

CAPÍTULO 2 - ELETRÔNICA APLICADA

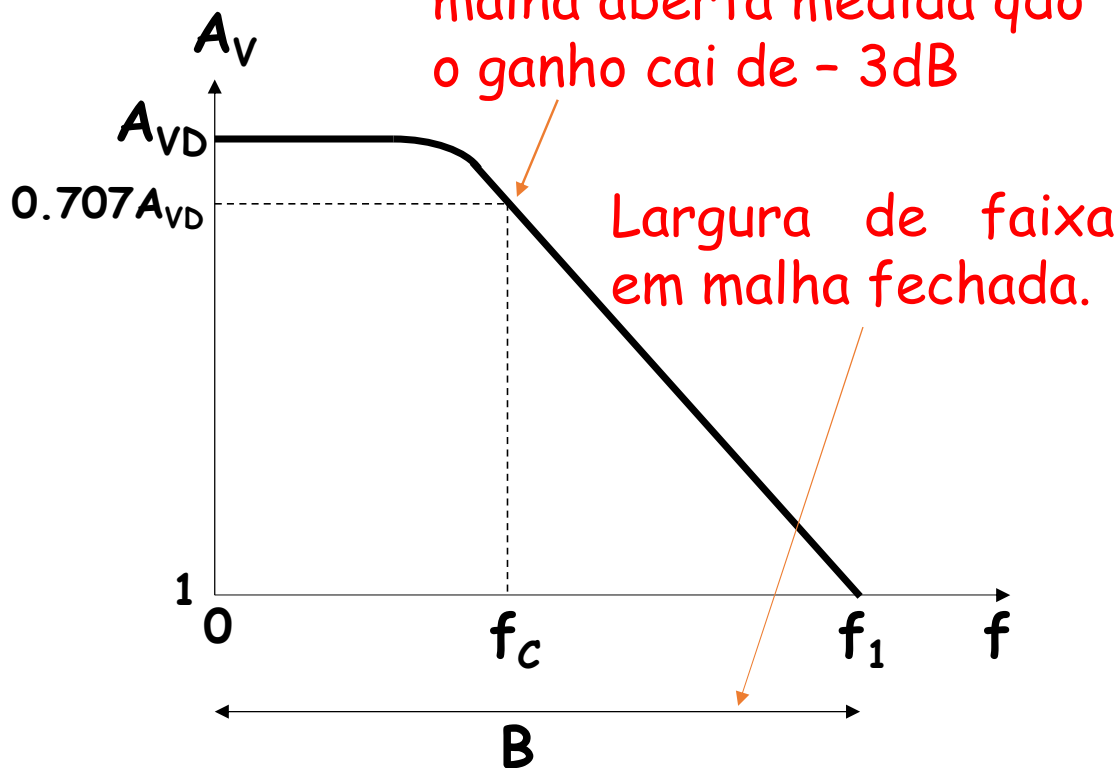


Prof. Luis Caldas
Aula – Limitações

2 - Limitação do ganho x largura de faixa.

2.1 Curva do ganho x frequência do amplificador

Largura de faixa em malha aberta medida qdo o ganho cai de - 3dB



Onde,

f_c = Frequência de corte.

f_1 = Frequência de ganho unitário ou de largura de faixa.

B = largura de faixa.

O produto do ganho x largura de faixa:

$f_1 = A_{VD} \times f_c$ fornecido fabricante.

$GB = f_1$ (Produto x largura de faixa).

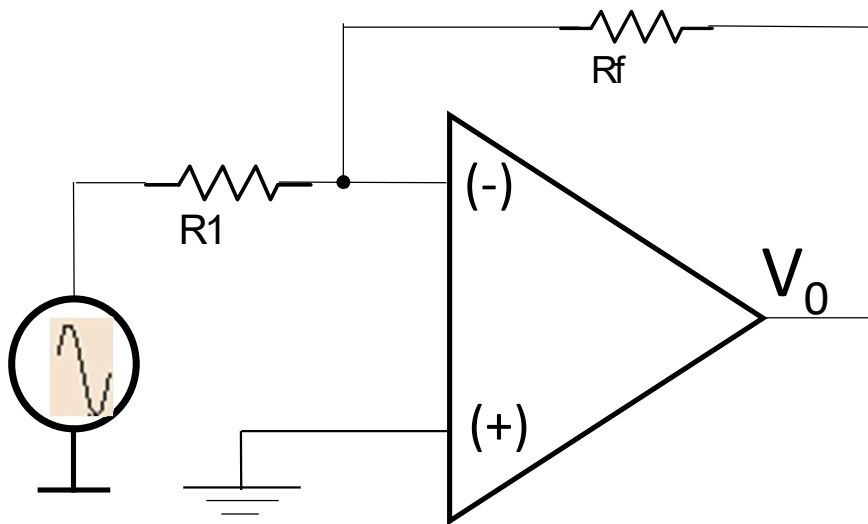
Vantagem: Ampliação da largura de faixa de malha aberta.

Desvantagem: Ganho reduzido.

2.2 - Exemplo da limitação do ganho x largura de faixa.

Exemplo: Determinar a frequência de corte de um Amp-Op. cujos valores especificados pelo fabricante são $GB = 1\text{MHz}$ e $A_{VD} = 200\text{V/mV}$. Para um ganho igual a 10, qual a máxima frequência que pode ser aplicada ao amp-Op.

$f_c = f_1 / A_{VD} = 10^6 / 2 \cdot 10^5 = 5\text{Hz}$ e para $A = 10$, temos: $f_{oper} = 100\text{KHz}$.



Para um circuito inversor, onde $R_1 = 10\text{K}$ e $R_f = 100\text{K}$ e $GB = 1\text{MHz}$, pede-se:

a) Frequência de corte do circuito.

β = Taxa de realimentação.

$f_c = \beta f_1$ assim $\beta = R_1 / (R_1 + R_f) = 10\text{K} / 110\text{K} = 0,09$

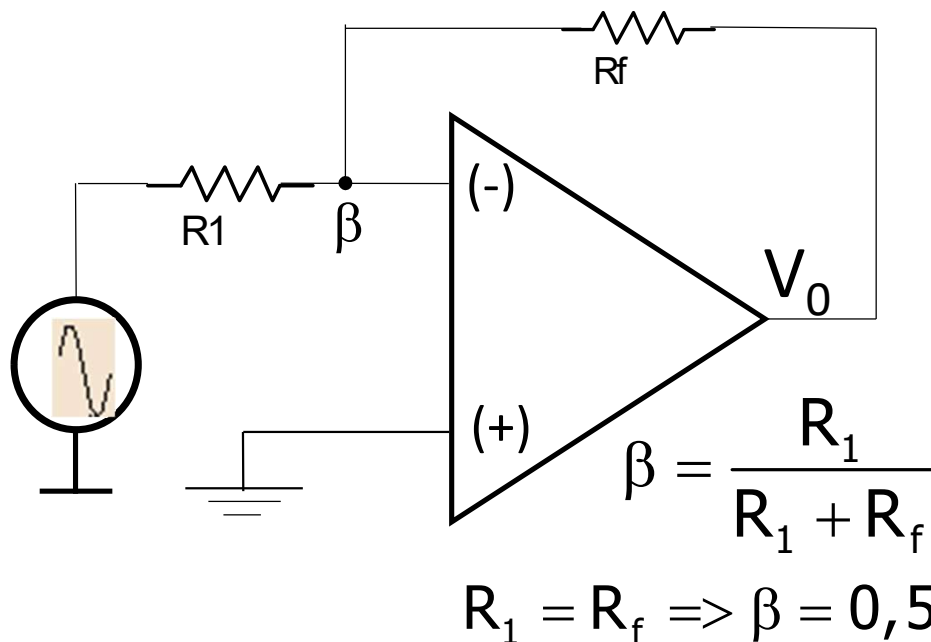
$f_c = 0,09 \times 10^6 = 90\text{KHz}$.

ELETRÔNICA APLICADA



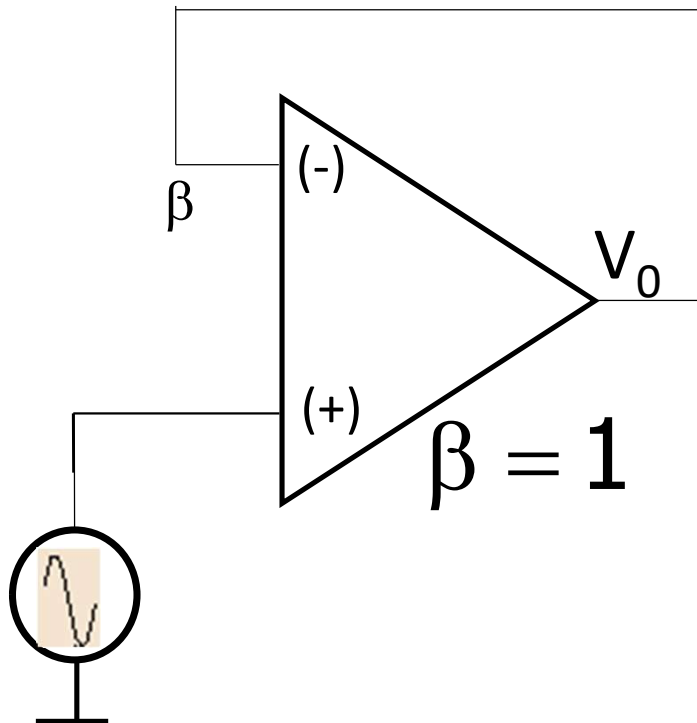
Prof. Luis Caldas
Aula – Exemplo

Exemplo: Determinar a frequência de corte para a montagem inversor e não inversor cujos ganhos são unitários. Dados $GB_W = 1\text{MHz}$.



Para o circuito inversor, onde o ganho é unitário então $R_1 = R_f$. Sabe-se que $f_c = \beta f_1$ e assim $\beta = 0,5 \therefore f_c = 0,5 \times 1\text{MHz} = 500\text{KHz}$.

Continuação do exemplo 2.2



Para o circuito não inversor, onde o ganho é unitário então. Sabe-se que $f_c = \beta f_1$ e assim $\beta = 1,0 \therefore f_c = 1,0 \times 1\text{MHz} = 1\text{MHz}$.

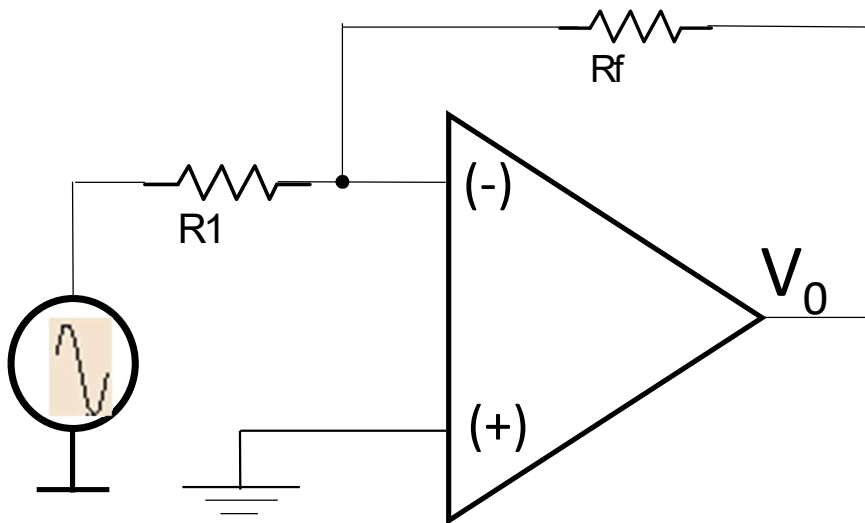
Conclusão: A montagem não inversor tem o dobro da resposta em frequência que a montagem inversor.

ELETRÔNICA APLICADA



Prof. Luis Caldas
Aula – Exemplo

Exemplo: O circuito a seguir foi projetado para ter um ganho igual a -10 . A frequência máxima do sinal de entrada é de 200KHz . Sabendo-se que $GB_W = 1\text{MHz}$, qual a tensão máxima de saída quando é aplicado um sinal de entrada $E_{\text{max}} = 1\text{V}$. Repita para ganho = -100 e frequência igual a 50KHz e $E_{\text{max}} = 0,2\text{V}$



Para a frequência de corte de 200KHz , então:

$GB_W = 1\text{MHz}$ e $f_c = \beta f_1 \Rightarrow 2 \cdot 10^5 = \beta \cdot 10^6$, onde
 $\beta = 0,2$ como $A_{CL} = 1/\beta = 1/0,2 = -5$.
A saída será = -5V

Para a frequência de corte de 50KHz , então:

$GB_W = 1\text{MHz}$ e $f_c = \beta f_1 \Rightarrow 5 \cdot 10^4 = \beta \cdot 10^6$, onde
 $\beta = 0,05$ como $A_{CL} = 1/\beta = 1/0,05 = -20$.
A saída será = -4V



2.3 Limitação pela taxa máxima da frequência do sinal (Slew-rate)

a. **Taxa de inclinação** = taxa máxima na qual a saída do amplificador pode variar em Volts por microssegundos ($SR = V/\mu s$).

$$SR = \Delta V / \Delta t \text{ (V}/\mu s) \text{ e } \frac{\Delta V_0}{\Delta t} = A_{CL} \cdot \frac{\Delta V_i}{\Delta t}$$

b. Máxima frequência do sinal

Sendo $V_i(t) = E_{\max} \sin \omega t$ e o K = ganho do amplificador, então:

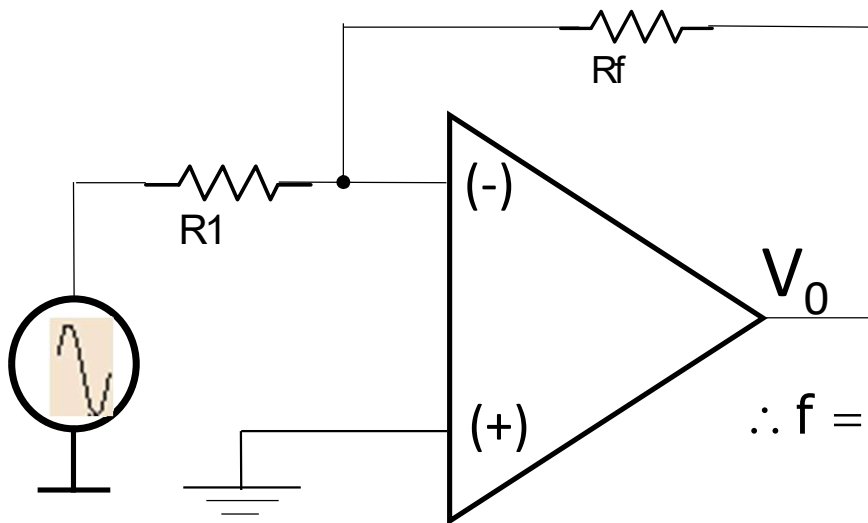
$$\frac{\Delta V_0}{\Delta t} = K \omega E_{\max} \cos \omega t = SR \text{ (} \cos \omega t = 1 \text{)} \Rightarrow SR = K \omega E_{\max}$$
$$\omega = 2\pi f = (\text{rad/s}) \therefore f = \frac{SR}{2\pi K E_{\max}} = (\text{Hz})$$



2.4 - Exemplo da limitação pela taxa de inclinação (Slew-rate).

Exemplo1: Determinar a frequência de corte de um Amp-Op. cujos valores especificados pelo fabricante é $SR = 0,5V/\mu s$. Qual a máxima frequência que pode ser aplicada ao amp-Op, para uma entrada de $V_i = 20mV$ e $R_f = 240K$ e $R_1 = 10K$.

$$A_{CL} = -R_f / R_1 = 240 \cdot 10^3 / 10^4 = K = -24 \text{ e } \omega \leq 5 \cdot 10^5 / 24 \times 20mV = 1.1 \times 10^6 \text{ rad/s.}$$



$$\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \omega / 2\pi = 1.1 \times 10^6 / 2\pi$$
$$f_{MAX} = 175,16KHz.$$

$$\therefore f = \frac{SR}{2\pi K E_{max}} = (Hz)$$



2.4 - Exemplo da limitação pela taxa de inclinação (Slew-rate).

Exemplo2: Para um Amp-Op. cujo valor especificado pelo fabricante é $SR = 2,0V/\mu s$. Qual o máximo ganho de tensão de malha fechada que pode ser aplicada ao amp-Op, para uma entrada de $V_i = 500mV$ em $10\mu s$.

Solução: Sabendo que: $\frac{\Delta V_0}{\Delta t} = A_{CL} \cdot \frac{\Delta V_i}{\Delta t}$ Obtemos:

$$A_{CL} = \frac{\frac{\Delta V_0}{\Delta t}}{\frac{\Delta V_i}{\Delta t}} = \frac{SR}{\frac{\Delta V_i}{\Delta t}} = \frac{2V/\mu s}{0.5/10\mu s} = 40$$

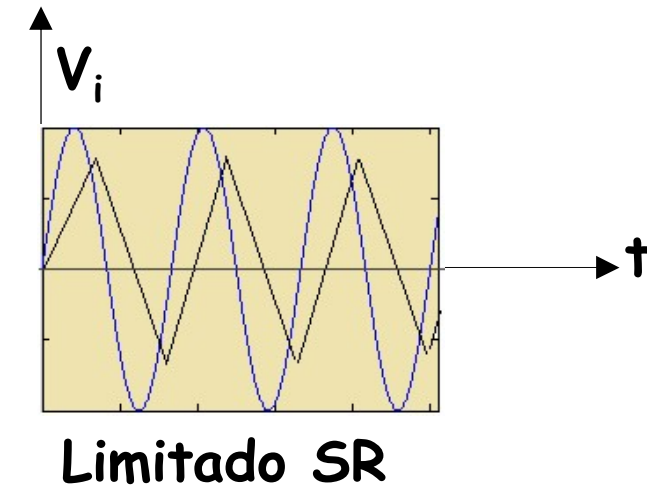
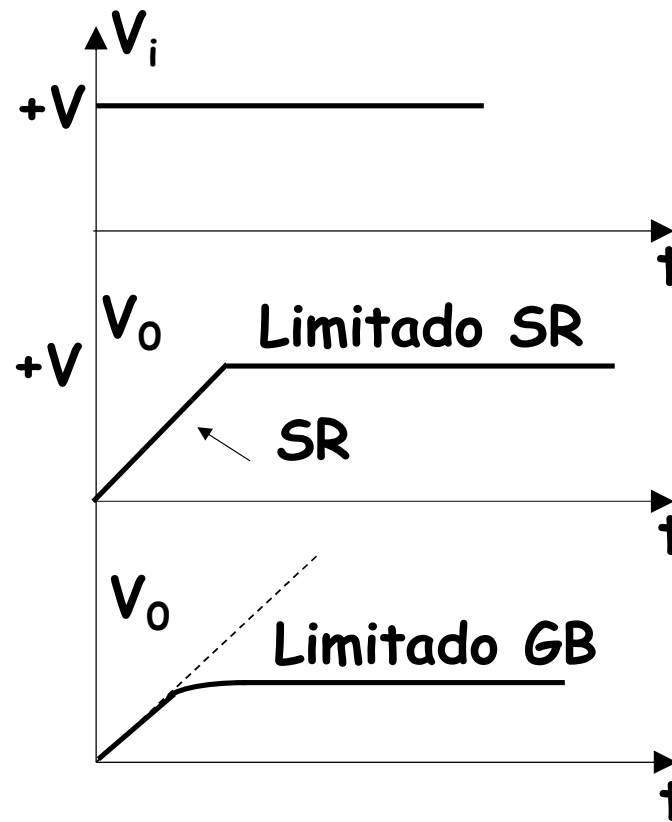
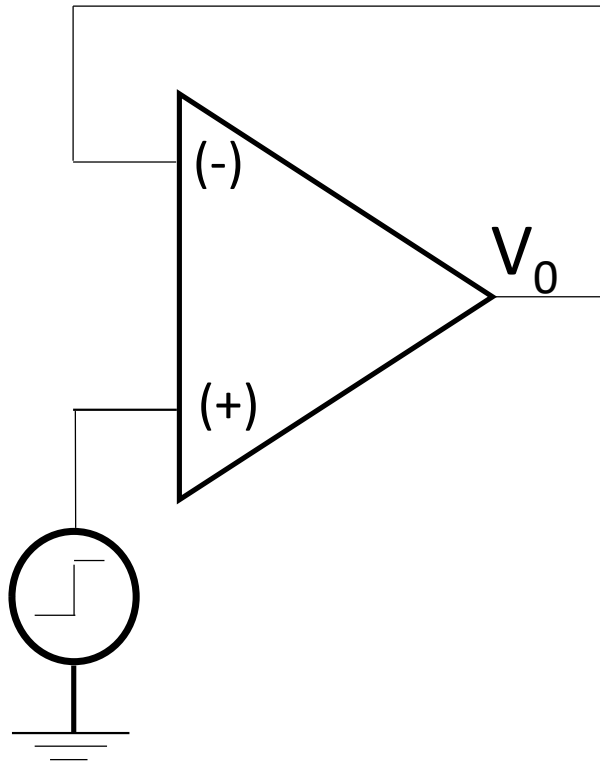
Um ganho de malha fechada acima de 40 levará a saída a variar mais rapidamente que a taxa de inclinação permitida.

ELETRÔNICA APLICADA



Prof. Luis Caldas
Aula – Limitações

2.5 Influência na resposta de saída do amp-op devido ao SR e ao GB.



ELETRÔNICA APLICADA



Prof. Luis Caldas
Aula – Exemplos

2.6 Exercício: Para a instalação a seguir, são aplicados os sinais $V_1 = 0.2\text{sen}10^4t$, $V_2 = 5\text{sen}10^3t$, $V_3 = 25\text{sen}10^3t$, $V_4 = 0.5\text{sen}10^4t$, $V_5 = \text{sen}10^5t$. Sabendo-se $SR = 0.5\text{V}/\mu\text{s}$ e o ganho $K = 10$. Quais os sinais de saída que distorcem?

$$SR = KE_{\max}\omega \quad \omega = \frac{SR}{KE_{\max}}$$

1. Para sinal V_1

$$\omega = \frac{500 \times 10^3}{10 \times 0.2} = 2.5 \cdot 10^5 \text{ rad/s}$$

2. Para sinal V_2

$$\omega = \frac{500 \times 10^3}{10 \times 5} = 10^4 \text{ rad/s}$$

3. Para sinal V_3

$$\omega = \frac{500 \times 10^3}{10 \times 25} = 2 \cdot 10^3 \text{ rad/s}$$

4. Para sinal V_4

$$\omega = \frac{500 \times 10^3}{10 \times 0.5} = 10^5 \text{ rad/s}$$

5. Para sinal V_5

$$\omega = \frac{500 \times 10^3}{10 \times 1} = 5 \times 10^4 \text{ rad/s}$$

(O sinal distorce)

ELETRÔNICA APLICADA



Prof. Luis Caldas
Aula – Exemplos

2.7 Exercício: Qual deve ser o ganho para $V_4 = \text{sen}10^5 t$ que não distorce?

$$SR = KE_{\max} \omega \quad \omega = \frac{SR}{KE_{\max}} \quad K = \frac{SR}{\omega E_{\max}}$$

1. Para sinal V_4

$$K = \frac{500 \times 10^3}{10^5 \times 1} = 5$$



2.8 Taxa de rejeição de modo comum - CMRR.

Uma vez obtidos os ganhos de modo diferencial A_d e de modo comum A_c pode-se calcular a taxa de rejeição de modo comum CMRR definida como:

$CMRR = \frac{A_d}{A_c}$ O valor do CMRR pode ser expresso em termos logarítmicos como:

$$CMRR = 20 \log \frac{A_d}{A_c} = \text{dB}$$

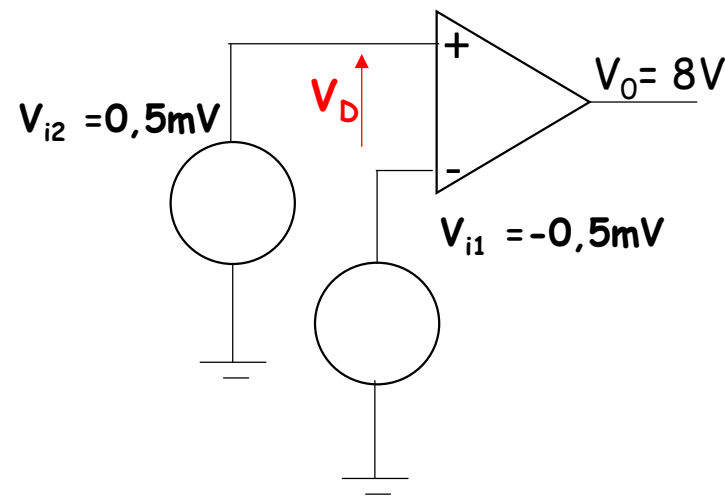
Exemplo: Calcular os ganhos de modo comum e diferencial das montagens a seguir. Uma vez obtidos os ganhos A_d e A_c calcular as CMRRs.

ELETRÔNICA APLICADA



Prof. Luis Caldas
Aula – Limitações

Exemplo: Calcular os ganhos de modo comum e diferencial das montagens a seguir. Uma vez obtidos os ganhos A_d e A_c calcular as CMRRs.

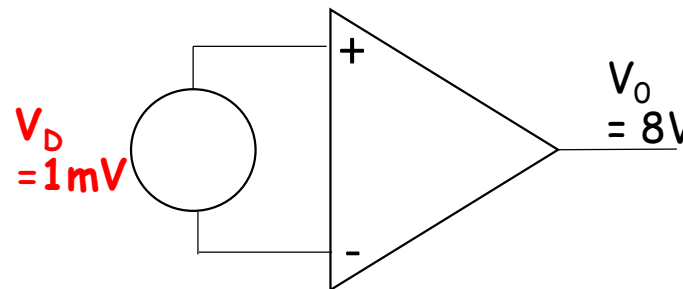


$$V_D = V_{i2} - V_{i1} = 0,5 - (-0,5) = 1\text{mV}$$

$$V_c = \frac{V_{i2} + V_{i1}}{2} = \frac{0,5 + (-0,5)}{2} = 0$$

$$V_0 = A_d V_D + A_c V_c \Rightarrow V_0 = A_d V_D$$

$$A_d = \frac{V_0}{V_D} = \frac{8000\text{mV}}{1\text{mV}} = 8000$$

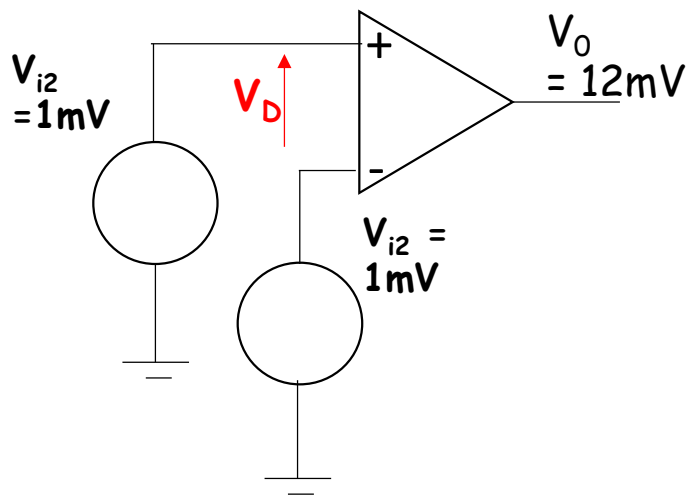


ELETRÔNICA APLICADA



Prof. Luis Caldas
Aula – Limitações

Exemplo: Calcular os ganhos de modo comum e diferencial das montagens a seguir. Uma vez obtidos os ganhos A_d e A_c calcular as CMRRs.

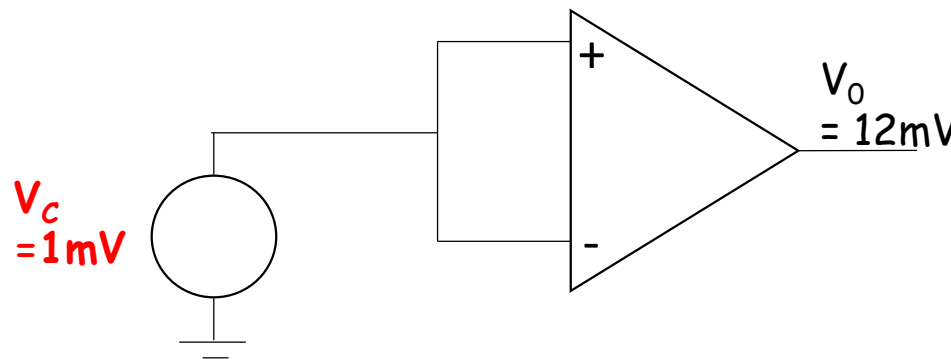


$$V_D = V_{i2} - V_{i1} = 1 - 1 = 0V$$

$$V_c = \frac{V_{i2} + V_{i1}}{2} = \frac{1 + 1}{2} = 1$$

$$V_0 = A_d V_D + A_c V_c \Rightarrow V_0 = A_c V_c$$

$$A_c = \frac{V_0}{V_c} = \frac{12mV}{1mV} = 12$$



$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} = \frac{8000}{12} = 666,7$$

$$CMRR = 20 \log \frac{A_d}{A_c} = 56,4dB$$



A expressão de saída de um amplificador operacional pode ser expressa em termos de CMRR.

$$V_0 = A_d V_D + A_c V_c \Rightarrow V_0 = A_d V_D \left(1 + \frac{A_c V_c}{A_d V_D}\right)$$
$$V_0 = A_d V_D \left(1 + \frac{1}{\text{CMRR}} \frac{V_c}{V_d}\right)$$
$$\text{CMRR} = \frac{A_d}{A_c}$$
$$A_c = \frac{A_d}{\text{CMRR}}$$

Exemplo: Determinar a tensão de saída de um OPAMP para as tensões de entrada $V = 150\mu\text{V}$ e $V = 140\mu\text{V}$. O amplificador tem ganho diferencial $A = 4000$. para $\text{CMRR} = 100$ e $\text{CMRR} = 10^5$.

$$V_0 = A_d V_D \left(1 + \frac{1}{\text{CMRR}} \frac{V_c}{V_d}\right) = 4000 \times 10\mu\text{V} \left(1 + \frac{1}{100} \frac{145}{10}\right) = 45,8\text{mV}$$

$$V_0 = A_d V_D \left(1 + \frac{1}{\text{CMRR}} \frac{V_c}{V_d}\right) = 4000 \times 10\mu\text{V} \left(1 + \frac{1}{10^5} \frac{145}{10}\right) = 40,006\text{mV}$$

$$V_d = 150 - 140 = 10\mu\text{V}$$

$$V_c = \frac{150 + 140}{2} = 145\mu\text{V}$$



Conclusão: Quanto maior o valor da CMRR do operacional a saída pode ser aproximada a:

$$V_0 \cong A_d V_d$$

Resumo:

1. O produto ganho x largura de faixa do amplificador operacional é constante;
2. O slew-rate do operacional é responsável pela fidelidade do sinal de entrada e saída;
3. A taxa de rejeição de modo comum é responsável em medir o desempenho do amplificador em reproduzir sinal de saída a componente diferencial.