

# Diseño de un filtro analógico de tipo microstrip en un PCB de FR4 usando Keysight ADS

1<sup>st</sup> Erick-Andrés Obregón-Fonseca

*Maestría en Electrónica  
Tecnológico de Costa Rica  
Cartago, Costa Rica  
erickof@ieee.org*

2<sup>nd</sup> Arturo Córdoba Villalobos

*Maestría en Electrónica  
Tecnológico de Costa Rica  
Cartago, Costa Rica  
arturocv16@gmail.com*

**Abstract—**

**Index Terms—**ADS Keysight, filtro analógico, FR4, microstrip, PCB

## I. INTRODUCCIÓN

Los filtros analógicos de tipo microstrip han demostrado su utilidad en una variedad de áreas. Se emplean en sistemas de comunicación para aplicaciones de radio frecuencia [1], en el procesamiento de señales para la eliminación de ruido o la extracción de bandas de frecuencia específicas [2]. Además, se utilizan para asegurar la compatibilidad electromagnética mediante la supresión de interferencia electromagnética y armónicos [3]. Estos filtros son fundamentales en tecnología inalámbrica [4], así como en aplicaciones comerciales e industriales, incluyendo dispositivos médicos, electrónica automotriz, aeroespacial y sistemas de defensa.

## II. TEORÍA

Un filtro se puede describir como una red reactiva que pasa una banda de frecuencias deseada mientras prácticamente rechaza las otras bandas de frecuencias, lo que quiere decir que procesa señales de forma dependiente de la frecuencia [5]. Una característica importante es la frecuencia de corte ( $f_c$ ), la cual es la frecuencia que separa la banda de transmisión de la banda de atenuación. Los filtros pueden clasificarse en pasa altas, pasa bajas, pasa banda y rechaza banda [6].

El primer paso es seleccionar una aproximación apropiada del prototipo del modelo basado en las especificaciones. El orden se puede calcular:

*Aproximación de Butterworth*

$$L_A(\omega') = 10 \log_{10} \left\{ 1 + \varepsilon \left( \omega' / \omega_c \right)^{2N} \right\} \quad (1)$$

donde  $\varepsilon = \{ \text{Antilog}_{10}(L_A/10) \}$  y  $L_A = 3\text{db}$  para Butterworth.

*Aproximación de Chebyshev*

$$L_A(\omega') = \begin{cases} 10 \log_{10} \left[ 1 + \varepsilon \cos^2 \left( n \cos^{-1} \frac{\omega'}{\omega_c} \right)^{2N} \right] & \omega' \leq \omega_1 \\ 10 \log_{10} \left[ 1 + \varepsilon \cosh^2 \left( n \cosh^{-1} \frac{\omega'}{\omega_c} \right)^{2N} \right] & \omega' \geq \omega_1 \end{cases} \quad (2)$$

donde  $\omega_c$  es la frecuencia angular de corte,  $\omega'$  es la frecuencia angular de atenuación,  $L_A(\omega')$  es la atenuación en  $\omega'$ ,  $N$  es el orden del filtro,  $\varepsilon = [\text{Antilog}_{10}(L_{Ar}/10)] - 1$  y  $L_{Ar}$  es igual a la ondulación en la banda de paso.

Posteriormente, se calculan los valores del filtro dependiendo del tipo de aproximación.

*Aproximación de Butterworth*

$$g_0 = 1 \quad (3a)$$

$$g_k = 2 \sin \{ (2k - 1) \pi / 2n \} \text{ donde } k = 1, 2, \dots, n \quad (3b)$$

$$g_{N+1} = 1 \quad (3c)$$

*Aproximación de Chebyshev*

$$\beta = \ln \left( \coth \frac{L_{Ar}}{17.37} \right) \quad (4a)$$

$$\gamma = \sinh \left( \frac{\beta}{2n} \right) \quad (4b)$$

$$a_k = \sin \left( \frac{2^k - \pi}{2n} \right), \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4c)$$

$$b_k = \gamma^2 + \sin^2 \left( \frac{k\pi}{n} \right), \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4d)$$

$$g_1 = \frac{2a_1}{\gamma} \quad (4e)$$

$$g_k = \frac{4a_{k-1}a_k}{b_{k-1}g_{k-1}}, \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (4f)$$

$$g_{n+1} = \begin{cases} 1 & \text{odd } n \\ \coth^2 \left( \frac{\beta}{4} \right) & \text{even } n \end{cases} \quad (4g)$$

Después de obtener los valores de filtro, se debe hacer la correspondiente transformación de la frecuencia y la impedancia para cumplir con las especificaciones. Las transformaciones se pueden realizar con las siguientes ecuaciones:

*Filtro pasa bajas*

$$C'_k = C_k / R_0 \omega_c \quad (5a)$$

$$L'_k = R_0 L_k / \omega_c, \text{ donde } R_0 = 50\Omega \quad (5b)$$

*Filtro pasa bandas*

$$L'_1 = L_1 Z_0 / \omega_0 \Delta \quad (6a)$$

$$C'_1 = \Delta / L_1 Z_0 \omega_0 \quad (6b)$$

$$L'_2 = \Delta Z_0 / \omega_0 C_2 \quad (6c)$$

$$C'_2 = C_2 / Z_0 \Delta \omega_0 \quad (6d)$$

$$L'_3 = L_3 Z_0 / \omega_0 \Delta \quad (6e)$$

$$C'_3 = \Delta / L_3 Z_0 \omega_0 \quad (6f)$$

donde  $\Delta$  es el ancho de banda fraccional  $\Delta = (\omega_2 - \omega_1) / \omega_0$ .

### III. METODOLOGÍA

Para la creación del filtro, se siguieron los pasos de la guía *Advanced Design System-Circuit Design Cookbook 2.0. Keysight Technologies* [6].

#### A. Creación del layout

Crear un nuevo layout haciendo click derecho sobre la carpeta del proyecto, seleccionar la opción New layout.

Abrir el archivo creado. Haciendo uso de la librería de TLines-Microstrip, utilizar el elemento MLIN para formar las secciones del filtro, esto se puede observar en la Figura 1.

Colocar el elemento en el área de trabajo demarcado por la zona oscura. Una vez colocado el elemento, darle doble click izquierdo para abrir el panel de parámetros que se puede observar en la Figura 2.

Con los pasos mencionados anteriormente, inserte las secciones necesarias utilizando los datos mostrados en la tabla I hasta formar la estructura mostrada en la figura 3, donde el ancho corresponde al parámetro W y el largo a L.

Una vez completada la estructura del filtro, puede proceder a agregar los pines para la simulación EM, para eso haga click en Insert y seleccione la opción Pin. Coloque uno en la conexión restante de TL1 y otro en la conexión restante de TL6.

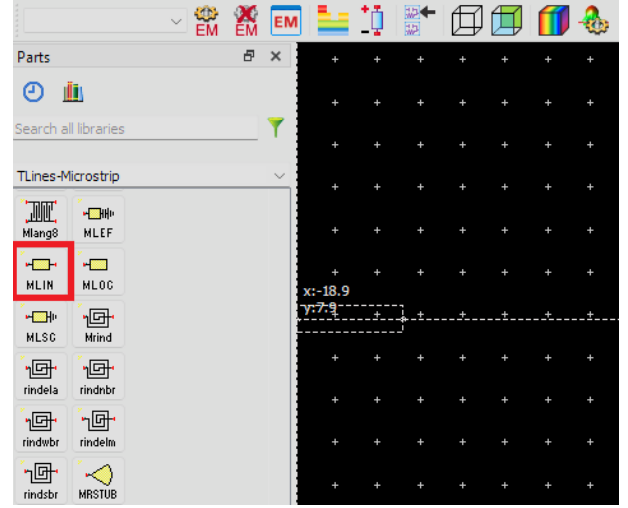


Fig. 1. Parte utilizada para dibujar las secciones del filtro

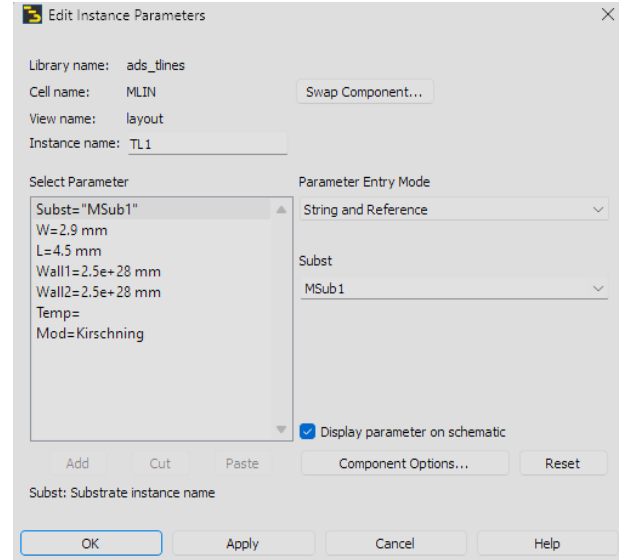


Fig. 2. Panel de parámetros del elemento MLIN

TABLE I  
DIMENSIONES DE LAS SECCIONES DEL FILTRO

Sección	Ancho [mm]	Largo [mm]
TL1	2.9	4.5
TL2	24.7	1.68
TL3	0.66	10.145
TL4	24.7	4.057
TL5	0.66	4.202
TL6	2.9	4.5

#### B. Creación del substrato

Crear un nuevo substrato haciendo click derecho sobre la carpeta del proyecto, seleccionar la opción New substrate.

Modifique el substrato para que se vea como el mostrado en la figura 4. La capa del dieléctrico debe tener una constante

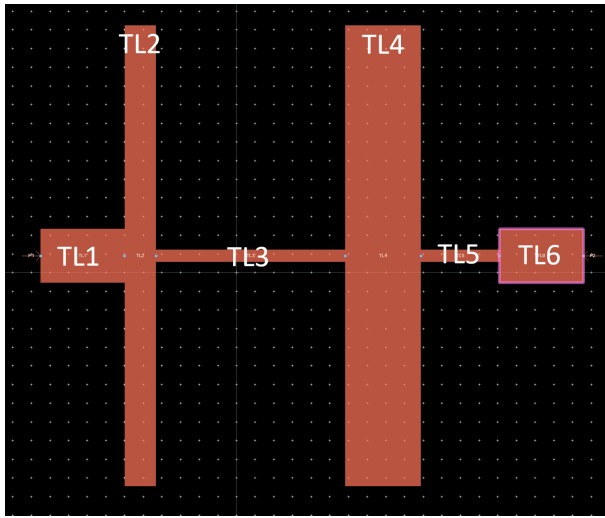


Fig. 3. Secciones del filtro

de permeabilidad de 4.6, una tangente de pérdidas de 0.0023, y un espesor de 1.6mm.

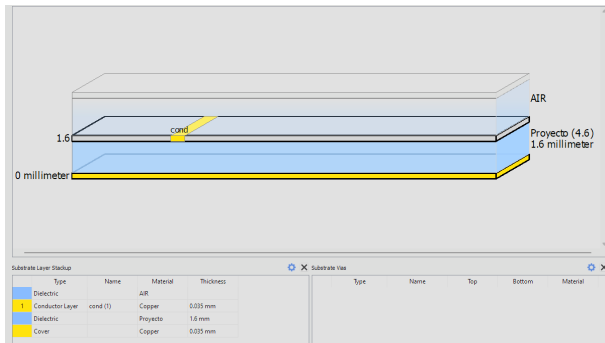


Fig. 4. Capas del sustrato

### C. Simulación electromagnética

Haga click derecho sobre la carpeta que contiene el layout y seleccione la opción New y posteriormente EmSetup. Seleccione con doble click el archivo creado. En la pestaña de Ports refresque la información utilizando las 2 flechas verdes en la parte superior izquierda de la ventana. Posteriormente, regrese a la pestaña FEM y seleccione el tipo de simulación EM Simulation/Model utilizando el simulador FEM. En la parte inferior derecha seleccione la opción para generar parámetros y presione el botón Simulate.

## IV. RESULTADOS

Utilizando el simulador FEM de ADS se obtuvieron los parámetros S del filtro analógico utilizando micro strips. El resultado obtenido se muestra en la figura 5. Se puede observar que el filtro paso-bajo tiene una frecuencia de corte de -3.5 dB a 1.67 GHz.

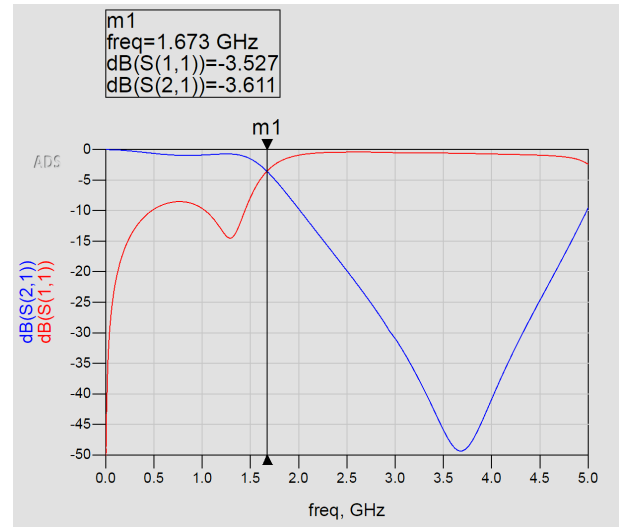


Fig. 5. Simulación de parámetros S del filtro

## V. DISCUSIÓN

La frecuencia de corte de 3dB del filtro diseñado ha experimentado un cambio a 1.68 GHz en lugar de los deseados 2 GHz, debido a las limitaciones de los cálculos teóricos. Estos no consideraron con precisión los efectos de extremo abierto y los cambios repentinos de impedancia en las líneas de transmisión.

Para abordar este inconveniente y restablecer la frecuencia de corte a los 2 GHz deseados, es crucial optimizar las longitudes de las líneas de transmisión. Este proceso puede llevarse a cabo mediante el simulador Momentum en ADS o a través de un barrido paramétrico en las longitudes de las líneas capacitivas e inductivas.

El simulador Momentum ofrece una modelización precisa de los efectos de las líneas de transmisión, incluyendo los efectos de extremo abierto y los cambios de impedancia. Además, se puede llevar a cabo una optimización de parámetros mediante un barrido de parámetros en ADS, variando las longitudes de las líneas capacitivas e inductivas dentro de un rango de valores determinado. Esto permitirá analizar el impacto de las diferentes longitudes de línea en la respuesta de frecuencia del filtro.

## VI. CONCLUSIONES

### REFERENCES

- [1] G. Zhang, A. Basit, M. I. Khan, A. Daraz, N. Saqib, and F. Zubir, "Multi frequency controllable in-band suppressions in a broad bandwidth microstrip filter design for 5g wi-fi and satellite communication systems utilizing a quad-mode stub-loaded resonator," *Micromachines*, vol. 14, no. 4, p. 866, 2023.
- [2] R. Islam, M. H. Maktoomi, H. Ren, and B. Arigong, "Spectrum aggregation dual-band real-time rf/microwave analog signal processing from microstrip line high-frequency hilbert transformer," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 69, no. 11, pp. 4647–4657, 2021.

- [3] L. A. Kumar and Y. U. Maheswari, *Electromagnetic Interference and Electromagnetic Compatibility: Principles, Design, Simulation, and Applications*. CRC Press, 2023.
- [4] A. A. Ibrahim, O. K. El Shafey, and M. A. Abdalla, "Compact and wideband microwave bandstop filter for wireless applications," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 104, pp. 243–250, 2020.
- [5] H. Zumbahlen, "Chapter 8 - analog filters," in *Linear Circuit Design Handbook*, H. Zumbahlen, Ed. Burlington: Newnes, 2008, pp. 581–679. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750687034000080>
- [6] Keysight EEsof EDA, "Advanced design system-circuit design cookbook 2.0. keysight technologies," 2011.