

Laboratorio 2

Sesión 2

Ing. Sergio Arriola-Valverde. M.Sc
Ing. Néstor Hernández Hostaller. M.Sc

Escuela de Ingeniería Electrónica
Instituto Tecnológico de Costa Rica
EL-5522 Taller de Comunicaciones Eléctricas

I Semestre 2023

Entornos de Simulación RF

Entornos de
Simulación RF

Líneas de Transmisión

Líneas de
Transmisión

Componentes de Radio Frecuencia

Componentes de
Radio Frecuencia

Filtros

Filtros
Bibliografía

Bibliografía

Entornos de Simulación RF

Entornos de
Simulación RF

Líneas de Transmisión

Líneas de
Transmisión

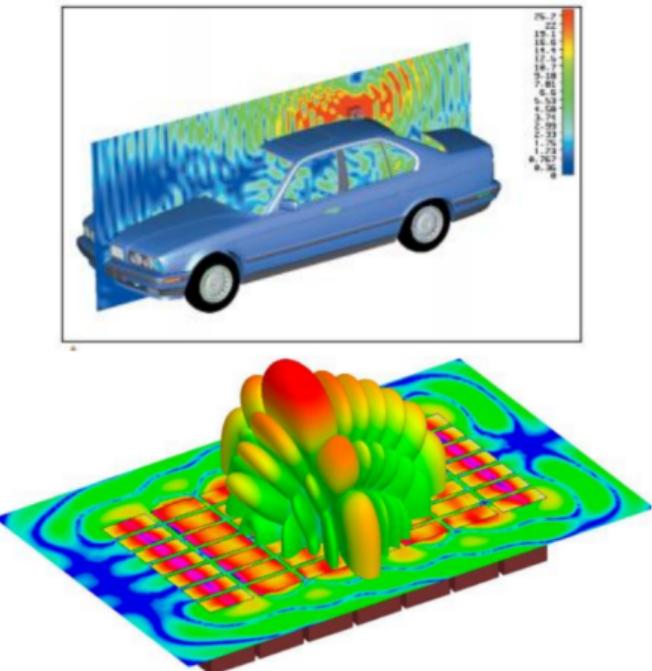
Componentes de Radio Frecuencia

Componentes de
Radio Frecuencia

Filtros

Filtros
Bibliografía

Bibliografía



Herramientas CAD para simulaciones electromagnéticas: simuladores tipo SPICE mejorados para manejo de líneas de transmisión, librerías con componentes de radiofrecuencia y procesos de fabricación de IC. Frecuentemente se interfazan con solucionadores numéricos.

Entornos de Simulación RF

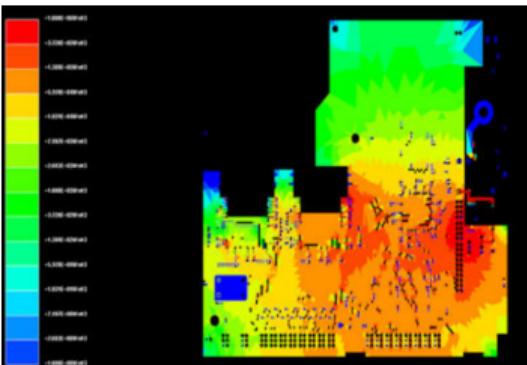
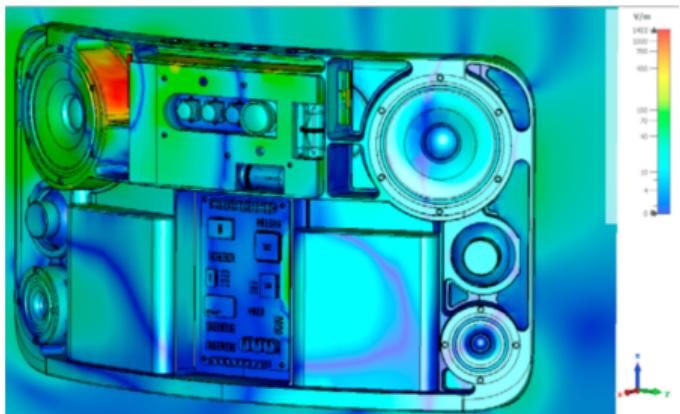
Líneas de Transmisión

Componentes de Radio Frecuencia

Filtros

Bibliografía

Simulación Electromagnética



Entornos de
Simulación RF

Líneas de Transmisión

Componentes de Radio Frecuencia

Filtros

Bibliografía

Microwave Office de AWR

Capacidades:

- ▶ Diseño esquemático y layout.
- ▶ Simulación de circuitos lineales y no lineales.
- ▶ Análisis EM.
- ▶ Síntesis, optimización y análisis de fallas y soporte PDK para tecnologías de IC.

Aplicaciones:

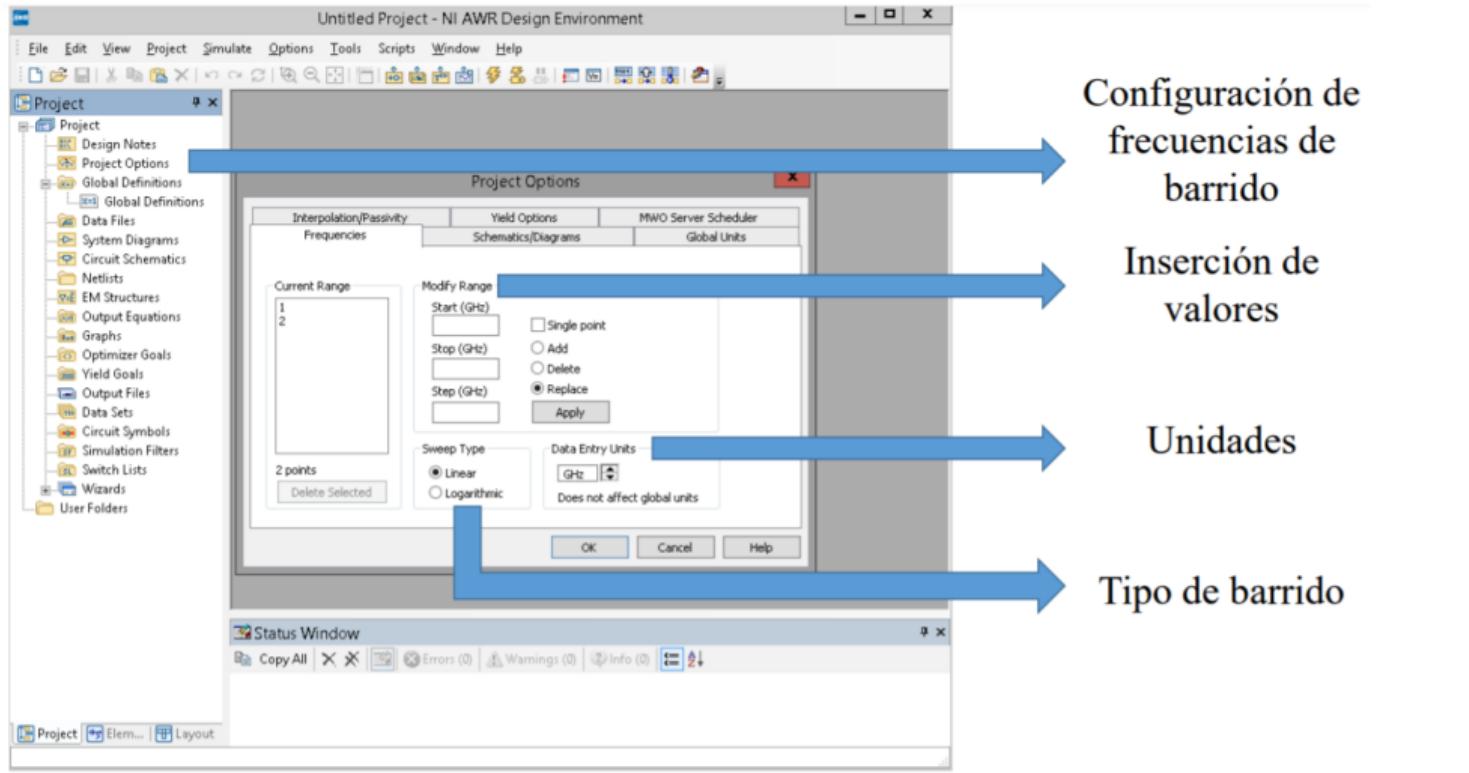
- ▶ Circuitos Integrados para aplicaciones en microondas (MICs).
- ▶ Interconexiones para RF (PCBs).
- ▶ Ensamblajes para RF y simulación numérica de antenas.



Microwave Office de AWR

Agenda

S. Arriola



Configuración de
frecuencias de
barrido

Inserción de
valores

Unidades

Tipo de barrido

Entornos de
Simulación RF

Líneas de
Transmisión

Componentes de
Radio Frecuencia

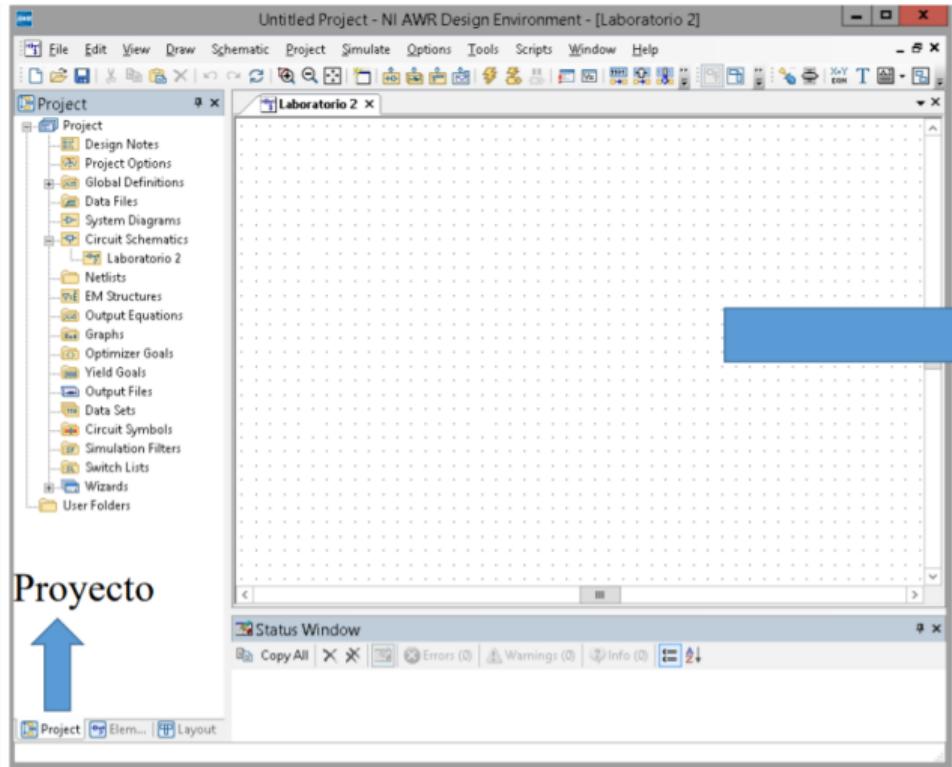
Filtros

Bibliografía

Microwave Office de AWR

Agenda

S. Arriola



Panel de
esquemático

Entornos de
Simulación RF

Líneas de
Transmisión

Componentes de
Radio Frecuencia

Filtros

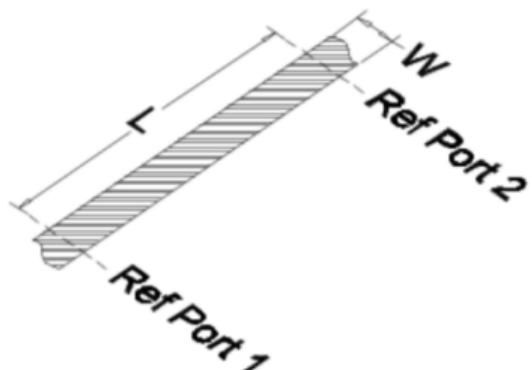
Bibliografía

Microstrip Line (Closed Form): MLIN

Symbol



Topology



Restrictions

$0.02 \leq W/H \leq 20$ recommended

$T/W \leq 0.7$ recommended

$T/H \leq 0.5$ recommended

$\epsilon_r \leq 16$ recommended

$1 \leq \epsilon_r$ required

$T_{and} \geq 0$ required

$0 \leq Rho \leq 1000$ required

$0 \leq Rho \leq 100$ recommended

Entornos de
Simulación RF

Líneas de
Transmisión

Componentes de
Radio Frecuencia

Filtros

Bibliografía

Parameters

Name	Description	Unit Type	Default
ID	Element ID	Text	TL1
W	Conductor width	Length	W ^[1]
L	Conductor length	Length	L ^[1]
MSUB	Substrate definition	Text	MSUB# ^[2]

MLIN
ID=TL1
W=0.5 mm
L=5 mm
MSUB=Top_Layer_SUB



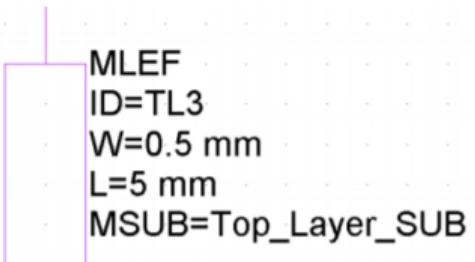
Open Microstrip Line With End Effect (Closed Form): MLEF

Symbol



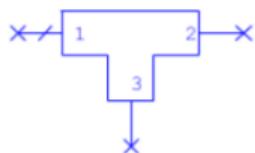
Parameters

Name	Description	Unit Type	Default
ID	Element ID	Text	TL1
W	Conductor width	Length	W ^[1]
L	Conductor length	Length	L ^[1]
MSUB	Substrate definition	Text	MSUB# ^[2]

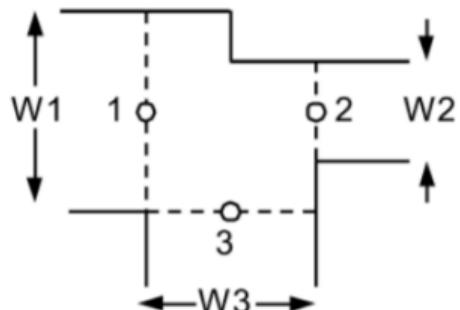


Microstrip Tee - Junction (Closed Form): MTEE

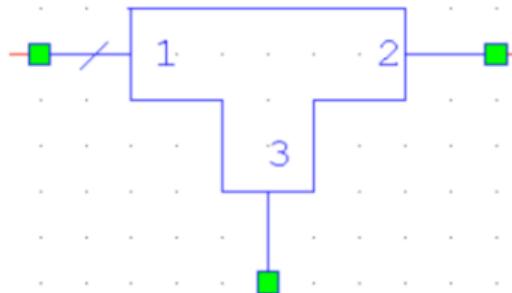
Symbol



Topology



MTEE\$
ID=TL4
MSUB=Top_Layer_SUB



Entornos de
Simulación RF

Líneas de
Transmisión

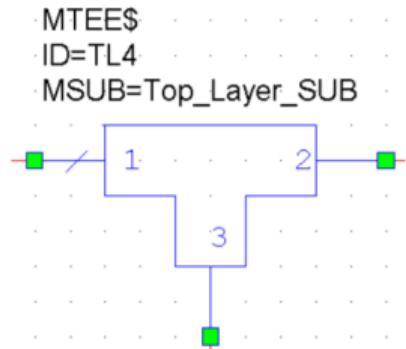
Componentes de
Radio Frecuencia

Filtros

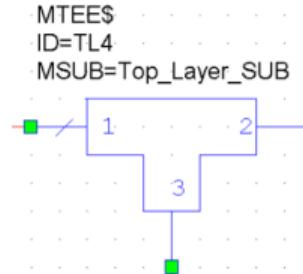
Bibliografía

Parameters

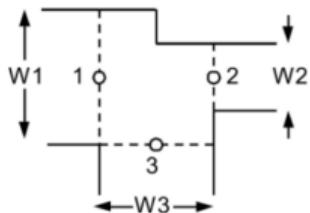
Name	Description	Unit Type	Default
ID	Name	Text	TL1
W1	Conductor width @ node 1	Length	W ^[1]
W2	Conductor width @ node 2	Length	W ^[1]
W3	Conductor width @ node 3	Length	W ^[1]
MSUB	Substrate name	Text	MSUB ^[2]



- ▶ El modelo en el dominio de la frecuencia esta basado en un modelo empírico (modelo analítico).
- ▶ Modelo de calculo en la unión es calculado por la modelo de Hammersstad.



Topology



- ▶ La interconexión entre el puerto 1 y 2 se asume que esta interconectado de manera alineada.
- ▶ Para análisis temporal, la respuesta al impulso es obtenida a partir del modelo analítico usado en el dominio de la frecuencia.

Entornos de Simulación RF

Líneas de Transmisión

Componentes de Radio Frecuencia

Filtros

Bibliografía

Entornos de Simulación RF

Entornos de
Simulación RF

Líneas de Transmisión

Líneas de
Transmisión

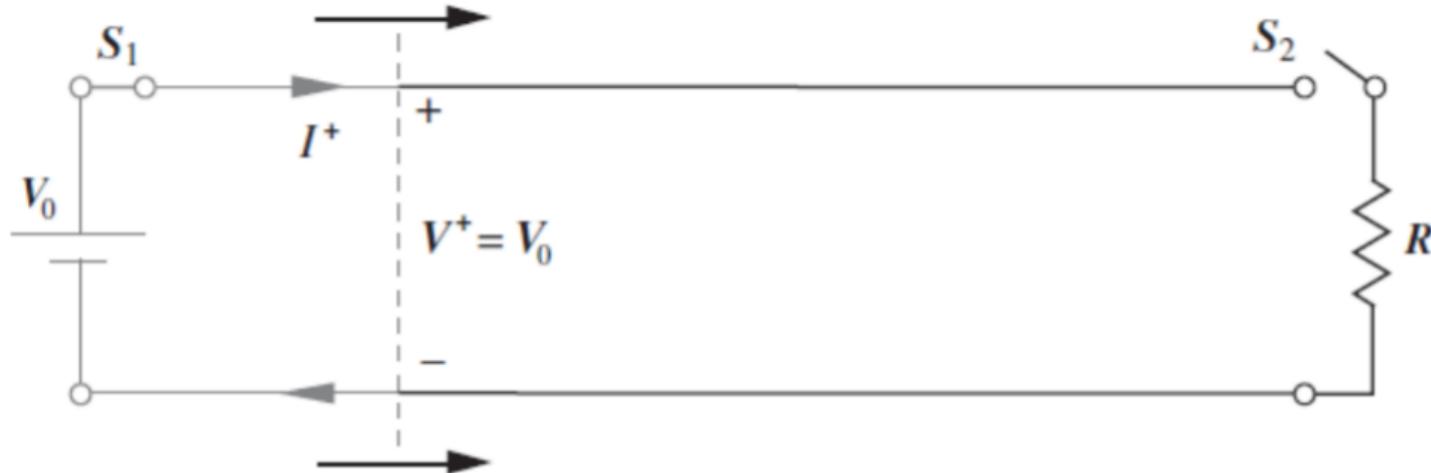
Componentes de Radio Frecuencia

Componentes de
Radio Frecuencia

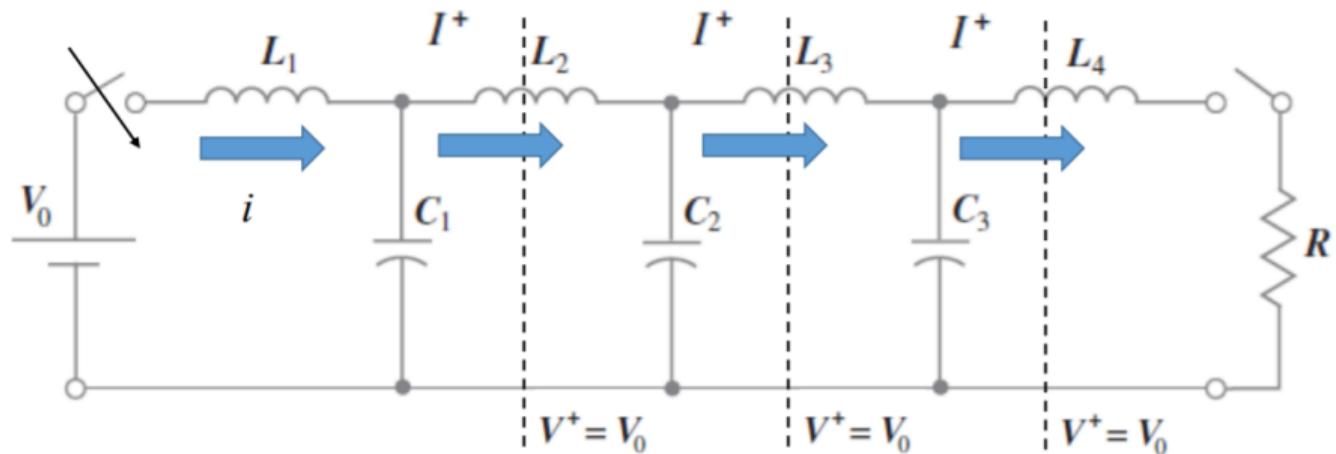
Filtros

Filtros
Bibliografía

Bibliografía



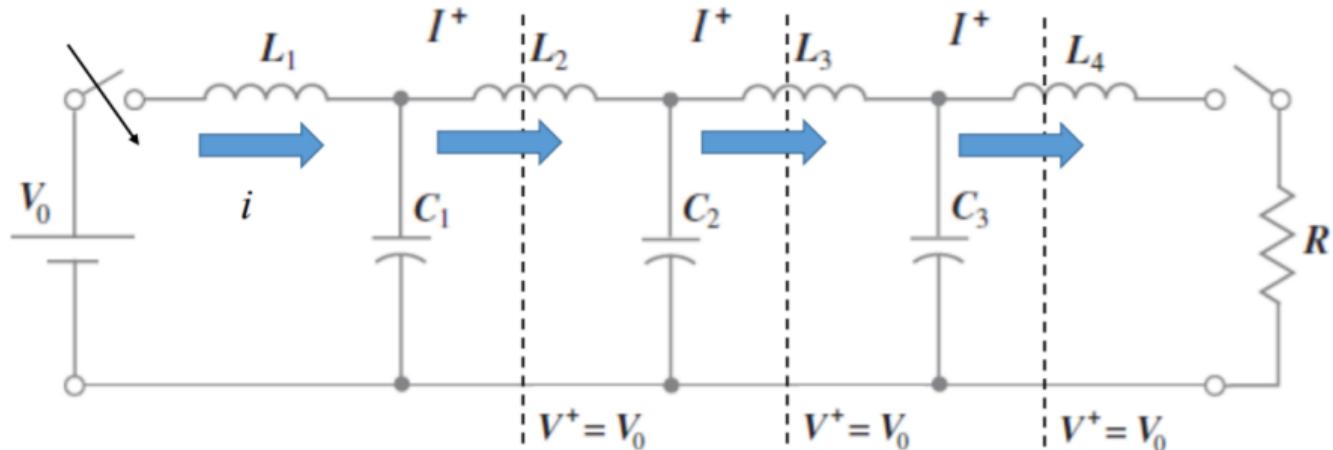
Tomado de: Teoría Electromagnética William Hayt, Séptima Edición.



¿De que depende la velocidad de propagación?

Tomado de: Teoría Electromagnética William Hayt, Séptima Edición.

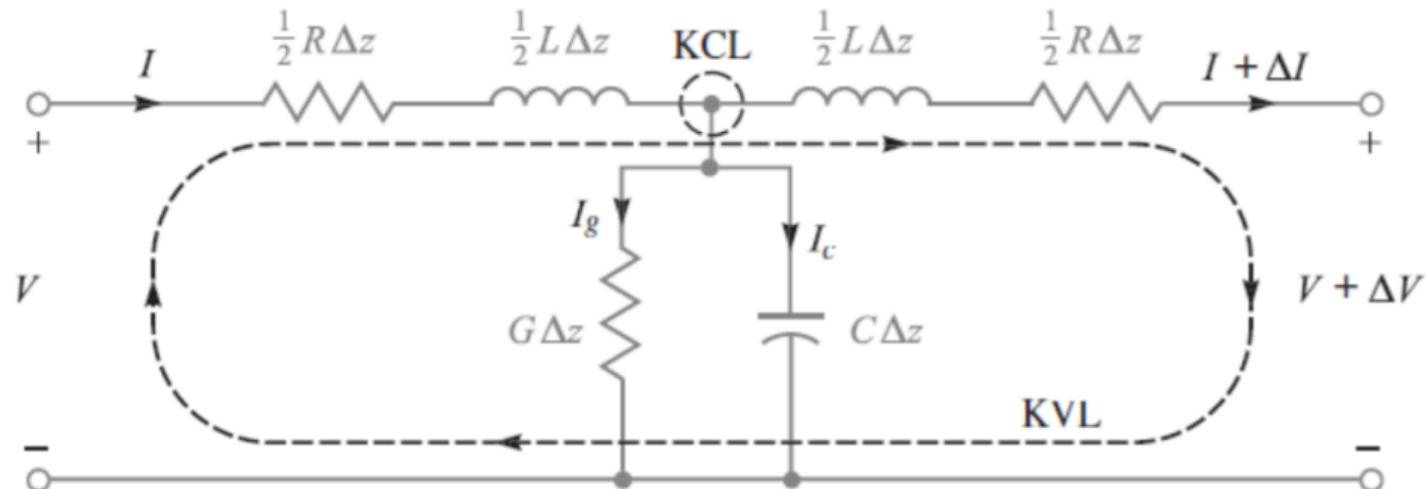
Si se consideran elementos distribuidos se tiene que:



$$v_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Tomado de: Teoría Electromagnética William Hayt, Séptima Edición.

Antes de llegar a un modelo matemático de una línea transmisión esencialmente se puede considerar que un línea puede estar compuesta por:



Tomado de: Teoría Electromagnética William Hayt, Séptima Edición.

Antes de llegar a un modelo matemático de una línea transmisión esencialmente se puede considerar que un línea puede estar compuesta por:

- ▶ Bobinas (L).
- ▶ Capacitancias (C).
- ▶ Conductancias de desviación (G).
- ▶ Resistencias (R)

Conductancia de desviación

- ▶ Modelar corrientes de fuga a través del dieléctrico.
- ▶ Dieléctrico pueda tener una conductividad eléctrica.
- ▶ Constante dieléctrica que pueda afecta la capacitancia.

Resistencia en Serie

- ▶ Conductividad finita que este presente en los conductores.
- ▶ Pérdida en la línea de transmisión los responsables de ello serán R y G.

Ecuaciones para LT

Agenda

S. Arriola

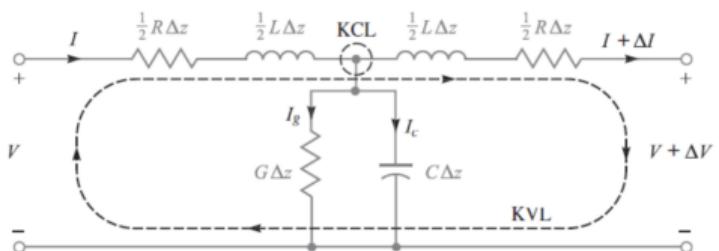
Entornos de
Simulación RF

Líneas de
Transmisión

Componentes de
Radio Frecuencia

Filtros

Bibliografía



$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \sqrt{ZY} = \alpha + j\beta$$

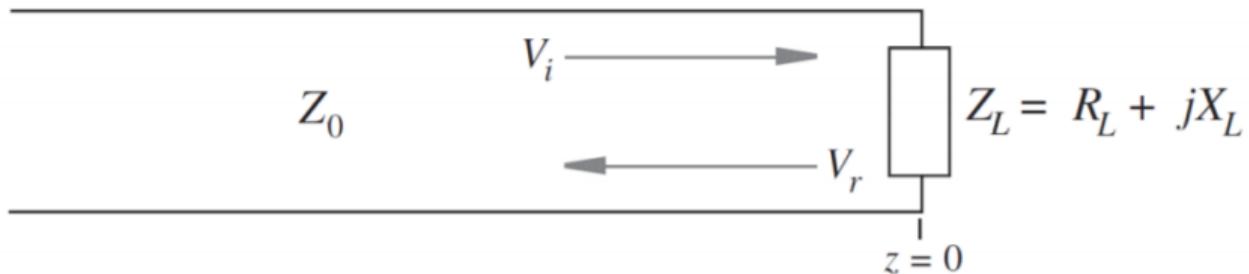
$$\frac{d^2 V_s}{dz^2} = \underbrace{(R + j\omega L)}_Z \underbrace{(G + j\omega C)}_Y V_s = \gamma^2 V_s$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = |Z_0| e^{j\theta}$$

$$V_s(z) = V_0^+ e^{-\gamma z} + V_0^- e^{+\gamma z}$$

Coeficiente de Reflexión

Según sean las condiciones de operación de la línea de transmisión es posible tener reflexiones en el sistema.

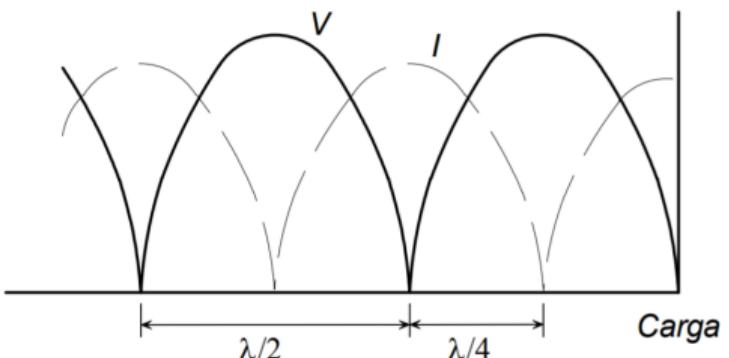


$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = |\Gamma| e^{j\phi_r}$$

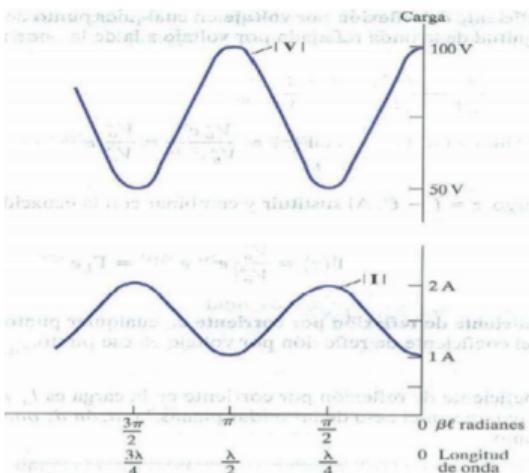
Es posible determinar el coeficiente de transmisión como:

$$\tau = 1 + \Gamma = \frac{2Z_L}{Z_0 + Z_L} = |\tau| e^{j\phi_t}$$

Carga en CortoCircuito



Carga en Resistiva sin Pérdidas

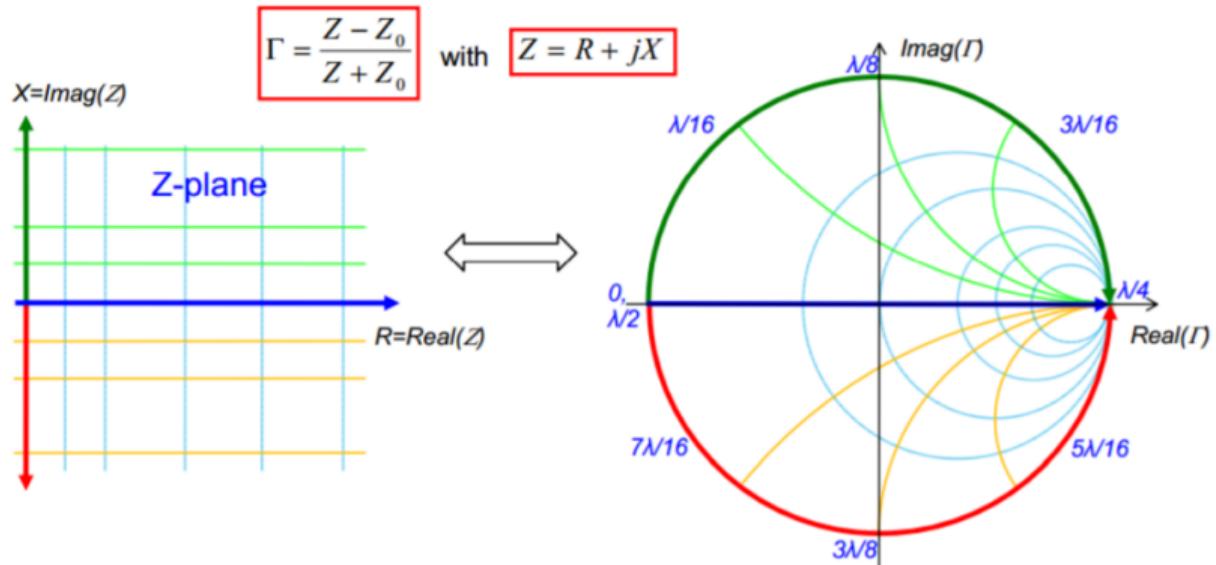


$$s = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|}$$

Tomado de: Teoría Electromagnética William Hayt, Séptima Edición.

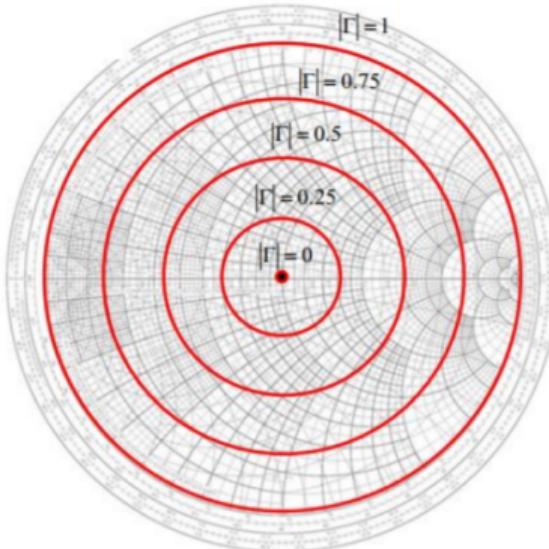
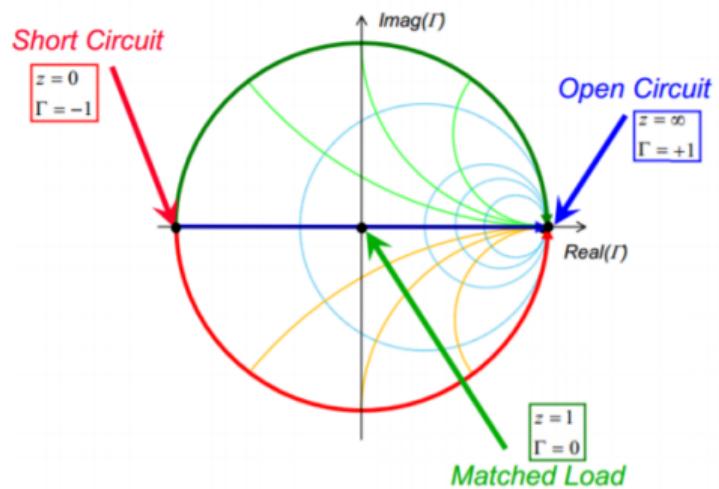
Diagrama de Smith

Diagrama normalizado del factor de reflexión que permite visualizar la impedancia vista a lo largo de un sistema con líneas de transmisión.



Tomado de: Notas de Laboratorio de TEM II ITCR IS2016.

Diagrama de Smith



Tomado de: Notas de Laboratorio de TEM II ITCR IS2016.

Diagrama de Smith

Hay software que tienen soporte para el diagrama de Smith, por ejemplo el software AWR de Cadence.

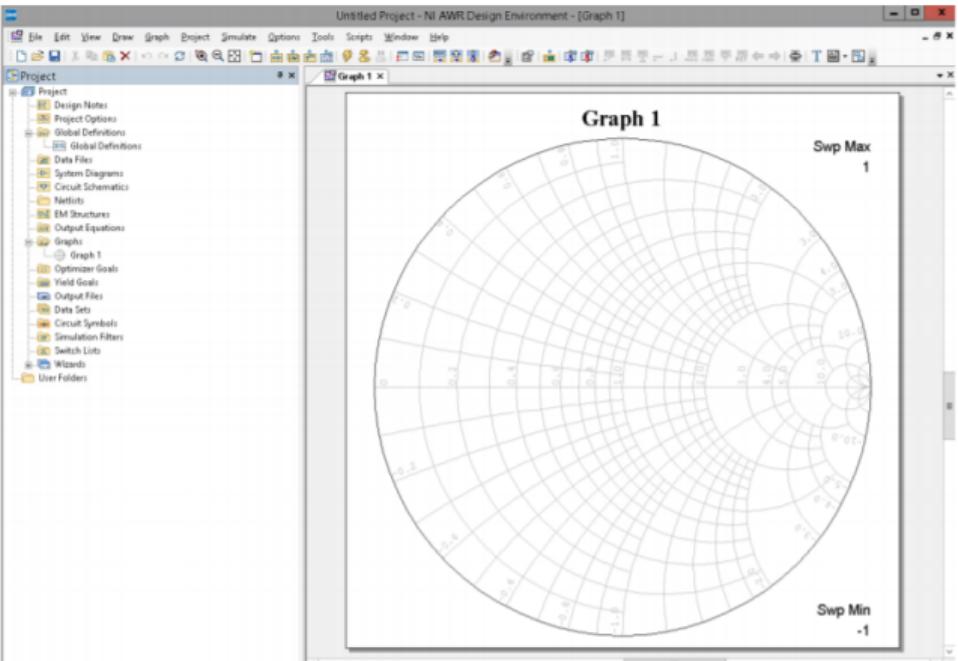
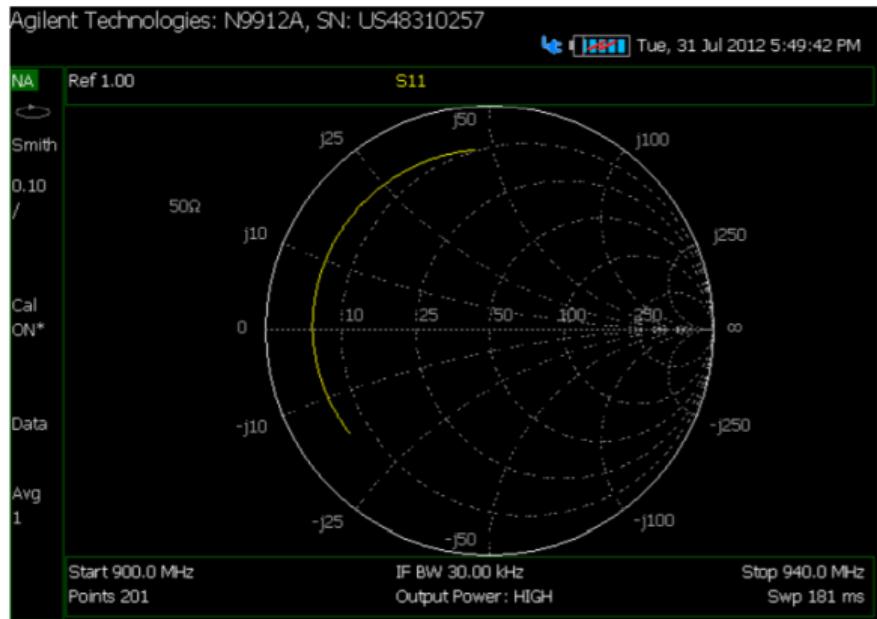


Diagrama de Smith

Equipos tales como analizadores de redes, tienen la capacidad para mostrar el diagrama de Smith.



Tomado de: Manual de equipo.

Diagrama de Smith

Hay aplicaciones en línea también, tienen la capacidad para mostrar el diagrama de Smith.

This free online interactive Smith chart tool is a calculator which can help you design matching networks and obtain maximum power transfer between your source and load. This tool is javascript so it works on Windows, Mac, IOS, Android... or any device with a web browser

Operational Frequency	2440	MHz	Frequency span (?)	0	MHz
Characteristic Impedance	50	Ω	Permitivity ϵ_{eff} (note all $\lambda = C/\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}$)	1	
Download this state	Download schematic			Upload previous state	
Impedance:	34.7	+ 23.0j	Admittance:	0.0200	- 0.0133j
Reflection Coefficient:	-0.0994	+ 0.299j	Reflection Coefficient:	0.315	$\angle 10^\circ$

Click below to add

Series Capacitor	Parallel Capacitor	Series Inductor	Parallel Inductor	Series Resistor	Parallel Resistor	Transmission Line	Open Stub	Short Stub

Below is your system, note impedance is looking towards the BLACK BOX

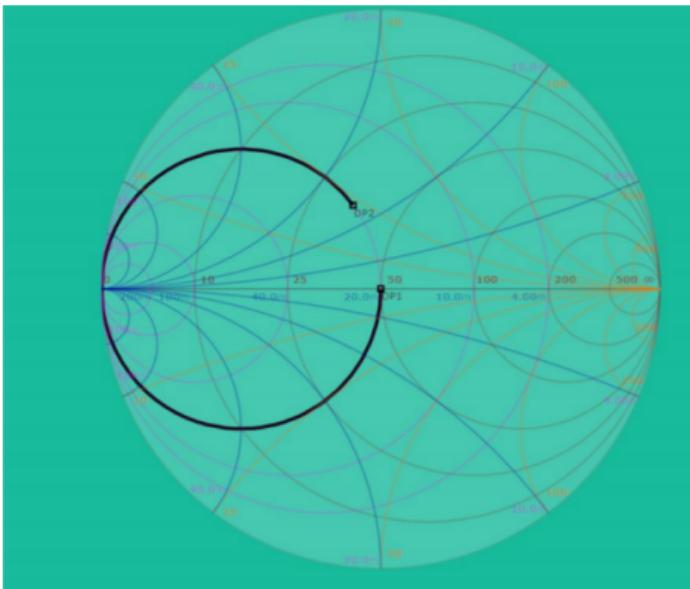
DP1 DP2 BLACK BOX

50 [] 0 [] j 50 [] mm [] $Z_0 = 50$

Tomado de: https://www.will-kelsey.com.smith_chart/

Diagrama de Smith

Hay aplicaciones en línea también, tienen la capacidad para mostrar el diagrama de Smith.



Tomado de: https://www.will-kelsey.com.smith_chart/

Diagrama de Smith

Agenda

S. Arriola

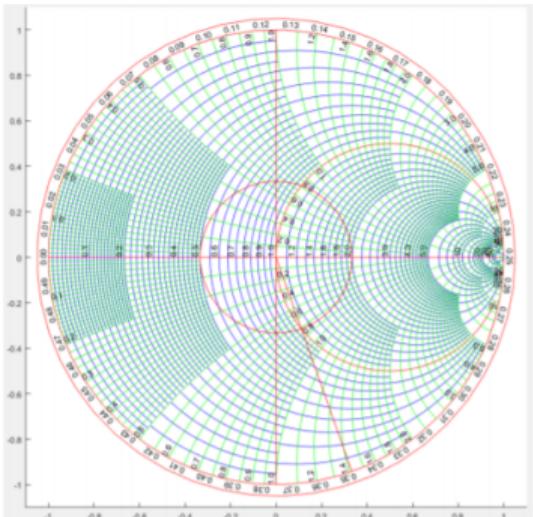
Entornos de
Simulación RF

Líneas de
Transmisión

Componentes de
Radio Frecuencia

Filtros

Bibliografía



Tomado de: https://www.will-kelsey.com.smith_chart/

Entornos de Simulación RF

Entornos de
Simulación RF

Líneas de Transmisión

Líneas de
Transmisión

Componentes de Radio Frecuencia

Componentes de
Radio Frecuencia

Filtros

Filtros

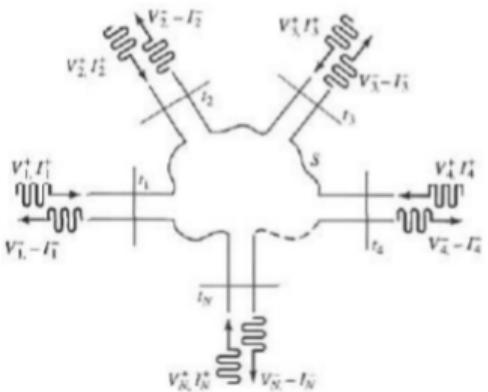
Bibliografía

Bibliografía

Parámetros de Redes de Microondas

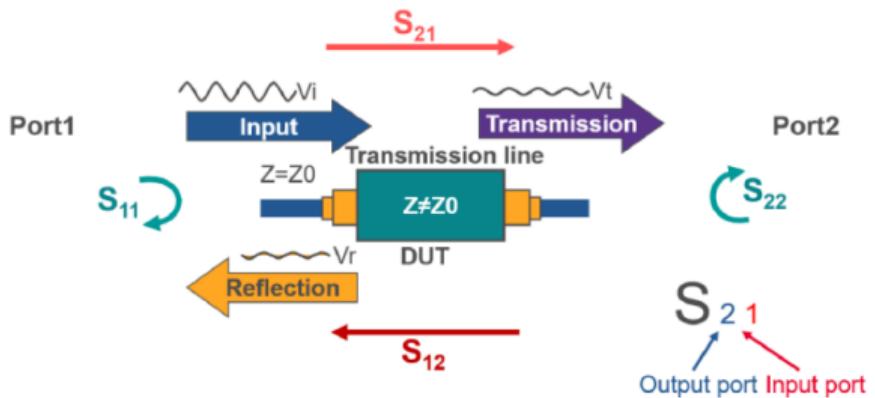
Representación que permite tratar un sistema general en términos de TL en las interfaces definidas como puertos, en función de la frecuencia.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1N} \\ Z_{21} & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ Z_{N1} & \cdots & \cdots & Z_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix},$$



Parámetros S (Scattering)

Parámetros de microondas en términos de ondas incidentes y reflejadas de tensión normalizadas.



Reflection/Input = Reflection coefficient $\rightarrow S_{11}, S_{22}$

Transmission/Input = Transmission coefficient $\rightarrow S_{21}, S_{12}$



Analizador Vectorial de Redes (VNA)

Tomado de: Manual de equipo.

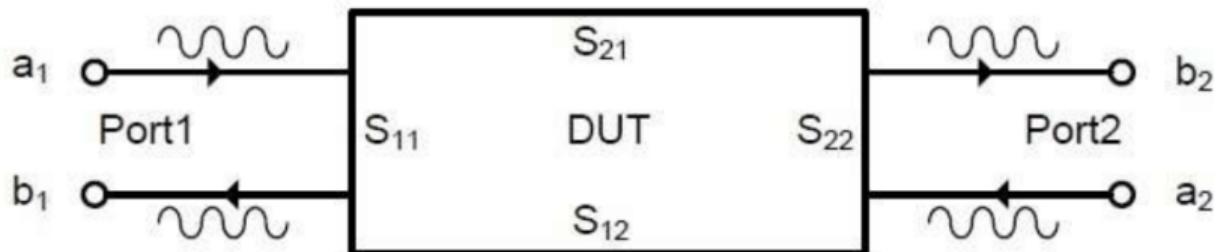
AWR Design Environment™



AWR Desing Enviroment

Parámetros S (Scattering)

Los parámetros S dan una versión intuitiva del comportamiento de un sistema en términos de reflexiones y transmisión en función de la frecuencia.



$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2=0}$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \Big|_{a_1=0}$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2=0}$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_1=0}$$

2-Port S-Parameter Model

Parámetros S (Scattering)

Agenda

S. Arriola

Entornos de
Simulación RF

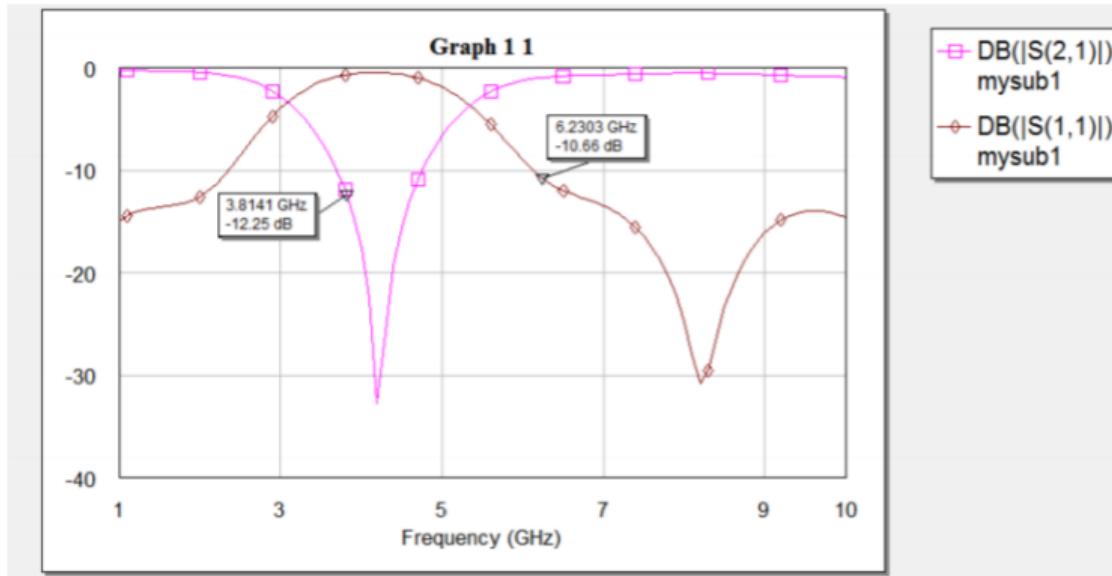
Líneas de
Transmisión

Componentes de
Radio Frecuencia

Filtros

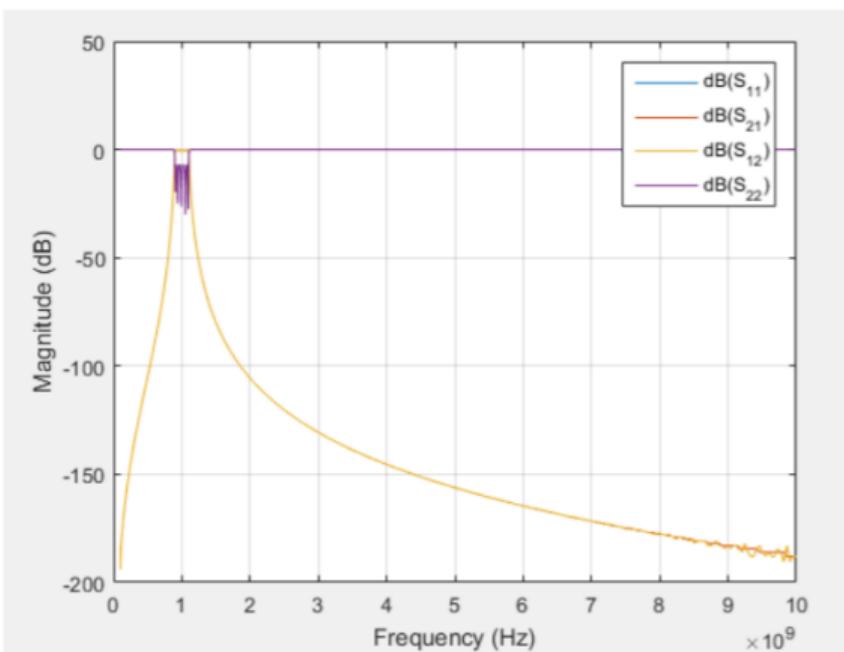
Bibliografía

Diversos software pueden llevar acabo el análisis de parámetros S.



Parámetros S (Scattering)

Diversos software pueden llevar acabo el análisis de parámetros S.



Componentes de Radio Frecuencia

Entornos de Simulación RF

Entornos de
Simulación RF

Líneas de Transmisión

Líneas de
Transmisión

Componentes de Radio Frecuencia

Componentes de
Radio Frecuencia

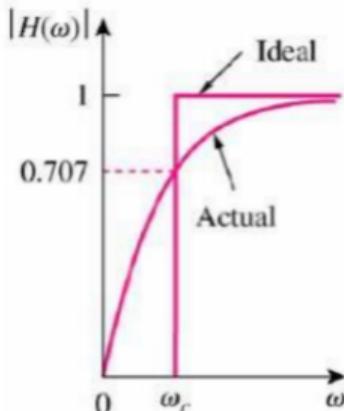
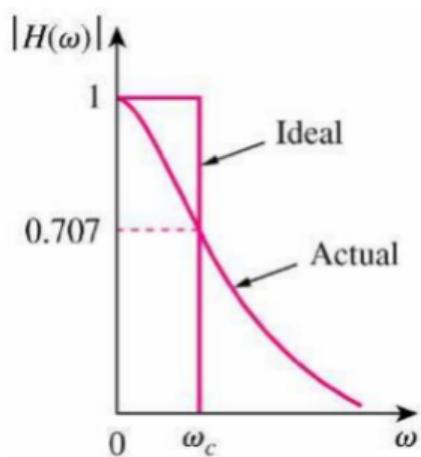
Filtros

Filtros

Bibliografía

Bibliografía

Red que atenúa cierta sección del espectro en frecuencias: pasa baja, pasa banda, paso alto, etc. Pueden ser pasivos o activos y existen diferentes respuestas.

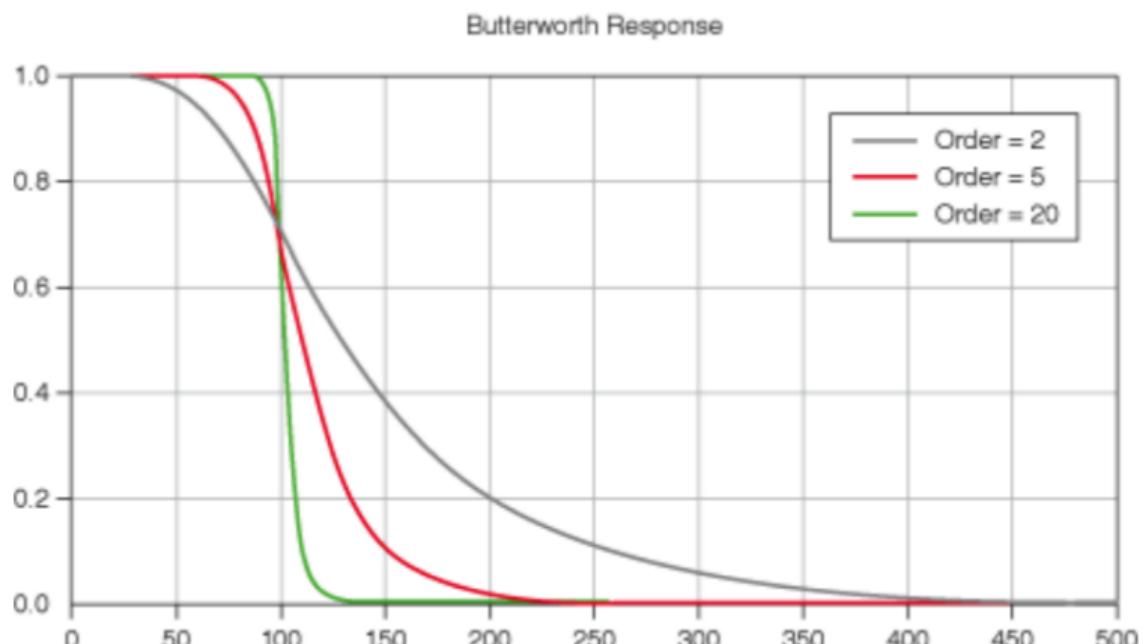


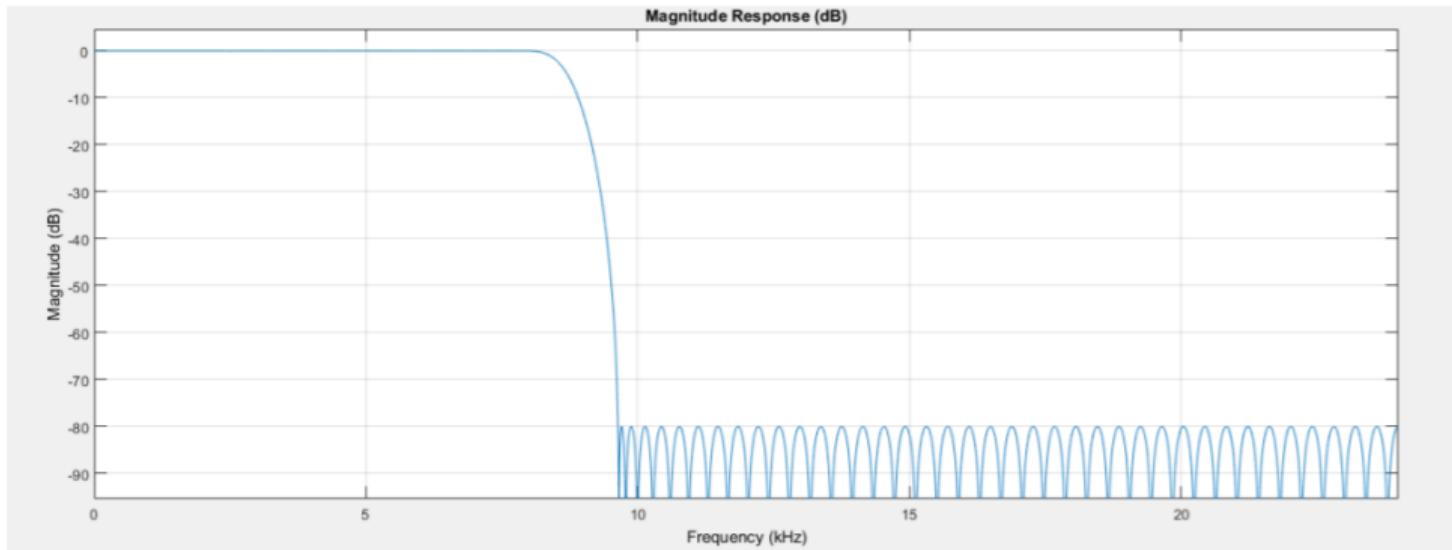
Componentes de
Radio Frecuencia

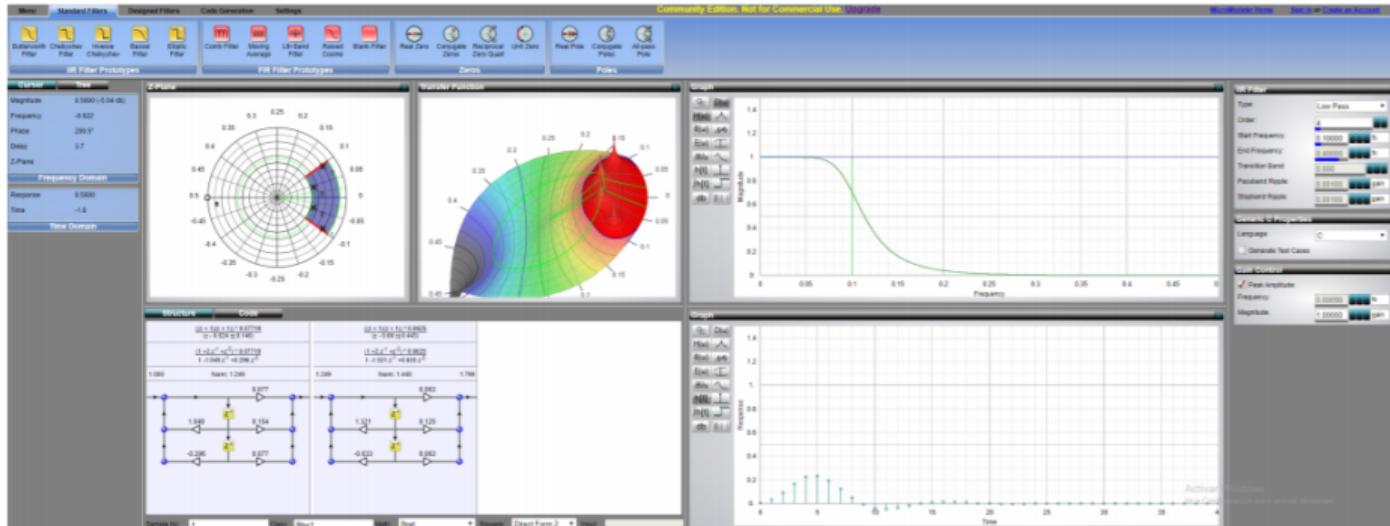
Filtros

Bibliografía

- ▶ A partir de las respuestas en frecuencia de los filtros LPF y HPF, se puede conformar un filtro Butterworth.
- ▶ El filtro Butterworth es uno de los filtros más básicos, debido a que su diseño produce una respuesta lo más plana posible hasta en su frecuencia de corte.
- ▶ Debido a esa naturaleza el filtro Butterworth mantiene la salida casi constante hasta la frecuencia de corte y luego disminuye en razón de **20n dB/dec**, dónde n es el orden del filtro.







Tomado de: Lectura recomendada: <https://www.micromodeler.com/dsp/>

Entornos de Simulación RF

Entornos de
Simulación RF

Líneas de Transmisión

Líneas de
Transmisión

Componentes de Radio Frecuencia

Componentes de
Radio Frecuencia

Filtros

Filtros

Bibliografía

Bibliografía

Bibliografía

1. Hayt, W. Teoría Electromagnética, Mc Graw-Hill, Octava Edición, 2013.
2. Sadiku M. Elementos de Electromagnetismo, Alfaomega, Traducción de la tercera edición en inglés, México, 2004.
3. Pozar, D.M., Microwave Engineering, 3 Ed. Wiley. 2005
4. Caspers, F, Basic Concepts: The Smith Chart, 2010

Para más información pueden ingresar a:

TEC-Digital ó <http://www.ie.tec.ac.cr/sarriola/TallerdeComunicaciones/>

Esta presentación se ha basado parcialmente en compilación para semestres anteriores de cursos de Laboratorio de Teoría Electromagnética II y Laboratorio de Comunicaciones Eléctricas por Aníbal Coto-Cortés, Renato Rimolo-Donadio y Sergio Arriola-Valverde

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons “Reconocimiento-NoCommercial-CompartirIgual 3.0 España”.

