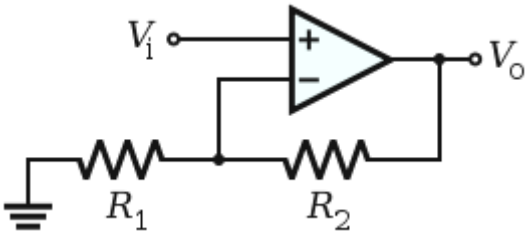
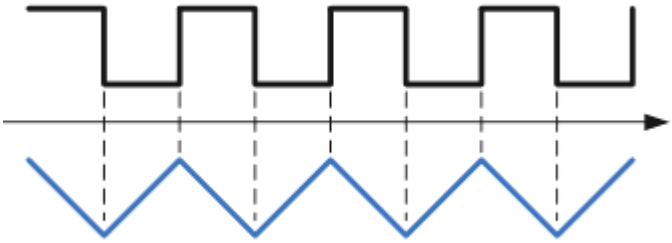
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA

Experimento #1

AMPLIFICADOR OPERACIONAL





Aplicações lineares e não lineares com amplificadores operacionais

Comparador de tensão, Geração de sinal PWM, amplificador inversor, amplificador não inversor e integrador

LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA

Guia de Experimentos

EXPERIMENTO #1

INTRODUÇÃO

Aplicações lineares e não lineares com amplificadores operacionais

Objetivos Gerais

Montagem e observação experimental com diversos circuitos usando amplificador operacional. Os experimentos de laboratório aqui apresentados têm por objetivo o estudo das características elétricas dos amplificadores operacionais, bem como familiarizar o aluno com algumas de suas principais aplicações, tais como: comparador de tensão, geração de sinal modulado por largura de pulso PWM [Pulse Width Modulation], amplificador inversor, amplificador não inversor e integrador.

Objetivos Específicos

Após completar estas atividades de laboratório, o aluno deverá ser capaz de:

1. Identificar a pinagem de um circuito integrado padrão DIP (Dual-in-line Package).
2. Verificar a operação do amplificador operacional em malha aberta (sem realimentação) e malha fechada (com realimentação).
3. Verificar a operação do amplificador operacional como comparador de tensão e amplificador de tensão.
4. Verificar o funcionamento de um gerador de sinal PWM.
5. Determinar o ganho de um amplificador inversor e não-inversor de tensão com amplificador operacional, experimentalmente e teoricamente.
6. Observar o funcionamento de um amplificador com ganho controlado pela luz com a utilização de um fotoresistor como sensor de luz na malha de realimentação.
7. Verificar a operação de um circuito integrador passivo e um circuito integrador ativo usando amplificador operacional.

Amplificador Operacional

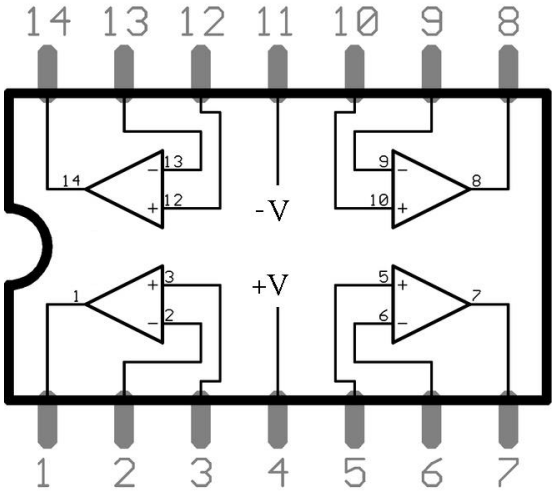
A principal função dos amplificadores operacionais é a de amplificar tensão. Associando-se estes dispositivos com outros componentes é possível realizar montagens que desempenhem outras funções sobre os sinais.

O amplificador operacional recebe este nome porque foi projetado inicialmente para realizar operações matemáticas utilizando a tensão como uma analogia de uma outra quantidade. Esta é a base dos computadores analógicos onde os amplificadores operacionais são utilizados para realizar as operações matemáticas básicas (adição, subtração, integração, diferenciação).

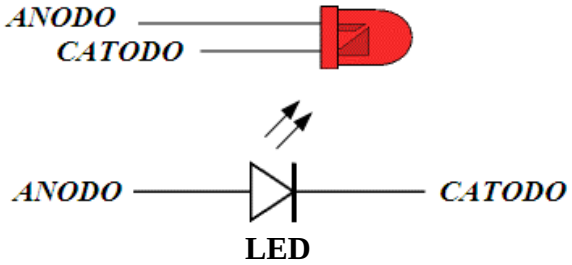
A maioria dos amplificadores operacionais simples, duplos ou quádruplos disponíveis comercialmente, possuem uma pinagem padronizada que permite que um tipo seja substituído por outro sem mudanças na pinagem.

A quantidade de circuitos que podem ser implementados com amplificadores operacionais é ilimitada. Selecionamos para este experimento alguns circuitos mais comuns na prática e agrupamos por categorias.

PARTE EXPERIMENTAL



Amplificadores Operacionais - Pinagem do TL084 e LM324



MONTAGENS EXPERIMENTAIS

ATENÇÃO: Antes de ligar a fonte de alimentação confira cuidadosamente todas as ligações do circuito, principalmente observando a pinagem do circuito integrado e polaridade do LED.

Montagem 1 COMPARADOR DE TENSÃO

Frequentemente, no campo das aplicações eletrônicas, necessitamos comparar uma tensão com outra para determinar qual delas é maior. Normalmente esta tensão corresponde a informação contida no sinal de uma grandeza física qualquer. O circuito mostrado na figura 1A ilustra um comparador de tensão com uma tensão de referência V_R. Sempre que o sinal de entrada for superior ou inferior a tensão V_R a tensão na saída estará saturada. Observe que o circuito trabalha em malha aberta e na região de saturação.

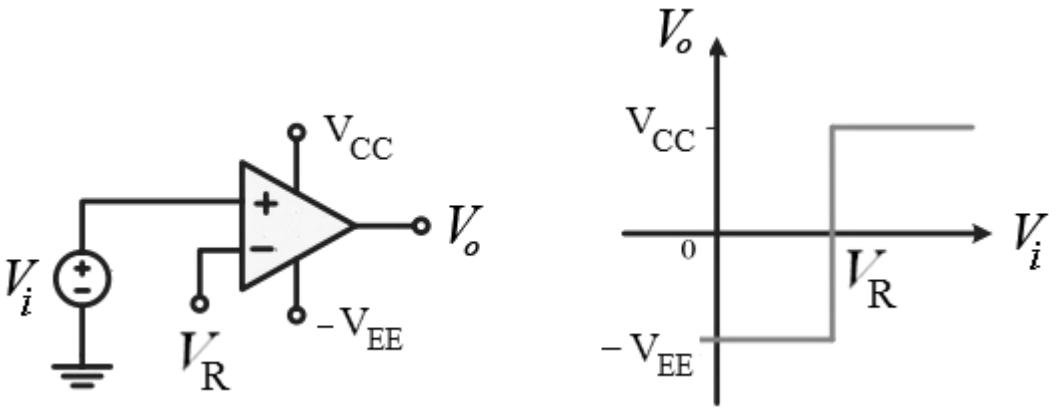


Figura 1A - Comparador de tensão simples

Quando a tensão não-inversora V_i for superior a tensão aplicada na entrada inversora, o comparador produz uma tensão de saída alta (*saturação positiva*); quando a entrada não-inversora for inferior a tensão na entrada inversora, a saída será baixa (*saturação negativa*).

No circuito da figura 1B a tensão de entrada, aplicada na entrada não inversora, esta sendo comparada com a tensão de referência zero (entrada inversora).

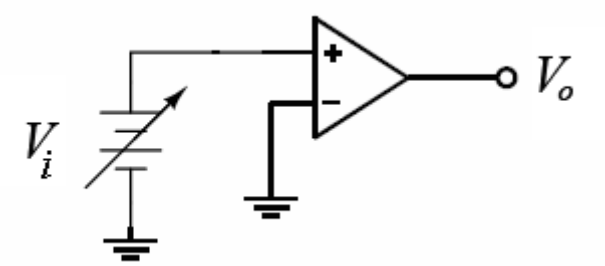


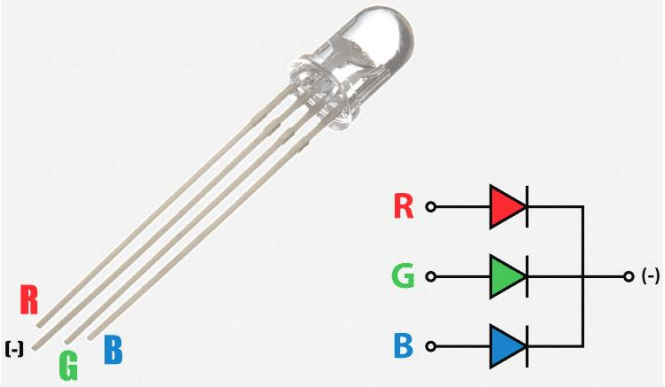
Figura 1B - Comparador de tensão com zero

Aplique uma tensão variável V_i na entrada do circuito mostrado na figura 2 e observe a saída (LEDs) do circuito comparador de tensão enquanto varia o sinal na entrada V_i. Meça a tensão de saturação positiva e negativa na saída do amplificador operacional. Meça com um multímetro digital na escala de tensão DC o valor da tensão V_i no instante em que ocorre a transição, ou seja, quando um LED apaga e o outro acende. Qual o valor esperado para esta tensão?

Os **LEDs** servem para indicar visualmente quando ocorre a saturação positiva ou negativa na saída, ou seja, quando o sinal de entrada V_i torna-se superior ou inferior a tensão de referência V_R, neste caso a tensão zero (entrada inversora aterrada), ou seja, V_R=0.

$R_1 = 10k\Omega,\ R = 47k\Omega\ e\ R_0 = 1{,}5k\Omega$..

Meça e anote a tensão sobre cada LED quando ele estiver aceso.



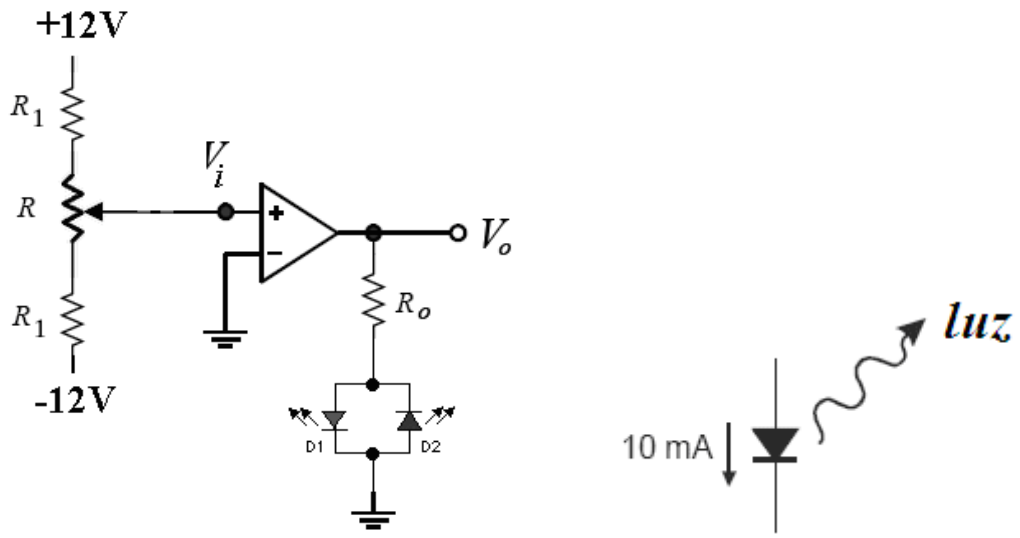


Figura 2 – COMPARADOR DE TENSÃO

Monte o circuito comparador de tensão mostrado na figura 3. Aplique um sinal senoidal e observe com o osciloscópio os sinais de entrada e saída. Esboce as formas de ondas dos dois sinais. Repita o procedimento aplicando um sinal triangular. Compare os resultados nas duas situações e comente.

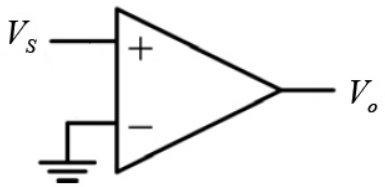


Figura 3 – COMPARADOR DE TENSÃO COM ZERO

Montagem 2 MODULADOR PWM & INTEGRADOR
Pulse Width Modulation (PWM)
Modulação por Largura de Pulso

Uma aplicação direta do amplificador operacional como comparador de tensão pode ser observada na montagem de um modulador PWM.

Sinais PWM são amplamente usados para controle de luminosidade de LEDs, controle de velocidade de motores DC, fontes chaveadas, amplificadores classe D (áudio), além de inúmeras outras aplicações.

O objetivo desta montagem é verificar a funcionalidade de um modulador PWM.

A modulação por largura de pulso (**PWM**) consiste em uma onda quadrada cuja largura de pulso é variável segundo o valor do sinal aplicado. Em outras palavras a largura do pulso, é modificada de acordo com a amplitude do sinal modulador. Isto faz com que o valor médio do sinal resultante seja proporcional ao sinal que se deseja modular. Em outras palavras, obtêm-se pulsos, cujas larguras (*tempo*) são proporcionais a uma tensão (*amplitude*) aplicada.

O sinal PWM é facilmente obtido através da comparação do sinal modulante (*modulador*) com uma onda triangular (*portadora*). Desta forma, sempre que a amplitude do sinal modulador for inferior ao valor da amplitude da onda triangular a saída do comparador estará em nível alto, conforme mostrado nas figuras 4 e 5. Dessa forma podemos utilizar, de uma maneira simples e direta, o comparador de tensão na geração de um sinal PWM.

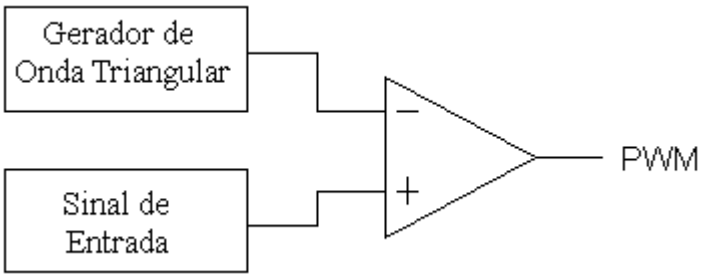


Figura 4 – Configuração básica de um circuito PWM

Monte o circuito da figura 5A. Aplique um sinal triangular com 10V@10kHz na entrada inversora do amplificador operacional, varie o sinal de entrada V_i e observe, simultaneamente, usando os dois canais do osciloscópio, o sinal de entrada V_i aplicado e a saída PWM gerada na saída do comparador de tensão. Explique a funcionalidade do circuito. Como você modificaria o circuito da figura 5A para se obter um sinal PWM com largura de pulso dependente de uma outra grandeza física não elétrica [*temperatura, luz, umidade, aceleração, força*]?

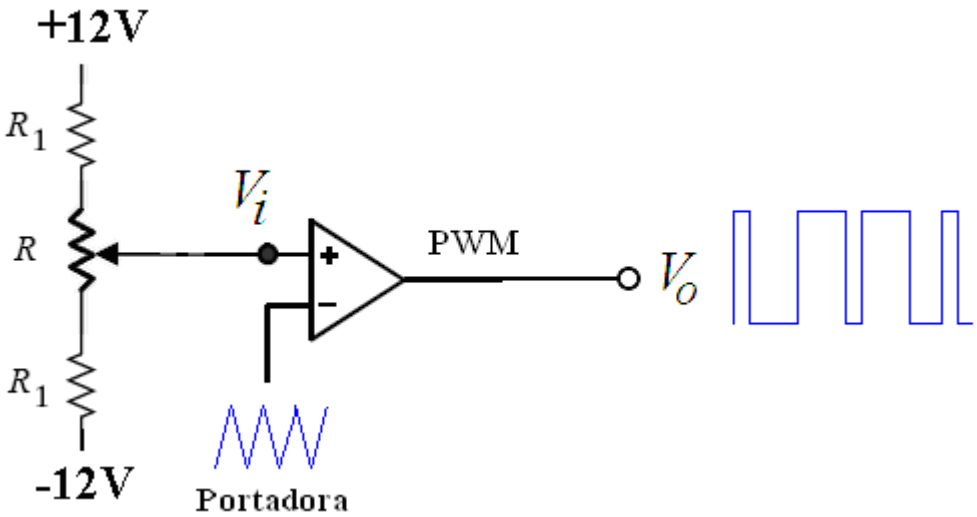


Figura 5A – Geração de sinal PWM

Substitua o resistor R_1 por um fotoresistor (LDR – Light Dependent Resistor) e observe a variação da largura do pulso do sinal PWM em função da intensidade luminosa incidente sobre o fotoresistor (LDR).

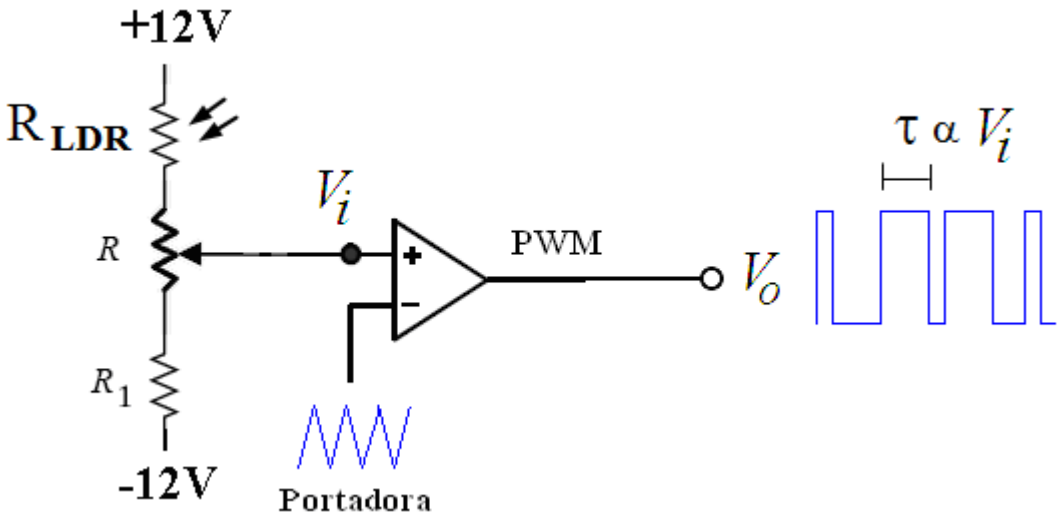


Figura 5B – Geração de sinal PWM proporcional a intensidade luminosa

Acrescente na saída do sinal PWM gerado um circuito RC, funcionando como *circuito integrador*, conforme ilustrado na figura 6. Aplique um sinal triangular com 10V@10kHz na entrada inversora do amplificador operacional, varie o sinal de entrada V_i e observe simultaneamente, usando os dois canais do osciloscópio, a saída PWM e a saída do circuito integrador. Explique o princípio de funcionamento do circuito completo e sugira algumas aplicações. Considere R= 10kΩ e C= 100nF.

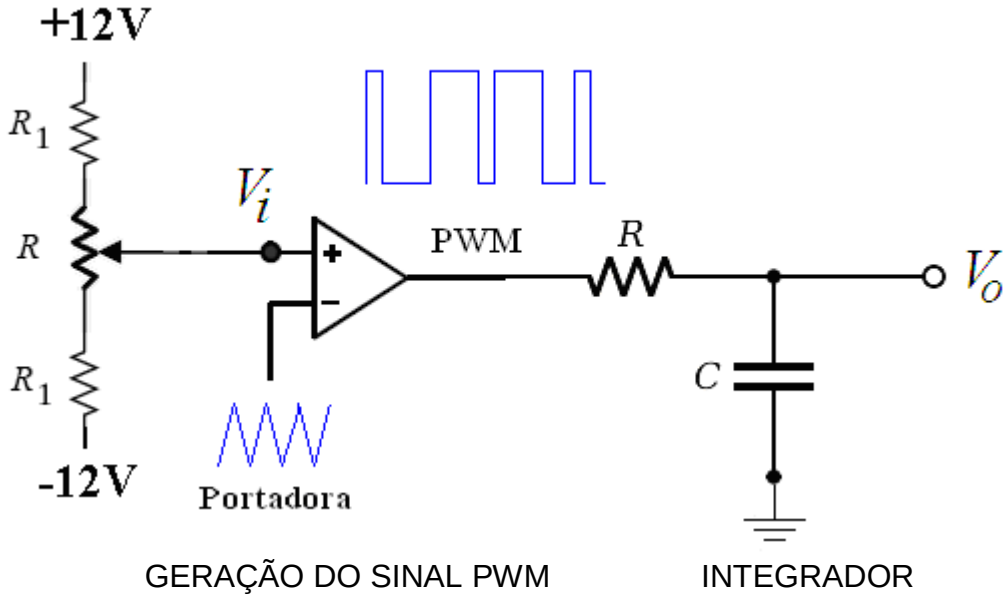
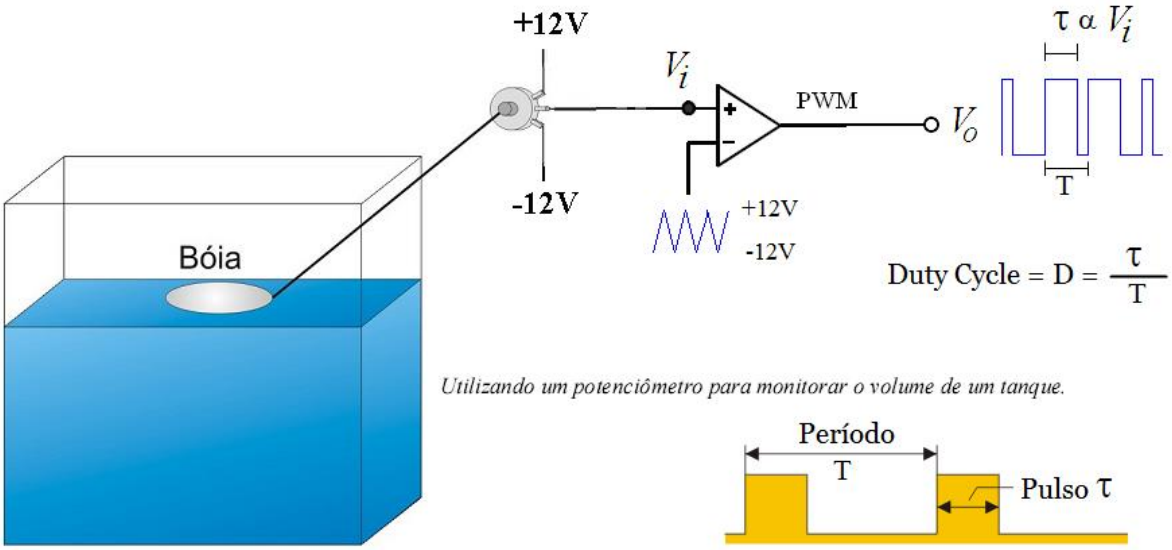


Figura 6 – Geração de sinal PWM com circuito Integrador



Montagem 3 INTEGRADOR PASSIVO

Circuitos integradores fazem parte de muitos projetos de sistemas eletrônicos.

Diversas aplicações em eletrônica recorrem ao uso de circuitos integradores para implementar esta funcionalidade.

Neste experimento será observado o funcionamento de um circuito passivo RC operando como um circuito integrador.

Escreva a função de transferência H(s) para o circuito RC apresentado na Figura 7 e mostre que o mesmo pode ser utilizado como um integrador ideal. Determine os valores de R, C e a correspondente faixa de frequência de operação para que esta condição seja satisfeita.

Aplique uma onda quadrada com frequência de 10 kHz na entrada do circuito mostrado na Figura 7 e observe a onda triangular resultante da integração na saída. Aplique uma onda senoidal e verifique a correspondente onda cossenoidal (em quadratura) na saída. Varie a amplitude do sinal de entrada e observe a saída. Considere R= 10kΩ e C= 100nF. Utilize os dois canais do osciloscópio para observar a entrada e a saída simultaneamente.

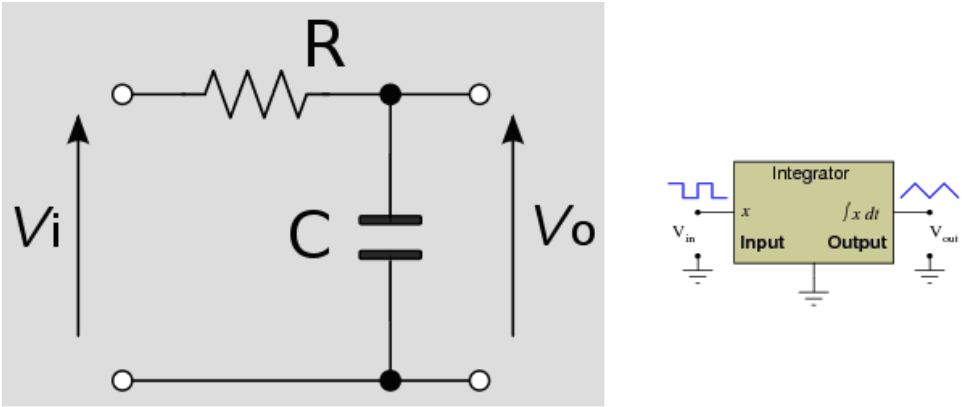
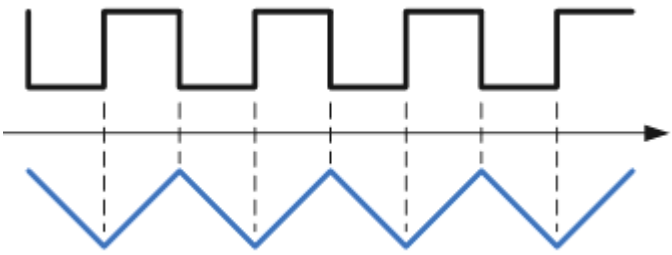
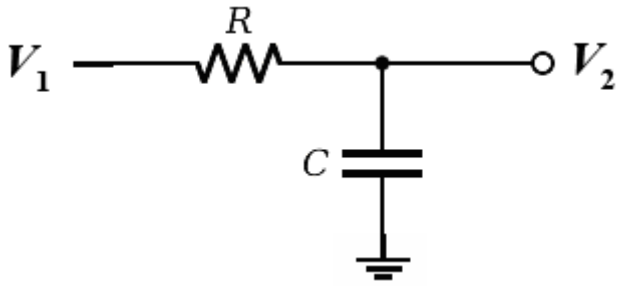


Figura 7 – Integrador Passivo

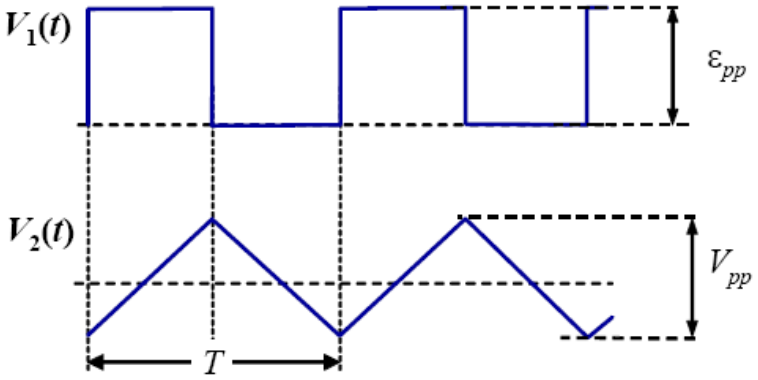


INTEGRADOR PASSIVO

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



CIRCUITO INTEGRADOR PASSIVO



Um circuito integrador é caracterizado por realizar a operação matemática da integral. Efetivamente, apresenta na sua saída um sinal que representa a integral do sinal aplicado na sua entrada. O integrador pode ser utilizado na implementação de circuitos analógicos onde se deseja obter a integral de um sinal, ou seja, $V_2(t) = \int V_1(t)dt$.

A equação apresentada a seguir, correspondente ao circuito RC integrador, mostra que o mesmo pode ser utilizado como um integrador ideal desde que a relação $\omega >> \frac{1}{RC}$ seja satisfeita.

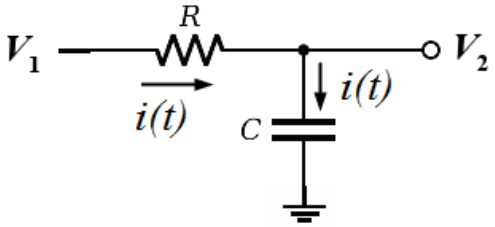
$$H(s) = \frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{1}{1+sRC}$$

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

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

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

Portanto uma onda quadrada aplicada na sua entrada produz uma onda triangular na saída com ganho igual a $|H(s)| = \left|\frac{V_2}{V_1}\right| = \frac{1}{\omega RC}$.



Considerando-se que a tensão aplicada na entrada V_1 será dividida em parte sobre o resistor R e parte sobre o capacitor C, $se\ R >> X_C$ então a tensão da entrada estará aplicada predominantemente sobre o resistor R. Desta forma a corrente no circuito será determinada predominantemente em função da tensão aplicada na entrada V_1 e do resistor R.

$$Se\ R >> X_C\ então\ i(t) \cong \frac{V_1(t)}{R}$$

$$V_2(t) = \frac{q(t)}{C} = \frac{1}{C}\int i(t)dt = \frac{1}{RC}\int V_1(t)dt$$

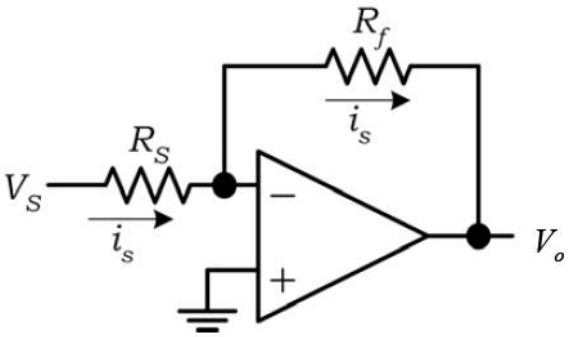
$$Considerando\ que\ \ R >> X_C\ então\ R >> \frac{1}{\omega C},\ ou\ seja,\ \ \omega >> \frac{1}{RC}$$

Montagem 4 AMPLIFICADOR INVERSOR

Os amplificadores de tensão, por definição, representam uma classe de circuitos destinados a elevar o nível de tensão de um sinal fornecido por uma unidade geradora a fim de condicioná-lo, ou seja, adequá-lo ao estágio seguinte de amplificação.

Monte o circuito amplificador inversor mostrado na figura 8.

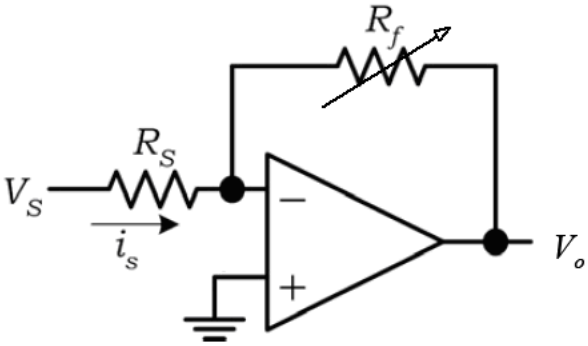
Aplique um sinal senoidal e triangular com freqüência de 1 kHz no circuito amplificador inversor mostrado na figura a seguir e observe com o osciloscópio os sinais de entrada e saída. Meça o ganho em tensão e compare-o com o valor teórico esperado. Varie a amplitude do sinal de entrada e observe o amplificador operando na região linear e na região de saturação. R_F = 100k e R_S = 4k7.



$$\frac{V_o}{V_S} = -\frac{R_f}{R_S}$$

Figura 8 – Amplificador Inversor

Substitua o resistor R_F por um potenciômetro e observe a variação do ganho em função da variação da resistência, conforme mostrado na figura 9.



$$\frac{V_o}{V_S} = -\frac{R_f}{R_S}$$

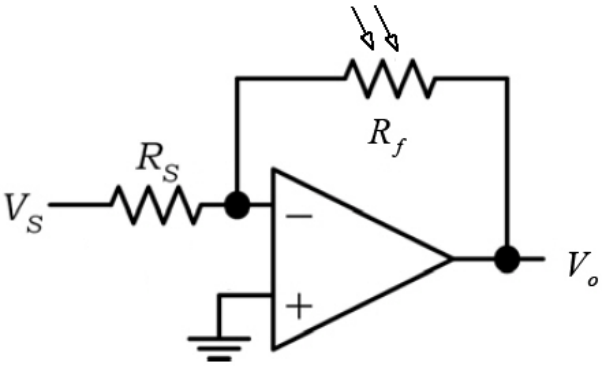
Figura 9 – Amplificador Inversor com ganho variável

Montagem 5 AMPLIFICADOR INVERSOR COM GANHO CONTROLADO PELA LUZ

Monte o circuito ***amplificador inversor*** mostrado na figura 10 com um **fotoresistor** na malha de realimentação e observe o seu funcionamento. Aplique um sinal senoidal e observe com o osciloscópio a variação na amplitude do sinal de saída em função da variação da intensidade luminosa sobre o fotoresistor. Considere o fotoresistor como um dispositivo cuja resistência elétrica que varia inversamente proporcional à quantidade de luz que incide sobre o mesmo. Estes **fotoresistores** são também conhecidos como **LDR** (**L**ight **D**ependent **R**esistor).

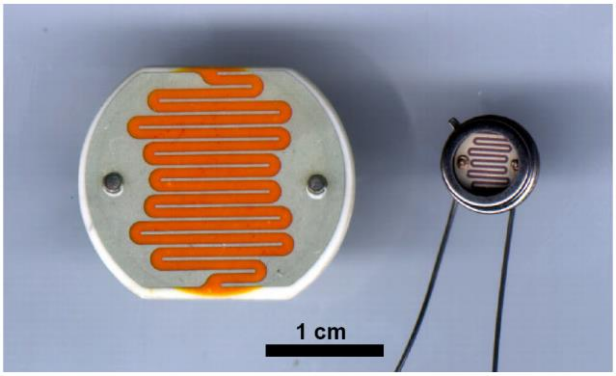
No escuro os **fotoresistores** têm resistência elevada, tipicamente na faixa de MΩ. Quando são expostos à luz, a resistência diminui por ordens de magnitude. Note que este dispositivo fotoelétrico opera de modo similar a um resistor variável dependente da luminosidade incidente. Repita o experimento alternando as posições dos resistores, ou seja, colocando R_S na malha de realimentação.

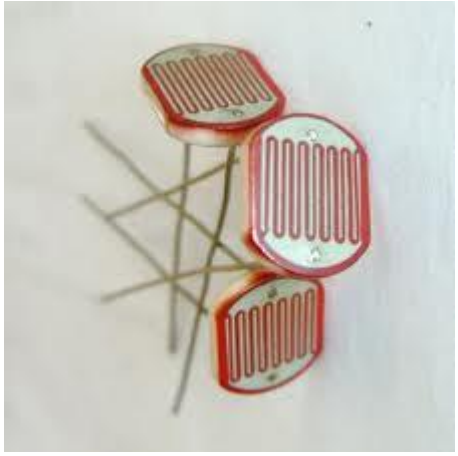
Explique o funcionamento deste circuito com o fotoresistor colocado na malha de realimentação e na entrada. Sugira algumas aplicações para este circuito.



$$\frac{V_o}{V_S} = -\frac{R_f}{R_S}$$

Figura 10 – Amplificador Inversor com ganho dependente da luz





Fotoresistor

Montagem 6 AMPLIFICADOR NÃO INVERSOR

Monte o circuito ***amplificador não inversor*** mostrado na figura 11A, aplique um sinal senoidal e triangular na entrada V_S (**300mV@1kHz**) e observe com o osciloscópio os sinais de entrada e saída.

R_F = 100k e R_S = 4k7.

Determine o ganho teórico e experimental.

Note que a impedância de entrada é bastante elevada. Além da não inversão de fase desta configuração a impedância de entrada elevada é a principal diferença para o amplificador inversor.

Substitua o resistor R_F por um potenciômetro e observe a variação do ganho em função da variação da resistência.

$$\frac{V_o}{V_S} = 1 + \frac{R_f}{R_S}$$

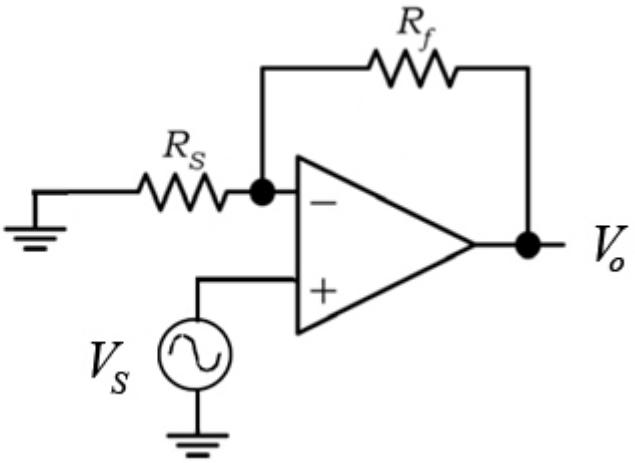


Figura 11A – Amplificador Não Inversor

O uso da realimentação negativa associado ao alto ganho do amplificador operacional faz com que as entradas inversora e não inversoras assumam tensões praticamente iguais operando na região linear, ou seja, $V^+ \cong V^-$.

Coloque um dos canais do osciloscópio na entrada inversora e o outro canal na entrada não inversora e observe essa afirmativa, variando-se a frequência, a amplitude e a forma de onda aplicada na entrada V_S dentro da região linear (antes de atingir a região de saturação), conforme mostrado na figura 11B.

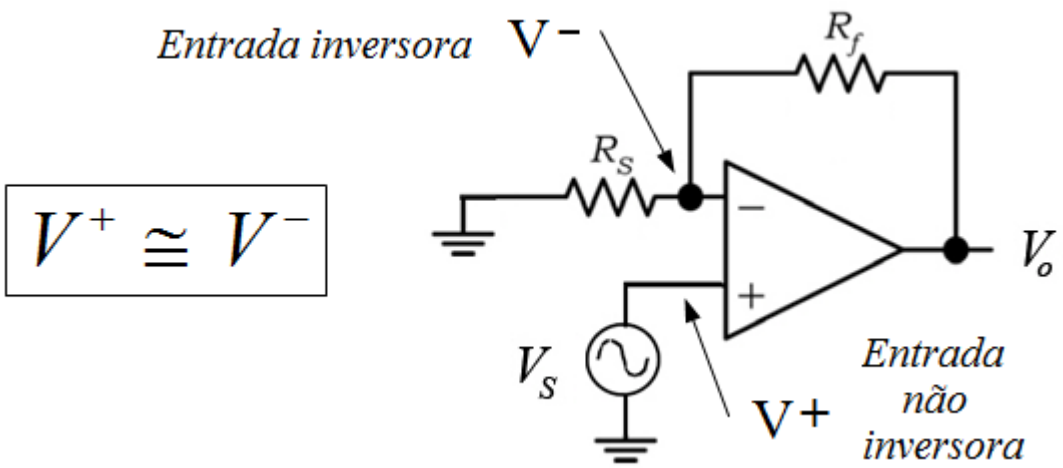


Figura 11B – Amplificador Não Inversor

INTEGRADOR ATIVO

Os ***circuitos integradores*** encontram muitas aplicações nas simulações de sistemas físicos representados por equações diferenciais e integrais.

O circuito integrador realiza a operação matemática da integração. O integrador é um dos principais circuitos utilizados na implementação de computadores analógicos aplicados a solução de equações diferenciais.

Um circuito integrador utilizando um elemento ativo, como por exemplo, um amplificador operacional, é denominado de *integrador ativo* para distingui-lo do *integrador passivo* composto apenas de elementos passivos (R e C).

Justifique, usando a função de transferência H(s), porque o circuito mostrado na figura 12 pode ser considerado como um integrador ativo.

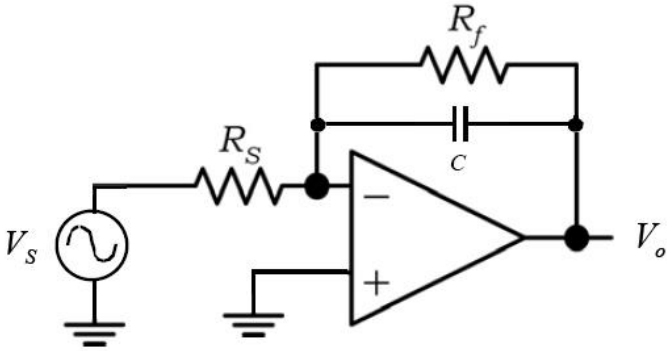


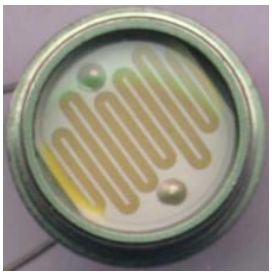
Figura 12 – Integrador Ativo

Compare a função de transferência **H(s)** do ***integrador passivo*** (Figura 7) com a função de transferência **H(s)** do ***integrador ativo*** (Figura 12).

Observe que o integrador passivo, ao contrário do integrador ativo, não exige fonte de alimentação para operar, consequentemente, não apresentando problema de saturação do sinal na saída.

Sugira algumas aplicações onde se faz necessária a utilização de circuitos integradores.

FOTORESISTOR
LDR (light Dependent Resistor)



Existem muitos dispositivos fotossensíveis disponíveis comercialmente. Neste item, abordaremos os fotoresistores e os fotodiodos.

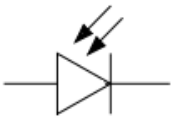
Fotoresistores apresentam uma variação da resistência com nível de luz incidente.

Fotoresistores ou células fotocondutivas são dispositivos semicondutores cuja condutividade varia de acordo com a incidência de radiação eletromagnética em sua superfície. Células fotocondutivas são conhecidas também como fotoresistores ou resistores dependentes da luz (**LDR** – **L**ight **D**ependente **R**esistor). Quando iluminados os fotoresistores apresentam uma variação na sua resistência proporcional à intensidade luminosa incidente. O LDR é um dispositivo elétrico que tem sua resistência alterada pela luz. A resistência dos terminais do LDR é inversamente proporcional à luz recebida, em outras palavras, quanto mais luz (*energia luminosa*) menor a resistência e vice-versa.

Quando um **fóton** tem energia suficiente para quebrar a ligação elétron-lacuna, um elétron torna-se livre, podendo fluir pelo circuito. A energia luminosa desloca elétrons da camada de valência para a de condução (mais longe do núcleo), aumentando o número de elétrons livres, o que diminui a resistência e aumenta a condutividade.

Os fotoresistores são constituídos normalmente por **CdS** (Sulfeto de Cádmio). Esse material tem a propriedade de diminuir sua resistência à passagem da corrente elétrica quando a luminosidade sobre ele aumenta.

FOTODIODOS

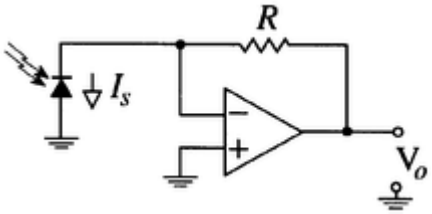


Quando a luz é absorvida por um semicondutor cada fóton pode, em princípio, criar um par lacuna-elétron que pode ser detectado eletricamente. Dispositivos fotodiodos exploram esta possibilidade. Na realidade, são diodos de junção PN otimizados para uso como detectores de luz.

Uma fotocélula semicondutora de junção apresenta uma curva característica semelhante à de um diodo semicondutor. Nesta funcionalidade, a junção é polarizada inversamente. Quando iluminado, o fotodiodo apresenta um crescimento da corrente reversa I_S, podendo desenvolver uma diferença de potencial (tensão) em um resistor. Tal tensão é proporcional à intensidade luminosa incidente na junção do dispositivo.

Fótons absorvidos pela junção criam pares elétrons-lacunas que causam uma corrente proporcional ao fluxo luminoso. Essa corrente pode então ser amplificada obtendo-se uma tensão de saída proporcional ao fluxo óptico incidente.

O circuito a seguir ilustra uma aplicação do amplificador operacional associado a um foto diodo. A tensão na saída V_o é proporcional a intensidade da energia luminosa incidente sobre o foto diodo. A corrente I_S aumenta com o aumento da luz incidente.

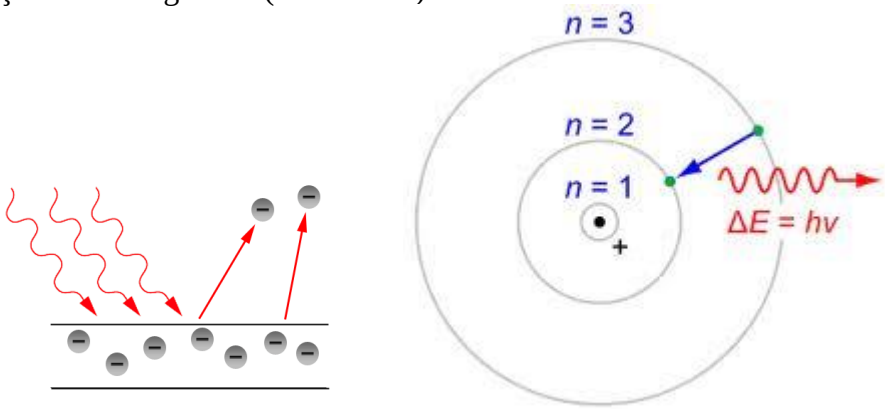


FÓTONS & LEDS

Os fótons são partículas elementares que viajam com a velocidade da luz.

A emissão de um fóton ocorre durante a transição de um elétron de um átomo entre dois estados energéticos diferentes, pois quando ele recebe energia ele passa de uma camada mais interna para uma mais externa do átomo, e quando ele retorna para seu estado original, ele emite a energia correspondente a esta diferença sob a forma de um fóton.

O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material quando exposto a uma radiação eletromagnética (como a luz).



A luz pode se comportar não apenas como ondas contínuas, mas também como feixes discretos de energia chamados de fótons. A **energia de um fóton** é calculada através da relação **E=hf**, onde **h** é a constante de Planck e **f** é a freqüência de oscilação da onda eletromagnética.

Um fóton azul, por exemplo, contém mais energia do que um fóton vermelho, pois a frequência da radiação eletromagnética **f** da luz azul é maior do que a frequência da radiação eletromagnética **f** da luz vermelha.

O **LED** [*Light Emitting Diode*] é um dispositivo semicondutor (*Junção PN*), que quando energizado emite luz (**fótons**). Normalmente trabalha com a junção PN polarizada diretamente. Os *LEDs* são fabricados especialmente para liberar um grande número de *fótons.*

Há muitas formas de se produzirem fótons, mas todas elas usam o mesmo mecanismo dentro de um átomo. Este mecanismo envolve a energização dos **elétrons** que estão orbitando ao redor do núcleo de cada átomo.

O processo de emissão de luz pela aplicação de uma fonte elétrica de energia é chamado ***eletroluminescênci***a.

Um elétron ocupa uma órbita natural, mas se você **energizar** um átomo pode movê-lo para orbitais maiores. Um fóton de luz é produzido sempre que um elétron que está numa órbita maior do que a normal volta para sua órbita normal. Durante a queda da alta energia para a energia normal, o elétron emite um fóton (um pacote de energia) com características bastante específicas.

Foi Albert Einstein, usando a idéia de Max Planck, que conseguiu demonstrar que um feixe de luz é constituído por pequenos pacotes de energia denominados de **fótons**, explicando assim o fenômeno da emissão fotoelétrica.

A confirmação da descoberta de Einstein se deu no ano de 1911, quando Arthur Compton demonstrou que "*quando um fóton colide com um elétron, ambos comportam-se como corpos materiais*".

A experiência comprova que a cor de um feixe de luz monocromático não se altera quando ele passa de um meio transparente para outro. O que ocorre é que quando o feixe de luz passa de um meio para outro tanto o comprimento de onda quanto a velocidade tem seus valores alterados, mas a frequência não se altera e, portanto, permanece sempre a mesma. É por esse motivo que se recomenda que um feixe de luz seja caracterizado pela sua frequência e não por seu comprimento de onda ou velocidade com que se propaga.

A maioria dos controles remotos de aparelhos eletrônicos transmite informação através da codificação de sinais por emissão de radiação na faixa do infravermelho.

A energia de um único fóton é calculada por **E = h*f* = hc/λ,** onde ***f*** é a frequência de oscilação da onda eletromagnética correspondente, **λ** é o comprimento de onda e **h** a constante de Planck.

Os elétrons absorvem energia quando passam para a banda de condução. Esta "quantidade" de energia necessária para que o elétron efetue essa transição é chamada ***band gap energy.*** **E=hf=qV**

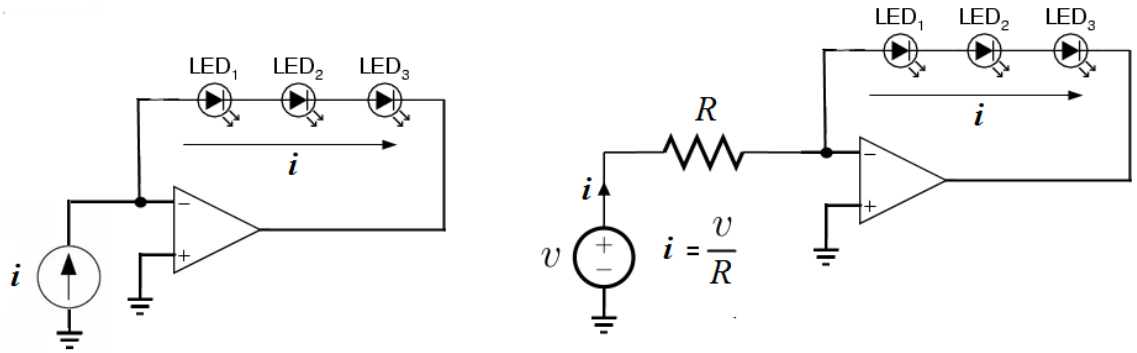
Os elétrons devolvem energia quando retornam da banda de condução.

Ao retornar da banda de condução a energia E é liberada com a criação de um fóton. A energia E da luz emitida por um LED está relacionada com a energia da banda (*band gap energy*) do semicondutor e a energia necessária para passar para a banda de condução um elétron com carga ***q*** (*carga do elétron*) sob a aplicação de uma tensão ***V*** pela expressão **E = hf = qV.**

Sabendo-se que um fóton azul, por exemplo, contém mais energia do que um fóton vermelho, a tensão aplicada sobre um LED para emitir fótons azuis é maior do que a tensão sobre um LED para emitir fótons vermelhos.

Este fenômeno pode ser observado com o circuito mostrado na figura a seguir, no qual se mede as tensões individuais sobre LEDs de diferentes cores (*Vermelho, Verde e Azul, distintos **f***) quando submetidos a passagem de uma mesma corrente.

$$V = \left(\frac{h}{q}\right) f$$



Polarização de LEDs com corrente constante

QUESTÕES (Preparação)
Entregar no dia da realização do experimento.

Consulte a folha de dados (***DATA SHEET***) do Amplificador Operacional **TL084 e LM324**, fornecida pelo fabricante e utilizado neste experimento, para responder as questões a seguir.

(1) Qual a tensão máxima de alimentação **+V_{CC}** e **–V_{CC}** especificada pelo fabricante?
(2) Qual o tipo de transistor utilizado como amplificador diferencial na entrada dos amplificadores operacionais **TL084 e LM324**?
(3) O amplificador operacional **TL084** possui proteção contra curto circuito na saída?
(4) Qual o valor da resistência de entrada do **TL084**?
(5) Qual o ganho em tensão típico para o **TL084**?

(6) Qual a frequência de operação máxima para o **TL084 e LM324**?
(7) Qual dos dois amplificadores operacionais (**TL084/LM324)** pode operar com fonte unipolar?
(8) Calcule a energia, em elétron-volts, de um fóton de *radiação infravermelha* cujo comprimento de onda é 3µm. Repita o cálculo para cada uma das *cores do espectro eletromagnético* e *compare com a tensão necessária para operar cada LED na cor correspondente* [*vermelho, verde, amarelo, azul, violeta*]**.** Associe os valores determinados teoricamente nesta questão com os valores das tensões medidas sobre os LEDs durante a montagem 1.
(9A) Sugira circuitos com aplicações usando os amplificadores operacionais.
(9B) Sugira, pelo menos, 4 aplicações onde os sinais PWM são usados.
(10) Sugira circuitos com aplicações usando LDRs, LEDs e Fotodiodos.

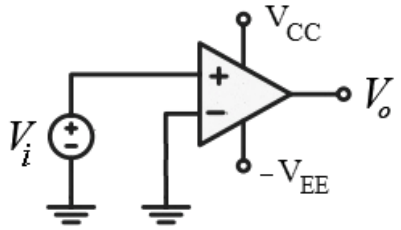
Roteiro para a redação dos Relatórios
Observar os seguintes tópicos em seu conteúdo.

- Capa com Identificação
  - ✓ Nome da Instituição
  - ✓ Nome do aluno
  - ✓ Título do Experimento (Número do Experimento)
  - ✓ Data da realização do Experimento
- Objetivos
- Introdução Teórica
- Desenvolvimento Teórico
- Desenvolvimento Experimental
- Resultados de Simulações
- Montagens (Diagramas dos Circuitos)
- Lista de componentes (Material)
- Equipamentos e Instrumentos utilizados
- Resultados das medições efetuadas
- Análise de dados
- Tabelas, gráficos e ilustrações.
- Interpretações dos resultados
- Aplicações
- Observações
- Sugestões
- Conclusões
- Anexos
- Bibliografia

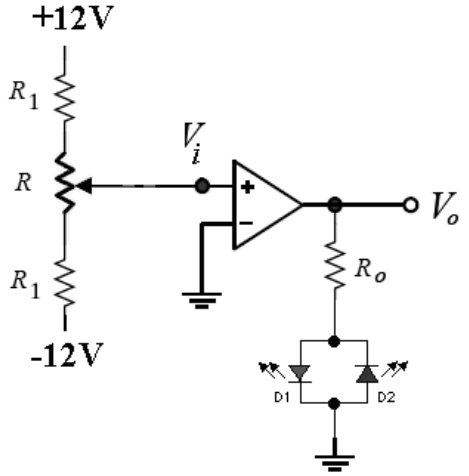
GUIA DE MONTAGENS

MONTAGEM 1
COMPARADOR DE TENSÃO AC

Usando um gerador de sinal aplique uma tensão senoidal, triangular e quadrada na entrada. Varie a frequência e a tensão do sinal de entrada e observe com o osciloscópio o comportamento da tensão na saída V_o. Use os dois canais do osciloscópio para observar simultaneamente a tensão aplicada na entrada V_i e a tensão na saída V_o. Justifique o resultado observado!



MONTAGEM 2
COMPARADOR DE TENSÃO DC

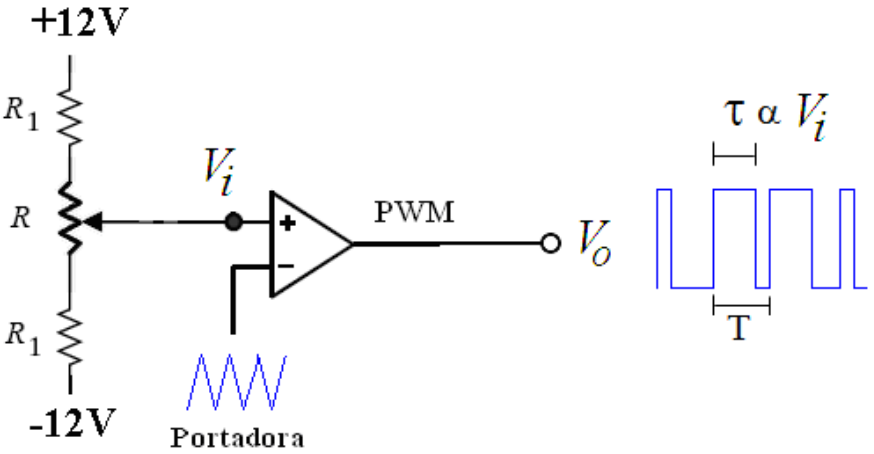


$R_1 = 10k\Omega,\ R = 47k\Omega\ e\ R_0 = 1{,}5k\Omega.$

MONTAGEM 3
GERADOR DE SINAL PWM (*Pulse Width Modulation*)
MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO

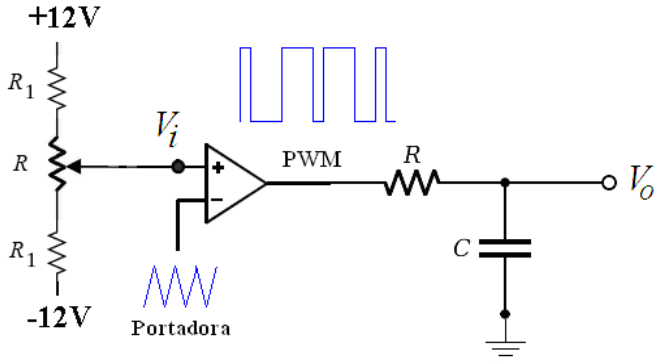
Onda triangular 10V@10kHz

- Observe, com o uso de osciloscópio, simultaneamente o sinal PWM gerado na saída V_o com a correspondente tensão aplicada na entrada V_i
- Observe que a largura do pulso τ é proporcional a tensão na entrada V_i



MONTAGEM 4
CIRCUITO INTEGRADOR PASSIVO RC

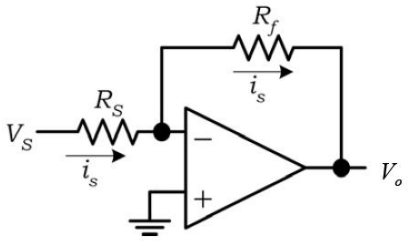
Observe simultaneamente o sinal PWM gerado e a sua integração em V_o



R= 10kΩ e C= 100nF

MONTAGEM 5
AMPLIFICADOR INVERSOR

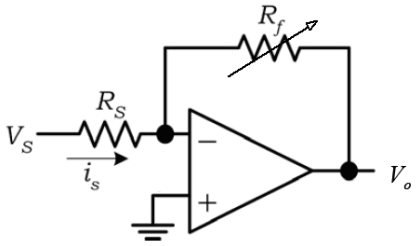
- Aplique um sinal senoidal na entrada e meça o ganho experimentalmente.
- Compare o ganho experimental com o ganho teórico esperado.
- Modifique a forma de onda para triangular, variando a frequência e amplitude.
- Observe que aumentando-se a amplitude do sinal de entrada o amplificador atinge a região de saturação com parte do sinal na região linear.



$$\frac{V_o}{V_S} = -\frac{R_f}{R_S}$$

$R_f = 100k\Omega \;\; e \;\; R_S = 4{,}7k\Omega$

MONTAGEM 6
AMPLIFICADOR INVERSOR COM GANHO VARIÁVEL

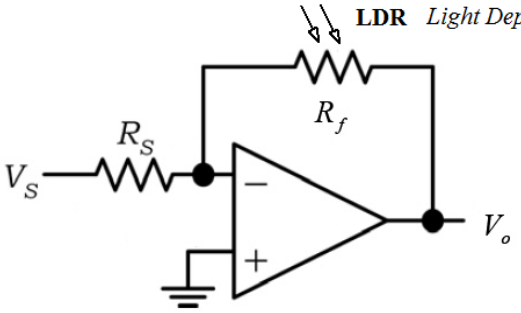


$$\frac{V_o}{V_S} = -\frac{R_f}{R_S}$$

$R_f = 47k\Omega$

MONTAGEM 7

AMPLIFICADOR INVERSOR COM GANHO CONTROLADO PELA LUZ

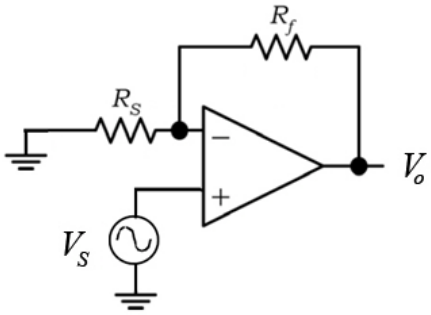


$$\frac{V_o}{V_S} = -\frac{R_f}{R_S}$$

MONTAGEM 8
AMPLIFICADOR NÃO INVERSOR

- Aplique um sinal senoidal na entrada e meça o ganho experimentalmente.
- Compare o ganho experimental com o ganho teórico esperado.
- Modifique a forma de onda para triangular, variando a frequência e amplitude.
- Aumente a amplitude da tensão do sinal de entrada e observe que o amplificador entra na região de saturação.

$$\frac{V_o}{V_S} = 1 + \frac{R_f}{R_S}$$

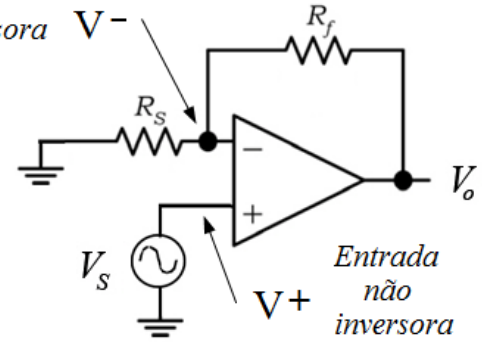


$R_f = 100k\Omega \;\; e \;\; R_S = 4{,}7k\Omega$

MONTAGEM 9

Observe simultanemaente, com o uso dos dois canais do osciloscópio, os sinais nas entradas inversora e não inversora. Compare-os! Verifique que a realimentação negativa faz com que as entradas inversora e não inversora sejam praticamente iguais.

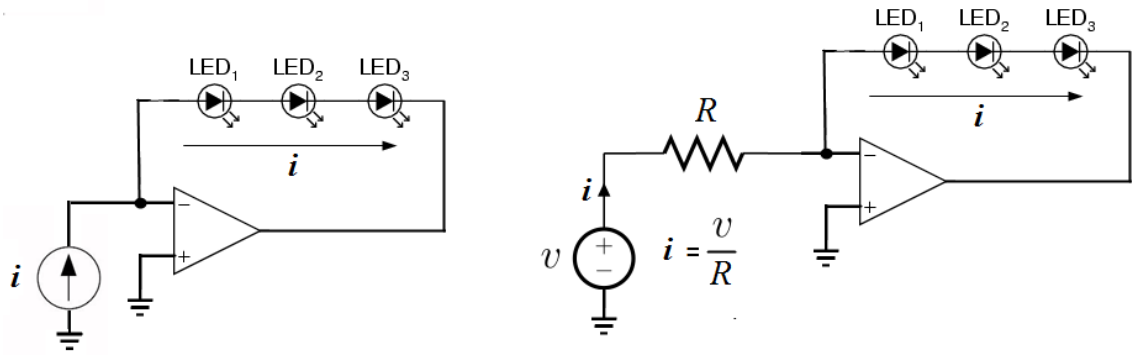
$$V^+ \cong V^-$$



MONTAGEM 10

LEDs POLARIZADOS COM CORRENTE CONSTANTE (FONTE DE CORRENTE)

Meça a tensão sobre cada LED polarizado com a mesma corrente e observe a similaridade com os valores teóricos calculados pela teoria do efeito fotoelétrico.



$$v = 12V \;\; R = 1{,}5k\Omega \;\; i = 8mA$$