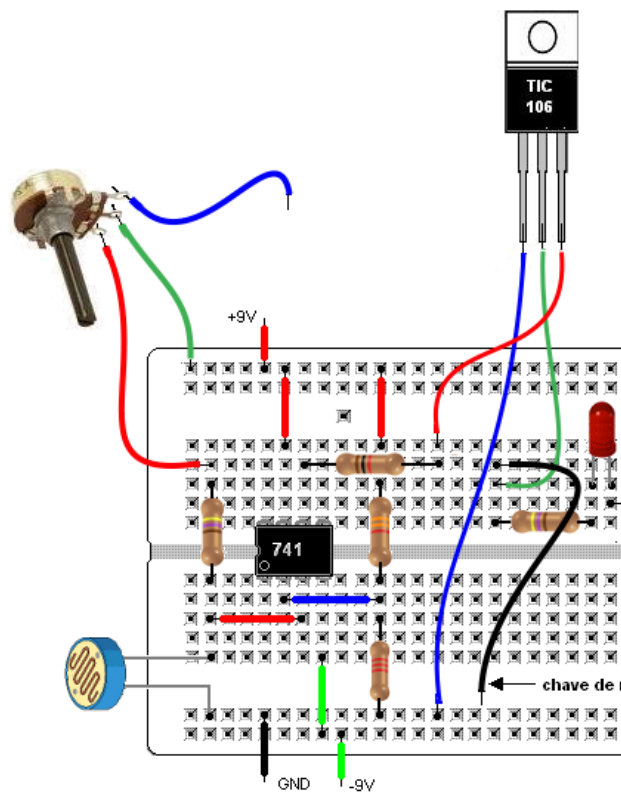


Prática com Amplificador Operacional, CI 555, SCR: 12 Experiências



Dedico esse texto ao meu neto querido Joaquim

Prefácio

A eletrônica ganha vida quando sai dos livros e toma forma na bancada. Este material nasce com o propósito de encurtar a distância entre a teoria e a prática, servindo como um guia dinâmico para estudantes de cursos técnicos, graduandos em engenharia, hobbistas e entusiastas da tecnologia. Se você busca entender a eletrônica tocando nos componentes e vendo a corrente fluir, este livro foi feito para você.

A obra foca em três pilares fundamentais da eletrônica analógica: os **Amplificadores Operacionais**, o versátil **CI 555** e o **SCR (Retificador Controlado de Silício) em corrente contínua**. Mais do que apenas memorizar fórmulas, o objetivo central aqui é capacitar o leitor a projetar, simular e executar montagens reais em matriz de contatos (protoboard).

Para garantir um aprendizado acessível tanto para iniciantes quanto para quem busca revisar conceitos, cada capítulo foi estruturado em três etapas:

- **Conceito Direto:** Introduções teóricas descomplicadas sobre o comportamento de cada componente.
- **Simulação Interativa:** Uso da plataforma **Falstad** para visualizar o circuito funcionando virtualmente.
- **Bancada Prática:** Guias passo a passo para montagem e testes seguros na protoboard.

Seja você um estudante preparando-se para o mercado, um acadêmico validando conceitos laboratoriais ou um hobbista criando seu próximo projeto, este texto será o seu mapa técnico. Prepare seus componentes, ligue o simulador e conecte-se ao mundo da eletrônica prática!

O autor

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 UNIA de Santo André - SP de 1986 a 2011

Foi professor na ETE Lauro Gomes de 1976 a 2004.

Participou do projeto do curso de Eletrônica Modalidade Autotônica 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

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.

Construiu e mantém o Site ELETRÔNICA24H no endereço

www.eletronica24h.com.br

Índice

Experiência 01	Amplificador Operacional em Malha Aberta - Introdução....	04
Experiência 02	Amplificador Inversor.....	12
Experiência 03	Amplificador Não Inversor – Buffer.....	14
Experiência 04	Amplificador Somador.....	20
Experiência 05	Amplificador Diferencial – Circuito Subtrator.....	25
Experiência 06	Comparadores.....	31
Experiência 07	Astável com AO.....	40
Experiência 08	Monoestável com AO.....	45
Experiência 09	CI 555 – Astável.....	50
Experiência 10	Monoestável - CI 555.....	56
Experiência 11	CI 555 - Schmitt Trigger.....	63
Experiência 12	SCR em Corrente Continua.....	66

Índice

Experiência 01: Amplificador Operacional em Malha Aberta - Introdução

Objetivos

- Verificar o comportamento de um AO, Amplificador Operacional, em malha aberta.
- Medir a saída saturada positiva e negativa

Material Usado

2 Baterias de 9 V com terminais
1 Multímetro digital
1 Matriz de pontos

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 dele é usado o modelo (circuito equivalente) mostrado na Figura 1b, o qual é adequado para a maioria das aplicações. A Figura 1a mostra o símbolo do AO e a Figura 1b o circuito equivalente simplificado.

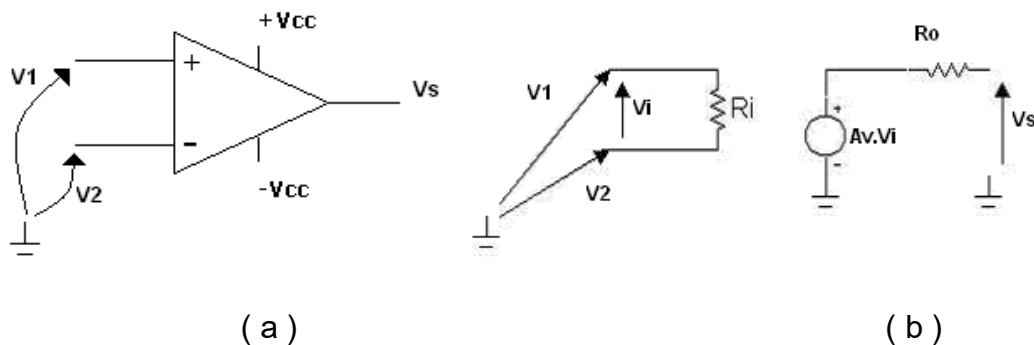


Figura 1 - Amplificador operacional – Símbolo e circuito equivalente

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, $V_s = A_v V_i = A_v (V_1 - V_2) = A_v (V_+ - V_-)$, 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) $A_v = 200.000$
- 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.

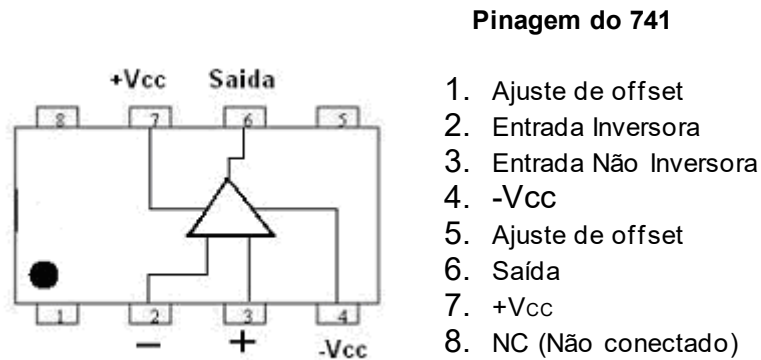


Figura 2 - 741 encapsulamento Dual in line - DIP

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:

$$V_s = A_v (V_+ - V_-)$$

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 inversora. Sem esse tipo de realimentação a saída satura facilmente, isto é, atinge o maior valor máximo, ou negativo ou positivo (+Vcc ou -Vcc). A máxima tensão está limitada à alimentação, nessas condições dizemos que a saída satura. Se a alimentação simétrica for $\pm 12\text{ V}$ a saída será aproximadamente $\pm 12\text{ V}$.

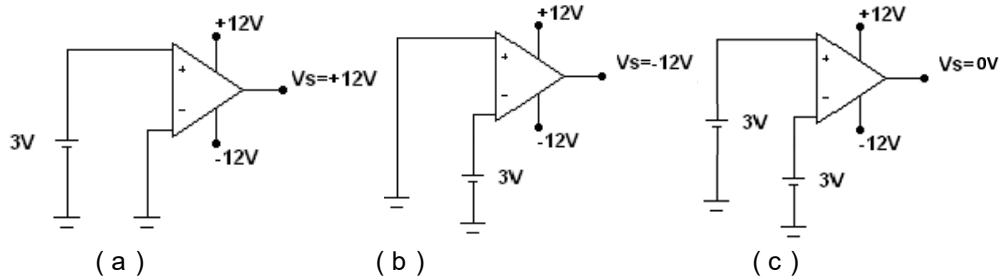


Figura 3 - Amplificador operacional em malha aberta

No caso da Figura 3a, $V_+ = 3\text{ V}$ e $V_- = 0\text{ V}$, $V_s = 200.000 \cdot (3\text{ V} - 0\text{ V})$, a saída satura positivamente, aproximadamente $+12\text{ V}$.

No segundo caso, Figura 3b, $V_+ = 0\text{ V}$ e $V_- = 3\text{ V}$, $V_s = 200.000 \cdot (0\text{ V} - 3\text{ V})$, a saída satura negativamente em aproximadamente -12 V .

No terceiro caso $V_+ = V_- = 3\text{ V}$, teoricamente a tensão na saída é nula, $V_s = 200.000 \cdot (3\text{ V} - 3\text{ V})$, mas na prática, devido a descasamentos existentes internamente, a tensão na saída não é zero. Na prática os valores de saturação são diferentes em módulo e menores que o valor da alimentação.

A Figura 4 mostra como obter de forma simples e barata uma fonte simétrica de 9 V a partir de duas baterias de 9 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 livro 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. 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.

Obs: O valor 9 V é adotado para que você possa, facilmente, usar baterias de 9V.

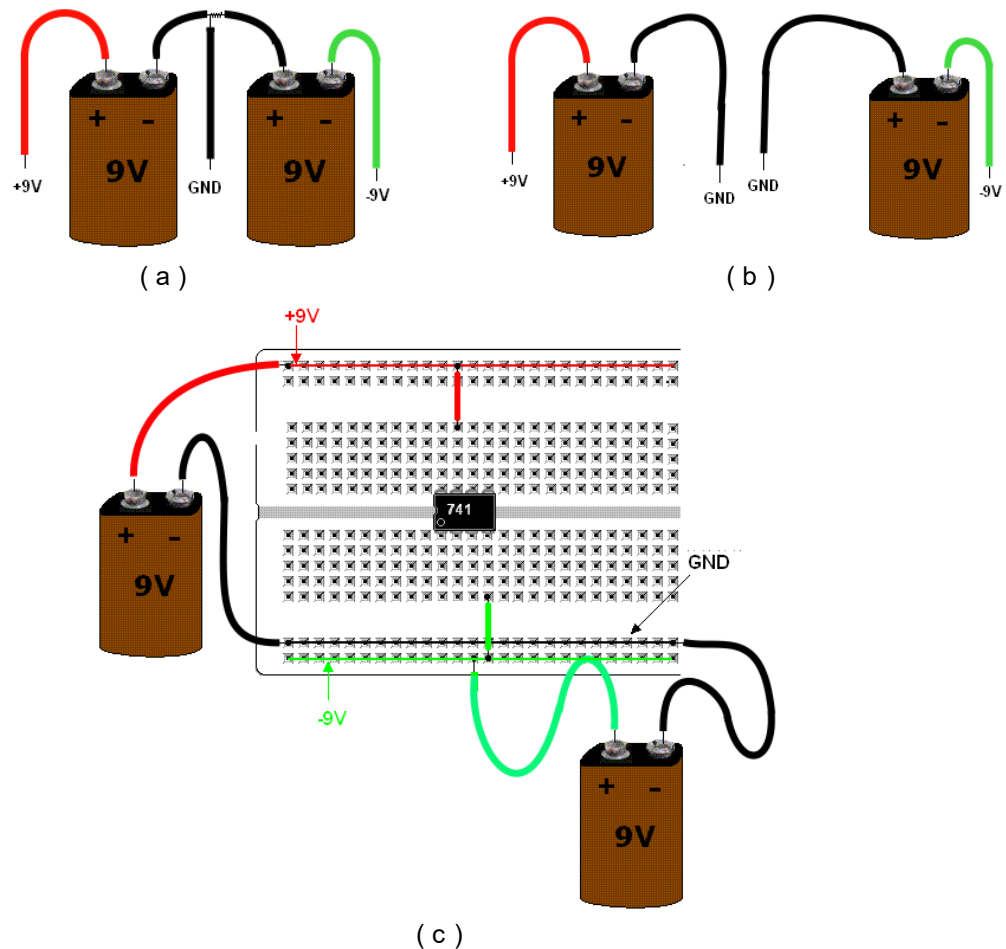
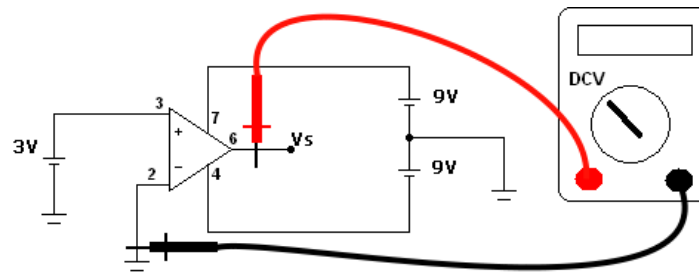


Figura 4: (a) e (b) Fonte simétrica de 9 V (c) AO sendo alimentado pela fonte simétrica de 9 V

Simulador1 Simulador2

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

$V_s =$ _____



(a)

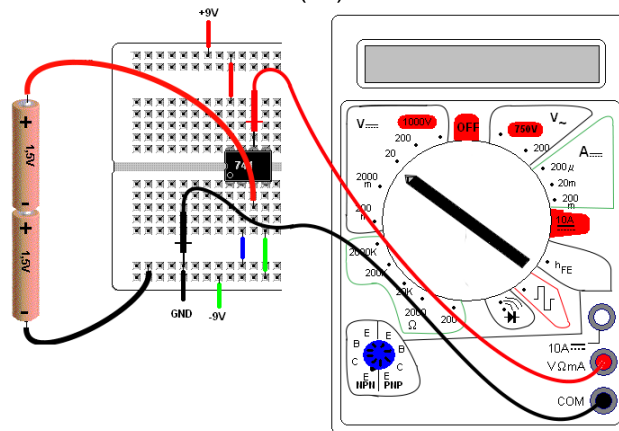


Figura 5 - Montagem do amplificador operacional em malha aberta (a) circuito (b) layout na matriz de pontos - entrada $V_+ = 3V$ e $V_- = 0V$

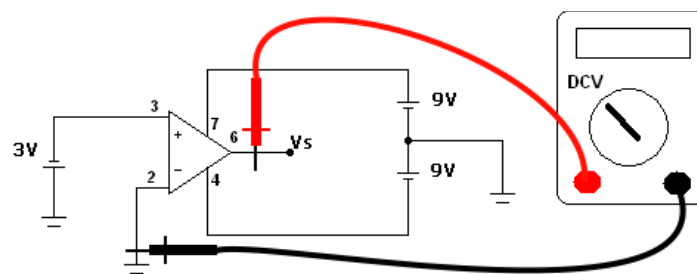
Simulador1

Simulador2

Obs: Se for mais fácil para você, pode usar a tensão de 1,5V (1 pilha).

3. Repita o item 2 considerando que a tensão na entrada não inversora é -3 V com a entrada inversora aterrada, para isso inverta os terminais das duas pilhas conforme Figura 6.

$V_s =$ _____



(a)

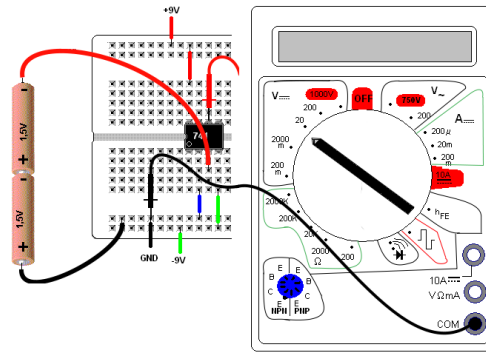


Figura 6: Montagem do amplificador operacional em malha aberta (a) circuito (b) *layout* na matriz de pontos - entrada não inversora em 3 V

Simulador1 Simulador2

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

$V_s =$ _____

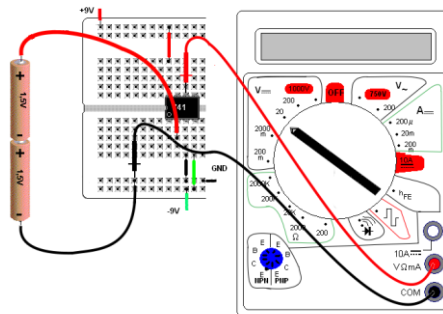
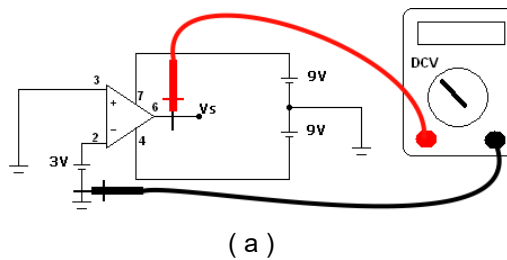
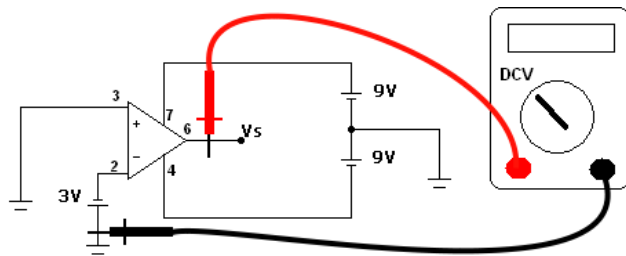


Figura 7: Montagem do amplificador operacional em malha aberta (a) circuito (b) *layout* na matriz de pontos - entrada inversora em 3 V

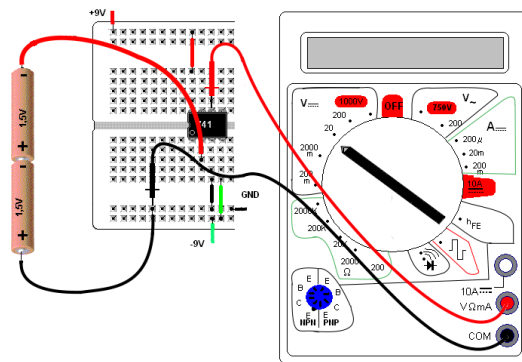
Simulador1 Simulador2

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

$V_s =$ _____



(a)



(b)

Figura 8 - Montagem do amplificador operacional em malha aberta (a) circuito (b) layout na matriz de pontos - entrada inversora em -3V

Simulador1 Simulador2

Baseado nas medidas e observações efetuadas escreva a sua conclusão.

Índice

Experiência 2: Amplificador Inversor

Objetivos

1. Determinar experimentalmente o ganho de um amplificador inversor em CC
2. Medir a tensão de saturação positiva e negativa.

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: 2k2/4k7/22 k
 Fios para conexão

Introdução Teórica

É um circuito com realimentação negativa, obtida através da rede de resistores R_2 e R_1 . A realimentação é negativa pois a saída se conecta com a entrada inversora. Todas as aplicações lineares obrigatoriamente devem ter realimentação negativa.

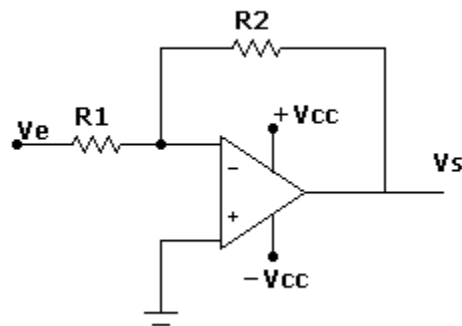


Figura 1 - Amplificador inversor

Para o circuito da Figura 1 a expressão do ganho é dada por:

$$A_{vf} = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

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 $+V_{cc}$ e a mínima a $-V_{cc}$. Na pratica os valores são abaixo de 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 $A_{vf}(\text{calc.})$ e $V_s(\text{calc.})$.

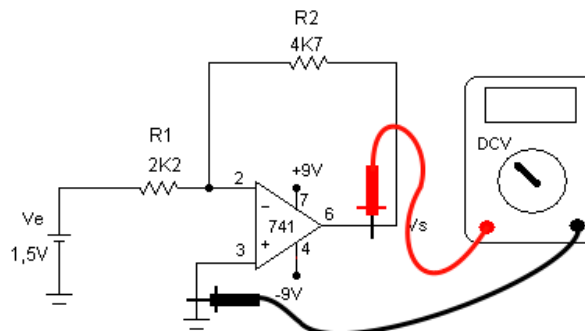


Figura 2: Circuito experimental - amplificador inversor com $V_e = 1,5 \text{ V}$

$A_{vf}(\text{calc.}) = \underline{\hspace{2cm}}$ $V_s(\text{calc.}) = \underline{\hspace{2cm}}$

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 $V_e(\text{efetivo})$. Meça a tensão de saída e anote.

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

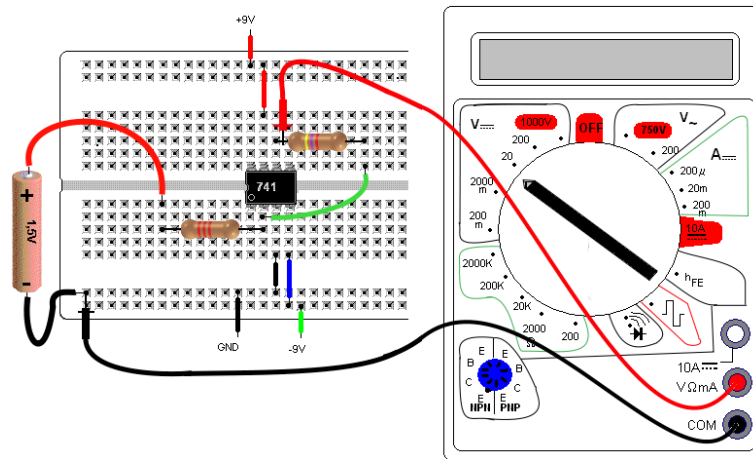


Figura 3: Circuito experimental com inversor - *layout* na MP
Simulador1 **Simulador2**

3. Determine o ganho por:

$$A_{vf} = \frac{V_s}{V_e(\text{efetivo})} = \text{-----}$$

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

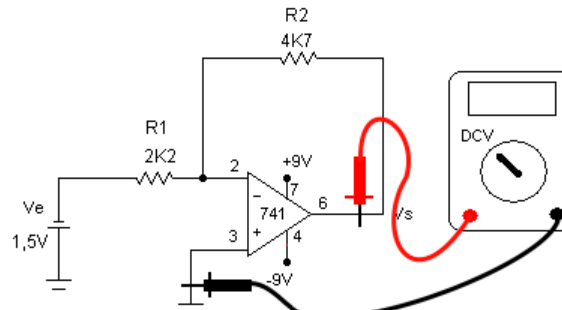


Figura 4: Circuito experimental - amplificador inversor com $V_e = -3\text{ V}$

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

4. Monte o circuito da Figura 4 na MP de acordo com a sugestão da Figura 5. Meça a tensão na saída.

$V_s = \text{-----}$

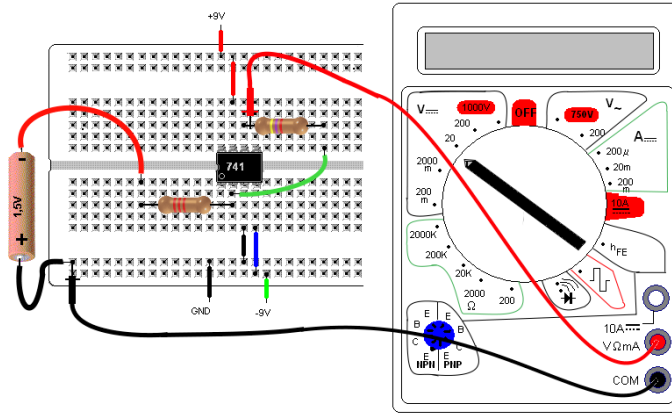


Figura 5: Circuito experimental com inversor - layout na MP
[Simulador1](#) [Simulador2](#)

5. Determine o ganho por:

$$A_{vf} = \frac{V_s}{V_e(\text{efetivo})} = \text{-----}$$

6. A partir dos resultados escreva uma conclusão

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

$V_s = \text{-----}$

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

$V_s = \text{-----}$

9. Anote os valores das tensões de saturação positiva e negativa.

$V_{sat}(+) = \text{-----}$ $V_{sat}(-) = \text{-----}$

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

Índice

Experiência 3: Amplificador Não Inversor - Buffer

Objetivos

1. Determinar experimentalmente o ganho de um amplificador não inversor.
2. Determinar experimentalmente o ganho do seguidor de tensão (Buffer)

Material Usado

2 Baterias de 9V com terminais
 1 Suporte para 1 pilha de 1,5V
 1 Pilha de 1,5V
 1 Multímetro digital
 1 Matriz de pontos
 1 CI 741
 Resistores: 1k/2k2/10 k

Introdução Teórica

Nesse circuito a tensão de saída está em fase com a de entrada, Figura 1.7 e como podemos observar a realimentação continua ser negativa, mas o sinal a ser amplificado é aplicado na entrada não inversora.

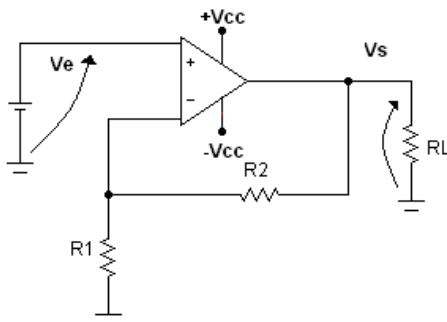


Figura 1: amplificador não inversor

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

$$A_{vf} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

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

Como o ganho é positivo se vale 10, significa que se $V_e = 0,5 \text{ V}$ a saída será igual a 5 V e se $V_e = -0,5 \text{ V}$ a saída valerá -5 V .

Buffer

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 2. O ganho desse circuito valerá:

$$A_{vf} = \frac{V_s}{V_e} = 1$$

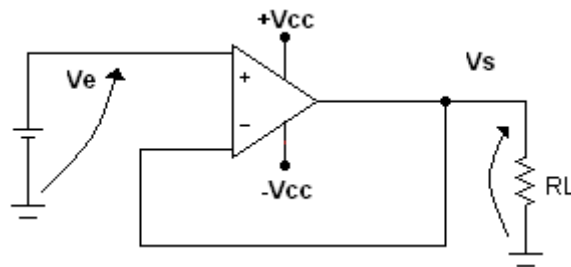


Figura 2: seguidor de tensão - buffer

Características do buffer são a altíssima impedância de entrada (centenas de Mega Ohms) e a baixíssima impedância de saída (milésimos de Ohms). 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. Para o circuito da Figura 3 calcule o ganho (A_{vf}) e em seguida a tensão na saída. Anote esses valores como A_{vf} (calculado) e V_s (calc.)

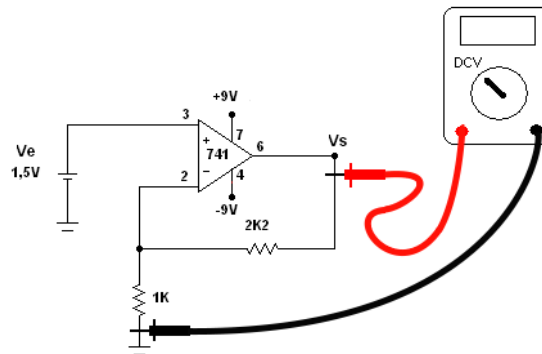


Figura 3: Amplificador Não Inversor - circuito experimental com entrada positiva

2. Monte o circuito da Figura 3 na MP de acordo com a sugestão da Figura 4. Meça o valor exato da tensão da pilha e anote como V_e (efetivo). Meça a tensão de saída e anote.

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

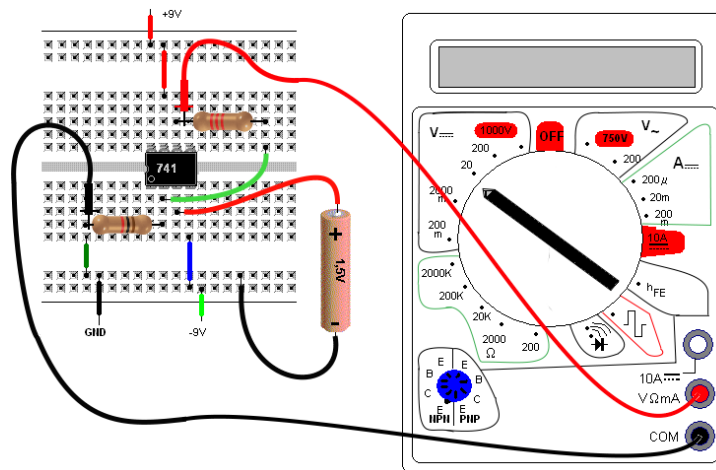


Figura 4: Sugestão de montagem na MP do circuito da Figura 3

[Simulador1](#) [Simulador2](#)

3. Determine o ganho por:

$$A_{vf} = \frac{V_s}{V_e(\text{efetivo})} = \underline{\hspace{2cm}}$$

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

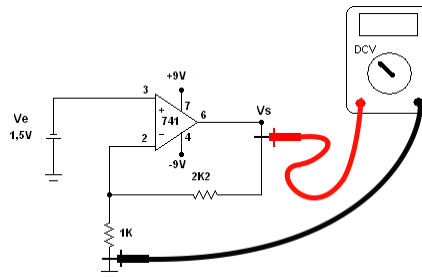


Figura 5: Amplificador Não Inversor - circuito experimental com entrada negativa

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

5. Monte o circuito da Figura 5 na MP de acordo com a sugestão da Figura 6.
Meça a tensão na saída.

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

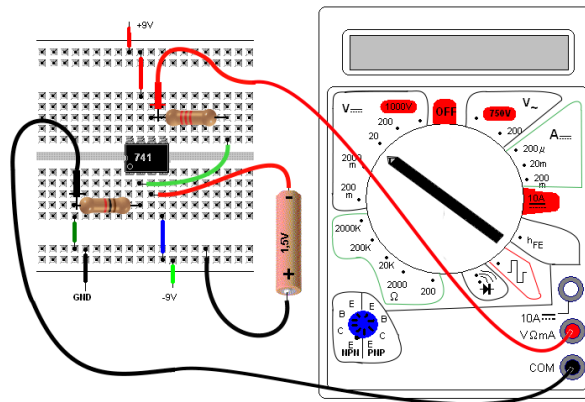


Figura 6: Sugestão de montagem na MP do circuito da Figura 5

[Simulador1](#) [Simulador2](#)

6. Determine o ganho por:

$$A_{vf} = \frac{V_s}{V_e(\text{efetivo})} = \underline{\hspace{2cm}}$$

7. A partir dos resultados escreva uma conclusão.
8. Para o circuito calcule a tensão na carga (1 K).

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

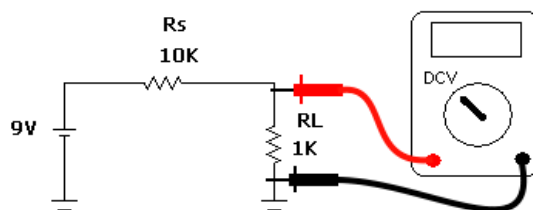


Figura 7: Divisor de tensão

9. Monte o circuito da Figura 7 de acordo com sugestão de *layout* da Figura 8, meça a tensão na carga.

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

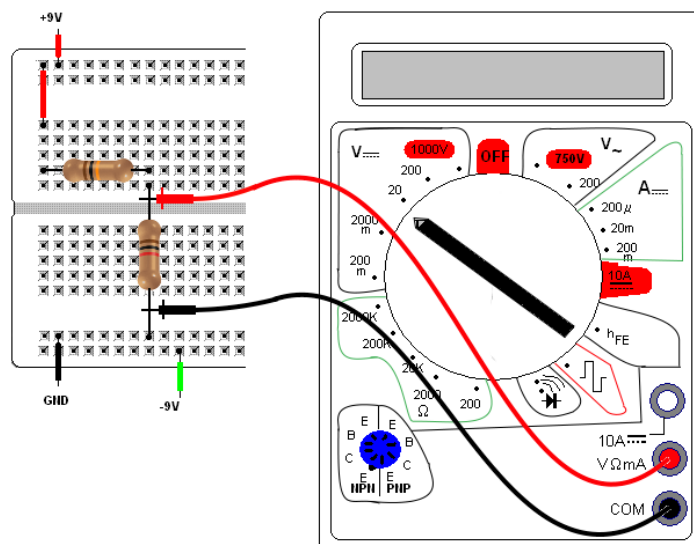


Figura 8: Divisor de tensão - sugestão de *layout* na MP
[Simulador1](#) [Simulador2](#)

10. Calcular a tensão na carga (1 k) no circuito da Figura 9.

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

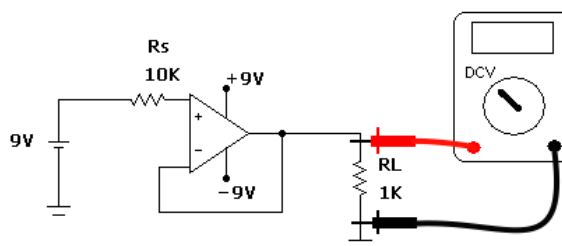


Figura 9 : Circuito com buffer

11. Monte o circuito da Figura 9 de acordo com sugestão de *layout* da Figura 10 e meça a tensão na carga.

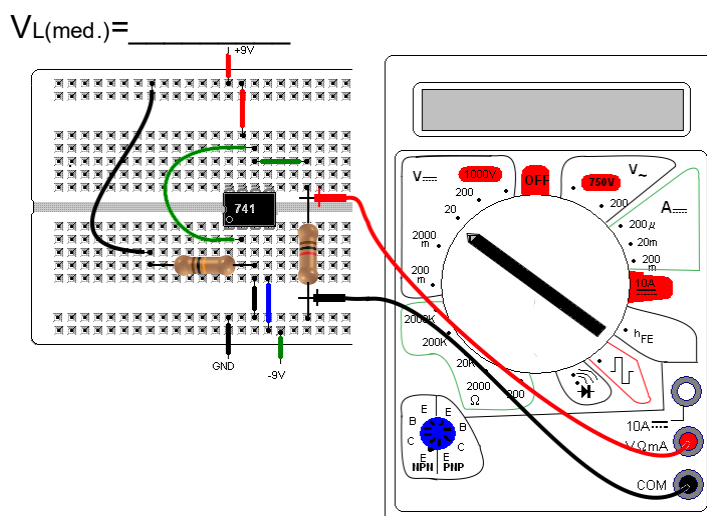


Figura 10: Circuito com buffer - sugestão de *layout* na MP
[Simulador1](#) [Simulador2](#)

11. A partir dos resultados escreva uma conclusão.

Índice

Experiência 4: 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
 3 Suportes para 1 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
 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}).

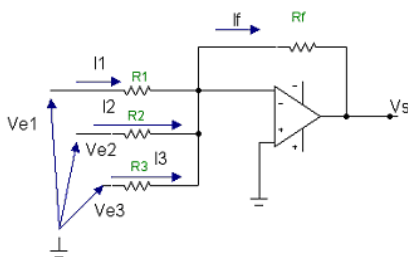


Figura 1 - Amplificador somador inversor

Para esse circuito a expressão da saída em função das entradas é dada por:

$$V_s = -R_f \left(\frac{V_{e1}}{R_1} + \frac{V_{e2}}{R_2} + \frac{V_{e3}}{R_3} \right)$$

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

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

$$V_s = -\frac{R_f}{R} (V_{e1} + V_{e2} + V_{e3})$$

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:

$$V_s = V_{e1} + V_{e2}$$

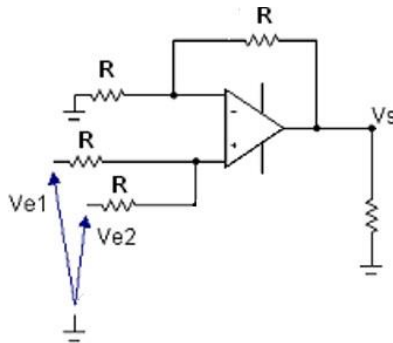


Figura 2 - Amplificador somador não inversor

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	

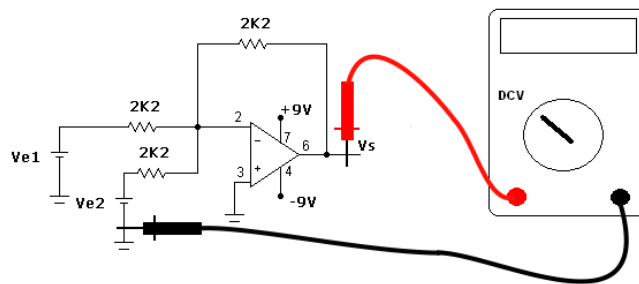


Figura 3: circuito somador inversor - parte experimental

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*	
1,5	3,0*	
0	0	

* Valores efetivamente medidos

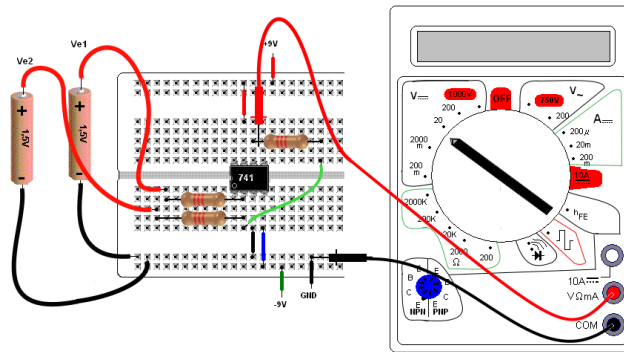


Figura 4: Amplificador somador inversor - sugestão de layout na MP
[Simulador1](#) [_Simulador2](#)

- Escreva a sua conclusão a partir dos resultados calculados e medidos
- Para o circuito da Figura 5 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	

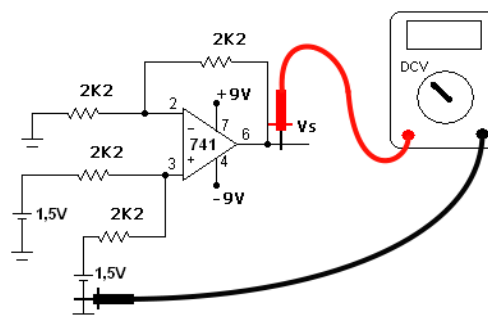


Figura 5: circuito somador não inversor - parte experimental

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	

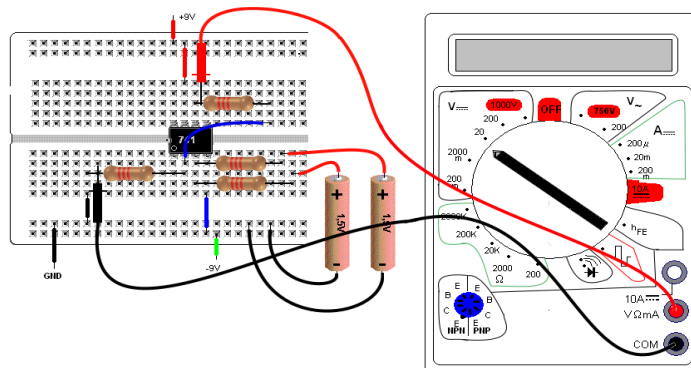


Figura 6: Amplificador somador não inversor - sugestão de *layout* na MP
Simulador1

6. Escreva a sua conclusão a partir dos resultados calculados e medidos