

La calibración Thru-Reflect-Line (TRL) tiene una serie de ventajas sobre el método Short-Open-Load-Thru (SOLT) utilizado a menudo en la calibración de VNA. Para la calibración SOLT, los estándares deben ser caracterizados con precisión. Las aperturas y los cortos deben caracterizarse por la simulación electromagnética del diseño físico o pueden tener archivos asociados de "base de datos" de un puerto obtenidos por medición de alta precisión.

Si los archivos de la base de datos no están disponibles, la apertura y el corto se especificarán mediante un breve retraso seguido de un capacitor parásito o inductor a tierra. La capacitancia parásita de la inductancia abierta o parásita del corto se especifica mediante un polinomio de tercer orden sobre la frecuencia. Por lo general, se supone que el "Thru" no tiene pérdidas con una impedancia característica perfecta y su retraso generalmente se especifica. Si no se conoce la demora del thru, el VNA puede calcularlo. A menos que se proporcione un archivo de base de datos para la carga, se supone que es perfecto. Crear una carga de banda ancha "perfecta" es extremadamente difícil y en la calibración SOLT, la precisión de la carga es un gran contribuyente a la incertidumbre final de la medición.

Claramente, el uso de un kit de calibración SOLT basado en datos es altamente deseable, pero para ser útil, cada kit debe medirse con precisión con archivos de caracterización únicos proporcionados para cada kit que agrega un costo significativo. Los kits de calibración caracterizados con polinomios son más asequibles ya que cada kit con el mismo diseño mecánico compartirá el mismo conjunto de polinomios.

Por el contrario, la calibración TRL se compone de una línea Thru, un estándar Reflect y otra línea. En un TRL verdadero, el estándar Thru es de longitud cero y la línea tiene 90 grados de largo en la frecuencia central donde se realizará la calibración. El Reflejo puede ser cualquier cosa con una magnitud de reflexión de 1; es decir, Corto, abierto o cualquier otra cosa a lo largo de la circunferencia de la Carta de Smith y no necesita ser caracterizado. No se necesita carga. El retraso de la línea no necesita ser conocido con precisión. Claramente, es mucho más fácil crear estándares de calibración como estos para frecuencias muy altas. Sin embargo, un requisito importante es que la impedancia característica de la línea debe ser muy precisa y no debe variar con la frecuencia. Las líneas de aire de precisión a menudo se emplean para este propósito.

Para comprender el proceso de calibración, es importante comprender el modelo de error. La figura 1 muestra un diagrama de flujo del parámetro S para un dispositivo bajo prueba (DUT) con cuadros de error en cada lado que corresponden a los errores sistemáticos que deben eliminarse mediante el proceso de calibración. Resolver este problema claramente requiere la determinación de ocho incógnitas. La medición completa de 2 puertos del thru proporciona cuatro de estos. La medición de la línea proporciona otros cuatro y cada reflejo proporciona uno más cada uno para un total de diez. La fase de la reflexión y la constante de propagación de la línea están determinadas por esta información adicional.

Este es un resultado muy útil. Como se mencionó anteriormente, la caracterización de una reflexión, ya sea Abierto o Corto, generalmente viene dada por un retraso y un polinomio de tercer orden de capacitancia de franja del abierto y la espuria inductiva del corto. Una definición que es constante para cada kit de calibración de una determinada fabricante. Claramente habrá alguna variación de pieza a pieza. TRL hace que esta caracterización sea superflua y, por lo tanto, da como resultado una mayor precisión.

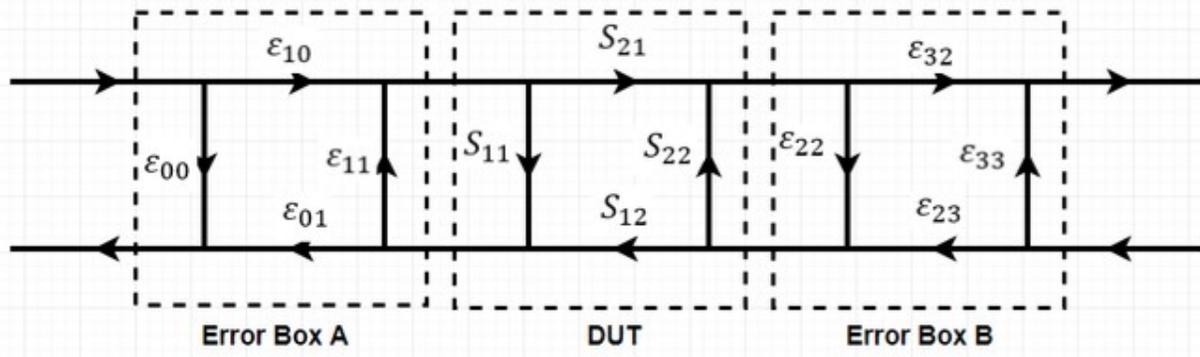


Figure 1 - Network with Error Boxes

El rango de frecuencia de un kit TRL depende de la longitud de la "línea". La "línea" se puede utilizar en un rango de frecuencia en el que es de 20 grados a 160 grados más larga que el "Thru" o  $90^\circ \pm 70$ . Para TRL verdadero, el thru es de longitud cero, pero puede tener una longitud finita y, con suerte, corta. Técnicamente, la calibración con una longitud no distinta de cero se llama LRL (Line Reflect Line). El software de calibración de VNA se informa de la longitud de retardo del thru en el archivo de definición de modo que el plano de referencia termine correctamente en los conectores y no a la mitad del thru. Para un rango de frecuencia mayor, se pueden usar varias líneas con un rango de frecuencia ligeramente superpuesto.

Por ejemplo, uno podría tener un "thru" de 132 pS de retraso y una "línea" de 345 pS de retraso. La línea es 213 pS más larga que la pasante. La frecuencia central donde la línea es 90 grados más larga que la pasante es:

$$90/(360 \cdot 213\text{pS}) = 1174 \text{ MHz}$$

La frecuencia más baja en la que podría usarse esta línea es donde es 20 grados más larga que a través de o:

$$20/(360 \cdot 213\text{pS}) = 261 \text{ MHz}$$

y la frecuencia más alta de uso es 160 grados más larga que la siguiente o:

$$160/(360 \cdot 213\text{pS}) = 2086 \text{ MHz}$$

Cuando se ingresa la línea en la definición del kit de calibración, se debe ingresar su demora real y las frecuencias de uso más bajas y altas.



	Standard			Frequency		Offset				H <sub>i</sub>
	N	Type	Label	F min	F max	Delay	Z0	Loss	Media	
	1	Thru/Delay	Thru	0 Hz	999 GHz	132 ps	50 Ω	0 Ω/s	Coax	
	4	Thru/Delay	Line 1 (Shortest)	562 MHz	4.5 GHz	235.7 ps	50 Ω	0 Ω/s	Coax	
	5	Thru/Delay	Line 2	261 MHz	2.086 GHz	345 ps	50 Ω	0 Ω/s	Coax	
	2	Thru/Delay	Line 3	58 MHz	400 MHz	1.12 ns	50 Ω	0 Ω/s	Coax	
	3	Open	Open	0 Hz	999 GHz	0 s	50 Ω	0 Ω/s	Coax	

"Line 2" la definición del kit anterior se ingresa de esta manera.

Para una definición con múltiples líneas y rangos superpuestos, el VNA utiliza el rango de la última línea medida. Como se mencionó anteriormente, la demora de cada línea no tiene que conocerse con gran precisión. Solo es importante que su uso se limite a frecuencias en las que esté entre 20 y 160 grados. El método de calibración se vuelve indefinido e inexacto para las líneas cercanas a 0 grados y 180 grados, por lo que esto debe evitarse.