

Producto: Analizador de Espectro Rohde&Schwarz FSP

Medidas de Potencia en Señales Pulsadas con Analizadores de Espectro

Nota de Aplicación

En esta nota de aplicación se describen las medidas en señales pulsadas con un analizador de espectro. Los ejemplos muestran realizaciones prácticas de medidas como la anchura del pulso, la potencia de pico y la potencia media, y las limitaciones de las medidas con un analizador de espectro. También se describe un método de medida de la potencia promedio durante períodos largos de tiempo.



Contenidos

1	Introducción.....	2
2	Requisitos	2
3	Medidas de Potencia de Pico y Potencia Media	3
4	Realización de las medidas	5
	Configuración.....	5
	Ejemplos de medida	5
	Medida de la potencia de pico y la anchura del pulso	6
	Medida de la potencia media.....	8
	Medida de la potencia promedio y de la potencia de pico	10
	Fuentes de error	11
5	Literatura	14
6	Información de pedido	14

1 Introducción

Un analizador de espectro es un instrumento importante para la medida de señales radar. Muchos de los parámetros de una señal radar, como la frecuencia de la portadora, el ancho de banda ocupado, la relación ON/OFF de la portadora, la frecuencia de repetición de los pulsos, el tiempo de subida y de caída, el ruido de fase y la potencia de pico se pueden medir directamente con un analizador de espectro.

La medida de la potencia de salida es una de las medidas más importantes de los transmisores radar. En el caso de una señal pulsada como es el caso de una señal radar, hay varias medidas de potencia que se pueden realizar. La potencia promedio es una de las medidas más comunes que normalmente se realizan midiendo la potencia media con un medidor de potencia. Otro valor importante es la potencia de pico. Si se conoce la frecuencia de repetición de los pulsos (PRF, **P**ulse **R**epeatition **F**requency) y la anchura del pulso, se puede calcular la potencia de pico a partir de la potencia media. Esta función está disponible en muchos medidores de potencia.

En esta nota de aplicación se describe el uso del analizador de espectro de Rohde&Schwarz FSP para las medidas de la potencia de pico y la potencia media de una señal pulsada. Es necesario el conocimiento de los parámetros de los pulsos de las señales radar para la realización de estas medidas. Los montajes recomendados son ejemplos de medida de una señal radar generada por un generador de señal.

2 Requisitos

Las aplicaciones modernas tipo radar utilizan parámetros de pulso que cambian continuamente. La anchura del pulso y la PRF no son constantes y dependen del modo de funcionamiento del radar. Debido a estos cambios, no es posible realizar el cálculo de la potencia de pico a partir de la potencia media medida con un medidor de potencia. En esta nota de aplicación se describe cómo se pueden realizar las medidas de potencia de pico y potencia media en estas señales dinámicas con los analizadores de espectro modernos.

Además, se describe la medida de potencia media en períodos largos de tiempo. Ésta es una medida muy importante en las antenas de los transmisores radar para la protección personal de las personas, especialmente cuando la antena está girando, ya que se utilizan transmisores de alta potencia.

3 Medidas de Potencia de Pico y Potencia Media

Los analizadores de espectro modernos muestran el espectro en frecuencia o la forma de onda de la señal en el dominio del tiempo utilizando un tubo de rayos catódicos (CRT) o una pantalla de cristal líquido (LCD). En estas pantallas el número de píxeles en el eje de nivel así como en el eje de frecuencia o tiempo está limitado. Esto hace que la resolución en ambos ejes sea limitada. Para mostrar todos los datos de medida de un barrido, se utilizan detectores para comprimir las muestras a un número más pequeño de píxeles que se representarán en la pantalla.

Para la medida de la potencia de pico, el analizador de espectro dispone de un detector de pico. El detector de pico muestra el nivel más alto de señal en el intervalo de medida.

Para la medida de la potencia media de señales moduladas en amplitud (como es el caso de una modulación pulsada) el detector de pico que se usa normalmente en un analizador de espectro no es el adecuado, ya que la tensión de pico no tiene relación con la potencia de la señal. Para realizar las medidas de potencia, el analizador de espectro dispone de un detector de muestra o el detector RMS. En la siguiente figura se muestran las diferencias entre los diferentes detectores:

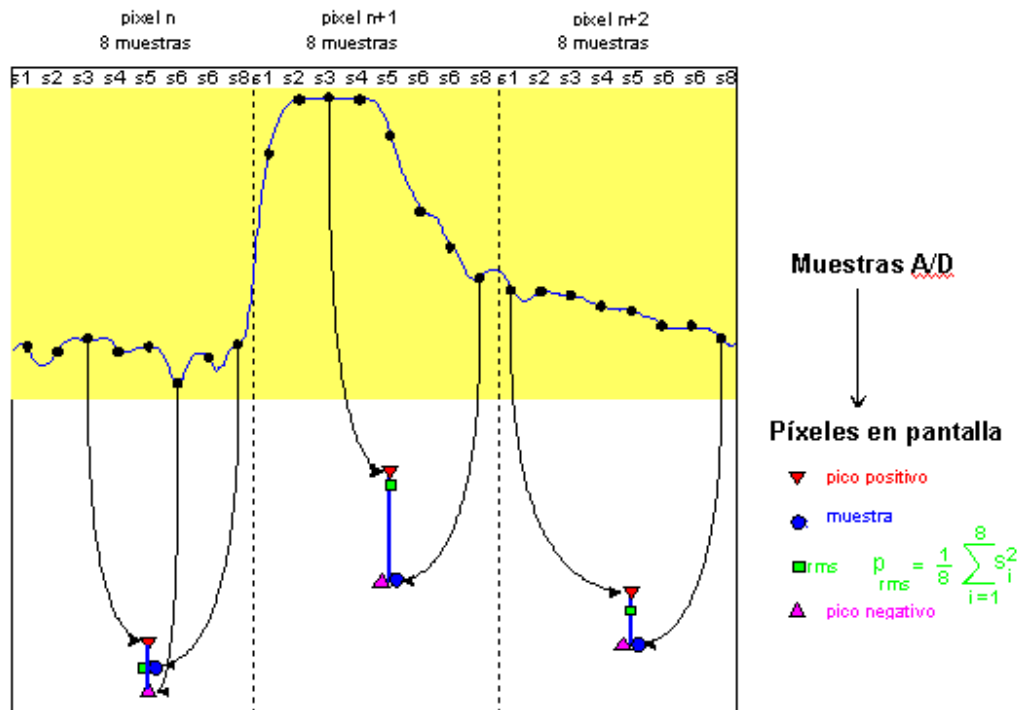


Fig. 1 Gráfico simbólico de reducción de datos en la pantalla.

En este gráfico se está utilizando 8 muestras por píxel. El detector de muestra muestrea la envolvente de la señal una vez por cada punto de

medida (píxel) y muestra el resultado en la pantalla. Esto puede provocar una pérdida total de la información de la señal, debido a que la información completa queda reducida a un número de muestras que se corresponde con el número de píxeles disponibles en el eje x de la pantalla. Sin embargo, el detector de muestra es el único detector disponible para realizar medidas de potencia en señales que no son onda continua en muchos analizadores de espectro.

El detector de pico mostrará el valor de pico más alto en el intervalo de medida, mientras que el detector por pico negativo mostrará el nivel más bajo. Si se utiliza el detector de autopico (AUTOPEAK), se muestran ambos valores máximo y mínimo unidos por una línea.

Con el detector RMS, se muestrea la envolvente de la señal a la velocidad mayor del convertor A/D (en el caso del FSP, 32 MHz) utilizándose todas las muestras de un píxel para calcular la potencia RMS. Por lo tanto, el número de muestras es mucho mayor que en el caso del detector de muestra. El siguiente diagrama de bloques simplificado muestra la implementación del detector RMS en el analizador de espectro R&S FSP.

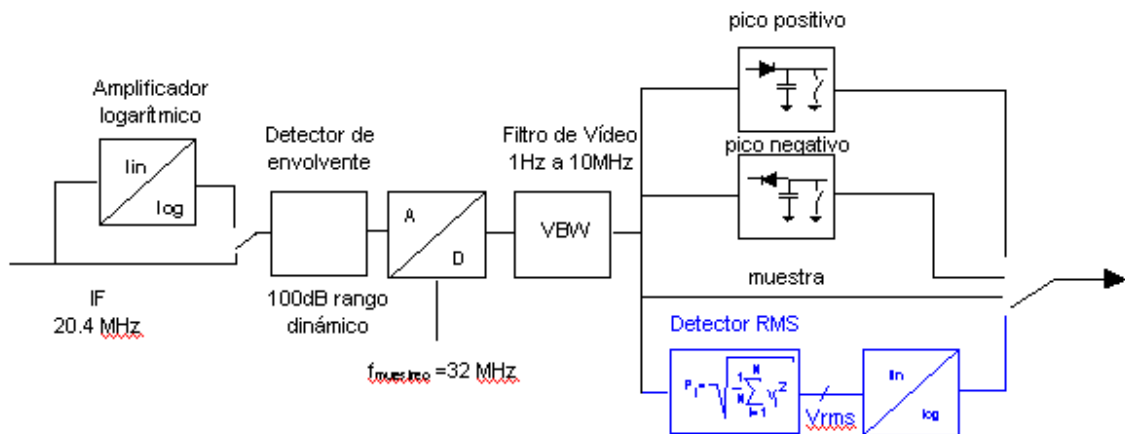


Fig. 2 Diagrama de bloques de la implementación del detector.

Todos los detectores se implementan de forma independiente. Esto permite la utilización de dos detectores diferentes al mismo tiempo con dos trazas diferentes y que aparezcan de forma simultánea en la pantalla del analizador de espectro.

El medidor RMS mide la potencia del espectro representada por un píxel aplicando la fórmula a todas las muestras. Para aumentar la repetitibilidad de las medidas, se puede aumentar el número de muestras por píxel variando el tiempo de barrido. Con tiempos de barrido elevados, el tiempo de integración en cada píxel aumenta. En el caso de señales pulsadas, la repetitibilidad depende del número de pulsos que hay en un píxel. Para conseguir un resultado estable, el tiempo de barrido debe ser lo suficientemente largo como para capturar varios pulsos en un píxel y así obtener una traza suavizada.

El detector RMS calcula el valor RMS de todas las muestras representándose en un píxel en la pantalla con la siguiente fórmula:

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N s_i^2}, \quad (1)$$

donde:

- P_{rms} = nivel de un píxel individual
- N = número de muestras representadas por el píxel
- s = muestra del convertidor A/D

Para una medida precisa de la potencia de pico y de la potencia media de una señal pulsada es importante que el ancho de banda de IF y que la velocidad de muestreo del conversor A/D sean lo suficientemente elevadas como para no variar la forma del pulso. Con un ancho de banda de resolución de 10MHz y una velocidad de muestreo del conversor A/D de 32 MHz (en el FSP) se pueden medir señales pulsadas con anchuras de pulso superiores a los 500 ns con una buena precisión.

4 Realización de las medidas

Configuración

En este apartado se muestra cómo configurar el analizador de espectro FSP para realizar las medidas de potencia de pico y potencia media en una señal pulsada. Para los ejemplos de medida se ha utilizado un generador para simular la señal radar. La señal de salida se modula en AM con una portadora de RF. La modulación en AM de banda ancha se implementa utilizando un generador de onda arbitraria para generar una secuencia de pulsos con una anchura de 500 ns y una PRF de 1 kHz. En las medidas de la potencia promedio en períodos largos de tiempo el nivel del pulso se modifica durante las medidas para simular el efecto de la rotación de la antena.

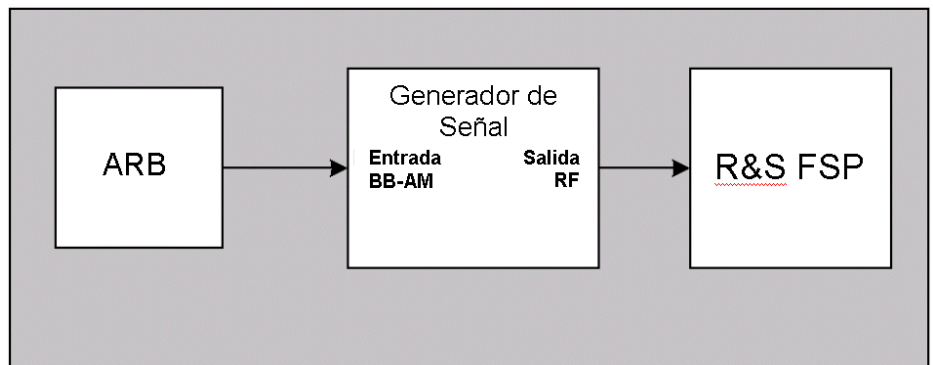


Fig. 3 Configuración para las medidas

Ejemplos de medida

En las siguientes secciones se muestran varias medidas básicas en señales de radar. Las medidas se pueden dividir en las siguientes categorías:

- Medidas de los parámetros básicos como la potencia de pico y la anchura del pulso.

Medidas de Potencia en Señales Pulsadas

- Medidas de la potencia media utilizando la medida de la potencia en canal.
- Medidas de la potencia promedio y la potencia de pico en períodos largos de tiempo.

Medida de la potencia de pico y la anchura del pulso

La potencia de pico y la anchura del pulso son algunas de las medidas básicas de una señal pulsada. La potencia de pico es un parámetro importante ya que todos los elementos del transmisor, especialmente el amplificador de potencia, se cargará con esta potencia durante períodos cortos de tiempo. Para la medida de la potencia de pico hay que configurar el filtro de resolución y el filtro de vídeo lo suficientemente anchos como para que lleguen al régimen permanente en el tiempo de la anchura del pulso. Como aproximación, el tiempo de establecimiento del filtro es aproximadamente la inversa de su ancho de banda:

$$T_{\text{SET}} \text{ (s)} = \left[\frac{1}{\text{RBW (Hz)}} \right] \quad (2)$$

donde:

T_{SET} = tiempo de establecimiento

RBW = ancho de banda de resolución

Esta estimación se adapta muy bien a los filtros con respuesta gaussiana que son los que se utilizan en los analizadores de espectro. Sin embargo, para el caso del filtro de 10MHz que se usa en el FSP hay que añadir un factor de 2 ya que este filtro es un filtro de canal.

En las siguientes medidas, se han utilizado un filtro de resolución y un filtro de vídeo de 10MHz y span cero para mostrar en pantalla la potencia de la señal en función del tiempo. El tiempo de barrido se ha ajustado para permitir las medidas en un solo pulso. Se ha utilizado el disparo por vídeo para que la representación del pulso sea estable. Se ha variado la anchura del pulso, mostrándose tres medidas con 100ns, 200ns y 500ns para investigar los efectos del tiempo de establecimiento del filtro de resolución.

Medidas de Potencia en Señales Pulsadas

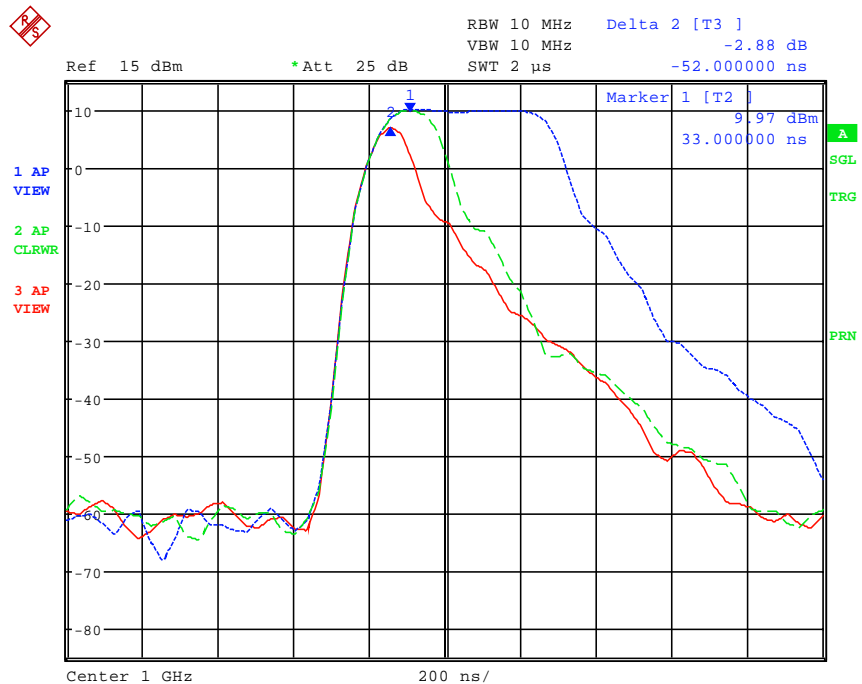


Fig 4: Medida de la potencia de pico en la parte más alta del pulso.

La figura muestra los tres resultados de la medida de la potencia de pico. La traza de puntos azul muestra la respuesta de un pulso con una anchura de 500ns que presenta una respuesta plana en la parte superior de mismos. La traza verde discontinua muestra la respuesta de un pulso con una anchura de 200ns. Este valor es igual al tiempo de establecimiento que hemos calculado. El valor de pico de esta medida es igual al valor medido en el caso del pulso de 500ns, la marca "Marker 1 [T2]" está situada en el pico mostrando un valor de 9.97dBm. Esta anchura del pulso es el valor mínimo que se puede medir con precisión utilizando un ancho de banda de resolución de 10MHz. La traza roja muestra la respuesta de un pulso con una anchura de 100ns, menor que el tiempo de establecimiento del filtro de resolución. La marca delta "Delta 2 [T3]" está en el valor de pico y muestra unas pérdidas de unos 3dB con respecto al valor nominal del pulso.

El siguiente paso es la medida de la anchura del pulso:

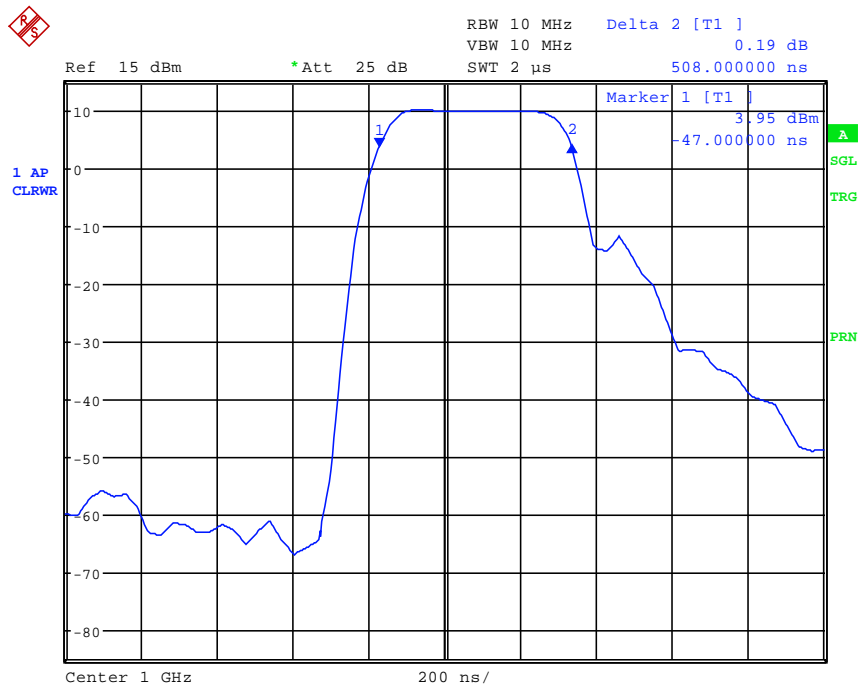


Fig 5 Medida de la anchura del pulso con las marcas delta.

La anchura del pulso se define normalmente como la diferencia en tiempo entre los puntos en los que el valor de la señal es el 50% del valor de pico. En la retícula logarítmica que se utiliza normalmente en un analizador de espectro, estos puntos se corresponden con una caída de 6dB con respecto al valor de pico. Para la medida de la anchura del pulso, se ha situado una marca en el punto donde la señal cae 6dB en el flanco de subida y una marca delta en el punto donde la señal cae 6dB en el flanco de bajada. La lectura de nivel de la marca delta en este caso debería ser 0dB, pero debido a la resolución limitada de los puntos de medida hay una pequeña diferencia de nivel. La lectura de la marca delta "Delta 2 [T1]" muestra un valor de 508ns. La precisión de esta medida está influenciada por la velocidad de muestreo del convertor A/D, que define las posiciones de la traza en las que se realizan verdaderamente las medidas. Entre estos puntos, la traza se interpola para generar la traza completa. La velocidad de muestreo del convertor A/D es de 32MHz, lo que da que la separación entre dos muestras consecutivas sea de 31.25ns.

Medida de la potencia media

Conociendo la anchura del pulso y la frecuencia de repetición de los pulsos (PRF) (que también se puede medir utilizando un analizador de espectro con un tiempo de barrido lo suficientemente largo como para capturar dos pulsos consecutivos) se puede calcular la potencia media de la señal:

$$P_{MEDI A} = P_{PICO} + 10 \cdot \log[PW * PRF] \quad (3)$$

donde:

- $P_{MEDI A}$ = Potencia media de la señal pulsada
- P_{PICO} = Potencia de pico de la señal pulsada (10 dBm)
- PW = Anchura del pulso (= 500 ns)
- PRF = Frecuencia de repetición de los pulsos (= 1 kHz)

Medidas de Potencia en Señales Pulsadas

En este caso, con una anchura de pulso de 500ns y una PRF de 1kHz, esta fórmula da como resultado una potencia media de -23.01dBm .

Debido a la modulación pulsada la señal de salida de un radar se extiende en un gran ancho de banda. Este comportamiento queda representado por la función $\text{seno}(x)/x$. No es posible calcular la potencia media o la potencia de pico directamente a partir de las líneas espectrales individuales. Si no se conocen los parámetros de la modulación tales como la anchura del pulso y la PRF no es posible realizar el cálculo de la potencia.

Para realizar las medidas de potencia en canal, los analizadores de espectro modernos disponen de rutinas software para calcular la potencia total de un canal determinado. Estas rutinas calculan la potencia integrando la potencia representada por los píxeles de la pantalla en el rango de frecuencias del canal (IBW = Integrated BandWidth). Para la medida de potencia media es necesario medir la potencia media de cada uno de los puntos. Esto hace que sea necesario el detector RMS. En una señal radar, la integración en varios lóbulos laterales hace que sea posible el cálculo de la potencia media, ya que la mayor parte de la energía está contenida en el lóbulo principal y en los adyacentes del espectro de la función $\text{seno}(x)/x$. Utilizando un ancho de canal lo suficientemente grande como para capturar la potencia del lóbulo principal y varios lóbulos laterales, se puede medir la potencia media.

La siguiente figura muestra el resultado de la medida para la medida de potencia en canal. El ancho de banda del canal es de 10MHz para capturar el lóbulo principal y los dos adyacentes.

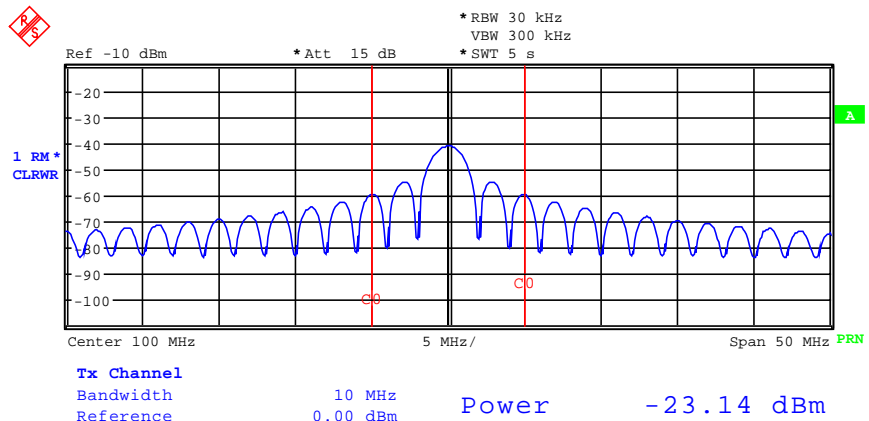


Fig 6 Medida de potencia en canal con un ancho de banda de canal de 10MHz.

La misma medida realizada con un ancho de banda de canal de 50MHz captura algo más de 10 lóbulo a cada lado:

Medidas de Potencia en Señales Pulsadas

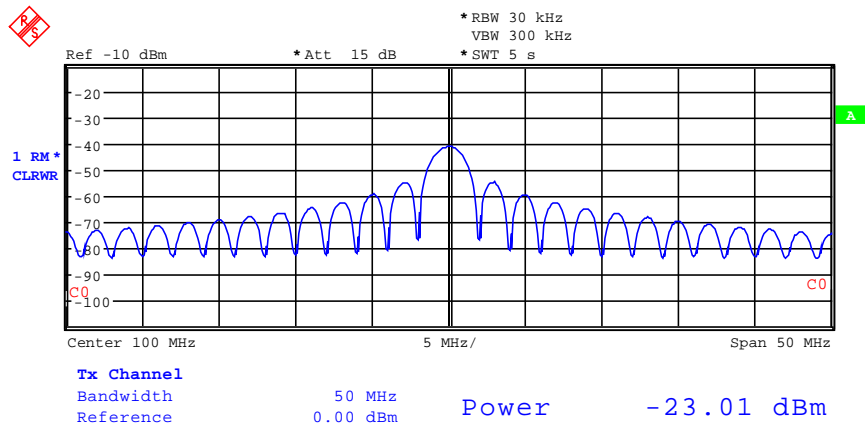


Fig 7 Medida de potencia en canal con un ancho de banda de canal de 50MHz.

El resultado de medida de -23.01dBm coincide con la potencia media calculada a partir de la forma de onda del pulso. Incluso la medida realizada con un ancho de canal de 10MHz es una buena aproximación, ya que la mayoría de la potencia de la señal está concentrada en el lóbulo principal y en los dos adyacentes. Con este método, no es necesario conocer los parámetros de la modulación pulsada. Este método también se puede utilizar en el caso de que los parámetros del pulso cambien continuamente.

Medida de la potencia promedio y de la potencia de pico

Una característica muy importante de un sistema radar es la potencia promedio radiada a unas distancias dadas de la antena. Esta medida es importante debido al hecho de que las regulaciones de seguridad definen límites en densidad de flujo de potencia para la protección de personas expuestas a energía de RF.

La medida de la potencia promedio se realiza en un período de tiempo determinado, que debe incluir, al menor, una rotación completa de la antena del radar. En este tiempo hay que medir la potencia pico y la potencia promedio. Para la medida de la potencia de pico, el analizador de espectro dispone del detector de pico. Para las medidas de la potencia promedio es necesario realizar un cálculo del valor RMS de todas las muestras durante el tiempo que necesita la antena del sistema para hacer una rotación completa.

Para realizar esta medida, el FSP dispone de la función "Summary Marker", que calcula el valor RMS de todos los puntos de medida (píxeles) de un barrido. Junto con el detector RMS, el resultado de esta medida es la potencia promedio de todas las muestras recogidas en el tiempo de barrido.

Para realizar una aproximación del cambio de nivel de la señal debido a la rotación de la antena, se ha variado el nivel de la señal de prueba durante el tiempo de medida. Este cambio de nivel se ha realizado en pasos de 6dB cada segundo en cuatro pasos, dado como resultado una secuencia de $0, -6, -12$ y -18 . Cada paso de 6dB se corresponde con un cuarto de la potencia.

El valor esperado de la potencia promedio se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$P_{\text{PROMEDIO}} = P_{\text{MEDIA}} + 10 \cdot \log \left[\frac{1}{4} \left(1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{16} + \frac{1}{64} \right) \right] \quad (4)$$

Medidas de Potencia en Señales Pulsadas

donde:

P_{PROMEDIO} = Potencia promedio de toda la secuencia
 P_{MEDIA} = Potencia media de la secuencia más alta de pulsos

Esto da como resultado una potencia promedio 4.8dB por debajo de la potencia media de la secuencia principal de pulsos, o una potencia promedio total de 27.8dBm.

La siguiente figura muestra la medida de potencia de esta secuencia de pulsos así como la medida de la potencia de pico:

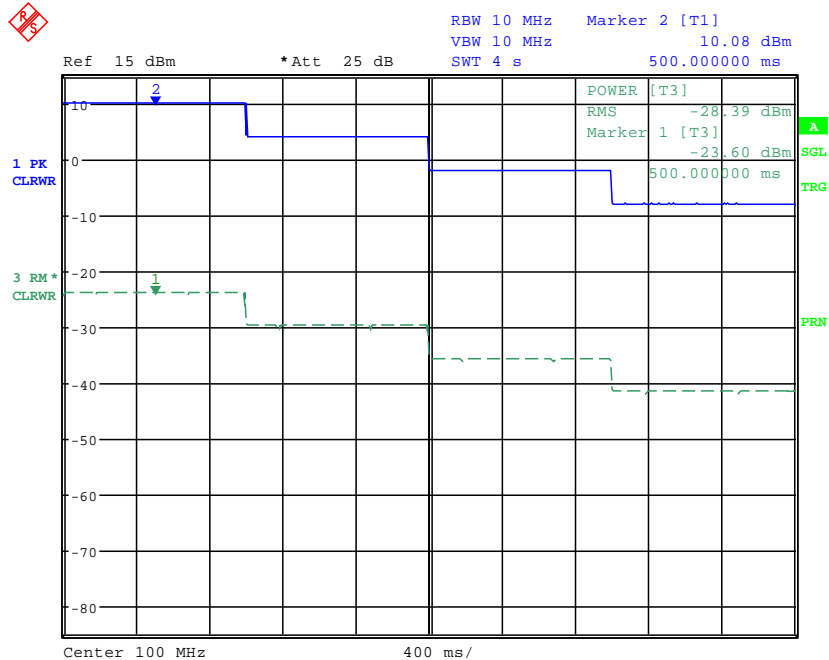


Fig 8 Medida de la potencia media utilizando la función "Summary Marker".

En la figura se muestra la ventaja de utilizar dos detectores en paralelo que proporciona el FSP: en la traza 1 (azul) la medida se ha realizado con el detector de pico, con la marca 2 situada en el valor de pico. La lectura del pico es +10.08dBm (lectura de la marca 2 en la traza 1). Al mismo tiempo, en la traza 3 (verde) se está utilizando el detector RMS para medir la potencia media de cada píxel. La marca situada en la traza 3 muestra el valor más alto, -23.6dBm. Si se compara este valor con el obtenido con la medida de potencia en canal, la diferencia es de -0.6dB. Esta diferencia es achacable al tiempo de establecimiento de los filtros de resolución y vídeo.

La función de potencia promedio activada en la traza 3 calcula la potencia media de todas las muestras (píxeles) de la traza 3 y muestra el resultado en la esquina superior derecha de la pantalla como POWER [T3], RMS -28.39dBm. Este valor coincide con el valor promedio calculado, dando como resultado -28.4dBm (-23.6dBm -4.8dB).

Fuentes de error

Como se ha mencionado ya en la sección anterior, la medida de señales pulsadas con frecuencias de modulación elevadas introducen errores adicionales en las medidas de nivel a parte de la incertidumbre de nivel del propio analizador de espectro.

- Errores de la potencia promedio debido a la utilización de un período de tiempo incorrecto.

Medidas de Potencia en Señales Pulsadas

- Errores debido a la velocidad de muestreo del detector RMS.

Para poder realizar las medidas de potencia promedio de eventos periódicos es necesario que la configuración del tiempo de medida sea lo más precisa posible. El tiempo de medida total debe incluir un número entero de períodos de la señal modulada. Es muy importante si se miden uno o varios períodos. En el ejemplo anterior con una señal pulsada con cambio de nivel en cuatro pasos, el período de la modulación de amplitud que simula el movimiento de la antena es 4 segundos. Si el tiempo de medida es diferente de estos 4 segundos, puede ocurrir que se capturen dos máximo o dos mínimos consecutivos, dependiendo del punto en el que comience la medida. Las siguientes gráficas muestran medidas con un tiempo de barrido de 4.4 segundos:

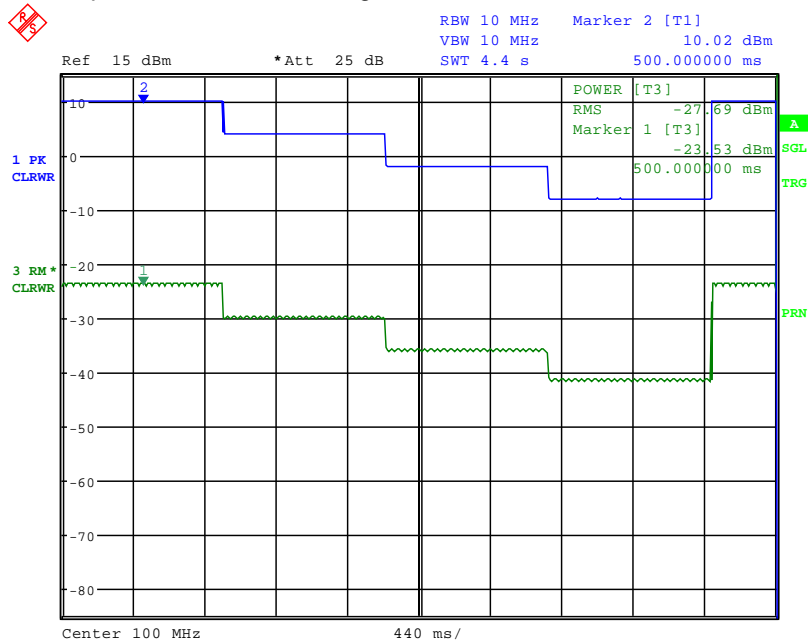


Fig 9 Medida de potencia con un tiempo de medida erróneo.

El resultado de la medida de potencia promedio en este ejemplo es de -27.69dBm , comparado con los -28.39dBm que se obtenían en la medida en la que se utilizaba un tiempo de barrido correcto, se produce un error de $+0.7\text{dB}$. El desplazamiento del pico al centro de la pantalla puede reducir este error:

Medidas de Potencia en Señales Pulsadas

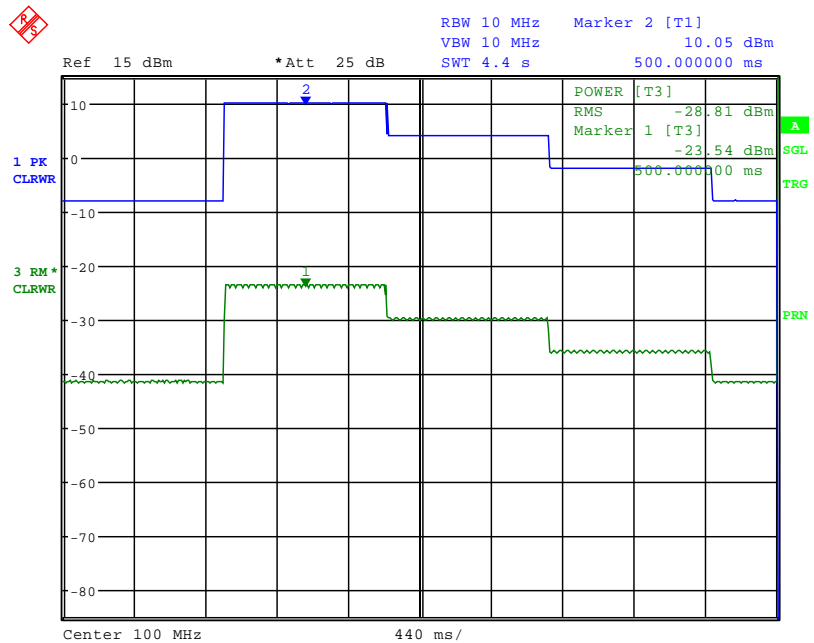


Fig 10 Medida de potencia con la señal desplazada.

Así, la medida sólo incluye un pico, mientras que las zonas adicionales con bajo nivel no cambian el valor de la potencia total de forma significativa. La lectura de la potencia promedio es -28.81dBm , que está sólo -0.4dB por debajo de la medida correcta.

Otra fuente de error es la velocidad de promedio del detector RMS. La traza inferior (Traza 3, detección RMS) en la medida anterior muestra un pequeño rizado. Para medida de señales pulsadas, una velocidad de muestreo de 32MHz da como resultado una resolución en tiempo (T_{muestreo}) de 31.25ns .

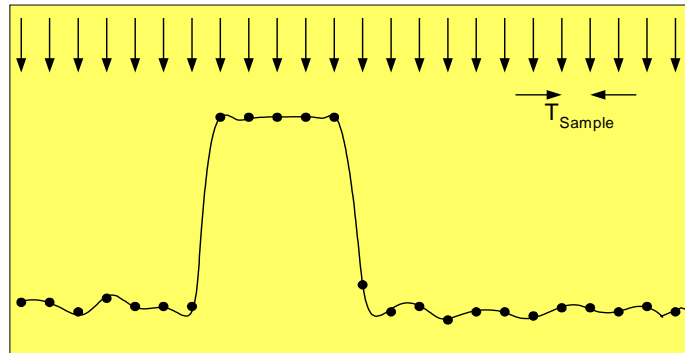


Fig 11 Muestreo de una señal pulsada en el dominio del tiempo.

Esta figura muestra el muestreo de un pulso. El pulso se captura con cinco muestras. En el ejemplo de un pulso con una anchura de 500ns con una PRF de 1kHz , el pico se capturará con un máximo de 16 muestras ($500\text{ns} / 31.25\text{ns} = 16$). En el peor caso, el pulso estará desplazado la mitad del período de muestreo, es decir, que sólo haya 15 muestras en el pico del pulso. En este caso, la potencia media de la señal será -23.3dBm , que da un error de 0.3dB debido a la muestra que se pierde. Para pulsos más anchos o señales con una PRF más elevada, este efecto se puede despreciar ya que habrá más pulsos en la anchura del pulso.

5 Literatura

- [1]) Josef Wolf y Bob Buxton, "Measure Adjacent Channel Power With a Spectrum Analyzer," *Microwaves & RF*, Enero 1997, pp. 55-60.
- [2] Nota de Aplicación 1EF45_E, "Spurious Emission Measurement on 3 GPP Base Station Transmitters"
- [3] Nota de Aplicación " Pulsed Signal Spectrum Analysis", Morris Engelson, Tektronix Inc, 5/93

6 Información de pedido

Tipo de instrumento

		Número de pedido
Rohde & Schwarz FSP30	9 kHz a 30 GHz	1093.4495.30
Rohde & Schwarz FSP40	9 kHz a 40 GHz	1093.4495.40
Rohde & Schwarz FSU26	20 Hz a 26.5 GHz	1129.9003.26



ROHDE & SCHWARZ

ROHDE & SCHWARZ ESPAÑA · Salcedo, 11 · 28034 Madrid · Teléfono +34 91 33410 70 · Fax +34 91 803 58 33

Internet: <http://www.rohde-schwarz.es> · e-mail: stecnico@rses.rohde-schwarz.com