Filtros en Microstrip

Las líneas de transmisión de tres conductores (cuatro con uno en común) pueden, como se ha visto, reducirse a la operación de dos modos de propagación, el par y el impar, que son independientes.

En este sentido pueden ser analizadas por descomposición en líneas de transmisión de dos conductores.

Se propone entonces hallar las matrices de impedancia o admitancia de acuerdo a la siguiente figura. A estos circuitos equivalentes se los conoce como diuagramas de alambre.

Filtros en Microstrip

Hay disponibles fórmulas de análisis simples para la determinación de impedancias características con

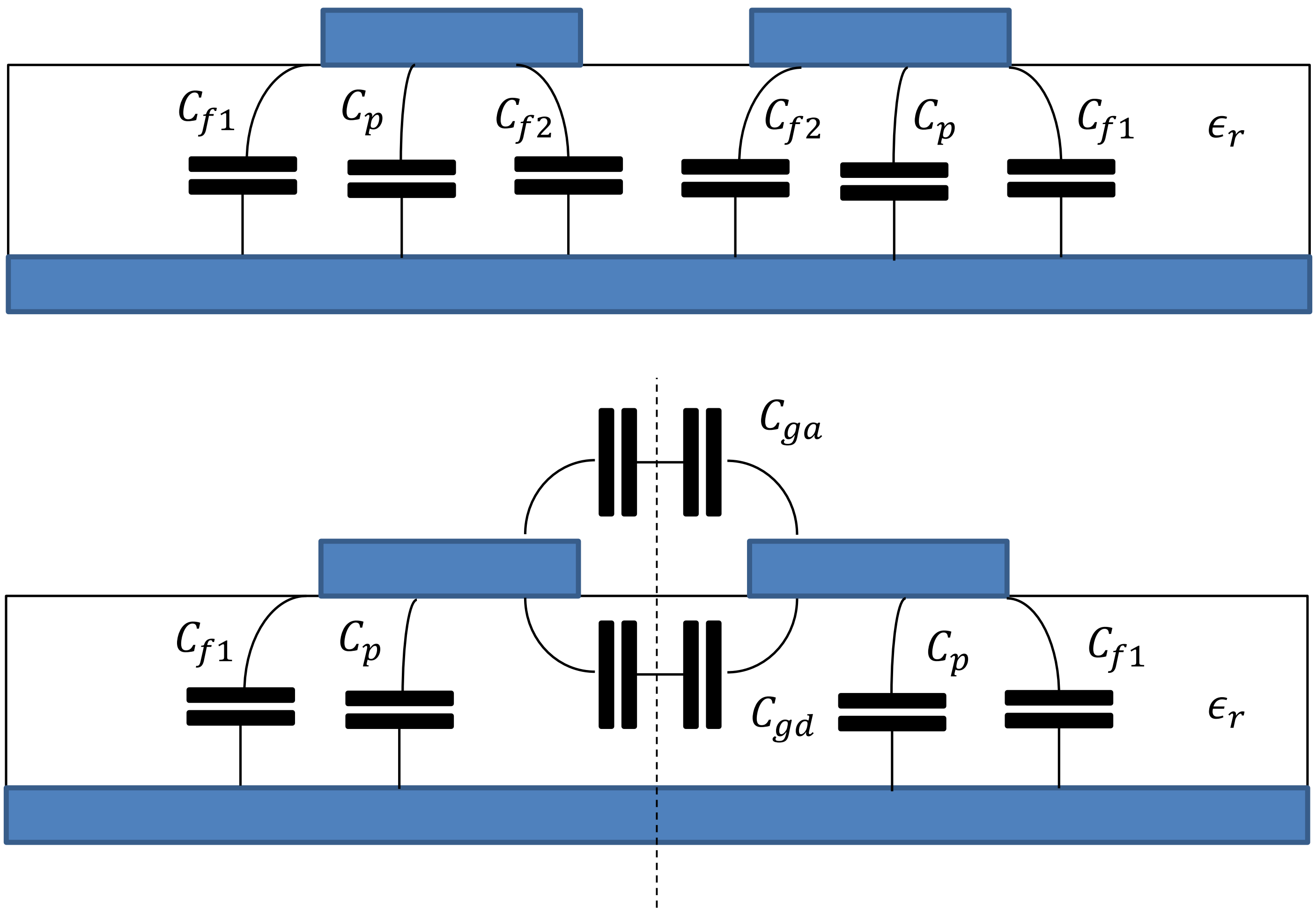
una precisión dentro del 3% [5-7]. Las capacitancias de la línea de aire y de la línea de sustrato forman la base de las expresiones y las capacitancias se desglosan como se muestra en la Figura. La exactitud del 3% se mantiene en los rangos:

$$0.2 \leq \frac{W}{h} \leq 2 \qquad\qquad 0.05 \leq \frac{s}{h} \leq 2$$

Las capacitancias totales para cada modo se pueden escribir, para el modo par:

$$C_e = C_p + C_{f1} + C_{f2}$$

Acopladores. Expresiones de diseño.



Acopladores. Expresiones de diseño.

Para el modo impar:

$$C_o = C_p + C_{f1} + C_{ga} + C_{gd}$$

La capacitancia C_p simplemente se relaciona con el valor de la línea de placas paralelas dado por

$$C_p = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{W}{h}$$

Las expresiones de diseño de estas capacidades para el microstrip fueron presentadas en el capítulo de líneas de transmisión acopladas.

Diseño de filtros en Microstrip

Estas capacidades están relacionadas con los valores deseados de la estructura del filtro:

$$Y_{oo} = v(C_{11} + C_{12})$$
$$C_{oo} = C_{11} + C_{12}$$
$$Y_{oe} = v(C_{11} - C_{12})$$
$$C_{oe} = C_{11} - C_{12}$$

Dado que C_{oo} y C_{oe} son valores conocidos, se pueden obtener los valores

$$C_{11} = \left(\frac{C_{oo} + C_{oe}}{2}\right)$$
$$C_{11} = \left(\frac{C_{oo} - C_{oe}}{2}\right)$$

Diseño de filtros en Microstrip

En general nos interesa normalizar estas expresiones respecto de la constante dieléctrica $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ del material de manera que las expresiones son entonces:

$$\frac{C_{11}}{\epsilon} = \left(\frac{C_p + C_f + \left(C_{gd} + C_f' + C_{ga} \right)/2}{\epsilon} \right)$$

$$\frac{C_{12}}{\epsilon} = \left(\frac{C_{gd} + C_{ga} - C_f'}{2\epsilon} \right)$$

La capacidad C_f' se tiene en cuenta solo cuando la tira es alguna de las que se encuentran en los extremos de la estructura del filtro.

Adicionalmente se tiene que tener en cuenta que las cantidades C/ϵ son adimensionales.

Diseño de filtros en Microstrip

Existen otras expresiones conocidas igualmente ùtiles tales como:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$LC = \mu\epsilon$$

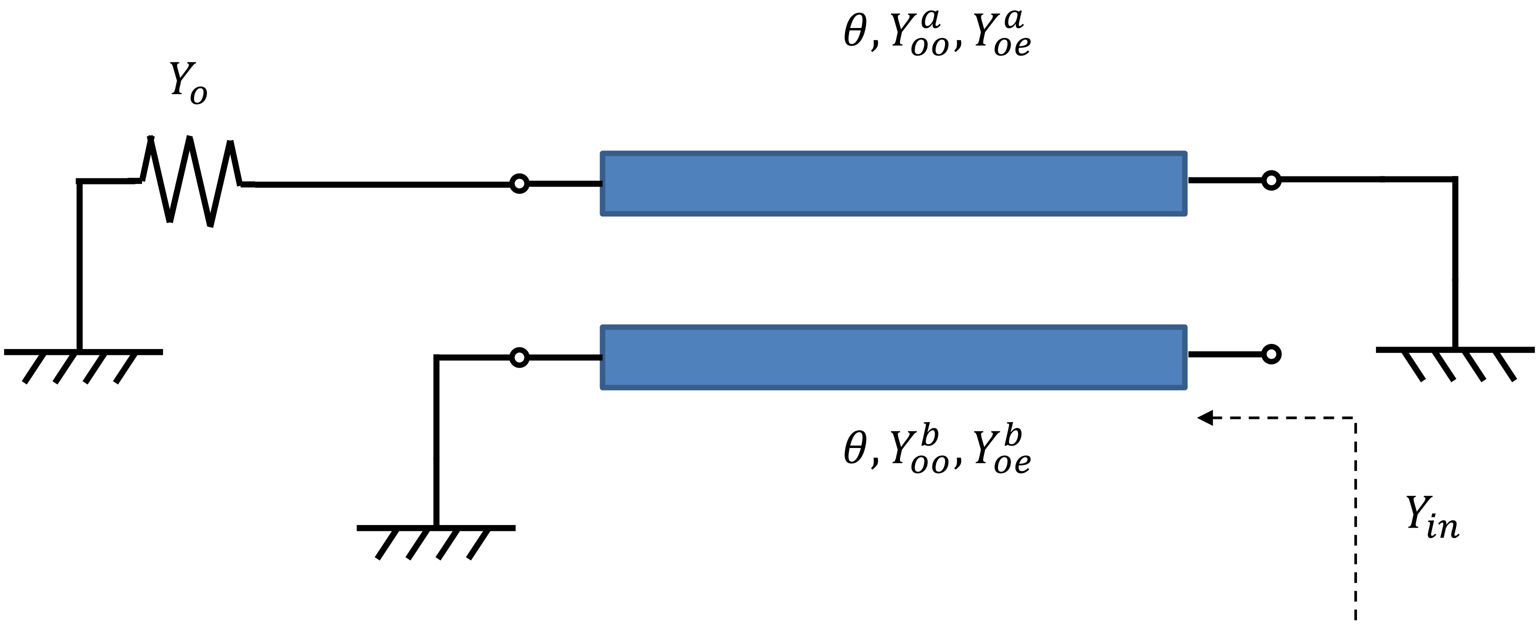
$$Z_0 = \sqrt{\frac{(\mu\epsilon\ /C)}{C}} = \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{C^2}} = \sqrt{\frac{\mu\epsilon\epsilon}{\epsilon C^2}} = \frac{\sqrt{\mu/\epsilon}}{(C/\epsilon)} = \frac{120\pi\sqrt{\mu_r\epsilon_r}}{(C/\epsilon)}$$

Si $\mu_r = 1$

$$Z_0\sqrt{\epsilon_r} = \frac{120\pi}{(C/\epsilon)}$$

Adaptacion por acoplamiento

El dispositivo acoplado analizado puede ser utilizado con fines de adaptación. La estructura puede ser interpretada como un transformador ideal.

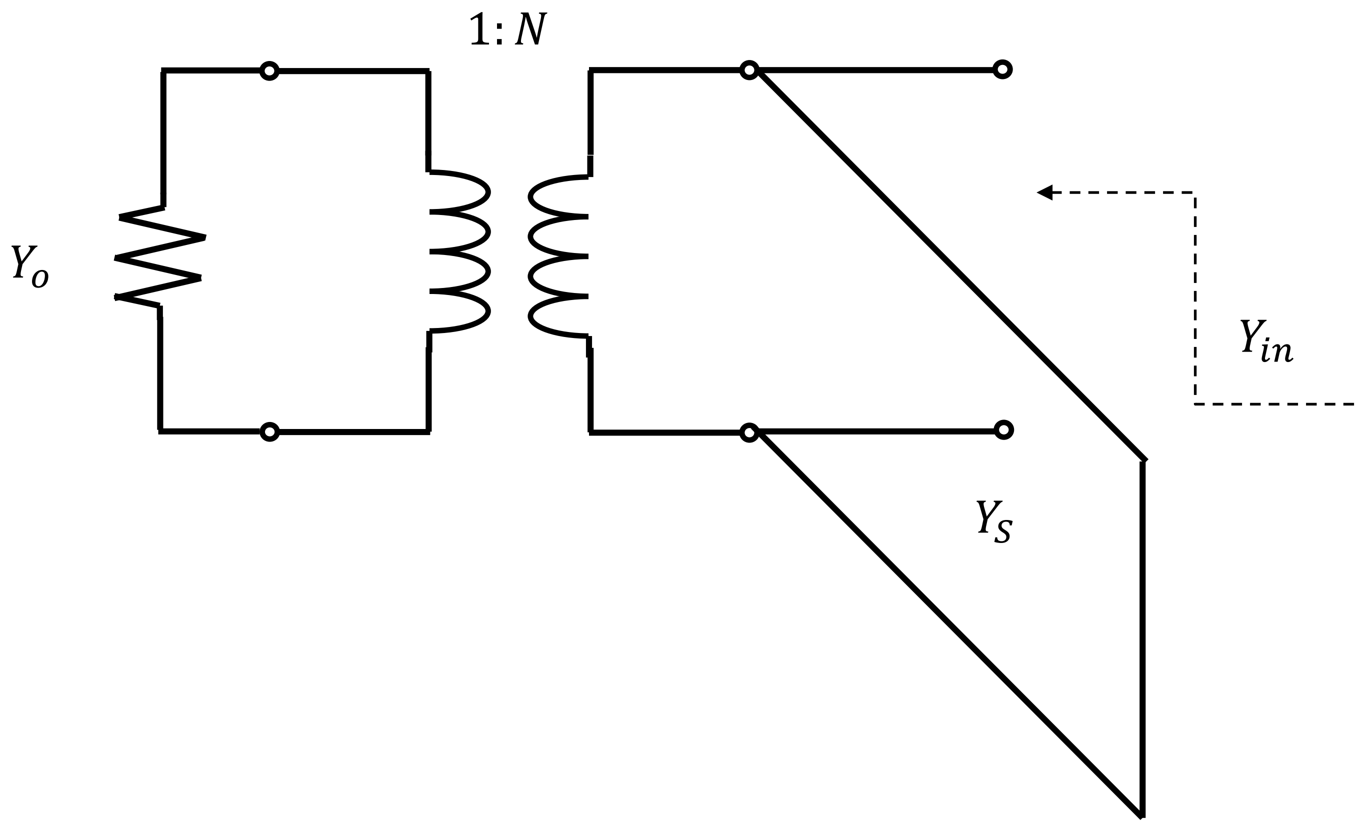


Se debe cumplir que:

$$Y_o = \frac{Y_{oo}^{a} + Y_{oe}^{b}}{2}$$

Adaptacion por acoplamiento

La estructura acoplada es equivalente al siguiente circuito:



Diseño de filtros en Microstrip

Si se cumple que:

$$Y_o = \frac{Y_{oo}^{a} + Y_{oe}^{b}}{2}$$

Las admitancias de modo par e impar del sistema se calculan como:

$$Y_{oo}^{a} = Y_o \left[\sqrt{\frac{G_T}{Y_o}} + 1 \right]$$

$$Y_{oe}^{a} = 2Y_o - Y_{oo}^{a}$$

La impedancia característica de la línea en paralelo es:

$$Y_S = Y_o \frac{N^2 - 1}{N^2} + Y_{oe}^{a} - Y_{oe}^{b}$$

Diseño de filtros en Microstrip

Con

$$N = \sqrt{\frac{Y_o}{G_T}}$$

Combinando con expresiones anteriores:

$$N = \frac{2Y_o}{Y_{oo}^{a} - Y_{oe}^{a}}$$

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

Diseñe un filtro Chevyshev de $0.5\,dB$ de ripple, de orden $n = 2$, centrado en $f_0 = 700\,MHz$ y con un ancho de banda de $\delta f = 35\,MHz$.

De las tablas se obtiene:

$$q_1 = q_2 = 1.9497$$

$$k_{12} = 0.7225$$

El ancho de banda fraccional es:

$$\delta = \frac{\delta f}{f_0} = \frac{35\,MHz}{700\,MHz} = 0.05$$

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

$$K_{12} = k_{12}\delta = 0.036125$$

$$Q_1 = \frac{q_1}{\delta} = 38.994 = Q_2$$

Para el calculo se adopta un valor de impedancia conveniente Z_a que determina el valor de la capacidad que cada línea tendrá respecto a masa.

Usando

$$Z_a\sqrt{\epsilon_r} = \frac{120\pi}{(C/\epsilon)}$$

$$C/\epsilon = \frac{120\pi}{\left(Z_a\sqrt{\epsilon_r}\right)}$$

Con $Z_a = 28\,\Omega$, $\epsilon_r = 3.25$

$$C/\epsilon = 7.4627$$

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

Suponiendo en la primera iteración, denotada con un superíndice 1, que:

$C_{11} = C_{22}$ y $C_{12} = 0$

$$\frac{C_{12}^{1}}{\epsilon} = \frac{\pi K_{12}(C/\epsilon)}{4} = 0.21174$$

Se recalcula el valor de K:

$$K_{12}^{1} = \frac{4x0.21174}{\pi(7.4627 - 0.21174)} = 0.03718$$

(error de 2.9% respecto del valor real)

En la siguiente instancia vuelve a determinarse la capacidad:

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

$$\frac{C_{12}^{2}}{\epsilon}=\frac{K_{12}^{1}\pi}{4}\left(\frac{C_{11}^{1}}{\epsilon}-\frac{C_{12}^{1}}{\epsilon}\right)=0.205$$

$$K_{12}^{2}=\frac{4x0.205}{\pi(7.4627-0.205)}=0,03596$$

(error del 0.1%)

Siendo el orden del filtro $n=2$, están definidos los dos resonadores y el acoplamiento necesarios.

En lo que sigue se determina la forma de adaptación para conectar al filtro a un generador y una carga, ambos supuestos de $50\ \Omega$.

Con este fin se puede utilizar el principio de adaptación visto previamente, donde existe un fenómeno de nivelación de impedancias.

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

Por un lado:

$$Q = R_G b$$
$$Q_1 = Q_2 = R_G b$$

Donde R_G es la impedancia de carga del resonador, y b el factor de reactancia:

$$b = \frac{\pi Y_{oe}}{4}$$

$$Y_{oe} = v(C_{11} - C_{12}) = \frac{c\epsilon_{re}\epsilon_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}}(C_{11} - C_{12})$$

$$Y_{oe} = \frac{3x10^8 x3.25x8.8510^{-12}}{\sqrt{3.25}}(7.4627 - 0.205) = 0.034738\ 1/\Omega$$

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

Luego:

$$R_G = \frac{4Q_1}{\pi Y_{oe}} = \frac{4x38.994}{\pi 0{,}034738}\ \Omega = 1.429{,}23\ \Omega$$

De forma que el valor del transformador equivalente:

$$N = \sqrt{\frac{Y_0}{G_T}} = \sqrt{\frac{R_G}{Z_0}} = \sqrt{\frac{1.429{,}23}{50}} = 5.3465$$

Entonces, y de expresiones previas vistas:

$$Y_{oo}^a + Y_{oe}^a = \frac{2}{Z_0} = 0.04 = 2vC_{11}$$

$$Y_{oo}^a - Y_{oe}^a = \frac{2}{NZ_0} = 0{,}00748 = 2vC_{12}$$

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

Entonces:

$$C_{11} = \frac{0.04}{2v} = \frac{0.04\sqrt{\epsilon_{re}}}{2c} = \frac{0.04\sqrt{3.25}}{2x3x10^{8}} = 1.2018x10^{-10}$$

$$C_{12} = \frac{0,00748}{2v} = \frac{0,00748\sqrt{\epsilon_{re}}}{2c} = \frac{0,00748\sqrt{3.25}}{2x3x10^{8}} = 2.24746x10^{-11}$$

$$\frac{C_{11}}{\epsilon} = \frac{1.2018x10^{-10}}{3.25x8.85x10^{-12}} = 4.1785$$

$$\frac{C_{12}}{\epsilon} = 0.78138$$

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

Iterando:

$$\frac{C_{11}^{1}}{\epsilon} = \frac{C_{11}}{\epsilon} = 4.1785$$

$$\frac{C_{12}^{1}}{\epsilon} = \frac{C_{12}}{\epsilon} =.,78138$$

En la tabla, se tiene que para $\frac{W}{h} = 1.8$ y $\frac{s}{h} = 0.4$

$$\frac{C_{11}^{1}}{\epsilon} = 4{,}19$$

$$\frac{C_{12}^{1}}{\epsilon} = 0{,}74$$

Que permite el diseño del adaptador.

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

Se tiene que tener en cuenta sin embargo que el adaptador de impedancias incluye el efecto de un taco paralelo en cortocircuito Y_S, que queda agregado a Y_{oe}, que debe ser descontado:

$$Y_S = Y_o \frac{N^2 - 1}{N^2} + Y_{oe}^a - Y_{oe}^b$$

$$Y_S = \frac{1}{50}\left(\frac{5.3465^2 - 1}{5.3465^2}\right) = 0.01930\, 1/\Omega$$

Dado que

$$Y_{oe}^a = Y_{oe}^b$$

Luego

$$Y_{oe}' = Y_{oe} - Y_S = (0.034738 - 0.01930)\, 1/\Omega$$

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

$$Y'_{oe} = Y_{oe} - Y_S = 0.015438\,1/\Omega$$

Que resulta en

$$C_{11}/\epsilon = \frac{Y'_{oe}\,120\pi}{\left(\sqrt{\epsilon_r}\right)} + C_{12}/\epsilon = 3.22835 + 0.205 = 3.4333$$

$$C_{12}/\epsilon = 0.205$$

En la tabla, se tiene que para $\frac{W}{h} = 1.4$ y $\frac{s}{h} = 1.8$

$$\frac{C_{11}^2}{\epsilon} = 3.49$$

$$\frac{C_{12}^2}{\epsilon} = 0.20$$

Que dan forma a la parte del resonador.

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

Con el mismo procedimiento que se utilizó para el diseño de acopladores, se pueden determinar las dimensiones y largo de cada etapa del filtro.

Para el tramo adaptador, asumiendo total simetría del esquema:

$\frac{W}{h} = 1.8$ $\qquad\qquad$ $\frac{s}{h} = 0.4$

Con $h = 1.6\, mm$

$W = 2.88\, mm$ $\qquad\qquad$ $s = 0.64\, mm$

$$L_a = 5.96\, cm$$

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

Para la sección del filtro propiamente dicho:

$$\frac{W}{h} = 1.4 \qquad \frac{s}{h} = 1.8$$

Con $h = 1.6\, mm$

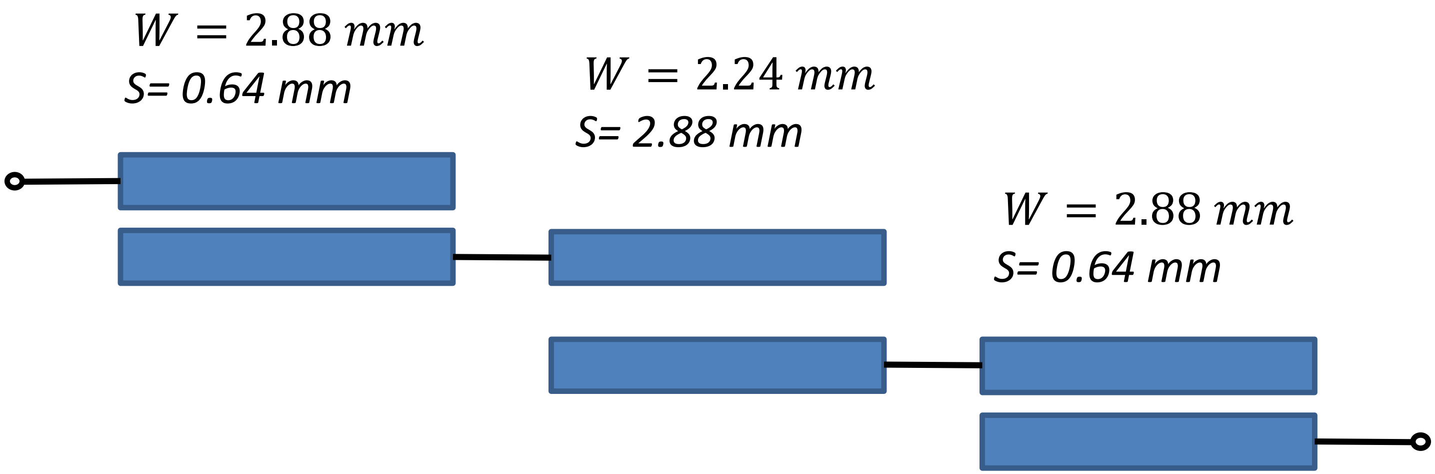
$$W = 2.24\, mm \qquad s = 2.88\, mm$$

$$L_f = 5.94\, cm$$

El esquema final es el siguiente:

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

En el esquema de la figura, se tiene que tener en cuenta la topología de acoplamiento elegida, de manera que los extremos de los tramos del mismo que no se ven conectados, se deben conectar a masa.



Diseño de filtros en Microstrip

Estas capacidades están relacionadas con los valores deseados de la estructura del filtro:

$$Y_{oo} = v(C_{11} + C_{12})$$
$$C_{oo} = C_{11} + C_{12}$$
$$Y_{oe} = v(C_{11} - C_{12})$$
$$C_{oe} = C_{11} - C_{12}$$

Dado que C_{oo} y C_{oe} son valores conocidos, se pueden obtener los valores

$$C_{11} = \left(\frac{C_{oo} + C_{oe}}{2}\right)$$
$$C_{11} = \left(\frac{C_{oo} - C_{oe}}{2}\right)$$

Diseño de filtros en Microstrip

En general nos interesa normalizar estas expresiones respecto de la constante dieléctrica $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ del material de manera que las expresiones son entonces:

$$\frac{C_{11}}{\epsilon} = \left(\frac{C_p + C_f + \left(C_{gd} + C_f' + C_{ga}\right)/2}{\epsilon}\right)$$

$$\frac{C_{12}}{\epsilon} = \left(\frac{C_{gd} + C_{ga} - C_f'}{2\epsilon}\right)$$

La capacidad C_f' se tiene en cuenta solo cuando la tira es alguna de las que se encuentran en los extremos de la estructura del filtro.

Adicionalmente se tiene que tener en cuenta que las cantidades C/ϵ son adimensionales.

Diseño de filtros en Microstrip

Existen otras expresiones conocidas igualmente ùtiles tales como:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$LC = \mu\epsilon$$

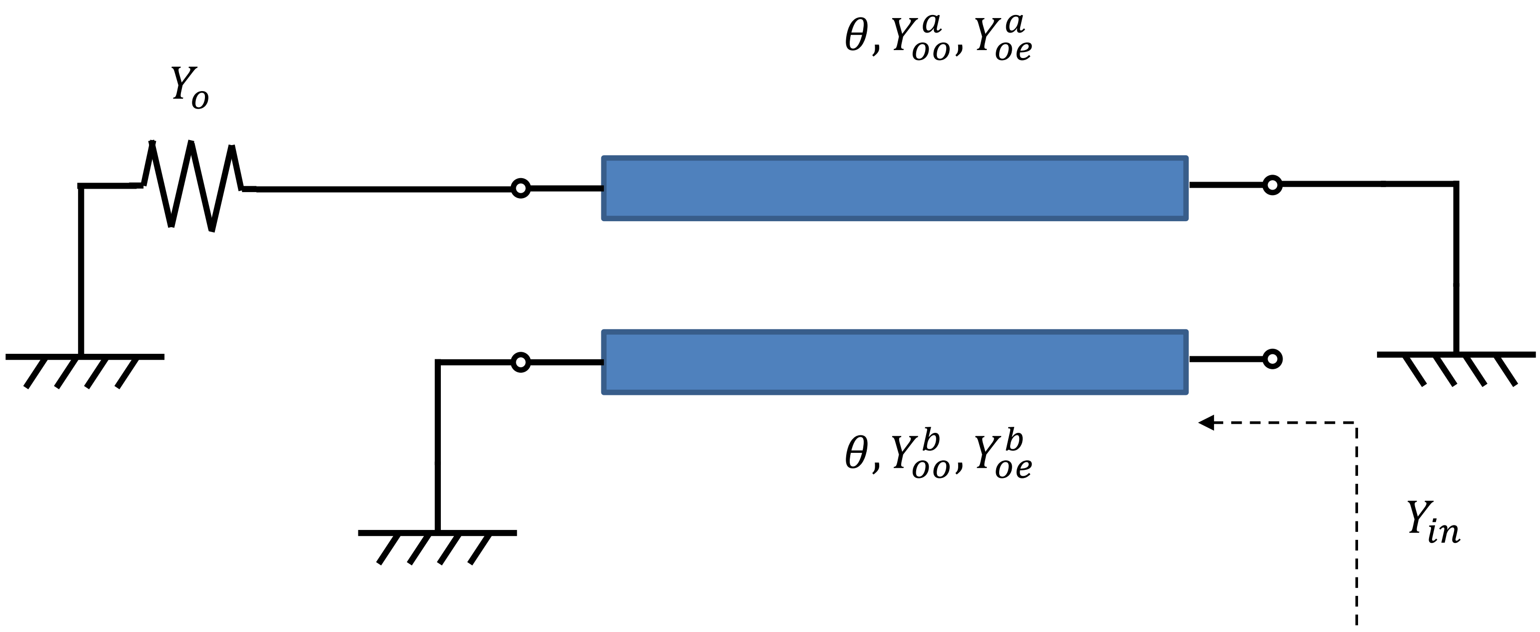
$$Z_0 = \sqrt{\frac{(\mu\epsilon\ /C)}{C}} = \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{C^2}} = \sqrt{\frac{\mu\epsilon\epsilon}{\epsilon C^2}} = \frac{\sqrt{\mu/\epsilon}}{(C/\epsilon)} = \frac{120\pi\sqrt{\mu_r\epsilon_r}}{(C/\epsilon)}$$

Si $\mu_r = 1$

$$Z_0\sqrt{\epsilon_r} = \frac{120\pi}{(C/\epsilon)}$$

Adaptacion por acoplamiento

El dispositivo acoplado analizado puede ser utilizado con fines de adaptación. La estructura puede ser interpretada como un transformador ideal.

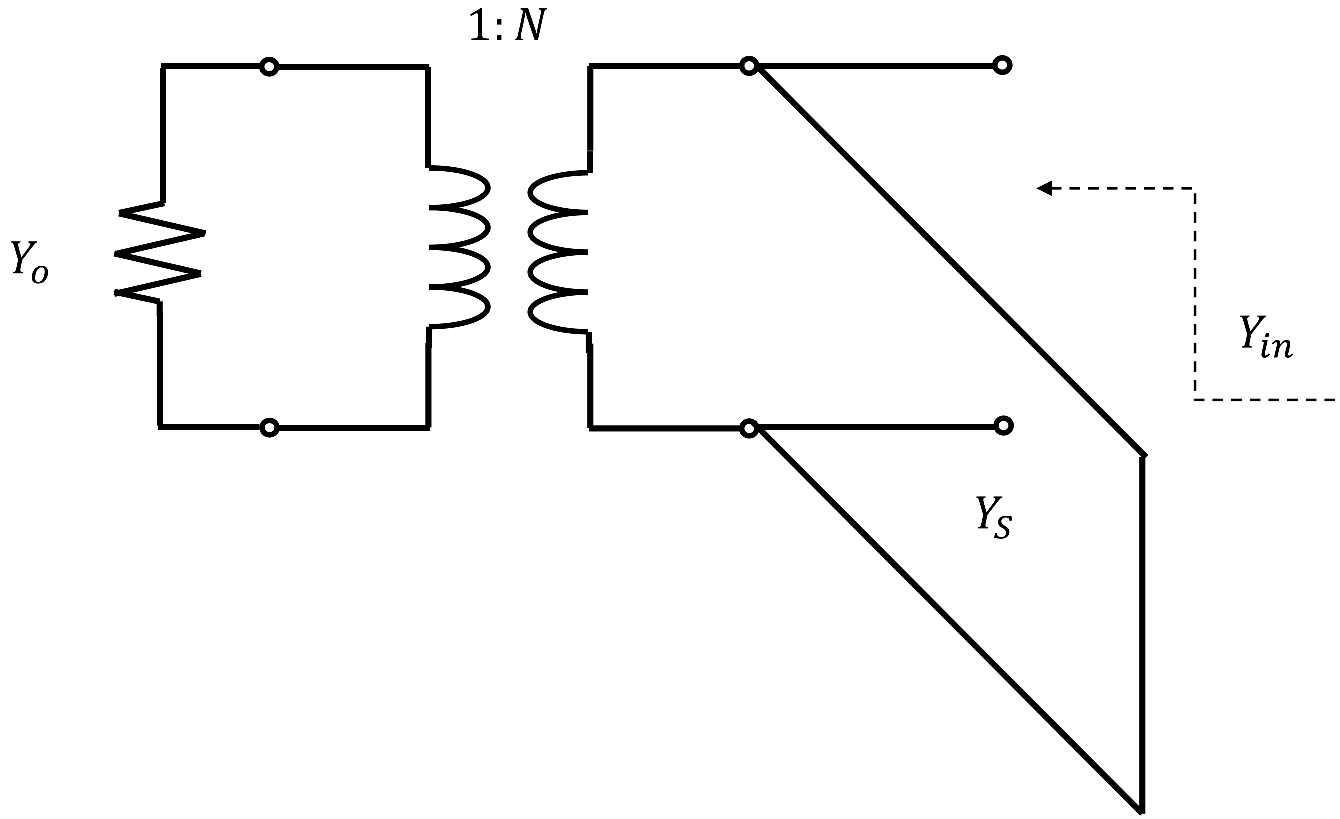


Se debe cumplir que:

$$Y_o = \frac{Y_{oo}^{a} + Y_{oe}^{b}}{2}$$

Adaptacion por acoplamiento

La estructura acoplada es equivalente al siguiente circuito:



Diseño de filtros en Microstrip

Si se cumple que:

$$Y_o = \frac{Y_{oo}^a + Y_{oe}^b}{2}$$

Las admitancias de modo par e impar del sistema se calculan como:

$$Y_{oo}^a = Y_o\left[\sqrt{\frac{G_T}{Y_o}} + 1\right]$$

$$Y_{oe}^a = 2Y_o - Y_{oo}^a$$

La impedancia característica de la línea en paralelo es:

$$Y_S = Y_o(N^2 - 1/N^2) + Y_{oe}^a - Y_{oe}^b$$

Diseño de filtros en Microstrip

Con

$$N = \sqrt{\frac{Y_o}{G_T}}$$

Combinando con expresiones anteriores:

$$N = \frac{2Y_o}{Y_{oo}^a - Y_{oe}^a}$$

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

Diseñe un filtro Chevyshev de $0.5\,dB$ de ripple, de orden $n = 2$, centrado en $f_0 = 700\,MHz$ y con un ancho de banda de $\delta f = 35\,MHz$.

De las tablas se obtiene:

$$q_1 = q_2 = 1.9497$$

$$k_{12} = 0.7225$$

El ancho de banda fraccional es:

$$\delta = \frac{\delta f}{f_0} = \frac{35\,MHz}{700\,MHz} = 0.05$$

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

$$K_{12} = k_{12}\delta = 0.036125$$

$$Q_1 = \frac{q_1}{\delta} = 38.994 = Q_2$$

Para el calculo se adopta un valor de impedancia conveniente Z_a que determina el valor de la capacidad que cada línea tendrá respecto a masa.

Usando

$$Z_a\sqrt{\epsilon_r} = \frac{120\pi}{(C/\epsilon)}$$

$$C/\epsilon = \frac{120\pi}{\left(Z_a\sqrt{\epsilon_r}\right)}$$

Con $Z_a = 28\,\Omega$, $\epsilon_r = 3.25$

$$C/\epsilon = 7.4627$$

Diseño de filtros en Microstrip. Ejemplo

Suponiendo en la primera iteración que

$C_{11} = C_{22}$ y $C_{12} = 0$

$$\frac{C_{12}^{1}}{\epsilon} = \frac{\pi K_{12}(C/\epsilon)}{4} = 0.21174$$