

Circuite logice din familia ECL

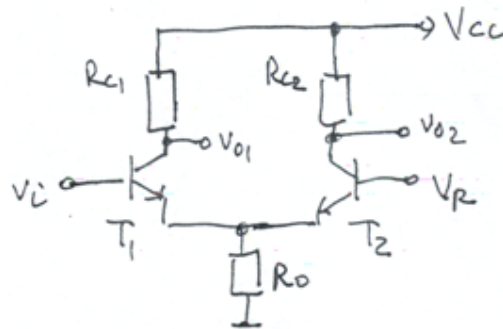
* viteza cea mai mare pt. CL cu TBIP:

- eliminarea t_s altfel decât la STTL – funcționare în RAN dar nivelele logice să nu depindă de parametrii TBIP ---> deschiderea și închiderea unui TBIP prin care circulează un curent de valoare precizată;

- reducerea timpilor de încărcare-descărcare a capacităților prin reducerea lui $\Delta V = V_{oH} - V_{oL}$ (se micșorează marginile de zgomot).

- reducerea constantelor de timp prin micșorarea rezistențelor din circuit și deci și a suprafețelor circuitelor (se mărește puterea disipată).

* structura de bază:



- tensiunea de referință, V_R - constantă (fixă);

- o intrare, v_i și două ieșiri: v_{01} , v_{02}

- dacă $v_i \ll V_R$ (dar suficient cu $0,2 \div 0,3V$):

T_1 blocat, T_2 în conducție:

$$V_{01} = V_{CC}; \quad \text{UNU}$$

$$V_{02} = V_{CC} - R_{c2} I_{R0} \quad \text{ZERO}$$

- dacă v_i crește, v_{01} scade, v_{02} crește, I_{R0} comută;

- dacă $v_i \gg V_R$ (dar suficient cu $0,2 \div 0,3V$):

T_2 blocat, T_1 în conducție:

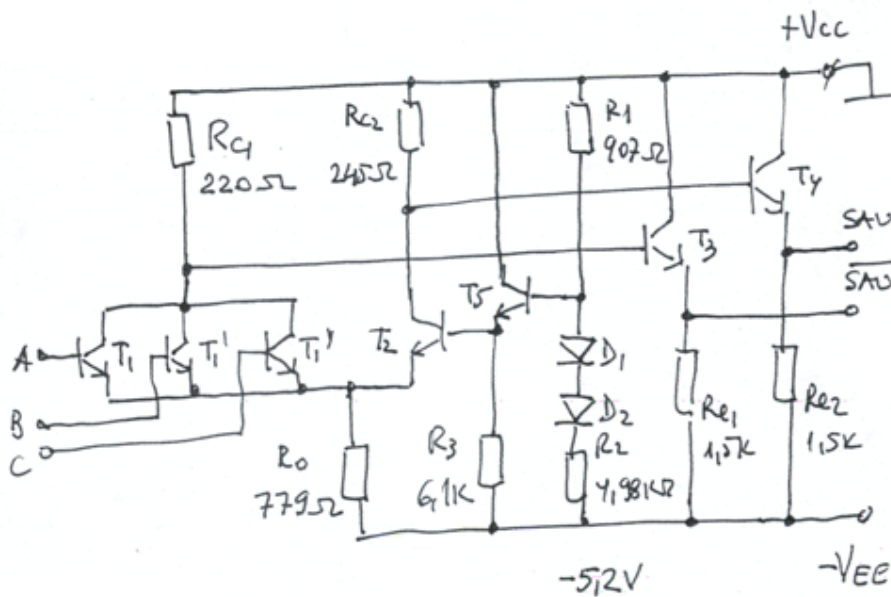
$$V_{02} = V_{CC}; \quad \text{UNU}$$

$$V_{01} = V_{CC} - R_{c2} I_{R0} \quad \text{ZERO}$$

Deci:

- o variație mică a tensiunii de intrare determină comutarea curentului dintr-un tranzistor în altul;
- se obțin tensiuni diferite în cele două situații care pot fi considerate ca nivele logice;
- se evită intrarea în saturație prin alegerea corespunzătoare a rezistențelor din colectoare.

* Poarta ECL standard



* elemente componente:

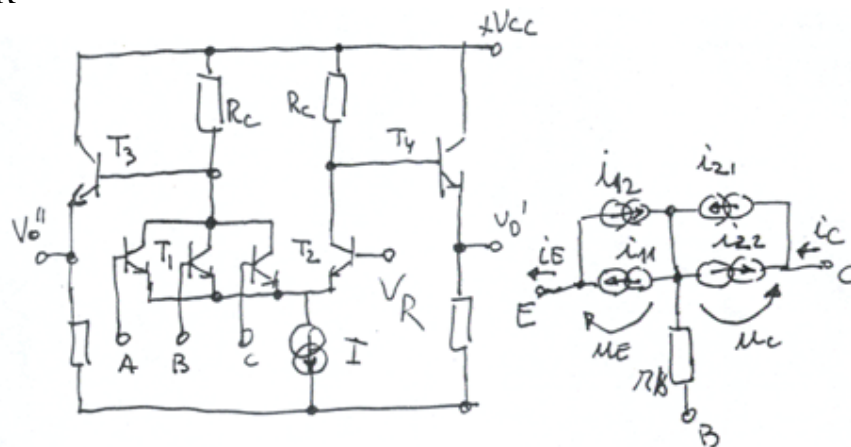
- diferențial;
- sursa de tensiune de referință;
- repetoare pe ieșiri (pentru adaptare de impedanțe și precizare nivele logice);
- logica se realizează prin însumarea curenților tranzistoare de intrare, deci logică de tip SAU;
- două ieșiri complementare – avantaj în proiectare;

- rezistențele de colector sunt diferite pentru a asigura același nivel logic ZERO la ieșire deoarece pe o intrare se aplică V_{oH} iar pe cealaltă $V_R < V_{oH}$ (curenți de colector diferiți);

- se alimentează cu tensiune negativă:
 - propagarea zgomotului de pe liniile de alimentare;
 - scurt circuit accidental pe ieșire;
- funcționarea schemei din punct de vedere electric;
- puterea medie disipată: $35mW$;
- rețeaua pe emitor suportă încărcare capacitivă mare;
- timpi de propagare foarte mici: 3 ns – 0,3 ns.

* Caracteristicile statice și parametrii porții ECL Standard

V_R constantă;



- model pentru TBIP, de tip Ebers-Moll:

- parametrii modelului: α_0 , α_i , I_{e0} , I_{c0} , cu relația:

$$\alpha_0 I_{e0} = \alpha_i I_{c0};$$

- notații: $B_e = e^{\frac{u_E}{v_T}} - 1$; $B_c = e^{\frac{u_C}{v_T}} - 1$; $v_T = \frac{kT}{q}$;

- curenții generatoarelor de curent:

$$i_{11} = \frac{I_{e0}}{1 - \alpha_0 \alpha_i} B_e; \quad i_{12} = \frac{\alpha_i I_{c0}}{1 - \alpha_0 \alpha_i} B_c;$$

$$i_{21} = \frac{\alpha_0 I_{e0}}{1 - \alpha_0 \alpha_i} B_e; \quad i_{22} = \frac{I_{c0}}{1 - \alpha_0 \alpha_i} B_c;$$

- curenții tranzistorului:

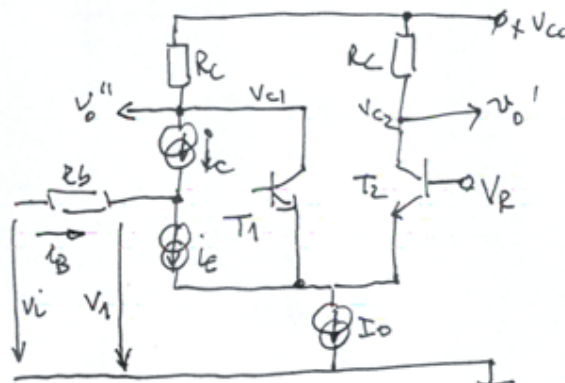
$$i_E = i_{11} - i_{12}; \quad i_C = i_{21} - i_{22}; \quad i_B = i_E - i_C;$$

* Presupunem tranzistoare identice care funcționează numai în RAN și BL: $B_c \cong -1$; dar I_{e0} și I_{c0} sunt mici și:

$$i_E = \frac{I_{e0}}{1 - \alpha_0 \alpha_i} B_e; \quad i_C = \frac{\alpha_0 I_{e0}}{1 - \alpha_0 \alpha_i} B_e \text{ sau:}$$

$$i_E = I_{ES} B_e; \quad i_C = \alpha_0 I_{ES} B_e \text{ cu } I_{ES} = \frac{I_{e0}}{1 - \alpha_0 \alpha_i}.$$

- semnificația curenților;
- model pentru caracteristica de transfer;
- curentul generatorului de curent: I_0 (mA);
- se neglijează căderea de tensiune pe rezistența distribuită a bazei (numai în curent continuu): $v_1 = v_i$;
- se deduc: v_0' (v_i) și v_0'' (v_i);
- intrări comandate: $m_1 \leq m$;



$$- I_0 = m_1 i_{T1} + i_{T2} \text{ (în emitoarele comune);}$$

$$- I_0 = m_1 I_{ES} \left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right) + I_{ES} \left(e^{\frac{u_{E2}}{v_T}} - 1 \right);$$

$$- u_{E1} = v_1 - v_E; \quad u_{E2} = V_R - v_E;$$

$$- I_0 + (m_1 + 1) I_{ES} = m_1 I_{ES} e^{\frac{v_1 - v_E}{v_T}} + I_{ES} e^{\frac{V_R - v_E}{v_T}}$$

- se deduce:

$$- I_{ES} e^{\frac{v_1 - v_E}{v_T}} = \frac{I_0 + (m_1 + 1) I_{ES}}{m_1 + e^{\frac{v_1 - v_E}{v_T}}} \cong \frac{I_0}{m_1 + e^{\frac{V_R - v_1}{v_T}}}$$

(deoarece I_0 mA iar I_{ES} nA);

- tensiunea de ieșire:

$$v_0'' = v_{c1} - V_{BE} = V_{CC} - R_c i_{Rc} - V_{BE};$$

$$i_{Rc} = m_1 i_{C1} = m_1 \alpha_0 I_{ES} B_e = m_1 \alpha_0 I_{ES} \left(e^{\frac{v_1 - v_E}{v_T}} - 1 \right)$$

$$v_0'' = V_{CC} - V_{BE} - m_1 R_c \alpha_0 \frac{I_0}{m_1 + e^{\frac{v_1 - v_E}{v_T}}}$$

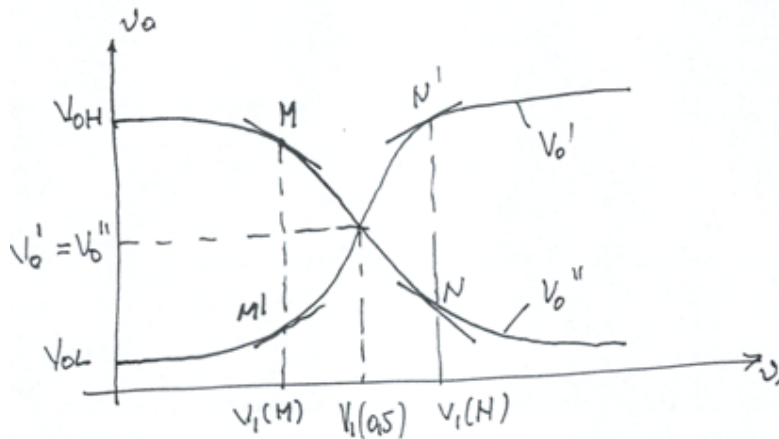
$$v_0'' = V_{CC} - V_{BE} - R_c \alpha_0 I_0 \frac{1}{1 + \frac{1}{m_1} e^{\frac{V_R - v_1}{v_T}}}$$

Se notează: $\Delta V = R_c \alpha_0 I_0$;

$$v_0'' = V_{CC} - V_{BE} - \frac{\Delta V}{1 + \frac{1}{m_1} e^{\frac{V_R - v_1}{v_T}}}; \text{ analog:}$$

$$v_0' = V_{CC} - V_{BE} - \frac{\Delta V}{1 + m_1 e^{\frac{v_1 - V_R}{v_T}}}$$

(caracteristica de transfer de tip inversor și de tip neinversor)



* dacă $v_1 \ll V_R$ (dar suficient cu câteva v_T):

$$v_o'' = V_{oH} = V_{CC} - V_{BE}$$

$$v_o' = V_{oL} = V_{CC} - V_{BE} - \Delta V$$

* dacă $v_1 \gg V_R$ (dar suficient cu câteva v_T):

$$v_o'' = V_{oL} = V_{CC} - V_{BE} - \Delta V$$

$$v_o' = V_{oH} = V_{CC} - V_{BE}$$

* compatibilitate intrare – ieșire:

$$V_{iL} = V_{oL}; \quad V_{iH} = V_{oH};$$

- rezultă:

$$V_{iL} = V_{CC} - V_{BE} - \Delta V$$

$$V_{iH} = V_{CC} - V_{BE}$$

* se notează: $v_1(0,5)$ pentru care: $v_o' = v_o''$:

$$V_{CC} - V_{BE} - \frac{\Delta V}{1 + \frac{1}{m_1} e^{\frac{V_R - v_1(0,5)}{v_T}}} = V_{CC} - V_{BE} - \frac{\Delta V}{1 + m_1 e^{\frac{v_1(0,5) - V_R}{v_T}}}$$

- rezultă: $v_1(0,5) = V_R - v_T \ln m_1 \cong V_R$ (v_T mic, m_1 unitați);

- consecință: $v_o'(0,5) = v_o''(0,5) = V_{CC} - V_{BE} - \frac{\Delta V}{2}$, indiferent de m_1 ;

- dar: $v_1(0,5) = v_o'(0,5) = v_o''(0,5)$ și:

$$V_R - v_T \ln m_1 = V_{CC} - V_{BE} - \frac{\Delta V}{2} \text{ sau:}$$

$$V_R \cong V_{CC} - V_{BE} - \frac{\Delta V}{2}, \text{ de unde:}$$

$$V_{CC} = V_R + V_{BE} + \frac{\Delta V}{2}.$$

- pentru ECL standard: $V_{CC} = 0$ și $V_R = -1,175V$:

$\Delta V = -2(-1,175 + 0,75) = 0,85V$ (diferența dintre nivelele logice);

- rezultă:

$$V_{oL} = V_{oL}' = V_{oL}'' = V_{iL} = V_R - \frac{\Delta V}{2} \Rightarrow V_{CL}' = V_{oL} + V_{BE}$$

$$V_{oH} = V_{oH}' = V_{oH}'' = V_{HL} = V_R + \frac{\Delta V}{2} \Rightarrow V_{CH}' = V_{oH} + V_{BE}$$

Determinarea marginilor de zgomot:

- se determină punctele M și N în care panta caracteristicii inversoare este -1 :

$$MZL = v_1(M) - V_{oL} \text{ și } MZH = V_{oH} - v_1(-1)$$

- condiția:

$$\frac{dv_o''(v_1)}{dt} = -1; \quad \frac{dv_o''(v_1)}{dt} = -\Delta V \frac{\frac{1}{m_1} - 1 e^{\frac{V_R - v_1}{v_T}}}{\left(1 + \frac{1}{m_1} e^{\frac{V_R - v_1}{v_T}}\right)^2} = -1$$

- nu se rezolvă integral; situații limită:

- pentru M: $\frac{V_R - v_1(M)}{v_T} \gg 1$:

$$\frac{\frac{\Delta V}{m_1 v_T} e^{\frac{V_R - v_1(M)}{v_T}}}{\frac{1}{m_1^2} e^{2 \frac{V_R - v_1(M)}{v_T}}} = 1 \Rightarrow e^{\frac{V_R - v_1(M)}{v_T}} = \frac{m_1 \Delta V}{v_T}; \text{ rezultă:}$$

$$v_1(M) = V_R - v_T \ln \frac{m_1 \Delta V}{v_T}.$$

- pentru N: $\frac{V_R - v_1(N)}{v_T} \ll -1$:

$$\frac{\frac{\Delta V}{m_1 v_T} e^{\frac{V_R - v_1(N)}{v_T}}}{\frac{1}{m_1^2} e^{2 \frac{V_R - v_1(N)}{v_T}}} = 1 \Rightarrow e^{\frac{V_R - v_1(N)}{v_T}} = \frac{m_1 v_T}{\Delta V}; \text{ rezultă:}$$

$$v_1(N) = V_R + v_T \ln \frac{\Delta V}{m_1 v_T}.$$

Se calculează marginile de zgomot:

$$\begin{aligned} MZH = V_{oH} - v_1(N) &= V_R + \frac{\Delta V}{2} - \left(V_R + v_T \ln \frac{\Delta V}{m_1 v_T} \right) = \\ &= \frac{\Delta V}{2} - v_T \ln \frac{\Delta V}{m_1 v_T}; \end{aligned}$$

$$MZL = v_1(N) - V_{oL} = V_R - v_T \ln \frac{m_1 \Delta V}{v_T} - \left(V_R - \frac{\Delta V}{2} \right) =$$

$$= \frac{\Delta V}{2} - v_T \ln \frac{m_1 \Delta V}{v_T};$$

- pentru $m_1 = 1 \Rightarrow MZL = MZH = 0,34V$;

- pentru $m_1 = 3 \Rightarrow MZL = 0,31V$; $MZH = 0,39V$.

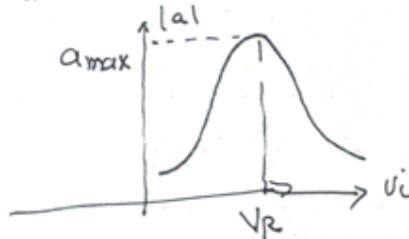
* zona de tranziție:

$$\Delta V_{it} = v_1(N) - v_1(M) = V_R + v_T \ln \frac{\Delta V}{m_1 v_T} - \left(V_R - \frac{\Delta V}{2} \right) =$$

$$= 2v_T \ln \frac{\Delta V}{v_T} = 172,5mV.$$

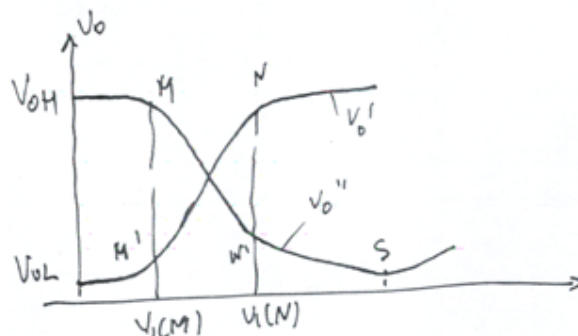
* amplificarea de tensiune:

$$a_{\max} = \left. \frac{dv_o'}{dv_1} \right|_{v_1=V_R} = \frac{\Delta V}{v_T} \frac{m_1}{(1+m_1)^2}$$



Observații:

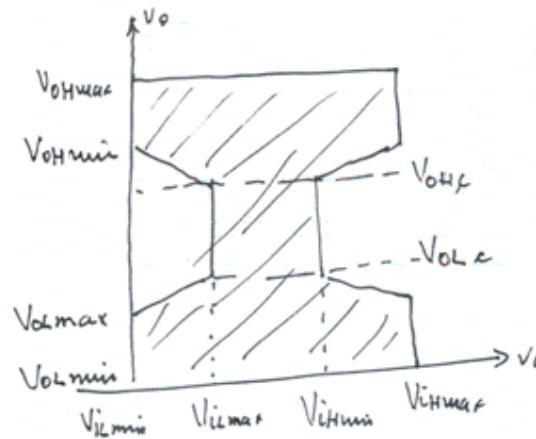
1. modificarea caracteristicii de transfer pentru R_0 de cuplaj (I_0 nu este constant):



(panta $-\frac{R_{c1}}{R_o}$ până la saturație apoi panta este pozitivă);

2. în acest caz, deoarece $V_{iH} > V_R$, trebuie ca: $R_{c2} > R_{c1}$ pentru a avea același nivel logic ZERO;

3. influența condițiilor reale de funcționare:



4. caracteristica de intrare:

- $I_{iL} < I_{iL \max} = 0,5 \text{ mA}$
- $I_{iH} < I_{iH \max} = 470 \mu\text{A}$ cu $Z_{\text{int}} > 100 \text{ k}\Omega$;
- se micșorează efectele lui $\frac{di}{dt}$;
- curenți mai mici pe liniile de semnal

5. caracteristicile de ieșire:

- liniară (din cauza repetorului deschis permanent);
- impedanța de ieșire de circa 15Ω ;
- capacitatea de încălecăre statică poate fi foarte mare;
- se pot comanda sarcini capacitive importante;
- crește importanța rezistenței distribuite a bazelor tranzistoarelor de intrare – pentru regimul tranzitoriu;
- se poate realiza funcția SAU CABLAT – legarea ieșirilor în paralel este posibilă;
- se oferă simultan SAU și SAU negat.

6. caracteristicile de alimentare:

- tensiunea de alimentare: $-5,2 \text{ V}$; (compromis între viteza de lucru, marginile de zgomot și puterea medie disipată);
- rejecția tensiunilor de alimentare este bună;
- curenții de alimentare independenți de nivelele logice;

- $I_{EE} = 6,5mA$;
- puterea medie disipată: $35mV$;

Regimul tranzitoriu al porții logice ECL:

caracteristici:

- timp de comutare foarte mic;
- trebuie luare în caclul efectele cumulate ale tranzistorului intrinsec și ale capacităților parazite;
- model mai evoluat pentru TBIP având în vedere că TBIP funcționează numai în BL și RAN (nu în SAT).

* răspunsul la baza TBIP:

- efectul capacităților de intrare;
- efectul rezistențelor r_x și r_{iesire} ;

* răspunsul la nivelul colectorului:

- efectul tranzistorului intrinsec;
- efectul sarcinii de colector;

* răspunsul la nivelul repetorului pe emitor:

- efectul repetorului pe emitor;
- efectul capacității de sarcină.

Se urmăresc: timpul de propagare și duratele fronturilor.

Presupuneri:

- T_1 nu se saturează;
- cuplajul se face prin generator de curenți, I_0 ;
- răspunsul în nodul emitorului se neglijează fiind foarte rapid deoarece este deschis cel puțin un tranzistor;

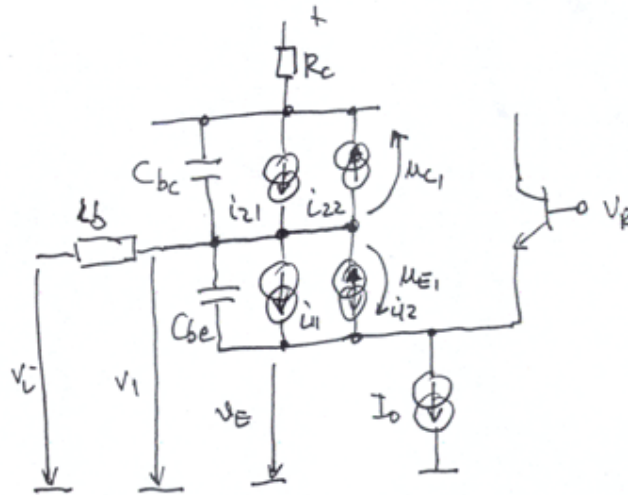
Răspunsul la nivelul bazei TBIP:

* Capacitatea de intrare:

- permite analiza separată a răspunsului în bază și în colector;
- se determină separat capacitatea de barieră și capacitatea de difuzie.

Capacitatea de barieră:

Schema echivalentă:



- elementele de circuit:

- generatoarele de curent independente și dependente;
- rezistența distribuită a bazei;
- capacitățile de barieră ale celor două joncțiuni – variază cu tensiunile aplicate pe joncțiuni;
- transferul de la tensiunea de intrare la tensiunile pe joncțiuni este o funcție neliniară.

$$C_{ib} = \frac{dQ_{ib}}{dv_1}; \quad Q_{ib} = \int C_{be} du_{E1} + \int C_{bc} du_{C1}$$

$$C_{ib} = \frac{dQ_{ib}}{dv_1} = C_{be} \frac{du_{E1}}{dv_1} + C_{bc} \frac{du_{C1}}{dv_1}.$$

$$\frac{d}{dx} \int f(y) dy = \frac{d}{dx} F(y) = F'(y) \frac{dy}{dx} = f(y(x)) \frac{dy}{dx}$$

Dar:

$$C_{be} = \frac{C_{be0}}{\left(1 - \frac{u_{E1}}{V_{oe}}\right)^{r_1}}; \quad C_{bc} = \frac{C_{bc0}}{\left(1 - \frac{u_{C1}}{V_{oc}}\right)^{r_2}},$$

unde:

$$u_{E1} = v_1 - v_E$$

$$u_{C1} = v_1 - v_{C1}$$

Rezultă:

$$C_{ib} = C_{be} \left(1 - \frac{dv_E}{dv_1} \right) + C_{bc} \left(1 - \frac{dv_{C1}}{dv_1} \right) \quad (\text{mai important este}$$

ultimul termen prin efect Miller).

* Tensiunea din emitoarele comune:

$$\begin{aligned} I_0 + (m_1 + 1)I_{ES} &= m_1 I_{ES} e^{\frac{v_1 - v_E}{v_T}} + I_{ES} e^{\frac{V_R - v_E}{v_T}} = \\ &= I_{ES} e^{\frac{V_R - v_E}{v_T}} \left(1 + m_1 e^{\frac{v_1 - V_R}{v_T}} \right) \end{aligned}$$

Se neglijează $(m_1 + 1)I_{ES}$ în comparație cu I_0 și se logaritmează:

$$\ln \frac{I_0}{I_{ES}} = \frac{V_R - v_E}{v_T} + \ln \left(1 + m_1 e^{\frac{v_1 - V_R}{v_T}} \right); \quad v_T \ln \frac{I_0}{I_{ES}} = V_0;$$

Rezultă:

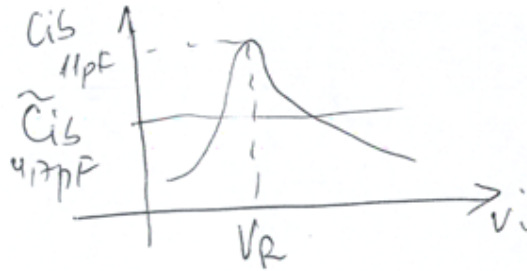
$$v_E = V_R - V_0 + v_T \ln \left(1 + m_1 e^{\frac{v_1 - V_R}{v_T}} \right);$$

$$v_{C1} = v_o'' + V_{BE} = V_{CC} - V_{BE} - \frac{\Delta V}{1 + \frac{1}{m_1} e^{\frac{V_R - v_1}{v_T}}} + V_{BE};$$

Rezultă:

$$C_{ib} = C_{be} \left(1 - \frac{v_T m_1 \frac{1}{v_T} e^{\frac{v_1 - V_R}{v_T}}}{1 + m_1 e^{\frac{v_1 - V_R}{v_T}}} \right) + C_{bc} \left(1 + \frac{m_1 \Delta V \frac{1}{v_T} e^{\frac{V_R - v_1}{v_T}}}{\left(m_1 + e^{\frac{V_R - v_1}{v_T}} \right)^2} \right)$$

* grafic:



Rezultă: $\tilde{C}_{ib} \cong 4,7 pF$

Altfel:

$$\tilde{C}_{ib} = \frac{\Delta Q_{ib}}{V_{1H} - V_{1L}} = \frac{1}{V_{1H} - V_{1L}} \left(\int_{V_{1L}-V_{EL}}^{V_{1H}-V_{EH}} C_{be} du_{E1} + \int_{V_{1L}-V_{C1L}}^{V_{1H}-V_{C1H}} C_{bc} du_{C1} \right)$$

Prin calcule, se obțin:

$$\tilde{C}_{ib} = 0,95C_{be0} + 1,62C_{bc0}; \quad \text{pentru } r_1 = r_2 = \frac{1}{3};$$

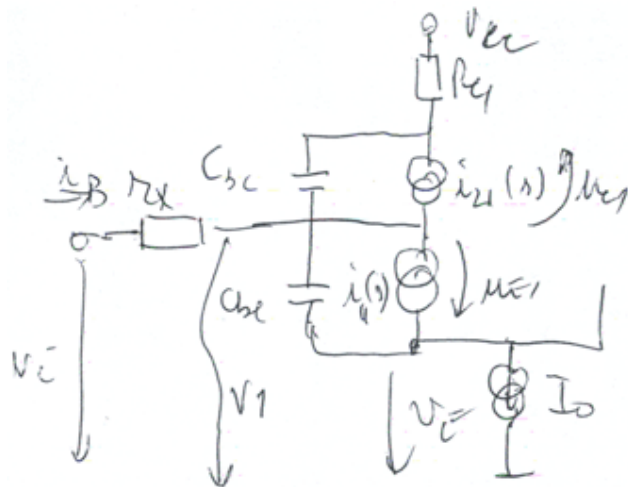
$$\tilde{C}_{ib} = 0,5C_{be0} + 2C_{bc0}; \quad \text{pentru } r_1 = r = 0.$$

Capacitatea de difuzie

- Tensiunea de intrare trece de la $V_{iL} = V_R - \frac{\Delta V}{2}$ la

$$V_{iH} = V_R + \frac{\Delta V}{2}, \text{ adică: } v_i(t) = V_R - \frac{\Delta V}{2} + \Delta V \cdot 1(t).$$

- circuitul echivalent:



- diferența dintre v_i și v_1 ;

- Generatoarele de curent se aproximează prin relațiile:

$$i_{11}(s) = I_{ES} (1 + s\tau_i) \left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right)$$

$$i_{21}(s) = \frac{\alpha_0 I_{ES}}{1 + s\tau} \left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right)$$

Rezultă:

$$i_B(s) = i_{11}(s) - i_{21}(s) = I_{ES} \left(1 + s\tau_i - \frac{\alpha_0}{1 + s\tau_0} \right) \left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right);$$

$$i_B(s) = I_{ES} (1 - \alpha_0) \frac{1 + s \frac{\tau_i + \tau_0}{1 - \alpha_0} + s^2 \frac{\tau_i \tau_0}{1 - \alpha_0}}{1 + s\tau_0} \left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right)$$

- poarta este foarte rapidă, se ia în considerație constanta de timp cea mai importantă:

$$i_B(s) \cong I_{ES} (1 - \alpha_0) \left(1 + s \frac{\tau_i + \tau_0}{1 - \alpha_0} \right) \left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right)$$

Se trece în timp:

$$i_B(t) = I_{ES} (1 - \alpha_0) \left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right) + I_{ES} (\tau_i + \tau_0) \frac{d}{dt} \left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right)$$

- mic -

- mare -

$$\text{Dar: } i_B(t) = \frac{dQ_{id}}{dt} = I_{ES} (\tau_i + \tau_0) \frac{d}{dt} \left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right) \text{ și:}$$

$$Q_{id} = I_{ES} (\tau_i + \tau_0) \left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right);$$

Capacitatea de difuzie va fi:

$$C_{id} = \frac{\Delta Q_{id}}{\Delta v_1} = \frac{I_{ES} (\tau_i + \tau_0) \left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right)_{V_{1H} - V_{EH}}^{V_{1L} - V_{EL}}}{V_{1H} - V_{1L}};$$

Dar:

$$V_{1H} = V_{iH} = V_R + \frac{\Delta V}{2}; \quad V_{1L} = V_{iL} = V_R - \frac{\Delta V}{2};$$

$$V_{EH} = V_R - V_0 + v_T \ln \left(1 + m_1 e^{\frac{V_{1H} - V_R}{v_T}} \right) \cong \\ \cong V_R - V_0 + v_T \ln m_1 + V_{1H} - V_R = V_{1H} - V_0 + v_T \ln m_1$$

(se neglijează 1);

$$V_{EL} = V_R - V_0 + v_T \ln \left(1 + m_1 e^{\frac{V_{1L} - V_R}{v_T}} \right) \cong V_R - V_0$$

(se neglijează al doilea termen);

Se calculează:

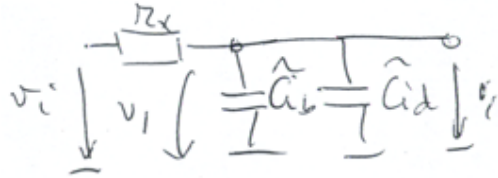
$$\left(e^{\frac{u_{E1}}{v_T}} - 1 \right)_{V_{1L} - V_{EL}}^{V_{1H} - V_{EH}} = e^{\frac{V_{1H} - V_{1H} + V_0 - v_T \ln m_1}{v_T}} - e^{\frac{V_{1L} - V_R + V_0}{v_T}} = \\ = e^{\frac{V_0}{v_T}} \frac{1}{m_1} - e^{\frac{V_0}{v_T}} e^{-\frac{\Delta V}{2v_T}} \cong e^{\frac{V_0}{v_T}} \frac{1}{m_1}$$

Rezultă:

$$\tilde{C}_{id} = \frac{I_{ES}(\tau_i + \tau_0)e^{\frac{V_0}{VT}} \frac{1}{m_1}}{\Delta V} = \frac{I_0(\tau_i + \tau_0)}{m_1 \alpha_0 R_c I_0} = \frac{1}{m_1 \alpha_0 R_c \omega_T}$$

(ω_T este pulsația de tranziție).

Circuitul echivalent:



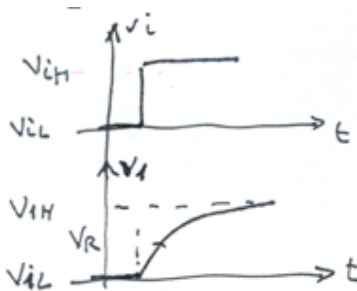
- capacitatea de intrare (medie):

$$\tilde{C}_i = \tilde{C}_{ib} + \tilde{C}_{id}$$

- răspunsul circuitului:

$$r_x \tilde{C}_i \frac{dv_1}{dt} + v_1 = V_R - \frac{\Delta V}{2} + \Delta V 1(t) \Rightarrow$$

$$v_1(t) = V_R + \frac{\Delta V}{2} - \Delta V e^{-\frac{t}{\tau_b}} \quad \text{cu } \tau_b = r_x \tilde{C}_i$$



rezultă:

$$t_f^+(baza) = \tau_b \ln 2 \cong 0,7 \tau_b \quad \text{și} \quad t_{pLH}(baza) = \tau_b \ln 2 \cong 0,7 \tau_b$$

Exemplu numeric:

$$C_{bc0} = 2 \text{ pF}; \quad C_{beo} = 1,5 \text{ pF}; \quad \tau_i = 0,25 \text{ ns};$$

$$\tau_0 = 0,25 \text{ ns}; \quad \alpha_0 = 0,99; \quad R_c = 200 \Omega; \quad r_x = 50 \Omega.$$

$$\tilde{C}_{ib} = 4,3 \text{ pF}; \quad \tilde{C}_{id} = 2,5 \text{ pF};$$

$$\tau_b = 0,34 \text{ ns}; \quad t_f^+(baza) = 0,75 \text{ ns}; \quad t_{pLH}(baza) = 0,25 \text{ ns}.$$

Răspunsul la nivelul colectorului (câteva elemente):

- capacitatea echivalentă la colector:
 - C_{bc} - capacitatea colector bază a celor m_1 tranzistoare deschise;
 - C'_{bc} - capacitatea colector bază a celor $m - m_1$ tranzistoare blocate;
 - C_{rep} - capacitatea de intrare a repetorului pe emitor;
 - capacitățile parazite.

Ecuția diferențială din colectorul TBIP:

$$m_1 \tilde{C}_{bc} \frac{d(v_{C1} - v_1)}{dt} + [(m - m_1)C'_{bc} + C_{rep} + C_p] \frac{dv_{C1}}{dt} + \frac{v_{C1} - V_{CC}}{R_c} + m_1 i_C(t) = 0$$

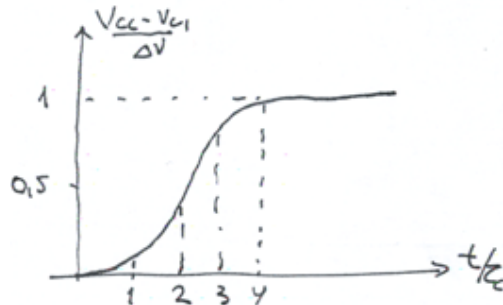
- $i_C(t)$ este variabil în timp, cu constantele τ_i și τ_0 ;

- constanta de timp echivalentă:

$$\tau_c = R_c [m_1 C_{bc} + (m - m_1) C'_{bc} + C_{rep} + C_p]$$

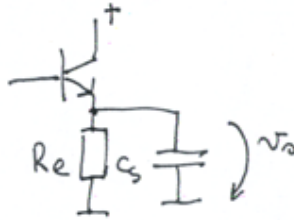
(de circa 10 ori mai mare decât τ_i și τ_0).

Forma de undă:



Comutarea la nivelul repetorului pe emitor

Schema:



Ecuatia diferențială:

$$C_s \frac{dv_0''}{dt} + \frac{v_0''}{R_e} = I_{ES} e^{\frac{v_{C1} - v_0''}{V_T}}$$

aprecieri calitative

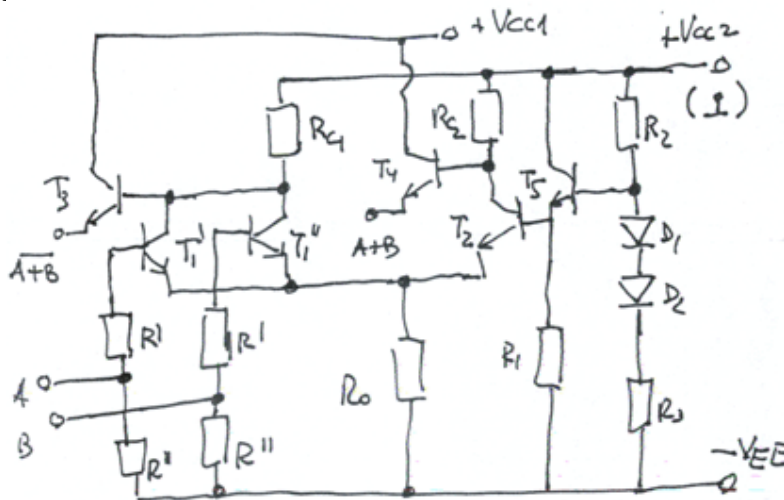
Variante ale circuitelor logice din familia ECL

- pentru adaptare la probleme de proiectare

a) poarta standard:

- repetoare pe emitor;
- surse de curent sau rezistențe;
- valori diferite ale rezistențelor;

b) ECL open-emitor:



- 2 ieșiri complementare;
- rezistențele din emitoare sunt la intrările circuitelor;
- V_{CC2} poate fi 0;

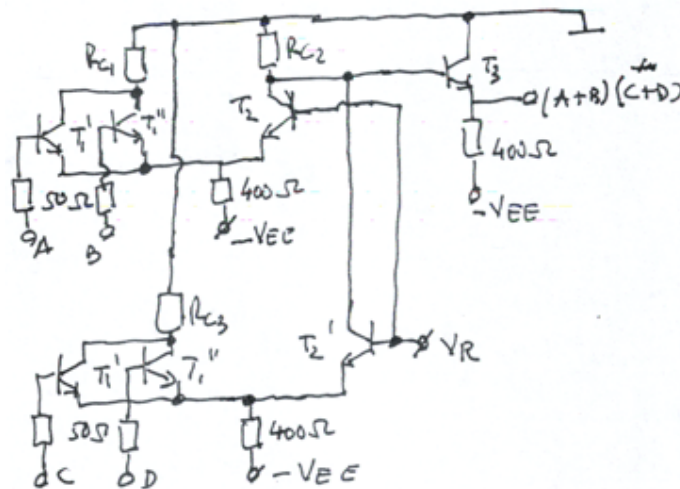
- V_{CC1} poate fi la o valoare pozitivă, pentru flexibilitate;

Avantaje:

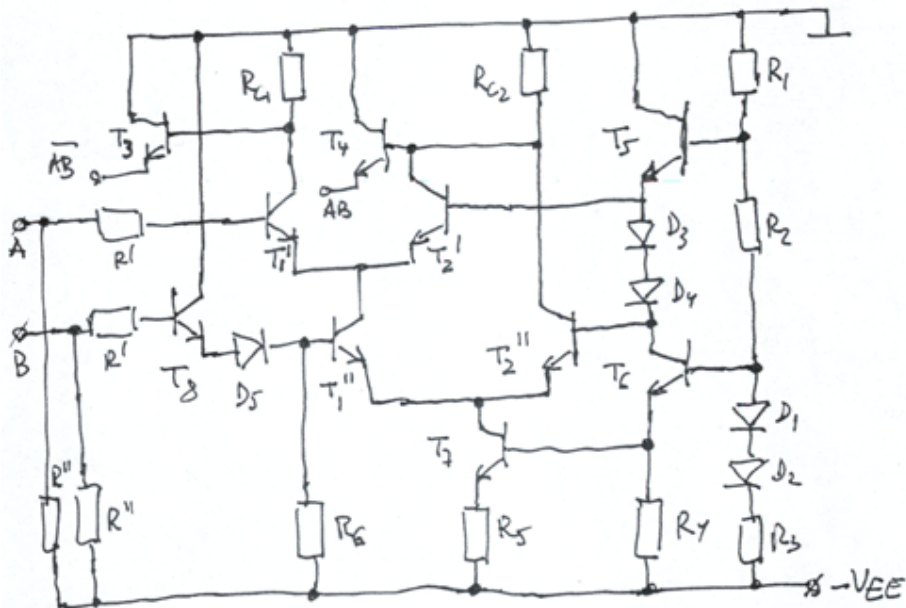
- intrările pot fi lăsate în gol;
- posibilități de SAU CABLAT;
- alegere ușoară pentru interfațare;
- reducerea puterii disipate pentru intrări neutilizate.

c) Circuite logice ȘI:

- cu un nivel:



- cu două nivele (același curent este utilizat în mai multe decizii);



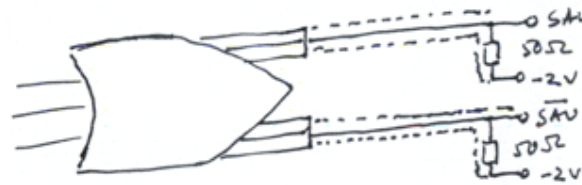
T1 și T2 - nivelul inferior - V_R coborât cu $2V_D$ (și semnalul de la B este coborât tot cu două diode).

d) Circuite cu ieșiri multiple - pentru emisie:



- pentru circuite de ceas;

e) circuite pentru comanda cablurilor coaxiale:



f) circuite pentru comanda de cabluri torsadate:

