

Эффективное использование данных S-параметров

Уилфредо РИВАС-ТОРРЕС

Одним из основных инструментов процесса разработки радиоэлектроники является использование измерений S-параметров. Эти измерения можно использовать в современных средствах автоматизированного проектирования радиоэлектроники (CAD) в качестве составной части процесса моделирования цепей. S-параметры описывают компонент в виде «черного ящика» и используются для эмуляции поведения электронных компонентов на определенных частотах. Существует много возможностей использования S-параметров в разработке и анализе цепей как с активными, так и с пассивными компонентами. Задача данной статьи — показать, как можно интегрировать S-параметры в процесс разработки с использованием CAD-систем.

S-параметры использовались для моделирования цепей буквально со времени своего появления. Практически всегда их можно применять при использовании методов синтеза и анализа, ориентированных на разработку ВЧ и СВЧ электроники. Во многих средствах моделирования есть блоки S-параметров, в которых можно задать значение каждого параметра отдельно. Рассмотрим пример, демонстрирующий, как можно использовать S-параметры для разработки малошумящего усилителя (МШУ).

S-параметры обеспечивают значения, требующиеся для таких видов анализа, как Stability and Gain Circles (круговые диаграммы стабильности и усиления). Однако для разработки МШУ потребуются также параметры малосигнального шума, такие как Nfmin, Sopt и Rn, для того, чтобы круговые диаграммы шума при каждом конкретном коэффициенте шума можно было построить в среде проектирования. Набор S-параметров и параметров шума, измеренных на частоте 1 ГГц, показаны в таблице.

Таблица. S-параметры и параметры шума сигналов низкого уровня			
S11	S12	S21	S22
0,728 < -71,556	0,08 < 50,066	9,837 < 129,906	0,772 < -48,669
NFmin	Rn	Sopt	
0,66 дБ	8,669 Ом	0,407 < 20,816	

В данной статье для всех примеров моделирования использовалась среда разработки ADS (Advanced Design System) от Agilent Technologies. На рис. 1 показана схема с отмеченными на ней S-параметрами и параметрами шума.

После запуска моделирования с данными можно работать в режиме пост-обработки,

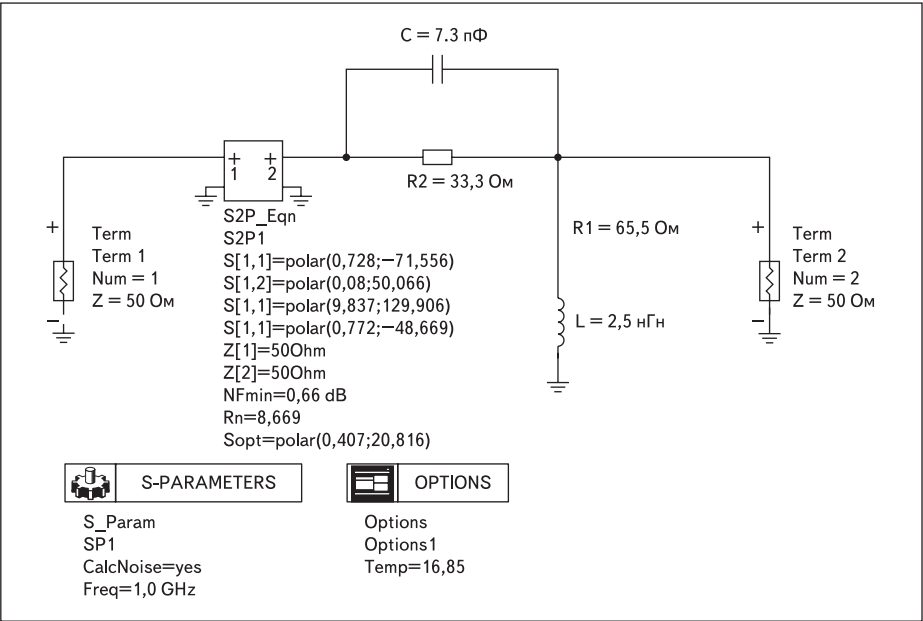


Рис. 1. Моделирование, включающее настройку параметров шума

чтобы получить нужную информацию для разработки МШУ, как это показано на рис. 2.

Этот пример анализа показывает большие возможности и гибкость использования S-параметров. Это очень полезно при проектировании, так как S-параметры можно измерить с помощью векторного анализатора цепей VNA (Vector Network Analyzer), а затем использовать в проектировании. Чтобы еще полнее использовать данную возможность, можно сохранить измеренные S-параметры по частоте в файле с форматом, который способна использовать среда проектирования. Есть два формата данных, которые можно записать с помощью VNA и использовать в среде ADS — citifile и touchstone [1]. Этот подход

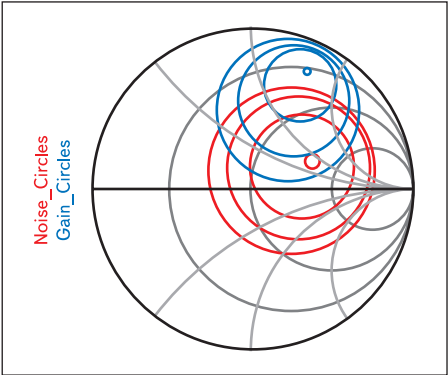


Рис. 2. Круговые графики шума и возможного усиления на диаграмме Смита

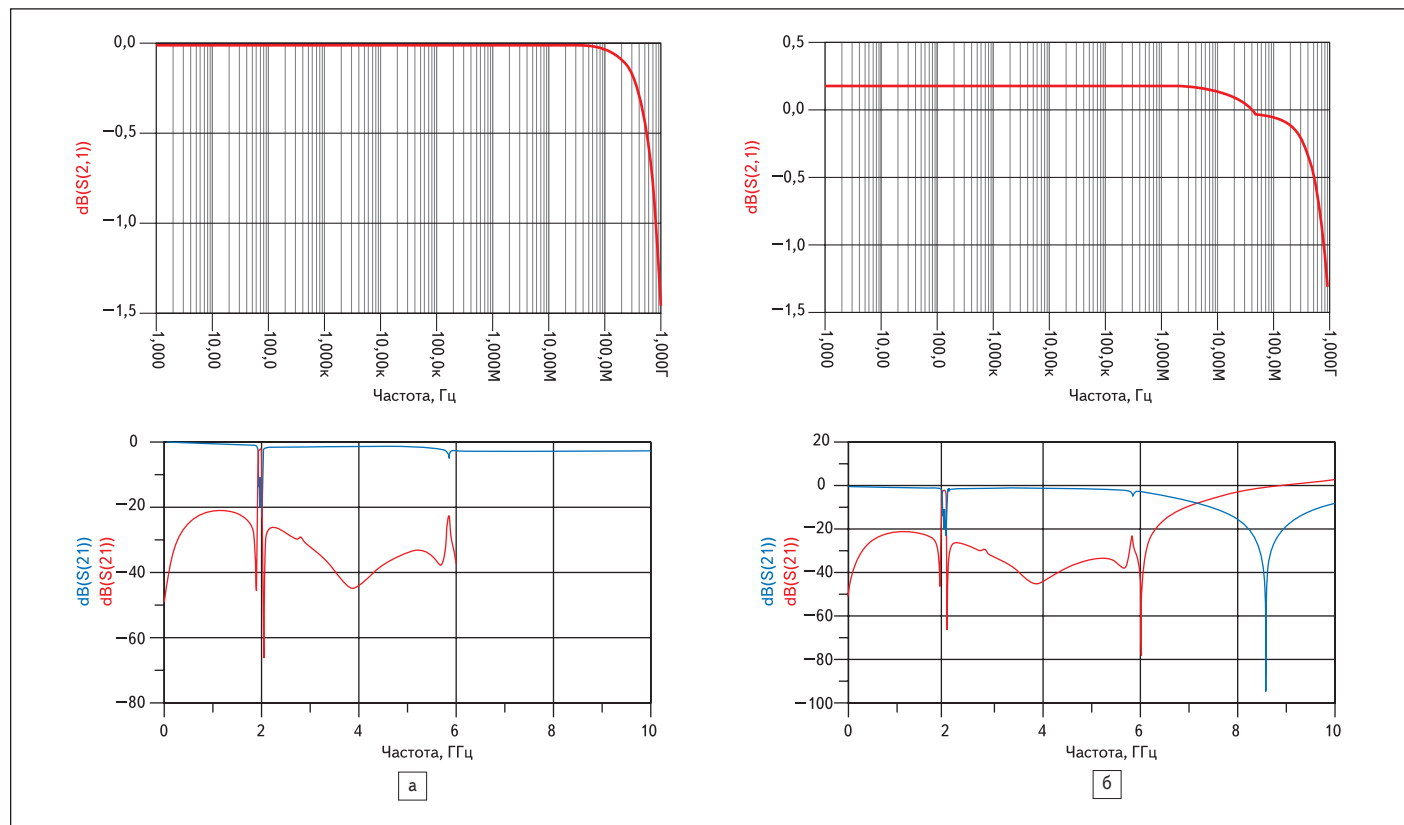


Рис. 3. Результаты измерения S-параметров катушки индуктивности (а) и ПАВ-фильтра (b)

дает большую гибкость, чем просто S-параметры в одной точке. Обычно на устройства, для которых не существует компактной или SPICE-модели, у разработчиков есть данные, которые они получают либо от производителей компонентов, либо из лабораторий по тестированию. В этой статье упор делается на формат touchstone, поскольку он более распространен, чем citifile.

Разработчики могут найти большое количество результатов измерения S-параметров на сайтах производителей в Интернете. Кроме того, у них могут быть даже результаты измерений, производившихся их собственной компанией. В принципе, это лучше, чем ничего. Однако проблема в том, что они были измерены в условиях, отличающихся от тех, для которых предназначена разработка. И это может внести в процесс моделирования значительные ошибки. Например, конденсатор может иметь различные значения резонансной частоты на различных типах печатных плат из-за характеристик монтажных площадок и самой печатной платы (например, толщины, диэлектрической постоянной и т. д.). Те же проблемы обнаруживаются и у полупроводниковых приборов (таких как транзисторы в МШУ). Чтобы избежать этих проблем, необходимо проводить лабораторные измерения с установкой компонентов на печатную плату того типа, который будет использоваться в производстве.

Еще одна проблема с файлами touchstone возникает, когда пользователи пытаются за-

пустить моделирование на частотах, находящихся вне диапазона, предусмотренного в файле данных. ПО может либо экстраполировать данные, либо остановить моделирование. Существует два популярных метода экстраполяции: использование ближайшей точки данных, в которой значение известно (константная экстраполяция) или использование двух ближайших известных точек данных и осуществление линейной экстраполяции. Оба метода являются аппроксимирующими, что при неверном использовании данного метода может вызывать серьезные ошибки и даже проблемы со сходимостью моделирования. (См. два примера на рис. 3.)

Оба файла данных на рис. 3 содержат данные для частот от 50 МГц до 6 ГГц. Обратите внимание — на результатах измерения параметров катушки индуктивности линейная экстраполяция создала точку изгиба на частоте в 50 МГц, что, как мы знаем, некорректно в соответствии с ожидаемым поведением катушки. Результаты линейной экстраполяции данных ПАВ-фильтра показывают усиление в 8,5 ГГц, что невозможно для пассивного устройства. Пользователю необходимо принимать во внимание тот частотный диапазон, который он может использовать — он описан в touchstone-файле. Это снизит вероятность некорректной экстраполяции.

Еще одним важным аспектом использования файлов данных S-параметров является то, что средство моделирования должно иметь возможность интерполяции внутри диапазо-

на имеющихся данных. Однако бывают случаи, когда некоторые участки графика характеристик требуют более плотного размещения точек данных, иначе можно полностью упустить некоторые важные аспекты характеристики (например, высокочастотный резонансный контур). В этом случае разработчик может произвести измерения в широкой полосе, а затем сфокусироваться на узкой полосе, которая его интересует, чтобы осуществить второе измерение с большим разрешением по частоте, а потом вручную совместить эти файлы. Сами файлы являются файлами данных в формате ASCII, и их можно редактировать в любом текстовом редакторе.

S-параметры сигналов высокого уровня

Данная статья подразумевает, что S-параметры по своей природе линейны. Для пользователя CAD это означает, что описываемое ими устройство либо является пассивным, либо будет восприниматься средой проектирования как работающее в линейной области характеристики. Следовательно, при анализе S-параметров, даже в условиях нагрузки сигналами высокого уровня, выходной сигнал не будет содержать гармонических искажений. Насколько эффективны эти S-параметры «высокого уровня» при проектировании? Когда нет других моделей, S-параметры предоставляют описание типа «черного ящика» даже для анализа сигналов высокого уровня.

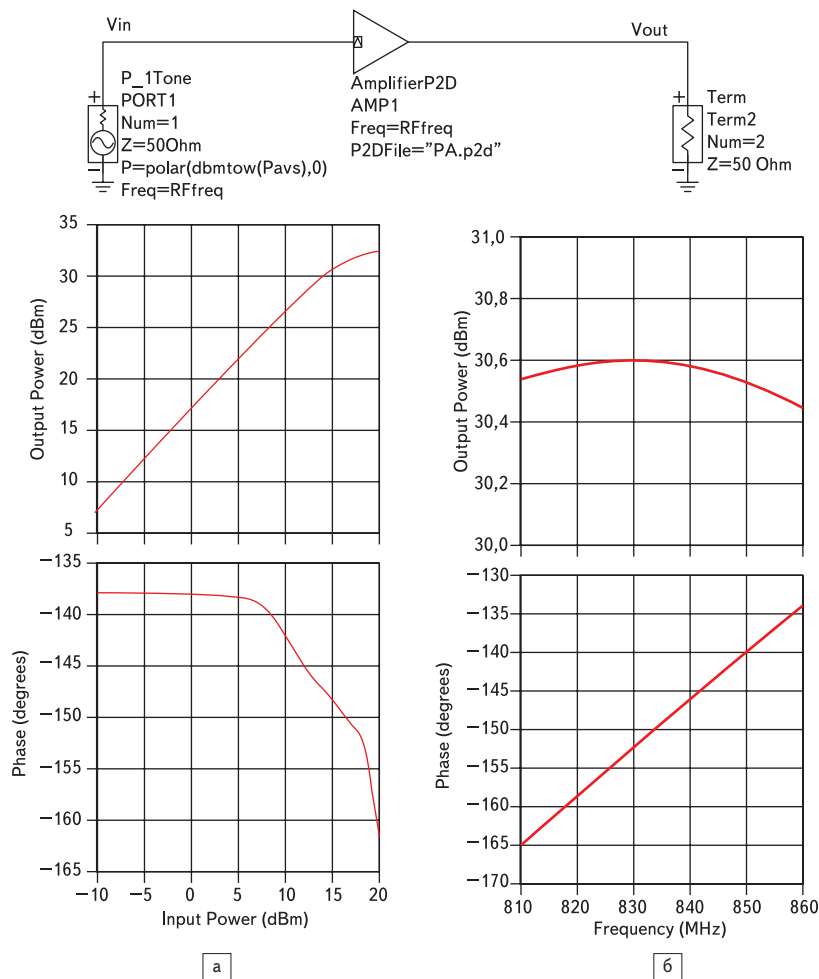


Рис. 4.

а) Результаты свипирования мощности AmplifierP2D; б) результаты свипирования частоты сигналов высокого уровня

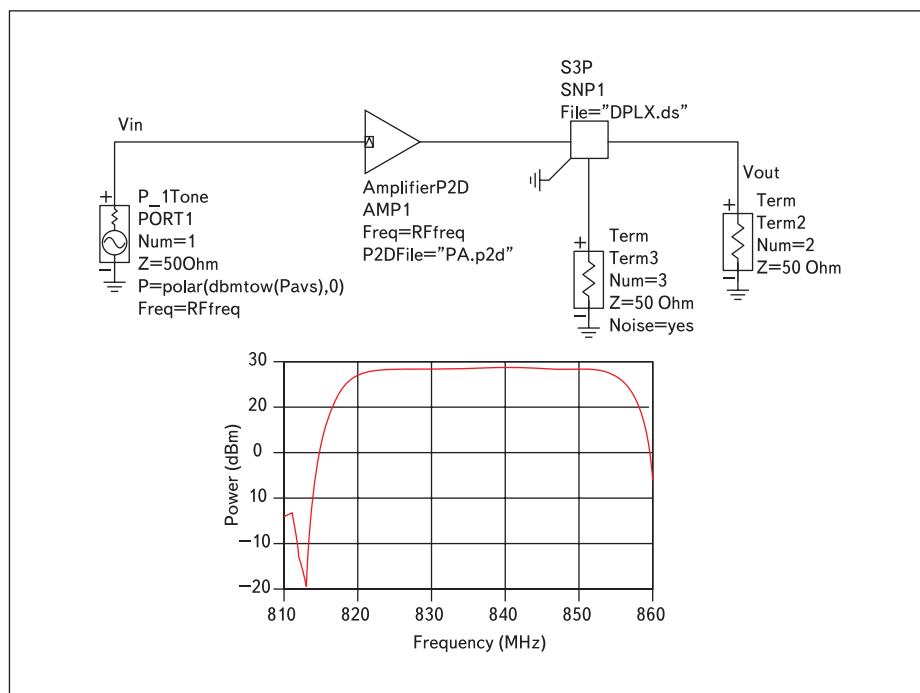


Рис. 5. Цепь усилителя и дуплексера (а) и результаты моделирования (б)

Частью преимущества по использованию S-параметров для анализа сигналов высокого уровня является наличие файла данных, который содержит измеренные S-параметры как функцию от мощности и частоты (также называемые S-параметрами сигналов высокого уровня). В среде ADS это реализовано в виде P2D-файла. P2D-файл вызывается специальным компонентом среды моделирования, называемым AmplifierP2D. Для сигналов высокого уровня предпочтительнее использовать именно P2D-файл, а не обычный файл touchstone, так как touchstone предназначен для одиночного уровня мощности сигнала низкого уровня, в то время как в файле P2D содержатся S-параметры по частоте и мощности. P2D-файл создается программным обеспечением. Другими словами, программная среда предоставляет возможность управления контрольно-измерительным оборудованием и создания P2D файла. Этот файл также может быть создан на основании результатов моделирования.

Теперь предлагается взглянуть на несколько примеров, чтобы проиллюстрировать полезность моделей данных P2D. Сначала мы проанализируем выходную мощность усилителя мощности в сравнении с входной при фиксированной частоте входного сигнала, как показано на рис. 4а. Файл P2D можно использовать также для моделирования выходной мощности в сравнении с частотой, как показано на рис. 4б (при фиксированной входной мощности).

Еще одно применение файлов P2D и touchstone — это анализ на системном уровне. Например, можно узнать, что произойдет с выходным сигналом после соединения вышеописанного усилителя мощности с дуплексером (который представлен файлом touchstone). Цепь и результаты анализа показаны на рис. 5.

Эти файлы данных можно также использовать с моделированными источниками сигналов в среде Circuit Envelope. Файл P2D — это мгновенный снимок производительности тестируемого устройства с нагрузкой однотоновым сигналом и условно считается настроенной моделью. Это значит, что при использовании компонента AmplifierP2D в среде ADS есть возможность получить S-параметры на частоте, указанной на компоненте (помните — на выходе нет гармоник). Следовательно, очень широкая полоса модуляции может вызвать значительные ошибки, особенно если измерения в смежных каналах также представляют интерес. Например, график на рис. 6 показывает выходную мощность несущей, которая входит в P2D-модель и дискретную модель цепи. Заметьте, что внутри полосы модуляции эти графики практически идентичны, а по мере того, как сигнал уходит дальше от несущей частоты, их спектральные плотности начинают отличаться.

Еще одним важным преимуществом использования файлов P2D является ранний

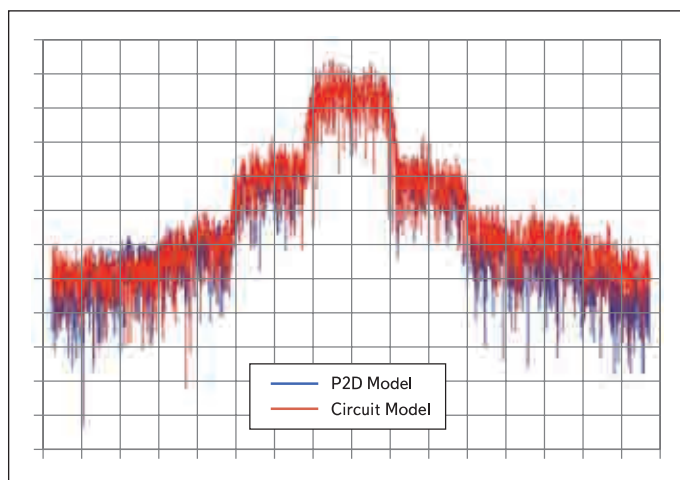


Рис. 6. Моделирование с использованием файла P2D со смоделированным сигналом

доступ к параметру производительности проекта. На ранних этапах проекта системному инженеру может потребоваться информация о запасе энергетического потенциала линии связи, а значит, ему нужно знать проектную производительность усилителя мощности. Обычно используется параметр из спецификации (например, усиление в точке IP3 и т. д.). Этот метод долгое время оставался основным, но что если, используя один-единственный файл, мы сможем получить доступ к реально измеренной производительности, которую можно включить в анализ? Это является примером того, как файл P2D может дать гораздо более высокий уровень точности, чем значение, указанное в спецификации. Еще одно возможное применение P2D касается защиты интеллектуальной собственности. Файлы P2D и touchstone можно сгенерировать прямо в среде моделирования. Значит, в течение производственного цикла производитель может предоставить данные, на основании которых команда системных разработчиков или клиент могут без производства реального устройства понять, насколько предлагаемая разработка соответствует остальным требованиям системы.

Точность данных в файлах моделей важна для успешного завершения всего проекта. Данные, основанные на результатах реальных измерений, точны настолько, насколько точными были сами измерения, и должны наиболее точно имитировать условия, существующие в реальной системе (смещение, температура и т. д.). Важно помнить, что цепи с параметрами, изменяющимися во времени, (например, цикл контроля мощности) или с сильными эффектами памяти не захватываются и не включаются в P2D-модель.

Понимание того, как можно использовать файлы P2D и touchstone, очень полезно для осуществления цикла разработки ВЧ-цепей. Файлы P2D также дают дополнительное увеличение скорости моделирования. Использование моделей P2D может на несколько порядков ускорить моделирование очень сложных проектов по сравнению с дискретной разработкой благодаря наличию таблицы поиска в P2D-файле. ■

Литература

1. S-Parameter Techniques for Faster, More Accurate Network Design. Application Note 95-1. Agilent Technologies.
2. Abrie, Pieter L. D. RF and Microwave Amplifiers and Oscillators. Artech House. 1999.
3. Gonzalez G. Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design. Prentice Hall. 1997.
4. ADS2005A manual. www.eesof.tm.agilent.com
5. S-Parameter Design. Application Note 154. Agilent Technologies.