

Líneas de transmisión

FACULTAD DE INGENIERIA

Escuela de Telecomunicaciones

Quinto Semestre

Unidad III: Adaptación de impedancias: REDES DE DOS ELEMENTOS

PhD. Daniel Antonio Santillán Haro



Unach

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

Libres por la Ciencia y el Saber

1 REDES L

2 Redes pi y T

3 Trabajos propuestos

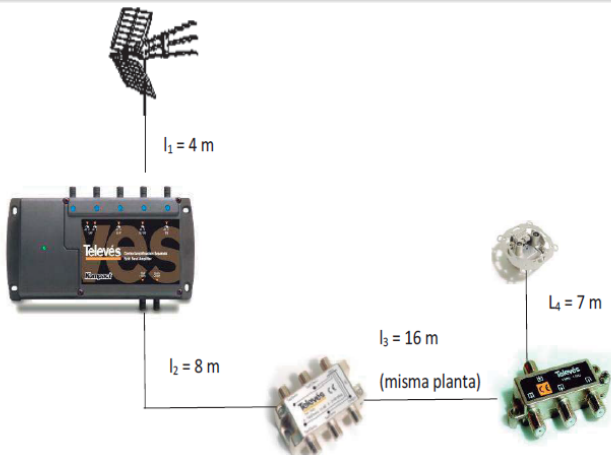
1 REDES L

2 Redes pi y T

3 Trabajos propuestos

Aplicación

- Se diseña una infraestructura común de telecomunicaciones tal y como se muestra en el dibujo (antena, amplificador, derivador, repartidor y toma.)



Aplicación

- Datos elementos de red.

DATOS AMPLIFICADOR

Banda	47-862 MHz
Figura de Ruido	7 dB
M_3 (para usar con dB μ V)	-200dB
Ganancia	30 dB

DATOS TOMA DEL USUARIO

Banda	47-2150 MHz
Pérdidas inserción V/U	$2 \pm 0,5$ dB

Aplicación

- Datos elementos de red.

DATOS REPARTIDOR

Banda	47-2150 MHz
Nº Salidas	5
Pérdidas distribución V/U	$5 \pm 0,25$ dB

DATOS DERIVADOR

Nº Salidas	1
Pérdidas derivación V/U	$16 \pm 0,5$ dB
Pérdidas inserción V/U	$2 \pm 0,25$ dB

Aplicación

- Datos cables.

Referencias		2128	212801	212811	414801	414802	2127	212703	212704	212701	212702	212403
Tipo		Clase A			Clase A+		Clase A					
		CXT			SK6Fplus		CXT-1					
Conductor central	Ø mm	1,00			1,02		1,00					
	Material	Cu			Ac+Cu		Ac+Cu					
	Res. Ohm/Km	<23			<110		<120					
Dieléctrico	Ø mm	4,5			4,6		4,7					
	Material	PEE			PEE		PEE					
Lámina interior	Material	B			B		B					
Malla	Material	Al			Al		Al					
	Res. Ohm/Km	<23			<30		<30					
Lámina antideslizante		No			Si		No					
Petro-Gel		No			No		No					
Cobertura exterior	Ø mm	6,5			6,8		6,7					
	Color	(B)	(B)	(G)	(B)	(B)	(B)	(B)	(B)	(N)	(N)	(B)
	Material	PVC		PVC LSFH	PVC		PVC				PE	
Radio de curvatura mínimo	mm	32,5			34		33					
Blindaje a 1GHz	dB	>85			>95		>85					
Capacidad	pF/m	54			53		54					
Impedancia	Ohm	75			75		75					

Aplicación

- Datos cables.

Referencias		2128	212801	212811	414801	414802	2127	212703	212704	212701	212702	212403
Tipo		Clase A			Clase A+		Clase A					
		CXT			SK6Fplus		CXT-1					
Conductor central	Ø mm	1,00			1,02		1,00					
	Material	Cu			Ac+Cu		Ac+Cu					
	Res. Ohm/Km	<23			<110		<120					
Dieléctrico	Ø mm	4,5			4,6		4,7					
	Material	PEE			PEE		PEE					
Lámina interior	Material	B			B		B					
Malla	Material	Al			Al		Al					
	Res. Ohm/Km	<23			<30		<30					
Lámina antideslizante		No			Si		No					
Petro-Gel		No			No		No					
Cobertura exterior	Ø mm	6,5			6,8		6,7					
	Color	(B)	(B)	(G)	(B)	(B)	(B)	(B)	(B)	(N)	(N)	(B)
	Material	PVC		PVC LSFH	PVC		PVC				PE	
Radio de curvatura mínimo	mm	32,5			34		33					
Blindaje a 1GHz	dB	>85			>95		>85					
Capacidad	pF/m	54			53		54					
Impedancia	Ohm	75			75		75					

Aplicación

- Datos cables.

Referencias		2128	212801	212811	414801	414802	2127	212703	212704	212701	212702	212403
Tipo		Clase A			Clase A+		Clase A					
		CXT			SK6Fplus		CXT-1					
Atenuaciones (dB/m)												
Frecuencia (MHz)	200	0,08			0,10		0,09					
	500	0,14			0,15		0,15					
	800	0,18			0,19		0,20					
	1000	0,21			0,22		0,23					
	1350	0,25			0,26		0,27					
	1750	0,29			0,29		0,32					
	2050	0,32			0,31		0,35					
	2300	0,35			0,33		0,37					

Aplicación

- Calcular.

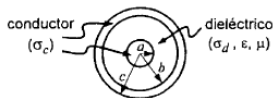
Dados los dos primeros cables de la tabla

- Calcular los tres valores de permitividad del dieléctrico
- Comprobar que el valor de capacidad es el mismo que el de la tabla
- Calcular la conductividad de los tres conductores a partir de la atenuación del cable a 200 MHz.

Aplicación

- Solución.

Cable Coaxial



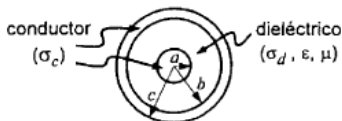
Geometría de un cable coaxial y parámetros de sus materiales.

Bajas frecuencias

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \left\{ \ln(b/a) + \frac{1}{4} + \frac{1}{4(c^2 - b^2)} \left[b^2 - 3c^2 + \frac{4c^4}{(c^2 - b^2)} \ln(c/b) \right] \right\}$$

Aplicación

- Solución.



Bajas frecuencias

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \left\{ \ln(b/a) + \frac{1}{4} + \frac{1}{4(c^2 - b^2)} \left[b^2 - 3c^2 + \frac{4c^4}{(c^2 - b^2)} \ln(c/b) \right] \right\}$$

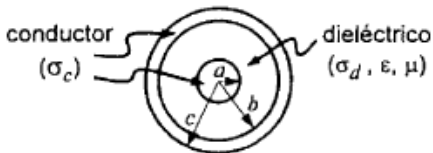
$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(b/a)}$$

$$R = \frac{1}{\sigma_c \pi} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2 - b^2} \right)$$

$$G = \frac{2\pi\sigma_d}{\ln(b/a)}$$

Aplicación

- Solución.



Altas frecuencias

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln(b/a)$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln(b/a)}$$

$$R = \frac{1}{2\pi\ell\sigma_c} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

$$G = \frac{2\pi\sigma_d}{\ln(b/a)}$$

Aplicación

- Solución.

Podemos calcular la permitividad a partir de Impedancia

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \rightarrow \epsilon_r = \left(\frac{60}{Z_0} \ln\left(\frac{D}{d}\right)\right)^2 = [1.4478 \ 1.4520 \ 1.5328]$$

Aplicación

- Solución.

b.

Podemos calcular entonces la capacidad, muy próxima a la del fabricante.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_r\epsilon_o}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} = [53.52 \ 53.6045 \ 55.0746] \text{ pF/m}$$

Aplicación

- Solución.

Calculamos L que nos hará falta para saber si estamos en alta frecuencia

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D}{d}\right) = [0.3008 \ 0.3013 \ 0.3095] \mu\text{H/m}$$

Partiendo de la atenuación del cable que se obtiene de la tabla

$$[0.08 \ 0.10 \ 0.09] \text{dB/m} = [0.0092 \ 0.0115 \ 0.0104] \text{Np/m}$$

Sabemos que

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} \rightarrow R = \alpha 2Z_0 = [1.3825 \ 1.7281 \ 1.5553] \Omega/\text{m}$$

Calculamos si estamos en alta frecuencia

$$\frac{R}{\omega L} = [0.0037 \ 0.0046 \ 0.004]$$

Sí que estamos en alta frecuencia

Aplicación

- Solución.

Sabemos que

$$R_s = \sqrt{\frac{\pi f \mu}{\sigma}} \rightarrow \sigma = \frac{\pi f \mu}{R_s^2} = [62.527 \ 38.4329 \ 48.6425] \cdot 10^6 \text{ S / m}$$

Introducción

- REDES L.

Aunque las soluciones serie y paralelo permiten adaptar cualquier carga pasiva a una línea de transmisión, no proporcionan ningún mecanismo de control sobre la distancia de la carga a la que hay que introducir el elemento reactivo, lo que puede dar lugar a redes de adaptación de gran longitud. Una configuración que permite lograr adaptación de un modo más compacto es la formada por las redes de adaptación de dos elementos reactivos conectados en forma de “L”:

Redes L

- Ejemplo.

Para ilustrar la técnica de síntesis de una red de adaptación en “L” consideraremos el ejemplo de la Figura donde se busca adaptar a una línea de transmisión ideal de impedancia característica $Z_c = 50 \Omega$ un transistor que presenta un factor de reflexión a su entrada de valor $\rho_L = 0,66 \angle -40^\circ$. Como red de adaptación se utilizará la formada por elemento serie - elemento paralelo mostrada en la Figura

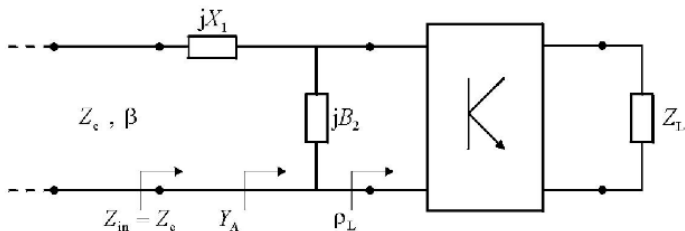


Figura Problema de adaptación planteado mediante red de 2 elementos en “L”

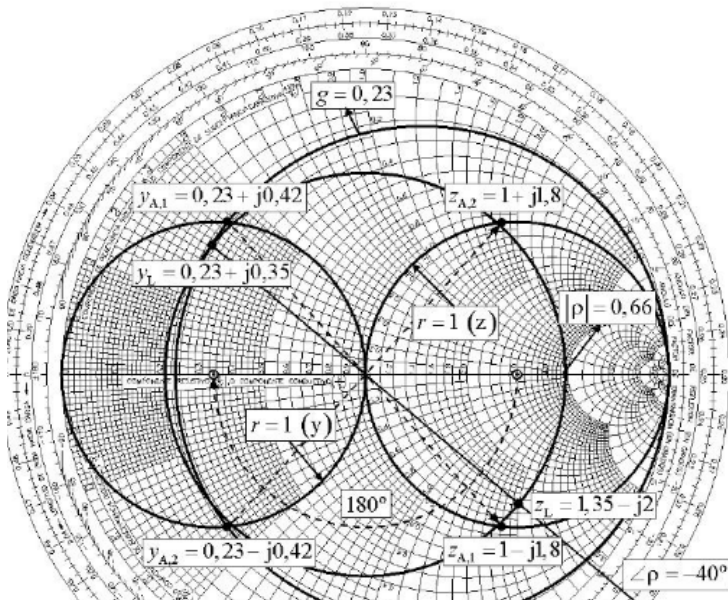
Redes L

- Ejemplo.

Para esta configuración particular en la que el elemento más cercano a la carga está en paralelo resulta más cómodo trabajar con la carta de Smith de admitancias. El primer paso consiste en ubicar sobre dicha carta el valor de la admitancia de carga normalizada respecto de la admitancia característica de la línea (Y_c), y que designaremos por y_L . A continuación, como el elemento más próximo a la carga es una susceptancia en paralelo de valor normalizado b_2 , la admitancia y_A que se observa a su entrada será:

$$y_A = y_L + j b_2 = g_L + j(b_L + b_2)$$

que puede tomar cualquier valor situado sobre la circunferencia de conductancia constante $g = g_L$ en la carta de Smith de admitancias. Para nuestro ejemplo, como el factor de reflexión a la entrada del transistor es $\rho_L = 0,66 \angle -40^\circ$, la admitancia de carga es $y_L = 0,23 + j0,35$ y los posibles valores para la admitancia normalizada y_A estarán ubicados en la circunferencia $g_L = 0,23$



Una segunda condición en el mismo plano se deduce analizando la red de adaptación desde la línea de entrada. Considerando que para adaptación $z_{in}=1$, y que el primer elemento de la red es una reactancia serie, la impedancia z_A puede expresarse como:

$$z_{in}=1=z_A + jx_1 \Rightarrow z_A = z_{in} - jx_1 = 1 - jx_1$$

es decir, se ubicará sobre la circunferencia $r=1$ en la carta de Smith de impedancias.

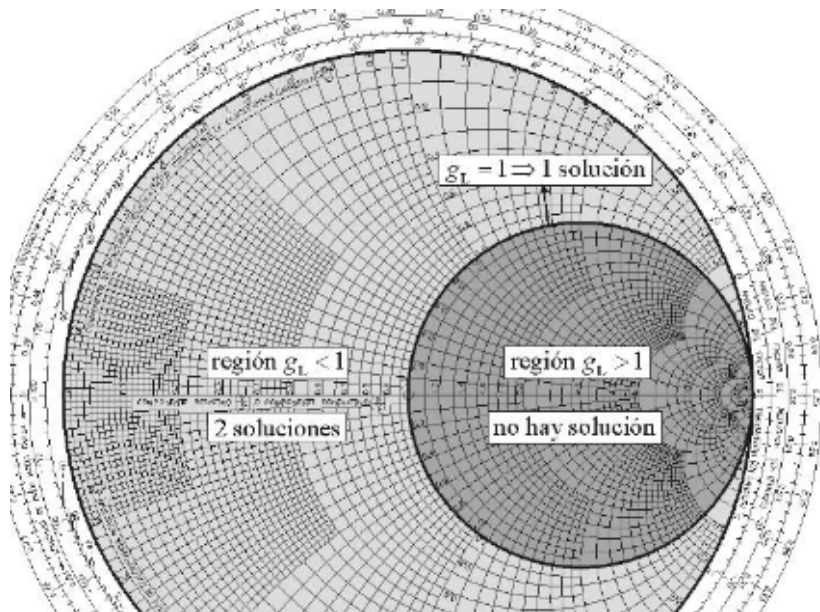
Aunque ya hemos deducido las dos condiciones necesarias para resolver el problema, todavía no las podemos combinar debido a que la primera está situada en la carta de Smith de admitancias y la segunda en la de impedancias. El siguiente paso consiste en pasar la última condición sobre z_A a la carta de Smith de admitancias, para lo que tenemos que aplicar un giro de 180° a la circunferencia $r=1$ dibujada en la carta de Smith de impedancias. Dicha rotación se puede realizar de forma sencilla rotando 180° la posición en la carta de Smith del centro de la circunferencia y volviendo a dibujarlo utilizando ahora el centro rotado y manteniendo el mismo radio, tal y como se muestra

De este modo, ya hemos representado las dos condiciones que ha de verificar y_A en la carta de Smith de admitancias. Los puntos de intersección entre dichas condiciones nos darán los valores de y_A para las distintas soluciones de nuestro problema. En función del valor de la conductancia de carga normalizada g_L se producirá en este momento alguno de los 3 casos siguientes:

- a) $g_L > 1$. En este caso la circunferencia correspondiente a una conductancia normalizada $g = g_L$ no interseca en ningún punto con la circunferencia $r = 1$ dibujada en la carta de Smith de admitancias. Como resultado, no se podrá conseguir adaptación con la red de dos elementos en “L” de la Figura (a). Sin embargo, si usamos en su lugar como red de adaptación su configuración dual representada en la Figura (b) nos encontraremos con dos posibles soluciones.

- b) Si $g_L = 1$ existirá un único punto de intersección entre ambas condiciones (las circunferencias son tangentes) y que además coincidirá con $y_A = 1$. Por lo tanto, sólo será necesario el elemento reactivo más cercano a la carga para compensar el valor de b_L y conseguir la adaptación. La reactancia del elemento serie será evidentemente cero.
- c) Cuando $g_L < 1$ nos encontraremos siempre con dos intersecciones válidas entre las circunferencias que representan cada una de las condiciones. Como resultado, obtenemos dos posibles valores para y_A de la forma $y_A = g_L \pm jb_A$.

Adaptación de Impedancias Figura (a)



En el ejemplo de red de adaptación que estamos considerando $g_L = 0,23 < 1$, y por lo tanto existirán dos valores válidos de y_A que permiten obtener adaptación, que son los puntos $y_{A,1} = 0,23 + j0,42$ e $y_{A,2} = 0,23 - j0,42$

A partir de las soluciones encontradas para y_A es fácil despejar el valor correspondiente al elemento reactivo paralelo para cada posible solución:

$$jb_{2,i} = (y_{A,i} - y_L) = j(b_{A,i} - b_L)$$

que en nuestro caso toman el valor $b_{2,1} = 0,07$ y $b_{2,2} = -0,77$.

Para determinar ahora el valor de la reactancia serie podemos utilizar la relación para obtener:

$$jx_{1,i} = 1 - z_{A,i} = -jx_{A,i}$$

donde el valor de $z_{A,i} = 1 + jx_{A,i}$ se obtiene pasando los puntos intersección $y_{A,1}$ e $y_{A,2}$ a la carta de Smith de impedancias. Como $y_{A,1}$ e $y_{A,2}$ toman valores conjugados, también lo serán los valores de $z_{A,1}$ y $z_{A,2}$, y atendiendo a los valores para la reactancia serie de ambas soluciones siempre tendrán el mismo valor absoluto y distinto signo.

Finalmente, procediendo de este manera en nuestro problema de adaptación obtenemos los puntos $z_{A,1} = 1 - j1,8$ y $z_{A,2} = 1 + j1,8$, que dan lugar a unos elementos reactivos serie de valor normalizado $x_{1,1} = 1,8$ y $x_{1,2} = -1,8$. Como resultado, la primera solución de nuestro problema utiliza un elemento paralelo de susceptancia normalizada $b_{2,1} = 0,07$ con comportamiento capacitivo y un elemento serie inductivo de reactancia normalizada $x_{1,1} = 1,8$. Por otro lado, la segunda solución se construye con un elemento paralelo inductivo de susceptancia normalizada $b_{2,2} = -0,77$ y una reactancia serie normalizada $x_{1,2} = -1,8$ con carácter capacitivo. En un problema genérico se podría haber obtenido como solución cualquier otra combinación de elementos inductivos y capacitivos.

El último paso a dar sería elegir de las soluciones obtenidas aquélla que nos parezca la más adecuada para la topología particular del circuito, e implementarla usando bien elementos concentrados (bobinas y condensadores) o distribuidos (stubs). Así por ejemplo, si en nuestra aplicación se polariza el transistor mediante las propias líneas de transmisión y elegimos una implementación con stubs (o con elementos concentrados), la configuración más adecuada es la mostrada en la Figura . Obsérvese que un stub en circuito abierto (o condensador) para el elemento serie no dejaría pasar la corriente continua de polarización al transistor; mientras que un stub en cortocircuito (o bobina) como elemento en paralelo produciría un cortocircuito a la entrada del transistor en continua que no permitiría su correcta polarización con una tensión de base-emisor.

Adaptación de Impedancias Figura (a)

El último paso a dar sería elegir de las soluciones obtenidas aquélla que nos parezca la más adecuada para la topología particular del circuito, e implementarla usando bien elementos concentrados (bobinas y condensadores) o distribuidos (stubs). Así por ejemplo, si en nuestra aplicación se polariza el transistor mediante las propias líneas de transmisión y elegimos una implementación con stubs (o con elementos concentrados), la configuración más adecuada es la mostrada en la Figura . Obsérvese que un stub en circuito abierto (o condensador) para el elemento serie no dejaría pasar la corriente continua de polarización al transistor; mientras que un stub en cortocircuito (o bobina) como elemento en paralelo produciría un cortocircuito a la entrada del transistor en continua que no permitiría su correcta polarización con una tensión de base-emisor.

Adaptación de Impedancias Figura (a)

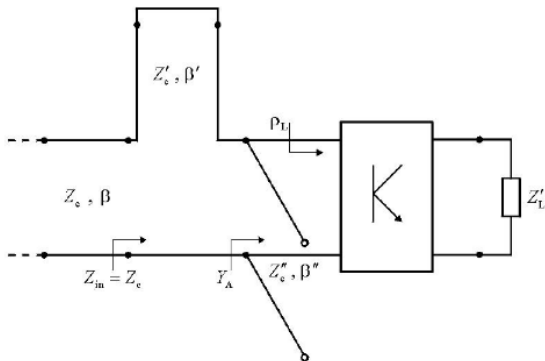


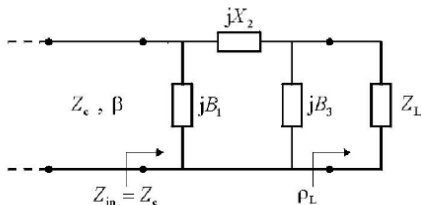
Figura *Implementación adecuada de la red de adaptación con elementos distribuidos*

1 REDES L

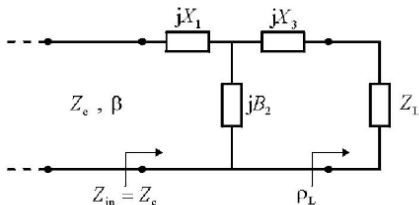
2 Redes pi y T

3 Trabajos propuestos

Otras posibles configuraciones que permiten realizar la adaptación de una carga a la línea de transmisión son las redes de 3 elementos en “Π” y en “T” mostradas en la Figura. Dichas redes, que vuelven a ser duales entre sí, pueden considerarse como una extensión de las redes de 2 elementos en “L”, a las que se les ha añadido un elemento reactivo en serie o en paralelo en uno de sus extremos. Como resultado del elemento adicional, dichas redes presentan infinitas soluciones para adaptar la carga a la línea de transmisión. Este grado de libertad adicional normalmente se utiliza para ajustar el ancho de banda en frecuencias donde se consigue el grado de adaptación adecuado.



(a)



(b)

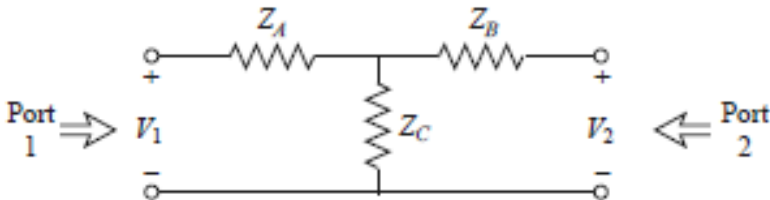
1 REDES L

2 Redes pi y T

3 Trabajos propuestos

PROPUESTA 1

- Calcular la matriz de impedancia Z para la red T de la figura



PROPUESTA 2

- Obtener la solución de la red de adaptación en L analizado en el Ejemplo, para adaptar a una línea de transmisión de impedancia característica $Z_c = 75\Omega$.
- Explicar la matriz de dispersión (Investigar la estructura de un analizador vectorial de redes).
- Explicar la matriz de transmisión.

Líneas de transmisión

FACULTAD DE INGENIERIA

Escuela de Telecomunicaciones

Quinto Semestre

Unidad III: Adaptación de impedancias: REDES DE DOS ELEMENTOS

PhD. Daniel Antonio Santillán Haro



Unach

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

Libres por la Ciencia y el Saber