

Projeto

$$T_C = 0,693(R_1 + R_2)C$$

$$t_D = 0,693R_2C$$

$$T = t_C + t_D = 0,693(R_1 + 2R_2)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,443}{(R_1 + 2R_2)C}$$

Ciclo de Operação / Ciclo de trabalho / Duty Cycle

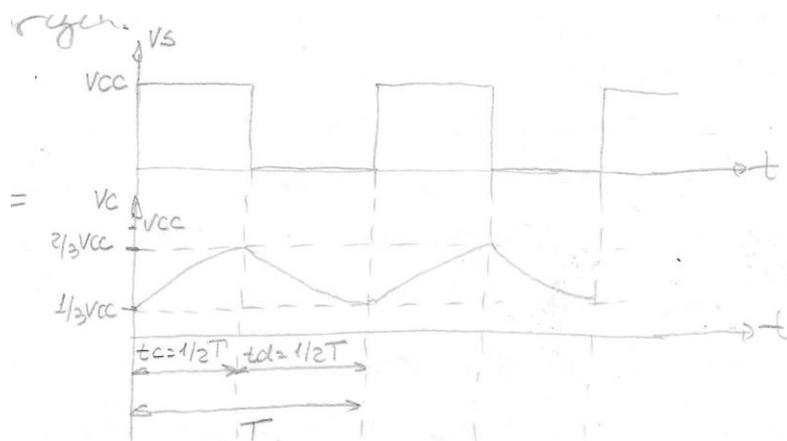
O ciclo de operação de uma forma de onda periódica é definido como a razão entre o tempo em nível alto e o tempo do ciclo completo.

$$D = C_T = \frac{t_c}{T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$$

Se fizermos R_1 muito menor que R_2 , obteremos uma onda quadrada simétrica com um ciclo de operação de aproximadamente 50%:

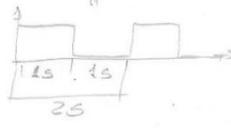
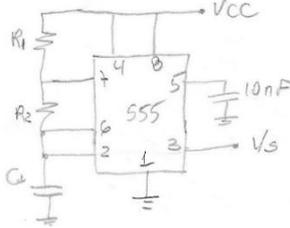
$$R_1 \ll R_2 \text{ ----- pelo menos 10 vezes menor.}$$

Observação: R_1 não pode ser menor do que 1 kΩ.



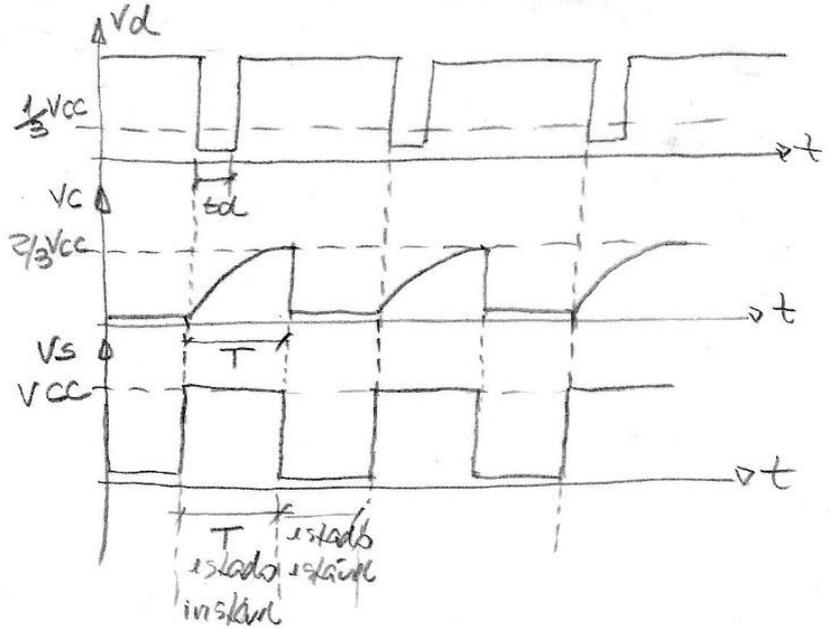
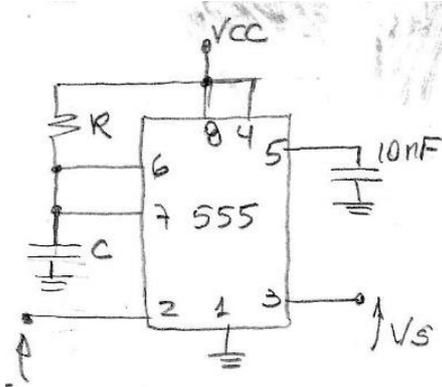
Exemplo:

Projete um oscilador astável para que tenha o sinal de saída simétrico, ou seja, $t_C = t_D = 1s$.



Adota-se $C = 100\mu F \rightarrow$ calcular R_1 e R_2
sabendo-se que: $t_C = t_D = 1s$ tem-se:
 $t_D = 0,693 R_2 C \Rightarrow 1 = 0,693 R_2 \cdot 100 \times 10^{-6} \Rightarrow R_2 = \frac{1}{0,693 \times 100 \times 10^{-6}} = 14430 \Omega$ $\begin{matrix} 14,4K\Omega \\ \downarrow \\ 15K\Omega \end{matrix}$
Como se deseja que a forma de onda de saída seja predominantemente simétrica, adotar $R_1 < R_2 \rightarrow$ no caso 10 vezes menor
 $R_1 = \frac{1}{10} \cdot R_2 \Rightarrow R_1 = \frac{15K}{10} = 1,5K\Omega$

Circuito e formas de onda.



Projeto

$$T = 1,1RC$$

Exemplo

Ex: Projetar um monoestável com período de 1ms.

$$T = 1,1RC$$

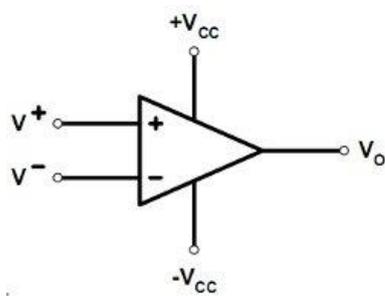
adota-se $C = 100nF$ → calcula R

$$R = \frac{T}{1,1C} = \frac{1 \times 10^{-3}}{1,1 \times 100 \times 10^{-9}} = \frac{1 \times 10^3 \times 10^9}{1,1 \times 100} = \frac{1 \times 10^6}{110} = 9090,9 \Omega \approx 10k\Omega$$

Ex: Dado ...

O amplificador operacional é um circuito integrado composto por resistores, transistores, capacitores, diodos.

- . Possui duas entradas e uma saída;
- . A função que ele executa é apresentar na saída (V_o) um múltiplo (A) da diferença entre as duas entradas (V_+ e V_-);
- . Utiliza duas fontes de alimentação ($+V_{cc}$ e $-V_{cc}$);
- . O ganho do amplificador em malha aberta é muito alto - por exemplo: $A = 100000$.
- . Símbolo



$$V_o = A (V_+ - V_-)$$

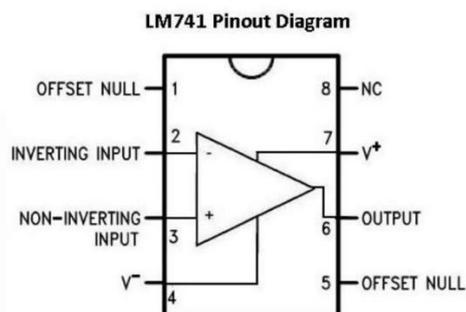
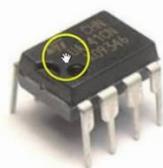
- V_o - saída;
- A - ganho de tensão do amplificador;
- V_+ - entrada não inversora;
- V_- - entrada inversora;
- $+V_{cc}$ - tensão de alimentação positiva;
- $-V_{cc}$ - tensão de alimentação negativa.

Realimentação Negativa

É obtida conectando a saída à entrada inversora (caso a saída estivesse conectada com a entrada não inversora a realimentação seria positiva).

Todos os amplificadores com AO obrigatoriamente terão realimentação negativa. A realimentação negativa confere aos amplificadores algumas características interessantes tais como: estabilidade do ganho, aumento na largura de faixa, diminuição na distorção e modificação na impedância de entrada e saída.

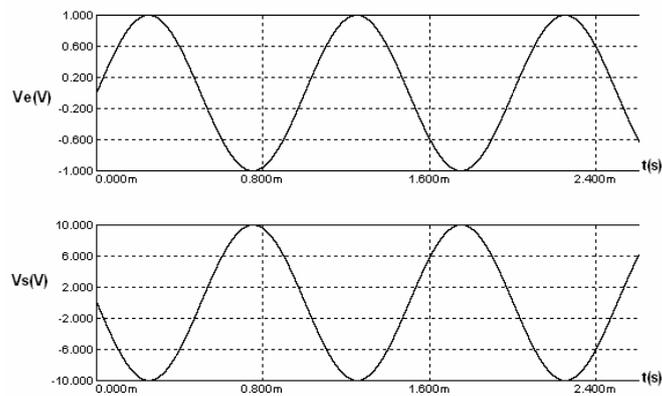
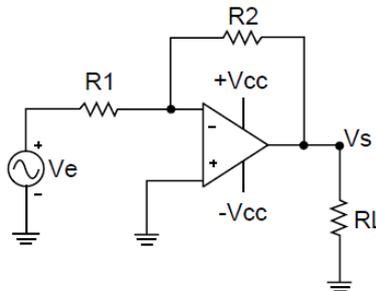
- . Exemplo: Amplificador operacional LM 741



Aplicação:

Amplificador Inversor

- . O sinal de entrada é aplicado na entrada inversora;
- . O sinal de saída é amplificado e invertido em relação ao sinal de entrada;
- . A realimentação é utilizada para controlar o ganho do amplificador.



$$A_V = \frac{v_s}{v_e}$$

- . A_V - ganho de tensão do circuito;
- . v_s - tensão de saída do circuito;
- . v_e - tensão de entrada (tensão do gerador).

O ganho também pode ser obtido através dos resistores:

$$A_V = - \frac{R_2}{R_1}$$

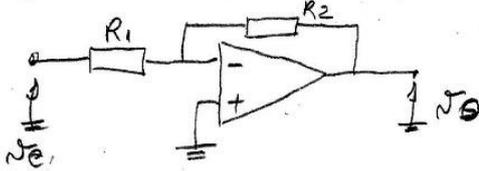
- . O sinal negativo indica inversão de fase: 180° .
- . $R_2 > R_1$ - amplificador;
- . $R_2 = R_1$ - inversor;
- . $R_2 < R_1$ - atenuador.

Exercício

1 - Identifique o circuito e determine

a) o ganho de tensão

b) a tensão de saída



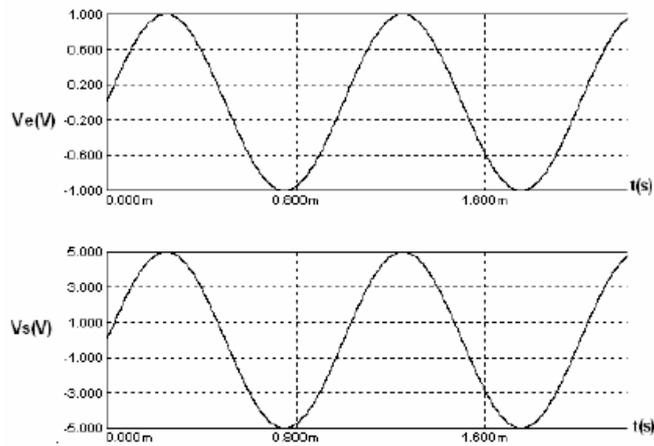
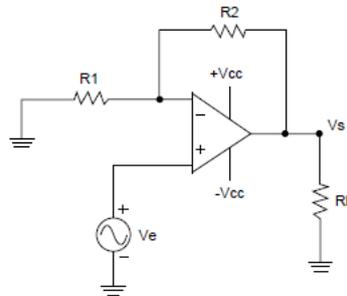
$$\begin{aligned}R_1 &= 1\text{K}\Omega \\ R_2 &= 10\text{K}\Omega \\ V_E &= 10\text{mV}\end{aligned}$$

• amplificador inversor

$$A_V = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{10\text{K}}{1\text{K}} = -10$$

$$\begin{aligned}A_V &= \frac{V_0}{V_E} \Rightarrow V_0 = A_V \cdot V_E \\ V_0 &= -10 \cdot 10\text{mV} \\ V_0 &= -100\text{mV}\end{aligned}$$

- . O sinal de entrada é aplicado na entrada não inversora;
- . O sinal de saída é amplificado e está em fase com o sinal de entrada;
- . A realimentação é utilizada para controlar o ganho do amplificador.



$$A_V = \frac{v_s}{v_e}$$

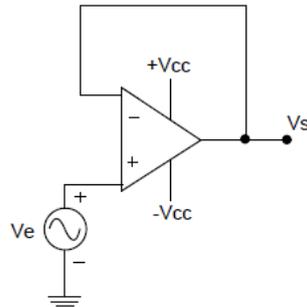
- . A_V - ganho de tensão do circuito;
- . v_s - tensão de saída do circuito;
- . v_e - tensão de entrada (tensão do gerador).

O ganho também pode ser obtido através dos resistores:

$$A_V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Buffer ou Seguidor de tensão

O Buffer é um circuito derivado do amplificador não inversor e tem como características: o ganho unitário, a altíssima impedância de entrada e a baixíssima impedância de saída. O Buffer é usado para isolar circuitos.

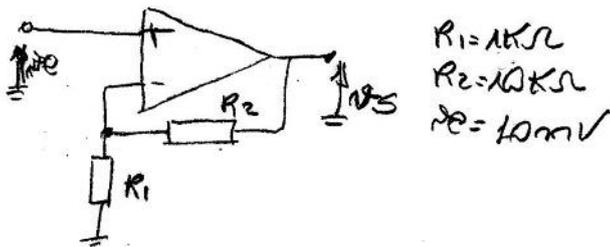


$$A_v = 1$$

Exercício

Identifique o circuito e determine

- o ganho de tensão
- a tensão de saída



$$R_1 = 1k\Omega$$

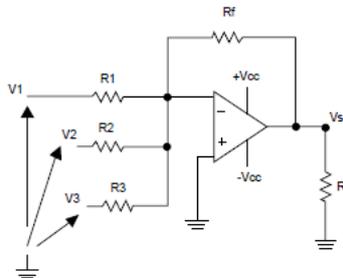
$$R_2 = 10k\Omega$$

$$V_e = 10mV$$

- Amplificador não inversor
- $A_v = \frac{R_2}{R_1} + 1 = \frac{10k}{1k} + 1 = 11$
- $A_v = \frac{V_s}{V_e} \Rightarrow V_s = A_v \cdot V_e$
 $V_s = 11 \cdot 10mV$
 $V_s = 110mV$

Derivado do amplificador inversor. É capaz de somar dois ou mais sinais de entrada analógicos ou digitais, alternados ou contínuos. O sinal de saída é a soma amplificada e invertida dos sinais de entrada.

Circuito



A equação que relaciona as entradas (V_1, V_2 e V_3) com a saída (V_s) é:

$$V_s = -\left(\frac{R_f}{R_1} \cdot V_1 + \frac{R_f}{R_2} \cdot V_2 + \frac{R_f}{R_3} \cdot V_3\right) = R_f \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right) \quad (1)$$

Se as resistências de entradas forem iguais ($R_1=R_2=R_3=R$) a equação fica reduzida a:

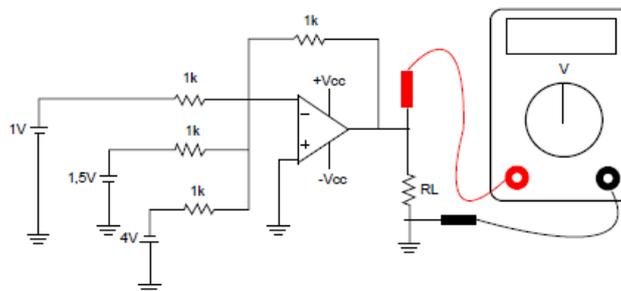
$$V_s = -\frac{R_f}{R} (V_1 + V_2 + V_3) \quad (2)$$

E se $R_f = R$, o circuito efetuará a soma invertida:

$$V_s = -(V_1 + V_2 + V_3) \quad (3)$$

Exemplo 1.

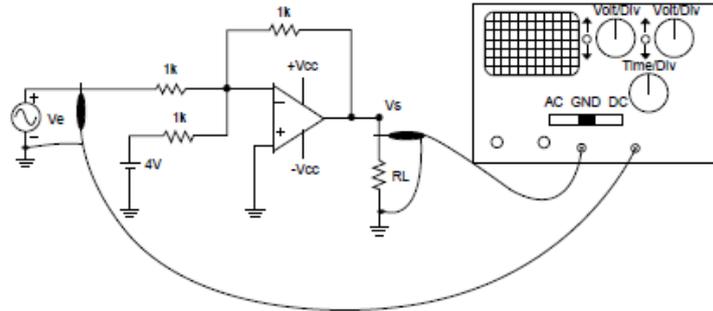
Qual a indicação do voltímetro na saída?



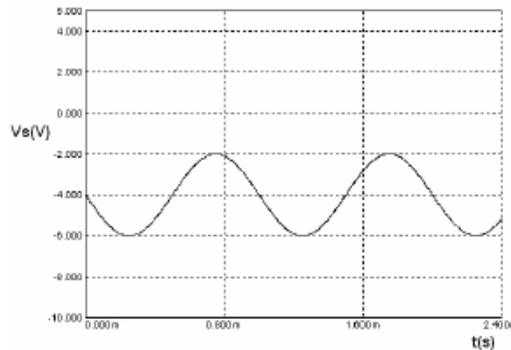
- . As entradas são 1V, 1,5V e -4V.
- . As resistências são todas iguais.
- . A expressão a ser usada é: $V_s = -(V_1 + V_2 + V_3)$
- . $V_s = -(1V + 1,5V + (-4V)) = 1,5V$

Exemplo 2

Na figura uma das entradas é senoidal e de amplitude 2V de pico e a outra a tensão é contínua 4V. Para a análise é necessário um osciloscópio no qual serão mostradas as formas de onda.

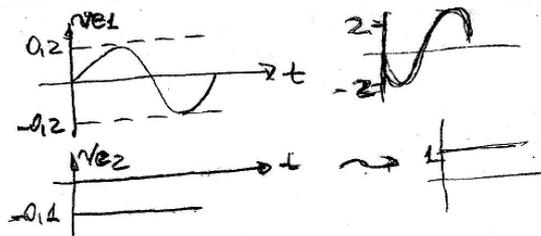
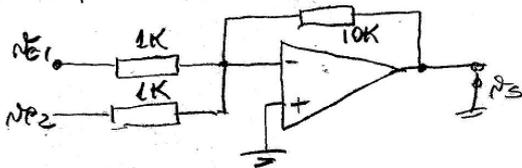


A forma de onda de saída está indicada na figura abaixo. Observar a posição do zero. No osciloscópio o zero é estabelecido colocando-se a chave de entrada inicialmente em GND, posicionando o traço, e em seguida colocando a chave em AC. Utilize a equação (3).



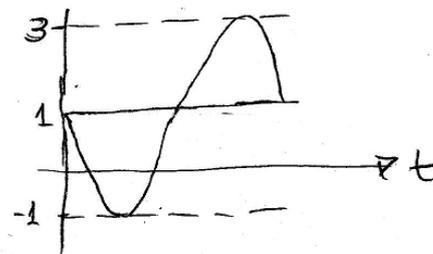
Exemplo 3

Ex: Apresenta o sinal de saída



O ganho de tensão é igual para as duas entradas.

$$AV = -\frac{R_f}{R} \Rightarrow -\frac{10k}{1k} \Rightarrow -10$$



A solução fica mais fácil se fizer a análise para cada sinal em separado e depois juntar para obter o resultado. Utilize a equação (2).

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL SUBTRATOR

06/07

Introdução Teórica

É um circuito derivado do inversor e do não inversor e aceita somente duas entradas, figura (1).

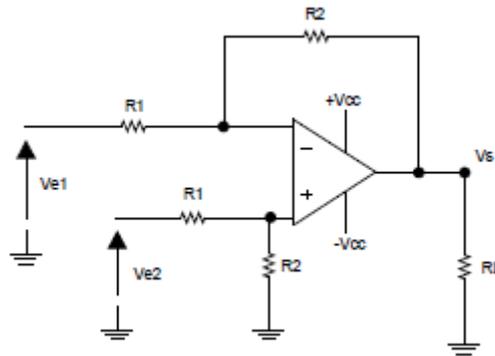


Figura 1 - Amplificador diferencial.

A relação entre a saída e as entradas é dada pela equação (1):

$$V_s = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_{e2} - V_{e1}) = A_d \cdot (V_{e2} - V_{e1}) \quad (1)$$

$A_d = \frac{R_2}{R_1}$ é o ganho diferencial do amplificador.

Se as resistências são iguais a equação (1) fica simplificada, resultando na equação (2).

$$V_s = V_{e2} - V_{e1} \quad (2)$$

Nessas condições o circuito executa a operação de subtração.

Se as entradas são iguais $V_{e1} = V_{e2} = V_C =$ sinal em modo comum, a saída teoricamente é nula, mas na prática nessas condições haverá uma pequena saída porque o amplificador operacional não é ideal, figura (2).

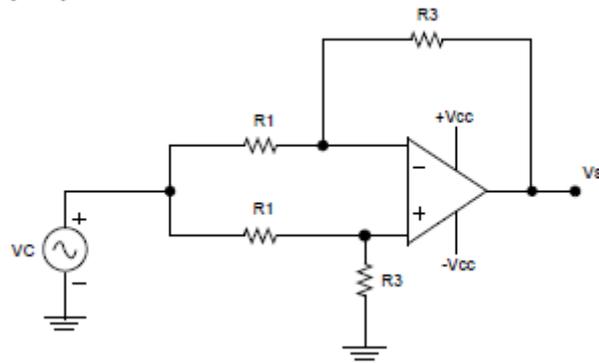


Figura 2 - Amplificador diferencial com entradas em modo comum.

Na equação (3) define-se o ganho em modo comum (A_C) como:

$$A_C = \frac{V_S}{V_C} \quad (3)$$

Onde V_C é o sinal em modo comum aplicado em ambas as entradas e V_S a saída nessas condições. Um índice de mérito do amplificador operacional é a de Razão de Rejeição em Modo Comum (RRMC), que dá uma medida do quanto um sinal em modo comum é rejeitado, equação (4).

$$RRMC = 20 \cdot \log \frac{A_d}{A_c} \text{ (dB)} \quad (4)$$

Existem amplificadores diferenciais que são usados em instrumentação para medir grandezas físicas tais como temperatura, pressão, deslocamento etc. São chamados de amplificadores de instrumentação.

Exemplo: Calcular a tensão na saída do circuito da figura (3).

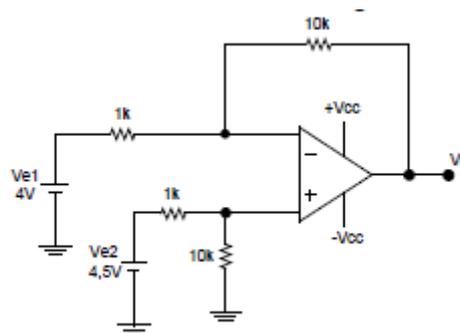


Figura 3 - Amplificador diferencial.

O ganho diferencial (A_d) do circuito vale 10, o sinal diferença 0,5V e, portanto, a tensão de saída valerá:
 $V_S = A_d \cdot (V_{e2} - V_{e1}) = 10 \cdot (0,5) = 5V$

Introdução Teórica

Devido ao altíssimo ganho, quando em malha aberta, qualquer tensão ao ser aplicada entre as entradas, por menor que seja, leva o amplificador operacional à saturação. Na figura (1) tem-se a curva característica de transferência ($V_s \times V_e$) típica de um amplificador operacional, em malha aberta (sem realimentação). Para o amplificador operacional saturar basta uma tensão da ordem de 0,1mV em uma das entradas. **A tensão de saída assume o valor aproximado da tensão de alimentação.**

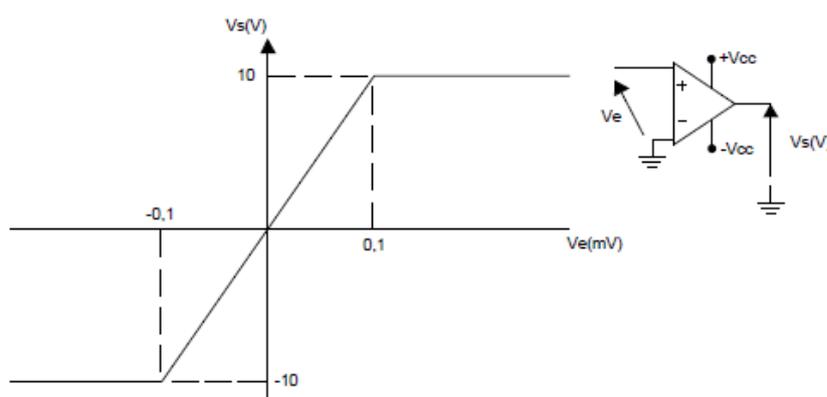


Figura 1 - Curva característica em malha aberta.

Na figura (1) o ganho em malha aberta é:

$$A_v = \frac{\Delta V_s}{\Delta V_e} = \frac{10V}{0,1mV} = 100.000$$

Quanto maior o ganho, maior a inclinação da reta. No caso ideal, ganho infinito, a inclinação da reta é vertical, na prática o que se tem é uma situação onde os valores usados são tais que os valores de tensão podem ser considerados desprezíveis.

O fato do ganho ser muito alto é usado para construir circuitos comparadores onde uma tensão de referência é usada para ser comparada com a tensão de entrada. Se a entrada for maior que a referência a saída satura (positivamente ou negativamente), se a entrada for menor que a referência a saturação é contrária (negativamente ou positivamente).

Comparador de Zero Não Inversor

Neste caso a tensão de entrada é comparada com zero e como a tensão de entrada é aplicada na entrada não inversora a saída estará em fase com a entrada, isto é, se $V_e > 0$ a saída satura positivamente. **A tensão de saída assume o valor aproximado da tensão de alimentação.**

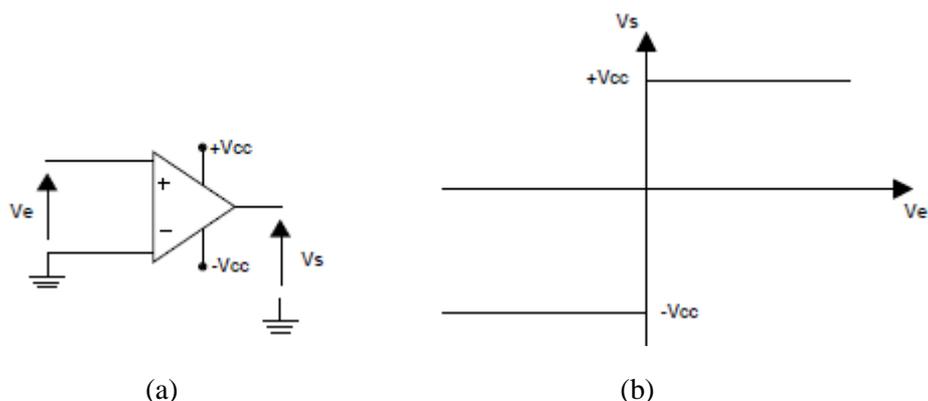


Figura 2 - (a) Comparador de zero não inversor (b) Curva característica de transferência.

Comparador de Zero Inversor

A tensão de entrada é comparada com zero, e como a tensão de entrada é aplicada na entrada inversora, a saída estará invertida em relação a entrada, isto é, se $V_e > 0$ a saída satura negativamente. **A tensão de saída assume o valor aproximado da tensão de alimentação.**

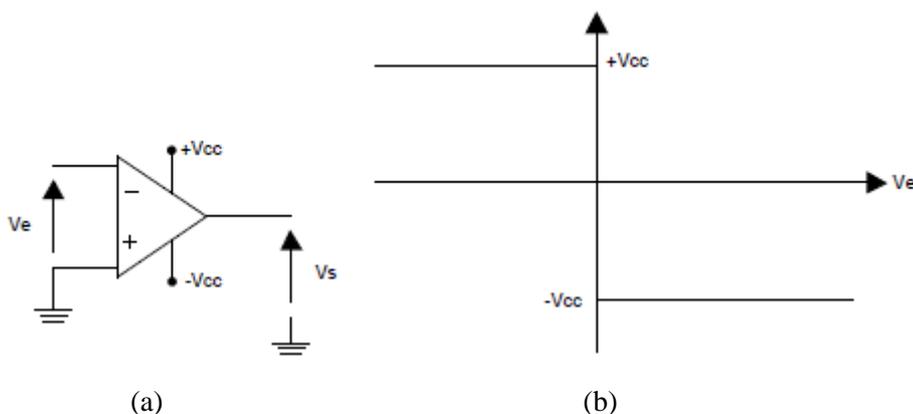


Figura 3 - (a) Comparador de zero inversor (b) Curva característica de transferência.

Comparador de Nível Inversor

Neste caso a entrada é comparada com uma tensão diferente de zero, e como a entrada é aplicada na entrada inversora, a saída estará invertida em relação à entrada, isto é, se $V_e > V_R$ a saída saturará negativamente. **A tensão de saída assume o valor aproximado da tensão de alimentação.**

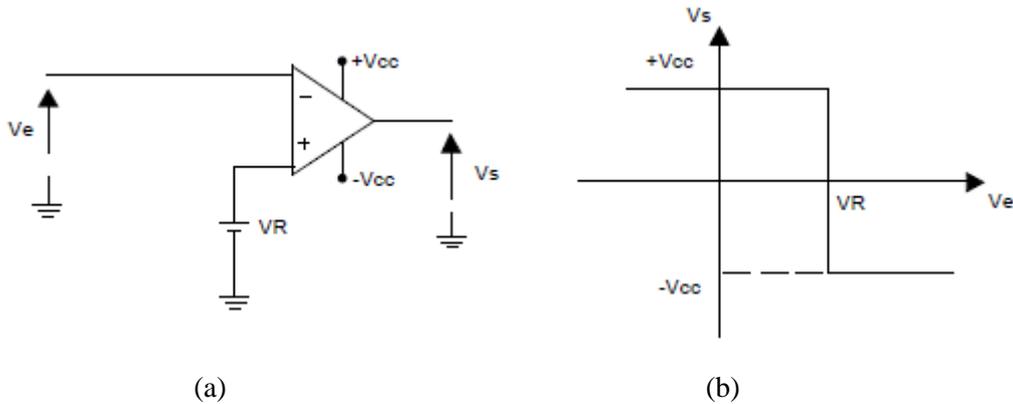


Figura 4 - (a) Comparador de nível inversor (b) Curva característica de transferência.

Comparador de Nível Não Inversor

A entrada é comparada com uma tensão diferente de zero, e como a entrada é aplicada na entrada não inversora a saída estará fase com entrada, isto é, se $V_e > V_R$ a saída saturará positivamente. **A tensão de saída assume o valor aproximado da tensão de alimentação.**

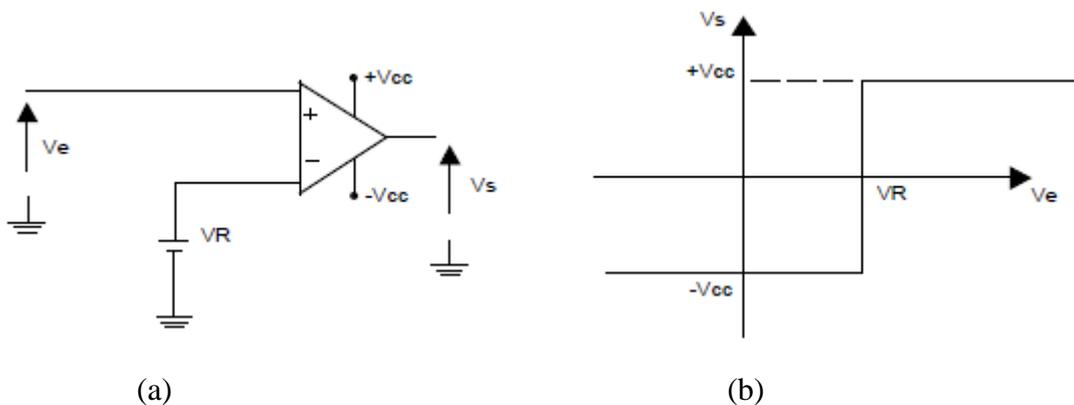


Figura 5 - (a) Comparador de nível não inversor (b) Curva característica de transferência.