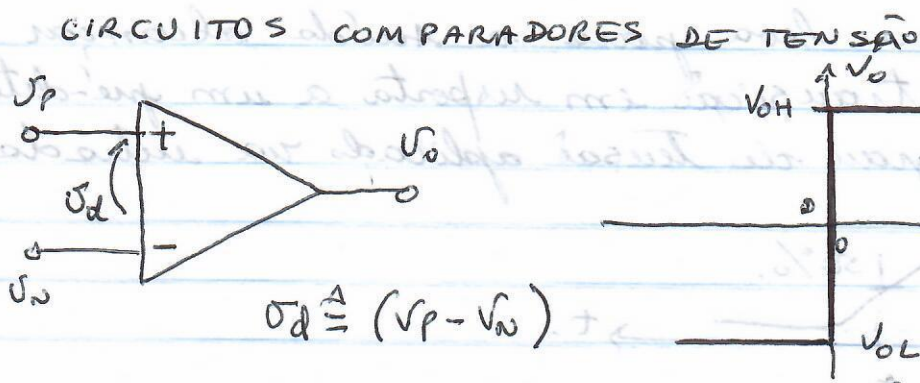




Função: comparar V_P e V_N

$V_P > V_N \Rightarrow V_O = V_{OH}$ (saturação positiva)

$V_P < V_N \Rightarrow V_O = V_{OL}$ (saturação negativa).

V_P e V_N podem ser tensões analógicas mas V_O é uma variável binária: pode assumir apenas um de dois valores: V_{OL} ou V_{OH} .

A curva vertical na origem de $V_O = f(V_d)$ indica $\frac{V_O}{V_d} = \infty$ ($a \rightarrow \infty$: situação ideal).

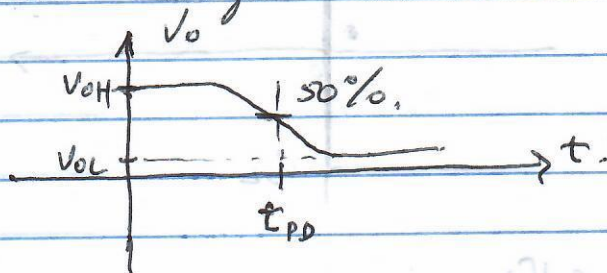
Na prática o ganho de malha aberta, a , situa-se, tipicamente, na faixa entre 10^3 a 10^6 V/V.

V_{OL} e V_{OH} não precisam ser, necessariamente, simétricas, como, por exemplo, em aplicações digitais que requerem $V_{OL} \approx 0V$ e $V_{OH} \approx 5V$.

Em aplicações de alta velocidade interessa saber quão rapidamente um comparador responde quando o estado de entrada muda de $V_P < V_N$ para $V_P > V_N$, e vice-versa.

A velocidade dos comparadores é caracterizada em termos do tempo de resposta, t_R , também chamado de atraso de propagação, t_{PD} , definido como o

tempo que leva para a saída alcançar 50% de sua transição em resposta a um pré-determinado degrau de tensão aplicado na entrada.

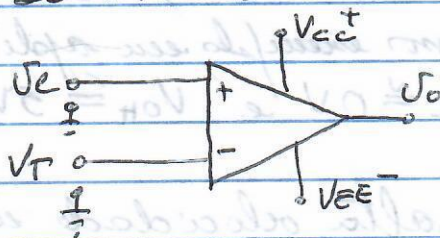


Embora a magnitude do degrau de entrada esteja, tipicamente, da ordem de 100 mV, seu limite é escolhido para exceder ligeiramente o nível de tensão requerido para produzir a mudança de estado na saída. Esse tensão é chamado de V_{od} (overdrive input) e possui valores típicos de 1 mV, 5 mV e 10 mV.

Dependendo do dispositivo e dos valores de V_{od} , t_{PD} pode variar de μs a alguns ns.

Entre outras, um ganho bastante elevado e baixo offset de entrada, são condições necessárias para um amp. op. ser utilizado como comparador.

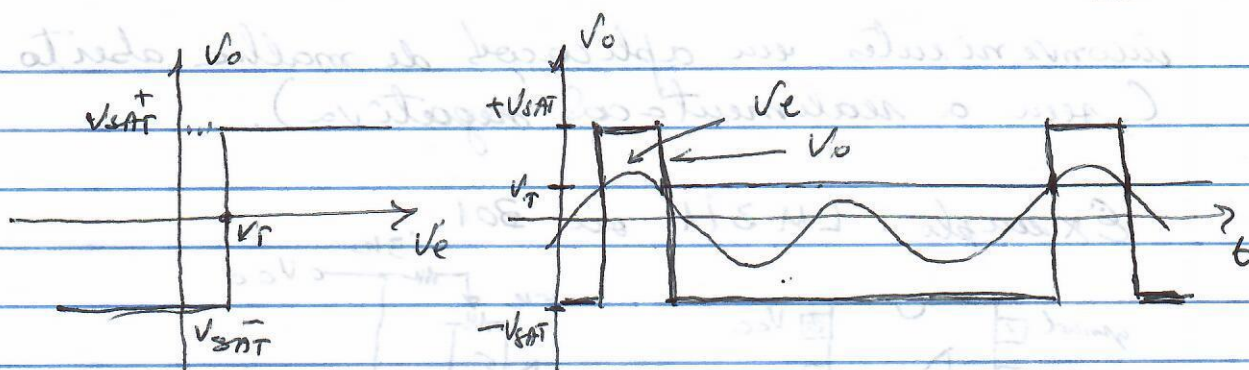
CIRCUITO DETECTOR DE NÍVEL



$$V_e < V_T \Rightarrow V_o = -V_{SAT}$$

$$V_e > V_T \Rightarrow V_o = +V_{SAT}$$

V_T é chamado de tensão de transição (ou tensão de referência),



$$+V_{SAT} \rightarrow V_{OH} \quad \text{e} \quad -V_{SAT} \rightarrow V_{OL}$$

Para o 741 (com transistores bipolares), V_{OH} e V_{OL} situam-se em aproximadamente 2V abaixo de V_{CC} ou 2V acima de V_{EE} . Assim, se $V_{CC} = +15V$ e $V_{EE} = -15V \Rightarrow V_{OH} \approx +13V$ e $V_{OL} \approx -13V$.

Para o 741 o tempo de resposta (ou de transição) é $t_R = \frac{V_{SAT}}{SR}$, onde SR é o slew rate do amp. op., tipicamente $0,5 \frac{V}{\mu s}$.

Assim, por exemplo, para $V_{SAT} = 13V \Rightarrow$,

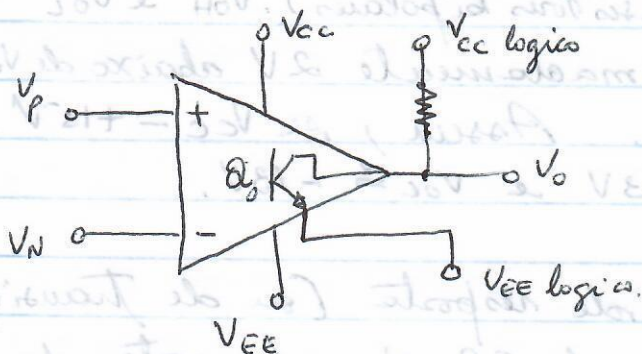
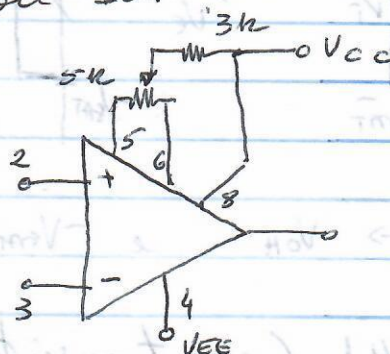
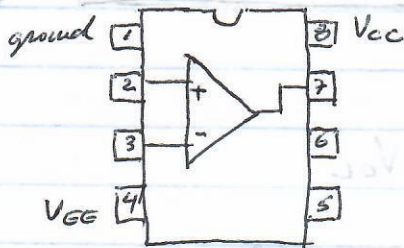
$$t_R = \frac{13V}{0,5 \frac{V}{\mu s}} = 26 \mu s, \text{ tempo inaceitável}$$

para muitas aplicações.

Os fabricantes fornecem amp. ops. para aplicações como comparadores (otimizados para uso como comparadores). Apresentam slew-rate maiores do que o 741 pois não possuem a capacitância C_c de compensação interna de frequência. Compensação em frequência é indispensável em aplicações como amplificadores, mas é

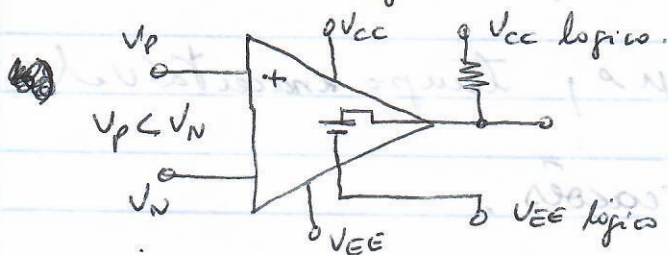
inconvenientes em aplicativos de malha aberta.
(sem a realimentação negativa).

Exemplo: LM311 ou 301



a) $V_p < V_n \Rightarrow Q_0$ satura e é modelado com uma fonte $V_{CE SAT.} (0,1V)$.

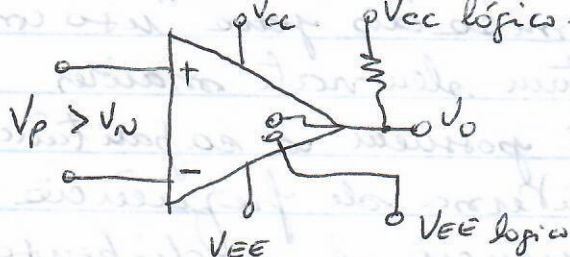
$$V_o \approx V_{EE \text{ lógico}} + 0,1V \approx V_{EE \text{ lógico}}$$



b) $V_p > V_n$

Q_0 corta $\Rightarrow$ circuito aberto

$$V_o = V_{OH} \approx V_{CC \text{ lógico}}$$



Exemplo: $V_{cc_{logic}} = 5V$ e $V_{EE_{logic}} = 0$

⇒ compatibilidade TTL.

—||—

Erros C.C. dos comparadores ⇒ erro no nível de transição:

$$E = V_{os} + R_N I_N - R_P I_P$$

V_{os} : tensão de offset de entrada.

I_N e I_P : correntes de entrada.

R_N e R_P resistências c.c. externas vistas por N e P.

LM311 à 25°C: valores típicos.

$$V_{os} = 2mV$$

$$I_B = \frac{I_P + I_N}{2} = 100mA$$

$$I_{os} = I_P - I_N = 6mA$$

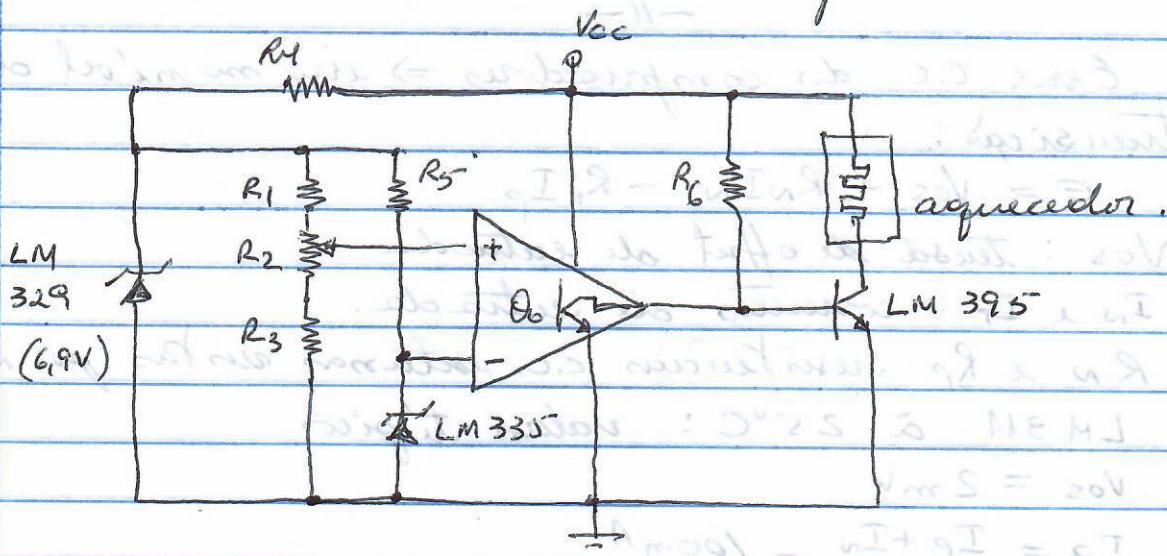
—||—

Circuitos comparadores são usados em vários momentos de gravação e transmissão de sinais e em controle e medidas.

Detetores de nível: para monitorar uma variável física que pode ser expressada em termos de tensão elétrica. Detecção de nível para temperatura, pressão, strain, posição, nível de um fluido e intensidades de som ou de luz, quando um sensor gera uma tensão elétrica a partir dessas grandezas.

Control ON-OFF

Exemplo: Controle de temperatura.



$$R_4 = 2 \text{ k} ; R_5 = 6,25 \text{ k} ; R_6 = 10 \text{ k}.$$

LM 335 : sensor de temperatura $V(T) = \frac{T(K)}{100} [V]$

R5 : para polarizar o sensor.

LM329 (6,9V) - diodo de referência para estabilizar a tensão da ponte do transdutor.

R4 para polarizar o LM329.

L M 395 transistor de potência que conduz a corrente inversa, do aquecedor.

Para T acima do "set point" $\Rightarrow V_N > V_P \Rightarrow$ Oo saturar e mantém a comunicação LM 395 - aquecendo em OFF.

Para T abaixo do "set point" $\Rightarrow V_N < V_P \Rightarrow D_o \text{ OFF}$
 $\Rightarrow$ corrente através de R_S para a base do LM 393
 que satura $\Rightarrow$ aquecedor ON.

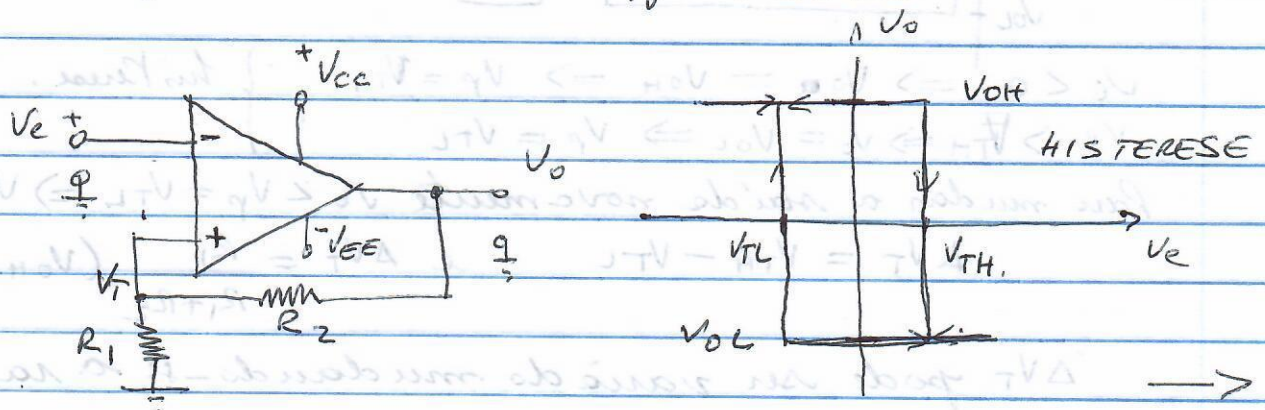
Outras aplicações: detetor de nível, modulador de pulso, etc.

— 11 —

COMPARADOR SCHMITTER TRIGGER.

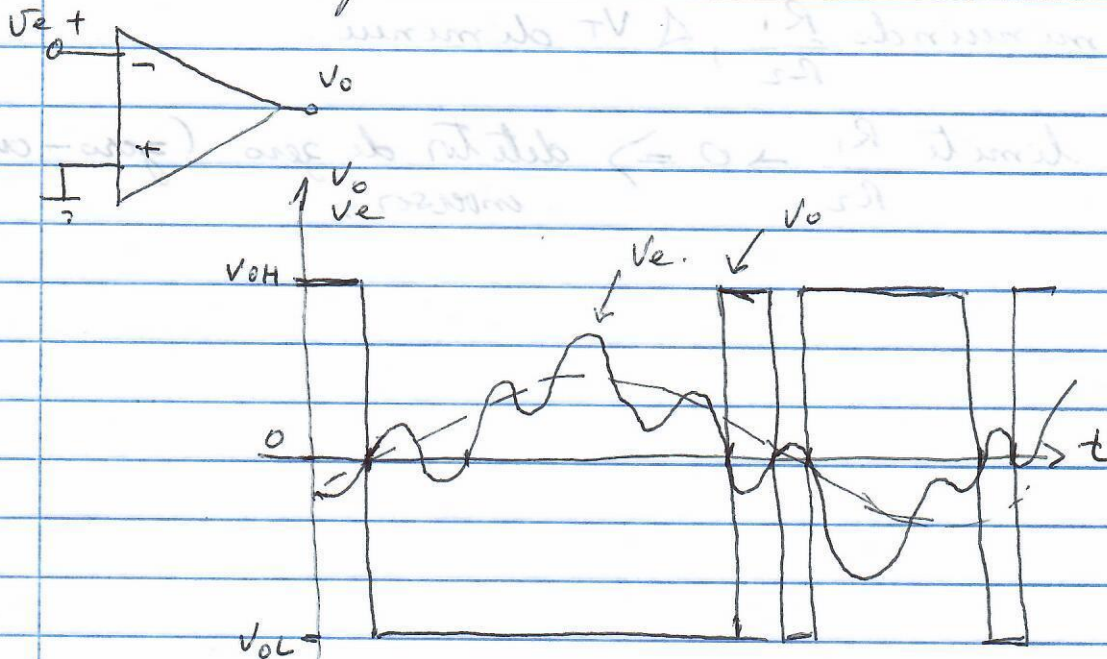
Comparador com realimentação positiva. (realimentação positiva força o am. op. para a saturação).

Comparador Schmitt Trigger inversor:



— 11 —

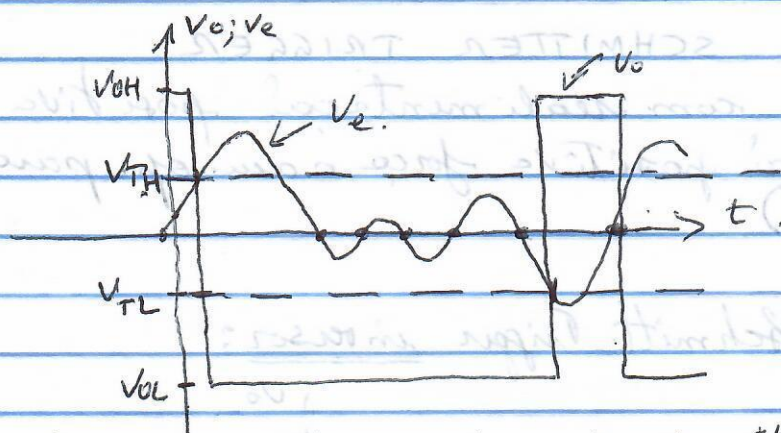
Obs.: Comparador invertor comum (sem ST):



Pequenas oscilações no sinal (V_e) gera transições indesejadas.

Comparações ST:

$$V_{TH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OH} \quad \text{e} \quad V_{TL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OL}$$



$$V_{TH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OH}$$

$$V_{TL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OL}$$

$V_e < 0 \Rightarrow V_{O} = V_{OH} \Rightarrow V_p = V_{TH}$ } histerese.

$V_e > V_{TH} \Rightarrow V_O = V_{OL} \Rightarrow V_p = V_{TL}$

Para mudar a saída novamente $V_e < V_p = V_{TL} \Rightarrow V_O = V_{OH}$.

$$\Delta V_T = V_{TH} - V_{TL} \quad \text{e} \quad \Delta V_T = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (V_{OH} - V_{OL})$$

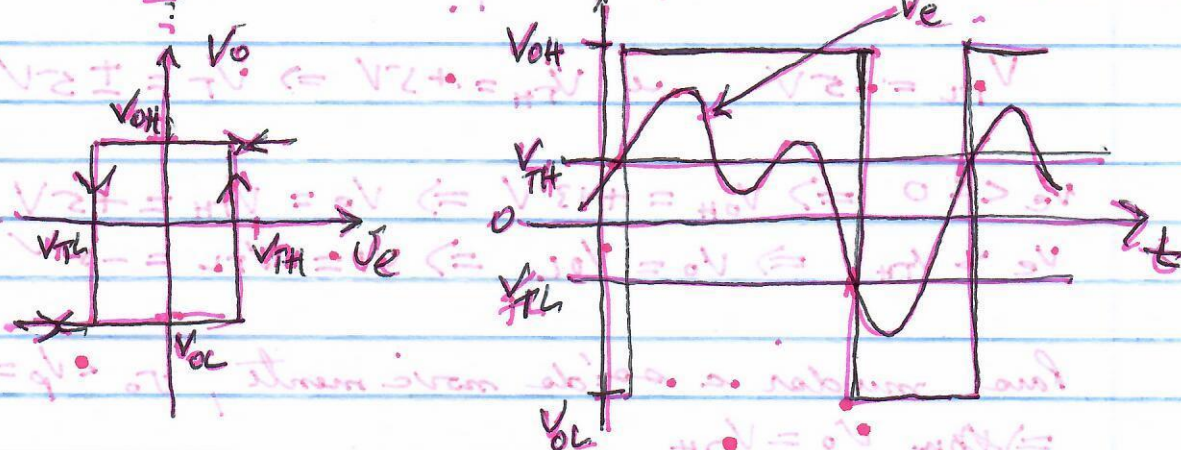
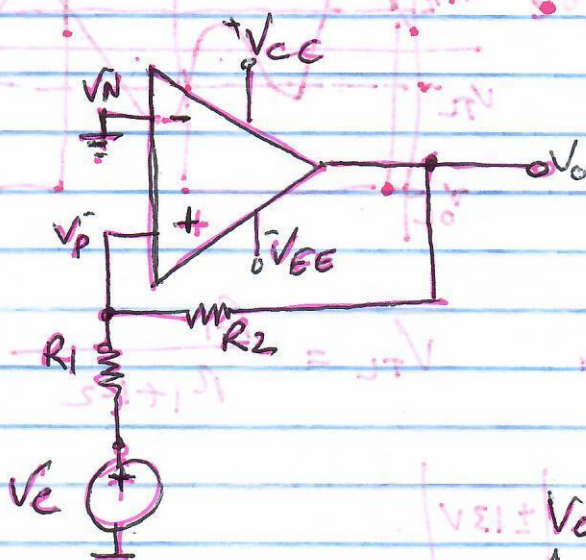
ΔV_T pode ser variado mudando-se a razão $\frac{R_1}{R_2}$.

Diminuindo $\frac{R_1}{R_2}$, ΔV_T diminui.

No limite $\frac{R_1}{R_2} \rightarrow 0 \Rightarrow$ detector de zero (zero-crossing) inversor.

Schmitt Trigger Não Inversor :

$$V_e \ll 0 \Rightarrow V_{OL}$$



Para V_o suficientemente elevada de: V_p e passa.

$$V_N = 0$$

$$\frac{(V_{TH} - 0)}{R_1} = \frac{(0 - V_{OL})}{R_2}$$

$$V_{TH} = -\frac{R_1}{R_2} V_{OL}$$

$$V_{TL} = -\frac{R_1}{R_2} V_{OH}$$

$$A_{VT} = \frac{R_1}{R_2} (V_{OH} - V_{OL})$$

$\frac{R_1}{R_2} \rightarrow 0 \Rightarrow$ ^{passagem por} detector de zero não inversor.