

Sistemas Elétricos

- **Circuitos RLC**
- **Amplificadores Operacionais**

DEPARTAMENTO DE ELETROELETRÔNICA

Prof. Dr. Walterley A. **Moura**

- **Circuitos RLC**

- 1 - Introdução

As leis básicas que governam os circuitos elétricos são as leis de Kirchhoff das correntes e das tensões.

- **Lei de Kirchhoff das correntes:** a soma algébrica das corrente que entram ou saem de um nó é zero.
- **Lei de Kirchhoff das tensões:** as soma algébricas das tensões em uma malha de um circuito elétrico é zero.

Amplificadores Operacionais

1 - Introdução

O termo amplificador operacional (*ampop*) foi introduzido em 1947 por John Ragazzini quando realizava seus trabalhos com computadores analógicos para o Conselho Nacional de Pesquisa e Defesa durante a Segunda Guerra Mundial.



Ragazzini, John- Engenheiro Eletricista
New York, 1912-1988

Tese: 1941: *The Effect of Fluctuation Voltages on Linear Detection*
Orientados de Ragazzini: Rudolf E. Kálmán (filtros de Kalman);
Eliahu I. Jury (transformada z); Lotfi Aliasker Zadeh (logica Fuzzy).

2 - Conceito de Amplificador Operacional

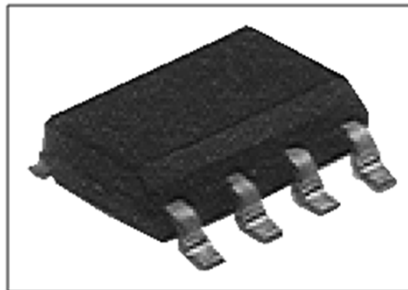
O *ampop* é um circuito ativo desenvolvido para executar operações matemáticas como **adição, subtração, multiplicação, divisão, diferenciação e integração.**

3 - Composição dos Amplificadores Operacionais

O *ampop* é um dispositivo eletrônico consistindo de um complexo arranjo de resistores, transistores, capacitores e diodos.

4 - Característica Física dos Amplificadores Operacionais

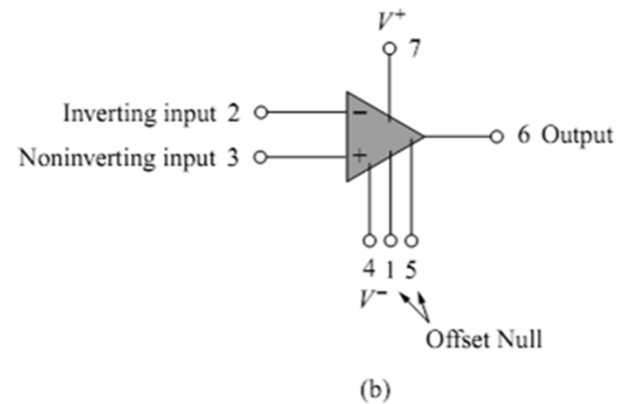
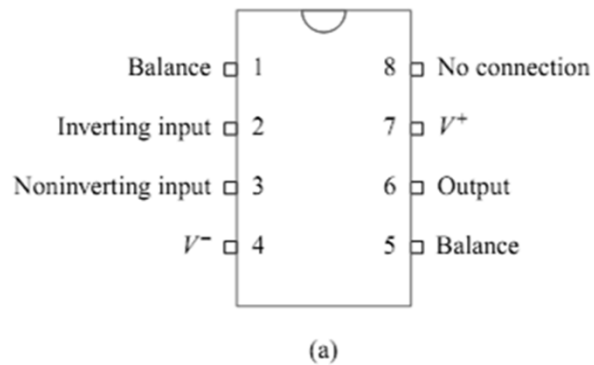
Os *ampop's* são comercialmente disponíveis em circuitos integrados e de vários formatos e tipicamente são compostos de 8 pinos.



5 - Configuração típica dos *ampop*'s e pinagem

Os cinco terminais mais importantes são:

- Pino 2: entrada inversora;
- Pino 3: entrada não inversora;
- Pino 6: saída;
- Pino 7: alimentação positiva, V^+ ;
- Pino 4: alimentação negativa, V^-



(a) Configuração da pinagem e (b) símbolo do circuito

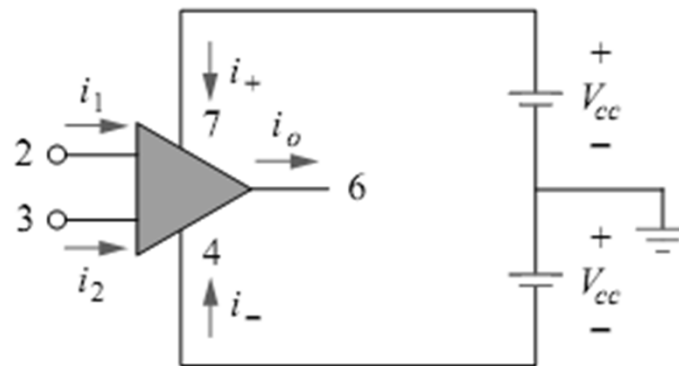
6 – Características de um AMP OP

- i. **Ganho de Tensão:** O ganho de tensão que é obtido através da relação entre a tensão de saída pela tensão de entrada;
- ii. **Tensão de OFFSET :** Um AMPOP real tem a saída de um amplificador ideal nula quando suas entradas estão em curto circuito. Nos amplificadores reais acontece um casamento de impedâncias imperfeito dos dispositivos de entrada e a saída do AMP OP pode ser diferente de zero quando ambas as entradas assumem potencial zero. Significa dizer que há uma tensão CC equivalente na entrada, chamada de tensão de OFFSET. Os valores desta tensão normalmente nos amplificadores comerciais estão situados na faixa de 1 a 100mV os componentes comerciais estão dotados de entradas para ajuste da tensão de OFFSET.

- iv. **Slew Rate:** é a máxima variação de tensão de saída por unidade de tempo. Normalmente o SR é dado em $V/\mu s$. Em termos gerais, podemos dizer que o valor de SR nos dá a “velocidade” de resposta do amplificador. Quanto maior o SR, melhor será o amplificador. O AOP 741 possui o $SR = 0,5V/\mu s$, o LF351 possui $SR = 13V/\mu s$ e o LM318 possui $SR=70V/\mu s$.
- iv. **Overshoot:** é a “sobrepassagem” ou “sobressinal”. O OVERSHOOT é o valor, dado em porcentagem, que nos indica quanto o nível de tensão de saída foi ultrapassado durante a resposta transitória do circuito, ou seja, antes da saída atingir o estado permanente. Para o 741, o OVERSHOOT é da ordem de 5%. O overshoot é um fenômeno prejudicial, principalmente quando se trabalha com sinais de baixo nível.

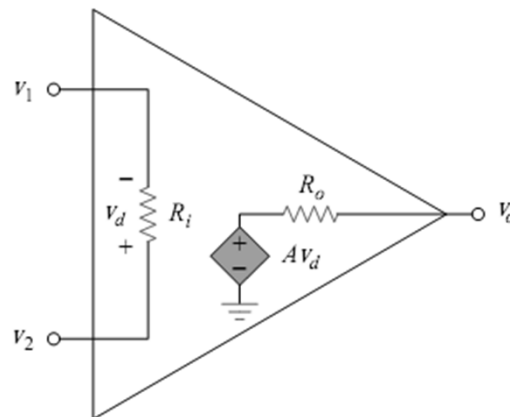
7 - Alimentação dos Amplificadores Operacionais

Como elemento ativo os *ampop's* devem ser alimentados como ilustra a figura abaixo:



8 - Circuito equivalente do Amplificador Operacional

- i. A seção de saída consiste de uma fonte de tensão dependente em série com uma resistência de saída R_{out} ;
- ii. A seção de entrada consiste de uma resistência de entrada R_{in} .



9 - Equacionamento do Amplificador Operacional

$$v_d = v_2 - v_1$$

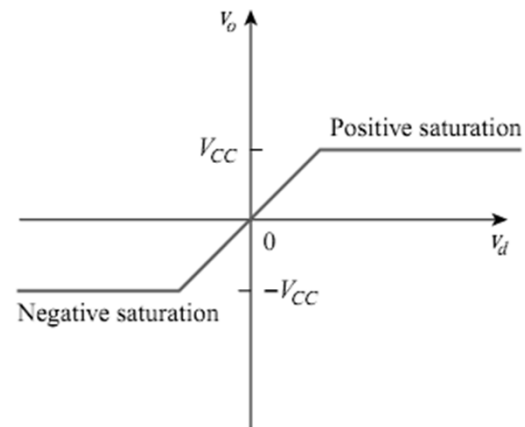
- v_1 é a tensão no terminal inversor;
- v_2 é a tensão no terminal não inversor.

$$v_o = Av_d = A(v_2 - v_1)$$

10 - Valores típicos dos parâmetros dos Amplificadores Operacionais

Parâmetros	Valores Típicos	Valor Ideal
A , ganho de malha aberta	10^5 a 10^8	∞
R_i , resistência de entrada	10^6 a 10^{13}	∞
R_o , resistência de saída	10 a 100 Ω	0
V_{cc} , tensão de alimentação	5 a 24 V	

$$-V_{cc} \leq v_{out} \leq V_{cc}$$

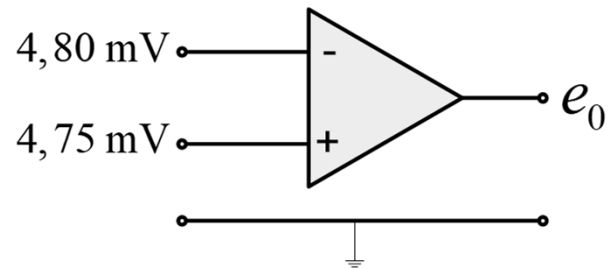


11 - Amplificadores Operacionais ideal

Para facilitar o entendimento dos circuitos com amplificadores operacionais assumiremos que eles são ideais, ou seja:

Parâmetros	Valor Ideal
A , ganho de malha aberta	∞
R_i , resistência de entrada	∞
R_o , resistência de saída	0

Exercícios 1: Calcular e_o



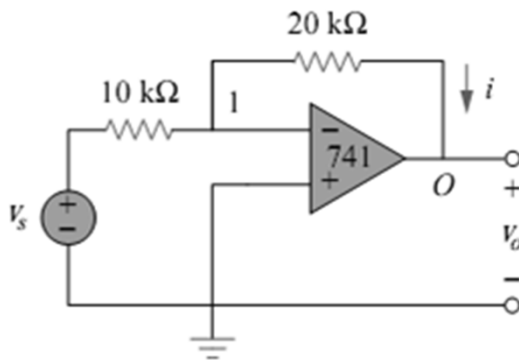
$$e_o = K(4,75 - 4,80) = -0,05K \text{ mV}$$

fazendo $K = 10^5$, temos

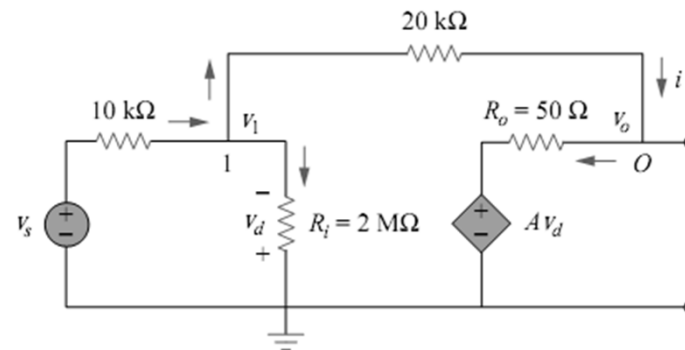
$$e_o = -0,05 \times 10^{-3} \times 10^5 = -5 \text{ V}$$

Exercício 2:

Um *amop* tem um ganho de tensão de malha aberta de $2 \cdot 10^5$, resistência de entrada igual de $2 \text{ M}\Omega$ e resistência de saída igual a 50Ω . Calcule o ganho v_o / v_i .

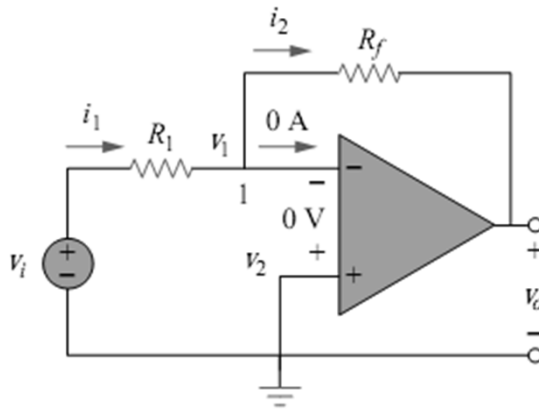


(a) Circuito original



(b) Circuito equivalente

Exercício 3: Amplificadores Inversor



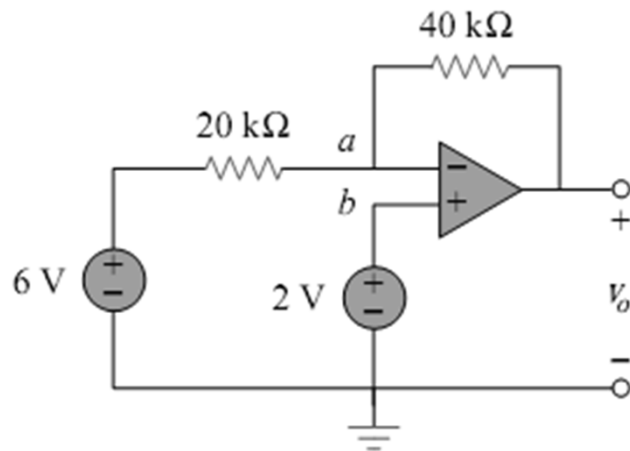
$$i_1 = i_2$$

$$\frac{v_i - v_1}{R_1} = \frac{v_1 - v_o}{R_f}$$

$$v_1 = v_2 = 0$$

$$\frac{v_i}{R_1} = \frac{-v_o}{R_f} \Rightarrow \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_f}{R_1}$$

Exercício 4:



$$i_1 = i_2$$

$$\frac{v_i - v_a}{R_1} = \frac{v_a - v_o}{R_f}$$

$$v_a = v_b = 2$$

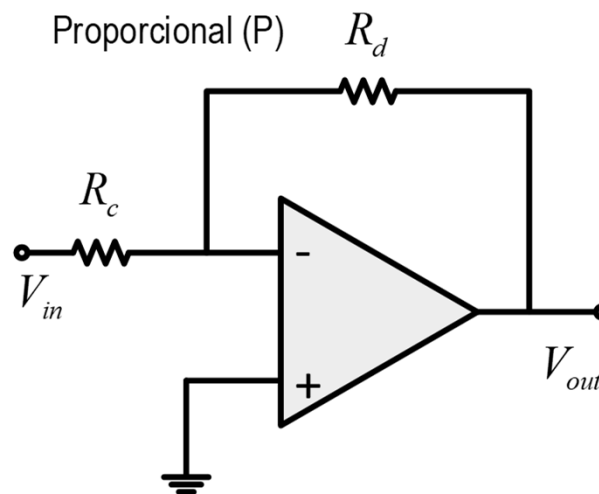
$$\frac{v_i - v_a}{R_1} = \frac{v_a - v_o}{R_f}$$

Exercício 5:

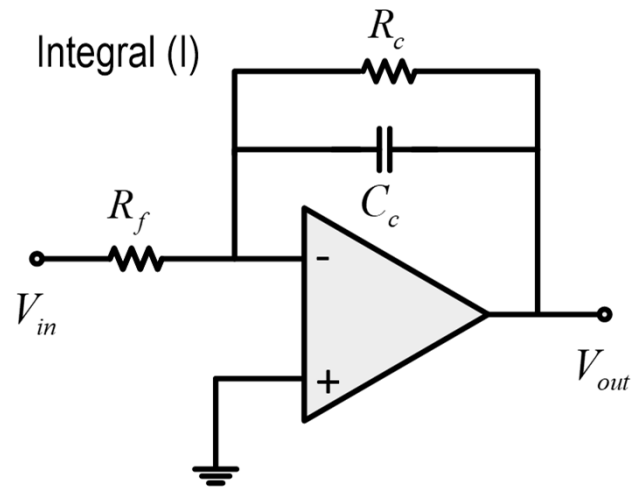
Exercício 6:

Circuitos com Amplificadores Operacionais

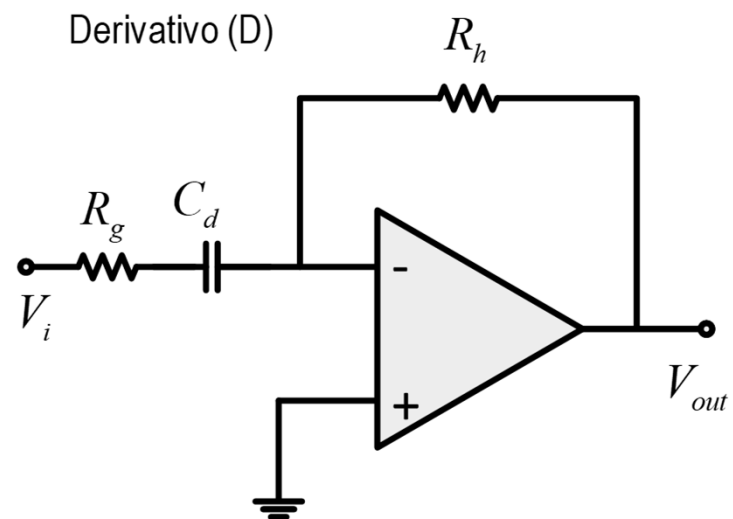
1) Proporcional



2) Integral

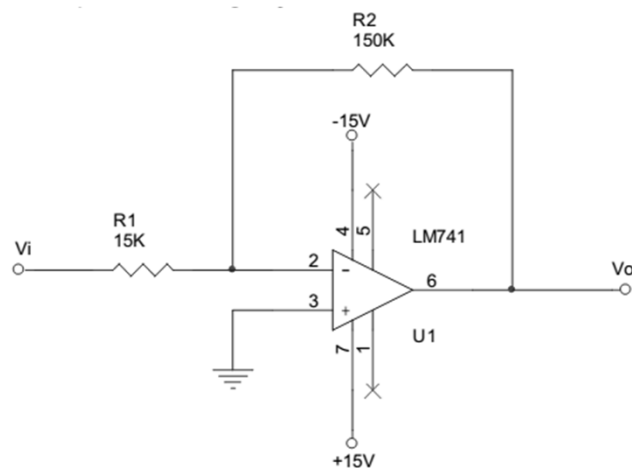


3) Derivativo



Laboratório

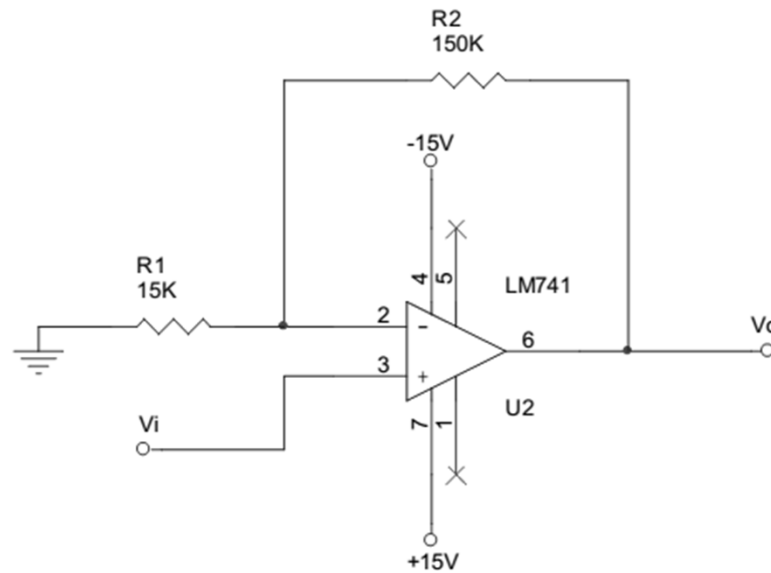
Circuito 1: Amplificador Inversor



Objetivos: comprovar os efeitos da realimentação negativa no controle do ganho de tensão de um amplificador inversor. Comprovar a validade das equações que definem o ganho de tensão para esta configuração.

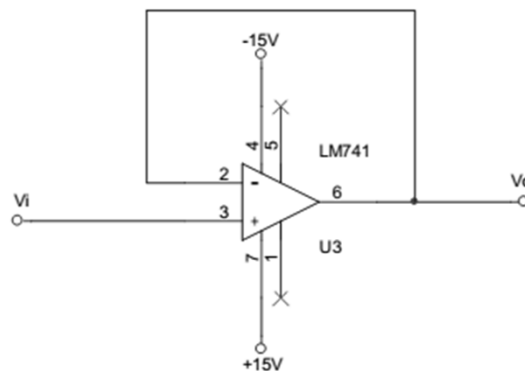
- (1) Tensão do gerador de sinais: 100 mV
- (2) Frequência: 1 kHz
- (3) Medir a entrada e a saída com o osciloscópio.

Circuito 2: Amplificador não Inversor



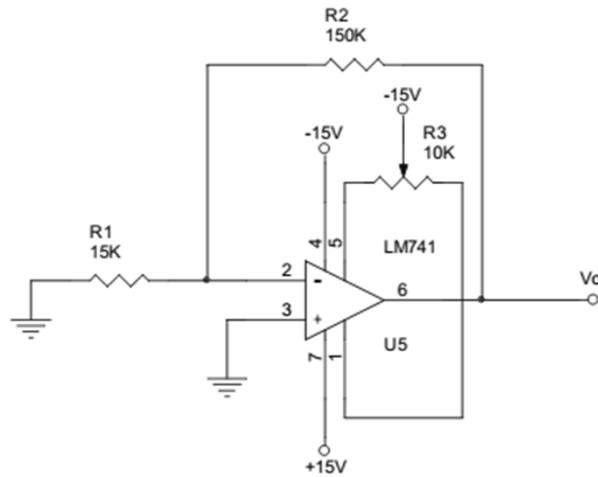
Objetivos: comprovar os efeitos da realimentação negativa no controle do ganho de tensão de um amplificador não-inversor. Comprovar a validade das equações que definem o ganho de tensão para esta configuração.

Circuito 3: Seguidor de tensão (buffer)



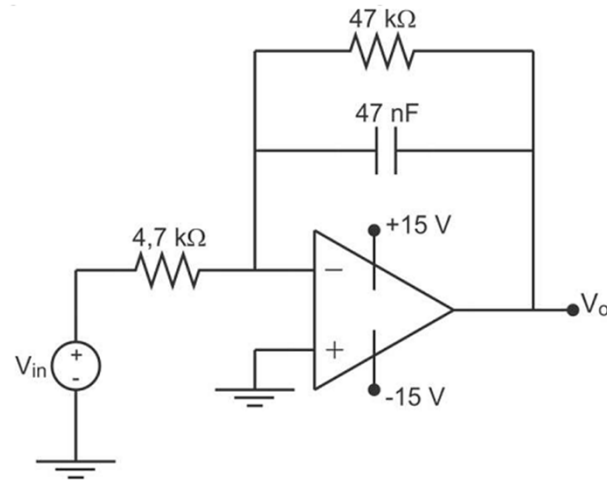
Verificar o funcionamento do seguidor de tensão. Verificar o efeito do overshoot.

Circuito 4: Tensão de OFFSET



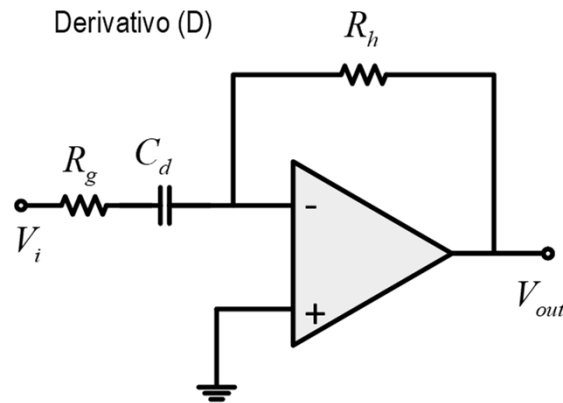
Objetivos: Determinar o valor da tensão de OFFSET de entrada do AMPOP LM741.

Circuito 5: Circuito Integrador



- (1) Tensão do gerador de sinais: 100 mV
- (2) Frequência: 1 kHz
- (3) Tipo de onda: quadrada
- (4) Medir a entrada e a saída com o osciloscópio.

Circuito 6: Circuito Derivador



- (1) Tensão do gerador de sinais: 100 mV
- (2) Frequência: 1 kHz
- (3) Tipo de onda: quadrada
- (4) Medir a entrada e a saída com o osciloscópio.