

Teoría electromagnética y sistemas de radiofrecuencia y ópticos

Juan Carlos Collado Gómez

**Departamento Teoría de la Señal y Comunicaciones
Escuela Politécnica Superior de Castelldefels
Universidad Politécnica de Cataluña**

BLOQUE I. Tema 1

Contexto

- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO I: CIRCUITOS DE MICROONDAS**
 - ❑ Tema I.1. Adaptación de impedancias
 - ❑ Tema I.2. Líneas de transmisión I. Conceptos y definiciones.
 - ❑ Tema I.3. Líneas de transmisión II. Aplicación
 - ❑ Tema I.4. Análisis de circuitos de microondas. Parámetros S
 - ❑ Tema I.5. Circuitos pasivos de microondas I
 - ❑ Tema I.6. Circuitos pasivos de microondas II
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO II: ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**
 - ❑ Tema II.1. Introducción al bloque y revisión de conceptos generales
 - ❑ Tema II.2. Ondas esféricas
 - ❑ Tema II.3. Ondas planas
 - ❑ Tema II.4. Propagación de ondas en dieléctricos con pérdidas y conductores
 - ❑ Tema II.5. Incidencia de ondas en conductores
 - ❑ Tema II.6. Incidencia de ondas en dieléctricos
 - ❑ Tema II.7. Dispersión y velocidad de grupo
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO III: ÓPTICA Y FOTÓNICA**
 - ❑ Tema III.1. Óptica geométrica. Principios básicos y componentes ópticos
 - ❑ Tema III.2. Fotones: Conceptos básicos e interacción con la materia
 - ❑ Tema III.3. Enlace de comunicaciones óptico: emisor, fibra, detector
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO IV: ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES**
 - ❑ Tema IV.1. Efectos biológicos de la radiación EM
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO V: LABORATORIO**
 - ❑ Tema V.1. Bloque de radiofrecuencia
 - ❑ Tema V.2. Bloque de óptica

BLOQUE I. Tema 1

Duración

Clases expositivas: 1

Clases de aplicación: 1

		S1				S2				S3				S4				S5				S6				S7				S8																											
		E1	G1	E2	E3	G2	E4	L1	E1	G1	E2	E3	G2	E4	L1	E1	G1	E2	E3	G2	E4	L1	E1	G1	E2	E3	G2	E4	L1	E1	G1	E2	E3	G2	E4	L1	E1	G1	E2	E3	G2	E4	L1	E1	G1	E2	E3	G2	E4	L1	E1	G1	E2	E3	G2	E4	L1
PRESENTACIÓN																																																									
Tema 0.1	Presentación																																																								
BLOQUE I		CIRCUITOS DE MICROONDAS																																																							
Tema 1.1	Adaptación de impedancias																																																								
Tema 1.2	Líneas de transmisión I. Conceptos y definiciones.																																																								
Tema 1.3	Líneas de transmisión II. Aplicación																																																								
Tema 1.4	Análisis de circuitos de microondas. Parámetros S																																																								
Tema 1.5	Circuitos pasivos de microondas I																																																								
Tema 1.6	Circuitos pasivos de microondas II																																																								
BLOQUE II		ONDAS ELECTROMAGNETICAS																																																							
Tema 2.1	Introducción al bloque y revisión de conceptos generales																																																								
Tema 2.2	Ondas esféricas																																																								
Tema 2.3	Ondas planas																																																								
Tema 2.4	Propagación de ondas en dieléctricos con pérdidas y conductores																																																								
Tema 2.5	Incidencia de ondas en conductores																																																								
Tema 2.6	Incidencia de ondas en dieléctricos																																																								
Tema 2.7	Dispersión y velocidad de grupo																																																								
BLOQUE III		ÓPTICA Y FOTÓNICA																																																							
Tema 3.1	Óptica geométrica. Principios básicos y componentes ópticos																																																								
Tema 3.2	Fotones: Conceptos básicos e interacción con la materia																																																								
Tema 3.3	Enlace de comunicaciones óptico: emisor, fibra, detector																																																								
BLOQUE IV		ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES																																																							
Tema 4.1	Efectos biológicos de la radiación EM																																																								
BLOQUE V		LABORATORIO																																																							
Tema 5.1	Bloque de radiofrecuencia																																																								
Tema 5.2	Bloque de óptica																																																								

BLOQUE I. Tema 1

Objetivos

De circuitos a Carta de Smith

Comentarios:

- ❑ Transición de conceptos de circuitos a nuevas herramientas
- ❑ Introducir nuevos conceptos: coeficiente de reflexión y carta de Smith
- ❑ Utilidad: adaptar con redes L y C

Al terminar este tema el estudiante debe de ser capaz de:

- ❑ Calcular la potencia disponible de un generador y la potencia entregada a una carga
- ❑ Adaptar una carga a un generador con elementos reactivos utilizando 'Smith', y saber explicar el proceso.

BLOQUE I. Tema 1

Ítems

- Potencia disponible
- Coeficiente de reflexión
- Carta de Smith
- Adaptación con redes LC

BLOQUE I. Tema 1

Contenido. Índice

- 1.- Representación compleja de las magnitudes tensión y corriente.
- 2.- Potencia media disipada en impedancia Z_L
- 3.- Potencia disponible.
- 4.- Coeficiente de reflexión
- 5.- Carta de Smith (CS)
- 6.- Adaptar impedancias con bobinas y condensadores

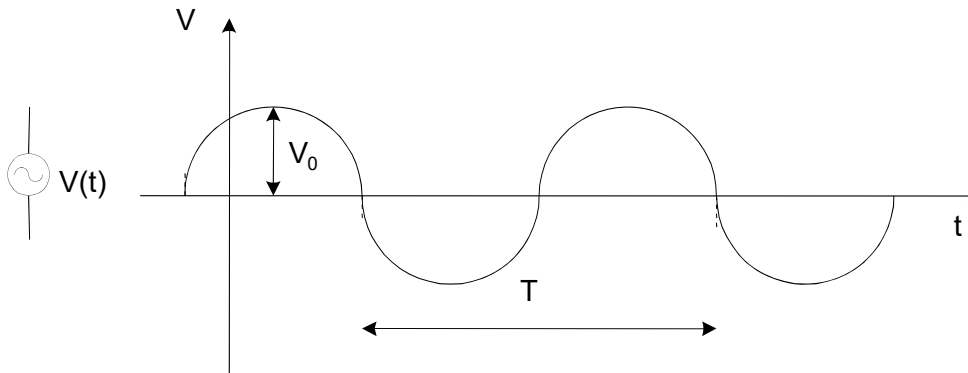
1-2-3: Conceptos vistos en asignatura "Sistemas Lineales" (Q1A)

BLOQUE I. Tema 1

Contenido. E1

Representación compleja de las magnitudes tensión y corriente

$$v(t) = V_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad v(t) = \operatorname{Re} \left[V_0 e^{j\omega t} e^{j\varphi} \right] = \operatorname{Re} \left[V e^{j\omega t} \right] \quad V = V_0 e^{j\varphi}$$



Impedancia=Resistencia y Reactancia

$$Z = \frac{V}{I} = R + jX$$

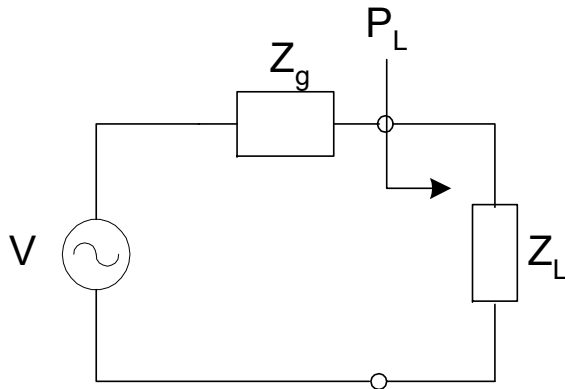
Admitancia=Coductancia y Susceptancia

$$Y = \frac{I}{V} = \frac{1}{Z} = G + jB$$

BLOQUE I. Tema 1

Contenido. E1

Potencia media disipada en Z_L



$$\text{Potencia media } P_L = \overline{v_L(t) \cdot i_L(t)} = \frac{1}{2} \text{Re}[V_L \cdot I_L^*]$$

(recordar tensión de pico-tensión eficaz)

$$P = \frac{1}{2} \text{Re}[Z_L] \cdot |I_L|^2 \quad P = \frac{1}{2} \text{Re}[Y_L] \cdot |V_L|^2$$

Potencia disponible de un generador

Máxima potencia disipada en la carga cuando $Z_L = Z_g^*$

$$P_{disp} = \frac{1}{8} \frac{|V|^2}{R_g} \quad (\text{no se demuestra})$$

BLOQUE I. Tema 1

Contenido. E1

Coeficiente de reflexión ρ asociado a una impedancia Z respecto una impedancia de referencia Z_0 (*normalmente 50 Ω o 75 Ω*)

Definición
$$\rho_L \equiv \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$0 \leq |\rho| \leq 1$$

ρ de impedancias más comunes: c.a., c.c. y carga adaptada

Ejemplo de uso: Potencia entregada a la carga
(se omite comprobación)

$$P_L = P_{disp} \frac{(1 - |\rho_g|^2)(1 - |\rho_L|^2)}{|1 - \rho_g \rho_L|^2} \quad \left(\rho_g \equiv \frac{Z_g - Z_0}{Z_g + Z_0} \right)$$

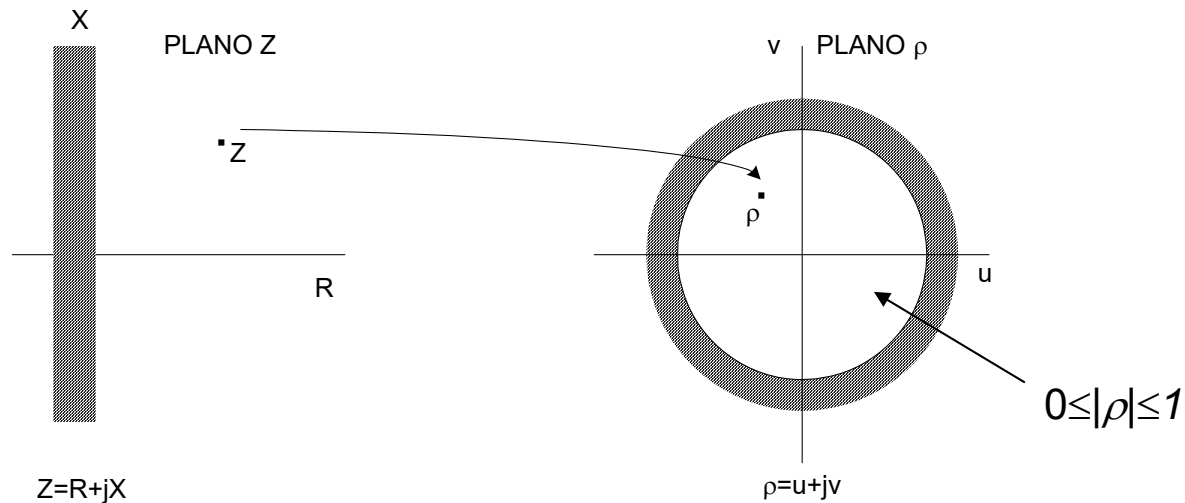
BLOQUE I. Tema 1

Contenido. E1

Carta de Smith (CS) . Herramienta gráfica útil.

Transformación matemática que representa la definición de ρ

$$\rho = \frac{\bar{Z} - 1}{\bar{Z} + 1}; \bar{Z} = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad \bar{Z} = Z / Z_0$$

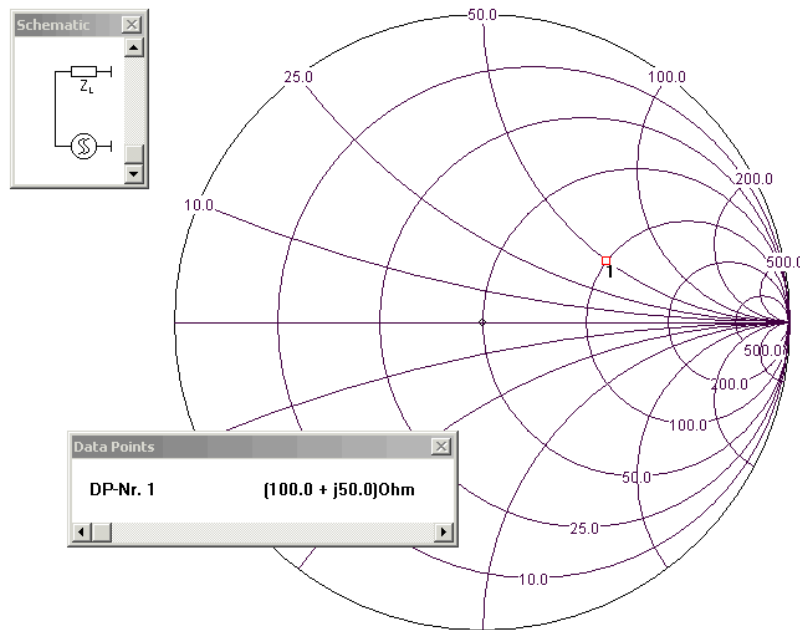


BLOQUE I. Tema 1

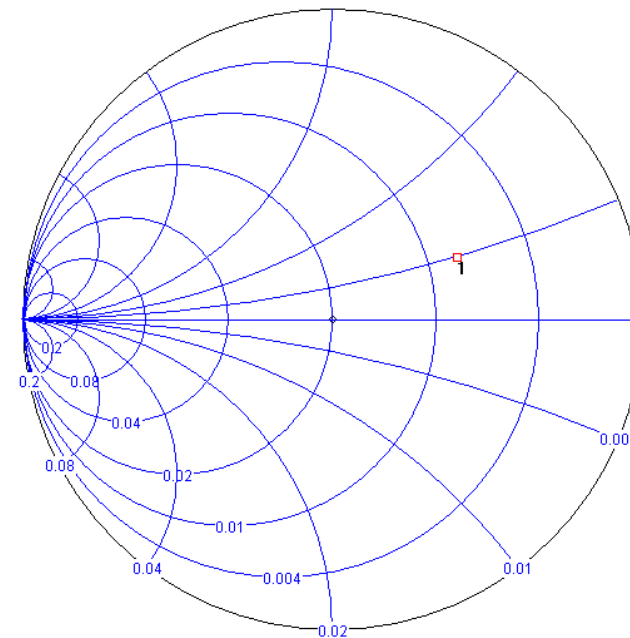
Contenido. E1

Gráfica de la CS.

Lectura de Z



Lectura de Y



$$1/(100+j*50)= 0.0080 - j*0.0040$$

Puntos más relevantes: c.a., cc., Z_0 .

Círculo exterior, centro, $X>0$, $X<0$

Líneas de R/G/X/B constante

(lugar geométrico: les cuesta de entender)

BLOQUE I. Tema 1

Contenido. E1

Adaptar impedancias con bobinas y condensadores haciendo uso de la carta de Smith

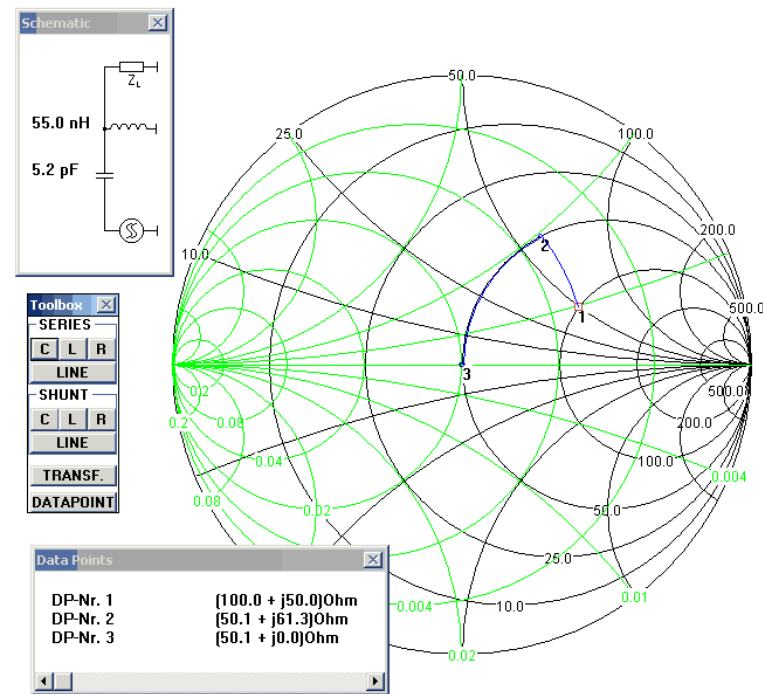
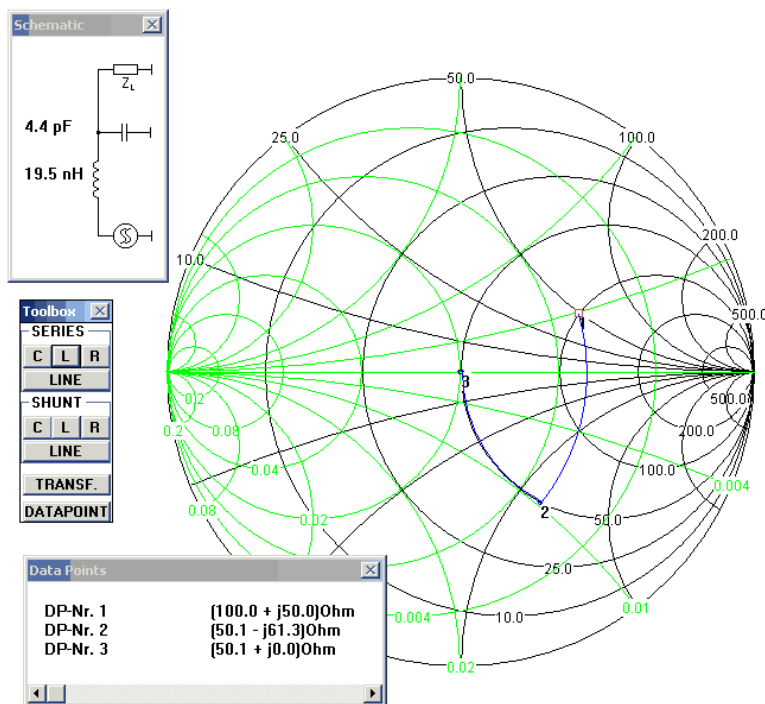
Presentación del programa Smith

jX en serie con Z_L :

Círculos de R constante

jB en paralelo con Y_L :

Círculos de G constante

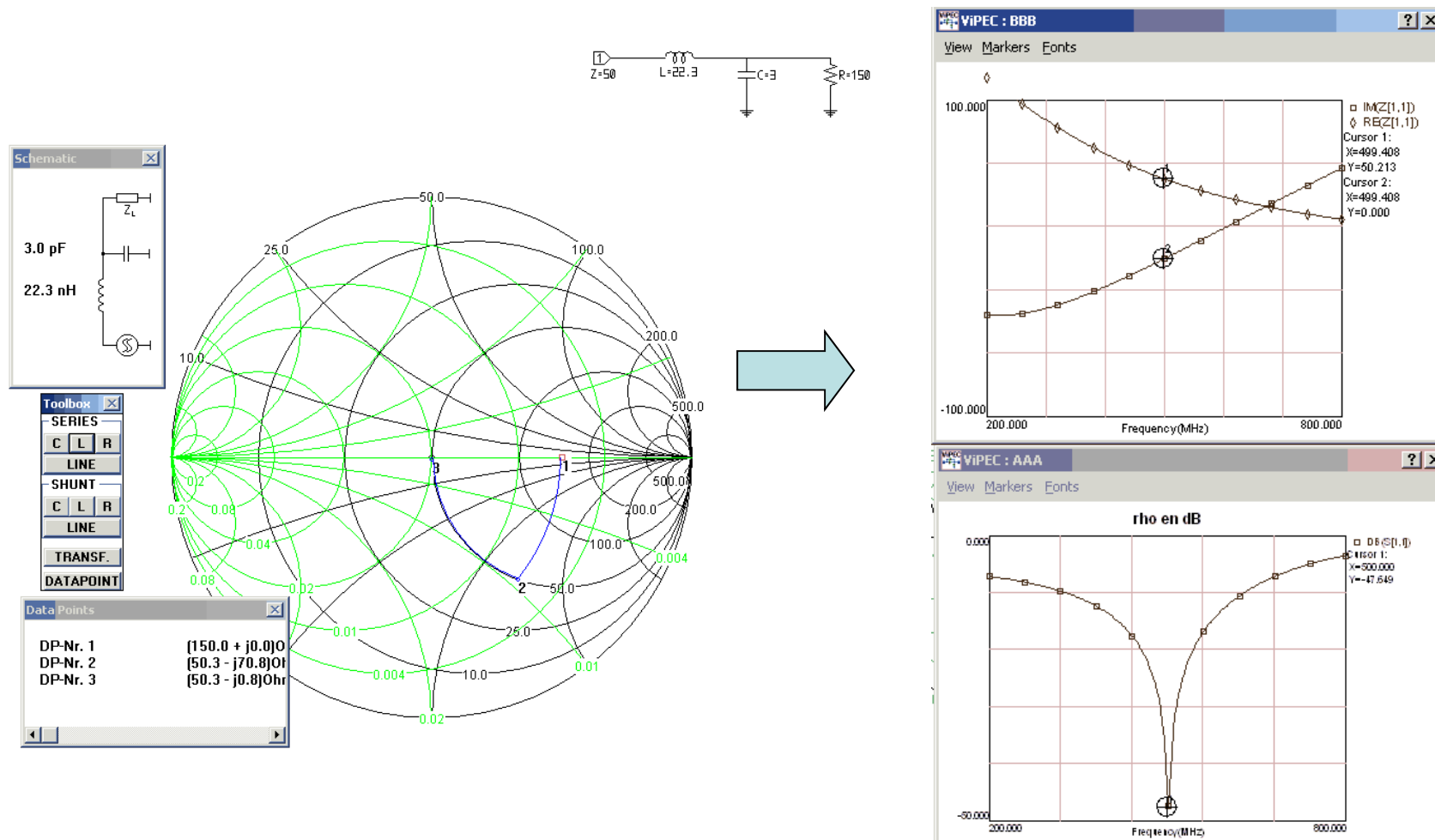


BLOQUE I. Tema 1

Contenido. S1

Ejercicios: de expresiones complejas a temporales y viceversa

Ejercicios de adaptación con Smith



BLOQUE I. Tema 2

Contexto

- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO I: CIRCUITOS DE MICROONDAS**
 - ❑ Tema I.1. Adaptación de impedancias
 - ❑ **Tema I.2. Líneas de transmisión I. Conceptos y definiciones.**
 - ❑ Tema I.3. Líneas de transmisión II. Aplicación
 - ❑ Tema I.4. Análisis de circuitos de microondas. Parámetros S
 - ❑ Tema I.5. Circuitos pasivos de microondas I
 - ❑ Tema I.6. Circuitos pasivos de microondas II
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO II: ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**
 - ❑ Tema II.1. Introducción al bloque y revisión de conceptos generales
 - ❑ Tema II.2. Ondas esféricas
 - ❑ Tema II.3. Ondas planas
 - ❑ Tema II.4. Propagación de ondas en dieléctricos con pérdidas y conductores
 - ❑ Tema II.5. Incidencia de ondas en conductores
 - ❑ Tema II.6. Incidencia de ondas en dieléctricos
 - ❑ Tema II.7. Dispersión y velocidad de grupo
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO III: ÓPTICA Y FOTÓNICA**
 - ❑ Tema III.1. Óptica geométrica. Principios básicos y componentes ópticos
 - ❑ Tema III.2. Fotones: Conceptos básicos e interacción con la materia
 - ❑ Tema III.3. Enlace de comunicaciones óptico: emisor, fibra, detector
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO IV: ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES**
 - ❑ Tema IV.1. Efectos biológicos de la radiación EM
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO V: LABORATORIO**
 - ❑ Tema V.1. Bloque de radiofrecuencia
 - ❑ Tema V.2. Bloque de óptica

BLOQUE I. Tema 2

Objetivos

Tamaño físico-longitud de onda

Comentarios:

- ❑ Conceptos nuevos importantes y difíciles debido a prejuicios de circuitos
- ❑ Asentar Inicio en diseño de líneas de transmisión
- ❑ Tema extenso y poco tiempo. Especial cuidado en ser concisos y explicaciones sencillas.

Al terminar este tema el estudiante debe de ser capaz de:

- ❑ Conocer los cinco tipos básicos de líneas de transmisión y saber como encontrar sus parámetros eléctricos
- ❑ Manejar la expresión solución de las ecuaciones del telegrafista tanto en el dominio frecuencial, $V(z)$ e $I(z)$, como en el dominio temporal $v(z,t)$ e $i(z,t)$
- ❑ Entender el significado de impedancia característica Z_0 , constante de fase β , velocidad de fase v , longitud de onda λ , retardo y constante dieléctrica efectiva
- ❑ Manejar el coeficiente de reflexión en función de la distancia a la carga $\rho(z)$
- ❑ Manejar y comprender las diferentes expresiones de potencia, disipada en carga, disponible, incidente, reflejada y transmitida

BLOQUE I. Tema 2

Ítems previos

- ❑ *Potencia disponible*
- ❑ *Coeficiente de reflexión*
- ❑ *Carta de Smith*
- ❑ *Adaptación con redes LC*

Ítems

- ❑ Líneas de transmisión: bifilar, coaxial, microstrip, coplanar y stripline
- ❑ Parámetros distribuidos: L_d , C_d .
- ❑ Ecuaciones del telegrafista.
- ❑ Impedancia característica, constante de propagación, velocidad de fase, longitud de onda, longitud eléctrica
- ❑ Líneas con dieléctrico inhomogéneo: constante dieléctrica efectiva
- ❑ Coeficiente de reflexión
- ❑ Impedancia
- ❑ Potencia incidente, reflejada y transmitida

BLOQUE I. Tema 2

Contenido. Índice

Líneas de transmisión más comunes

Parámetros distribuidos L y C

Ecuaciones del telegrafista. Onda “positiva” y onda “negativa”

Constante de fase, impedancia característica, velocidad de fase.

Longitud de onda

Concepto de modo de propagación

Líneas con dieléctrico no homogéneo.

Coefficiente de reflexión.

Impedancia de entrada. V_0^+ en función de tensión de generador

Potencia transportada

Potencia disipada en carga y potencia disponible

Potencia incidente, reflejada, transmitida

BLOQUE I. Tema 2

Contenido.E1a

Reintroducción al bloque:

OEM. Campo eléctrico y campo magnético.

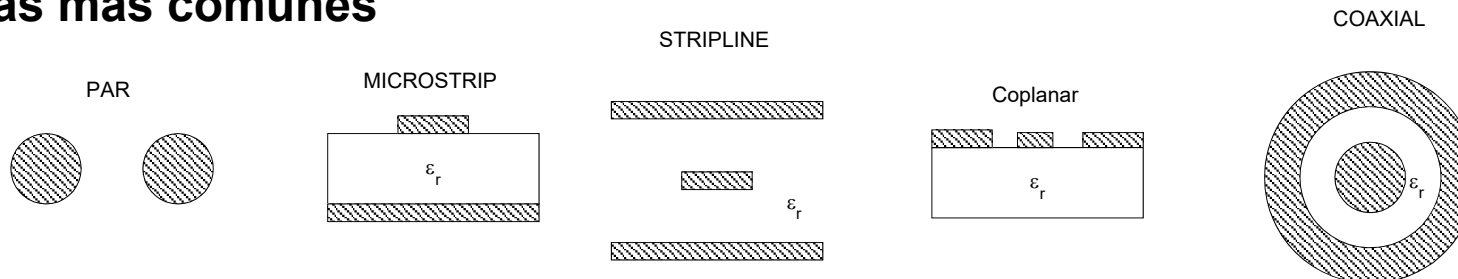
Dibujo de antena+espacio+antena+línea de transmisión

Ondas en espacio libre (Bloque II)

Ondas guiadas (Bloque I):

Líneas de transmisión, fibra óptica

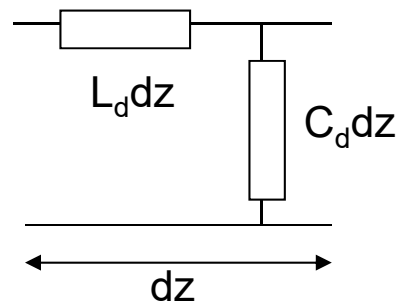
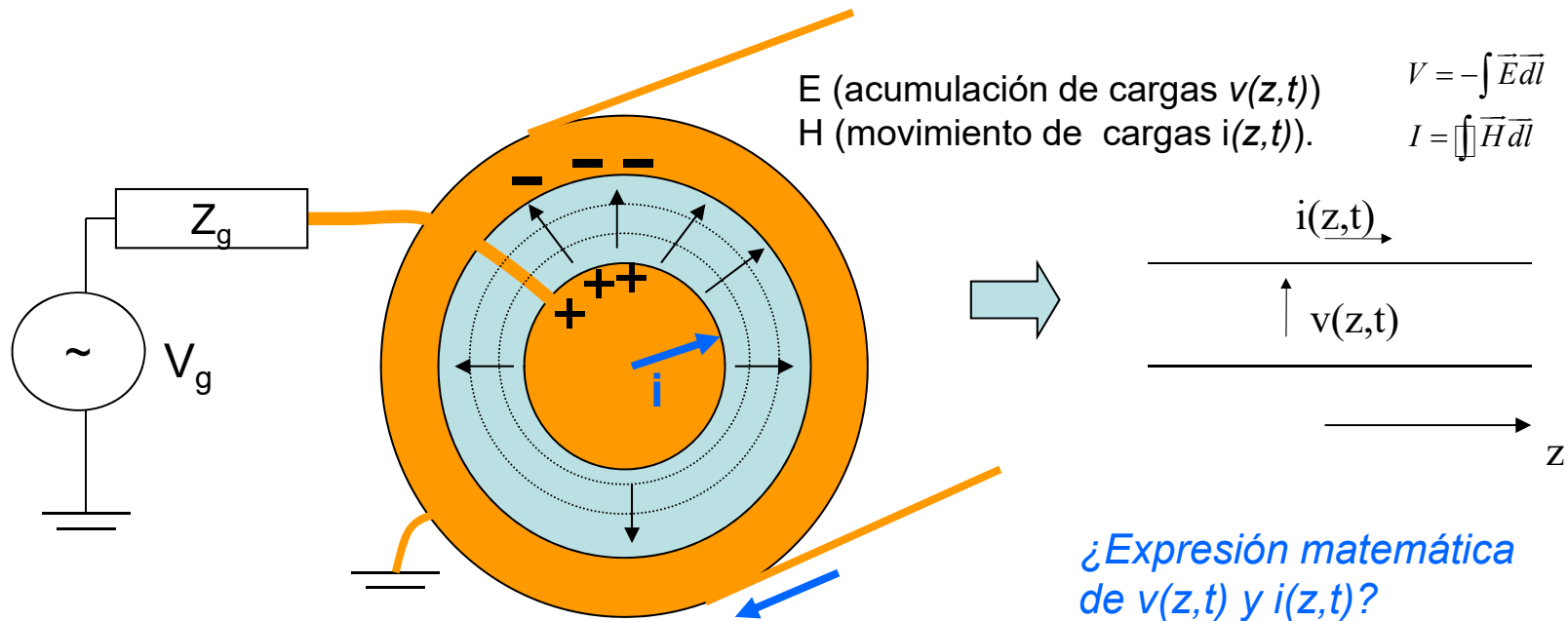
Líneas más comunes



BLOQUE I. Tema 2

Contenido.E1b

Parámetros distribuidos L y C en sección I



BLOQUE I. Tema 2

Contenido.E1b

Ecuaciones del telegrafista

R.P.S

$$v(z,t) = V(z)e^{j\omega t}$$
$$i(z,t) = I(z)e^{j\omega t}$$

$$\left. \begin{aligned} dV &= -j\omega L_d \cdot dz \cdot I \\ dI &= -j\omega C_d \cdot dz \cdot V \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} \frac{dV}{dz} &= -j\omega L_d \cdot I \\ \frac{dI}{dz} &= -j\omega C_d \cdot V \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} \frac{d^2V}{dz^2} &= -\omega^2 L_d C_d V \\ \frac{d^2I}{dz^2} &= -\omega^2 L_d C_d I \end{aligned} \right\}$$

Solución

$$V(z) = V_0^+ e^{-j\beta z} + V_0^- e^{j\beta z}$$
$$I(z) = I_0^+ e^{-j\beta z} + I_0^- e^{j\beta z} = \frac{1}{Z_0} (V_0^+ e^{-j\beta z} - V_0^- e^{j\beta z})$$

Onda positiva + onda negativa

Impedancia característica: $Z_0 = \sqrt{\frac{L_d}{C_d}}$

Constante de fase: $\beta = \omega \sqrt{L_d C_d}$

BLOQUE I. Tema 2

Contenido.E1c

Ecuaciones del telegrafista.

¿Expresiones en dominio temporal $v^+(z,t)$ y $v^-(z,t)$?

$$V^+(z,t) = \text{Re} \left[V_0^+ e^{j\omega t} e^{-j\beta z} \right] = |V_0^+| \cos(\omega t - \beta z + \varphi) = |V_0^+| \cos \left(\omega \left(t - \frac{z}{v_p} \right) + \varphi \right)$$
$$v_p = \frac{1}{\sqrt{L_d C_d}} \quad \beta = \frac{\omega}{v_p}$$

*Retardo=desfase.
Cte de fase y velocidad de fase.*

BLOQUE I. Tema 2

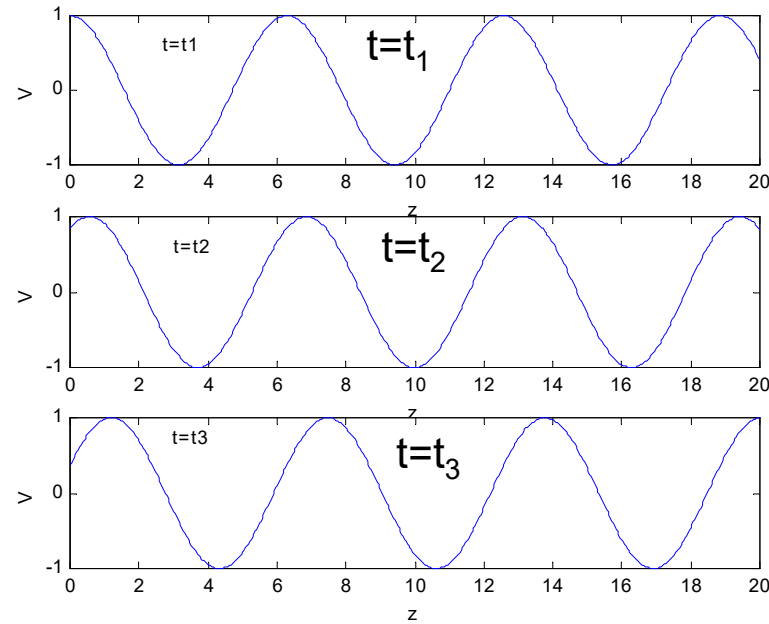
Contenido. E2a

Longitud de onda

$$V^+(z,t) = |V_0^+| \cos(\omega t - \beta z + \varphi)$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$$

$$\left(T = \frac{2\pi}{\omega} \right)$$



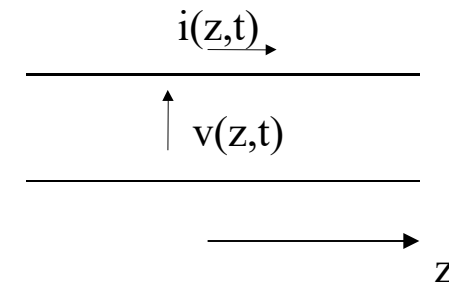
BLOQUE I. Tema 2

Contenido. E2b

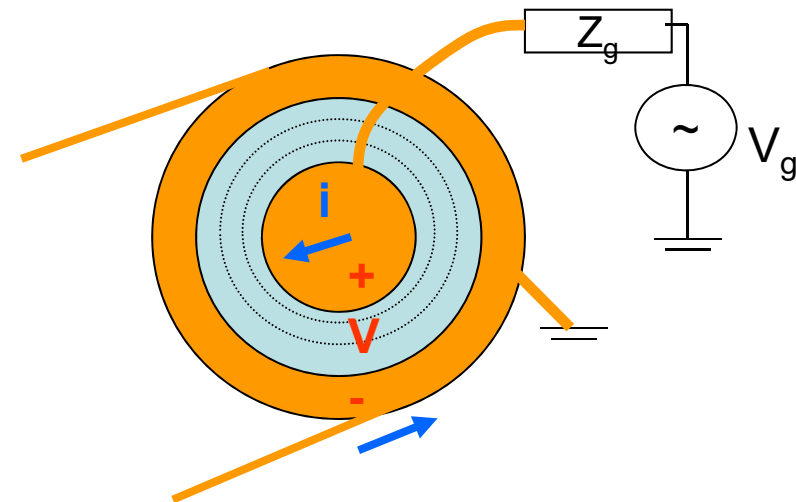
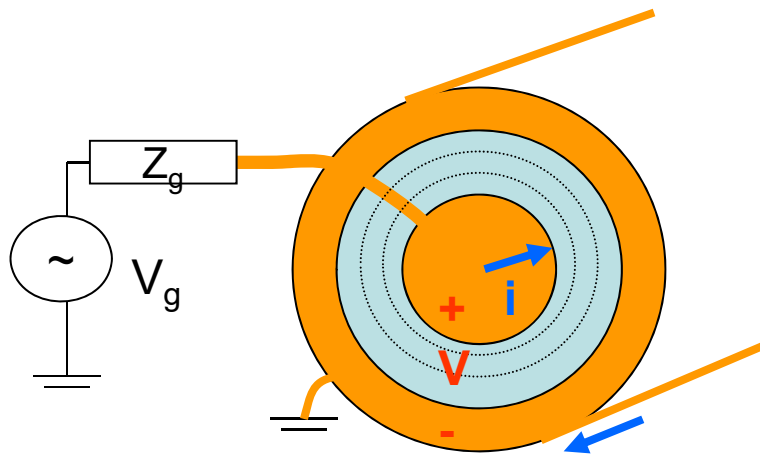
Discusión de los signos y del esquema utilizado

Dibujo de coaxial con generador en $z=0$

Dibujo de coaxial con generador en $z=l$



$$I_0^- = -\frac{V_0^-}{Z_0}$$

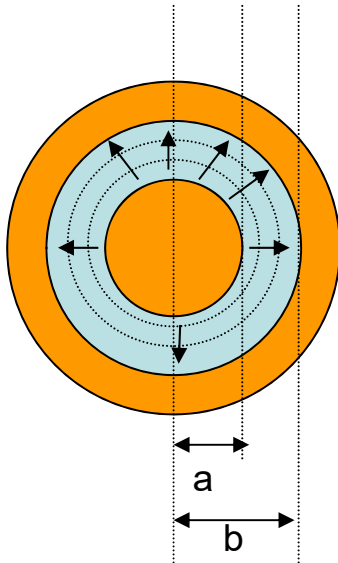


BLOQUE I. Tema 2

Contenido. E2c

Concepto de modo de propagación.

parámetros físicos - parámetros distribuidos - parámetros eléctricos



Útil: $L_d C_d = \mu_0 \varepsilon = \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon_r$
 $\frac{L}{C} \neq \frac{\mu_0}{\varepsilon}$

$$\beta = \beta_0 \sqrt{\varepsilon_r}; \lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_r}}; v_p = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

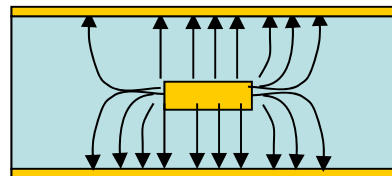
Fórmulas de un coaxial

$$\left\{ \begin{array}{l} L_d = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{b}{a} \\ C_d = 2\pi \varepsilon_r \varepsilon_0 \left(\ln \frac{b}{a} \right)^{-1} \end{array} \right.$$

DISEÑO

¿otras líneas?

Dibujo de campos en stripline



Fórmulas en libros o programas

MODO: Configuración de E y H soportada por la estructura que se propaga

BLOQUE I. Tema 2

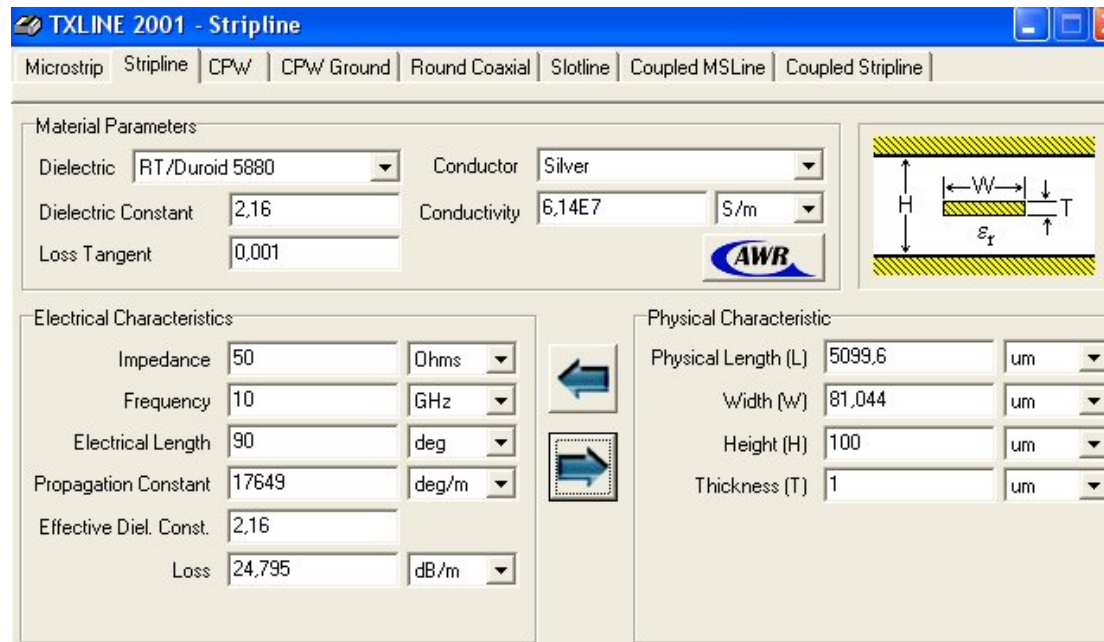
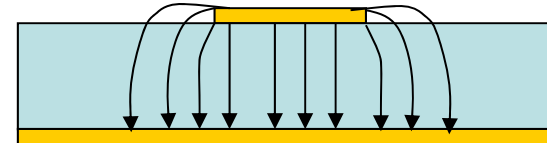
Contenido. E2d

Líneas con dieléctrico no homogéneo.

Dibujo de campos en línea microstrip

Permitividad efectiva

Presentación de TXLINE



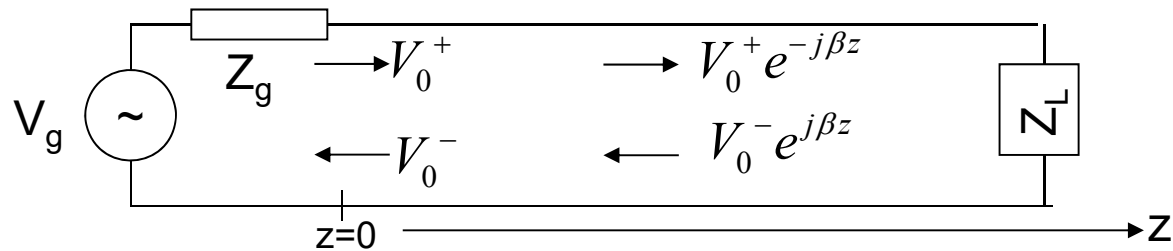
$$L_d C_d = \mu_0 \epsilon_{eff} = \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{reff} \Rightarrow$$

$$\beta = \beta_0 \sqrt{\epsilon_{r,eff}}; \lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{r,eff}}}; v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{r,eff}}}$$

BLOQUE I. Tema 2

Contenido. E3a

Coeficiente de reflexión



¿ V_L^- en función de V_L^+ ?

ρ como relación entre V^- y V^+ $\Rightarrow V^-(z) = \rho(z)V^+(z)$

¿ ρ en la carga (ρ_L)?

Leyes circuitales se siguen cumpliendo $\Rightarrow Z_L = \frac{V_L}{I_L} = \frac{V_L^+ + V_L^-}{I_L^+ + I_L^-} = Z_0 \frac{V_L^+ + \rho_L V_L^+}{V_L^+ - \rho_L V_L^+}$

$$\rho_L \equiv \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Casos particulares:

Z_0 : Sólo onda progresiva

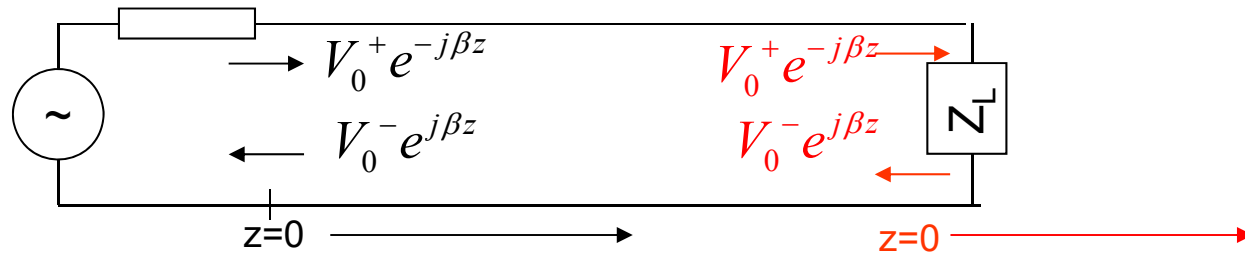
cc, ca: amplitud de pico V^- = amplitud de pico V^+

BLOQUE I. Tema 2

Contenido. E3a

Coeficiente de reflexión

$\rho(z)$ en función de ρ_L



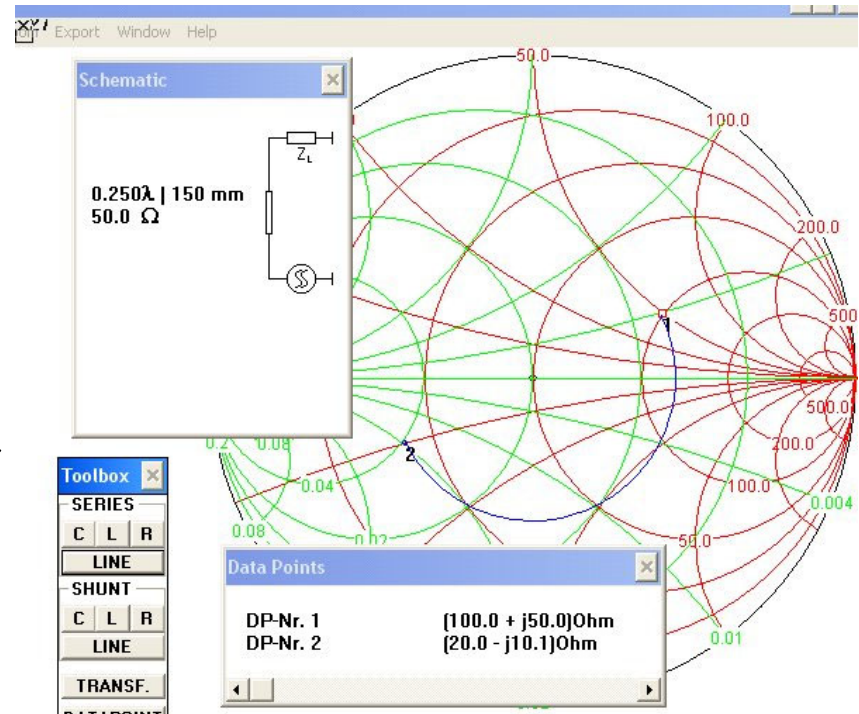
$$\rho(z) = \rho_0 e^{+2j\beta z} \quad \rho(z) = \rho_L e^{2j\beta z}$$

$$\rho(z) = \rho_L e^{-2j\beta|z|}$$

¿Periodicidad de ρ ?

CS: “hacia generador”, “hacia carga” →

$$\rho_{IN} \longrightarrow Z_{IN}$$



BLOQUE I. Tema 2

Contenido. E3b

Impedancia de entrada

$$Z(z) = \frac{V(z)}{I(z)} \quad Z_{IN} = \frac{V(-l)}{I(-l)} = \frac{V(0)}{I(0)} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta l)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta l)} \quad (\text{No demostrada})$$

Utilidad: ¿ V_0^+ (z=0 al principio de la línea) en función de V_g ?

$$\boxed{V_0^+ = V_g \frac{Z_0}{Z_0 + Z_g} \frac{1}{1 - \rho_i \rho_g}} \quad \begin{array}{l} \text{Si } \rho_g=0\dots \\ \text{Si } \rho_i=0\dots \end{array}$$

NOTA: ojo nomenclatura y elección z=0 o z=-l

Ejemplos. Z_{IN} de una línea de longitud l terminada en cc y en c.a

$$\boxed{\rho_L \rightarrow \rho_{IN} \rightarrow Z_{IN}}$$

$$cc \rightarrow Z_{IN} = jZ_0 \tan \beta l$$

$$ca \rightarrow Z_{IN} = \frac{Z_0}{j \tan \beta l}$$

$$\beta l = 2\pi \frac{l}{\lambda} = \omega \frac{l}{v_p}$$

$$l \ll \lambda \Rightarrow \boxed{cc \sim \text{bobina y } ca \sim \text{condensador}}$$

¿Periodicidad de Z en términos de λ ?

L y C: Primeros elementos diseñados con líneas de transmisión

Importancia de tamaño en función de λ (l/λ) y definición de longitud eléctrica: βl

BLOQUE I. Tema 2

Contenido. S1

Ejemplo. Tensión en diferentes puntos de un coaxial cuando $f=50$ Hz y cuando $f=1.5$ GHz

Dibujo del generador y del coaxial con $V1$ ($z=0$), $V2(z=5\text{cm})$, $V3(z=10\text{cm})$

Supongamos señal $A(t)$ que se propaga con c : $A(t-z/c)$

Dibujo $Vg(t)$ tq $f=50$ Hz

Dibujo $V1(t)$ entre 0 y $1/3$ ns

Dibujo $V2(t)$ entre 0 y $1/3$ ns

Dibujo $V3(t)$ entre 0 y $1/3$ ns

Dibujo $Vg(t)$ tq $f=50$ Hz

Dibujo $V1(t)$ entre 0 y $1/3$ ns

Dibujo $V2(t)$ entre 0 y $1/3$ ns

Dibujo $V3(t)$ entre 0 y $1/3$ ns

Misma tensión en instantes $t > 1/3$ ns

NO misma tensión en instantes $t > 1/3$ ns

Cálculos de Z_{in} en ejemplos sencillos

Uso de TXLINE

Ejemplos con Smith de cambio de $\rho(z)$ y de $Z(z)$

BLOQUE I. Tema 2

Contenido. E4

Potencia transportada

$$P_N = \frac{1}{2} \operatorname{Re} [V(z)I^*(z)] = \dots = \frac{1}{2} \frac{|V_0^+|^2}{Z_0} - \frac{1}{2} \frac{|V_0^-|^2}{Z_0}$$

¿P en dB?
dBm, dBw y dBc

Potencia media de la onda positiva y de la onda negativa

$$P^+ = \frac{1}{2} \frac{|V_0^+|^2}{Z_0} \quad \text{y} \quad P^- = \frac{1}{2} \frac{|V_0^-|^2}{Z_0}$$

$$P^- = |\rho_L|^2 P^+$$

→ ¿|ρ| en dB?

Potencia disipada en carga

Potencia disponible $P_{disp} = \frac{1}{8} \frac{|V_g|^2}{R_g}$

Potencia incidente, reflejada, transmitida

Si $\rho_g=0$... $V_0^+ = \frac{V_g}{2}$ $P_{inc} = P_{av}$

Conveniente repaso

BLOQUE I. Tema 2

Contenido. S2

Ejemplos de cálculos de potencia

Z_L , cc y ca

BLOQUE I. Tema 3

Contexto

- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO I: CIRCUITOS DE MICROONDAS**
 - ❑ Tema I.1. Adaptación de impedancias
 - ❑ Tema I.2. Líneas de transmisión I. Conceptos y definiciones.
 - ❑ **Tema I.3. Líneas de transmisión II. Aplicación**
 - ❑ Tema I.4. Análisis de circuitos de microondas. Parámetros S
 - ❑ Tema I.5. Circuitos pasivos de microondas I
 - ❑ Tema I.6. Circuitos pasivos de microondas II
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO II: ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**
 - ❑ Tema II.1. Introducción al bloque y revisión de conceptos generales
 - ❑ Tema II.2. Ondas esféricas
 - ❑ Tema II.3. Ondas planas
 - ❑ Tema II.4. Propagación de ondas en dieléctricos con pérdidas y conductores
 - ❑ Tema II.5. Incidencia de ondas en conductores
 - ❑ Tema II.6. Incidencia de ondas en dieléctricos
 - ❑ Tema II.7. Dispersión y velocidad de grupo
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO III: ÓPTICA Y FOTÓNICA**
 - ❑ Tema III.1. Óptica geométrica. Principios básicos y componentes ópticos
 - ❑ Tema III.2. Fotones: Conceptos básicos e interacción con la materia
 - ❑ Tema III.3. Enlace de comunicaciones óptico: emisor, fibra, detector
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO IV: ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES**
 - ❑ Tema IV.1. Efectos biológicos de la radiación EM
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO V: LABORATORIO**
 - ❑ Tema V.1. Bloque de radiofrecuencia
 - ❑ Tema V.2. Bloque de óptica

BLOQUE I. Tema 3

Objetivos

Asentar conocimientos y primeros diseños

Comentarios:

- ❑ Repasar y asentar con la práctica conocimientos del tema anterior.
- ❑ Llevar progresivamente a los alumnos hasta el diseño de redes de adaptación con líneas de transmisión microstrip.
- ❑ Realizar diseños sencillos y prácticos para mantener el interés en la asignatura, pero sin añadir todavía nuevas herramientas de análisis como pueden ser los parámetros de dispersión $[S]$ (tema siguiente)

Al terminar este tema el estudiante debe de ser capaz de:

- ❑ Calcular la distribución de tensión y corriente en una línea con generador y carga dados.
- ❑ Calcular la impedancia de entrada de una línea terminada, una línea en c.c. y una línea en c.a.
- ❑ Entender el concepto de onda estacionaria y manejar la expresión del R.O.E.
- ❑ Adaptar impedancias utilizando elementos concentrados, transformadores de impedancias en $\lambda/4$ y secciones de líneas en c.c. y c.a. utilizando 'smith' y saber explicarlo
- ❑ Diseñar y dibujar la máscara de un circuito adaptador de impedancias realizado con tecnología microstrip.
- ❑ Calcular la atenuación de una línea a partir de sus parámetros elementales

BLOQUE I. Tema 3

Ítems previos

- Potencia disponible*
- Coefficiente de reflexión*
- Carta de Smith*
- Adaptación con redes LC*
- Líneas de transmisión: bifilar, coaxial, microstrip, coplanar y stripline*
- Parámetros distribuidos: L_d , C_d .*
- Ecuaciones del telegrafista.*
- Impedancia característica, constante de propagación, velocidad de fase, longitud de onda, longitud eléctrica*
- Líneas con dieléctrico inhomogéneo: constante dieléctrica efectiva*
- Coefficiente de reflexión*
- Impedancia*
- Potencia incidente, reflejada y transmitida*

Ítems

- Tensión y corriente en una línea de transmisión
- Línea en cortocircuito
- Onda estacionaria
- R.O.E.
- Línea de $\lambda/4$. Transformador de impedancias
- Carta de Smith con líneas. Adaptación de impedancias.
- Atenuación. Nepers y decibelios.

BLOQUE I. Tema 3

Contenido. Índice.

Análisis de línea de transmisión de longitud l terminada en Z_0
Análisis de línea de transmisión de longitud l terminada en c.c

Onda estacionaria
Coefficiente de onda estacionaria (ROE-VSWR)
Adaptación de impedancias con línea
 Con línea $\lambda/4$
 Con líneas en cc y ca

Líneas con pérdidas
 Parámetros distribuidos R_d y G_d
 Ecuación de onda y solución $V(z)$ - $I(z)$
 Impedancia característica y constante de propagación γ .
 Potencia transportada.
 Definición de Neper
 Aproximación bajas pérdidas

BLOQUE I. Tema 3

Contenido. E1a

Análisis de línea de transmisión de longitud l terminada en Z_0

Ellos: Cálculo de $V(z)$ e $I(z)$. (15 minutos)

Se les indican pasos:

Esquema circuital

Solución general ec. Telegrafista

Relacionar V_0^- con V_0^+

Relacionar V_0^+ con V_g

Comprobar condición circuital en la carga

$Z(z)$ y $\rho(z)$

Potencia neta transportada

Análisis de línea de transmisión de longitud l terminada en c.c

Esquema. Poner $z=0$ en cc

Cálculo de $V(z)$ e $I(z)$

(Ejercicio para casa: ídem pero poner $z=0$ en generador)

Ojo al usar:
$$V_0^+ = V_g \frac{Z_0}{Z_0 + Z_g} \frac{1}{1 - \rho_i \rho_g}$$

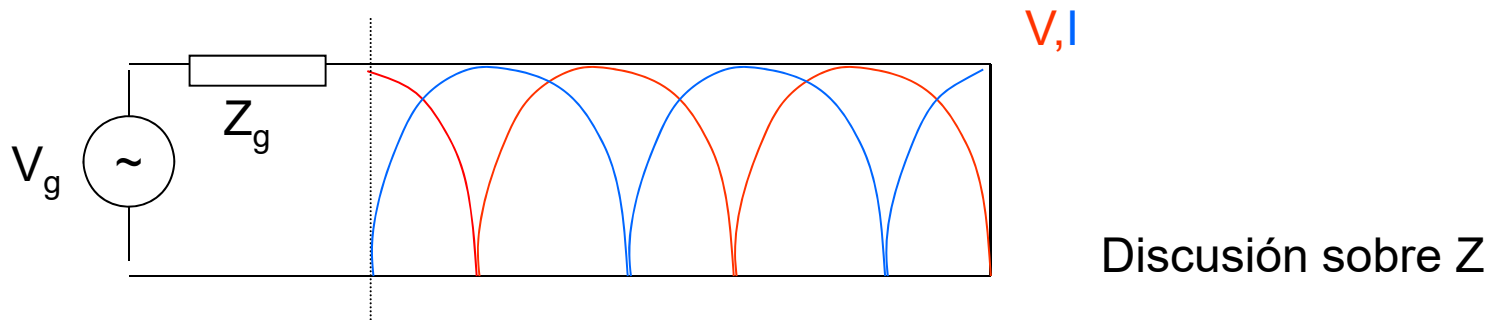
BLOQUE I. Tema 3

Contenido. E1b

Análisis de línea de transmisión de longitud l terminada en c.c

Calculo de $Z(z)$ y Z_{IN} (comprobación de lo obtenido en Tema 2)
Notar periodicidad de $Z(z)$ (y de $\rho(z)$ recordando expresión)

Dibujar $|V(z)|$ e $|I(z)|$ si $l=5\lambda/4$



Cálculo de potencia transportada

onda estacionaria pura

BLOQUE I. Tema 3

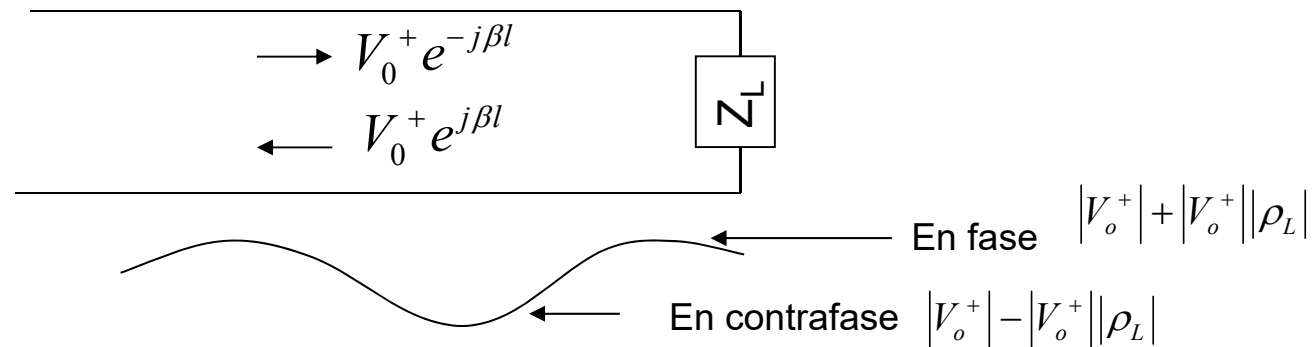
Contenido. E2a

Onda estacionaria

Dibujo Ld.T en cc. Onda estacionaria pura. Tema1b

Dibujo Ld.T en Z_0 . onda progresiva. Tema 1a

Dibujo Ld.T en Z_L onda estacionaria.



Coeficiente de onda estacionaria (ROE-VSWR)

Definición

$$ROE = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\rho_L|}{1 - |\rho_L|}$$

$$1 \leq ROE \leq \infty$$

$$0 \leq ROE \leq \infty \text{ (dB)}$$

“Cualifica la onda estacionaria”

“Cuantifica la adaptación”

BLOQUE I. Tema 3

Contenido. E2b

Adaptación de impedancias con líneas

Adaptación con línea $\lambda/4$

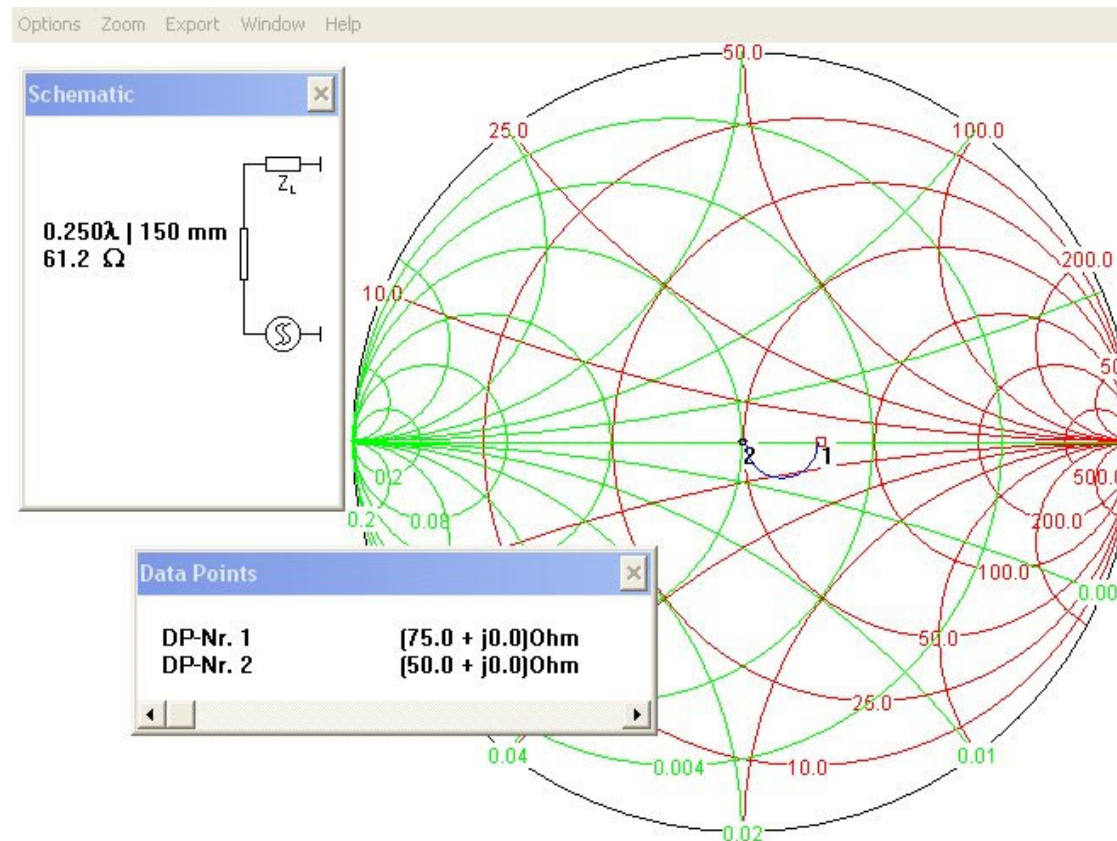
Ejemplo: $Z_L = 75 \Omega$

Z_{IN} línea $\lambda/4$ a partir de fórmula Z_{IN}

Sólo Z_L reales.

Ojo movimiento sobre CS.

$$Z_{IN} = \frac{Z_0^2}{Z_L}$$



BLOQUE I. Tema 3

Contenido. E2c

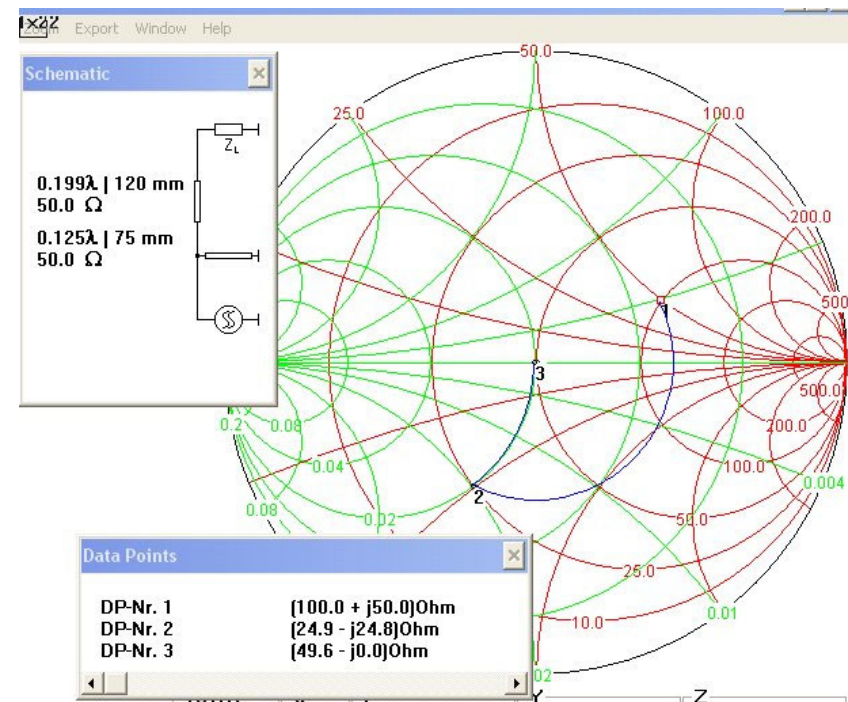
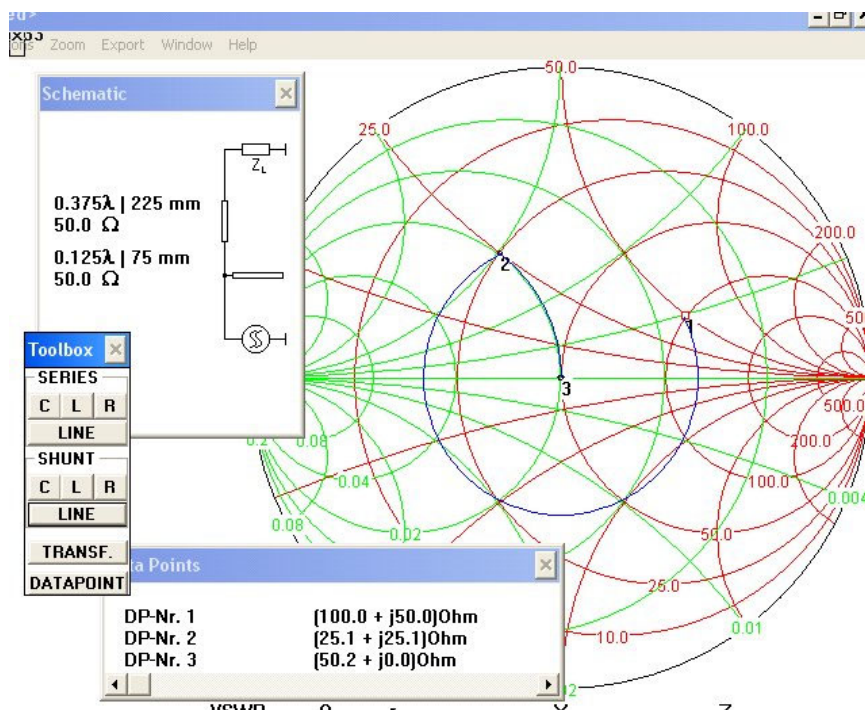
Adaptación de impedancias con líneas

Adaptación con líneas en cc y ca

Recordatorio de Z_{IN} de una línea terminada cc y c.a

Recordatorio de insertar susceptancia en paralelo

Insertar línea en serie. Lugar geométrico de Z_{IN} en CS vs. l



¿Cual mejor opción si líneas microstrip?

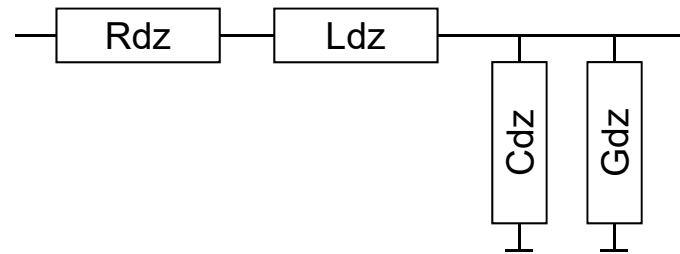
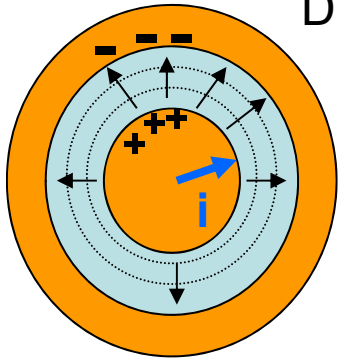
BLOQUE I. Tema 3

Contenido. E3a

Líneas con pérdidas

Dibujo del coaxial. Pérdidas en el conductor + pérdidas en dieléctrico

Dibujo sección elemental de línea de transmisión



Ecuación de onda con Z e Y (no demostrada).

$$\begin{aligned} V(z) &= V_0^+ e^{-\gamma z} + V_0^- e^{\gamma z} \\ I(z) &= I_0^+ e^{-\gamma z} + I_0^- e^{\gamma z} = \frac{1}{Z_0} (V_0^+ e^{-\gamma z} - V_0^- e^{\gamma z}) \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 V}{dz^2} &= ZY V \\ \frac{d^2 I}{dz^2} &= ZY I \end{aligned} \right\}$$

Impedancia característica: $Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$
↑
compleja

Constante de propagación: $\gamma = \sqrt{ZY}$

$$\gamma \square \alpha + j\beta$$

BLOQUE I. Tema 3

Contenido. E3b

Líneas con pérdidas

$$V(z) = V_0^+ e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} + V_0^- e^{\alpha z} e^{j\beta z}$$

No introduce desfase (propagación). Sólo atenúa

$$V^+(z, t) = \text{Re} \left[V_0^+ e^{j\omega t} e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} \right] = |V_0^+| e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z + \varphi)$$

Aproximación bajas pérdidas

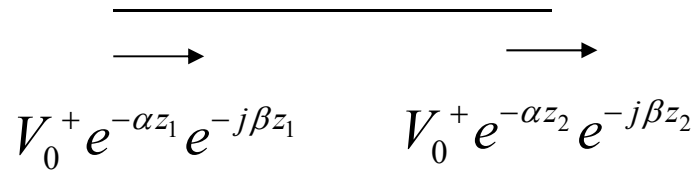
$$Z_0 \approx \sqrt{\frac{L_d}{C_d}} \quad \beta \approx \omega \sqrt{L_d C_d} \quad \alpha \approx \frac{R_d}{2Z_0} + \frac{G_d Z_0}{2}$$
$$R_d \propto \frac{\sqrt{f}}{\sqrt{\sigma}} \quad \text{y} \quad G_d \propto f \tan \delta$$

BLOQUE I. Tema 3

Contenido. E3c

Líneas con pérdidas

Unidades de alfa: Definición de Neper


$$L = \frac{P^+(z_2)}{P^+(z_1)} = \frac{e^{-2\alpha z_2}}{e^{-2\alpha z_1}} = e^{-2\alpha(z_2 - z_1)}$$

$$L(\text{dB}) = 10 \log_{10} \frac{P^+(z_2)}{P^+(z_1)} = -2\alpha(z_2 - z_1) \cdot 10 \log_{10} e$$

$$L(\text{Np}) \square \frac{1}{2} \ln \frac{P^+(z_2)}{P^+(z_1)} = -\alpha(z_2 - z_1) \quad \text{Alfa: Np/m}$$

1 Np=8.686 dB

BLOQUE I. Tema 3

Contenido. S1

Ejercicio sobre ROE.

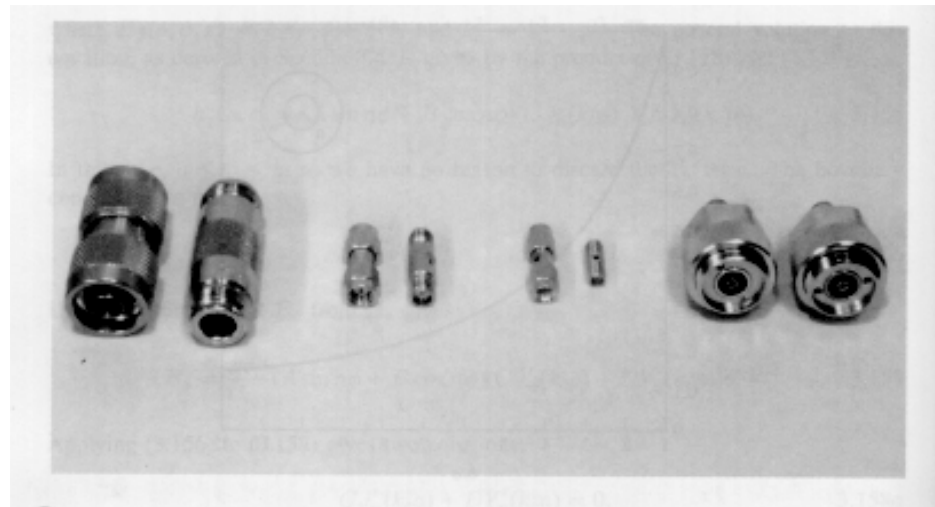
Adaptación con línea $\lambda/4$

Adaptación con líneas usando Smith

Ejercicio sobre cables coaxiales

Cables coaxiales: rígidos, semirígidos, flexibles...

Conectores : N (15 GHz)-SMA (25 GHz)-SSMA (38 GHz)-APC-7 (18 GHz)



BLOQUE I. Tema 4

Contexto

- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO I: CIRCUITOS DE MICROONDAS**
 - ❑ Tema I.1. Adaptación de impedancias
 - ❑ Tema I.2. Líneas de transmisión I. Conceptos y definiciones.
 - ❑ Tema I.3. Líneas de transmisión II. Aplicación
 - ❑ **Tema I.4. Análisis de circuitos de microondas. Parámetros S**
 - ❑ Tema I.5. Circuitos pasivos de microondas I
 - ❑ Tema I.6. Circuitos pasivos de microondas II
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO II: ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**
 - ❑ Tema II.1. Introducción al bloque y revisión de conceptos generales
 - ❑ Tema II.2. Ondas esféricas
 - ❑ Tema II.3. Ondas planas
 - ❑ Tema II.4. Propagación de ondas en dieléctricos con pérdidas y conductores
 - ❑ Tema II.5. Incidencia de ondas en conductores
 - ❑ Tema II.6. Incidencia de ondas en dieléctricos
 - ❑ Tema II.7. Dispersión y velocidad de grupo
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO III: ÓPTICA Y FOTÓNICA**
 - ❑ Tema III.1. Óptica geométrica. Principios básicos y componentes ópticos
 - ❑ Tema III.2. Fotones: Conceptos básicos e interacción con la materia
 - ❑ Tema III.3. Enlace de comunicaciones óptico: emisor, fibra, detector
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO IV: ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES**
 - ❑ Tema IV.1. Efectos biológicos de la radiación EM
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO V: LABORATORIO**
 - ❑ Tema V.1. Bloque de radiofrecuencia
 - ❑ Tema V.2. Bloque de óptica

BLOQUE I. Tema 4

Objetivos

Herramientas para análisis y medida de circuitos RF

Con este tema se pretende:

- ❑ Presentar los parámetros S como una herramienta útil para medir, caracterizar y describir circuitos de RF
- ❑ Que los alumnos sepan manejar “razonadamente” las matrices de parámetros S sin realizar excesivos ejercicios memorísticos
- ❑ Plantear sencillos ejemplos en los que ya aparecen problemas prácticos, por ejemplo como medir un circuito y caracterizarlo

Al terminar este tema el estudiante debe de ser capaz de:

- ❑ Definir los parámetros S y explicar cómo se miden.
- ❑ Dada una matriz S, calcular su nueva forma si se mueven los planos de referencia.
- ❑ Dada una matriz S, reconocer si se trata de un dispositivo activo o pasivo, y si conserva la potencia o tiene pérdidas.
- ❑ Dada una matriz S y situaciones de carga en los accesos conocidas, calcular potencia entregada y potencia reflejada
- ❑ Calcular la matriz S de un 2-accesos sencillo (secciones de línea y/o elementos concentrados serie o paralelo).

BLOQUE I. Tema 4

Contenido. Índice

Caracterización de circuitos de microondas.

Introducción

Parámetros Z y Y

Parámetros S

Medida de parámetros S

Consideraciones sobre potencia

Coefficiente de reflexión en red terminada

Coefficiente de reflexión en red cargada

Ganancia de transferencia de potencia

Propiedades de los parámetros S

Conexión de redes en cascada

BLOQUE I. Tema 4

Ítems previos

- *Potencia disponible*
 - *Coeficiente de reflexión*
 - *Carta de Smith*
 - *Adaptación con redes LC*
-
- *Líneas de transmisión: bifilar, coaxial, microstrip, coplanar y stripline*
 - *Parámetros distribuidos: L_d , C_d .*
 - *Ecuaciones del telegrafista.*
 - *Impedancia característica, constante de propagación, velocidad de fase, longitud de onda, longitud eléctrica*
 - *Líneas con dieléctrico inhomogéneo: constante dieléctrica efectiva*
 - *Coeficiente de reflexión*
 - *Impedancia*
 - *Potencia incidente, reflejada y transmitida*
-
- *Tensión y corriente en una línea de transmisión*
 - *Línea en cortocircuito y en circuito abierto*
 - *Onda estacionaria*
 - *R.O.E.*
 - *Línea de $\lambda/4$. Transformador de impedancias*
 - *Carta de Smith con líneas. Adaptación de impedancias.*
 - *Atenuación. Nepers y decibelios.*

BLOQUE I. Tema 4

Ítems

- Red de N accesos. Matrices Z, Y.
- Red de N accesos. Matriz de dispersión (parámetros S).
- Redes de dos accesos. Cálculo de parámetros S.
- Cambio de planos de referencia
- Coeficiente de reflexión, impedancias de entrada y de salida
- Pérdidas de inserción y pérdidas de retorno
- Ganancia de transferencia de potencia.
- Simetría y reciprocidad

BLOQUE I. Tema 4

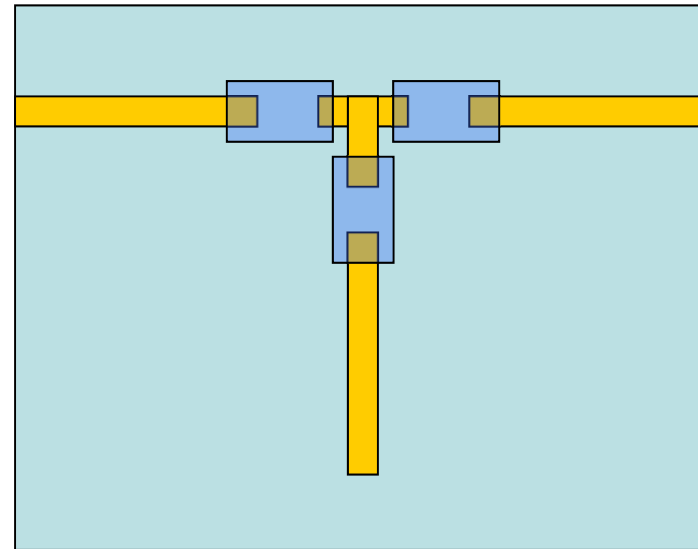
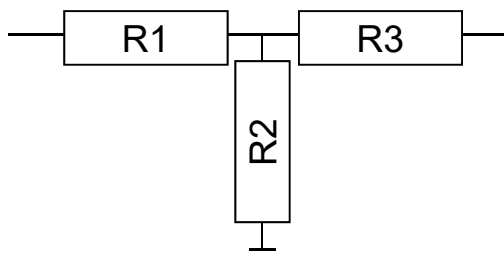
Contenido. E1a

Caracterización de circuitos de microondas.

Objetivo: forma matemática para describir comportamiento de circuitos

Problema introducción: Red de T de resistencia como “caja negra”.

Layout microstrip (se aprovecha para cc con open stub $\lambda/4$)



¿Describir como caja negra?

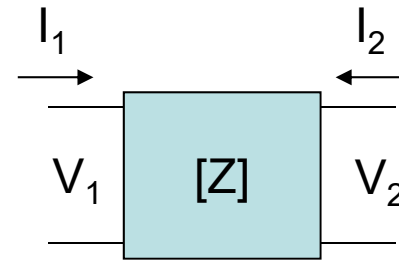
BLOQUE I. Tema 4

Contenido. E1b

Caracterización de circuitos de microondas. Parámetros Z y Y

Definición matriz Z (2 puertos)

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

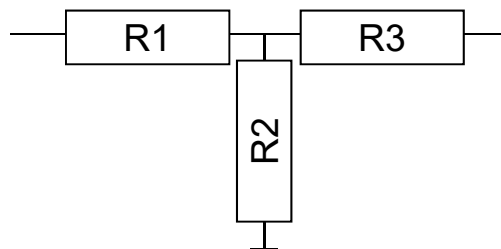


$$V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2$$

$$V_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2$$

$$Z_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0} \dots$$

Ejemplo: red T de resistencia.



$$\begin{bmatrix} R_1 + R_2 & R_2 \\ R_2 & R_2 + R_3 \end{bmatrix}$$

BLOQUE I. Tema 4

Contenido. E1c

Caracterización de circuitos de microondas. Parámetros Z y Y

Inconvenientes para medir [Z]

Circuitos abiertos

Difíciles fabricar

Potencia reflejada provoca oscilaciones en circ. act.

Acceder con l.d.t

(supongamos que casualmente $l=\lambda/4$)

Definición matriz Y (2 puertos)

Inconvenientes para medir [Y]

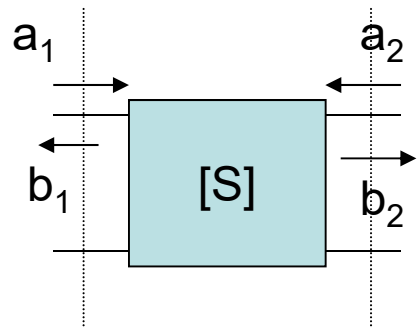
Idem pero cc en vez de c.a

BLOQUE I. Tema 4

Contenido. E1d

Caracterización de circuitos de microondas. Parámetros S

Definición. “ondas a” y “ondas b” y matriz de dispersión



Planos de referencia

$$a_1 = \frac{V_1^+}{\sqrt{Z_{0,1}}}; b_1 = \frac{V_1^-}{\sqrt{Z_{0,1}}}; \dots$$

↑
Impedancia de referencia

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

$$b_1 = s_{11}a_1 + s_{12}a_2$$

$$b_2 = s_{21}a_1 + s_{22}a_2$$

Para calcular o medir [S]:

$$s_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \dots$$

Terminar línea 2

BLOQUE I. Tema 4

Contenido. E2a

Medida de parámetros S

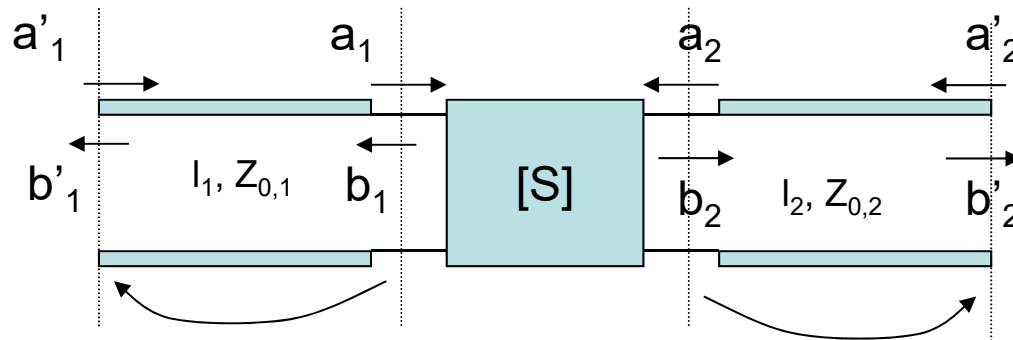
Ventajas respecto Z e Y

Z0 más fácil que c.a o c.c.

No hay reflexiones

¿Afectan líneas de acceso?

Cambio de planos de referencia



$$s'_{11} = s_{11} e^{-2j\beta l_1}$$

$$s'_{21} = s_{21} e^{-j\beta(l_1+l_2)}$$

....

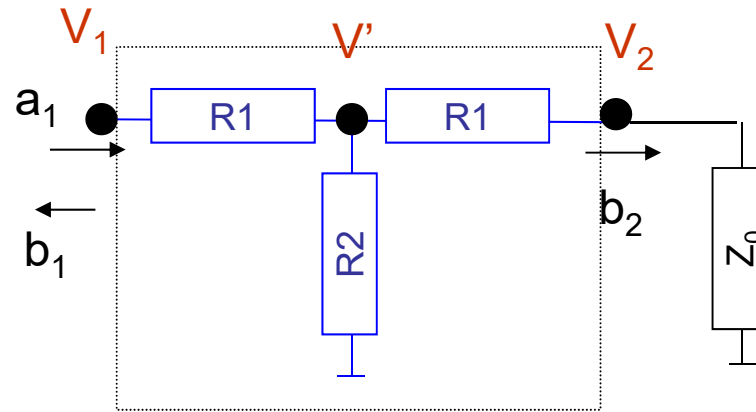
Sólo cambio de fase

BLOQUE I. Tema 4

Contenido. E2b

Cálculo de parámetros S

Ejemplo 1: red T de resistencias con $R_1=R_3$ con líneas de acceso



$$S_{11} = \frac{(R_1 + Z_0) // R_2 + R_1 - Z_0}{(R_1 + Z_0) // R_2 + R_1 + Z_0}$$

$$S_{21} = \frac{Z_0}{Z_0 + R_1} \frac{(R_1 + Z_0) // R_2}{(R_1 + Z_0) // R_2 + R_1} (1 + s_{11})$$

bastante laborioso

BLOQUE I. Tema 4

Contenido. E2c

Potencia

$$\begin{array}{ccc} P_1^+ = \frac{1}{2}|a_1|^2 & ; & P_1^- = \frac{1}{2}|b_1|^2 & ; & P_2^+ = \frac{1}{2}|b_2|^2 \dots \\ \uparrow & & \uparrow & & \uparrow \\ \textit{incidente} & & \textit{reflejada} & & \textit{transmitida} \end{array}$$

$$\frac{P_{ref}}{P_{inc}} = |s_{11}|^2 ; \frac{P_{trans}}{P_{inc}} = |s_{21}|^2 \quad (\textit{si red terminada})$$

Parámetros S en dB

Medida de módulo de parámetros S

Coefficiente de reflexión en red terminada

$$\rho_{IN} = s_{11}$$

BLOQUE I. Tema 4

Contenido. S1

Ejercicio.

TRT de prácticas

BLOQUE I. Tema 4

Contenido. E3a

Coeficiente de reflexión a la entrada en red cargada

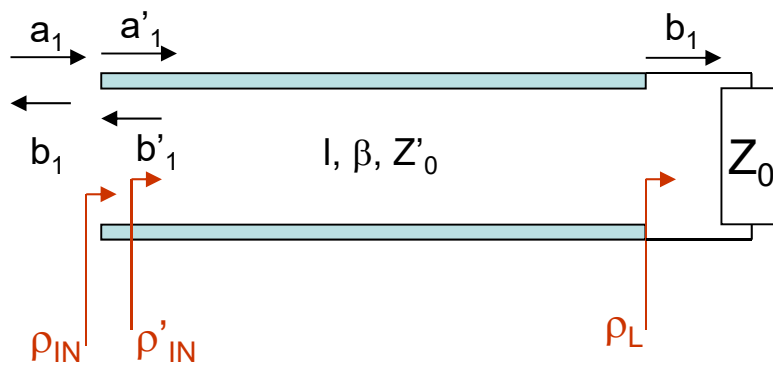
Se demuestra fórmula ρ_{IN} vs $[S]$ y ρ_L

$$\rho_{IN} = s_{11} + \frac{s_{12}s_{21}\rho_L}{1 - s_{22}\rho_L} \qquad \rho_{OUT} = s_{22} + \frac{s_{12}s_{21}\rho_S}{1 - s_{11}\rho_S}$$

Perdidas de retorno. (se recuerda ROE)

$$L_R = 20 \log_{10} |\rho_{IN}|^2$$

Ejemplo: Línea Z_0' , $l = \lambda/2$. (Ellos)



$$\rho_{IN} = \rho_L e^{-2j\beta l}$$

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

BLOQUE I. Tema 4

Contenido. E3b

Ganancia de transferencia de potencia

Se postula fórmula

$$G_T = \frac{P_L}{P_{disp}} = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\rho_s|^2)(1 - |\rho_L|^2)}{|(1 - s_{11}\rho_s)(1 - s_{22}\rho_L) - s_{12}s_{21}\rho_s\rho_L|^2}$$

$$G_T = |S_{21}|^2 \quad \text{Si } \rho_s = \rho_L = 0$$

(Más general que fórmula de Tema 1)

$$P_L = P_{disp} \frac{(1 - |\rho_g|^2)(1 - |\rho_L|^2)}{|1 - \rho_g\rho_L|^2}$$

BLOQUE I. Tema 4

Contenido. E4a

Propiedades de los parámetros S

Red pasiva $|s_{ij}| \leq 1$

Red pasiva sin pérdidas $|s_{11}|^2 + |s_{21}|^2 = 1$

$$|s_{22}|^2 + |s_{12}|^2 = 1$$

Red recíproca $s_{12} = s_{21}$

Red simétrica $s_{12} = s_{21}; s_{11} = s_{22}$

Ejemplo:

Ellos: sección línea β, Z_0, l

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & e^{-j\beta l} \\ e^{-j\beta l} & 0 \end{bmatrix}$$

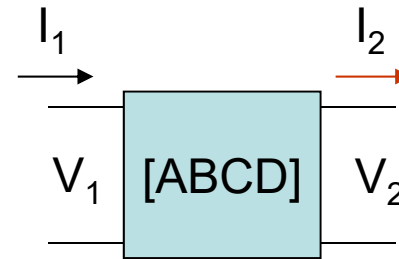
BLOQUE I. Tema 4

Contenido. E4b

Conexión de redes en cascada

Parámetros ABCD.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$



Redes en cascada: $[ABCD]_T = [ABCD]_1 \cdot [ABCD]_2$

Ejemplo TRT de prácticas:

$$[ABCD]_{\text{Medidos}} = [ABCD]_{\text{lin1}} \cdot [ABCD]_{\text{TRT}} \cdot [ABCD]_{\text{lin2}}$$

$$[ABCD]_{\text{TRT}} = [ABCD]_{\text{lin1}}^{-1} \cdot [ABCD]_{\text{Medidos}} \cdot [ABCD]_{\text{lin2}}^{-1}$$

BLOQUE I. Tema 5

Contexto

- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO I: CIRCUITOS DE MICROONDAS**
 - ❑ Tema I.1. Adaptación de impedancias
 - ❑ Tema I.2. Líneas de transmisión I. Conceptos y definiciones.
 - ❑ Tema I.3. Líneas de transmisión II. Aplicación
 - ❑ Tema I.4. Análisis de circuitos de microondas. Parámetros S
 - ❑ **Tema I.5. Circuitos pasivos de microondas I**
 - ❑ Tema I.6. Circuitos pasivos de microondas II
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO II: ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**
 - ❑ Tema II.1. Introducción al bloque y revisión de conceptos generales
 - ❑ Tema II.2. Ondas esféricas
 - ❑ Tema II.3. Ondas planas
 - ❑ Tema II.4. Propagación de ondas en dieléctricos con pérdidas y conductores
 - ❑ Tema II.5. Incidencia de ondas en conductores
 - ❑ Tema II.6. Incidencia de ondas en dieléctricos
 - ❑ Tema II.7. Dispersión y velocidad de grupo
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO III: ÓPTICA Y FOTÓNICA**
 - ❑ Tema III.1. Óptica geométrica. Principios básicos y componentes ópticos
 - ❑ Tema III.2. Fotones: Conceptos básicos e interacción con la materia
 - ❑ Tema III.3. Enlace de comunicaciones óptico: emisor, fibra, detector
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO IV: ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES**
 - ❑ Tema IV.1. Efectos biológicos de la radiación EM
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO V: LABORATORIO**
 - ❑ Tema V.1. Bloque de radiofrecuencia
 - ❑ Tema V.2. Bloque de óptica

BLOQUE I. Tema 5

Objetivos

Diseñar circuitos de dos puertos

Con este tema se pretende:

- ❑ Aplicar las herramientas proporcionadas para diseñar circuitos sencillos que sean de utilidad. Espacial énfasis en diseño de geometrías.
- ❑ Presentar circuitos y sus funciones en un sistema
- ❑ Presentar tecnologías de fabricación circuitos

Al terminar este tema el estudiante debe de ser capaz de:

- ❑ Entender que es un resonador, como se puede realizar con líneas microstrip y saber como se puede acoplar energía.
- ❑ Entender de forma cualitativa como se puede realizar un filtro con líneas resonantes.
- ❑ Para atenuadores, circuladores y divisores/sumadores de potencia:
 - ❑ Conocer su función en los circuitos
 - ❑ Escribir sus matrices S a partir de especificaciones de catálogo
 - ❑ Calcular pérdidas de retorno, pérdidas de inserción y aislamiento entre accesos
 - ❑ Resolver problemas elementales de circuitos con ayuda de software

BLOQUE I. Tema 5

Ítems previos

- *Potencia disponible*
 - *Coeficiente de reflexión*
 - *Carta de Smith*
 - *Adaptación con redes LC*
-

- *Líneas de transmisión: bifilar, coaxial, microstrip, coplanar y stripline*
 - *Parámetros distribuidos: L_d , C_d .*
 - *Ecuaciones del telegrafista.*
 - *Impedancia característica, constante de propagación, velocidad de fase, longitud de onda, longitud eléctrica*
 - *Líneas con dieléctrico inhomogéneo: constante dieléctrica efectiva*
 - *Coeficiente de reflexión*
 - *Impedancia*
 - *Potencia incidente, reflejada y transmitida*
-

- *Tensión y corriente en una línea de transmisión*
 - *Línea en cortocircuito y en circuito abierto*
 - *Onda estacionaria*
 - *R.O.E.*
 - *Línea de $\lambda/4$. Transformador de impedancias*
 - *Carta de Smith con líneas. Adaptación de impedancias.*
 - *Atenuación. Nepers y decibelios.*
-

- *Red de N accesos. Matrices Z, Y.*
- *Red de N accesos. Matriz de dispersión (parámetros S).*
- *Redes de dos accesos. Cálculo de parámetros S.*
- *Cambio de planos de referencia*
- *Coeficiente de reflexión, impedancias de entrada y de salida*
- *Pérdidas de inserción y pérdidas de retorno*
- *Ganancia de transferencia de potencia.*
- *Simetría, reciprocidad y unitariedad*

BLOQUE I. Tema 5

Ítems

- Circuitos híbridos y circuitos monolíticos
- Resonadores y filtros
- Atenuadores
- Divisores (combinadores) de potencia
- Aisladores
- Circuladores

BLOQUE I. Tema 5

Contenido. Índice

Tecnologías de fabricación (S1)

Resonadores
Filtros

Atenuadores
Divisores

Divisores
Redes de distribución

Aisladores
Circuladores

BLOQUE I. Tema 5

Contenido. S1a

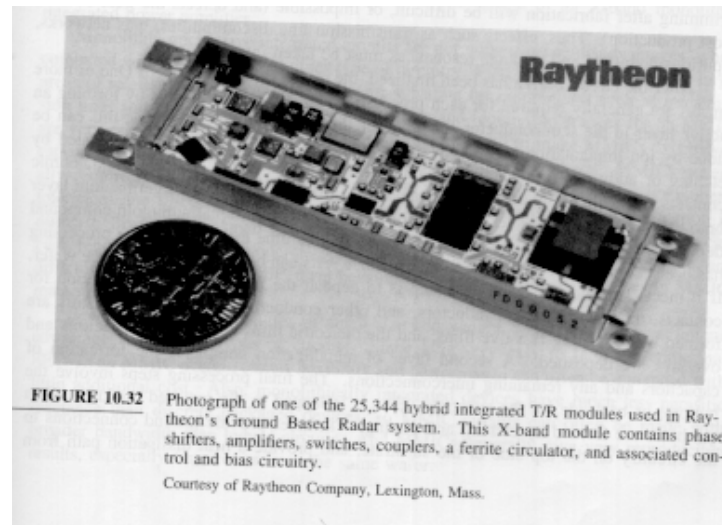
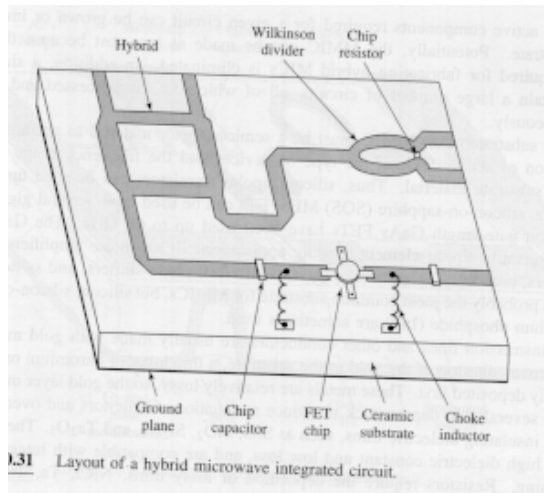
(Empieza tema con clase trabajo en grupo. Justo antes de Lab)

Tecnologías de fabricación

Elementos concentrados y elementos distribuidos

Fabricación de circuito planar

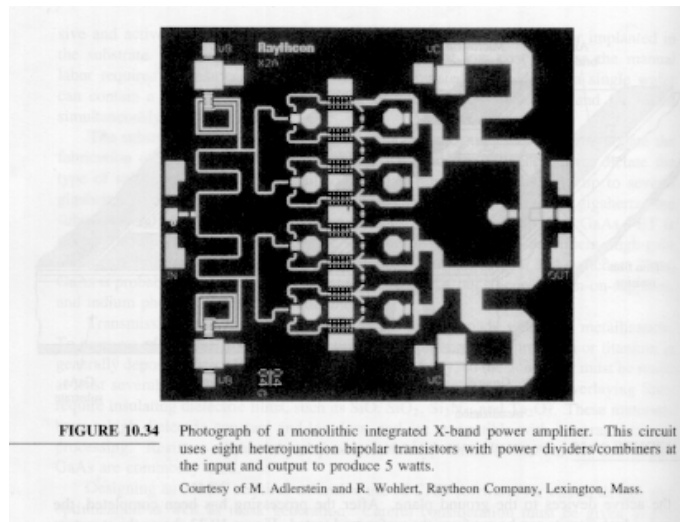
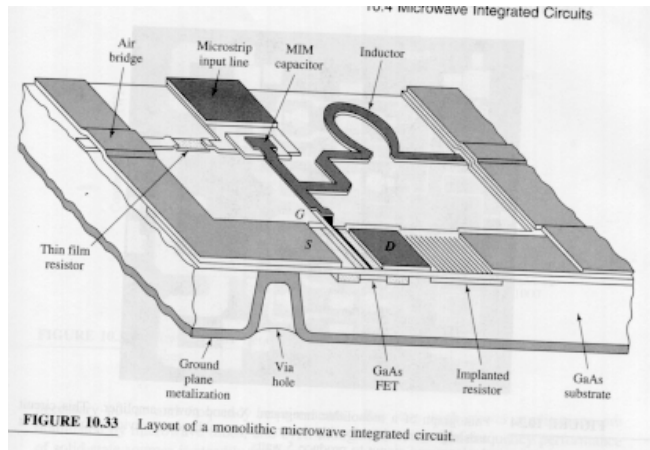
MIC: Híbridos



BLOQUE I. Tema 5

Contenido. S1b

Tecnologías de fabricación. MIC: MMIC



1.8GHz to 2.5GHz Direct Downconversion Receivers

MAX2700/MAX2701

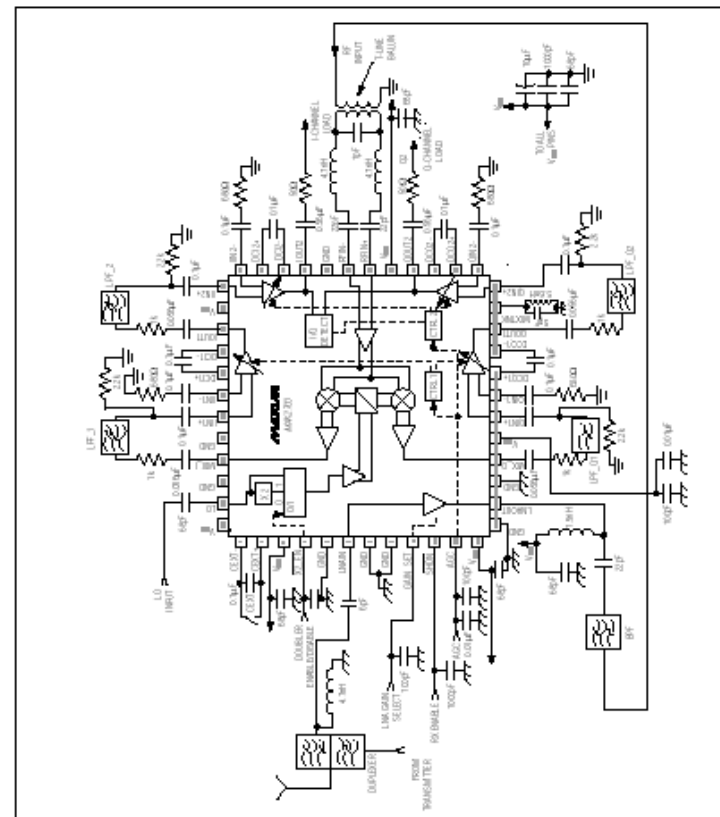


Figure 7. MAX2700 Typical Operating Circuit (1980MHz)

Tecnologías de fabricación. MEMs

BLOQUE I. Tema 5

Contenido. S1d

Ejercicio dibujar un layout de una red de adaptación
TRT de lab RF

BLOQUE I. Tema 5

Contenido. E1a

Resonadores

Energía y pérdidas. Parámetros de un resonador:

Frecuencia de resonancia y factor de calidad
(tamaño, coste, otros...)

$$Q_0 = \omega \frac{W}{P_{loss}}$$

Resonadores con líneas microstrip

Dibujo $V(z)$ e $I(z)$ modo fundamental sección de línea en cc
Otros modos (frecuencias de resonancia)

Dibujo $V(z)$ e $I(z)$ modo fundamental sección de línea en c.a.
($I=0$ en los extremos: analogía cuerda de guitarra)



Dibujo E sección longitudinal modo fundamental sección de línea en c.a.

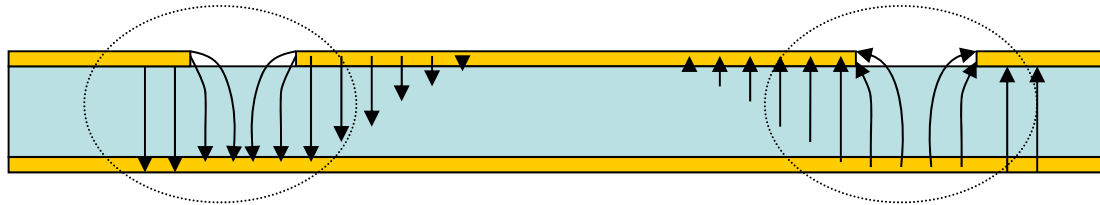
BLOQUE I. Tema 5

Contenido. E1b

Filtro paso banda (orden 1): l.d.t en c.a.

¿Acoplamiento con entrada (generador) y salida (carga)?

Acoplamiento por “proximidad” en extremos



¿Acoplamiento por “proximidad” en centro?

Modelo circuital de “gap”

Red “pi” de capacidades

Discusión de C_g en serie y C_p en paralelo
(ing. de RF imaginar campos)

Otra forma de acoplar: “por contacto”

Ellos: ¿Cómo alimentamos un resonador (l.d.t en ca) para excitar modo fundamental $l=\lambda/2$ pero no el modo $l=\lambda$?

BLOQUE I. Tema 5

Contenido. E1c

Filtros

Ancho de banda, frecuencia central, orden

Perdidas de inserción, de retorno

Documento dielectric.pdf

Ejemplos de diseños con líneas microstrip

I.d.t $\lambda/2$ c.a acopladas longitudinalmente por proximidad

I.d.t $\lambda/2$ c.a acopladas $\lambda/4$ por proximidad

I.d.t $\lambda/2$ c.a acopladas $\lambda/2$ por proximidad

I.d.t $\lambda/2$ c.a en forma de anillo acopladas por proximidad

....

BLOQUE I. Tema 5

Contenido. E2a

Atenuadores

R en serie

Problema: s_{11} y $s_{22} \neq 0$

Atenuador en T.

Grado de libertad para adaptar:

$$\text{si } R_2 = \frac{1}{2} \left[\frac{Z_0^2}{R_1} - R_1 \right] \quad s_{11} = s_{22} = 0 \quad \text{y} \quad s_{21} = s_{12} = \frac{1 - R_1}{1 + R_1}$$

*Ejemplo. Diseñar atenuador 10 dB adaptado
¿atenuación cuando se carga con 75Ω ?
Calcular G_T y da 11 dB*

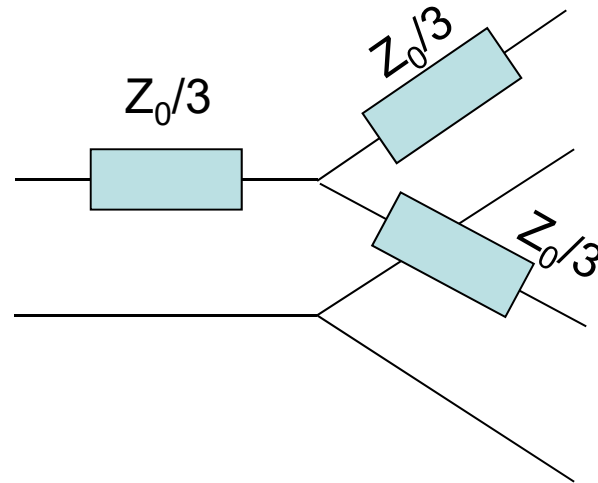
Atenuador en Π (solamente mencionar)

BLOQUE I. Tema 5

Contenido. E2b

Divisores

Divisor resistivo



Cálculo de [S] (*primer ejercicio con red de tres puertos*)

$$\begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & 0 & 1/2 \\ 1/2 & 1/2 & 0 \end{bmatrix}$$

¿potencia disipada en resistencias?

BLOQUE I. Tema 5

Contenido. S2

Diseño de un resonador microstrip

Atenuadores

R en serie

Atenuador en T.

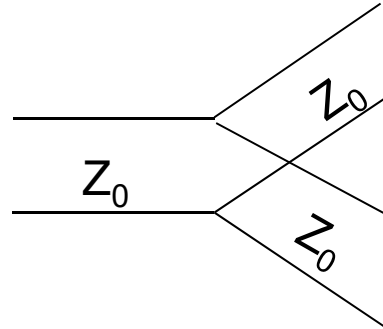
Comprobaciones con RFSIM99 (Atenuador en II)

BLOQUE I. Tema 5

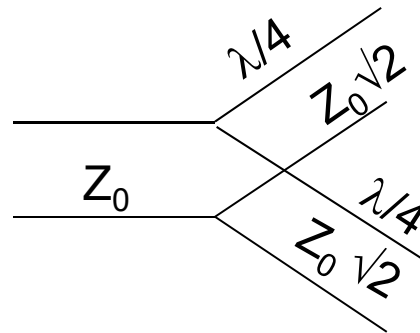
Contenido. E3a

Divisores

Unión T



No adaptada: $Z_{IN} = Z_0/2$

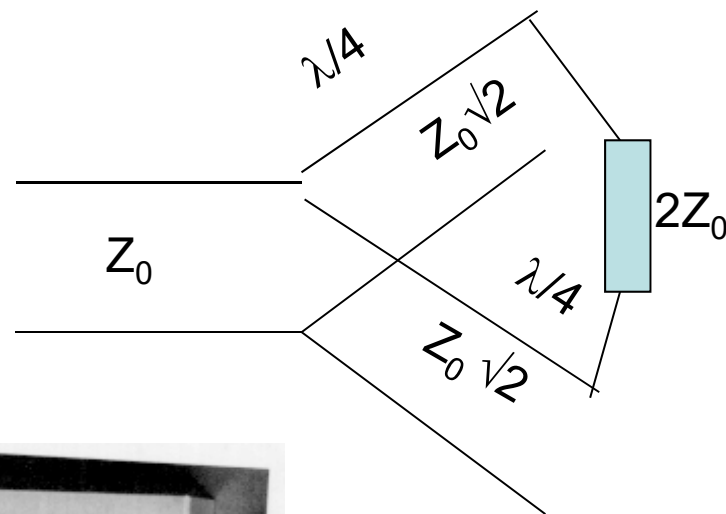


$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & -j\sqrt{2} & -j\sqrt{2} \\ -j\sqrt{2} & 1 & -1 \\ -j\sqrt{2} & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

BLOQUE I. Tema 5

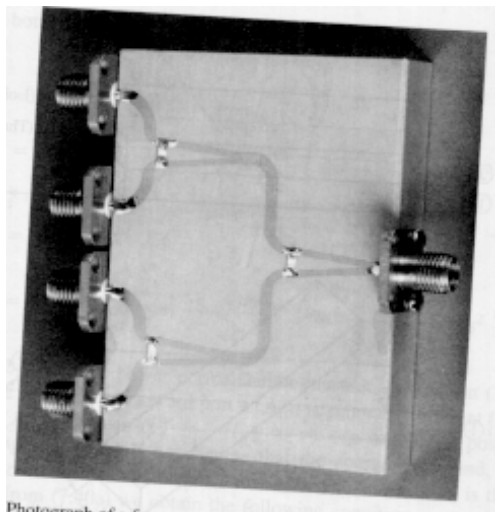
Contenido. E3b

Divisor de Wilkinson. Esquema y postular [S]



$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & -j\sqrt{2} & -j\sqrt{2} \\ -j\sqrt{2} & 0 & 0 \\ -j\sqrt{2} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Aislamiento



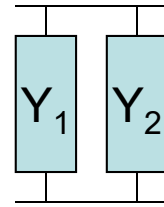
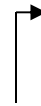
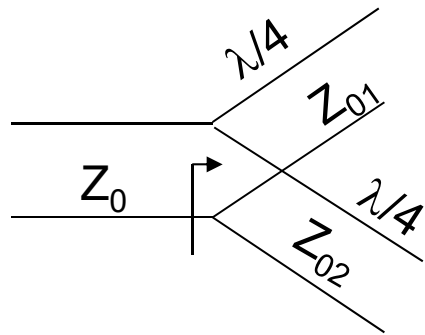
Photograph of a...

BLOQUE I. Tema 5

Contenido. E3c

Redes de distribución

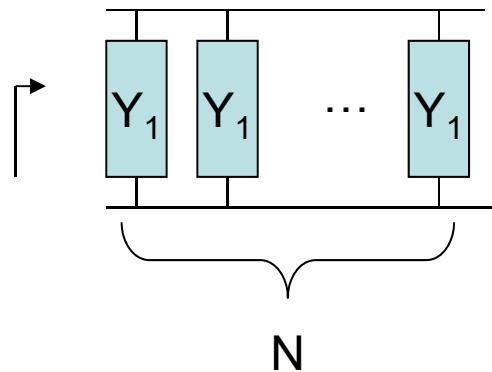
Divisores asimétricos: $P_2 = \alpha P_1$



$$\begin{cases} Y_0 = Y_1 + Y_2 \\ Y_2 = \alpha Y_1 \end{cases}$$

Con Z_1 y Z_2 : Z_{01} y Z_{02}

Divisores 1-N



$$Y_0 = NY_1$$

Con Z_1 : Z_{01} de las N líneas

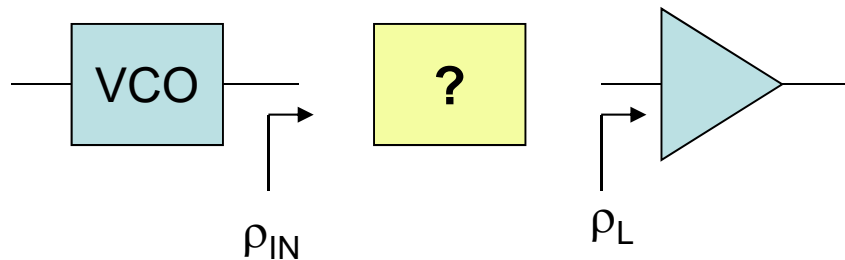
Divisores asimétricos y divisores 1-N de Wilkinson: bibliografía

BLOQUE I. Tema 5

Contenido. E4a

Aisladores

Problema introducción: VCO + amplificador



ρ_L no muy bueno y frecuencia VCO depende de carga de VCO

Queremos garantizar $\rho_{IN}=0$

$$\rho_{IN} = s_{11} + \frac{s_{12}s_{21}\rho_L}{1 - s_{22}\rho_L} \Rightarrow [S] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$



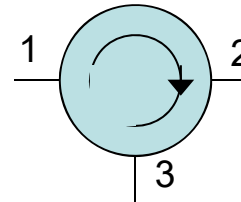
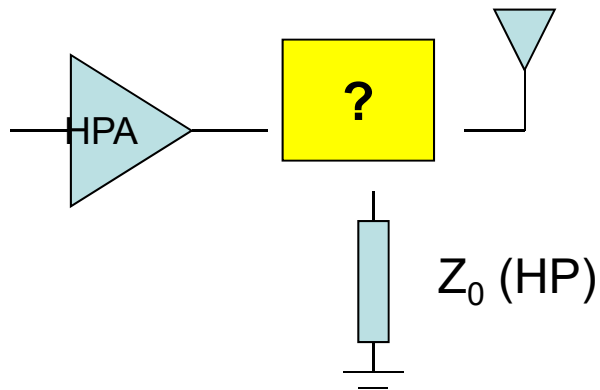
$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & I \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Aislamiento: } 10, 20, 30 \text{ dB}$$

BLOQUE I. Tema 5

Contenido. E4b

Circuladores

Problema: estación base telefonía móvil



$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \alpha & \beta & \gamma \\ \gamma & \alpha & \beta \\ \beta & \gamma & \alpha \end{bmatrix}$$

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 + |\gamma|^2 = 1$$

Perdidas de retorno aislamiento pérdidas de inserción

Otro ejemplo: Esquema de un RADAR

BLOQUE I. Tema 6

Contexto

- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO I: CIRCUITOS DE MICROONDAS**
 - ❑ Tema I.1. Adaptación de impedancias
 - ❑ Tema I.2. Líneas de transmisión I. Conceptos y definiciones.
 - ❑ Tema I.3. Líneas de transmisión II. Aplicación
 - ❑ Tema I.4. Análisis de circuitos de microondas. Parámetros S
 - ❑ Tema I.5. Circuitos pasivos de microondas I
 - ❑ **Tema I.6. Circuitos pasivos de microondas II**
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO II: ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**
 - ❑ Tema II.1. Introducción al bloque y revisión de conceptos generales
 - ❑ Tema II.2. Ondas esféricas
 - ❑ Tema II.3. Ondas planas
 - ❑ Tema II.4. Propagación de ondas en dieléctricos con pérdidas y conductores
 - ❑ Tema II.5. Incidencia de ondas en conductores
 - ❑ Tema II.6. Incidencia de ondas en dieléctricos
 - ❑ Tema II.7. Dispersión y velocidad de grupo
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO III: ÓPTICA Y FOTÓNICA**
 - ❑ Tema III.1. Óptica geométrica. Principios básicos y componentes ópticos
 - ❑ Tema III.2. Fotones: Conceptos básicos e interacción con la materia
 - ❑ Tema III.3. Enlace de comunicaciones óptico: emisor, fibra, detector
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO IV: ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES**
 - ❑ Tema IV.1. Efectos biológicos de la radiación EM
- ❑ **BLOQUE TEMÁTICO V: LABORATORIO**
 - ❑ Tema V.1. Bloque de radiofrecuencia
 - ❑ Tema V.2. Bloque de óptica

BLOQUE I. Tema 6

Objetivos

+ *diseño con énfasis en circuitos realizables*

Con este tema se pretende:

- Deducir matrices de parámetros S a partir de comportamiento cualitativo
- Diseñar circuitos de cuatro puertos útiles para aplicaciones con concretas.
- Observar como limitaciones de la tecnología condicionan tipo de diseño

Al terminar este tema el estudiante debe de ser capaz de:

- Para líneas acopladas: Conocer el significado de las impedancias de modo par e impar y utilizarlas en simulaciones (ViPEC).
- Para acopladores direccionales: Conocer su función en los circuitos, sus especificaciones (acoplamiento, aislamiento) y utilizarlos en simulaciones.
- Para circuitos híbridos: igual que en el párrafo anterior.

BLOQUE I. Tema 6

Ítems previos

- *Potencia disponible*
 - *Coeficiente de reflexión*
 - *Carta de Smith*
 - *Adaptación con redes LC*
-

- *Líneas de transmisión: bifilar, coaxial, microstrip, coplanar y stripline*
 - *Parámetros distribuidos: L_d , C_d .*
 - *Ecuaciones del telegrafista.*
 - *Impedancia característica, constante de propagación, velocidad de fase, longitud de onda, longitud eléctrica*
 - *Líneas con dieléctrico inhomogéneo: constante dieléctrica efectiva*
 - *Coeficiente de reflexión*
 - *Impedancia*
 - *Potencia incidente, reflejada y transmitida*
-

- *Tensión y corriente en una línea de transmisión*
 - *Línea en cortocircuito y en circuito abierto*
 - *Onda estacionaria*
 - *R.O.E.*
 - *Línea de $\lambda/4$. Transformador de impedancias*
 - *Carta de Smith con líneas. Adaptación de impedancias.*
 - *Atenuación. Nepers y decibelios.*
-

- *Red de N accesos. Matrices Z, Y.*
- *Red de N accesos. Matriz de dispersión (parámetros S).*
- *Redes de dos accesos. Cálculo de parámetros S.*
- *Cambio de planos de referencia*
- *Coeficiente de reflexión, impedancias de entrada y de salida*
- *Pérdidas de inserción y pérdidas de retorno*
- *Ganancia de transferencia de potencia.*
- *Simetría, reciprocidad y unitariedad*

- *Circuitos híbridos y circuitos monolíticos*
- *Resonadores y filtros*
- *Atenuadores*
- *Divisores (combinadores) de potencia*
- *Aisladores*
- *Circuladores*

BLOQUE I. Tema 6

Ítems

- Acopladores direccionales
- Híbridos
- Filtro paso banda con líneas acopladas.

BLOQUE I. Tema 6

Contenido. Índice

Acoplador direccional ideal

AD con cuatro líneas $\lambda/4$
AD con líneas acopladas

Híbrido
Híbrido de 180°
Híbrido, ejemplos de aplicación

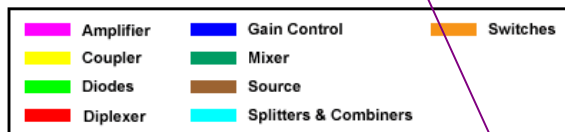
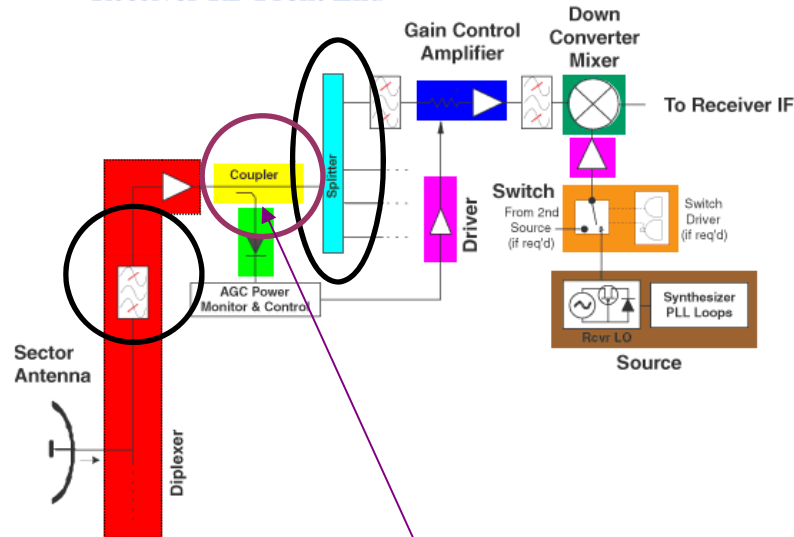
Diseño de filtro de líneas acopladas $\lambda/4$

BLOQUE I. Tema 6

Contenido. S1a

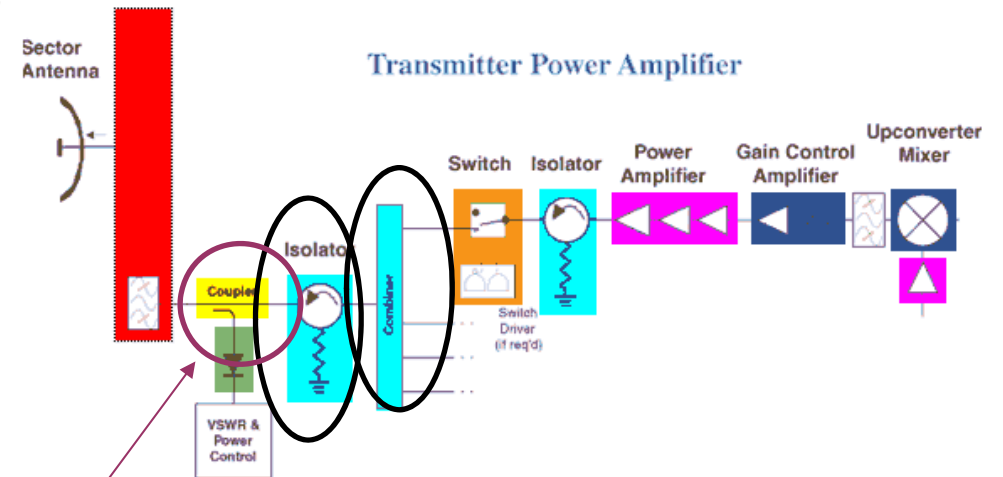
GSM, GPRS, & EDGE

Receiver RF Front End



GSM, GPRS, & EDGE

Transmitter Power Amplifier



acopladores direccionales (y híbridos)

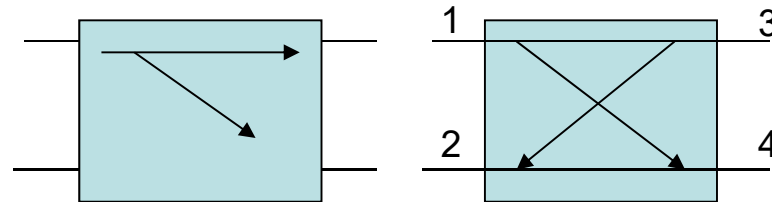
BLOQUE I. Tema 6

Contenido. S1b

Acoplador direccional

Monitorizar (tomar muestra)

Separar ondas propagadas en sentido contrario



Ellos: deducción de [S] ideal de un AD.

Pérdidas de inserción, acoplamiento

Ellos: deducción de [S] real de un AD.

Pérdidas de retorno, aislamiento

En modulo

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & \alpha & \beta \\ 0 & 0 & \beta & \alpha \\ \alpha & \beta & 0 & 0 \\ \beta & \alpha & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\alpha^2 + \beta^2 = 1$$

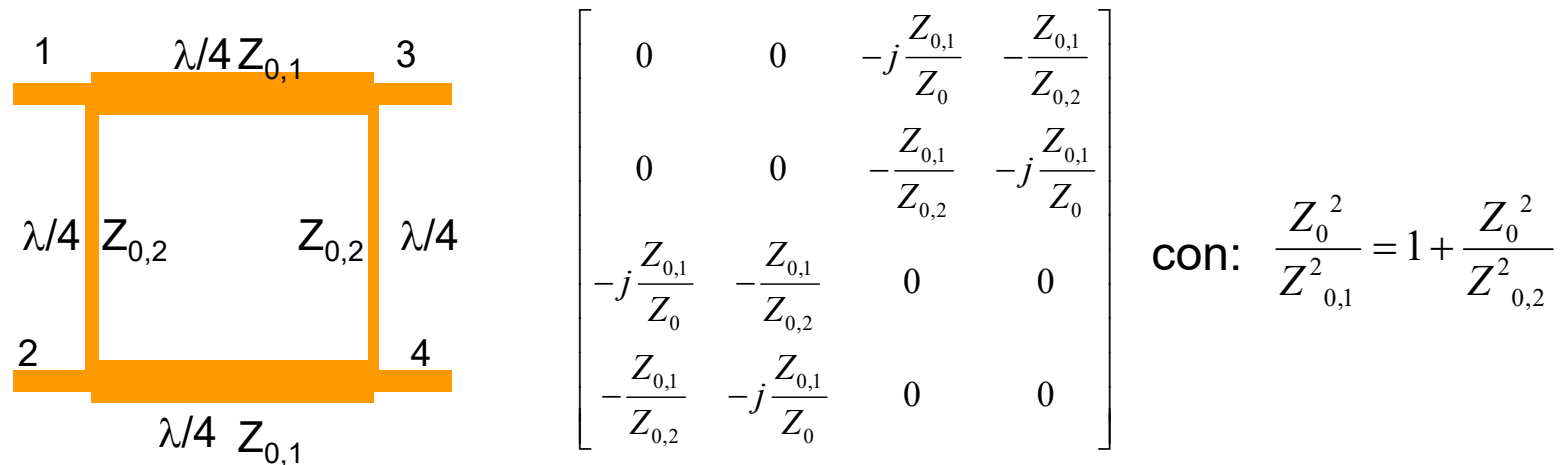
Directividad ($I=D+C$) como factor de mérito

Ellos: Medir ondas que se propagan por mismo cable en sentidos contrario

BLOQUE I. Tema 6

Contenido. E1a

AD con cuatro líneas $\lambda/4$



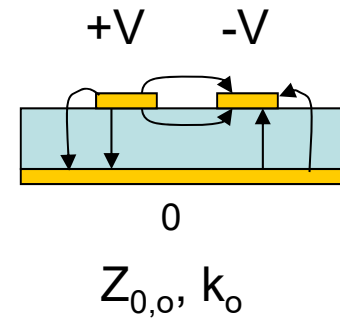
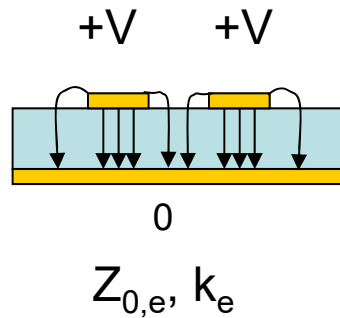
¿ $Z_{0,i}$ para $C=3$ dB? $Z_{0,1} = \frac{Z_0}{\sqrt{2}}; Z_{0,2} = Z_0$

¿ $Z_{0,i}$ para $C=20$ dB? $Z_{0,1} = \frac{Z_0}{10} \longrightarrow$ Irrealizable

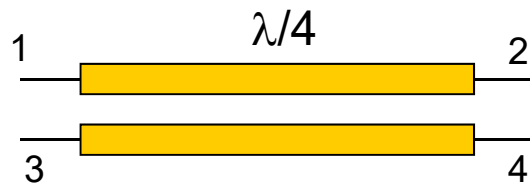
BLOQUE I. Tema 6

Contenido. E1b

AD con líneas acopladas
Modo par e impar.



Diseño (con diferente numeración que anterior)



$$k = \frac{Z_{0,e} - Z_{0,o}}{Z_{0,e} + Z_{0,o}}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & -j\sqrt{1-k^2} & k & 0 \\ -j\sqrt{1-k^2} & 0 & 0 & k \\ k & 0 & 0 & -j\sqrt{1-k^2} \\ 0 & k & -j\sqrt{1-k^2} & 0 \end{bmatrix}$$

BLOQUE I. Tema 6

Contenido. E1c

Valores de separación para C=20 dB

$$k = \frac{1}{10} \rightarrow Z_{0,e} = \frac{11}{9} Z_{0,o} \quad \text{Fácil (TXLINE)}$$

Valores de separación para C=3 dB

$$k = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow Z_{0,e} = 5.8 Z_{0,o} \quad \text{Imposible. Necesitaría separaciones entre líneas muy muy pequeñas}$$

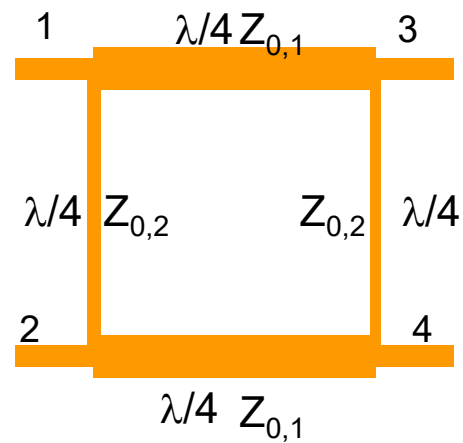
BLOQUE I. Tema 6

Contenido. E2a

Híbrido

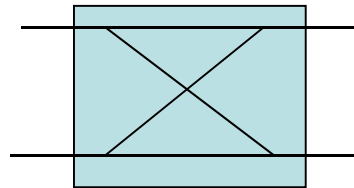
AD con C=3 dB

Matriz S. Híbrido de 90°



$$Z_{0,1} = \frac{Z_0}{\sqrt{2}}; \quad Z_{0,2} = Z_0$$

$$\frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & j & 1 \\ 0 & 0 & 1 & j \\ j & 1 & 0 & 0 \\ 1 & j & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

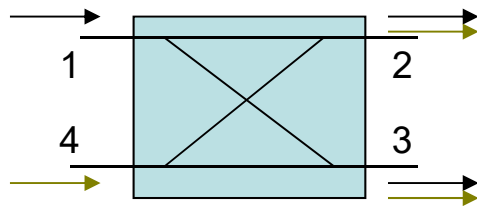


90° de diferencia entre las dos salidas

BLOQUE I. Tema 6

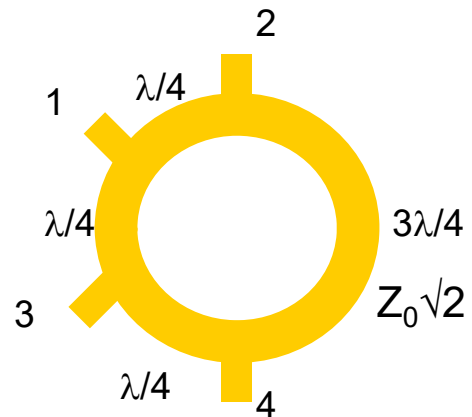
Contenido. E2b

Híbrido de 180°



Input 1: 0° de diferencia

Input 4: 180° de diferencia



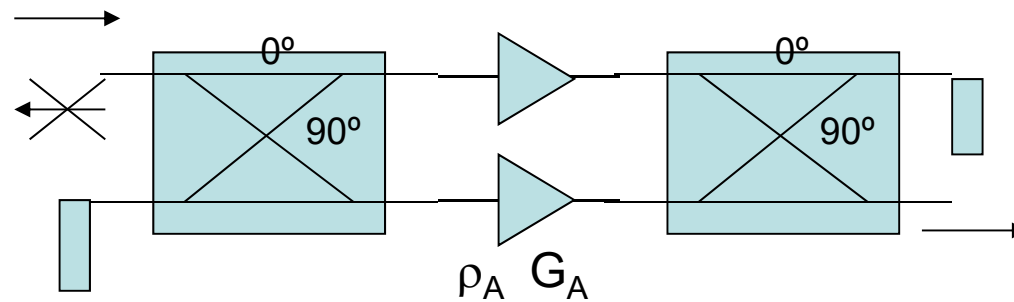
BLOQUE I. Tema 6

Contenido. E2c

Híbrido, ejemplos de aplicación

Híbrido de 180° : Balun

Híbrido de 90° : Adaptación amplificadores



BLOQUE I. Tema 6

Contenido. S2

Diseño de AD. Layout

Diseño de Híbrido. Layout

Otros: Elementos concentrados, transformadores (RFSIM99)

BLOQUE I. Tema 6

Contenido. E3

Depende del ritmo (si no necesario repaso):

Diseño de filtro de líneas acopadas

Diseño de filtro de líneas acopladas $l/4$

Simulación con VIPEC

