

Acopladores direccionales.

1. Definición

2. Parámetros básicos de un acoplador direccional

2.1 Acoplamiento

2-1-1 Comportamiento del acoplamiento con la frecuencia:

2-2 Frecuencia de trabajo:

2-3 Directividad

2-3-1 Aislamiento

2-4 Pérdidas

2-4-1 Pérdidas de inserción

2-4-2 Pérdidas por Acoplamiento

2-5 Coeficiente de reflexión

2-6 relación de ondas estacionarias de tensión(VSWR- voltage standing wave ratio):

2-6-1 Significado del valor de VSWR en un acoplador

2-6-2 Pérdidas de retorno (RL):

2-7 Potencia incidente

2-8 Condiciones ambientales

3. Directiva 2002/95 del Parlamento Europeo (ROHs) .

3.1 Definiciones

3.1.1 Aparatos eléctricos y electrónicos (AEE)

3.1.2 Productores

Acopladores Direccionales.

En este artículo trataremos el mundo de los acopladores direccionales, desde un punto de vista práctico y ameno, recurriendo a las expresiones matemáticas, solamente, cuando sea necesario, para aclarar algún concepto que así lo requiera. Nuestro propósito al escribir esta nota técnica, pasa por intentar que el lector, tenga claros los parámetros más críticos de este componente.

Un acoplador direccional, es un componente que lo vamos a definir como **pasivo**; decimos que un componente de RF es "pasivo, cuando no necesita ningún tipo de alimentación o energía, para poder funcionar de manera correcta.

1. Definición:

Acoplador direccional: Elemento pasivo de cuatro puertas, definidas como: P1, puerta de entrada, por donde inyectamos la señal de entrada. P2, puerta de salida; por donde aparece la señal de salida. P3, puerta acoplada, por donde obtenemos una muestra de la señal de entrada y P4 puerta aislada, que debe estar terminada por una carga de 50 ohm (si esa fuese la impedancia característica del componente) si queremos, que funcione cumpliendo todas las especificaciones.

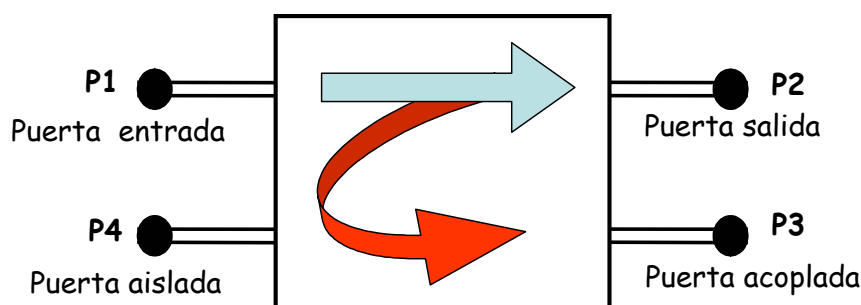


Fig-1 Acoplador direccional 4 puertas

2. Parámetros básicos de un acoplador direccional: En este apartado, vamos que revisar los parámetros mas representativos que definen el comportamiento del este componente y que nos va a permitir su uso en la realización de sistemas y sub sistemas mas complejos.

2-1 Acoplamiento C (dB): Este parámetro, es el que da nombre al componente y pasa por ser el más crítico a la hora de decidir su uso y aplicación en un sistema electrónico.

La potencia que entra por P1, se reparte de forma controlada, entre la que sale por P2, P3, P4 y la que se pierde por el camino, durante el trayecto entre las puertas, P1- P2, P1- P3 y P1-P4.

Se define el acoplamiento, como la relación entre la potencia que entra por P1 y la que aparece por P3, para una frecuencia determinada (veremos que esta relación varia con frecuencia que apliquemos a la entrada; aunque mantengamos la potencia constante para todas las frecuencias).

Al ser un valor constante, para una portadora definida, si aumenta la potencia de entrada P1 se produce un aumento predecible de la potencia en la puerta acoplada P3 y viceversa. Vemos que de esta forma, podemos conocer el valor de la potencia de entrada, mediante la información que

obtenemos de la potencia presente en la puerta acoplada, sin tener que desconectar nada en el circuito.

La expresión 2-1, define el valor del acoplamiento en db. Así, decimos que un acoplador es de 3 db, cuando la potencia que sale por la puerta acoplada, es la mitad que la aplicada a la entrada o de 6 db, cuando la potencia en P3, es igual a la potencia P1/4, etc.

$$C \text{ (dB)} = -10 \cdot \log (P1/P3) \quad (2-1)$$

En la tabla 1, se pueden ver los valores de potencia en Vatios, correspondientes a varios valores de acoplamiento. Se observa, como al aumentar el valor de acoplamiento, se reduce el valor de la potencia acoplada. De la misma forma, se aprecia que el valor de acoplo es una cantidad negativa. En la practica, bien por simplificar, bien por costumbre, el signo menos nos se usa.

P. entrada P1(w)	P. salida P3 (w)	Acoplamiento (db)
1	0,5	-3
1	0,25	-6
1	0,10	-10
1	0,05	-13
1	0,01	-20
1	0,001	-30

Tabla 1 Algunas equivalencias entre acoplo y potencia acoplada

La expresión 2-2, nos indica el valor de la potencia de salida de la puerta acoplada P3, en función del valor de acoplamiento y la potencia de entrada P1.

$$P3 = P1 / (10^{C/10}) \quad C \text{ en dB} \quad (2-2)$$

Con la expresión 2-3, se puede calcular la potencia de entrada P1, de acuerdo a los valores del acoplamiento y la potencia de salida de la puerta acoplada P3.

$$P1 = P3 \cdot (10^{C/10}) \quad C \text{ en dB} \quad (2-3)$$

2-1-1 Comportamiento del acoplamiento con la frecuencia: Tecnológicamente, un acoplador direccional se puede fabricar, con el uso de la tecnología adecuada. dependiendo del uso, la frecuencia de trabajo, el tamaño o de la potencia que debe soportar. Sin embargo, todas las tecnologías se basan en el mismo concepto, que pasa, por transferir potencia de la puerta de entrada, a la acoplada. Así, el valor de acoplamiento, va a variar, en función de la frecuencia.

Es decir, el valor del acoplamiento, va a variar con la frecuencia aplicada a la puerta de entrada, de forma, que el acoplador direccional, solo sea útil en una banda de frecuencias, que definiremos como frecuencia de trabajo.

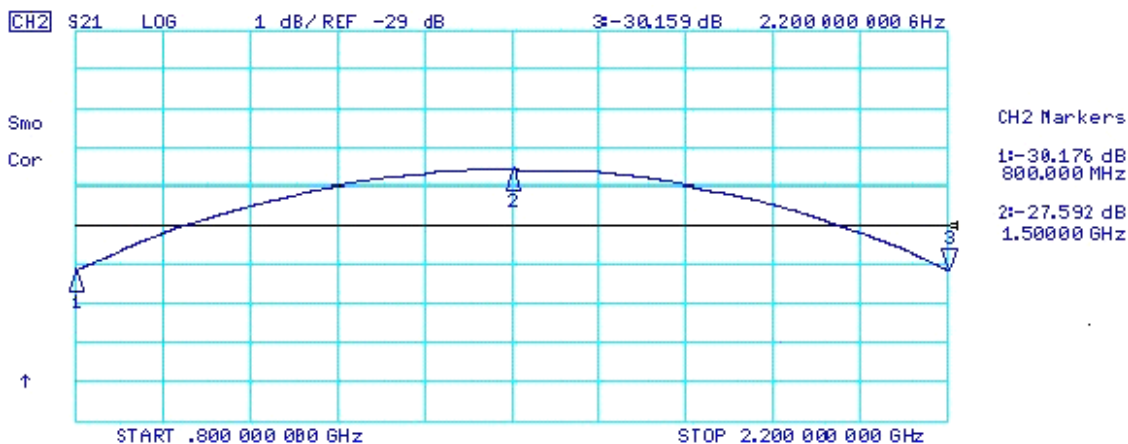


Fig-2 Valor del acoplamiento/frecuencia.

En la fig-2, se puede observar lo que indicábamos anteriormente. Se trata de la respuesta de un acoplador direccional que fabrica Infacom. Se realiza una medida, entre 800 y 2200 MHz, con un valor del acoplamiento, que varía con la frecuencia. Así, a 800 MHz, el acoplamiento es de -30,176 db, a 1500 MHz, el valor del acoplamiento es de -27,592 db y a 2200 MHz, el valor del acoplamiento es de -30,159 db.

Si pudiésemos ver la respuesta por debajo de 800 MHz y por encima de 2200MHz, podríamos comprobar, que este disminuye bruscamente, a valores, que se salen de las especificaciones, que indica el fabricante en su hoja de datos.

Los fabricantes de acopladores direccionales, definen este comportamiento, de varias formas, los hay que definen un valor de acoplamiento +/- una tolerancia y al mismo tiempo, indican una variación del acoplamiento, lo que implica una tolerancia añadida. Otros en cambio, solo definen el acoplamiento +/- una tolerancia, en la que están incluidas todas las desviaciones.

Veamos un ejemplo

El fabricante A indica en su hoja de datos .

- Acoplamiento nominal : 10 +/-0,5 db
- Variación de acoplamiento: 0,5db

Esto significa, que este acoplador, en la frecuencia de trabajo, puede tener valores entre 10+1 ó 10 -1; es decir entre 11 y 9.

El fabricante B, indica solamente, en su hoja de datos .

- Acoplamiento nominal : 10 +/-0,5 db

En este caso, este acoplador, tendría un valor de acoplamiento en su frecuencia de trabajo entre 9,5 y 10,5 db .

El modelo del fabricante B, tiene una tecnología mas precisa con control de calidad, mayor que el fabricante A.

2-2 Frecuencia de trabajo: Como ha quedado indicado en el apartado anterior, el acoplador direccional, presenta limitaciones practicas de uso en un margen amplio de frecuencias. Existen diversas soluciones técnicas, que permiten ampliar las bandas de trabajo a varias octavas.

El fabricante cuando indica una banda de trabajo, garantiza que en esas frecuencias el acoplador cumple todos y cada uno de los parámetros que indica en su hoja de datos.

2-3 Directividad: Es la capacidad de transferir potencia, desde la puerta de entrada a la puerta acoplada y de rechazar, la potencia que pueda venir desde la puerta de salida, debido a reflexiones en esta.

Desde nuestro punto de vista, es un parámetro que define la calidad técnica y tecnológica del acoplador direccional, así a mayor valor de este parámetro mayor es la calidad técnica del componente.

Si somos rigurosos, tendremos que hacer dos divisiones, en función de las bandas de trabajo. Así, con bandas de trabajo de una octava o menores, podemos tener valores de directividad de 20 db, mientras, que modelos multi octava podrían llegar a valores entre 10-15 db.

Para poder manejar con facilidad, este concepto primero vamos a definir lo que es aislamiento y posteriormente lo vamos a relacionar con el acoplamiento para así, llegar a la directividad.

2-3-1 Aislamiento, I (dB): Es la potencia que se transfiere desde la puerta de salida P2, a la puesta acoplada P3, cuando las puertas P1 y P4, están terminadas por cargas de 50 ohm.

En la fig-3, se puede apreciar la respuesta del aislamiento, realizado al acoplador que no sirve de prueba fabricado por Infacom. En el se observa una vez mas, que la respuesta no es constante y presenta valores que dependen de la frecuencia. Así, para 800 MHz presenta un valor de -60,41 db, a 1500MHz un valor de -60,54 db, y a 2200 MHz un valor de -52,77 db.

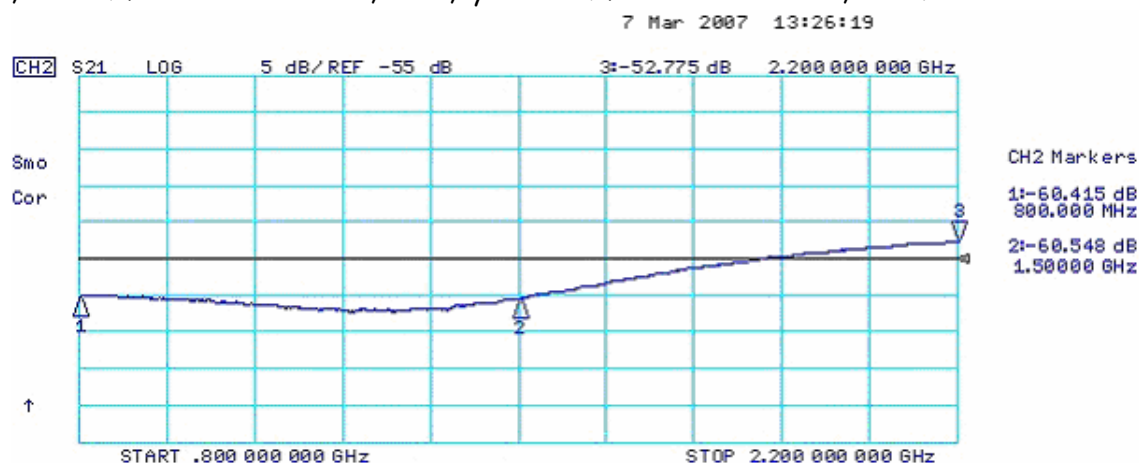


Fig-3 Aislamiento

Ya estamos en condiciones de poder calcular el valor de la directividad; si sabemos cuanta potencia se transfiere a la puerta acoplada, desde la puerta de entrada; acoplamiento (C) y desde la puerta de salida, a la acoplada, aislamiento (I) podemos decir que la directividad, es la diferencia entre estos dos valores tomados para las misma frecuencias, ver expresión (2-4).

$$IDI = I - C \text{ (en dB)} \quad (2-4)$$

En la Tabla 2, aparece una recopilación de valores, con el cálculo final de la directividad del acoplador de Infacom.

Se observa que el peor valor de directividad esta aparece a 2200 MHz y es mayor de 22db lo que indica que es un producto de gran calidad .

F. trabajo MHz	Acoplamiento db	Aislamiento Db	Directividad IDbi
800	-30,17	-60,41	30,24
1500	-27,59	-60,54	32,95
2200	-30,15	-52,77	22,62

Tabla 2 Valor de la directividad

2-4 Pérdidas: Cuando hablamos de perdidas, debemos considerar fundamentalmente dos tipos de perdidas, las de inserción, que se producen en el camino entre P1-P2 y las de acoplo, que se producen en el camino entre P1-P. Las producidas por reflexión y las disipativas, no las tendremos en cuenta ya que son menos significativas que las dos primeras.

2-4-1 Pérdidas de inserción: Son pérdidas que se producen en el camino principal entre la entrada y salida del acoplador direccional P1-P2 y están relacionadas con el medio de transmisión que une las dos puertas.

El la Fig-4 se puede apreciar la respuesta de este parámetros en el acoplador que nos esta sirviendo de muestra. Se observa que el valor es menor que 0,11 db y varia una vez mas con la frecuencia aplicada a la entrada.

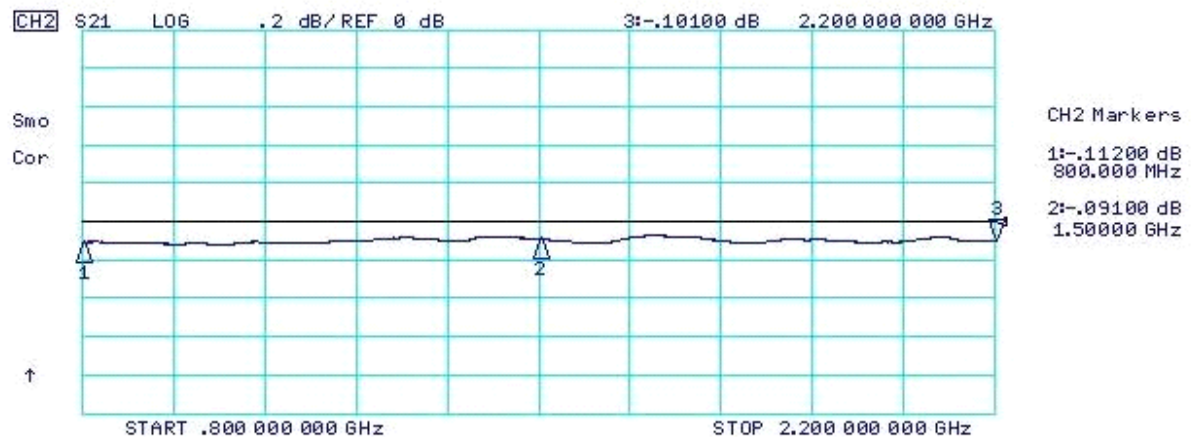


Fig-4 Pérdidas de inserción.

2-4-2 Pérdidas por Acoplamiento (dB): Pérdida producida en el acoplamiento de potencia, desde el camino principal, al acoplado P1-P3. Su valor está relacionado, con la cantidad de potencia acoplada, es decir, cuanto más señal se transfiera a la puerta acoplada, mayores serán las pérdidas y viceversa .

En la tabla 3, se muestran algunos valores de acoplamiento, con sus correspondientes pérdidas de inserción y pérdidas de acoplamiento. En la columna de la derecha, se indica la contribución en %, de las pérdidas por acoplo, en las pérdidas totales del acoplador. Se observa, que a partir de acoplamientos mayores de 20 db, las pérdidas por acoplamiento son bajas, un 9% de las pérdidas totales. Sin embargo para valores bajos de acoplamiento (acoplamiento de 6 db), las pérdidas por acoplamiento representan el 75% del total de las pérdidas en el acoplador, afectando drásticamente a la potencia presente en la puerta de salida P2 .

Acoplamiento Db	Inserción db	P. Acoplo db	P. Totales Db	% P. Acoplo
6	0,4	1,2	1,6	75
10	0,4	0,46	0,86	53
15	0,4	0,14	0,54	25
20	0,4	0,04	0,44	9
30	0,4	0,004	0,404	0,99

Tabla 3 Contribución de pérdidas.

En la Fig-5, se muestra una tabla que relaciona, las pérdidas por acoplo, con el valor de acoplamiento, donde se vuelve a apreciar lo indicado anteriormente.

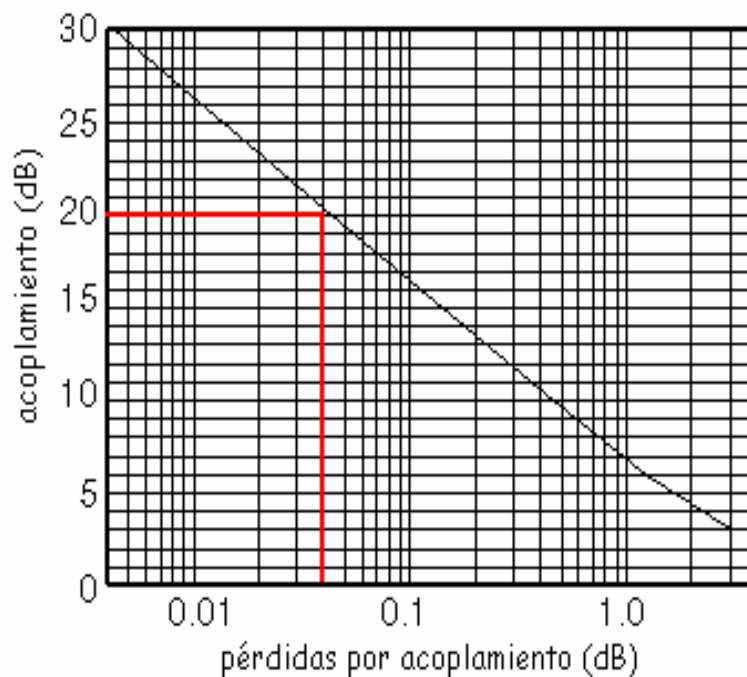


Fig-5 Pérdidas de acoplo/acoplamiento

2-5 Coeficiente de reflexión (ρ): La teoría de redes nos indica que cuando una línea de transmisión uniforme, esta terminada con una impedancia igual a su impedancia característica, no se produce onda reflejada en la zona de unión, entre línea e impedancia.

De forma resumida, podemos decir que, el valor del coeficiente de reflexión, es la relación entre el valor de la onda reflejada y la onda incidente en el punto de reflexión.

$$\rho = \text{Valor de la onda reflejada} / \text{Valor de la onda incidente} \quad (2-5)$$

Si consideramos solamente las impedancias que están en juego; la de carga, de la línea de transmisión, Z_c y la impedancia característica de la línea de transmisión, Z_o , podemos concluir que el valor de coeficiente de reflexión, es el que aparece en la expresión (2-6)

$$\rho = (Z_c - Z_o) / (Z_c + Z_o) \quad (2-6)$$

En ocasiones, se suele usar la expresión (2-7).

$$\rho = ((Z_c/Z_o) - 1) / ((Z_c/Z_o) + 1) \quad (2-7)$$

El valor del coeficiente de reflexión, varía entre cero, ausencia de reflexión, cuando $Z_c = Z_0$ y uno, reflexión total cuando Z_c este en cortocircuito, $Z_c = 0$; o en circuito abierto, $Z_c \gg Z_0$. Debemos indicar, que hay dos condiciones mas en las que $\rho = 1$, que no consideraremos ya que se sale de las pretensiones de este modesto artículo.

2-6 relación de ondas estacionarias de tensión (VSWR- voltage standing wave ratio): Este parámetro, se utiliza ampliamente en electrónica, para definir el comportamiento de dos componentes cuando se conectan en el circuito; generador a la carga; salida de un amplificador con la antena; salida un sistema con entrada del siguiente, etc.

Si volvemos al ejemplo de la línea de transmisión homogénea sin pérdidas con impedancia característica Z_0 , conectada a una impedancia Z_c , de distinto valor a la conjugada de Z_0 ; nos encontramos, que desde el generador viaja una onda de tensión y corriente hacia la carga; cuando llegan a la carga, se produce un efecto de reflexión con la consiguiente creación de unas ondas de tensión y corriente, desde la carga hacia el generador a través de la línea de transmisión, decimos que se ha creado una onda estacionaria.

Si fuésemos capaces de medir la tensión que hay en cada punto de la línea de transmisión, veríamos que habría un punto donde el valor sería máximo y otro punto separado, del primero una distancia igual $\lambda/4$ (para simplificar la explicación consideramos solamente una portadora) aparecería un valor mínimo. Es decir a lo largo de la línea de transmisión, tendremos valores máximos y mínimos de tensión de la onda estacionaria, encontrado que el valor entre dos máximos, será $\lambda/2$ y entre dos mínimos también $\lambda/2$, según aparece en la fig-6.

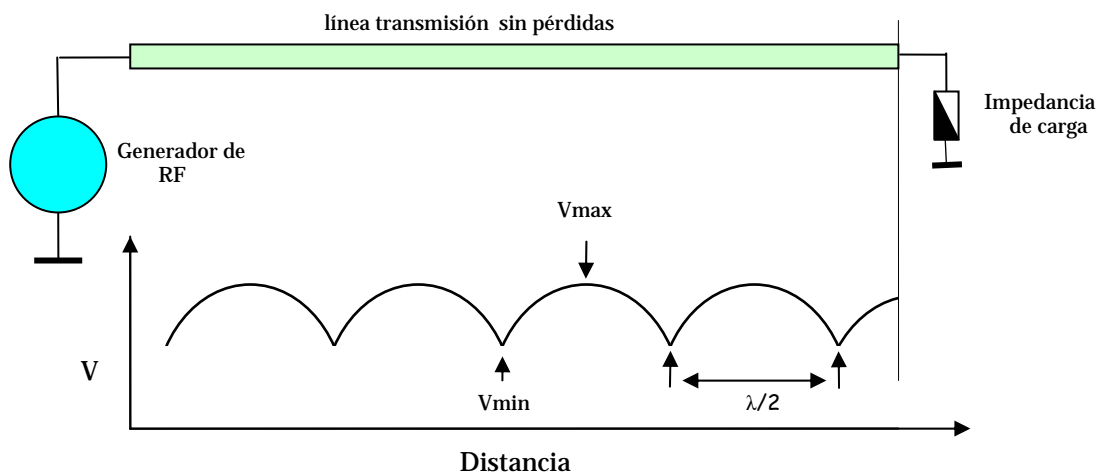


Fig- 6 Onda estacionaria de tensión en línea transmisión sin pérdidas

Así, se define el valor de VSWR, como la relación entre el modulo de la tensión máxima; V_{max} y el modulo de la tensión mínima; V_{min} , dentro de la onda estacionaria que se produce en la línea de transmisión .

$$VSWR: |V_{max}| / |V_{min}| \quad (2-8)$$

Podemos poner el valor de VSWR, en función del valor de coeficiente de reflexión, de acuerdo a la expresión (2-9).

$$VSWR:(1+|\rho|)/(1-|\rho|) \quad (2-9)$$

En la fig-6, podemos considerar el valor de la V_{max} , como la suma de la onda incidente y la reflejada, mientras que V_{min} , seria la diferencia entre la onda incidente y la reflejada.

2-6-1 Significado del valor de VSWR en un acoplador: Como hemos visto, el valor de VSWR nos da una información, del valor de la diferencia de impedancias entre dos dispositivos al conectarse. En el caso del acoplador, las puertos a considerar, serán la de entrada y la de salida; apareciendo un parámetro de VSWR para la entrada y otro para la salida.

Como es sabido, en Radio Frecuencia, la mayoría de los componentes, sistemas y equipos de medida, se fabrican para que presenten una impedancia de 50Ω , en todos los puertos de conexión. De esta forma, cuando se conectan componentes, al tener la misma impedancia terminal, no hay onda estacionaria; $VSWR=1$ y se transfiere toda la potencia, de un dispositivo al otro. Esto que parece muy claro, en la teoría, no es tan evidente, en la práctica .

En la situación actual, donde prima mas el coste, que la calidad, nos encontramos con un mercado inundado de productos, de muy bajas prestaciones, con valores de impedancia alejados de los 50Ω . Así en corriente encontrar productos como antenas, cargas, amplificadores, etc. con valores VSWR tan altos, que al conectarlos, reflejan una parte importante de la potencia que se les aplica.

En la tabla 4 podemos ver un resumen de lo que ocurre con la potencia transmitido y reflejada para distintos valores de VSWR,

VSWR	Perdidas retorno (dB)	Coeficiente Reflexión ρ	Potencia transmitida (%)	Potencia reflejada %
1,00	∞	0,0	100,0	0,0
1,13	24,3	0,06	99,6	0,4
1,30	17,7	0,13	98,3	1,7
1,50	14,0	0,20	96,0	4,0
1,80	10,9	0,29	91,8	8,2
2,00	9,5	0,33	88,9	11,1
2,50	7,4	0,43	81,6	18,4
3,00	6,0	0,50	75,0	25,0
3,50	5,1	0,56	69,1	30,9
4,00	4,4	0,60	64,0	36,0
30,00	0,6	0,94	12,5	87,5

Tabla - 4 Correspondencia valores entre VSWR, ρ y potencias

Si tenemos un amplificador, que suministra 100 w conectado a una antena, veamos lo que ocurre con dos casos, cuando en la zona de unión, el valor de VSWR es de 1,3 y 3,5 (se suele indicar 1,3/1 y 3,5/1).

Caso de VSWR 1,3/1

Potencia transmitida: 98,3% , es decir 98,3 W.

Esta potencia es la que transmitiría la antena.

Potencia reflejada: 1,7% , es decir 1,7 W.

Esta potencia regresaría hacia el amplificador.

Caso de VSWR 3,5/1

Potencia transmitida: 69,1% , es decir 69,1 W.

De los 100 w solamente se transmitirán 69,1 W.

Potencia reflejada: 30,9%, es decir 30,9 W.

Esta potencia ,regresaría hacia el amplificador, con el riesgo de dañarlo, si este no tuviese protección contra reflejadas.

2-6-2 Pérdidas de retorno (RL): Su expresión matemática aparece en (2-10) . Esta relacionada con el valor de VSWR y es muy usada entre los técnicos y fabricantes.

Es otra forma de poder definir la adaptación entre dos dispositivos cuando se conectan entre si o que ton cerca de 50Ω esta su impedancia de entrada y/o salida.

$$RL = 20 \log [(VSWR-1)/(VSWR+1)] \quad (2-10)$$

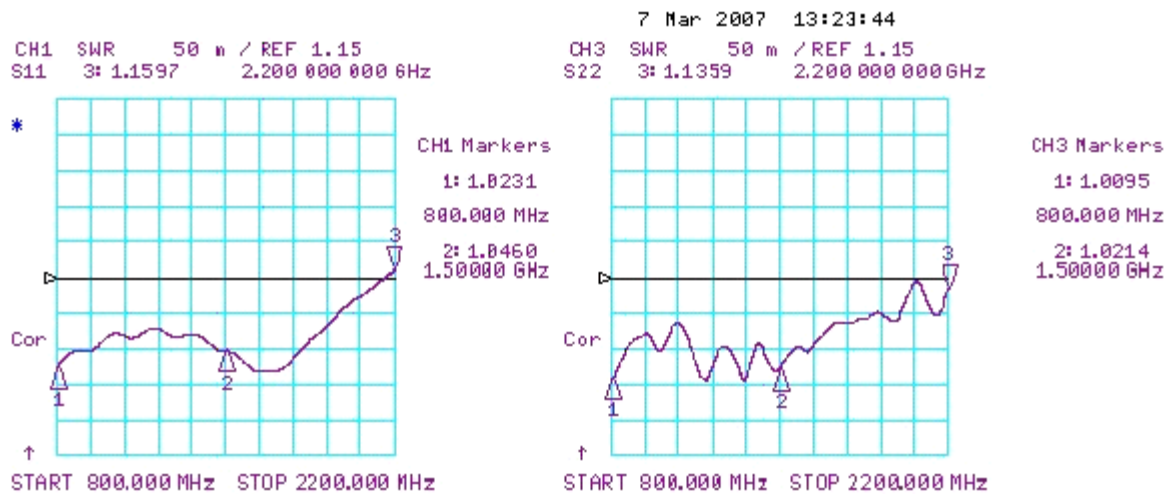


Fig-6 VSWR en la entrada y salida acoplador direccional

En la Fig-6, se pueden ver los valores de un acoplador direccional de banda ancha fabricado por Infacom. Una vez más, los valores varían con la frecuencia a la que se mida, sin embargo, el cuidado diseño garantiza, que a todas las frecuencias, la impedancia que presenta tanto en la entrada, como en la salida, están próximas a los 50Ω (si consideramos solamente la parte real y despreciamos la parte imaginaria).

2-7 Potencia incidente: Este parámetro, nos indica la potencia que se puede aplicar continuamente, al acoplador en la puerta de entrada, sin que se dañe y al mismo tiempo manteniendo, todas las especificaciones indicadas en la hoja de datos.

Para determinadas aplicaciones, los fabricantes indican el valor de la potencia de pico que puede soportar, sin daño para el acoplador.

2-8 Condiciones ambientales: Dentro de los parámetros medio ambientales, como son temperatura de trabajo y niveles de hermeticidad, vamos a dar una ligera idea de la normativa de protección IP, que define el tipo de acabado de la caja que contiene el acoplador.

La normativa IP, es un estándar de clasificación de los grados de protección de los envoltorios, cajas, etc. de los materiales eléctricos y electrónicos, respecto a la protección en los siguientes casos:

- De las personas, al acceso de partes peligrosas situadas en el interior de la envoltura.
- De la protección de los materiales situados en el interior de la envoltura, de cualquier cuerpo sólido que del exterior.
- De la protección de los materiales situados en el interior de la envoltura, de los efectos creados por la penetración de agua o líquidos en general.

El código IP, esta definido en detalle en la norma CIE 529(UNE -324-93), donde se indica que esta compuesto de las letras IP, seguido de dos números . EL primero, puede variar entre 0 y 6 y la segundo, entre 0 y 8 .

En la tabla- 5, se puede ver con claridad el significado y clase de protección que indican los dos números. La combinación de ambos muestra la protección que va a tener el circuito que este dentro de la caja .

Como se aprecia el nivel máximo de protección que puede tener es el IP68. Que a permite trabajar al equipo o componente en inmersión prolongada.

Primer numero	Tipo de protección	Segundo numero	Tipo protección
0	No protegido	0	Sin protección
1	Sólidos hasta 50mm diámetro	1	Gotas de agua verticales
2	Solidos hasta 12,5mm diámetro	2	Gotas de agua hasta 15° sobre la vertical
3	Solidos hasta 2,5mm diámetro	3	Gotas de agua hasta 60° sobre la vertical
4	Solidos hasta 1,0mm diámetro	4	Gotas de agua en cualquier dirección.
5	Contra polvo	5	Caída continúa de agua en cualquier dirección.
6	Totalmente protegido contra polvo	6	Caída de chorros de agua en cualquier dirección.
		7	Inmersión temporal.
		8	Inmersión continúa .

Tabla-5 Tipos de protección IP

podríamos seguir planteando mas especificaciones sobre los acopladores, sin embargo creo que lo indicado es suficiente para tener una idea bastante clara de lo que es este componente así como su comportamiento.

Desde Sematron España queremos agradecer a la empresa Infacom el apoyo prestado, sin el cual no habríamos, podido dar al artículo, la orientación practica que tiene.



Fig-7 Acoplador direccional fabricado por Infacom

3. Directiva 2002/95 del Parlamento Europeo (ROHs) .

Hemos considerado útil dar una pincelada del contenido de la nueva directiva 2002/95, aplicable en todos los miembros de la Unión Europea, a partir del 1 de Julio del 2006 y que se conoce popularmente como ROHs.

Esta directiva creada por el Parlamento Europeo en año 2003, tiene como objetivo legislar la utilización de sustancias peligrosas en los aparatos eléctricos y electrónicos y contribuir a la protección de la salud humana así como la eliminación de los residuos creados por estos productos.

3.1 Definiciones: La directiva define con claridad las características eléctricas y electrónicas de los aparatos afectados por la norma, la responsabilidad de los productores y los 5 materiales prohibidos en la fabricación de aparatos eléctricos y electrónicos, plomo, mercurio, cadmio, cromo hexavalente, polibromobifenilos (PBB) o polibromodifeniletteres(PBDE).

3.1.1 Aparatos eléctricos y electrónicos (AEE): Están afectados por la norma, todos los aparatos que necesiten corriente eléctrica o campos electromagnéticos para funcionar, así como los aparatos necesarios para generar transmitir y medir tal corriente y campos electromagnéticos.

3.1.2 Productores: Divide a los productores en tres grupos.

A/ Los que fabriquen y vendan aparatos eléctricos y electrónicos con marca propia.

B/ Los que revendan con marcas propias aparatos fabricados por terceros.

C/ Los que se dedique profesionalmente a la importación o exportación de dichos aparatos eléctricos y electrónicos en un estado miembro.

Siendo estos, los responsables llevar a cabo en su actividad diaria el cumplimiento de la nueva normativa. Habría que indicar que los usuarios deberían rechazar o al menos ser más exigentes con la compra de productos que no cumplen la directiva, productos sin marca ROHs.