

Caracterización de Filtros

Respuesta al Impulso

$$h(t)$$

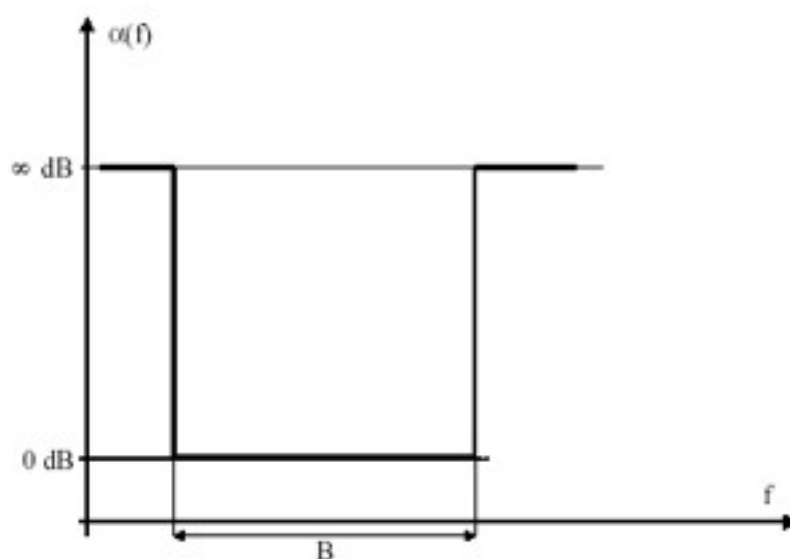
Función de Transferencia

$$H(f)$$

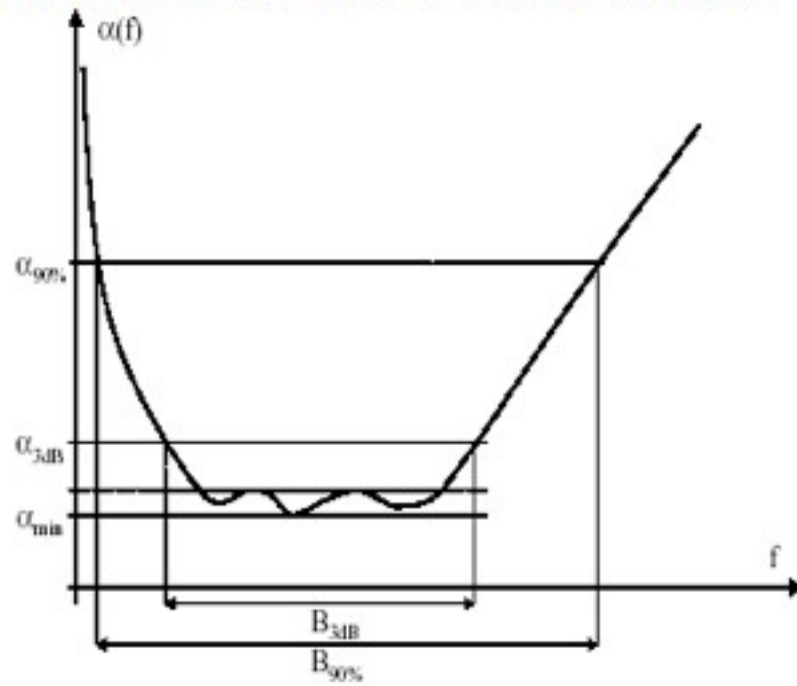
Respuesta en amplitud o atenuación

$$A(f) = |H(f)| \quad \alpha(f) = -20\log(|H(f)|)$$

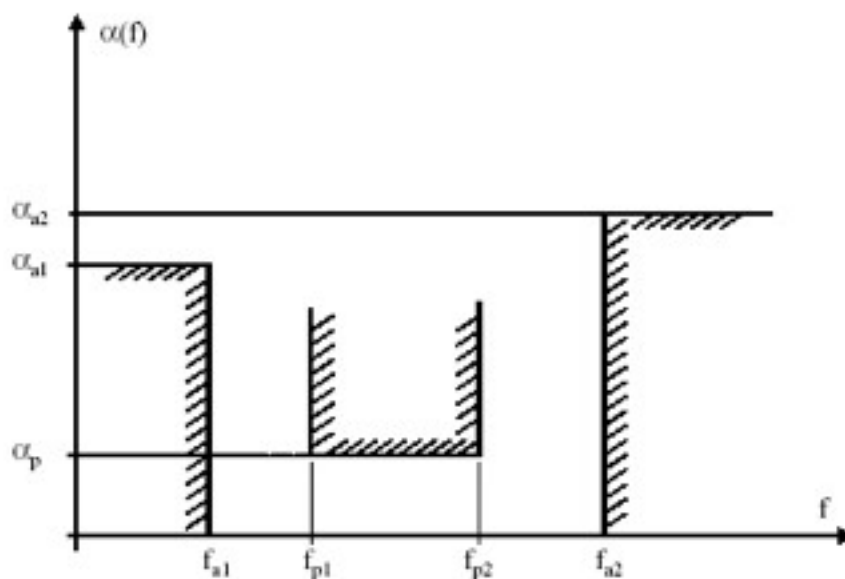
Atenuación de Filtro Ideal



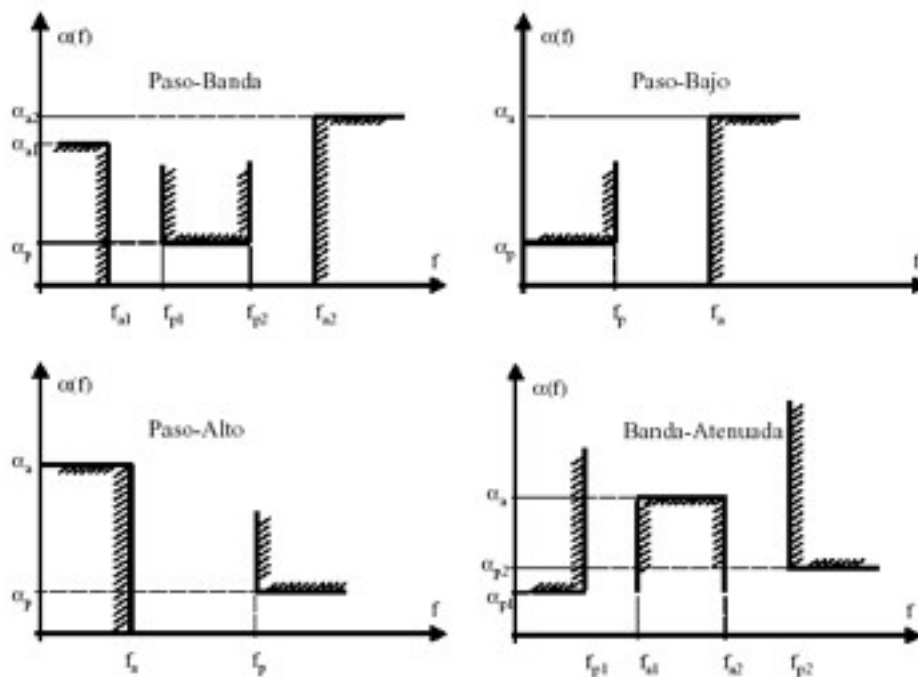
Atenuación de Filtro Real



Mascara de Filtro



Mascaras de Filtros



Fase de un Filtro

$$\angle H(f) = \text{atan} \frac{\Im(H(f))}{\Re(H(f))}$$

Retardo de Fase

$$-\frac{1}{2\pi} \frac{\angle H(f)}{f}$$

Retardo de Grupo

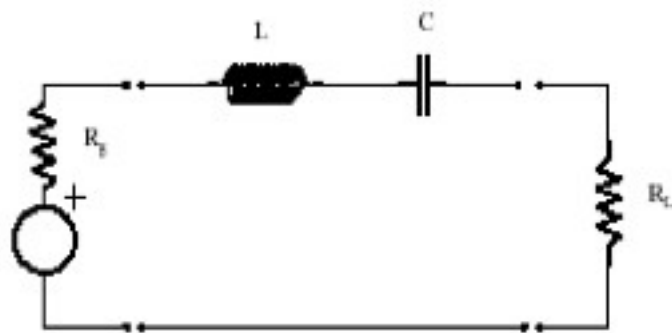
$$-\frac{1}{2\pi} \frac{\partial \angle H(f)}{\partial f}$$

Factor de Calidad

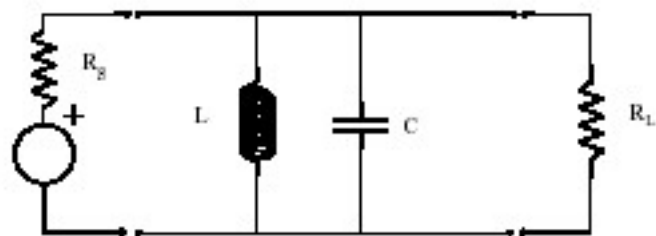
- Relacionado con la pérdida de energía de un circuito RLC

$$Q = \frac{f_0}{BW}$$

Filtro RLC Serie



Filtro RLC Paralelo



Aproximación final

$$H(\omega) = H(\omega_0) \frac{1}{1 + j2Q \frac{\Delta\omega}{\omega_0}}$$

$$H(f) = H(f_0) \frac{1}{1 + j2Q \frac{\Delta f}{f_0}}$$

Ancho de Banda en la Aprox:

- Para el cálculo de ancho de banda 3dB, la energía cae a la mitad:

$$|H(f_c)|^2 = \frac{1}{2} |H(f_0)|^2$$

$$H(f) = H(f_0) \frac{1}{1 + j2Q \frac{\Delta f}{f_0}}$$

$$|H(f)|^2 = |H(f_0)|^2 \left| \frac{1}{1 + j2Q \frac{\Delta f}{f_0}} \right|^2$$

$$\frac{1}{2}|H(f_0)|^2 = |H(f_0)|^2 \left| \frac{1}{1 + j2Q \frac{\Delta f_c}{f_0}} \right|^2$$

$$\frac{1}{2} = \left| \frac{1}{1 + j2Q \frac{\Delta f_c}{f_0}} \right|^2$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{1 + \left(2Q \frac{\Delta f_c}{f_0}\right)^2}$$

$$1 = 2Q \frac{\Delta f_c}{f_0}$$

13

$$1 = \left| 2Q \frac{\Delta f_c}{f_0} \right|$$

$$\Delta f_c = \frac{1}{2} \frac{f_0}{Q}$$

$$\Delta f_c = \frac{1}{2} BW$$

14

$$-\frac{1}{2\pi} \frac{\partial \angle H(f)}{\partial f}$$

$$\angle H(f) = \operatorname{atan} \frac{\Im(H(f))}{\Re(H(f))}$$

$$\Im(H(f)) = 2Q \frac{\Delta f}{f_0}$$

$$\Re(H(f)) = 1$$

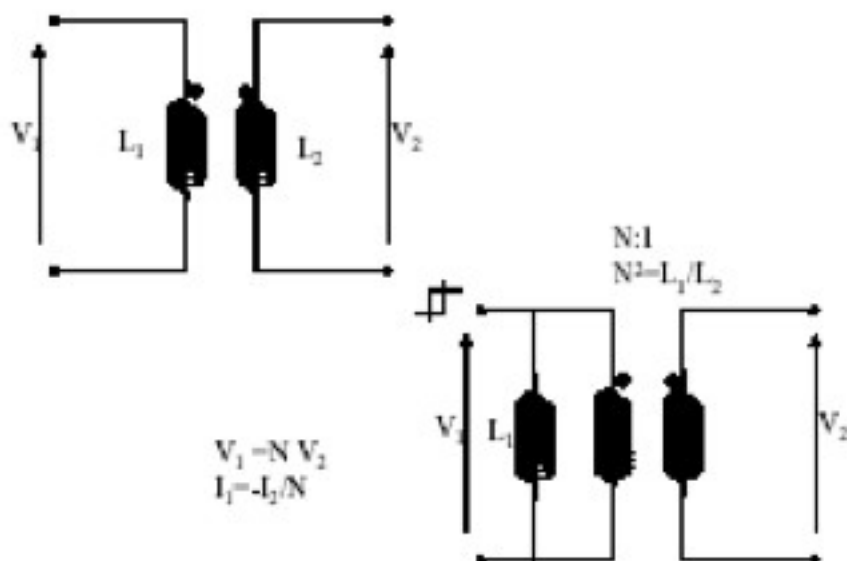
$$\angle H(f) = \operatorname{atan} \left(2Q \frac{\Delta f}{f_0} \right)$$

$$\left| 2Q \frac{\Delta f}{f_0} \right| \leq 1$$

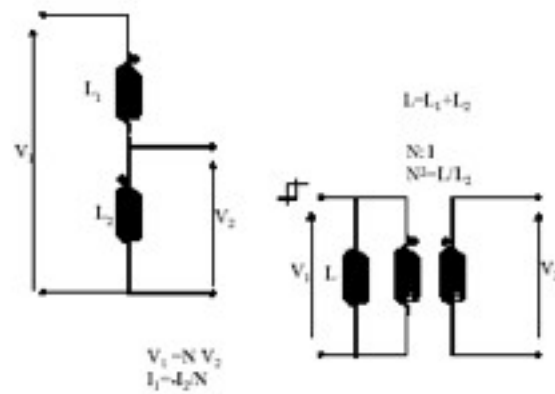
$$\operatorname{atan} \left(2Q \frac{\Delta f}{f_0} \right) \simeq 2Q \frac{\Delta f}{f_0}$$

15

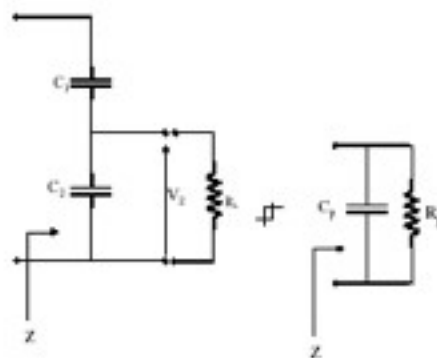
Transformadores



Autotransformadores



Transformadores Capacitivos



$$R_p = R_L \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1} \right)^2$$

$$C_p = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Filtros Complejos Butterworth

$$|H(j\omega)| = \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^{2n}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- Máximamente planos
- Velocidad de atenuación n20dB/decada
- Problemas de retardo de grupo cerca a frecuencia de corte

19

Filtros Chebyshev

$$|H(j\omega)| = \left(\frac{1}{1 + \epsilon^2 \cos^2 \left(n \cos \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right) \right)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- Filtros con rizado en la banda de paso
- Velocidad de atenuación superior a n 20dB/decada
- Problemas de retardo de grupo a frecuencias de corte

20

Filtros Bessel o Thompson

$$|H(j\omega)| = \left(\frac{1}{P_B^n(j\omega)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- Filtros planos en banda de paso y sin con retardo de grupo constante
- Velocidad de atenuación inferior a n 20dB por década

21

Filtros Elípticos o Cauer

$$|H(j\omega)| = \left(\frac{P_C^{n-1}(j\omega)}{P_P^n(j\omega)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- Filtros de alta velocidad de caída
- Problemas de retardo de grupo y rizado
- Efectos secundarios en banda de transición

22

Tecnologías de Filtros

Filtros Pasivos

- Filtros LC
 - Factor calidad $Q < 100$
 - Gran Tamaño
 - Muy bajo coste
 - Pérdidas por Inserción $\sim 1\text{dB}$
 - Atenuación en banda atenuada en orden de 100dB
 - Estabilidad con la temperatura y envejecimiento 0.1%

23

Tecnologías de Filtros

Filtros Pasivos

- Filtros con base en resonadores
 - En frecuencias medias se utilizan inductancias resonantes (UHF $100\text{MHz} \sim 1\text{GHz}$)
 - A altas frecuencias, Cavidades Resonantes
 - Factor de calidad $Q < 1000$
 - Gran tamaño y dependiente de la frecuencia de trabajo
 - Muy bajo coste
 - Pérdidas por inserción: $\sim 1\text{dB}$
 - Atenuación $\sim 100\text{dB}$
 - Buen margen dinámico
 - Estabilidad con la temperatura y envejecimiento 0.1

24

Tecnologías de Filtros

Filtros Pasivos

- Filtros de líneas de micro-strip
 - Utilizables solamente en alta frecuencia $f > 3\text{GHz}$
 - Factor de calidad dependiente del tamaño y calidad del dieléctrico $Q < 100$
 - Muy bajo coste
 - Repetibilidad
 - Pérdidas por inserción $\sim 1\text{dB}$
 - Atenuación $\sim 100\text{dB}$
 - Alto margen dinámico

25

Tecnologías de Filtros

Filtros Pasivos

- Filtros de Cristal de Cuarzo
 - Realizados con materiales piezo-eléctricos
 - Utilizables desde la frecuencia de 5KHz hasta 100Mhz
 - Factor de Calidad 10^4
 - Curvas de atenuación con frecuencia prefijadas
 - Pérdidas por inserción $1\sim 10\text{ dB}$
 - Atenuación superior a 100dB
 - Bajo margen dinámico
 - Estabilidad con la temperatura y envejecimiento 5ppm

26

Tecnologías de Filtros

Filtros Pasivos

- Filtros Cerámicos
 - Similares a los cristales pero con peor calidad
 - Utilizables desde 100 Khz hasta 700 Khz
 - Factor de calidad ~ 100

27

Tecnologías de Filtros

Filtros Activos

- Basados en resistencias, condensadores y amplificadores operacionales
- Utilizables desde DC hasta 100Khz
- Factor de calidad ~ 100
- Bajo margen dinámico
- Fácilmente integrables
- Aplicaciones de audio

28

Adaptación de Impedancias

- Coeficiente de Reflexión

$$\Gamma = \frac{Z_i - Z_o}{Z_i + Z_o}$$

- Relación de Onda Estacionaria

$$ROE = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

29

Potencias Entregadas y Reflejadas

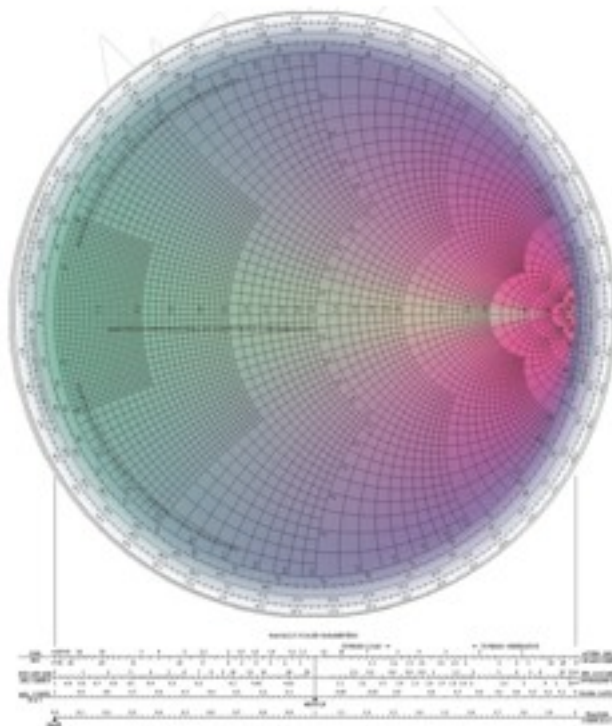
$$P_{entregada} = P_{disponible}(1 - |\Gamma|^2)$$

$$P_{reflejada} = P_{disponible}(|\Gamma|)^2$$

30

Adaptación de Impedancias

Carta de Smith



31

Adaptación de Impedancias

Conversión Paralelo->Serie

$$R_s = \frac{R_p X_p^2}{R_p^2 + X_p^2}$$

$$X_s = \frac{X_p R_p^2}{R_p^2 + X_p^2}$$

32

Adaptación de Impedancias

Conversión Serie->Paralelo

$$R_p = \frac{R_s^2 + X_s^2}{R_s}$$

$$X_p = \frac{R_s^2 + X_s^2}{X_s}$$