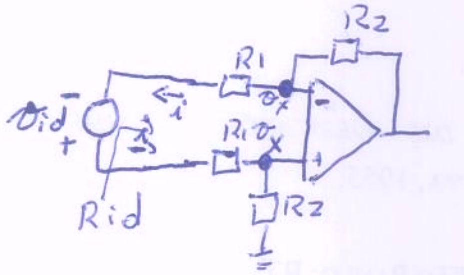
Amplificador de Instrumentação

-> é construído a partir do amplificador de diferenças, porém tem alta impedância de entrada

• Amp. de diferenças



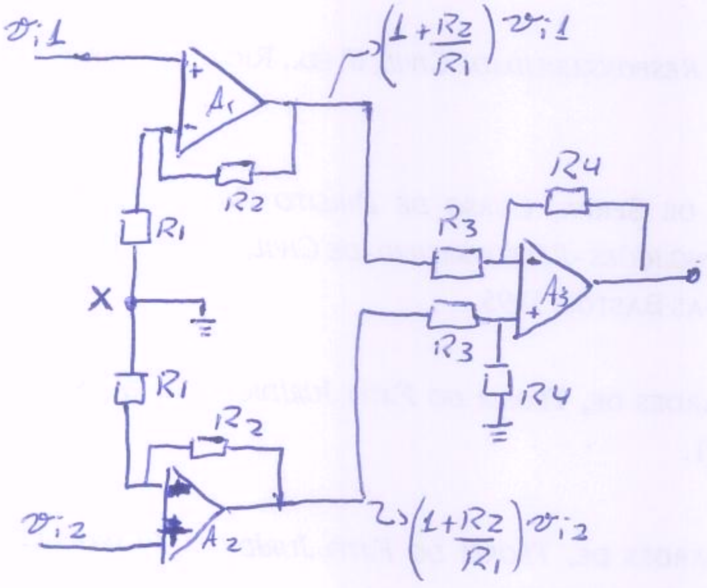
-> Como tem o curto circuito virtual:

$$\boxed{R_{id} = \frac{v_{id}}{i} = 2R_1}$$

$$\boxed{A_d = \frac{R_2}{R_1}}$$ -> ganho diferencial, já demonstrad

-> um modo de aumentar a impedância de entrada é adcionar um buffer a cada entrada, no entanto, não tem ganho adcional.

-> Para ter ganho adcional, colocamos um amp. não inverso ($R_{in} \to \infty$):



$$v_{out} = \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\cdot\frac{R_4}{R_3}\cdot\underbrace{(v_{i2}-v_{i1})}_{v_{id}}$$

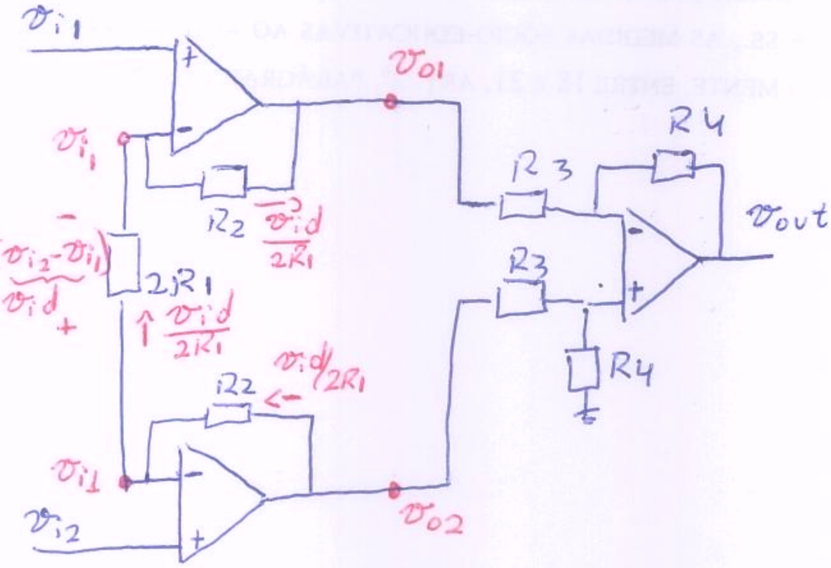
$$A_d = \frac{v_{out}}{v_{id}} = \frac{R_4}{R_3}\cdot\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$$

-> Problemas

• Ao fazermos $v_i = v_{i1} = v_{i2}$ (Sinal de modo comum), apesar de $v_{out} = \emptyset$, o primeiro estágio (Amp. ñ inversor) amplifica este sinal, podendo saturar os Amp. Ops (A_1, A_2). Caso não ocorra a saturação, o segundo estágio (Amp. de diferenças) receb o sinal de modo comum amplificado, diminuindo a razão de regeição de modo comum ($CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}}$) -> ganho diferencia
-> ganho modo comum

- Para variar o ganho, temos que variar 2 resistores, por exemplo os 2 ~~R~~ resistores R_1
- Qualquer diferença ~~est~~construtiva dos Amp. de entrada, causa diferença entre as entradas do 2º estágio, que será amplificada gerando erro. Por exemplo: $v_{out} = \frac{R_4}{R_3}\cdot\left[\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)v_{i2} - \left(1+\frac{R_2'}{R_1}\right)\cdot v_{i1}\right]$

—> Para corrigir esses problemas basta retirar o terra do ponto X.



- $v_{o2} - v_{o1} = R_2\frac{v_{id}}{2R_1} + 2R_1\frac{v_{id}}{2R_1} + R_2\frac{v_{id}}{2R_1}$

$$v_{o2} - v_{o1} = v_{id}\left(\frac{R_2}{2R_1} + \frac{2R_1}{2R_1} + \frac{R_2}{2R_1}\right)$$

$$v_{o2} - v_{o1} = v_{id}\cdot\left(1 + \frac{2R_2}{2R_1}\right) \quad (1)$$

$$\boxed{v_{o2} - v_{o1} = v_{id}\cdot\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)} \quad (2)$$

- $v_{out} = \frac{R_4}{R_3}\cdot(v_{o2} - v_{o1}) \Rightarrow v_{out} = \frac{R_4}{R_3}\cdot\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\cdot v_{id}$

$$\rightarrow \boxed{A_d = \frac{v_{out}}{v_{id}} = \frac{R_4}{R_3}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)} \quad (3)$$

- Se $v_i = v_{i1} = v_{i2} \Rightarrow v_{id} = 0 \Rightarrow v_{o2} = v_{o1}$, ou seja, os amplificadores do primeiro estágio não amplificam sinais de modo comum.
- Para variar o ganho, basta variar o resistor igual a $2R_1$.
- Caso R_2 seja diferente nos estágios, a operação adequada não depende do casamento entre os 2 resistores R_2.

$$(1)(2)(3) \Rightarrow \boxed{A_d = \frac{v_{out}}{v_{id}} = \frac{R_4}{R_3}\left(1+\frac{R_2'+R_2}{2R_1}\right)}$$

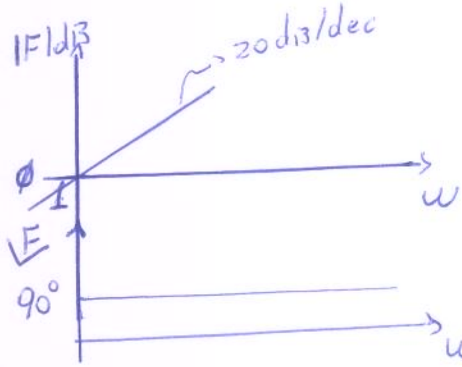
✱ Diagrama de Bode

→ São gráficos logarítmicos que representam o módulo e a fase de uma função (F)

• $F(s) = s \Rightarrow F(j\omega) = j\omega \Rightarrow \begin{cases} |F| = \omega \xrightarrow{20\log|F|} \underline{|F|_{dB} = 20\log\omega} \\ \angle F = 90^\circ \end{cases}$

→ $\omega = 1 \Rightarrow |F|_{dB} = 0$

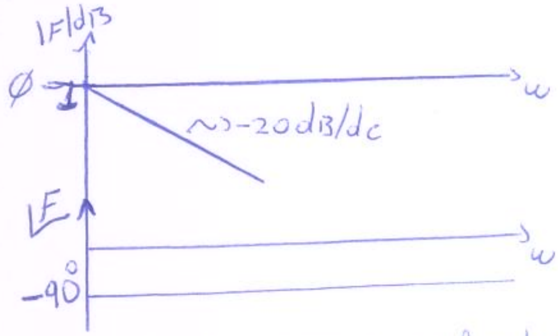
→ $\omega = 10 \Rightarrow |F|_{dB} = 20$



• $F(s) = \frac{1}{s} \Rightarrow F(j\omega) = \frac{1}{j\omega} \Rightarrow \begin{cases} |F| = \frac{1}{\omega} \\ \angle F = 90^\circ \end{cases} \Rightarrow |F|_{dB} = 20\log\frac{1}{\omega} \Rightarrow \underline{|F|_{dB} = -20\log\omega}$

→ $\omega = 1 \Rightarrow |F|_{dB} = 0$

→ $\omega = 10 \Rightarrow |F|_{dB} = -20$

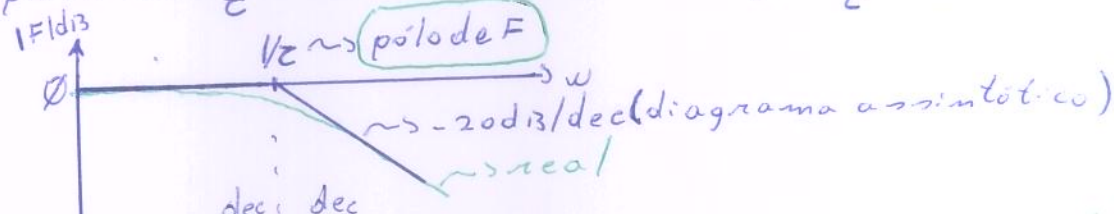


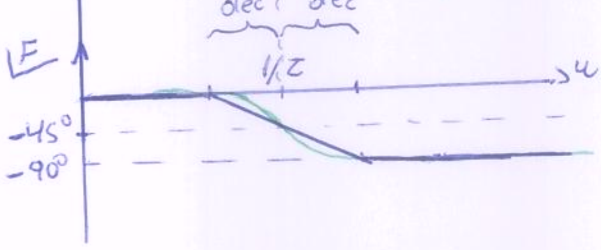
• $F(s) = \frac{1}{\tau s + 1} \Rightarrow F(j\omega) = \frac{1}{j\tau\omega + 1} \Rightarrow \begin{cases} |F| = \left|\frac{1}{j\tau\omega + 1}\right| \longrightarrow |F_{dB}| = 20\log\left|\frac{1}{j\tau\omega+1}\right| \\ \angle F = \angle \frac{1}{j\tau\omega+1} \end{cases}$

$\Rightarrow \begin{cases} |F| = \frac{1}{\sqrt{1+(\tau\omega)^2}} \longrightarrow |F|_{dB} = -20\log\sqrt{1+(\tau\omega)^2} \\ \angle F = -tg^{-1}(\omega\tau) \rightarrow \begin{cases} \omega = \emptyset \Rightarrow \angle F = 0^\circ \\ \omega = \frac{1}{\tau} \Rightarrow \angle F = -45^\circ \end{cases} \end{cases}$

→ para $\omega \ll \frac{1}{\tau} \Rightarrow |F|_{dB} \cong -20\log 1 \sim \emptyset\, dB$

→ para $\omega \gg \frac{1}{\tau} \Rightarrow |F|_{dB} \cong -20\log(\tau\omega) \Rightarrow \begin{cases} \omega = \frac{1}{\tau} \Rightarrow |F|_{dB} = 0 \\ \omega = \frac{10}{\tau} \Rightarrow |F|_{dB} = -20 \end{cases}$

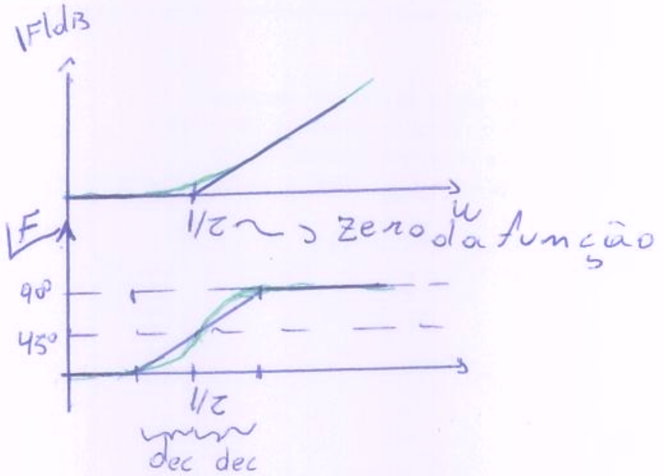




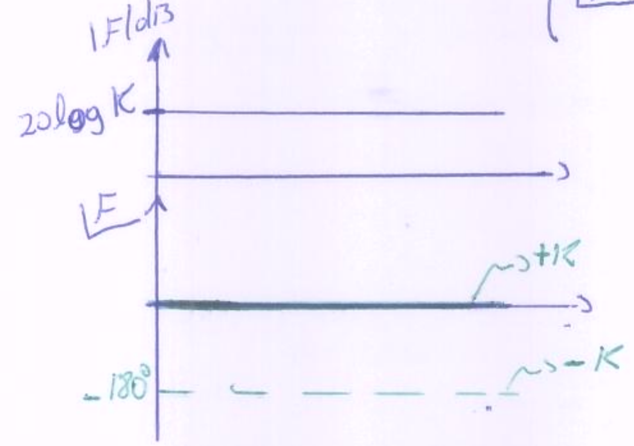
obs: arctg é simétrico em relação ao ponto de inflexão

• $F(s) = \tau s + 1 \Rightarrow F(j\omega) = 1 + j\tau\omega \Rightarrow \begin{cases} |F| = \sqrt{1+(\tau\omega)^2} \Rightarrow |F|_{dB} = 20\log\sqrt{1+(\tau\omega)^2} \\ \angle F = tg^{-1}(\tau\omega) \Rightarrow \begin{cases} \omega = 0 \Rightarrow \angle F = 0^\circ \\ \omega = \frac{1}{\tau} \Rightarrow \angle F = 45^\circ \end{cases} \end{cases}$

$\Rightarrow \begin{cases} \omega << \frac{1}{\tau} \Rightarrow |F|_{dB} = 0 \\ \omega >> \frac{1}{\tau} \Rightarrow |F|_{dB} = 20\log(\omega\tau) \end{cases} \begin{cases} \omega = \frac{1}{\tau} \Rightarrow |F|_{dB} = 0 \\ \omega = \frac{10}{\tau} \Rightarrow |F|_{dB} = 20\,dB \end{cases}$

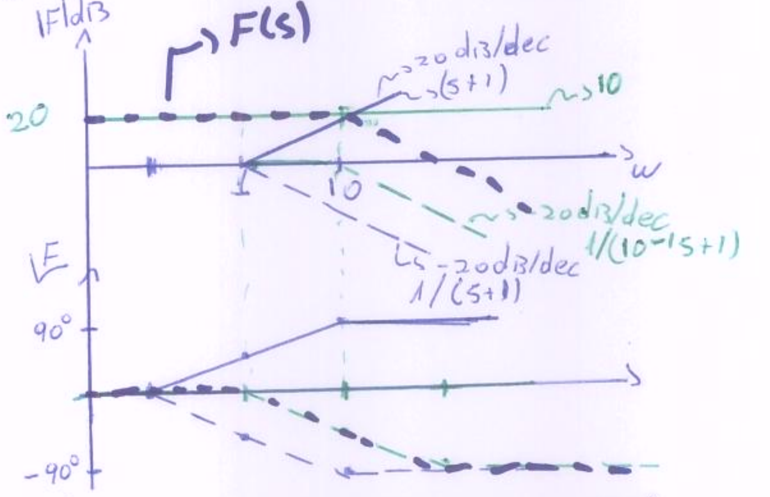


• $F(s) = \pm K$, $\Rightarrow F(j\omega) = \pm K \Rightarrow \begin{cases} |F| = K \Rightarrow |F|_{dB} = 20\log K \\ \angle F = \begin{cases} 0, +K \\ 180, -K \end{cases} \end{cases}$



• Função composta => Somatória das curvas

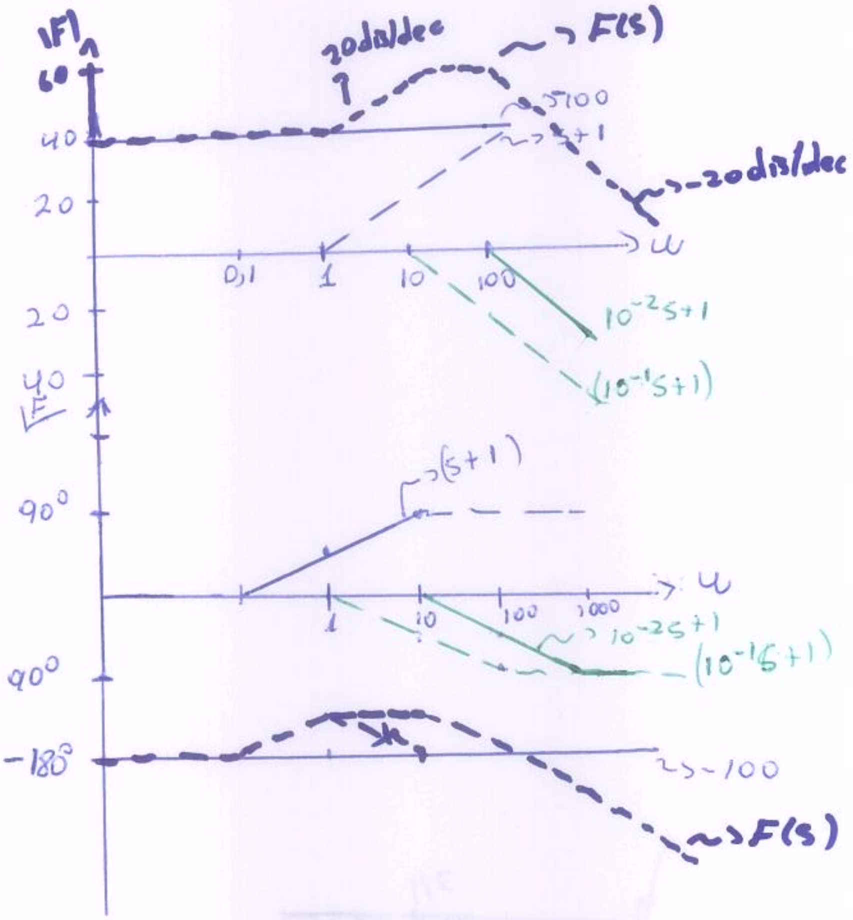
-> Ex 1



$$F(s) = \frac{(s+100)\cdot 10^{-2}}{(s+1)\cdot(s+10)\cdot 10^{-2}}$$

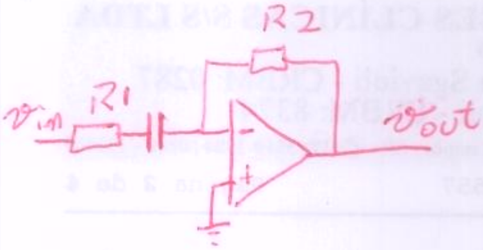
$$F(s) = \frac{\overset{K}{10}\,(s+1)}{(s+1)\cdot(10^{-1}s+1)}$$

-> Ex 2



$$F(s) = \frac{(s+1)(100)}{(10^{-1}s+1)(10^{-2}s+1)}$$

✱ Diferenciador Prático



$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-R_2}{R_1 + \frac{1}{sC}} = \frac{-R_2}{\frac{R_1 sC + 1}{sC}}$$

$$\boxed{\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-R_2 C s}{R_1 C s + 1}}$$