



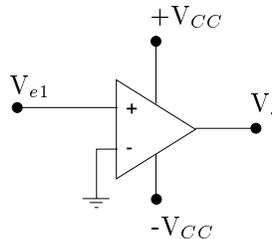
## Experimento V – Amplificador Operacional: Realimentação Negativa

### 1 Objetivo

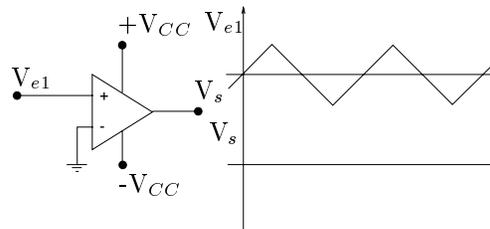
Fixar as principais características do Amp Op. Familiarizar-se com alguns parâmetros nominais fornecidos pelos fabricantes. Determinar ganhos dos circuitos com realimentação negativa. Conhecer algumas aplicações.

### 2 Estudo Dirigido

1. Um amp op é essencialmente a integração de três blocos funcionais: um amplificador diferencial, um bloco constituído de vários estágios de “amplificação” ligados em cascata e um bloco de saída para minimizar distorções no sinal de saída. Para um amp op **ideal**, quais são as suas principais características (ganho de tensão de malha aberta  $G_v$ , impedância de entrada, correntes de entrada, largura da banda passante, impedância de saída)?
2. O que você entende por saturar um amp op? Como se pode estimar os valores das tensões de saturação? (Observação: A excursão do sinal de saída não pode ultrapassar os valores das tensões de alimentação!)
3. Qual é a faixa de valores das tensões de alimentação do CI 741?
4. Quando se aplica um sinal, próximo porém diferente de zero, entre os terminais inversor e não-inversor de um amplificador operacional sem realimentação, qual será o sinal de saída para (a)  $V_{e1}$  ligeiramente menor que 0? (b)  $V_{e1}$  ligeiramente maior que 0?



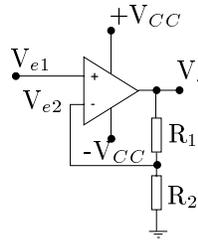
5. Dada uma onda triangular perfeita como o sinal de entrada do seguinte circuito comparador. Esboce o sinal de saída e indique na curva os pontos de comutação.



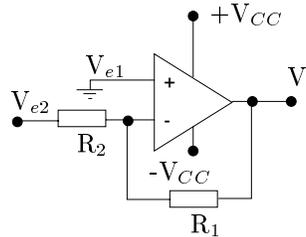
6. Mostre que o ganho de tensão de malha fechada,  $G_{v_F}$ , de um circuito não-inversor com realimentação negativa é dado por

$$G_{v_F} = \frac{V_s}{V_{e1}} = \frac{G_v}{1 + G_v B} \approx \frac{R_1 + R_2}{R_2},$$

onde  $B = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$  é o **fator de transmissão reverso** ou **fração de realimentação**.



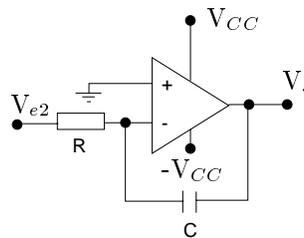
7. Projete um amplificador de tensão não-inversor de ganho  $G_{v_F} = 10$  com o CI 741.
8. O que você entende por “terra virtual”? Indique o ponto de terra virtual no seguinte circuito com realimentação negativa.



9. Mostre que o ganho de tensão de malha fechada,  $G_{v_F}$ , de um circuito inversor com realimentação negativa apresentado no item 8 pode ser expresso por

$$G_{v_F} = -\frac{R_1}{R_2}$$

10. Projete um amplificador de tensão inversor de ganho  $G_{v_F} = -15$  com o CI 741.
11. Projete um amplificador de tensão não-inversor de ganho  $G_{v_F} = -100$  com o CI 741.
12. O que você entende por produto ganho-banda?
13. Por quê um capacitor é um circuito aberto para sinais *cc*? E é um curto para sinais de alta frequência?
14. O que você entende por corrente de compensação (*offset*) de entrada? Qual é esta corrente para um amp op ideal?
15. Dado o circuito com um amp op ideal



Mostre que a tensão de saída  $V_s$  é dada por

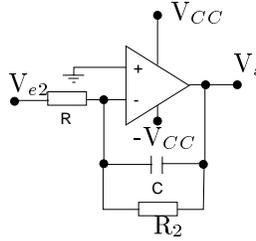
$$V_s(t) = -\frac{1}{RC} \int V_{e2}(t) dt.$$

Supondo que  $R=10\text{k}\Omega$ , determine o valor para  $C$ , de modo que a constante de tempo do circuito seja  $0.1\text{ms}$ .

Qual será o sinal de saída se aplicarmos uma onda quadrada na entrada  $V_{e2}$  de largura de pulso muito menor que  $0.1\text{ms}$ ? E muito maior? Justifique.

Lembrando-se de que amplificadores não ideais tem uma tensão *cc* de compensação de entrada que não será realimentada negativamente. Qual será o sinal de saída se aterrarmos também  $V_{e2}$ ? Justifique.

Uma solução seria colocar um resistor  $R_2$  em paralelo com o capacitor

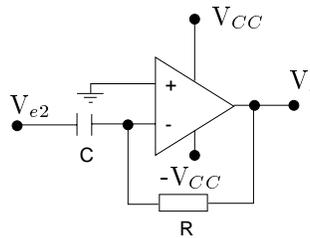


O que acontecerá agora com o sinal  $V_s$ , se mantivermos  $V_{e2}$  aterrado? Justifique. Mostre que, neste caso, o ganho do integrador pode ser expresso por

$$G_{v_F} \approx -\frac{R_2}{R} \frac{1}{1 + j\omega R_2 C}$$

Se  $R = 1\text{k}\Omega$ , determine  $R_2$  de forma que  $G_{v_F} = -10$  para frequências baixas.

16. Dado o circuito com um amp op ideal



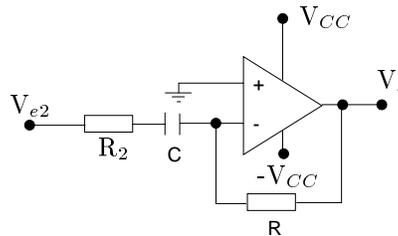
Mostre que a tensão de saída  $V_s$  é dada por

$$V_s(t) = -RC \frac{dV_{e2}(t)}{dt}$$

com ganho

$$G_{v_F} = -j\omega RC$$

Assim, o circuito tem alto ganho em altas frequências. Isso resulta em amplificação de componentes de ruído de alta frequência. Para limitar o ganho de corrente de malha fechada em frequências altas, uma solução seria colocar um resistor  $R_2$  em série com o capacitor



Neste caso, o ganho do circuito passará para

$$G_{v_F} = -\frac{R}{R_2} \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega R_2 C}}$$

Supondo que  $R_2 = 10\text{k}\Omega$ , determine o valor para  $C$ , de modo que a constante de tempo seja igual a  $0.1\text{ms}$ . Determine ainda o valor de  $R$  para que  $G_{v_F} = -1$  em frequências muito altas.

Qual será o sinal de saída se aplicarmos uma onda triangular na entrada  $V_{e2}$ ? E se aplicarmos uma onda retangular na entrada? Esboce as ondas de entrada e de saída.

17. Leia atentamente as propostas do experimento e faça os esquemáticos elétricos das montagens.



Varie a frequência do sinal de entrada de forma a encontrar, experimentalmente, as frequências de corte inferior ( $f_{ci}$ ) e superior ( $f_{cs}$ )

Frequência	$V_{spp}$	$G_{vF}$	$20 \log(G_{vF})$

Largura de banda =  $f_{cs} - f_{ci} =$

Produto ganho-banda =

Compare os produtos ganho-banda nos dois casos.

**Amplificador Não-inversor:** Monte o circuito do item 7 da seção 2.

1. Aplique uma onda triangular de  $100mV_{pp}$ ,  $V_{offset}=0$  e frequência igual a 1KHz. Registre os valores reais dos resistores, o ganho e a forma do sinal de saída. Compare os resultados obtidos com os esperados.

$R_1 =$

$R_2 =$

$G_{vF} =$

2. Varie a amplitude do sinal de entrada de forma que o sinal de saída fique “ceifado”. Justifique as distorções no sinal e o valor da tensão de saturação.

Amplitude do sinal de entrada =

Tensão de saturação =

**Integrador:** Monte o circuito integrador do item 15 da seção 2, utilizando o capacitor que você determinou para constante de tempo igual a 0.1ms com  $R=10k\Omega$ :

$C =$

1. Mantenha  $V_{e2}=0$  (aterre a entrada), ligue a fonte de alimentação e observe com o osciloscópio o que acontece com a tensão de saída  $V_s$ . Qual é a forma do sinal  $V_s$ ? Está condizente com o esperado? Justifique.

2. Insira agora o resistor  $R_2$  que você determinou em paralelo com o capacitor C. Ligue novamente o circuito com  $V_{e2}$  no terra e observe o comportamento de  $V_s$ . Explique a diferença de comportamento do circuito causada por  $R_2$ .

$R_2 =$

3. Aplique um sinal de onda quadrada de  $2 V_{pp}$  e varie a frequência para obter, experimentalmente, a frequência de corte.

Frequência	$V_{s_{pp}}$	$G_{v_F}$	$20 \log(G_{v_F})$

Comente o ganho e a forma do sinal de saída em função da frequência do sinal de entrada.

4. Trace a curva  $G_v(\text{dB}) \times \text{frequência}(\text{Hz})$  numa folha de papel semi-log e determine graficamente a frequência de corte  $f_c$  e o ganho nesta frequência.

$$f_c = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$G_{v_F} = \boxed{\phantom{000000}}$$

**Diferenciador:** Monte o circuito diferenciador do item 16 da seção 2, utilizando o valor do resistor  $R$  e do capacitor  $C$  que você determinou (considerando  $R_2=10\text{k}\Omega$ ,  $G_{v_F}=-1$  e constante de tempo igual a  $0.1\text{ms}$ ):

$$R = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$C = \boxed{\phantom{000000}}$$

1. Aplique um sinal de onda triangular de  $500\text{Hz}$  e  $1 V_{pp}$  na entrada. Qual é a forma do sinal de saída? Está condizente com o esperado? Justifique.

2. Insira agora o resistor  $R_2=10\text{k}\Omega$  em série com o capacitor  $C$ . Observe o sinal e compare-o com o sinal de saída do item anterior. Por quê esta diferença?

3. Varie agora a frequência e complete a tabela:

Frequência	$V_{spp}$	$G_{vF}$	$20 \log(G_{vF})$

Comente o ganho e a forma do sinal de saída em função da frequência do sinal de entrada.

4. Trace a curva  $G_v$  (dB)  $\times$  frequência(Hz) numa folha de papel semi-log e determine graficamente a frequência de corte  $f_c$  e o ganho nesta frequência.

$$f_c = \boxed{\phantom{000000}}$$

$$G_{vF} = \boxed{\phantom{000000}}$$

5. Mude agora para uma onda quadrada. Qual é a forma do sinal de saída? Está condizente com o esperado? Justifique.