

# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН НА НЕСКОЛЬКИХ ПОРТАХ С ВЫСОКИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

## MULTIPOINT CONVERTERS FOR MILLIMETER-WAVE MEASUREMENTS WITH WIDE DYNAMIC RANGE

Майкл Хебель (Michael Hiebel), Андреас Хенкель (Andreas Henkel), Rohde & Schwarz

**П**реобразователи частоты R&S ZVA-Z110 расширяют частотный диапазон векторных анализаторов электрических цепей высшего класса от Rohde & Schwarz до 75 – 110 ГГц (диапазон W). Основной целью разработки R&S ZVA-Z110 было упрощение измерений, экономия времени и сокращение материальных затрат. Поэтому, если для работы с двумя преобразователями используется соответствующий четырехпортовый векторный анализатор электрических цепей, никакого дополнительного оборудования не требуется. В последние годы актуальность многопортовых измерений постоянно возрастает. Описанное здесь решение является первым решением, предлагающим полные симметричные многопортовые измерения в диапазоне W.

### ИЗ ЧЕГО СОСТОИТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ?

На рис. 1 показана полупрозрачная модель преобразователя R&S ZVA-Z110 и его блок-схема, состоящая из умножителя входной частоты (1), регулируемого волноводного аттенюатора (2), направленного ответвителя (3), разделяющего опорный и измерительный каналы. Частота этих каналов преобразуется вниз с помощью двух гармонических смесителей (4).

### ИЗМЕРЕНИЕ S-ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРА

В рассматриваемом примере выполняется измерение полосового фильтра с центральной частотой 90 ГГц.

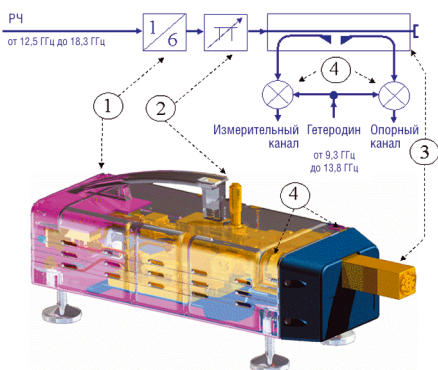


Рис. 1. Полупрозрачная модель и блок-схема преобразователя R&S ZVA-Z110 (со снятым адаптером тестового порта)



**Шаг 1. Схема измерения**  
Схема измерения строится очень просто (рис. 2). А: выбираем тип преобразователя; В: выбираем схему соединений; С: щелкаем кнопку Apply (применить) и подключаем преобразователь к анализатору (рис. 3). Вдоль оси частот располагаются значения от 75 до 110 ГГц (см. нижнюю часть рис. 2). Кроме того, все измерительные параметры преобразователей устанавливаются автоматически (например, коэффициенты умножения РЧ сигнала и гетеродина, оптимальные уровни мощности, переопределение настроек, тип разъема WR10). Также определяется и выбирается набор R&S ZV-WR10 для калибровки волновода.

### Шаг 2. Калибровка

В данном примере калибровка выполняется по методу TOSM с помощью волноводного калибровочного набора R&S ZV-WR10 (см. передний план на рис. 3). Набор поддерживает и некоторые другие методы калибровки, такие как TRL, UOSM, TOM, TRM и OSM. В комплект набора может входить скользящий согласователь. Скользящий согласователь можно использовать для повышения направленности и согласования нагрузки до значений 42 дБ и 40 дБ. Из-за излучения, возникающего на открытом конце волновода, разомкнутый эталон, известный по коаксиальному калибровочному набору, заменяется смещенным короткозамкнутым эталоном. Смещенный короткозамкнутый эталон состоит из прокладки (играющей роль четвертьволнового трансформатора в середине частотного диапазона) и короткозамкнутого эталона.

### Шаг 3. Измерение

На рис. 3 показана схема измерения полосового фильтра на 90 ГГц, состоящая из векторного анализатора электрических цепей R&S ZVA24 и двух преобразователей R&S ZVA-Z110. Для измерения параметров фильтров с высоким коэффициентом подавления нужен высокий динамический диапазон.

Преобразователи R&S ZVA-Z110 обладают номинальным динамическим диапазоном >110 дБ, что является выдающимся показателем и позволяет им легко справляться с измерениями характеристик фильтров. В результате полосу измерения можно расширить, например, до 1 кГц для достижения более высокой скорости свипирования. Кроме работы с фильтрами возможно решение и некоторых других задач.

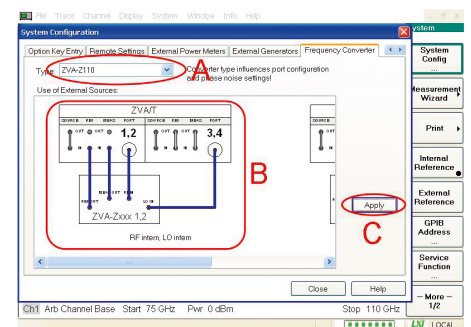


Рис. 2. Диалоговое окно построения схемы

- Тестирование маломощных усилителей, для чего предусмотрен встроенный аттенюатор W-диапазона, позволяющий использовать малые входные сигналы, необходимые для такого рода измерений.
- Применение преобразователей в производственных линиях, где основным фактором является компактность и скорость свипирования. В среде, чувствительной к загрязнениям, например, при тестировании кремниевых пластин, дополнительные преимущества обеспечиваются концепцией пассивного охлаждения.
- Многопортовые и симметричные измерения в миллиметровом диапазоне.

### МНОГОПОРТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

До недавнего времени диапазон многопортовых и симметричных измерений ограничивался частотой 50 ГГц. Тем не менее имеется достаточное количество устройств W-диапазона, использующих симметричные схемы подключения, и устройств с несколькими портами (например, автомобильные радары и устройства, применяемые в аэрокосмических и оборонных приложениях). Преобразова-

тели частоты R&S ZVA-Z110 и векторный анализатор электрических цепей R&S ZVT20 могут выполнять измерения на шести портах.

**ТРЕХПОРТОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ НАПРАВЛЕННОГО ОТВЕТВИТЕЛЯ**

**Зачем нужны три порта?**

Три преобразователя и анализатор электрических цепей с необходимым числом портов позволяют выполнить измерение параметров трехпортового ответвителя за один прием (рис. 4). Это экономит время и позволяет измерять все (3x3) S-параметры ответвителя без перекоммутаций и без нескольких двухпортовых калибровок. Вместо этого выполняется полная трехпортовая калибровка, повышающая точность результатов.



Рис. 3. Полная схема измерения полосового фильтра на 90 ГГц с калибровочным волноводным набором R&S ZV-WR10

**Схема измерения**

R&S ZVT20 позволяет подключать до четырех преобразователей частоты без использования внешнего генератора. Такое решение не занимает много места (позволяет обойтись без дополнительного оборудования) и повышает скорость измерения. Для выполнения такого измерения достаточно трех преобразователей. Тестовые порты 5 и 6 анализатора R&S ZVT20 используются для подачи на преобразователи сигнала гетеродина. При необходимости можно использовать внешние делители Уилкинсона для распределения сигнала гетеродина по всем преобразователям.

**Калибровка UOSM**

Преимущества метода калибровки UOSM заключается в том, что в качестве калибровочного эталона используется неизвестное проходное устройство. К этому неизвестному проходному устройству предъявляется лишь одно требование: взаимность. Поэтому такое неизвестное проходное устройство может не иметь хорошего согласования

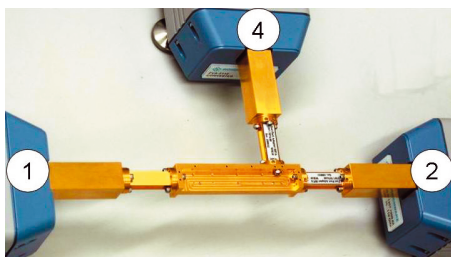


Рис. 4. Трехпортовое измерение

или малых потерь. Даже недорогие прямые, угловые и скрученные волноводные секции со стандартными фланцами удовлетворяют требованию обратимости и могут использоваться в качестве неизвестных проходных устройств. Любое значительное изменение ориентации тестового порта после калибровки может привести к (устраняемому) снижению точности. Поэтому в данном примере для проходного соединения между тестовыми портами 1 и 4 и тестовыми портами 2 и 4 используется Н-уголок. Проходное соединение между тестовыми портами 1 и 2 выполняется прямым соединением двух тестовых портов.

**Результаты измерения направленного ответвителя**

Показанные на рис. 5 результаты получены при полосе измерения 1 кГц. Параметр Trc1 показывает вносимые потери, Trc2 — переходное ослабление, Trc3 — степень развязки и Trc4 — направленность, рассчитанную математическими методами по значениям Trc3 и Trc2.

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Диапазон частот от 75 до 110 ГГц; тип волновода — WR10; тип разъема — прецизионный волноводный фланец, совместимый с UG387/U-M; выходная мощность тестового порта +2 дБм при +7 дБм на RF IN; погрешность выходной мощности <4 дБ (при ослаблении 0 дБ до 25 дБ; динамический диапазон 95 дБ (ном. 110 дБ); входная мощность на RF IN, LO IN от +5 до +10 дБм (ном. +7 дБм); источник питания от 100 до 240 В, от 47 до 63 Гц; габариты (Ш × В × Г) 360,5×110×114 мм; число ножек: 4 ножки, 3 ножки или без ножек.

**КОНФИГУРАЦИЯ**

Какой анализатор электрических цепей можно использовать для управления преобразователями?

Можно использовать векторный анализатор электрических цепей R&S ZVA или R&S ZVT с верхней граничной частотой не менее 20 ГГц. При этом рекомендуются следующие опции:

- прямой доступ к генератору/приемнику,
- программная опция для управления преобразователями.

**Нужен ли внешний генератор?**

Во втором примере (ответвитель) в качестве альтернативы можно использовать четырехпортовый R&S ZVA, если для создания сигнала гетеродина для преобразователей брать сигнал с генератора R&S SMF100A и распределять по всем преобразователям (например, через 4-портовый разветвитель). Внешним генератором должен управлять R&S ZVA. Это приводит к увеличению времени свипирования, которое можно снизить, используя генератор в режиме свипирования по списку. В общем случае число преобразователей, управляемых анализатором, можно увеличить,

если для создания сигнала гетеродина используется внешний генератор. Примеры.

- Шестью преобразователями частоты можно управлять с помощью R&S ZVT20, R&S SMF100A и подходящей схемы распределения сигнала гетеродина.

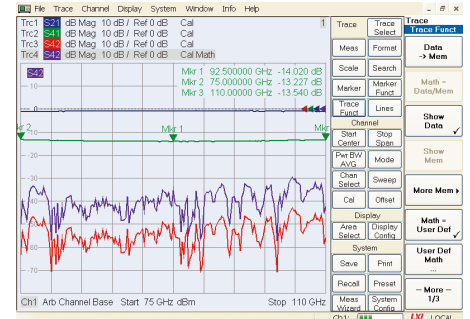


Рис. 5. Результаты измерения трехпортового ответвителя

- Двухпортовый векторный анализатор электрических цепей R&S ZVA24, который не может управлять преобразователем (потому что для этого нужно не менее четырех портов), можно дополнить генератором R&S SMF100A, который будет управлять одним или двумя преобразователями.

**ЛИТЕРАТУРА**

Конечно в этой статье дается лишь краткий обзор. Более подробную информацию можно найти на сайте (<http://www.rohde-schwarz.com>). Там находятся указания по применению (1EZ55, 1EZ56) и технические описания. Для тех, кто глубоко интересуется векторным анализом электрических цепей, можно порекомендовать книгу «Основы векторного анализа электрических цепей». Ее можно купить в магазине <http://www.books.rohde-schwarz.com>.

1. Майкл Хебель, «Указания по применению 1EZ55. Измерения в миллиметровом диапазоне с помощью преобразователей семейства R&S ZVA», Rohde & Schwarz, Мюнхен, 2007.

2. Майкл Хебель, «Указания по применению 1EZ56. Многопортовые измерения в миллиметровом диапазоне с помощью преобразователей семейства R&S ZVA», Rohde & Schwarz, Мюнхен, 2007.

3. Майкл Хебель, «Основы векторного анализа электрических цепей», Rohde & Schwarz, Мюнхен, 2-е издание, 2007, ISBN 978-3-939837-06-0.

*The converters offered for the R&S® ZVA family extend the vector network analyzers' frequency range to include the millimeter-wave range (EHF band). This article describes the R&S® ZVA-Z110 converters. They cover the W band (75 GHz to 110 GHz). Several measurement examples are included, explaining in detail how to configure a converter-based vector network analyzer system.*