

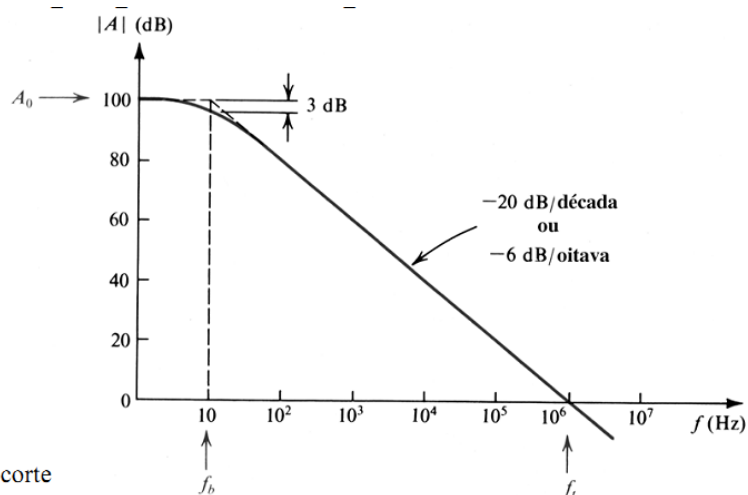
# EE 530 Eletrônica Básica I

## AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Prof. Pedro Xavier

### Amplificador operacional não ideal

- Largura de banda finita



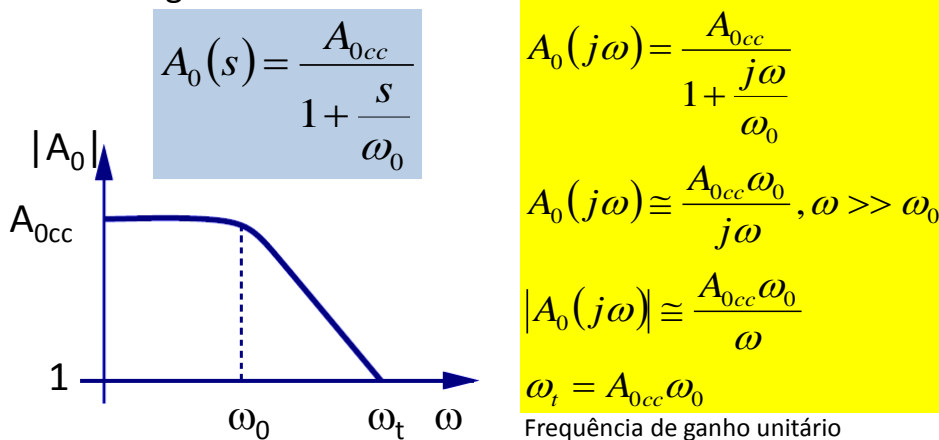
$\omega_b$  é a frequência de corte

$\omega_t$  é chamada de **faixa de passagem de ganho unitário**. Visto que  $\omega_t$  é o produto do ganho cc ( $A_0$ ) pela faixa de passagem de 3dB ( $\omega_b$ ), que é conhecido também como **produto ganho-faixa de passagem (GBP)** ou **Bandwidth (BW)**.

4

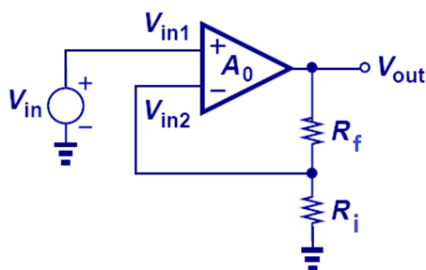
## Amplificador operacional não ideal

- Largura de banda finita
  - O ganho de malha aberta depende da frequência.



## Amplificador operacional não ideal

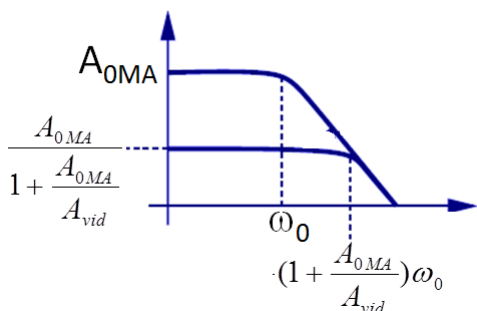
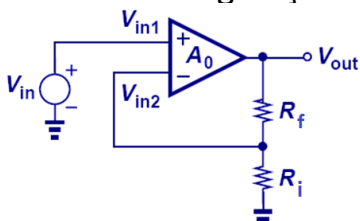
- Largura de banda finita
  - Determine a resposta em frequência:



$$A_0(s) = \frac{A_{0cc}}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$$

## Amplificador operacional não ideal

- Largura de banda finita
  - Configuração não inversora



$$A_{vid} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

$$A_{vmid} = \frac{A_{vid}}{1 + \frac{A_{vid}}{A_0}}$$

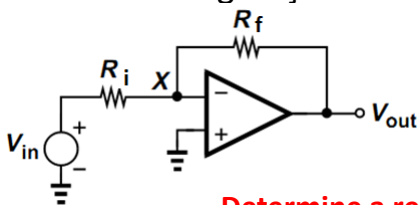
$$A_0(s) = \frac{A_{0cc}}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$$

$$A_{vmid} = \frac{A_{0cc}}{1 + \frac{s}{\omega_0} + \frac{A_{0cc}}{A_{vid}}}$$

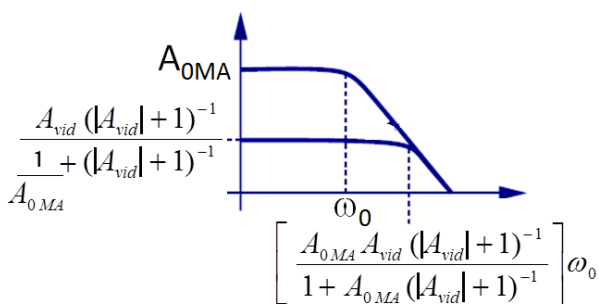
$$A_{vid} \omega_c \cong A_0 \omega_0, \quad (A_0 \gg A_{vid})$$

## Amplificador operacional não ideal

- Largura de banda finita
  - Configuração inversora



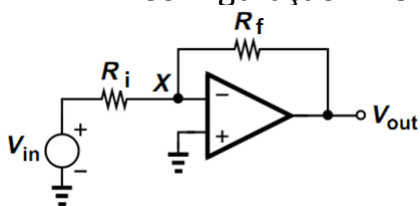
Determine a resposta em frequência – Para nota (casa)



$$A_{vid} \omega_c \cong A_0 \omega_0, \quad (A_{vid} \gg 1 \text{ e } A_0 \gg 1)$$

## Amplificador operacional não ideal

- Largura de banda finita
  - Configuração inversora

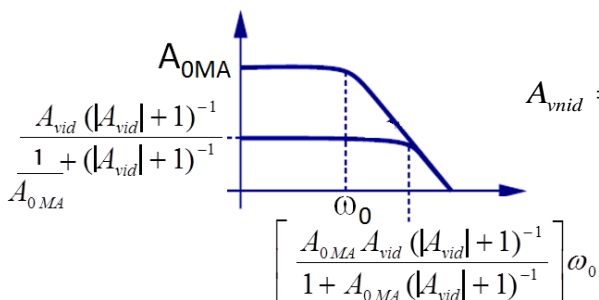


$$A_{vid} = -\frac{R_f}{R_i}$$

$$A_{vnid} = \frac{A_{vid}}{1 + \frac{1 - A_{vid}}{A_0}}$$

$$A_0(s) = \frac{A_{0cc}}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$$

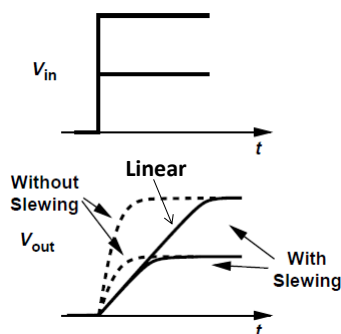
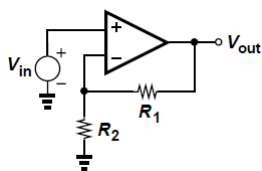
$$A_{vnid} = \frac{A_{0cc} A_{vid} (1 - A_{vid})^{-1}}{1 + \frac{s}{\omega_0} + A_{0cc} (1 - A_{vid})^{-1}}$$



$$A_{vid} \omega_c \cong A_0 \omega_0, \quad (A_{vid} \gg 1 \text{ e } A_0 \gg 1)$$

## Amplificador operacional não ideal

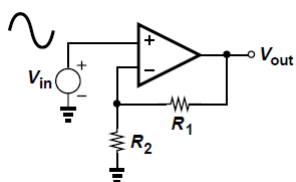
- Slew rate (taxa de inflexão)



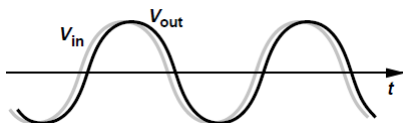
- Para pequenos sinais, a resposta ao degrau é similar a de um filtro passa baixa de primeira ordem.
- Para grandes sinais, a saída cresce com inclinação constante (rampa) e se acomoda, como no caso de pequenos sinais.
- A origem da rampa de saída se deve ao circuito interno do AMP. OP. que se comporta como uma fonte de corrente constante que carrega um capacitor.

## Amplificador operacional não ideal

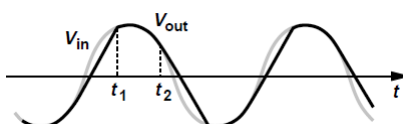
- Slew rate (taxa de inflexão)



Sem inflexão



Com inflexão



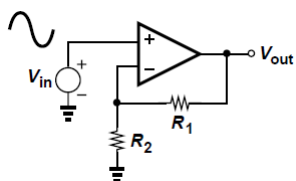
- A frequências baixas, o amplificador segue a onda senoidal, com um deslocamento de fase. Pois a inclinação máxima da onda senoidal permanece menor que a taxa de inclinação do amplificador.

$$V_{in} = V_0 \sin \omega t$$

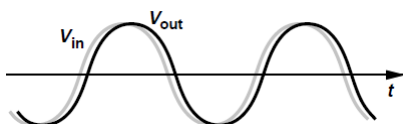
$$V_{out} = V_0 A_{v_{nid}}(\omega) \sin(\omega t)$$

## Amplificador operacional não ideal

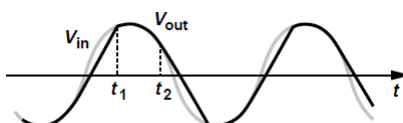
- Slew rate (taxa de inflexão)



Sem inflexão



Com inflexão



- A inclinação máxima da saída tem que ser menor ou igual a taxa de inflexão (SR) do AMP. OP.
- A inclinação máxima da saída depende da amplitude de entrada, da frequência de entrada e do ganho de malha fechada.

$$\frac{dV_{out}}{dt} = V_0 A_{v_{nid}}(\omega) \omega \cos(\omega t)$$

$$\left. \frac{dV_{out}}{dt} \right|_{\max} = V_0 A_{v_{nid}}(\omega) \omega$$

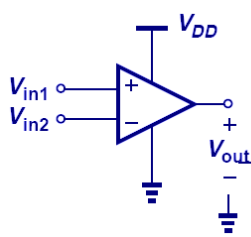
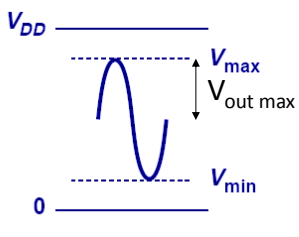
## Amplificador operacional não ideal

- Slew rate (taxa de inflexão)
- Máxima frequência de entrada, para que não ocorra inflexão.
- Largura de banda de potencia ( $\omega_{FP}$ )

$$\begin{aligned}
 SR &= \left. \frac{dV_{out}}{dt} \right|_{\max} \\
 SR &= V_0 A_{v_{nid}}(\omega_{\max}) \omega_{\max} \\
 \omega_{\max} &= \frac{SR}{V_0 A_{v_{nid}}(\omega_{\max})}
 \end{aligned}
 \xrightarrow{\omega_{FP} < \omega_c}
 \omega_{\max} = \frac{SR}{V_0 A_{vid}}$$

## Amplificador operacional não ideal

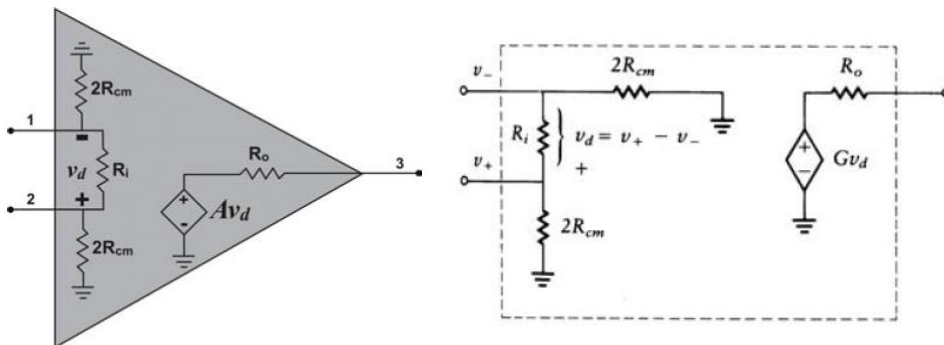
- Slew rate (taxa de inflexão)
- Largura de banda de potencia ( $\omega_{FP}$ ):
  - Máxima frequência de entrada, para que não ocorra inflexão quando o AMP. OP produz a máxima excursão de saída.

$$\omega_{\max} = \frac{SR}{V_0 A_{vid}} \xrightarrow{\hspace{2cm}} \omega_{FP} = \frac{SR}{V_{out\max}}$$



$$V_{out} = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2} \sin \omega t + \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2} \xrightarrow{\hspace{2cm}} \omega_{FP} = \frac{SR}{\frac{V_{\max} - V_{\min}}{2}}$$

## Amplificador operacional não ideal

- Resistência de saída



Sedra 3 ed. p. 92

Savant p. 413

## Fontes de figuras da aula

- Aula do prof. Fabiano Fruett
- Fundamentos de Microeletrônica (Razavi)
- Microeletrônica (Sedra)

## Sugestão de estudo

- Razavi, cap. 8
- Sedra/Smith, cap. 2
- Sedra/Smith, cap. 8
- Savant, cap. 10

Prof. Pedro Xavier