

# Cómo utilizar de manera eficaz los datos de parámetros S

Por Wilfredo Rivas-Torres

Wilfredo Rivas-Torres es licenciado en Ciencias de Ingeniería Electrónica (BSEE) por la Universidad Politécnica de Puerto Rico (UPPR). Además, posee un master en Ciencias de Ingeniería Electrónica (MSEE) otorgado por la Florida Atlantic University en mayo de 2004. Trabaja actualmente como ingeniero de aplicaciones en la división EESof EDA de Agilent. E-mail de contacto: wilfredo\_rivas-torres@agilent.com.

*Una de las herramientas básicas del proceso de diseño de radiofrecuencia (RF) consiste en la utilización de medidas de parámetros S. Estas medidas pueden utilizarse con las herramientas CAD (diseño por ordenador) actuales como parte del proceso de simulación de circuitos. Los parámetros S describen un componente como si se tratara de una caja negra y se utilizan para simular el comportamiento de los componentes electrónicos en función de la frecuencia. Existen diversas utilidades para los parámetros S en los procesos de análisis y diseño de componentes de circuitos activos y pasivos. Este artículo se centra principalmente en la manera de incorporar los parámetros S en el proceso de diseño desde la perspectiva de las herramientas CAD.*

como  $N_{fmin}$ ,  $S_{opt}$  y  $R_n$ ), de manera que los círculos de ruido necesarios para incluir en el diseño de un tipo de figura de ruido puedan integrarse en el simulador. La Tabla 1 muestra un conjunto de parámetros S y parámetros de ruido medidos a 1 GHz.

En este artículo se utilizará el sistema de diseño avanzado (ADS) de Agilent Technologies para todas las simulaciones. La figura 1 muestra el diagrama que incluye los parámetros S y parámetros de ruido.

Este análisis muestra el potencial y la versatilidad que ofrece la utilización de parámetros S. El proceso es extremadamente útil en el flujo del proceso del diseño en sí, ya que los parámetros pueden medirse utilizando un analizador de redes vectorial (VNA) y utilizarse después en la simulación. Con el fin de ampliar esta capacidad básica, es posible guardar los parámetros S en función de la frecuencia que se han medido en un formato de archivo compatible con el simulador de

La utilización de parámetros S para la simulación de circuitos lleva efectuándose casi desde el momento en que se introdujeron por primera vez. Podría garantizarse casi con toda certeza que las herramientas de síntesis y análisis que se utilizan en aplicaciones de RF y microondas incorporan alguna función de simulación. En muchos simuladores encontramos bloques de parámetros S en los que es necesario especificar el valor para cada parámetro S por separado. En el ejemplo que se muestra a continuación se describe de manera más detallada la forma de utilizar los parámetros S para el diseño de un LNA (amplificador de bajo ruido).

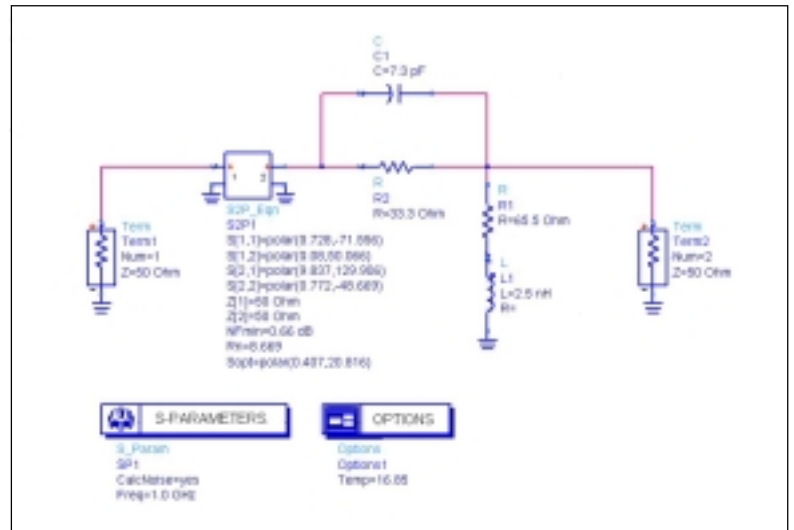
Los parámetros S proporcionan los valores necesarios para efectuar análisis tales como de estabilidad y círculos de ganancia. Sin embargo, para el diseño de un LNA también habrá que tener en cuenta los parámetros de ruido de baja señal (tales

Figura 1. Simulación con parámetros S, incluida la configuración de análisis de ruido

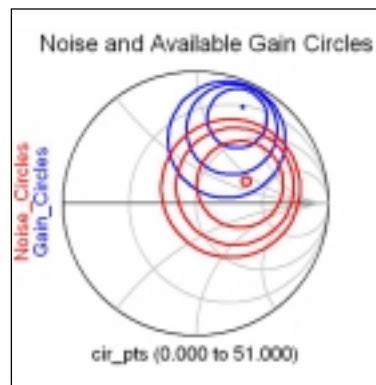
Figura 2. Círculos de ruido y de ganancia disponible

Tabla 1. Parámetros S y parámetros de ruido de baja señal

S11	S12	S21	S22
0.728 ∠ -71.556	0.06 ∠ 50.666	9.837 ∠ 129.966	0.772 ∠ -48.669
$N_{fmin}$ (figura de ruido mínima)	$R_n$ (resistencia de ruido)	$S_{opt}$ (nivel de entrada óptimo)	
0.66 dB	8.669 $\Omega$	0.407 ∠ 25.816	



Una vez efectuada la simulación, es posible volver a procesar los datos a fin de obtener la información necesaria para el diseño del LNA, tal como puede verse en la figura 2.



modo que éste pueda utilizarlo. Existen dos formatos de archivos: citifile y Touchstone (véase la referencia 1), que pueden crearse utilizando de manera conjunta un VNA y un ADS. Este método proporciona mayor flexibilidad si se compara con la utilización de parámetros S en sistemas monopunto. En la práctica, para efectuar simulaciones en aquellos dispositivos para los que no existen disponibles modelos de programas de tipo SPICE (programa de simulación con énfasis en circuitos integrados) o compacto, los diseñadores utilizan datos que proceden del fabricante de los componentes o de medidas obtenidas en laboratorios. En este artículo nos centraremos en el formato de archivo Touchstone y

que, de los dos formatos disponibles, su utilización está muchísimo más extendida.

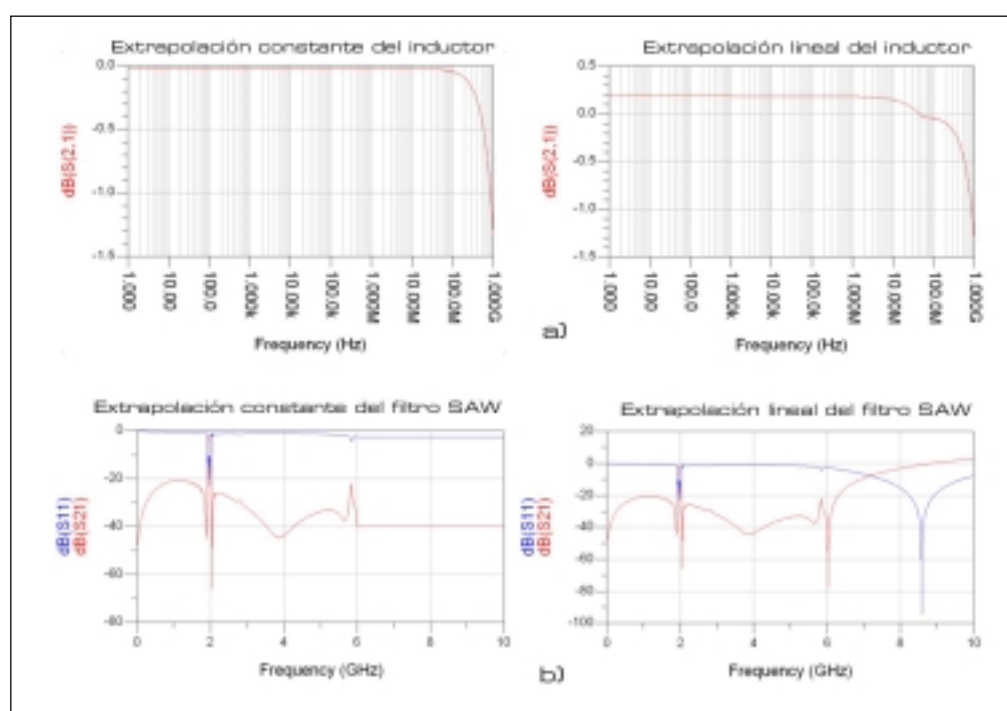
Los diseñadores pueden obtener numerosas medidas de parámetros S de las páginas de Internet de los fabricantes de componentes, o incluso es posible que sus empresas posean archivos de datos de medida. En general, éste es un buen punto de partida. Sin embargo, las medidas de los dispositivos se habrán llevado a cabo en entornos diferentes al de la aplicación final que se tiene como objetivo. Esto podría introducir algunos errores importantes en la simulación. Por ejemplo, un condensador podría mostrar frecuencias de resonancia distintas cuando se instala en diferentes tipos de placas de circuito impreso (PCB). Esto se debe a la influencia de los zócalos de montaje y a las características del material de la PCB (tales como espesor, constante dieléctrica, etc.). Un problema similar suele ocurrir también con dispositivos de estado sólido (tales como en transistores para aplicaciones de LNA). Para evitar dichas anomalías, utilice medidas de laboratorio con los dispositivos instalados en el mismo tipo de PCB que tiene pensado fabricar.

Otra área problemática a tener en cuenta con los archivos Touchstone es cuando, ya sea de manera accidental o a propósito, se efectúan simulaciones a frecuencias que están fuera de las que se incluyen en el archivo de datos. En estos casos es posible que el software incorpore un mecanismo para extrapolar los datos o detener la simulación, ya que no posee datos válidos para una parte o la totalidad del rango de frecuencia. Para efectuar la extrapolación de los datos existen dos técnicas bastante extendidas: la primera (i) que utiliza el punto de datos más cercano que se conoce o extrapolación constante, y la segunda (ii) que utiliza los dos puntos de datos más cercanos que se conocen y realiza una extrapolación lineal. Estas técnicas

de extrapolación son simplemente una aproximación que, de no seleccionarse de la manera correcta, pueden provocar errores importantes e incluso problemas de convergencia durante la simulación. Consulte los dos ejemplos que se muestran en la figura 3.

el equipo de extrapolación apropiado. Una manera alternativa de solucionar este problema es introduciendo manualmente el punto de DC o el valor de alta frecuencia en el archivo Touchstone. Este método elimina el riesgo de una extrapolación incorrecta.

Figura 3. (a) resultados de los parámetros S del inductor, (b) resultados de los parámetros S del filtro de onda acústica de superficie (SAW)



Los dos archivos de datos que se muestran a modo de ejemplo en la figura 3 recogen datos entre frecuencias que abarcan de 50 MHz a 6 GHz. En los resultados del inductor se aprecia cómo la extrapolación lineal produce un punto de inflexión a 50 MHz, que sabemos que es incorrecto debido a que difiere del tipo de comportamiento que se espera del inductor.

El filtro de SAW muestra una "ganancia" por encima de los 8,5 GHz cuando se utiliza el equipo de extrapolación lineal, algo que es imposible para un dispositivo de tipo pasivo.

El usuario deberá conocer el rango de frecuencia útil incluida en el archivo Touchstone y seleccionar

Un aspecto extremadamente importante de los archivos de datos de los parámetros S es que el simulador deberá también poseer capacidad de interpolación dentro del margen que abarcan los datos. Sin embargo, es posible que haya casos en los que cierta área de la respuesta requiera muestreos de datos a intervalos más cortos; de lo contrario, se perderían completamente algunos aspectos importantes de la respuesta (tales como resonancias de circuito con un elevado factor Q). En este caso, el diseñador podrá medir primero una banda ancha para concentrarse después en la banda más estrecha que realmente le interesa, efectuando una segunda medida con una resolución de frecuencia

más precisa y combinando manualmente estos archivos. Los archivos consisten en archivos de datos en formato ASCII y pueden editarse con cualquier programa de edición de texto.

### Parámetros S de señal elevada

En nuestro argumento partimos de la base de que los parámetros S son lineales por definición. Para el usuario de aplicaciones CAD, esto significa que el dispositivo representado es o bien pasivo, o se asume que funciona en la zona lineal de la respuesta proporcionada por el simulador. Por lo tanto, al realizar un análisis con parámetros S en el que incluso puede efectuarse la medida a una señal de excitación elevada, no se producirán armónicos en la salida. ¿Qué efectividad tienen estos parámetros S de señal elevada en el proceso de diseño? Cuando no existe ningún otro modelo disponible, los parámetros S proporcionan una representación a modo de caja negra incluso para análisis de señal elevada.

Una de las ventajas que posee la utilización de los parámetros S para análisis de señal elevada es la capacidad de poder disponer de un archivo de datos que incluye los parámetros S medidos en función de la potencia y de la frecuencia (también denominados parámetros S de señal elevada). En el simulador ADS esto se realiza mediante el archivo P2D. En este caso, es un componente de simulación especial denominado AmplificadorP2D el que se encarga de ejecutar el archivo P2D. Es preferible la utilización de un archivo P2D en lugar de un archivo Touchstone para señal elevada ya que, por definición, el archivo Touchstone está diseñado para un nivel de potencia único a baja señal, mientras que el archivo P2D permite acomodar parámetros S en función tanto de la frecuencia como de la potencia. La

aplicación de software facilita la creación del archivo P2D medido. En otras palabras, el software posee la capacidad de controlar los instrumentos y de crear el archivo P2D. También es posible crear el archivo P2D a partir de los resultados obtenidos de las simulaciones.

A continuación mostraremos varios ejemplos para representar gráficamente la utilidad del modelo de datos de un archivo P2D. En primer lugar se analizarán los valores de potencia de salida con respecto a los de entrada de un amplificador de potencia (PA) a una frecuencia de entrada específica (tal como se muestra en la figura 4a). El archivo P2D puede utilizarse también para simular la relación entre potencia de

salida y frecuencia, tal como se muestra en la figura 4b (a una potencia de entrada específica).

Otra utilización importante de los archivos P2D y Touchstone es el análisis de nivel del sistema; por ejemplo, qué sucede en la salida después de conectar el PA mencionado anteriormente a un diplexor (representado por un archivo Touchstone). El circuito y los resultados del análisis se muestran en la figura 5.

Estos archivos de datos pueden utilizarse también con fuentes moduladas en la simulación de un envolvente de circuito. El archivo P2D proporciona una «instantánea» del rendimiento del dispositivo bajo prueba (DUT) cuando se somete a una excitación monotónica y, por lo

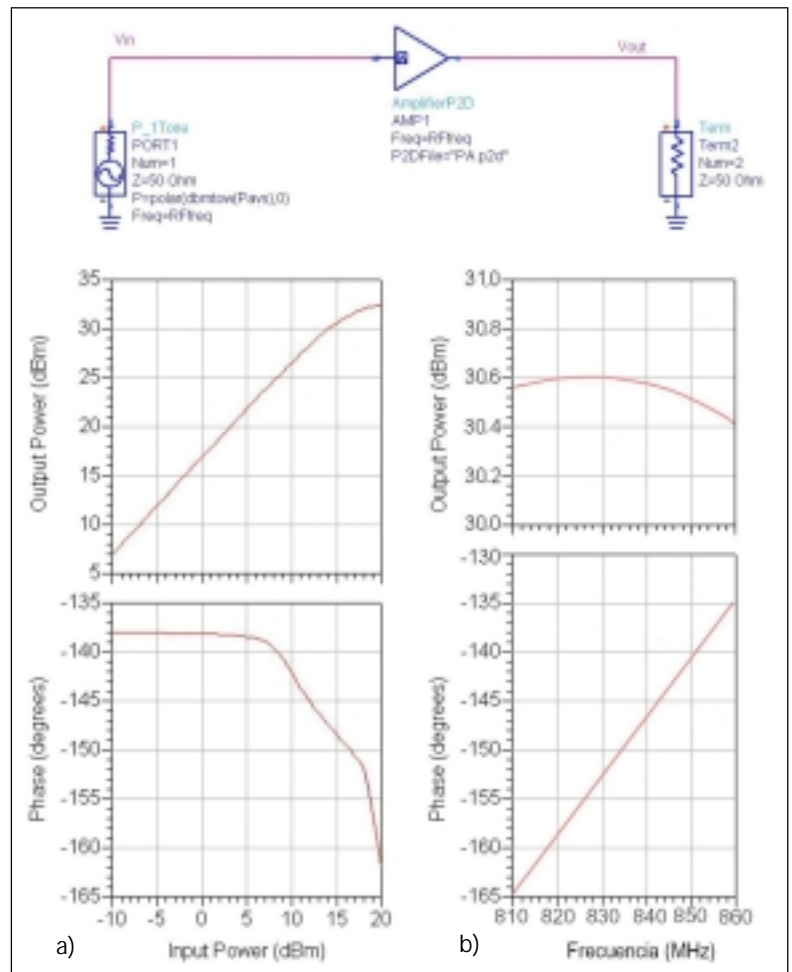


Figura 4. Amplificador P2D: (a) resultados de los barridos de potencia, (b) resultados de los barridos de frecuencia a señal elevada

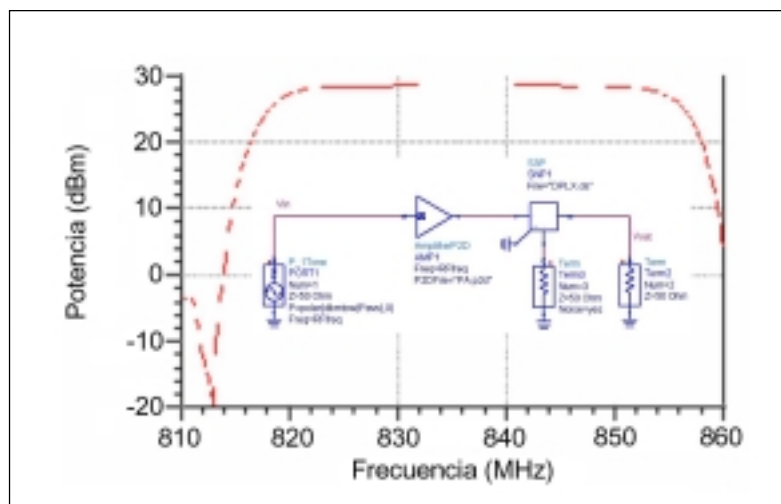


Figura 5. (a) circuito del PA y del diplexor, (b) resultados de la simulación.

tanto, se considera un modelo sintetizado. Esto significa que cuando se utiliza el componente Amplificador P2D en ADS, sólo se conseguirán los parámetros S a la frecuencia especificada para el componente (recuerde que tampoco se producirán armónicos en la salida). Por lo tanto, un ancho de banda de modulación demasiado ancho puede producir errores importantes, en particular si estamos interesados en las medidas de los canales adyacentes. Por ejemplo, el gráfico que aparece en la figura 6 muestra la salida de una señal portadora modulada, suministrada tanto a un modelo P2D como a un modelo individual de circuito. Observe que en el interior del ancho de banda de modulación, las dos señales parecen casi idénticas y que, a medida que la señal se aleja de la frecuencia portadora, la densidad de los espectros de ambas señales comienza a ser distinta.

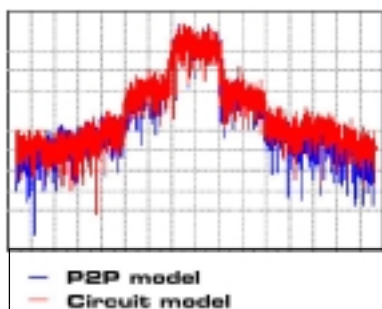


Figura 6. Simulación de archivo P2D utilizando una señal modulada

quiera sea necesario fabricar el hardware previsto.

La precisión de los archivos de modelos de datos es esencial para el éxito de la operación. Los archivos basados en las medidas son tan precisos como puedan serlo las medidas en sí y deberán recrear, siempre que sea posible, las condiciones reales de diseño del sistema (polarización, temperatura, etc.). Es importante tener en cuenta que si se utiliza un circuito de variación temporal (p. ej., un bucle de control de potencia) o efectos potentes de memoria, éstos no serán capturados o incluidos en el modelo P2D.

Llegar a entender la manera de utilizar los archivos Touchstone y P2D puede ser muy útil en la fase de diseño de circuitos de RF. Además, los archivos P2D proporcionan una ventaja adicional en lo que a velocidad de simulación se refiere. En simulaciones de diseños muy complejos, la utilización de un modelo P2D puede proporcionar velocidades superiores en varios órdenes de magnitud a las de un diseño individual debido al tipo de tabla de consulta del P2D.

## Referencias

- [1] Nota de aplicación 95-1 de Agilent Technologies denominada "S-Parameter Techniques for Faster, More Accurate Network Design" (Técnicas de parámetros S para diseños de redes más precisas y rápidas).
- [2] Abrie, Pieter L. D., "RF and Microwave Amplifiers and Oscillators" (Osciladores y amplificadores de RF y microondas), Artech House (1999).
- [3] González, G., "Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design", (Diseño y análisis de amplificadores con transistores de microondas) Prentice Hall (1997).
- [4] Manual ADS2005A: <http://eesof.tm.agilent.com/>
- [5] Nota de aplicación 154 de Agilent Technologies "S-Parameter Design" (Diseño de parámetros S). □

Otra utilización importante de los archivos Touchstone y P2D es su pronta accesibilidad de cara al rendimiento de diseño. En las primeras etapas de un proyecto es posible que el ingeniero de sistemas necesite tener acceso al margen del presupuesto de potencia e investigar el rendimiento del PA. El proceso típico es utilizar parámetros del tipo hoja de datos (p. ej., ganancia, punto de compresión IP3 de 1 dB, etc.). Este proceso ha supuesto desde hace mucho tiempo la práctica habitual utilizada. Sin embargo, ¿qué sucedería si con tan sólo un archivo pudiéramos obtener el rendimiento medido para incorporarlo en el análisis? Esta situación es un ejemplo perfecto en el que un archivo P2D puede proporcionar un nivel de precisión mucho más alto del que pudiera estar disponible en una hoja de datos. Otro tipo de utilización sería en casos de protección de la propiedad intelectual. Los archivos P2D y Touchstone pueden crearse directamente desde el simulador. Por consiguiente, durante la fase de diseño, un fabricante o equipo de diseño podría proporcionar datos de diseño que permitirían al equipo de diseño de sistemas o al cliente determinar de antemano si el diseño propuesto se adapta a los requisitos generales del sistema, sin que ni