



## PSI 3031 - LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

### GUIA DE EXPERIMENTOS

#### EXPERIÊNCIA 05 – CIRCUITOS COM AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

PROFS ELISABETE GALEAZZO E LEOPODO YOSHIOKA;

1º quadrimestre de 2017

**Objetivos:** Entender o funcionamento de um amplificador operacional ideal; aplicar leis de Kirchhoff para resolver circuitos com operacionais ideais.

#### 1. CIRCUITO AMPLIFICADOR COM REALIMENTAÇÃO NEGATIVA - CÁLCULOS

(Sugere-se efetuar este item em casa, como tarefa)

Neste item vamos estudar o comportamento de um circuito com gerador de tensão vinculado, ou seja, um gerador de tensão controlado por tensão. como ilustrado na Figura 1.

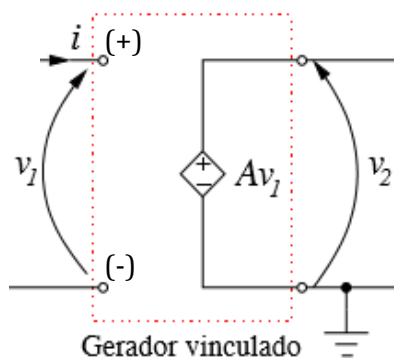


Figura 1: esquema elétrico de um gerador de tensão vinculado, controlado por tensão com ganho  $A$ .

Um gerador de tensão controlado por tensão é apenas um modelo de um amplificador operacional ideal que gera em sua saída ( $v_2$ ) uma tensão proporcional à sua tensão de entrada ( $v_1$ ). No caso do esquema elétrico da Figura 1,  $v_2(t) = A \cdot v_1(t)$ , sendo  $A$  um fator de amplificação.

Um circuito amplificador com este tipo de gerador vinculado é normalmente implementado conforme ilustração da Figura 2.

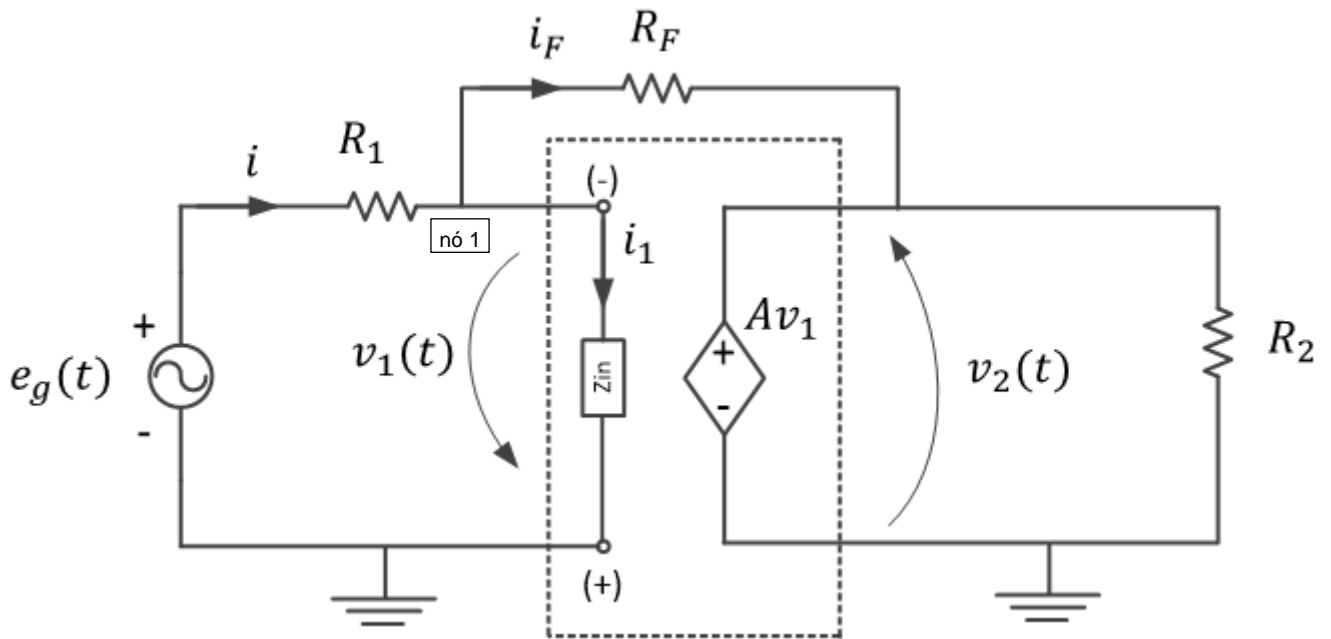


Figura 2: Circuito Amplificador com realimentação negativa.

Observe que o sentido da seta em  $v_1(t)$  nesta figura está no sentido oposto ao da Figura 1. Ou seja, neste circuito amplificador a entrada (+) do amplificador operacional está aterrada e  $v_2(t) = A \cdot (-v_1(t))$ .

Nesta configuração, definimos os ganhos:

$$G_1 = v_1/e_g$$

e

$$G_2 = v_2/e_g$$

O ganho  $G_2$  do circuito será:

$$\frac{v_2}{e_g} = -\frac{R_F}{R_1} \left( \frac{1}{1 + \frac{1}{A} \left( 1 + \frac{R_F}{R_1} \right)} \right) \tag{eq. 1}$$

Você pode notar que quando o ganho  $A$  do amplificador operacional é bem elevado ( $>10.000$ ), a realimentação vai limitar o valor do ganho do circuito ( $G_2$ ) de acordo com a relação:

$$\frac{v_2}{e_g} = -\frac{R_f}{R_1} \tag{eq. 1a}$$

Vamos então fazer alguns cálculos com o circuito amplificador com realimentação negativa esboçado na Figura 2, a fim de avaliar seu comportamento para alguns valores de ganho ( $A$ ) em malha aberta do amplificador e para alguns valores da resistência de realimentação  $R_F$ .

. Adote  $e_g(t) = 0,5 \text{ V}$ , assim como  $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_F = 100 \text{ k}\Omega$  e  $47 \text{ k}$ . Complete as Tabelas 1 e 2 do relatório, para os ganhos do operacional **A = 1 e A = 10.000**, calculando:

- a)  $V_2$  e  $V_1$  (valores RMS);
- b) as três correntes eficazes ( $I$ ,  $I_1$  e  $I_f$ ) do nó 1 do circuito;
- c) O ganho  $G_1$ , sendo  $G_1 = V_1/E_g$ ;
- d) O ganho  $G_2$ , sendo  $G_2 = V_2/E_g$ ;

Analisando-se os resultados obtidos, responda as seguintes perguntas:

- e) O que se pode concluir sobre o valor de  $V_1$  para os dois ganhos do amplificador operacional ( $A = 1$  e  $A = 10.000$ )?
- f) Faça uma análise dos ganhos  $G_1$  e  $G_2$  em ambos os casos de ganho “A”.
- g) Faça uma análise sobre as correntes obtidas para os dois ganhos ( $A = 1$  e  $A = 10.000$ ).

## 2. MONTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE UM AMPLIFICADOR OPERACIONAL REAL

De maneira bem simplificada, um amplificador operacional é um circuito integrado que se aproxima de um gerador de tensão vinculado controlado por tensão, com o ganho **A** (*em malha aberta*) bem elevado – da ordem de  $10^4$  a  $10^6$ .

**(Nota:** para o amplificador operacional 741, utilizado nesta experiência, o ganho elevado em malha aberta é limitado para uma faixa de frequências de uma ou algumas centenas de hertz).

A impedância de entrada ( $Z_{in}$ ) do amplificador operacional também é bastante alta, e a de saída, razoavelmente baixa. Vamos verificar esses fatos experimentalmente, **montando** um circuito com amplificador operacional.

- a) Monte o circuito da Figura 3, que é o mesmo da Figura 2, no entanto temos agora um amplificador operacional real.

**Nota:** não se esqueça das alimentações do amplificador operacional! Consulte especificação.

Escolha  $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ , e  $R_F = 100 \text{ k}\Omega$ .

**Chame o professor assim que terminar a montagem SEM LIGAR NENHUM EQUIPAMENTO.**

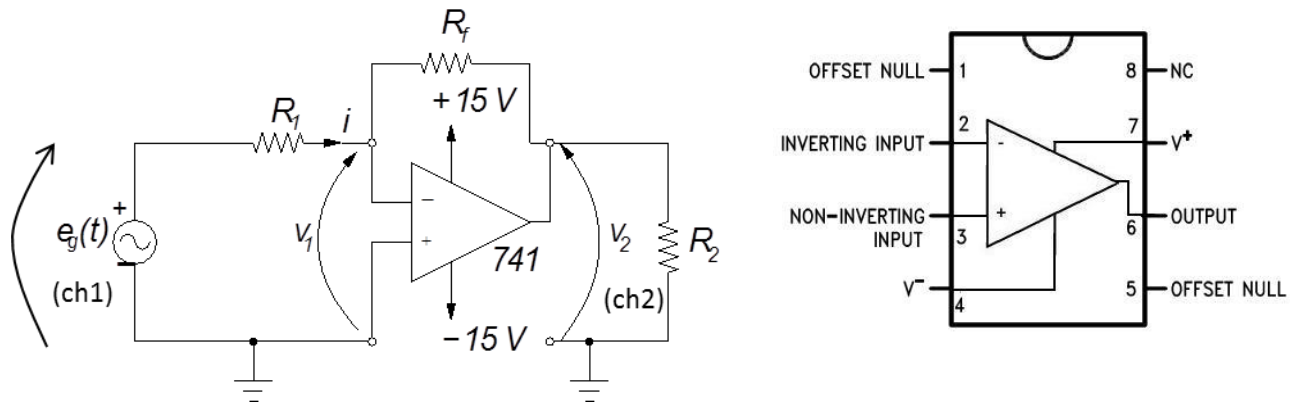


Figura 3: Amplificador inversor com operacional e pinagem do 741.

. Adote a frequência de **100 Hz** para  $e_g$  (frequência em que o ganho “A” (malha aberta) é máximo para o 741).

. Avalie a máxima tensão que poderá ser aplicada em  $e_g(t)$ , considerando que um circuito não pode produzir uma tensão  $v_2$  maior do que a alimentação do amplificador operacional.

**Nota:** para isso, verifique qual é a excursão máxima de  $v_2$  sem que apresente distorção (ou seja, saturação do sinal).

. Feito isso, ajuste a tensão eficaz de  $e_g(t)$  para  $0,5 V_{\text{RMS}}$ .

**b)** Faça as medidas necessárias para calcular  $v_1$ ,  $G_1$ ,  $G_2$  e  $A$ , preenchendo os dados na Tabela 3 do relatório.

**Nota:** Nesta medição, o valor de  $v_1$  deve ser tomado com o multímetro de bancada utilizando cabos coaxiais com terminações banana-jacaré (para minimizar os efeitos de interferência eletromagnética). Obtenha as demais tensões com o osciloscópio, para visualizar a defasagem entre sinal de entrada ( $e_g(t)$ ) e saída ( $v_2(t)$ ).

Os valores de  $v_1$ ,  $G_1$ ,  $G_2$  e  $A$  experimentais e os calculados no item 1 estão coerentes? Discuta.

**c)** Mantenha  $R_f = 47\text{ k}\Omega$ . Altere a frequência do gerador para 1 kHz e depois 10 kHz, e calcule para cada frequência os novos ganhos  $G_2$  e  $A$ , completando a Tabela 4. Discuta o efeito da frequência sobre os ganhos encontrados.

**d)** Altere o sinal do gerador para uma onda quadrada, 2Vpp e frequência de 100 Hz. Observe o comportamento da tensão de saída ( $v_2(t)$ ), alterando-se gradativamente a frequência do sinal até 10 kHz. Discuta o observado em relação à forma de onda e ao ganho do circuito.