

EE531 - TURMA S

---

## Amplificador operacional com realimentação negativa

*Laboratório de Eletrônica Básica V - Segundo Semestre de 2010*

---

PROFESSOR: JOSÉ CÂNDIDO SILVEIRA SANTOS FILHO

DANIEL LINS MATTOS	RA: 059915
RAQUEL MAYUMI KAWAMOTO	RA: 086003
TIAGO CHEDRAOUI SILVA	RA: 082941

*1 de outubro de 2010*

Este experimento visa o estudo do amplificador operacional em circuito integrado LM741, que é um dos amplificadores comerciais mais populares. Um desenho da função de cada pino do integrado é apresentado na figura 1 e sua descrição é apresentada na tabela a seguir:

Tabela 1: Descrição dos pinos de um LM741

Pino	Descrição
1 e 5	Offset - Os pinos 1 e 5 costumam ser conectados a um resitor variável, juntamente com a entrada negativa da alimentação, buscando equilibrar as tensões da entrada.
2	Entrada inversora do amplificador ( $V_-$ )
3	Entrada não inversora do amplificador ( $V_+$ )
4	Alimentação Negativa ( $V_{s-}$ )
6	Tensão de saída
7	Alimentação positiva ( $V_{s+}$ )
8	Não conectado

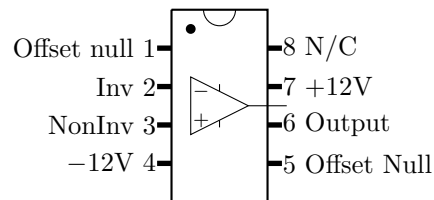


Figura 1: Pinos de saída de um 741

Assim como nos demais experimentos anteriores, foi utilizado o protoboard para a montagem dos circuitos. E os principais componentes utilizados foram dois CI LM741, um trimpot 20 voltas de  $10k\Omega$  e resistores de  $1k\Omega$ ,  $10k\Omega$ ,  $20k\Omega$  e  $200k\Omega$ .

## Parte experimental

### 3.1

Inicialmente, o circuito da figura 2 é montado e é aplicado um sinal senoidal na entrada cuja amplitude é a menor possível e sua frequência vale 100 Hz. A partir dessa configuração, o gráfico representando a saída é apresentado na figura 3.

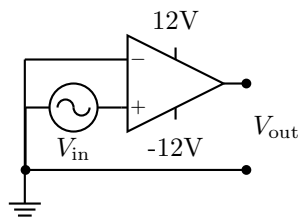


Figura 2: Amplificador operacional em malha aberta

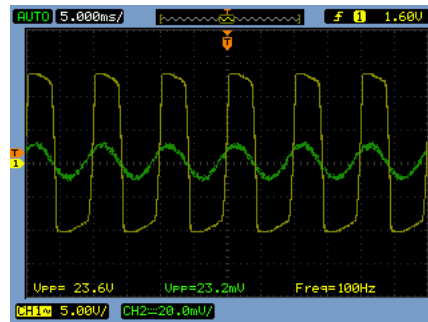


Figura 3: Onda de saída do circuito da figura 2

É possível concluir, observando as curvas de saída, que no amplificador operacional a tensão de saída fica limitada ao intervalo de -12 V a +12 V. Isso já era esperado. Esse fato leva a uma onda praticamente quadrada na saída, para um ganho  $A$  muito elevado. No caso da nossa equipe, isso não ocorreu perfeitamente, provavelmente devido a desbalanceamentos no AMP-OP, ou problemas na montagem do circuito.

### 3.3

$$\begin{aligned}
 V_+ &= V_{in} \\
 V_- &= BV_{out} \\
 V_{out} &= A(V_+ - V_-) \\
 &= A(V_{in} - BV_{out}) \\
 &= AV_{in} - ABV_{out} \\
 (1 + AB)V_{out} &= AV_{in} \\
 \frac{V_{out}}{V_{in}} &= \frac{A}{1 + AB} \tag{1}
 \end{aligned}$$

Ganho de malha fechada  $A_f$

$$\lim_{A \rightarrow \infty} A_f = \lim_{A \rightarrow \infty} \frac{A}{1 + AB} = \frac{1}{B} \tag{2}$$

Ou seja, para valores elevados de A, o ganho de malha fechada  $A_f$  é facilmente controlável pelo fator de realimentação B. Para  $B > 1$ ,  $A_f < A$ . Quer dizer, o ganho de malha fechada pode ser feito menor que o ganho de malha aberta.

### 3.4

$$\begin{aligned}
 V_- &= BV_{out} = V_{out} \rightarrow B = 1 \\
 A_f = A_v &= \frac{A}{1 + A.1} \approx 1 \quad \text{para } A \gg 1
 \end{aligned}$$

Ou seja, é um Buffer.

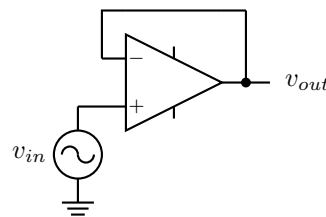


Figura 4: Circuito Buffer

### 3.5

Posteriormente, o circuito da figura 4 é montado e, na entrada, é aplicado um sinal senoidal. Utilizando o modo X-Y do osciloscópio, o gráfico da figura 5 é obtido.

Do gráfico obtemos um ganho  $\frac{V_{out}}{V_{in}} \approx 1$ , já que para cada volt aumentado na saída, sua entrada também aumenta em um volt. Porém, se a entrada aumentar consideravelmente, a saída deve-se saturar em 12 Volts, perdendo, portanto, a linearidade do gráfico, que para valores de entrada maiores apresentará uma saída constante igual a 12 volts e para valores menores uma saída constante a -12 Volts.

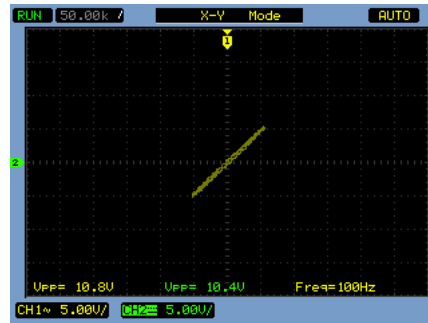


Figura 5: Função de transferência  $V_{in} \times V_{out}$

### 3.6

O valor experimental do Slew Rate é aproximadamente 0,88 V/us, sendo que o valor típico do SR para um amplificador LM741A é de 0,7 V/us. O valor é satisfatoriamente próximo daquele fornecido pelo fabricante no data sheet do componente.

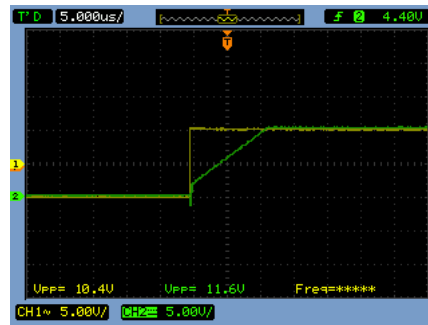


Figura 6:

### 3.7

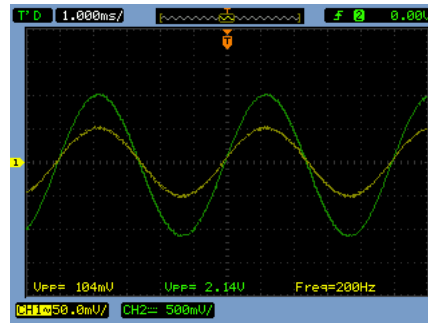


Figura 7:

### 3.8

Justificativa para  $R = R_1 \parallel R_2$

As correntes de polarização nas entradas inversora e não-inversora do AMP-OP geram uma queda de tensão nas extremidades dos componentes do circuito, criando assim uma tensão de offset.

Se a resistência vista da entrada inversora for a mesma que a da entrada não-inversora, a queda de tensão será a mesma nessas duas extremidades, teoricamente eliminando o offset. A resistência vista da entrada inversora é  $R_1 \parallel R_2$ , portanto escolhe-se esse valor para R.

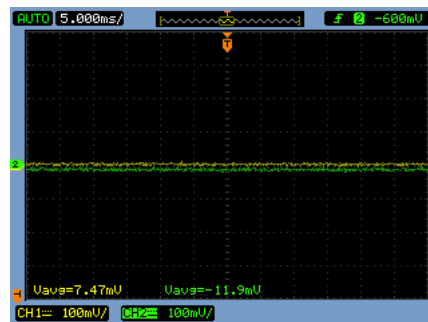


Figura 8:

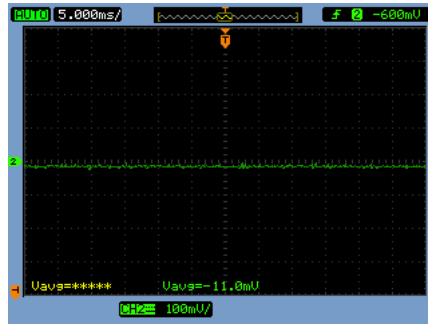


Figura 9:

### 3.9

Para minimizar o offset devido ao desbalanceamento interno do amplificador operacional, é adicionado o potenciômetro ao circuito, resultando no circuito da figura 10.

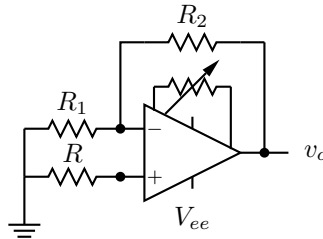


Figura 10: Ajuste de offset

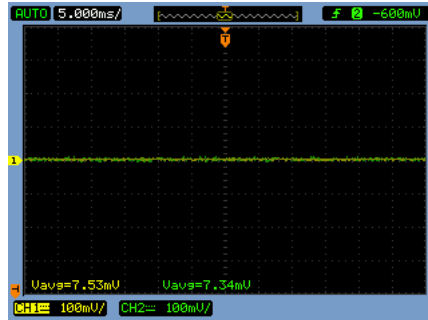


Figura 11:

### 3.10

Um circuito inversor.... Assim, para confirmar seu funcionamento, foi projetado um circuito inversor com ganho -10, conforme a figura 12. Como  $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R_2}{R_1} = -10$ , escolheu-se, dentre os resistores fornecidos para o experimento, os valores de  $R_1 = 1k\Omega$  e  $R_2 = 10k\Omega$ .

As ondas de entrada e saída são apresentadas no gráfico da figura 13, através das quais é possível ver que existe um aumento de -10, já que as fases entre saída e entrada estão diferindo em 180 graus e os valores pico a pico da saída são 10 vezes maior que o valores de entrada.

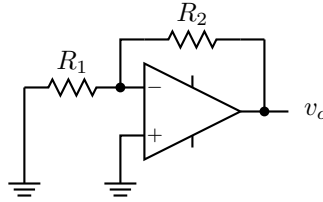


Figura 12: Amplificador inversor

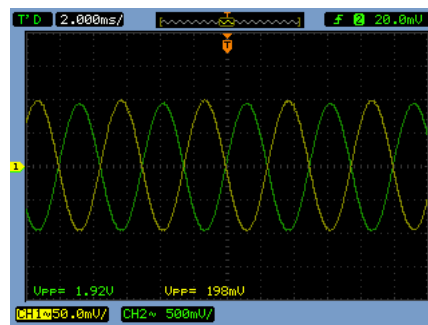


Figura 13: Ondas de entrada e saída do circuito da figura

### 3.11

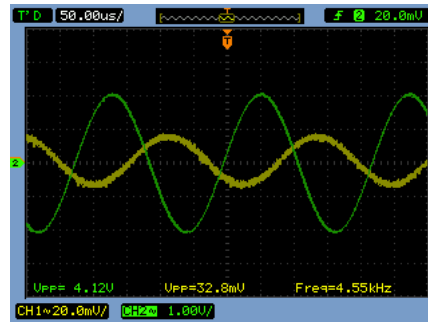


Figura 14: