

IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS PARA LA CALIBRACIÓN DEL ANALIZADOR VECTORIAL DE REDES

Nicolás Tempone, Alejandro Henze, Hernando Silva y Guillermo Monasterios

INTI Electrónica e Informática

metrologiarf@inti.gob.ar

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es implementar diversos algoritmos para la calibración del analizador vectorial de redes (VNA). Este instrumento se utiliza para la calibración de los patrones de impedancia, atenuación y potencia en alta frecuencia. De esta forma es posible incrementar la versatilidad de las calibraciones y solucionar algunas inconsistencias y limitaciones de los algoritmos que trae incluidos el firmware del equipo.

DESCRIPCIÓN

Introducción

El Laboratorio de Metrología en RF y Microondas del Centro de Electrónica e Informática tiene como objetivo prioritario mantener la trazabilidad de las magnitudes de Alta Frecuencia hacia patrones primarios y diseminarla a otros laboratorios metrológicos del ámbito local, asegurando de esta manera que las mediciones efectuadas por los mismos posean una trazabilidad adecuada.

Uno de los instrumentos más importantes del Laboratorio es el Analizador Vectorial de Redes (Figura 1) o VNA (por sus siglas en inglés). Permite medir, en un gran rango de frecuencias (10 MHz a 40 GHz), impedancia y atenuación, a través de los parámetros de dispersión (parámetros S). La impedancia se mide mediante el coeficiente de reflexión S_{11} , mientras que la atenuación está relacionada con el parámetro de transmisión S_{21} .

Para el funcionamiento correcto del analizador de redes, el mismo debe ser "calibrado" previamente antes de cada medición. Esta operación no es una calibración en el sentido metrológico, pero se utiliza el término por razones históricas. Se trata de un procedimiento que permite corregir los errores sistemáticos del banco de medición, que provienen por ejemplo del hecho de que los receptores del instrumento no se encuentran exactamente en los planos de referencia (los conectores), sino dentro del equipo mismo. Además hay errores debido a la directividad finita de los acopladores direccionales, entre otros. Para corregir dichos errores, se mide un número determinado de elementos (llamados comúnmente patrones o "standards") que representan valores conocidos de reflexión y/o transmisión. Estos datos son procesados mediante un algoritmo que permite determinar

y corregir los errores sistemáticos cometidos. Existen diferentes métodos de calibración, que usan distintos algoritmos y patrones. Por ejemplo, el método TOSM (Through, Open, Short, Match) utiliza cuatro patrones, y el TRL (Through, Line, Reflect) utiliza tres. Las Figuras 2 y 3 muestran algunos kits de calibración que posee el Laboratorio, con los patrones para cada uno de estos métodos.

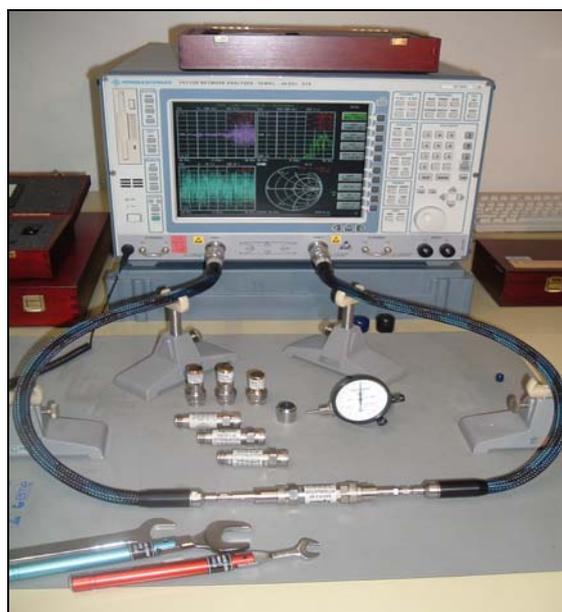


Figura 1: Analizador Vectorial de Redes, con un kit de calibración TOSM, juego de llaves torquimétricas y medidor de profundidad del pin de los conectores. Laboratorio de Metrología RF & Microondas – INTI.

Calibración "off-line"

El VNA tiene incorporados distintos métodos y algoritmos de calibración en su firmware. Los mismos son limitados y, además, no es posible conocer verdaderamente las operaciones que realiza el equipo, ya que esta información no está disponible para el usuario.

Una de las limitaciones encontradas, por ejemplo, es en el algoritmo TRL. El firmware del analizador de redes permite colocar dos líneas de aire de distintas longitudes. Sin embargo, el algoritmo interno no hace un uso óptimo de la información. Para entender esto es necesario explicar que cuando la longitud de onda es múltiplo de media longitud de onda ($L=n.\lambda/2$), el algoritmo presenta singularidades y el resultado diverge. Si esta condición se presenta para una línea de aire pero no para la otra, podría utilizarse la información de esta

última para resolver la singularidad. Sin embargo, el algoritmo que implementa el firmware del VNA no tiene en cuenta estas consideraciones.

Realizando una Implementación propia del algoritmo TRL en el Laboratorio, es posible corregir este comportamiento y, además, tener mayor control sobre las operaciones realizadas. Por otro lado, es posible utilizar información redundante, con el objetivo de disminuir las incertidumbres.

Además, puede compararse el comportamiento de distintos algoritmos de forma simple y directa, permitiendo extraer interesantes conclusiones sobre los términos de error y sus contribuciones individuales.



Figura 2: Kit de calibración para TOSM.



Figura 3: Kit de calibración para TRL.

RESULTADOS

Varios algoritmos de calibración han sido ensayados con distinto grado de éxito desde que comenzó este estudio. En la Figura 4 pueden verse algunos de los resultados que arroja el programa, escrito en Matlab. En general, se observa una gran coincidencia entre la calibración por firmware y la calibración "off-line". Sin embargo, con la calibración "off-line" se ha podido implementar con éxito un algoritmo que use la información de dos (o más) líneas patrones, para reducir el número de singularidades con respecto a la calibración

por firmware. Los resultados pueden verse en la Figura 4, que muestra la medición del módulo del coeficiente de reflexión de un atenuador.

CONCLUSIONES

Este trabajo permitió a los integrantes del Laboratorio de Metrología en RF y Microondas obtener un entendimiento profundo acerca de los métodos existentes para la calibración del Analizador Vectorial de Redes. Esto es fundamental ya que permite aplicar técnicas para reducir las incertidumbres en las mediciones, a través del estudio de la influencia de los distintos términos de error.

Implementando algoritmos propios para la calibración del VNA, es posible extender el método de trabajo a sistemas no coaxiales, por ejemplo, en mediciones "on-wafer" (en el sustrato), muy importantes para el desarrollo de circuitos integrados.

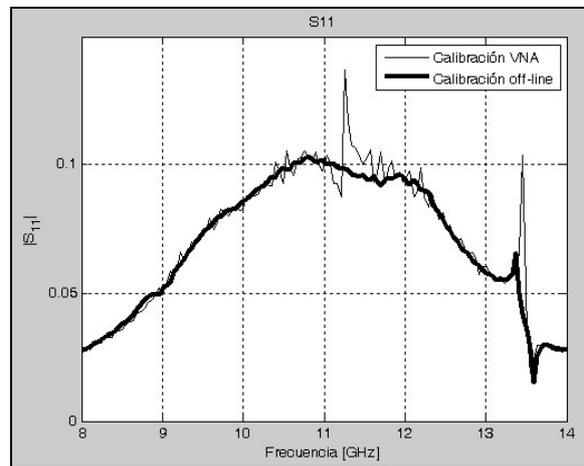


Figura 4: Mediciones del módulo del coeficiente de reflexión aplicando la calibración del firmware (trazo delgado) y la calibración "off-line" realizada con el nuevo algoritmo (trazo grueso). Se observan singularidades importantes en el caso de la calibración realizada con el firmware del VNA.

REFERENCIAS

- [1] Kurokawa, K.; "Power Waves and the Scattering Matrix," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol.13, no.2, pp. 194- 202, Mar 1965.
- [2] Engen, G.F.; Hoer, C.A.; "Thru-Reflect-Line: An Improved Technique for Calibrating the Dual Six-Port Automatic Network Analyzer," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol.27, no.12, pp. 987- 993, Dec 1979.
- [3] DeGroot, D.C.; Jargon, J.A.; Marks, R.B.; "Multiline TRL revealed," *ARFTG Conference Digest, Fall 2002. 60th*, pp. 131- 155, 5-6 Dec. 2002