

LINEAS DE ENFASADO (distribuidor de potencia)

(Actualizado 2006-12-15)

Por Miguel R. Ghezzi (LU 6ETJ)
Dibujos: Max Ghezzi (LW 7DMG)
www.solred.com.ar/lu6etj
SOLVEGJ Comunicaciones
www.solred.com.ar/solvegj

Este documento requiere tener instalada la fuente "Symbol"

Actualización: sobre el final se agregó la respuesta en frecuencia del distribuidor

Habitualmente cuando deseamos colocar una suma de dos o más dipolos de media onda en formación colineal o un par de yagis apiladas recurrimos a las llamadas "líneas enfasadoras" o "arneses". La confección de tales líneas es sumamente sencilla desde el punto de vista eléctrico.

Es ciertamente incorrecto llamarlas "líneas de enfasado", lo más acertado es denominarlas "Líneas de distribución de potencia", ya que la llamada "puesta en fase de las antenas" depende también de otros factores importantes.

El principio es muy sencillo:

Cada dipolo se ajusta independientemente para una relación de ondas estacionarias de 1:1 sobre una línea de 50 Ω , de esta manera su impedancia será efectivamente: 50 Ω resistivos (50 + j0). La cuestión es colocarlos eléctricamente "en paralelo" pero, si hiciéramos eso con una línea de 50 Ω en cada uno, al unirlos entre si se obtendría 25 Ω (para dos), con lo cual el nuevo conjunto estaría desadaptado respecto de la línea de bajada estándar de 50 Ω .

Si en cambio se aprovecha la propiedad que poseen las líneas de transmisión de comportarse como transformadores de impedancia bajo ciertas circunstancias, se puede resolver la situación muy sencillamente.

Para adaptar dos impedancias resistivas puras, basta con emplear una línea de 1/4 de onda (o múltiplo impar de cuartos de onda) que posea una impedancia igual a: *la raíz cuadrada del producto de las dos impedancias que se desea adaptar.*

$$Z1 = \sqrt{Z1 \times Z2} \text{ (ec.1)}$$

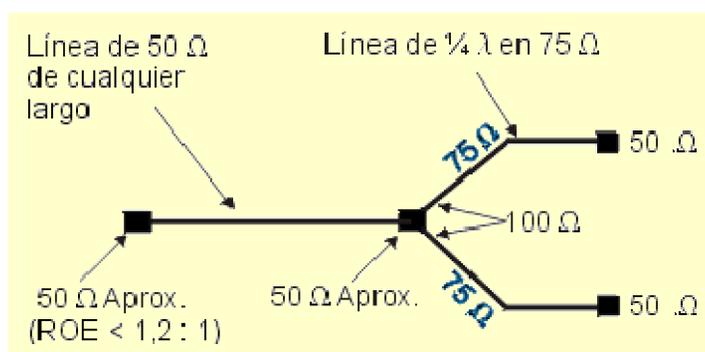
Siendo Z1 y Z2 los valores de las impedancias que deseamos adaptar (que pueden ser números complejos). Para el caso de dos impedancias que sean puramente resistivas la ecuación se transforma en:

$$Z1 = \sqrt{R1 \times R2} \text{ (ec. 2)}$$

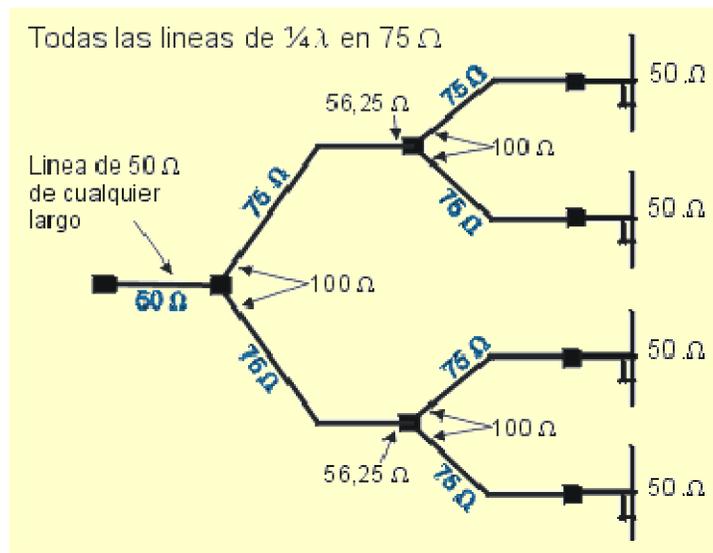
Nótese que si mediante algún método podemos llegar a transformar la impedancia (más propiamente resistencia) de cada dipolo de 50 a 100 Ω , podríamos "conectarlos en paralelo" obteniendo nuevamente los 50 Ω necesarios para conectar el conjunto a nuestro trasmisor. Si se efectúa la cuenta indicada en la **ec. 2** se encuentra:

$$Z1 = \sqrt{100 \Omega \times 50 \Omega} = 70,71 \Omega$$

Valor que se aproxima mucho al de las líneas tipo RG-59 o RG-11 de 75 Ω . Se ve entonces que, conectando a la antena de 50 Ω un trozo de coaxil de 75 Ω de 1/4 de onda, en su otro extremo este coaxil presenta una impedancia de 112,5 Ω , pudiéndose efectuar una unión (centro-centro; malla-malla) entre dos de ellos para obtener 56,25 Ω , valor muy próximo a 50 Ω que adaptará muy bien con una ROE < 1,2 : 1.



Puesto que este punto presenta casi 50Ω , puede considerársele como si fuera "una antena" y reiterar el procedimiento para sumar otro grupo de antenas como se ilustra:



Nótese que si aplicamos la ec. 2 para obtener el valor de impedancia de la segunda línea adaptadora, se obtiene:

$$Z_1 = \sqrt{56,25 \Omega \times 100 \Omega} = 75 \Omega \text{ ; exactos...!}$$

Donde se lea "línea de 75Ω de $1/4$ de onda" puede reemplazarse por "línea de 75Ω de $1/4$ de onda o múltiplo impar de $1/4$ de onda (1; 3; 5; 7; etc). Normalmente no podrán emplearse líneas de $1/4$ para sumar dipolos verticales pues su longitud no alcanza para unirlos, debiendo utilizarse $5/4$ o $7/4$; ello implica tener buen cuidado en la medida para evitar la suma de errores. Debe tenerse presente que en un coaxil, el cuarto de onda es menor que en el espacio libre, pues la velocidad de propagación de la onda en su interior es menor, dependiendo del dieléctrico, de modo que el cuarto de onda se calculará como:

$$1/4 \text{ de onda en coaxil} = (75 * \text{factor de velocidad del cable}) / \text{frecuencia (ec. 3)}$$

Si la frecuencia se expresa en MHz el resultado estará dado directamente en metros. El factor de velocidad (o velocidad de fase relativa) del cable es habitualmente 0,66 para dieléctrico de polietileno sólido (el común del RG-8, semitransparente) o 0,89 para el de espuma (foam, generalmente blanco). Nótese que para sistemas de muy bajas pérdidas resulta particularmente útil el tipo rígido empleado en troncales de TV por cable que posee justamente 75Ω , aunque resultará relativamente complicada su manipulación ya que estos cables, no son cables!, sino un tubo metálico de Aluminio con un conductor central generalmente de Aluminio con un depósito superficial de Cobre.

Ejemplo: Cable tipo RG-213/U; frecuencia 146 MHz =>

$$1/4 \text{ de onda en coaxil} = (75 \times 0,66) / 146 = 0,339 \text{ m (33,9 cm)}$$

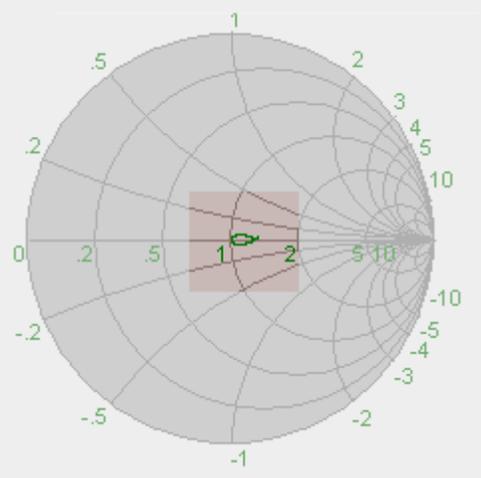
Debe prestarse especial atención a las uniones, especialmente en frecuencias de 30 MHz o superiores pues introducen pérdidas tan apreciables que pueden deteriorar esos valiosos dB esperados de la formación (he visto rendir muchas formaciones de 8 dipolos, menos que una de 4 en antenas comerciales que esconden la unión en un elegante bloque de plástico). En 144 MHz el empleo de uniones con las conocidas "T" coaxiales da pobres resultados (siempre tener cuidado con ciertas "T" que se venden en nuestro mercado pues emplean un resorte en su conexión interna que se comportará como un verdadero choke de radiofrecuencias en FME y superiores).

Es preferible confeccionar una unión casera con planchuelas de bronce formando un "sandwich", al que se lo perfora en un taladro de banco para dar cabida a una unión "T" lo más perfecta posible (dejo a criterio del lector imaginar "cómo" luciría una unión "T" en coaxil perfecta).

Mencionamos anteriormente que estas líneas deben considerarse distribuidores de potencia, ya que la puesta en fase depende de la instalación de las antenas en si. Esto es especialmente cierto con los dipolos.

Suponga dos de ellos con adaptación "Gamma" instalados, uno con el Gamma hacia arriba, y otro con el gamma hacia abajo. Si se conectaran estos dipolos con un dispositivo como el mencionado, el resultado sería **una irradiación nula!**; porque las antenas no estarían en fase sino en *contrafase*. Si fuera conveniente instalarlos de ese modo por alguna razón cualquiera, podría igualmente aplicarse el concepto si se toma el recaudo de agregar a la línea de 75Ω , proveniente de uno de ellos, un trozo de $1/2 \lambda$ adicional para invertir la fase los 180° necesarios para que sus campos se sumen aditivamente.

Un detalle interesante que merece ser destacado es que, al intercalar entre la antena (que presenta 50Ω) un trozo de línea de 75Ω , (en este caso de $1/4 \lambda$), en la línea de 75Ω existirán ondas estacionarias fácilmente medibles (1,5 : 1). ***¡Son precisamente esas ondas estacionarias las responsables del fenómeno de transformación de impedancias que nos es tan útil para nuestro***



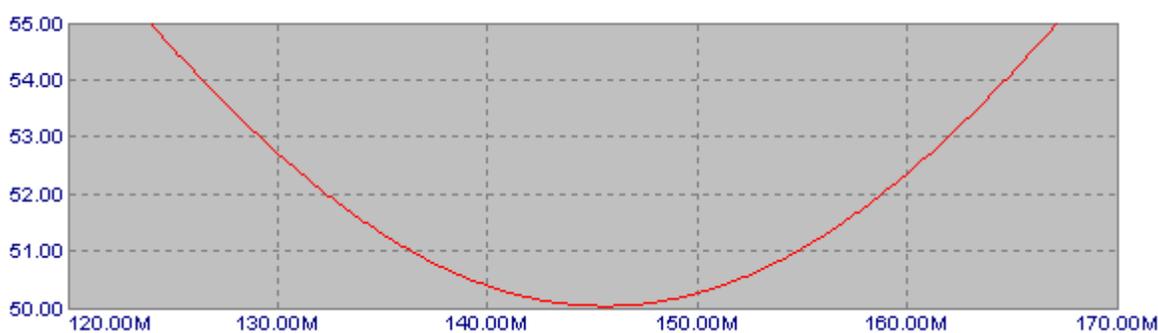
propósito...! De aquí se desprende que, lejos de ser las "estacionarias" un problema, son en mucha mayor medida una poderosa herramienta aplicable a muchos diseños de ingeniería como el que acabamos de ver.

Respuesta en frecuencia

Existe la idea que el funcionamiento de estas líneas es adecuado dentro de un margen estrecho de frecuencias. Una vez construido para una frecuencia, el conjunto es muy flexible en este sentido y funcionará muy bien en una amplísima gama de frecuencias.

Igualmente hay que ser muy cuidadosos con la propagación de errores o con aplicar factores de velocidad no bien conocidos a los cálculos. Un error de unos centímetros en el valor asignado al cuarto de onda, al multiplicarse por los cinco o siete cuartos de onda necesarios para interconectar mecánicamente los dipolos, sería inaceptable.

A continuación vemos un gráfico que nos muestra el módulo de la impedancia en la entrada al distribuidor con sus puertos de salida terminados en senos resistores de 50 ohms. Nótese que ella varía muy poco a lo largo del rango de frecuencia considerado, en este caso 120 a 170 MHz, mostrando que un distribuidor proyectado para una frecuencia puede utilizarse sin modificación en otras bastante alejadas del diseño original.



Al juzgar este gráfico no hay que olvidar que supusimos al distribuidor siempre cargado con resistores de 50 ohms, por lo tanto él representa la respuesta del distribuidor en si mismo y no la de un sistema completo que incluya las antenas, pues la impedancia de ellas, a diferencia de los resistores, variará con la frecuencia, de acuerdo a una ley que les sea propia por sus características eléctricas.

Grafiquemos ahora las impedancias a lo largo de la gama de frecuencia considerada sobre una carta de Smith.

Hemos debido destacar cuidadosamente la zona central donde cae el resultado pues la curva es apenas visible (en trazo verde) muy cerca del centro del ábaco.

El hecho que las curva dibujada resida prácticamente toda cerca del centro es una condición deseada; esa zona corresponde a valores de impedancia cercanos a 50 ohms y nuevamente vemos que el distribuidor está muy cerca del comportamiento esperado en frecuencias alejadas.

73's y DX

[Volver a la Página Principal](#)