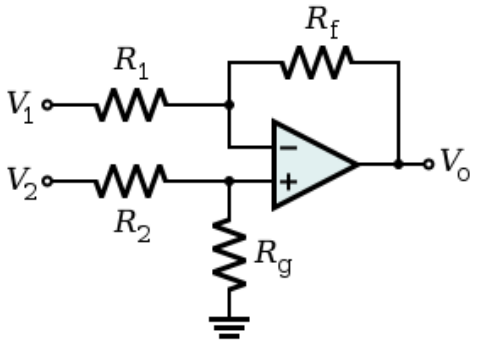
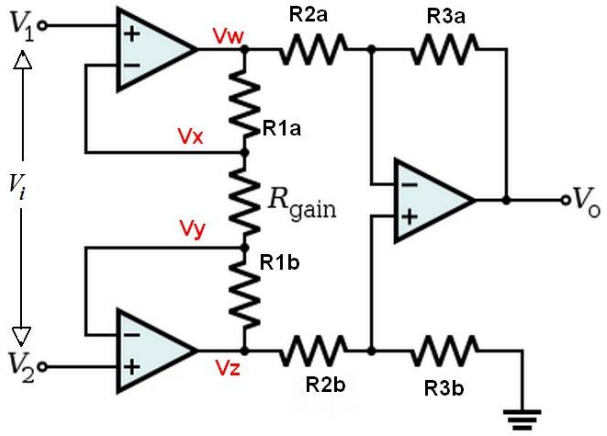
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA

Experimento #2

AMPLIFICADOR OPERACIONAL





Aplicações com amplificadores operacionais

Seguidor de tensão (Buffer), amplificador diferencial, amplificador de instrumentação, defasador, geração de sinal trifásico, inversor de polaridade e diferenciador.

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA

Guia de Experimentos

EXPERIMENTO #2

INTRODUÇÃO

Aplicações lineares com amplificadores operacionais

Objetivos Gerais

Montagem e observação experimental com diversos circuitos usando amplificadores operacionais. Os experimentos de laboratório aqui apresentados têm por objetivo a análise experimental de um circuito seguidor de tensão (buffer), amplificador diferencial, amplificador de instrumentação, defasador, inversor de polaridade e diferenciador.

Objetivos Específicos

Após completar estas atividades de laboratório, o aluno deverá estar habilitado a:

1. Projetar um amplificador diferencial.
2. Projetar um amplificador de instrumentação.
3. Projetar um circuito defasador.
4. Projetar um gerador de sinal senoidal trifásico usando amplificadores operacionais a partir de um sinal monofásico.
5. Projetar um inversor de polaridade.
6. Dimensionar um circuito diferenciador passivo.

Amplificador Operacional - Aplicações

A principal função dos amplificadores operacionais é a de amplificar tensão, entretanto, associando-se estes dispositivos com outros componentes, possibilita-se a efetivação de montagens que desempenhem outras funções sobre os sinais.

As combinações de integradores, somadores e amplificadores podem ser usados para resolver equações diferenciais representativas de sistemas físicos.

Neste experimento devemos observar o funcionamento de alguns circuitos largamente utilizados em aplicações eletrônicas em geral.

Iniciamos com a montagem de um circuito seguidor de tensão (buffer), usado para isolação de sinais entre estágios com diferentes impedâncias.

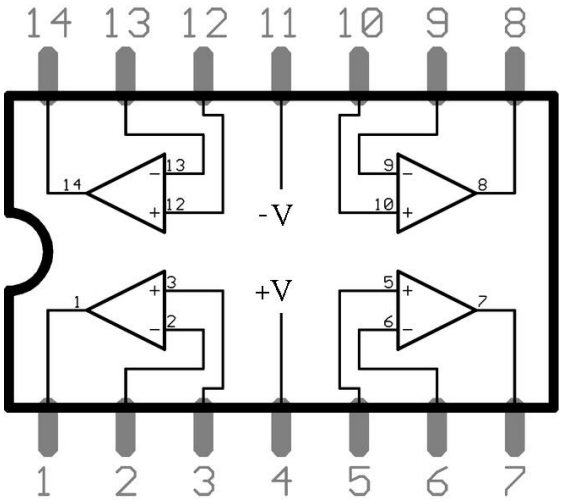
Em seguida é implementado o circuito de um amplificador diferencial e um amplificador de instrumentação muito utilizado em instrumentação e controle.

Outra aplicação para o amplificador operacional é observada com a montagem de um circuito defasador empregado para defasar sinais senoidais, sem alteração da sua amplitude, normalmente, denominado de filtro passa-tudo, por apresentar ganho unitário para todas as frequências.

Usando circuitos defasadores é possível obter um sinal trifásico a partir do sinal senoidal monofásico aplicado na sua entrada.

Este conjunto de experimentos conclui com a montagem de um circuito diferenciador passivo.

PARTE EXPERIMENTAL



Amplificador Operacional - TL084/TL074/LM324

MONTAGENS EXPERIMENTAIS

Montagem 1 BUFFER – SEGUIDOR DE TENSÃO

Um amplificador operacional operando na configuração de seguidor de tensão [**Buffer**] fornece um meio de isolar o sinal de entrada de uma carga, por meio de um estágio de ganho unitário, sem inversão de fase ou polarização, agindo como um circuito ideal de impedância de entrada muito alta e baixa impedância de saída. A figura 1 mostra um amplificador operacional conectado de forma a proporcionar a operação como buffer.

Note que o ***buffer*** é um caso particular do amplificador não inversor com ganho igual a 1.

Monte o circuito da figura 1, aplique na entrada sinais senoidal e triangular. Altere a frequência e amplitude dos sinais aplicados (senoidal, triangular, quadrada) e observe com o osciloscópio os sinais de entrada e saída simultaneamente. Comente a sua observação. Observe que o sinal da entrada inversora (*conectada a saída*) acompanha o sinal da entrada não inversora como resultado da realimentação negativa e do alto ganho do amplificador operacional.

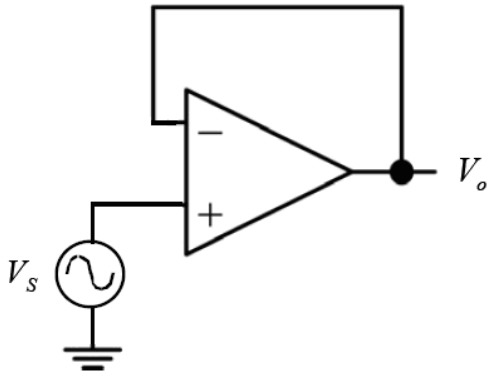


Figura 1 – BUFFER (seguidor de Tensão)

Montagem 2 AMPLIFICADOR SUBTRATOR
AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO

Em muitas aplicações industriais frequentemente precisamos amplificar diferenças de tensões originárias da variação de alguma grandeza física (temperatura, luz, força, umidade) sobre um sensor.

O ***amplificador diferencial,*** também conhecido como ***amplificador subtrator,*** é um tipo de amplificador comumente usado para amplificar a diferença ΔV entre duas entradas de tensão, produzindo dessa forma, um ganho diferencial.

O experimento descrito a seguir tem por objetivo a verificação prática de um *amplificador diferencial* usado largamente em diversas áreas da engenharia eletrônica.

O circuito mostrado na figura 2A apresenta um divisor de tensão resistivo com a finalidade de fornecer as tensões V_1 e V_2 para o estudo de um amplificador diferencial cuja saída V_o proporciona um valor amplificado da diferença entre estas duas tensões ΔV. Observe a inclusão do circuito seguidor de tensão (***buffer***) com a finalidade de apresentar isolação (alta impedância) entre o divisor resistivo e o amplificador diferencial.

Escreva a expressão para a tensão de saída no amplificador diferencial mostrado na figura 2 em função das entradas V_1 e V_2. Observe que $\mathbf{V_o = k(V_2 - V_1)}$. Determine os valores teóricos de $\mathbf{V_1}$, $\mathbf{V_2}$ e **k**.

Monte o circuito da figura 2A e utilizando um multímetro digital na escala de tensão DC meça a tensão diferencial na entrada $\Delta V=(V_2 - V_1)$ e a tensão V_o na saída do amplificador diferencial. Determine o ganho experimentalmente, ou seja, o valor experimental de $k = \dfrac{V_O}{V_2 - V_1} = \dfrac{V_O}{\Delta V}$.

Compare os valores obtidos teoricamente e experimentalmente para o ganho diferencial **k**.

$R_1 = 10k\Omega,\ R_2 = 1k\Omega,\ R_3 = 10k\Omega,\ R_4 = 10k\Omega\ e\ R_5 = 100k\Omega.\quad V_{CC} = 12V.$

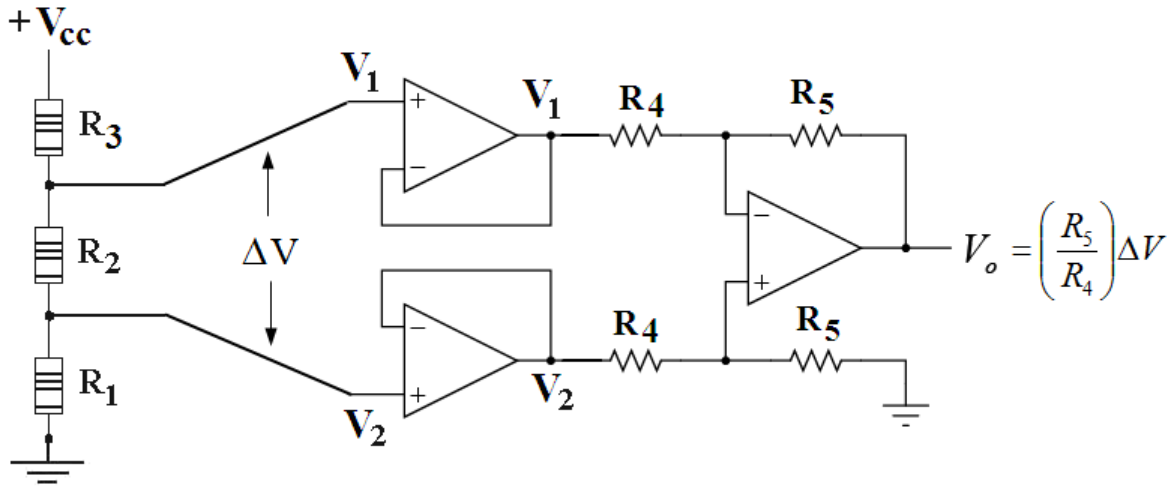


Figura 2A – AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

O ***amplificador de instrumentação***, mostrado na figura 2B, possibilita o controle do ganho diferencial ΔV variando-se apenas um resistor R_G, mantendo-se a alta impedância nas duas entradas e a alta rejeição a tensão modo comum, propriedades presentes em muitas aplicações. Qualquer potencial indesejável "*comum aos dois sinais de entrada*" será cancelado e não aparecerá na saída.

Escreva a expressão para a tensão de saída do amplificador de instrumentação mostrado na figura 2B em função das entradas V_A e V_B.

Observe que $\mathbf{V_o = k(V_B - V_A) = k\,\Delta V}$. Determine o valor teórico de ***k***.

Monte o circuito da figura 2B.

Considere $R = R_1 = 10k\Omega,\ R_2 = 100k\Omega\ \ e\ R_G = 10k\Omega.$

Aplique uma tensão senoidal (1 kHz) na entrada do circuito da figura 2B e, com o uso dos dois canais do osciloscópio, meça o ganho diferencial ***k***. Compare com o valor teórico esperado.

Inverta as entradas V_A e V_B e observe com o uso dos dois canais do osciloscópio os sinais da entrada e saída. Justifique a modificação observada.

Substitua o resistor R_G por um potenciômetro (47kΩ) e observe a variação do ganho diferencial em função da variação da resistência do potenciômetro (R_G).

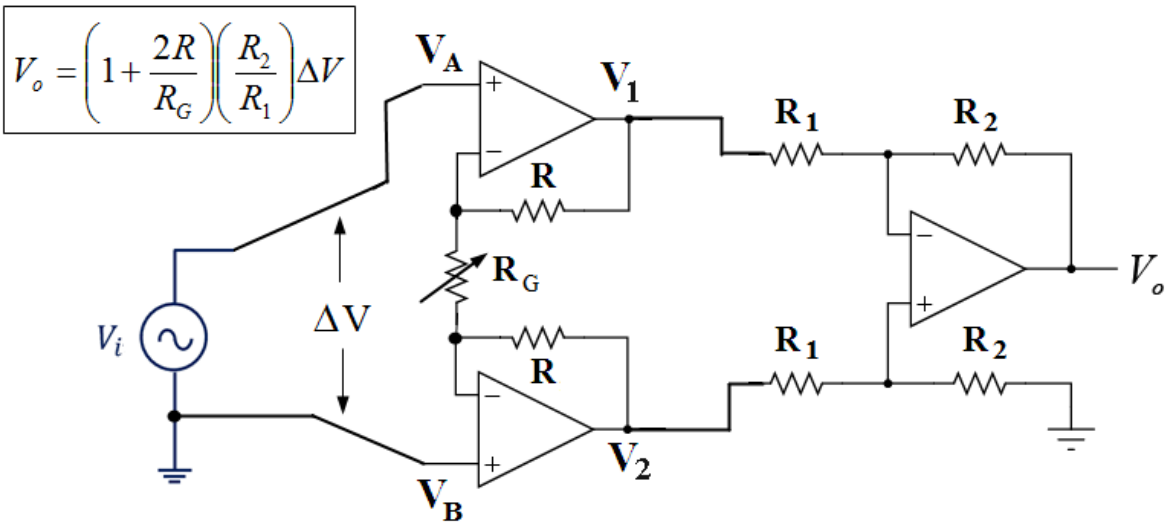


Figura 2B – AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO

Normalmente um amplificador de instrumentação pode ser adicionado a uma *Ponte de Wheatstone* para amplificar a diferença de tensão gerada na ponte por um sensor colocado em um dos seus ramos.

Muitas aplicações industriais fazem uso desta configuração para obtenção de saídas com tensões mais elevadas a partir de pequenas tensões ocasionadas por sensores (pressão, temperatura, umidade, luminosidade, aceleração, força) colocados nos braços da *Ponte de Wheatstone*, conforme ilustra a figura 3.

Na indústria os condicionadores de sinais, baseados nas *pontes de Wheatstone*, estão normalmente localizados em salas de controle. Variações sobre a *ponte de Wheatstone* podem ser usadas para medir diversas grandezas físicas. A partir das medições realizadas é possível tomar decisões, muitas vezes automatizadas e associadas ao uso de microcontroladores. Normalmente, a tensão de saída V_o é digitalizada por um circuito conversor analógico-digital e seu valor comparado com a faixa de operação desejada. A partir desta comparação um comando de controle para um atuador pode ser ativado para que o sistema permaneça dentro da faixa de trabalho desejada. Por exemplo, um sensor de temperatura, pressão ou luminosidade, pode ser colocado em um dos ramos da *ponte de Wheatsonte* e qualquer variação destas grandezas físicas pode ser representada por uma correspondente variação de tensão na saída do amplificador diferencial. Observe que pequenas variações no sensor provocam pequenas variações de tensão na *ponte de Wheatstone* que por sua vez podem ser amplificadas pelo estágio do amplificador de instrumentação, contribuindo assim, para um aumento na sensibilidade do sistema.

QUESTÃO TEÓRICA: Considere o circuito mostrado na figura 3. Determine a expressão para a saída V_o. Determine $V_O = K\Delta V = K(V_2 - V_1)$. Determine o valor do ganho total **K.** Considere $\Delta V = V_2 - V_1$.

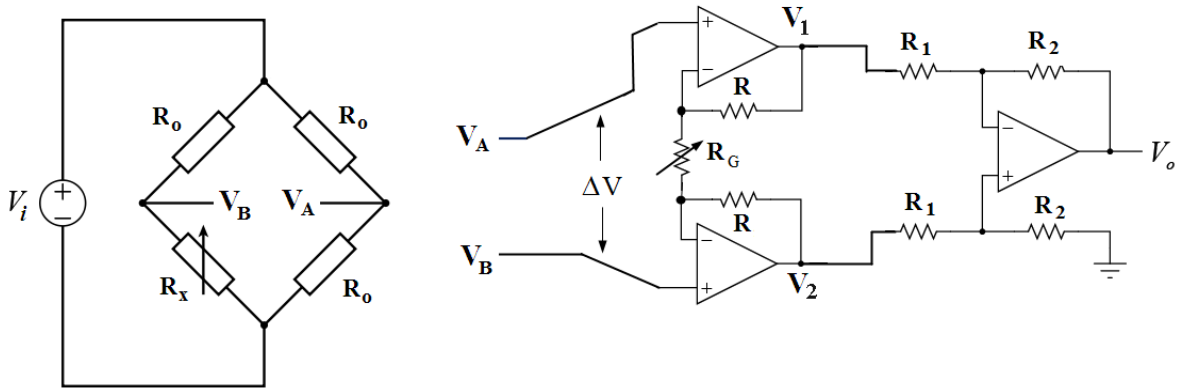


Figura 3 – AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO COM PONTE DE WHEATSONE

Sugira algumas aplicações para o amplificador de instrumentação usando a configuração mostrada na figura 3.

Montagem 3 DEFASADOR (Phase Shifter)

Um circuito defasador produz uma diferença de fase entre o sinal de entrada e o sinal de saída sem alteração na sua magnitude. A diferença de fase ϕ , entre a entrada e a saída do circuito da figura 4 é determinada pela expressão $\phi = 180 - 2arctg\,2\pi fRC$, onde **R** é o valor da resistência da malha de realimentação negativa, **C** é o capacitor e ***f*** é a frequência angular do sinal de entrada. Justifique esta expressão. Monte o circuito da figura 4. Excite a entrada do circuito com um sinal senoidal de 1,0kHz e 5,0V de amplitude. Conecte a entrada e a saída do circuito aos canais do osciloscópio. Considere $R_0 = R = 10k\Omega$ e $C = 10nF$.

O diagrama esquemático abaixo mostra um circuito deslocador de fase (0º a 180º). Quando alimentado por um sinal senoidal o circuito produz um sinal de saída senoidal deslocado na fase relativo à entrada igual a $V_o = V_i\sin(\omega t - \phi)$. Determine o valor do ângulo ϕ do deslocamento de fase para este circuito nos termos de R, C e ω, a freqüência angular do sinal de entrada. Monte o circuito da figura 4, varie a freqüência e a tensão de entrada V_i e observe que a amplitude do sinal de saída se mantém igual a amplitude do sinal de entrada variando apenas a fase em função da freqüência do sinal aplicado.

Por esta característica de manter a amplitude de saída igual a amplitude de entrada para qualquer frequência, este circuito é conhecido também como **Filtro Passa Tudo [ALL PASS FILTER]**.

$$H(s) = \frac{V_O(s)}{V_i(s)} = \frac{sRC - 1}{sRC + 1}$$

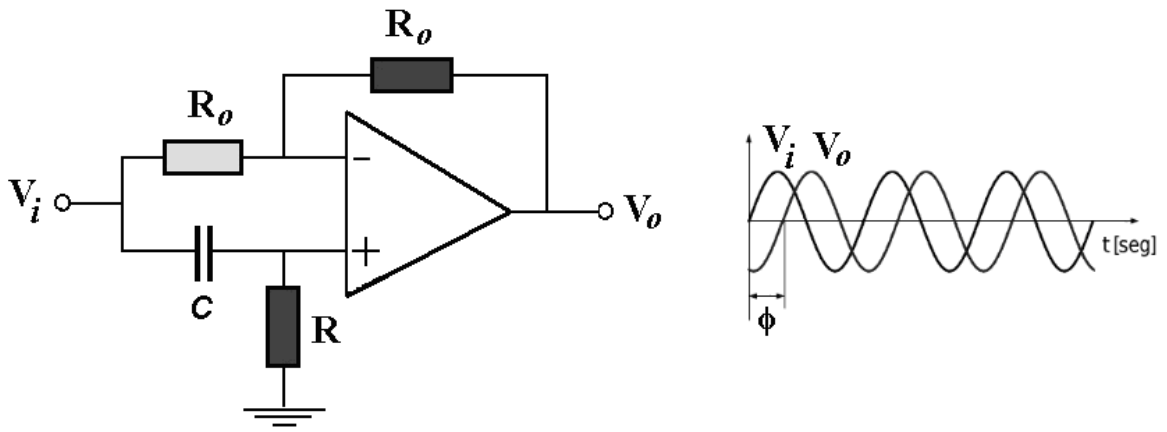
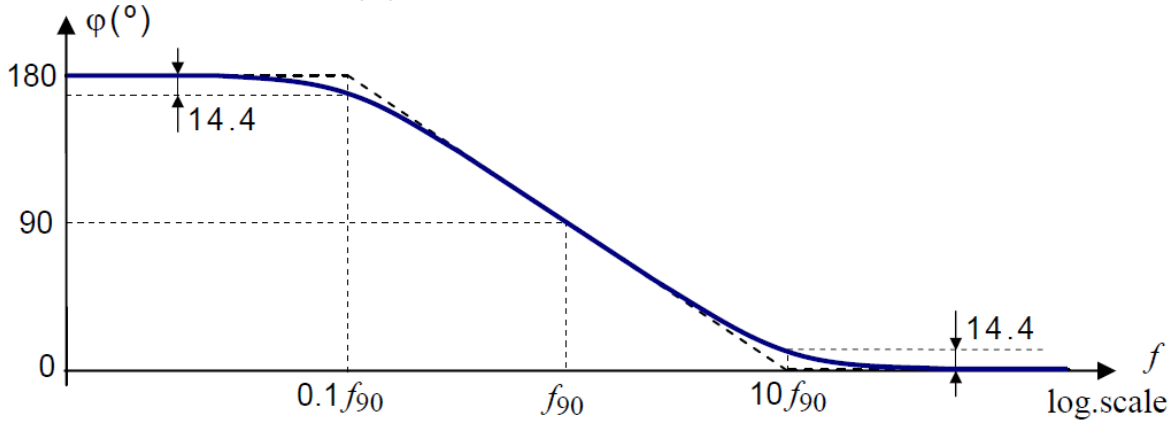


Figura 4 – CIRCUITO DEFASADOR

$$\varphi(\omega) = 180^o - 2\tan^{-1}\omega RC$$



Substitua o resistor R por um potenciômetro de 47kΩ e observe a variação da fase (*defasamento*) em função de R conforme mostrado na Figura 5.

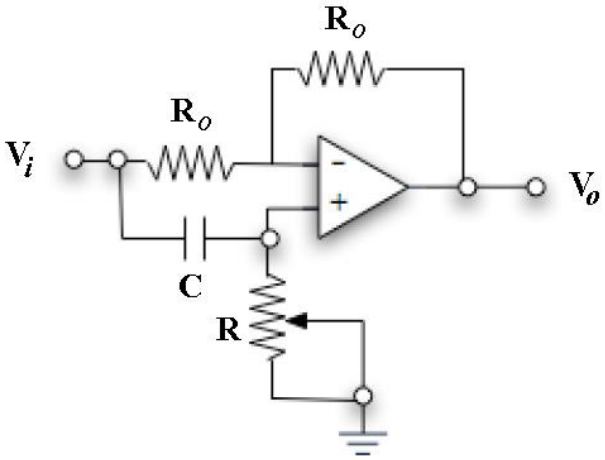
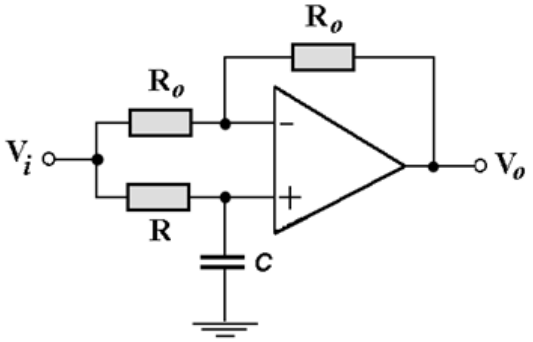


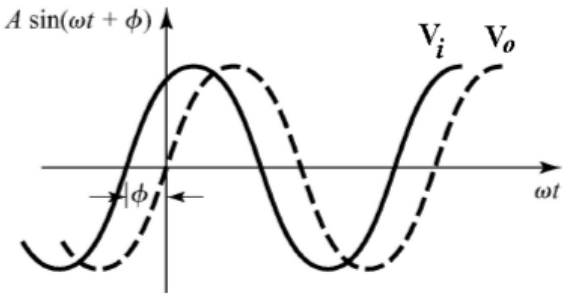
Figura 5 – DEFASADOR VARIÁVEL

Observe que mantendo o valor da resistência e frequência constantes, a partir da medição do defasamento entre o sinal de entrada e saída é possível determinar o valor da capacitância (***Capacitímetro***).

Caso o resistor R seja substituído por um termistor ou fotoresistor tem-se um circuito defasador em função da temperatura ou da luz incidente.

Outra possibilidade de aplicação para este circuito é usá-lo como modulador por fase variando o valor da resistência ou capacitância e mantendo a frequência constante.





$$H(s)=\frac{V_O(s)}{V_i(s)}=\frac{1-sRC}{1+sRC}$$

$$\phi=-2arctg\,2\pi fRC$$

APLICAÇÃO: GERADOR TRIFÁSICO

Observe que o circuito defasador apresentado na montagem anterior pode ser utilizado para gerar um *sinal trifásico* (saídas defasadas entre si por 120^0) a partir de um sinal monofásico, conforme mostrado na Figura 6.

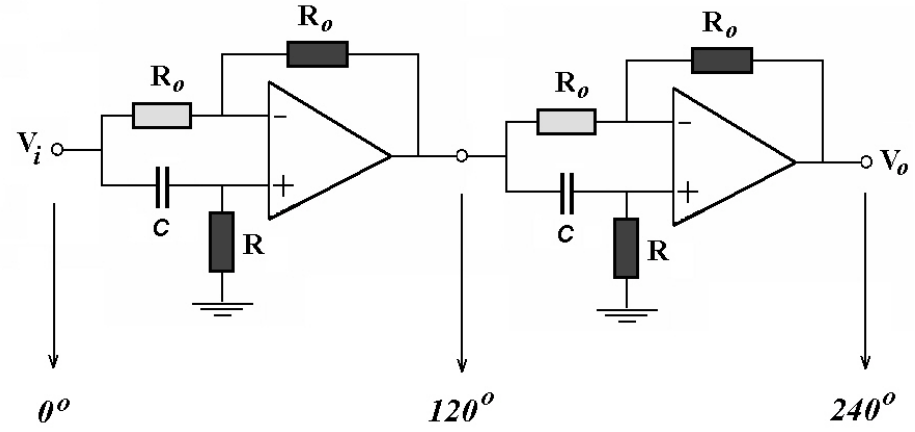


Figura 6 – GERAÇÃO DE SINAL TRIFÁSICO

Montagem 4 GANHO VARIÁVEL E INVERSOR DE POLARIDADE

O circuito mostrado na Figura 7A tem a possibilidade de variar o ganho em tensão de um sinal entre -1 e +1. Observe que, dependendo da posição do potenciômetro, não somente o ganho varia como também a polaridade do sinal. Este circuito pode ser usado para mudar a polaridade de um sinal na adição com outros sinais. R = 10kΩ e R_P = 47kΩ.

Encontre a relação entre V_o e V_i e mostre que o ganho pode variar entre +1(**não *inversor de polaridade)*** e -1 (***inversor de polaridade***). Determine o ganho teórico V_o/V_i.

Monte o circuito da Figura 7A. Aplique um sinal (senoidal, triangular, quadrada) com 10V@10kHz e observe, simultaneamente, o sinal na entrada e saída quando o potenciômetro estiver posicionado no seu:

(a) Máximo valor;

(b) Ponto médio (meio do potenciômetro);

(c) Mínimo valor.

Observe o ganho em tensão Vo/Vi para cada caso acima.

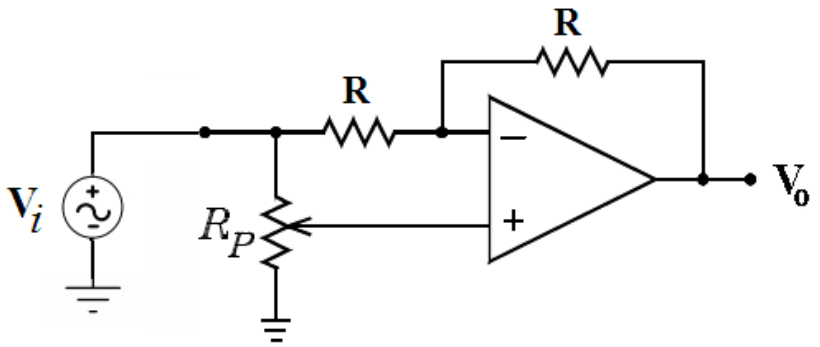


Figura 7A – CIRCUITO INVERSOR DE POLARIDADE

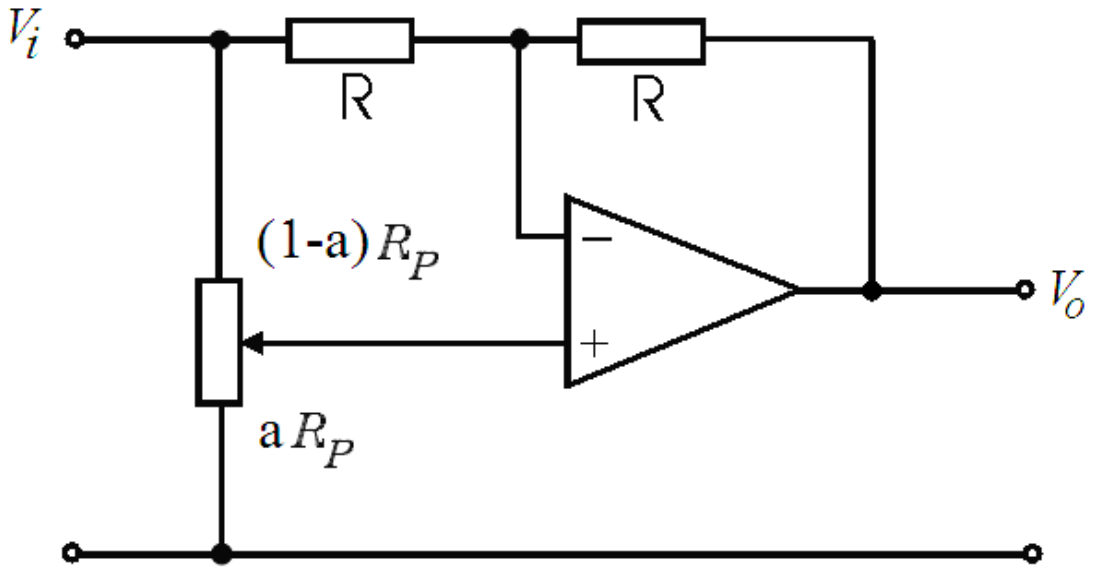
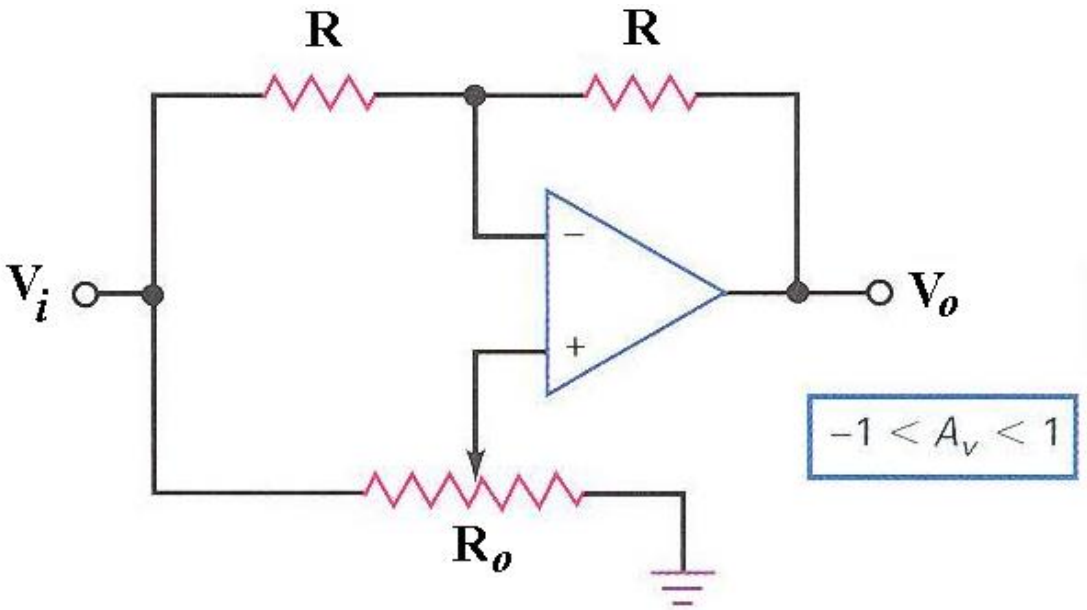


Figura 7B – $Ganho\ em\ Tensão = 2a - 1$

A variável "a" representa a porcentagem de mudança na posição do potenciômetro podendo variar entre "0" e "1".

Mostre que o ganho do circuito a seguir pode variar entre -1 e +1 dependendo da posição do potenciômetro. Mostre que quando o potenciômetro estiver na posição central a saída será nula.



Montagem 5 DIFERENCIADOR PASSIVO

Diversas aplicações em eletrônica recorrem ao uso de circuitos diferenciadores para a implementação desta funcionalidade.

Um circuito diferenciador é caracterizado por realizar a operação derivada. Efetivamente, apresenta na sua saída um sinal cuja tensão representa a derivada do sinal aplicado na sua entrada. O diferenciador pode ser utilizado na implementação de circuitos analógicos onde se deseja obter a derivada de um sinal, ou seja, $V_2(t) = \frac{dV_1(t)}{dt}$.

A equação mostrada a seguir, correspondente ao circuito RC diferenciador da figura 8, mostra que o mesmo pode ser utilizado como um diferenciador ideal desde que a relação $\omega << \frac{1}{RC}$ seja satisfeita.

$$H(s) = \frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{sRC}{1+sRC}$$

$$Se\ sRC << 1 \text{ , ou seja, } \omega << \frac{1}{RC}$$

$$H(s) = \frac{V_2}{V_1} \cong sRC,$$

Observa-se que desta forma a função de transferência H(s) representa um diferenciador ideal.

Monte o circuito da figura 8 e observe a sua funcionalidade. Considere R=1kΩ, C=1nF e freqüência de 1kHz. Verifique que estes valores satisfazem a relação acima, ou seja, nestas condições o circuito RC pode ser considerado um circuito diferenciador.

Aplique uma onda quadrada, triangular e senoidal na entrada e observe simultaneamente as formas de ondas na entrada e na saída.

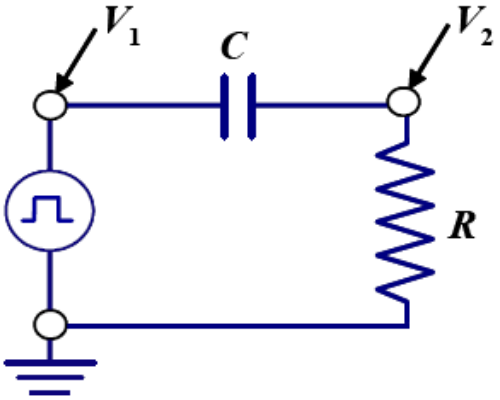
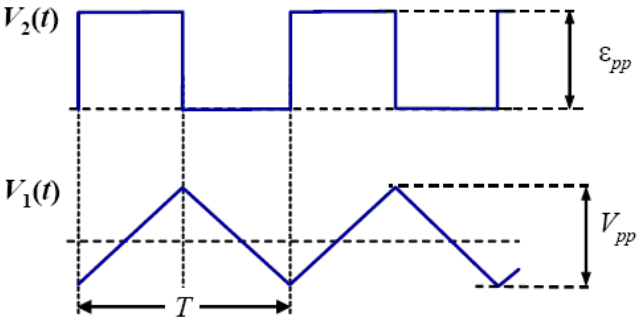


Figura 8 – CIRCUITO DIFERENCIADOR PASSIVO



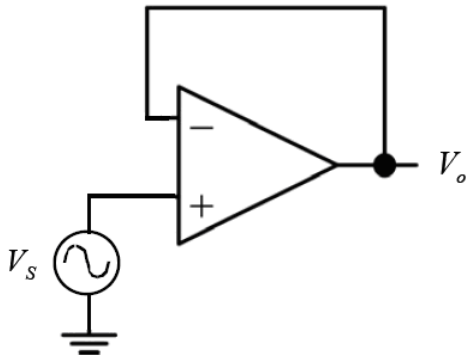
Questão: (A) Apresente um circuito para um diferenciador ativo.

(B) Sugira aplicações para cada um dos circuitos montados neste experimento.

GUIA DAS MONTAGENS

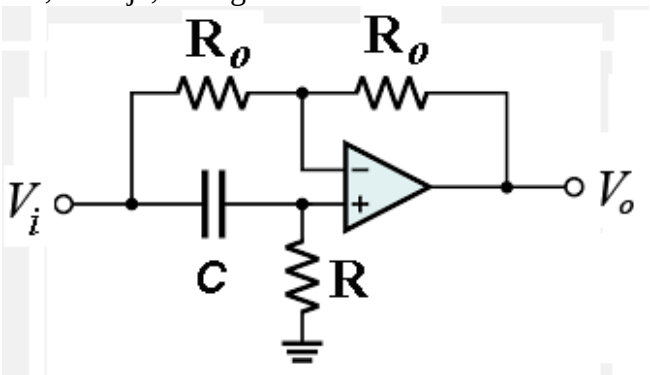
MONTAGEM 1
SEGUIDOR DE TENSÃO (*Buffer*)

Aplique um sinal com amplitude de 5V e forma de onda senoidal, triangular e quadrada na entrada do circuito a seguir. Varie a frequência e a amplitude. Do sinal na entrada e observe o sinal na saída, com o uso dos dois canais do osciloscópio (entrada e saída).



Montagem 2
DEFASADOR (*Phase Shifter*)

Verifique experimentalmente a funcionalidade do circuito mostrado na figura a seguir capaz de produz um *defasamento* para sinais senoidais em função da *frequência, resistência e capacitância*, sem alteração na amplitude do sinal senoidal aplicado na entrada, ou seja, com ganho unitário.

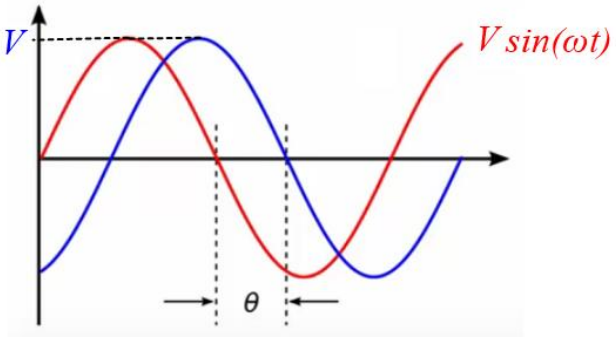


$$H(s) = \frac{V_O(s)}{V_i(s)} = \frac{sRC - 1}{sRC + 1}$$

$$\varphi(\omega) = 180^o - 2\tan^{-1}\omega RC$$

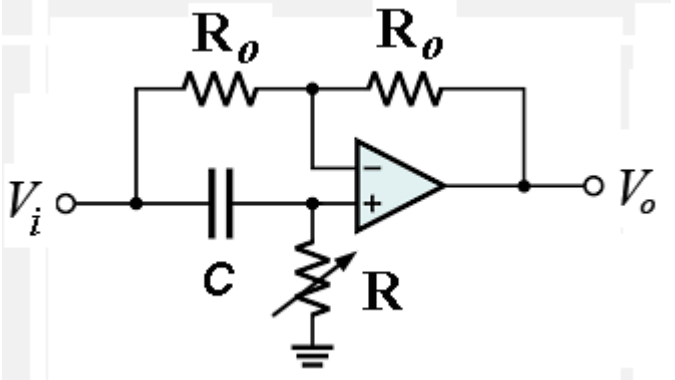
R_0 = R = 10kΩ e **C = 10nF**

Defasamento em função da variação da frequência



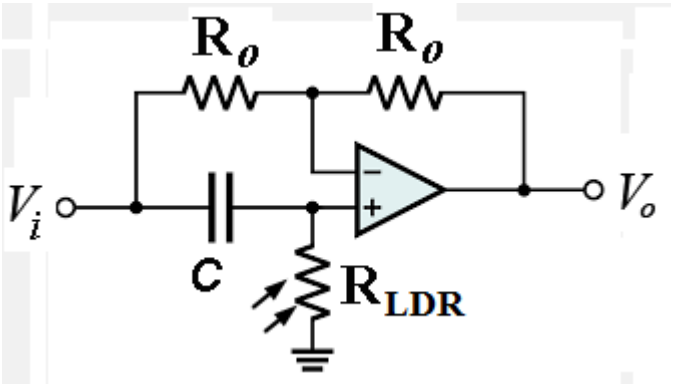
(A) Aplique um sinal senoidal na entrada e observe, com os dois canais do osciloscópio aplicados na entrada e saída do circuito, o *defasamento* quando se varia a frequência do sinal na entrada.
(B) Aumente e diminua a amplitude do sinal de entrada e observe a variação da amplitude do sinal de saída. Compare!
(C) Determine o ganho experimentalmente.

MONTAGEM 3
Defasamento em função da variação da resistência



Aplique um sinal senoidal na entrada e observe, com os dois canais do osciloscópio aplicados na entrada e saída do circuito, o *defasamento* quando se varia a resistência R.

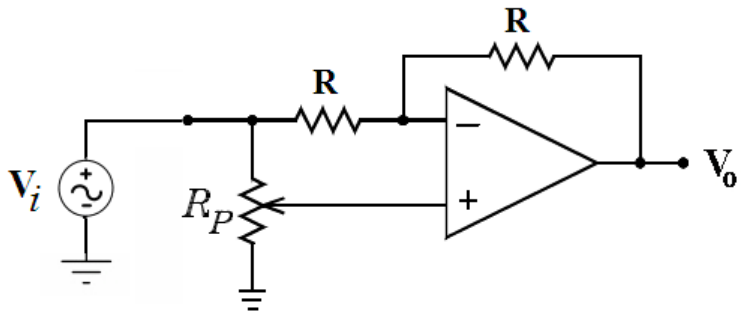
MONTAGEM 4
Defasamento em função da variação da intensidade luminosa com LDR



Aplique um sinal senoidal na entrada e observe, com os dois canais do osciloscópio aplicados na entrada e saída do circuito, o *defasamento* quando há variação na incidência de luz sobre o LDR (*Light Dependent Resistor*).

MONTAGEM 5
GANHO VARIÁVEL E INVERSOR DE POLARIDADE

Aplique um sinal (senoidal, triangular, quadrada) com 10V@10kHz e observe simultaneamente, com os dois canais do osciloscópio, o sinal na entrada e saída quando o potenciômetro estiver posicionado no seu: (a) Máximo valor;
(b) Ponto médio (meio do potenciômetro);
(c) Mínimo valor.

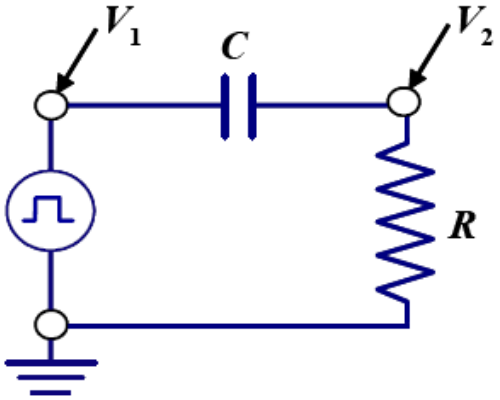


R = 10kΩ e R_P = 47kΩ

MONTAGEM 6

DIFERENCIADOR PASSIVO

Considere **R=1kΩ, C=1nF e frequência de 1kHz**. Verifique que estes valores satisfazem a relação acima, ou seja, nestas condições o circuito RC pode ser considerado um circuito diferenciador. Aplique uma onda quadrada, triangular e senoidal na entrada e observe simultaneamente as formas de ondas na entrada e na saída.

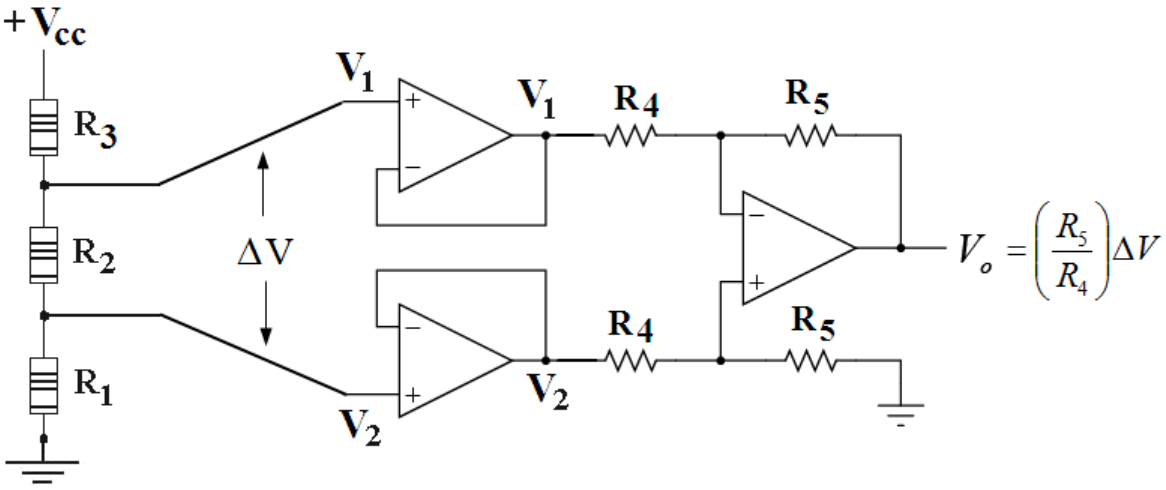


R=1kΩ, C=1nF

MONTAGEM 7

AMPLIFICADOR SUBTRATOR

Monte o circuito da figura a seguir. Utilizando um multímetro digital na escala de tensão DC meça a tensão diferencial na entrada $\Delta V=(V_2 - V_1)$ e a tensão V_o na saída do amplificador diferencial. Determine o ganho diferencial experimentalmente, ou seja, o valor experimental de $k = \frac{V_O}{V_2 - V_1} = \frac{V_O}{\Delta V}$.



$$R_1 = 10k\Omega,\ R_2 = 1k\Omega,\ R_3 = 10k\Omega,\ R_4 = 10k\Omega,\ R_5 = 100k\Omega\ e\ V_{CC} = 12V$$