Aula 7

Amplificador Operacional
Configurações IV

Circuitos Elétricos II

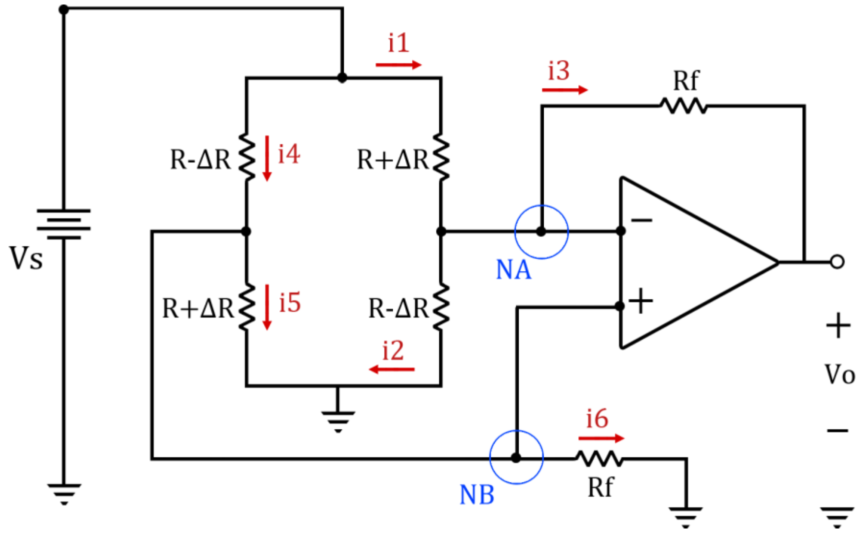
Prof. Henrique Amorim - UNIFESP - ICT

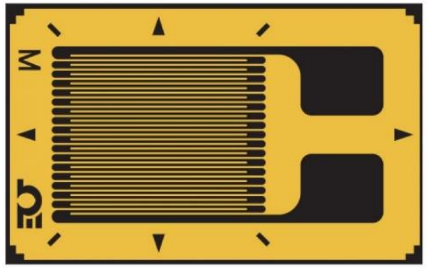
Estudo de caso I – Strain Gage

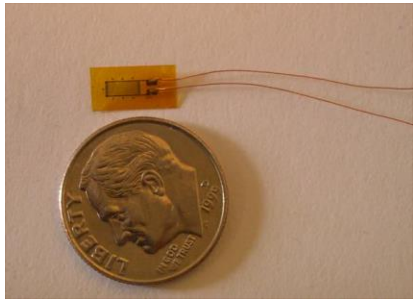
Ponte de Wheatstone + SG + AmpOP

=

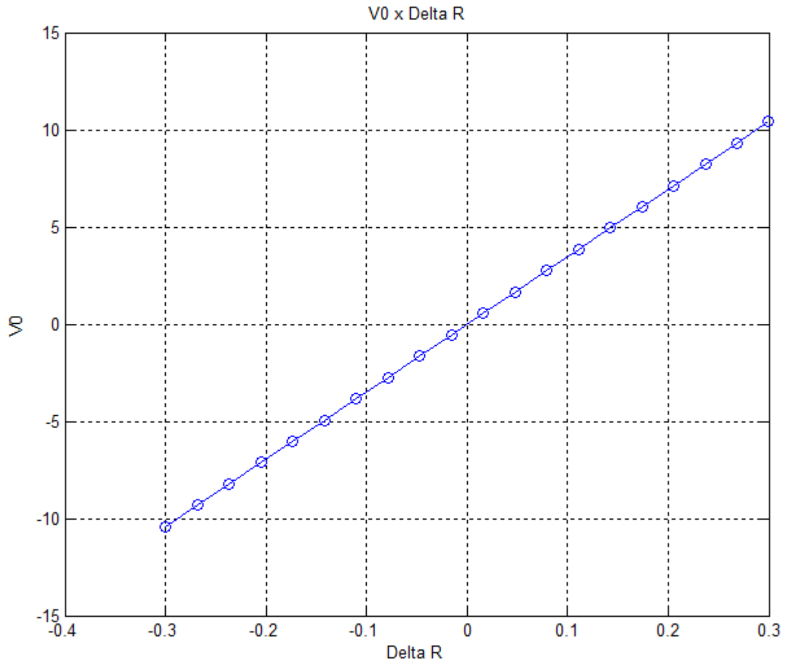
Pequenas variações de resistência resultam um alto ganho







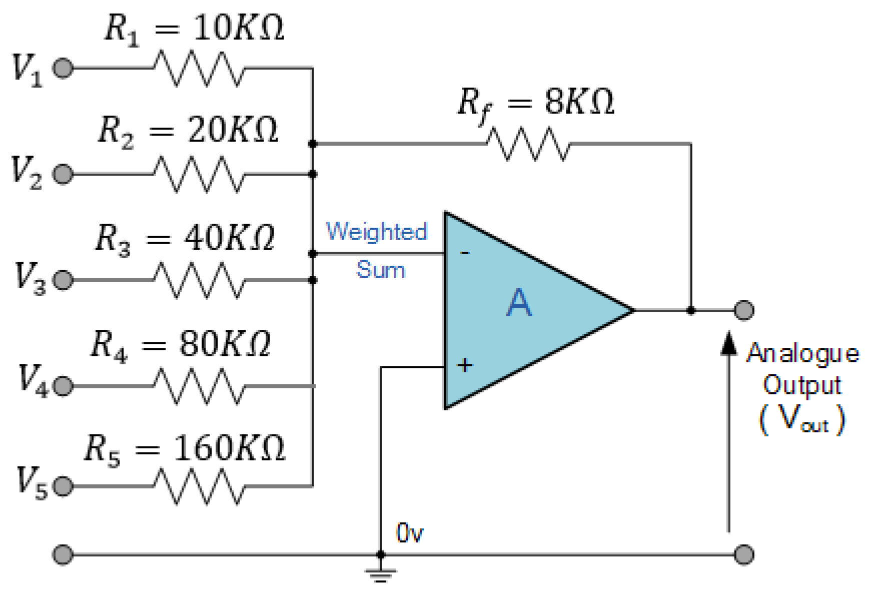
$$v_o \approx v_s \cdot 2 \cdot \left(\frac{R_f}{R}\right) \cdot \delta \quad onde \quad \delta = \frac{\Delta R}{R}$$



Estudo de caso II - DAC

Podemos representar um DAC por um amplificador somador inversor (está é uma possível configuração de DAC, porém não a única)

$$-V_o = R_f \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_4}{R_4} \right)$$

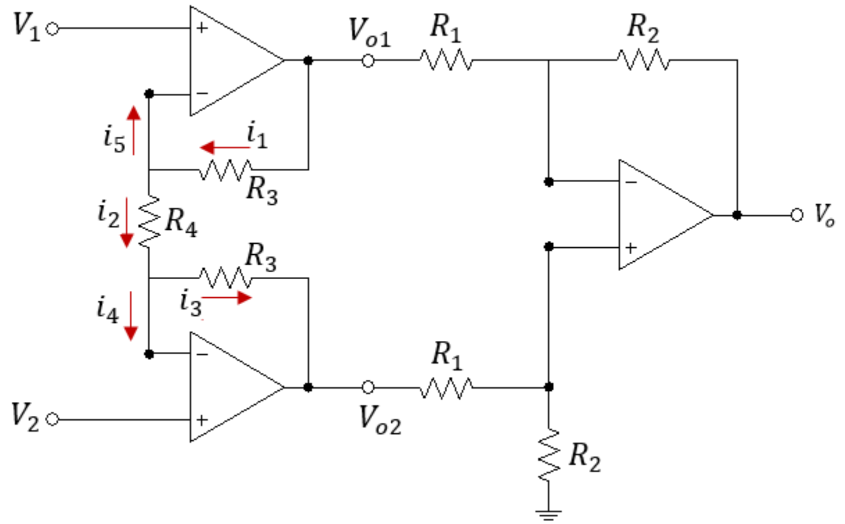


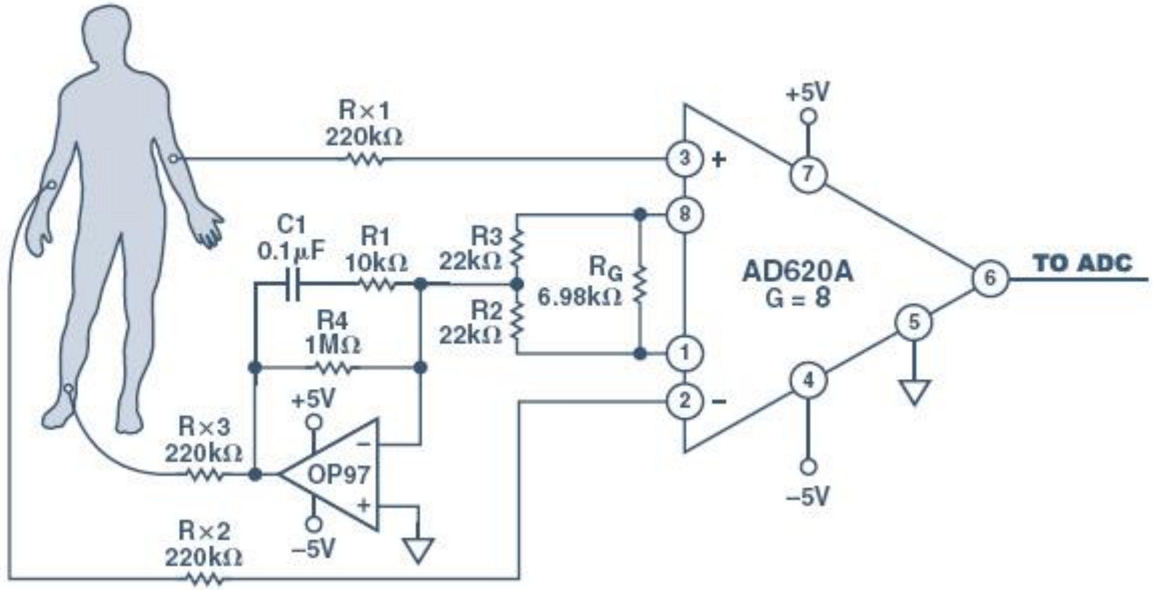
Representação binária	Representação decimal	-Vo
00000	0	0,000
00005	1	0,250
00050	2	0,500
00055	3	0,750
00500	4	1,000
...	...	...
55505	29	7,250
55550	30	7,500
55555	31	7,750

Não esqueçam de resolver o DAC R-2R

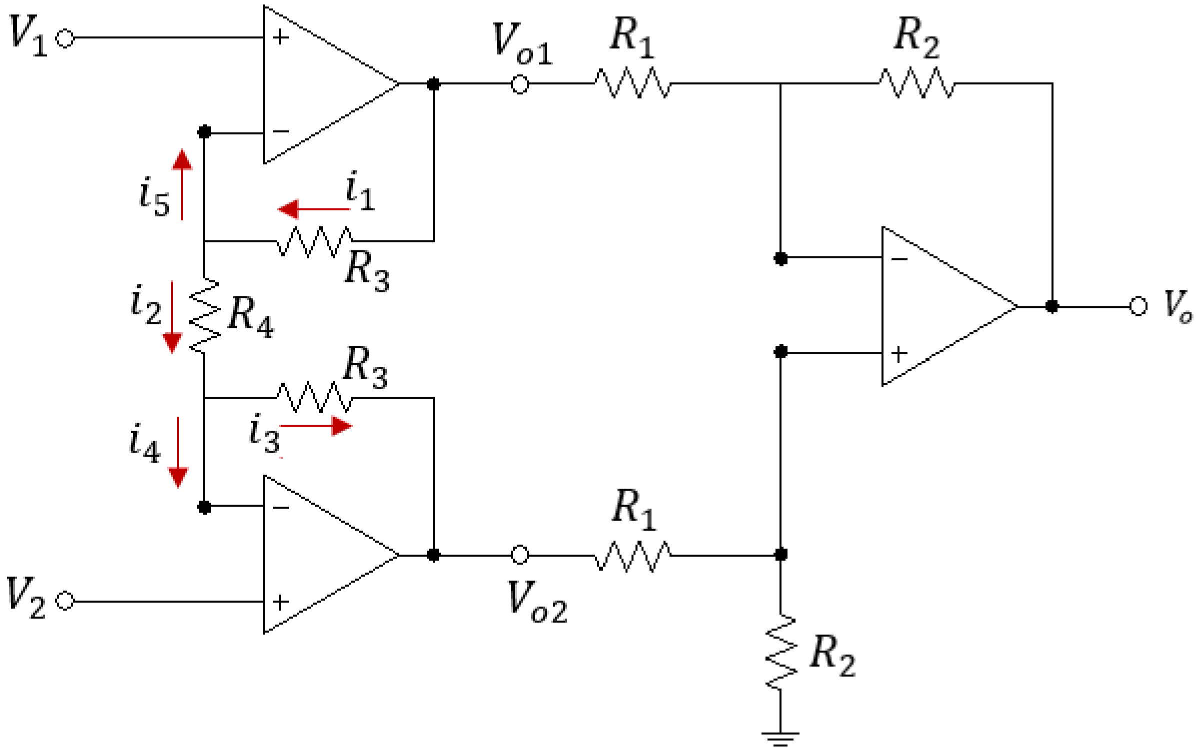
Estudo de caso III – Amplificador de instrumentação

O amplificador de instrumentação (in-amps) é uma configuração diferencial que utiliza amplificadores operacionais em cascata. Essa configuração elimina a necessidade de configurar a resistência de entrada. Seu ganho pode ser calculado com a inclusão de uma única resistência. São particularmente utilizados em equipamentos de medição (incluindo aquisição de sinais fisiológicos). Suas principais características são: baixo DC offset, baixo ruído, ganho elevado em malha aberta, alto índice de rejeição em modo comum (v1 = v2) e impedância de entrada muito elevada.





Estudo de caso III – Amplificador de instrumentação



O terceiro AmpOp é um diferencial

$$\boldsymbol{V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot \left(V_{o_2} - V_{o_1}\right)}$$

Restrições:

$\boldsymbol{V_p = V_n}$

No AmpOp superior:

$V_p = V_1 = V_n$

No AmpOp inferior:

$V_p = V_2 = V_n$

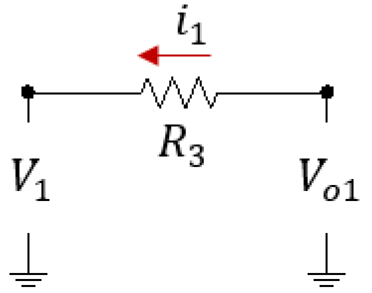
Correntes:

$i_p = i_n = 0$

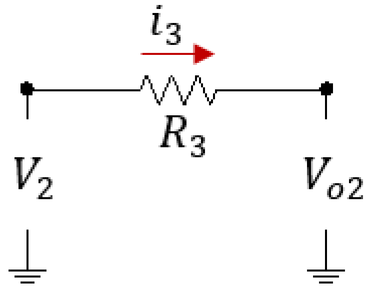
$i_5 = i_4 = 0$

$i_1 = i_2 = i_3$

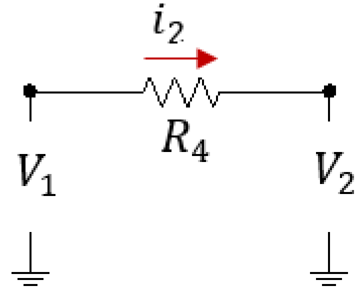
Estudo de caso III – Amplificador de instrumentação



$$i_1 = \frac{V_{0_1} - V_1}{R_3}$$



$$i_3 = \frac{V_2 - V_{0_2}}{R_3}$$



$$i_2 = \frac{V_1 - V_2}{R_4}$$

$$\boldsymbol{i_1 = i_2 = i_3}$$

$\boldsymbol{i_1 = i_2}$

$$\frac{V_{o1} - V_1}{R_3} = \frac{V_1 - V_2}{R_4} \quad \therefore \quad \boldsymbol{V_{o1} = \frac{R_3}{R_4} \cdot (V_1 - V_2) + V_1}$$

$\boldsymbol{i_3 = i_2}$

$$\frac{V_2 - V_{0_2}}{R_3} = \frac{V_1 - V_2}{R_4} \quad \therefore \quad \boldsymbol{V_{o_2} = \frac{R_3}{R_4} \cdot (V_2 - V_1) + V_2}$$

$$\boldsymbol{V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot \left(V_{o_2} - V_{o_1}\right)}$$

Estudo de caso III – Amplificador de instrumentação

$$\boldsymbol{V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot \underbrace{\left(V_{o_2} - V_{o_1}\right)}}$$

$$V_{o1} = \frac{R_3}{R_4} \cdot (V_1 - V_2) + V_1$$

$$V_{o_2} = \frac{R_3}{R_4} \cdot (V_2 - V_1) + V_2$$

$$\boldsymbol{V_{o_2} - V_{o_1}} = \frac{R_3}{R_4} \cdot (V_2 - V_1) + V_2 + \frac{R_3}{R_4} \cdot (V_2 - V_1) - V_1$$

$$\boldsymbol{V_{o_2} - V_{o_1}} = 2 \cdot \frac{R_3}{R_4} \cdot (V_2 - V_1) + V_2 - V_1 = \boldsymbol{(V_2 - V_1) \cdot \left(2 \cdot \frac{R_3}{R_4} + 1\right)}$$

$$\boldsymbol{V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_2 - V_1) \cdot \left(2 \cdot \frac{R_3}{R_4} + 1\right)}$$

Considerando:

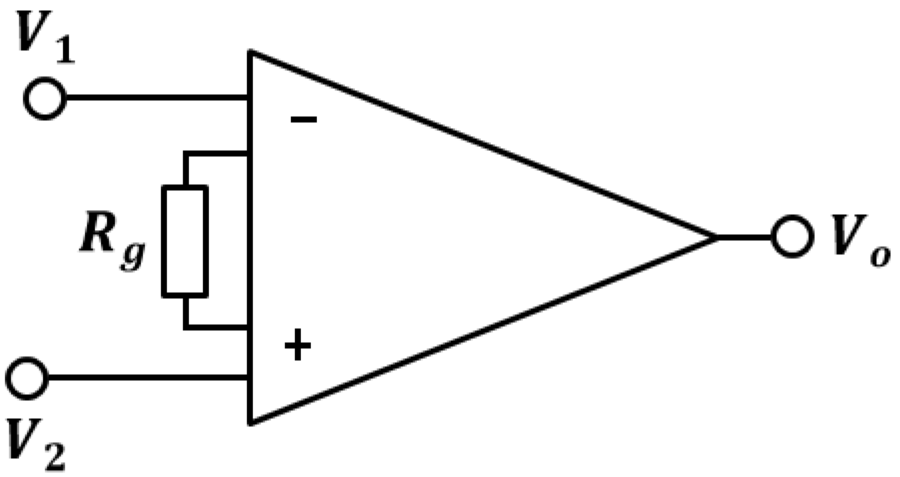
$R_4 = R_g$

$R_1 = R_2 = R_3 = R$

$$\boxed{\boldsymbol{V_o = \left(\frac{2 \cdot R}{R_g} + 1\right) \cdot (V_2 - V_1)}}$$

Estudo de caso III – Amplificador de instrumentação

Símbolo do Amplificador de instrumentação:



$$V_o = \left(\frac{2 \cdot R}{R_g} + 1\right) \cdot (V_2 - V_1)$$

A resistência R varia com o modelo do amplificador de instrumentação
Pode ser consultada no DataSheet

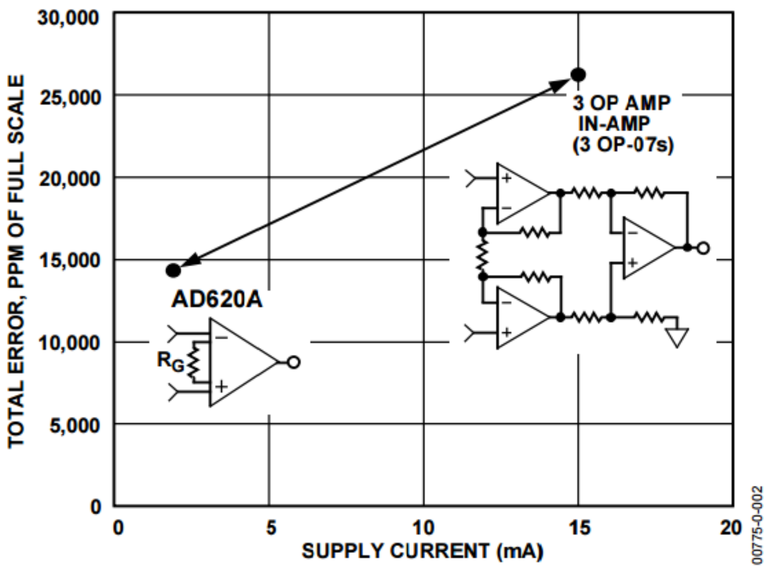


Figure 2. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

Estudo de caso III – Amplificador de instrumentação

Table 1. Next Generation Upgrades for AD620

Part	Comment
AD8221	Better specs at lower price
AD8222	Dual channel or differential out
AD8226	Low power, wide input range
AD8220	JFET input
AD8228	Best gain accuracy
AD8295	+2 precision op amps or differential out
AD8429	Ultra low noise

A critério de curiosidade, algumas informação do DataSheet – AD620

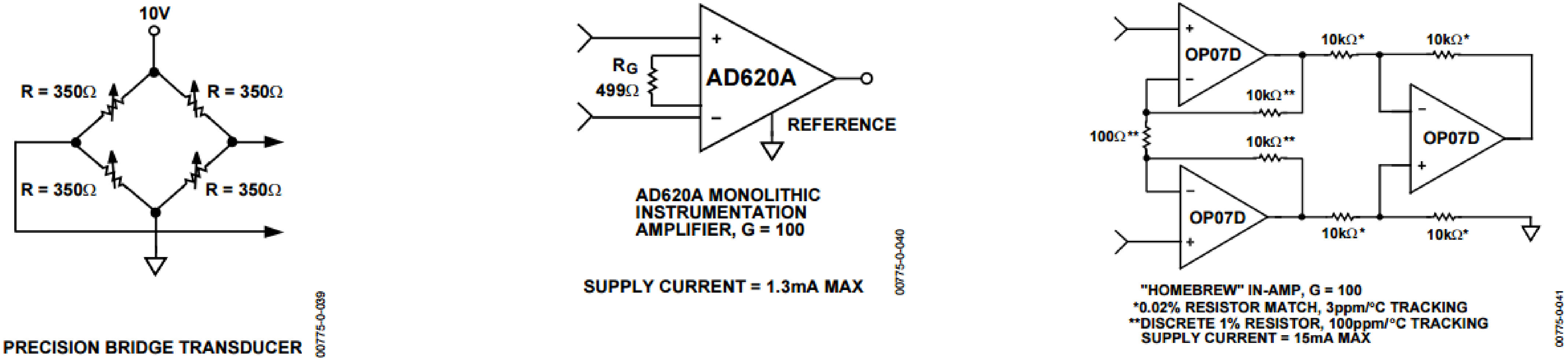
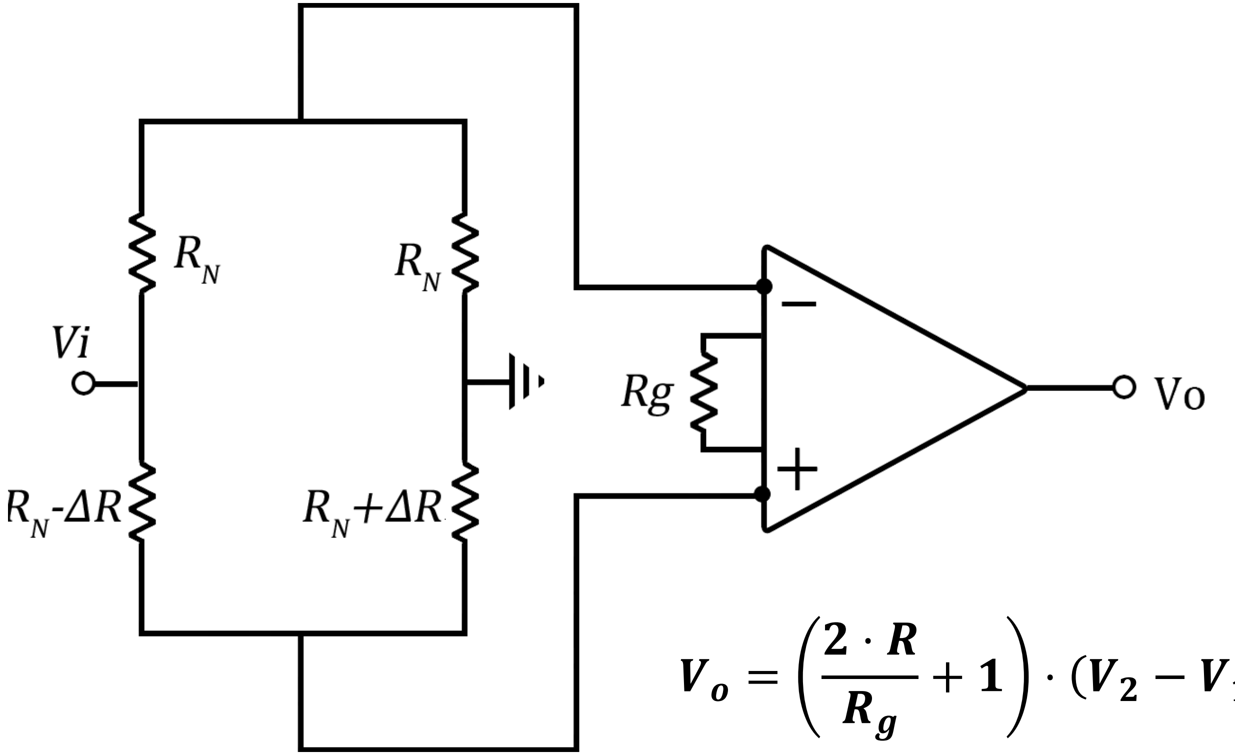


Figure 37. Make vs. Buy

Estudo de caso III – Amplificador de instrumentação

Exercício: Considere que dois strain gages estão conectados a uma ponte de wheatstone. Encontre o valor de Rg para que o ganho de tensão do in-amp seja: (amplificador de instrumentação modelo AD620ANZ R=25KΩ).



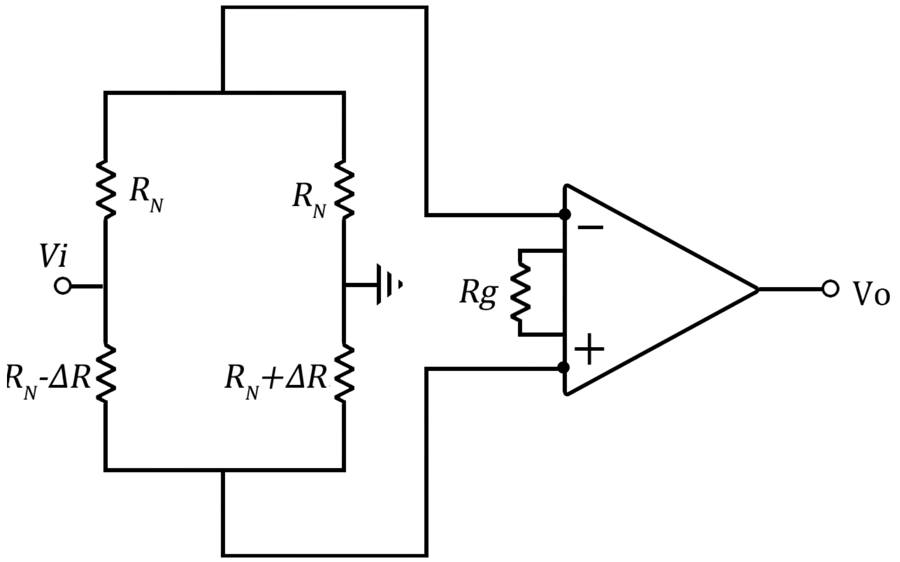
$$\frac{V_o}{V_i} = 100 \cdot \frac{\Delta R}{R_N}$$

$$V_o = \left(\frac{2 \cdot R}{R_g} + 1\right) \cdot (V_2 - V_1)$$

Resposta:

$$Rg \cong 250\Omega$$

Estudo de caso III – Amplificador de instrumentação



Como o amplificador de instrumentação ideal não absorve corrente, os resistores superiores e os resistores inferiores estão virtualmente em série, assim:

$$V_2 = \frac{V_i \cdot (R_N + \Delta R)}{(R_N + \Delta R) + (R_N - \Delta R)}$$

$$V_2 = \frac{V_i \cdot (R_N + \Delta R)}{2 \cdot R_N}$$

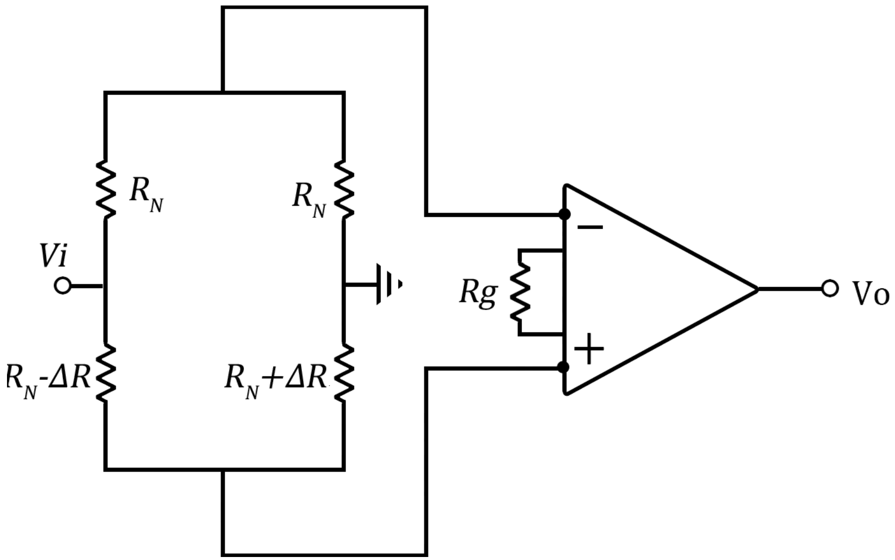
$$V_1 = \frac{V_i \cdot R_N}{2 \cdot R_N}$$

$$\boldsymbol{V_o = \left(\frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{R_g} + 1\right) \cdot (V_2 - V_1)}$$

$$V_o = \left(\frac{50 \cdot 10^3}{R_g} + 1\right) \cdot \left(\frac{V_i \cdot (R_N + \Delta R)}{2 \cdot R_N} - \frac{V_i \cdot R_N}{2 \cdot R_N}\right)$$

$$V_o = \left(\frac{50 \cdot 10^3}{R_g} + 1\right) \cdot \left(\frac{V_i \cdot \Delta R}{2 \cdot R_N}\right)$$

Estudo de caso III – Amplificador de instrumentação



$$\boldsymbol{V_o = \left(\frac{50 \cdot 10^3}{R_g} + 1\right) \cdot \left(\frac{V_i \cdot \Delta R}{2 \cdot R_N}\right)}$$

$$\boldsymbol{\frac{V_o}{V_i} = 100 \cdot \frac{\Delta R}{R_N}}$$

$$\boldsymbol{V_o = \left(\frac{50 \cdot 10^3}{R_g} + 1\right) \cdot \left(\frac{V_i \cdot \Delta R}{2 \cdot R_N}\right)}$$

$$\frac{V_o}{Vi} = \left(\frac{50 \cdot 10^3 + R_g}{R_g}\right) \cdot \left(\frac{\Delta R}{2 \cdot R_N}\right)$$

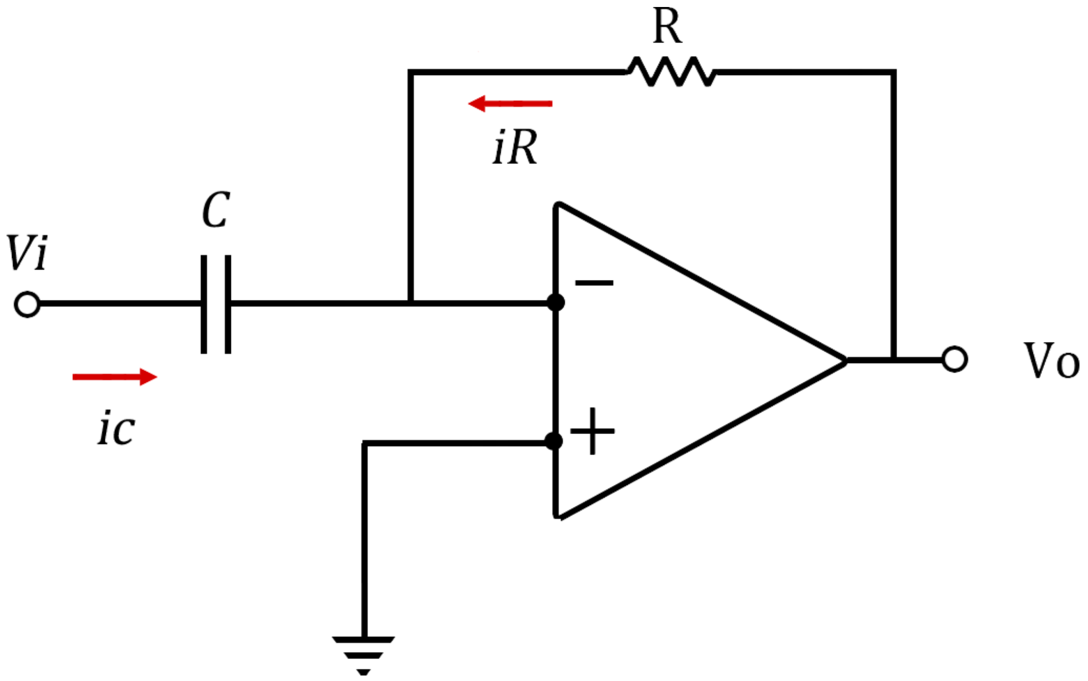
$$100 = \frac{50 \cdot 10^3 + R_g}{2 \cdot R_g}$$

$$199 \cdot R_g = 50 \cdot 10^3$$

$$\boldsymbol{R_g \cong 250\Omega}$$

Amp. Op. diferenciador (derivada)

O esquema de AmpOp abaixo, retorna a derivado do sinal de entrada. Futuramente iremos analisar com mais profundidade essa configuração



Prove que:

$$\boldsymbol{V_o = -R_f C \cdot \frac{dv_i(t)}{dt}}$$

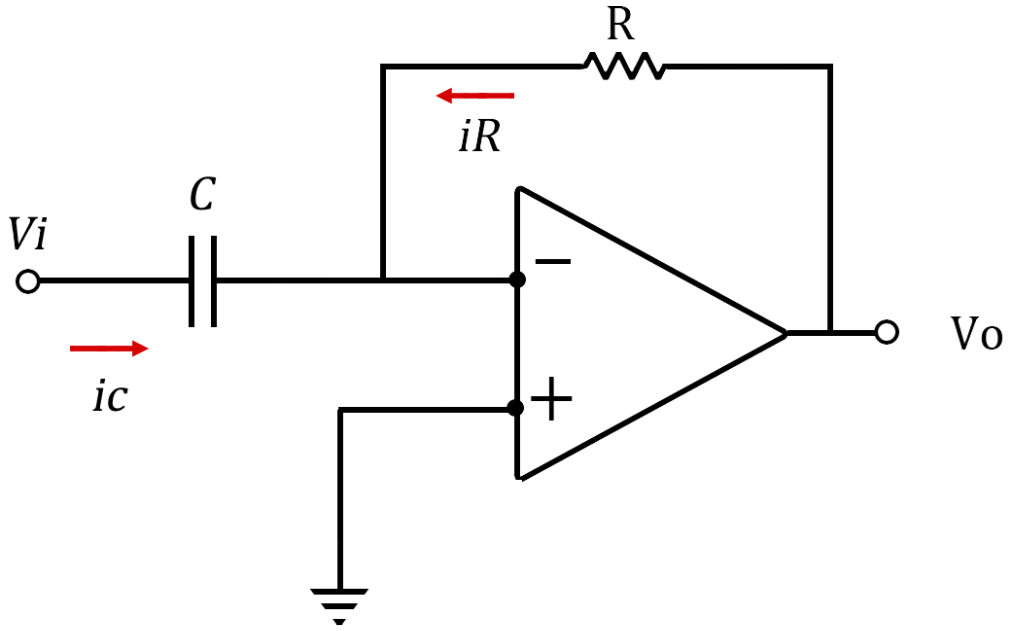
Lembrando que a corrente no capacitor:

$$i_c = C\,\frac{dv}{dt}$$

Amp. Op. diferenciador (derivada)

$$V_p = V_n$$

$$i_p = i_n = 0$$



$$i_c = -i_R$$

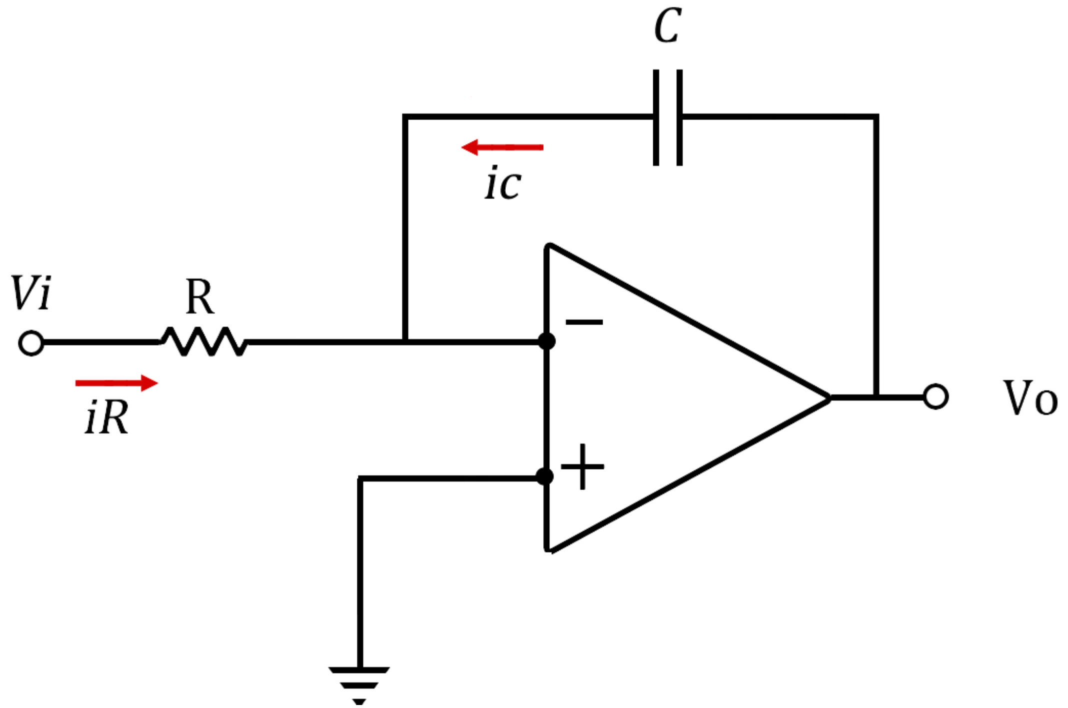
$$i_c = C\frac{dv_i}{dt} \qquad i_R = \frac{V_o}{R_f}$$

$$C\frac{dv_i}{dt} = -\frac{V_o}{R_f}$$

$$\boldsymbol{V_o = -R_f \cdot C\frac{dv_i}{dt}}$$

Amp. Op integrador (Integral)

O esquema de AmpOp abaixo, retorna a integral do sinal de entrada. Futuramente iremos analisar com mais profundidade essa configuração, também =).



Prove que:

$$\boldsymbol{V_o = -\frac{1}{RC}\int_0^t v_i(t)dt + v_o(0)}$$

Lembrando que a corrente no capacitor:

$$i_c = C\frac{dv}{dt}$$

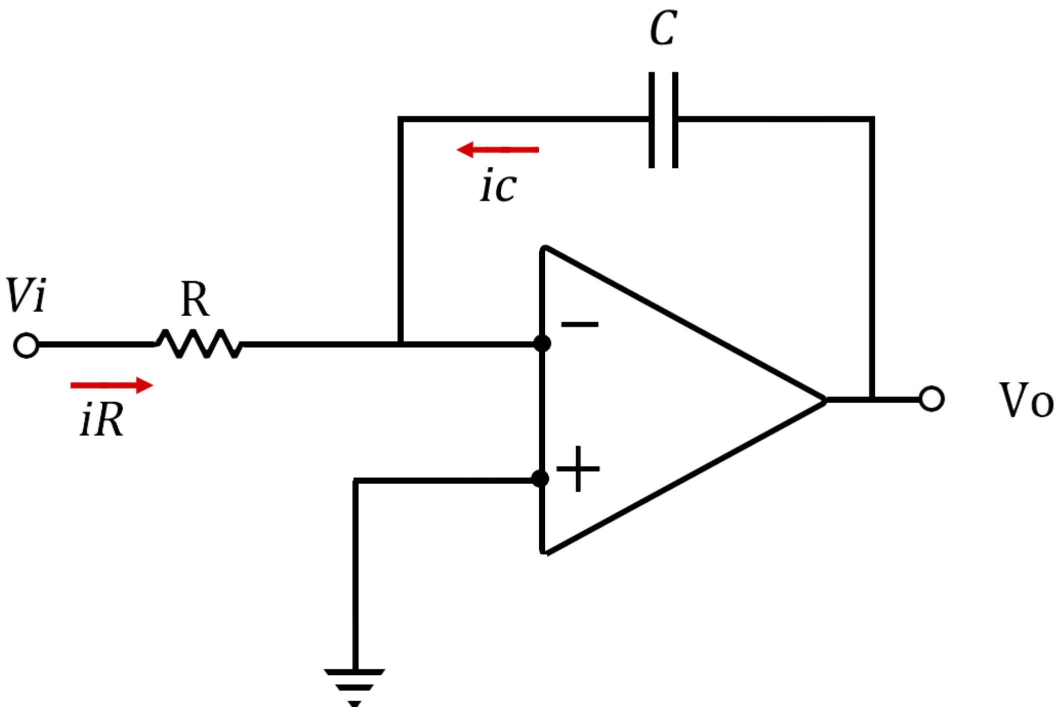
Amp. Op integrador (Integral)

$$V_p = V_n$$

$$i_p = i_n = 0$$

$$i_R = -i_c$$

$$i_R = \frac{V_i}{R} \qquad i_C = C\frac{dV_o}{dt}$$



$$\frac{V_i}{R} = -C\frac{dV_o}{dt}$$

$$-\frac{V_i}{RC} = \frac{dV_o}{dt}$$

$$-\frac{V_i}{RC}dt = dV_o(t)$$

$$-\frac{1}{RC}\int_0^t V_i(t)\,dt = \int_{V_o(0)}^{V_o(t)} dV_o(t)$$

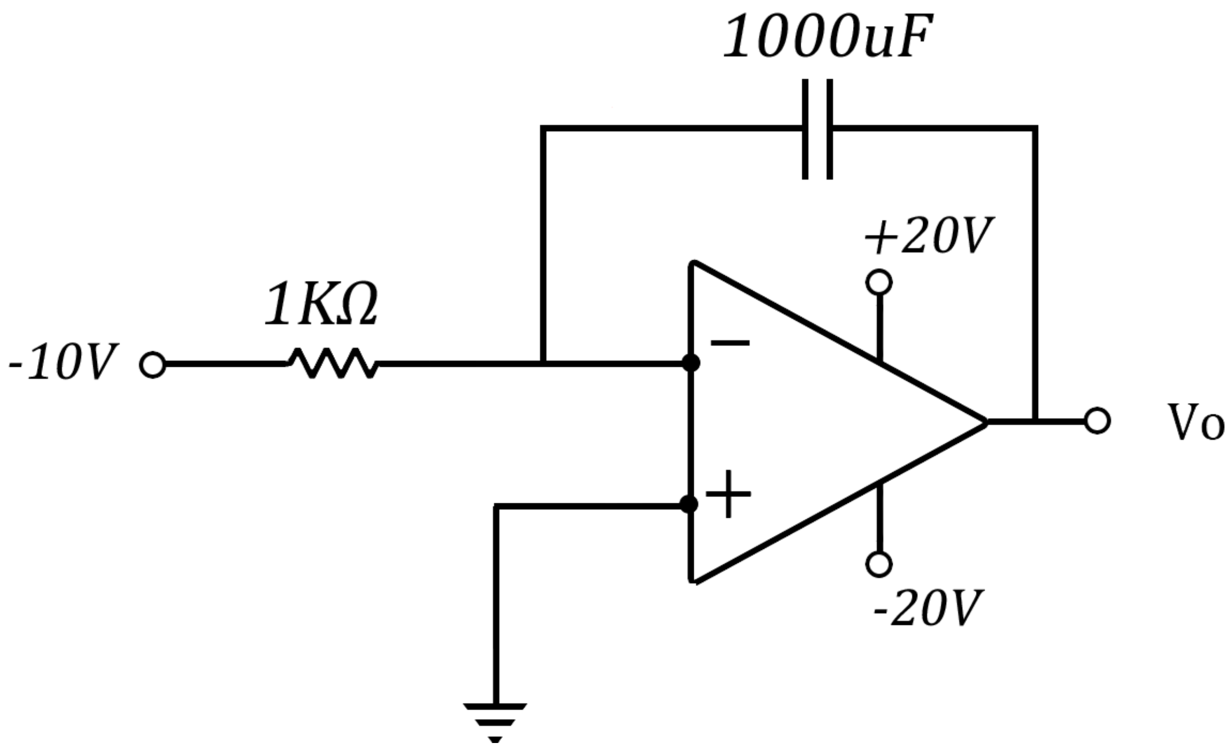
$$-\frac{1}{RC}\int_0^t V_i(t)\,dt = V_o(t) - V_o(0)$$

$$\boxed{V_o(t) = -\frac{1}{RC}\int_0^t V_i(t)\,dt + V_o(0)}$$

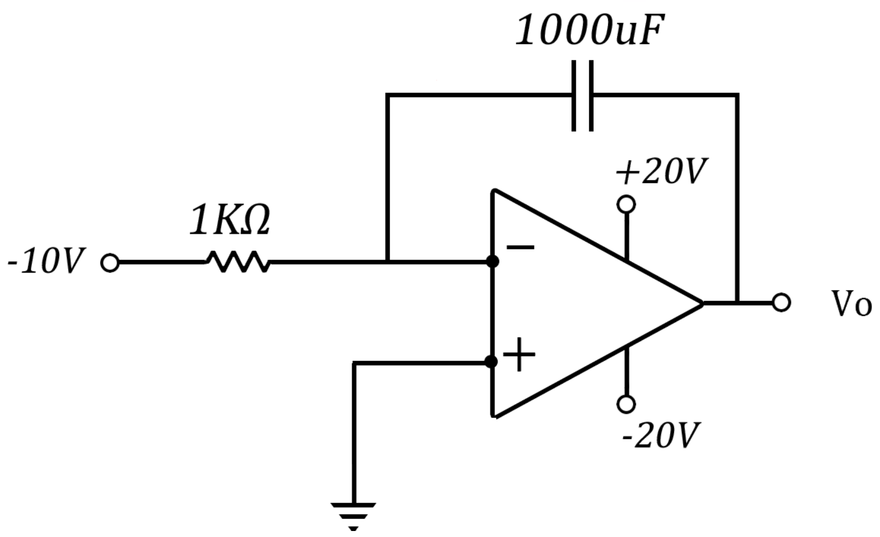
Amp. Op integrador (Integral)

Exercício: Desenhe o gráfico da resposta do amplificador operacional abaixo com:

$\mathbf{0 \leq t < 5s}$, considere que a carga inicial do capacitor é igual a zero.



Amp. Op integrador (Integral)



$$v_{o(t)} = -\frac{1}{RC}\int_0^t v_i(t)dt + v_{o(0)}$$

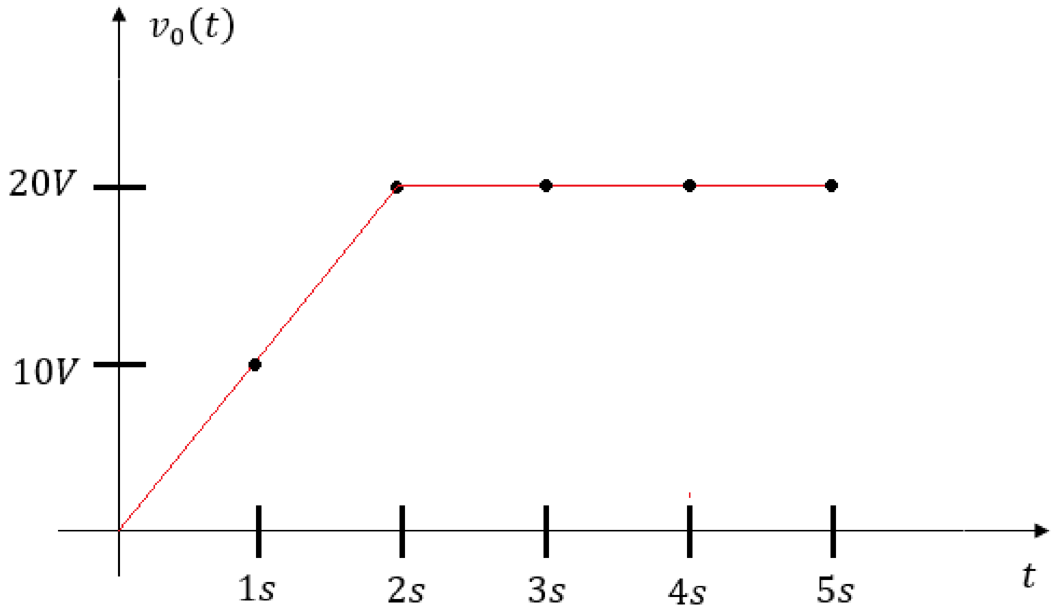
$$v_{o(t)} = -\frac{1}{1}\int_0^t -10dt + 0$$

$$\boldsymbol{v_{o(t)} = 10 \cdot t\ V}$$

Como o amplificador operacional satura quando vo é igual ou superior a 20V então:

$$0 \leq t < 2 \rightarrow \boldsymbol{v_o = 10 \cdot t}$$

$$t \geq 2 \rightarrow \ \boldsymbol{v_o = 20}$$

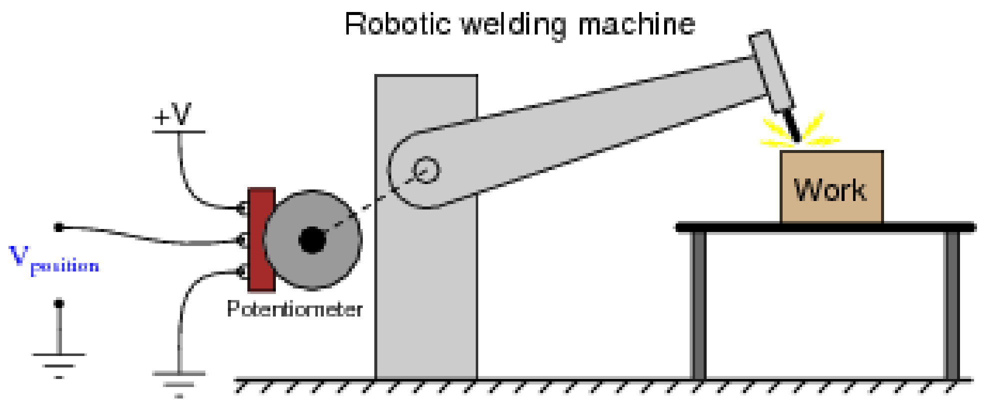


Exercício

Exercício) É muito comum utilizar potenciômetros para monitorar a posição de braços robóticos. A posição é dada em função de uma tensão de referência (divisor de tensão). Diante este esquema responda:

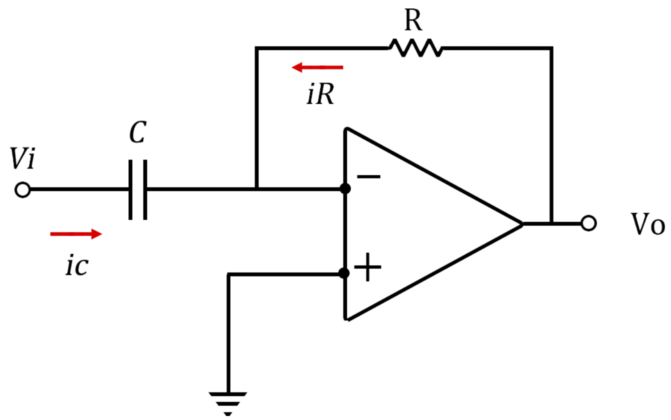
a) Como definir a velocidade do braço mecânico?

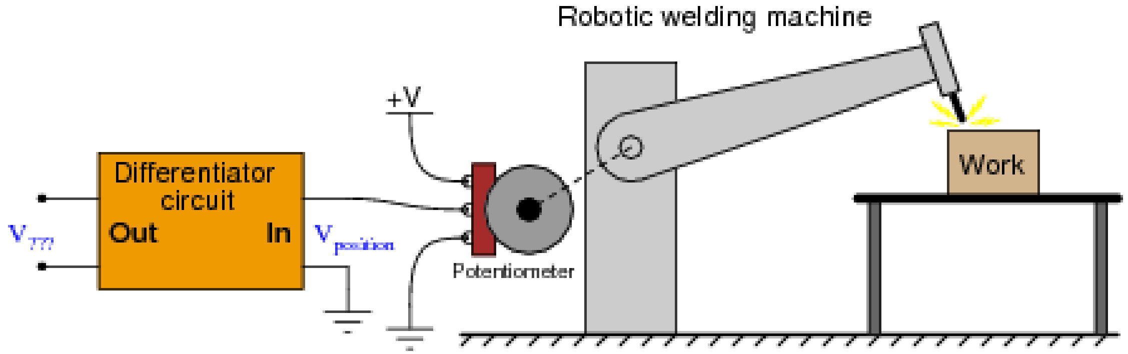
b) Como definir a aceleração do braço mecânico?



Exercício

Sabemos que a velocidade é a taxa de variação da posição, que pode ser representada pela derivada primeira. A aceleração por sua vez é a taxa de variação da velocidade, ou seja, derivada primeira da velocidade ou derivada segunda da posição. Podemos obter os dados de velocidade e aceleração adicionando diferenciadores neste sistema





$$i_c = -i_R \qquad i_c = C\frac{dv_i}{dt} \qquad i_R = \frac{V_o}{R_f}$$

$$C\frac{dv_i}{dt} = -\frac{V_o}{R_f}$$

$$\boldsymbol{V_o = -R_f \cdot C\frac{dv_i}{dt}}$$