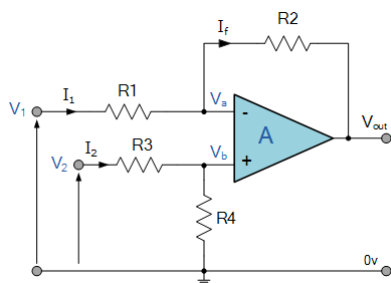


EE 530 Eletrônica Básica I

AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Prof. Pedro Xavier

Amplificador de diferenças (subtrator)

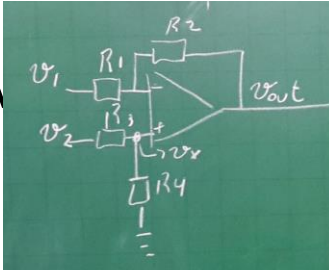


$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

Prof. Pedro Xavier

A



Superposição:

- $v_2 = 0 \Rightarrow v_x = 0 \Rightarrow$ Amp. inversa
 $\Rightarrow v_{out}' = -\frac{R_2}{R_1} v_1$
- $v_1 = 0 \Rightarrow v_x = \frac{v_2 \cdot R_4}{R_3 + R_4} \Rightarrow$ Amp. não inv. + divisor resistivo
 $\Rightarrow v_{out}'' = v_x \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = \frac{v_2 R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$

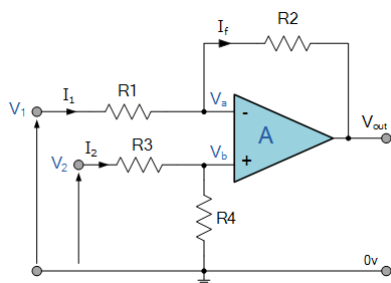
• Para o peso das entradas ser o mesmo

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$\Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

- $v_{out}'' = v_2 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = v_2 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \Rightarrow v_{out}'' = v_2 \frac{R_2}{R_1}$
- $v_{out} = v_{out}' + v_{out}'' \Rightarrow v_{out} = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$

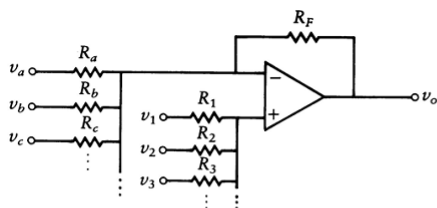
Amplificador de diferenças (subtrator)



$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

Combinando entradas inversoras com não inversoras



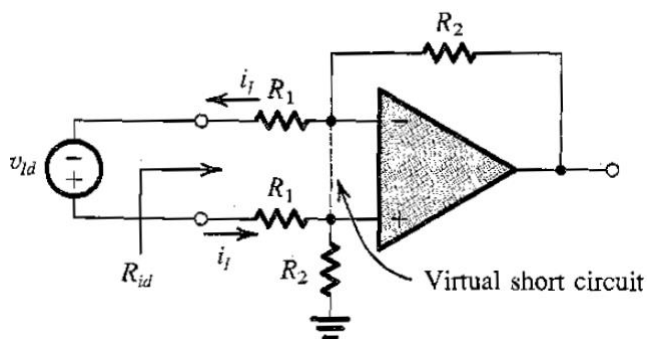
$$v_o = \left[1 + \frac{R_F}{R_a \parallel R_b \parallel R_c \parallel \dots} \right] (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \parallel \dots) \left[\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} + \dots \right] - \left[\frac{R_F}{R_a} v_a + \frac{R_F}{R_b} v_b + \frac{R_F}{R_c} v_c + \dots \right] \quad (8.7)$$

Fonte: Savant, Roden e Carpenter

Prof. Pedro Xavier

Amplificador de Instrumentação

- É obtido a partir do amplificador de diferenças, porém tem alta impedância de entrada:

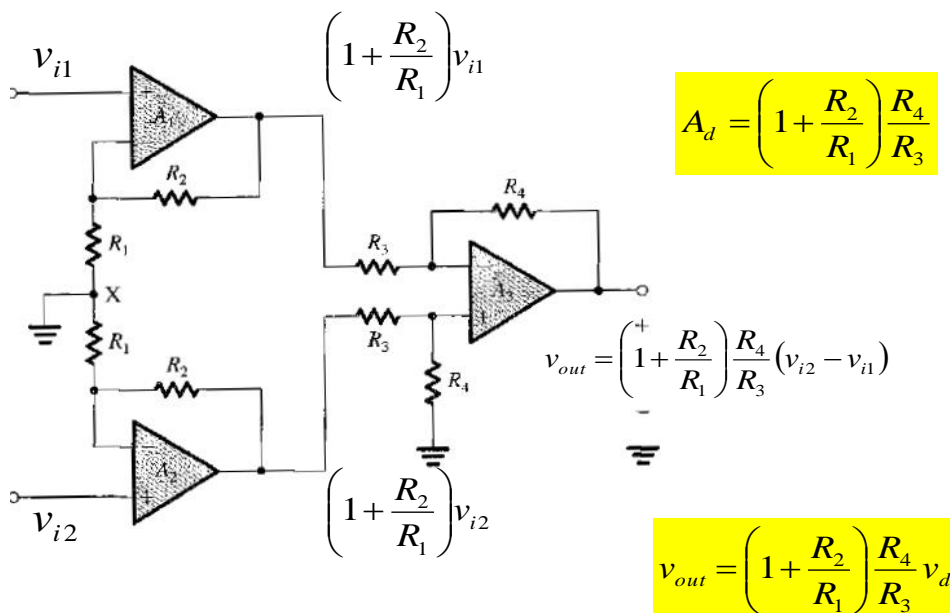


$$v_{out} = \frac{R_2}{R_1} v_d$$

$$R_{id} = 2R_1$$

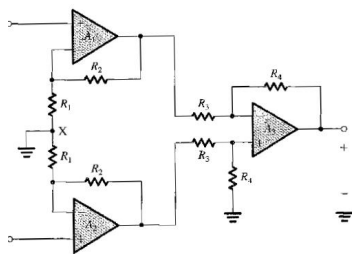
Prof. Pedro Xavier

Amplificador de Instrumentação



Amplificador de Instrumentação

Apesar da impedância ser alta, temos problemas:



- Para $v_{i1} = v_{i2} = v_i$ (sinal de modo comum), o primeiro estágio (amp. não inversores) amplifica este sinal, podendo saturar os amp ops. Caso não sature, o segundo estágio (amp. de diferenças) recebe o sinal de modo comum amplificado, diminuindo a razão de rejeição de modo comum ($CMRR = A_d/A_{CM}$).

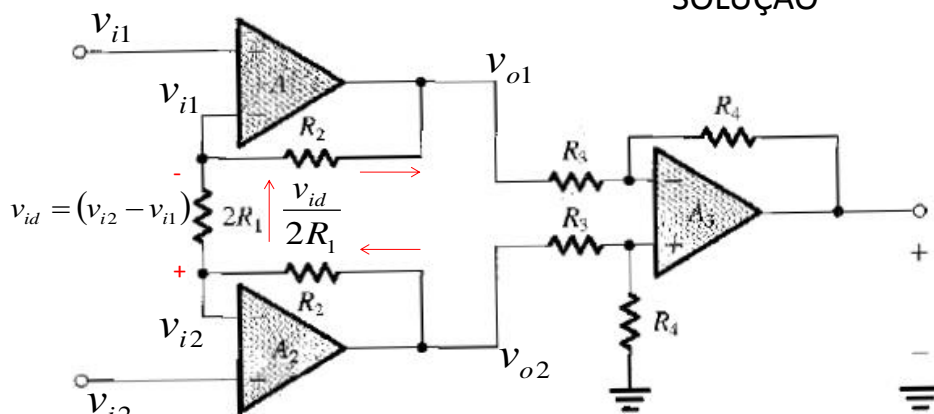
- Para variar o ganho temos que variar os dois resistores R_1 , por exemplo.

-Diferenças construtivas dos amp. de entrada, prejudica a operação adequada. Por exemplo diferença entre R_2 .

$$v_{out} = \left[\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_{i2} - \left(1 + \frac{R_2'}{R_1}\right) v_{i1} \right] \frac{R_4}{R_3}$$

Amplificador de Instrumentação

SOLUÇÃO



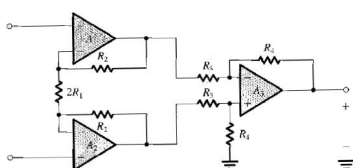
$$(v_{o2} - v_{o1}) = (2R_2 + 2R_1) \frac{v_{id}}{2R_1} \Rightarrow (v_{o2} - v_{o1}) = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) v_{id}$$

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

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

Amplificador de Instrumentação

SOLUÇÃO



- Para $v_{i1} = v_{i2} = v_i \Rightarrow v_{id} = 0 \Rightarrow v_{o1} = v_{o2}$, ou seja, o sinal de modo comum não é amplificado pelo primeiro estágio e o ganho diferencial se mantém.

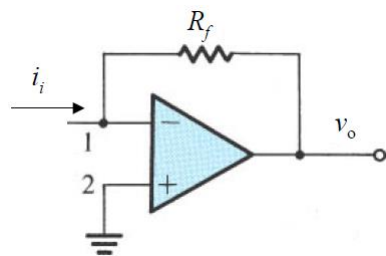
- Para variar o ganho basta variar o resistor igual a $2R_1$.

- Caso ocorra diferença entre R_2 , não ocorre prejuízo de operação .

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

$$v_{out} = (v_{o2} - v_{o1}) \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow \frac{R_4}{R_3} \left(\frac{R_2 + R_2'}{2R_1} + 1 \right) v_{id}$$

Conversor corrente-tensão

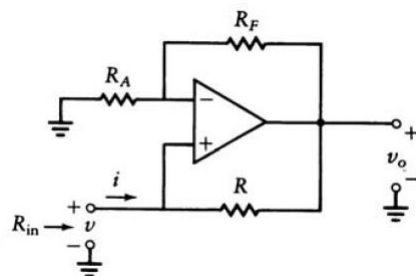


$$v_o = -R_f i_i$$

Prof. Pedro Xavier

Circuito de impedância negativa

- Calcular R_{in} .

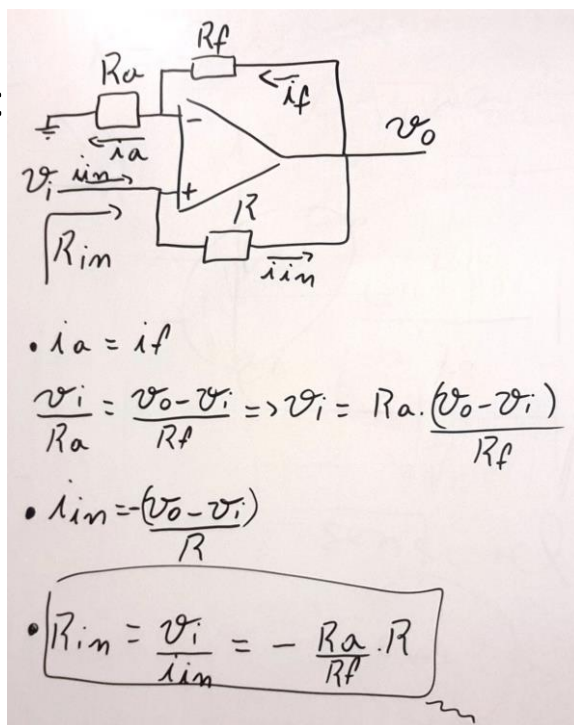


$$R_{in} = \frac{v}{i} = \frac{-R_A R}{R_F}$$

Prof. Pedro Xavier

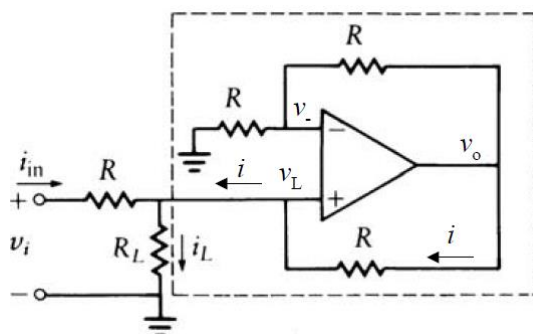
Circ

tiva

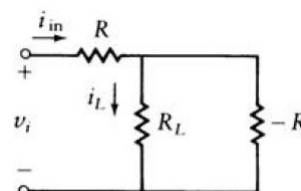


Fonte de corrente controlada por tensão, com carga aterrada

- Relacionar i_L com v_i . **FAZER PARA NOTA**



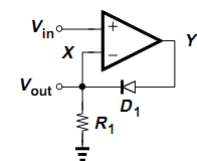
$$i_L = v_i / R$$



Prof. Pedro Xavier

Funções não lineares

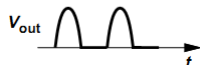
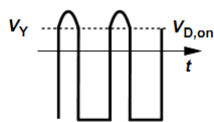
- Retificador de precisão (pequenos sinais)



❖ Em um buffer a saída do AMP OP fornece corrente de forma que $V_{out}=V_{in}$.

❖ Para o semiciclo positivo, o funcionamento do retificador é idêntico ao do buffer, pois V_Y aumenta de forma a deixar $V_{in} = V_{out}$, ou seja $V_Y \geq V_{D_{on}}$.

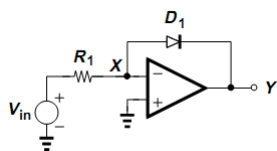
❖ Para o semiciclo negativo, a corrente tende a passar de X para Y e o diodo deixa de conduzir, portanto $V_{out}=0$. O circuito fica em malha aberta e como $v^- > v^+ \Rightarrow V_Y$ satura negativamente.



Prof. Pedro Xavier

Funções não lineares

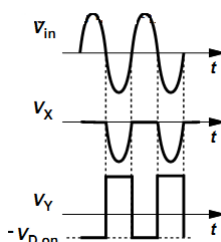
- Retificador de precisão inversor



❖ Para o semiciclo positivo, o diodo conduz:

$$\text{❖ } V_Y = -V_{D_{on}}$$

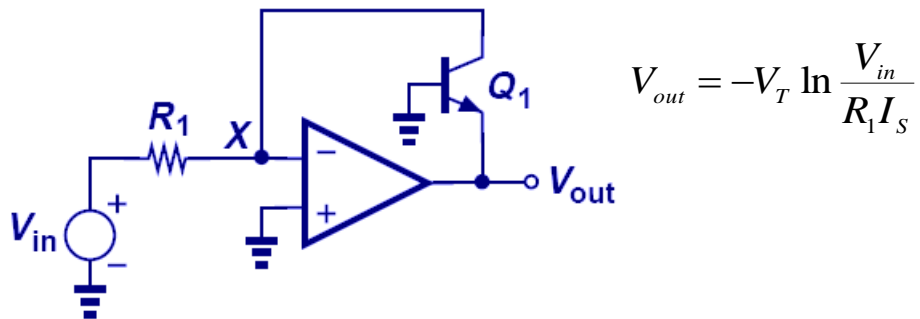
❖ Para o semiciclo negativo, a corrente tende a passar de Y para X e o diodo deixa de conduzir, portanto $V_X = V_{in}$. O circuito fica em malha aberta e como $v^+ > v^- \Rightarrow V_Y$ satura positivamente.



Prof. Pedro Xavier

Funções não lineares

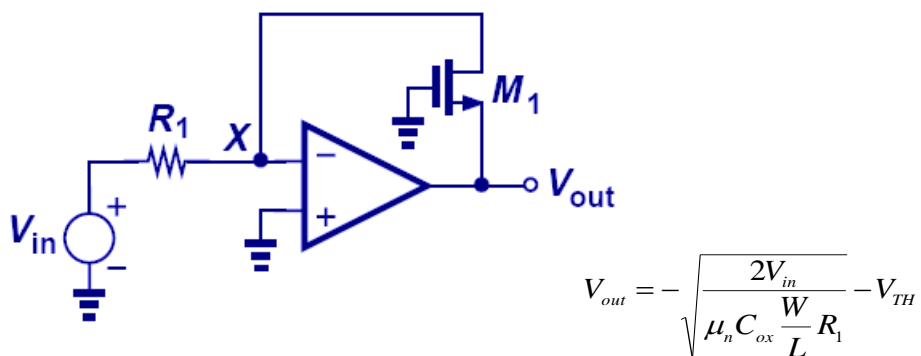
- Amplificador logarítmico



Prof. Pedro Xavier

Funções não lineares

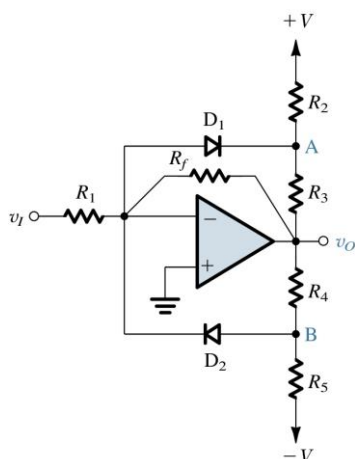
- Amplificador de raiz quadrada



Prof. Pedro Xavier

Circuito limitador de amplitude

- FAZER PARA NOTA (entregar na próxima aula)



$v_i > 0 \rightarrow v_o < 0 \rightarrow D_2$ aberto
 D_1 conduz quando $V_A < -V_{Don}$

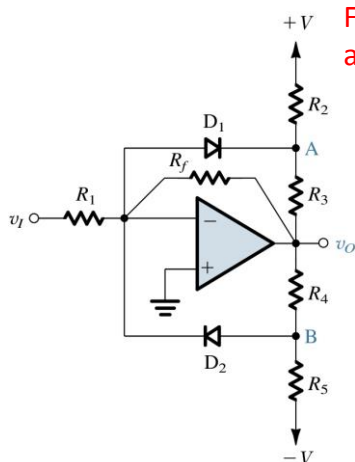
$$L_- = -V \frac{R_3}{R_2} - V_D \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

$v_i < 0 \rightarrow v_o > 0 \rightarrow D_1$ aberto
 D_2 conduz quando $V_B > V_{Don}$

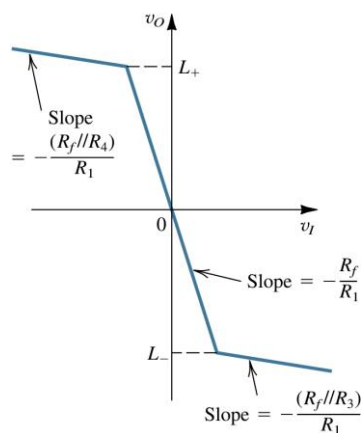
$$L_+ = V \frac{R_4}{R_5} + V_D \left(1 + \frac{R_4}{R_5} \right)$$

Circuito limitador de amplitude

- Circuito limitador de amplitude



FAZER PARA NOTA (entregar na próxima aula)



Fontes de figuras da aula

- Aula do prof. Fabiano Fruett
- Fundamentos de Microeletrônica (Razavi)
- Microeletrônica (Sedra)
- Electronic Design - Circuits and Systems (Savant)

Prof. Pedro Xavier

Sugestão de estudo

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

Prof. Pedro Xavier