

# Laboratório 7 - Amplificadores Operacionais

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 multistágio 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 apresentar algumas equações úteis para os cálculos teóricos deste relatório, assim como fazer comparações entre resultados teóricos e simulados, verificando o ganho de tensão e simulando o comportamento do circuito para o caso em que não tivermos o resistor de realimentação ( $R_f$ ).

No segundo experimento, teremos dois circuitos, um em modo diferencial e outro em modo comum, que precisaremos determinar o ganho para as diferentes configurações, comparando os resultados teóricos e simulados, assim como medir o comportamento da largura de banda para o circuito diferencial.

#### IV. RESULTADOS

Para os dois itens iniciais do primeiro experimento, será utilizado o circuito da figura 1 para a resolução.

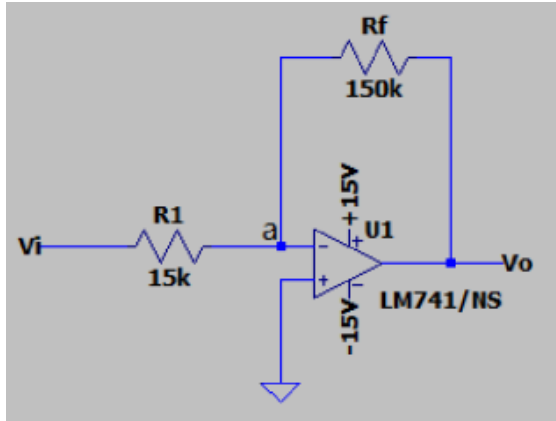


Figura 1 - Circuito fornecido para os dois primeiros itens do primeiro experimento

Inicialmente, devemos definir as equações que precisamos para o início do nosso experimento, que serão:

Ganho de tensão em malha fechada:

$$A_{vf} = -(R_f / R_i) \quad (1)$$

Impedância de entrada Zi:

$$Z_{if} = R_i \quad (2)$$

Impedância de saída Zo:

$$Z_{of} = R_o / (1 + B \cdot A_{vo}) \quad (3)$$

Em posse dessas equações, podemos fazer o cálculo para os valores do circuito fornecido na figura 1.

Com a equação descrita em (1), temos:

$$A_{vf} = -(150k\Omega / 15k\Omega) = -10$$

Na impedância de entrada:  $Z_{if} = 15k\Omega$

Para calcularmos a impedância de saída, primeiramente devemos calcular o  $\beta$ :

$$\beta = (R_i) / (R_i + R_f) \quad (4)$$

$$\beta = (15k\Omega) / (15k\Omega + 150k\Omega) = 0.0909$$

Verificando o datasheet para consultar os valores de  $R_o$ ,  $A_{vo}$  e substituindo em (3):  
 $Z_{of} = 75\Omega / (1 + 0.0909 \cdot 200000) = 4.13m\Omega$

A seguir, montou-se um novo circuito para responder os itens restantes do primeiro experimento.

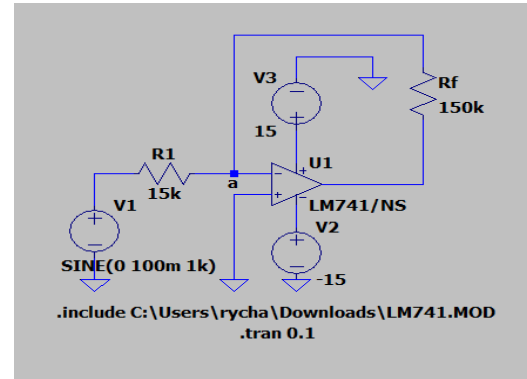


Figura 2 - Circuito montado no LTSpice

Utilizando o circuito montado na figura 2, podemos verificar a tensão no ponto “a”, onde teoricamente deveríamos ter um valor de 0V, devido ao curto virtual, mas isso para um caso ideal, como podemos verificar na figura 3, o valor está atingindo um pico 2.0mV, portanto, sendo bem baixo e condizente com o esperado.

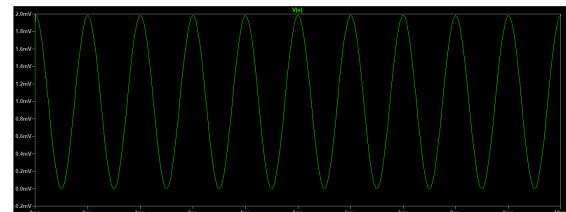


Figura 3 - Tensão no ponto “a”

Como podemos verificar na figura 4, a entrada foi amplificada em -10 vezes, já que a fonte fornece 100mV e a saída nos retorna 1V. O sinal apresenta uma defasagem de 180 graus, porque a fonte está ligada à entrada inversora.

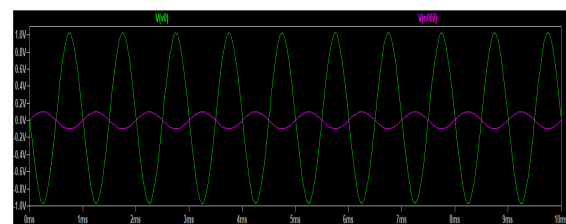


Figura 4 - Tensão de entrada e saída

Ao retirarmos o resistor de realimentação  $R_f$ , o circuito ficará aberto e terá um ganho infinito, definido pela equação:

$$A_{vf} = -(\infty / R_i) = -\infty \quad (5)$$

Na figura 5 podemos analisar que o ganho se limita a fonte, por isso vai de -15V a 15V.

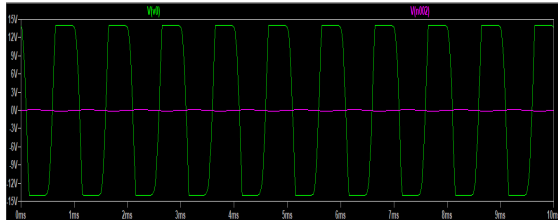


Figura 5 - Circuito sem o resistor  $R_f$

Para a segunda parte do experimento, de início montaremos os dois circuitos solicitados, em modo diferencial e modo comum, representados respectivamente nas figuras 6 e 7.

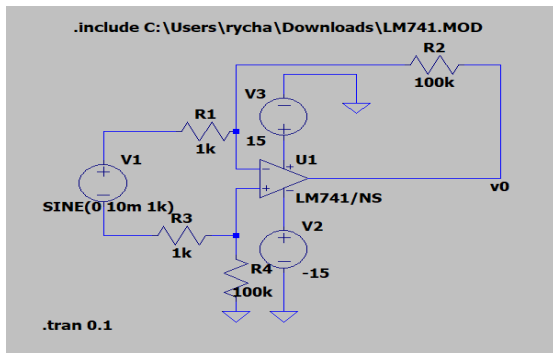


Figura 6 - Circuito em modo diferencial

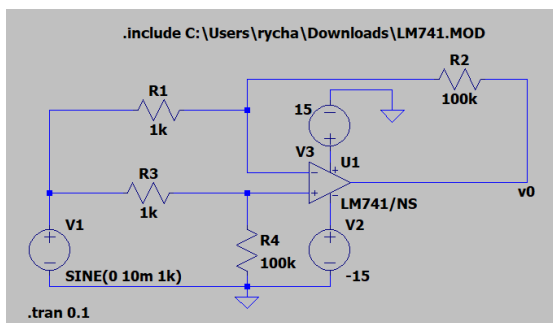


Figura 7 - Circuito em modo comum

As figuras 8 e 9 irão ilustrar o ganho determinado experimentalmente, para o modo diferencial ( $A_D$ ) e para o modo comum ( $A_{CM}$ ), respectivamente. No modo diferencial,

verificou-se que o ganho foi de 100 vezes a entrada de 10mV, gerando uma saída de 1V.

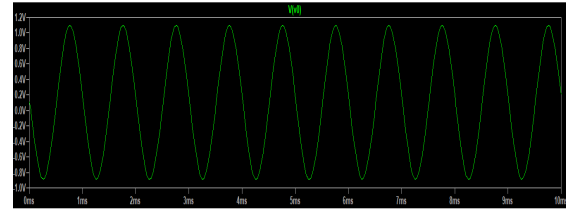


Figura 8 - Ganho no modo diferencial

Para o modo comum, seu resultado deveria ser 0, mas por não ser um amplificador ideal, houve uma divergência, apresentando um valor acima disso, porém muito baixo, vale ressaltar que o ganho diferencial é 10 vezes maior que o ganho comum, portanto, está condizente com os resultados simulados.

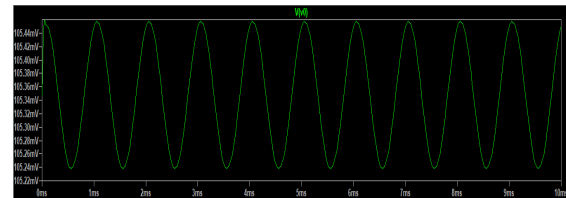


Figura 9 - Ganho no modo comum

No cálculo teórico para o ganho diferencial, será utilizado as equações:

$$V_o = (R_2 / R_i) V_p \quad (6)$$

$$V_o = (100k / 1k) 10m$$

$$V_o = 1V$$

$$A_D = V_o / V_D \quad (7)$$

Substituindo (6) em (7), temos que o ganho diferencial será:

$$A_D = 1V / 10m = 100$$

No ganho comum, usaremos:

$$A_{CM} = V_o / V_c \quad (8)$$

$$A_{CM} = 105m / 10m$$

$$A_{CM} = 10.5$$

Desta forma, coincidindo os resultados teóricos e simulados.

$$C_{MRR} = A_D / A_C \quad (9)$$

$$C_{MRR} = 110 / 10.5 = 10.476$$

Para finalizar esse experimento, precisamos determinar a largura de banda com frequência inicial de 1kHz para o circuito no modo diferencial, desta forma, nosso circuito ficará com a seguinte configuração:

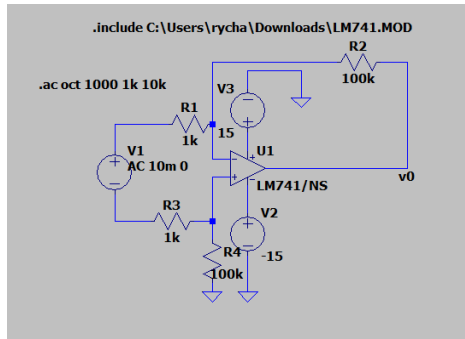


Figura 10 - Circuito para largura de banda

Com isso, podemos verificar a largura de banda na figura 11.

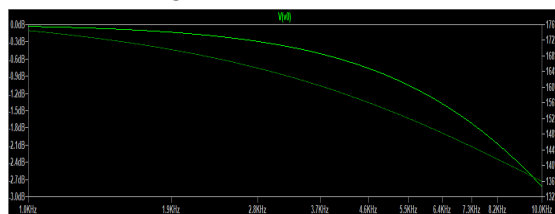


Figura 11 - Largura de banda

No circuito da figura 10, foi utilizado uma frequência máxima de 10kHz, durante a análise, foi-se testado frequências máximas superiores, porém, o comportamento das curvas do gráfico para a largura de banda, permaneceram bem semelhantes, isso se dá porque devido ao sinal de realimentação, a amplificação dentro da faixa se manterá sem distorção, ou seja, estável.

## V. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste relatório, percebeu-se que os amplificadores operacionais tem diversas aplicações, seja com tensão contínua, ou alternada. Observou-se que os resultados obtidos experimentalmente e teoricamente, são bastante próximos, não sendo iguais devido ao uso de um amplificador não ideal durante as simulações.

Para o caso do modo diferencial, provou-se uma característica importante dos

amplificadores, o alto ganho, um pequeno sinal de entrada gerou uma saída bem maior, que remete a multiplicação em sinais analógicos. O modo comum também provou-se esperado de acordo com a teoria, possuindo um ganho próximo de 0V.

Por fim, com todos os resultados desta prática laboratorial, é possível afirmarmos que os amplificadores operacionais podem atuar no controle de ganhos, na amplificação e nas operações lineares.

## VI. REFERÊNCIAS

- [1] BOYLESTAD, Roberto. Dispositivos eletronicos e teroria de circuitos. PHB, Rio de Janeiro, 1999
- [2] LM741Datasheet - Intersil Corporation. Disponível em [pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/66375/INTERSIL/LM741.html](http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/66375/INTERSIL/LM741.html)
- [3] Amplificador Operacional. Disponível em [electronica-pt.com/amplificadores-operacionais-ampop](http://electronica-pt.com/amplificadores-operacionais-ampop)
- [4] Amplificadores operacionais. Disponível [pucsp.br/~elo2eng/Aula\\_01\\_DCE4\\_2014\\_11a.pdf](http://pucsp.br/~elo2eng/Aula_01_DCE4_2014_11a.pdf)