

NUEVO MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE POR MISMATCH EN LA MEDICIÓN DE POTENCIA EN RF

H. Silva, G. Monasterios, N. Tempone, A. Henze
INTI Electrónica e Informática
metrologiarf@inti.gov.ar

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es evaluar las incertidumbres que aparecen como consecuencia de la falta de adaptación en sistemas de medición de radiofrecuencia (RF) cuando se dispone del valor de las componentes real e imaginaria de los coeficientes de reflexión. Particularmente, este trabajo se enfoca en la incertidumbre por desadaptación al medir potencia en RF y al calibrar sensores de potencia por el método de comparación directa.

DESCRIPCIÓN

En mediciones de potencia incidente de una fuente de RF, el factor de desadaptación, o "mismatch" M , se define como:

$$M = \frac{1}{|1 - \Gamma_G \Gamma_L|^2} \quad (1)$$

donde Γ_G representa el coeficiente de reflexión de la fuente de señal y Γ_L representa el coeficiente de reflexión de la carga.

En el caso de la calibración de sensores de potencia por el método de comparación directa, cuando se expresa el factor de calibración del sensor bajo prueba (DUT) en función del factor de calibración del sensor patrón [1], el factor de desadaptación MM es:

$$MM = \frac{|1 - \Gamma_G \Gamma_{DUT}|^2}{|1 - \Gamma_G \Gamma_{STD}|^2} \quad (2)$$

donde Γ_G representa el coeficiente de reflexión de la fuente de señal, Γ_{STD} representa el coeficiente de reflexión del sensor patrón y Γ_{DUT} representa el coeficiente de reflexión del sensor bajo prueba.

En general, en la estimación de la incertidumbre debida a los factores de desadaptación, es poco común que se disponga de la información de fase de los coeficientes de reflexión involucrados. Como

resultado, no es posible corregir estos factores, por lo que debe considerarse que M o MM son iguales a 1 con una incertidumbre asociada [2]. Sin embargo, si los coeficientes de reflexión involucrados son medidos, se puede calcular el valor de M o MM y de esta forma corregir el valor del resultado de la medición.

En el presente trabajo se calculan las varianzas de M y MM , tanto en forma analítica como por medio del método de la GUM [3], a partir de los coeficientes de reflexión complejos medidos con sus incertidumbres asociadas. Seguidamente se comparan los desvíos standards resultantes de los cálculos con los obtenidos aplicando el método de Monte Carlo a ambos factores de desadaptación y se discuten las diferencias observadas.

Análisis de M

En una publicación reciente del Laboratorio de Metrología en RF y Microondas del INTI [4], se demuestra que la varianza de M puede calcularse analíticamente, resultando:

$$\sigma^2(M) = 8\sigma_G^2\sigma_L^2 + 4|\bar{\Gamma}_L|^2\sigma_G^2 + 4|\bar{\Gamma}_G|^2\sigma_L^2 \quad (3)$$

donde σ_G y σ_L son los desvíos standard de Γ_G y Γ_L respectivamente. Se puede distinguir en la expresión (3) una parte no lineal respecto a las varianzas compuesta por el primer término y una parte lineal respecto a las mismas compuesta por los dos términos restantes.

La varianza de M también puede ser calculada siguiendo la metodología de la GUM. Es importante destacar que la GUM utiliza una aproximación en serie de Taylor de primer orden para el cálculo de la varianza del mensurando, donde los coeficientes de cada término lineal son las derivadas parciales de la expresión a analizar. Aplicando dicha metodología a (1), se obtiene como resultado [4]:

$$\sigma^2(M) = 4|\bar{\Gamma}_L|^2\sigma_G^2 + 4|\bar{\Gamma}_G|^2\sigma_L^2 \quad (4)$$

Es interesante notar que tanto la expresión (4) obtenida mediante el método de la GUM, como

la expresión (3) alcanzada analíticamente coinciden en los términos lineales. El método de la GUM llega a un resultado para el cálculo de la varianza por medio de una aproximación lineal respecto a las variables de entrada. En cambio, el cálculo analítico al no tener esta restricción, llega a una expresión más exacta.

Análisis de MM

De forma análoga al cálculo de la varianza de M, se puede realizar el cálculo para determinar la varianza de MM [4]. La expresión final queda:

$$\begin{aligned} \sigma^2(\text{MM}) = & 8\sigma_G^2\sigma_{\text{STD}}^2 + 4|\bar{\Gamma}_{\text{STD}}|^2\sigma_G^2 + 4|\bar{\Gamma}_G|^2\sigma_{\text{STD}}^2 \\ & + 8\sigma_G^2\sigma_{\text{DUT}}^2 + 4|\bar{\Gamma}_{\text{DUT}}|^2\sigma_G^2 + 4|\bar{\Gamma}_G|^2\sigma_{\text{DUT}}^2 \\ & - 8\sigma_G^2(\bar{X}_{\text{STD}}\bar{X}_{\text{DUT}} + \bar{Y}_{\text{STD}}\bar{Y}_{\text{DUT}}) \end{aligned} \quad (5)$$

donde “X” representa la parte real del coeficiente de reflexión indicado por el subíndice asociado, mientras que “Y” representa su parte imaginaria.

Si la varianza de MM se calcula según la GUM resulta:

$$\begin{aligned} \sigma^2(\text{MM}) = & 4|\bar{\Gamma}_{\text{STD}}|^2\sigma_G^2 + 4|\bar{\Gamma}_G|^2\sigma_{\text{STD}}^2 + 4|\bar{\Gamma}_{\text{DUT}}|^2\sigma_G^2 \\ & + 4|\bar{\Gamma}_G|^2\sigma_{\text{DUT}}^2 - 8\sigma_G^2(\bar{X}_{\text{STD}}\bar{X}_{\text{DUT}} + \bar{Y}_{\text{STD}}\bar{Y}_{\text{DUT}}) \end{aligned} \quad (6)$$

Como en el caso de M, las expresiones (5) y (6) coinciden en sus términos lineales.

RESULTADOS

$ \Gamma_G = \Gamma_L $	$\sigma(M)$		
	Expresión Analítica [x10 ⁻³]	GUM [x10 ⁻³]	Monte Carlo [x10 ⁻³]
≈0	28,3	0	27,4
0,02	28,8	5,66	28,8
0,04	30,5	11,3	30,7
0,06	33,0	17,0	33,3
0,08	36,2	22,6	37,0
0,1	40,0	28,3	42,1

Tabla 1: Verificación de las expresiones de desadaptación para el caso donde $\sigma_G = \sigma_L = 0,1$

En la Tabla 1 se muestra un ejemplo, empleando valores $\sigma_G = \sigma_L = 100$ mU. Se calculó la varianza de M mediante la expresión analítica (3), mediante la GUM (4) y se simuló con Monte Carlo. Se observa que el método

empleado por la GUM difiere de la simulación de Monte Carlo, debido a que carece del término alineal. Por otro lado, en todos los casos se verifica que la expresión analítica muestra concordancia con las simulaciones. Los resultados para el caso de MM confirman estas observaciones [4].

CONCLUSIONES

Cuando el desvío standard de los coeficientes de reflexión es comparativamente pequeño respecto al valor de sus módulos, las expresiones obtenidas en forma analítica y mediante el método de la GUM obtienen resultados similares y coincidentes con los resultados generados mediante el método de Monte Carlo.

Sin embargo, cuando el valor del desvío standard de las componentes de los coeficientes de reflexión aumenta respecto a sus módulos, el término alineal de la expresión analítica comienza a influir. En estos casos, se deben utilizar las expresiones (3) y (5). En el resto de los casos, la aproximación lineal siguiendo la metodología de la GUM permite obtener un valor adecuado para estimar la incertidumbre por desadaptación.

REFERENCIAS

- [1] Agilent “(AN 1449-1): Fundamentals of RF and microwave power measurements (Part 1)”, Abril 2003.
- [2] B. Hall, “The uncertainty of a complex quantity with unknown phase”, 33th ANAMET Meeting, Mayo 2010.
- [3] BIPM, “Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement”, Septiembre 2008.
- [4] H. Silva, G. Monasterios, A. Henze, N. Tempone, “Corrección del mismatch e incertidumbre asociada en la medición de potencia en RF”, Simposio de Metrología 2012, Querétaro, México.