

Puntos a tener en cuenta a la hora de medir con exactitud dispositivos activados por pulsos

Artículo de Hiroyuki Maehara, Agilent Technologies



Entender el comportamiento de los dispositivos cuando se someten a las condiciones de funcionamiento deseadas supone un paso decisivo en el diseño de cualquier dispositivo activo de radiofrecuencia (RF) de alto rendimiento (p. ej. un amplificador o un convertidor). Si el componente funciona en modo de onda continua (CW), dicha caracterización consistirá simplemente en medir sus parámetros S utilizando un analizador vectorial de redes (VNA). Sin embargo, cuando funciona en modo por pulsos, dicha caracterización no resulta una tarea tan simple. Además de los parámetros S, hay otros numerosos parámetros activos que deben medirse en modo por pulsos. En el caso de un amplificador, dichos parámetros incluyen compresión a 1-dB (P1dB), distorsión de intermodulación (IMD) y punto de intercepción de tercer orden (IP3). Entre otros, podrán caracterizarse también la figura de ruido, los elementos de distorsión de orden superior y los armónicos del amplificador en función de su uso previsto. Debido a que estos parámetros activos dependen de la potencia eléctrica, deberán tenerse en cuenta factores adicionales para garantizar una caracterización precisa. Asimismo, resultará esencial entender los cambios que deben efectuarse en el VNA para poder efectuar dichas medidas.

Consideraciones a tener en cuenta con respecto a los VNA

Al caracterizar los dispositivos activos en modo por pulsos utilizando técnicas de detección por banda ancha o banda estrecha, habrá un número de consideraciones que el ingeniero deberá tener en cuenta; concretamente, los cambios necesarios que deben implementarse en el VNA y las técnicas que deben emplearse para facilitar la caracterización del dispositivo activo dependiente de la potencia, incluyendo compresión y distorsión.

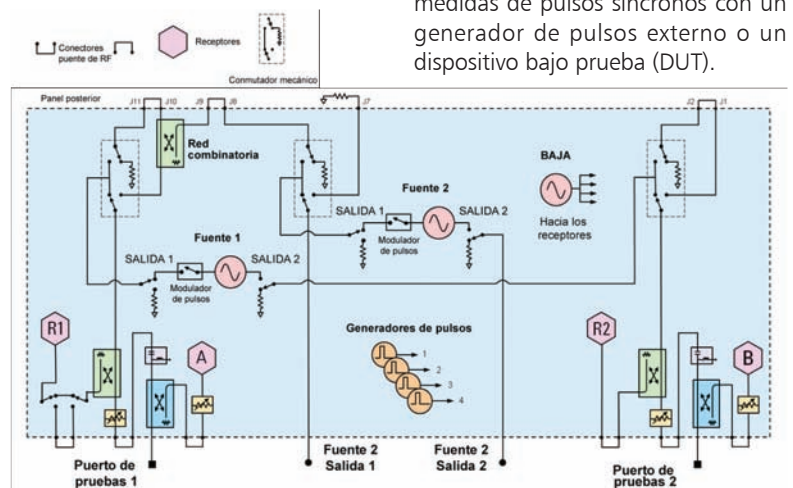
Los dispositivos activos que funcionan en modo por pulsos podrán medirse utilizando un VNA. No obstante, serán necesarias algunas modificaciones de hardware. En el caso de un funcionamiento en modo de RF pulsada, habrá que conectar al VNA generadores y moduladores de pulsos. El funcionamiento en modo de polarización pulsada puede hacer necesaria la utilización de generadores de pulsos. Los equipos de la serie PNA-X de Agilent Technologies constituyen un ejemplo de analizador con generadores y moduladores de pulsos integrados (Figura 1). Otro cambio necesario en el VNA consiste en la instalación de un puerto de entrada-salida (I/O) de pulsos, que permite acceder a los moduladores y generadores de pulsos internos y que hace posible efectuar medidas de pulsos síncronas con un generador de pulsos externo o un dispositivo bajo prueba (DUT).

Para apreciar en mayor detalle el desafío que supone medir con exactitud los dispositivos activados por pulsos, deberemos considerar en primer lugar los diferentes modos de funcionamiento por pulsos; es decir, RF pulsada y polarización pulsada. El funcionamiento mediante RF pulsada controla un dispositivo mediante una señal de radiofrecuencia modulada por pulsos y la polarización DC está siempre activada. Los amplificadores usados en los receptores de aplicaciones moduladas por pulsos suelen probarse mientras funcionan en modo de RF pulsada, y se requieren moduladores de pulsos de RF para los estímulos y generadores de pulsos para sincronizar (o eventanar) los receptores de VNA de manera que puedan capturar las señales de RF moduladas.

En cambio, durante su funcionamiento en modo de polarización pulsada, la polarización DC se activa y desactiva de manera alterna para generar una señal modulada por pulsos. La entrada es normalmente una señal de CW. Es posible que sea necesario utilizar generadores de pulsos para activar y desactivar la polarización DC. Los receptores de VNA están sincronizados para medir la señal de salida cuando el dispositivo está activado.

Para analizar las redes de radiofrecuencia por pulsos, deben llevarse a cabo tres tipos de medida (pulso medio, punto en pulso y perfil de pulso) utilizando técnicas de detección ya sea de banda ancha o banda estrecha. La técnica de detección por banda ancha se utiliza cuando el ancho de pulso es lo suficientemente ancho como para que los receptores de VNA puedan medir la mayor parte del espectro de RF pulsada. Cuando el ancho de pulso es demasiado estrecho, se utiliza la detección mediante banda estrecha para medir únicamente la respuesta espectral central, eliminándose el resto de los componentes del espectro de RF pulsada.

Figura 1. Los equipos de la serie PNA-X de Agilent combinan dos fuentes de señal internas, un combinador de señal, un combinador de ruido y parámetros S, moduladores y generadores de pulso, así como un sistema flexible de conmutadores y puntos de acceso de RF para medir con exactitud los parámetros S y los dispositivos activos utilizando la mejor configuración posible. Los moduladores y generadores de pulso internos permiten medidas de pulsos sin necesidad de conectar ningún otro equipo externo. Además, proporcionan funciones precisas de control y sincronización de pulsos, así como una resolución temporal extremadamente precisa.

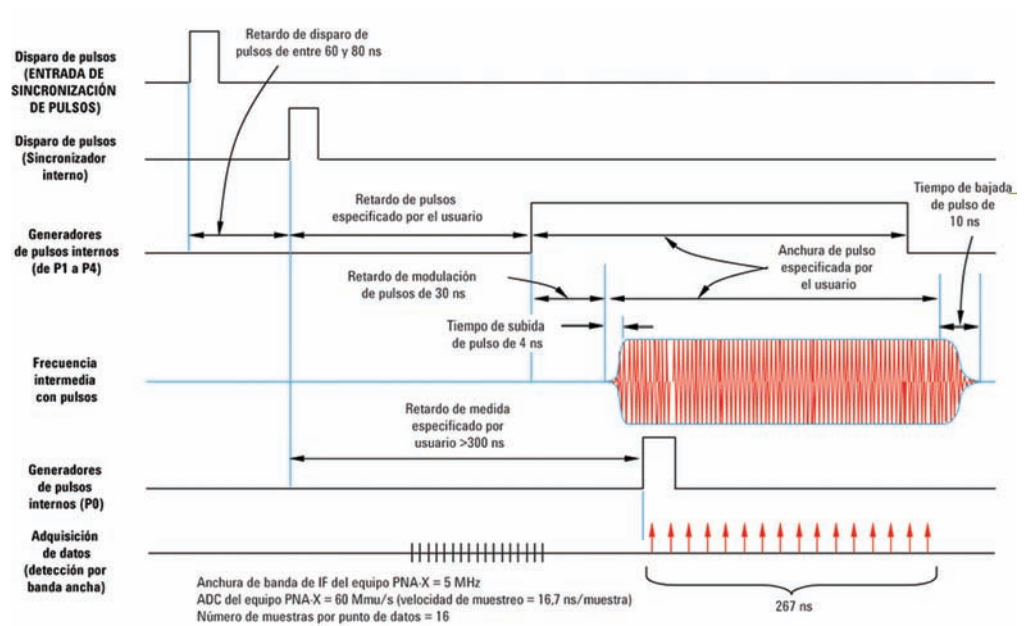


Otro aspecto importante que debe considerarse al medir dispositivos activos que funcionan en modo por pulsos consiste en los retardos del sistema de pulsos (es decir, retardos en el sistema de pulsos desde el disparo del pulso a los generadores de pulsos, a los moduladores de pulsos y al ADC [convertidor de analógico digital] para propósitos de adquisición de datos). La Figura 2 muestra el cronograma de un equipo PNA-X de Agilent con un ancho de banda de 5 MHz de frecuencia intermedia (IF) desde el disparador de pulsos externo y a través del proceso de adquisición de datos utilizando una técnica de detección por banda ancha. Si los retardos del sistema de pulsos (p. ej. retardos del disparador de pulsos y de modulación) sumados a los demás retardos del sistema debido a la longitud eléctrica de los DUT y de los cables de los puertos de prueba son relativamente largos comparados con el ancho de pulso y el intervalo de adquisición de datos del receptor de VNA, será necesario ajustar con exactitud la sincronización de cada uno de los elementos. Además, la pantalla de adquisición de datos deberá colocarse en la zona central de los pulsos (aproximadamente) y será necesario seleccionar un ancho de banda de IF lo bastante ancho como para poder completar la adquisición de datos a aproximadamente la mitad del ancho de pulso. De esta manera será posible evitar la mayoría de los errores de sincronización.

Caracterización de dispositivos activos dependientes de la potencia

Los dispositivos que funcionan en modo de pulsos son a menudo dispositivos activos de tipo discreto o bien módulos que constan de amplificadores y/o mezcladores. El rendimiento de dichos dispositivos suele ser dependiente de la potencia. Por lo tanto, su caracterización se efectúa en modo de funcionamiento tanto lineal como no lineal. Cualquier potencia de estímulo inexacta podrá inducir a considerables errores de medida.

En algunos VNA, la potencia de estímulo viene calibrada de fábrica.



Esto proporciona un nivel de potencia de estímulo razonablemente preciso en los puertos de prueba, incluso sin necesidad de calibrar la potencia de la fuente. La calibración de la potencia de la fuente se lleva a cabo en el momento de requerirse una potencia de estímulo exacta a la entrada del dispositivo (normalmente, en el extremo del cable del puerto de pruebas). Dicha calibración compensa la pérdida de trayectoria y corrige errores, haciendo que la precisión de la potencia de estímulo se ajuste a un nivel de tolerancia específico calculado a partir de la precisión del sensor de potencia. En el caso de las medidas de RF pulsada, esta simple tarea de calibración llega a ser problemática. Debido a que la mayoría de los sensores de potencia miden la potencia media de RF, las lecturas del sensor son $10 \cdot \log(\text{ciclo de trabajo})$ más bajas que la potencia de pico de pulso durante el proceso de calibración de la potencia en modo por pulsos. Para resolver este problema de calibración de la potencia de la fuente, podrán utilizarse dos planteamientos. Estos incluyen:

• Calibración de la potencia de la fuente utilizando un método de compensación de potencia

Esta técnica se utiliza para calibrar la señal de estímulo con la modulación de pulsos activada. Para llevar a cabo con éxito la calibración de la potencia de la fuente, deberá utilizarse la función de compensa-

ción de potencia para así garantizar que la fuente del VNA no se desestabiliza mientras se intenta elevar la potencia del puerto de prueba hasta el nivel de potencia calibrada deseado. El efecto de desensibilización de pulsos debido al ciclo de trabajo de pulsos se muestra como una atenuación, por lo que la compensación de potencia es siempre negativa. Por ejemplo, el valor de potencia compensada para un estímulo de RF pulsada con un ciclo de trabajo del 5% será de $10 \cdot \log(0,05) = -13 \text{ dB}$.

• Estabilización del receptor para obtener un estímulo de pulso preciso

El receptor de VNA se utiliza para monitorizar la potencia de RF pulsada, así como para corregir el nivel de potencia de la fuente por cada barrido de medida efectuado en modo de estabilización del receptor. Una vez que se ha seleccionado la estabilización del receptor, el nivel de la fuente se ajusta para coincidir con las lecturas del receptor y se omiten los coeficientes de corrección de la potencia de la fuente (la calibración de la potencia de la fuente no se utiliza, incluso estando activada). Normalmente se utilizan receptores de referencia para la estabilización del receptor. No obstante, podrá utilizarse cualquier receptor o incluso un sensor de potencia (si está conectado al VNA a modo de receptor). La precisión del nivel de potencia de la fuente en modo de estabilización del receptor depen-

Figura 2. En este caso, se muestra el cronograma del sistema de pulsos PNA-X N5242A de Agilent con un ancho de banda de 5 MHz de IF. Aproximadamente entre 60 y 80 ns después de efectuar el disparo de pulso en el puerto de entrada de sincronización de pulsos (PULSE SYNC IN), el generador de pulsos interno genera un pulso para activar la sincronización de la adquisición de datos del receptor y modulador de pulsos. El modulador de pulsos cuenta con un retardo de aproximadamente 30 ns para modular las señales de RF. Los retardos definidos por el usuario para los generadores de pulso se utilizan para ajustar las sincronizaciones entre modulación y medida, de manera que se tenga en cuenta los retardos del sistema de pulsos.

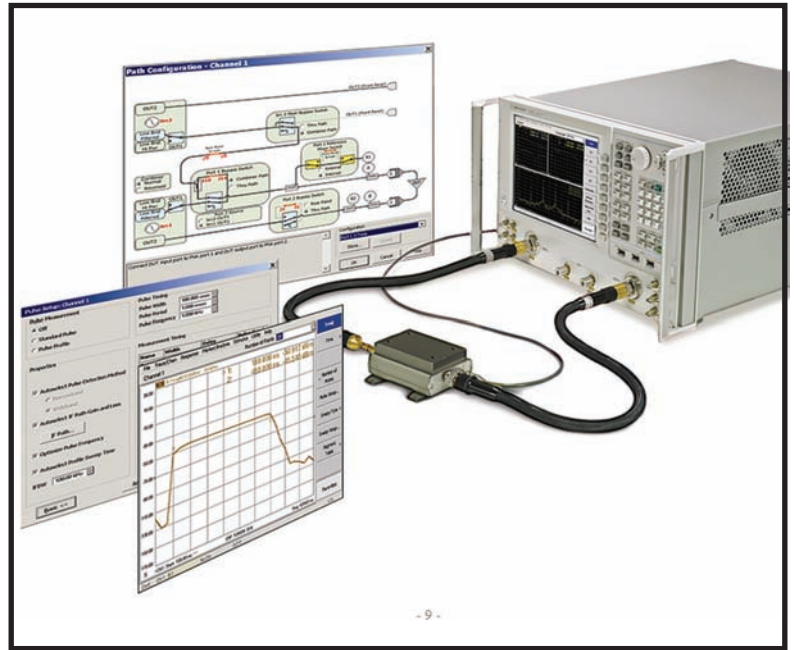
Figura 4. El analizador de redes PNA-X de Agilent es el primer sistema de prueba compacto para RF pulsada disponible en el mercado.

derá de la precisión absoluta con que se mida la potencia del receptor; por lo cual la calibración del receptor supone un factor esencial.

Los receptores de referencia pueden calibrarse de dos maneras, ya sea efectuando de manera separada la calibración del receptor o bien como parte de la calibración de la potencia de la fuente. No obstante, se recomienda utilizar esta última. Durante el proceso de calibración, el modo de estabilización utilizado deberá ser de bucle abierto con los mismos ajustes de cadena de fuente que los utilizados para las medidas. Asimismo, deberá desactivarse el modo de modulación por pulsos. Además, el valor ajustado en el receptor deberá ser el mismo entre la calibración del receptor y las medidas con pulsos.

Una vez calibrado, el receptor podrá medir con precisión la potencia de pico de pulso en modo de detección de banda ancha y ajustar la potencia de la fuente hasta que coincida con la tolerancia especificada, o bien alcance el número máximo de iteraciones antes de que se lleve a cabo el barrido de medida. En modo de detección por banda estrecha, el receptor mide la potencia inferior a la potencia de pico de pulso de $20 \cdot \log$ (ciclo de trabajo). Deberá utilizarse el método de compensación de potencia conjuntamente con la estabilización del receptor para medidas de pulsos en banda estrecha.

Tenga en cuenta que, para medir parámetros S en los que el DUT



funciona en modo lineal, la potencia no supone ningún problema y, por lo tanto, podrá utilizarse un método de estabilización en bucle abierto. Al medir potencias absolutas y/o rendimientos dependientes de la potencia, la potencia de estímulo de pulsos será de vital importancia y, por lo tanto, deberá estabilizarse de manera precisa. En este caso (detección por banda ancha), se recomienda llevar a cabo la estabilización del receptor (Figura 3). Podrá utilizarse tanto con detección por banda ancha como por banda estrecha y aplicarse a las medidas con barrido dependiente de la potencia, así como a las medidas de compresión e IMD de dos tonos.

Resumen

La tarea de medir con precisión dispositivos activados por pulsos puede resultar difícil, en particular cuando dichas medidas son dependientes de la potencia. El método de estabilización del receptor proporciona una manera de superar dicha dificultad. Otro factor a considerar por el ingeniero a la hora de caracterizar dispositivos activos consiste en seleccionar un VNA compatible con generadores y moduladores de pulsos. La utilización de la solución correcta y de las técnicas adecuadas para estabilizar de manera precisa la potencia de estímulo de pulsos resulta esencial a la hora de efectuar medidas de parámetros S, así como una caracterización precisa de los dispositivos activos dependientes de la potencia, incluyendo la compresión y la distorsión.

Para obtener más información sobre cómo efectuar medidas en dispositivos de activación por pulsos, descargue una copia gratis del documento titulado "Active Device Characterization in Pulsed Operation Using the PNA-X" (caracterización de dispositivos activos en modo de funcionamiento por pulsos utilizando el PNA-X) (nota de aplicación: 1408-21) junto con otras notas de aplicación pertinentes visitando la página www.agilent.com/find/pnaxapps.

Figura 3. En este caso se muestran medidas de potencia absoluta y parámetros S por pulsos de ancho de banda calibrados, llevadas a cabo utilizando el equipo PNA-X, con una comparación entre los modos de bucle abierto y de estabilización del receptor. La diferencia en las trazas de memoria es relativamente pequeña en las medidas de ganancia y de adaptación de impedancias a la entrada, pero es mayor en las medidas de potencia absoluta.

