



Experimento VI – Amplificador Operacional: Realimentação Positiva

1 Objetivo

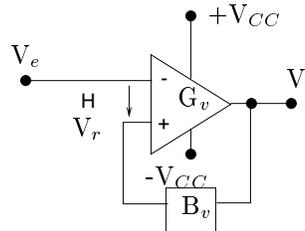
Conhecer os efeitos de realimentação positiva de um amp op e suas aplicações.

2 Estudo Dirigido

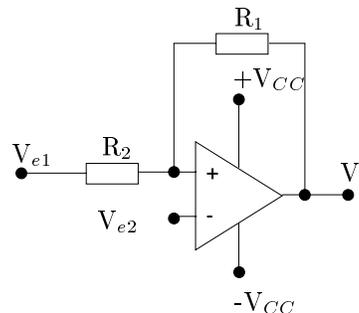
1. O ganho de um amplificador com realimentação positiva é dado por

$$G_{v_F} = -\frac{G_v}{1 - B_v G_v},$$

onde G_{v_F} é o ganho de tensão em malha fechada, G_v é o de malha aberta e B_v é a fração de realimentação.



- (a) Mostre a relação acima. (Dica: O sinal de diferença $E = V_r - V_e$ é normalmente submetido a um ganho muito alto ($G_v > 10^5$) num amp op prático.)
 - (b) Se $B_v = 0$ (equivale, por exemplo, a por o terminal não-inversor no terra), qual é o valor obtido para G_{v_F} ?
 - (c) Assumindo uma alimentação simétrica $\pm V_{CC}$, quais são os valores práticos de V_s para $V_e > 0$ e para $V_e < 0$?
 - (d) Se o sinal de entrada for ruidoso (oscilando em torno de 0), o que pode acontecer com a resposta do circuito, V_s , em torno do ponto de comutação $V_r - V_e = 0V$?
2. O circuito comparador com malha aberta é muito sensível a pequenas variações na entrada. Para diminuir esta “sensibilidade”, pode-se empregar o circuito “Schmitt trigger” mostrado na figura abaixo:



Considerando a alimentação do amp op por fontes duais, V_{CC} e $-V_{CC}$,

- (a) explique o funcionamento do circuito, considerando $V_{e1} = 0$.
- (b) mostre que, para sinais crescentes V_{e2} (entrada inversora), a comutação ocorre quando

$$V_{e2}^1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{e1} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sat},$$

onde V_{sat} é o valor de tensão de saturação superior.

- (c) mostre que, para sinais decrescentes V_{e2} (entrada inversora), a comutação ocorre quando

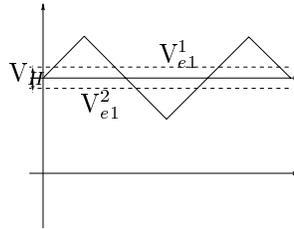
$$V_{e2}^2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{e1} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-V_{sat}),$$

onde $-V_{sat}$ é o valor de tensão de saturação inferior.

- (d) mostre que a histerese V_H , ou seja a diferença entre os dois valores nos quais ocorre a comutação, é dada por

$$V_H = (V_{e2}^1 - V_{e2}^2) = \frac{2R_2}{R_1 + R_2} (V_{sat}).$$

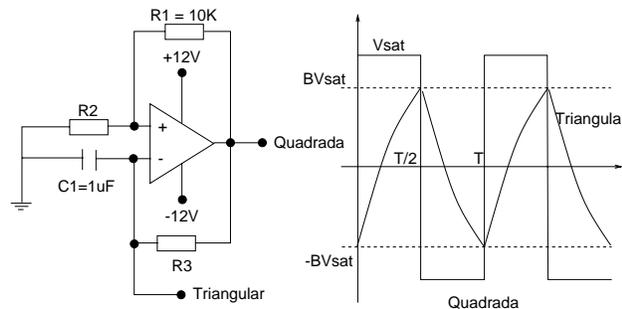
- (e) Considere $R_1=100K$. Determine o valor do resistor R_2 para ter uma janela de comparação de $3 V_{pp}$ (pico a pico centrado em zero). Assuma $|V_{cc}| = 12 V$.
- (f) Considere $R_1=100K$. Determine o valor do resistor R_2 para ter uma janela de comparação de $0.3 V_{pp}$ (pico a pico centrado em zero). Assuma $|V_{cc}| = 12 V$.
3. Aplicando uma onda triangular (V_{triang}) em V_{e2} e supondo comparação em torno de $V_{e1}=0$, com a histerese dada, esboce a forma de onda de saída do comparador.



4. Definindo o tempo de ocupação ou o ciclo de trabalho D (*duty cycle*) da onda quadrada de saída como sendo a relação percentual entre o tempo T_{ligado} do estado “ligado” para o período $T_P = T_{ligado} + T_{desligado}$, ou seja,

$$D(\%) = \frac{T_{ligado}}{T_P} \times 100\%.$$

- (a) Qual é o fator $D\%$ aproximado no item 3?
- (b) Quando $D = 50\%$?
- (c) O valor de D é maior ou menor que 50% , quando $V_{e1} > 0$? E quando $V_{e1} < 0$?
5. O seguinte circuito é um oscilador de relaxação.



- (a) Determine a fração de realimentação B_v para diferentes valores de R_2 considerando $R_1=10K$: (1) $2.5K$; (2) $5.0K$; (3) $10K$; (4) $15K$; e (5) $20K$. Qual é a tensão de histerese para cada caso?
- (b) Qual seria a forma de onda de saída “Quadrada”, se retirarmos o resistor R_1 , isto é, se não houver a realimentação positiva? E se curto-circuitarmos a saída “Quadrada” com a entrada não-inversora?

(c) A partir da expressão

$$\frac{1}{C_1} \int i(t) dt + R_3 i(t) = -V_{sat},$$

pode-se chegar à equação

$$V_{C1}(t) = V_{sat}(1 - (1 + B_v)e^{-\frac{t}{R_3 C_1}})$$

considerando $V_{C1}(0) = B_v V_{sat}$ e $V_{C1}(T/2) = -B_v V_{sat}$. Analogamente, tem-se

$$V_{C1}(t) = -V_{sat}(1 - (1 + B_v)e^{-\frac{t}{R_3 C_1}})$$

considerando $V_{C1}(0) = -B_v V_{sat}$ e $V_{C1}(T/2) = B_v V_{sat}$.

Qual é a constante de tempo para carga e descarga do capacitor C_1 ?

Qual é a amplitude do sinal triangular V_{C1} ?

(d) Mostre que o período T da onda triangular $V_{C1}(t)$ depende somente da constante de tempo $R_3 C_1$ e da fração de realimentação B_v

$$T = 2R_3 C_1 \ln \frac{1 + B_v}{1 - B_v}$$

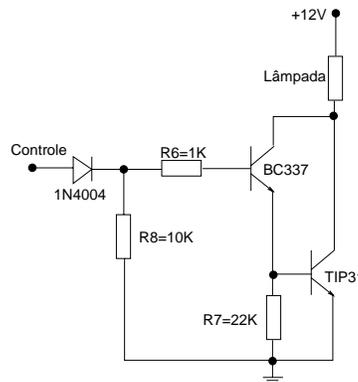
(e) A frequência de fusão crítica é a frequência abaixo da qual a visão humana média consegue perceber discontinuidades. Usualmente uma frequência igual a 80 Hz é mais que suficiente para criar a ilusão de continuidade. No cinema, por exemplo, há 24 quadros/segundo; no entanto, há um obturador que ilumina o mesmo quadro 2 vezes, dando uma frequência final de 48 fotogramas/segundo. Considere que $C_1 = 1\mu\text{F}$, $R_1 = 10\text{K}$ e $R_2 = 2\text{K}$, determine os valores do resistor R_3 de forma a gerar uma onda de frequência igual a (1) 5Hz; (2) 50Hz; e (3) 100Hz.

É possível alterar a frequência da onda através da modificação nos valores dos resistores R_1 ? Justifique.

(f) Determine os valores de R_1 e R_3 para gerar um sinal triangular de $V_{pp} = 4.0\text{V}$ e frequência em torno de 50Hz.

(g) Sintetize o princípio de funcionamento do circuito.

6. O seguinte circuito aciona uma lâmpada de baixa potência, ligando-a ou desligando-a



Qual é a função do diodo 1N4004, do transistor BC337 e do transistor TIP31? Quando a lâmpada acende e quando ela apaga?

7. Leia atentamente as propostas do experimento e fazer os esquemáticos elétricos das montagens.

3 Componentes

- 1 transistor de potência TIP31
- 1 transistor BC337
- 2 CIs 741

- 1 diodo 1N4004
- 1 lâmpada 3W, 12V
- 1 capacitor de $1\mu\text{F}$
- 1 resistor de $1\text{k}\Omega$
- 1 resistor de $2\text{k}2\Omega$
- 1 resistor de $10\text{k}\Omega$
- 1 resistor de $22\text{k}\Omega$
- 1 resistor de $100\text{k}\Omega$
- 2 *trimpots* de $22\text{ k}\Omega$
- 1 *trimpot* de $300\text{ k}\Omega$

4 Parte Experimental

Comparador Regenerativo: Monte o circuito comparador do item 2 da seção 2 com $R_1=100\text{k}$, $R_2=\textit{trimpot}$ de 22k e $|V_{CC}| = 12\text{V}$.

1. Aplique no V_{e2} uma onda triangular, $3V_{pp}$ e frequência de 100Hz , e no V_{e1} um sinal constante de nível ajustável. Empregando o osciloscópio no modo *XY*, trace as curvas de histerese para as três situações: (a) $V_{e1} = 0\text{V}$; (b) $V_{e1} = +0.5\text{ V}$ e (c) $V_{e1} = -0.5\text{ V}$. Indique nos gráficos impressos o nível de comparação e a janela de histerese.
2. Ajuste o valor de R_2 necessário para o circuito ignorar ruídos que podem atingir $3V_{pp}$ em torno de 0V .

$$\boxed{R_2 =}$$

Imprima as formas de onda de entrada triangular e de saída. Compare os resultados obtidos com os esperados.

3. Ajuste o valor de R_2 necessário para o circuito ignorar ruídos que podem atingir $0.3V_{pp}$ em torno de 0V .

$$\boxed{R_2 =}$$

Imprima as formas de onda de entrada triangular e de saída. Compare os resultados obtidos com os esperados.

Observação: Esse comparador será utilizado para gerar a onda quadrada que controla o ciclo de trabalho (*duty cycle*) da lâmpada.

Oscilador de Relaxação: Monte o circuito de oscilador do item 5 da seção 2 colocando no lugar de R_2 e R_3 um *trimpot* de $22\text{K}\Omega$ e um de $300\text{K}\Omega$, respectivamente.

1. Ajuste R_2 em 10K. Meça

$V_{sat} =$

$B_v =$

Ajuste R_3 para obter sinais com frequência 5Hz

$R_3 =$

e para sinais com frequência 50Hz

$R_3 =$

Imprima as formas de onda quadrada e triangular para cada caso. Compare os valores obtidos com os esperados, em termos da amplitude e da frequência.

Imprima os sinais no terminal não-inversor e no terminal inversor para os dois casos. Explique a forma do sinal de saída “Quadrada” em função destes dois sinais de entrada.

2. Ajuste R_3 de forma que a frequência dos sinais seja 100Hz. Varie o valor da resistência de *trimpot* R_2 e complete a seguinte tabela

R_2 (k Ω)	B_v	Amplitude	Frequência
2.5			
5.0			
10.0			
15.0			
20.0			

Compare os resultados obtidos com os esperados.

3. Ajuste R_2 e R_3 para gerar um sinal triangular de $V_{pp} = 4.0V$ e frequência em torno de 50Hz,

$R_2 =$

$R_3 =$

Imprima o sinal obtido. O resultado obtido condiz com o esperado? Justifique.

4. Aplique o sinal triangular do item anterior no terminal não-inversor do comparador regenerativo com uma histerese de 0.3V e um sinal *cc* no terminal inversor. Ajuste o nível desta tensão *cc* para que o *duty cycle* seja 20%

$$V_{e1} =$$

e 85%

$$V_{e1} =$$

Imprima os sinais triangular (entrada) e quadrado (saída). Indique nos gráficos dos sinais triangulares os pontos de comutação. Qual é a relação entre estes pontos e a forma da onda quadrada?

Circuito de Acionamento de Lâmpada: Monte o circuito de acionamento da lâmpada do item 6 da seção 2 e conecte a sua entrada à saída do comparador regenerativo.

1. Varie o valor de V_{e1} de forma que a lâmpada fique “apagada” e fique com uma intensidade “alta”

$$\text{Lâmpada se apaga com } V_{e1} =$$

$$\text{A intensidade fica forte com } V_{e1} =$$

2. Varie a resistência do *trimpot* R_3 até que a lâmpada comece a “pisca” e registre o valor da resistência e a frequência.

$$R_3 =$$

$$\text{frequência} =$$