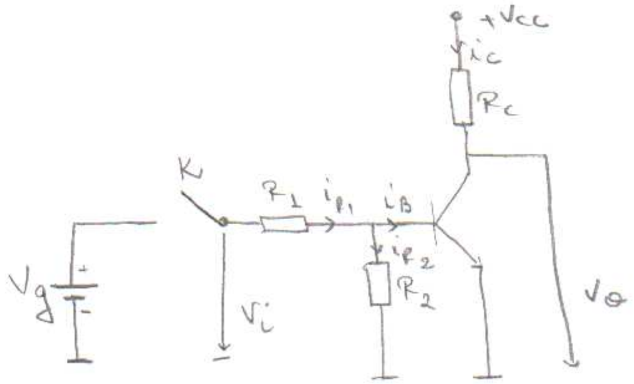
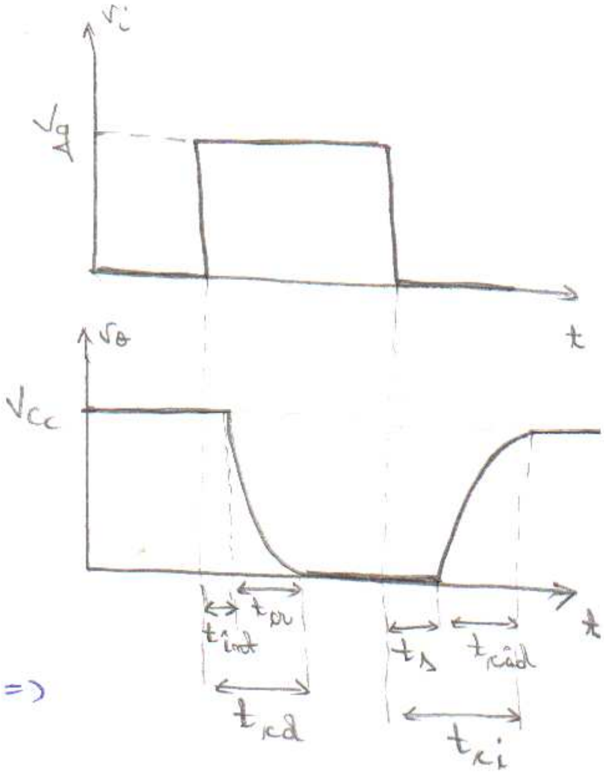
Comutarea directă a TBIP cu sarcină capacitivă (BL-RAN-SAT



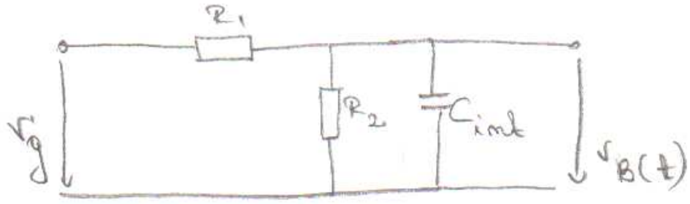


a) Timpul de întârziere (t_{int})

Inițial, tranzistorul T este blocat ⇒

⇒ $i_B = i_C = 0$ și $v_o = V_{CC}$

Schema echivalentă a circuitului este:



$C_{int} \cong C_{be} + C_{bc}$

Tensiunea de pe baza tranzistorului va crește după legea:

$$v_B(t) = v_B(\infty) + \Big[\underbrace{v_B(0)}_{0} - \underbrace{v_B(\infty)}_{\frac{R_2}{R_1+R_2}v_g}\Big] e^{-t/\tau_1} \quad , \tau_1 = C_{int} \cdot R_1 \| R_2$$

$$v_B(t) = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_g \left(1 - e^{-t/\tau_1}\right)$$

Tensiunea de deschidere a tranzistorului se va atinge după timpul t_{int} dedus din:

$$v_B(t_{int}) = V_{BE_0}$$

$$V_{BE_0} = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_g \left(1 - e^{-t/\tau_1}\right) \Rightarrow 1 - e^{-t/\tau} = \frac{V_{BE_0}(R_1+R_2)}{V_g R_2}$$

$$e^{-t/\tau_1} = \frac{V_g R_2 - V_{BE_0}(R_1+R_2)}{V_g R_2}$$

$$-\frac{t}{\tau_1} = \ln \frac{V_g R_2 - V_{BE_0}(R_1+R_2)}{V_g R_2}$$

$$t = \tau_1 \ln \frac{V_g R_2}{V_g R_2 - V_{BE_0}(R_1+R_2)}$$

$$t = \tau_1 \ln \frac{1}{1 - \frac{V_{BE_0}(R_1+R_2)}{V_g R_2}}$$

$$\boxed{t_{int} = \tau_1 \ln \frac{1}{1 - \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)\frac{V_{BE_0}}{V_g}}} \quad , \tau_1 = C_{ind} \cdot R_1 \| R_2$$

b) Timpul de creștere

$$i_B = i_{R_1} - i_{R_2} = \frac{V_g - V_{BE}}{R_1} - \frac{V_{BE}}{R_2} = \frac{V_g}{R_1} - \frac{V_{BE}}{R_1 \| R_2}$$

Dacă se neglijează curentul prin C_{bc}, din metoda sarcinii rezultă:

$$i_B = \frac{dQ(t)}{dt} + \frac{Q(t)}{\tau_m} \quad , Q(0) = 0$$

$$\frac{dQ(t)}{dt} = i_B - \frac{Q(t)}{\tau_m} \Rightarrow dt = \frac{\tau_m \cdot dQ(t)}{\tau_m i_B - Q(t)}$$

$$t = \int \frac{\tau_m}{\tau_m i_B - Q(t)} dQ(t) = -\tau_m \ln\left(Q(t) - \tau_m i_B\right) + c$$

$$\Rightarrow \ln\left(Q(t) - \tau_m i_B\right) = \frac{t-c}{-\tau_m}$$

$$\ln\left(Q(t) - \tau_m i_B\right) = -\frac{t}{\tau_m} + c'$$

$$Q(t) - \tau_m i_B = e^{-t/\tau_m} \cdot c'' \Rightarrow Q(t) = \tau_m i_B + e^{-t/\tau_m} \cdot c'' \quad \Big| \; 2)$$

dar $Q(0) = 0$

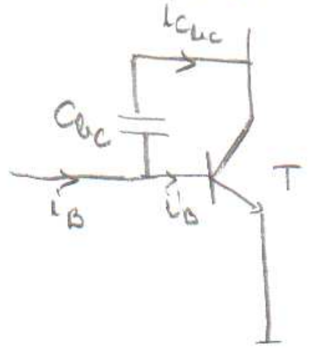
$$\Rightarrow \tau_m i_B + C'' = 0 \Rightarrow C'' = -\tau_m i_B$$

$$Q(t) = \tau_m i_B - \tau_m i_B e^{-t/\tau_m}$$

$$\boxed{Q(t) = \tau_m i_B \left(1 - e^{-t/\tau_m}\right)}$$

$$\Rightarrow \boxed{i_C(t) = \beta_0 \cdot \frac{Q(t)}{\tau_m} = \beta_0 i_B \left(1 - e^{-t/\tau_m}\right)}$$

Dacă nu se neglijează curentul prin C_{bc} $\Rightarrow$



$$i_B'(t) = i_B - i_{C_{bc}} = i_B - C_{bc} \frac{dv_{BC}}{dt}$$

$$v_{BC} = -v_{CB} = -(v_{CE} - v_{BE}) = -(V_{CC} - i_C R_C - v_{BE}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dv_{BC}}{dt} = R_C \frac{di_C}{dt}$$

$$\Rightarrow i_B'(t) = i_B - C_{bc} \cdot R_C \cdot \frac{di_C}{dt}$$

$$\Rightarrow \tau_m \frac{di_C(t)}{dt} + i_C(t) = \beta_0 \left(i_B - C_{bc} \cdot R_C \cdot \frac{di_C}{dt}\right)$$

$$\underbrace{(\tau_m + \beta_0 C_{bc} R_C)}_{\tau_m'} \cdot \frac{di_C(t)}{dt} + i_C(t) = \beta_0 i_B$$

$$\boxed{Q(t) = \tau_m' i_B \left(1 - e^{-t/\tau_m'}\right)}$$

$$\boxed{i_C(t) = \beta_0 i_B \left(1 - e^{-t/\tau_m'}\right)}$$

Terminarea comutării directe:

- în RAN: $\Rightarrow i_C(t_{cr}) = 0{,}9\beta_0 i_B \Rightarrow \cancel{\beta_0 i_B}\left(1-e^{-t_{cr}/\tau_m'}\right) = 0{,}9\cancel{\beta_0 i_B}$

$$e^{-t_{cr}/\tau_m'} = 0{,}1 \Rightarrow -\frac{t_{cr}}{\tau_m'} = -\ln 10$$

$$\boxed{t_{cr} = 2{,}3\tau_m'}$$

- în SAT: $\rightarrow i_C(t_{cr}) = 0{,}9 i_{Csat} \Rightarrow \beta_0 i_B\left(1-e^{-t_{cr}/\tau_m'}\right) = 0{,}9\, i_{Csat}$

$$1-e^{-t_{cr}/\tau_m'} = \frac{0{,}9\, i_{Csat}}{\beta_0 i_B}$$

$$e^{-t_{cr}/\tau_m'} = 1 - \frac{0{,}9\, i_{Csat}}{\beta_0 i_B} \Rightarrow \boxed{t_{cr} = \tau_m \ln \frac{1}{1-\frac{0{,}9\, i_{Csat}}{\beta_0 i_B}}}$$

Dar $m' = \frac{i_B}{i_{Bsi}} = \frac{i_B}{\frac{i_{Csat}}{\beta_0}} = \frac{i_B\beta_0}{i_{Csat}} \Rightarrow \boxed{t_{cr} = \tau_m' \ln\frac{1}{1-\frac{0{,}9}{m'}}}$

Se observă că timpul de creștere depinde de τ_m, R_C, β_0 și C_{bc}. Pentru ca $t_{cr} \to 0$ este necesar ca: β_0 cât mai mic, τ_m și C_{bc} cât mai mici și R_C cât mai mic.

$$\frac{dQ_s(t)}{dt} + \frac{Q_s(t)}{\tau_s} + \frac{Q_{si}}{\tau_m'} = i_B \quad , \quad Q_{si} = \tau_m' \cdot i_{Bsi}$$

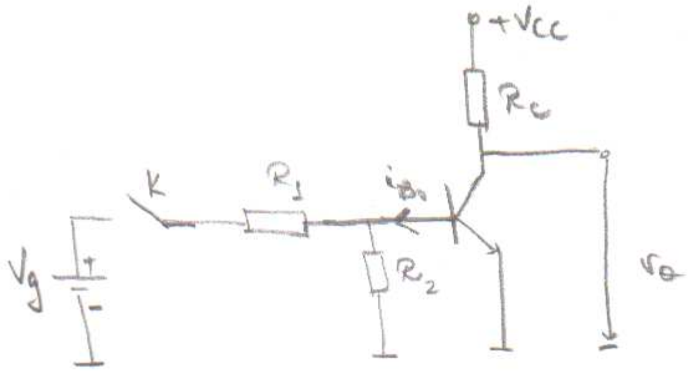
$$\frac{dQ_s(t)}{dt} + \frac{Q_s(t)}{\tau_s} = i_B - i_{Bsi}$$

$$\boxed{Q_s(t) = \tau_s\left(i_B - i_{Bsi}\right)\left(1-e^{-t/\tau_s}\right)}$$

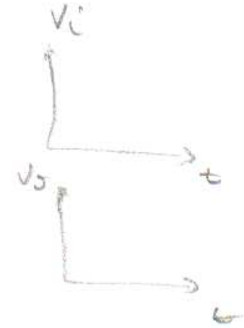
$$Q_s(\infty) = \tau_s\left(i_B - i_{Bsi}\right) = \tau_s i_{Bsi}\left(\frac{i_B}{i_{Bsi}} - 1\right) = Q_{si}(m'-1) = m\, Q_{si}$$

$$Q_s(0) = 0$$

Comutarea inversă a TBIP cu sarcină capacitivă



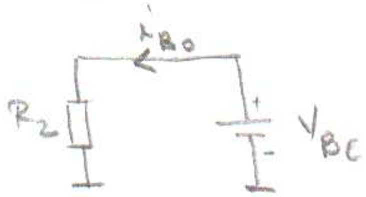
+ Schema



a) Timpul de stocare

Până la eliminarea sarcinii din baza tranzistorului, tensiunea V_{BE} rămâne la valoarea de deschidere.

Circuitul echivalent:



$$i_{B_0} = \frac{V_{BE}}{R_2}$$

$$\frac{dQ_s(t)}{dt} + \frac{Q_s(t)}{\tau_s} + \frac{Q_{si}}{\tau_m'} = -i_{B_0}, \text{ cu } Q_s(0) = \tau_s(i_B - i_{Bsi})$$

$$Q_{si} = \tau_m' i_{Bsi}$$

$$\Rightarrow \frac{dQ_s(t)}{dt} + \frac{Q_s(t)}{\tau_s} = -(i_{B_0} + i_{Bsi})$$

$$\frac{dQ_s(t)}{dt} = -\frac{Q_s(t)}{\tau_s} - (i_{B_0} + i_{Bsi})$$

$$dt = \frac{dQ_s(t)}{-\frac{Q_s(t)}{\tau_s} - i_{B_0} - i_{Bsi}} = \frac{-\tau_s\, dQ_s(t)}{Q_s(t) + \tau_s(i_{B_0} + i_{Bsi})}$$

$$\int dt = -\tau_s \int \frac{dQ_s(t)}{Q_s(t) + \tau_s(i_{B_0} + i_{Bsi})}$$

$$t = -\tau_s \ln\left(Q_s(t) + \tau_s(i_{B_0} + i_{Bsi})\right) + c$$

$$-\frac{t-c}{\tau_s} = \ln\left(Q_s(t) + \tau_s(i_{B_0} + i_{Bsi})\right)$$

$$Q_s(t) + \tau_s(i_{B_0} + i_{Bsi}) = e^{-t/\tau_s} \cdot c''$$

$$Q_s(t) = -\tau_s(i_{B_0} + i_{Bsi}) + e^{-t/\tau_s} \cdot c''$$

dar $Q_s(0) = \tau_s(i_B - i_{Bsi})$ $\Big| \Rightarrow$

$$\Rightarrow -\tau_s(i_{B_0} + i_{Bsi}) + c'' = \tau_s(i_B - i_{Bsi})$$

$$c'' = \tau_s(i_B - \cancel{i_{Bsi}} + i_{B_0} + \cancel{i_{Bsi}})$$

$$c'' = \tau_s(i_B + i_{B_0})$$

Deci $Q_s(t) = -\tau_s(i_{B_0} + i_{Bsi}) + \tau_s(i_{B_0} + i_B)\, e^{-t/\tau_s}$.

$$Q_s(t_s) = 0$$

$$\Rightarrow \cancel{\tau_s}(i_{B_0} + i_B)e^{-t_s/\tau_s} = \cancel{\tau_s}(i_{B_0} + i_{Bsi})$$

$$e^{-t_s/\tau_s} = \frac{i_{B_0} + i_{Bsi}}{i_{B_0} + i_B}$$

$$-\frac{t_s}{\tau_s} = \ln\frac{i_{B_0} + i_{Bsi}}{i_{B_0} + i_B} \Rightarrow \boxed{t_s = \tau_s \ln\frac{i_{B_0} + i_B}{i_{B_0} + i_{Bsi}}}$$

Pentru ca t_s să fie cât mai mic este necesar ca:

- τ_s să fie cât mai mic
- i_B să fie cât mai mic (influențează negativ timpul de creștere)
- i_{B_0} să fie cât mai mare

c) <u>Timpul de cădere</u>

$$\tau_n' \cdot \frac{di_C(t)}{dt} + i_C(t) = -\beta_0 i_{B_0} \quad , \text{cu } i_C(0) = i_{Csat} = \beta_0 i_{Bsi}$$

$$\tau_m' \cdot \frac{di_c(t)}{dt} = -\beta_0 i_{B_0} - i_c(t)$$

$$dt = \frac{\tau_m' \, di_c(t)}{-\beta_0 i_{B_0} - i_c(t)}$$

$$\int dt = -\tau_m' \int \frac{di_c(t)}{i_c(t) + \beta_0 i_{B_0}}$$

$$t = -\tau_m' \ln\left(i_c(t) + \beta_0 \cdot i_{B_0}\right) + c$$

$$-\frac{t}{\tau_m} + c' = \ln\left(i_c(t) + \beta_0 i_{B_0}\right)$$

$$i_c(t) + \beta_0 i_{B_0} = e^{-t/\tau_m'} \cdot c''$$

$$i_c(t) = e^{-t/\tau_m'} \cdot c'' - \beta_0 i_{B_0}$$

dar $i_c(0) = \beta_0 i_{B_{si}}$ $\Rightarrow$ $c'' - \beta_0 i_{B_0} = \beta_0 i_{B_{si}}$

$$c'' = \beta_0 (i_{B_0} + i_{B_{si}})$$

Deci $i_c(t) = -\beta_0 i_{B_0} + \beta_0 (i_{B_0} + i_{B_{si}}) e^{-t/\tau_m'}$

$i_c(t_{cad}) = 0$ $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \cancel{\beta_0} i_{B_0} = \cancel{\beta_0}(i_{B_0} + i_{B_{si}}) e^{-t_{cad}/\tau_m'}$$

$$e^{-t_{cad}/\tau_m} = \frac{i_{B_0}}{i_{B_0} + i_{B_{si}}}$$

$$-\frac{t_{cad}}{\tau_m'} = \ln \frac{i_{B_0}}{i_{B_0} + i_{B_{si}}} \Rightarrow \boxed{t_{cad} = \tau_m' \ln\left(1 + \frac{i_{B_{si}}}{i_{B_0}}\right)}$$

Pentru ca t_{cad} să fie cât mai mic este nevoie ca:

- τ_m' să fie cât mai mic
- i_{B_0} să fie cât mai mare

Metoda sarcinii

- pentru RAN:

$$\begin{cases} \dfrac{dQ(t)}{dt} + \dfrac{Q(t)}{\tau_m} = i_B(t) \\ i_C(t) = \beta_0 \dfrac{Q(t)}{\tau_m} \end{cases}$$

sau: $$\tau_m \frac{di_C(t)}{dt} + i_C(t) = \beta_0 i_B(t)$$

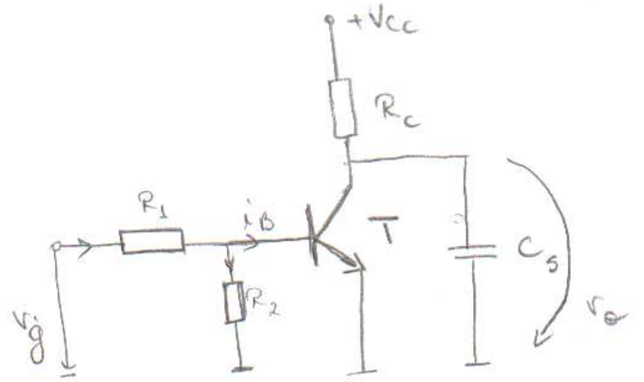
- pentru SAT:

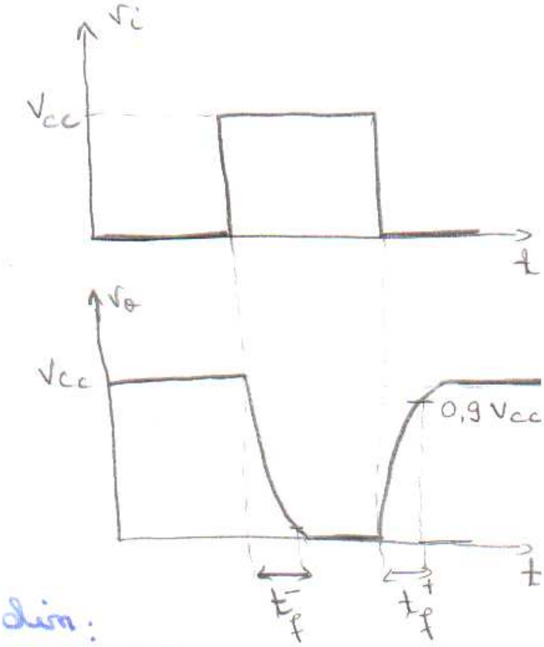
$$\begin{cases} \dfrac{dQ_s(t)}{dt} + \dfrac{Q_s(t)}{\tau_s} + \dfrac{Q_{si}}{\tau_m} = i_B(t) \\ i_C(t) = i_{C_{sat}} \end{cases}$$

~~sau~~: cu $\tau_s = \dfrac{\tau_m}{1+\beta_0(1-\gamma)}$

$$\boxed{v_0(t) = v_0(\infty) + \left[v_0(0) - v_0(\infty)\right] \cdot e^{-t/\tau}}$$

Comutarea inversorului cu TBIP și cu sarcină capacitivă





• Capacitatea de sarcină este compusă din:
- capacitatea de intrare a circuitelor comandate
- capacitatea de ieșire a circuitului în cauză
- capacitatea parazită a conexiunilor

toate neliniare și distribuite

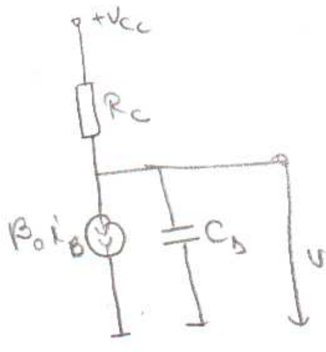
• TBIP este considerat un comutator ideal.

Inițial, tranzistorul T este blocat, $i_C = 0$, $v_O = V_{CC}$.
La aplicarea impulsului de comandă, tranzistorul T se deschide imediat și rămâne în RAN, deoarece tensiunea de ieșire nu poate să scadă brusc (din cauza capacității C_s care nu admite salturi de tensiune.

$$i_B = i_{R_1} - i_{R_2} = \frac{v_g - V_{BE}}{R_1} - \frac{V_{BE}}{R_2}$$

$$i_C = i_B \beta_0 .$$

Schema echivalentă:



Tensiunea v_o variază după legea:

$$v_o(t) = \underbrace{v_o(\infty)}_{V_{CC} - R_C \beta_0 i_B} + \left[\underbrace{v_o(0)}_{V_{CC}} - v_o(\infty)\right] e^{-t/\tau} \quad , \tau = R_C \cdot C_s .$$

$$\Rightarrow v_o(t) = V_{CC} - R_C \cdot \beta_0 i_B + \left[\cancel{V_{CC}} - \cancel{V_{CC}} + \beta_0 i_B R_C\right] e^{-t/\tau}$$

$$\boxed{v_o(t) = V_{CC} - R_C \beta_0 i_B + \beta_0 i_B R_C e^{-t/\tau}}$$

$$v_o(t_f^-) \cong 0 \Rightarrow V_{CC} - \left(1 - e^{-t_f/\tau}\right) R_C \beta_0 i_B = 0$$

$$1 - e^{-t_f/\tau} = \frac{V_{CC}}{R_C \beta_0 i_B}$$

$$e^{-t_f/\tau} = \frac{R_C \beta_0 i_B - V_{CC}}{R_C \beta_0 i_B}$$

$$\boxed{t_f^- = \tau \ln \frac{\beta_0 i_B R_C}{\beta_0 i_B R_C - V_{CC}}}$$

Dacă $\beta_0 i_B R_C \gg V_{CC} \Rightarrow t_f^-$ nu depinde de R_C $\left(\beta_0 i_B \gg \frac{V_{CC}}{R_C}\right.$ - se neglijează curentul prin $\left.R_C\right)$,

Descărcarea lui C_s se face cu un curent constant $i_{C_s} = -\beta_0 i$

$$v_o(t) = v_o(0) + \frac{1}{C_s}\int_0^t i_{C_s} dt$$

$$v_o(t) = V_{CC} - \frac{\beta_0 i_B}{C_s} \cdot t$$

$$v_o(t_f^-) = 0 \quad \Rightarrow t_f^- = \frac{V_{CC} \cdot C_s}{\beta_0 i_B}$$

Pe durata impulsului, tranzistorul este în saturație dacă este îndeplinită condiția:

$$i_B > i_{Bsi} = \frac{i_C}{\beta_0} = \frac{V_{CC}}{\beta_0 R_C}.$$

La dispariția impulsului de comandă (comutarea inversă), tranzistorul se blochează, iar tensiunea de ieșire variază după legea:

$$v_o(t) = \underbrace{v_o(\infty)}_{V_{CC}} + \left[\underbrace{v_o(0)}_{0} - \underbrace{v_o(\infty)}_{V_{CC}}\right] e^{-t/\tau}, \quad \tau = R_C C_s$$

$$\boxed{v_o(t) = V_{CC}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)}$$

$v_0(t_f^+) = 0,9\,V_{cc}$

$\Rightarrow \cancel{V_{cc}}\left(1 - e^{-t_f^+/\tau}\right) = 0,9\,\cancel{V_{cc}}$

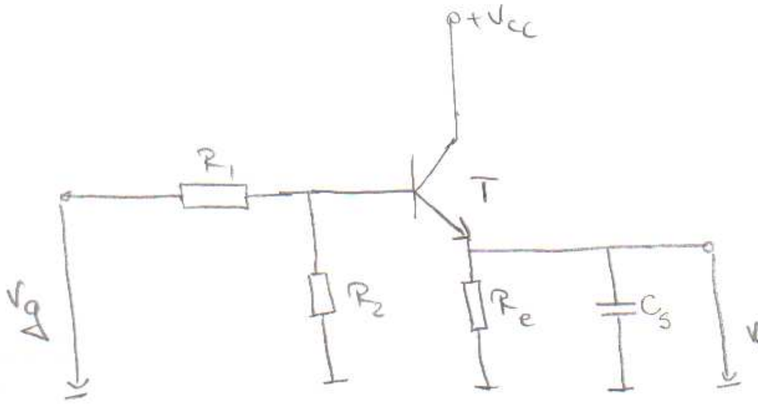
$e^{-t_f^+/\tau} = \frac{1}{10} \Rightarrow \boxed{t_f^+ = \tau \ln 10}$

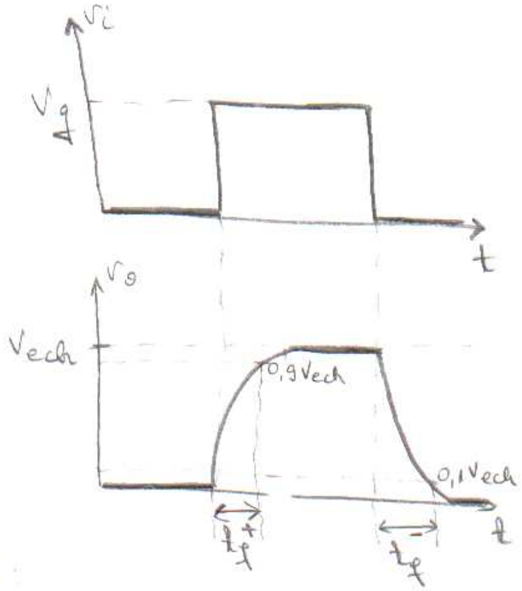
$t_f^+ = 2,3\,R_c \cdot C_0 \gg t_f^-$

Concluzii:

- inversorul descarcă rapid o capacitate de sarcină, dar o încarcă greu
- t_f^+ poate fi micșorat prin micșorarea lui R_c, dar astfel ar crește puterea disipată și t_f^-

Comutarea repetorului pe emitor cu sarcină capacitivă





- Capacitatea de sarcină se compune din
  - capacitatea de intrare a circuitului comandat
  - capacitatea de ieșire a circuitului în cauză
  - capacitatea parazită a conexiunilor

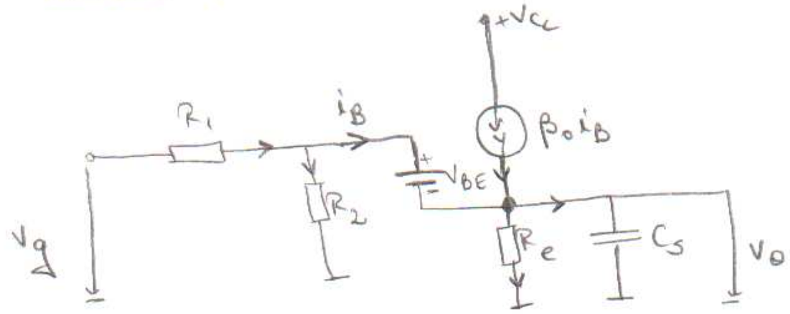
  toate distribuite și neliniare

- TBIP este considerat un comutator ideal
  - se folosește atât la circuitele ECL (datorită performanțelor sale), cât și la circuitele TTL (în regim de comutare)
  - nu se saturează

Inițial, tranzistorul T este blocat $\Rightarrow \underline{v_O = 0}$

La apariția impulsului de comandă (comutare directă), tranzistorul T se deschide în RAN, iar tensiunea de ieșire începe să crească.

Circuitul echivalent este:



$$\frac{V_{ech}}{R_e} = i_B(1+\beta_0) \Rightarrow V_{ech} = R_e \cdot i_B (1+\beta_0)$$

$$i_B = i_{R_1} - i_{R_2}$$

$$i_B = \frac{V_g - V_{ech} - V_{BE}}{R_1} - \frac{V_{ech} + V_{BE}}{R_2} = \frac{R_2 V_g - V_{ech}(R_1+R_2) - V_{BE}(R_1+R_2)}{R_1 R_2}$$

$$= \frac{V_g}{R_1} - \frac{V_{ech}}{R_1 \| R_2} - \frac{V_{BE}}{R_1 \| R_2}$$

$$\Rightarrow V_{ech} = R_e(1+\beta_0)\left[\frac{V_g}{R_1} - \frac{V_{ech}}{R_1\|R_2} - \frac{V_{BE}}{R_1\|R_2}\right]$$

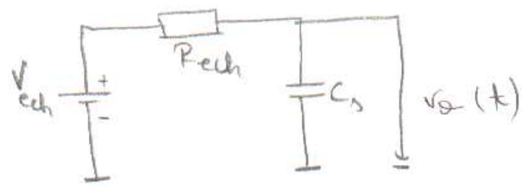
$$V_{ech}\left(1 + \frac{R_e(1+\beta_0)}{R_1\|R_2}\right) = R_e(1+\beta_0)\frac{V_g}{R_1} - R_e(1+\beta_0)\frac{V_{BE}}{R_1\|R_2} \Bigg| \cdot \frac{R_1\|R_2}{R_e(1+\beta_0)}$$

$$V_{ech}\left(1 + \frac{R_e(1+\beta_0)}{R_1\|R_2}\right) = V_g \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} - V_{BE}$$

$$V_{ech} = \left(V_g \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} - V_{BE}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_e(1+\beta_0)}{R_1\|R_2}}$$

$$\frac{1}{R_{ech}} = \frac{1}{R_e} + \frac{1}{R_1\|R_2} + \frac{\beta_0}{R_1\|R_2} = \frac{1}{R_e} + \frac{(1+\beta_0)}{R_1\|R_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{ech} = R_e \Big\| \frac{R_1\|R_2}{(1+\beta_0)}$$



Tensiunea de la ieșire variază după legea:

$$v_o(t) = v_o(\infty) + [v_o(0) - v_o(\infty)]\, e^{-t/\tau}, \quad \tau = R_{ech} \cdot C_s$$

$$v_o(\infty) \to V_{ech}, \quad v_o(0) \to 0, \quad v_o(\infty) \to V_{ech}$$

$$\Rightarrow \boxed{v_o(t) = V_{ech}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)}$$

$$v_o(t_f^+) = 0{,}9\, V_{ech} \Rightarrow 0{,}9\, \cancel{V_{ech}} = \cancel{V_{ech}}\left(1 - e^{-t_f^+/\tau}\right)$$

$$e^{-t_f^+/\tau} = \frac{1}{10} \Rightarrow t_f^+ = \tau \ln 10$$

$$\boxed{t_f^+ = 2{,}3\, R_{ech} \cdot C_s} \text{ (mic)}$$

La dispariția impulsului de comandă (comutarea inversă) tranzistorul T se blochează, iar capacitatea de sarcină se descarcă prin rezistența din emitor.

Tensiunea de la ieșire variază după legea:

$$v_o(t) = v_o(\infty) + [v_o(0) - v_o(\infty)] e^{-t/\tau} \quad , \tau = R_e \, C_s$$

$$v_o(\infty) \downarrow 0, \quad v_o(0) \downarrow V_{ech}, \quad v_o(\infty) \downarrow 0$$

$$\Rightarrow \boxed{v_o(t) = V_{ech} \, e^{-t/\tau}}$$

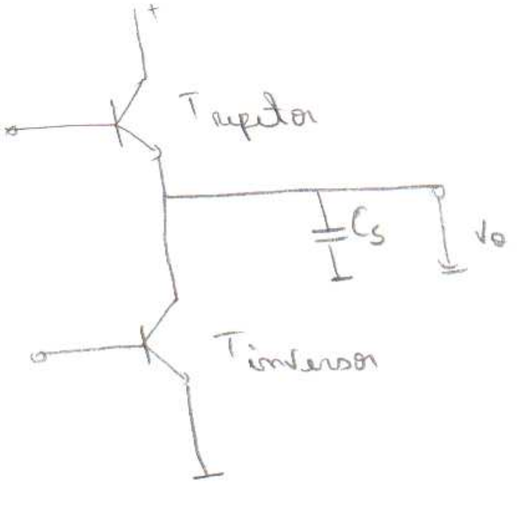
$$v_o(t_f^-) = 0{,}1 \, V_{ech} \Rightarrow 0{,}1 \cancel{V_{ech}} = \cancel{V_{ech}} \, e^{-t_f^-/\tau}$$

$$e^{-t_f^-/\tau} = \frac{1}{10} \Rightarrow t_f^- = \tau \ln 10$$

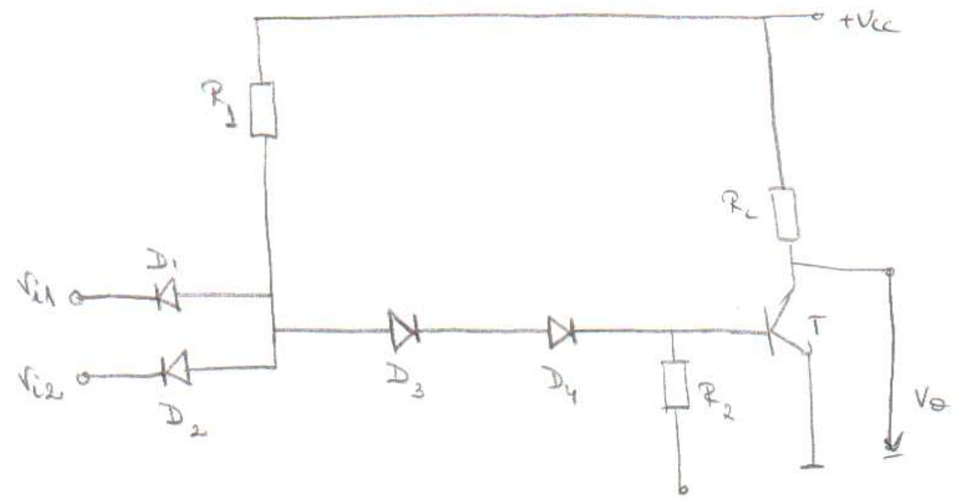
$$\Rightarrow \boxed{t_f^- = 2{,}3 \, R_e C_s} \gg t_f^+$$

Concluzii

- repetorul pe emitor încarcă rapid o capacitate de sarcină, dar o descarcă greu.
- prin combinația unui inversor și a unui repetor pe emitor ⇒ ⇒ stâlp totemic



Circuite logice DTL



Structura elementară a circuitelor DTL este circuitul logic ŞI-NU, în care:

- diodele D_1 şi D_2 şi rezistenţa R_1 formează circuitul logic şi de la intrare
- diodele D_3 şi D_4 şi rezistenţa R_2 formează circuitul de transpoziţie
- tranzistorul şi rezistenţa R_c formează un inversor.

Funcţionarea porţii ŞI-NU din punct de vedere electric:

- toate diodele de la intrare blocate => tranzistorul se saturează şi la ieşire se obţine nivelul logic "0".
- cel puţin o diodă de la intrare este deschisă => tranzistorul este blocat şi la ieşire se obţine tensiune mare (V_{cc}), nivel logic „1".

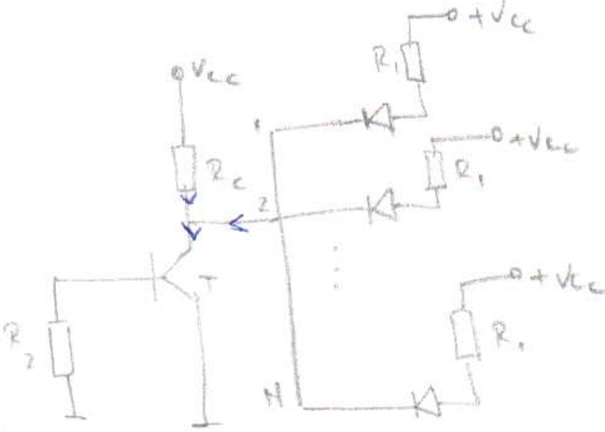
Capacitatea de încărcare statică maximă

- în starea logică "1", având în vedere că $i_{iH} \cong 0$, numărul de circuite identice care pot fi comandate este nelimitat
- în starea logică "0", se pune condiţia ca tranzistorul de comandă să rămână saturat cu un grad de saturaţie minim impus n:

$$\frac{i_B - i_{Bsi}}{i_{Bsi}} > n \Rightarrow i_B - i_{Bsi} > n\, i_{Bsi} \Rightarrow \boxed{i_B > (n+1)\, i_{Bsi}}$$

$$i_B = i_{R_1} - i_{R_2} = \frac{V_{CC}-2V_D-V_{BE}}{R_1} - \frac{V_{BE}}{R_2}$$

$$i_{B_{si}} = \frac{i_{C_{sat}}}{\beta_0}$$



$$i_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} + N\cdot \frac{V_{CC}-V_D}{R_1}$$

$$i_{B_{si}} = \frac{1}{\beta_0}\left(\frac{V_{CC}}{R_C} + N\cdot \frac{V_{CC}-V_D}{R_1}\right)$$

Înlocuim pe i_B și $i_{B_{si}}$ în:

$$i_B > (m+1)\, i_{B_{si}} \Rightarrow \frac{V_{CC}-2V_D-V_{BE}}{R_1} - \frac{V_{BE}}{R_2} > \frac{(m+1)}{\beta_0}\left(\frac{V_{CC}}{R_C} + N\,\frac{V_{CC}-V_D}{R_1}\right)$$

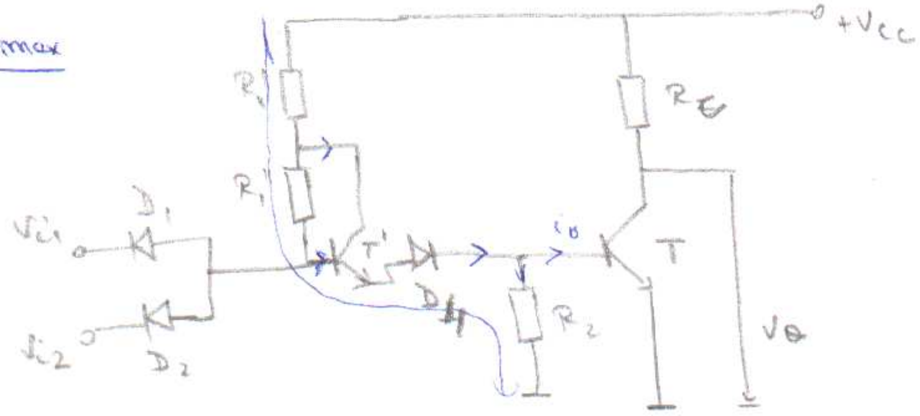
$$\frac{m+1}{\beta_0}\cdot N\cdot \frac{V_{CC}-V_D}{R_1} < \frac{V_{CC}-2V_D-V_{BE}}{R_1} - \frac{V_{BE}}{R_2} - \frac{m+1}{\beta_0}\cdot\frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$N < \frac{R_1}{V_{CC}-V_D}\cdot\frac{\beta_0}{m+1}\left(\frac{V_{CC}-2V_D-V_{BE}}{R_1} - \frac{V_{BE}}{R_2} - \frac{m+1}{\beta_0}\cdot\frac{V_{CC}}{R_C}\right)$$

$$\boxed{N_{max} < \frac{R_1}{V_{CC}-V_D}\left[\frac{\beta_0}{m+1}\left(\frac{V_{CC}-2V_D-V_{BE}}{R_1} - \frac{V_{BE}}{R_2}\right) - \frac{V_{CC}}{R_C}\right]}$$

N_{max} depinde de elementele tranzistorului (β_0, V_{BE}) și de circuit (V_{CC}, R_C, R_1, R_2)

<u>Mărirea lui N_{max}</u>



- Rolul diodei D_3 este preluat de joncțiunea BE a tranzistorul T'.

- $R_1' + R_1'' = R_1$

$(i_B + i_C = i_E)$; $i_B = i_C/\beta_0 \Rightarrow i_B = i_E - i_B/\beta_0 \Rightarrow i_B(\beta_0+1) = i_E$

$$V_{CC} - V_{BE} = R_1' \cdot i_E' + R_1'' \cdot \frac{i_E'}{\beta_0'+1} + V_{BE}' + V_D$$

$$i_E'\left(R_1' + \frac{R_1''}{\beta_0'+1}\right) = V_{CC} - V_{BE} - V_{BE}' - V_D$$

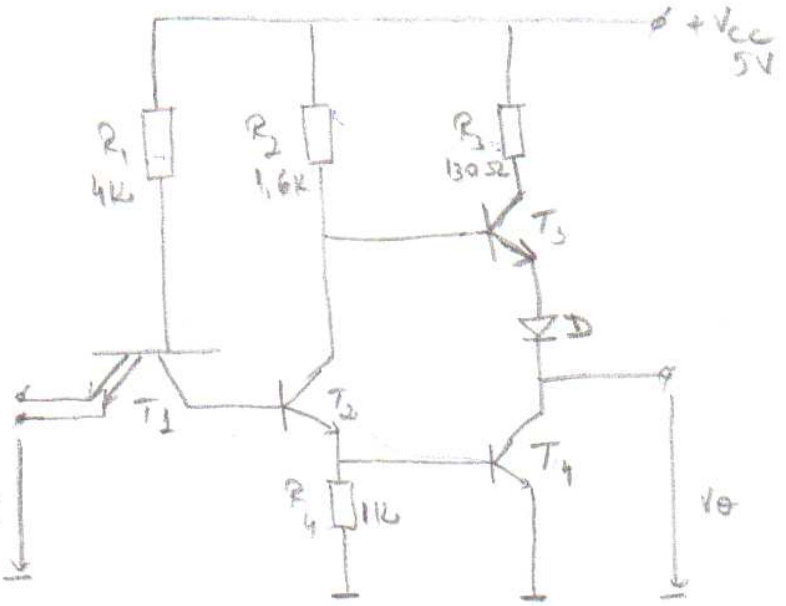
$$i_E' = \frac{V_{CC} - V_{BE} - V_{BE}' - V_D}{R_1' + \dfrac{R_1''}{1+\beta_0'}}$$

$$i_B = i_E' - \frac{V_{BE}}{R_2}$$

$$N_{max} < \frac{R_1}{V_{CC} - V_D}\left[\frac{\beta_0}{m+1}\left(\frac{V_{CC} - V_{BE} - V_{BE}' - V_D}{\underbrace{R_1' + \dfrac{R_1''}{1+\beta_0'}}_{< R_1}} - \frac{V_{BE}}{R_2}\right) - \frac{V_{CC}}{R_C}\right] \Rightarrow$$

$\Rightarrow N_{max}$ crește.

Circuite logice TTL



	T_1	T_2	T_3	T_4	OUT
„1"	RAI	SAT	BL	SAT	„0"
„0"	SAT	BL	SAT	BL	„1"

- Valori tipice pentru elementele de circuit:

  $R_1 = 4K$; $R_2 = 1,6k$; $R_3 = 130\Omega$; $R_4 = 1K$; $V_{CC} = 5V$

  $V_{BE_0} = V_{D_0} = 0,6V$; $V_{BE} = V_D = 0,8V$; $\beta_0 = 40$; $V_{CE_{sat}} = 0 \div 0,2V$

- Funcționare:

- dacă ambele intrări ale circuitului sunt la „1" logic, tranzistorul T_1 se deschide în RAI și asigură curent de bază pentru T_2 care se saturează. Curentul său de emitor saturează tranzistorul T_4, ce asigură tensiune mică la ieșire ($V_{CE_{sat}}$), adică nivel logic „0". T_3 se blochează cu ajutorul diodei D.
- dacă cel puțin una dintre intrări este la „0" logic, T_1 se saturează, determinând un potențial mic pe baza lui T_2, blocându-l, se blochează și T_4. T_3 este deschis și asigură tensiune mare la ieșire (nivel logic „1")
- funcția realizată este ȘI-NU

- Condiții de saturație

- pentru tranzistorul T_1:

$$i_{B_1} = \frac{V_{CC} - V_{BE}(T_1)}{R_1}$$, practic egal cu curentul său de emitor = (deoarece curentul de colector este foarte mic)

$\Rightarrow V_{CE_{sat}}(T_1)$ este foarte mică, neglijabilă

- pentru tranzistorul T2:

$$i_{B_2} > i_{B_{si_2}}$$

$$i_{B_2} = \frac{V_{CC} - V_{BC}(T_1) - V_{BE}(T_2) - V_{BE}(T_4)}{R_1} = \frac{5-2,4}{4} \cong 0,65\,mA$$

$$i_{B_{si_2}} = \frac{i_{C_{sat_2}}}{\beta_0} = \frac{V_{CC} - V_{CE\,sat}(T_2) - V_{BE}(T_4)}{\beta_0 R_2} = \frac{5-1}{1,6\cdot 40} = 0,062\,mA$$

- pentru tranzistorul T4:

$$i_{B_4} > i_{B_{si_4}}$$

$$i_{B_4} = i_{E_2} - i_{R_4} = i_{E_2} - \frac{V_{BE}(T_2)}{R_4} = i_{B_2} + i_{C_{sat_2}} - \frac{V_{BE}(T_2)}{R_4} =$$

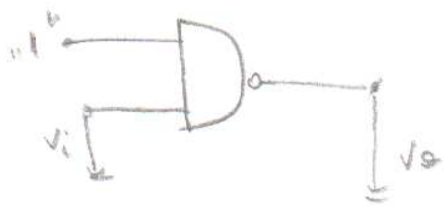
$$= \frac{V_{CC} - V_{BC}(T_1) - V_{BE}(T_2) - V_{BE}(T_4)}{R_1} + \frac{V_{CC} - V_{CE\,sat}(T_2) - V_{BE}(T_4)}{R_2} - \frac{V_{BE}(T_2)}{R_4}$$

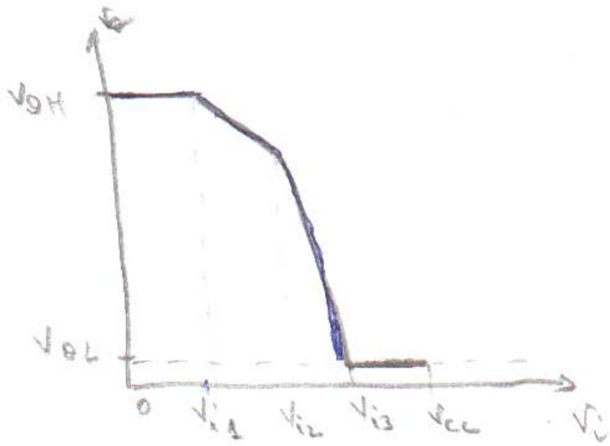
$$\cong 2,35\,mA$$

$$i_{B_{si_4}} = \frac{i_{C_{sat_4}}}{\beta_0}, \quad \text{unde } i_{C_{sat_4}} \le H_{max} \cdot i_{iL}$$

$$\Rightarrow i_{B_{si_4}} \le \frac{H_{max} \cdot i_{iL}}{\beta_0} = \frac{10 \cdot 1,6}{40} \cong 0,4\,mA.$$

- <u>Caracteristica de transfer</u>





- $V_i = 0$, $\Rightarrow$ T_1 sat, T_2 bl, T_3 RAN, T_4 bl.

$$V_O = V_{OH} = V_{CC} - R_2 i_{B_3} - V_{BE_0}(T_3) - V_{D_0} \cong 3,8 \div 4,1\,V$$

• Comutarea inversă

(T_4 blocat, C_S se încarcă prin rezistența de ieșire $R_{ieș}$ a lui T_3

$$v_O(t) = v_O(\infty) + [v_O(0) - v_O(\infty)]\, e^{-t/\tau} \quad , \tau = C_S \cdot R_{ieș}$$

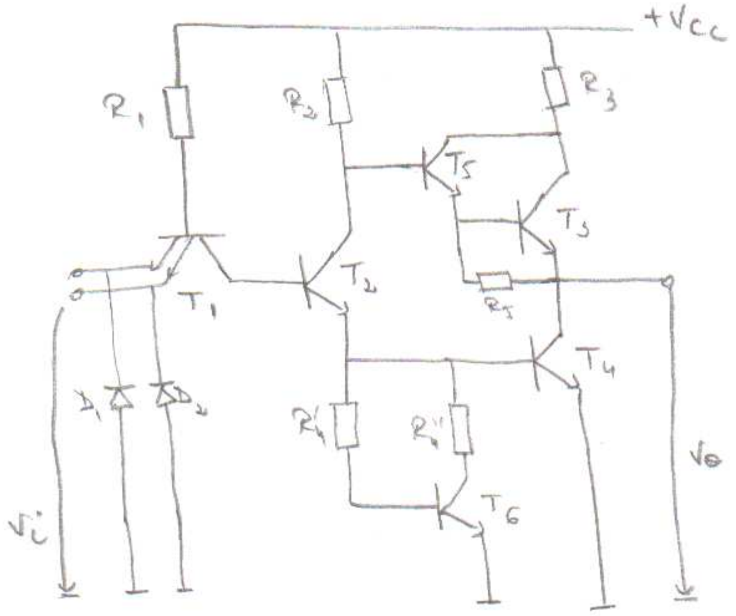
$$\begin{array}{ccc} \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ V_{OH} & 0 & V_{OH} \end{array}$$

$$v_O(t) = V_{OH} + [0 - V_{OH}]\, e^{-t/\tau}$$

$$v_O(t_{fLH}) = 0{,}9\, V_{OH} \quad \Rightarrow \boxed{t_{fLH} = C_S R_{ieș} \ln 10}$$

• Variante constructive

- poarta TTL standard:
  - $t_p = 10ns$
  - $P_d = 10\,mW$.
- poarta TTL de mică putere:
  - aceeași structură ca și poarta standard, dar cu rezistențe de $4 \div 10$ ori mai mari
  - consum redus: $2\,mW$
  - timp de propagare $> 20ns$
  - curenți disponibili la ieșire mai mici
  - curenți de alimentare mai mici
  - compatibilă pin la pin cu poarta standard.
- poarta TTL de viteză mare:
  - timp $t_p = 6ns$
  - $P_d = 22\,mW$.
- poarta TTL Schottky:
  - aceeași structură ca poarta TTL de mare viteză
  - folosește diode Schottky pentru evitarea intrării în saturație
  - $t_p = 3\,ns$
  - $P_d = 22\,mW$



- $0 \le v_i \le V_{i1}$,

$v_o = V_{OH}$

V_{i1} este tensiunea la care se deschide T_2

$V_{i1} = V_{BE_0}(T_2) - V_{CEsat}(T_1) \cong 0,6V$

- $V_{i1} \le v_i \le V_{i2}$, $\Rightarrow$ T_2 se deschide în RAN, iar T_3 funcționează ca repetor pe emitor

Tensiunea v_o scade cu panta $-\frac{R_2}{R_4}$

V_{i2} – tensiunea la care se deschide T_4

$V_{i4} = V_{BE_0}(T_4) + V_{BE}(T_2) - V_{CEsat}(T_1) \cong 1,4V$

- $V_{i2} \le v_i \le V_{i3}$ $\Rightarrow$ T_2 este tot în RAN, T_4 este deschis $\Rightarrow$

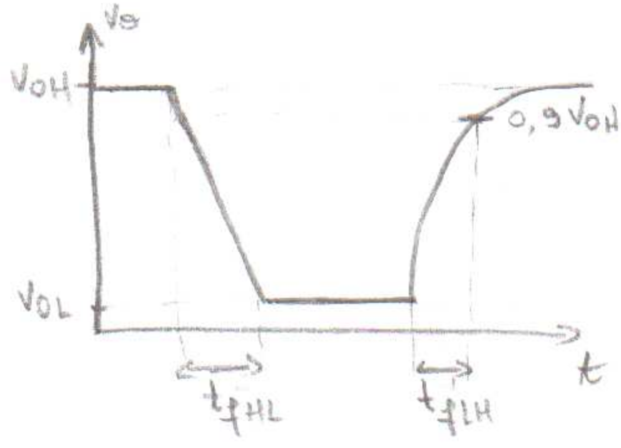
v_o scade cu o pantă mare (T_2 se saturează și T_3 se blochează) până la valoarea tensiunii de saturație a lui T_4

V_{i3} – tensiunea la care se saturează T_2 și T_4

$V_{i3} = V_{BE}(T_4) + V_{BE}(T_2) - V_{CEsat}(T_1) \cong 1,6V$

- $V_{i3} \le v_i \le V_{CC}$ $\Rightarrow$ circuitul este în starea logică „0" la ieșire, cu T_4 saturat

$v_o = V_{OL} = V_{CEsat}(T_4) \cong 0,1V$



- Comutarea directă

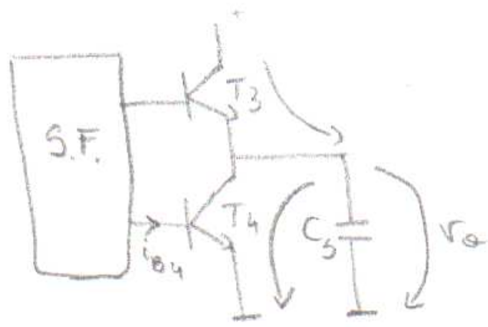
(T_3 se blochează, C_s se descarcă)

$$v_o(t) = \underbrace{v_o(0)}_{V_{OH}} + \frac{1}{C_s}\int_0^t \underbrace{i_C(t)}_{\beta i_{B_4}}\,dt$$

$$v_o(t) = V_{OH} - \frac{\beta i_{B_4}}{C_s} \cdot t =$$

$$= V_{OH} - \frac{\beta(T_4) \cdot i_B(T_4)}{C_s} \cdot t \quad \Bigg| \Rightarrow$$

$$v_o(t_{fHL}) = V_{OL}$$



$$\Rightarrow V_{OH} - V_{OL} = t_{fHL} \cdot \frac{\beta(T_4) \cdot i_B(T_4)}{C_s}$$

$$t_{fHL} = \frac{C_s(V_{OH} - V_{OL})}{\beta(T_4) - i_B(T_4)}$$