

# Laboratório 8 - Amplificadores Operacionais (AmpOp)

Larissa Kelmer de Menezes Silva  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
lariskelmer@gmail.com

Rychardson Ribeiro de Souza  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
rychard.ribeiro.souza@hotmail.com

Andres Ortiz Salazar  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
andres@dca.ufrn.br

## I. INTRODUÇÃO

Nesse sentido, o presente relatório objetiva abordar sobre o conteúdo discutido na disciplina que motiva este projeto, “DCA0213.0 – Eletrônica – Laboratório”, sob orientação do professor Dr. Andres Ortiz Salazar. O foco, aqui, é fazer um estudo aplicado do funcionamento dos amplificadores operacionais em circuitos analógicos. O método utilizado para tanto será o software de simulação gráfica LTspice, da empresa Analog Devices, que permite a simulação e análise de circuitos analógicos.

## II. ABORDAGEM TEÓRICA

O amplificador operacional (AmpOp) é um amplificador multiestágio com entrada diferencial, possuindo um ganho e impedância de entrada muito alto, mas com baixa impedância de saída, trabalhando tanto em tensão contínua, como também em tensão alternada.

As principais aplicações dos amplificadores operacionais são na realização de operações matemáticas, como soma, multiplicação, integração, quando estiver operando na região ativa.

Existem vários tipos de amplificadores, mas neste relatório, o modo diferencial e o modo comum serão os dois tipos que serão abordados.

No modo diferencial, tanto a entrada não inversora, como a entrada inversora, são utilizadas simultaneamente, onde cada entrada recebe alimentação de uma fonte, essa

configuração é chamada de terminação dupla, que para qualquer entrada, irá gerar duas saídas nos terminais, com polaridades opostas. Vale mencionar que, nos circuitos diferenciais, os sinais opostos na entrada são altamente amplificados.

No modo comum, temos um mesmo sinal que será aplicado a ambas as entradas, resultando em uma saída com sinais opostos, e portanto, se cancelando, em um caso de um amplificador ideal, o resultado esperado é uma saída de 0V. Nos circuitos em modo comum, os sinais são pouco amplificados, tendo um ganho bem menor do que no modo diferencial.

## III. EXPERIMENTOS

Para a primeira parte do experimento, devemos montar no simulador o circuito fornecido para um amplificador de instrumentação, assim como encontrar o ganho para modo diferencial e comum, com um  $V_p = 10\text{mV}$  e uma frequência de 1kHz a fim de fazer comparações entre os resultados teóricos e simulados. Também será necessário calcular o valor CMRR e analisar o comportamento do ganho do circuito para diferentes valores do potenciômetro R8.

No segundo experimento, teremos um circuito gerador de onda quadrada, que precisaremos montar o circuito no simulador, para verificar o sinal de saída com o osciloscópio, anotando a forma de onda, observando sua amplitude e frequência. Devemos determinar o ciclo de trabalho, comparando com os resultados teóricos e o tempo máximo e mínimo para POT02, assim

como a frequência máxima e mínima para POT01.

#### IV. RESULTADOS

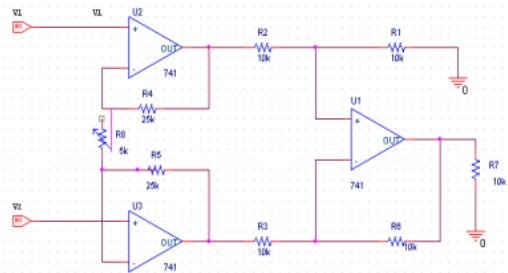


Figura 1 - Circuito Amplificador de Instrumentação fornecido para parte I

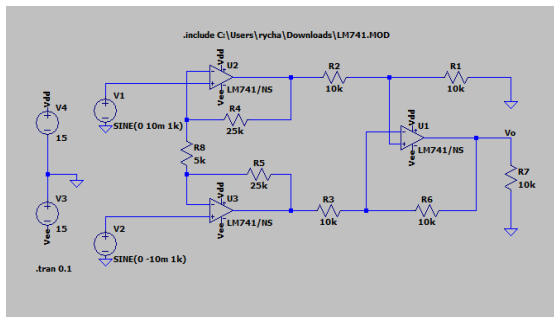


Figura 2 - Circuito diferencial montado no LTspice

Para calcularmos o ganho teórico diferencial, usaremos a seguinte relação:

$$A_D = (R_1/R_2)(1+2(R_4/R_8)) \quad (1)$$

$$A_D = (10k/10k)[1+2(25k/5k)]$$

$$A_D = 11$$

Para encontrarmos  $V_o$  teórico:

$$V_o = (A_D)(V_D) \quad (2)$$

$$V_o = 11(V_2 - V_1) = 11(10mV - (-10mV)) = 220$$

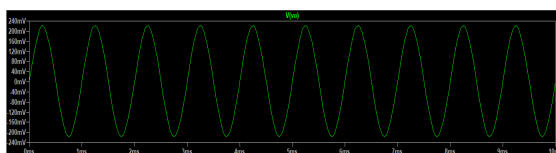


Figura 3 - Ganho diferencial no amplificador de instrumentação para  $R_8 = 5k\Omega$

Como podemos reparar na figura 3, o ganho diferencial experimentalmente ( $V_o$ ) ficou em torno de 220mV, o que coincide com o calculado teoricamente em (2).

Sabendo que o ganho comum é cerca de 10 vezes menor que o ganho diferencial, teoricamente temos:

$$A_{CM} = A_D / 10 \quad (3)$$

$$A_{CM} = 11 / 10 = 1.1$$

Na figura 4 podemos observar que o valor da saída  $V_o$  é muito baixo, atingindo um pico de 2.44mV, com isso o ganho simulado em modo comum será:

$$A_{CM} = 2.44mV / 10mV = 0.244$$

Desta forma, tanto o ganho simulado, como o teórico, apesar de apresentar uma certa variação, mantém-se o padrão de um baixo ganho para o modo comum.

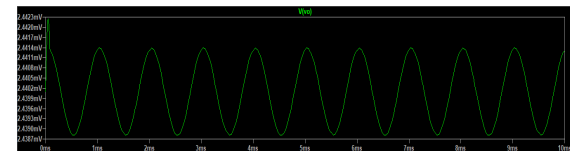


Figura 4 - Ganho comum no amplificador de instrumentação

$$CMRR = A_D / A_{CM}$$

$$CMRR = 11 / 0.244 = 45.08$$

A seguir, iremos analisar o ganho do circuito diferencial para diferentes valores de  $R_8$ .

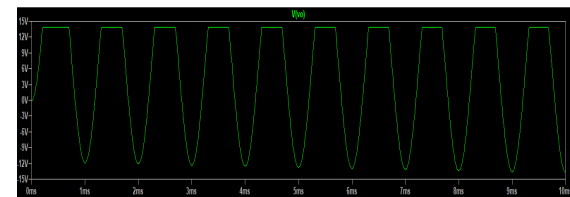


Figura 5 - Ganho no amplificador de instrumentação para  $R_8 = 0\Omega$

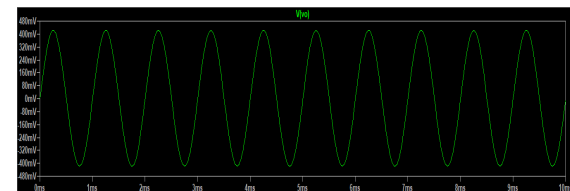


Figura 6 - Ganho no amplificador de instrumentação para  $R_8 = 2.5k\Omega$

Com a análise das figuras 3, 5 e 6, nota-se que a medida que diminuimos a resistência do potenciômetro, o ganho

aumenta, ao ponto que quando este valor atingir  $0\Omega$ , será o ponto de saturação, onde o circuito se limitará ao valor da fonte, devido a isso na figura 5, o pico atingido é de cerca de 14V.

Para o segundo experimento, inicialmente será montado um circuito gerador de onda quadrada, de acordo com o fornecido na figura 6.

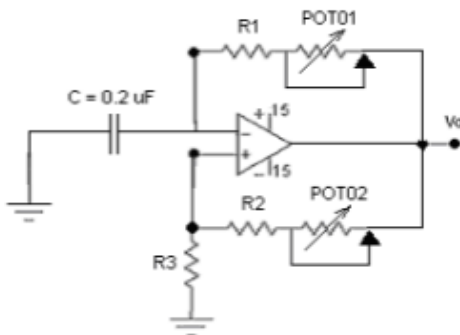


Figura 6 - Gerador de onda quadrada fornecido para a parte II

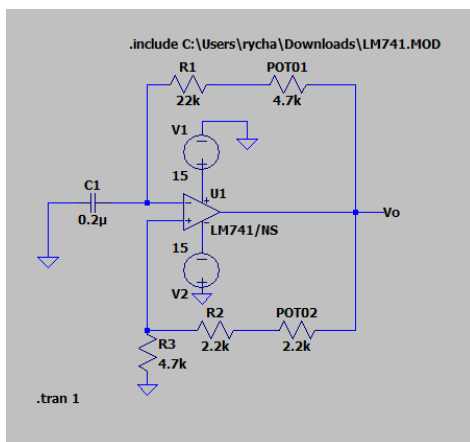


Figura 7 - Circuito montado no LTspice

Utilizando o circuito da figura 7, podemos verificar nossa amplitude e frequência, na figura 8 é possível perceber uma valor de 13.88V para amplitude, onde a tensão de saída esperada é a de saturação, portanto, é um valor esperado, já que a fonte fornece 15V.

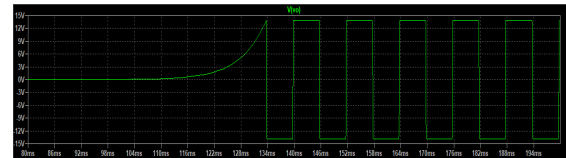


Figura 8 - Saída para o gerador de onda quadrada

Para a frequência, é possível verificarmos no simulador, na figura 8, que o período é de 12ms, desta forma, sabendo que a frequência é o inverso do período,  $F = 1/12\text{ms}$ , encontraremos uma frequência de 83.33Hz para o circuito da figura 7.

É perceptível também na figura 8 o ciclo de trabalho deste circuito, sabendo que teoricamente este ciclo está relacionado com o tempo de carga e descarga do capacitor, com a análise gráfica do período de 12ms, percebe-se que o trabalho só irá ocorrer na metade dele.

Por fim, irá se verificar o período máximo e mínimo para POT02, e a frequência máxima e mínima para POT01. Para tal, será necessário fazer uma variação do resistor R2 para analisar POT02 e o resistor R1 para analisar POT01.

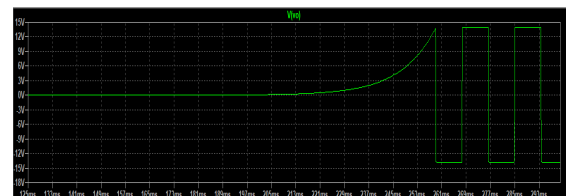


Figura 9 - Período máximo e mínimo para POT 02 =  $0\Omega$

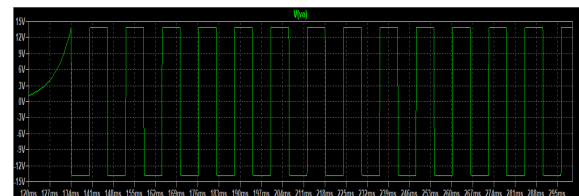


Figura 10 - Período máximo e mínimo para POT 02 =  $2.2k\Omega$

Com a análise das figuras 9 e 10, pode-se montar a tabela a seguir com o tempo, sendo possível notar que quanto maior a resistência, menor o período.

POT 02	TEMPO
0 $\Omega$	T(+) e T(-) = 17ms
2.2k $\Omega$	T(+) e T(-) = 12ms

Tabela 1 - Período para diferentes POT 02

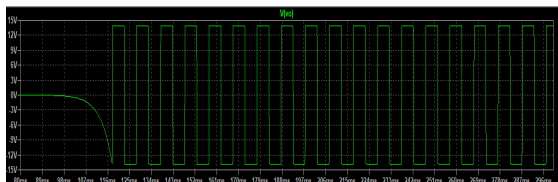


Figura 11 - Período máximo e mínimo para POT 01 = 0 $\Omega$

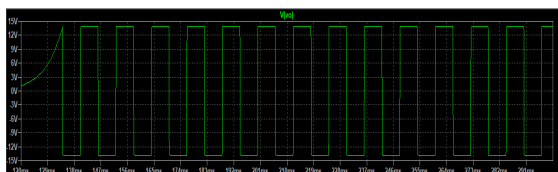


Figura 12 - Período máxima e mínimo para POT 01 = 4.7k $\Omega$

Pelas figuras 11 e 12, percebe-se que quanto menor a resistência, menor será o período e maior a frequência, no primeiro caso, encontrou-se um período de 10ms, para o segundo caso, um período de 12ms, neste último, leva ao caso da frequência determinada na análise da figura 8, feita anteriormente neste experimento.

POT 01	FREQUÊNCIA
0 $\Omega$	100Hz - Máxima
4.7k $\Omega$	83.33Hz - Mínima

Tabela 2 - Frequência para diferentes POT 01

## V. CONCLUSÕES

No primeiro experimento, notou-se a importância da manipulação dos componentes num circuito com amplificador, em que certas alterações, podem levar o ganho a aumentar significativamente e vice-versa, servindo para exemplificar os conhecimentos expostos em sala de aula. Os resultados teóricos e simulados obtidos, foram bem próximos, assim, condizente com a teoria.

Para o segundo experimento, as simulações serviram para mostrar a importância de uma boa projeção dos resistores para atender a um comportamento desejado.

Portanto, a realização dessa prática laboratorial, provou a aplicação da teoria apresentada em sala, auxiliando na compreensão do comportamento desses componentes nos circuitos analógicos.

## VI. REFERÊNCIAS

- [1] BOYLESTAD, Roberto. Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos. PHB, Rio de Janeiro, 1999
- [2] Amplificador Operacional. Disponível em [electronica-pt.com/amplificadores-operacionais-ampop](http://electronica-pt.com/amplificadores-operacionais-ampop)
- [3] Amplificadores operacionais. Disponível [pucsp.br/~elo2eng/Aula\\_01\\_DCE4\\_2014\\_11a.pdf](http://pucsp.br/~elo2eng/Aula_01_DCE4_2014_11a.pdf)