

ГИБКИЕ И ПРОСТЫЕ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ВЕКТОРНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ ПОЗВОЛЯЮТ ИСКЛЮЧИТЬ ВСЯКИЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ И ДОГАДКИ

FLEXIBLE, EASY-TO-USE TRUE-DIFFERENTIAL VNAs ELIMINATE GUESSWORK

Йохен Симон (Jochen Simon), Rohde & Schwarz

По мере того как все большее число радиочастотных устройств строится на основе интегральных микросхем, при создании этих устройств все шире используется дифференциальная схемотехника. Более того, как только разработчики решат создавать продукт на основе специализированной RFIC (радиочастотной микросхемы), они, зачастую, могут уже без особого труда заставить ИС выполнять функции, которые в былые времена выполнялись пассивными компонентами. Как правило, при интегральной реализации этих функций используются не пассивные, а активные элементы. В результате этой интегральной революции начался бурный рост применения активных и дифференциальных (известных также, как симметричные) радиочастотных схем.

Такая ситуация усложняет жизнь разработчикам, рассчитывающим точные характеристики ВЧ устройств. Лежащий в основе таких расчетов математический аппарат, как правило, основан на предположении, что исследуемое устройство линейно. И если пассивные устройства лишь иногда проявляют нелинейность, то активные делают это значительно чаще — по крайней мере, до такой степени, что ставят под вопрос достоверность параметров, полученных из предположения линейности. Кроме того, описание поведения нелинейных устройств зачастую требует более сложных и трудоемких измерений, чем описание линейных устройств.

Также, предположение линейности лежит в основе математического аппарата, с помощью которого характеристики цепей в дифференциальном режиме вычисляются на основе результатов несимметричных измерений [1]. Можно сказать, что интегральная революция и результирующее быстрое распространение нелинейных дифференциальных интегральных компонентов во всех областях схемотехники существенно повлияли на классические методы расчета



ВЧ компонентов и архитектуру векторных анализаторов цепей (VNA) — приборов, лежащих в основе наиболее точных параметрических радиочастотных измерений. До сих пор практически все такие приборы ограничивались принципиально несимметричными измерениями; дифференциальные же результаты получались виртуально, то есть математически, методом суперпозиции несимметричных измерений.



Йохен Симон

Хотя истинно дифференциальные измерения можно было выполнять с помощью симметрирующих трансформаторов и мостовых схем [2], или путем добавления двух источников сигнала к классическому VNA [3], распространение таких методов сдерживалось отсутствием компонентов с достаточно идеальными характеристиками в широком диапазоне частот. Кроме того, готовые системы, способные выполнять истинно дифференциальные измерения, серийно не выпускались.

НА ПОМОЩЬ ПРИХОДИТ R&S ZVA

Выпустив семейство ВЧ анализаторов электрических цепей R&S ZVA с диапазоном частот от 300 кГц до 40 ГГц (рис. 1) с дополнительным истинно дифференциальным режимом измерения TruDi (true-differential), одна из ведущих поставщиков VNA компания Rohde & Schwarz, пришла на помощь конструкторам ВЧ устройств во всем мире, которые нуждаются в новых приборах для решения возникших проблем, порожденных интегральной революцией.

Векторные анализаторы семейства ZVA предлагают функцию измерения на истинно дифференциальных сигналах, что позволяет исключить всякие допущения при определении характеристик активистик активных дифференциальных

компонентов, включая структуры, применяющиеся в современных радиочастотных интегральных микросхемах.

Режим измерений TruDi анализатора R&S ZVA основывается на втором источнике сигнала, который устанавливается в версию прибора с четырьмя измерительными портами. Этот источник может генерировать сигнал, равный по амплитуде и противоположный по фазе сигналу первого источника. Также, R&S ZVA может вырабатывать пары сигналов с регулируемой относительной амплитудой и фазой, что позволяет имитировать реальные, неидеально симметричные сигналы — то есть, сигналы с синфазной и дифференциальной составляющими или даже только с одной синфазной составляющей без дифференциальных составляющих. Имеется также возможность свипирования по величине разбаланса фазы и амплитуды, что позволяет быстро определять реакцию устройства на несовершенство сигнала. Такие измерения даже теоретически невозможно было выполнить с помощью симметрирующих трансформаторов и мостовых схем.



Рис. 1. Векторные анализаторы цепей Rohde & Schwarz семейства ZVA обеспечивают измерение истинно дифференциальных сигналов, что позволяет исключить всякие допущения при определении характеристик активных дифференциальных компонентов

Глубже разбираясь в работе новой функции TruDi анализатора R&S ZVA, следует отметить, что определяемые пользователем фазовые и амплитудные соотношения сигналов относятся к выходным несимметричным сигналам анализатора, которые служат входными сигналами исследуемого устройства. Эти соотношения измеряются с

применением полной коррекции ошибок в каждой точке каждого свипирования. Согласно этой методике амплитуда и фаза сигнала изменяется еще до выполнения измерения нужной величины, что позволяет учитывать изменяющийся во времени коэффициент отражения исследуемого устройства. Используемые для коррекции значения поправок получаются в результате обычной полной n-портовой калибровки, которая определяет также плоскость измерений, в которой достоверны заданные пользователем фазовые и амплитудные соотношения между выходными сигналами анализатора. Топологию исследуемого устройства можно задавать с высокой степенью гибкости, другими словами, любые два несимметричных порта можно объединить в один симметричный порт. Поскольку один внутренний источник R&S ZVA обслуживает два несимметричных порта (порты 1 и 2 относятся к одному источнику R&S ZVA; порты 3 и 4 — к другому), единственное ограничение заключается в том, что образующие симметричный порт несимметричные порты должны относиться к разным источникам.

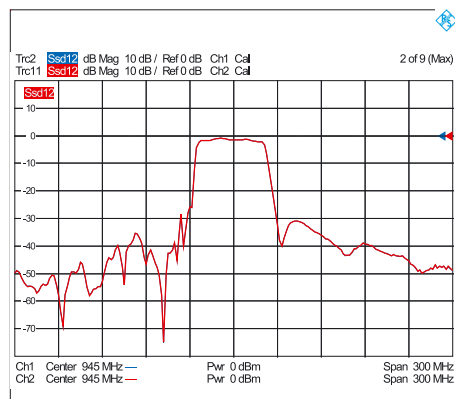


Рис. 2. Передаточная характеристика фильтра ПАВ, измеренная в виртуальном дифференциальном режиме (синяя линия), на рисунке не видна, потому что характеристика в истинно дифференциальном режиме (красная линия) полностью с ней совпадает

Векторные анализаторы цепей R&S ZVA с опцией TruDi поддерживают три режима работы, которые описаны ниже в порядке возрастания сложности:

1. Источник полностью скорректированных дифференциальных и синфазных выходных сигналов, амплитуда и фаза которых определяется в плоскости измерения, установленной в ходе обычной n-портовой калибровки. Пользователь может смещать плоскость измерения, изменяя длину линии передачи в каждом порту (transmission line offset), которая может обладать потерями. Можно также выполнять свипирование по величине разбаланса фаз и амплитуд несимметричных сигналов и провести калибровку мощности источника.

2. Источник работает так же, как и в режиме 1, плюс выполняется полностью скорректированные измерения всех, традиционных несимметричных или дифференциальных параметров, определяемых топологией исследуемого устройства. После обычной (несимметричной) калибровки мощности, можно даже задать с высокой точностью амплитуды дифференциальных и синфазных составляющих.

3. Источник работает так же, как и в режиме 1, плюс выполняется полностью скорректированное измерение всех, определяемых топологией исследуемого устройства S-параметров смешанного режима. Для выполнения этого измерения каждый симметричный порт возбуждается в двух режимах (дифференциальном и синфазном), а каждый несимметричный порт — в одном режиме.

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ РЕЖИМОВ ОДНИМ ЩЕЛЧКОМ

Переключение между истинно дифференциальным и виртуальным дифференциальным (то есть, математической суперпозицией) режимами выполняется одним щелчком мыши. После настройки двух измерительных каналов можно даже измерять одно и то же исследуемое устройство в двух режимах одновременно. Сравнение истинного и виртуального дифференциальных режимов приведено на рис. 2, который показывает передаточную характеристику фильтра ПАВ (ПАВ — поверхностная акустическая волна, surface-acoustic-wave), являющегося представителем пассивных устройств. Как и следовало ожидать, заметной разницы между режимами в этом случае не наблюдается.

В качестве дополнительного примера измерения на рис. 3 показано измерение коэффициента усиления малошумящего дифференциального усилителя (LNA) для WCDMA в режиме свипирования по мощности. При малых уровнях входного сигнала разница между двумя режимами практически не заметна. Однако с ростом мощности входного сигнала усилитель достигает точки компрессии 1 дБ при входной мощности около минус 10,5 дБм, тогда как в виртуальном режиме эта величина равна примерно минус 6,5 дБм. Для других дифференциальных устройств может наблюдаться и обратное поведение — то есть, более раннее достижение точки компрессии в виртуальном режиме.

На рис. 3 шкала входного сигнала в режиме измерения TruDi (истинно дифференциальных измерений) смещена на минус 3 дБ по отношению к шкале виртуального режима измерений. Такое смещение необходимо для сравнения двух режимов, потому что амплитуды дифференциального и несимметричного входных сигналов должны

совпадать. В виртуальном дифференциальном режиме установленное значение мощности R&S ZVA относится к несимметричному сигналу источника, тогда как в режиме TruDi, это значение показывает мощность дифференциального сигнала.

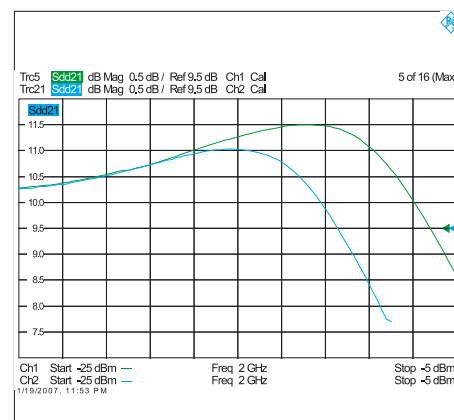


Рис. 3. Результат измерения коэффициента усиления дифференциального усилителя

Новая опция TruDi для R&S ZVA дает конструкторам ценный инструмент, позволяющий измерять — а не прогнозировать — основные характеристики дифференциальных устройств. И самое главное, конструкторы смогут исследовать поведение устройств при большом входном сигнале в реальных рабочих условиях. Такие измерения стали возможными только сейчас.

ЛИТЕРАТУРА

1. D.E. Bockelman, W.R. Eisenstadt. Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation. IEEE Trans. MTT, Vol. 43, No. 7, Jul. 1995, pp. 1530-1539.
2. D.E. Bockelman, W.R. Eisenstadt. Pure-Mode Network Analyzer for On-Wafer Measurements of Mixed-Mode S-Parameters of Differential Circuits. IEEE Trans. MTT, Vol. 45, No. 7, Jul. 1997, pp. 1071-1077.
3. J. Dunsmore. New Methods & Non-Linear Measurements for Active Differential Devices, IEEE MTT-S Digest 2003, Vol. 3, pp. 1655-1658.

With its R&S ZVA series of RF VNAs, which offer an optional true-differential measurement mode, leading VNA supplier Rohde & Schwarz is coming to the rescue of RF design engineers who need new tools to deal with the RF-IC revolution's new measurement challenges. The new R&S ZVA TruDi option provides system designers with a valuable tool that allows them to measure key characteristics of differential devices. Designers can investigate the large-signal behavior of these devices under real operating conditions.