

Directividad y Pérdidas de Retorno

Artículo cedido por Anritsu

Anritsu
www.anritsu.com

Anritsu Limited
Oficina de Representación
España

Es de todos conocido que para poder medir tanto el ROE como las Pérdidas de Retorno de un dispositivo es necesario poder separar la señal incidente de la reflejada y que la calidad con que se realiza esta separación se denomina Directividad. Dicha separación puede realizarse utilizando un puente resistivo o un acoplador direccional (Ver apéndice)

La diferencia principal entre puentes y acopladores, en términos generales, es su rango de frecuencia de trabajo. Los puentes permiten trabajar desde CC hasta los 50GHz (obviamente los fabricantes suelen ajustar la respuesta en frecuencia de estos a bandas específicas, que condicionan los conectores a utilizar en cada caso), mientras que esto es cosa poco menos que imposible si utilizamos acopladores direccionales, ya que sería necesario utilizar líneas y/o componentes "tremendamente largas" para cubrir la banda de LF. Por último hay que tener en cuenta que al utilizar adaptadores

se afecta al equilibrio del puente y, por consiguiente, su Directividad se degrada considerablemente, aunque los adaptadores sean gran calidad.

Los puentes suelen presentar (típicamente) unas Pérdidas de Retorno de 6dB lo que es beneficioso ya que los rebotes desde la fuente, que no siempre presentan una adaptación perfecta, también se atenúan.

En el caso de los acopladores direccionales la Directividad está relacionada con los parámetros físicos de los componentes utilizados en su fabricación. Una característica notable en estos dispositivos es que la pérdida de inserción que presentan es muy baja, lo que, a veces, puede convertirse en un arma de doble filo pues permite disponer de un mejor margen dinámico que los puentes, teniendo como contrapartida una menor protección contra rebotes procedentes del generador. Estos dispositivos suelen usarse hasta 110GHz y, en ocasiones, por encima de dicha frecuencia.

La señal reflejada por el DUT está representada por el vector E_r y la señal indeseada, pero inevitable, debida a la Directividad del dispositivo utilizado lo está por E_{dir} . Donde E_r y E_{dir} corresponden a voltajes, pues estamos calculando el ROE. Esta misma figura podría haber sido construida utilizando las potencias correspondientes P_r y P_{dir} calculadas como E^2/R . En este caso el resultado estaría expresado en dB.

Cuando se efectúa un barrido de frecuencia la resultante varía debido a que E_{dir} también varía, sumándose, o restandose, a E_r . Los casos extremos se producen cuando E_{dir} se suma o resta a E_r , ver fig. 2. La misma incertidumbre se obtiene si, en lugar de efectuar un barrido, se trabaja con una única frecuencia ya que no es posible determinar si la respuesta es max, min o está en un punto intermedio.

Los valores max y min se obtienen cuando los ángulos de fase relativos son 0° o 180° . En el caso límite en que E_{dir} y E_r tengan exactamente la misma amplitud, la resultante estará dentro de una horquilla de 36dB, cosa que es inaceptable.

Si restamos las señales cuando están desfasadas 180° la resultante es un vector "0V" y si las sumamos obtendremos un incremento de 6dB con respecto al valor anterior, es decir a las Pérdidas de Retorno del DUT. Para simplificar cálculos asumiremos que los "0V" obtenidos por diferencia equivalen a -30dB, lo que nos daría el valor de 36dB antes mencionado. No hay que perder de vista las asimetrías existentes en los niveles max y min, tal como se pone de manifiesto en la fig. 3 (Tabla de incertidumbres en Pérdidas de Retorno).

Regla práctica: Cuando la Directividad (E_{dir}) es 20dB inferior al nivel (E_r) del DUT la resultante max/min varía aproximadamente ± 1 dB, lo que no es una situación ideal pero si una incertidumbre habitual. Por esta razón es fundamental que la Directividad sea lo más alta posible, en la Fig. 1.

Entonces surge la pregunta: ¿Cómo afecta a la medida de las Pérdidas de Retorno el efecto indeseado de la Directividad, que siempre está presente en mayor o menor grado?

El grado de interacción depende de la fase relativa entre la señal reflejada desde el DUT (dispositivo que se está probando) y la señal presente debida a esta: Cosa que siempre ocurre con independencia del equipo de medida que se esté utilizando (analizador escalar, vectorial o analizador de espectro con generador de tracking).

Consideremos las señales mostradas en la Fig. 1.

Figura 2

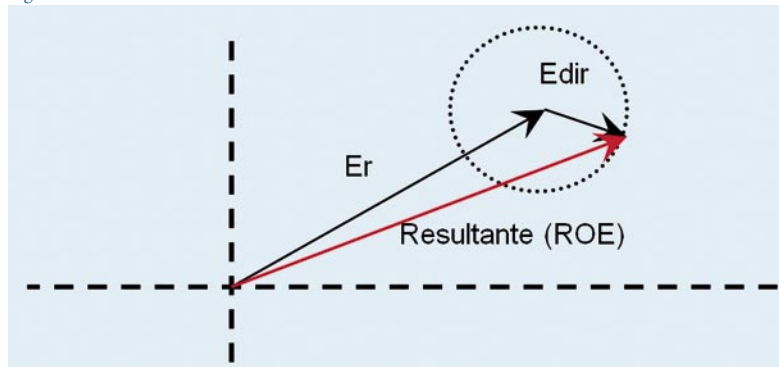
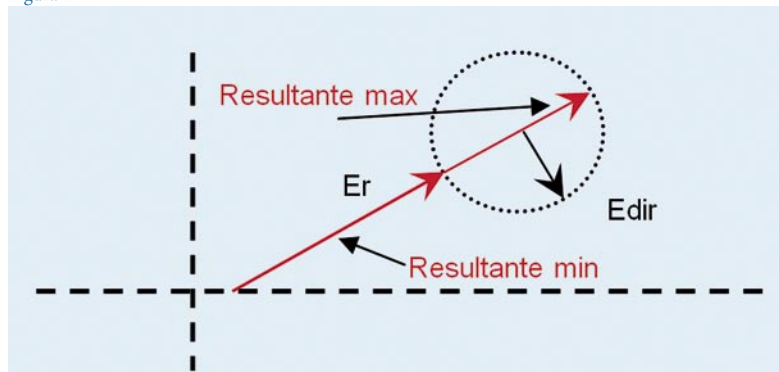


Figura 1



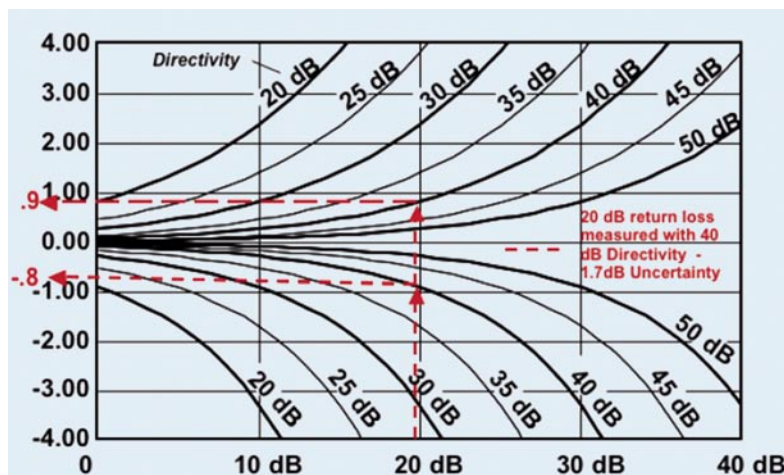


Figura 3

especialmente cuando se van a medir dispositivos con Pérdidas de Retorno superiores a los 20dB. En este caso se requiere una Directividad >40dB para mantener la incertidumbre en el nivel indicado de ± 1 dB. En la vida real no es posible mantener valores superiores a los 42dB en toda la banda de trabajo.

El ángulo de fase relativa entre E_r y E_{dir} es función de la banda de trabajo (frequency span) y la longitud eléctrica del DUT. La representación gráfica de la resultante en función de la frecuencia es un rizado y dado que tanto la Directividad como el resultado de la medida varían con la frecuencia, la incertidumbre no es constante.

Para calcular los valores max y min de la incertidumbre al realizar una medida podemos utilizar la gráfica anterior. En primer lugar localizaremos (en el eje X) el valor obtenido al medir la Pérdida de Retorno y por ese punto trazaremos una perpendicular que cortará en dos puntos a las curvas de Directividad. Buscaremos solamente las intersecciones con aquellas cuyo valor corresponda al indicado en el dispositivo que hayamos utilizado (suele estar grabado en la carcasa, o indicado en la hoja técnica, del puente o acoplador direccional) y leeremos los valores positivo y negativo correspondiente (eje Y). Los dos valores obtenidos definen el valor de la incertidumbre. En el ejemplo de la figura 3 se ha considerado que las Pérdidas de Retorno de un DUT imaginario son 20dB, por lo tanto, siguiendo los pasos anteriores obtenemos que la incertidumbre de la medida efectuada es aproximadamente

± 1 , en realidad está comprendida entre -0,8 y +0,9. La gráfica pone de manifiesto que a mayor directividad, para un mismo valor de Pérdida de Retorno, menor incertidumbre.

Cuando se utilizan dispositivos direccionales con analizadores vectoriales de redes, la técnica de corrección vectorial de errores mejora su Directividad inherente

a estos, aunque para ello es necesario que el usuario calibre el conjunto utilizando el método OSL (Open Short Load) debido al gran ancho de banda cubierto. Los conectores del kit de calibración deben del mismo tipo que los del DUT (N, K, V, etc). La Directividad obtenida depende de la calidad de la carga (Load) utilizada. Existen otros métodos de calibración pero están fuera del objetivo de esta nota.

Apéndice

Existen dos tipos de dispositivos: Puentes resistivos direccionales (compactos) y acopladores direccionales (elementos distribuidos), todos ellos con cuatro puertos y diseñados para trabajar a 50Ω. Cuando el dispositivo está destinado a realizar medidas de Pérdidas de Retorno/ROE normalmente el Puerto 3 se suministra terminado con una carga de 50 Ω.

EL Factor de acoplamiento (coupled ratio), que corresponde al valor nominal de la señal (dB) en el puerto acoplado, no debe confundirse con la Directividad. En la figura 4 vemos que la señal se aplica al Puerto 1 y que una pequeña parte de esta aparece en el Puerto 3, su nivel es proporcional al Factor de acoplamiento (valores típicos para acopladores direccionales son 10, 20 o 30dB). Por otra parte tenemos que el nivel de la señal indeseada que aparece en el Puerto 4 es la Directividad y es debida a desequilibrios propios de los dispositivos direccionales. En este mismo puerto es donde aparece la señal reflejada que nos permite medir ROE / Pérdidas de Retorno cuando

el DUT se conecta en el Puerto 2. La Directividad disminuye en dispositivos direccionales de gran ancho de banda.

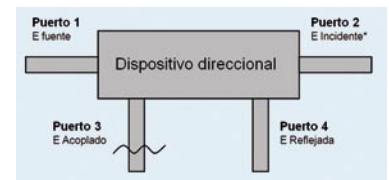


Figura 4

(*) Señal incidente: Es la señal que entra en el DUT cuando se efectúan medidas de reflexión.

El Puerto 1 se conecta a una fuente de señal de RF o MW

Pérdida de Inserción (dB) = $20 \log (E_{incidente} / E_{fuente}) = 10 \log (P_{incidente} / P_{fuente})$

Factor de Acoplamiento (dB) = $20 \log (E_{acoplamiento} / E_{fuente}) = 10 \log (P_{acoplamiento} / P_{fuente})$

El Factor de acoplamiento (dB) para los puertos 2 y 4 se calcula de la misma manera que para los puertos 1 y 3 cuando la señal se envía por el Puerto 2.

Para calcular la Directividad se necesitan dos medidas en el Puerto 4, una con el puerto 2 terminado con una carga perfecta de 50Ω y otra con un cortocircuito perfecto. El Factor de acoplamiento no afecta a la Directividad puesto que es el mismo para ambas.

Directividad = $20 \log (E_{reflejada} \text{ por el c.c.} / E_{reflejada} \text{ por la carga})$
= Puerto 4 (dBm) con corto – Puerto 4 (dBm) con carga

Ejemplo:

P.- Calcular la Directividad de un acoplador direccional cuando al estar terminado el Puerto 2 con un cortocircuito en el Puerto 4 (reflexión) medimos -20dBm y cuando lo está por una carga perfecta de 50 la medida obtenida es -55dBm.

R.- Basta con restar ambas cantidades para encontrar el valor buscado:

Directividad = $-20 - (-55) = 35 \text{ dB}$

No hay que perder de vista que los dispositivos direccionales tienen unas Pérdidas de inserción muy bajas, por lo que la señal reflejada en el Puerto 2 puede volver en dirección a la fuente donde de nuevo será enviada hacia el Puerto 2.