

Capítulo 7: Filtros en microondas

Objetivo: Un filtro de microondas es un dispositivo con una respuesta selectiva en frecuencia, de modo que discrimina señales de microondas en función de su frecuencia. Las respuestas típicas son paso bajo, paso alto, paso banda y banda eliminada.

El desarrollo de los filtros empezó en los años anteriores a la II Guerra Mundial. Todos estos estudios derivaron a principios de los 50 en un minioso manual de filtros y acopladores donde se desarrollan todas las técnicas utilizadas en los modernos programas de CAD.

El método más utilizado para el diseño de filtros es el método de las pérdidas por reflexión. En Microondas, los elementos concentrados que proporciona el método anterior son sustituidos por tramos de líneas de transmisión. De esta forma se utilizarán transformaciones (de Richard) e identidades (de Kuroda) que posibilitan la transformación indicada.



ÍNDICE

- Introducción a los filtros.
- Diseño de filtros por el método de las pérdidas de inserción.
- Transformaciones en filtros.
- Implementación de filtros en microondas:
 - Transformación de Richard.
 - Identidades de Kuroda.
 - Inversores de admitancia o impedancia.
- Filtros de impedancia a saltos.
- Filtros con líneas acopladas.

The logo for Cartagena99, featuring the word 'Cartagena99' in a stylized, green, cursive font. The text is set against a background of a light blue sky with a white cloud and a yellow sun or light source on the left side.

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



INTRODUCCIÓN A LOS FILTROS

n: dispositivo de dos puertos que presenta un comportamiento selectivo ncia de tal forma que permite el paso de la señal a unas frecuencias (banda de paso) y lo impide a otras (banda eliminada).

s:

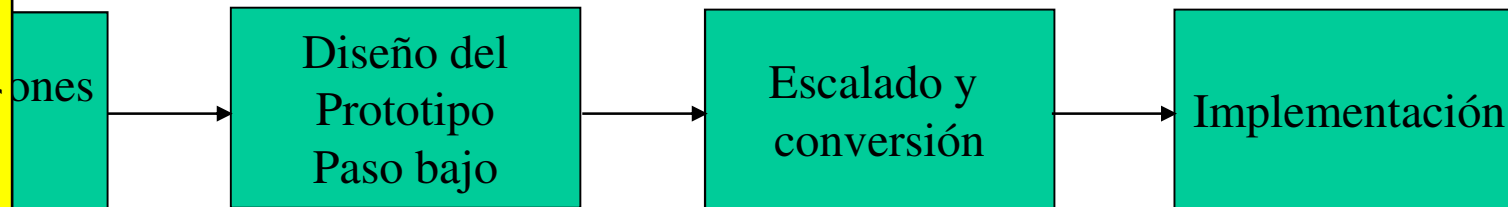
Las pérdidas de inserción: representa la cantidad de energía que se refleja en cada frecuencia a la entrada del filtro. $RL = -20 \log |\Gamma|$

Las pérdidas de transmisión: representa la cantidad de energía que se pierde en su paso a través de la estructura filtrante. $IL = -20 \log |T|$

Características de los filtros en microondas:

Se utiliza tecnología en línea o guía cuya respuesta frecuencial se repite periódicamente.

Proceso de diseño:



DO DE FILTROS MEDIANTE EL MÉTODO DE LAS PÉRDIDAS DE INSERCIÓN: PRINCIPIOS

na un gran control sobre las amplitudes de las bandas de paso y eliminada s características de fase. Ejemplos:

as pérdidas de inserción: respuesta binomial (Butterworth).

esta de corte abrupta: respuesta con rizado constante (Chebychev).

esta lineal de fase al precio de sacrificar atenuación.

e define por las pérdidas de inserción (inverso del $|s_{12}|^2$)

$$P_{LR} = \frac{\text{Potencia disponible en la fuente}}{\text{Potencia entregada a la carga}} = \frac{P_{inc}}{P_{load}} = \frac{1}{1 - |\Gamma(\omega)|^2}$$

en $|\Gamma(\omega)|^2$ es par por lo que puede expresarse como el cociente de

$$|\Gamma(\omega)|^2 = \frac{M(\omega^2)}{M(\omega^2) + N(\omega^2)}$$

o en unas pérdidas de:

$$P_{LR} = 1 + \frac{M(\omega^2)}{N(\omega^2)}$$

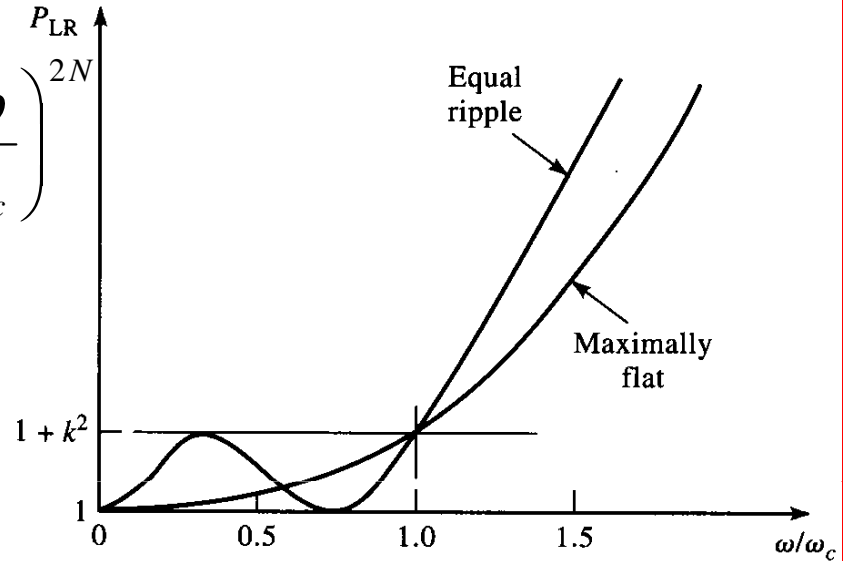
iltros: maximalmente plano, de rizado constante, función elíptica y fase



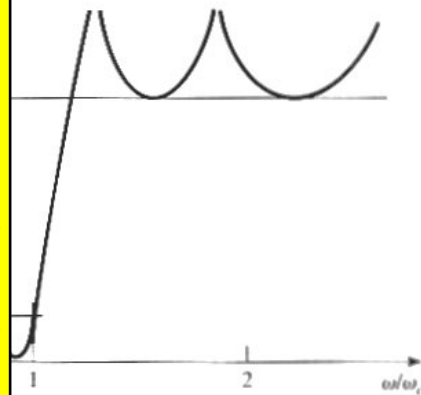
DISEÑO DE FILTROS MEDIANTE EL MÉTODO DE LAS PÉRDIDAS DE INSERCIÓN: TIPOS DE FILTROS

Plano o Butterworth:
Característica binomial.
3 dB de pérdidas en la banda $\omega - \omega_c$

$$P_{LR} = 1 + k^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^{2N}$$



Característica en la banda de paso (Chebychev):
Característica de paso muy abrupta.
Característica de paso (1+k^2)
Característica de atenuación 20N dB/década



$$P_{LR} = 1 + k^2 T_N^2 \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

Función elíptica.

$$\phi(\omega) = A \omega \left[1 + p \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^{2N} \right]$$

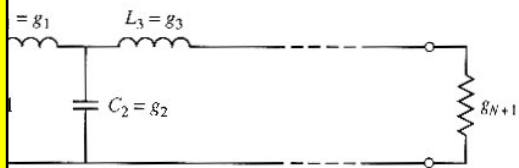
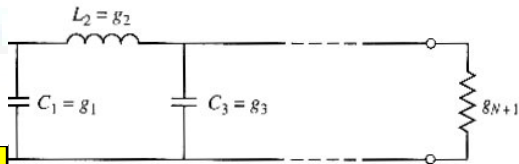
Fase lineal.

$$\tau_d = \frac{d\phi}{d\omega} = A \left[1 + p(2N+1) \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^{2N} \right]$$



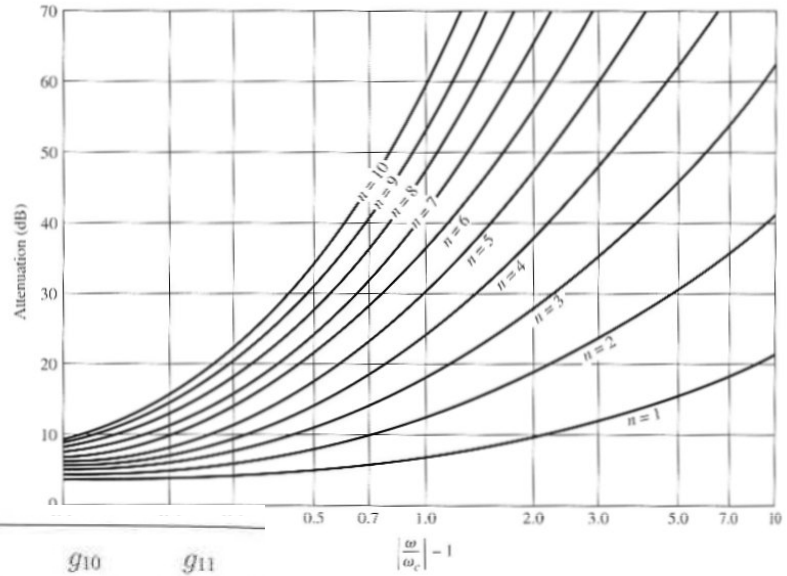
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PROTOTIPO PASO BAJO DE UN FILTRO AXIALMENTE PLANO (BUTTERWORTH)



$g_3 \quad g_4 \quad g_5 \quad g_6 \quad g_7 \quad g_8 \quad g_9 \quad g_{10} \quad g_{11}$

1.0000										
1.0000	1.0000									
1.8478	0.7654	1.0000								
2.0000	1.6180	0.6180	1.0000							
1.9318	1.9318	1.4142	0.5176	1.0000						
1.8019	2.0000	1.8019	1.2470	0.4450	1.0000					
1.6629	1.9615	1.9615	1.6629	1.1111	0.3902	1.0000				
1.5321	1.8794	2.0000	1.8794	1.5321	1.0000	0.3473	1.0000			
1.4142	1.7820	1.9754	1.9754	1.7820	1.4142	0.9080	0.3129	1.0000		



from G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching and Coupling Structures* (Dedham, Mass.: Artech House, 1980) with permission.



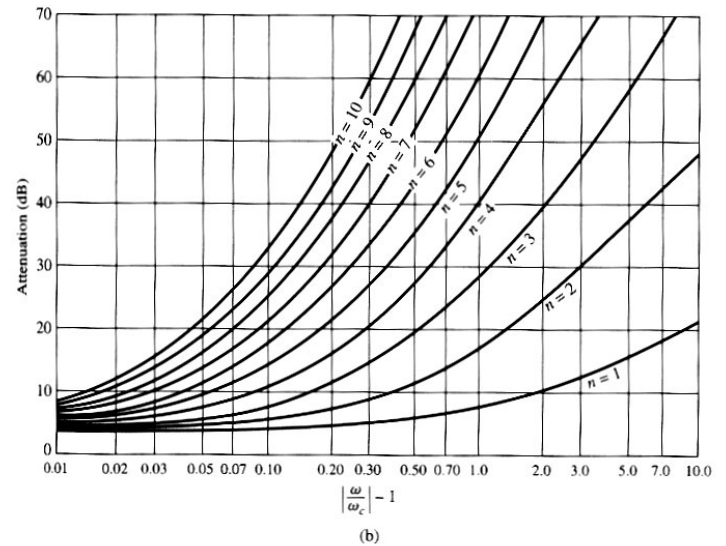
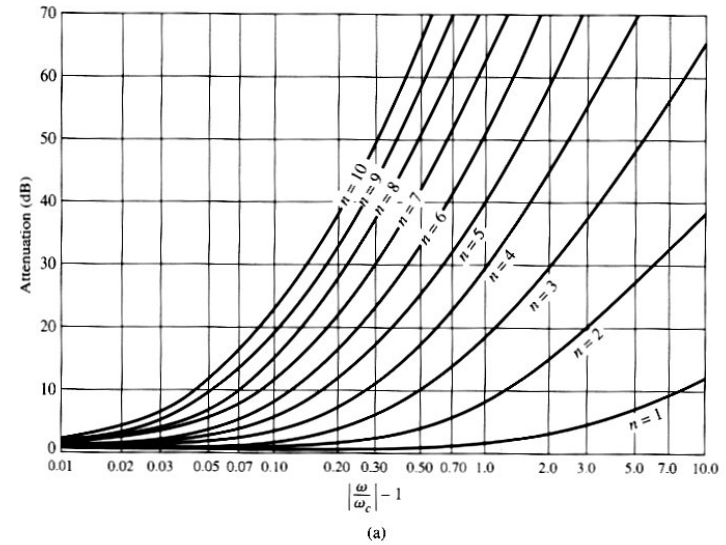
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

TOTIPO PASO BAJO DE UN FILTRO DE IGUAL RIZADO EN LA BANDA DE PASO (CHEBYSHEV)

$$= 1 + k^2 T_N^2(\omega)$$

0.5 dB Ripple										
	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}	g_{11}		
341										
363	1.0000									
366	0.8419	1.9841								
388	1.2296	1.7058	1.0000							
396	1.3137	2.4758	0.8696	1.9841						
381	1.3444	2.6381	1.2583	1.7372	1.0000					
364	1.3590	2.6964	1.3389	2.5093	0.8796	1.9841				
378	1.3673	2.7239	1.3673	2.6678	1.2690	1.7504	1.0000			
374	1.3725	2.7392	1.3806	2.7231	1.3485	2.5239	0.8842	1.9841		
3.0 dB Ripple										
	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}	g_{11}		
395										
387	1.0000									
371	0.5920	5.8095								
381	0.7618	3.4817	1.0000							
361	0.7929	4.4641	0.6033	5.8095						
386	0.8039	4.6386	0.7723	3.5182	1.0000					
375	0.8089	4.6990	0.8018	4.4990	0.6073	5.8095				
392	0.8118	4.7272	0.8118	4.6692	0.7760	3.5340	1.0000			
368	0.8136	4.7425	0.8164	4.7260	0.8051	4.5142	0.6091	5.8095		

F. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Structures* (Dedham, Mass.: Artech House, 1980) with permission.



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



TRANSFORMACIÓN DE IMPEDANCIAS Y ESCALADO DE FRECUENCIAS (I)

Transformación de impedancias (en admitancias sería el dual)

$$R_0 L \qquad C' = \frac{C}{R_0} \qquad R_S' = R_0 \qquad R_L' = R_0 R_L$$

Transformación de la frecuencia de corte: escalado para prototipo paso bajo

$$\omega_c \left| \begin{array}{l} L_k' = \frac{L_k}{\omega_c} \quad C_k' = \frac{C_k}{\omega_c} \end{array} \right. \qquad \omega_c \left| \begin{array}{l} L_k' = \frac{R_0 L_k}{\omega_c} \quad C_k' = \frac{C_k}{R_0 \omega_c} \end{array} \right.$$

Transformación paso bajo paso alto

$$\omega_c \left| \begin{array}{l} C_k' = \frac{1}{\omega_c L_k} \quad L_k' = \frac{1}{\omega_c C_k} \end{array} \right. \qquad \omega_c \left| \begin{array}{l} C_k' = \frac{1}{R_0 \omega_c L_k} \quad L_k' = \frac{R_0}{\omega_c C_k} \end{array} \right.$$

Transformación

Escalado



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

FORMACIÓN DE IMPEDANCIAS Y ESCALADO DE FRECUENCIAS (II)

Transformación paso banda paso bajo

$$\omega \leftarrow \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = \frac{1}{\Delta} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$$

$$\Delta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \quad \omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2}$$

Transformación banda eliminada paso bajo

$$\omega \leftarrow \Delta \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^{-1}$$

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

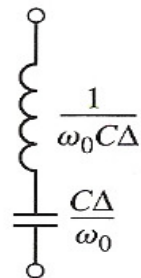
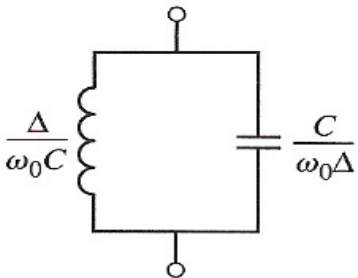
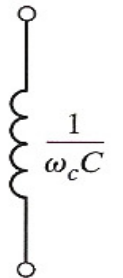
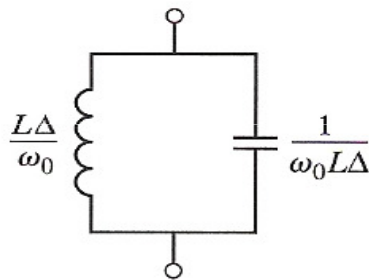
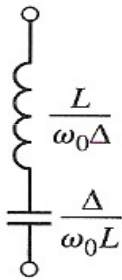
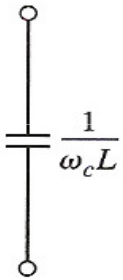
RESUMEN DE TRANSFORMACIONES

$$-\frac{\omega_c}{\omega} \quad \frac{1}{\Delta} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \quad \Delta \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^{-1}$$

High-pass

Bandpass

Bandstop



$$L' = R_0 L$$

$$C' = \frac{C}{R_0}$$

$$R_S' = R_0$$

$$R_L' = R_0 R_L$$

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

IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (I): TRANSFORMACIÓN DE RICHARD

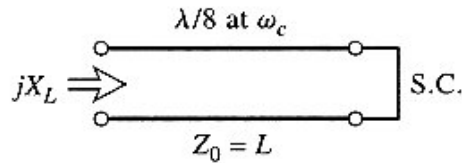
Se basan en la realización con elementos concentrados:
 - Solo están disponibles en un número limitado de frecuencias.
 - Los parásitos son importantes conforme crece la frecuencia.
 - Las distancias y tamaños no son despreciables (comparables a λ).

Existen:

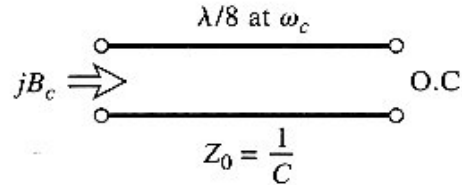
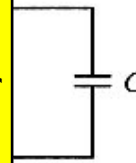
- Transformación de Richard: pasa de elementos concentrados a distribuidos.

- Metodología de Kuroda: separa elementos del filtro mediante uso de líneas

- Transformación de Richard:



(a)



(b)

$$\Omega = \tan \beta l = \tan \left(\frac{\omega l}{v_p} \right)$$

$$jX_L = j\Omega L = jL \tan \beta l$$

$$jB_C = j\Omega C = jC \tan \beta l$$

$$\Omega = 1 = \tan \beta l$$

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



IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA

Identidades de Kuroda
Relaciones de línea para:

1. Eliminar los stubs.

2. Convertir stubs serie en

paralelos y viceversa.

3. Convertir impedancias difíciles

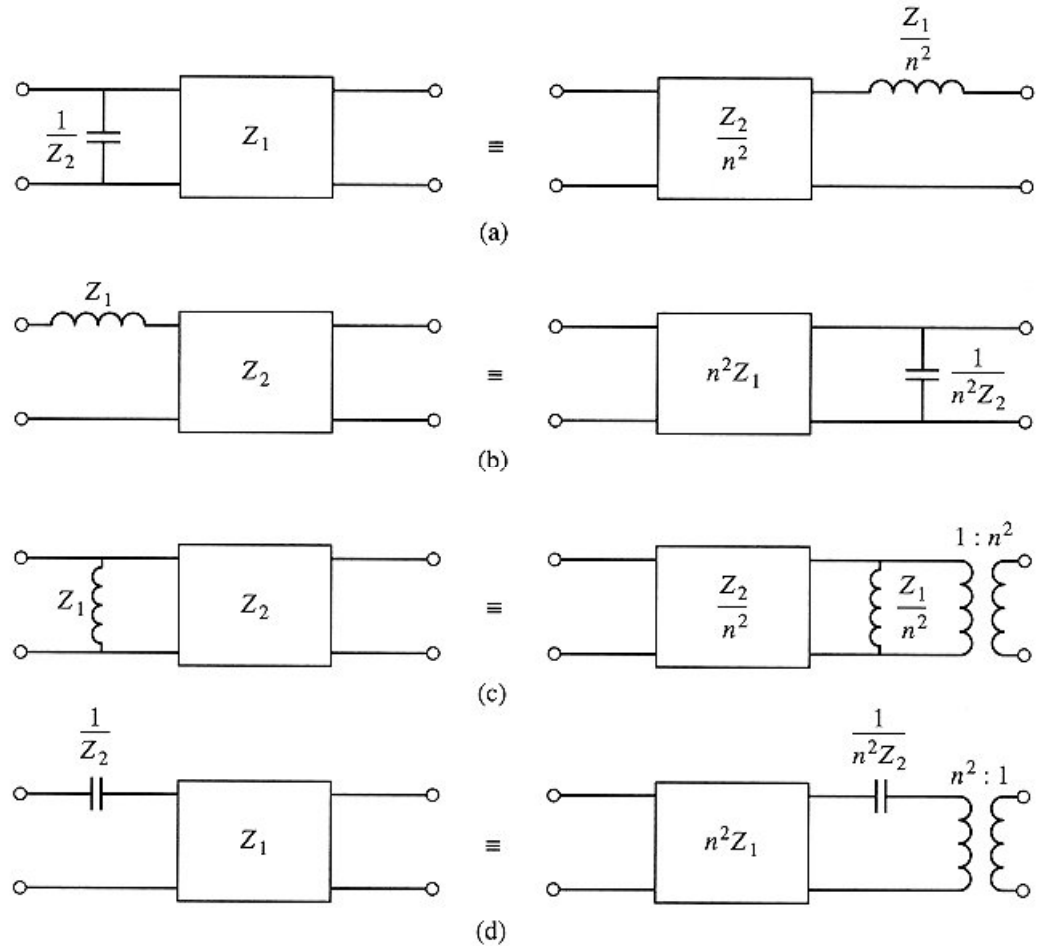
en fáciles.

4. Convertir tramos de líneas

en elementos unitarios

5. Convertir $\lambda/8$ a la frecuencia de

operación a impedancia característica



where $n^2 = 1 + Z_2/Z_1$

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



IDENTIFICACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)

frecuencia de corte: 4GHz

impedancia de carga $R=50 \Omega$

Impedancia de entrada Z_{in}

$Z_{in} = j\omega L_1$

$Z_{in} = j\omega C_2$

$Z_{in} = j\omega L_1$

$Z_{in} = R_L$

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

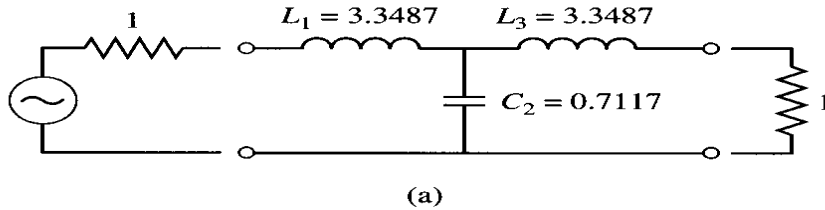
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)

frecuencia de corte: 4GHz

impedancia de carga $R=50 \Omega$



Prototipo
Paso Bajo

IB

$Z_1=L_1$

$Z_2=C_2$

$Z_3=L_1$

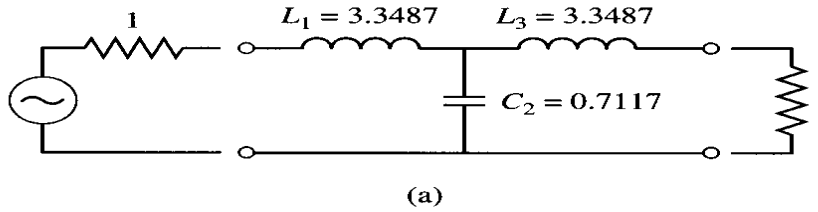
R_L

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

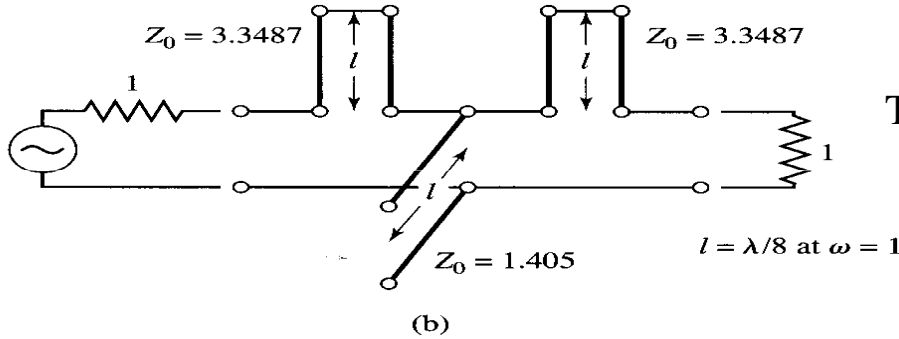
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)

frecuencia de corte: 4GHz
carga de $R=50 \Omega$



Prototipo
Paso Bajo



Transformación
de Richard

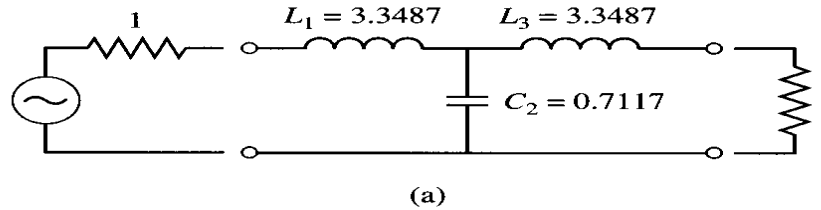
IB

$l = L_1$
 $l = C_2$
 $l = L_1$
 R_L

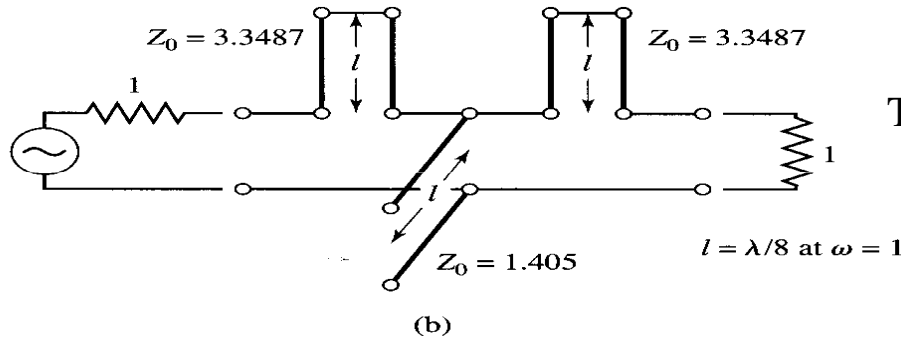
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)

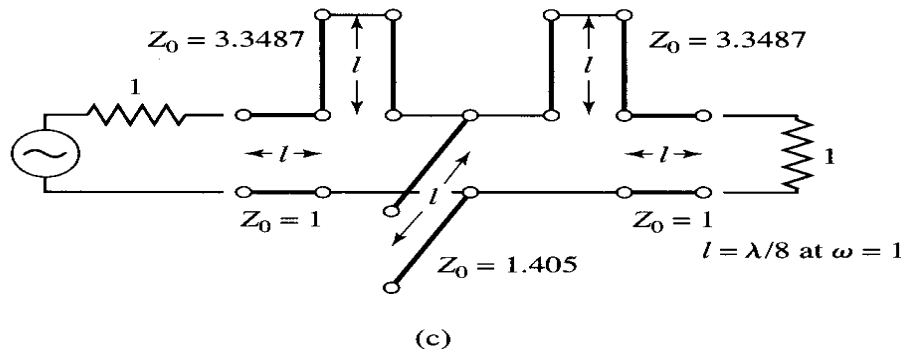
frecuencia de corte: 4GHz
impedancia de carga $R=50 \Omega$



Prototipo
Paso Bajo

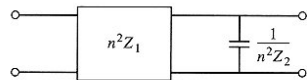


Transformación
de Richard



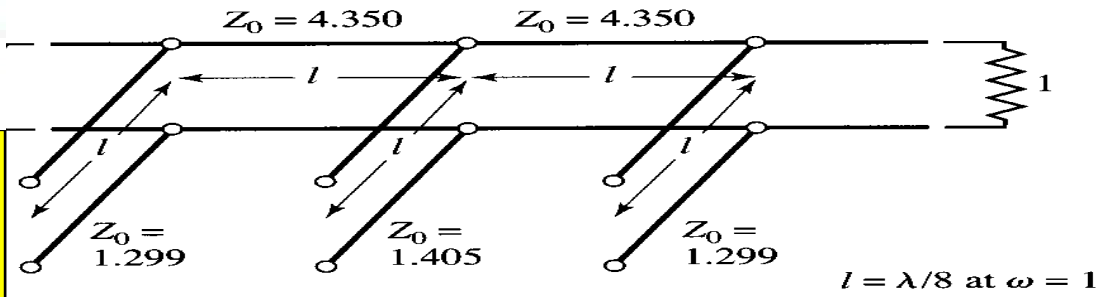
Identidades
de Kuroda (1)

$l = L_1$
 $l = C_2$
 $l = L_3$
 R_L

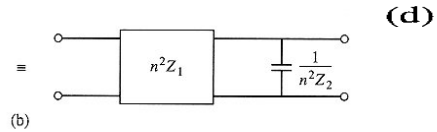


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)



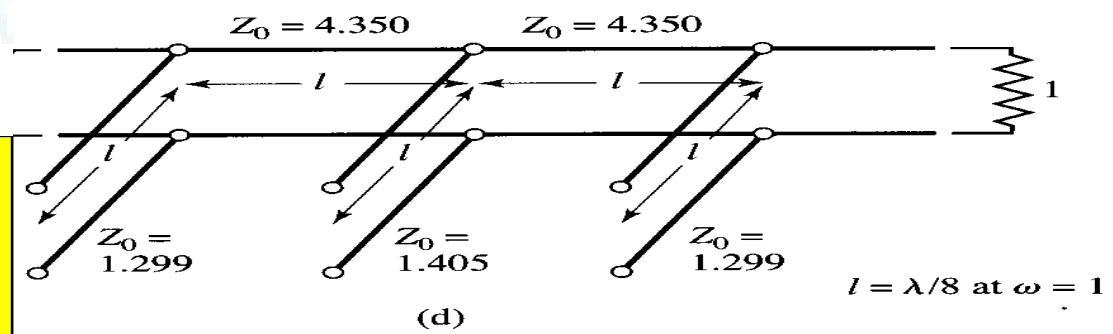
Identidades
de Kuroda (2)



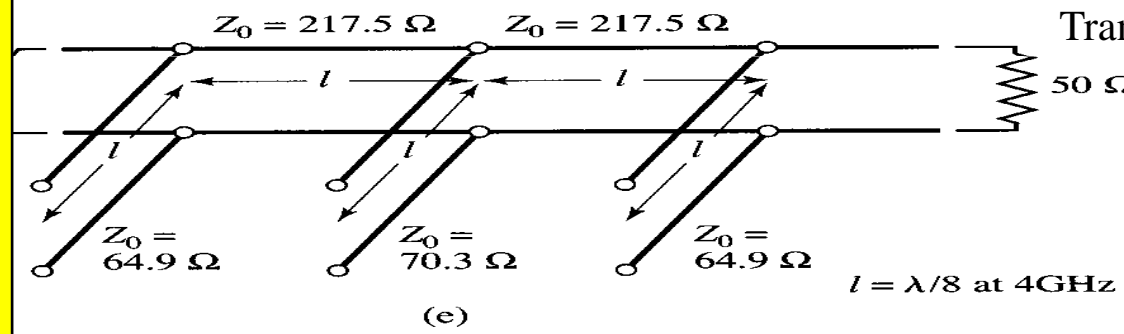
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

IDENTIFICACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)



Identidades
de Kuroda (2)



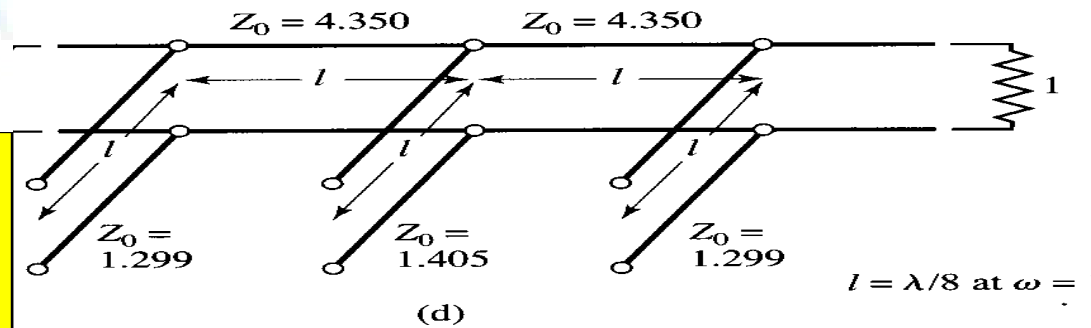
Transformación de impedancia
y
escalado en frecuencia

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

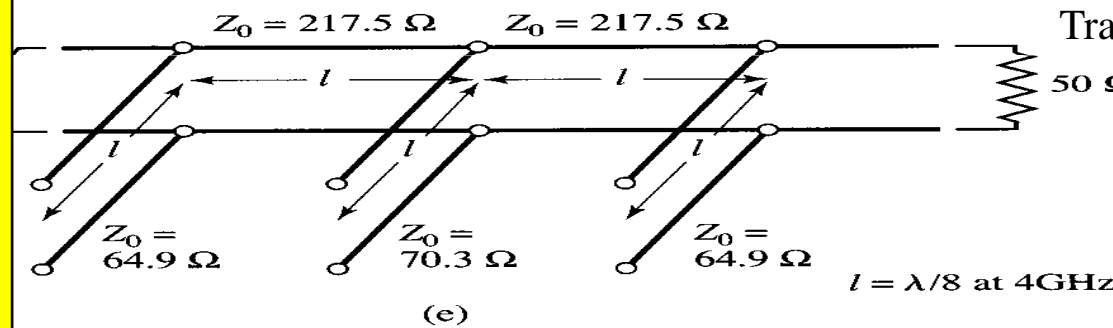
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



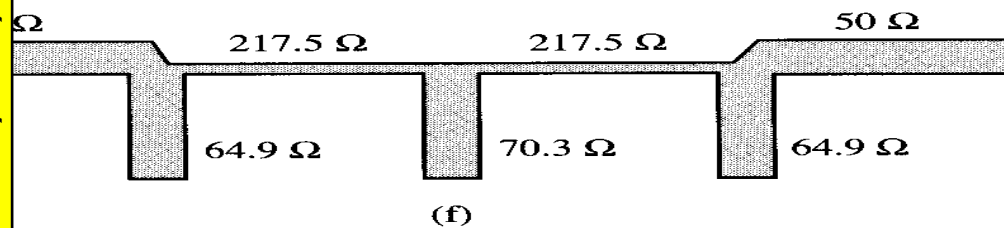
IDENTIFICACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (II): IDENTIDADES DE KURODA (EJEMPLO)



Identidades
de Kuroda (2)



Transformación de impedancia
y
escalado en frecuencia



Paso a tecnología
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



FILTROS DE IMPEDANCIA A SALTOS (I)

funciones alternas de alta y baja impedancia.

se aplica a aplicaciones donde la frecuencia de corte no sea muy abrupta.

Z de una sección elemental de línea de transmisión

$$Z_{22} = \frac{A}{C} = -jZ_0 \cot \beta l \qquad Z_{12} = Z_{21} = \frac{1}{C} = -jZ_0 \csc \beta l$$

serie y elemento paralelo

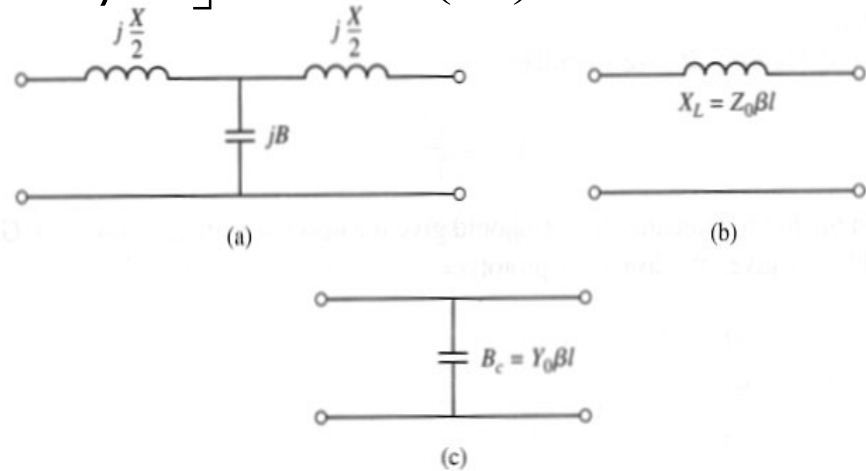
$$Z_{11} - Z_{12} = -jZ_0 \left[\frac{\cos \beta l - 1}{\sin \beta l} \right] = jZ_0 \tan \left(\frac{\beta l}{2} \right)$$

aproximaciones ($\beta l < \pi/4$)

$$X \cong Z_0 \beta l \qquad B \cong 0$$

$$B \cong Y_0 \beta l \qquad X \cong 0$$

$$\tan \left(\frac{\beta l}{2} \right) \qquad B = \frac{1}{Z_0} \sin \beta l$$



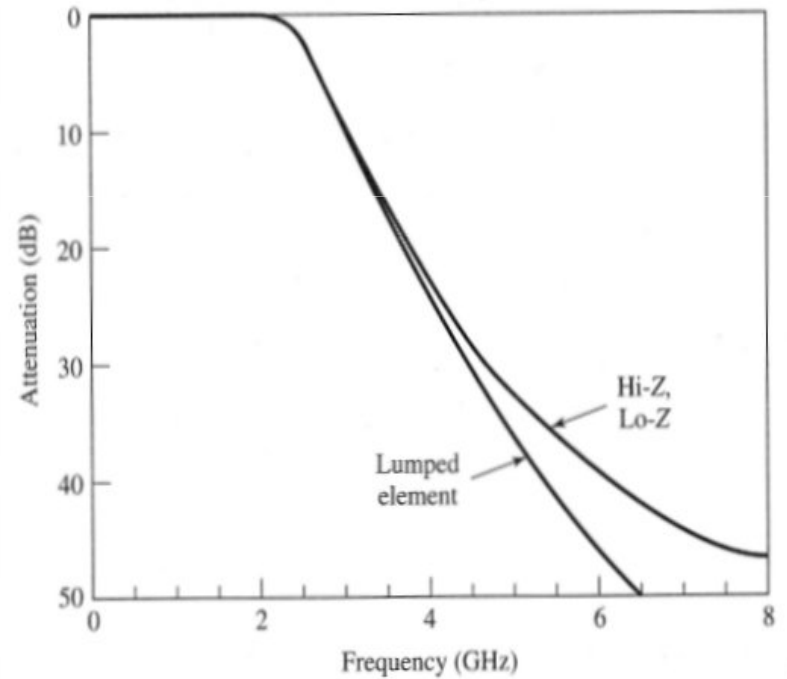
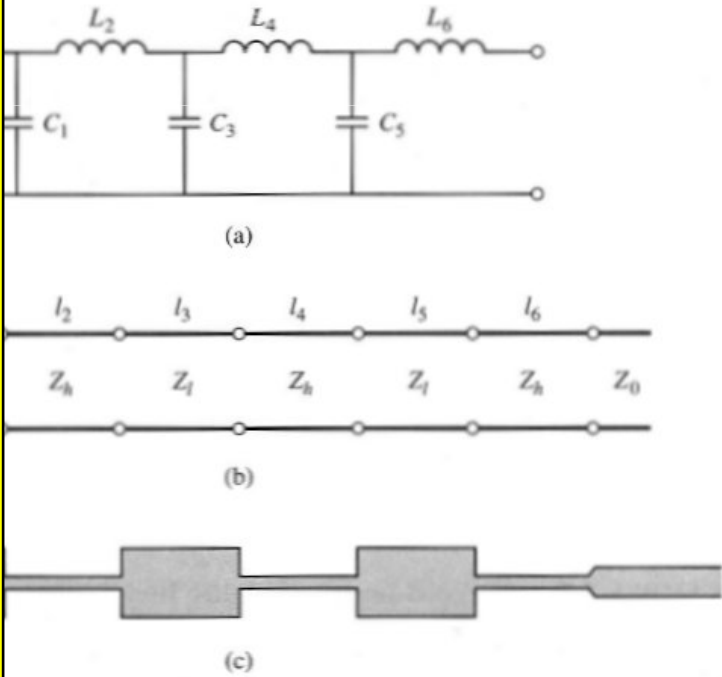
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

ROS DE IMPEDANCIA A SALTOS (II): EJEMPLO

$$= \frac{L_i R_0}{Z_h} \quad C \Rightarrow \beta l_i = \frac{C_i Z_l}{R_0}$$

$$\beta l_i < \frac{\pi}{4} \text{ rad} = 45^\circ$$

$$\beta l_1 = g_1 \frac{Z_\ell}{R_0} = 5.9^\circ,$$



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



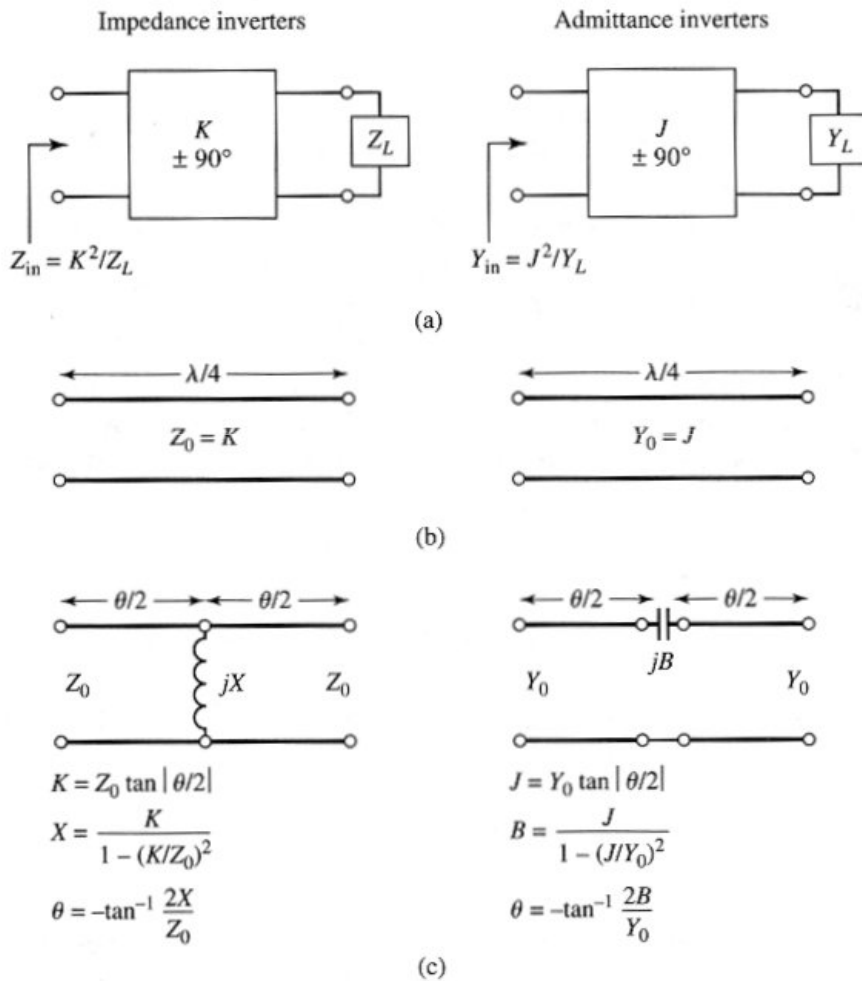
OS DE IMPEDANCIA A SALTOS (II): EJERCICIO

- Filtro Paso Baja (*Stepped Impedance*)
- Frecuencia de corte: $f_c=2\text{GHz}$
- Impedancia de carga $R_0=50\ \Omega$
- Butterworth
- Orden $N=5$
- $Z_1=10\ \Omega$ y $Z_h=150\ \Omega$

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



IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS EN MICROONDAS (IV): INVERSORES DE IMPEDANCIA/ADMITANCIA



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



FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (I)

modos par-impar (excitaciones en minúsculas, excitaciones en mayúsculas).

análisis:

excitación en modo par-impar.

impedancia par-impar

distribución de impedancias de entrada en modo par-impar.

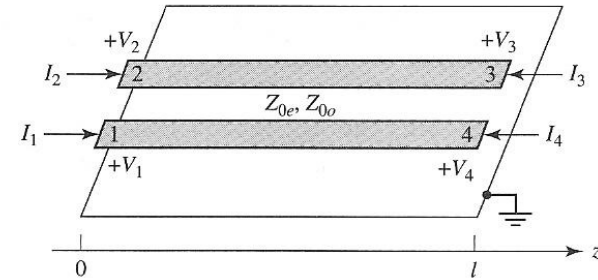
distribución de la matriz de parámetros Z de la red de cuatro puertos original.

reducción de la red de dos puertos mediante un terminal común.

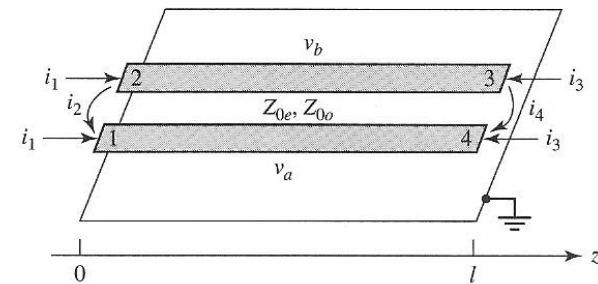
excitación por circuito abierto o corto de dos terminales da características filtrantes de topologías canónicas.

excitación en modo par-impar, tres paso banda.

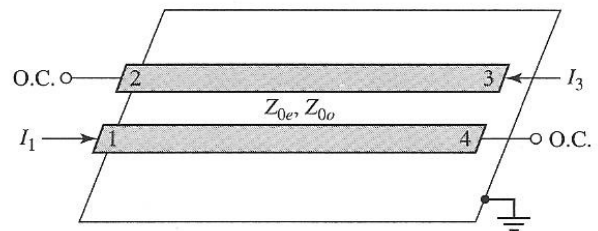
excitación en modo impar, sólo una sin cortocircuitos a masa.



(a)

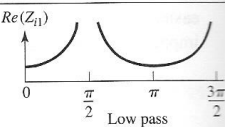
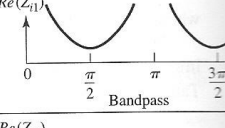
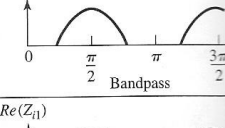
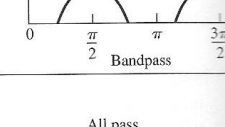


(b)



(c)

FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (II): TOPOLOGÍAS CANÓNICAS

Image Impedance	Response
$\frac{2Z_{0e}Z_{0o} \cos \theta}{\sqrt{(Z_{0e} + Z_{0o})^2 \cos^2 \theta - (Z_{0e} - Z_{0o})^2}}$	 Low pass
$\frac{2Z_{0e}Z_{0o} \sin \theta}{\sqrt{(Z_{0e} - Z_{0o})^2 - (Z_{0e} + Z_{0o})^2 \cos^2 \theta}}$	 Bandpass
$\frac{\sqrt{(Z_{0e} - Z_{0o})^2 - (Z_{0e} + Z_{0o})^2 \cos^2 \theta}}{2 \sin \theta}$	 Bandpass
$\frac{\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}} \sqrt{(Z_{0e} - Z_{0o})^2 - (Z_{0e} + Z_{0o})^2 \cos^2 \theta}}{(Z_{0e} + Z_{0o}) \sin \theta}$	 Bandpass
$\frac{Z_{0e}Z_{0o}}{Z_{i1}}$	
$\frac{Z_{0e} + Z_{0o}}{2}$	All pass
$\frac{2Z_{0e}Z_{0o}}{Z_{0e} + Z_{0o}}$	All pass
$\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}$	All pass
$-j \frac{2Z_{0e}Z_{0o}}{Z_{0e} + Z_{0o}} \cot \theta$	All stop
$\frac{Z_{0e}Z_{0o}}{Z_{i1}}$	
$j \sqrt{Z_{0e}Z_{0o}} \tan \theta$	All stop
$-j \sqrt{Z_{0e}Z_{0o}} \cot \theta$	All stop

- Cálculo de la impedancia imagen en cada puerto.

$$Z_i = \sqrt{Z_{11}^2 - Z_{13}^2}$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{(Z_{0e} - Z_{0o})^2 \cdot \csc^2 \theta - (Z_{0e} + Z_{0o})^2 \cdot \cot^2 \theta}$$

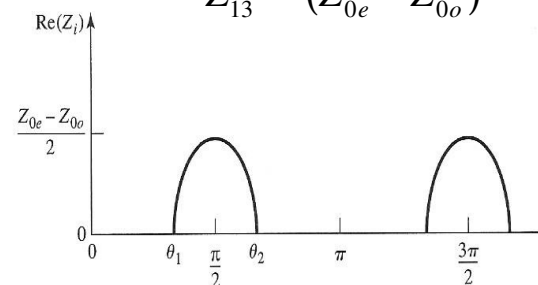
- Secciones de línea de longitud $\lambda/4$

$$Z_i = \frac{1}{2}(Z_{0e} - Z_{0o}) \quad (\text{ec.1})$$

que es real y positivo dado que la impedancia par es mayor que la impar.

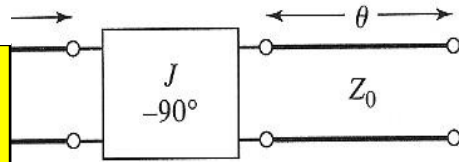
- La constante de fase vale:

$$\cos \beta = \frac{Z_{11}}{Z_{13}} = \frac{(Z_{0e} + Z_{0o})}{(Z_{0e} - Z_{0o})} \cos \theta \quad (\text{ec.2})$$



FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): PROCESO DE DISEÑO

Identificación de dos secciones de línea acoplada.



Identificación de una sección de línea acoplada con impedancia $1/J$.

$$\begin{bmatrix} \left(JZ_0^2 \sin^2 \theta - \frac{\cos^2 \theta}{J} \right) \sin \theta \cos \theta \\ \left(JZ_0^2 \sin^2 \theta - J \cos^2 \theta \right) \left(JZ_0 + \frac{1}{JZ_0} \right) \sin \theta \cos \theta \end{bmatrix}$$

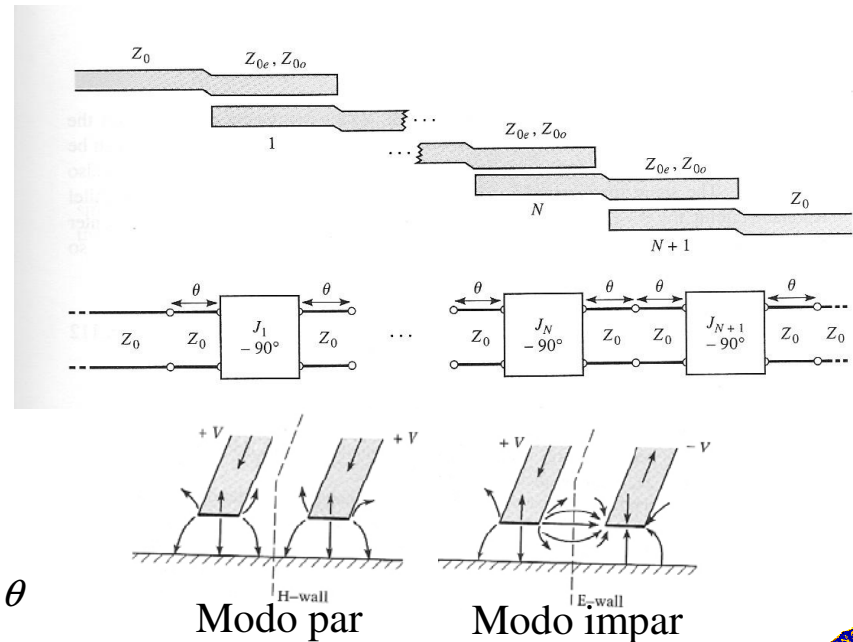
Identificación de la impedancia imagen.

$$\cos \beta = A = \left(JZ_0 + \frac{1}{JZ_0} \right) \sin \theta \cos \theta = JZ_0^2$$

Identificación de las ecuaciones 1 y 2 con las expresiones de la impedancia imagen y constante de fase.

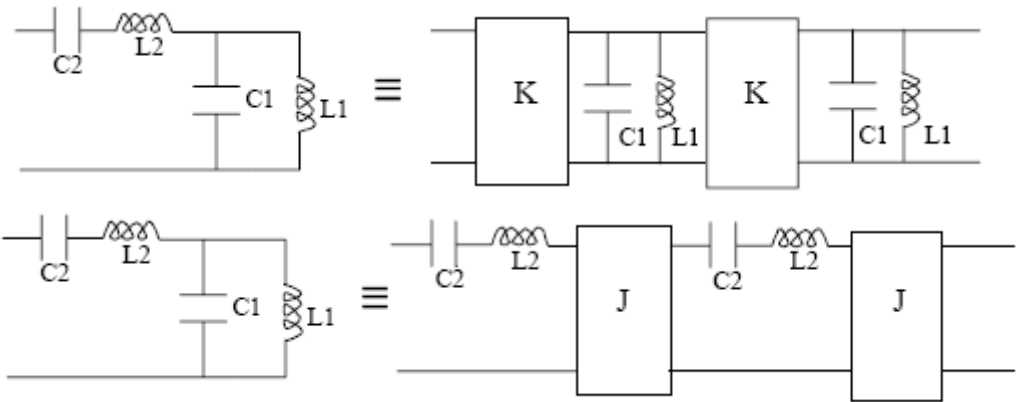
$$\begin{aligned} Z_{0e} &= Z_0 \cdot \left[1 + JZ_0 + (JZ_0)^2 \right] \\ Z_{0o} &= Z_0 \cdot \left[1 - JZ_0 + (JZ_0)^2 \right] \end{aligned}$$

N+1 secciones equivalen a un filtro de orden N.



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

FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): ACCIÓN ENTRE INVERSORES Y LÍNEAS ACOPLADAS

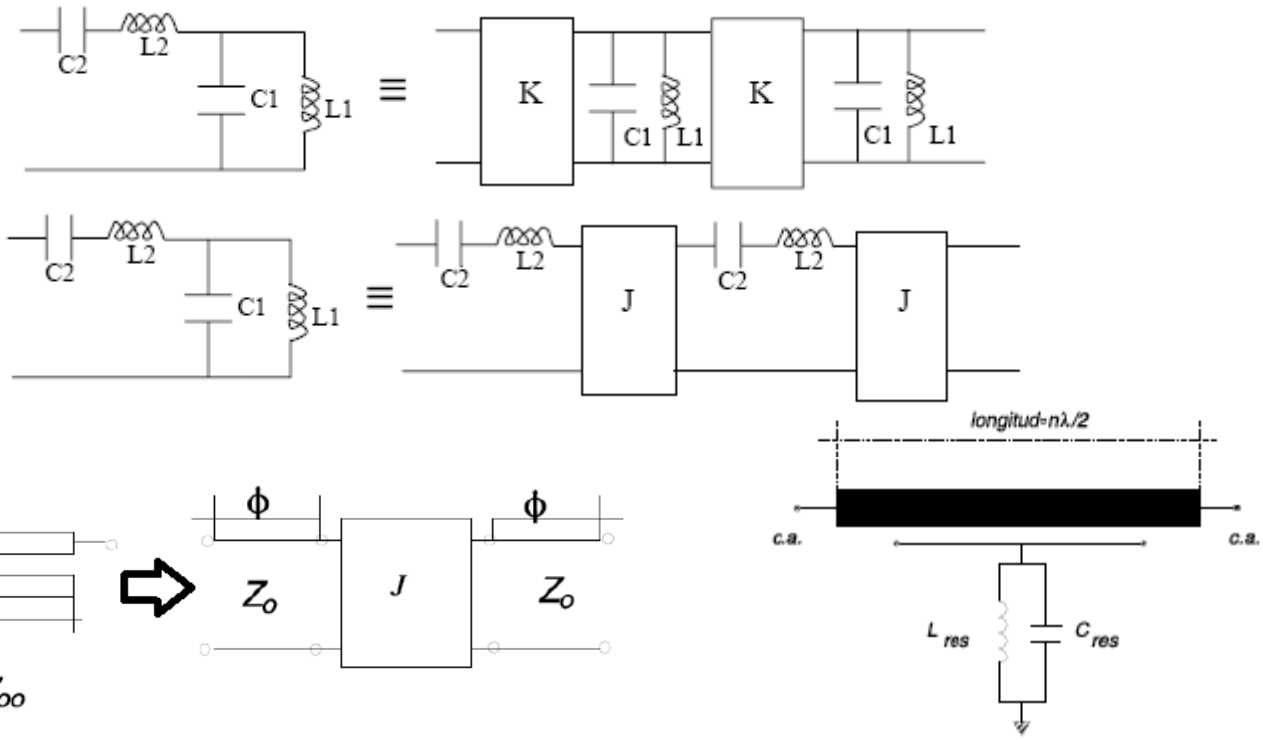


Cartagena99

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



FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): ACCIÓN ENTRE INVERSORES Y LÍNEAS ACOPLADAS

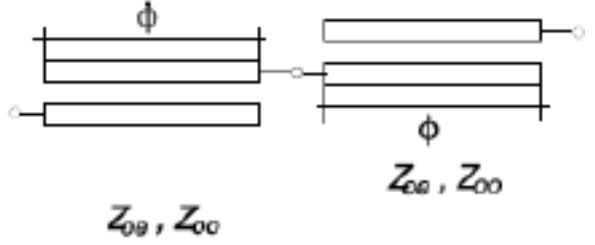
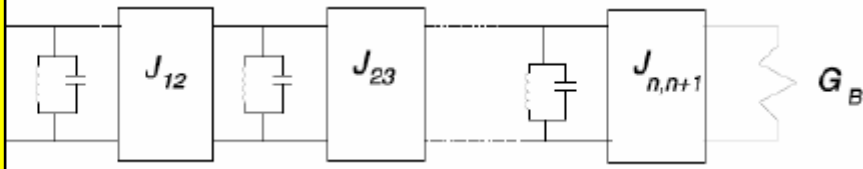
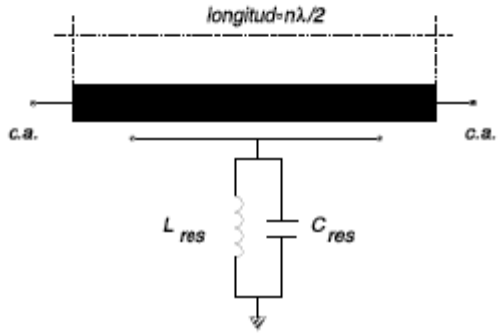
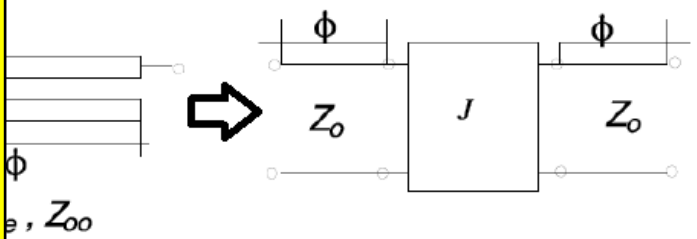
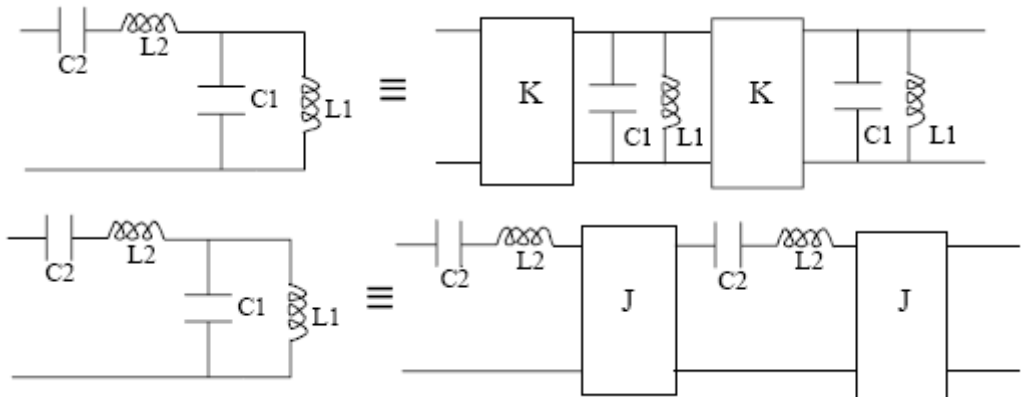


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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



FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): ACCIÓN ENTRE INVERSORES Y LÍNEAS ACOPLADAS



Grupo de Radiofrecuencia, UC3M, Marzo 2010.
Tema 7: Filtros en microondas

Microondas-7- 29



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

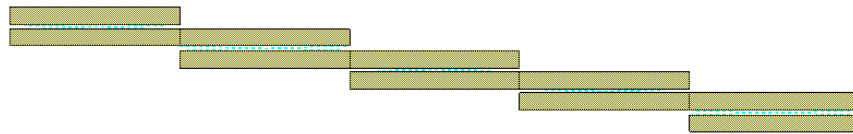
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): ECUACIONES DE DISEÑO

Para un orden N necesitamos N+1 líneas acopladas

$$.N \left\{ \begin{array}{l} J_1 \cdot Z_0 = \sqrt{\frac{\pi \cdot \Delta}{2g_1}} \\ J_n \cdot Z_0 = \frac{\pi \cdot \Delta}{2\sqrt{g_{n-1} \cdot g_n}} \\ J_{N+1} \cdot Z_0 = \sqrt{\frac{\pi \cdot \Delta}{2g_N \cdot g_{N+1}}} \end{array} \right.$$

¿Orden del filtro?



$$Z_{oe} = Z_0 \cdot \left[1 + (JZ_0)^2 + JZ_0 \right]$$

$$Z_{oo} = Z_0 \cdot \left[1 + (JZ_0)^2 - JZ_0 \right]$$

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

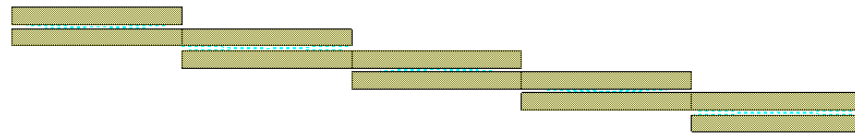
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): ECUACIONES DE DISEÑO

Para un orden N necesitamos N+1 líneas acopladas

$$.N \left\{ \begin{array}{l} J_1 \cdot Z_0 = \sqrt{\frac{\pi \cdot \Delta}{2g_1}} \\ J_n \cdot Z_0 = \frac{\pi \cdot \Delta}{2\sqrt{g_{n-1} \cdot g_n}} \\ J_{N+1} \cdot Z_0 = \sqrt{\frac{\pi \cdot \Delta}{2g_N \cdot g_{N+1}}} \end{array} \right.$$

¿Orden del filtro?



5 líneas acopladas → N=4

N=4 → 4 resonadores $\lambda/2$

$$Z_{oe} = Z_0 \cdot \left[1 + (JZ_0)^2 + JZ_0 \right]$$

$$Z_{oo} = Z_0 \cdot \left[1 + (JZ_0)^2 - JZ_0 \right]$$

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

FILTROS DE LÍNEAS ACOPLADAS (III): EJERCICIO

- Filtro Paso Banda (líneas acopladas)
- Banda de paso de 3GHz a 3.5GHz
- Impedancia de carga $R_0=50 \Omega$
- Butterworth
- Orden $N=3$
- ¿Atenuación a 2.9GHz?

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

Wei, L. Young, E.M.T. Jones: Microwave Filters, Impedance Matching and coupling structures. Artech House, 1980.

Arbe: Microwave Transmission Line Filters, Artech House, 1979

rowave Engineering, segunda edición (capítulo 8)

ndations for Microwave Engineering (capítulo 8)

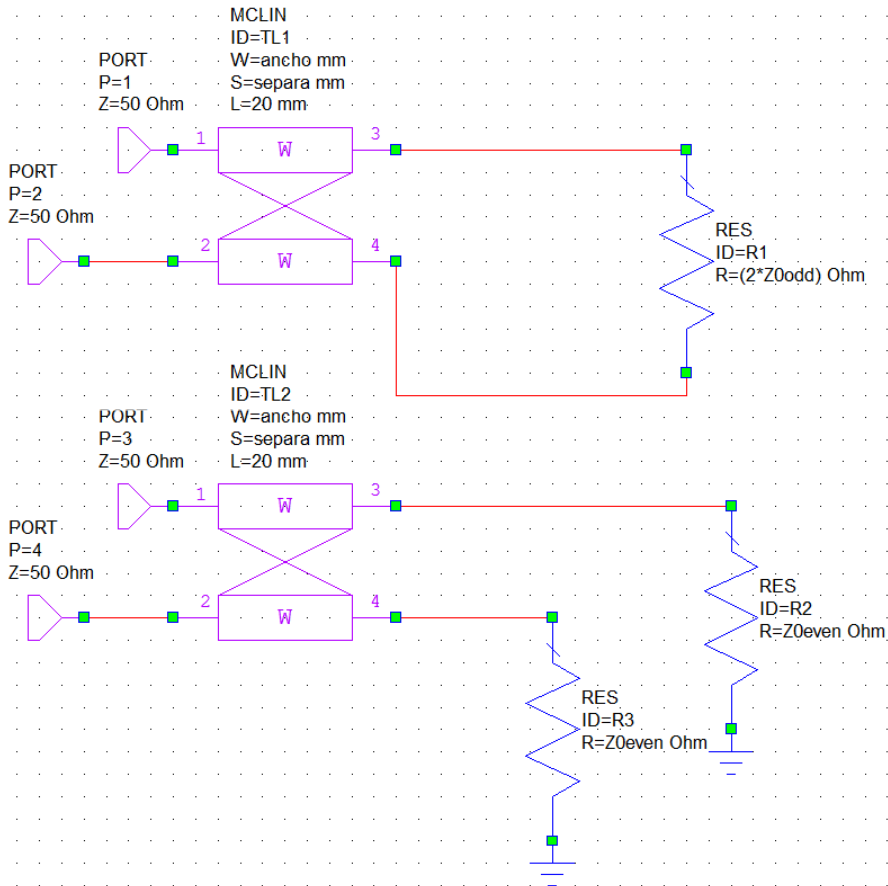
ncaster: Microstrip Filters for RF and Microwave Applications

--

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



MODULO DE LÍNEAS ACOPLADAS CON AWR



Z0even=80.18
 Z0odd=31.18
 ancho=0.6841
 separa=0.1704

MCLIN ID=TL1
 W=ancho mm
 S=separa mm
 L=20 mm

PORT P=1
 Z=50 Ohm

PORT P=2

Edit Equation

Variable Name: separa Variable Value: 0.170446006346111

Variable Type: Variable definition Parameter definition Display value

Parameter Description: Description Does not affect layout

Unit Type: Scalar Data Type: Real

Tuning/Optimization Mode: Tune Upper bound: 2 Optimize Lower bound: 0.1 Constrain

Statistics Mode: Use statistics Optimize yield

Distribution: Uniform Normal

Variation: In percent S.D.: 0

Buttons: OK, Cancel, Help

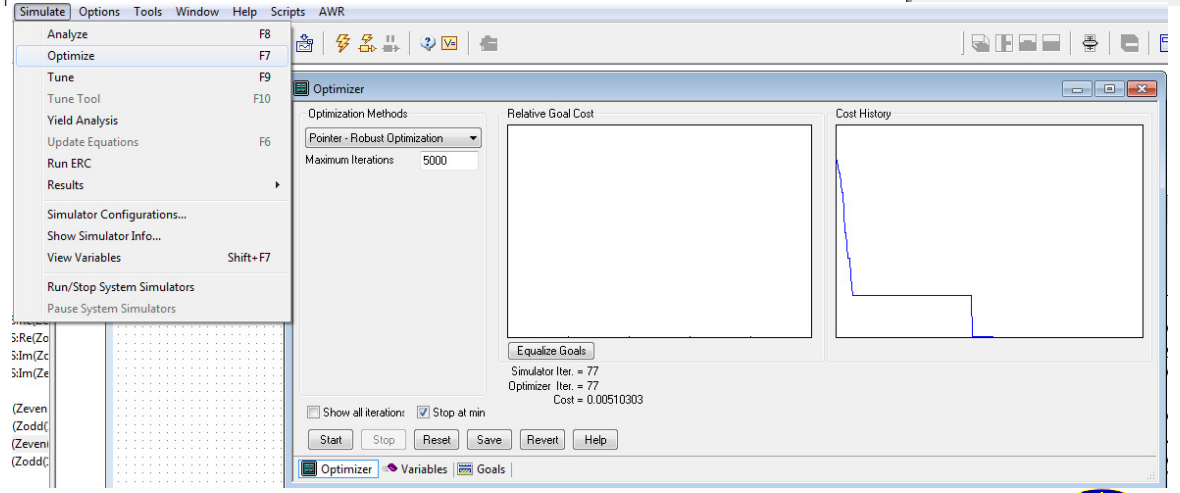
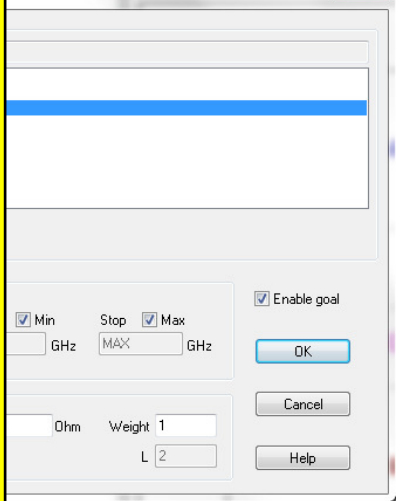
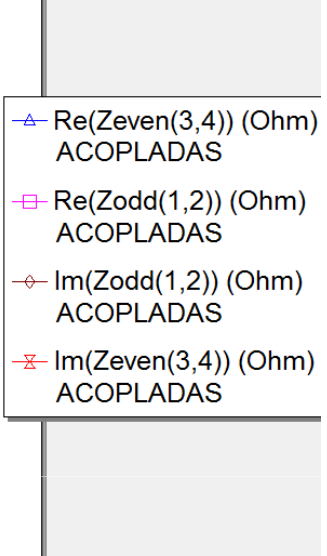
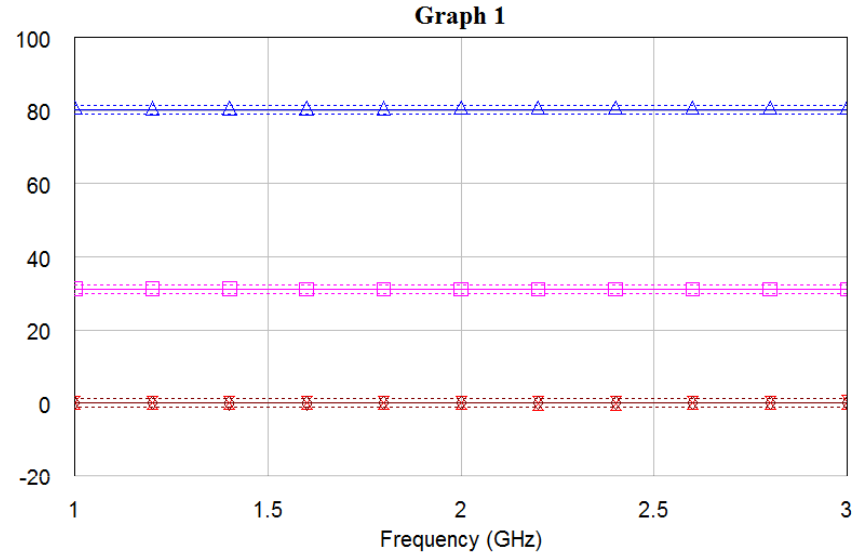
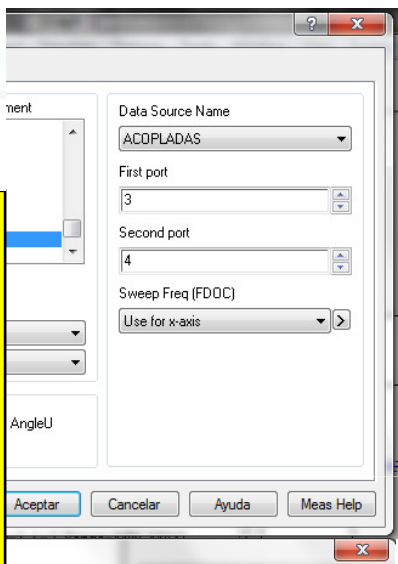
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 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.

MÓDULO DE LÍNEAS ACOPLADAS CON AWR



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

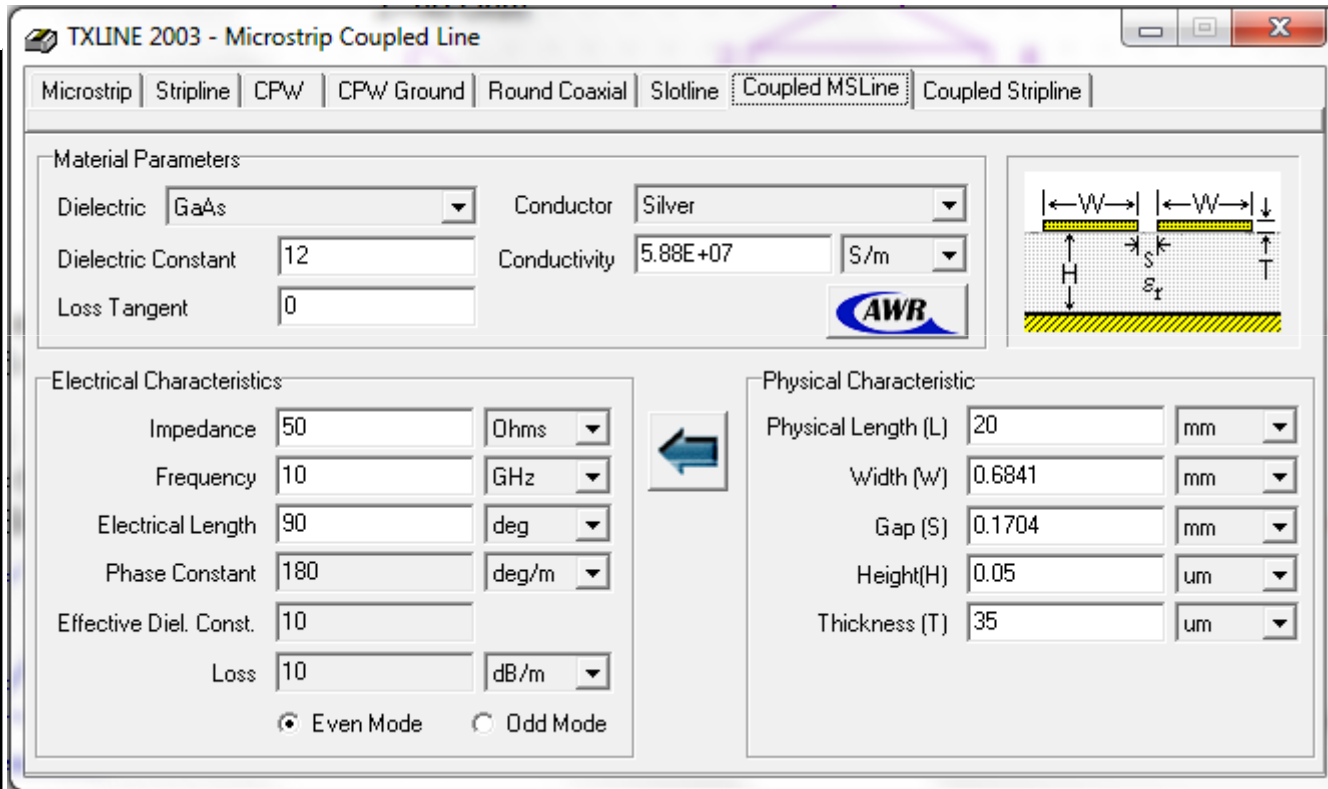
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70



www.cartagenag99.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.

MÓDULO DE LÍNEAS ACOPLADAS CON AWR

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

