

5 REDES DE ALIMENTACIÓN

5.1 Redes de Distribución de Potencia

5.1.1 Introducción

En multitud de aplicaciones de microondas y concretamente en el ámbito de las agrupaciones de antenas resulta imprescindible dividir una potencia entre varias ramas, o bien combinar potencias procedentes de distintos orígenes.

Los dispositivos resultantes reciben distintos nombres, como divisores de potencia (tres o más puertos), acopladores o híbridos (cuatro puertos).

- Los divisores de potencia habitualmente reparten la potencia, a partes iguales (3 dB) entre los puertos de salida.
- Los acopladores se pueden diseñar con relaciones de división de potencia arbitrarias.
- Los híbridos proporcionan, además, un desfase de 90° o 180° entre las salidas.

Las técnicas de distribución de potencia se pueden clasificar en tres tipos [14]: serie, paralelo y redes espaciales. También pueden realizarse diseño con redes de varios tipos combinadas entre sí.

Las redes de distribución paralelo consisten en una serie de circuitos divisores de potencia unidos mediante líneas de transmisión. Al final de la red

se pueden incluir una serie de atenuadores y desfasadores para ajustar las amplitudes y fases de las corrientes en las antenas.

Las redes tipo serie utilizan una línea de transmisión y un conjunto de acopladores direccionales que extraen una fracción de potencia de la línea. Al final de la línea se suele colocar una carga para evitar reflexiones de señal.

Las redes de distribución espaciales utilizan la radiación de una antena para distribuir señal a un conjunto de radiadores secundarios. La señal recibida se amplifica y se ajusta en amplitud y fase.

En el capítulo anterior se consideraba que los elementos de la agrupación estaban alimentados por fuentes de corriente. Si se desea alimentar la agrupación con fuentes de tensión, para calcular la tensión de entrada a partir de la corriente debe tenerse en cuenta que la impedancia de entrada de cada elemento no es la de una antena aislada, sino que depende de las impedancias mutuas con los demás elementos de la agrupación.

En general, la interacción entre los elementos de una agrupación es importante y afecta particularmente a la fase de las corrientes en cada elemento cuando se alimenta con fuentes de tensión sin tener en cuenta las impedancias mutuas. Ello puede producir modificaciones significativas en el diagrama de radiación respecto al obtenido alimentando con fuentes de corriente. Evidentemente, la interacción entre elementos, y por tanto la variación en las corrientes, depende mucho de la geometría de la agrupación y la posición relativa de los elementos: es máxima cuando el eje de la agrupación coincide con un máximo de radiación de la antena básica y mínima cuando lo hace con un nulo. Para más información consulte la referencia [15].

5.1.2 Divisores de Potencia

Un divisor de potencia [16] es una red que permite el reparto de potencia de la señal incidente en una de sus puertas entre el resto siguiendo una determinada proporción.

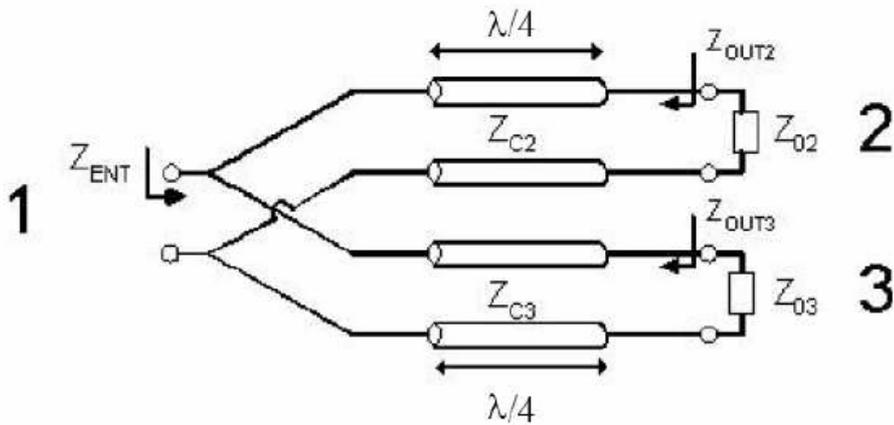


Figura 5.1: Divisor de potencia realizado con líneas microstrip.

5.1.2.1 La Unión T

Es un divisor de potencia de tres puertos, recíproco, sin pérdidas, y por tanto, con uno de los puertos desadaptados. Se fabrican en tecnología coaxial, guía de ondas y microstrip, fundamentalmente.

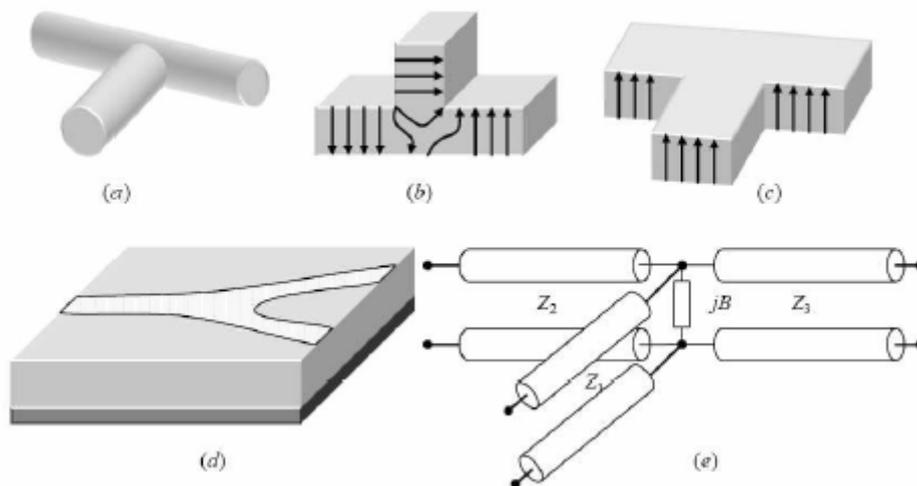


Figura 5.2: Uniones T.

Las impedancias características Z_1 , Z_2 y Z_3 de los segmentos de línea de transmisión que constituyen los brazos de la unión T, se consideran reales, de tal forma que la admitancia a la entrada del puerto 1 es:

$$Y_{in} = jB + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \quad (1.1)$$

Habitualmente se supone B pequeño, y se impone:

$$\frac{1}{Z_1} = \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \quad (1.2)$$

La condición $Z_2 = Z_3$ implica reparto de potencia a partes iguales (divisor de 3 dB).

5.1.2.2 Divisor Resistivo

A los brazos de una unión T se le pueden añadir elementos resistivos, para que todos los puertos estén adaptados, a costa de presentar pérdidas, que se pueden cuantificar en la mitad de la potencia disponible.

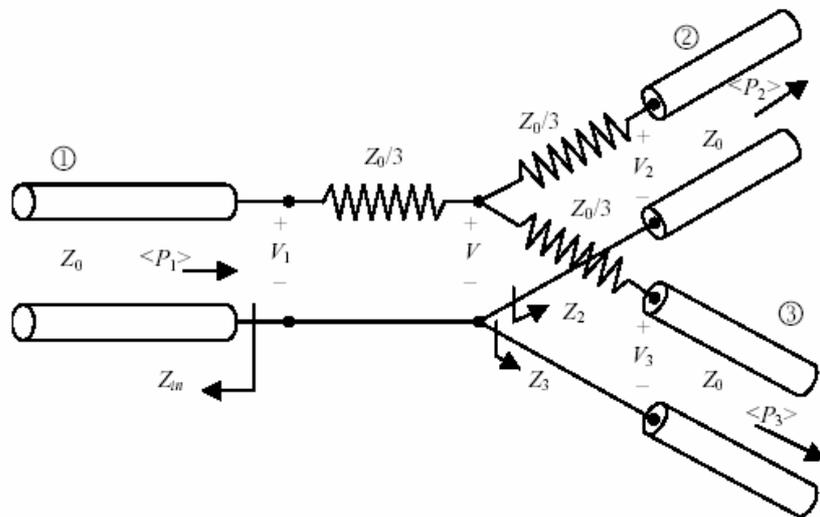


Figura 5.3: Divisor resistivo.

5.1.2.3 Divisor Wilkinson

Dispone de elementos resistivos colocados de tal manera que, cuando los puertos de salida están adaptados, no presenta pérdidas. Es decir, sólo la

potencia reflejada se disipa. Su principal limitación es que el principio de funcionamiento es inherentemente de banda estrecha, si bien existen extensiones para funcionamiento de banda ancha.

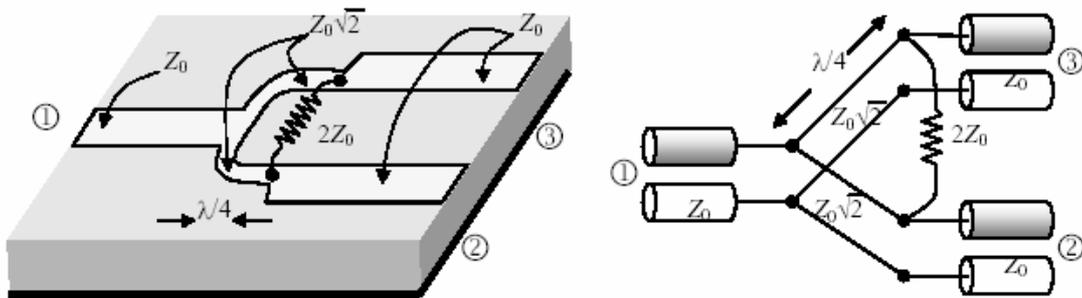


Figura 5.4: Divisor Wilkinson.

5.1.3 Acopladores Direccionales

El Acoplador direccional [17] es un dispositivo de microondas de cuatro puertos, numeradas 1, 2, 3 y 4. La energía que incide por la puerta 1 se reparte entre la 2 y la 3, quedando la puerta 4 aislada. La puerta 3 suele llamarse puerta acoplada. La relación entre las potencias incidente y acoplada es el nivel de acoplo y caracteriza el acoplador. Así hay acopladores de 10, 20, 60 dB. Es habitual que el propio dispositivo incluya una carga adaptada en puerta 4 para evitar reflexiones en ella, quedando sólo con tres puertas accesibles exteriormente.

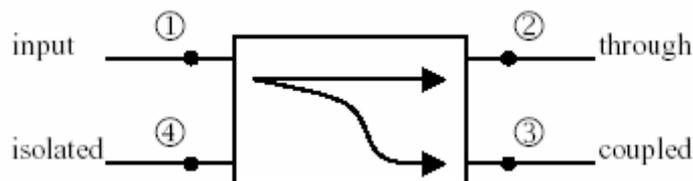


Figura 5.5: acoplador direccional.

Los acopladores direccionales presentan una matriz de dispersión con 16 parámetros independientes:

$$[S] = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{pmatrix}, \quad \text{con} \quad s_{ij} = \left. \frac{V_i^-}{V_j^+} \right|_{V_k^+ = 0, k \neq j} \quad (1.3)$$

5.1.4 Acopladores Híbridos

Reciben el nombre de híbridos [16] los acopladores de 3 dB. Existen dos tipos de acopladores híbridos:

- Simétrico, o híbrido de 90°

$$[S]_{90^\circ} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 1 & j & 0 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 0 & j & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

- Antisimétrico, o híbrido de 180°

$$[S]_{180^\circ} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (1.5)$$

En el caso del híbrido de 90°, entre los puertos *through* y *coupled* siempre hay un desfase de 90°.

En el híbrido de 180° los puertos *through* y *coupled* pueden tener un desfase de 180° ó de 0°, dependiendo de por dónde incida la potencia: si lo hace por 1 ó 3, las salidas están en fase; por 2 y 4, en contrafase.

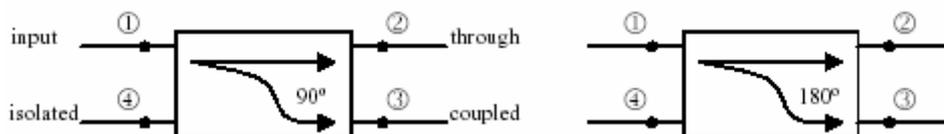


Figura 5.6: Acoplador híbrido.

5.2 Matrices Butler

Se ha considerado importante introducir el concepto de Matriz Butler, ya que su uso está cobrando más importancia día a día. Su principal aplicación se encuentra en el diseño de antenas multihaces [18], las cuales utilizan este tipo de matrices como redes de alimentación.

Este tipo de red emplea una configuración en paralelo, atribuida a Butler [19], y descubierta independientemente por Shelton [20]. Ésta es una red sin pérdidas, la cual utiliza acopladores direccionales 3-dB, o uniones híbridas, y conmutadores de fase fija. Esta técnica se emplea para formar N lóbulos contiguos generados con un arreglo de N radiadores o dipolos, donde $N = 2p$ y p es entero.

La matriz de Butler tiene $2p$ entradas y $2p$ salidas. El número de acopladores direccionales o híbridos requeridos para un arreglo de N elementos es: $(N/2)\log_2 N$, y el número de conmutadores de fase fija es: $(N/2)(\log_2 N - 1)$.

La complejidad de la matriz de Butler se incrementa con el número de elementos. Una matriz de 64 elementos, por ejemplo, requiere de 192 acopladores direccionales. La construcción de una red de Butler compleja requiere gran número de conexiones de empalme en las líneas de transmisión, esto puede presentar dificultades prácticas en la fabricación de circuitos

impresos usados para ensamblar el dispositivo [21]. Usar varios haces también requieren utilizar varios receptores en paralelo, lo cual es una complejidad extra. Por estas razones, la matriz de Butler con un gran número de elementos no es la regla general.

El ensamble típico de la matriz de Butler, por lo general, usa acopladores direccionales 3-dB con una diferencia de fase de 90° entre las dos salidas. Uniones híbridas también pueden ser usadas.

Para tener una idea básica de la operación de una red de acoplamiento, considere un arreglo simple con dos dipolos espaciados $\lambda/2$ y conectados a dos puertos de un acoplador híbrido 3-dB como se muestra en la Figura 5.7 Si se aplica una señal en el puerto 1, se producirá un gradiente de fase de 90° entre las señales de los puertos 2 y 3, lo cual producirá un haz orientado 30° a la derecha de la normal del arreglo. Una señal insertada en el puerto 4 genera una distribución de fase que produce un haz orientado 30° hacia la izquierda respecto de la normal del arreglo.

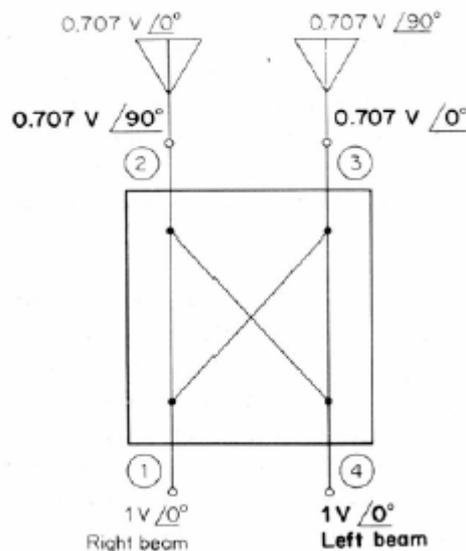


Figura 5.7: Acoplador direccional de 3-dB generando dos lóbulos de un array de dos elementos.

De esta manera, un array simple de dos radiadores y un acoplador 3-dB produce dos haces independientes. El arreglo de dos elementos es un ejemplo

trivial de formación de lóbulos con la red Butler. La Figura 5.8 ilustra el circuito básico de un arreglo con ocho elementos que genera ocho haces independientes. Este utiliza 12 acopladores direccionales y 8 conmutadores de fase fijos, los cuales tienen diferentes valores.

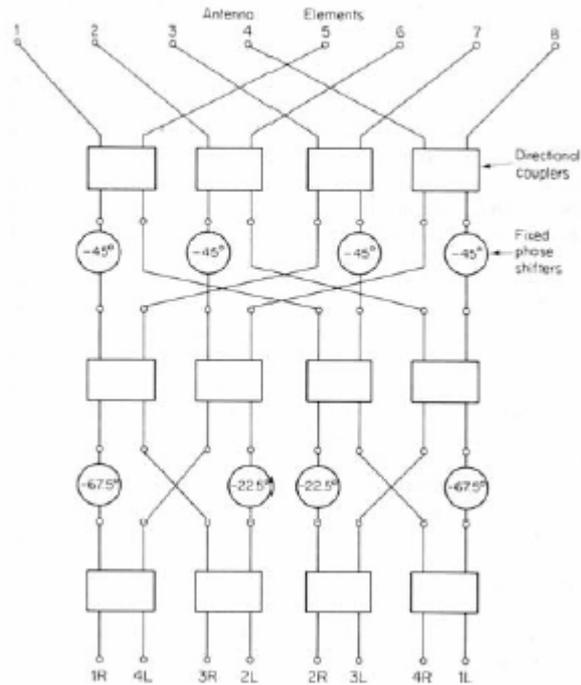


Figura 5.8: Esquema básico para una Matriz de Butler para 8 lóbulos, usando ocho conmutadores de fase fija y doce acopladores direccionales.

La red formadora de lóbulos Butler es, teóricamente, sin pérdidas; i.e., *no hay potencia intencionalmente disipada en las terminales*. Existirá una pérdida de inserción finita, como siempre, asociada con las pérdidas inherentes en: los acopladores direccionales, cambiadores de fase, y líneas de transmisión que conforman la red.

Aunque la matriz butler sea una de las opciones más adecuadas para alimentar nuestra agrupación de antenas, debido a su complejidad no es la red que hemos desarrollado. En nuestro caso hemos diseñado una red sencilla que nos proporcione una alimentación del array tipo uniforme con un desfase fijo entre puertos.