

Aula 9

Revisão
P1

Circuitos Elétricos II

Prof. Henrique Amorim - UNIFESP - ICT

Amplificadores Operacionais (Amp. Op.)

Definição: O amplificador operacional (AmpOp) é um amplificador de múltiplos estágios, de elevado ganho, alta impedância de entrada e com entrada diferencial.

Amplificador: Baseado em circuitos amplificadores transistorados.

Operacional: Permite realizar operações matemáticas (soma, subtração, multiplicação, divisão, média, log, exp, integral, derivada...)

Múltiplos estágios: Internamente possui múltiplos estágios de amplificação

Ganho elevado: A maioria dos amplificadores operacionais possuem ganhos superiores a 10K.

Alta impedância de entrada: Alta resistência de entrada.

Diferencial: A saída é uma função da diferença entre as entradas

Amplificadores Operacionais (Amp. Op.)

Exemplo da aplicação de amplificadores operacionais (instrumentação) no registro de biopotenciais (ECG)

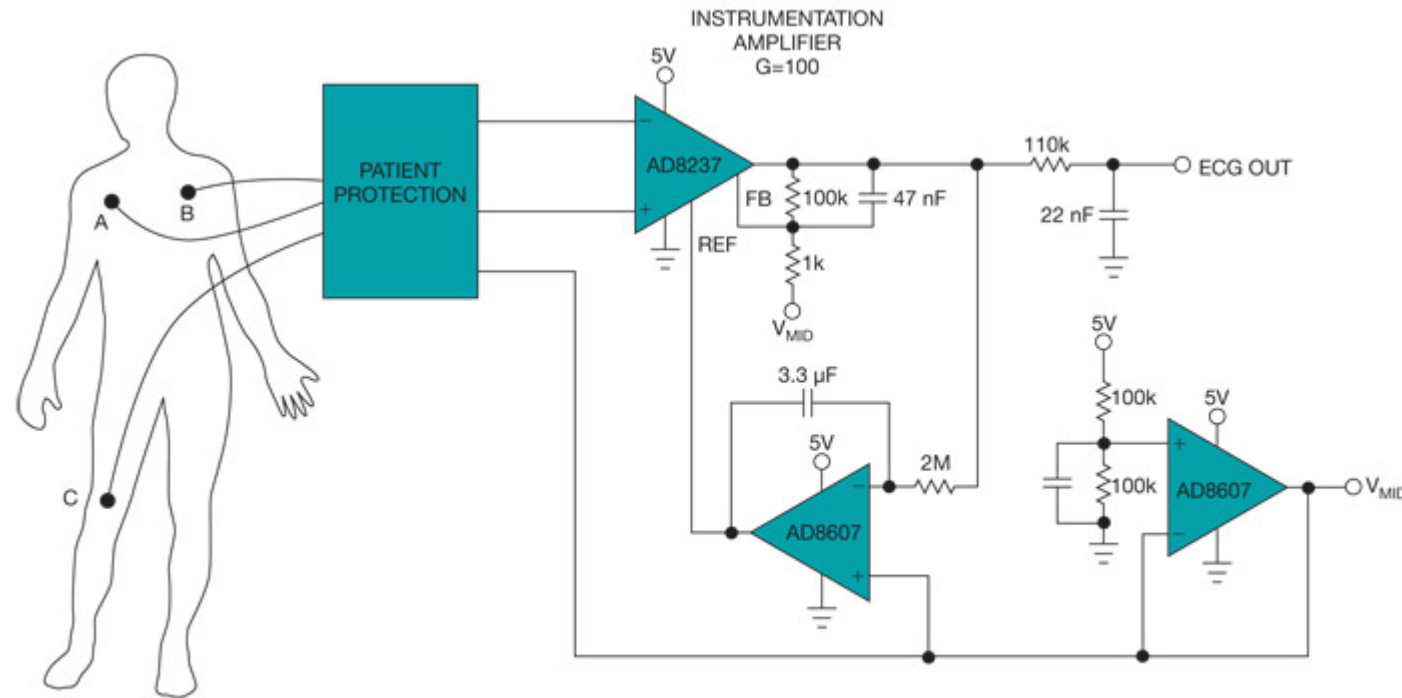
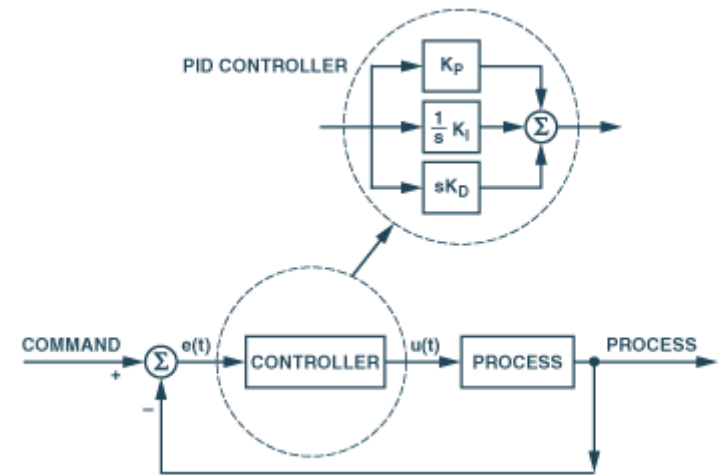
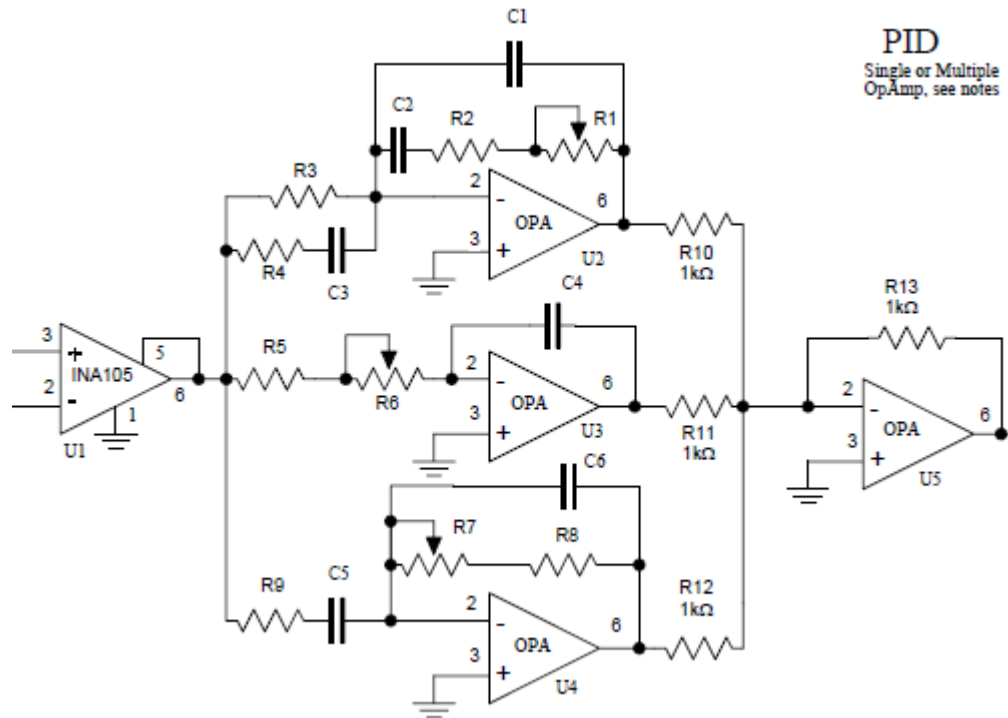


Figure 2 The AD8607 dual micropower instrumentation amplifier is used for integration, buffering, and level shifting in this zero-drift signal-conditioning circuit for an ECG application (courtesy Analog Devices).

Amplificadores Operacionais (Amp. Op.)

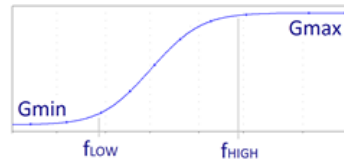
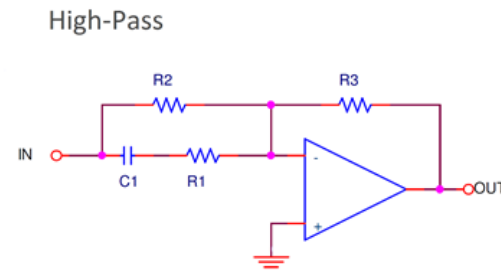
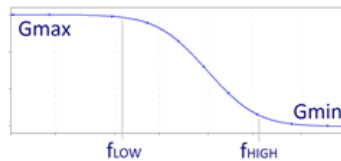
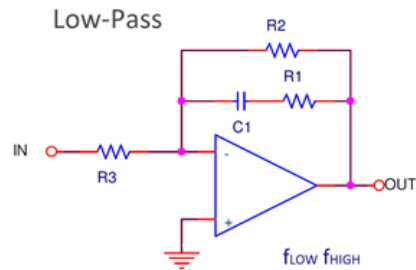
Exemplo da aplicação de amplificadores operacionais em sistemas de controle (PID)



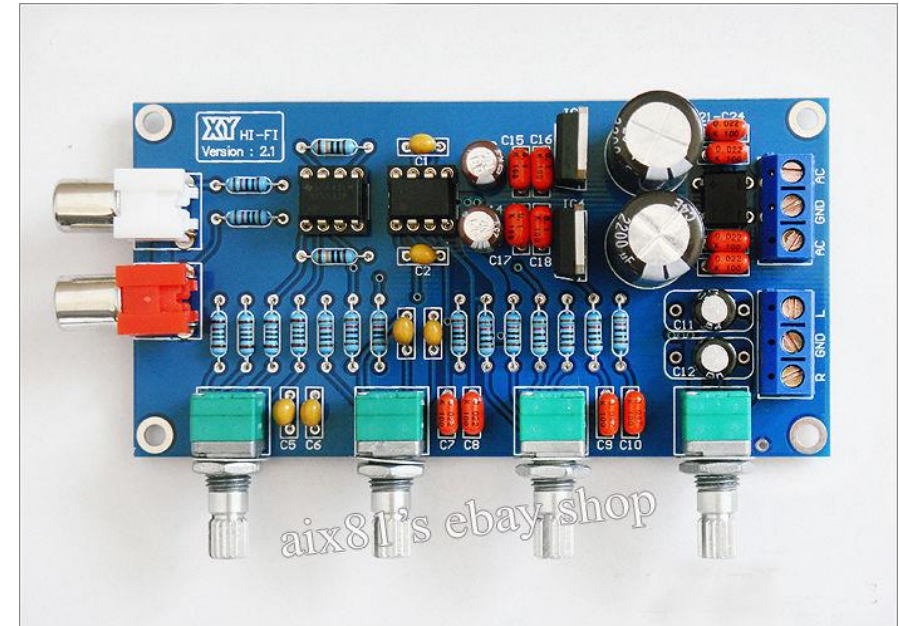
Amplificadores Operacionais (Amp. Op.)

Exemplo da aplicação de amplificadores operacionais em filtro ativos

Inverting OpAmp Shelving Filters

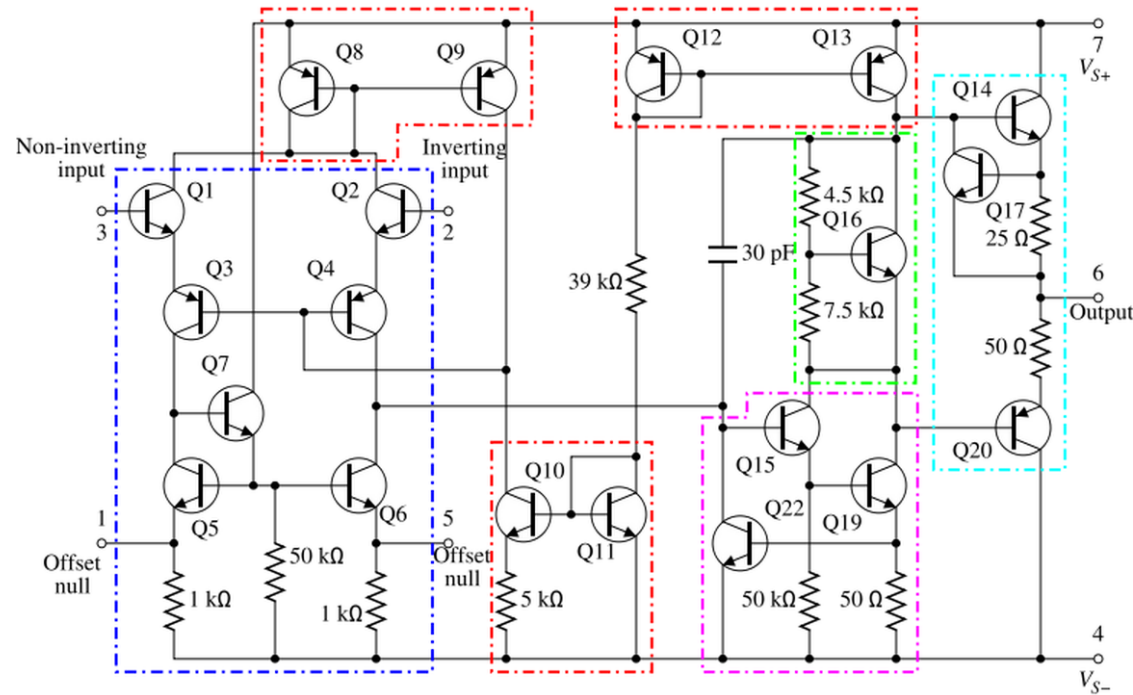


Shelving Filter Architectures ElectroSmash.com

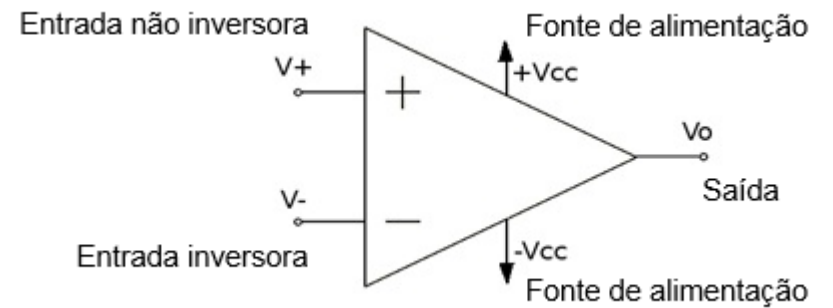


Amplificadores Operacionais (Amp. Op.)

Estágios de amplificação



Simbologia do amplificador operacional

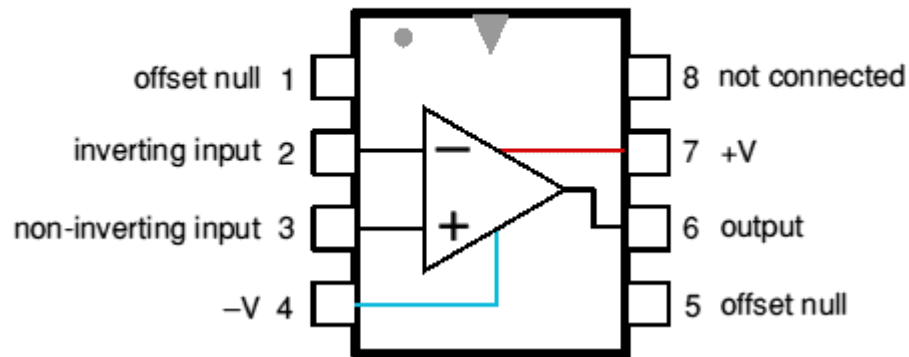


Amplificadores Operacionais (Amp. Op.)

Encapsulamento DIP de um amplificador operacional $\mu 741$

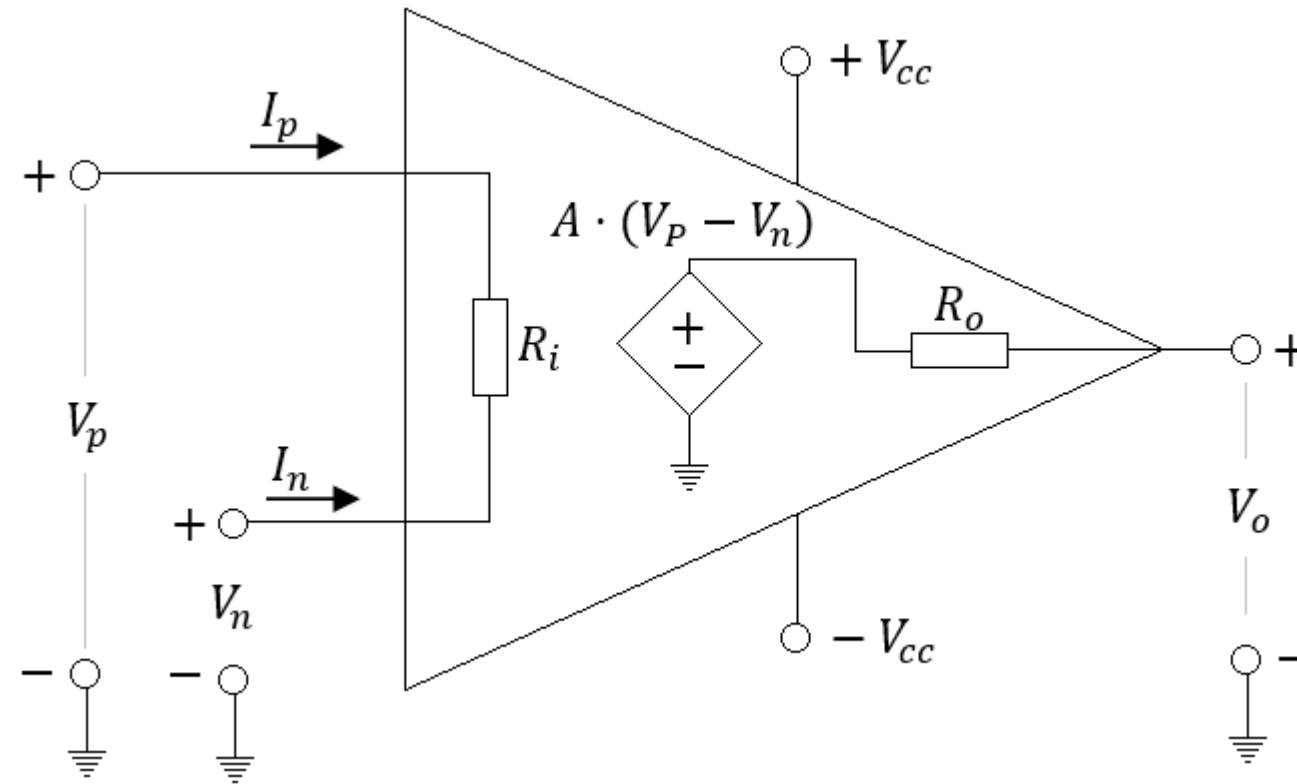
Modelo mais clássico de Amp Op

741 in 8-pin DIL (Dual In Line) pack



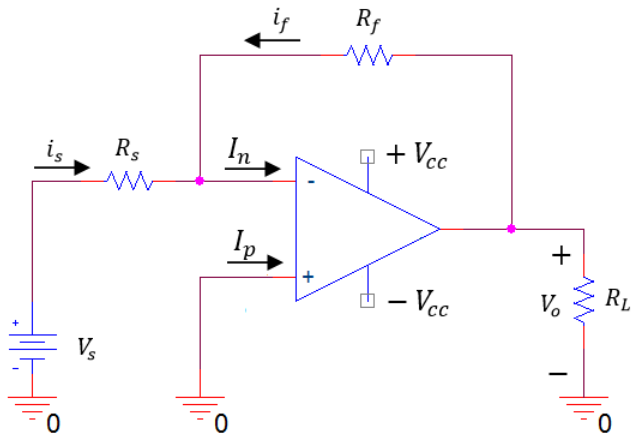
Ps. Existem diversos modelos de Amp Op

Modelo de um amplificador operacional

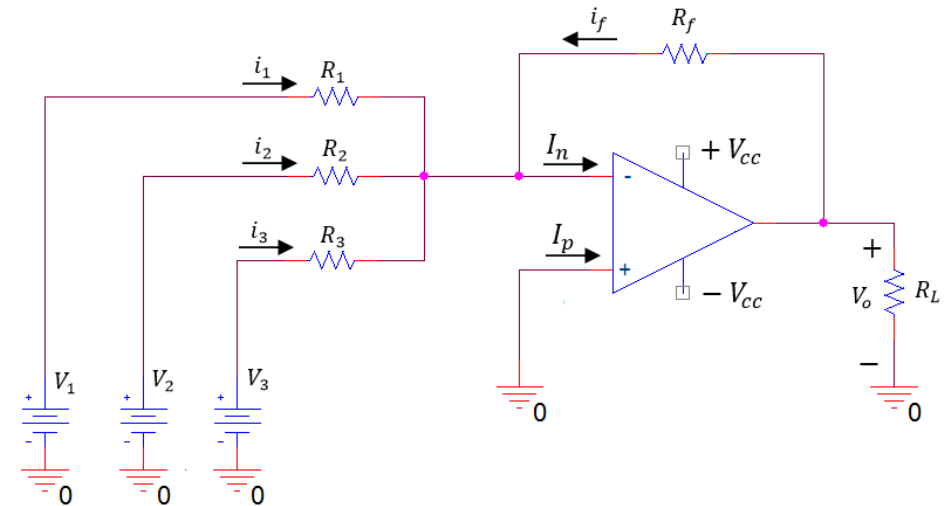


Primeiras configurações de AmpOp

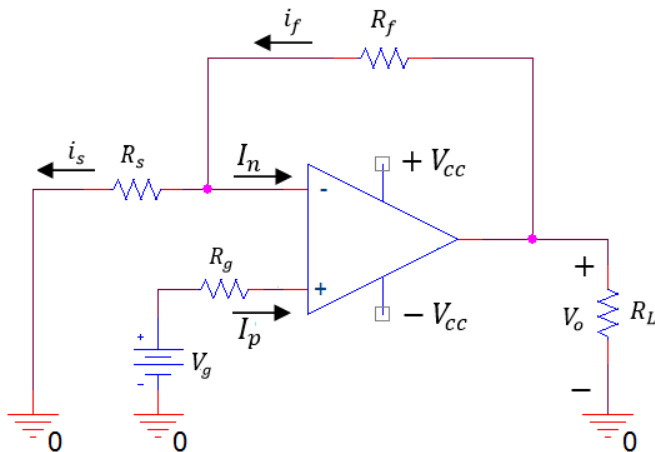
Amplificador inversor



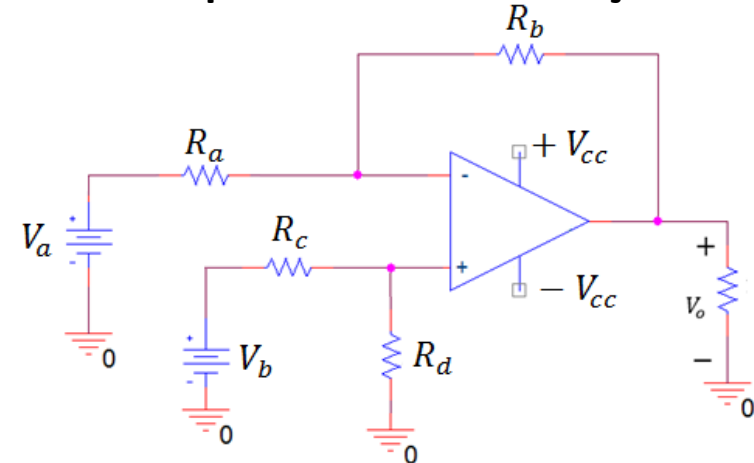
Amplificador somador inversor



Amplificador não inversor



Amplificador da diferença



Primeiras configurações de AmpOp

Amplificador inversor

$$V_o = -\frac{R_f}{R_s} \cdot V_s$$

Amplificador somador inversor

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

Amplificador não inversor

$$V_o = V_g \left(1 + \frac{R_f}{R_s} \right)$$

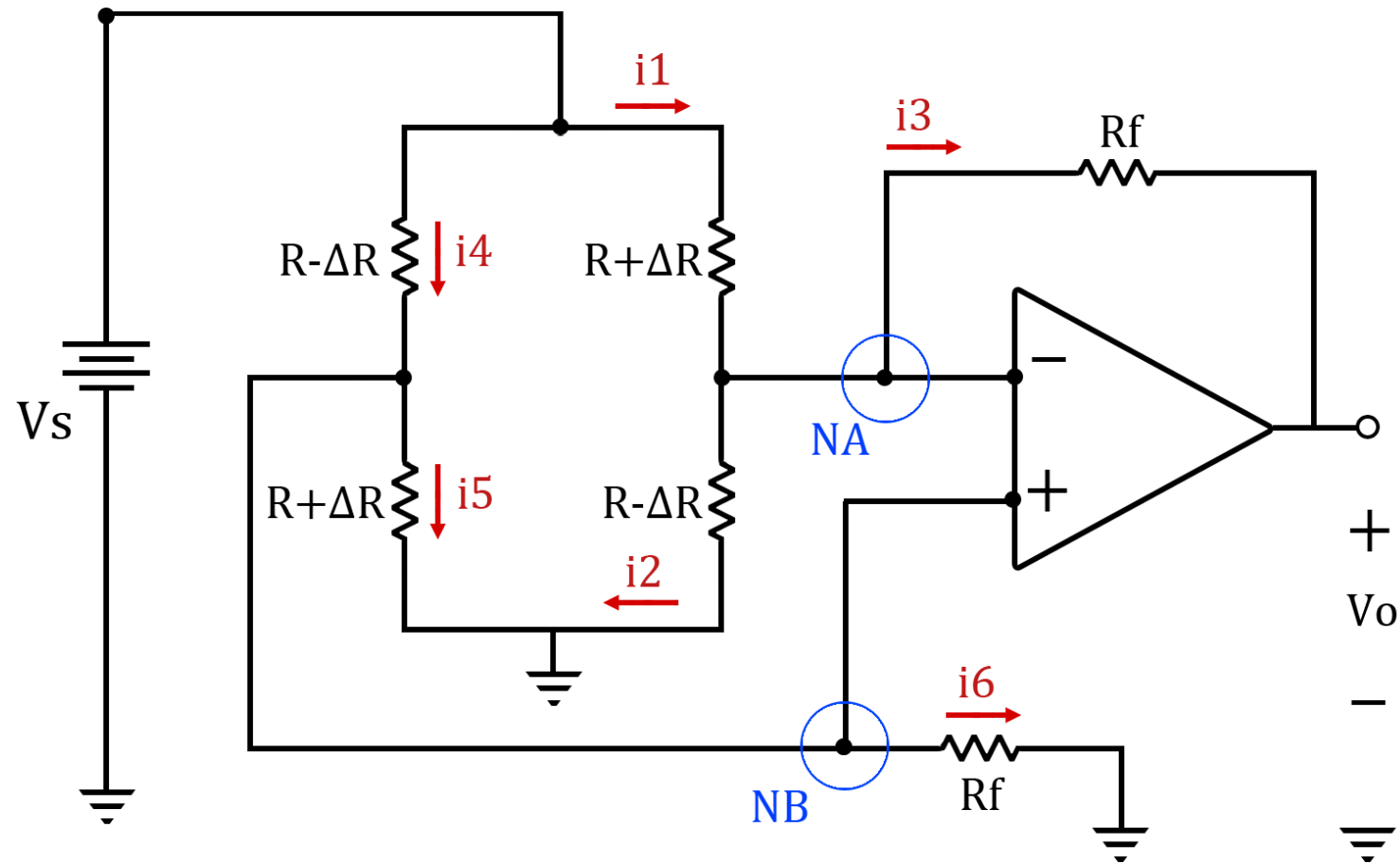
Amplificador da diferença

$$V_o = \frac{R_b}{R_a} \cdot (V_2 - V_1)$$

$$\frac{R_a}{R_b} = \frac{R_c}{R_d}$$

Strain Gage

Exercício: Encontre a expressão que descreve o comportamento da saída do circuito em função de ΔR .



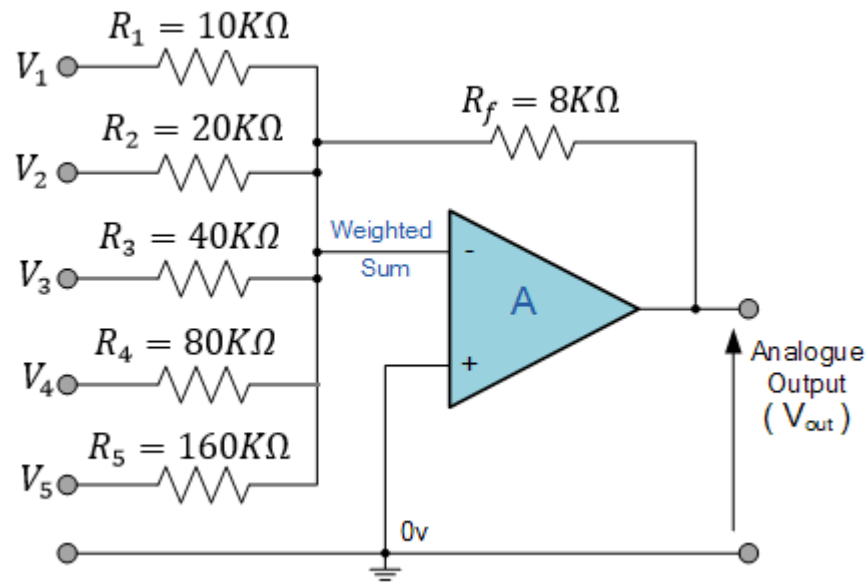
Exercício: Projete um DAC com 5 bits que cobre um intervalo de tensão de 0 a 7,75V. Os valores de tensão para a entrada assumem os valores 0 ou 5V. Considere que a resistência do bit mais significativo é igual a 10K.

$$v_{max} = 7,75V$$

$$v_i = 5V$$

$$n_{bits} = 5$$

$$R_1 = 10K\Omega$$

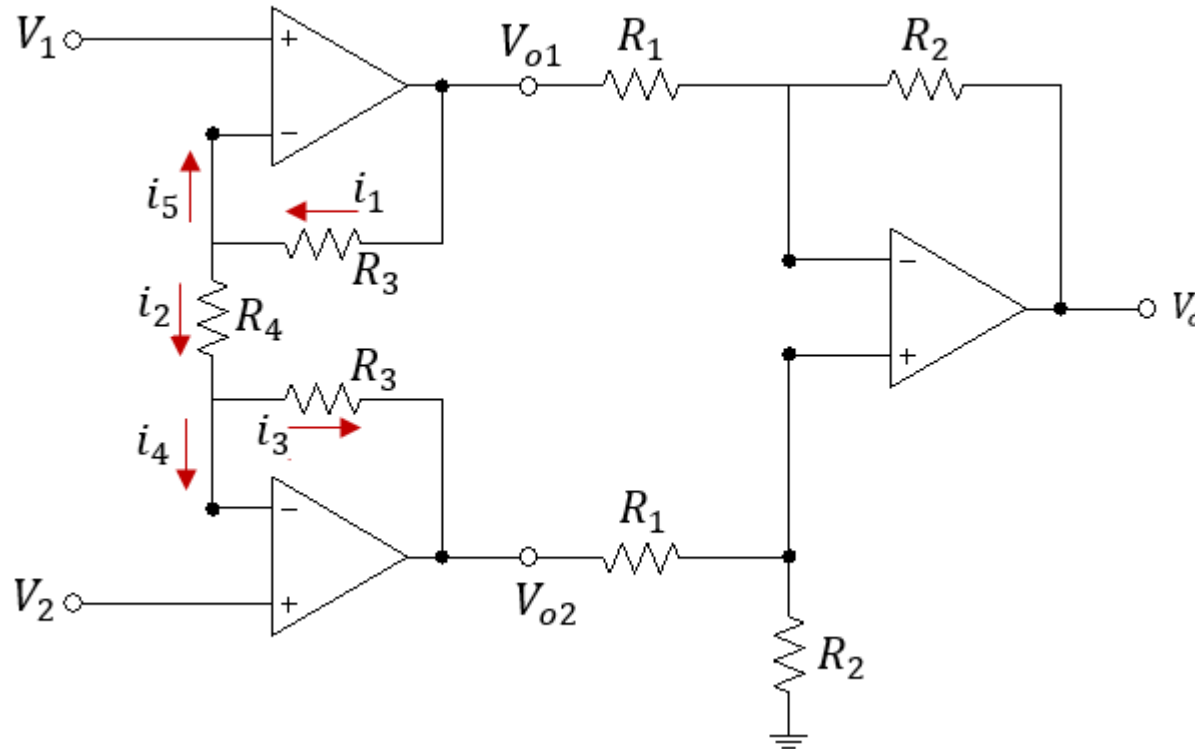


Representação binária	Representação decimal	-Vo
00000	0	0,000
00005	1	0,250
00050	2	0,500
00055	3	0,750
00500	4	1,000
...	...	...
55505	29	7,250
55550	30	7,500
55555	31	7,750

Ps. O uso da fórmula é desnecessário, use a lógica

$$R_f = \frac{V_{max} \cdot (2^{n_{bits}-1} \cdot R)}{2^{n_{bits}} - 1} \cdot \frac{1}{V_i} = \frac{7,75 \cdot (2^{5-1} \cdot 10 \cdot 10^3)}{2^5 - 1} \cdot \frac{1}{5} = 8K\Omega$$

Amplificador de instrumentação



O terceiro AmpOp é um diferencial

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_{o2} - V_{o1})$$

Restrições:

$$V_p = V_n$$

No AmpOp superior:

$$V_p = V_1 = V_n$$

No AmpOp inferior:

$$V_p = V_2 = V_n$$

Correntes:

$$i_p = i_n = 0$$

$$i_5 = i_4 = 0$$

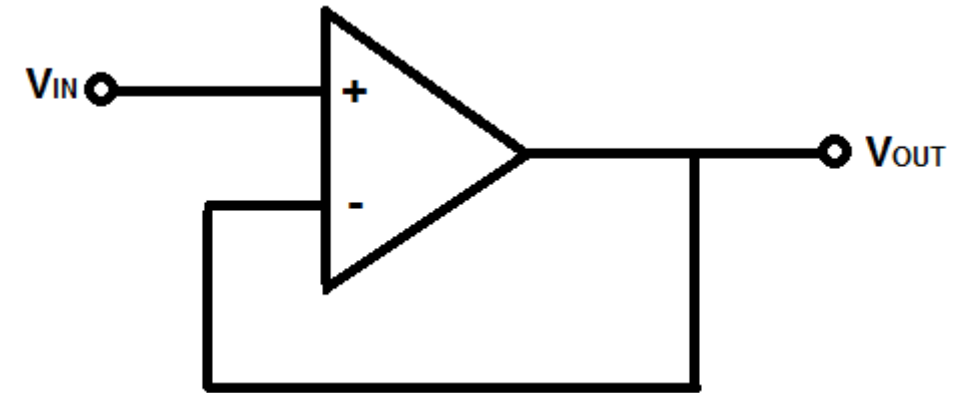
$$i_1 = i_2 = i_3$$

Configuração seguidor (Buffer)

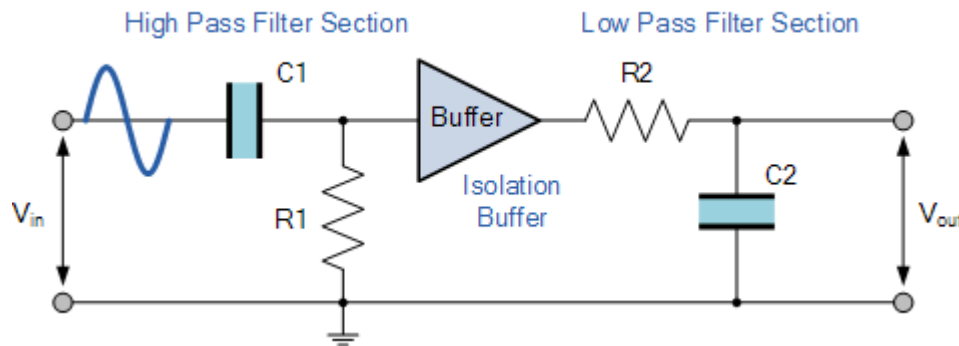
A configuração seguidor ou buffer, representa um amplificador de ganho unitário, é utilizado para isolar circuitos, normalmente utilizado para cargas de baixa impedância (acoplamento de impedância).

Com a aplicação do buffer podemos tratar circuitos de forma modular, isolando entradas e saídas.

O circuito abaixo representa um passa-faixa acoplado, a fase não sofre influência dos estágios.



$$V_{out} = V_{in}$$



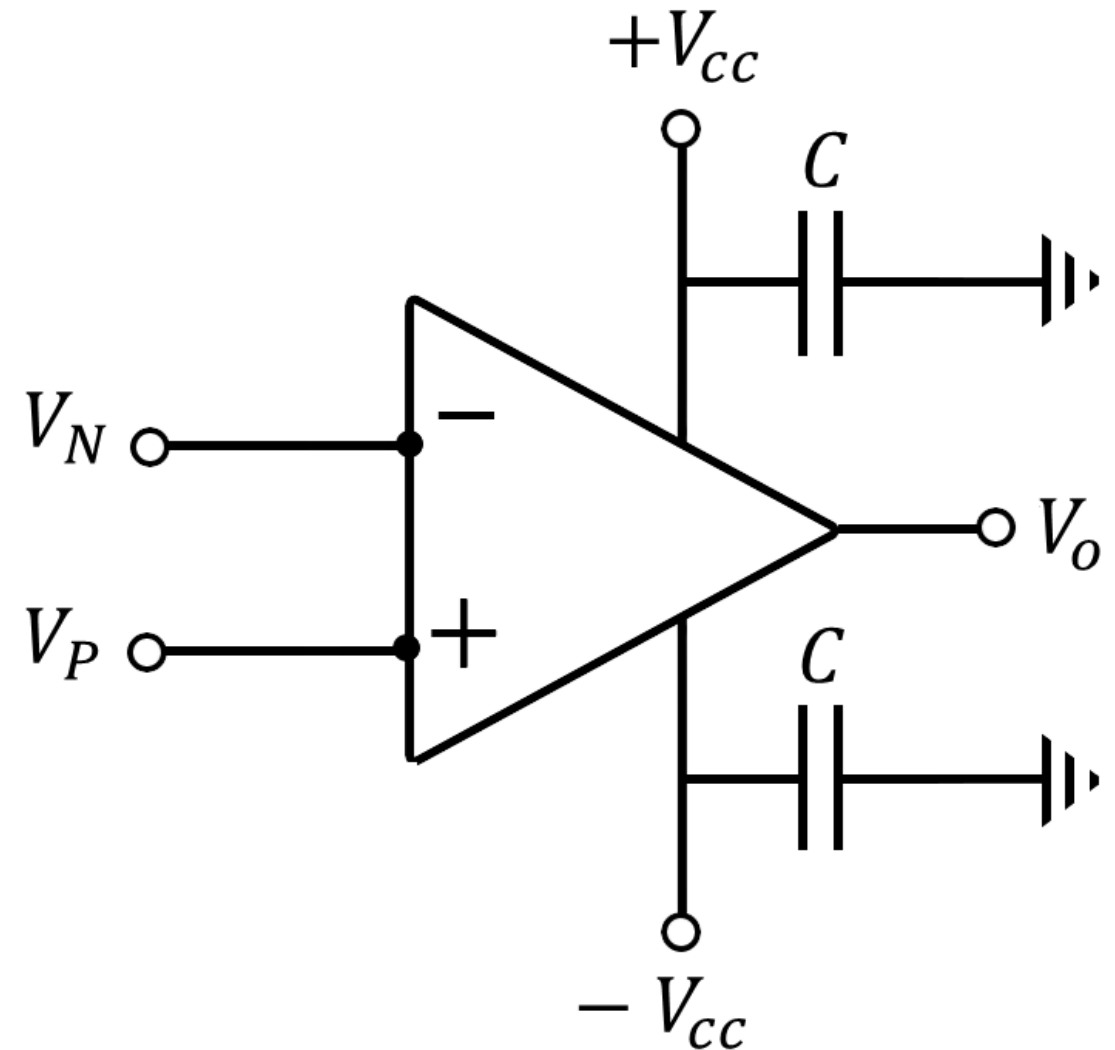
<http://everycircuit.com/circuit/6061677617610752>

<http://everycircuit.com/circuit/4890117376573440>

Circuito de desacoplamento (atenuação de ruído de alta frequência)

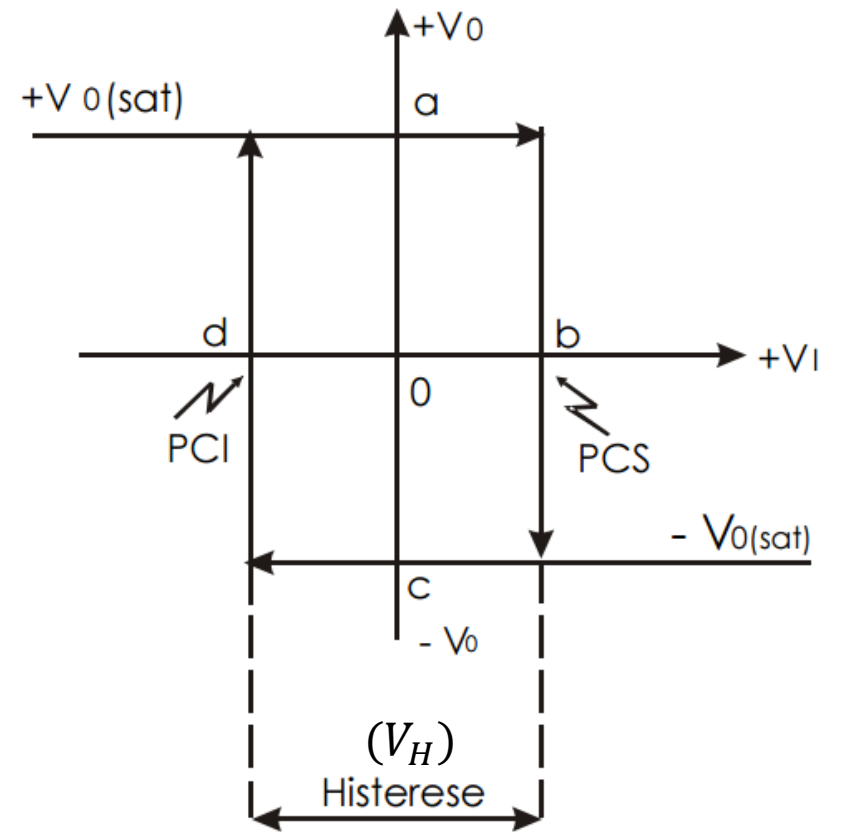
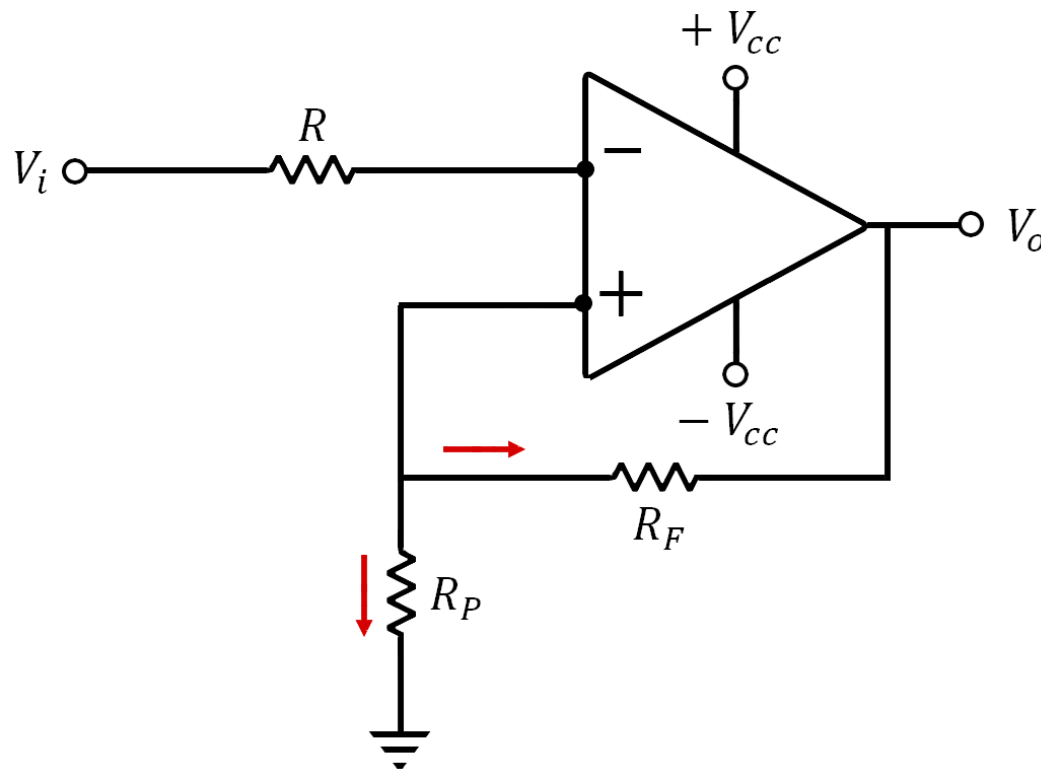
A incidência de ruído em projetos eletroeletrônicos é algo indesejável, entretanto muito comum. Dentre as principais fontes de ruídos podemos citar: Influência de motores elétricos, radiações eletromagnéticas, efeito antena, descargas atmosféricas, entre outros.

Podemos obter uma boa proteção contra ruídos, de alta frequência, utilizando um capacitor de desacoplamento (desvio) como na figura ao lado, os capacitores atuam como um *by-pass* para correntes parasitas (alta-frequência). Utilizar capacitores na ordem de 0,1 μ F



Realimentação positiva (Comparador regenerativo - Schmitt Trigger)

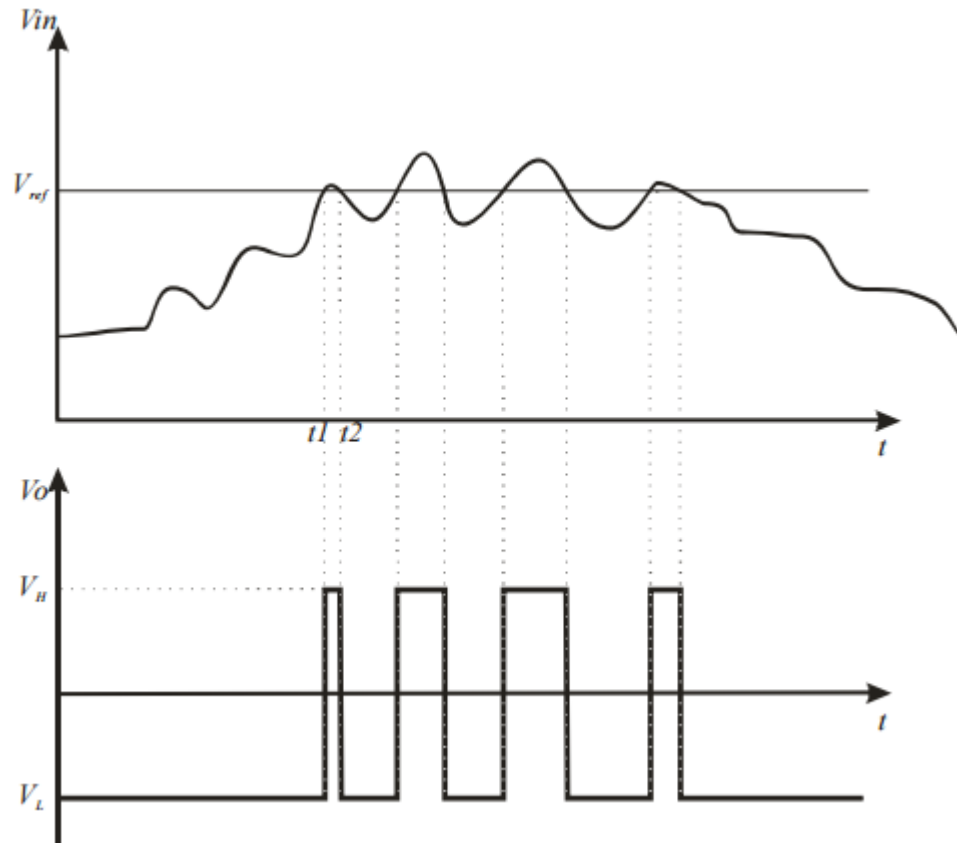
$$V_{PCS} = \left(\frac{R_P}{R_P + R_F} \right) \cdot (+V_{cc}) \quad V_{PCI} = \left(\frac{R_P}{R_P + R_F} \right) \cdot (-V_{cc})$$



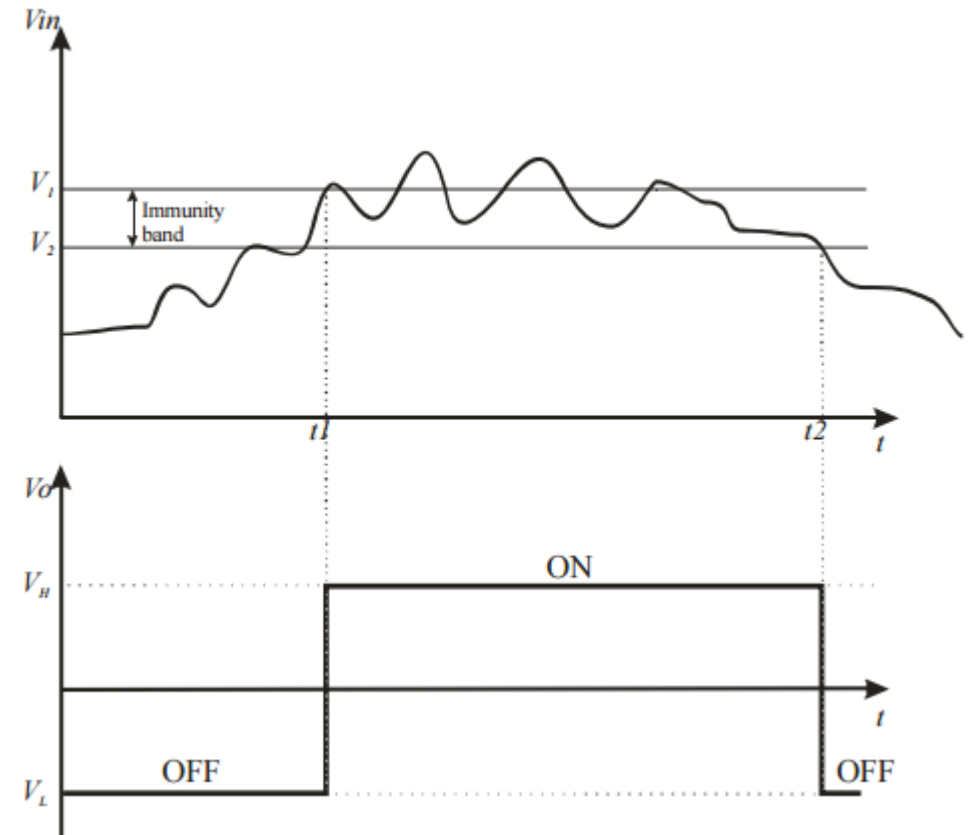
* Para efeito de análise da operação do circuito, deve-se admitir, inicialmente, que a saída do circuito se encontra em um nível alto.

Realimentação positiva (Comparador regenerativo - Schmitt Trigger)

Sem histerese (comparador)



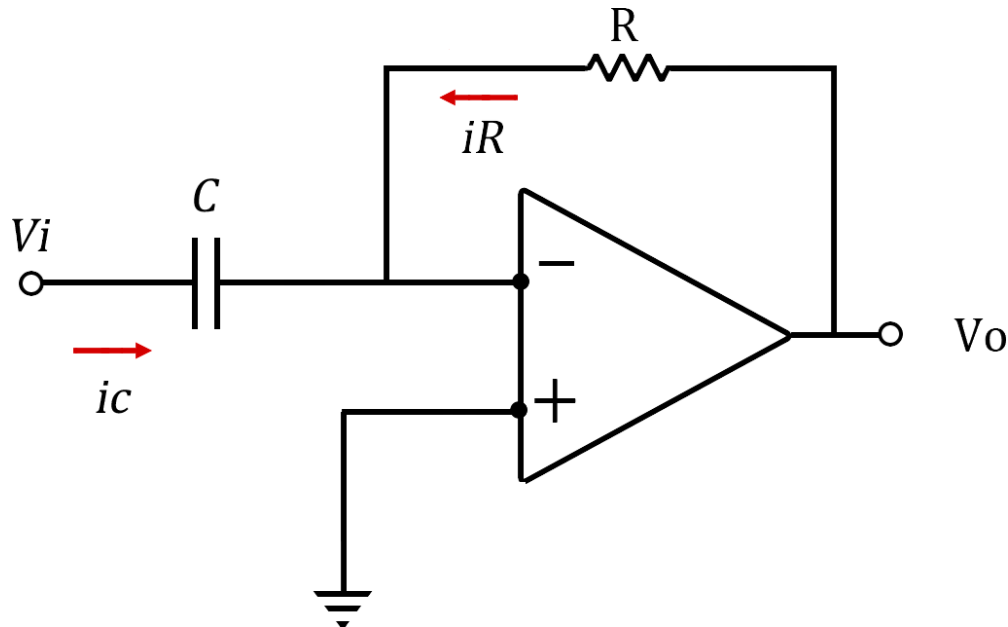
Com histerese (Schmitt Trigger)



Amp. Op. diferenciador (derivada)

$$V_p = V_n$$

$$i_p = i_n = 0$$



$$i_c = -i_R$$

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

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

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

Amp. Op integrador (Integral)

$$V_p = V_n$$

$$i_p = i_n = 0$$

$$i_R = -i_C$$

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

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

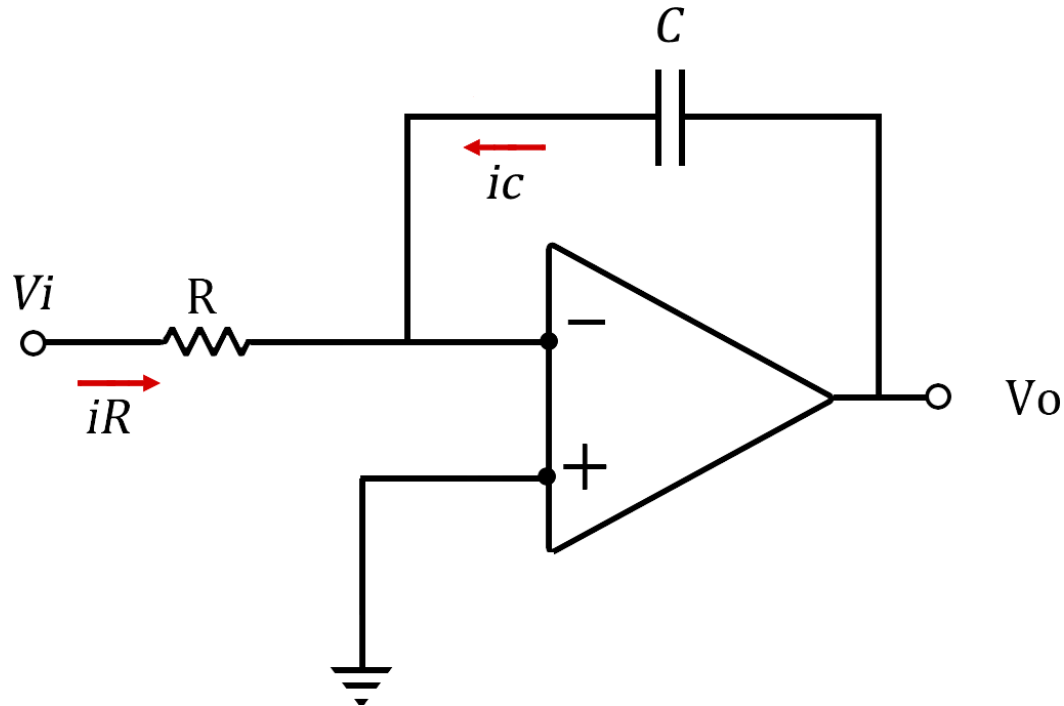
$$-\frac{V_i}{RC} = \frac{dV_o}{dt}$$

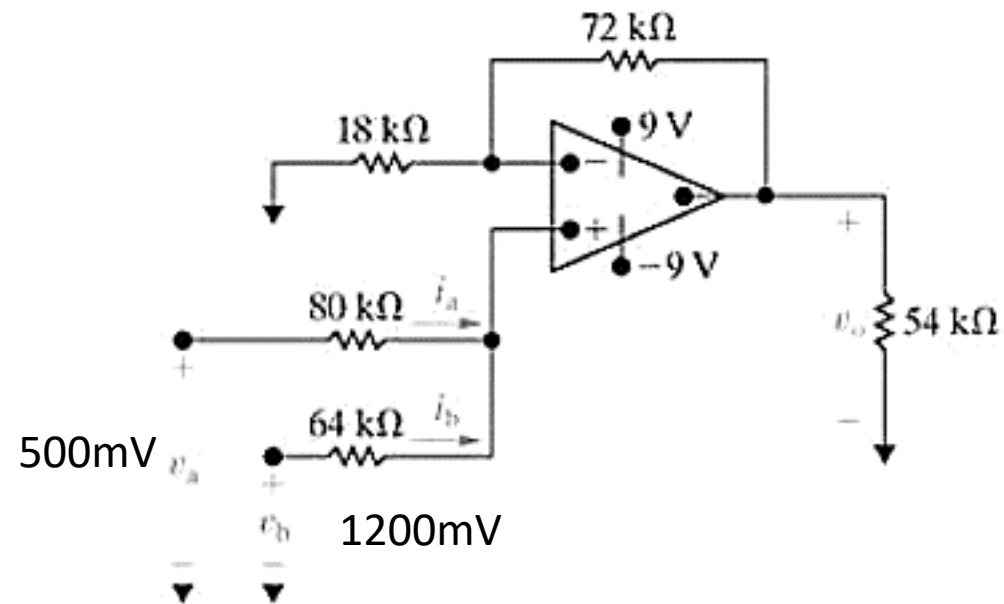
$$-\frac{V_i}{RC} dt = dV_o(t)$$

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

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

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





$$-v_{\text{sai}} = \frac{v_1 - v_2}{3} + \frac{v_3}{2}$$

