



## PSI 3031 - LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

### INTRODUÇÃO TEÓRICA

#### EXPERIÊNCIA 05 – CIRCUITOS COM AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

PROFS LEOPODO YOSHIOKA E ELISABETE GALEAZZO E;

1º quadrimestre de 2017

#### 1. OBJETIVOS

- Entender o funcionamento de um amplificador operacional
- Aplicar leis de Kirchhoff para resolver circuitos com amplificadores operacionais
- Analisar circuitos com amplificadores operacionais usando modelo baseado no gerador vinculado

#### 2. AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Amplificadores são dispositivos ativos capazes de aumentar a amplitude dos sinais. Estão presentes em muitos sistemas eletrônicos, desempenhando funções essenciais. Em especial, os amplificadores operacionais (AmpOp) são extremamente versáteis e possuem amplas possibilidades de aplicações em eletrônica e computação. Os AmpOps são capazes de produzir tensões de saída centenas ou milhares de vezes maior do que as tensões dos terminais de entrada. O diagrama da fig. 1 mostra uma representação esquemática de um AmpOp.

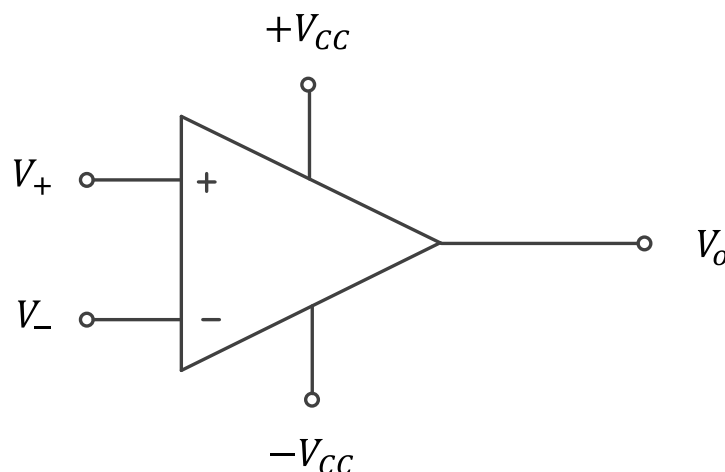


Figura 1 – Representação esquemática de um Amplificador Operacional.

- O terminal “ + “ é a entrada não inversora
- O terminal “ – “ é a entrada inversora
- $V_o$  é a tensão de saída
- $+V_{cc}$  e  $-V_{cc}$  são as tensões de alimentação (simétrica)

**Ganho:**

Um dos parâmetros que caracteriza o AmpOp é o ganho, **G**, definido pela relação entre a tensão de saída  $V_o$  e as tensões dos terminais de entrada  $V_+$  e  $V_-$ .

$$G = \frac{V_o}{V_+ - V_-} \tag{1}$$

Num AmpOp ideal o ganho é infinito. Na prática o ganho é um valor elevado que pode ser da ordem de algumas centenas a dezenas de milhares.

**Impedância de entrada:**

Outro parâmetro importante do AmpOp é a impedância de entrada  $Z_{in}$ . Na maioria das vezes é suficiente considerarmos apenas a parte resistiva da impedância, ou seja, consideramos que  $Z_{in} = R_{in}$ . O valor do  $R_{in}$  é idealmente infinito, sendo na prática da ordem de vários mega Ohms.

**Exemplo 1 – Circuito inversor com AmpOp ideal**

Consideremos o circuito mostrado na Fig. 2 sendo que o ganho do AmpOp é **A**.

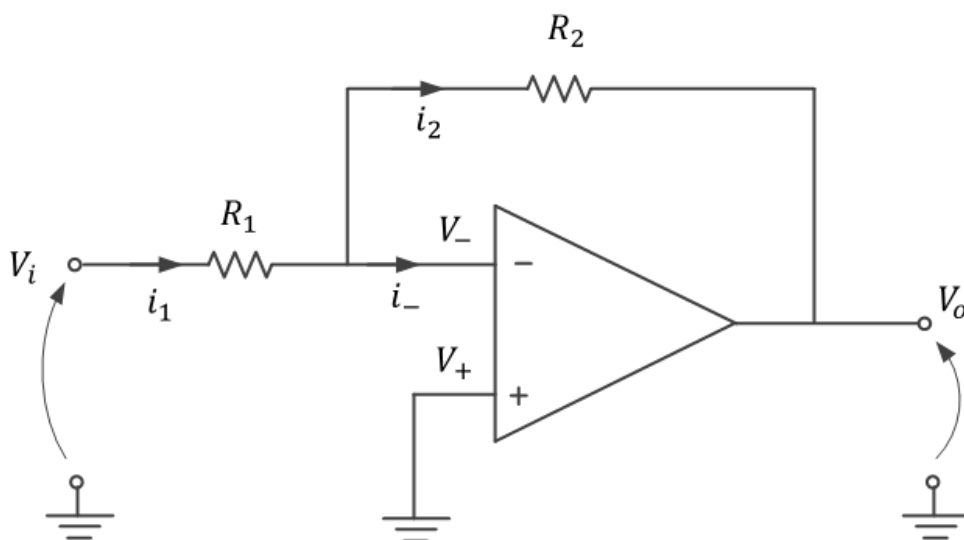


Figura 2 – Circuito inversor utilizando Amplificador Operacional.

Vamos supor que se trata de um AmpOp ideal, ou seja  $A \rightarrow \infty$  e  $R_{in} \rightarrow \infty$ .

Como  $R_{in} \rightarrow \infty$  a corrente no terminal “– “ do AmpOp será nula, ou seja,  $i_- = 0$ . Logo,  $i_1 = i_2$ .

Por outro lado, como  $A \rightarrow \infty$  e assumindo que a tensão de saída do AmpOp,  $V_o$ , é finito, resulta que  $V_- = 0$ . Pois,  $V_o = A(V_+ - V_-) \rightarrow V_+ - V_- = 0 \rightarrow V_- = 0$ .

Assim,  $i_1 = i_2 = \frac{V_i}{R_1} = \frac{-V_o}{R_2}$  e, portanto,

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i \quad (2)$$

Ou seja, a tensão de saída é a tensão de entrada multiplicada pelo fator  $-\frac{R_2}{R_1}$ . Por exemplo, se  $R_1 = R_2$  teremos  $V_o = -V_i$  (circuito inversor com ganho unitário).

### Exemplo 2 – Circuito inversor com AmpOp com ganho finito

Vamos considerar agora uma situação em que o ganho do AmpOp seja elevado, porém finito. Por conveniência assumiremos que  $R_{in} \rightarrow \infty$ .

Inicialmente, temos que a tensão de saída será  $V_o = A(V_+ - V_-) = -AV_-$ .

Sabemos que  $i_1 = i_2$  então  $\frac{V_i - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_o}{R_2} \rightarrow \frac{V_i + V_o/A}{R_1} = \frac{-V_o/A - V_o}{R_2}$

Resulta que:

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \left( \frac{1}{1 + \frac{1}{A} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)} \right) \quad (3)$$

Observe que para  $A$  com valor elevado as expressões 2 e 3 se equivalem.

### 3. MODELO EQUIVALENTE

Uma forma de analisar o comportamento do AmpOp é utilizando o gerador vinculado do tipo controlado por tensão. Um AmpOp pode ser representado por um modelo equivalente conforme mostrado na Fig. 3

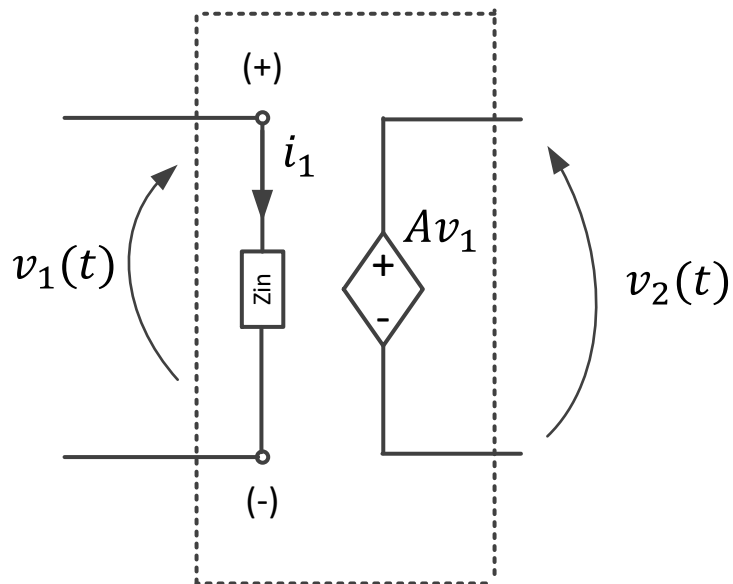


Figura 3 – Modelo equivalente de um AmpOp.

#### 4. CIRCUITO INTERNO DE UM AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Um AmpOp comercial muito comum é o 741. Foi desenvolvido pela Farchild Semiconductor em 1968 e é ainda utilizado nos dias de hoje. A Fig. 4 mostra o circuito interno de um AmpOp 741.

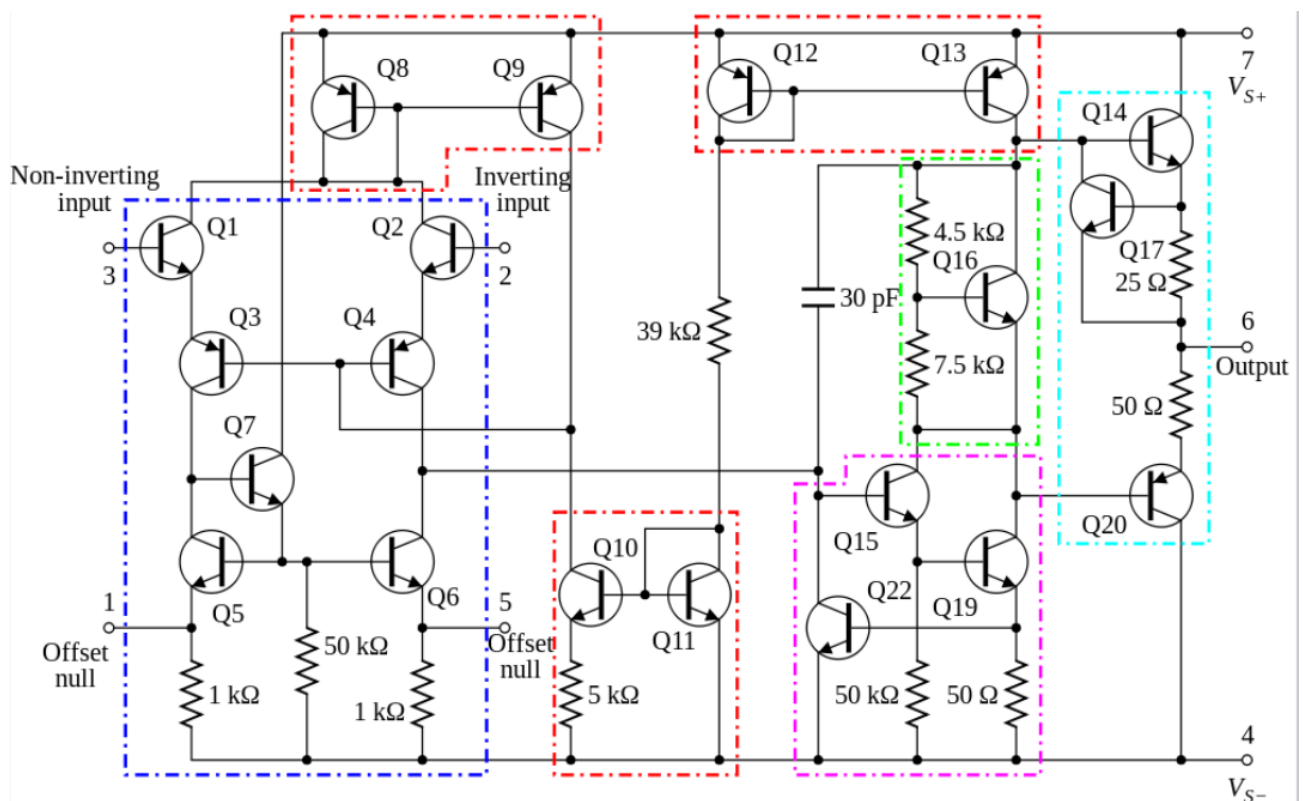


Figura 4 – Diagrama elétrico do AmpOp 741.