

## Capítulo 5:

# Circuitos pasivos recíprocos de microondas

Este capítulo es continuación natural del anterior: una vez se ha descrito la herramienta necesaria para analizar circuitos de microondas se pasa a la descripción de distintos circuitos pasivos recíprocos de microondas. Se analizarán y diseñarán uniones de dos guías, de tres guías (divisores de potencia donde se diseñará un divisor Wilkinson), de cuatro guías (análisis y diseño de acopladores direccionales: branch line, rat-race y tecnología de líneas acopladas).

---

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# ÍNDICE (I)

s de dos guías

iedades de la matriz de dispersión de un cuadripolo

re de un cuadripolo por su impedancia característica o distinta de la  
cterística.

riz de transmisión.

nsformación de parámetros en cuadripolos

s de tres guías: divisores y combinadores de potencia

niciones de T plano H y plano E: propiedades de la matriz de dispersión.

temas referentes a una unión de tres guías: cierre de una unión de tres guías.

ño de divisores sin pérdidas y con pérdidas.

lisis y diseño de un divisor Wilkinson equilibrado: análisis en modo par.  
ar.

sor de potencia Wilkinson desequilibrado.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
--  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# ÍNDICE (II)

nes de cuatro guías: acopladores direccionales

Matriz de dispersión de un acoplador direccional: teoremas.

Definiciones: coeficientes de transmisión, acoplo y aislamiento.

Análisis y diseño de acopladores direccionales: acopladores de  $90^\circ$  (branch-line), T-mágica (rat-race), acopladores basados en líneas copladas.

--

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# Uniones de dos guías

de la red pasiva, lineal y recíproca.

pasiva ( $\text{Re}(Z)$  semidefinida positiva)

$$r_{22} \geq 0; \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{vmatrix} \geq 0 \Leftrightarrow r_{11} \cdot r_{22} \geq r_{12} \cdot r_{21}$$

no disipativa:  $\text{Re}(Z)=0 \rightarrow Z = j \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} \\ x_{21} & x_{22} \end{pmatrix}$

de vista de matriz de dispersión:

pasiva  $P \geq 0; \Rightarrow (\Delta - S^H \cdot S) \text{ real}$

no disipativa  $(\Delta - S^H \cdot S) = 0 \Rightarrow \Delta = S^H \cdot S \Rightarrow$

de filas por columnas

en un cuadripolo:

de las dos primeras ecuaciones

el cuadripolo está adaptado desde 1

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^N s_{ki} \cdot s_{ki}^* = 1 \\ \sum_{k=1}^N s_{ki} \cdot s_{kj}^* = 0 (i \neq j) \\ s_{11} \cdot s_{11}^* + s_{21} \cdot s_{21}^* = 1 \\ s_{12} \cdot s_{12}^* + s_{22} \cdot s_{22}^* = 1 \\ s_{11} \cdot s_{12}^* + s_{21} \cdot s_{22}^* = 0 \end{cases}$$

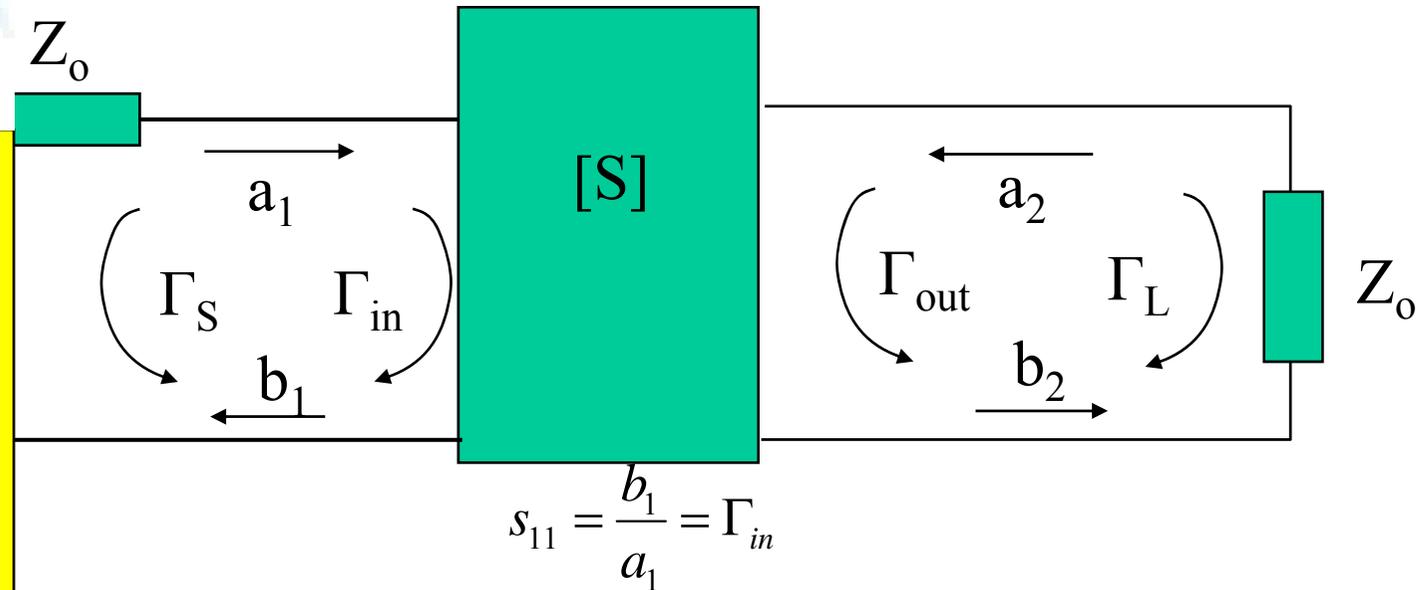
El cuadripolo no disipativo y recíproco está adaptado desde una de sus guías, completamente adaptado



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Relaciones de potencia en un cuadripolo (I)

cuadripolo terminado en su impedancia característica  $Z_0$



$$|s_{21}|^2 = \frac{|b_2|^2}{|a_1|^2} = \frac{\text{Potencia entregada carga}}{\text{Potencia disponible generador}} = G_T$$

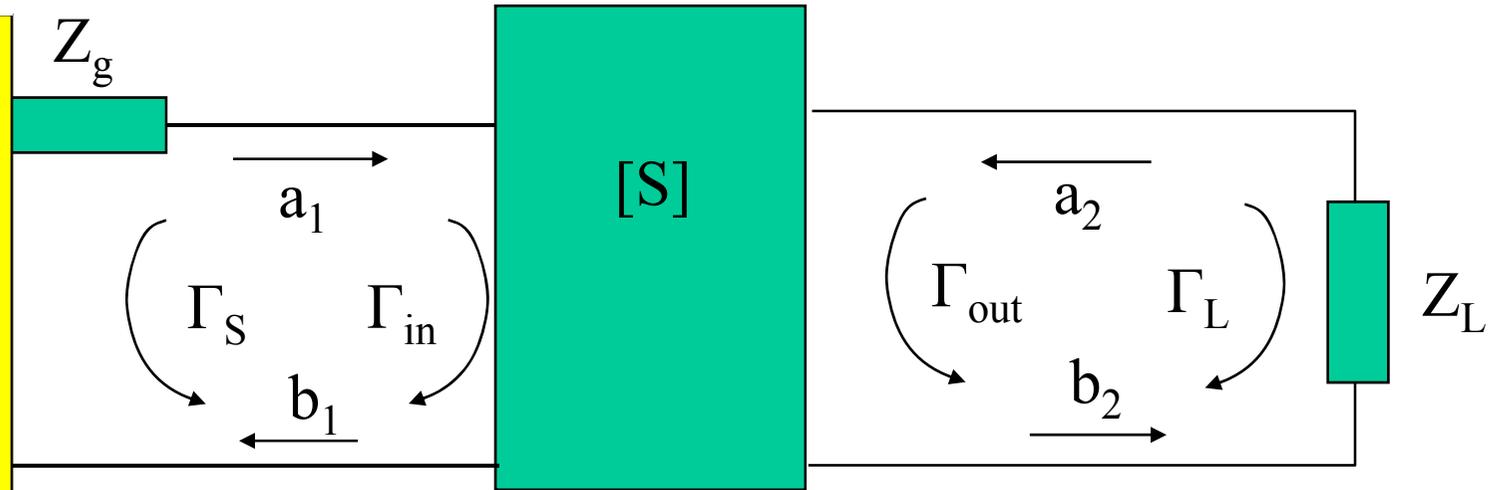
ganancia de potencia:

$$G_p = \frac{\text{Potencia entregada carga}}{\text{Potencia entregada cuadripolo}} = \frac{|b_2|^2}{|a_1|^2 - |b_1|^2} = \frac{|s_{21}|^2}{1 - |s_{11}|^2}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Relaciones de potencia en un cuadripolo (II)

Cuadripolo acabado en impedancia  $Z_g$  y  $Z_L$



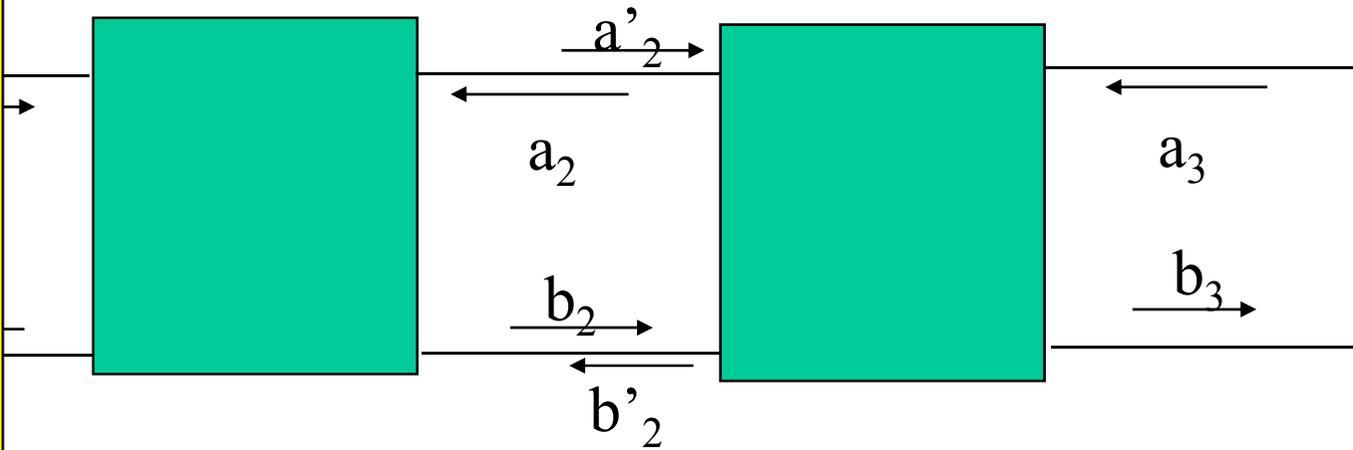
$$\Gamma_{in} = \frac{b_1}{a_1} = s_{11} + \frac{s_{12} \cdot s_{21} \cdot \Gamma_L}{1 - s_{22} \cdot \Gamma_L} \neq s_{11}; \Gamma_L = \frac{a_2}{b_2}$$

Las relaciones de las ganancias son totalmente diferentes a las de la anterior (se verán en el tema de amplificadores)

# Cuadripolos en cascada (I)

S no es apropiada pues no relaciona ondas de entrada con ondas de

s de transmisión en función de ondas de potencia



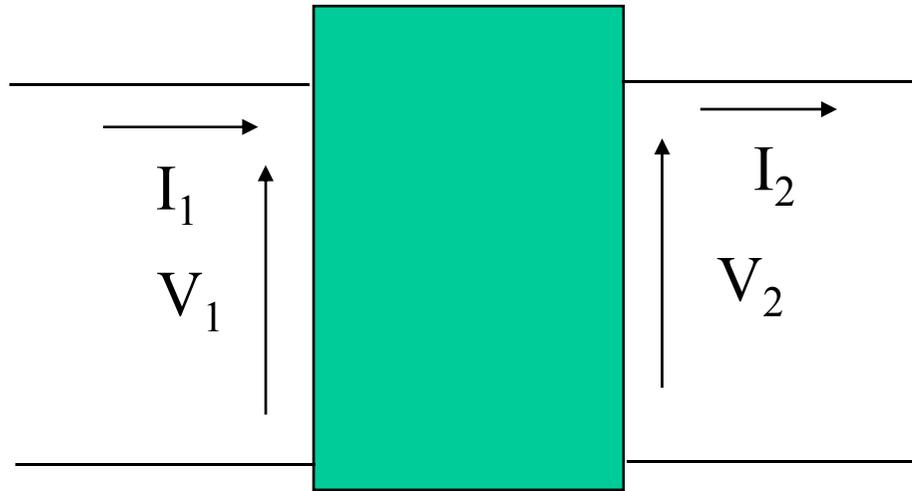
$$\left. \begin{matrix} \cdot a_1 + t_{12} \cdot b_1 \\ \cdot a_1 + t_{22} \cdot b_1 \end{matrix} \right\} \Rightarrow T = \begin{pmatrix} s_{12} - \frac{s_{22} \cdot s_{11}}{s_{21}} & \frac{s_{22}}{s_{21}} \\ -\frac{s_{11}}{s_{21}} & \frac{1}{s_{12}} \end{pmatrix} \Rightarrow T_{total} = \prod_{i=N}^1 T_i$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



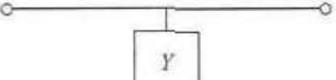
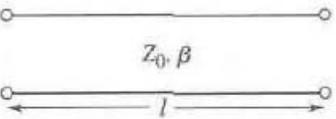
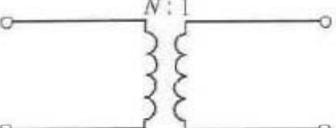
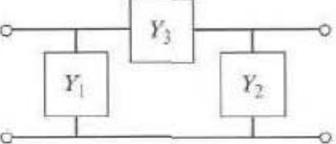
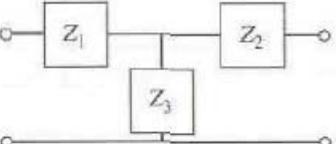
## Cuadripolos en cascada (II)

lo se trabaja con cuadripolos en cascada y se disponen de los voltajes en lugar de ondas de amplitud o potencia.



$$\left. \begin{aligned} V_1 &= A \cdot V_2 + B \cdot I_2 \\ I_1 &= C \cdot V_2 + D \cdot I_2 \end{aligned} \right\}$$

# Parámetros de transmisión ABCD para estructuras comunes

	$A = 1$ $C = 0$	$B = Z$ $D = 1$
	$A = 1$ $C = Y$	$B = 0$ $D = 1$
	$A = \cos \beta l$ $C = jY_0 \sin \beta l$	$B = jZ_0 \sin \beta l$ $D = \cos \beta l$
	$A = N$ $C = 0$	$B = 0$ $D = \frac{1}{N}$
	$A = 1 + \frac{Y_2}{Y_3}$ $C = Y_1 + Y_2 + \frac{Y_1 Y_2}{Y_3}$	$B = \frac{1}{Y_3}$ $D = 1 + \frac{Y_1}{Y_3}$
	$A = 1 + \frac{Z_1}{Z_3}$ $C = \frac{1}{Z_3}$	$B = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}$ $D = 1 + \frac{Z_2}{Z_3}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Tabla de transformación de parámetros

<i>S</i>	<i>Z</i>	<i>Y</i>	<i>ABCD</i>
$S_{11}$	$\frac{(Z_{11} - Z_0)(Z_{22} + Z_0) - Z_{12}Z_{21}}{\Delta Z}$	$\frac{(Y_0 - Y_{11})(Y_0 + Y_{22}) + Y_{12}Y_{21}}{\Delta Y}$	$\frac{A + B/Z_0 - CZ_0 - D}{A + B/Z_0 + CZ_0 + D}$
$S_{12}$	$\frac{2Z_{12}Z_0}{\Delta Z}$	$\frac{-2Y_{12}Y_0}{\Delta Y}$	$\frac{2(AD - BC)}{A + B/Z_0 + CZ_0 + D}$
$S_{21}$	$\frac{2Z_{21}Z_0}{\Delta Z}$	$\frac{-2Y_{21}Y_0}{\Delta Y}$	$\frac{2}{A + B/Z_0 + CZ_0 + D}$
$S_{22}$	$\frac{(Z_{11} + Z_0)(Z_{22} - Z_0) - Z_{12}Z_{21}}{\Delta Z}$	$\frac{(Y_0 + Y_{11})(Y_0 - Y_{22}) + Y_{12}Y_{21}}{\Delta Y}$	$\frac{-A + B/Z_0 - CZ_0 + D}{A + B/Z_0 + CZ_0 + D}$
$\frac{S_{11}(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21}}{S_{11}(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	$Z_{11}$	$\frac{Y_{22}}{ Y }$	$\frac{A}{C}$
$\frac{2S_{12}}{S_{11}(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	$Z_{12}$	$\frac{-Y_{12}}{ Y }$	$\frac{AD - BC}{C}$
$\frac{2S_{21}}{S_{11}(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	$Z_{21}$	$\frac{-Y_{21}}{ Y }$	$\frac{1}{C}$
$\frac{S_{11}(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}{S_{11}(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21}}$	$Z_{22}$	$\frac{Y_{11}}{ Y }$	$\frac{D}{C}$
$\frac{S_{11}(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21}}{S_{11}(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{ Z }$	$Y_{11}$	$\frac{D}{B}$
$\frac{-2S_{12}}{S_{11}(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	$\frac{-Z_{12}}{ Z }$	$Y_{12}$	$\frac{BC - AD}{B}$
$\frac{-2S_{21}}{S_{11}(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	$\frac{-Z_{21}}{ Z }$	$Y_{21}$	$\frac{-1}{B}$
$\frac{S_{11}(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}{S_{11}(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21}}$	$\frac{Z_{11}}{ Z }$	$Y_{22}$	$\frac{A}{B}$
$\frac{S_{11}(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21}}{S_{11}(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}$	$\frac{Z_{11}}{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{22}}{Y_{21}}$	$A$
$\frac{S_{11}(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{ Z }{Z_{21}}$	$\frac{-1}{Y_{21}}$	$B$
$\frac{S_{11}(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{1}{Z_{21}}$	$\frac{- Y }{Y_{21}}$	$C$
$\frac{S_{11}(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$	$D$

$$\Delta Z_{21}; \quad |Y| = Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21}; \quad \Delta Y = (Y_{11} + Y_0)(Y_{22} + Y_0) - Y_{12}Y_{21}; \quad \Delta Z = (Z_{11} + Z_0)(Z_{22} + Z_0) - Z_{12}Z_{21}; \quad Y_0 = 1/Z_0$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
--  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Uniones de tres guías (I)

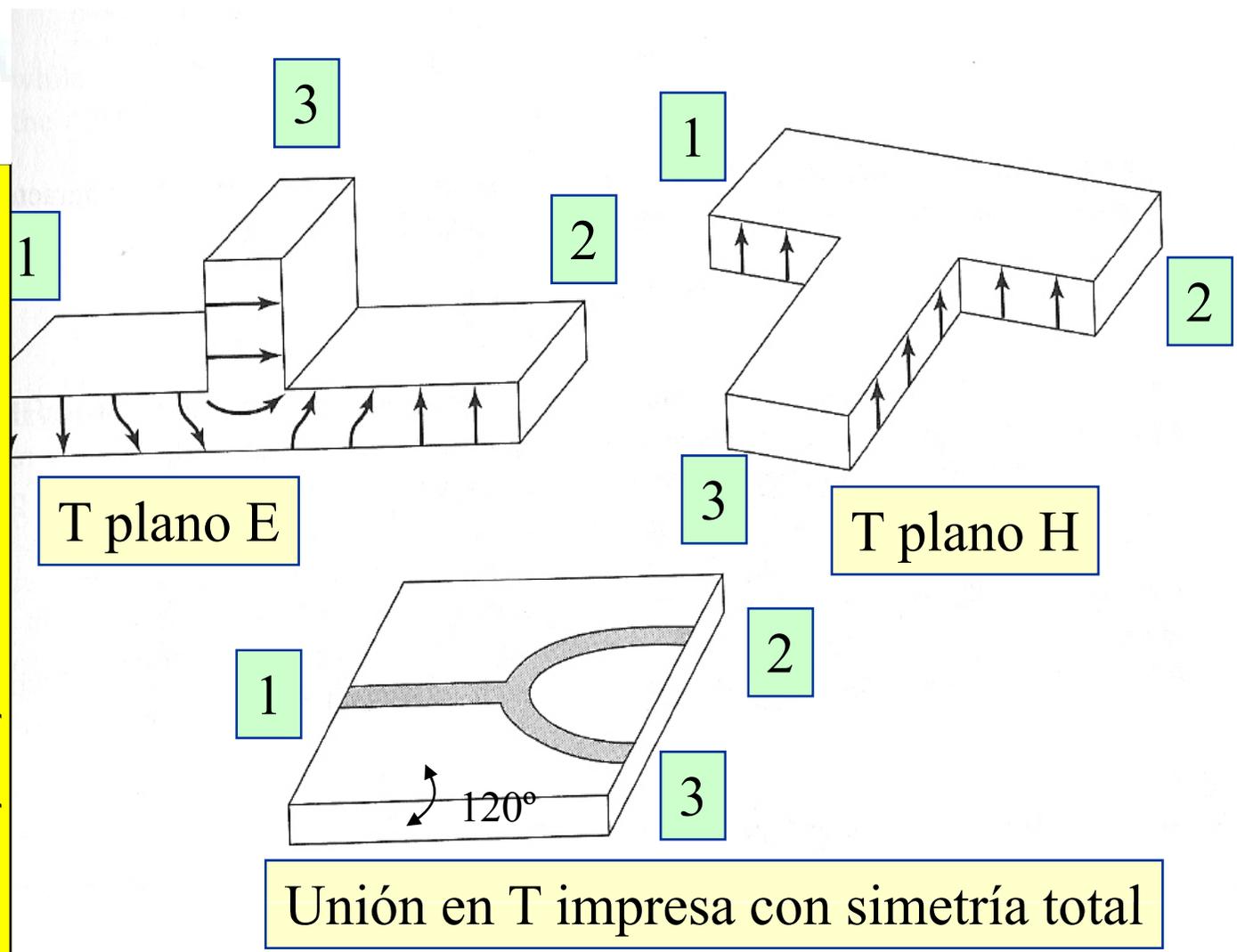
Los de hexapolos no disipativos  
tenderán uniones de guías que soporten solamente el modo  
al  
trías geométricas tenderán a tener una solución simétrica  
nética  
guía con modo  $TE_{10}$  el modo fundamental es simétrico con  
plano paralelo a las generatrices y que pasa por las centrales de  
anchas y no es simétrico respecto al perpendicular que pasa por  
estrechas.  
se excita el  $TE_{10}$  por la puerta 1  
n figura a: simetría **T plano E**  
n figura b: simetría **T plano H**  
n figura c: simetría total de  $120^\circ$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# Uniones de tres guías (II)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



# iones de tres guías (III): simetría geométrica

## T plano H

Excitación inicial  $A = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}$

Nueva excitación  $A' = \begin{pmatrix} a_2 \\ a_1 \\ a_3 \end{pmatrix}; B' = \begin{pmatrix} b_2 \\ b_1 \\ b_3 \end{pmatrix}$

Relación entre A' y A  $\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot A \Rightarrow \begin{cases} A' = T \cdot A \\ B' = T \cdot B \end{cases}$

matriz de dispersión es una (la T es una)

$$S = S \cdot A' \Rightarrow T \cdot B = S \cdot T \cdot A \Rightarrow T \cdot S \cdot A = S \cdot T \cdot A$$

$$S = S \cdot A$$

$$S_{11} = S_{22}$$

$$S_{13} = S_{23}$$

## T plano H

## T plano E

Excitación inicial  $A = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}$

Nueva excitación  $A' = \begin{pmatrix} a_2 \\ a_1 \\ -a_3 \end{pmatrix}; B' = \begin{pmatrix} b_2 \\ b_1 \\ -b_3 \end{pmatrix}$

Relación entre A' y A

$$A' = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot A \Rightarrow \begin{cases} A' = T \cdot A \\ B' = T \cdot B \end{cases}$$

## Unión simétrica

$$S_{11} = S_{22}$$

$$S_{13}^2 = S_{23}^2$$

## T plano E

$$S_{11} = S_{22} = S_{33}$$

$$S_{13} = S_{23} = S_{12}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Uniones de tres guías (IV): teoremas de uniones no disipativas

Una unión de tres guías no disipativa no puede estar completamente adaptada. (Demostración por reducción al absurdo)

Proposición: Una unión en T no disipativa y de simetría completa no puede estar adaptada desde ninguna de sus guías.

Proposición: Una unión de tres guías no disipativa está adaptada desde dos de sus guías, la tercera está desacoplada de ellas y es una unión degenerada. (Dem. ejercicio)

Proposición: Una unión en T no disipativa y simétrica con relación a un plano, está adaptada desde una de sus guías simétricas es una unión degenerada.

Proposición: Una unión en T no disipativa ni degenerada sólo puede estar adaptada desde una de sus guías.

Proposición: Si se adapta uno de los brazos de una unión de tres guías no disipativa con un adaptador colocado en posición conveniente, se consigue un cuadripolo adaptado, con sus dos guías desacopladas. (Demostración)

Proposición: Si se adapta una de tres guías no disipativa y simétrica con relación a un plano, un adaptador, colocado en una posición adecuada en la guía que coincide con su simétrica respecto dicho plano, adapta el cuadripolo resultante. (Demostración,

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
--  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# El divisor de potencia Wilkinson

Como en las uniones anteriores, una unión en T sin pérdidas no puede estar adaptada desde una sola entrada a dos salidas. Además, el aislamiento entre terminales no es bueno.

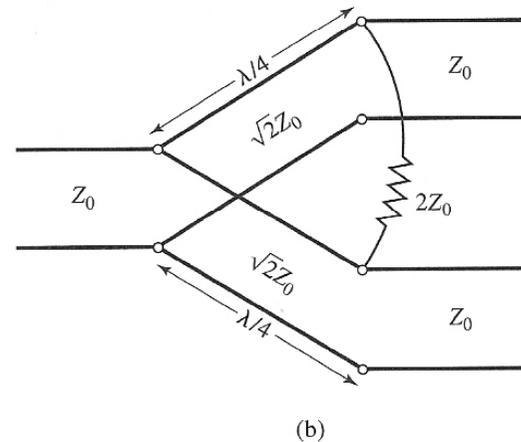
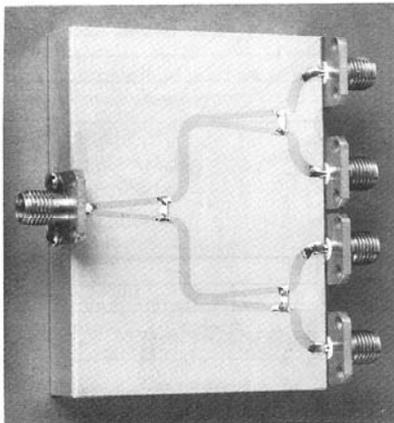
El divisor de potencia resistivo (divisor resistivo, Pozar pp.362): tiene adaptadas todas las puertitas de salida, pero el aislamiento entre puertitas de salida es malo, las pérdidas hacen que la mitad de la potencia se disipe en las resistencias.

Para conseguir mediante una red CON pérdidas (no verifica los teoremas de la unión perfecta) un divisor denominado Wilkinson:

que es perfectamente adaptado

y tiene las puertitas de salida aisladas entre sí

cuando está adaptado, no hay pérdidas de potencia porque forzamos a que no haya energía en las resistencias.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# o del divisor de potencia Wilkinson simétrico: excitación en modos par-impar

remos para una relación de 3 dB mediante modos par-impar porque EXISTE A ELÉCTRICA Y GEOMÉTRICA

: impedancia de las líneas,  $Z$ , y resistencia entre puertos,  $r$ .

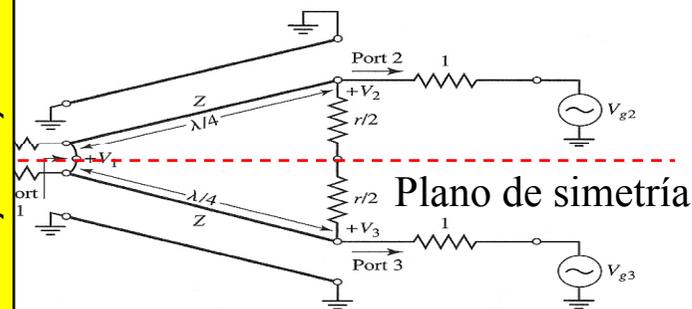
izar si existe simetría eléctrica y geométrica: EXISTE ENTRE LOS PUERTOS 2 Y 3

$$s_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1, a_3=0} = 0; s_{23} = \left. \frac{b_3}{a_3} \right|_{a_1, a_2=0} = 0$$

vo: adaptación puertos y aislamiento.

cución de la excitación simétrica mediante una excitación apropiada en dos puertos tal suma sea la que se pide en la definición

parámetro es el  $s_{22}$  supone  $a_3=0$ , si el parámetro es el  $s_{23}$  ( $=s_{32}$ ) supone  $a_2=0$ . En ambos el parámetro de salida a medir es  $b_2$



	Entrada		Salida
Excitación	$a_2$	$a_3$	$b_2$
Par (P)	$a$	$a$	$a\rho_1$
Impar (I)	$a$	$-a$	$a\rho_2$
(P+I)	$2a$	$0$	$a(\rho_1 + \rho_2)$
(P-I)	$0$	$2a$	$a(\rho_1 - \rho_2)$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

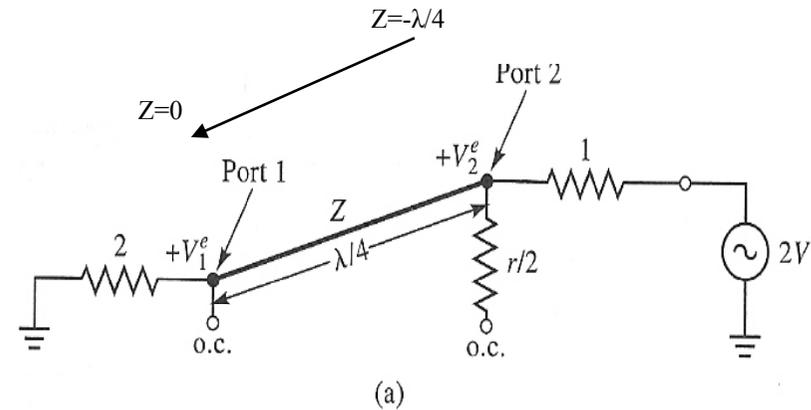
# o del divisor de potencia Wilkinson simétrico: excitación par

los 2 y 3 tienen el mismo nivel de  
al, lo que supone que:

hay corriente en  $r/2$

ro magnético en el plano de simetría.

edancia de entrada en el terminal



$$= 1 \Rightarrow \Gamma_2^e = 0 = \rho_1 \Rightarrow Z = \sqrt{2}$$

o 2 está adaptado para excitación par.

tajes en los nodos son:  $V(z) = V^+ e^{-j\beta z} + V^- e^{j\beta z} = V^+ \cdot (e^{-j\beta z} + \Gamma e^{j\beta z})$

$$V_2^e = V \left( -\frac{\lambda}{4} \right) = V^+ \cdot j(1 - \Gamma) = V$$

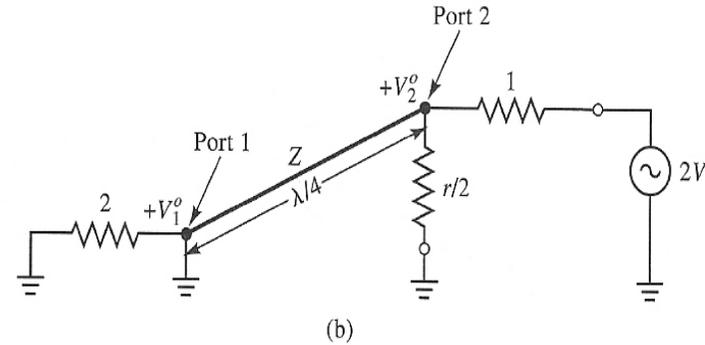
$$\Gamma = \frac{2 - \sqrt{2}}{2 + \sqrt{2}}$$

$$V_1^e = V(0) = V^+ \cdot (1 + \Gamma) = -V \cdot j \cdot \frac{(1 + \Gamma)}{(1 - \Gamma)} = -j \cdot V \cdot \sqrt{2}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# o del divisor de potencia Wilkinson simétrico: excitación impar

s 2 y 3 tienen niveles de potenciales  
lo que supone que:  
y voltaje en el plano de simetría  
eléctrico en el plano de simetría.  
ancia de entrada en el terminal 2



$$= 1 \Rightarrow \Gamma_2^o = 0 = \rho_2 \Rightarrow r = 2$$

ón

lor anterior hay adaptación en el  
2 para el modo impar.

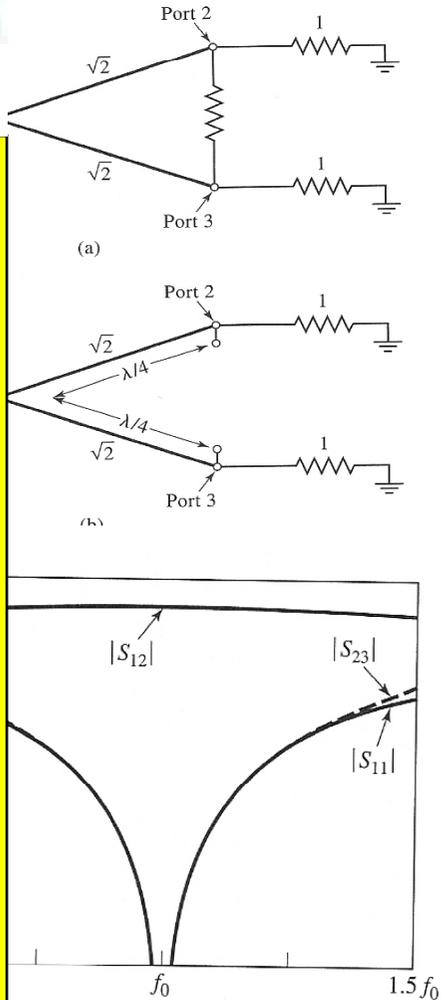
es en los nodos son tales que  
resistencia y nada a la línea y

$$V_2^o = V$$

$$V_1^o = 0$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Análisis del divisor de potencia Wilkinson simétrico



$$s_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=a_3=0} = 0 (Z_{in} = 1)$$

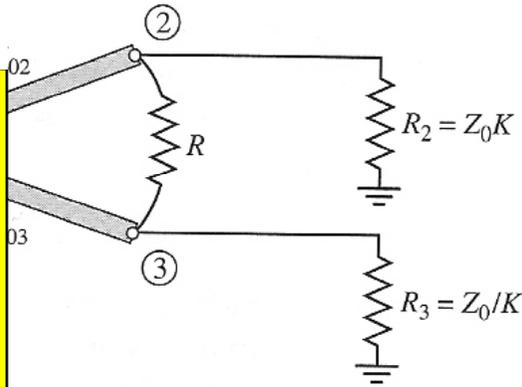
$$s_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=a_3=0} = \left. \begin{cases} a_1 = 0 (Z_o) \\ a_3 = 0 (P + I) \\ b_2 = a(\rho_1 + \rho_2) = a(\Gamma_2^e + \Gamma_2^o) = 0 \\ a_2 = 2a \end{cases} \right\} = 0 = s_{33}$$

$$s_{12} = s_{21} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=a_3=0} = \frac{V_1^e + V_1^o}{V_2^e + V_2^o} = -\frac{j}{\sqrt{2}}$$

$$s_{23} = \left. \frac{b_2}{a_3} \right|_{a_1=a_2=0} = \frac{a(\Gamma_2^e - \Gamma_2^o)}{2a} = \frac{a(\rho_1 - \rho_2)}{2a} = 0$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Otros divisores de potencia Wilkinson



$$K^2 = \frac{P_3}{P_2} \Rightarrow \begin{cases} Z_{o3} = Z_o \cdot \sqrt{\frac{1+K^2}{K^3}} \\ Z_{o2} = Z_o \cdot \sqrt{K(1+K^2)} \end{cases}$$

$$R = Z_o \cdot \left( K + \frac{1}{K} \right); R_2 = Z_o \cdot K; R_3 = \frac{Z_o}{K}$$

potencia asimétrico, se describe arriba (ejercicio: Collin, pp 444-446)

Wilkinson de varias secciones para incrementar el ancho de banda.

Wilkinson con N divisiones (inconveniente hay cruces)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Acoplos directivos (I): teoremas

En uniones de 4 guías se estudiarán los acoplos directivos.

Un acoplo directivo es una unión de 4 guías no disipativa y no degenerada, adaptada desde 2 de dichas guías y tal que no existe acoplo entre las guías adaptadas y otra de las restantes:  $s_{11}=s_{22}=s_{13}=0$

Un acoplo directivo está completamente adaptado y también están adaptadas la pareja formada por las guías que no se suponen desacopladas y la otra. (Demostración)

Una unión de 4 guías no disipativa y no degenerada que esté adaptada desde tres de ellas es un acoplo directivo. (Demostración)

Si una unión de 4 guías, no disipativa y no degenerada, tiene 2 guías adaptadas y está adaptada desde ellas, es un acoplo directivo.

$$\begin{pmatrix} 0 & s_{12} & 0 & s_{14} \\ s_{12} & 0 & s_{23} & 0 \\ 0 & s_{23} & 0 & s_{34} \\ s_{14} & 0 & s_{34} & 0 \end{pmatrix}; S_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & s_{13} & s_{14} \\ 0 & 0 & s_{23} & s_{24} \\ s_{13} & s_{23} & 0 & 0 \\ s_{14} & s_{24} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## acoplos directivos (II): interpretación física

$$\begin{pmatrix} s_{12} & 0 & s_{14} \\ 0 & s_{23} & 0 \\ s_{23} & 0 & s_{34} \\ 0 & s_{34} & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{cases} b_1 = s_{12} \cdot a_2 + s_{14} \cdot a_4 \\ b_2 = s_{12} \cdot a_1 + s_{23} \cdot a_3 \\ b_3 = s_{23} \cdot a_2 + s_{34} \cdot a_4 \\ b_4 = s_{14} \cdot a_1 + s_{34} \cdot a_3 \end{cases} \Big|_{a_3, a_2, a_4=0} \Rightarrow \begin{cases} b_1 = 0 \\ b_2 = s_{12} \cdot a_1 \\ b_3 = 0 \\ b_4 = s_{14} \cdot a_1 \end{cases}$$

encia incidente por la guía 1 se distribuye entre las 2 y 4.

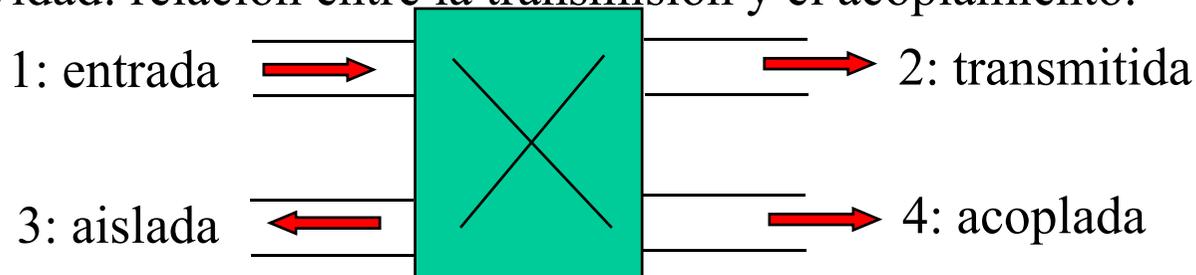
$$|s_{21}|^2 + |s_{41}|^2 = 1$$

ente de transmisión: el mayor de los anteriores coeficientes.

ente de acoplamiento: el menor de los anteriores. El nombre del

acoplo lo da la relación en dB del coeficiente anterior

vidad: relación entre la transmisión y el acoplamiento.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Acoplos directivos (III): cambio de plano de referencia

Al imponer los elementos diagonales de  $S^H S = I$  se llega a:

$$\|S_{21}\| = \|S_{34}\|; \|S_{14}\| = \|S_{23}\|$$

En forma módulo-argumental resulta una matriz de parámetros  $S$ :

$$S = \begin{pmatrix} A \cdot e^{ja} & 0 & B \cdot e^{jb} & 0 \\ 0 & B \cdot e^{jc} & 0 & 0 \\ B \cdot e^{jc} & 0 & A \cdot e^{jd} & 0 \\ 0 & A \cdot e^{jd} & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad si S^H \cdot S = \Delta; \quad (1,3)-(2,4); \quad S_1 = \begin{pmatrix} 0 & A \cdot e^{ja} & 0 & B \cdot e^{jb} \\ A \cdot e^{ja} & 0 & -B \cdot e^{j(a+d-b)} & 0 \\ 0 & -B \cdot e^{j(a+d-b)} & 0 & A \cdot e^{jd} \\ B \cdot e^{jb} & 0 & A \cdot e^{jd} & 0 \end{pmatrix}$$

Definamos distancias  $l_1, l_2, l_3$  y  $l_4$  para simplificar la anterior matriz

$$l_1 = a - \alpha$$

$$l_2 = b - \beta$$

$$l_3 = a + d - b + \pi - \gamma$$

$$l_4 = d - \delta$$

Sólo pueden fijarse 3 fases:

$$\alpha = \delta = 0; \beta = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \gamma = \frac{\pi}{2}$$

$$S_1 = \begin{pmatrix} 0 & A & 0 & -jB \\ A & 0 & -jB & 0 \\ 0 & -jB & 0 & A \\ -jB & 0 & A & 0 \end{pmatrix};$$

Particular: la puerta acoplada y transmitida se encuentran desfasadas  $90^\circ$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## os directivos (IV), aplicación: obtención de un desfasador variable.

B (híbrido 3 dB): divide de igual forma la potencia incidente entre la puerta y acoplada. La matriz de dispersión (fijando las fases como en 5.22

$$S_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & j \\ 1 & 0 & j & 0 \\ 0 & j & 0 & 1 \\ j & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

las guías 2 y 4 por un pistón de cortocircuito variable  $\Gamma = e^{j\Psi}$   
para una estructura cerrada por dos guías queda:

$$S_1 = \begin{pmatrix} 0 & j\Gamma \\ j\Gamma & 0 \end{pmatrix}$$

iguia puerta 3 del híbrido se remata con una carga  $\Gamma' = \frac{a_3}{b_3}$  resulta

$$\Gamma'' = \frac{b_1}{a_1} = \frac{j\Gamma a_3}{\frac{1}{j\Gamma} b_3} = -\Gamma^2 \cdot (\Gamma') = e^{j(2\Psi + \pi)} \cdot (\Gamma')$$

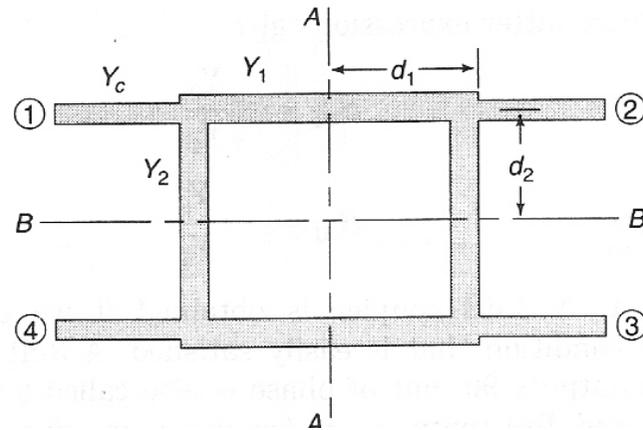
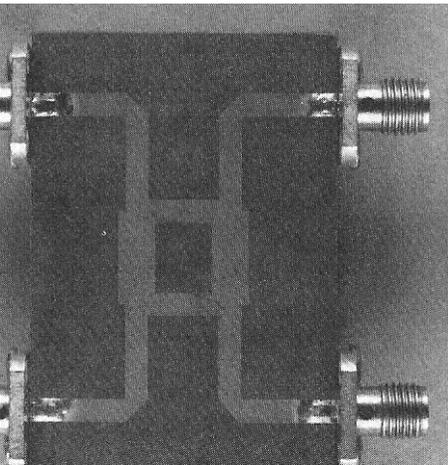
iente de reflexión en la puerta 1 es el que hay en la puerta antigua 3 desfasado  
ad  $(2\Psi + \pi)$

# Acoplos directivos (V): acoplo branch-line

presos con las puertas transmitida y acoplada en cuadratura de fase:  
 potencia puede dividirse simétricamente entre las puertas transmitida y acoplada  
 (branch-line de 3 dB)

dividirse asimétricamente entre las puertas transmitida y acoplada (con la  
 potencia para branch-line no pueden conseguirse grandes acoplamientos >8dB)  
 se puede hacer por cuatro brazos de longitud  $\lambda/4$  e impedancias  $Z_1$  (horizontal) y  $Z_2$  (vertical)  
 los parámetros de diseño para un branch-line arbitrario son  $Z_1$  y  $Z_2$   
 para un branch-line simétrico la matriz es:

$$S_1 = -\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{pmatrix}$$



FI  
A1



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Octoplos directivos (VI): análisis de un híbrido branch-line

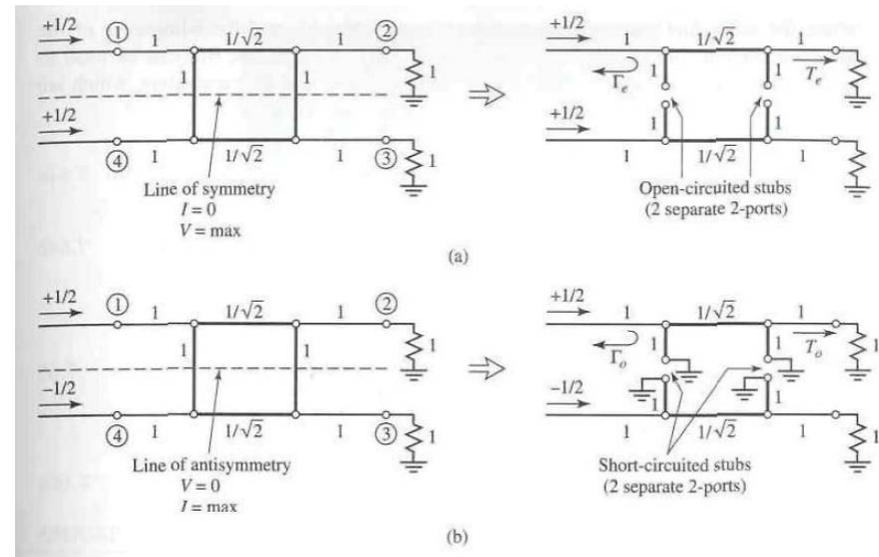
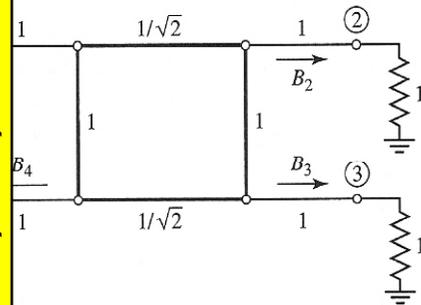
El análisis: obtención de la matriz de parámetros S del híbrido una vez conectados  $Z_1$  y  $Z_2$

Aplicación de la definición de cada parámetro S.

Simetría geométrica y eléctrica: se puede aplicar modos par-impar

Simetría simple (proceso seguido en 5.27, Pozar, 7.5): se reduce el octopolo a un dipolo, hay que analizar parámetros de transmisión y reflexión

Simetría doble (proceso seguido en 5.29, se aplica al diseño; Collin 6.4, pp.432-444): se reduce el octopolo a un dipolo circuital; sólo se analizan parámetros de reflexión



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# Cuadripolos directivos (VII): análisis de un híbrido branch-line

$$\text{VO: } s_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2, a_3, a_4=0} = 0; s_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1, a_3, a_4=0} = 0; s_{13} = \left. \frac{b_1}{a_3} \right|_{a_1, a_2, a_4=0} = 0; s_{14} = \left. \frac{b_1}{a_4} \right|_{a_1, a_2, a_3=0} = 0$$

Excitación de la excitación simétrica mediante una excitación apropiada en dos puertos tal que la suma sea la que se pide en la definición

En los casos el parámetro de salida a medir es  $b_1$  del cuadripolo en que la excitación par ha convertido al octopolo.

Parámetro a hallar	$S_{11}, S_{14}$		Salida	$S_{12}, S_{13}$		Salida
	Entrada	Salida		Entrada	Salida	
Excitación	$a_1$	$a_4$	$b_1$	$a_2$	$a_3$	$b_1$
Par (P)	$a$	$a$	$a\Gamma_e$	$a$	$a$	$aT_e$
Impar (I)	$a$	$-a$	$a\Gamma_o$	$a$	$-a$	$aT_o$
(P+I)	$2a$	$0$	$a(\Gamma_e + \Gamma_o)$	$2a$	$0$	$a(T_e + T_o)$
(P-I)	$0$	$2a$	$a(\Gamma_e - \Gamma_o)$	$0$	$2a$	$a(T_e - T_o)$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# plos directivos (VIII): análisis de un híbrido branch-line

$$\begin{pmatrix} B \\ D \end{pmatrix}_e = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\beta l) & jZ_0 \sin(\beta l) \\ jY_0 \sin(\beta l) & \cos(\beta l) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -1 & j \\ j & -1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} B \\ D \end{pmatrix}_o = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos(\beta l) & jZ_0 \sin(\beta l) \\ jY_0 \sin(\beta l) & \cos(\beta l) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & j \\ j & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Gamma_e = 0$$

$$T_e = -\frac{1}{\sqrt{2}}(1+j)$$

$$\Gamma_o = 0$$

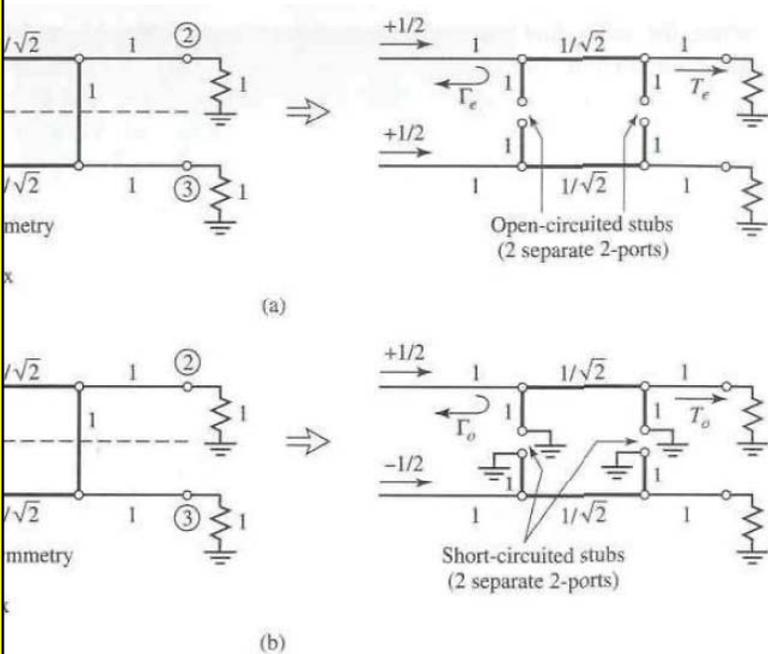
$$T_o = \frac{1}{\sqrt{2}}(1-j)$$

$$b_1 = 0$$

$$b_2 = -\frac{j}{\sqrt{2}}$$

$$b_3 = -\frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$b_4 = 0$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

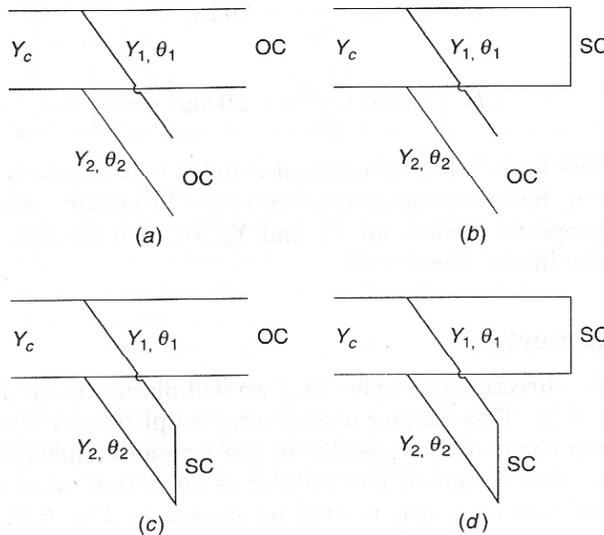
## Los directivos (IX): diseño de un branch-line

o): determinar las impedancias de las líneas que con un esquema branch- siguen un acoplo directo con las puertas transmitida y acoplada en ira.

se hace uso de la simetría doble que existe en el branch-line. Planos

duce el octopolo a un dipolo circuital.

nico parámetro que se mide es  $b_1$  en función de las reflexiones con excitación impar



## Polos directivos (X): diseño de un branch-line

					$s_{11}$	$s_{12}$	$s_{13}$	$s_{14}$
Entrada					Salida	Salida	Salida	Salida
$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$b_1$	$b_1$	$b_1$	$b_1$	$b_1$
$a$	$a$	$a$	$a$	$a\Gamma_1$	$a\Gamma_1$	$a\Gamma_1$	$a\Gamma_1$	$a\Gamma_1$
$a$	$-a$	$-a$	$a$	$a\Gamma_2$	$a\Gamma_2$	$a\Gamma_2$	$a\Gamma_2$	$a\Gamma_2$
$a$	$a$	$-a$	$-a$	$a\Gamma_3$	$a\Gamma_3$	$a\Gamma_3$	$a\Gamma_3$	$a\Gamma_3$
$a$	$-a$	$a$	$-a$	$a\Gamma_4$	$a\Gamma_4$	$a\Gamma_4$	$a\Gamma_4$	$a\Gamma_4$
$4a$	$0$	$0$	$0$	$a(\Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4)$				
$0$	$4a$	$0$	$0$		$a(\Gamma_1 - \Gamma_2 + \Gamma_3 - \Gamma_4)$			
$0$	$0$	$4a$	$0$			$a(\Gamma_1 - \Gamma_2 - \Gamma_3 + \Gamma_4)$		
$0$	$0$	$0$	$4a$				$a(\Gamma_1 + \Gamma_2 - \Gamma_3 - \Gamma_4)$	

$$Y_1 = \sqrt{2} Y_0; Y_2 = Y_0; d_1 = d_2 = \lambda/4$$

## Los directivos (XI): diseño de un branch-line asimétrico

$$\left. \begin{array}{l} (\Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 + \Gamma_4) \\ (\Gamma_1 - \Gamma_2 + \Gamma_3 - \Gamma_4) \\ \dots \\ (\Gamma_1 - \Gamma_2 - \Gamma_3 + \Gamma_4) \\ (\Gamma_1 + \Gamma_2 - \Gamma_3 - \Gamma_4) \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} s_{13} = -\frac{Y_2}{Y_1} \\ s_{12} = -j\frac{Y_0}{Y_1} \end{array} \right\} \Rightarrow C = 20 \log \left( \frac{1}{|s_{13}|} \right)$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ...  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# los directivos basados en líneas acopladas(I): teoría de líneas acopladas

Las líneas desprotegidas se encuentran muy próximas puede existir acoplamiento de campos entre ellas.

que operan en modo TEM (cierto para "casi" cierto para  $\mu$ strip)  
buscar un circuito equivalente en constantes de acoplamiento:

dependencia de las tiras en ausencia de plano de masa.

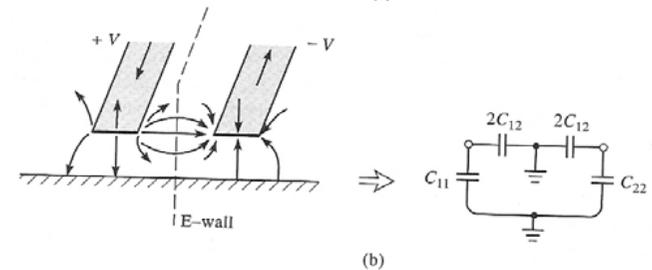
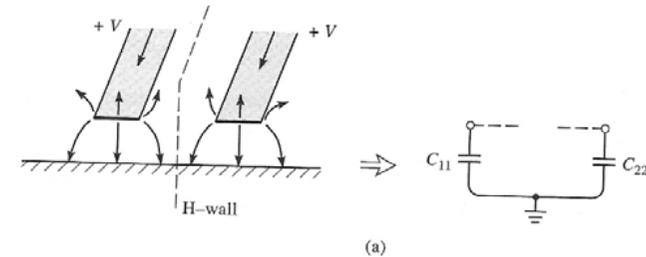
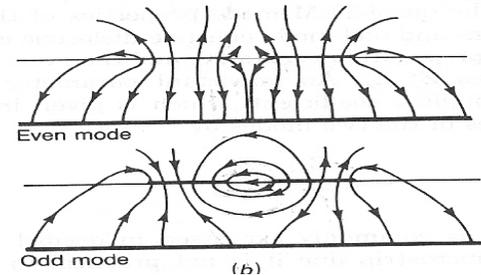
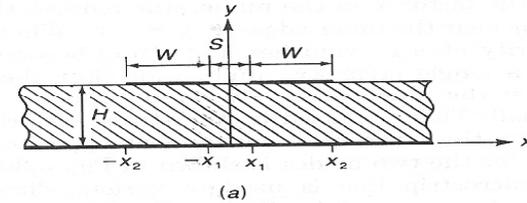
capacidades de las tiras con el plano de masa.  
eléctrica y geométrica: aplicación de modos de acoplamiento:

Par: las corrientes en las tiras son iguales en magnitud y dirección.

$$C_{11} = C_{22}; Z_{oe} = 1/(vC_e)$$

Impar: corrientes en las tiras iguales en módulo y dirección opuesta.

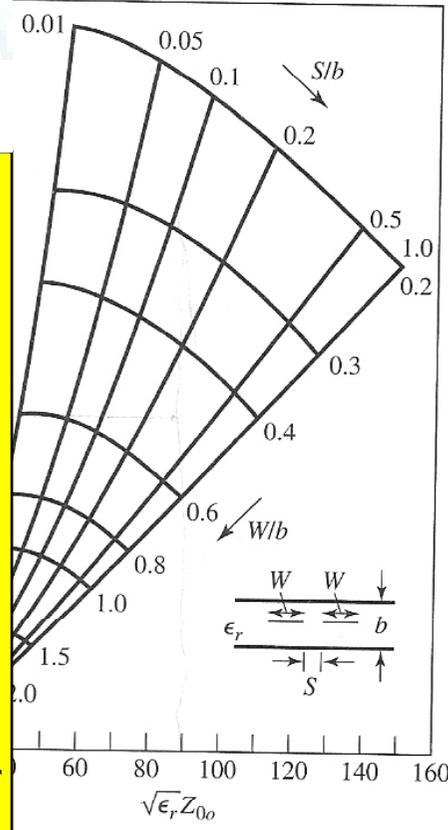
$$C_{11} + C_{22}; Z_{oo} = 1/(vC_o)$$



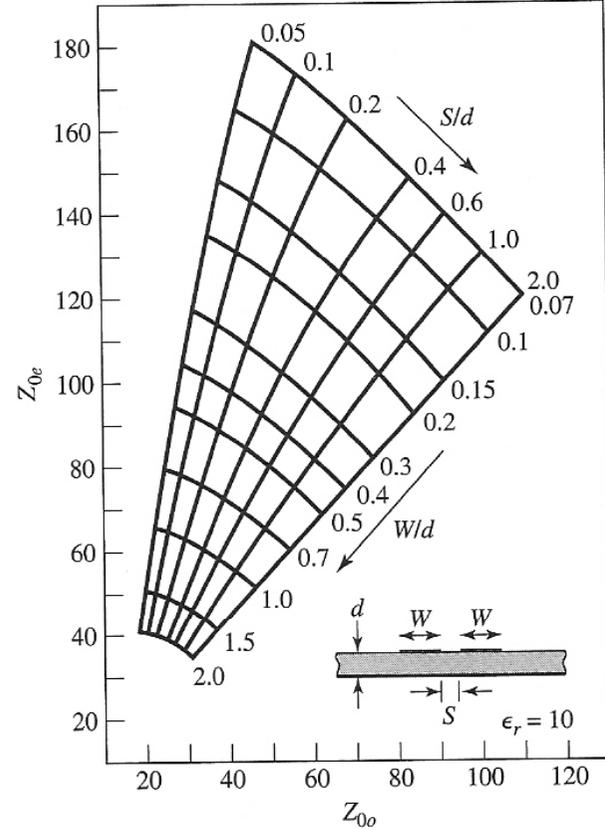
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70  
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70



# Los directivos basados en líneas acopladas(II): teoría de líneas acopladas, nomogramas



**TRIPLINE**



**MICROSTRIP**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

# os directivos basados en líneas acopladas(III): teoría de líneas acopladas, nomogramas

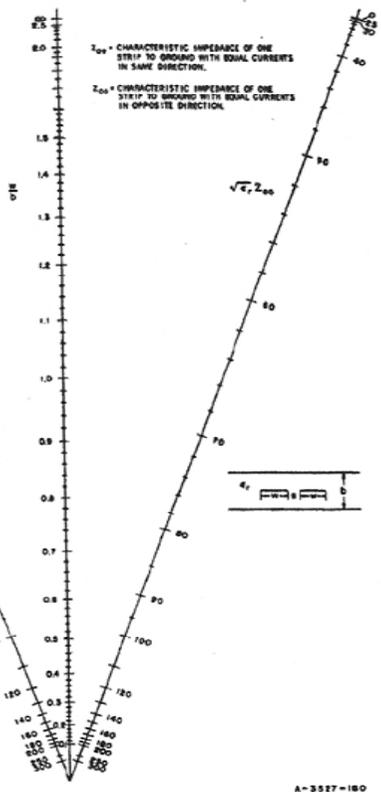


FIG. 5.05-3(b) NOMOGRAM GIVING  $w/b$  AS A FUNCTION OF  $Z_{00}$  AND  $Z_{00}$  IN COUPLED STRIP LINE

$w/b$

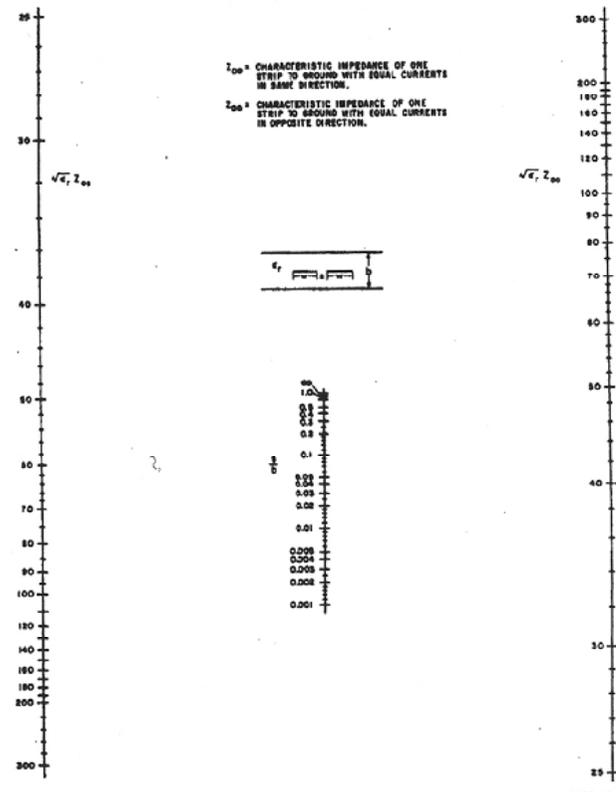


FIG. 5.05-3(a) NOMOGRAM GIVING  $s/b$  AS A FUNCTION OF  $Z_{00}$  AND  $Z_{00}$  IN COUPLED STRIP LINE

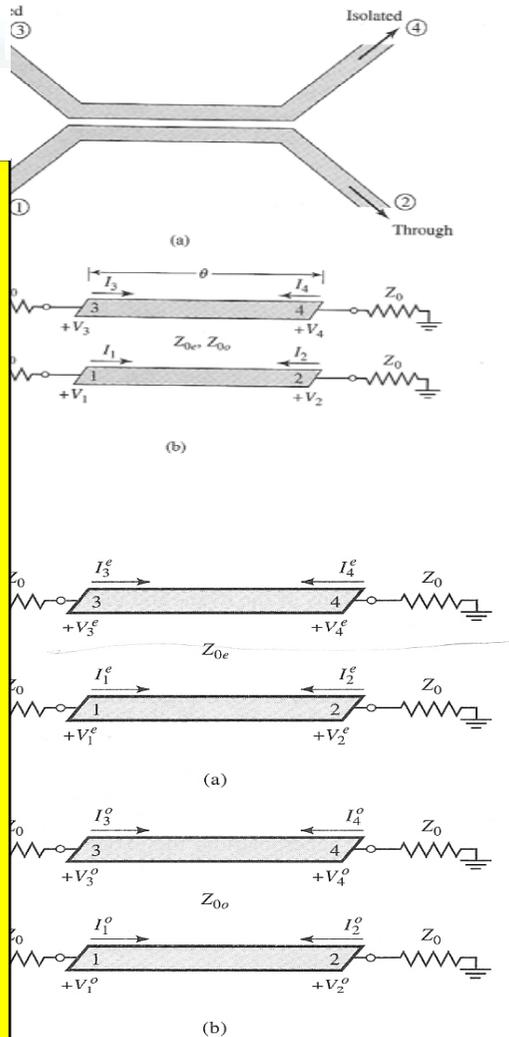
$s/b$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

# os directivos basados en líneas acopladas(IV): diseño de acoplos directivos



$$C = \frac{Z_{oe} - Z_{oo}}{Z_{oe} + Z_{oo}}; Z_o = \sqrt{Z_{oe} \cdot Z_{oo}}$$

$$\frac{V_2}{V} = -j\sqrt{(1-C^2)} \Rightarrow P_2 = \frac{1}{2}(1-C^2)\frac{|V|^2}{Z_o}$$

$$\frac{V_3}{V} = C \Rightarrow P_2 = \frac{1}{2}C^2\frac{|V|^2}{Z_o}$$

$$P_{in} = \frac{1}{2}\frac{|V|^2}{Z_o}; P_4 = 0$$

A muy bajas frecuencias  $\theta \ll \pi/2$ :  $V_3=0$ ;  $V_2=V$   
Para  $\theta=\pi/2$ :  $V_3$  máximo;  $V_2$  mínimo y  $l=\lambda/4$

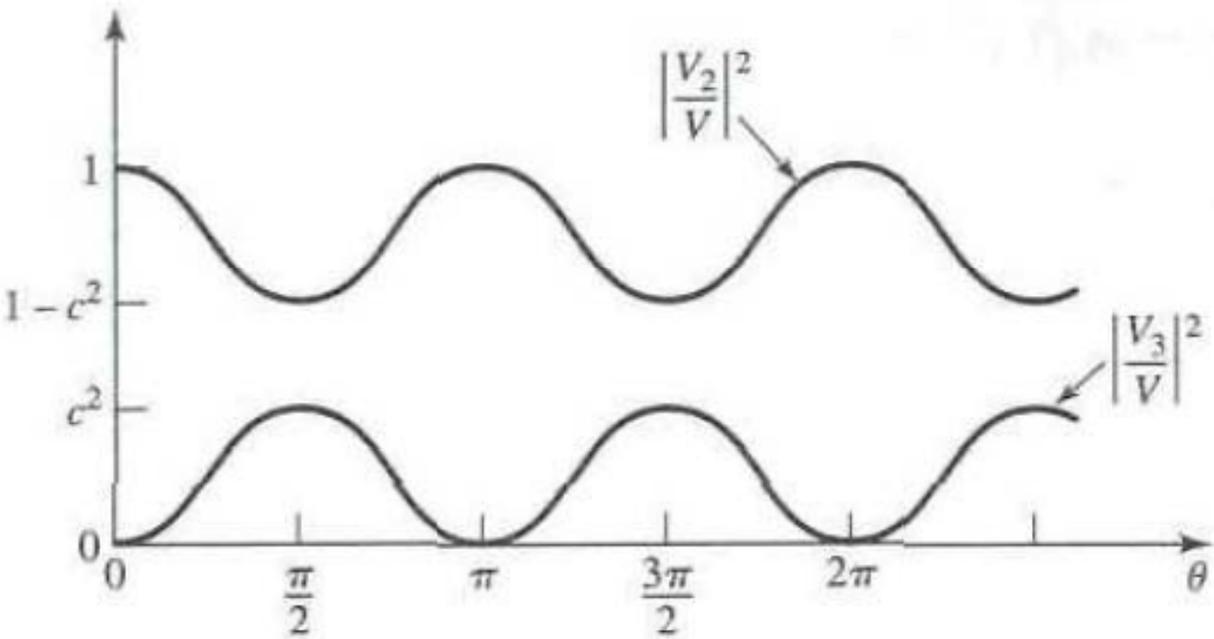
$$Z_{oe} = Z_o \cdot \sqrt{\frac{(1+C)}{(1-C)}}$$

$$Z_{oo} = Z_o \cdot \sqrt{\frac{(1-C)}{(1+C)}}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# jes acoplados y transmitidos en función de la longitud eléctrica



Cartagena99

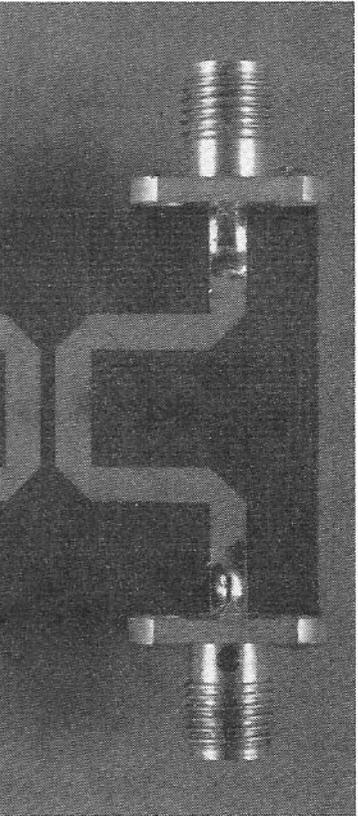
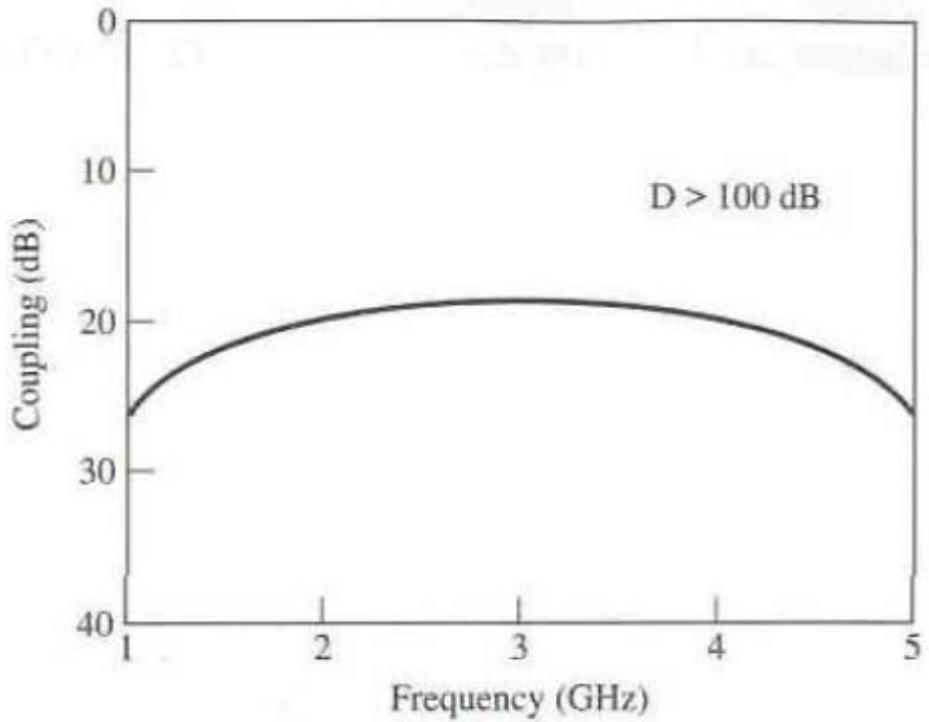
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

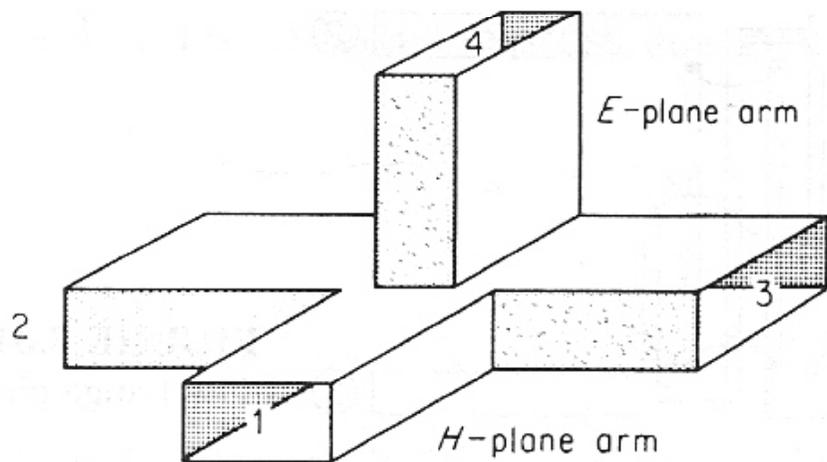


# Los directivos basados en líneas acopladas(V): diseño de acoplos directivos

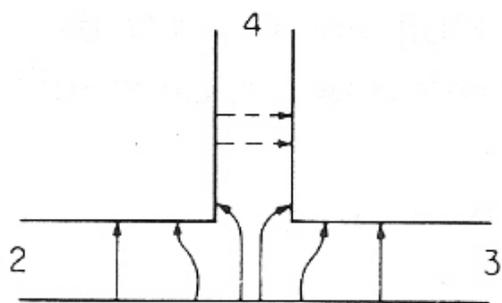


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
-- --  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

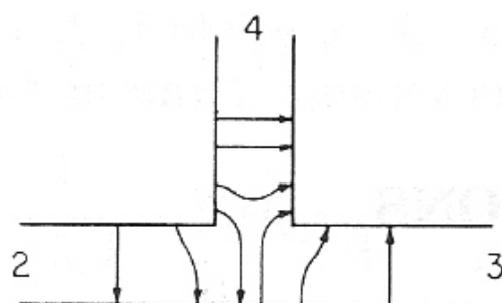
# Uniones de cuatro guías: doble T (I)



(a)



(b)



(c)

I  
(  
t  
c  
E  
E



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

---



## nes de cuatro guías (II): simetría geométrica

cial  $A = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{pmatrix}$  Nueva excitación  $A' = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_3 \\ a_2 \\ -a_4 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_3 \\ b_2 \\ -b_4 \end{pmatrix}$

$A'$  y  $A$   $A' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot A \Rightarrow \begin{cases} A' = T \cdot A \\ B' = T \cdot B \end{cases}$

Como la matriz de dispersión es una (la doble T es una)

$$\cdot B = S \cdot T \cdot A \Rightarrow T \cdot S \cdot A = S \cdot T \cdot A \quad s_{22} = s_{33}; s_{13} = s_{12}; s_{34} = -s_{24}; s_{14} = 0$$

$$S = \begin{pmatrix} A \cdot e^{ja} & M \cdot e^{jm} & M \cdot e^{jm} & 0 \\ M \cdot e^{jm} & B \cdot e^{jb} & N \cdot e^{jn} & R \cdot e^{jr} \\ M \cdot e^{jm} & N \cdot e^{jn} & B \cdot e^{jb} & -R \cdot e^{jr} \\ 0 & R \cdot e^{jr} & -R \cdot e^{jr} & C \cdot e^{jc} \end{pmatrix}$$

## Condiciones de cuatro guías (III): aplicaciones

Se a cerrar las puertas 1 y 4 con cargas adaptadas:  $a_1=a_4=0$  y atacamos a las guías 2 y 3:

$$b_1 = M \cdot e^{jm} \cdot a_2 + M \cdot e^{jm} \cdot a_3 = M \cdot e^{jm} \cdot (a_2 + a_3)$$

$$b_4 = R \cdot e^{jr} \cdot a_2 - R \cdot e^{jr} \cdot a_3 = R \cdot e^{jr} \cdot (a_2 - a_3)$$

Si en una doble T se cierran las guías que pasan por el plano de simetría con cargas adaptadas, la energía recogida es proporcional a la suma y a la diferencia de las guías.

Debido al uso del hecho de que la matriz S sea unitaria resulta:

$$A^2 + 2M^2 = 1$$

$$C^2 + 2R^2 = 1$$

La matriz de dispersión depende de 6 parámetros: A, C, a, c, m, r

Aplicaciones: adaptador a muy altas frecuencias.

Se puede adaptar en una de las guías simétricas (2 ó 3)

Se pueden cerrar con pistones en cortocircuito 1 y 4.

## Uniones de cuatro guías (IV): T mágica

La T se adapta desde las guías 1 y 4 se dice que la doble T es una T mágica aquí resulta:

$$S_{11} = 0$$

$$S_{22} = 0$$

$$S_{12} = 1/\sqrt{2}$$

La matriz de parámetros S de una T mágica tiene la forma:

$$S = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & e^{jm} & e^{jm} & 0 \\ e^{jm} & 0 & 0 & e^{jr} \\ e^{jm} & 0 & 0 & -e^{jr} \\ 0 & e^{jr} & -e^{jr} & 0 \end{pmatrix}$$

La T mágica mantiene las propiedades de la doble T pero, además, tiene propiedades de acoplo directivo donde:

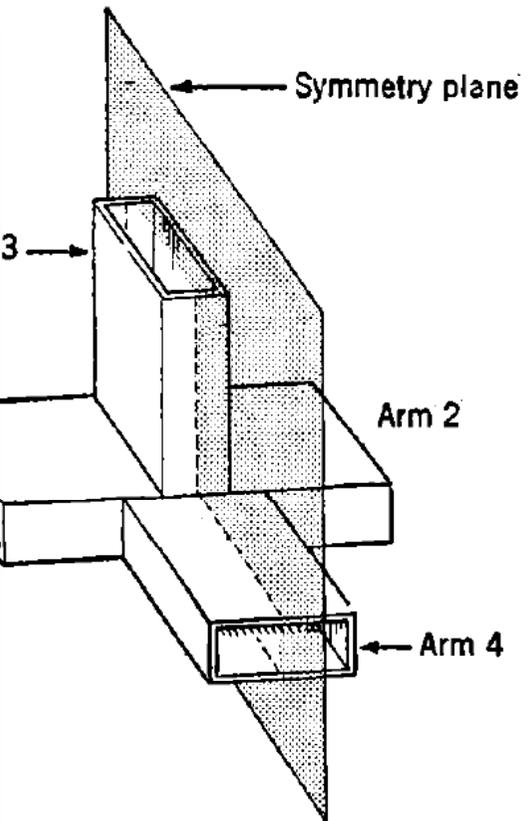
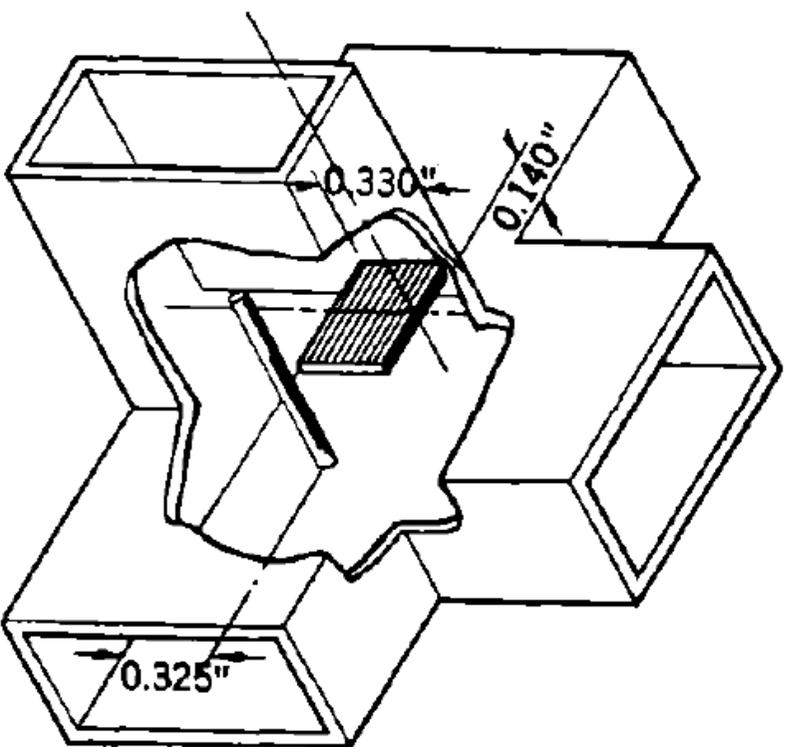
La ganancia de amplitud es siempre de 3 dB

La salida se encuentra desfasada 180° respecto a la otra

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# T-mágica



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

---

# de cuatro guías (V): T mágica impresa, rat-race

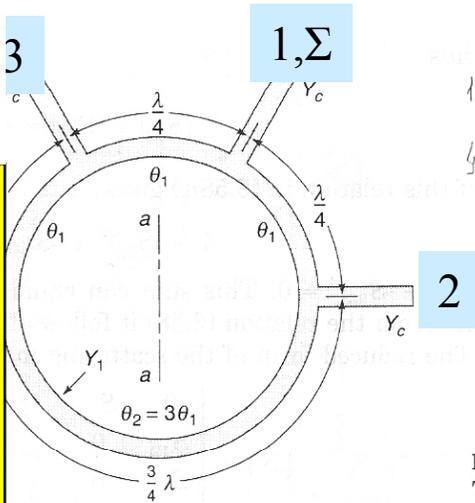
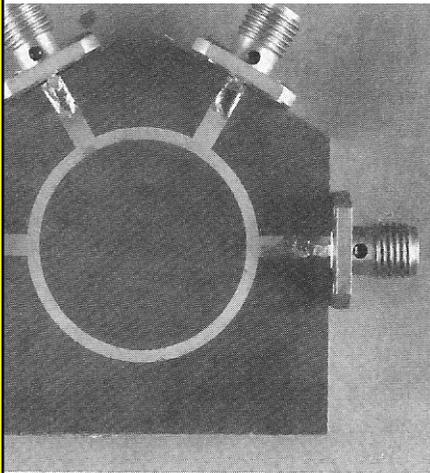
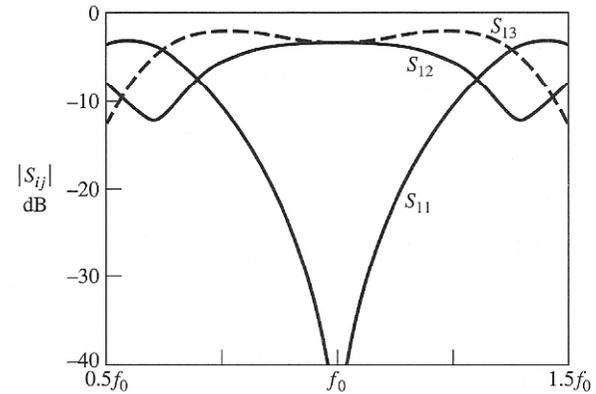


FIG The



$$S = \frac{-j}{\sqrt{2}} \cdot \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$Z_1 = \sqrt{2} \cdot Z_0$$



RE 7.46  $S$  parameter magnitudes versus frequency for the ring hybrid of Exan

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# BIBLIOGRAFÍA

Collin: "Foundations for microwave engineering" New York Wiley-Hill, 1992. (capítulo 4)

Pozar: "Microwave Engineering" Second Edition 1998, John Wiley & Sons. (capítulo 4).

Wiley: "Principles of microwave circuits"

Martínez Domínguez: Cuestiones Básicas de Electromagnetismo, Aplicación a la Teoría de Microondas. Consejo Superior Investigaciones Científicas.

IEEE Transactions on Microwave, Theory and Techniques



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
--  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70