

Condicionamento de sinais analógicos

O condicionamento do sinal analógico do sensor/transdutor é uma etapa fundamental antes de ser efetuada a conversão A/D. Os principais processos de condicionamento são:

- Amplificação (multiplicação por constante)
- adição/subtração (correção de “off-set”)
- filtragem
- modulação/demodulação
- amplificação logaritmica/exponencial
- Multiplicação entre variáveis

O condicionamento é também necessário na etapa de saída de um sistema que contém um elemento de atuação.

Condicionamento de sinais analógicos

Critérios importantes:

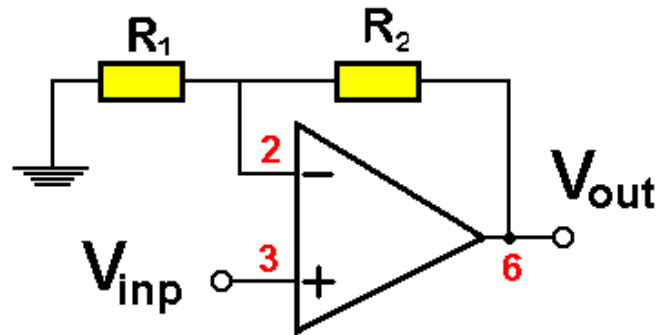
- **Amplificação:** o sinal analógico de um sensor deve ser amplificado quando a sua faixa dinâmica de saída for inferior à metade da faixa dinâmica de entrada do conversor A/D
- **Correção de “off-set”:** deve ser utilizada juntamente com o processo de amplificação, de modo que o centro da faixa dinâmica do sinal amplificado coincida com o centro da faixa dinâmica de entrada do conversor A/D
- **Filtragem:** a filtragem é importante para limitar a interferência de ruídos e sinais espúrios que prejudicam a qualidade da aquisição dos dados. O projeto do filtro deve permitir a passagem das frequências presentes no sinal e atenuar frequências indesejáveis

Condicionamento do Sinal: Amplificadores Operacionais

O condicionamento do sinal é facilitado pelo uso de AmpOps devido às suas características e grande variedade de circuitos:

- Alto ganho de tensão
- Alta impedância de entrada
- Baixa impedância de saída
- Largura de banda conhecida
- Estabilidade de polarização
- Grande variedade disponível
- Baixo custo

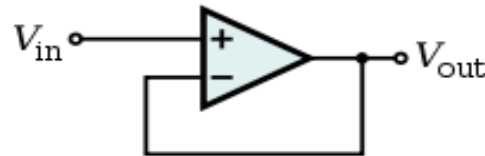
Amplificador Não-Inversor



$$\frac{V_{out} - V_{inp}}{R_2} = \frac{V_{inp}}{R_1} \quad R_{in} = \infty$$

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{inp} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_{inp}$$

Seguidor de tensão (*buffer*)



$$V_{out} = V_{in}$$

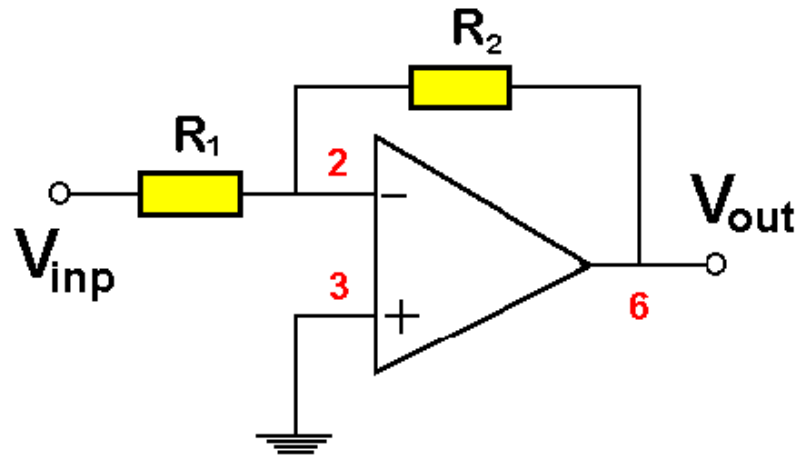
$$R_{in} = \infty$$

Usado para casamento de impedâncias:

Alta impedância entrada ($>10^8 \Omega$)

baixa impedância de saída ($<10 \Omega$)

Amplificador Inversor

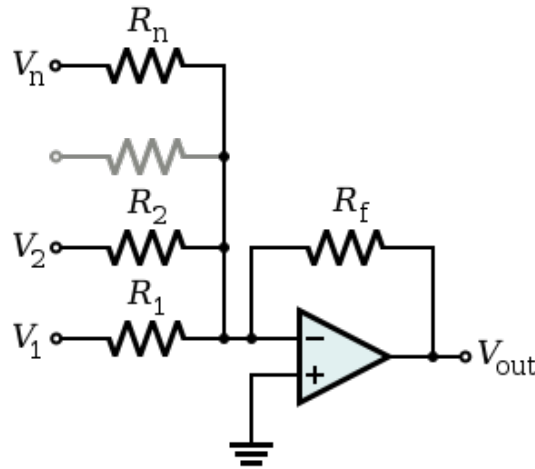


$$\frac{V_{out}}{R_2} = \frac{0 - V_{inp}}{R_1}$$

$$R_{in} = R_1$$

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{inp}$$

Amplificador Somador inversor



$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_1}V_1 - \frac{R_f}{R_2}V_2 - \dots - \frac{R_f}{R_n}V_n$$

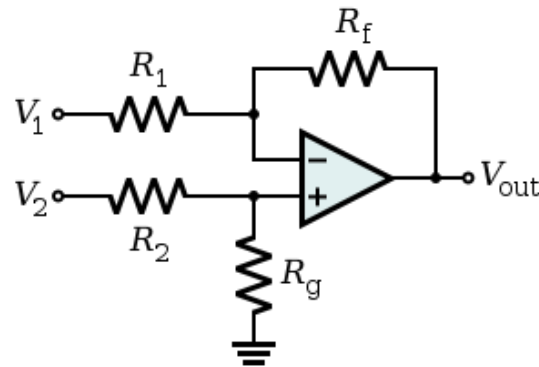
$$R_{in1} = R_1$$

$$R_{in2} = R_2$$

$$R_{inn} = R_n$$

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

Amplificador Diferencial ou subtrator



$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_g}{R_2 + R_g} V_2 - \frac{R_f}{R_1} V_1$$

$$R_1 = R_2 \quad R_g = R_f$$

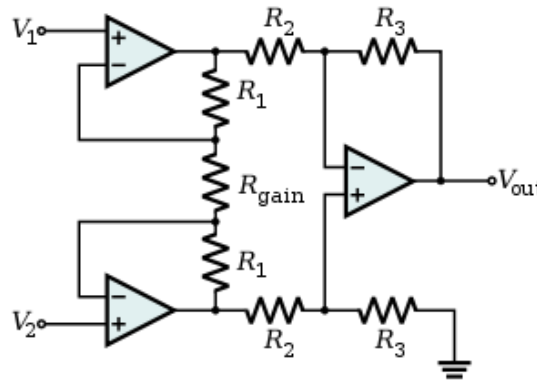
$$R_{in1} = R_1$$

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_1} (V_2 - V_1)$$

$$R_{in2} = R_2 + R_g$$

Amplificador de Instrumentação

Amplificador subtrator com alta impedância de entrada e alta rejeição de modo comum (RRMC)



$$V_{out} = \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_{gain}} \right) \frac{R_3}{R_2} (V_2 - V_1)$$

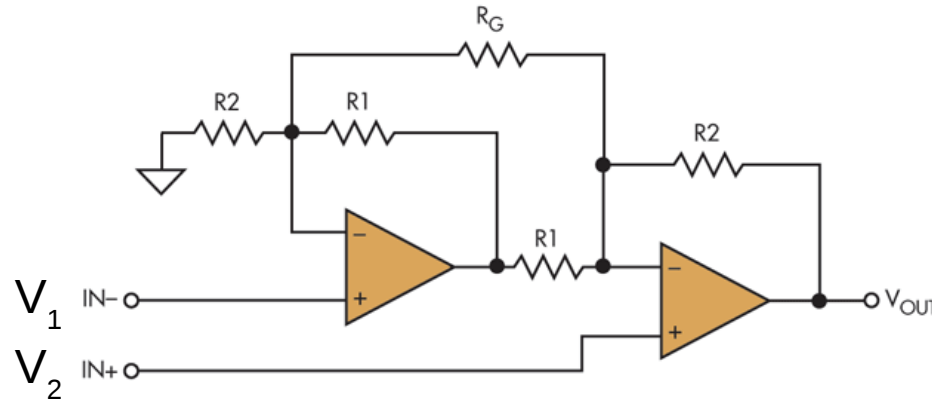
$$R_{in1} = \infty$$

$$R_{in2} = \infty$$

- alta impedância de entrada
- entradas balanceada (impedâncias iguais)
- elevado RRMC
- ganho varável com 1 único resistor
- compensação de temperatura

Amplificador de Instrumentação II

Amplificador subtrator com alta impedância de entrada e alta rejeição de modo comum (RRMC) com 2 AmpOps



$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{2R_2}{R_G} \right)$$

$$R_{in1} = \infty$$

$$R_{in2} = \infty$$

- alta impedância de entrada
- entradas balanceada (impedâncias iguais)
- elevado RRMC
- ganho varável com 1 único resistor
- compensação de temperatura

AmpOp – limites de Tensão e Corrente

Saturação da tensão de saída:

- A tensão de saída é limitada a um valor mínimo e máximo que é função das tensões de alimentação
- A saturação ocorre quando a saída do amplificador atinge valores próximos da tensão de alimentação, sendo também dependente do circuito de circuito interno de polarização
- Quando o AmpOp está em saturação o ganho de tensão é zero

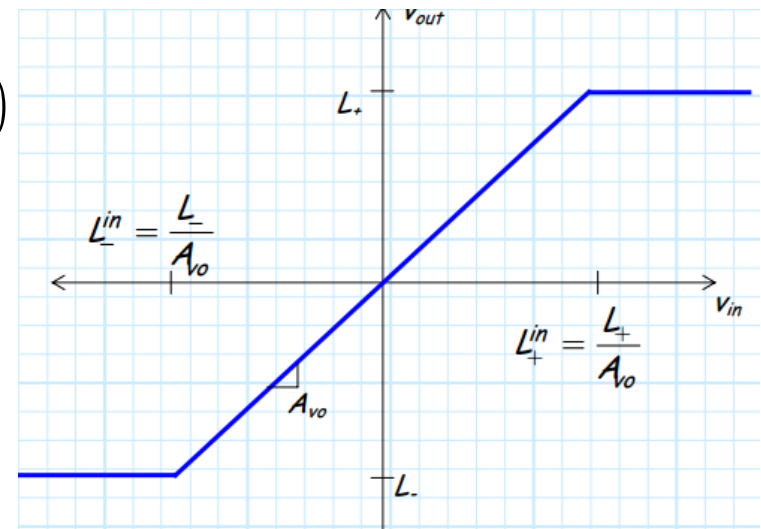
$$\left(V_{EE} + V_{sat-} \right) < V_o < \left(V_{CC} - V_{sat+} \right)$$

V_{EE} : tensão de alimentação negativa

V_{CC} : tensão de alimentação positiva

V_{sat-} : tensão de saturação negativa

V_{sat+} : tensão de saturação positiva



AmpOp – limites de Tensão e Corrente

Saturação da corrente de saída:

- A corrente de saída é limitada internamente para proteger o circuito e evitar sobre-aquecimento do AmpOp
- A saturação ocorre quando a saída do amplificador atinge esse valor, que é geralmente definido pelo circuito interno de polarização do AmpOp
- A maioria dos AmpOps limita as correntes de saída em valores da ordem de **20 mA**
- No projeto dos resistores de realimentação, esta corrente deve ser levada em conta de modo a não saturar o AmpOp (geralmente usa-se resistores na faixa de k Ω)

AmpOp – limitação de Banda passante

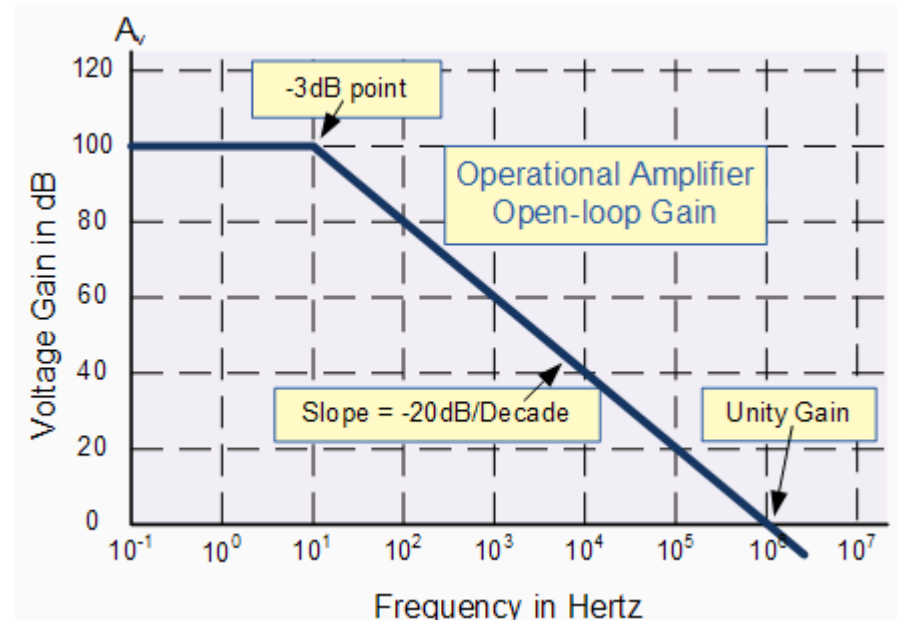
- Todo amplificador tem a característica de um filtro passa baixas
- Os AmpOp's possuem um polo dominante em baixas frequências
- limite de operação como amplificador $A_v=1$ ($A_{dB}=0$)
- frequência limite de operação: f_0 @ $A_v=1$
- GBP: produto ganho*banda passante: constante para cada AmpOp
- Frequência de corte de um AmpOp realimentado:

$$f_c = \frac{GBP}{A}$$

Onde:

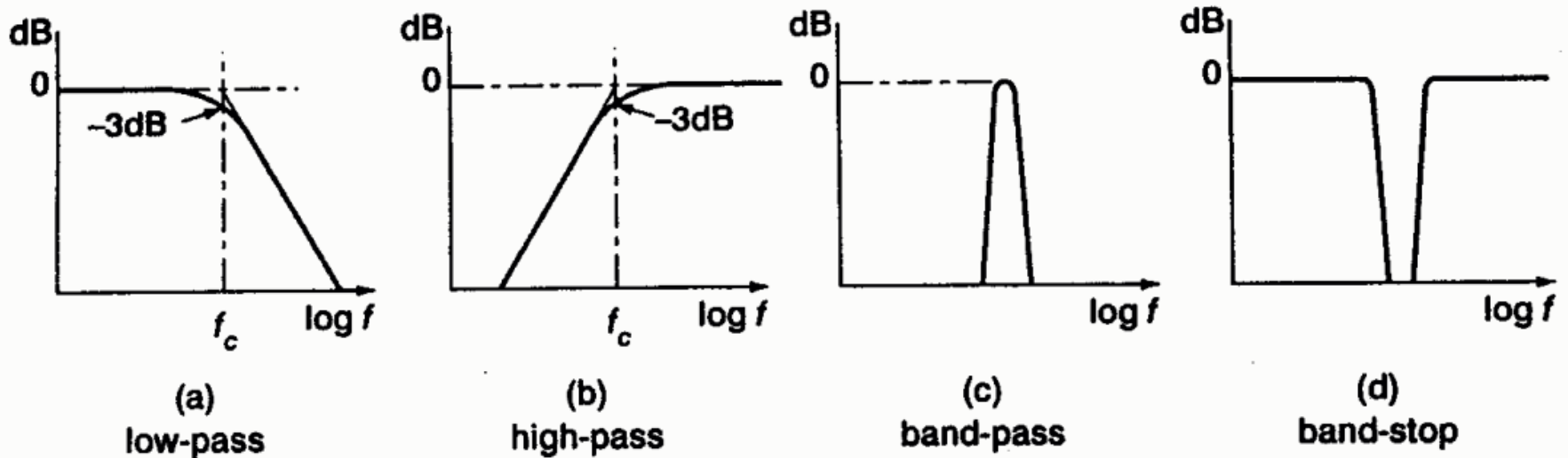
A: ganho do amplificador realimentado

GBP: frequência de ganho unitário do AmpOp



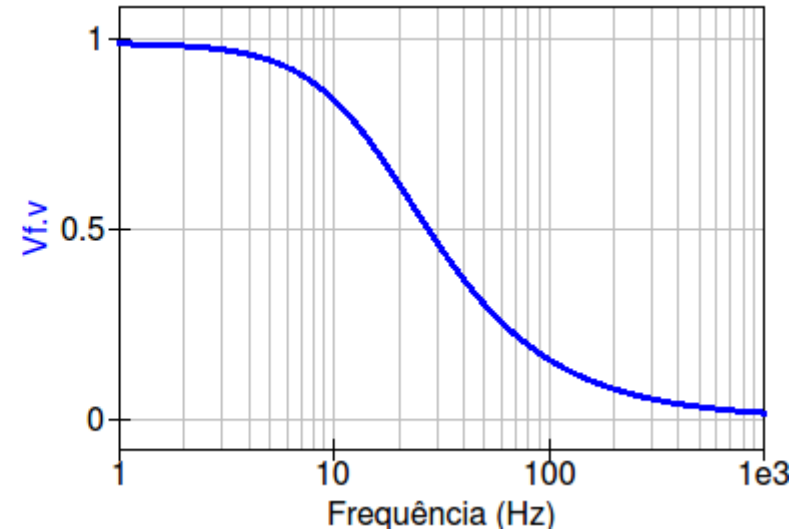
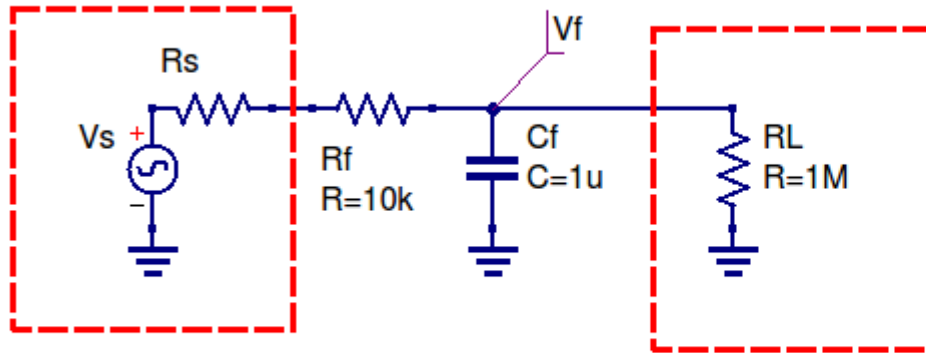
Filtros de Frequência

Permitem selecionar uma faixa de frequências de interesse, atenuando frequências fora desta faixa. São importantes para minimizar ruídos indesejáveis que comprometem a qualidade do sinal, melhorando a precisão da leitura. Os principais tipos são:



Frequência de corte f_c : frequência na qual o ganho cai de -3 dB ($1/\sqrt{2}$)
Ordem do filtro n : define a atenuação do filtro na região de rejeição.
Quanto maior a ordem do filtro, maior a atenuação na região de rejeição.
Está relacionada com o número de elementos reativos no circuito do filtro

Filtros Passivos – Passa Baixas 1ª ordem RC



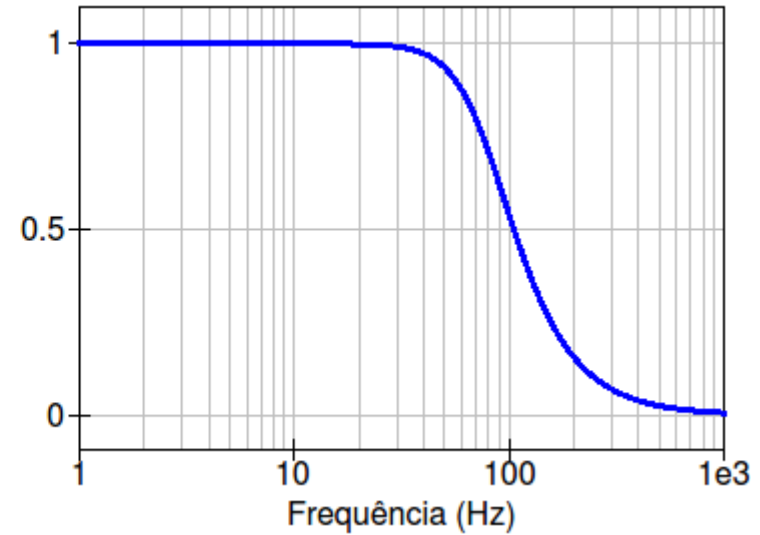
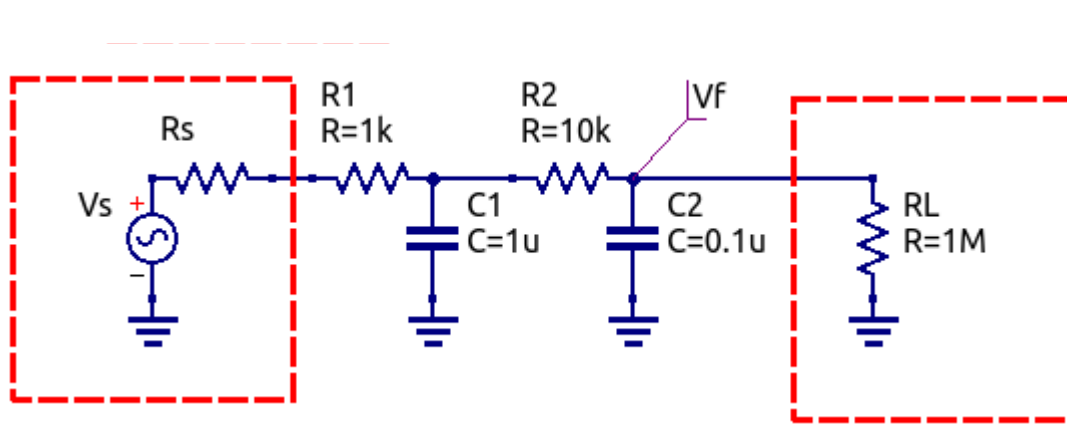
Frequência de corte f_c :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_f C_f}$$

Critérios de Projeto:

- $R_s \ll R_f$
- $R_L \gg R_f$
- arbitrar C_f e calcular R_f

Filtros Passivos – Passa Baixas 2ª ordem RC



Frequência de corte f_c :

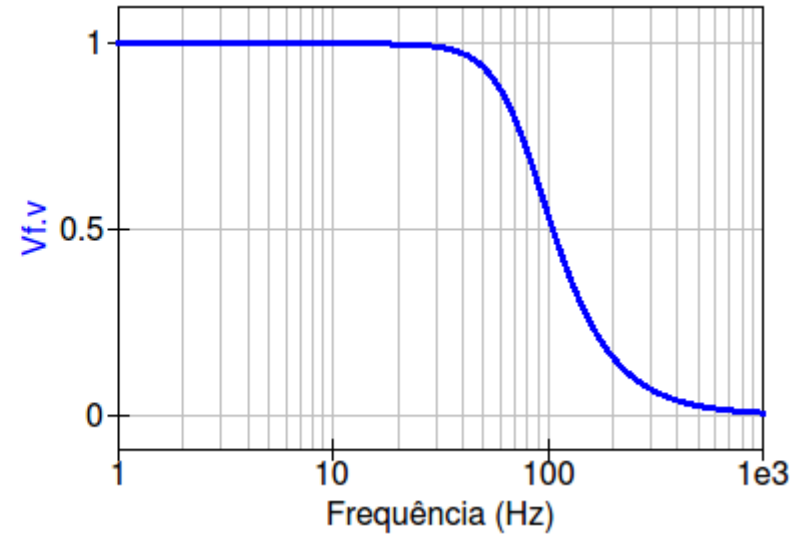
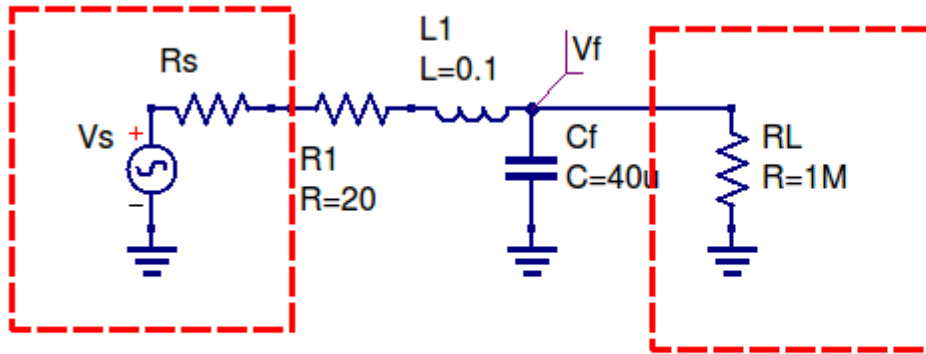
$$f_c \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}}$$

Fator de Qualidade Q:

$$Q \approx 0.5$$

- Projeto:
- arbitrar C1
 - fazer C2 = C1/10
 - calcular R1
 - fazer R2 = 10 R1

Filtros Passivos – Passa Baixas 2ª ordem RLC



Frequência de corte f_c :

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_f C_f}}$$

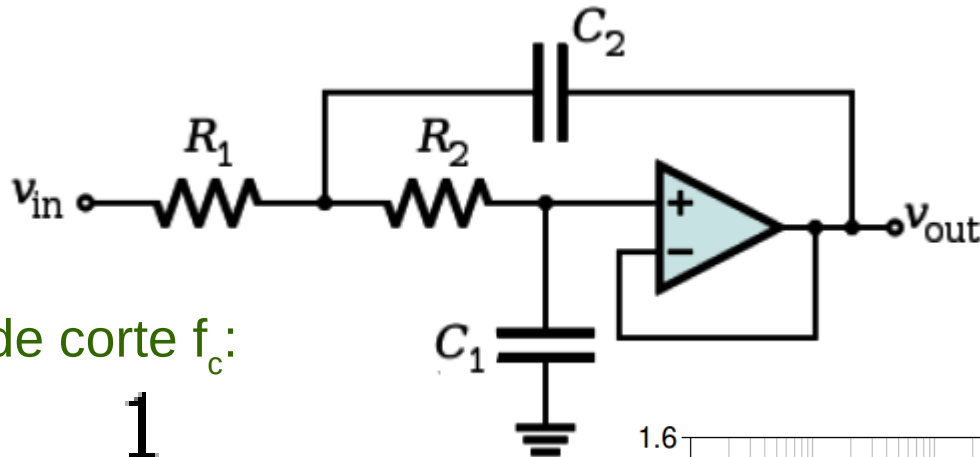
Fator de Qualidade Q:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L_f}{C_f}} \quad R = R_s + R_1$$

Projeto: -arbitrar L_f
 -calcular C_f e R_1

Filtros Ativos

Topologia Sallen Key – Passa Baixas 2ª ordem



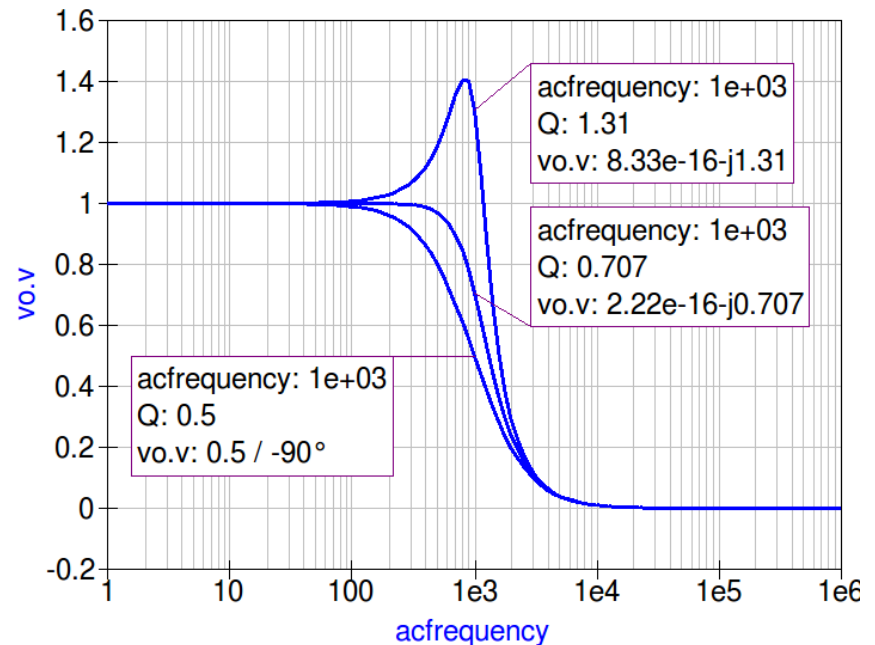
Frequência de corte f_c :

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

Fator de Qualidade Q:

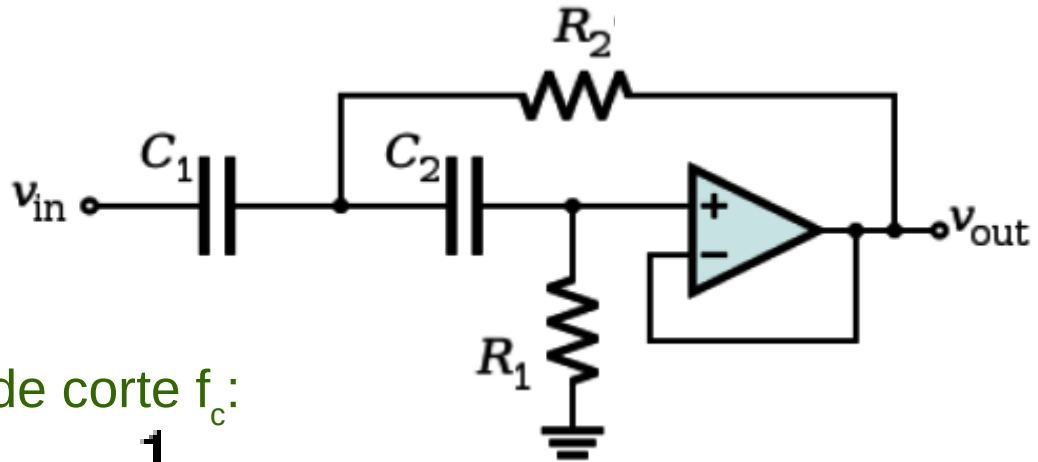
$$Q = \frac{1}{2\pi f_c C_1 (R_1 + R_2)}$$

Projeto: -fazer $R_1=R_2$
 -calcular C_1 e C_2



Filtros Ativos

Topologia Sallen Key – Passa Altas 2ª ordem



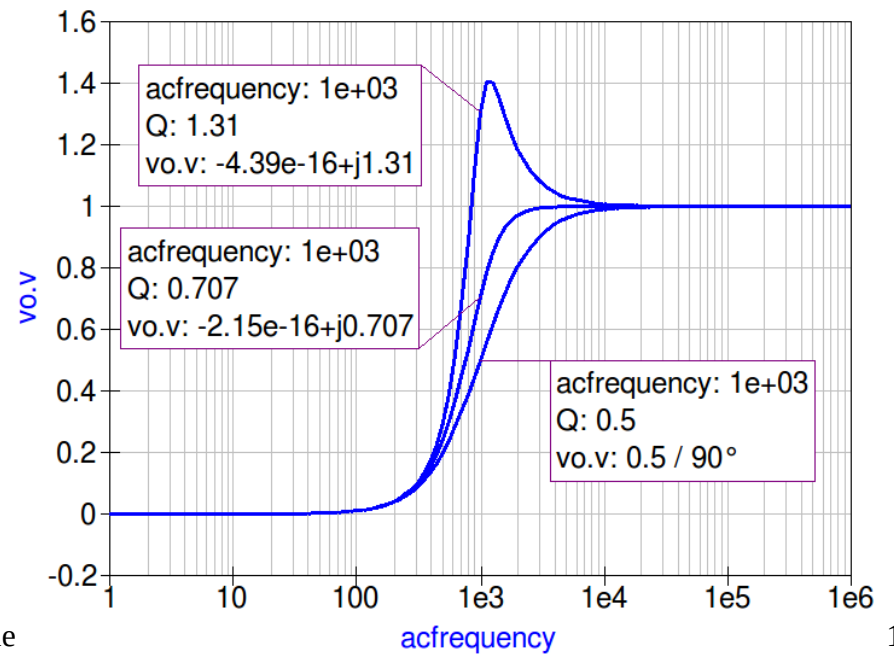
Frequência de corte f_c :

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

Fator de Qualidade Q:

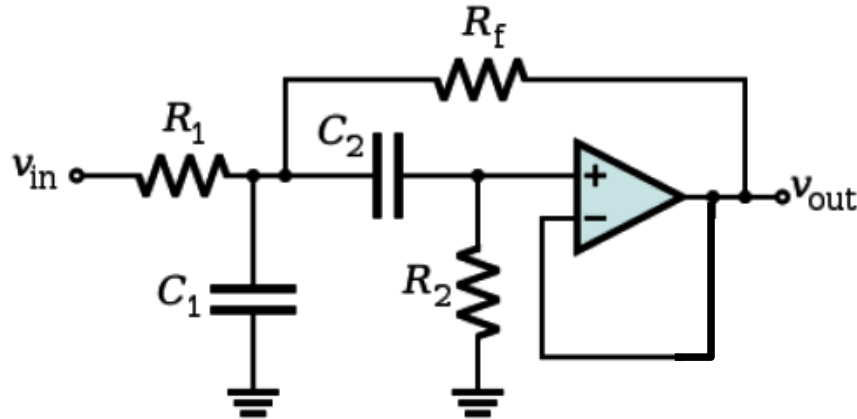
$$Q = \frac{1}{2\pi f_c R_2 (C_1 + C_2)}$$

Projeto: -fazer $R_1=R_2$
 -calcular C_1 e C_2



Filtros Ativos

Topologia Sallen Key – Passa Faixas 2ª ordem



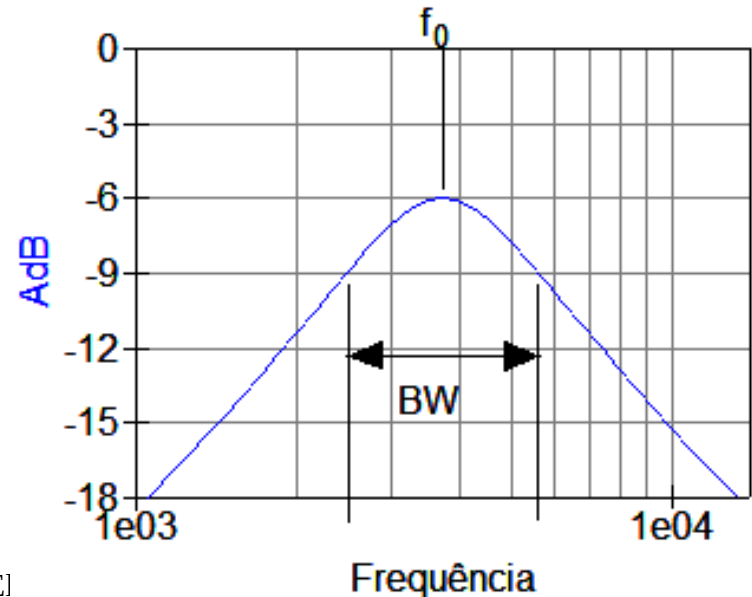
$$Q = \frac{f_0}{BW}$$

Frequência central f_0 :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_f + R_1}{C_1 C_2 R_1 R_2 R_f}}$$

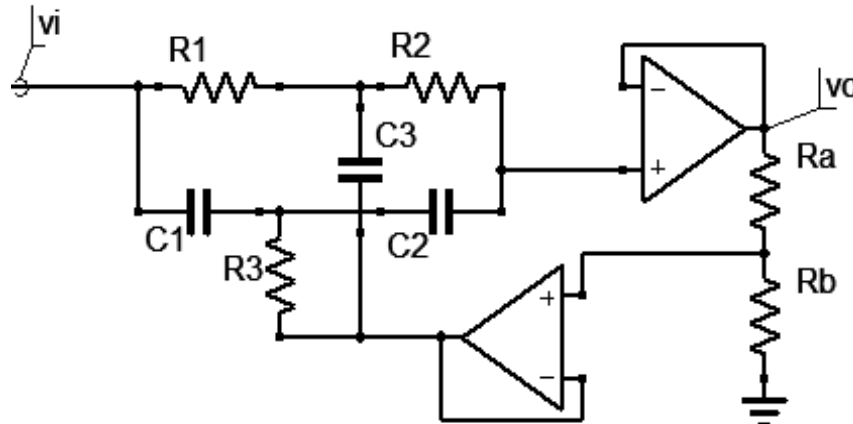
Fator de Qualidade Q :

$$Q = \frac{2\pi f_0}{\left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} \right)}$$



Filtros Ativos

Topologia duplo T – Rejeita Faixas 2ª ordem



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

Para:

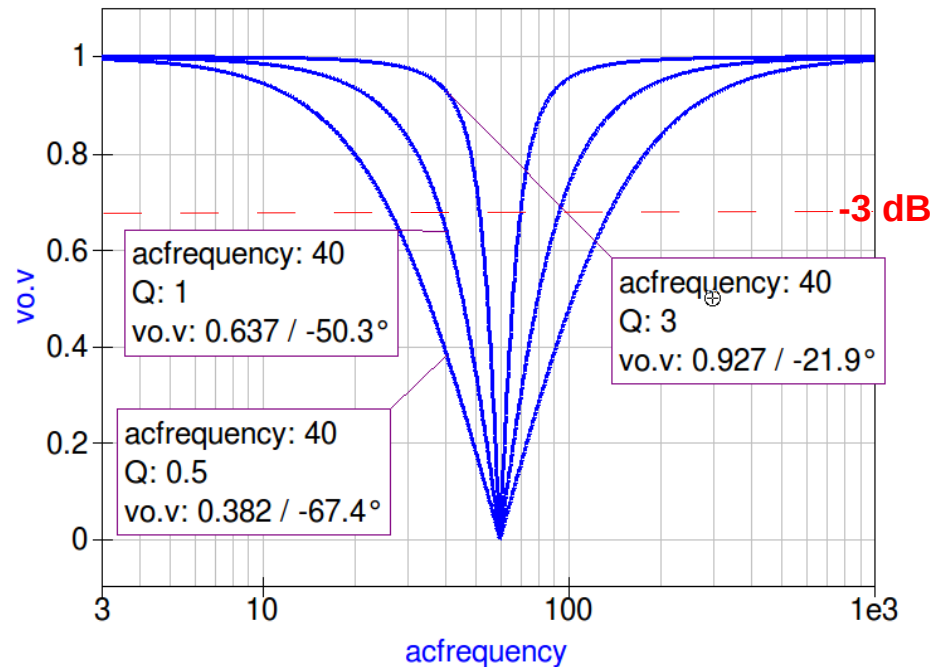
$$R_1 = R_2 = 2R_3 = R \text{ e } C_1 = C_2 = C_3/2 = C$$

Frequência central f_0 :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Fator de Qualidade Q:

$$Q = \frac{R_a + R_b}{4 R_a}$$



Exercício 5

Dada uma ponte de Wheatstone com 1 braço ativo, formado por 2 resistores que variam de 0,99 a 1,01 k Ω , alimentada por uma tensão de 5 V, projete um circuito de condicionamento para:

- a) adequar a faixa dinâmica à entrada de um conversor A/D que aceita tensões de 0 a +5 V.
- b) efetuar filtragem passa-baixas de 2^a ordem com frequência de corte 1 Hz e fator de qualidade 1.
- c) determine a atenuação do filtro (em dB) para um ruído cuja frequência é 60 Hz.