

ANALISIS DEL DOMINIO DEL TIEMPO CON ANALIZADORES VECTORIALES DE RED DE COPPER MOUNTAIN TECHNOLOGIES (VNA)

09/20/2019

Contenido

INTRODUCCION	2
AJUSTES	3
Ajustes del Dominio de Frecuencia	3
Rango de Frecuencia	3
Puntos	4
Ajustes de Dominio del Tiempo	4
Transformation Tipo:	4
Ventana	6
Factor de Velocidad	10
FILTRO DE DOMINIO DEL TIEMPO (Gating).....	11
APLICACIONES COMUNES	14
A: Impedancia en una línea PCB	14
B: DTF en un cable largo	15
C: Mediciones diferenciales de alta velocidad	17
D: Antena tipo horn X-band.....	18
CONCLUSION.....	20
REFERENCIAS.....	20

INTRODUCCION

Un Analizador de Redes Vectoriales VNA) mide de forma nativa los parámetros S complejos de un dispositivo bajo prueba (DUT) en el modo de dominio de frecuencia cuando barre varios puntos de frecuencia. Si bien hay una lista exhaustiva de mediciones que se pueden lograr en el modo de dominio de frecuencia estándar, utilizando la transformación z de Chirp inversa avanzada, las mediciones también se pueden analizar simultáneamente en el modo de dominio de tiempo. Esto brinda la ventaja adicional de que los dos modos fundamentales de análisis pueden ser realizados por un solo instrumento.

Un VNA con su método de corrección de error vectorial de alta precisión puede localizar con precisión los desajustes al igual que lo haría un Reflectómetro de dominio de tiempo (TDR) tradicional. Aunque ambos instrumentos proporcionan dominio de frecuencia y tiempo usando la transformada de Fourier, funcionan de manera diferente en términos de la operación principal. A diferencia de un TDR quien envía un paso o un impulso por la línea de transmisión y compara la señal reflejada con un osciloscopio de banda ancha, un VNA usa receptores sintonizados de banda estrecha para comparar la señal de frecuencia barrida, allanando así el camino para lograr una mejor relación señal / ruido. Crear un rango dinámico más alto, que es útil para muchas mediciones, incluso en el modo de dominio de tiempo.

Para un ingeniero de RF/Microondas, las mediciones en el dominio del tiempo son principalmente útiles para identificar el comportamiento de un dispositivo en ubicaciones específicas. Y más recientemente, con la creciente necesidad de aplicaciones de alta velocidad, los VNA también están ganando popularidad entre los ingenieros digitales para las pruebas de integridad de la señal.

Nota: Todos los VNA de Copper Mountain Technologies, excepto la serie compacta M, vienen con dominio de tiempo y filtrado de frecuencia como una característica estándar en el software de aplicación VNA.

BREVE TEORÍA

La transformada de Fourier es una herramienta poderosa que hace posible las transformaciones de dominio de frecuencia y tiempo. Estas transformaciones se realizan analizando el impulso y las respuestas escalonadas de una red. Se utilizan varios algoritmos rápidos de transformación de Fourier (FFT) en instrumentos de prueba y medición debido a sus tiempos de cálculo superiores en comparación con la transformación de Fourier discreta (DFT). Sin embargo, como el VNA mide la magnitud discreta y la fase del DUT en un rango de frecuencia finito, existen algunas limitaciones en las transformaciones que se pueden aplicar. Por lo tanto, se utiliza un algoritmo chirp z patentado. La ventaja de usar chirp z es que ofrece una mayor flexibilidad para evaluar la transformación z a lo largo de contornos distintos del círculo unitario, ya que las muestras de entrada y salida no tienen que ser las mismas. Esto esencialmente permite al usuario enfocarse en el área deseada en el eje del dominio del tiempo.

A partir de [1], para una secuencia de muestra N dada, la transformación z de Chirp se define como:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] (A \cdot W^{-k})^{-n}$$

Donde $X(k)$ es la respuesta transformada para la secuencia de muestra N dada $x[n]$ muestreada en puntos M ($0 \leq k \leq M - 1$). Aquí A y W son números complejos arbitrarios definidos como:

$$A = A_0 e^{i2\pi\theta_0}$$

$$W = W_0 e^{-j2\pi\varphi_0}$$

Donde A_0 es el radio inicial, θ_0 es el ángulo inicial y φ_0 es el tamaño del escalón angular. La velocidad a la que el contorno entra o sale en espiral del círculo de radio A_0 se establece mediante la constante W_0 . El término $A W^{-k}$ configura el contorno en el que se define la transformación z .

Además de esto, hay funciones adicionales a considerar antes de aplicar la transformación, tales como: paso bajo (donde las frecuencias DC y negativas se extrapolan para simular TDR) y modos de paso de banda (para DUT limitados de banda) y ventanas (para trincar la señal) para nombrar unos pocos. Los usuarios pueden ajustar esta configuración para adaptarse mejor a su aplicación. Como el objetivo de esta nota de aplicación no es profundizar en el algoritmo subyacente, la siguiente sección muestra cómo estas y otras configuraciones afectan las transformaciones del dominio del tiempo en un VNA.

AJUSTES

Las transformaciones de dominio de tiempo son operaciones de rastreo realizadas en una traza activa cuando el tipo de barrido se establece como lineal. Para lograr las medidas en dominio de tiempo deseadas para diversas aplicaciones, se deben usar las configuraciones apropiadas.

Ajustes del Dominio de Frecuencia

Rango de Frecuencia

La resolución en el dominio del tiempo es inversamente proporcional al intervalo de frecuencia de la configuración de VNA. Entonces, cuanto más amplia es la frecuencia, mejor es la resolución. Además de la configuración del intervalo de frecuencia, la configuración de la ventana (discutida más adelante) también determina la resolución en el modo de dominio de tiempo:

$$\text{resolución (en distancia)} \approx \frac{V_p * C}{2 * (F_{max} - F_{min})}$$

Donde V_p es el factor de transmisión de velocidad de la línea de transmisión:

C es la velocidad de la luz

F_{max} & F_{min} son la frecuencia máxima y mínima del VNA

En general, para lograr una resolución más alta, se debe utilizar el rango completo del VNA incluso si las frecuencias están fuera del rango de trabajo del DUT. Esto es válido siempre que el DUT no limite la banda, como los filtros o las guías de onda.

Puntos

El rango en el dominio del tiempo es directamente proporcional al número de puntos de frecuencia e inversamente proporcional al tamaño del paso de frecuencia de la configuración del VNA. Entonces, para medir distancias más largas, es necesario establecer muchos puntos de frecuencia. Aquí está la ecuación para calcular el rango libre de alias y para evitar respuestas repetidas:

$$\text{Distancia (una dirección)} = \frac{V_p * C}{2 * \Delta f}$$

Donde V_p es el valor de velocidad de la línea de transmisión

C es la velocidad de la luz

$$\Delta f \text{ (tamaño de paso de frecuencia)} = \frac{F_{max} - F_{min}}{\text{total de puntos} - 1}$$

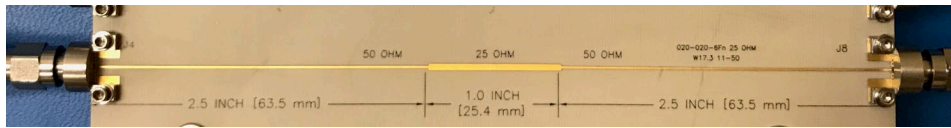
Para cálculos de dominio de tiempo adecuados, siempre se recomienda elegir puntos de frecuencia más que adecuados. Sin embargo, la desventaja de establecer un gran número de puntos de frecuencia es una velocidad de barrido más lenta.

Ajustes de Dominio del Tiempo

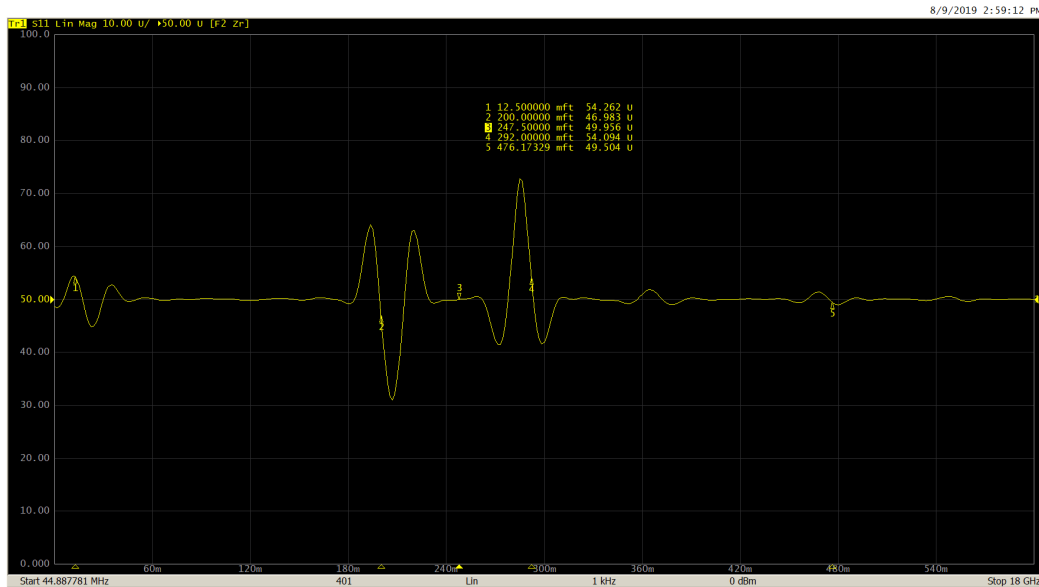
Transformation Tipo:

A: Modo Pasabanda

El modo de paso de banda es un modo de transformación más simple y genérico, que simula la respuesta de paso de banda de impulso. Este modo no requiere que las frecuencias estén relacionadas armónicamente. Por lo tanto, se puede usar sobre cualquier rango de frecuencia arbitrario. Esto es principalmente útil para medir dispositivos con banda limitada, como filtros y guías de onda. La desventaja aquí es que este modo solo le permite identificar ubicaciones de desajustes y discontinuidades, no muestra si son capacitivas, inductivas o resistivas.



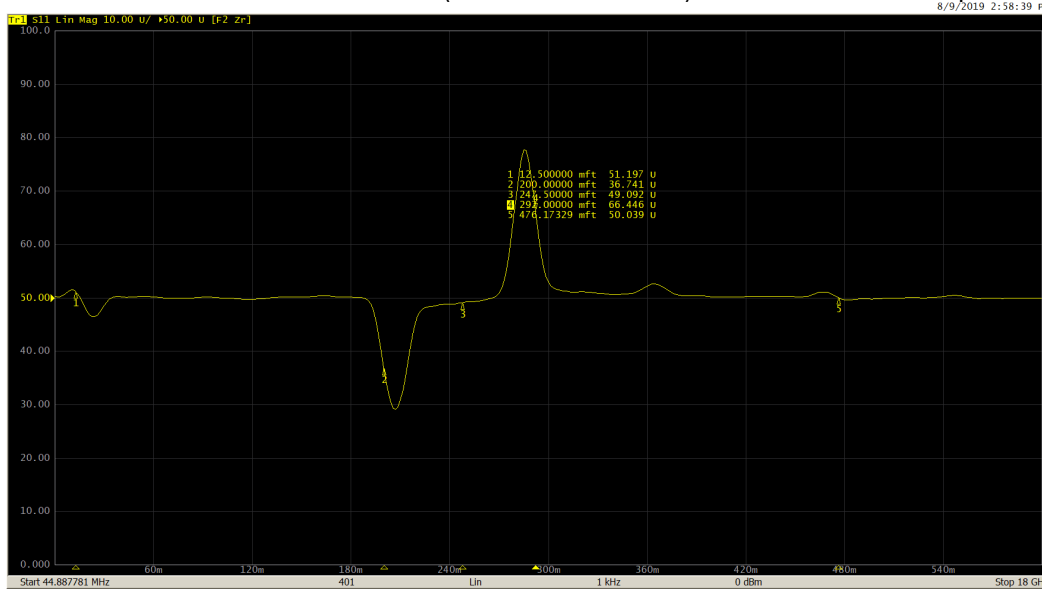
Aquí hay una respuesta del modo de paso de banda para la impedancia frente a la distancia en una línea de 50-25-50 ohmios:



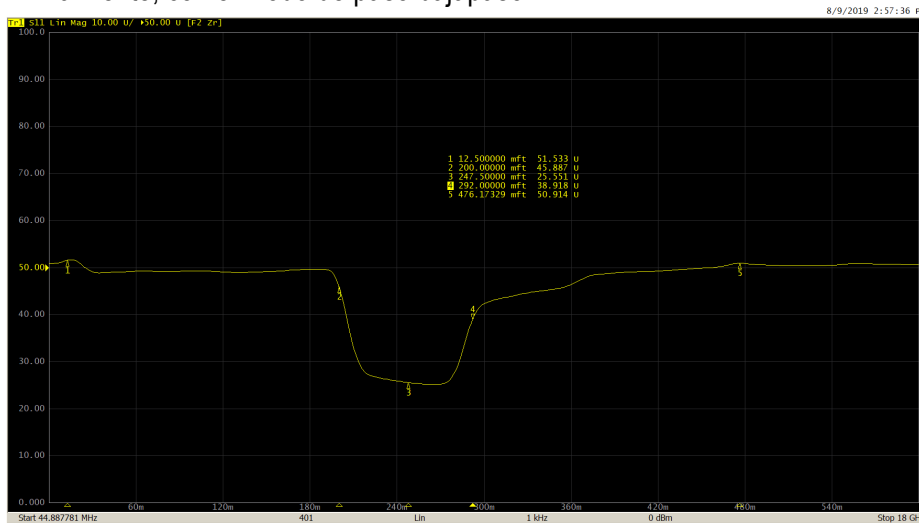
B: Modo Pasabajo

El modo de paso bajo, por otro lado, es útil para determinar el tipo de cambio de impedancia presente en la ubicación del desajuste. Este modo simula impulsos de pasabajo o respuestas escalonadas. En ambos modos de pasabajo, las frecuencias hasta DC se extrapolan para crear la red armónica necesaria para esta transformación. Debido a esto, ambos modos de paso e impulso a pasabajo proporcionan una mejor resolución en el dominio del tiempo para un intervalo de frecuencia dado, que el modo de paso de banda. En este modo, la respuesta al paso y al estímulo de impulso contiene información que describe tanto dónde se encuentra la falta de coincidencia como qué tipo de cambio de impedancia está presente. Este modo es adecuado para DUT que llegan a frecuencias DC, como cables.

Medición realizada en el mismo DUT (línea 50-25-50 Ohm) usando el modo de impulso de paso bajo:



Y finalmente, con el modo de paso bajapaso:



Ventana

En la práctica, cada señal debe ser finita antes del procesamiento. Por lo tanto, la señal de entrada debe muestrearse y truncarse antes de realizar transformaciones en el dominio del tiempo. Sin embargo, esto da como resultado una fuga espectral en las discontinuidades. La cantidad de esta fuga depende de la amplitud de las discontinuidades, que se pueden ajustar aplicando la función de ventana. Esto se realiza multiplicando la señal del dominio del tiempo con una forma de onda de ventana.

La aplicación VNA utiliza la ventana Kaiser para realizar la transformación del dominio del tiempo. La ventana de Kaiser se describe mediante el parámetro β , que ajusta suavemente la forma de la ventana de mínimo (rectangular) a máximo. La forma de la ventana se puede ajustar o configurar usando las tres ventanas preprogramadas:

- **Mínimo** (rectangular);
- **Normal**;
- **Maximo**.

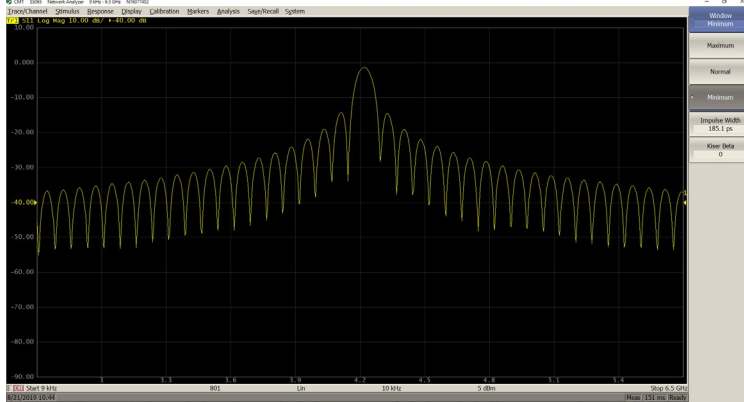
Los valores de β pueden ajustarse de 0 a 13. 0 corresponde a la ventana mínima, 6 corresponde a la ventana normal, 13 corresponde a la ventana máxima. A medida que aumenta el valor β , es fácil notar el equilibrio entre el ancho del lóbulo principal (o el tiempo de aumento de paso en paso bajo) y el nivel del lóbulo lateral.

Ventana	Impulse Pasabanda		Impulse Pasabajo		Paso de Pasabajo	
	Nivel de Lóbulos Laterales	Amplitud de Pulso	Nivel de Lóbulos Laterales	Amplitud de Pulso	Nivel de Lóbulos Laterales	Ancho de borde
Mínimo	- 13 dB	$\frac{1.2}{F_{max} - F_{min}}$	- 13 dB	$\frac{0.6}{F_{max} - F_{min}}$	- 21 dB	$\frac{0.45}{F_{max} - F_{min}}$
Normal	- 44 dB	$\frac{1.96}{F_{max} - F_{min}}$	- 44 dB	$\frac{0.98}{F_{max} - F_{min}}$	- 60 dB	$\frac{0.99}{F_{max} - F_{min}}$
Maximo	- 75 dB	$\frac{2.78}{F_{max} - F_{min}}$	- 75 dB	$\frac{1.39}{F_{max} - F_{min}}$	- 75 dB	$\frac{1.48}{F_{max} - F_{min}}$

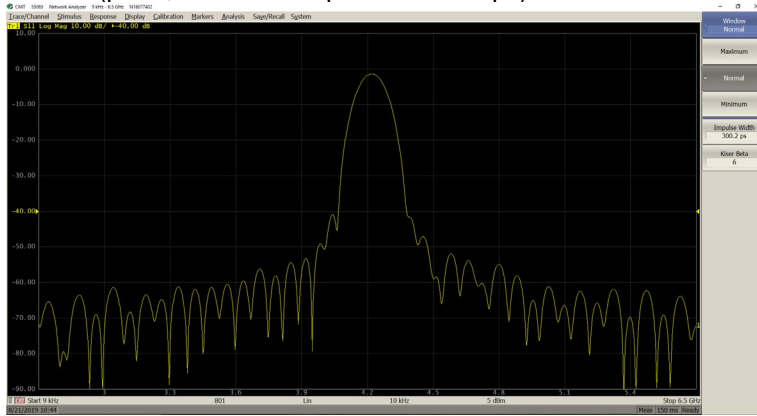
Estos son los efectos de la ventana:

Modo Pasabanda:

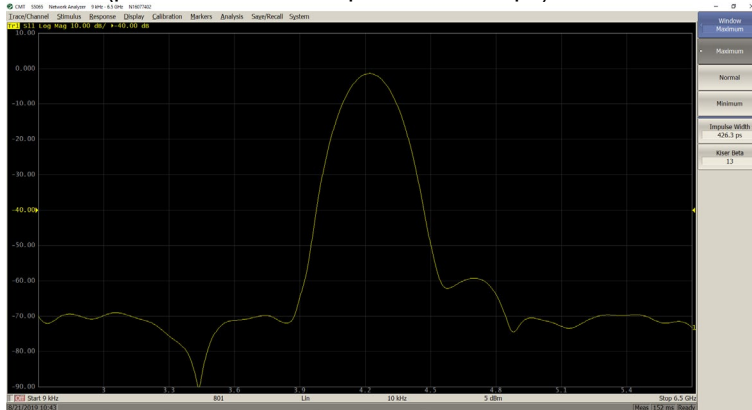
Mínimo ($\beta = 0$; Ancho de impulso = 185.1 ps)



Normal ($\beta = 6$; Ancho de impulso = 300.2 ps)

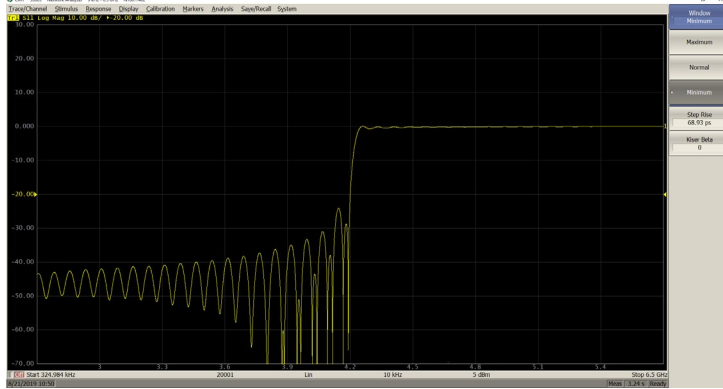


Máximo ($\beta = 13$; Ancho de impulso = 426.3 ps)

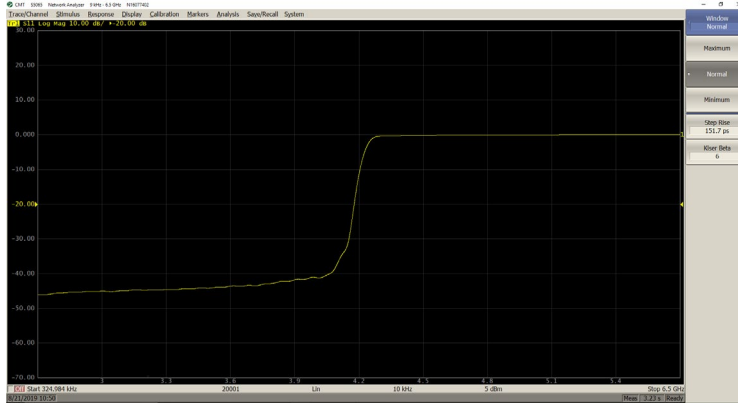


Modo pasabajo

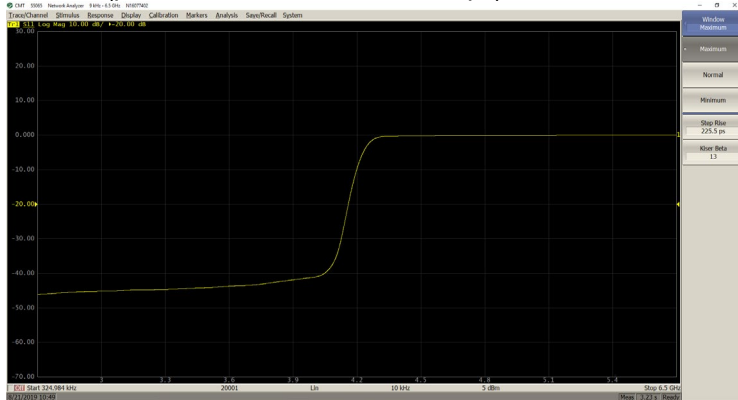
Mínimo ($\beta = 0$; Paso Elevado = 68.93 ps)



Normal ($\beta = 6$; Paso Elevado = 151.7 ps)



Maximo ($\beta = 13$; Paso Elevado = 225.5 ps)



Factor de Velocidad

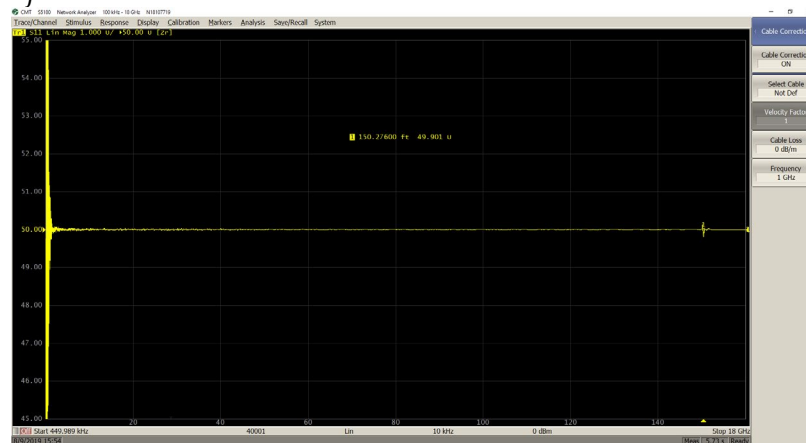
El tiempo y la distancia están relacionados por la velocidad. Para obtener la ubicación exacta de la falla, es importante establecer el factor de velocidad correcto del medio de transmisión.

Por defecto, el software de la aplicación supone que es igual a 1. Pero en la práctica, esto puede ser diferente dependiendo de las características de la línea de transmisión. Si no se conoce el factor de velocidad de una línea de transmisión, se puede calcular a partir del valor de la constante dieléctrica:

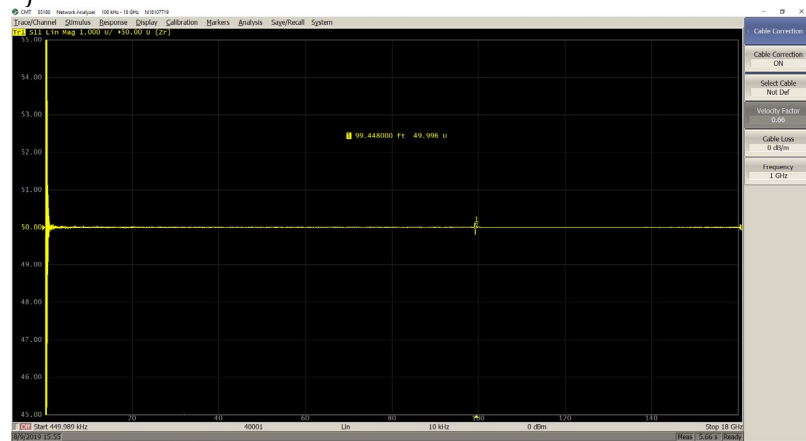
$$V_f = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{donde } \epsilon_r \text{ es el valor de la constante dieléctrica}$$

Las dos mediciones a continuación muestran el impacto de ingresar el valor del factor de velocidad adecuado en un cable de 100 pies:

$$V_f = 1$$



$$V_f = 0.66$$



Como se ve a partir de los valores de los marcadores, solo ingresando el factor de velocidad apropiado (0.66 para el cable bajo prueba), se puede ver la longitud correcta del cable.

FILTRO DE DOMINIO DEL TIEMPO (Gating)

Filtrado del dominio del tiempo es otra característica poderosa en un VNA que elimina matemáticamente las respuestas no deseadas en el dominio del tiempo. La función realiza la transformación del dominio del tiempo y aplica la transformación inversa de regreso al dominio de la frecuencia al intervalo de tiempo definido por el usuario. Esta función se usa para eliminar los efectos de desajuste de los dispositivos de fijación de la respuesta de frecuencia, si la señal útil y la señal de desajuste son separables en el dominio del tiempo.

La función involucra dos tipos de filtrado de dominio de tiempo:

- *pasabanda* – elimina la respuesta fuera del tramo filtrado,
- *pico* – elimina la respuesta dentro del tramo filtrado.

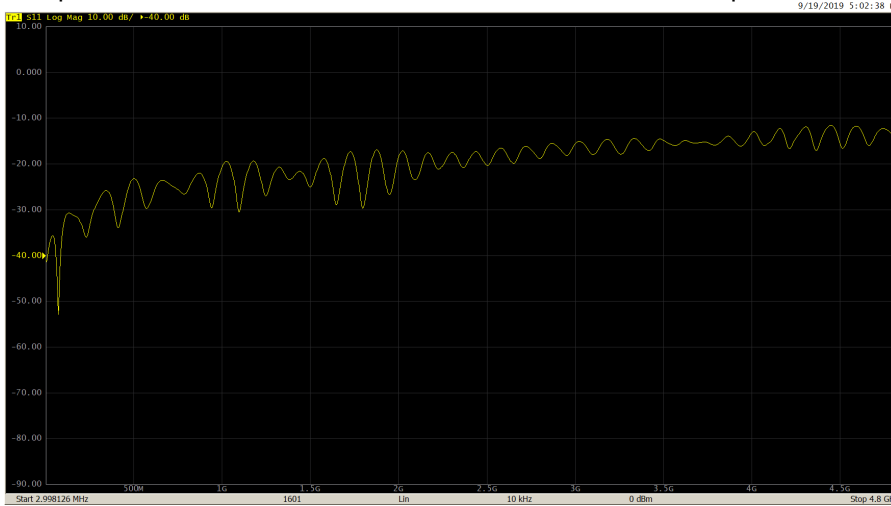
La forma rectangular de la ventana en el dominio de la frecuencia conduce a espurios en los lóbulos laterales, debido a cambios bruscos de señal en los límites de la ventana. Se ofrecen las siguientes formas de puerta para reducir los lóbulos laterales:

- *máximo*;
- *ancho*;
- *normal*;
- *mínimo*.

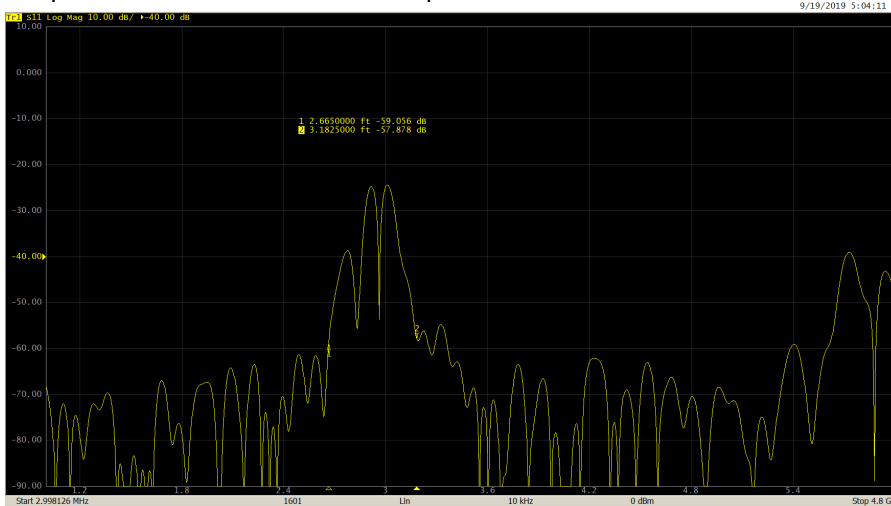
La ventana mínima tiene la forma cercana a un rectángulo. La ventana máxima tiene una forma más suave. Desde la forma de ventana mínima hasta la máxima, el nivel del lóbulo lateral aumenta y la resolución de la puerta se reduce. La elección de la forma de la ventana es siempre una compensación entre la resolución de la puerta y el nivel de los lóbulos laterales espurios.

Aquí está el efecto de aplicar el filtrado (gating) en una falla de coincidencia en un cable de 50 Ohm:

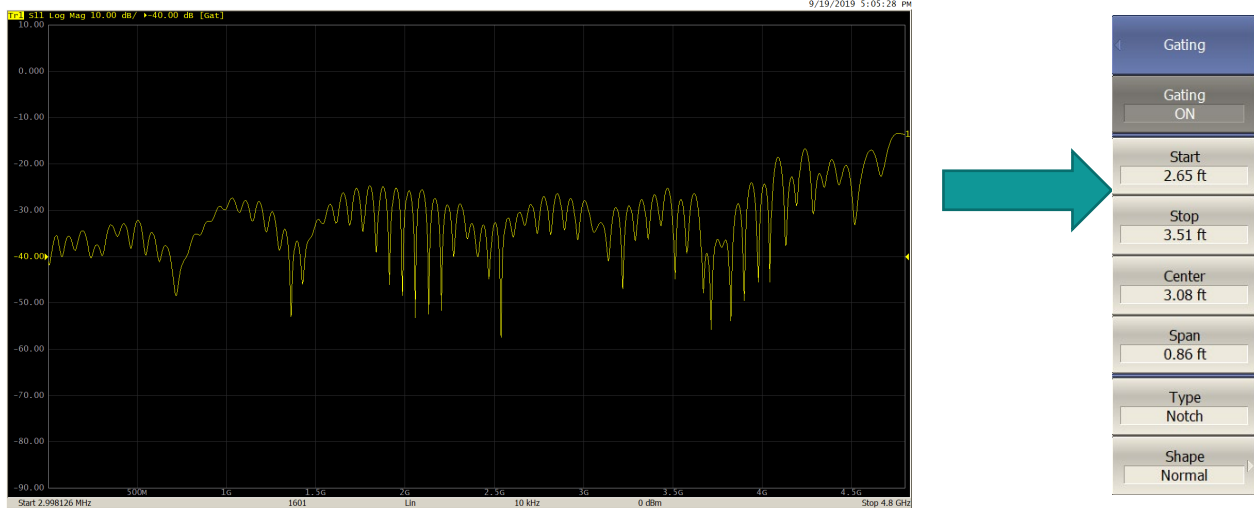
S11 pérdida de retorno en el dominio de frecuencia antes de aplicar el filtrado:



Respuesta vista en dominio del tiempo:



S11 pérdida de retorno en el dominio de frecuencia después de la activación:



Después de filtrar el desajuste usando el tipo "Notch", como se esperaba, la pérdida de retorno del S11 muestra una mejora.

CONSIDERACIONES DE PRECISIÓN

Debido a las complejidades involucradas en la configuración de las mediciones en el dominio del tiempo para diversas aplicaciones, no se especifica la precisión de la medición de un analizador de red vectorial (VNA) en el dominio del tiempo. Por lo tanto, estos datos no se indican en las especificaciones, ya que dependen no solo de los parámetros del VNA en el dominio de la frecuencia, sino también de las propiedades y la configuración del dispositivo bajo prueba (DUT) en el dominio del tiempo.

La medición del retraso (o distancia) depende principalmente de dos factores:

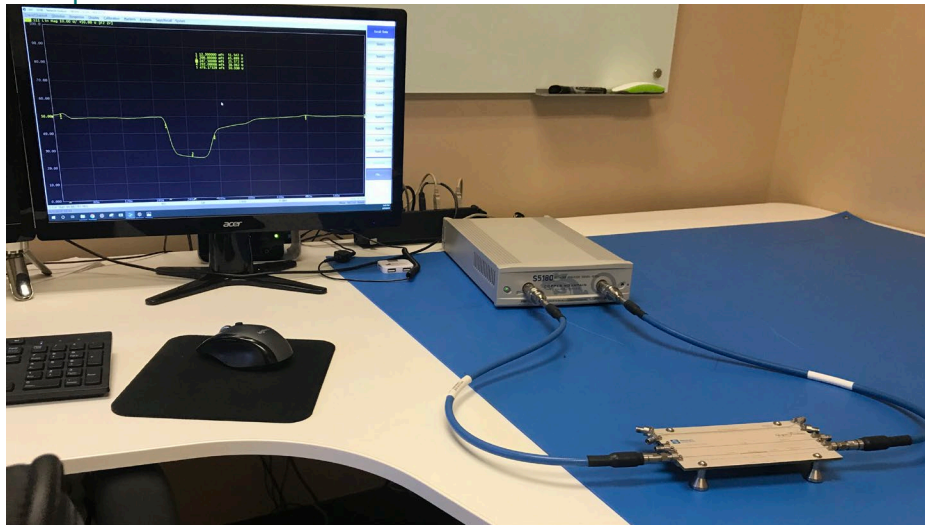
Primero, el intervalo de frecuencia o la frecuencia máxima del VNA determina la resolución en el dominio del tiempo (inversamente proporcional como se mencionó anteriormente en la sección "Ajustes"). Según la configuración de transformación, el error máximo puede ser igual a la mitad de la resolución:

$$\Delta \tau_{\text{max}} = \frac{1}{2f_{\text{max}}} \text{ (band-pass mode)} \quad \Delta \tau_{\text{max}} = \frac{1}{4f_{\text{max}}} \text{ (low-pass mode)}$$

En segundo lugar, cuando el retraso se recalcula en una distancia considerando el valor de la permitividad efectiva del medio. El error en la permitividad conocida aumenta el error al calcular la distancia.

APLICACIONES COMUNES

A: Impedancia en una línea PCB



Configuración

S5180 VNA (2 puertos, 100 kHz to 18 GHz), 2 adaptadores N-type a 3.5 mm, 2 cables coaxiales de 2.92 mm y una tarjeta de prueba con una línea de intermedia de 25 Ohm.

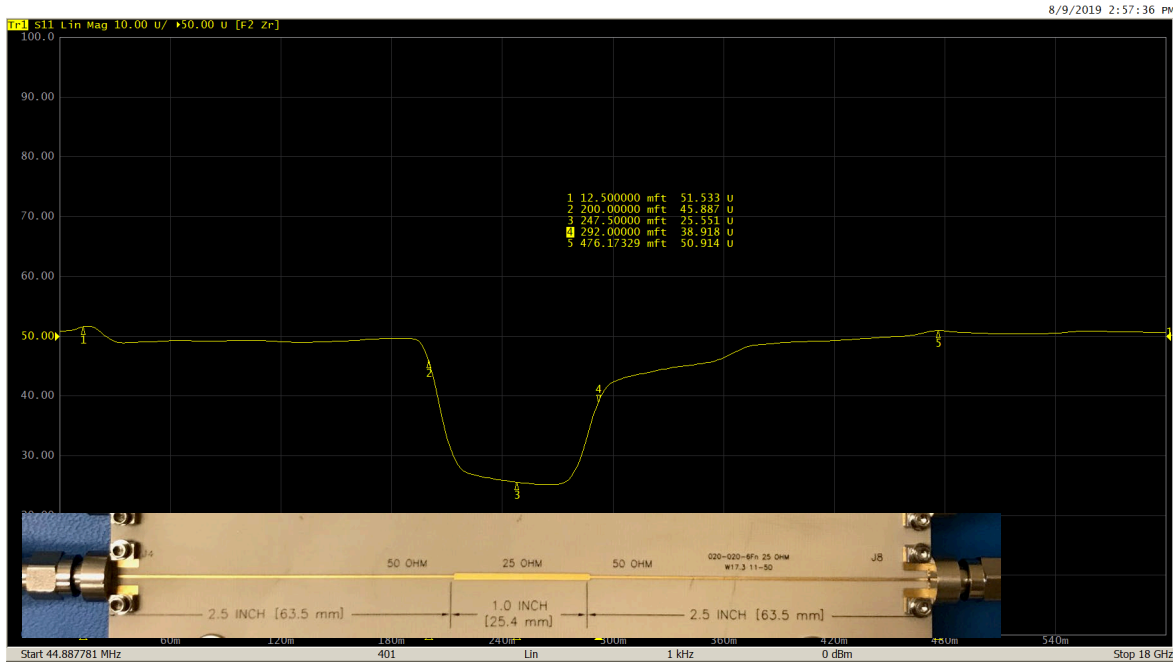
Pasos

- 1) Establezca la configuración de estímulo: intervalo de frecuencia, puntos y tipo de barrido lineal.
- 2) Haga clic en "Establecer paso bajo de frecuencia" para crear una cuadrícula armónica (*Analysis > Time Domain > Set Frequency Low Pass*).
- 3) Realice la calibración completa de 2 puertos en el plano de (*Calibration > Calibrate*).
- 4) Ajuste la configuración de dominio de tiempo (*Analysis > Time Domain*): unit, reflection type – one way, velocity factor and loss, start and stop value, transformation type – Lowpass step, Window – Normal.
- 5) Habilite el modo de dominio de tiempo (*Analysis > Time Domain > ON*).
- 6) Ajuste la configuración de la pantalla para medir la impedancia (eje y) frente a la distancia (eje x):
 - a) Establezca la traza en 'S11 linear magnitude'.

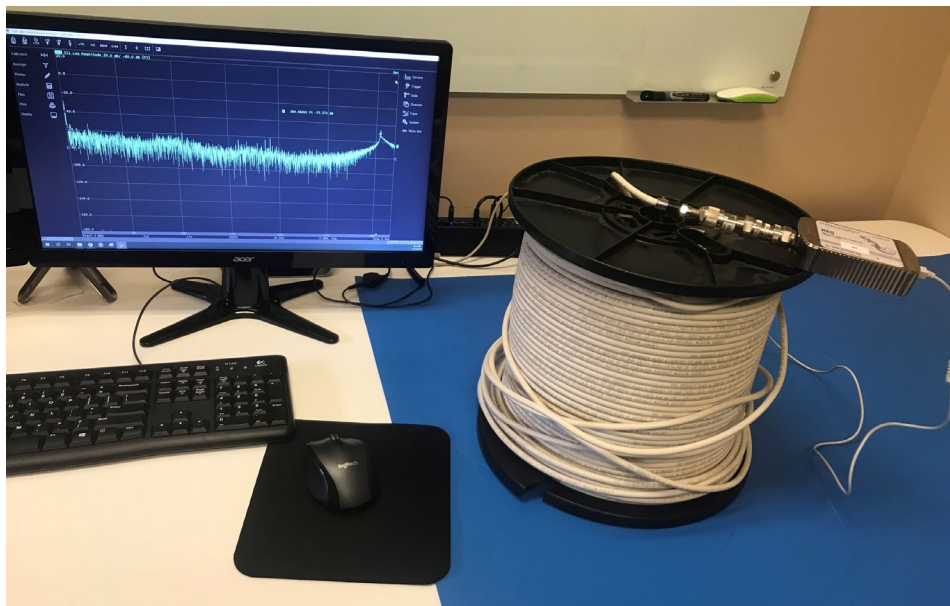


b) Habilite la impedancia (*Analysis > Conversion > Function – Z:Reflection > ON*).

Medicion



B: DTF en un cable largo

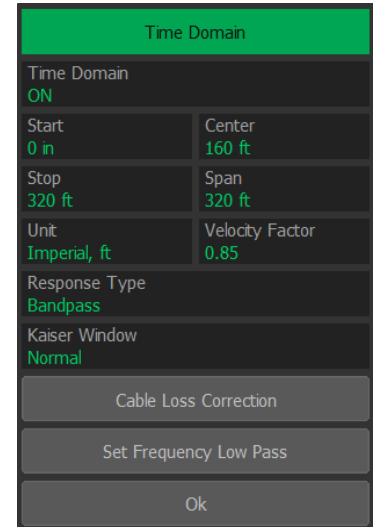


Configuración

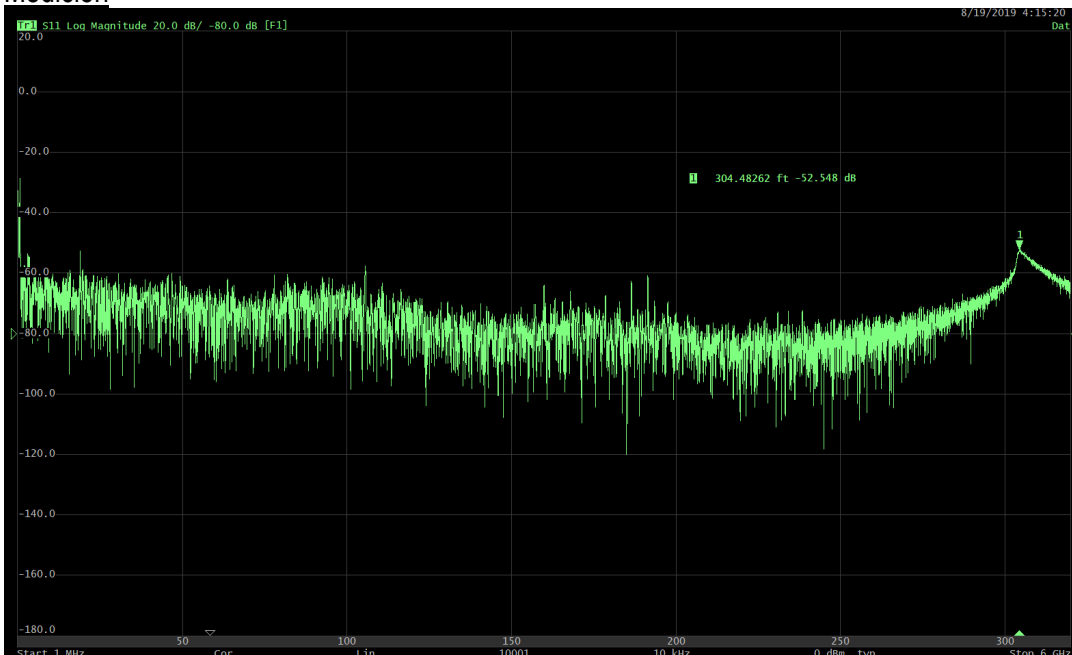
R60 VNA (1-port, 1 MHz to 6 GHz), un adaptador tipo barril N-type de 50 Ohm, un adaptador N-type 50 Ohm a 75 Ohm, un adaptador N-type a F-type, un cable de CATV de 300 pies de largo para prueba.

Pasos

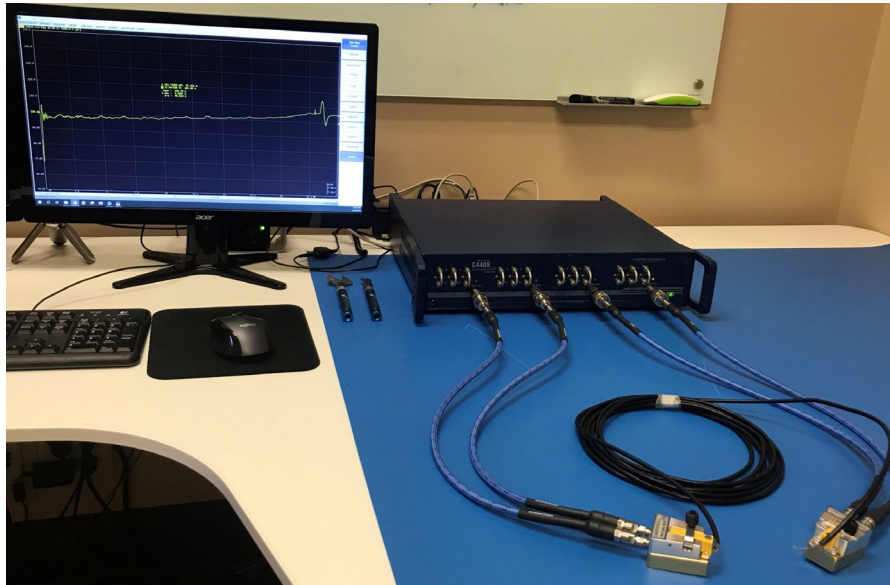
- 1) Establezca la configuración: intervalo de frecuencia, puntos y tipo de barrido lineal.
- 2) Realice la calibración completa de 1 puerto (*Calibration > Calibrate*).
- 3) Ajuste los parámetros de dominio de tiempo (*Analysis > Time Domain*): unit, reflection type – one way, velocity factor and loss, start and stop value, response type – Bandpass, Window – Normal.
- 4) Habilite el modo de dominio de tiempo (*Analysis > Time Domain > ON*).
- 5) Ajuste la configuración de la pantalla para medir la pérdida de retorno (eje y) frente a la distancia (eje x) (Trace > Format – Log Magnitude)



Medición



C: Mediciones diferenciales de alta velocidad

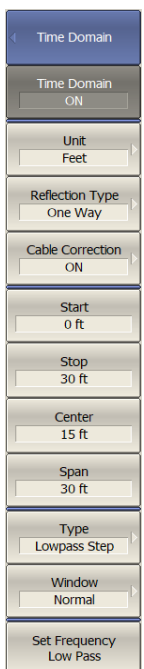


Configuración

C4409 VNA (4 puertos, 100 kHz a 9 GHz), cuatro adaptadores de N-type a 3.5 mm, cuatro cables coaxiales de 2.92 mm, dos accesorios de cable coaxial a cable desnudo y un cable LVDS de alta velocidad diferencial de 100 Ohm para prueba.

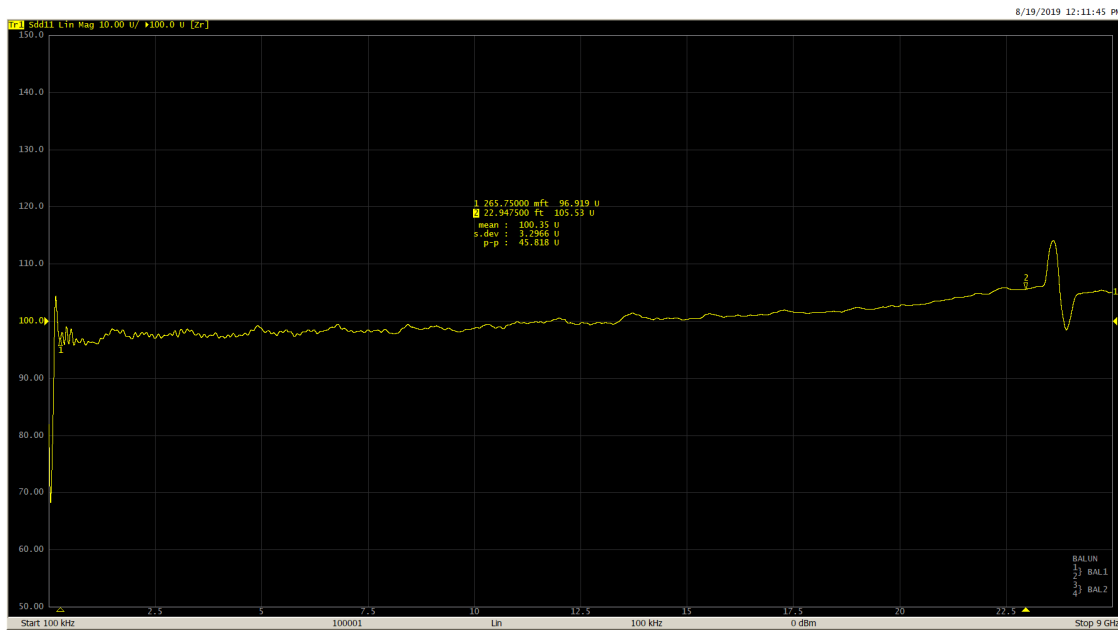
Pasos

- 1) Establezca la configuración: intervalo de frecuencia, puntos y tipo de barrido.
- 2) Haga clic en "Establecer paso bajo de frecuencia" para crear una cuadrícula armónica (*Analysis > Time Domain > Set Frequency Low Pass*).
- 3) Realice la calibración completa de 4 puertos en el plano de (*Calibration > Calibrate*).
- 4) Elimine los accesorios utilizando el archive touchstone provisto por el fabricante (*Analysis > Fixture Simulator > De-Embedding s4p*).
- 5) Habilite modo balanceado para medir el parámetro diferencial Sdd11 (*Analysis > Fixture Simulator - ON > BalUn - ON*)
- 6) Ajuste la configuración del dominio de tiempo (*Analysis > Time Domain*): unit, reflection type – one way, velocity factor y loss, valores de start y stop, transformation type – Lowpass step, Window – Normal.

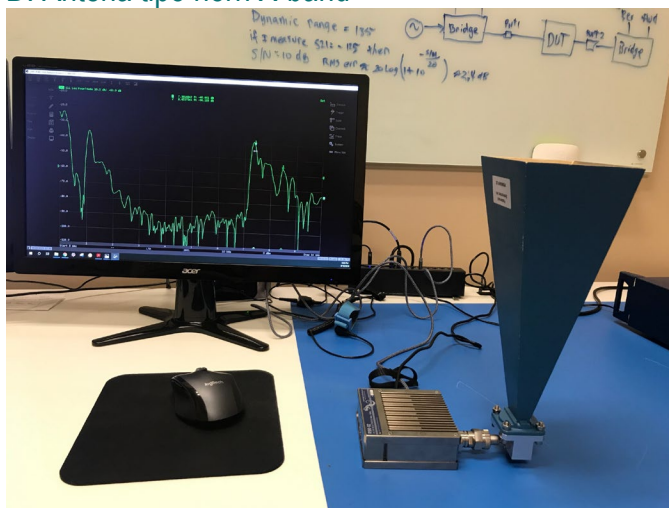


- 7) Habilite el modo de dominio de tiempo (*Analysis > Time Domain > ON*).
- 8) Ajuste la configuración de la pantalla para medir la impedancia (y-axis) vs distancia (x-axis):
 - a) Establezca el trazado como 'Sdd11 linear magnitude'.
 - b) Habilite la medición de impedancia (*Analysis > Conversion > Function – Z:Reflection > ON*).

Medición



D: Antena tipo horn X-band

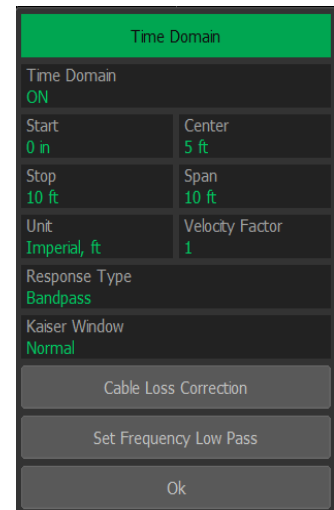


Configuración

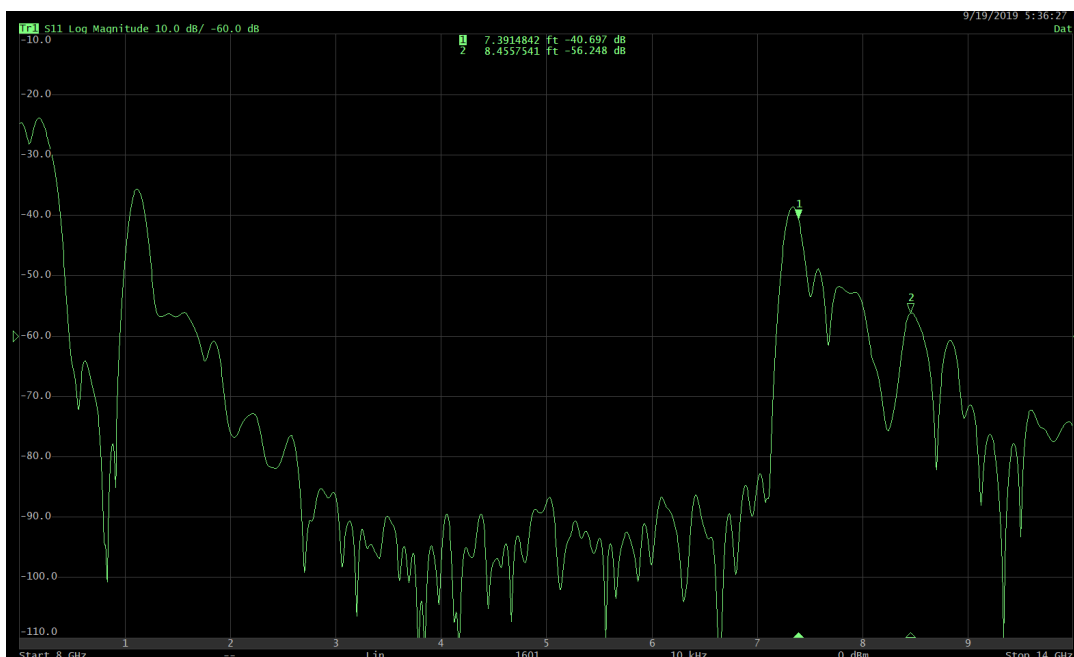
R180 VNA (1-port, 1 MHz to 18 GHz) y una antena X-band

Pasos

- 1) Establezca la configuración: intervalo de frecuencia, puntos y tipo de barrido.
- 2) Realice la calibración completa de 1 puerto (*Calibration > Calibrate*).
- 3) Ajuste los parámetros de dominio de tiempo (*Analysis > Time Domain*): unit, reflection type – one way, velocity factor and loss, valores start and stop, response type – Bandpass, Window – Normal.
- 4) Habilite el modo de dominio de tiempo (*Analysis > Time Domain > ON*).
- 5) Ajuste la configuración de la pantalla para medir la pérdida de retorno (eje y) frente a la distancia (eje x) (*Trace > Format – Log Magnitude*)



Medición



CONCLUSION

Como un VNA mide tanto la magnitud como la fase del DUT en el dominio de la frecuencia, hemos visto que el uso del algoritmo incorporando la transformación de Fourier inversa también puede visualizar en el modo del dominio del tiempo. Hemos visto cómo diferentes configuraciones pueden afectar la transformación del dominio del tiempo y las diversas aplicaciones que se pueden realizar con esta función.

Si necesita más información sobre esta nota de solicitud o cualquier ayuda con su solicitud, comuníquese con: support@coppermountaintech.com.

REFERENCIAS

- 1) "The Chirp z-Transform Algorithm", *L. R. Rabiner, R. W. Shafer, C. M. Rader*
- 2) "S2VNA Operating Manual" <https://coppermountaintech.com/s2-operating-manual/>
- 3) "Time Domain Reflectometry Measurements with a Vector Network Analyzer" video <https://coppermountaintech.com/video-time-domain-reflectometry-measurements-with-a-vector-network-analyzer/>, *Brian Walker*
- 4) "Sparse Inverse Chirp-Z Transform of S-Parameter Measurements for Time Domain Analysis of Transmission Line", *Guilherme H. Weber, Hector L. Moura, Guilherme Dutra, Uilian J. Dreyer, Rafael J. Daciuk, Jean C. C. da Silva, Cicero Martelli, Daniel R. Pipa, Marco J. da Silva.*
- 5) "Time-Domain Reflectometry using S-Parameters and De-embedding Application", *A. S. Ali and R. Mitra*
- 6) "Fundamentals of Vector Network Analysis", *Michael Hiebel*