, так и программным путем) ослаблением. Agilent выпускает ряд серий таких аттенюаторов (табл. 1), например модели, показанные на рис. 20.

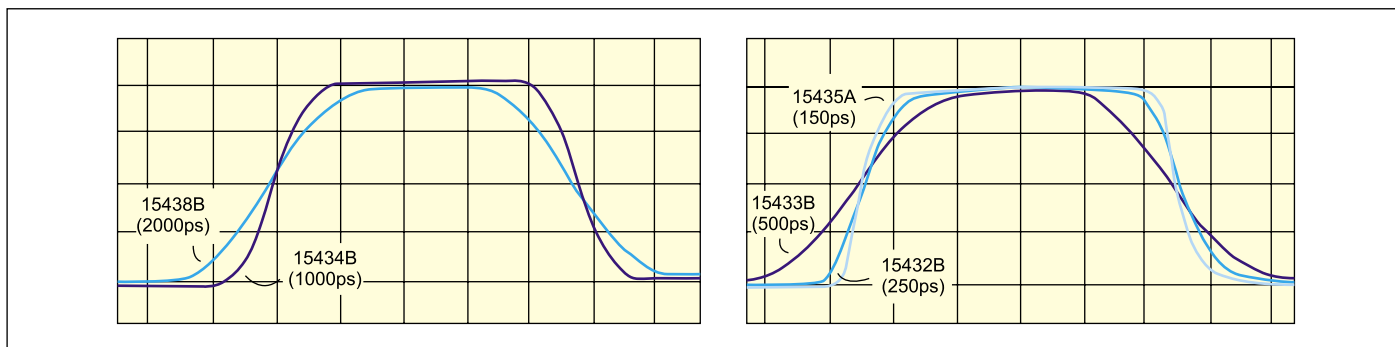


Рис. 18. Временные зависимости импульсов на выходе конверторов

Таблица 1. Основные данные аттенуаторов с переменным ослаблением

Тип аттенуатора	Ослабление, дБ	Шаг изменения ослабления, дБ
84904K/L/M	0–11	1
84905M	0–60	10
84906L	0–90	10
84907K/L	0–70	10
84908M	0–65	5

Примечание. Диапазон частот:
К — до 26,4 ГГц, L — до 40 ГГц, M — до 50 ГГц.



Рис. 20. Переключаемые аттенуаторы фирмы Agilent

Ограничители СВЧ-мощности

Многие устройства СВЧ-диапазона очень чувствительны к уровню подаваемых на их вход сигналов. Превышение этого уровня может вызвать выход приборов из строя. Например, большинство анализаторов спектра не допускают превышение некоторого порога мощности, поскольку это может привести к выгоранию очень чувствительных входных цепей и диодов смесителей. В связи с этим Agilent выпускает ряд ограничителей СВЧ-мощности, например N9355F (рис. 21).



Рис. 21. Ограничитель СВЧ-мощности N9355F

Ограничители мощности устройства на нелинейных приборах построены по типу ограничителей амплитуды сигналов. Время включения этих приборов — менее 100 пс, так что они хорошо демпфируют даже очень короткие импульсы у сигналов на входе. Основным параметром ограничителей мощности является порог ограничения, равный 10 или 25 дБм. При превышении этого порога мощность сигнала на выходе перестает расти с увеличением мощности сигнала на входе.

Другой важный параметр — максимально допустимая мощность сигнала на входе. Она лежит в пределах от 0,63 Вт (модель N9355F) до 6 Вт (модель N9358B). Диапазон частоты приборов — от 0,01 до 5, 18, 36 и 50 ГГц.

Специфика таких приборов Agilent — широкий диапазон частот и конструктивное оформление в корпусе типа коаксиального переходника. Детальные технические характеристики этих изделий можно найти в каталоге фирмы Agilent 2010 г. [2].

Блокираторы постоянной составляющей сигнала

Многие приборы, например отдельные модели тех же анализаторов спектра, не допускают присутствия в исследуемом сигнале постоянной составляющей напряжения или тока. Ее легко можно отсеять с помощью разделительного конденсатора. Но в широкополосных СВЧ-трактах нужно применять особые разделительные конденсаторы с очень малой индуктивностью выводов. При этом их конструкция должна допускать встраивание в 50-омный тракт. На основе таких конденсаторов Agilent выпускает специальные переходники — блокираторы постоянной составляющей. На рис. 22 представлен внешний вид таких блокираторов серии 9398/9399.



Рис. 22. Набор блокираторов постоянной составляющей сигналов

Наряду с частотным диапазоном блокираторов они характеризуются основным параметром — потерями при прохождении сигналов. Они составляют 0,9 или 1,2 дБ. Важным является и максимальное постоянное или импульсное напряжение, которое допустимо прикладывать ко входу (оно составляет 16 или 50 В). Временные параметры блокираторов — время нарастания перепадов (2 или 3 пс) и групповая задержка сигнала (78 или 118 пс). Специфика блокираторов фирмы Agilent — широкий диапазон частот (до 67 ГГц) и конструктивное оформление в корпусе типа коаксиального переходника.

СВЧ-детекторы

СВЧ-детекторы служат для преобразования напряжения или мощности СВЧ-сигнала в постоянное напряжение. Они используются для наблюдения амплитудно-модулированных СВЧ-сигналов на экране низкочастотного осциллографа, построения АЧХ различных СВЧ-устройств и т. д. Зависимость выходного напряжения детектора от амплитуды входного сигнала

ла в общем случае имеет нелинейный вид. Широко распространены квадратичные и почти линейные детекторы. Почти линейные детекторы имеют приближенно линейную зависимость выходного напряжения от входного. Отклонения от линейной зависимости обусловлены нелинейным характером вольт-амперной характеристики диода.

В настоящее время в детекторных головках применяются в основном полупроводниковые диоды. Предпочтение отдается низковольтным диодам, например германиевым или кремниевым с низкопотенциальным барьером Шоттки. Фирма Agilent применяет также новейшие планарно-легированные СВЧ-диоды. Помимо работы при малых напряжениях диоды должны быть малоинерционными, чтобы уверенно детектировать СВЧ-сигналы. Получение ровной АЧХ диодов в широкой полосе частот является очень сложной задачей и требует тщательной отработки конструкции диодных модулей. Именно это отличает такие модули Agilent от множества подобных изделий других фирм.

На рис. 23 показаны современные детекторы серии 8471D. В них применены планарно-легированные диоды. Это сравнительно «низкочастотные» приборы, рассчитанные на диапазон частот от 100 кГц до 2 ГГц. Этот диапазон охватывает практически все диапазоны волн радиовещания, телевидения (в том числе спутникового) и мобильной связи.



Рис. 23. Детекторы серии 8471D/E с планарным диодом на диапазон частот от 100 кГц до 2 ГГц

Детекторы обычно характеризуются рядом параметров:

- диапазоном частот (Гц);
- чувствительностью при слабом сигнале (мВ/мВт);
- максимальной входной мощностью $P_{\text{макс}}$ (мВт);
- максимальной мощностью за короткое время (импульсной) $P_{\text{и}}$ (Вт);
- коэффициентом стоячей волны (зависит от частоты);
- полярностью выходного сигнала;
- типом разъемов (входным и выходным).

В таблице 2 приведены основные параметры некоторых детекторов на основе диодов с планарным легированием. Они перекрывают диапазон частот до 50 ГГц.

Таблица 2. Основные параметры детекторов на основе диодов с планарным легированием

Тип	Диапазон частот, ГГц	Чувствительность при слабом сигнале, мВ/мкВт	$P_{\text{макс}}$, мВт	$P_{\text{н}}$, Вт
8471D	0,0001–2	>0,4	100	0,7
8471E	0,01–12			
8473D	0,01–33			
8474B	0,01–18			
8474C	0,01–33			
8474E	0,01–50			

Приведем более детальные данные детектора 8471D, который можно считать универсальным:

- Максимальная входная мощность: 100 мВт.
- Неравномерность АЧХ: $\pm 0,2$ дБ на частотах до 1 ГГц и $\pm 0,4$ дБ на частотах до 2 ГГц.
- КСВ: $< 1,23$ (0,0001 до 1 ГГц); $< 1,46$ (1 до 2 ГГц).
- Типичная кратковременная (за < 1 мин.) допустимая мощность на входе: 0,7 Вт.
- Полярность выходного сигнала: отрицательная.
- Разъемы (входной и выходной): BNC.

Agilent выпускает также ряд детекторов на основе диодов Шоттки с низкопотенциальным энергетическим барьером. Такие диоды имеют низкое прямое падение напряжения и у них отсутствует эффект накопления избыточных зарядов в базе. Благодаря этому детекторы на основе таких диодов могут детектировать сигналы с частотой до 30 ГГц. Основные параметры серии детекторов на таких диодах приведены в таблице 3.

Таблица 3. Основные параметры детекторов на основе диодов Шоттки

Тип	Диапазон частот, ГГц	Чувствительность при слабом сигнале, мВ/мкВт	$P_{\text{макс}}$, мВт	$P_{\text{н}}$, Вт
423B	0,01–12,4	>0,5	100	0,7
8470B	0,01–18			
8472B	0,01–38			
8473B	0,01–18			
8473C	0,01–26,5			
		>0,5 до 18 ГГц	200	
		>0,18 до 26,5 ГГц		

Выпускается также широкополосный направленный детектор 83036, работающий в частотном диапазоне от 0,01 до 26,5 ГГц с неравномерностью АЧХ в этом диапазоне частот ± 1 дБ. Максимальный КСВ этого детектора — 1,7, максимальные потери — 2,3 дБ. Детальные технические характеристики детекторов можно найти на сайте компании Agilent Technologies.

Источники шума серий 346 и N4001

В измерениях на СВЧ широко используются шумовые сигналы с равномерной в заданной полосе частот плотностью шума. Следует отметить, что все элементы радиоэлектронных схем и цепей создают тепловой шум. Шумит, к примеру, и стандартное

сопротивление с номиналом 50 Ом, обычно присутствующее во входных цепях радиоприемников и измерительных приборов. Однако уровень шума этого сопротивления мал. Для создания достаточно заметного шумового сигнала используются различные источники шума. Обычно они характеризуются избыточным коэффициентом шума (ИКШ, или ENR). Он измеряется в дБ и имеет значения (в зависимости от типа источника шума) от 4 до 22 дБ.

Фирма Agilent выпускает источники шума, как встроенные в приборы — измерители шума, так и в виде отдельных аксессуаров. Широкое распространение получили источники шума серии 346A/B/C. Их внешний вид представлен на рис. 24.



Рис. 24. Источник шума фирмы Agilent серии 346

Источники шума серии 346 предназначены для работы совместно с измерителями коэффициента шума серии NFA и анализаторами спектра серии PSA Agilent. Они обеспечивают выполнение точных и надежных измерений коэффициента шума. Каждый источник шума серии 346 имеет уникальные калибровочные значения ИКШ на заданных частотах. Эти значения напечатаны на этикетке источника шума и могут быть вручную введены в NFA или PSA. Кроме того, эти данные содержатся на дискете, поставляемой с источником шума, для быстрого ввода в NFA или PSA. Источники шума серии 346 предназначены для выполнения измерений в широком диапазоне частот (от 10 МГц до 50 ГГц), значений ИКШ (от 4,4 до 20 дБ) и с различными типами соединителей.

Для упрощения измерений и повышения точности источники шума серии SNS работают совместно с измерителями коэффициента шума серии NFA компании Agilent (рис. 25). Когда источник шума подключается к измерителю коэффициента шума серии NFA, он автоматически загружает в анализатор содержащиеся в нем данные калибровки. Источники шума серии SNS можно также



Рис. 25. Источник шума фирмы Agilent серии N4001A

подключать к анализаторам спектра серии ESA или анализаторам сигналов MXA и EXA компании Agilent. Эти источники шума могут автоматически измерять свою собственную шумовую температуру, так что может быть обеспечена компенсация данных калибровки. Эти возможности повышают общую надежность и точность измерения коэффициента шума. Источники шума SNS могут быть использованы для различных применений в обеспечиваемом ими диапазоне частот, значениях избыточного коэффициента шума (ИКШ) и при коаксиальных типах соединителей.

Сенсоры мощности серии U2000 с USB-интерфейсом

Измерение мощности сигналов — одна из самых распространенных задач при тестировании и исследовании различных СВЧ-устройств и систем. Agilent Technologies выпускает ряд цифровых измерителей мощности с максимальной частотой до десятков ГГц. Но, пожалуй, самым изящным решением этой задачи является применение дешевого сенсора мощности серии U2000 с USB-2 интерфейсом. Будучи подключенным к компьютеру, например ноутбуку, этот сенсор (на рис. 26 он показан снизу и справа) превращает компьютер во вполне полноценный измеритель мощности.



Рис. 26. Измеритель мощности на основе ноутбука и сенсора мощности серии U2000

Сенсор питается от USB-разъема компьютера и потребляет ток всего около 170 мА. Это позволяет при необходимости подключать к компьютеру даже несколько сенсоров, обеспечивая построение многоканального измерителя мощности. Сменой программного обеспечения можно получить различные варианты пользовательского интерфейса как для одноканального, так и многоканального вариантов построения измерителей мощности. Всего выпускается 9 моделей сенсоров мощности. Параметры некоторых из них представлены в таблице 4.

Таблица 4. Параметры некоторых сенсоров мощности серии U2000

Сенсор	Диапазон частот	Диапазон мощностей, дБм
U2000H	10 МГц–18 ГГц	–50...+30
U2001A	10 МГц–6 ГГц	–60...+20
U2001B	10 МГц–6 ГГц	–30...+44
U2002A	50 МГц–24 ГГц	–60...+20
U2002H	50 МГц–24 ГГц	–50...+30
U2004A	9 кГц–6 ГГц	–60...+20

В зависимости от диапазона измеряемых мощностей конструктивное оформление сенсоров может несколько меняться. Например, на рис. 27 представлен внешний вид сенсора U2001B с максимальной измеряемой мощностью до 44 дБм. Для рассеивания такой мощности сенсор оснащен мощным радиатором.

**Рис. 27.** Внешний вид сенсора U2001B с большой измеряемой мощностью

Сенсоры U2000 можно подключать и к стационарным (настольным) измерителям мощности. Пример создания 4-канального измерителя мощности такого рода показан на рис. 28. Программное обеспечение для сенсоров мощности позволяет строить вре-

**Рис. 28.** Пример создания 4-канального измерителя мощности на базе настольного прибора и сенсоров мощности

менную зависимость мощности и вычислять сумму, разность, произведение и отношение мощностей. Оно имеет разные варианты пользовательского интерфейса.

Agilent выпускает также сенсоры для измерения пиковой и средней мощности, предназначенные для работы совместно с измерителями мощности серии EPM-P. Эти сенсоры обеспечивают измерение пиковой и средней мощности, их отношения и средней комплексной мощности для сигналов с цифро-

Таблица 5. Данные сенсоров мощности серии E9320

Сенсор	Частота (минимум), МГц	Частота (максимум), ГГц	Мощность (минимум), дБм	Мощность (максимум), дБм	ПП видеосигнала
E9321A	50	6	–65	+20	300 кГц
E9322A			–60		1,5 МГц
E9323A			–60		5 МГц
E9325A	18	6	–65	+20	300 кГц
E9326A			–60		1,5 МГц
E9327A			–60		5 МГц

вой модуляцией (TDMA, W-CDMA). Сенсоры серии E9320 (табл. 5) имеют два частотных диапазона: от 50 МГц до 6 ГГц и от 50 МГц до 18 ГГц. Для каждого из этих диапазонов имеется большой выбор сенсоров с тремя полосами пропускания видеосигнала: 300 кГц, 1,5 и 5 МГц. Все датчики снабжаются соединителем типа N.

Заключение

Компания Agilent Technologies выпускает множество полезных аксессуаров для построения СВЧ-устройств и систем и расширения возможностей ее измерительных приборов, например, генераторов сигналов различного типа, цифровых осциллографов, анализаторов спектра, сигналов и т. д. В ряде случаев такие аксессуары заметно расширяют функциональные возможности приборов и делают работу с ними более удобной и целесообразной. В некоторых случаях подбор аксессуаров позволяет сэкономить большие средства за счет применения более дешевых и практичных приборов, например класса «бюджетных». Аксессуары Agilent отличаются безукоризненным исполнением, применением современных полупроводниковых приборов и компонентов и широким диапазоном частот. Обычно их технические характеристики являются лучшими в отрасли.

Литература

1. Ред Э. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике. М.: Мир, 1990.
2. Контрольно-измерительное оборудование. Каталог 2010. Agilent Technologies, 2010.