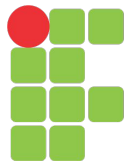


Radio Transmissão

Prof. MSc. Estevão Simão
Filtros

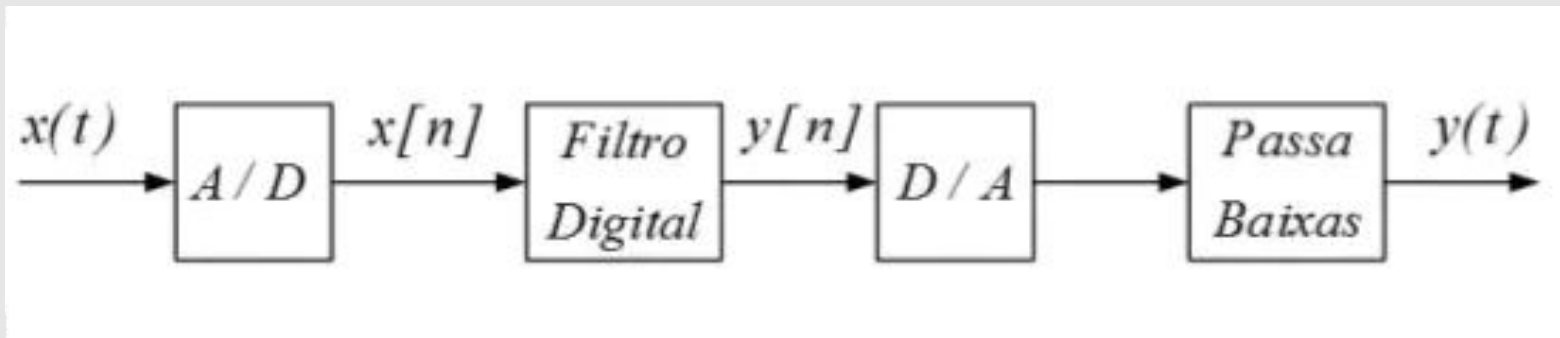
Sumário - Filtros

- Introdução
- Filtros
 - Filtros ideais e reais
 - Filtros Passivos
 - Passa-baixas
 - Passa-alta
 - Passa-faixa



Filtros

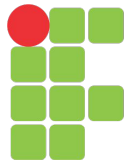
Introdução



Filtros

Introdução

- Um FILTRO é um circuito seletivo em frequência.
- Os filtros são projetados para permitir a passagem de algumas frequências e rejeitar outras.



Os cinco tipos básicos de circuitos de filtros são os seguintes:

- **Filtro passa-baixa**

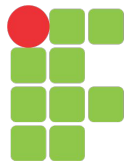
- Permite a passagem das frequências abaixo de uma frequência crítica denominada de frequência de corte (cutoff frequency) e atenua bastante as frequências acima dela.

- **Filtro passa-alta**

- Permite a passagem das frequências acima do corte, mas rejeita todas abaixo dela.

- **Filtro passa-faixa**

- Permite a passagem das frequências em uma faixa estreita entre as frequências de corte inferior e superior.



Os cinco tipos básicos de circuitos de filtros são os seguintes:

- **Filtro rejeita-faixa**
 - Rejeita ou atenua frequências em uma faixa estreita, mas permite frequências acima e abaixo desta faixa.
- **Filtro passa-tudo**
 - Permite a passagem de todas as frequências igualmente ao longo da faixa projetada, mas tem uma característica de deslocamento de fase fixa ou previsível.

Filtros ideais e reais

- Em geral, sistemas de comunicação incluem filtros, com a finalidade de separar um sinal, contendo informação, de contaminações indesejáveis como interferência, ruído e produtos de distorção.
 - Um filtro ideal exhibe as características de transmissão sem distorção, ao longo de uma ou mais bandas especificadas, e resposta nula à todas as demais frequências.

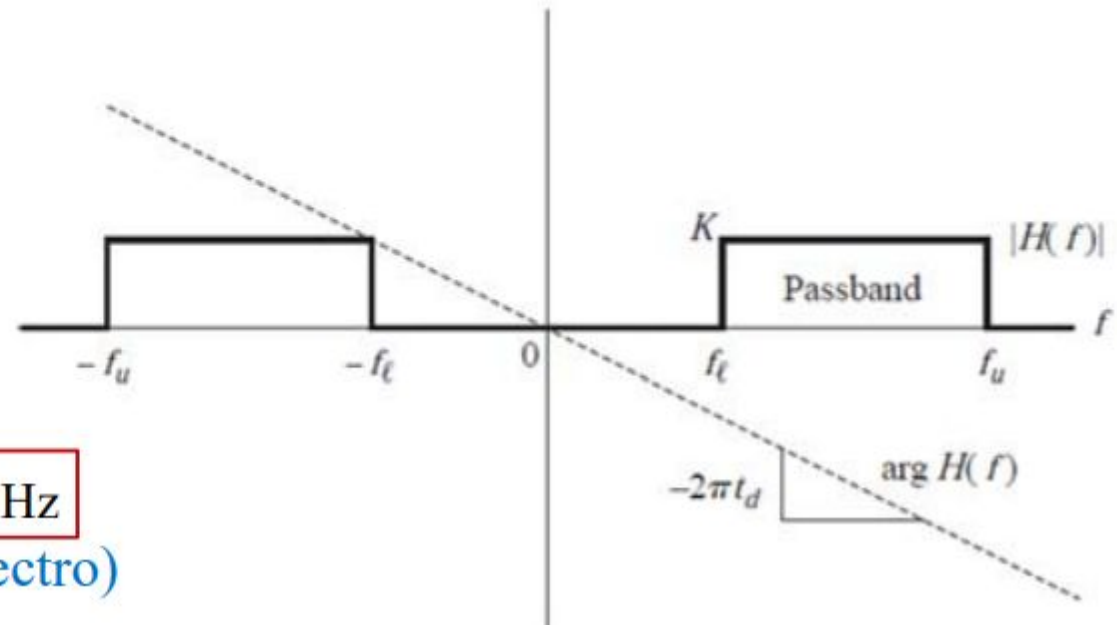
Filtros

Filtros ideais e reais

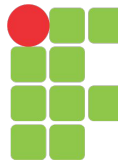
- Em particular, a resposta em frequência de um **filtro passa-banda (BPF)** ideal é

$$H(f) = \begin{cases} Ke^{-j\omega t_d} & f_\ell \leq |f| \leq f_u \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

f_ℓ = frequência de corte inferior
 f_u = frequência de corte superior



Largura de banda do filtro: $B = f_u - f_\ell$, Hz
(definida apenas na porção positiva do espectro)



Filtros

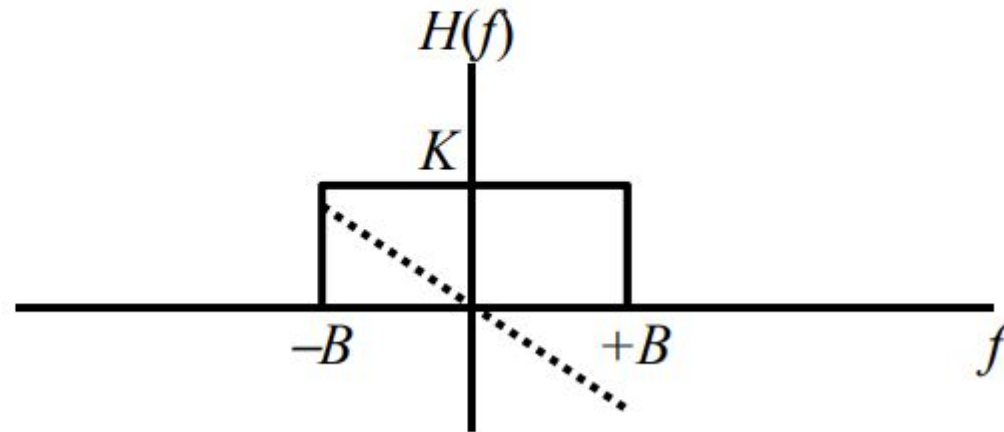
Filtros ideais e reais

- De maneira similar, um **filtro passa-baixa (LPF)** ideal é definido por:

$$H(f) = \begin{cases} Ke^{-j\omega t_d} & f_\ell \leq |f| \leq f_u \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

porém, com $f_\ell = 0$.

Largura de banda: $B = f_u$



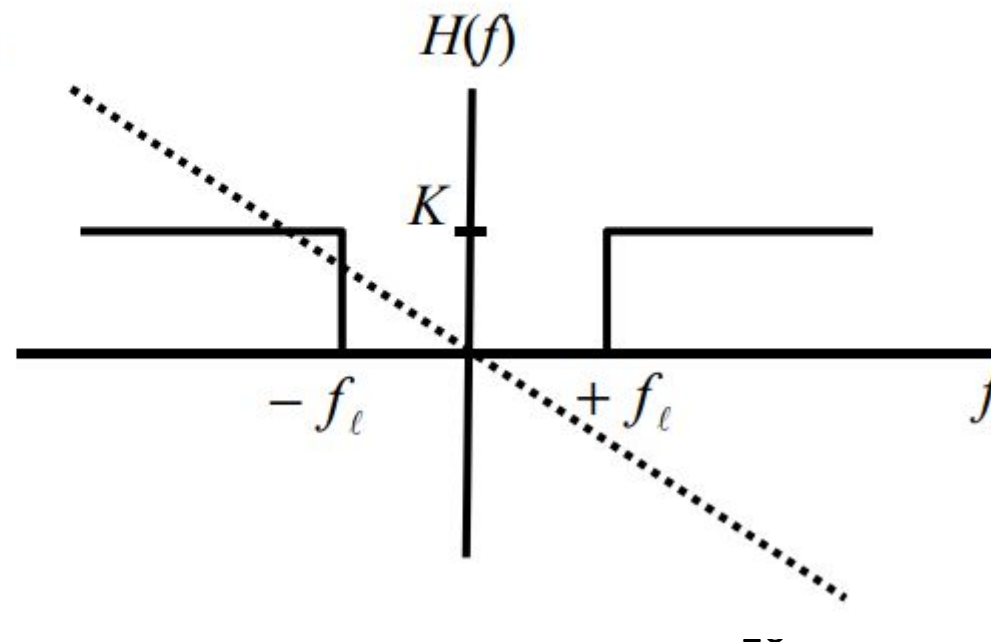
Filtros

Filtros ideais e reais

- Já um **filtro passa-alta (HPF)** ideal é definido por:

$$H(f) = \begin{cases} Ke^{-j\omega t_d} & f_\ell \leq |f| \leq f_u \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

porém, com $f_\ell > 0$ e $f_u = \infty$.



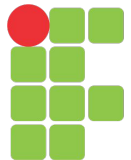
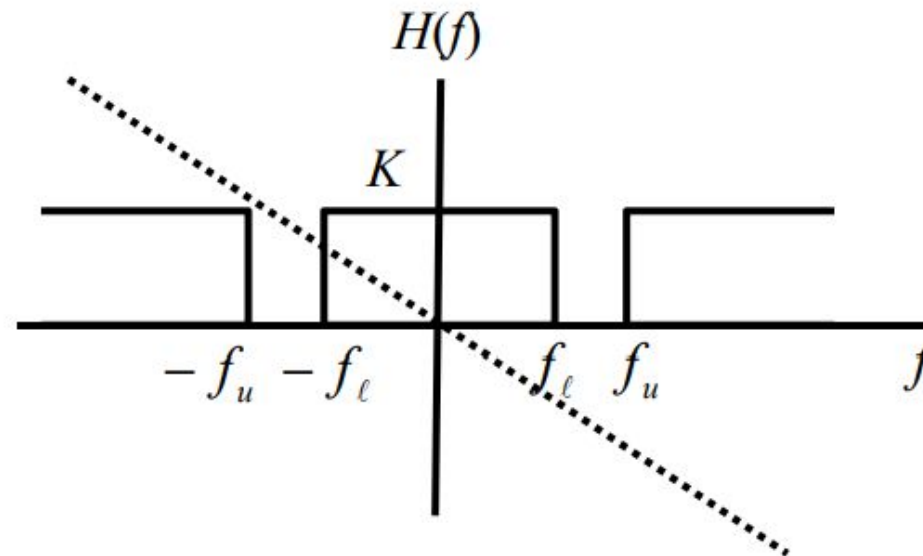
Filtros

Filtros ideais e reais

- Um filtro rejeita faixa (ou filtro notch) ideal é definido por:

$$H(f) = \begin{cases} Ke^{-j\omega t_d} & 0 \leq |f| \leq f_\ell \text{ and } |f| \geq f_u \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

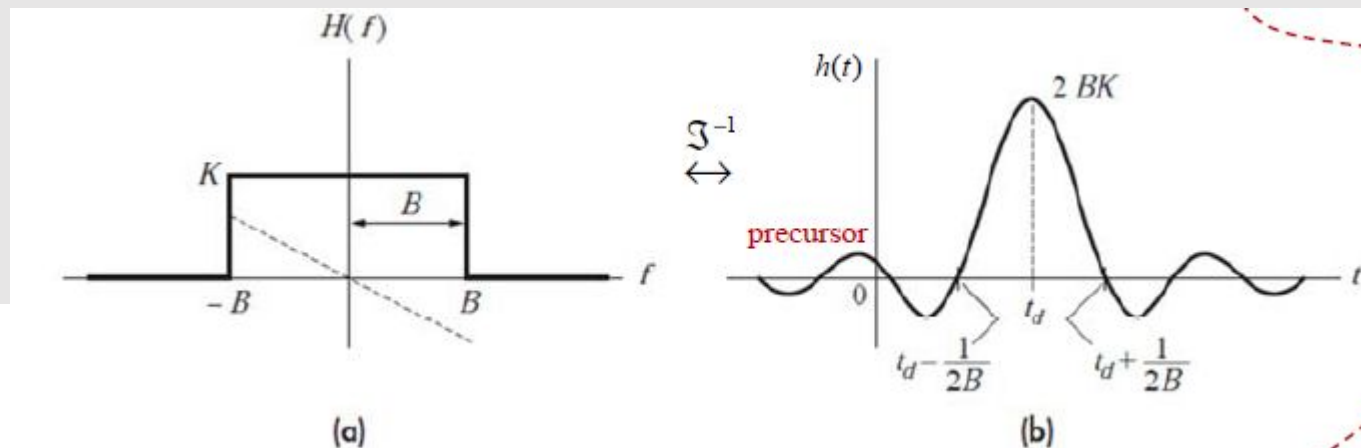
ou seja, em $f_\ell \leq |f| \leq f_u$, ocorre $H(f) = 0$.



Filtros

Filtros ideais e reais

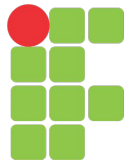
- Contudo, filtros ideais não são fisicamente realizáveis, no sentido de que suas características não podem ser sintetizadas com um número finito de elementos.
- **Realizabilidade de Filtros Ideais**



Filtros

Filtros Passivos

- São filtros simples criados com o uso de resistores e capacitores ou de indutores e capacitores.
 - Eles usam componentes passivos que não amplificam.
- No trabalho de comunicação, a maioria dos filtros é do tipo LC passivo, embora muitos outros tipos de filtros sejam usados.



Filtro Passivo RC

- Um filtro passa-baixas permite que as componentes de baixa frequência da tensão aplicada atinjam a resistência de carga na saída, ao passo que a componentes de alta frequência são atenuadas, ou reduzidas, na saída.
- Um filtro passa-altas faz o oposto, permitindo que as componentes de alta frequência da tensão aplicada atinjam a resistência de carga na saída.
- **Os filtros RC usam combinações de resistores e capacitores para conseguir a resposta desejada.**
 - **A maioria dos filtros RC é do tipo passa-baixas ou passa-altas.**

Filtros

Filtro Passivo RC

- Filtro passa-baixa simples
 - O circuito tem a forma de um divisor de tensão simples com um componente sensível à frequência, neste caso o capacitor.
 - Em frequências muito baixas, o capacitor tem uma reatância muito alta em comparação com a resistência e, portanto, a atenuação é mínima.
 - À medida que a frequência aumenta, a reatância capacitiva diminui.
 - Quando a reatância se torna menor do que a resistência, a atenuação aumenta rapidamente.

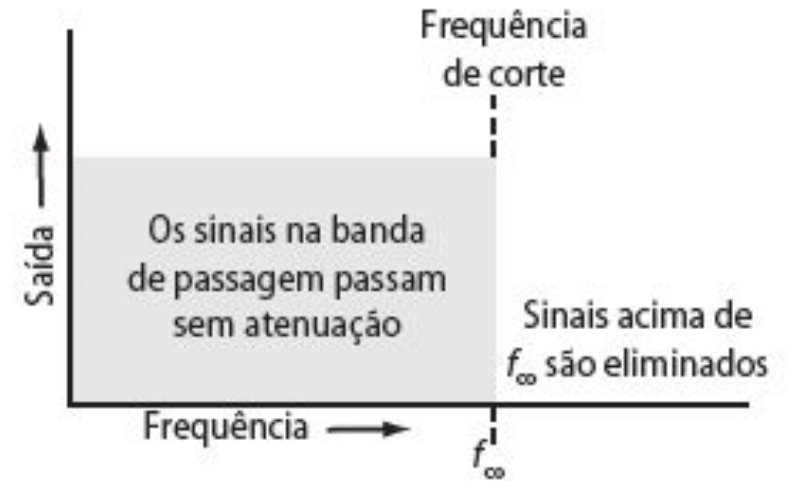
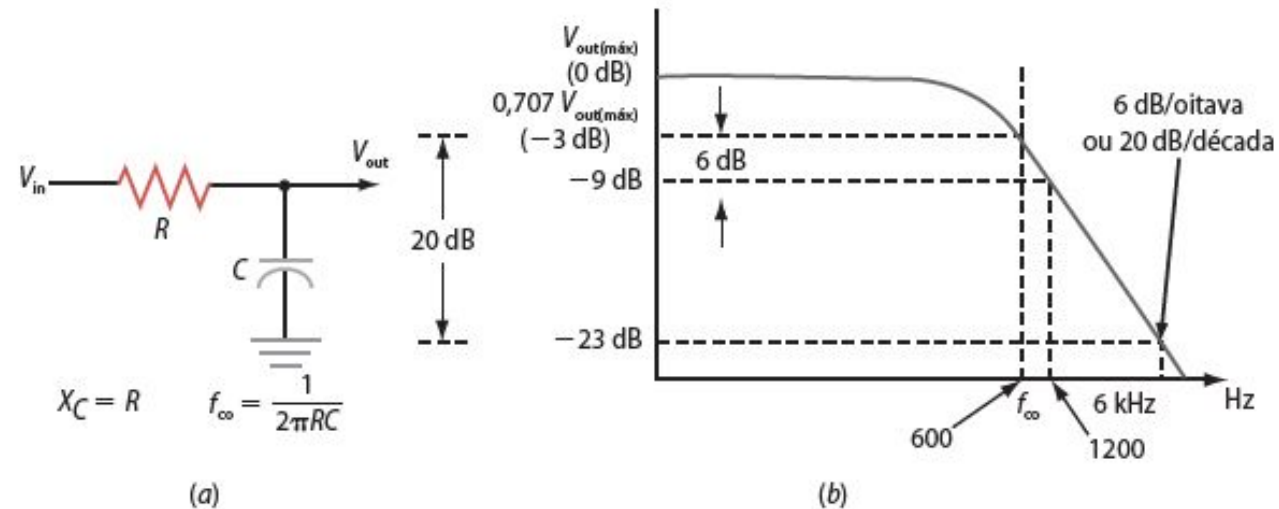


Figura 2-23 Curva de resposta ideal de um filtro passa-baixas.

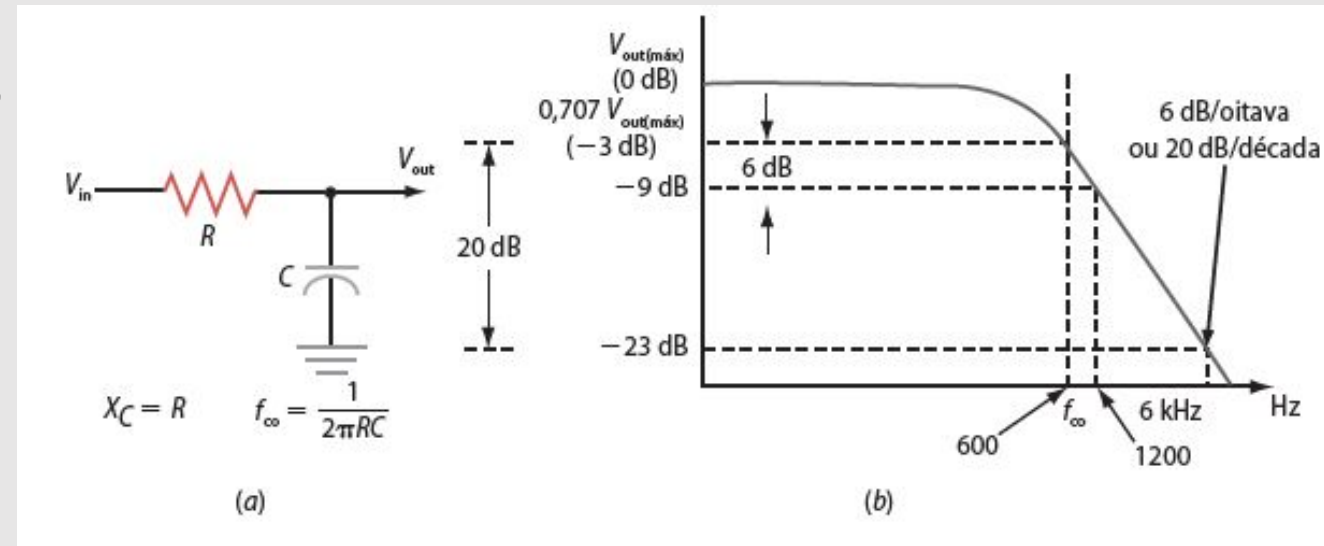


Filtros

Filtro Passivo RC

- Filtro passa-baixa simples
 - Frequência de corte do filtro é dado quando $X_C = R$

$$X_C = R$$
$$\frac{1}{2\pi f_c} = R$$
$$f_{co} = \frac{1}{2\pi RC}$$

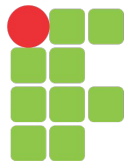


Filtros

Filtro Passivo RC

- Filtro passa-baixa simples
 - Ex.: Qual é a frequência de corte de uma seção simples de um filtro passa-baixas RC com $R = 8,2 \text{ k}\Omega$ e $C = 0,0033 \text{ }\mu\text{F}$?

$$\begin{aligned}X_c &= R \\ \frac{1}{2\pi f_c} &= R \\ f_{co} &= \frac{1}{2\pi RC}\end{aligned}$$



Filtros

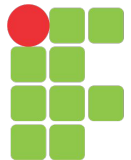
Filtro Passivo RC

- Filtro passa-baixa simples
 - Ex.: Qual é a frequência de corte de uma seção simples de um filtro passa-baixas RC com $R = 8,2 \text{ k}\Omega$ e $C = 0,0033 \text{ }\mu\text{F}$?

Solução:

$$f_{co} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(8,2 \times 10^3)(0,0033 \times 10^{-6})}$$
$$f_{co} = 5.881,56 \text{ Hz} \quad \text{ou} \quad 5,88 \text{ kHz}$$

$$X_c = R$$
$$\frac{1}{2\pi f_c} = R$$
$$f_{co} = \frac{1}{2\pi RC}$$



Filtro Passivo RC

- Filtro passa-baixa simples
 - **Ponto de 3 dB**
 - Na frequência de corte a amplitude de saída é 70,7% da amplitude de entrada em baixas frequências.
 - É quando o filtro tem um ganho de tensão de 3 dB na frequência de corte.
 - Uma **OITAVA** é definida como o dobro ou a metade de uma frequência.
 - Uma **DÉCADA** representa um décimo ou uma relação de 10 vezes.
 - Considere que um filtro tem uma frequência de corte de 600 Hz.
 - Se a frequência dobrar para 1200 Hz, a atenuação aumentará em 6 dB, ou de 3 dB no corte para 9 dB em 1200 Hz.
 - Se a frequência aumentasse por um fator de 10 de 600 Hz a 6 kHz, a atenuação aumentaria por um fator de 20 dB a partir de 3 dB no corte até 23 dB em 6 kHz.

Filtros

Filtro Passivo RC

- Filtro passa-baixa simples

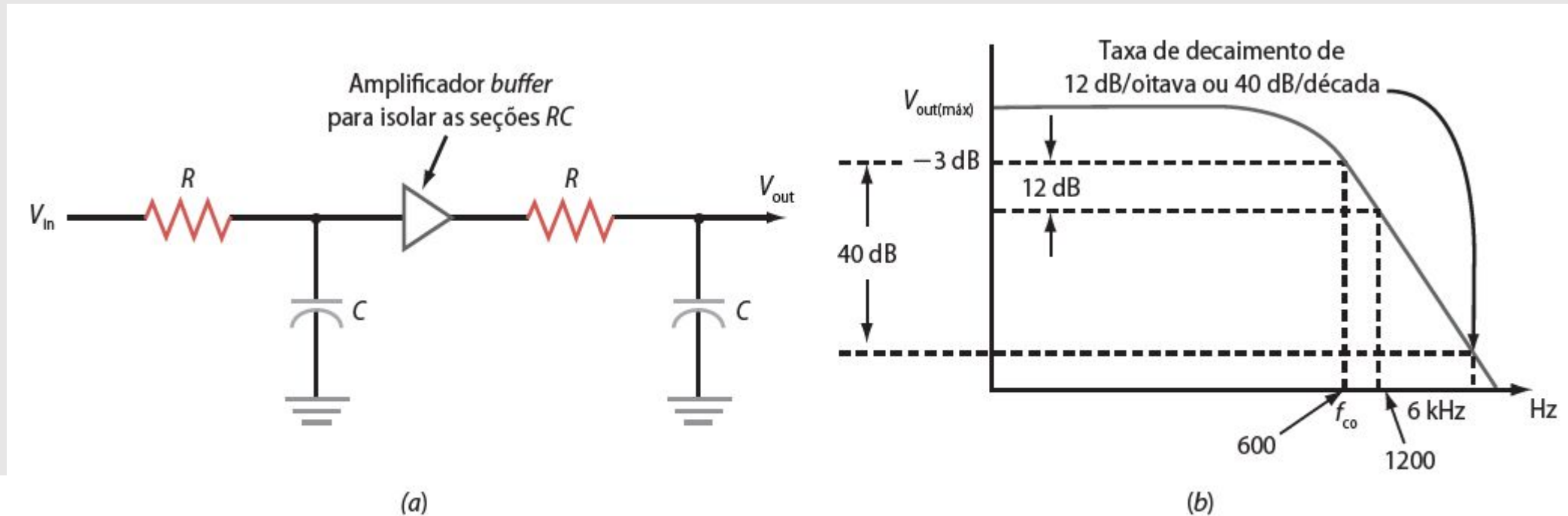


Figura 2-25 Um filtro *RC* de dois estágios melhora a resposta, mas aumenta a perda de sinal. (a) Circuito. (b) Curva de resposta.

Filtro Passivo RC

- Filtro passa-baixa simples
 - Com uma curva de atenuação mais acentuada, diz-se que o circuito é **mais seletivo**.
 - A desvantagem de uma conexão em cascata é que uma atenuação maior torna o sinal de saída consideravelmente menor.
 - Esta atenuação do sinal na banda de passagem do filtro é denominada **PERDA DE INSERÇÃO**.

Filtros

Filtro Passivo RC

- Filtro passa-baixa simples
 - Um filtro passa-baixas também pode ser implementado com um indutor e um resistor.
 - A curva de resposta para esse filtro RL é a mesma do RC.
 - A frequência de corte é determinada pelo uso da fórmula:

$$f_{co} = \frac{R}{2\pi L}$$

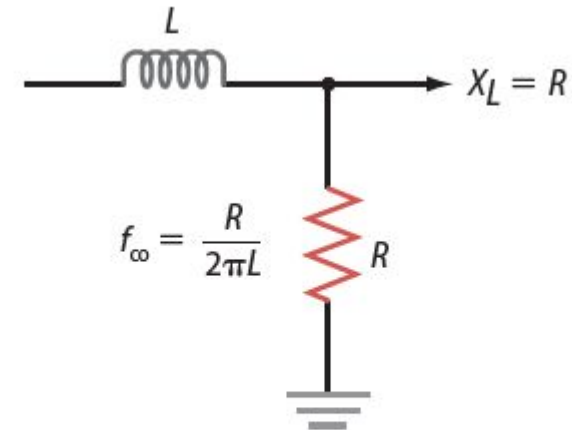
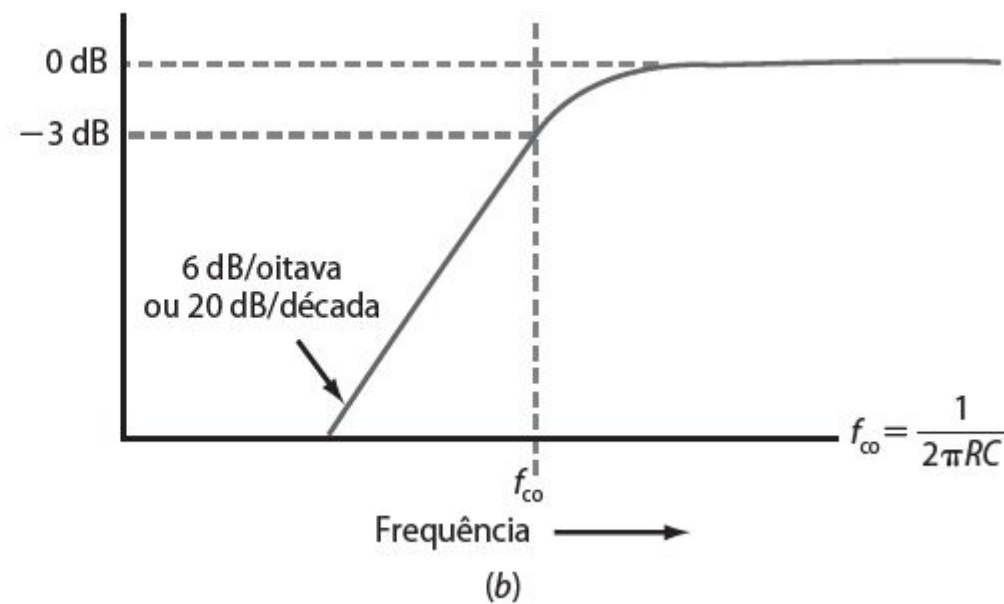
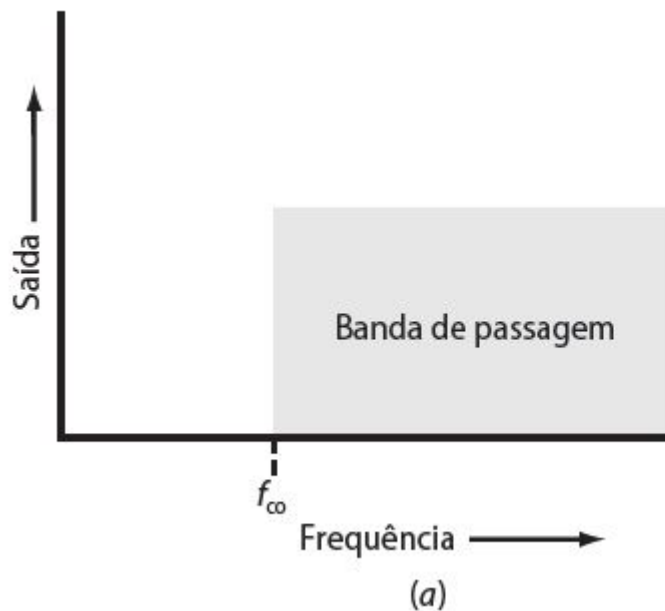


Figura 2-26 Um filtro passa-baixas implementado com um indutor.

Filtros

Filtro Passivo RC

- Filtro passa-alta

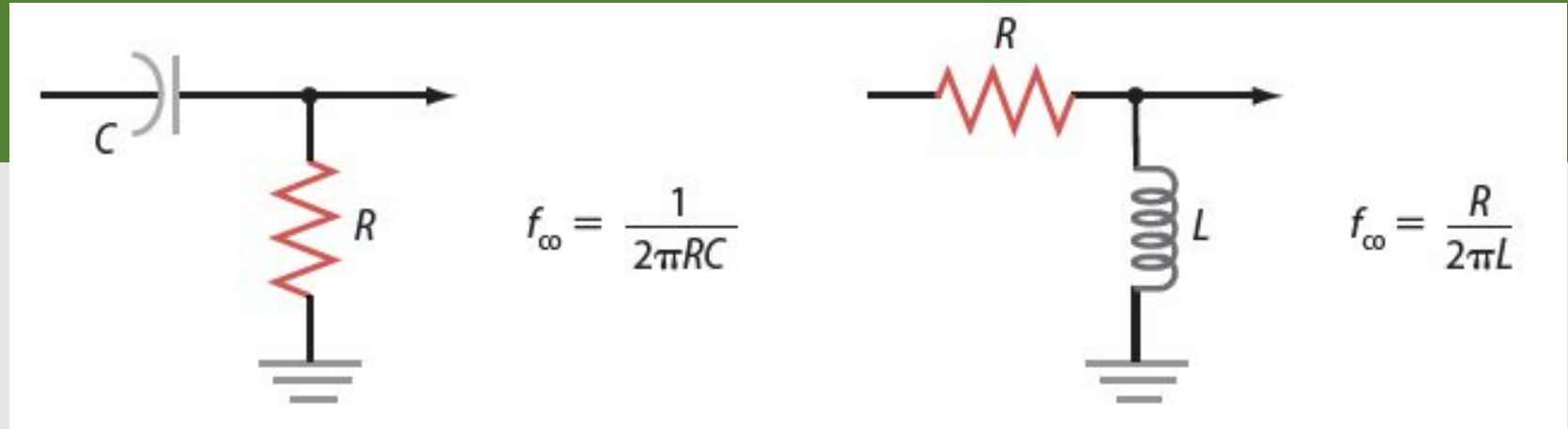


Filtros

Filtro Passivo RC

- Filtro passa-alta

- Em frequências baixas, X_c é muito alto.
- Quando X_c é muito maior do que R , o efeito do divisor de tensão proporciona uma alta atenuação dos sinais de baixa frequência.
- À medida que a frequência aumenta, a reatância capacitiva diminui.
- Quando a reatância capacitiva é igual ou menor do que a resistência, o divisor de tensão proporciona uma atenuação muito pequena.
- Portanto, as frequências altas passam relativamente quase inalteradas.



Filtros

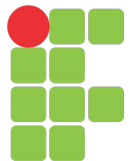
Filtro Passivo RC

- Filtro passa-alta
 - Frequência de corte
 - $X_c = R$

$$f_{co} = \frac{R}{2\pi RC}$$

$$f_{co} = \frac{R}{2\pi L}$$

- A taxa de decaimento é 6 dB por oitava ou 20 dB por década.



Filtro Passivo RC

- Filtro passa-alta
 - Qual é o valor padrão de resistor EIA que produz uma frequência de corte de 3,4 kHz com um capacitor de 0,047 μF em um filtro passa-altas RC?

$$f_{\text{co}} = \frac{R}{2\pi RC}$$

Filtros

Filtro Passivo RC

- Filtro passa-alta

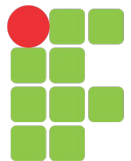
- Qual é o valor padrão de resistor EIA que produz uma frequência de corte de 3,4 kHz com um capacitor de $0,047 \mu\text{F}$ em um filtro passa-altas RC?

Solução

$$f_{\text{co}} = \frac{R}{2\pi RC}$$

$$R = \frac{1}{2\pi f_{\text{co}} C} = \frac{1}{2\pi(3,4 \times 10^3)(0,047 \times 10^{-6})} = 996 \Omega$$

Os valores padrão mais próximos são 910 e 1000 Ω , sendo 1000 Ω o mais próximo.



Filtros

Filtro Passivo RC

- Filtro passa-alta

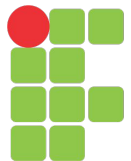
- Qual é o valor padrão de resistor EIA que produz uma frequência de corte de 3,4 kHz com um capacitor de 0,047 μF em um filtro passa-altas RC?

Solução

$$f_{\text{co}} = \frac{R}{2\pi RC}$$

$$R = \frac{1}{2\pi f_{\text{co}} C} = \frac{1}{2\pi(3,4 \times 10^3)(0,047 \times 10^{-6})} = 996 \, \Omega$$

Os valores padrão mais próximos são 910 e 1000 Ω , sendo 1000 Ω o mais próximo.



Filtro Passivo RC

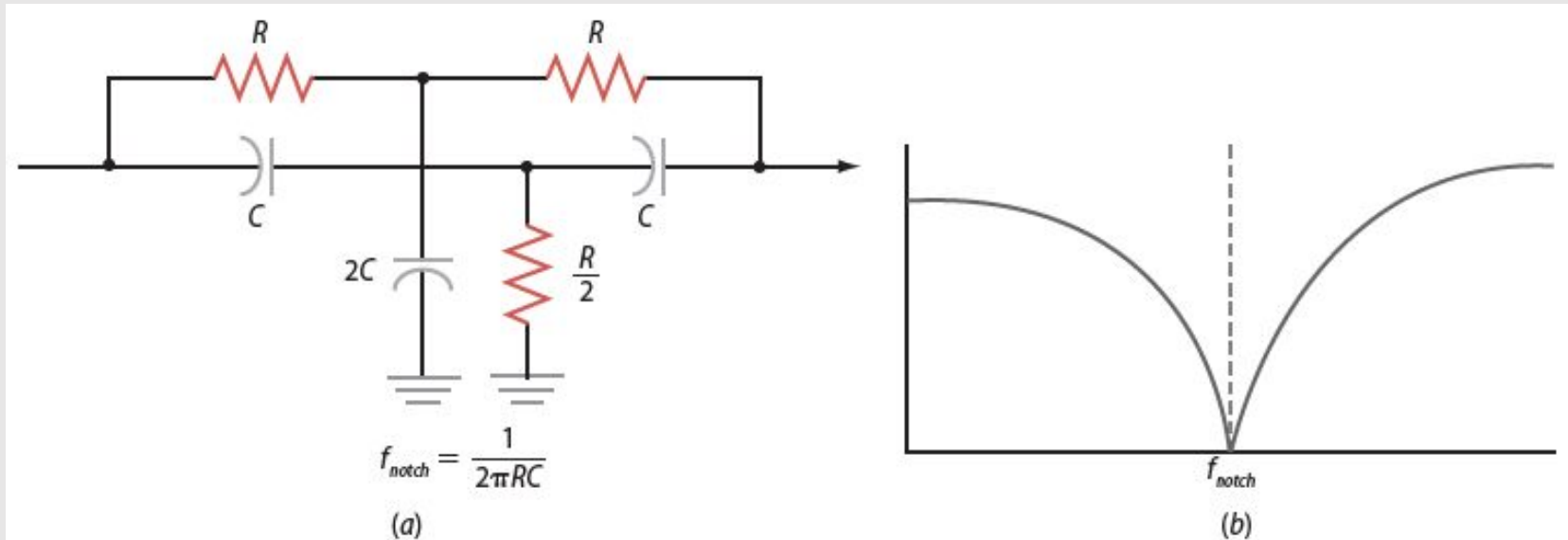
- Filtro notch RC
 - São conhecidos como **FILTROS REJEITA-FAIXA** ou **REJEITA-BANDA**.
 - São usados para atenuar intensamente uma faixa estreita de frequências em torno de um ponto central.
 - Têm a mesma finalidade, mas para uma frequência única.

Filtros

Filtro Passivo RC

- Filtro notch RC

-



Filtro Passivo RC

- Filtro notch RC

- Este circuito é denominado **FILTRO NOTCH DUPLO T** ou **T EM PARALELO**.
 - Esse filtro é uma variação de um circuito em ponte.
- Funcionamento:
 - Um circuito em ponte a saída é zero se a ponte estiver equilibrada.
 - Se os valores dos componentes estão precisamente casados, o circuito estará em equilíbrio e produzirá uma atenuação de um sinal de entrada na frequência desejada tão alta quanto 30 a 40 dB.

Filtro Passivo RC

- Filtro notch RC
 - A frequência notch central:

$$f_{\text{notch}} = \frac{R}{2\pi RC}$$

- Por exemplo, se os valores de resistência e capacitância são 100 kΩ e 0,02 μF, a frequência notch é

$$f_{\text{notch}} = \frac{1}{6,28(10^5)(0,02 \times 10^{-6})} = 79,6 \text{ Hz}$$

Filtro Passivo RC

● Filtro notch RC

- Os filtros notch duplo T são usados principalmente em baixas frequências, áudio e abaixo desta faixa.
- Um uso comum é eliminar o zumbido de 60 Hz da rede elétrica dos circuitos de áudio e dos amplificadores de baixa frequência de equipamentos médicos.
- O mais importante na frequência notch é a precisão nos valores dos componentes.
- Os valores do resistor e do capacitor têm que ser casados para se conseguir uma alta atenuação.

Filtro Passivo RC

- Filtro notch RC
 - Ex.: Qual valor de capacitor seria usado em um filtro notch duplo T para remover 120 Hz se $R = 220 \text{ k}\Omega$?

Filtros

Filtro Passivo RC

- Filtro notch RC

- Ex.: Qual valor de capacitor seria usado em um filtro notch duplo T para remover 120 Hz se $R = 220 \text{ k}\Omega$?

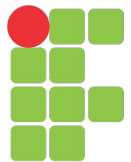
Solução:

$$f_{\text{notch}} = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f_{\text{notch}} R} = \frac{1}{6,28(120)(220 \times 10^3)}$$

$$C = 6,03 \times 10^{-9} = 6,03 \text{ nF ou } 0,006 \mu\text{F}$$

$$2C = 0,012 \text{ F}$$



Filtro Passivo LC

- Em frequências de rádio, a atenuação de filtros RC na banda de passagem é muito grande e a inclinação no corte é muito gradual.
 - Eles são muitos comuns em frequências de áudio, mas são raramente usados acima de aproximadamente 100 kHz.
- Em frequência de rádio é mais comum ver filtros LC feitos com indutores e capacitores.
 - Os indutores para frequências baixas são grandes, volumosos e caros, mas aqueles usados em frequências altas são muito pequenos, leves e baratos.

Filtro Passivo LC

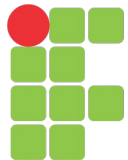
- Definições Importantes

- BANDA DE PASSAGEM

- Essa é a faixa de frequência na qual o filtro permite a passagem de sinais.
 - Ela se situa entre as frequências de corte ou entre a frequência de corte e o zero (para filtro passa-baixa) ou entre a frequência de corte e o infinito (para filtros passa-alta).

- BANDA DE CORTE.

- Essa é a faixa de frequência fora da banda de passagem, ou seja, a faixa de frequência que é fortemente atenuada pelo filtro.
 - As frequências nesta faixa são rejeitadas.



Filtro Passivo LC

- Definições Importantes

- ATENUAÇÃO

- Este é o valor pelo qual as frequências indesejadas na banda de corte são reduzidas.
 - Ele pode ser expresso como uma relação de potências ou tensões entre saída e entrada.

- PERDA DE INSERÇÃO

- A perda de inserção é a perda introduzida pelo filtro sobre os sinais na banda de passagem.
 - Os filtros passivos introduzem atenuação por causa das perdas resistivas dos componentes. Geralmente a perda de inserção é dada em decibéis.

Filtro Passivo LC

- Definições Importantes

- IMPEDÂNCIA

- Impedância é o valor resistivo da terminação na carga e na fonte do filtro. Geralmente os filtros são projetados para determinadas impedâncias de fonte e de carga que devem estar presentes para uma operação adequada.

- ONDULAÇÃO

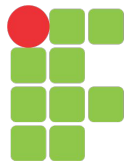
- A variação da amplitude com a frequência na banda de passagem, ou a subida e descida repetitiva do nível do sinal na banda de passagem, é denominada ondulação (ripple).
 - Geralmente a ondulação é expressa em decibéis. Ela também pode ocorrer na banda de corte em alguns tipos de filtros.

Filtro Passivo LC

- Definições Importantes

- FATOR DE FORMA

- O fator de forma, também conhecido como relação de largura de banda, é a razão entre a largura de banda no corte e na banda de passagem de um filtro passa-faixa.
 - Ele compara a largura de banda na atenuação mínima, geralmente nos pontos de 3 dB ou frequências de corte, e na atenuação máxima e, portanto, fornece uma indicação relativa de **taxa de atenuação ou seletividade**.
 - Quanto menor essa taxa, maior a seletividade.
 - O ideal é uma taxa de 1, que geralmente não pode ser obtida com filtros reais.



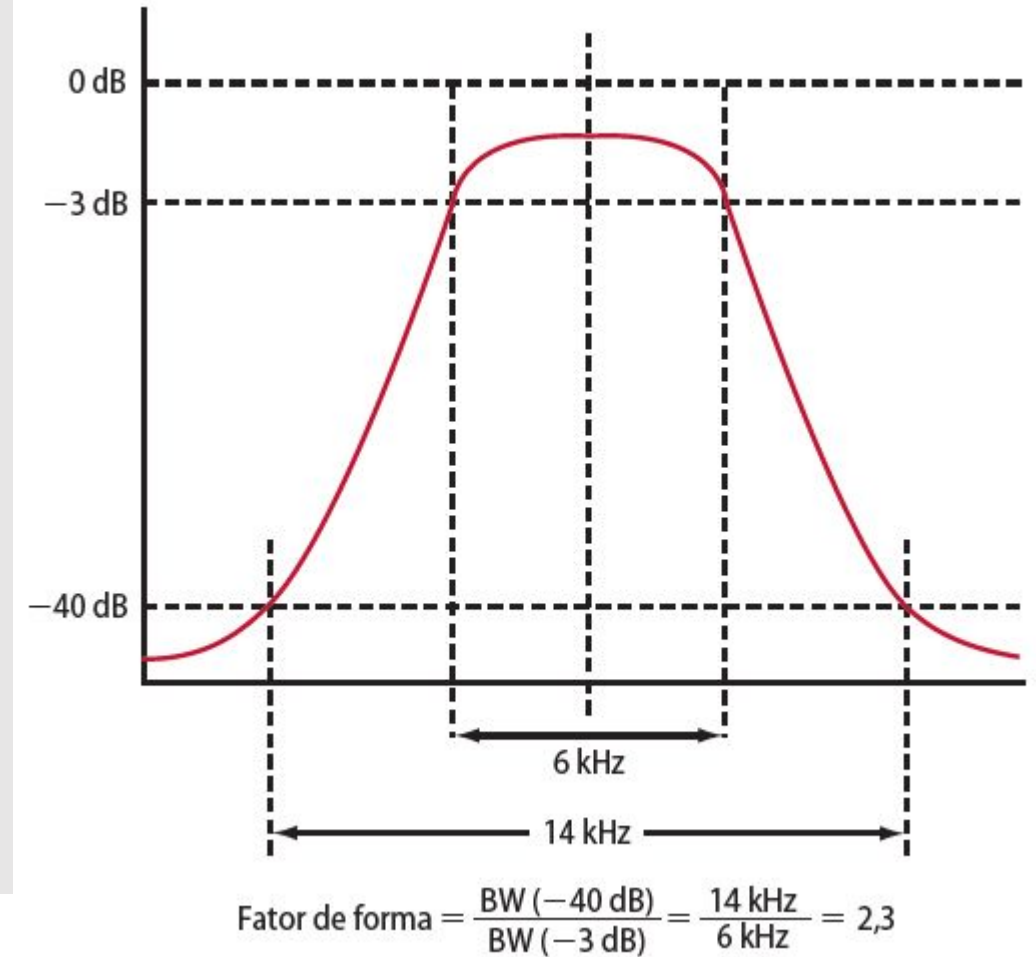
Filtros

Filtro Passivo LC

- Definições Importantes

- FATOR DE FORMA

- Portanto, o fator de forma é $14 \text{ kHz} / 6 \text{ kHz} = 2,333$.
 - Os pontos de comparação variam de um filtro para outro e de um fabricante para outro.
 - Os pontos de comparação podem ser os pontos de 6 dB e 60 dB ou em quaisquer outros dois níveis determinados.



Filtro Passivo LC

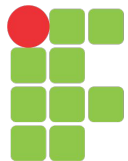
● Definições Importantes

○ POLO

- Um polo é uma frequência na qual há uma alta impedância no circuito.
- Ele também é usado para descrever uma seção RC de um filtro.
 - Um filtro RC passa-baixas simples tem um polo. Um filtro RC de duas seções tem dois polos.
 - No caso dos filtros LC passa-baixas e passa-altas, o número de polos é igual ao número de componentes reativos no filtro. No caso dos filtros passa-faixa e rejeita-faixa, o número de polos é geralmente considerado como sendo metade do número de componentes reativos usados.

○ ZEROS

- Este termo se refere à frequência na qual existe uma impedância zero no circuito.



Filtro Passivo LC

- Definições Importantes

- ATRASO DE ENVOLTÓRIA

- Também conhecido como atraso de tempo, o atraso de envoltória é o **tempo que leva para um ponto específico da forma de onda de entrada passar pelo filtro.**

- DECAIMENTO

- Também denominado de taxa de atenuação, o decaimento (roll-off) é a taxa de variação da amplitude amplitude com a frequência no filtro.
 - Quanto mais rápido o decaimento, ou quanto maior a taxa de atenuação, maior a seletividade do filtro, ou seja, melhor a capacidade do filtro diferenciar dois sinais de frequências bem próximas, em que um é desejado e o outro não.

Filtro Passivo LC

- Qualquer um dos quatro tipos básicos de filtros pode ser facilmente implementado com indutores e capacitores.
- Estes filtros podem ser construídos para frequências até aproximadamente algumas centenas de megahertz antes que os valores dos componentes se tornem, em termos práticos, demasiadamente pequenos.
- Em frequências superiores a esta são comuns filtros especiais construídos com técnicas de microstrip em placas de circuito impresso, filtros de ondas acústicas superficiais e cavidades ressonantes.

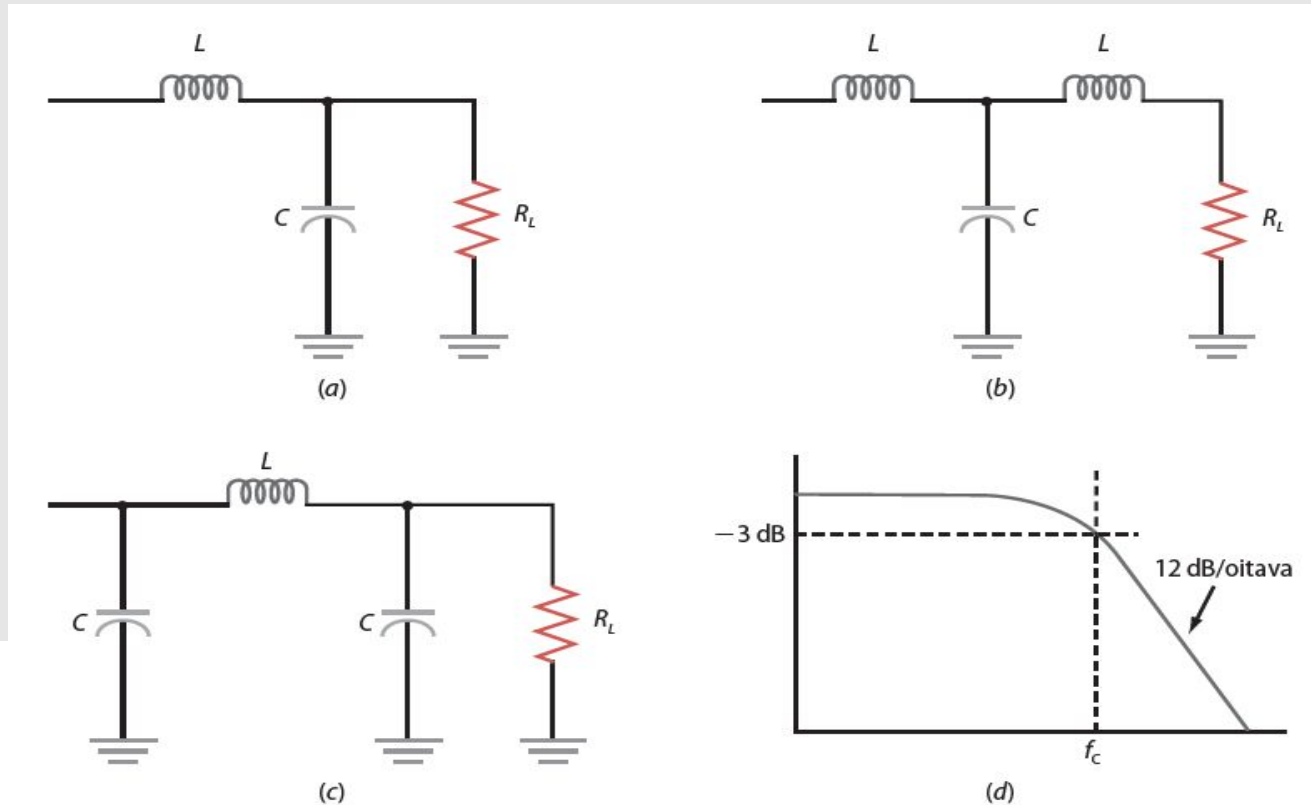
Filtro Passivo LC

- Devido ao uso dos dois tipos de reatância, indutiva combinada com a capacitiva, a taxa de decaimento da atenuação é maior com filtros LC do que com filtros RC.
- Os indutores tornam os filtros maiores e mais caros, mas a necessidade de uma seletividade maior faz com que seja necessário este tipo de filtro.

Filtros

Filtro Passivo LC passa-baixa e passa-alta

- Filtros Passa-baixas



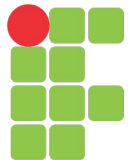
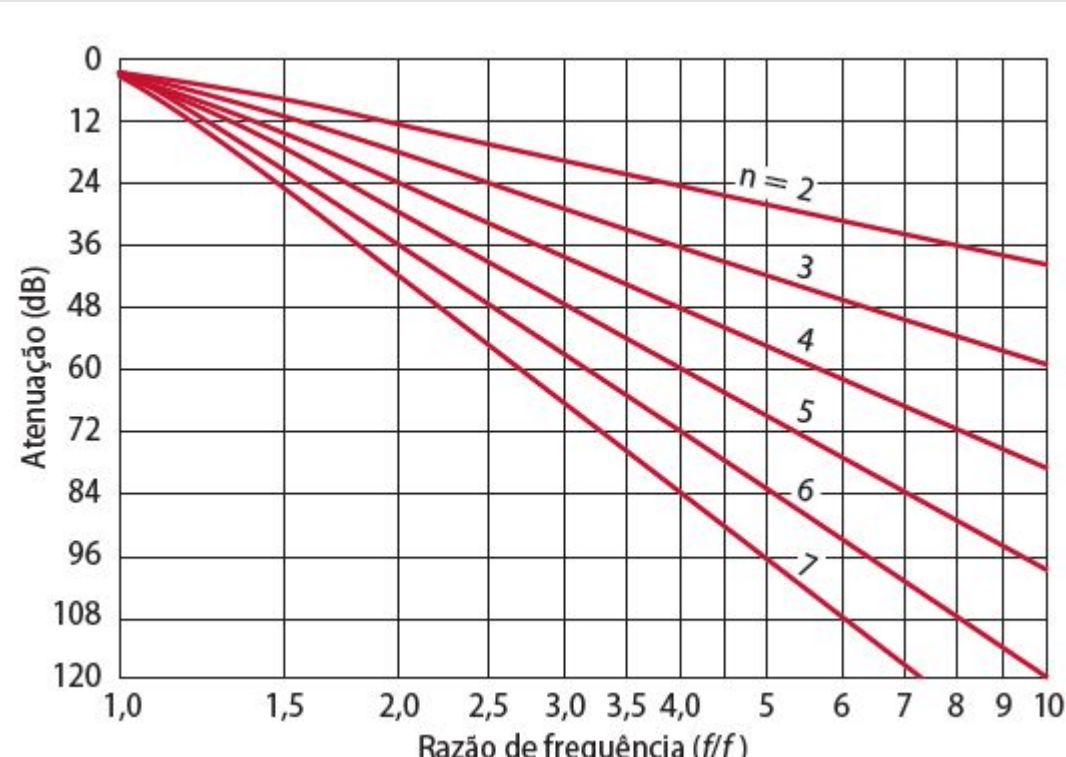
Filtro Passivo LC passa-baixa e passa-alta

- Filtros Passa-baixas
 - Esse circuito fornece uma taxa de atenuação de 12 dB por oitava ou 20 dB por década.
 - Essas seções podem ser conectadas em cascata para proporcionar um maior decaimento.

Filtros

Filtro Passivo LC passa-baixa e passa-alta

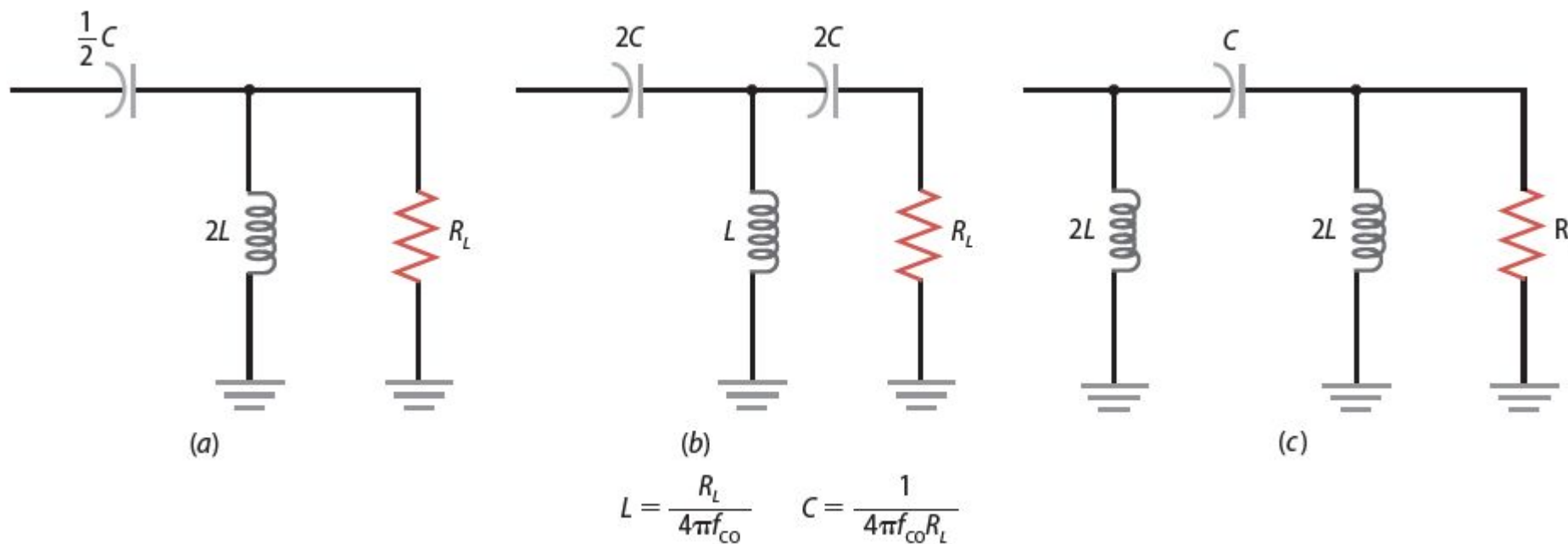
- Filtros Passa-baixas
 - Taxas de atenuação para filtros passa-baixas de até 7 polos.
- Considere uma frequência de corte de 20 MHz. A razão para uma frequência de 40 MHz seria $40/20 = 2$.
- Isso representa o dobro da frequência, ou uma oitava.
- A atenuação na curva com dois polos é 12 dB.



Filtros

Filtro Passivo LC passa-baixa e passa-alta

- Filtros Passa-alta



INST **Figura 2-33** Filtros passa-altas. (a) Seção L. (b) Seção T. (c) Seção π .
CEAR
Campus Fortaleza

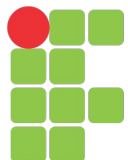
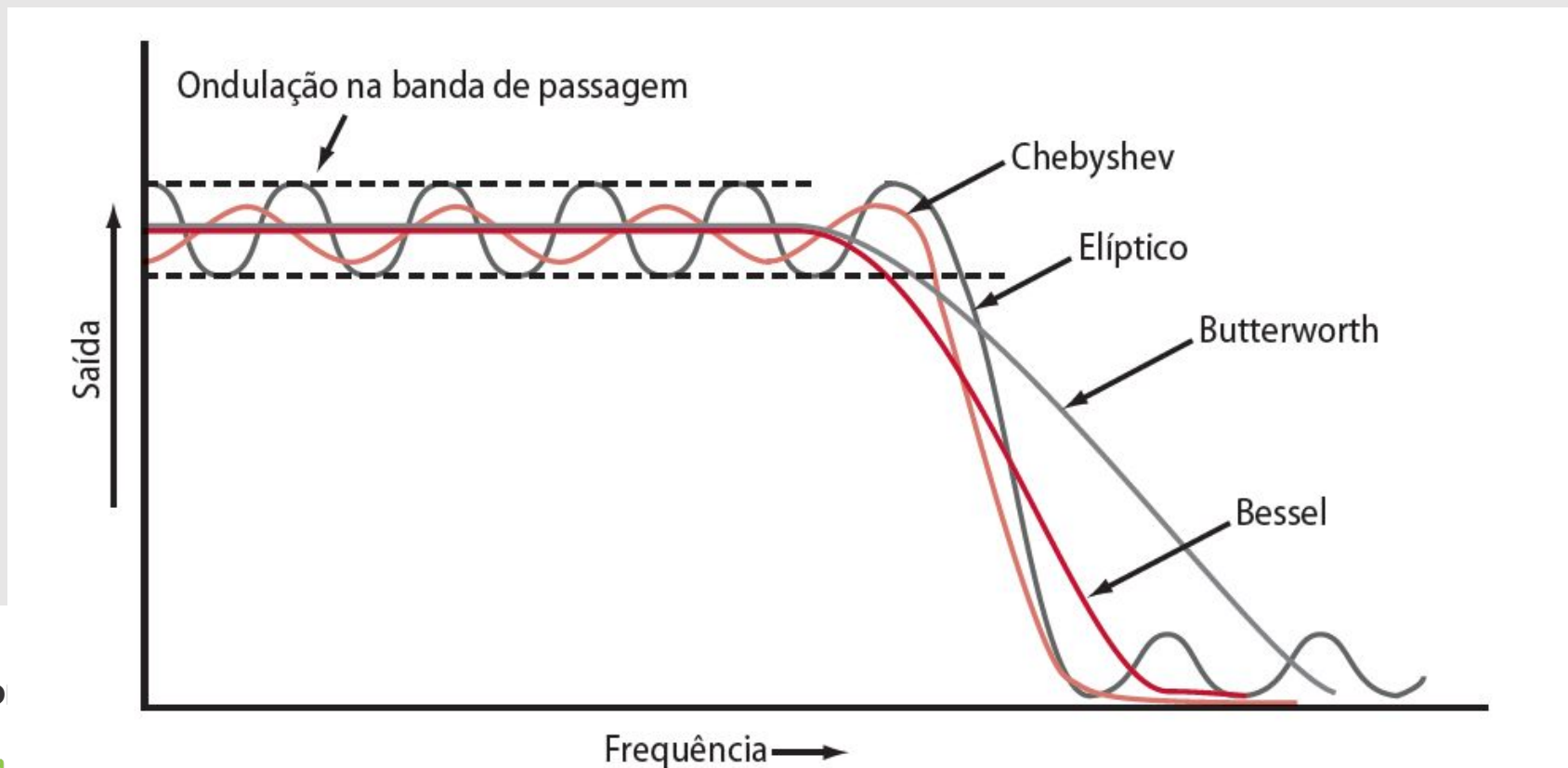
Filtro Passivo LC passa-baixa e passa-alta

- Filtros Passa-alta
 - A conexão em cascata dessas seções proporcionam uma maior taxa de atenuação.
 - Essas configurações de filtros usam, preferencialmente, o menor número de indutores para se obter menor curso e menor espaço.

Filtros

Filtro Passivo

- Tipos de Filtros



Filtro Passivo

- Filtro Butterworth
 - Tem a resposta mais plana na banda de passagem e uma atenuação uniforme com a frequência. A taxa de atenuação fora da banda de passagem não é tão grande quanto se poderia conseguir com outros tipos de filtros.
 - Chebyshev
 - Tem uma seletividade extremamente boa; ou seja, a taxa de atenuação deles, ou o decaimento, é alta. Bem maior do que a do filtro Butterworth.
 - A atenuação fora da banda de passagem também é muito alta.
 - O principal problema com o filtro Chebyshev é que ele apresenta uma ondulação na banda de passagem, conforme fica evidente na figura.
 - A resposta não é plana, ou constante, como no caso do filtro Butterworth.
- Isso pode ser uma desvantagem em algumas aplicações.

Filtro Passivo

- Cauer (elíptico)
 - Proporcionam uma taxa de atenuação, ou decaimento, ainda maior do que os filtros Chebyshev, e uma atenuação maior fora da banda de passagem.
 - Eles introduzem uma oscilação alta tanto na banda de passagem quanto fora dela.

Filtro Passivo

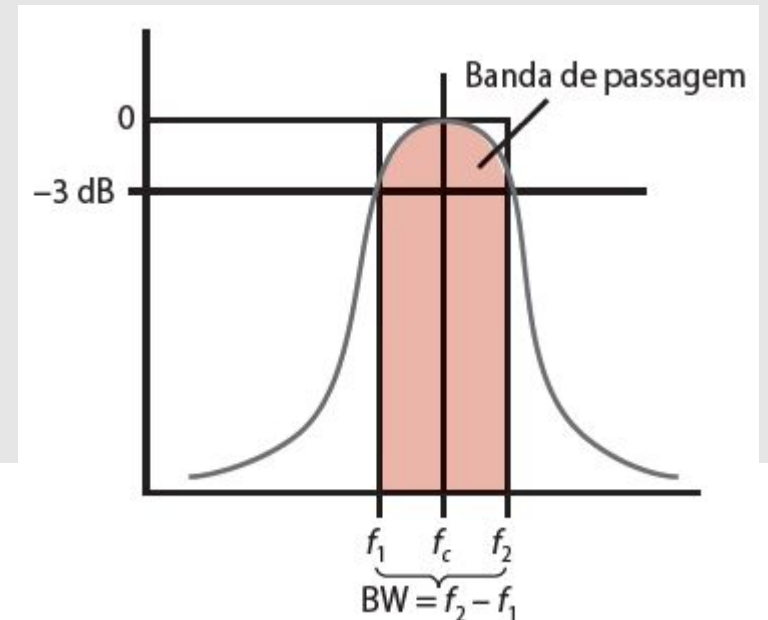
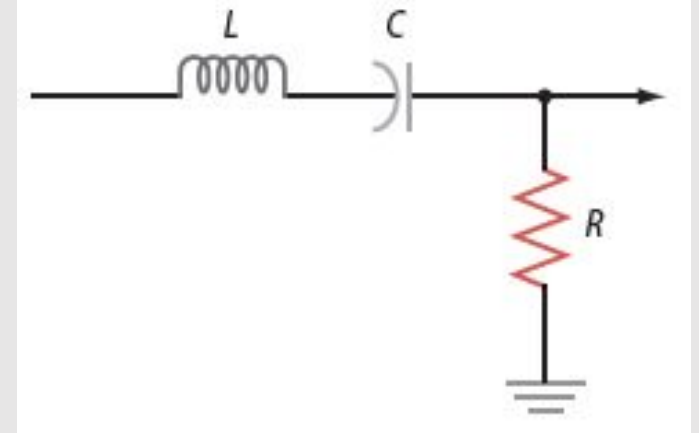
- Bessel

- Também denominados de FILTROS THOMSON, os circuitos Bessel fornecem a resposta de frequência desejada (ou seja, passa-baixas, passa-faixa, etc.), mas têm um atraso de tempo constante na banda de passagem.
- Os filtros Bessel têm o que é conhecido como atraso de grupo constante: à medida que a frequência do sinal varia na banda de passagem, o deslocamento de fase, ou atraso de tempo, introduzido é constante.
 - Em algumas aplicações, um atraso de grupo constante é necessário para evitar distorção dos sinais na banda de passagem devido à variação nos deslocamentos de fase com a frequência.
- Para conseguir a resposta desejada, o filtro Bessel apresenta uma atenuação menor fora da banda de passagem.

Filtros

Filtro Passivo LC passa-faixa

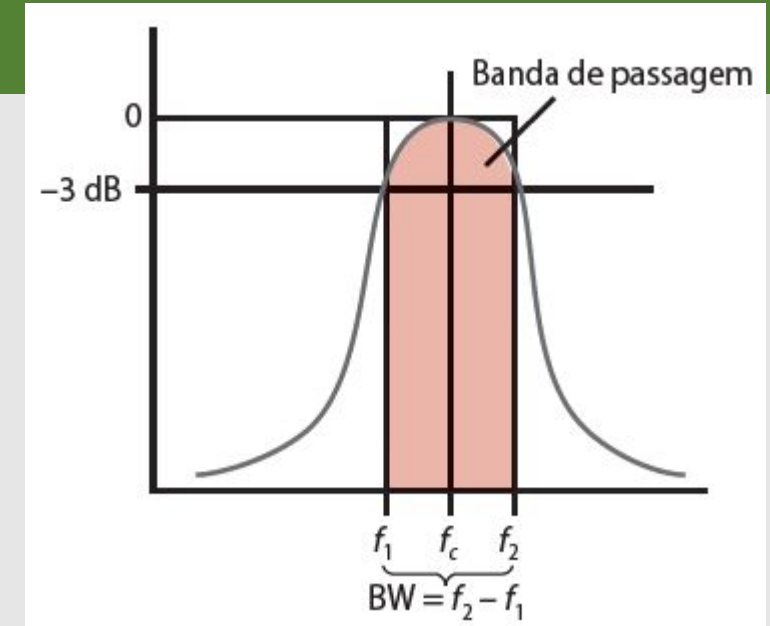
- Um circuito ressonante em série é conectado em série com um resistor de saída, formando um divisor de tensão.
- Nas frequências acima e abaixo das frequências de ressonância, as reatâncias indutiva e capacitiva são altas em comparação com a resistência de saída.
- Portanto, a amplitude de saída é baixa.
- Entretanto, na frequência de ressonância, as reatâncias indutiva e capacitiva se cancelam, restando apenas a pequena resistência do indutor. Portanto, a maior parte da tensão aparece na resistência de saída relativamente grande.



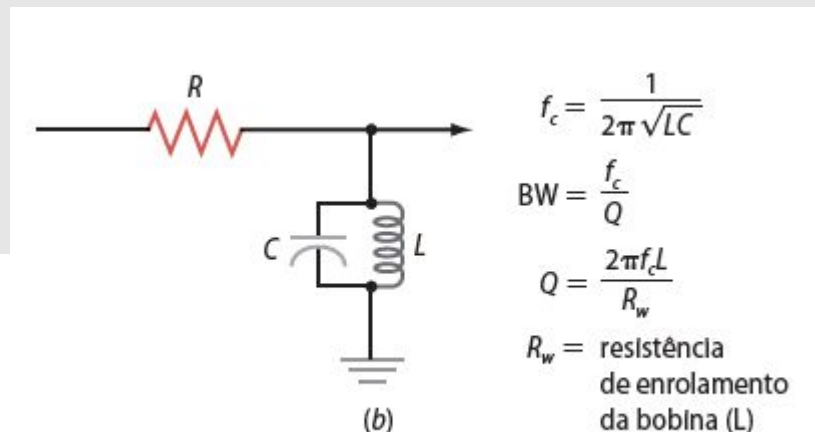
Filtros

Filtro Passivo LC passa-faixa

- Nessa situação a saída é obtida sobre o circuito ressonante em paralelo.
- Nas frequências acima e abaixo da frequência ressonante central a impedância do circuito sintonizado em paralelo é baixa comparada com a resistência.
 - Portanto, a tensão de saída é muito baixa.
- As frequências acima e abaixo da frequência central são fortemente atenuadas.
- Na frequência de ressonância, as reatâncias são iguais e a impedância do circuito sintonizado em paralelo é muito alta em comparação com a resistência.
 - A maior parte da tensão aparece sobre o circuito sintonizado.



Filtro passa-faixa ressonante em paralelo



Filtros

Filtro Passivo LC passa-faixa

- Pode-se obter uma seletividade melhorada com “saídas” mais acentuadas na curva conectando em cascata seções de passa-faixa.
- Uma vez que seções são conectadas em cascata, a largura de banda se torna mais estreita e a curva de resposta se torna mais acentuada.

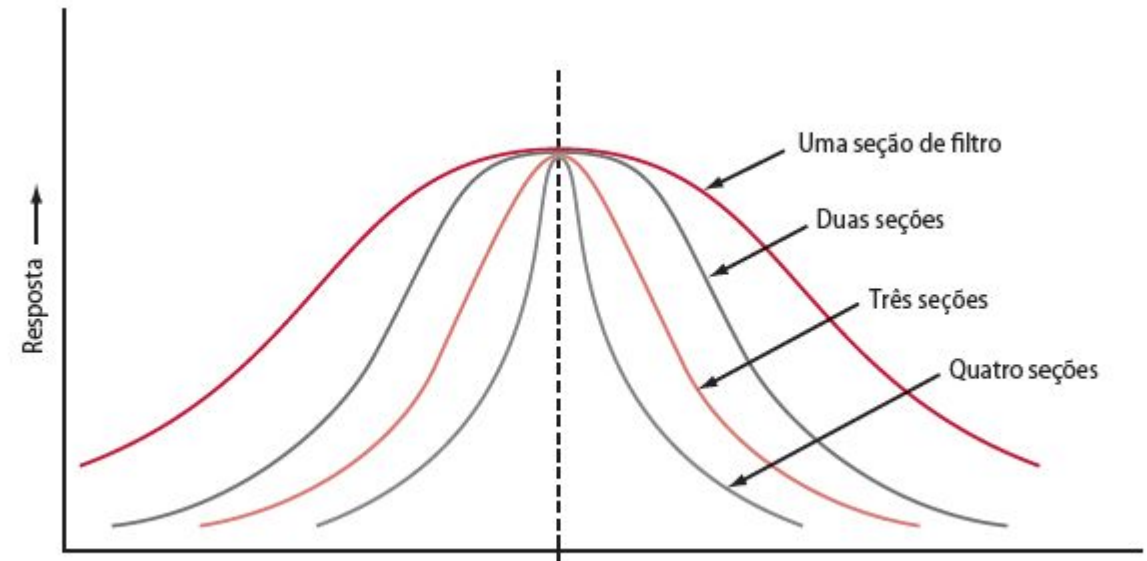
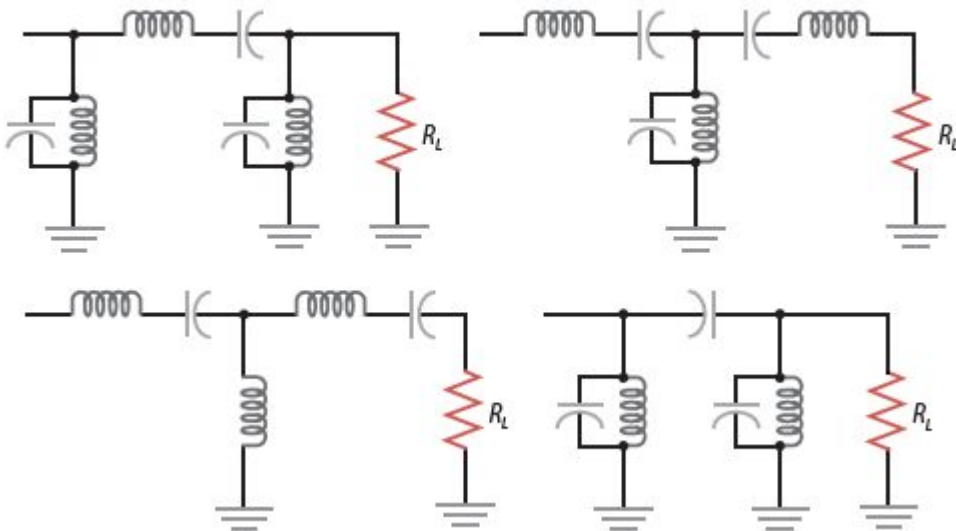
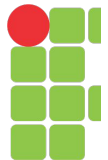
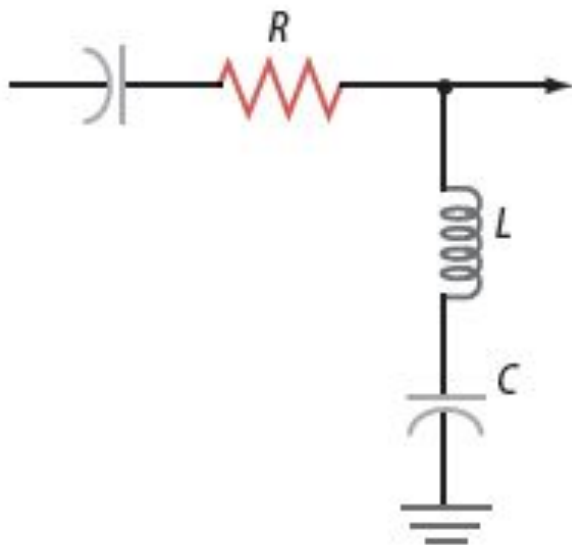


Figura 2-38 Como a conexão em cascata de seções de filtro estreitam a largura de banda melhorando a seletividade.

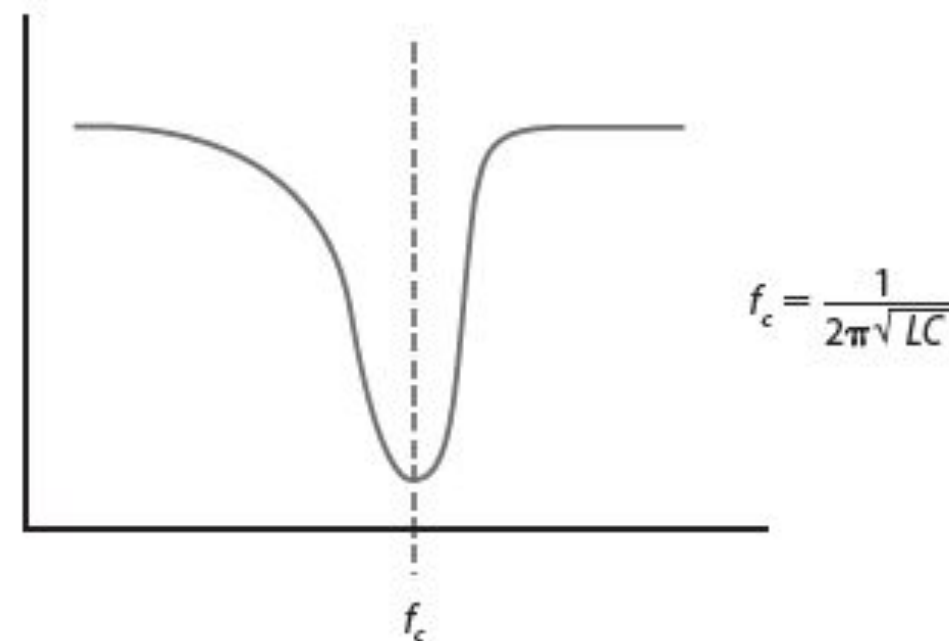
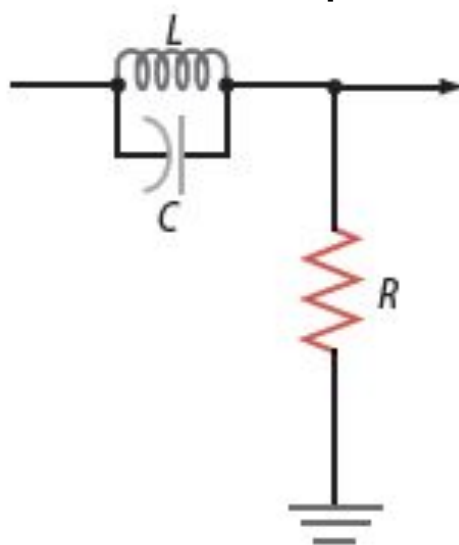


Filtro Passivo LC rejeita-banda

circuito ressonante em série



circuito ressonante em paralelo



Função de Transferência

- Em um diagrama de blocos, todas as variáveis do sistema são ligadas umas às outras através de cada bloco.
- Assim, cada bloco pode ser representado por uma operação matemática relacionando os sinais de entrada e de saída.

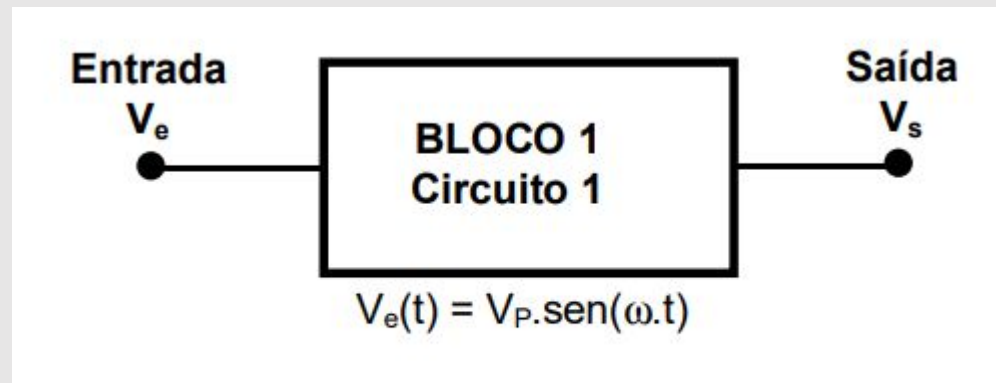


Figura 3.1 – Representação por Bloco

Função de Transferência

- Se o bloco representar um circuito podemos relacionar matematicamente o sinal de saída V_s em função do sinal de entrada V_e por um divisor de tensão:

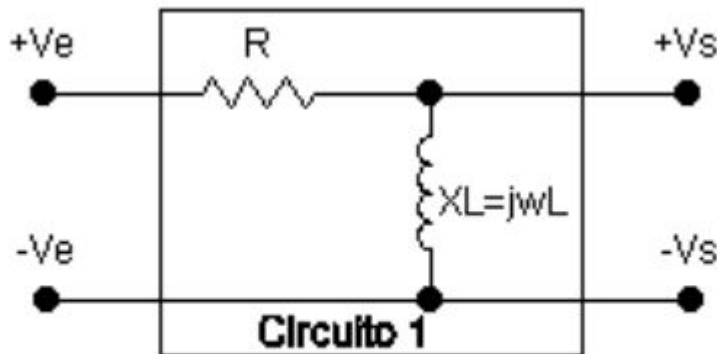


Figura 3.2 – Circuito que desempenha a função do bloco da figura 1

$$V_s = \frac{X_L}{R + jX_L} \cdot V_e$$

Se relacionarmos a tensão de saída com a tensão de entrada, temos:

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{X_L}{R + jX_L}$$

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{j\omega L}{R + j\omega L}$$

Função de Transferência

- A expressão que relaciona o sinal de saída com o sinal de entrada em um bloco, em função da frequência angular ω é chamada de Função de Transferência $H(\omega)$.
 - A função de transferência $H(\omega)$ para o bloco anterior é dada por:

$$\frac{V_s}{V_e} = H(\omega) = \frac{j\omega L}{R + j\omega L}$$

Função de Transferência

- Uma função de transferência $H(\omega)$ pode relacionar:
 - Tensão de saída / Tensão de entrada:
 - Tensão de saída / Corrente de entrada:
 - Corrente de saída / Corrente de entrada:
 - Corrente de saída / Tensão de entrada:

$$H(\omega) = \frac{V_s(\omega)}{V_e(\omega)}$$

$$H(\omega) = \frac{V_s(\omega)}{I_e(\omega)}$$

$$H(\omega) = \frac{I_s(\omega)}{I_e(\omega)}$$

$$H(\omega) = \frac{I_s(\omega)}{V_e(\omega)}$$

Função de Transferência

- Com a Função de Transferência de um circuito conhecida poderemos avaliar o sinal de saída em função do sinal de entrada, tanto para o seu módulo, ângulo e frequência, assim:

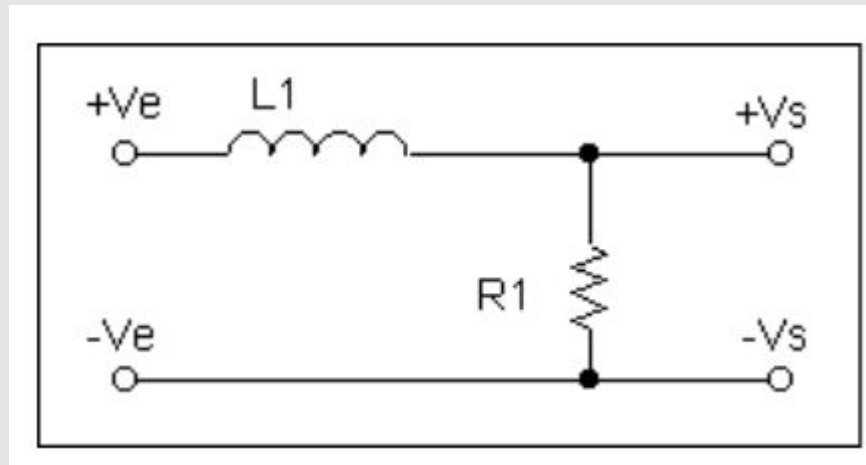
$$V_s = V_e \cdot H(\omega)$$

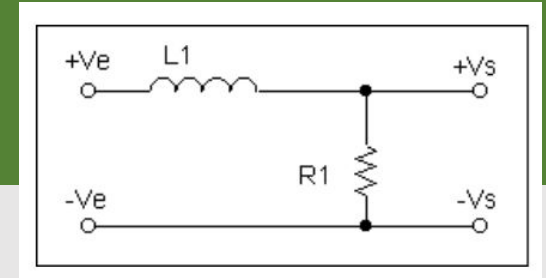
- Como podemos perceber, a função de transferência $H(\omega)$ é um número complexo e, como tal, pode ser expresso (na forma polar) por um módulo (amplitude) e um ângulo (fase).

Filtros

Função de Transferência

- Para o circuito da figura, determine o módulo e o ângulo do ganho da função transferência:





Função de Transferência

- Para o circuito da figura, determine o módulo e o ângulo do ganho da função transferência:

Sol.:

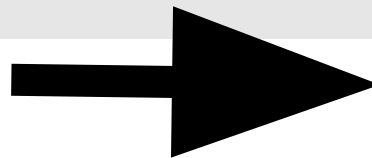
Para este circuito a tensão de saída em função da tensão de entrada pode ser dada pela expressão:

$$V_s = \frac{R \cdot V_e}{R + X_L} = \frac{R}{R + j\omega L} \cdot V_e$$

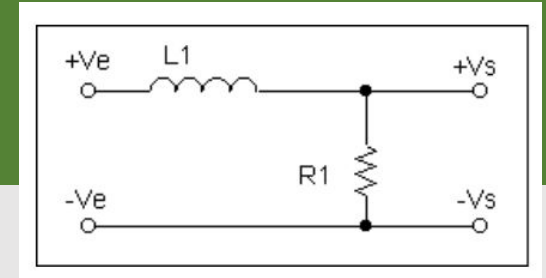
$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{R}{R + j\omega L}$$

Se fatorarmos a expressão, dividindo tanto o numerador como o denominador por R, temos:

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{R}{R + j\omega L} \cdot \frac{R}{R} = \frac{1}{1 + j\omega \frac{L}{R}}$$



$$H(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega \frac{L}{R}}$$



Função de Transferência

Sabemos que a função de transferência é um número complexo e que o ganho de tensão é o módulo da função de transferência na forma polar, e a fase é o ângulo.
Observação: Para determinarmos o módulo e o ângulo de um número complexo devemos lembrar:

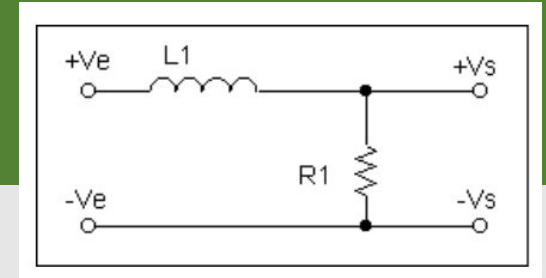
$$\text{Módulo} = \sqrt{(\text{Re al})^2 + (\text{Im aginária})^2}$$

$$\hat{\text{Ângulo}} = \arctg\left(\frac{\text{Im aginária}}{\text{Re al}}\right)$$

Para encontrarmos o módulo precisamos obter a raiz quadrada da soma dos quadrados das partes real e imaginária, tanto do numerador como do denominador. Assim,

$$|H(\omega)| = GV = \frac{\sqrt{1^2 + 0^2}}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}} = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}}$$

Filtros



Função de Transferência

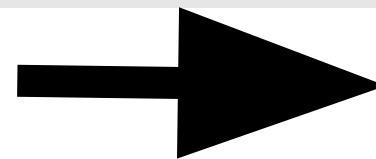
Portanto, a expressão para o Ganho de Tensão do filtro é:

$$GV = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\omega \frac{L}{R}\right)^2}}$$

Para obtermos a Fase precisamos subtrair o ângulo do numerador com o ângulo do denominador.

Estes ângulos são calculados pelo arco tangente (tg^{-1}) do quociente da parte imaginária pela parte real.

$$\alpha = \arctg\left(\frac{0}{1}\right) - \arctg\left(\frac{\frac{\omega L}{R}}{1}\right) = 0 - \arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right)$$

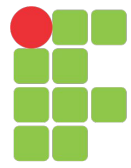


$$\alpha = -\arctg\left(\omega \frac{L}{R}\right)$$

Filtros

- **Dúvidas?**





Rádio Transmissão

Próxima aula:

Modulação