

Sobre o Curso

É um curso teórico e prático básico sobre um componente muito usados na eletrônica, o Amplificador Operacional (AO ou AmpOp). O conteúdo, está simplificado, porém suficiente para compreender os experimentos. Todas as experiências são feitas em uma matriz de pontos (protoboard) com ilustrações que permitem que sejam executadas mesmo para iniciantes. Recomenda-se ter conhecimentos básicos em eletricidade e eletrônica. Todas os circuitos podem ser montados na Matriz de Pontos. Além do experimento real você pode executar uma simulação, para isso existem links para dois tipos de simuladores. Para usufruir melhor do conteúdo, abra uma conta no [Tinkercad](#) (é grátis, basta e-mail e senha) e [Multisim On Line](#)

Sobre o autor

Formado em Engenharia Elétrica pela EEM (Escola de Engenharia Mauá - São Caetano do Sul -SP) em 1977. Implantou a Fatec (Faculdade de Tecnologia) de São Bernardo do Campo e foi diretor de 2005 a 2010. Atualmente é professor.

Foi professor na Faculdade de Tecnologia do Centro Universitário UNI A de Santo André - SP de 1986 a 2011

Foi professor na ETI Lauro Gomes de 1976 a 2004.

Participou do projeto do curso de Eletrônica Modalidade Autotronica da Fatec de Santo André.

É autor dos seguintes livros, todos publicados pela Editora Érica:

Análise de Circuitos em Corrente Contínua

Análise de Circuitos em Corrente Alternada

Circuitos em Corrente Alternada (fora do catálogo)

Análise e Simulação de Circuitos no Computador - EWB5 (fora do catálogo)

Análise e Simulação de Circuitos no Computador - MultiSIM2001 (fora do catálogo)

Utilizando Eletrônica com AO, SCR, TRIAC, UJT, PUT, CI 555, LDR, LED, FET, IGBT

Mestre pela Escola Politécnica da USP onde defendeu a dissertação

"INTEGRAÇÃO DE FERRAMENTAS DE AUXÍLIO AO PROJETO DE CIRCUITOS INTEGRADOS PARA O ENSINO DA MICROELETRÔNICA"

na Escola Politécnica da USP (Universidade de São Paulo), obtendo o grau de Mestre – Orientador Prof. Dr. Antônio Carlos Seabra .

Construiu e mantém o Site ELETRÔNICA24H no endereço

www.eletronica24h.net.br

Sugestões serão bem aceitas envie-as para romulo.oliveira@gmail.com

Amplificador Operacional Teoria Prática e Simulação

Experiência 01: Amplificador Operacional em Malha Aberta.....	03
Experiência 02: Amplificador Inversor.....	18
Experiência 03: Amplificador Não Inversor.....	24
Experiência 04: Buffer ou Seguidor de Tensão.....	29
Experiência 05: Amplificador Somador.....	20
Experiência 06: Amplificador Diferencial Circuito Subtrator.....	26
Experiência 07: Comparadores de zero.....	33
Experiência 08: Comparador de nível.....	38
Experiência 09: Detetor de luz.....	42
Experiência 10: Alarme com AO SCR e LDR.....	45

Experiência 01: Amplificador Operacional em Malha Aberta

Objetivos

1. Verificar o comportamento de um AO Amplificador Operacional em malha aberta;
2. Medir a saída saturada positiva e negativa.

Material Usado

2 Baterias de 9 V com [terminais](#)
1 [Multímetro digital](#)
1 Matriz de pontos
2 pilhas AA [com suporte](#)
1 [Amplificador Operacional 741](#)
Cabos ([jumpers](#)) para conexão

Introdução Teórica

O amplificador operacional (AO) é um dispositivo em circuito integrado (CI) de grandes aplicações em praticamente todas as áreas da eletrônica. Para o estudo do mesmo é usado o modelo (circuito equivalente) mostrado na Figura 1b, o qual é adequado para a maioria das aplicações. A Figura 1^a mostra o símbolo do AO e a Figura 1b o circuito equivalente simplificado.

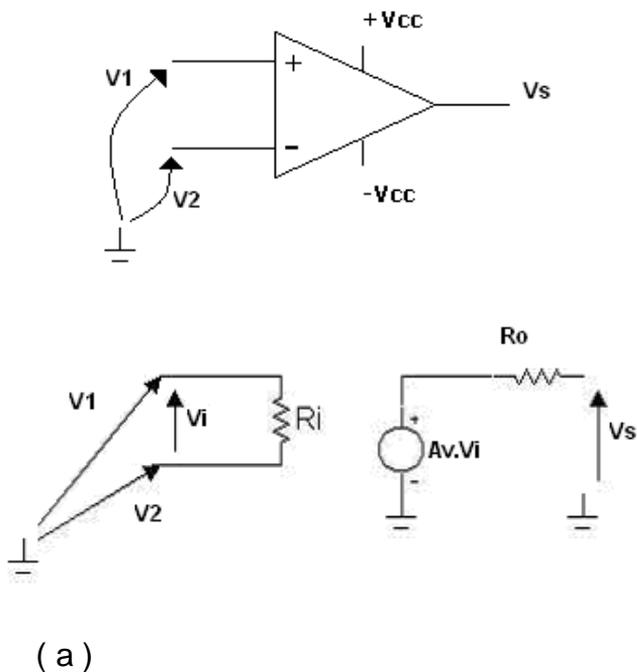


Figura 1 – Amplificador operacional – Símbolo e circuito equivalente

Na Figura 1, V_1 é a tensão aplicada na entrada não inversora (+) e V_2 a tensão aplicada na entrada inversora (-).

$V_i = V_1 - V_2$ é o sinal erro ou sinal diferença

R_i é a resistência de entrada sem realimentação

R_o é a resistência de saída sem realimentação

A_v é o ganho de tensão em malha aberta (ganho sem realimentação)

$+V_{cc}$ é o valor da fonte positiva e $-V_{cc}$ é a fonte negativa sendo conhecidas como fonte simétrica.

Sem *nenhuma carga* ligada na saída,

$$V_S = A_v \cdot V_i = A_v \cdot (V_1 - V_2),$$

isto é, o AO pode ser considerado basicamente como um amplificador diferencial, pois a saída responde somente à diferença entre as duas tensões de entrada, se $V_1 = V_2$ então $V_S = 0$.

O Amplificador Operacional Ideal

Um AO idealmente deveria ter as seguintes características:

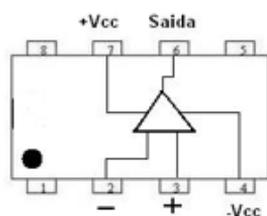
- a) Resistência de entrada infinita
- b) Resistência de saída nula
- c) Ganho de tensão em malha aberta infinito
- d) Largura de faixa infinito (LF)
- e) Ausência de *offset* na saída ($V_S = 0$ se $V_1 = V_2$)
- f) *Slew rate* infinito

Na prática, considerando o AO 741, os valores valem aproximadamente:

- a) $R_o = 75 \Omega$
- b) $R_i = 1 \text{ M}\Omega$
- c) $A_v = 100.000$

- d) $LF = 8 \text{ Hz}$
- e) $V_{io} = 2 \text{ mV}$
- f) $SR = 0,7 \text{ V}/\mu\text{s}$

Existem vários tipos de amplificadores operacionais, um para cada tipo de aplicação, o AO mais simples e mais conhecido é o 741, o qual pode ter dois tipos de encapsulamento, o DIP (Dual In Line Package) e o TO-99, sendo o DIP de 8 pinos o mais usual, Figura 2.



(a)



(b)

Figura 2 – AO 741 (a) Pinagem (b) Encapsulamento DIP (*Dual In Line Package*)

Pinagem do 741

1. Ajuste de offset
2. Entrada Inversora
3. Entrada Não Inversora
4. -VCC
5. Ajuste de offset
6. Saída
7. +VCC
8. NC (Não conectado)

Amplificador Operacional em Malha Aberta

Malha aberta significa que não existe realimentação (saída conectada com uma das entradas), nessa condição a tensão na saída é dada por:

$$V_s = A_v \cdot (V_+ - V_-) = A_v \cdot (V_1 - V_2)$$

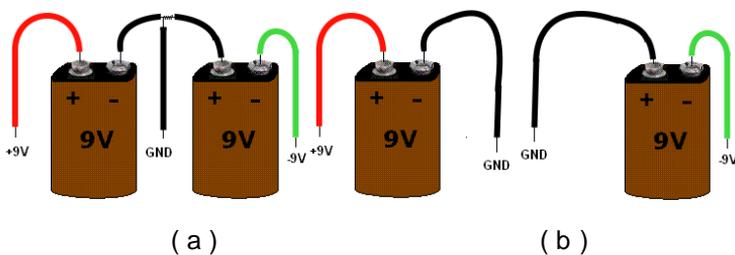
Como o valor do ganho em malha aberta (A_v) é muito alto (tipicamente igual a 200.000) para aplicação como amplificador é necessário aplicar realimentação negativa entre a saída e a entrada. Sem esse tipo de realimentação a saída satura facilmente, isto é, atinge o maior valor negativo ou positivo, chamados de saturação negativa e saturação positiva, respectivamente.

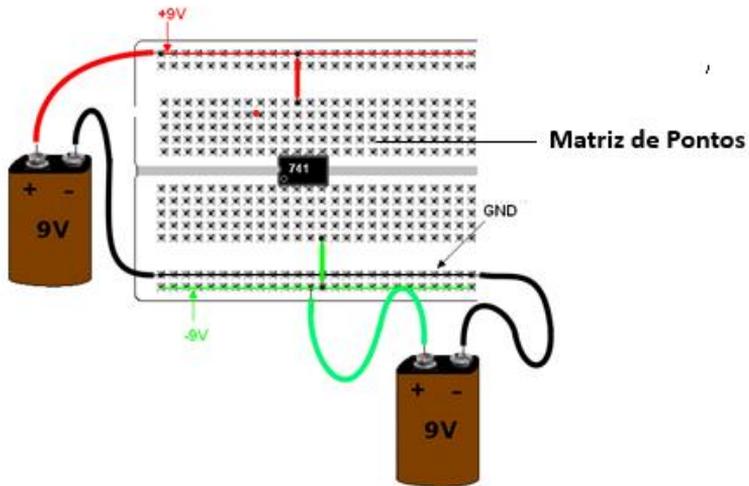
A máxima tensão, tensão de saturação, está limitada à alimentação, se a alimentação simétrica for ± 12 V a saída será aproximadamente +12 V ou -12 V. Por exemplo, se a entrada não inversora (+) for alimentada com 3 V e a entrada inversora (-) for aterrada, Figura 3ª, então $V_1 = 3$ V e $V_2 = 0$ V logo $V_1 - V_2 = 3$ V e como o ganho é muito alto, por exemplo 200.000, a saída será limitada a aproximadamente $V_s = 200.000 \cdot 3V \approx +12$ V, isto é, satura.

Se $V_1 = 0V$ e $V_2 = 3V$ então $V_s = 200.000 \cdot (0-3) \approx -12$ V.

Procedimento Experimental

- 1) Na maioria dos casos o AO é alimentado com uma fonte simétrica, existindo várias formas de se construir uma fonte simétrica, neste curso serão usadas duas baterias de 9 V. A Figura 4 mostra as duas baterias de 9 V que serão usadas para alimentar o AO, no caso da Figura 4a o terminal negativo de uma é conectado ao terminal positivo da outra bateria externamente à MP (Matriz de Pontos ou Protoboard). O ponto em comum é o terra (GND ou 0 V), mas veja que as duas baterias podem estar separadas e você é que terá de conectar na matriz de pontos os dois terras, na mesma linha horizontal, conforme Figura 4c.





(c)

Figura 4 – (a) e (b) Fonte simétrica de 9 V (c) AO sendo alimentado pela fonte simétrica de 9 V

[Linkparasimulador1](#)

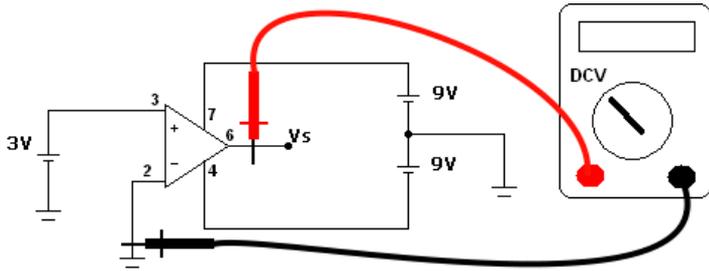
[Linkparasimulador2](#)

[LinkVideo1](#)

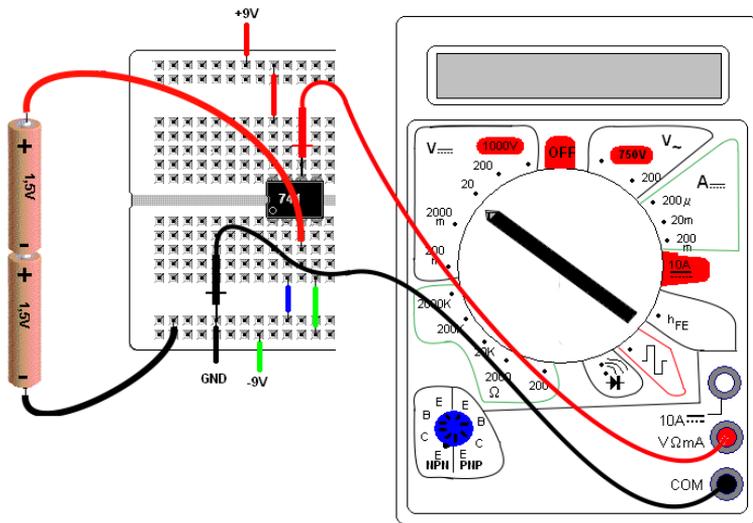
[LinkVideo2](#)

- 2) Monte o circuito da Figura 5a conforme *layout* da Figura 5b, e meça a tensão na saída (V_s), esse valor é a tensão de saturação positiva. Observe que as baterias não aparecem, mas sim os pontos terminais (+9 V, GND e -9 V).

V_s (Medido)= _____



(a)



(b)

Figura 3 – Amplificador operacional em malha aberta (a) circuito (b)
layout na matriz de pontos entrada não inversora 3V

[Link para Simulador1](#)

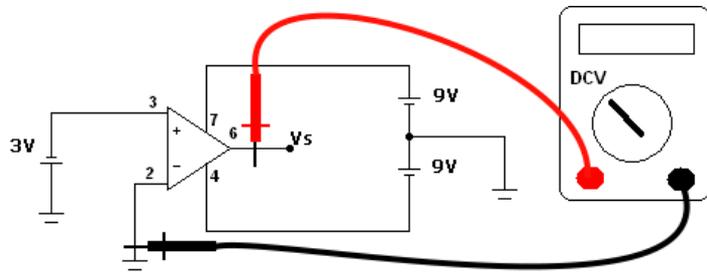
[LinkVideo1](#)

[Link para Simulador2](#)

[LinkVideo2](#)

- 3) Repita o item 2 considerando que a tensão na entrada não inversora é -3V com a entrada inversora aterrada, para isso inverta os terminais da associação conforma indicado na Figura 3.

$V_s(\text{Medido}) = \underline{\hspace{2cm}}$ esse valor é a tensão de saturação negativo



(a)

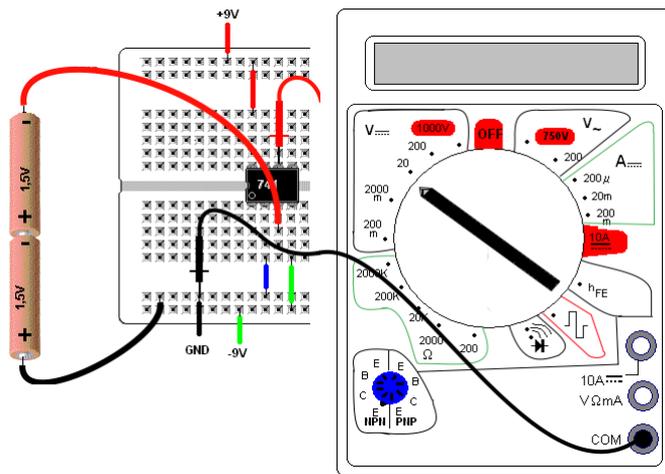


Figura 4 – Amplificador operacional em malha aberta (a) circuito (b) layout na matriz de pontos – entrada não inversora em -3 V

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

- 4) Repita o item 2 considerando que a tensão na entrada inversora é 3 V e a entrada não inversora é zero. Meça a tensão na saída e anote.

$V_s(\text{medido}) = \underline{\hspace{2cm}}$

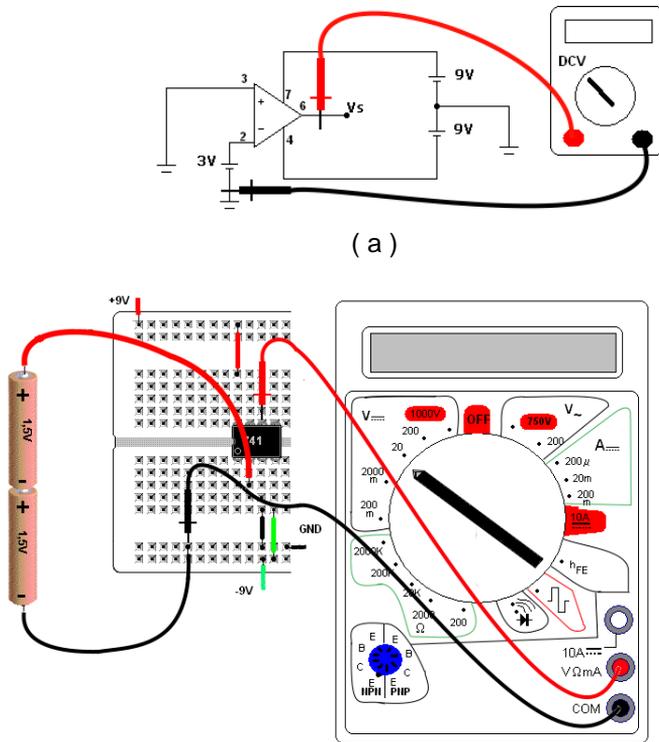


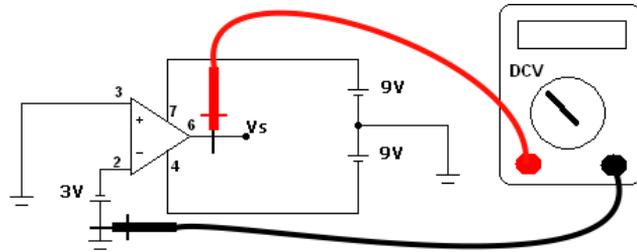
Figura 5 – Amplificador operacional em malha aberta (a) circuito (b) layout na matriz de pontos – entrada inversora em 3 V

[Link para Simulador1](#)

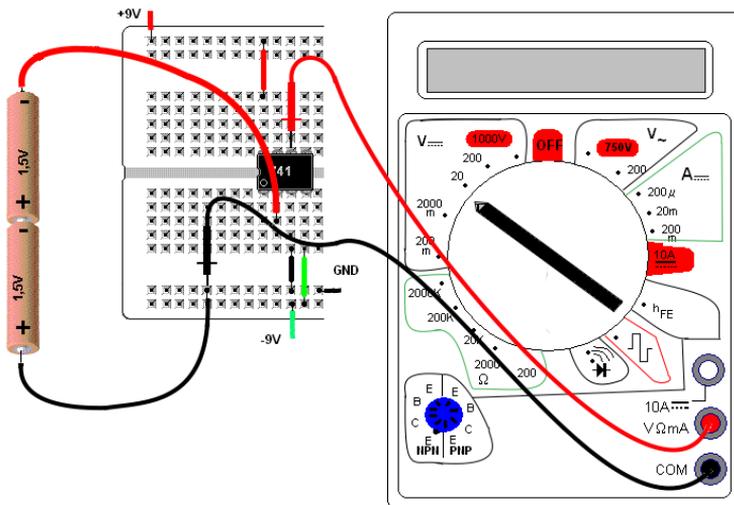
[Link para Simulador2](#)

- 5) Considere agora que a tensão na entrada inversora é -3 V com a entrada não inversora aterrada. Meça a tensão na saída.

$V_{smedido}) = \underline{\hspace{2cm}}$



(a)



(b)

Figura 6 - Amplificador operacional em malha aberta (a) circuito (b) layout na matriz de pontos – entrada inversora em -3V

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

- 6) Baseado nas medidas e observações efetuadas escreva a sua conclusão.

Experiência 02: Amplificador Inversor

Objetivos

1. Conhecer o amplificador inversor em CC.
2. Determinar experimentalmente o ganho de um amplificador inversor em CC.

Material Usado

2 Baterias de 9 V com terminais
1 Suporte para 1 pilhas de 1,5 V
1 Pilhas de 1,5 V
1 Multímetro digital
1 Matriz de pontos
1 CI 741
Resistores: 2k2/4k7/22k $\frac{1}{4}$ W
Fios para conexão. Jumpers

Introdução Teórica

É um circuito com realimentação negativa, obtida através da rede de resistores R_2 e R_1 , Figura 1. A realimentação é negativa pois a saída se conecta com a entrada inversora. Todas as aplicações lineares obrigatoriamente devem ter realimentação negativa. O nome inversor é porque a tensão de saída está invertida em relação à de entrada, então se $V_e > 0$ a saída, $V_s < 0$ e se $V_e < 0$, $V_s > 0$.

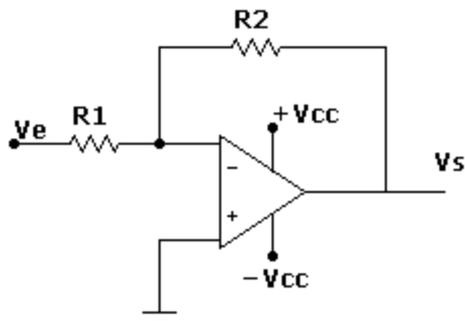


Figura 1 – Amplificador inversor

Para o circuito da Figura 1 a expressão do ganho realimentado (A_{vf}) é dada por:

$$A_{vf} = V_s / V_e = -R_2 / R_1$$

O sinal negativo indica defasagem de 180° entre V_e e V_s , desta forma se o ganho vale -5 significa que se a tensão de entrada é 1 V a saída será igual a -5 V, por outro lado se a entrada vale -1V a saída será igual a 5 V.

Tensão de Saturação

A máxima tensão de saída é limitada a aproximadamente + V_{cc} e a mínima a aproximadamente - V_{cc} .

Procedimento Experimental

- 1) Para o circuito da Figura 2 calcule o ganho (A_{vf}) e em seguida a tensão na saída. Anote esses valores como A_{vf} (calc.) e V_s (calc.).

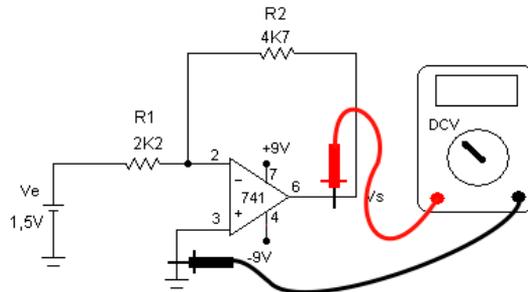


Figura 2 – Circuito experimental – amplificador inversor com $V_e=3\text{ V}$
 $A_{vf}(\text{calc.}) = \underline{\hspace{2cm}}$ $V_s(\text{calc.}) = \underline{\hspace{2cm}}$

- 2) Monte o circuito da Figura 2 na MP de acordo com a sugestão da Figura
- 3) Meça o valor exato da tensão da pilha e anote como V_e (efetivo). Meça a tensão de saída e anote.

$V_e(\text{efetivo}) = \underline{\hspace{2cm}}$

$V_s(\text{medido}) = \underline{\hspace{2cm}}$

Obs: $V_e(\text{efetivo})$ é a tensão realmente medida da pilha que pode ser diferente de 1,5V.

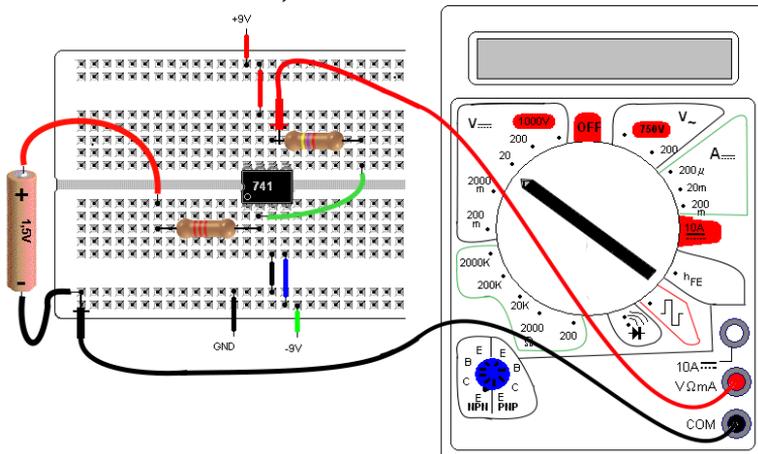


Figura 3 – Circuito experimental com inversor – layout na MP – $V_e=1,5\text{V}$

[LinkVideo1](#)

[LinkVideo2](#)

[Link para Simulador1](#)

[Link para](#)

[Simulador2](#)

- 4) Determine o ganho efetivo por:

$$AV_f = V_{S(\text{medido})} / V_{e(\text{Efetivo})} =$$

$V_{e(\text{efetivo})}$ é a tensão efetivamente medida das pilhas

- 5) Inverta a tensão de entrada do circuito no item 1.
 Calcule a tensão de saída e anote como $V_s(\text{calc.})$.

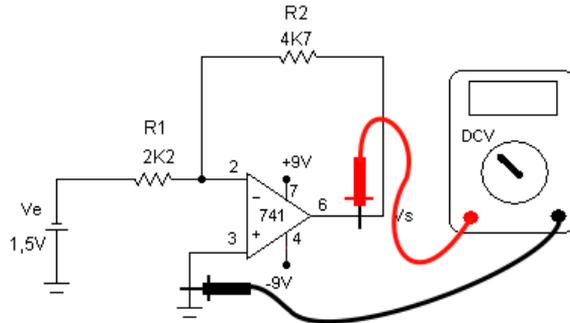


Figura 4 – Circuito experimental – amplificador inversor com $V_e = -3\text{ V}$

$$V_s(\text{calc.}) = \underline{\hspace{2cm}} \quad AV_{f(\text{efetivo})} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 6) Monte o circuito da Figura 4 na MP de acordo com a sugestão da Figura
 Meça a tensão na saída.

$$V_s = \underline{\hspace{4cm}}$$

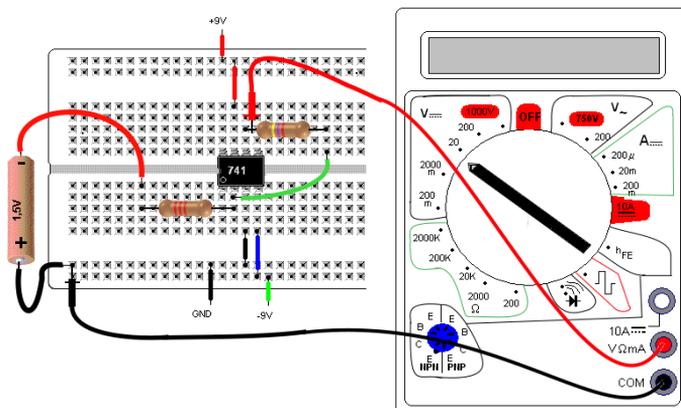


Figura 5 – Circuito experimental com inversor – layout na MP – $V_e = -1,5V$

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

Determine o ganho efetivo por:

$$A_{vf} = V_S(\text{medido}) / V_e(\text{Efetivo}) =$$

7) A partir dos resultados escreva uma conclusão

8) No circuito da Figura 5 troque a resistência de 4k7 por uma de 22 K e meça a tensão na saída e anote.

$$V_s(\text{medido}) = \underline{\hspace{10cm}}$$

9) Inverta a polaridade da tensão de entrada e repita o item 7.

$$V_s = \underline{\hspace{10cm}} = V_{\text{sat}} (+) = \underline{\hspace{10cm}}$$

10) Anote os valores das tensões de saturação positiva e negativa.

$$V_{\text{sat}} (+) = \underline{\hspace{10cm}} \quad V_{\text{sat}} (-) = \underline{\hspace{10cm}}$$

11) A partir dos resultados dos itens 7 e 8 escreva as suas conclusões.

Experiência 03: Amplificador Não Inversor

Objetivos

1. Conhecer o amplificador não inversor em CC.
2. Determinar experimentalmente o ganho de um amplificador não inversor;

Material Usado

2 Baterias de 9 V com terminais
1 Suporte para 1 pilha de 1,5V
1 Pilha de 1,5 V
1 Multímetro digital
1 Matriz de pontos
1 CI 741
Resistores – 1k/2k2/10 k $\frac{1}{4}$ W

Introdução Teórica

Nesse circuito a tensão de saída, V_s , estará em fase com a de entrada, V_e , isto é, se $V_e > 0$ então $V_s > 0$ e se $V_e < 0$ então $V_s < 0$ Figura 1.7 e como podemos observar, a realimentação continua ser negativa, mas o sinal a ser amplificado (V_e) é aplicado na entrada não inversora.

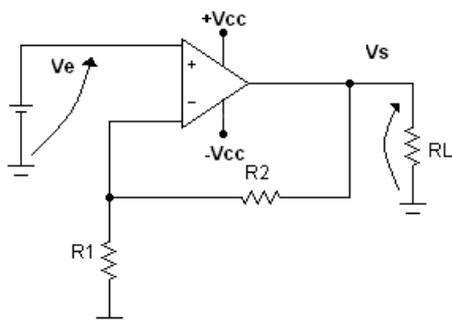


Figura 1 – amplificador não inversor

No circuito da Figura 1 a relação entre a saída (V_s) e a entrada (V_e), o ganho é dada por:

$$A_{vf} = 1 + R_2/R_1$$

Esse circuito é caracterizado por ter uma resistência de entrada muito alta e de saída muito baixa.

Exemplo: Se $R_1 = R_2$ o ganho será igual a 2 e se $V_e = 1,5$ V a saída será igual a 3 V e se $V_e = -1,5$ V a saída valerá -3 V.

Procedimento Experimental

- 1) Para o circuito da Figura 2 calcule o ganho ($A_{vf} = V_s/V_e$) em seguida calcule a tensão na saída, V_s , para os valores indicados. Anote esses valores como A_{vf} (calculado) e $V_s(\text{calc.})$

A_{vf} (calculado)=

$V_s(\text{calc.})$ =

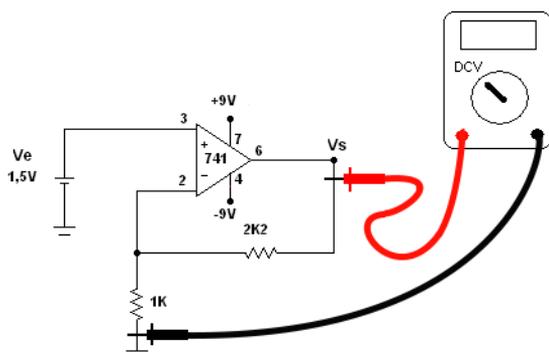


Figura 2 – Amplificador Não Inversor para experiência

- 2) Monte o circuito da Figura 2 na MP de acordo com a sugestão da Figura 3. Meça o valor exato da tensão da pilha e anote como V_e (efetivo). Meça a tensão de saída e anote.

$V_e(\text{efetivo})$ =_____ $V_s(\text{medido})$ =_____

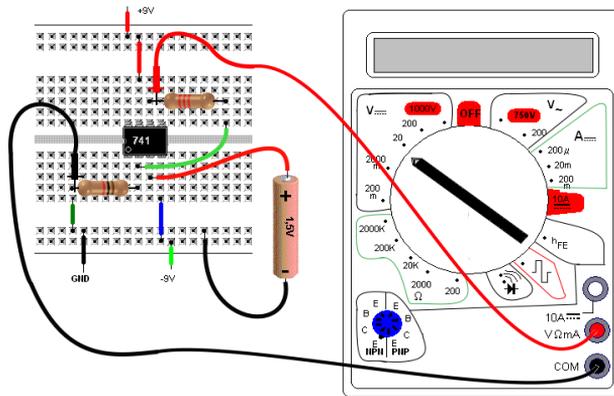


Figura 3 – Amplificador Não Inversor - $V_e=1,5V$

[LinkVideo1](#)
[Link para Simulador1](#)

[LinkVideo2](#)
[Link para Simulador2](#)

3) Determine o ganho por:

$$A_{vf} = V_S(\text{medido}) / V_e(\text{Efetivo}) =$$

4) Inverta a tensão de entrada do circuito no item 2, resulta o circuito da Figura 4. Repita os itens anteriores.

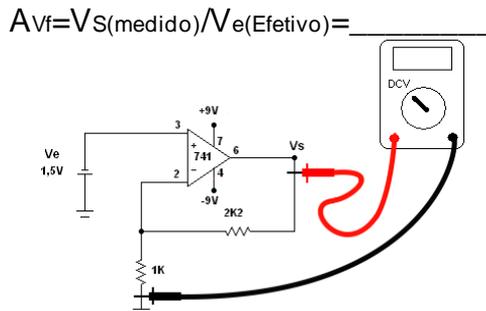


Figura 4 – Amplificador Não Inversor – circuito experimental com entrada negativa

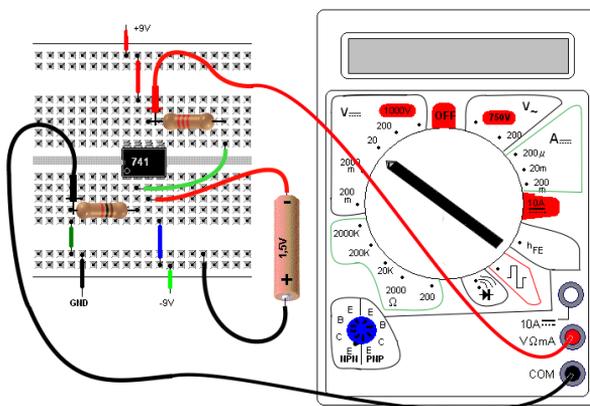


Figura 5 – Amplificador Não Inversor - $V_e = -1,5V$

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

- 5) A partir dos resultados obtidos escreva as suas conclusões.

Experiencia 04: Buffer ou Seguidor de Tensão

Objetivos

1. Conhecer o circuito Buffer ou Seguidor de tensão.
2. Determinar experimentalmente o ganho do Buffer.

Material Usado

2 Baterias de 9 V com terminais
 1 Suporte para 1 pilha de 1,5V
 1 Pilha de 1,5 V
 1 Multímetro digital
 1 Matriz de pontos
 1 CI 741
 Resistores – 1k/10 k ¼ W

Introdução Teórica

Esse circuito também chamado de seguidor de tensão é obtido a partir do amplificador inversor fazendo $R_2=0$ e R_1 infinito, resulta o circuito da Figura 1. O ganho desse circuito valerá:

$$A_{Vf} = V_s / V_e = 1$$

Isto é, $V_s = V_e$

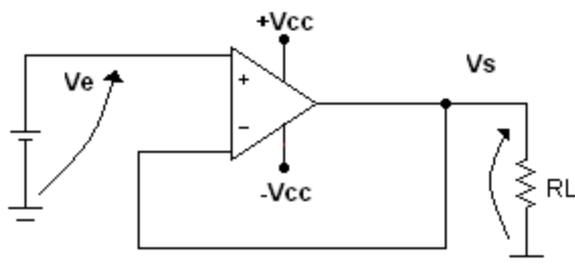


Figura 1 – seguidor de tensão – buffer

As características do buffer são a altíssima impedância de entrada (centenas de Megaohms), baixíssima impedância de saída (milésimos de Ohms) e ganho unitário ($V_s=V_e$). A principal aplicação de um buffer é no casamento entre um circuito de alta impedância de saída com um de baixa impedância de entrada, também são usados como interface entre circuitos que não tem capacidade de corrente com um circuito que drena uma corrente alta.

Procedimento Experimental

- 1) Monte o circuito da Figura 2 (Divisor de tensão) na MP de acordo com a sugestão da Figura 3. Antes calcule V_s . Use a expressão do divisor de tensão.

$$V_L = (R_L / (R_L + R_s)) \cdot 9V$$

$$V_{s(\text{calc.})} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 2) Meça a tensão na saída (R_L) e anote.

$$V_{s(\text{med.})} = \underline{\hspace{2cm}}$$

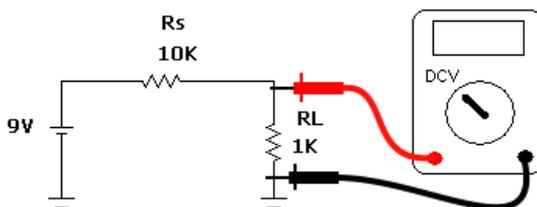


Figura 2 – Divisor de tensão

- 3) Monte o circuito da Figura 2 de acordo com sugestão de *layout* da Figura 3, meça a tensão na carga.

$$V_L(\text{Medido}) = \underline{\hspace{2cm}}$$

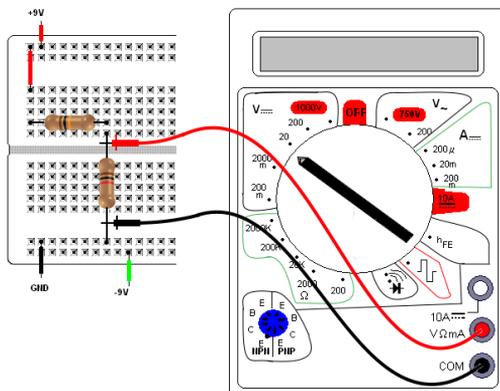


Figura 3 – Divisor de tensão – sugestão de *layout* na MP

[LinkVideo1](#) [LinkVideo2](#)

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

- 4) O circuito da Figura 4 que isola a carga R_L de 1 k, de um circuito cuja resistência de saída é 10 k, é um Buffer. Calcular a tensão na carga R_L (1 k) no circuito da Figura 4.

$$V_{L(\text{calc.})} = \underline{\hspace{2cm}}$$

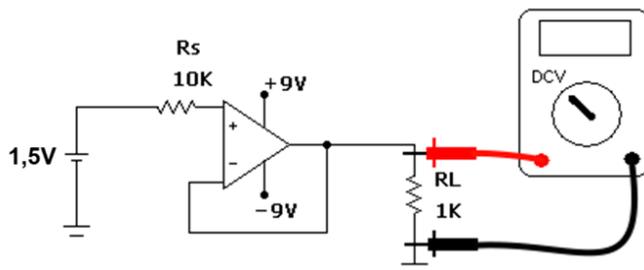


Figura 4 – Circuito Buffer

- 5) Monte o circuito da Figura 4 de acordo com sugestão de *layout* da Figura 5 e meça a tensão na carga V_L .

$$V_{L(\text{Medido})} = \underline{\hspace{2cm}}$$

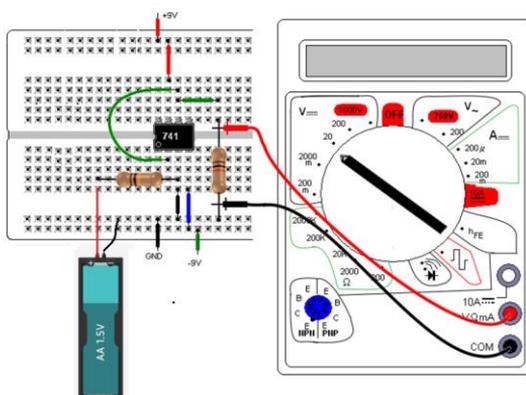


Figura 5 – Circuito com buffer – sugestão de *layout* na MP

[LinkVideo1](#)

[LinkVideo2](#)

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

A partir dos resultados escreva uma conclusão.

Experiência 05: Amplificador Somador

Objetivos

1. Verificar experimentalmente a relação entre a tensão de saída e as entradas em um circuito somador inversor;
2. Verificar experimentalmente a relação entre a tensão de saída e as entradas em um circuito somador não inversor.

Material Usado

2 Baterias de 9 V com terminais
3 Pilhas de 1,5 V
2 Suportes para pilha de 1,5 V
1 Suporte para 2 pilhas de 1,5 V
1 Multímetro digital
1 Matriz de pontos
1 CI 741
Resistores: 3x2k2 ¼ W
Fios para conexão

Introdução Teórica

Os circuitos somadores são derivados dos circuitos inverso e não inversor. A Figura 1 mostra o circuito somador inversor derivado do amplificador inversor, neste caso com três entradas (V_{e1} , V_{e2} e V_{e3}).

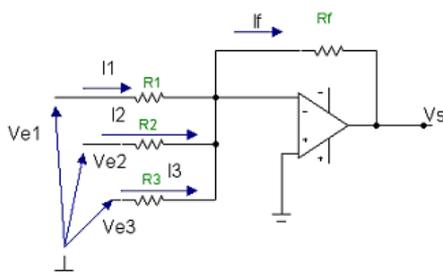


Figura 1 – Amplificador somador inversor
Para esse circuito a expressão da saída em função das entradas é dada por:

$$V_S = -R_f \cdot (V_{e1}/R_1 + V_{e2}/R_2 + V_{e3}/R_3)$$

isto é, a tensão de saída é uma combinação linear das tensões de entrada.

Se fizermos $R_1 = R_2 = R_3 = R$ resultará:

$$V_S = -R_f/R \cdot (V_{e1} + V_{e2} + V_{e3})$$

E se $R_f = R$ a expressão resulta:

$$V_S = -(V_{e1} + V_{e2} + V_{e3})$$

isto é, a tensão de saída é a **soma invertida das tensões de entrada**.

Amplificador Somador Não Inversor

É um circuito derivado do amplificador não-inversor. Para esse caso particular, com os valores relativos a expressão da saída em função das entradas é:

$$V_S = V_{e1} + V_{e2} + V_{e3}$$

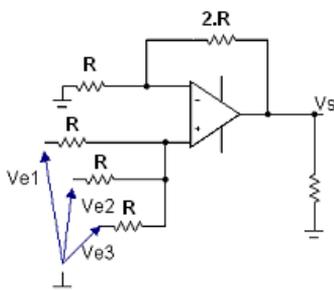


Figura 2 – Amplificador somador não inversor

Procedimento Experimental

- 1) Para o circuito da Figura 3 calcule a tensão saída para cada uma das combinações das tensões de entrada da tabela 1.

Tabela 1 – Amplificador somador inversor - Valores calculados

V_{e1} (V)	V_{e2} (V)	V_s (V)
1,5	1,5	
-1,5	-1,5	
-1,5	3,0	
-1,5	-3,0	
1,5	3,0	
0	0	

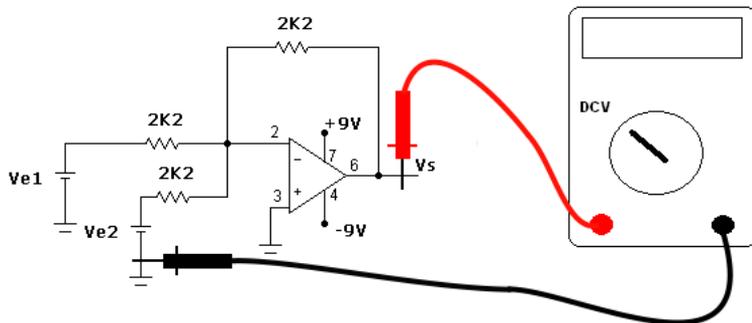


Figura 3 – Circuito somador inversor

- 2) Monte o circuito da Figura 3 na MP de acordo com sugestão de *layout* da Figura 4. Meça a tensão na saída para cada uma das combinações das entradas da tabela 2.

Obs: indique na tabela 2 os valores efetivos das tensões das pilhas, por exemplo o valor efetivo da pilha 1 é 1,45 V, da pilha 2 é 1,47 V da associação de duas pilhas é 2,9 V etc.

Tabela 2 – Amplificador somador inversor - valores medidos

V_{e1} (V)	V_{e2} (V)	V_s (V)
1,5*	1,5*	
-1,5*	-1,5*	
-1,5*	3,0*	
-1,5*	-3,0*	
3,0*	3,0*	
0	0	

* Valores efetivamente medidos

Obs: Inverter a polaridade da pilha (pilhas) para obter tensão negativa.

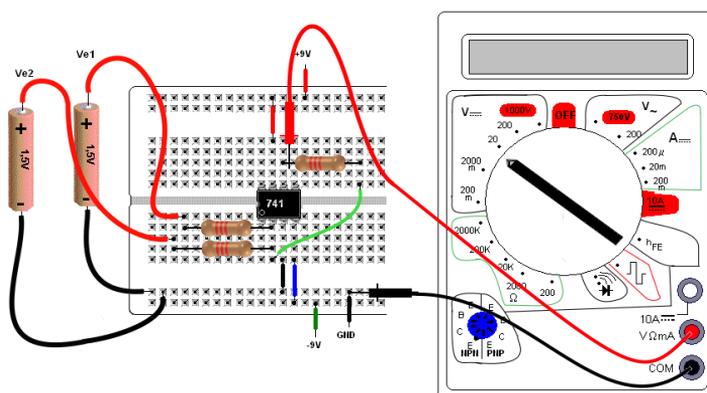


Figura 4 – Amplificador somador inversor

[LinkVideo1](#)

[LinkVideo2](#)

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

- 3) Escreva a sua conclusão a partir dos resultados calculados e medidos

- 4) Para o circuito da Figura 5, somador não inversor, calcule a tensão saída para cada uma das combinações das tensões de entrada da tabela 3.

Tabela 3 – Amplificador somador não inversor - valores calculados

V_{e1} (V)	V_{e2} (V)	V_s (V)
1,5	1,5	
-1,5	-1,5	
-1,5	3,0	
-1,5	-3,0	
1,5	3,0	
0	0	

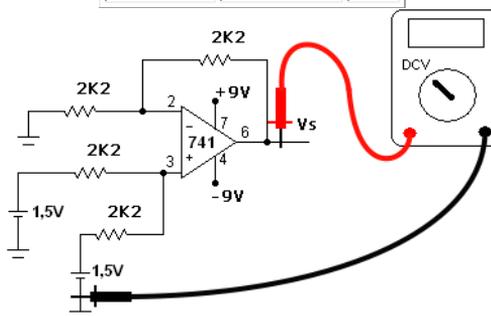


Figura 5 – circuito somador não inversor - parte experimental

- 5) Monte o circuito da Figura 5 na MP de acordo com sugestão de *layout* da Figura 6. Meça a tensão na saída para cada uma das combinações das entradas da tabela 4.

Obs: indique na tabela os valores efetivos das tensões das pilhas (valor medido).

Tabela 4 – Amplificador somador não inversor - valores medidos

V_{e1} (V)	V_{e2} (V)	V_s (V)

1,5	1,5	
-1,5	-1,5	
-1,5	3,0	
-1,5	-3,0	
1,5	3,0	
0	0	

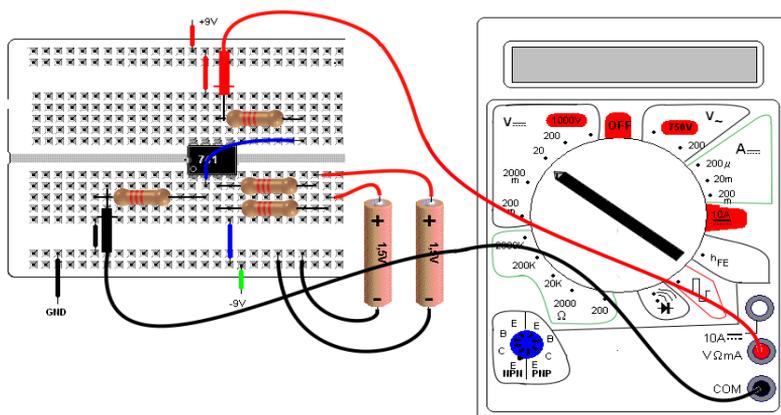


Figura 6 – Amplificador somador não inversor - sugestão de *layout* na MP

[LinkVideo1](#)

[LinkVideo2](#)

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

- 6) Escreva a sua conclusão a partir dos resultados calculados e medidos

Experiência 06: Amplificador Diferencial – Circuito Subtrator

Objetivos

1. Determinar experimentalmente o ganho de um amplificador diferencial.
2. Verificar experimentalmente a equação de um circuito Subtrator.

Material Usado

2 Baterias de 9 V com terminais

1 Multímetro digital

6 Pilhas de 1,5 V

1 Suporte para 1 pilha de 1,5 V

1 Suporte para 2 pilha de 1,5 V

1 Suporte para 4 pilha de 1,5 V

1 Matriz de pontos

1 CI 741

Resistores: 4x1k/4x2k2 $\frac{1}{4}$ W

Introdução Teórica

Por definição um amplificador diferencial amplifica a diferença entre duas tensões. A Figura 1 mostra o circuito básico.

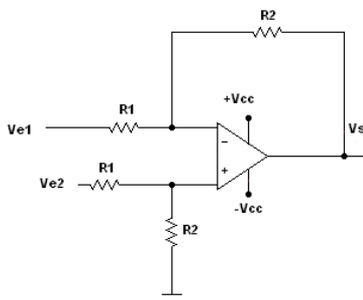


Figura 1 – Amplificador diferencial

Para o circuito da Figura 1 a tensão de saída em função das entradas é dada por:

$$V_s = R_2/R_1 \cdot (V_{e2} - V_{e1})$$

O ganho diferencial é:

$$A_d = R_2/R_1$$

Se $V_{e2} = V_{e1}$ a saída é zero, sendo que na prática isso não é verdade por conta de diversos fatores como por exemplo o descasamento entre as resistências (resistências que deveriam ser iguais e não são) e AO não ideal.

Esse circuito tem também limitações, principalmente em relação à resistência de entrada nas duas entradas que é baixa. Outra limitação do circuito é dificuldade para variar o ganho (duas resistências devem variar ao mesmo tempo).

Amplificador Subtrator

Se no circuito da Figura 1 todas as resistências forem iguais o ganho diferencial será igual a 1 e a saída será dada por:

$$V_s = V_2 - V_1.$$

isto é, o circuito efetua a subtração analógica entre duas tensões.

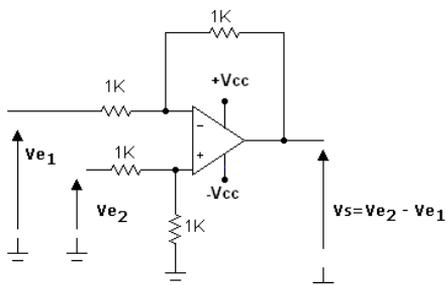


Figura 2 – Amplificador Subtrator

Amplificador Diferencial de Instrumentação

Amplificadores de instrumentação são essencialmente amplificadores diferenciais, mas sem as desvantagens do circuito da Figura 1. A Figura 3 mostra de forma simplificada o circuito de um amplificador de instrumentação.

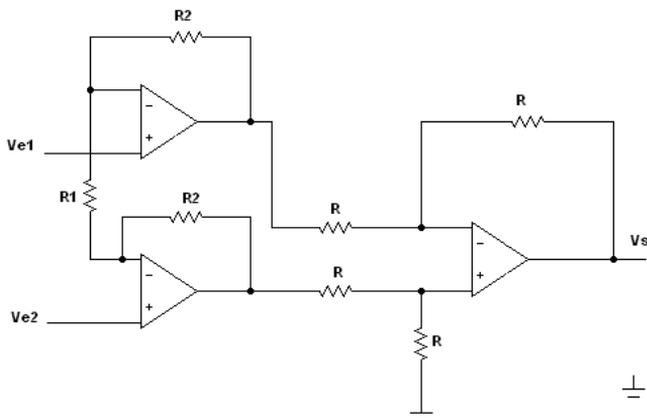


Figura 3 – Amplificador diferencial de instrumentação

O ganho do circuito é dado por:

$$A_{Vf} = V_s / V_e = 1 + 2 \cdot R_2 / R_1$$

Onde $V_e = V_{e2} - V_{e1}$

Da expressão do ganho concluímos que se R_1 for variável o ganho será variável com apenas uma resistência. A resistência nas entradas é tipicamente da ordem de 10^9 Ohms. As outras resistências devem ter tolerância de menos de 1%.

Na prática não precisamos construir um amplificador de instrumentação, pois ele já se encontra integrado com os três AOs em um mesmo encapsulamento. A Figura 4 mostra um exemplo deste amplificador de instrumentação. O ADC620, da Analog Devices, permite variar o ganho através de um resistor externo R_G e como o amplificador vem perfeitamente balanceado de fábrica, não precisamos nos preocupar com o ajuste de *offset*.

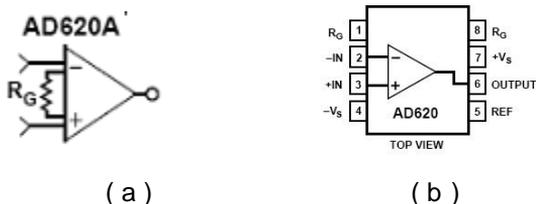


Figura 4 – Amplificador de Instrumentação (a) Símbolo (b) Pinagem

Para um dado ganho G o valor de R_G pode ser calculado por::

$$R_G = 49,4k / (G - 1)$$

Por exemplo se for desejado um ganho de 100 ($G=100$) resultará:

$$R_G = 49,4k / (100 - 1) = 500 \text{ ohms}$$

Procedimento Experimental

- 1) Calcule o valor da tensão de saída do circuito da Figura 5 para cada uma das combinações de tensões de entrada da tabela 1.

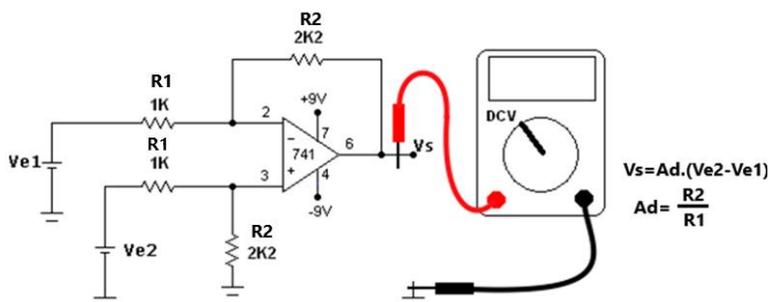


Figura 5 – Amplificador diferencial

Tabela 1 – Amplificador diferencial - valores calculados

$V_{e2}(V)$	$V_{e1}(V)$	$V_s(V)$
3,0	1,5	
-3,0	1,5	
1,5	3,0	
0	0	
-3,0	-1,5	
-1,5	3,0	

- 2) Monte o circuito da Figura 5 na MP e para cada uma das combinações das tensões de entrada (V_{e1} e V_{e2}) da tabela 2. meça a tensão na saída.

Obs: Para obter os valores negativos basta inverter a pilha (ou associação). Importante!! indique na tabela os valores efetivos, isto é, se o valor medido de uma pilha resultou 1,47 V é esse valor que deve constar. Duas pilhas medido resultou 2,9 V é esse valor que deve ser indicado na tabela 2.

- 3) Compare os resultados medidos com os calculados

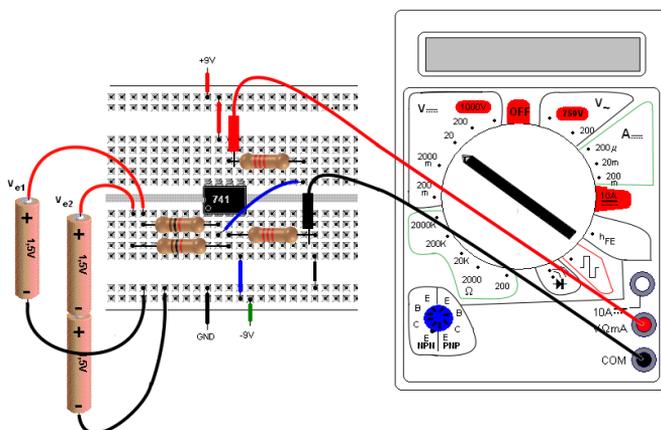


Figura 6 – Amplificador diferencial *layout* na MP - Dispositivos fora de escala

[LinkVídeo1](#)

[LinkVídeo2](#)

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

Tabela 2 – Amplificador diferencial - valores medidos

$V_{e2}(V)$	$V_{e1}(V)$	$V_s(V)$
3,0	1,5	
-3,0	1,5	
1,5	3,0	
0	0	
-3,0	-1,5	
-1,5	3,0	

- 4) O circuito da Figura 7 funciona como um circuito Subtrator, isto é, subtrai uma tensão de outra, calcule o valor da tensão de saída do circuito da Figura 7 para cada uma das combinações de tensões de entrada da tabela 3.

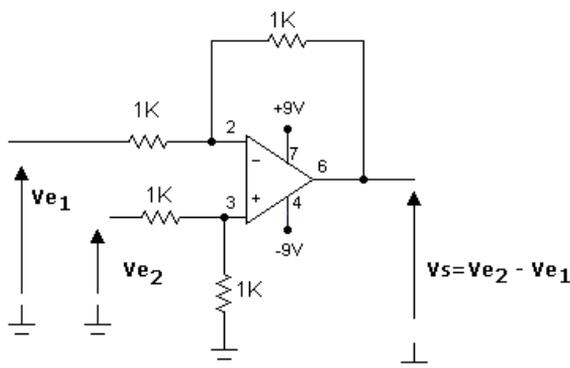


Figura 7 – Circuito Subtrator

Tabela 3 – Circuito Subtrator - valores calculados

$V_{e2}(V)$	$V_{e1}(V)$	$V_s(V)$
3,0	1,5	
-3,0	1,5	
1,5	3,0	
0	0	
6,0	3,0	
3,0	6,0	

- 5) Monte o circuito da Figura 7 na MP de acordo com *layout* da Figura 8, e para cada uma das combinações das tensões de entrada (V_{e1} e V_{e2}) da tabela 4 meça a tensão na saída.

Obs: Para obter os valores negativos basta inverter a fonte (ou associação). Importante!! indique na tabela os valores efetivos, isto é, se uma pilha medida resultou 1,47 V é esse

valor que deve constar. Duas pilhas medido resultou 2,9 V é esse valor que deve ser indicado na tabela 2.

6) Compare os valores medidos com os calculados.

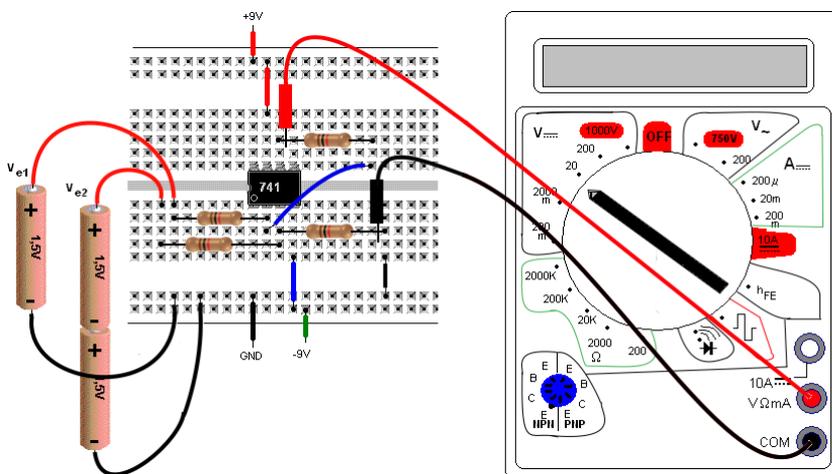


Figura 8 – Circuito Subtrator - layout na MP - dispositivos fora de escala

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

Tabela 4 – Circuito Subtrator - valores medidos

$V_{e2}(V)$	$V_{e1}(V)$	$V_s(V)$
3,0	1,5	
-3,0	1,5	
1,5	3,0	
0	0	
-3,0	-1,5	
-1,5	3,0	

- 7) Baseado nas medidas e observações efetuadas escreva as suas conclusões

Experiência 07: Comparadores de zero

Objetivos

1. Verificar experimentalmente o comportamento de comparadores de tensão.
2. Verificar experimentalmente a operação de um comparador de nível.
3. Verificar a operação de um circuito detector de luz.

Material Usado

2 Baterias de 9 V com terminais
1 Suporte para 1 pilha de 1,5 V
1 Pilha de 1,5 V
1 Multímetro digital
1 Matriz de pontos
1 CI 741
1 LED vermelho
Fios para conexões na MP

Introdução Teórica

Os circuitos comparadores funcionam baseados no altíssimo ganho de malha aberta de um AO.

A Figura 1 mostra a curva característica de transferência em malha aberta de um AO típico. No gráfico pode ser observado que existe uma região de comportamento linear, mas muito estreita.

Supondo um ganho de malha aberta de 100.000, para $-0,1\text{mV} < V_e < 0,1\text{mV}$ a saída será $V_s = 100.000 \cdot V_e$ fora deste intervalo o AO satura. Na prática se a tensão de entrada, em

módulo, for muito maior do que 0,1mV a curva característica de transferência se aproxima da ideal.

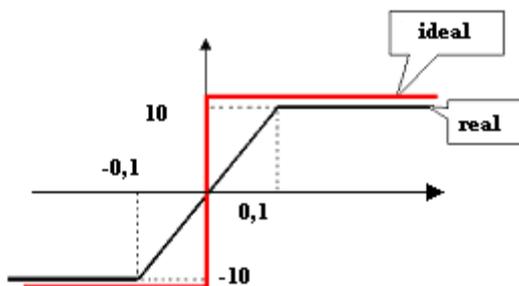


Figura 1 – Curva característica de transferência em malha aberta

Comparador de Zero Não Inversor

Nesse circuito a tensão aplicada na entrada não inversora, V_e , é comparada com a tensão aplicada na entrada inversora que é zero, se for maior que zero a saída satura positivamente, se V_e for menor que zero a saída satura negativamente. A Figura 2 mostra esse comportamento.

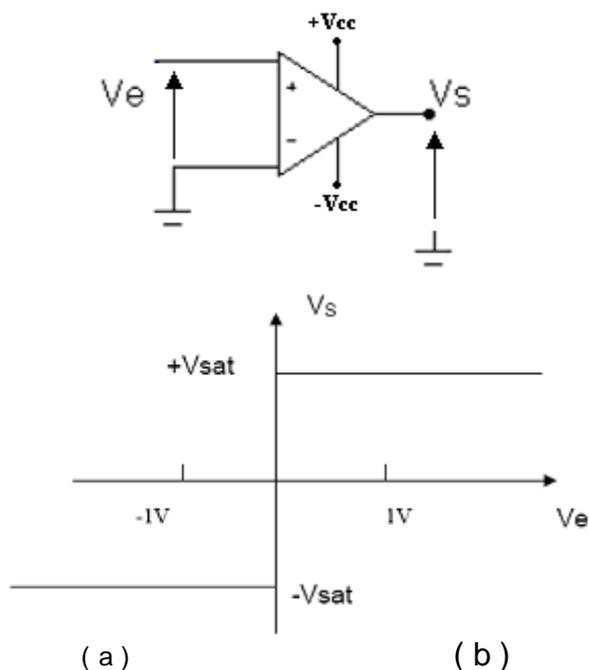


Figura 2 – (a) Comparador de zero não inversor (b) característica de transferência.

Por exemplo, se $V_e = 1V$ da Figura 2a a saída será positiva e igual a $+V_{sat}$. Se $V_e = -1V$ a saída satura negativamente e será igual a $-V_{sat}$.

Comparador de Zero Inversor

É semelhante ao não inversor, porém o sinal é aplicado na entrada inversora, Figura 3.

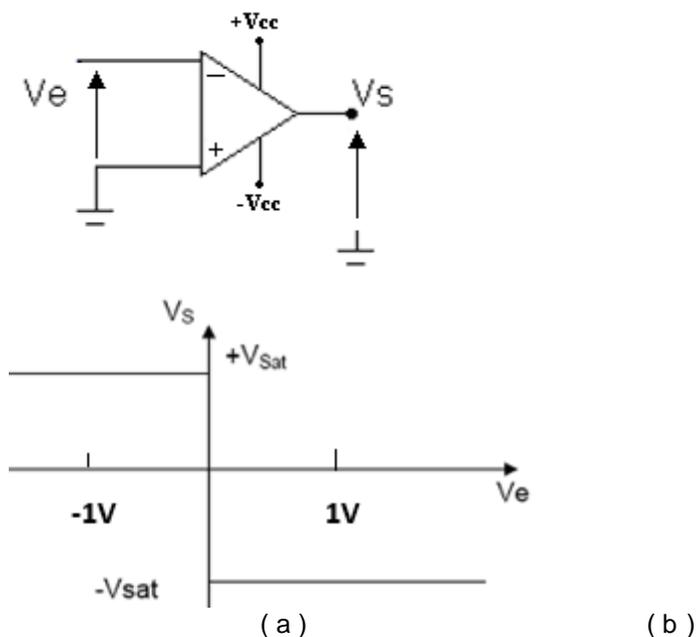


Figura 3 – (a) Comparador de zero inversor (b) característica de transferência.

Por exemplo, se $V_e = 1V$ no circuito da Figura 3a, a tensão de saída será igual a tensão de saturação, $-V_{sat}$, cujo valor depende da alimentação V_{cc} . Se $V_e = -1V$ a tensão de saída será $+V_{cc}$.

Esses circuitos são usados para detectar a passagem pelo zero de uma tensão alternada.

Procedimento Experimental

- 1) Monte o circuito da Figura 4 na MP conforme *Layout* da Figura 5 e meça a tensão na saída para os dois valores de entrada da tabela 1.

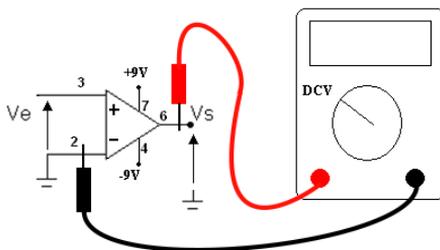
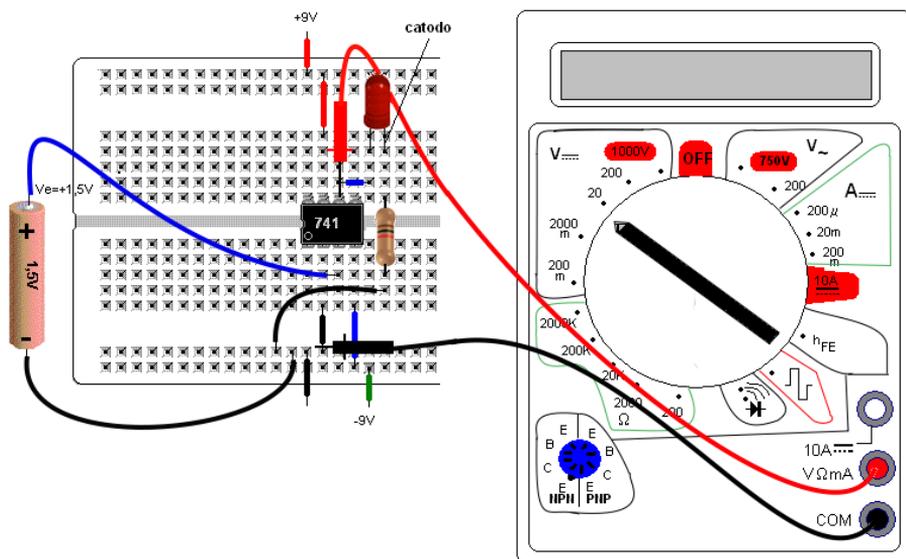


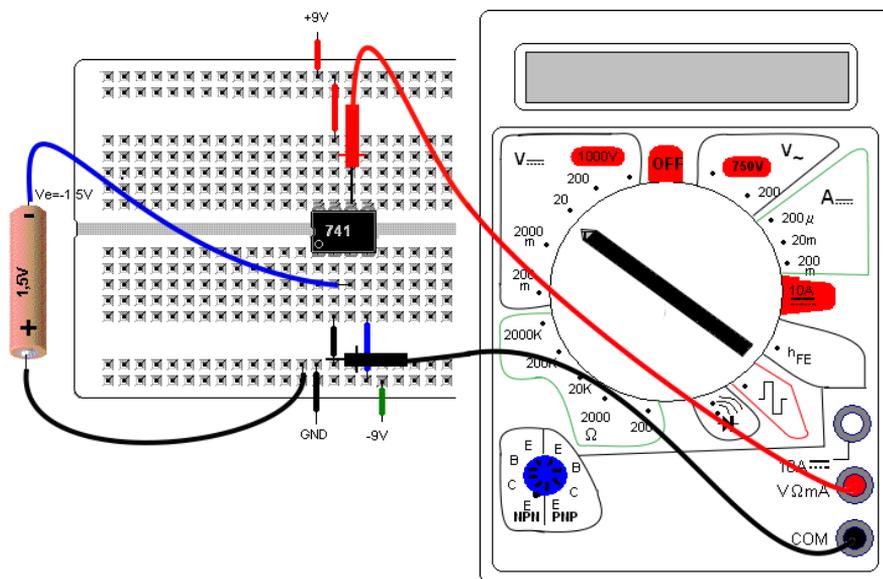
Figura 4 – Comparador de zero não inversor - circuito experimental

Tabela 1 – Valores medidos - Comparador de zero não inversor

Valores medidos	
Ve(V)	Vs(V)
1,5	
-1,5	



(a)



(b)

Figura 5 – Comparador de zero não inversor (a) $V_e=1,5\text{ V}$ (b) $V_e=-1,5\text{ V}$
- *Layout* na MP

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

[Link para Simulador2b](#)

- 2) Monte o circuito da Figura 6 na MP conforme *layout* da Figura 7 e meça a tensão na saída para os dois valores de entrada da tabela 2.

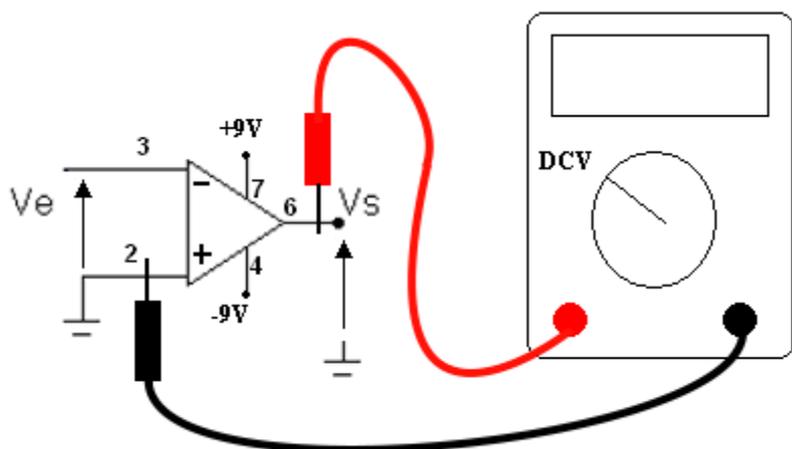
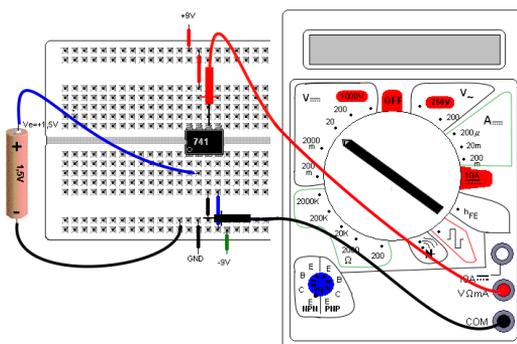


Figura 6 – Comparador de zero inversor - circuito experimental

Tabela 2 – Valores medidos - Comparador de zero inversor

Valores medidos	
Ve(V)	Vs(V)
1,5	
-1,5	



(a)

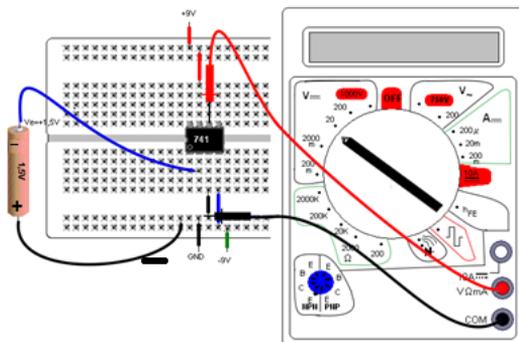


Figura 7 – Comparador de Zero inversor (a) $v_e=1,5\text{ V}$ (b) $v_e=-1,5\text{ V}$ -
Layout na MP

[LinkSimulador1](#)

[LinkSimulador2b](#)

[LinkSimulador2](#)

Experiência 08: Comparadores de Nível Não Inversor

Objetivos

1. Compreender o funcionamento de um comparador de nível.
2. Verificar experimentalmente a operação de um comparador de nível.

Material Usado

2 Baterias de 9 V com terminais

1 Suporte para 1 pilha de 1,5 V

1 Pilha de 1,5 V

1 Multímetro digital

1 Matriz de pontos

1 CI 741

1 [Potenciômetro linear de 1k](#) ou valor próximo

[Resistores](#): 3x1k/2k2/10 k $\frac{1}{4}$ W

1 [LDR](#) 5mm

1 [LED](#) vermelho

Fios para conexões na MP

Introdução Teórica

O comparador de nível é semelhante ao comparador de zero.

A diferença é que a tensão de entrada é comparada com uma tensão de referência V_R . Se $V_e > V_R$ o AO satura positivamente. Se $V_e < V_R$ a saída do AO satura negativamente. Na prática V_R pode ser associada a uma

temperatura. A tensão V_e pode ser associada a uma temperatura obtida de um sensor de temperatura.

Comparador de Nível

Num comparador de nível a tensão de entrada (V_e) é comparada com uma tensão de referência V_R ao invés do terra, Figura 1. Na prática isso pode ser usado para determinar se uma grandeza física (nível de um reservatório, temperatura, luz, etc) atingiu um nível predeterminado. No circuito da Figura 1 se a tensão de entrada for menor do que V_R a saída satura negativamente caso contrário satura positivamente.

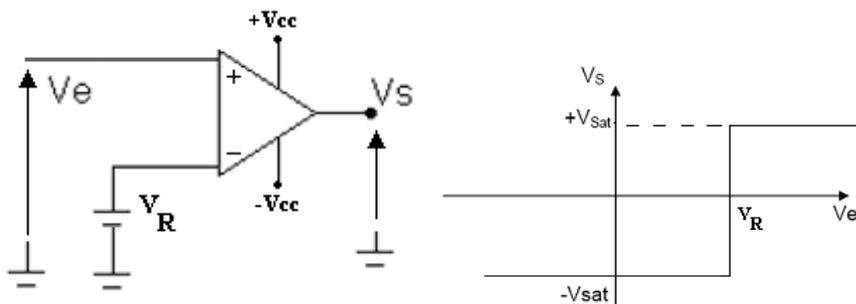


Figura 1 – Comparador nível não inversor e característica de transferência.

Procedimento Experimental

- 1) Monte o circuito da Figura 2, comparador de nível, na MP de acordo com *layout* sugerido da Figura 3. Varie o potenciômetro verificando o que acontece com o LED na saída.
- 2) Coloque o voltímetro entre o curso do potenciômetro e o terra e anote o valor da tensão

para a qual a saída muda (condição do LED se altera). Anote esse valor com V_T (tensão de transição).

$V_T = \underline{\hspace{2cm}}$

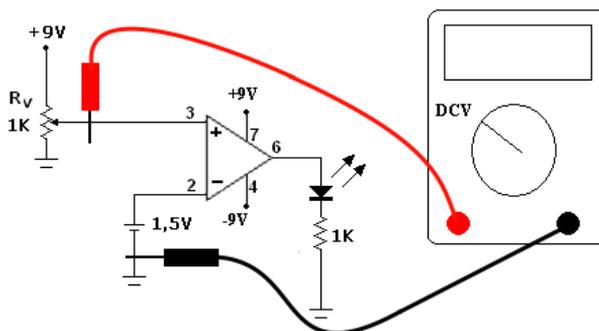


Figura 2 – Comparador de nível não inversor - circuito

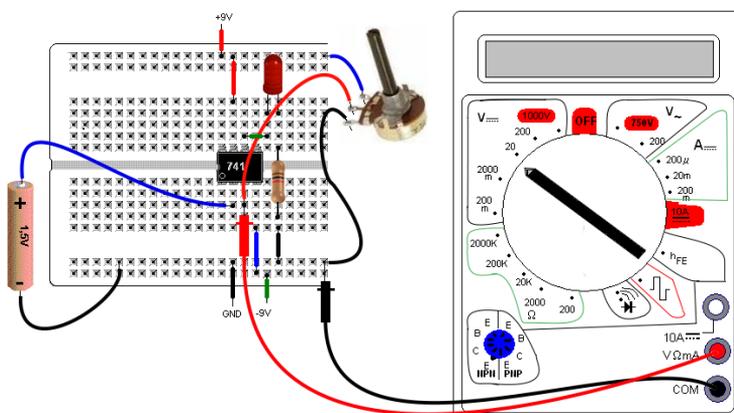


Figura 3 – Comparador de nível não inversor - *Layout* na MP
[Link para Simulador1](#) [Link para Simulador2](#)

- 3) Para o circuito da Figura 4 calcule qual o valor de R_v que provoca a mudança de condição (apagado

para aceso ou vice-versa) do LED na saída. Anote esse valor como R_T (resistência de transição).

- 4) Para o circuito da Figura 4 **calcule** o valor da tensão de referência (V_R) aplicada na entrada inversora. Anote esse valor como $V_{R(\text{calc.})}$. Não esqueça é um divisor de tensão.

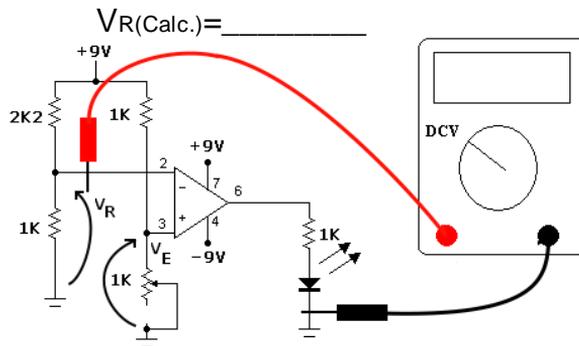


Figura 4 – Comparador de nível - medindo a tensão de referência

- 5) Monte o circuito da Figura 4 de acordo com *layout* da Figura 5 na MP. Meça a tensão na entrada inversora e anote como $V_{R(\text{Med.})}$. Varie o potenciômetro de zero até o valor máximo observando o que acontece com o LED na saída. Quando ocorrer a mudança na saída retire o potenciômetro e meça o valor que provocou a mudança. Anote esse valor como $R_T(\text{medido})$.

$$V_{R(\text{Medido})} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$R_T(\text{medido}) = \underline{\hspace{2cm}}$$

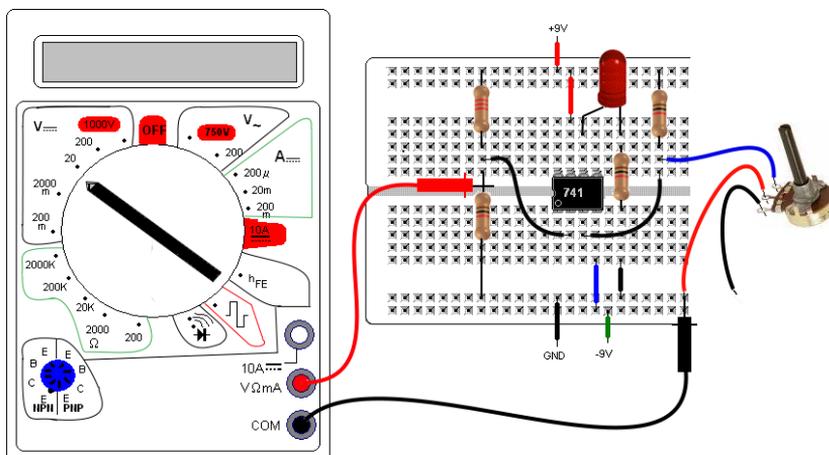


Figura 5 – Comparador de nível - Layout da Figura 12

[Link para Simulador1](#)

[Link para Simulador2](#)

- 6) Compare os valores medidos com os calculados.
- 7) Escreva as suas conclusões baseadas nos resultados e comparações.

Experiência 09: Comparador de Luz

Objetivos

1. Conhecer um sensor de luz, o LDR.
2. Verificar experimentalmente a operação de um circuito detector de luminosidade usando LDR e AO.

Material Usado

2 Baterias de 9 V com terminais
1 Suporte para 1 pilha de 1,5 V
1 Pilha de 1,5 V
1 Multímetro digital
1 Matriz de pontos
1 CI 741
Resistores: 3x1k/2k2/10 k $\frac{1}{4}$ W
1 LDR 5mm
1 LED vermelho
Fios para conexões na MP

Introdução Teórica

O circuito proposto é similar ao circuito que ao anoitecer liga uma lâmpada e ao amanhecer desliga essa lâmpada. Para fazer isso é necessário ter um sensor de luz, o mais conhecido é o LDR (Light Dependent Resistor) ou Forresistor, a Figura 1 mostra o símbolo e o aspecto físico do LDR.

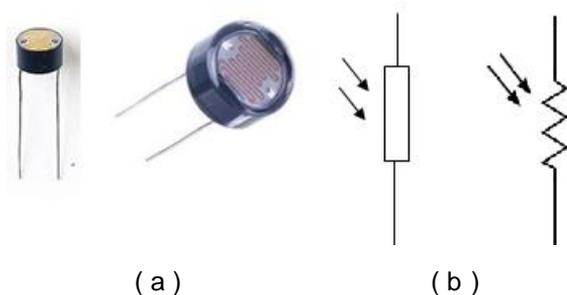


Figura 1 – LDR (a) Aspecto físico (b) Símbolos

Quando iluminado a resistência é tão baixa quanto 200 Ohms, e no escuro pode chegar a 200 kOhms. A Figura 2 mostra como o LDR deve ser ligado a um microcontrolador. Observe que o circuito é basicamente um divisor de tensão onde uma das resistências é o LDR. A tensão no mesmo depende da intensidade da luz. Por exemplo, considere que iluminado a resistência do LDR, $R_{LDR}=500$ Ohms e no escuro $R_{LDR}=180k$. Qual o valor da tensão no LDR em cada caso?

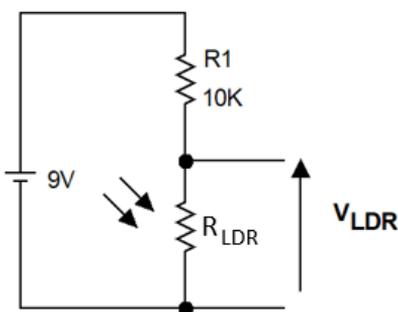


Figura 2 – LDR no divisor de tensão

[LinkSimulador1](#)

No escuro:

$$V_{\text{LDR(escuro)}}=(180\text{k}\cdot 9\text{V})/(10\text{k}+180\text{k})=8,5\text{V}$$

No claro:

$$V_{\text{LDR(Claro)}}=(0,5\text{k}\cdot 9\text{V})/(10\text{k}+0,5\text{k})=0,428\text{V}$$

O programa rodando no microcontrolador vai entender que 8,5V corresponde a escuro e que 0,428V é claro, tomando uma decisão e enviando na saída uma tensão por exemplo. No lugar do LDR poderia ter um NTC (Negative Temperature Coefficient) que é um sensor que diminui a resistência quando a temperatura aumenta e aumenta a resistência quando a temperatura diminui.

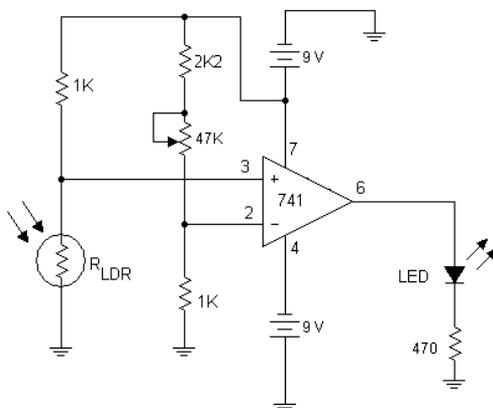
Procedimento Experimental

- 1) Monte o circuito da Figura 3a (detector de luz) de acordo com *layout* da Figura 3b. Ajuste o potenciômetro de 47k para que o LED apague (A saída é -9 V) quando o LDR estiver iluminado (a tensão na entrada inversora deverá ser levemente maior que a tensão na entrada não inversora).
Lembre-se: No escuro R_{LDR} é muito alta podendo da ordem de . Por outro lado quando bem iluminado R_{LDR} é muito baixa. A tensão na entrada Não Inversora (+) pode ser calculada por:

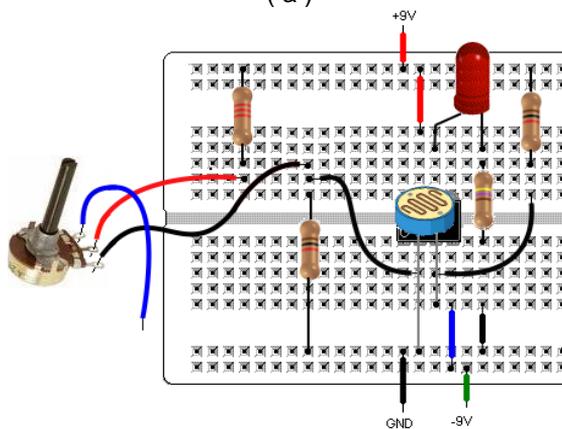
$$V_{+}=(R_{\text{LDR}}\cdot 9\text{V})/(R_{\text{LDR}}+1\text{k})$$

A tensão na entrada (-) deve ser ajustada, usando o potenciômetro de 47k, de forma que, com o

LDR iluminado o LED na saída não acende, para isso $V_- > V_+$. Logo assim que escurecer $V_+ > V_-$ fazendo a saída do AO ir para $+V_{sat}$ acendendo o LED.



(a)



(b)

Figura 3 – Detetor de luminosidade (a) circuito (b) *Layout* na MP

[Link para Simulador1](#)
[Simulador2](#)

[Link para](#)

- 2) Volte a iluminar o LDR. O que acontece? O circuito pode ser usado como alarme? Justifique.
- 3) Baseado nas medidas e observações escreva as suas conclusões.

Experiência 10: SCR em Corrente Contínua

Objetivo

1. Verificar experimentalmente a operação de um SCR (Retificador Controlado de Si) em CC.
2. Montar um circuito comparador com AO e SCR verificando a ação de trava do SCR.
3. Montar um circuito detector de luz com SCR.
4. Montar um circuito detector de luz com AO e SCR

Material Usado

1 Bateria de 9 V com terminais
1 Multímetro digital
1 Matriz de pontos
1 SCR TIC106B ou [BT151](#)
1 AO 741
Resistores: 2x10k/1 k/2k2/3k3
1 Potenciômetro linear de 1 k
1 Potenciômetro linear de 47 k
1 LED 5mm

Introdução Teórica

O SCR ou Retificador Controlado de Si (*Silicon Controlled Rectifier*) é um semicondutor construído com 4 camadas alternadas (PNPN) e com três terminais: Anodo (A), Catodo (K) e Gate ou Porta (G). A Figura 1 mostra o aspecto físico simplificado, o símbolo e a curva característica.

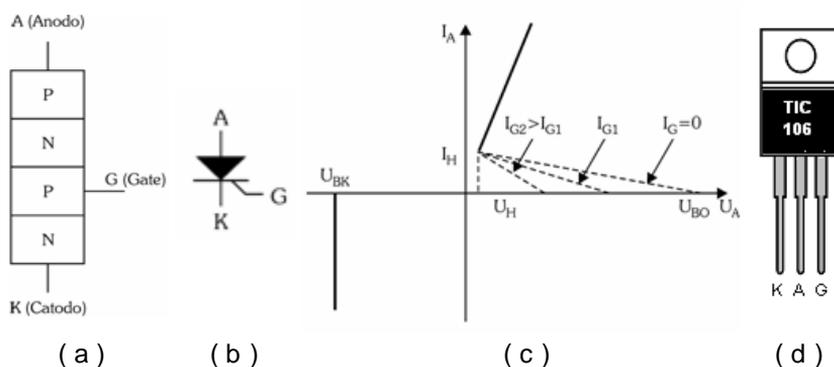


Figura 1: SCR (a) estrutura física (b) símbolo (c) curva característica (d) aspecto físico

Considerando a corrente de gate zero definem-se as três regiões de operação:

Bloqueio Reverso

Se o anodo for negativo em relação ao catodo o SCR se comporta como uma chave aberta (a corrente é praticamente zero) exatamente como um diodo comum. Se a tensão reversa for maior que V_{BK} (tensão de *breakdown* - tensão de ruptura) ou V_{RRM} o dispositivo será destruído. Essa informação costuma ser fornecida no corpo do SCR como uma letra (A=100 V, B=200 V, C=300 V D=400 V, etc).

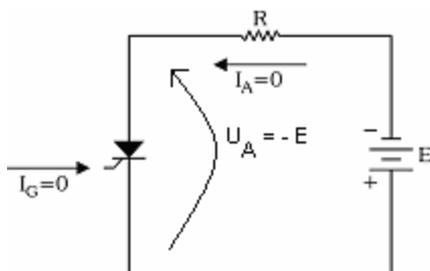


Figura 2: SCR no bloqueio reverso

Bloqueio Direto

Se a tensão aplicada entre anodo e catodo é positiva, mas menor do que um valor V_{BO} (tensão de *breakover*) o SCR continua cortado.

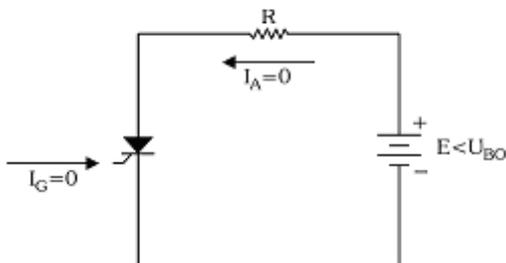


Figura 3: SCR no bloqueio direto

Disparo e Condução

Se a tensão aplicada na Figura 3 superar V_{BO} ou V_{DRM} o SCR dispara, isto é, muda bruscamente de condição. A tensão no SCR cai para aproximadamente 1 V (o valor exato depende da intensidade da corrente). Praticamente toda a tensão da fonte cai na resistência R .

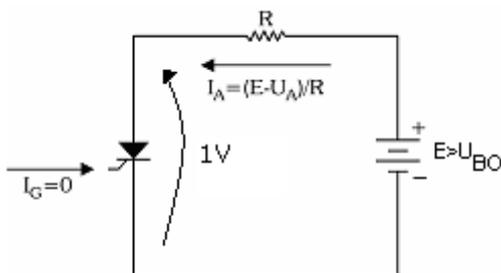


Figura 4: SCR polarizado diretamente após o disparo.

Após ter disparado o SCR voltará a cortar novamente se a tensão (corrente) entre anodo e catodo cair abaixo de um valor chamado de tensão (corrente) de manutenção V_H (I_H).

O Gate (porta)

A função do *gate* ou porta é disparar o SCR com tensões abaixo de V_{BO} quanto maior a corrente injetada menor a tensão necessária para disparar. Importante, o *gate* é usado somente para disparar, para cortar o SCR a tensão (corrente) de anodo deve cair abaixo da tensão (corrente) de manutenção V_H (I_H).

Procedimento Experimental

- 1) Monte o circuito da Figura 5a na MP de acordo com sugestão de *layout* da Figura 5b. Verifique o funcionamento do circuito usando as chaves CH1 (para disparar) e CH2 (para resetar). Meça a tensão na carga, no SCR e no LED e anote. *Obs: As chaves são fios, se*

you can buy 2 **Push Button** NA (Normal Aberto) better.

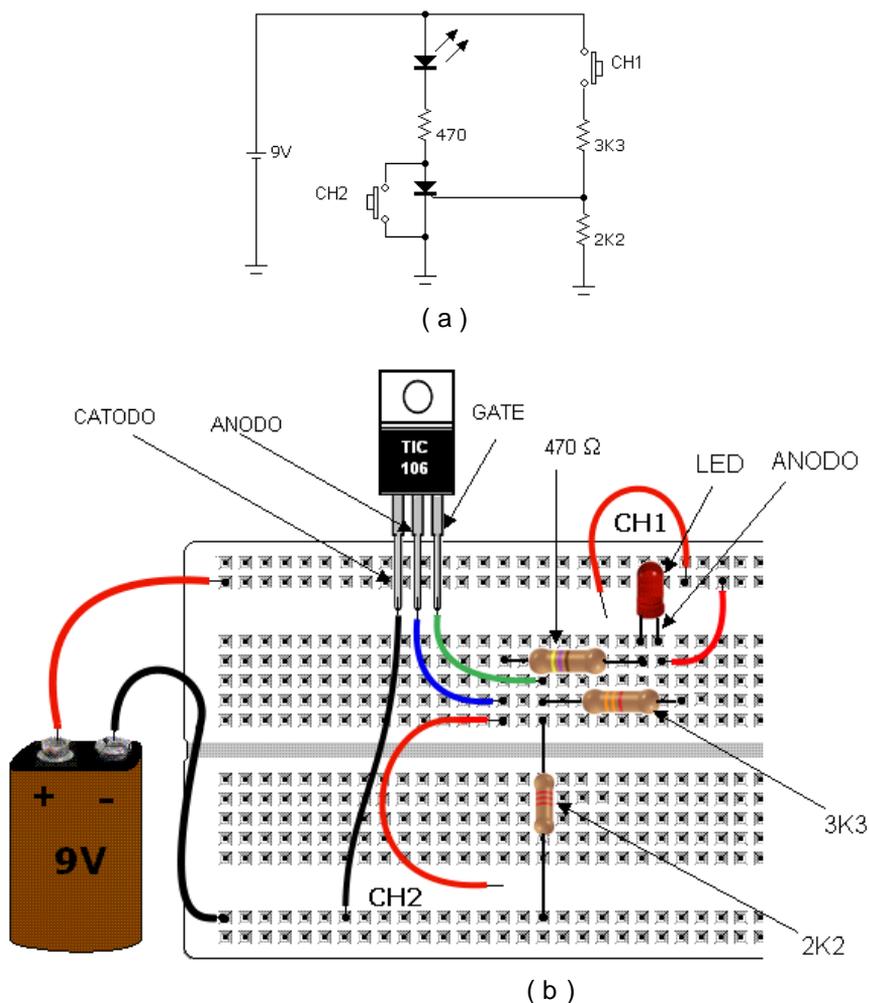


Figura 5 – SCR em CC (a) circuito (b) Sugestão de *layout* - dispositivos fora de escala

[Link para Simulador2](#)

Obs: O Tinkercad Não tem SCR

$$V_L = \underline{\hspace{2cm}} \quad V_{SCR} = \underline{\hspace{2cm}}$$

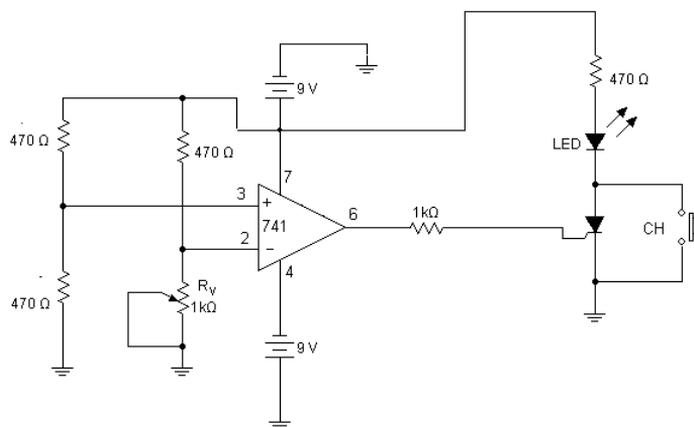
$$V_{LED} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 2) O circuito da Figura 6a é um comparador com A_o , isto é, a saída será alta (+9 V) se $V_+ > V_-$ e será baixa (-9 V) se $V_+ < V_-$. A tensão na entrada não inversora é fixada em metade da tensão da bateria, mas a tensão na entrada inversora depende do valor de R_v que na prática pode ser um potenciômetro, um LDR, um fototransistor, um NTC, um PTC ou qualquer dispositivo cuja resistência possa ser variada quando uma grandeza física varia. O objetivo é construir um alarme associado à grandeza física em questão (luz, temperatura, posição etc.).
- 3) Monte o circuito da Figura 6a de acordo com o *layout* da Figura 6b. Meça a tensão na entrada não inversora e anote.

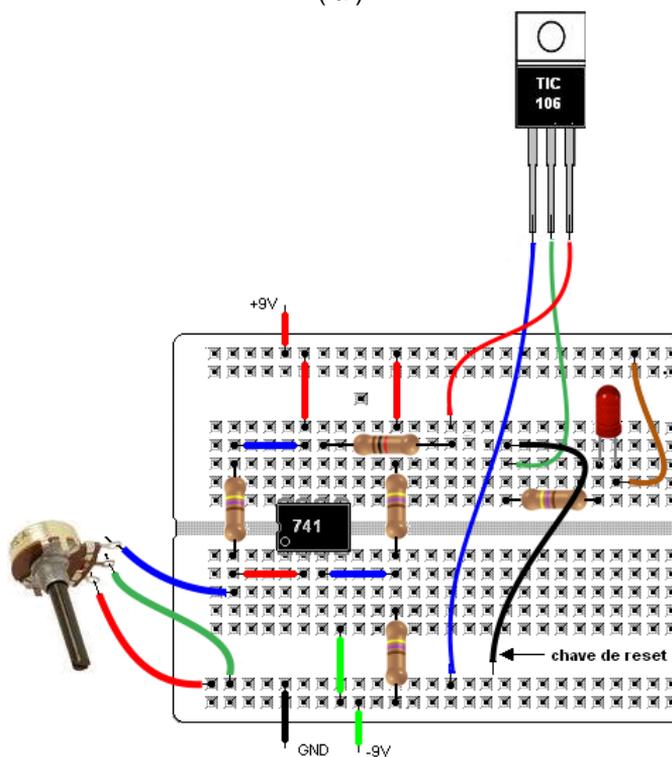
$V_+ =$ _____

- 4) Ajuste o potenciômetro para que a tensão na entrada inversora seja levemente maior do que a tensão na entrada não inversora, nessas condições a saída do AO é negativa e o SCR deve estar cortado (caso o LED esteja aceso, reset o SCR usando a chave CH).
- 5) Após o ajuste, varie lentamente o potenciômetro até que o LED acenda, isto é, o SCR dispare. Desligue um dos terminais do potenciômetro e meça a resistência dele, anotando-a como $R_{transição}$.

$R_{transição} =$ _____



(a)



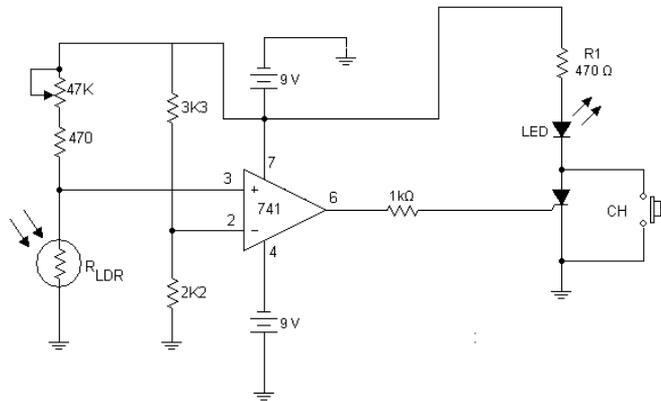
(b)

Figura 6 – Circuito com AO e SCR (a) circuito (b) Sugestão de *layout*

[Link para Simulador2](#)

Obs: Tinkercad não tem SCR

- 6) Baseado nas medidas e observações escreva suas conclusões em relação ao item.
- 7) O circuito da Figura 7a é uma aplicação pratica do conceito visto no item 5. É um alarme.
- 8) Monte o circuito da Figura 7a na MP de acordo com o *layout* da Figura 7b, ajustando o potenciômetro de 47 k para que a saída do AO seja baixa ($-V_{cc}$) quando o LDR estiver iluminado, isto é, a tensão na entrada não inversora levemente inferior à da entrada inversora. Nessas condições o SCR estará cortado e o LED apagado.



(a)

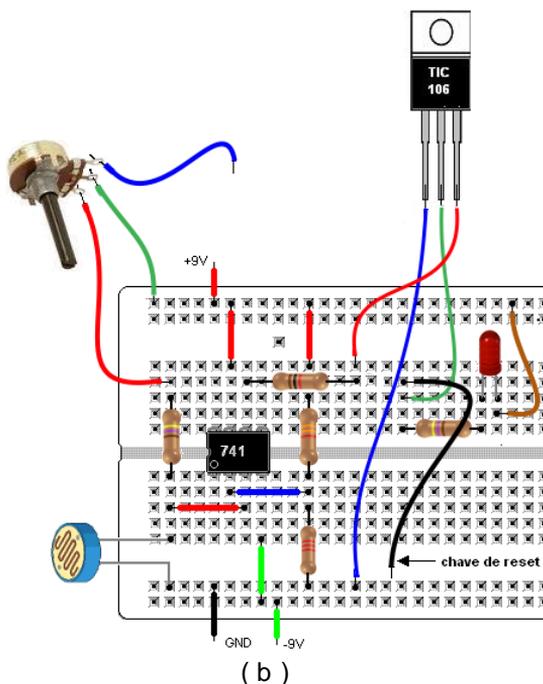


Figura 7 – (a) Circuito detector de luz com AO e SCR (b)
Layout na MP - dispositivos fora de escala

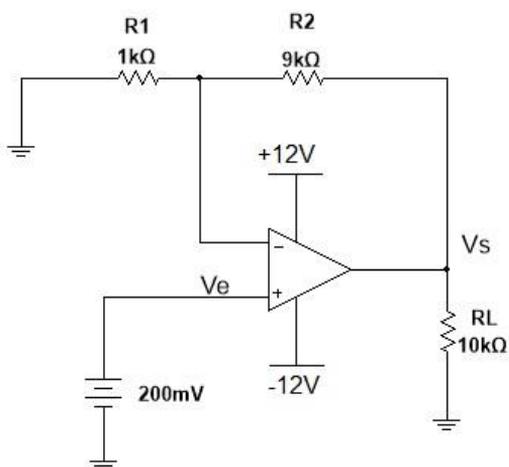
[Link para Simulador2](#)

- 9) Faça sombra sobre o LDR (coloque a mão em cima dele) observando o que acontece com o LED. Se necessário for repita a experiência, e para isso resete o SCR (pressionando momentaneamente a chave CH), com o LDR iluminado.
- 10) A partir das medidas efetuadas e observações efetuadas escreva as suas conclusões em relação ao item 8.

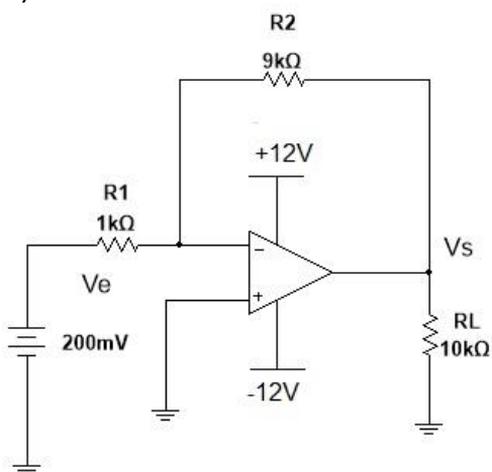
Exercícios Propostos

- 1) Determinar o valor da tensão de saída em cada caso.
Considerar AO ideal.

a)

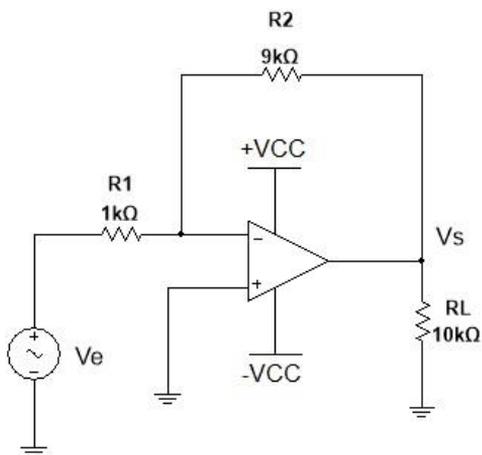


b)

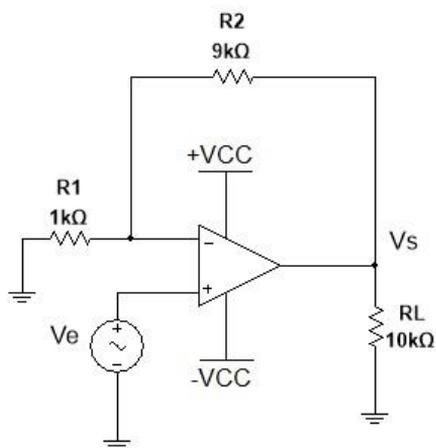


2) Qual a máxima tensão (V_{pico}) que pode ter a tensão senoidal de entrada (V_e), em cada caso para não saturar o AO? Considerar $V_{\text{sat}} = \pm 12 \text{ V}$ e AO ideal.

a)



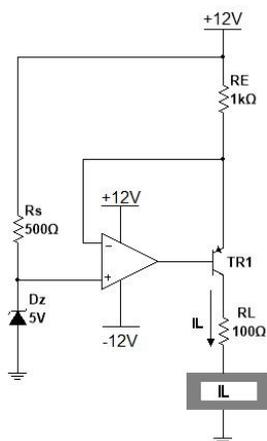
b)



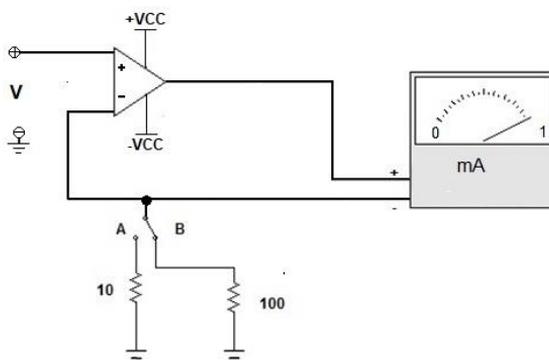
- 3) O circuito funciona como uma fonte de corrente constante (mesmo que a carga mude de valor o valor da corrente não muda).

Pede-se:

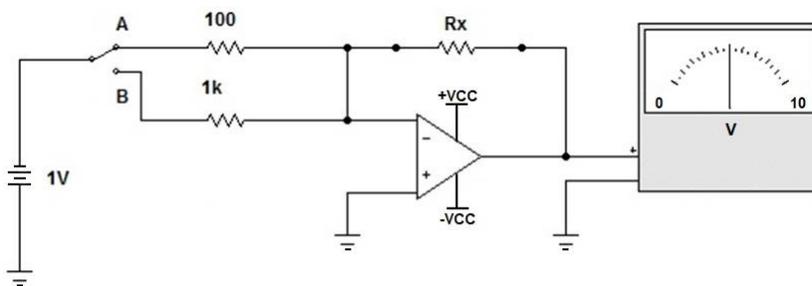
- Valor da corrente na carga (I_L)
- Quais os limites que pode ter R_L , na prática, para que o circuito possa funcionar como fonte de corrente? Considerar $V_{ECsat}=0V$



- 4) O circuito é um milivoltímetro de precisão. Qual o fim de escala para cada posição da chave? Considerar AO ideal e resistores de precisão.



- 5) O circuito é um ohmímetro de precisão e linear. Quais os limites de resistência (R_x) que podem ser medidos (fim de escala) em cada posição da chave? Considerar AO ideal.



Referencias

ALBUQUERQUE, Rômulo O. **Utilizando Eletrônica com AO, SCR, TRIAC, CI 555, LDR, LED, IGBT.** São Paulo: Erica, 2000

MALVINO, A. *Eletrônica Vol. 2* McGraw-Hill

