

Soluciones para la caracterización no lineal de amplificadores de alta potencia

Por Keith Anderson de Agilent Technologies

Agilent Technologies
www.agilent.com

Los amplificadores de RF de alta potencia se utilizan en sistemas de telecomunicaciones, biomédicos y militares. Estos amplificadores, con niveles de potencia de salida que alcanzan hasta 1 kW, suelen estar diseñados para operar en compresión o casi en compresión con el fin de proporcionar la máxima potencia de salida posible. Esto puede dar lugar a generación de armónicos, distorsión de intermodulación y compresión de ganancia, que a menudo constituyen subproductos no deseados. Por ello, el diseño de amplificadores de alta potencia requiere un análisis detallado de su comportamiento no lineal.

Tradicionalmente, a la hora de diseñar sistemas con amplificadores de alta potencia, el diseñador medía los parámetros S del amplificador con un analizador vectorial de redes (VNA), cargaba los resultados en un simulador de radiofrecuencia, agregaba otros elementos del circuito modelado o medido y, a

continuación, ejecutaba una simulación para predecir el rendimiento del sistema, como los efectos de ganancia y carga. Dado que los parámetros S asumen que todos los elementos del sistema son lineales, este sistema no funciona bien en la caracterización no lineal de dispositivos como los amplificadores de alta potencia. Los errores son particularmente apreciables si se miden los parámetros S de dos dispositivos que presentan un comportamiento no lineal, se simula la cascada de esos dispositivos y luego se compara el resultado con una medida real de los dos dispositivos en cascada.

El analizador vectorial de redes no lineales

Para caracterizar dispositivos no lineales, el VNA de Agilent ha evolucionado hasta transformarse en un moderno analizador vectorial de redes no lineales (NVNA). El NVNA puede utilizarse para me-

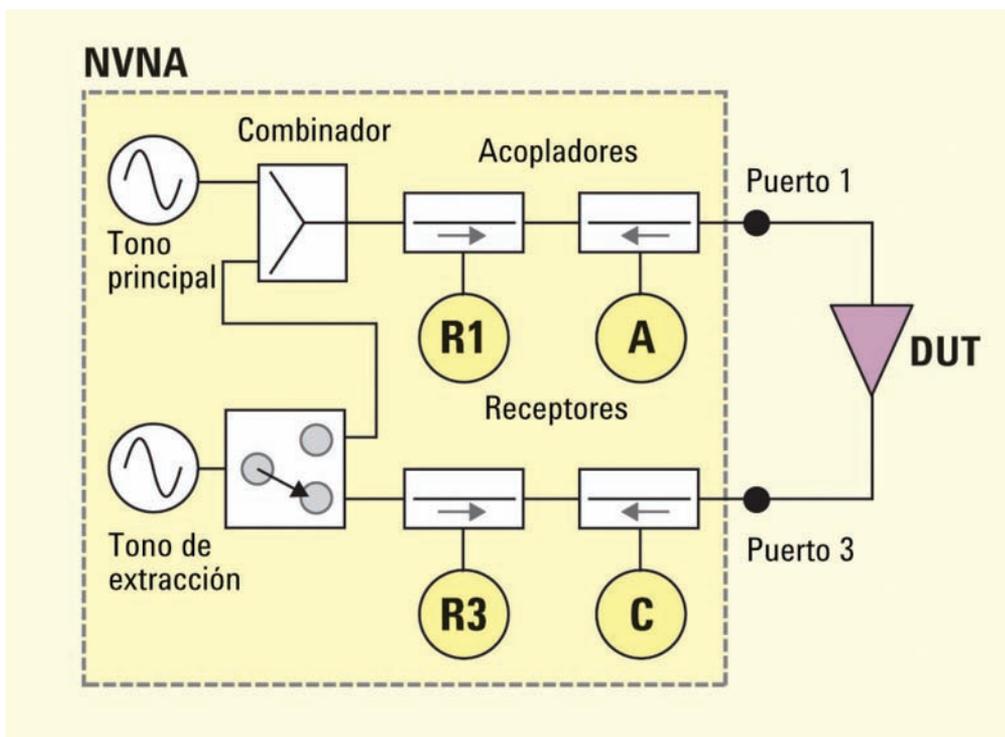
dir características no lineales de un amplificador de alta potencia expresadas como un conjunto de X-parameters*. A diferencia de los parámetros S, un simulador de radiofrecuencia puede utilizar estos X-parameters para simular con precisión el rendimiento de un sistema que contiene elementos no lineales.

Un NVNA es similar a un analizador de redes estándar. Sin embargo, puede estimular al dispositivo sometido a prueba (DUT) con dos fuentes de RF en lugar de una (véase la Figura 1). Para las medidas de X-parameters, la primera fuente proporciona un tono principal que se utiliza para excitar el DUT a sus frecuencias y niveles de potencia normales, mientras que la segunda fuente proporciona un tono de extracción que sirve para medir el rendimiento de baja señal del DUT. Durante una secuencia de medida típica, el tono principal se definirá con múltiples frecuencias y niveles de potencia, mientras que el tono de extracción se definirá con el tono principal y los armónicos de la entrada y la salida del DUT. Las ondas de entrada y salida del DUT se medirán en estas condiciones y se generarán X-parameters a partir de estas medidas.

Configuración del amplificador a +48 dBm

Normalmente, para medir un amplificador de alta potencia con un NVNA, será necesario realizar algunas modificaciones en los instrumentos. Los niveles de alta potencia pueden dañar el analizador de redes. Además, a la hora de elegir una configuración de alta potencia también deben considerarse la potencia de salida de la fuente, las pérdidas de trayecto internas, la compresión del receptor y el nivel de ruido del receptor. Es fundamental que el equipo de pruebas

Figura 1. Diagrama de bloques del NVNA



NVNA incluya un acceso directo a sus receptores internos para que sea posible realizar las modificaciones de alta potencia.

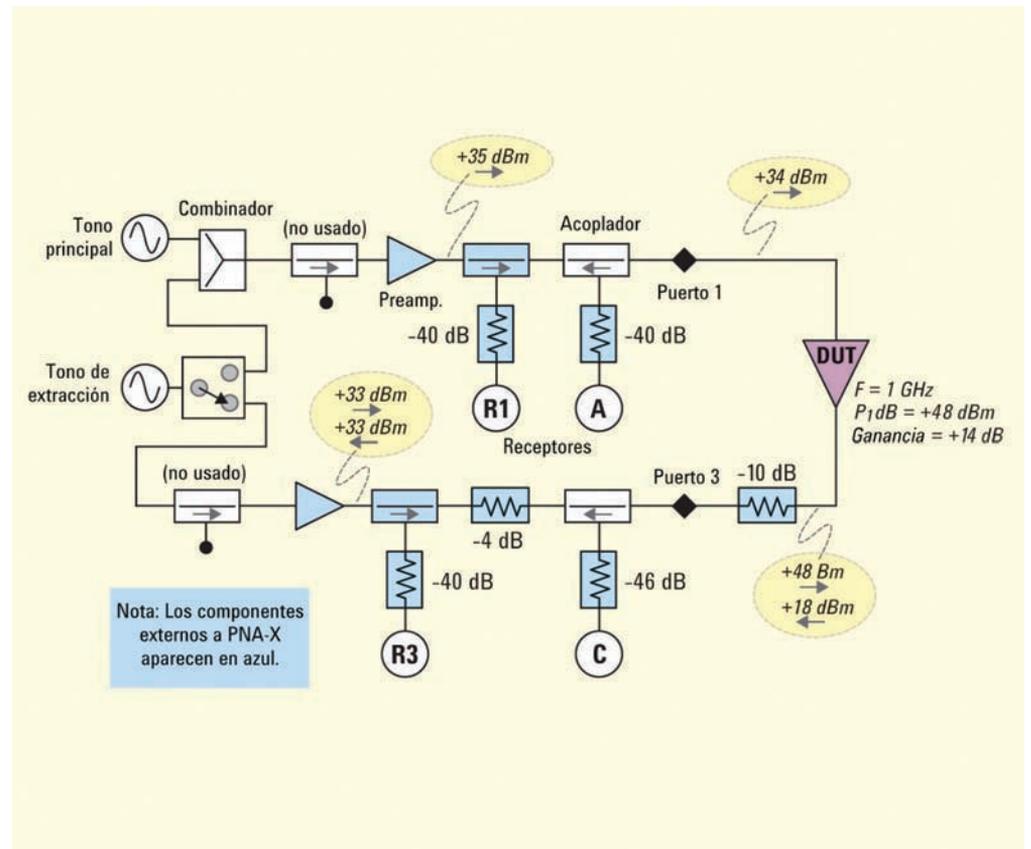
La configuración siguiente (véase la Figura 2) está diseñada para medir un amplificador de 1 GHz con ganancia de +14 dB y potencia de salida de +48 dBm utilizando un analizador de redes PNA-X de Agilent, modelo N5242A (opciones 423 y H85). La configuración requiere la incorporación de dos preamplificadores, dos acopladores y seis atenuadores (representados en gris).

Modificaciones del puerto de entrada

El puerto 1 del NVNA, que está conectado al lado de entrada del DUT, se modificó añadiendo un preamplificador, un acoplador y dos atenuadores al equipo de pruebas de RF.

Se añadió un preamplificador de +35 dBm para suministrar una entrada de +34 dBm al DUT. Se asume que los dos acopladores tienen una pérdida combinada de -1 dB. El preamplificador se añadió por detrás de los acopladores de referencia y de prueba, por lo que sus errores de variación y desadaptación se eliminan tras la corrección de errores. Como norma general, la distorsión generada por el preamplificador debe ser de -20 dBc o menos para evitar estimular un comportamiento no lineal en el DUT que no pueda corregir el NVNA. El preamplificador debe estar indicado para manejar una condición de circuito abierto o cortocircuito con una salida de +35 dBm en el caso de que se desconecte el DUT.

El acoplador de referencia interna fue sustituido por un acoplador externo de alta potencia. Para un nivel de excitación de salida de +35 dBm desde el preamplificador a un circuito abierto, la onda estacionaria en la entrada del acoplador puede ser de +40 dBm. Puesto que el acoplador de referencia interno tiene un nivel de daño de +30 dBm, es necesario sustituirlo por un acoplador externo indicado para +40 dBm. Hay que tener en cuenta que el acoplador de prueba no fue sustituido porque tiene un nivel de daño de +43 dBm.



Se insertaron dos atenuadores de -40 dB delante de los receptores. Así, suponiendo un nivel de potencia máximo de +35 dBm en el acoplador y un factor de acoplamiento de -15 dBc en el acoplador, se limita el nivel de potencia de entrada del receptor a -20 dBm. Como norma general, la entrada del receptor debe mantenerse por debajo de -20 dBm para minimizar los productos de distorsión generados en el receptor.

Modificaciones del puerto de salida

El puerto 3 del NVNA, que está conectado al lado de salida del DUT, se modificó añadiendo un preamplificador, un acoplador y cuatro atenuadores al equipo de pruebas de RF.

Se añadió un preamplificador de +33 dBm para suministrar un nivel de tono de extracción de +18 dBm a la salida del DUT (después de compensar el atenuador de -4 dB, el atenuador de -10 dB y la pérdida de -1 dB a través de los acopladores). Ese nivel de tono de extracción está -30 dB por debajo

de la potencia máxima de salida del DUT de +48 dBm. Como regla general, nos gustaría mantener el nivel del tono de extracción entre -20 dB y -40 dB por debajo del nivel del tono principal. Un tono de extracción mayor producirá menos ruido. El preamplificador se añadió por detrás de los acopladores de referencia y de prueba, por lo que sus errores de variación y desadaptación se eliminan tras la corrección de errores. Es interesante observar que los productos de distorsión generados en este preamplificador siempre serán pequeños en comparación con el nivel de potencia del tono principal. Por tanto, cualquier distorsión generada por el preamplificador se medirá y corregirá en los X-parameters. El preamplificador debe ser adecuado para manejar una condición de circuito abierto o cortocircuito a +33 dBm, pues el DUT puede excitar una señal de +33 dBm a su salida, apareciendo como circuito abierto o como cortocircuito.

El acoplador de referencia interna fue sustituido por un acoplador externo de alta potencia. Para un nivel de excitación de salida de

Figura 2. Configuración de prueba del amplificador de +48 dBm empleando N5242A modificado, Opción 423 y H85

+33 dBm desde el preamplificador a un nivel de excitación de salida máximo del DUT, la onda estacionaria en la entrada del acoplador puede ser de +36 dBm. Puesto que el acoplador de referencia interno tiene un nivel de daño de +30 dBm, es necesario sustituirlo por un acoplador externo indicado para +39 dBm. Hay que tener en cuenta que el acoplador de prueba no fue sustituido porque tiene un nivel de daño de +43 dBm.

Se insertaron atenuadores de -40 dB y -46 dB delante de los receptores para limitar los niveles de potencia del receptor por debajo de -20 dBm y, de esta forma, minimizar los productos de distorsión en el receptor de modo semejante a las modificaciones del puerto 1 del NVNA.

Se añadieron los atenuadores de -4 dB y -10 dB al trayecto de RF principal para limitar el nivel de potencia máxima que incide en la salida del preamplificador a +33 dBm. Esto se produce con una salida del DUT de +48 dBm, suponiendo que los acopladores tienen una pérdida combinada de -1 dB. En esta situación, el preamplificador puede experimentar una condición de circuito abierto o cortocircuito, ya que su nivel de salida es de +33 dBm. El atenuador de -10 dB se sitúa entre el acoplador de prueba y la salida del DUT para limitar la potencia en el acoplador de prueba a +38 dBm, muy por debajo de su nivel de daño de +43 dBm. Al añadir este atenuador de -10 dB se protegen los acopladores y se mejora la adaptación de carga del puerto de prueba, pero también se reduce la directividad bruta del puerto de prueba en -20 dB, lo que reduce la estabilidad de la calibración. Es mejor minimizar este atenuador para mejorar la estabilidad, pero en general es aceptable una atenuación de hasta -10 dB.

Notas de advertencia

Por su propia naturaleza, las configuraciones de medida de alta potencia requieren el análisis exhaustivo de muchos detalles del sistema. Los errores en la configuración de prueba pueden dar lugar a errores de medida o, en el peor

de los casos, a daños en el DUT o el equipo de prueba. Destacamos algunos aspectos que conviene tener en cuenta:

Conozca y respete los niveles máximos de RF y DC de los componentes del sistema. Recuerde que algunos puertos del NVNA no admiten tensiones DC.

La potencia de RF aplicada a los puertos PNA-X debería ser al menos -3 dB más baja que los niveles de daño de RF de dichos puertos y, en condiciones ideales, un mínimo de -6 dB.

Cuando calcule el nivel de potencia máxima en un determinado punto en la configuración de prueba, asegúrese de utilizar la suma de tensiones del peor caso. Por ejemplo, si se combinan dos señales de 0 dBm en la misma frecuencia, el nivel máximo de la señal será equivalente a +6 dBm en el peor caso.

El DUT y los preamplificadores pueden tener requisitos de adaptación de carga de entrada y salida específicos que deben cumplirse antes de encenderlos para evitar oscilaciones o daños. Debe prestarse atención a las condiciones de circuito abierto.

El DUT y los preamplificadores pueden ser sensibles al secuenciamiento de encendido. Procure conocer los requisitos del preamplificador y del DUT antes de encender el sistema.

Mantenga cortos los cables de RF y utilice cables semirrígidos siempre que sea posible para garantizar la estabilidad de la medida.

El preajuste del NVNA puede provocar que la potencia se sitúe a un nivel que pueda dañar el NVNA o el DUT. Suele ser más conveniente activar el estado de "preajuste del usuario", que permite al usuario definir el nivel de potencia durante el preajuste.

Conclusión

La mayoría de los amplificadores de alta potencia están diseñados para operar en la región no lineal. Un analizador vectorial de redes no lineales (NVNA) es la herramienta ideal para caracterizar y modelar un dispositivo de este tipo. Si se modifica el equipo de pruebas de RF del NVNA pueden

medirse los amplificadores que operan a niveles de potencia de hasta 1kW. Estas modificaciones incluyen añadir atenuadores, acopladores y preamplificadores externos en puntos estratégicos del equipo de pruebas. Las configuraciones y medidas de alta potencia de este tipo requieren un cuidado especial y una gran atención al detalle por parte del ingeniero de pruebas para evitar dañar el dispositivo sometido a prueba y el sistema de pruebas. Si desea más información sobre este tema, descargue la nota de aplicación de 30 páginas High Power Amplifier Measurements Using Agilent's Nonlinear Vector Network Analyzer o vaya a www.agilent.com/find/nvna. 

*X-parameters es una marca comercial registrada de Agilent Technologies. El formato de los X-parameters y las ecuaciones subyacentes son abiertos y están documentados. Si desea más información, visite <http://www.agilent.com/find/eesof-x-parameters-info>

Sobre el autor

Keith Anderson es ingeniero/científico senior de I+D de la División de pruebas de componentes de Agilent Technologies, que pertenece al Grupo de medidas electrónicas de Agilent.

Anderson está licenciado en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Washington y tiene un máster en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Stanford. Es ingeniero profesional colegiado en el estado de California y tiene registradas siete patentes.

Se incorporó a Agilent Technologies (Hewlett-Packard) en 1981 como diseñador de circuitos en la División de medidas de red. Ha ocupado numerosos cargos en Agilent, como diseñador de circuitos, diseñador de sistemas, científico de medida y jefe de proyectos. Su trabajo se ha centrado en los analizadores de redes, incluidas las familias HP8757, HP8711 y PNA. En 2001 Anderson alcanzó el nivel máster de ingeniero/científico y en la actualidad es responsable de diseño de sistemas y ciencias de medida y planificación tecnológica de la gama de analizadores de redes.