

FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE

STRUCTURA CIRCUITELOR DIGITALE

Tema de casă numărul 3
SCD

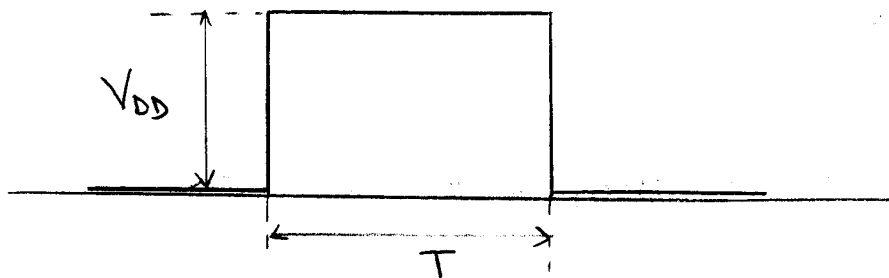
Pop Florin

Grupa: 322 CA

Enunț:

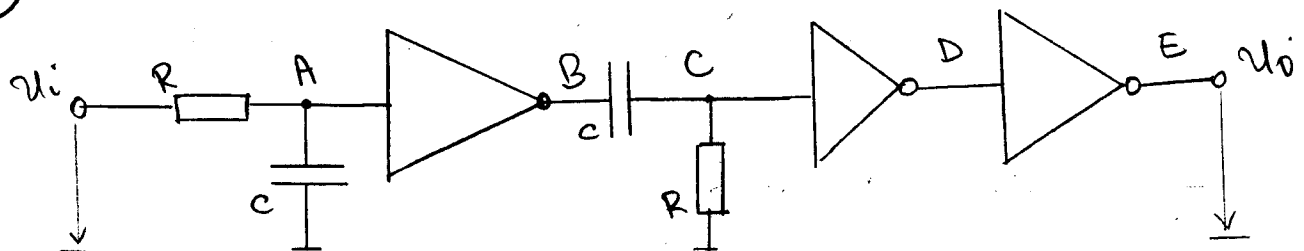
Pentru următoarele scheme se consideră:

- inversoare CMOS ideale
- la intrare se aplică un impuls cu T_{mare} (fronturi ideale) de forma:



Se cer: formele de undă în punctele menționate, la ieșire (calculul parametrilor forme de undă).

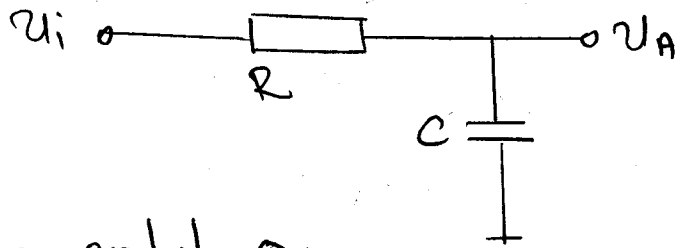
(P1)



Pentru a studia caracteristica în fiecare punct vom nota prin $u_A, u_B, u_C, u_D, u_E = u_o$ tensiunile din punctele respective.

Voi calcula parametri și voi analiza situațiile în fiecare punct și apoi, separat voi trasa una sub alta cele șase caracteristici ($u_i, u_A, u_B, u_C, u_D, u_o$).

~ In punctul A:



• la momentul 0:

$$u_A(0) = 0$$

$$u_A(\infty) = V_{DD}$$

- constanta de timp este $\tau_A = RC$.

$$\Rightarrow u_A(t) = V_{DD}(1 - e^{-t/\tau_A})$$

$$u_A(\Delta t_0) = V_{PrL} = \frac{V_{DD}}{2}$$

de aici vom avea: $V_{DD}(1 - e^{-\Delta t_0/\tau_A}) = \frac{V_{DD}}{2}$

$$\frac{1}{2} = e^{-\Delta t_0/\tau_A} \Rightarrow \Delta t_0 = \tau_A \ln 2$$

$$\Rightarrow \Delta t_0 = RC \ln 2$$

• la momentul T:

$$u_A(0) = V_{DD}$$

$$u_A(\infty) = 0$$

$$\Rightarrow u_A(t) = V_{DD} \cdot e^{-t/\tau_A}$$

$$u_A(\Delta t_1) = V_{PrL} = \frac{V_{DD}}{2} \quad \text{deci:} \quad \frac{V_{DD}}{2} = V_{DD} e^{-\Delta t_1/\tau_A}$$

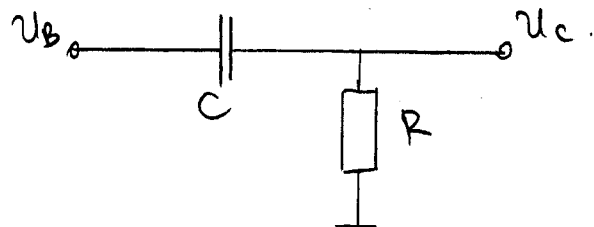
$$\Rightarrow \Delta t_1 = RC \ln 2$$

~ In punctul B:

După momentul în care $U_A > V_{PrL}$ vom avea comutarea stării. (Tensiunea de intrare a inversorului trece de valoarea de prag logic)

De asemenea când U_A coboară sub V_{PrL} de la o valoare superioară vom avea o comutare a stării. Acest lucru este prezentat în caracteristica U_B .

~ In punctul c:



Capacitatea de la ieșirea primului inversor va transmite instantaneu variația de tensiune.

Înainte de comutare stării avea $V_C = 0$

- în momentul comutării:

$$U_C(0) = -V_{DD}$$

$$U_C(\infty) = 0$$

-constantă de timp este $\tau_C = RC$

$$\Rightarrow \boxed{U_C(t) = -V_{DD} e^{-t/\tau_C}}$$

- în momentul imediat următor saltului pozitiv vom avea:

$$U_C(t) = V_{DD}$$

$$U_C(\infty) = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{u_c(t) = V_{DD} e^{-t/\tau_c}}$$

Pentru calculul timpului Δt_2 vom avea:

$$u_c(\Delta t_2) = V_{PRL} = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta t_2 = RC \ln 2}$$

~ In punctul D:

Situația este analoagă celei din punctul B cu deosebirea că procesul de comutare a stării se face la alt moment.

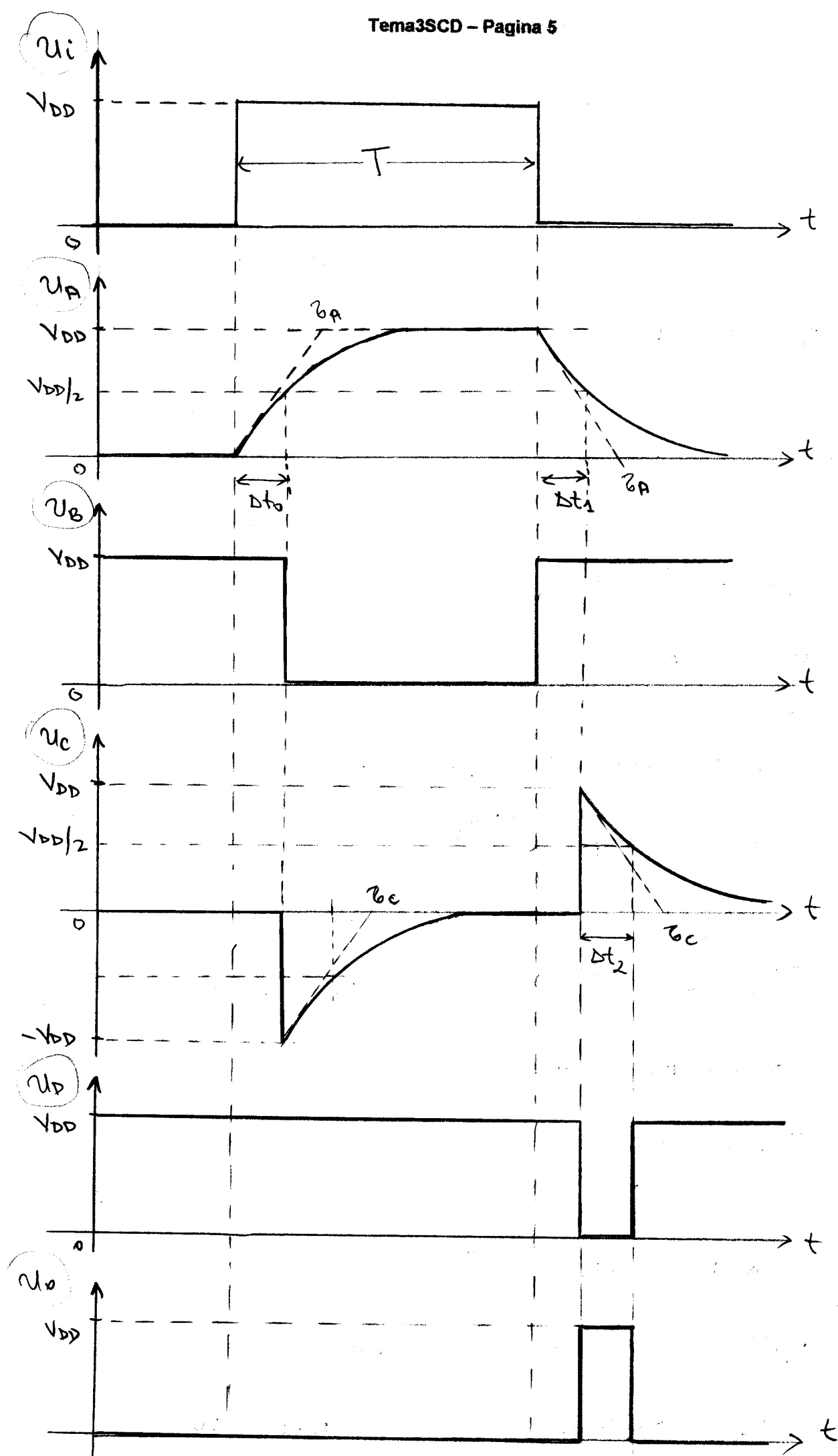
~ In punctul E:

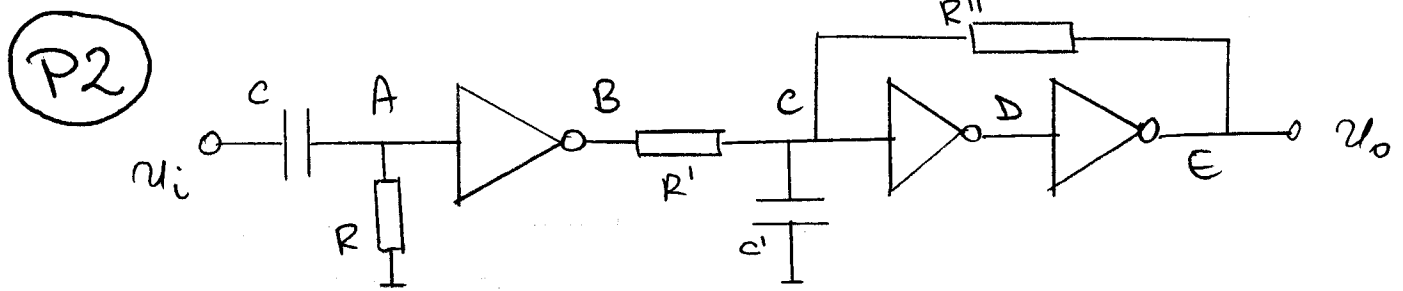
In punctul E avem chiar ieșirea u_o și de fapt aceeași situație ca anterior numai că avem o inversare datorată celui de-al treilea inversor.

Se constată faptul că cei trei timpi sunt egali

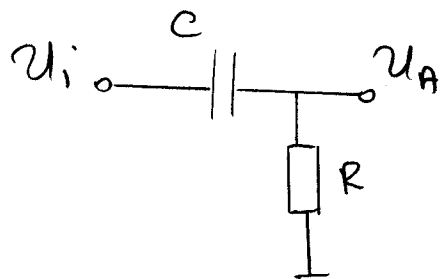
$$\Delta t_0 = \Delta t_1 = \Delta t_2 = RC \ln 2$$

Formele de undă pentru cele găsite puncte sunt reprezentate în continuare:





~ In punctul A:



- la momentul t_0 :

$$u_A(0) = V_{DD}$$

$$u_A(\infty) = 0$$

$$\text{constanta de timp } \tau_A = RC$$

$$\Rightarrow u_A(t) = V_{DD} e^{-t/\tau_A}$$

Pentru calculul lui Δt_0 vom avea:

$$u_A(\Delta t_0) = \frac{V_{DD}}{2} \Rightarrow \Delta t_0 = RC \ln 2$$

- la momentul $T + t_0$:

$$u_A(0) = -V_{DD}$$

$$u_A(\infty) = 0$$

$$\Rightarrow u_A(t) = -V_{DD} e^{-t/\tau_A}$$

Iar pentru Δt_1 vom avea analog:

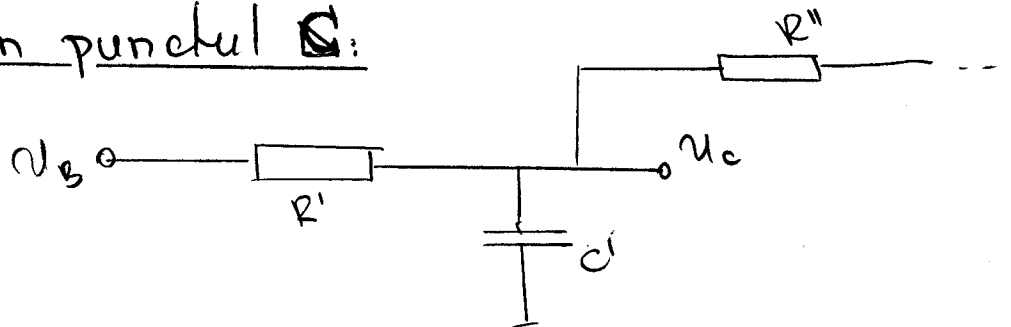
$$\Delta t_1 = RC \ln 2$$

$$\Delta t_1 = \Delta t_0.$$

~ In punctul B:

La momentul t_0 apare comutarea stării datorită neinversorului. Durata stării de "0" logic este dată de t_{sto} timp după care se va trece din nou în starea "1" logic ($u_B = V_{DD}$).

~ In punctul C:



R'' este legată între punctul c și ieșirea din circuit. (adică nu este legată la un punct de potențial fix)

Deci u_C poate lua două valori distincte în funcție de ieșirea ultimului inversor.

Presupunem că:

a) $u_0 = 0$

$$\left. \begin{aligned} u_C &= \frac{R''}{R' + R''} u_B + \frac{R'}{R' + R''} u_0 \\ u_B &= V_{DD}, u_0 = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow u_C = \frac{R''}{R' + R''} u_B$$

$$\Rightarrow u_C = \frac{2}{3} V_{DD} \quad (\text{dacă } R' = R'' = R)$$

$$\text{deci } u_C > V_{P_{TL}} \Rightarrow u_B = 0 \Rightarrow u_0 = V_{DD}$$

ceea ce intră în contradicție cu presupunerea că $u_0 = 0$.

b) $u_0 = V_{DD}$

$$u_C = \frac{2}{3} V_{DD} + \frac{1}{3} V_{DD} = V_{DD}$$

$$u_c(0) = V_{DD}$$

$$u_c(\infty) = 0 \cdot \frac{R''}{R''+R'} + \frac{R'}{R'+R''} V_{DD} = \frac{1}{3} V_{DD}$$

$$\tau_c = (R' \parallel R'') \cdot C' = \frac{R \cdot R}{R+R} C' = \frac{RC'}{2} = \frac{1}{2} \tau_A \cdot \frac{C'}{C}$$

$$\Rightarrow u_c(t) = \frac{1}{3} V_{DD} (1 + 2 e^{-t/\tau_c})$$

$$u_c(\Delta t_2) = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$\frac{V_{DD}}{3} (1 + 2 e^{-\Delta t_1/\tau_c}) = \frac{V_{DD}}{2}$$

$$1 + 2 e^{-\Delta t_1/\tau_c} = \frac{3}{2} \Rightarrow e^{-\Delta t_1/\tau_c} = \frac{1}{4}$$

$$\Delta t_2 = \tau_c \ln 4 = 2 \tau_c \ln 2$$

$$\Rightarrow \Delta t_2 = RC' \ln 2$$

~ In punctul D:

Cum $\Delta t_2 > \Delta t_1$ ($C' > C$) u_c nu are timp să atingă valoarea de prag logic, deci în punctul D vom avea tot timpul:

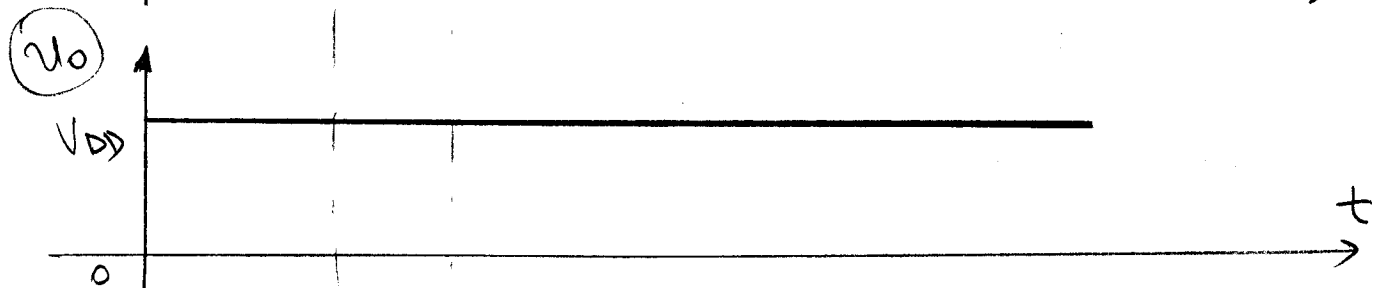
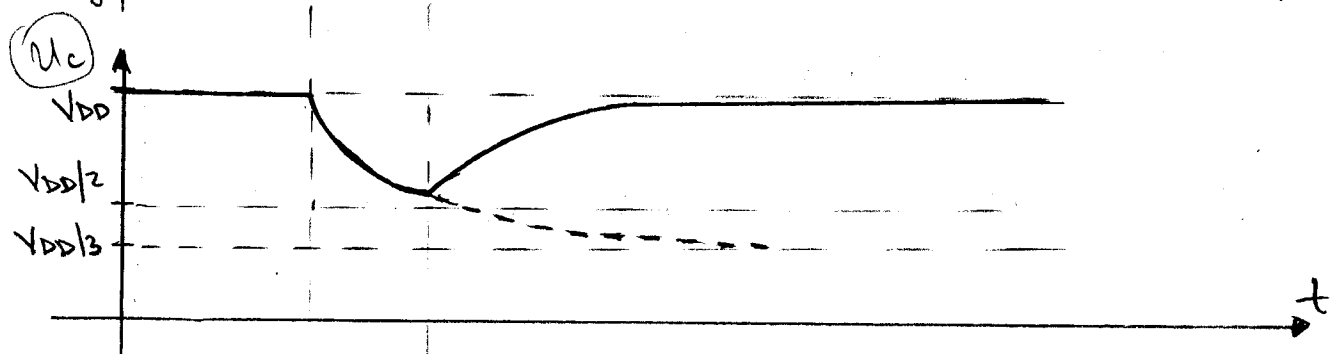
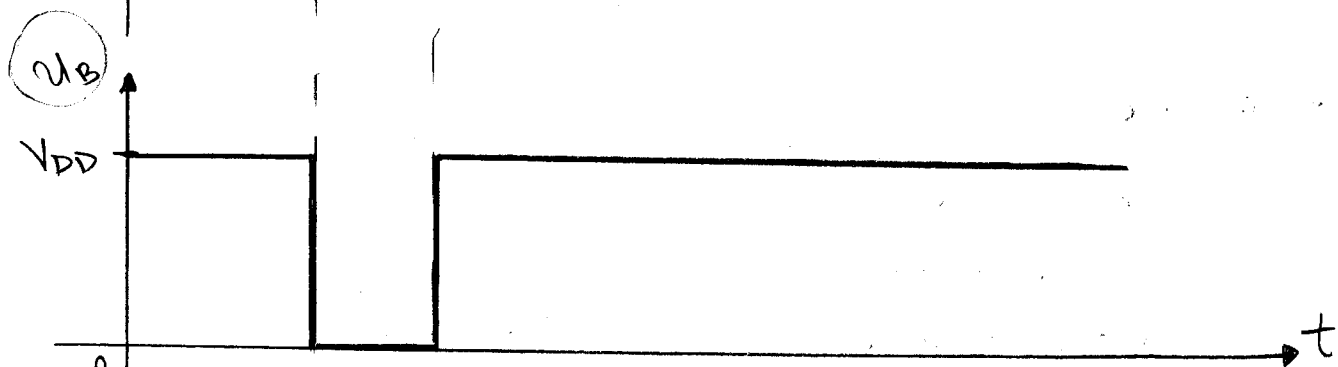
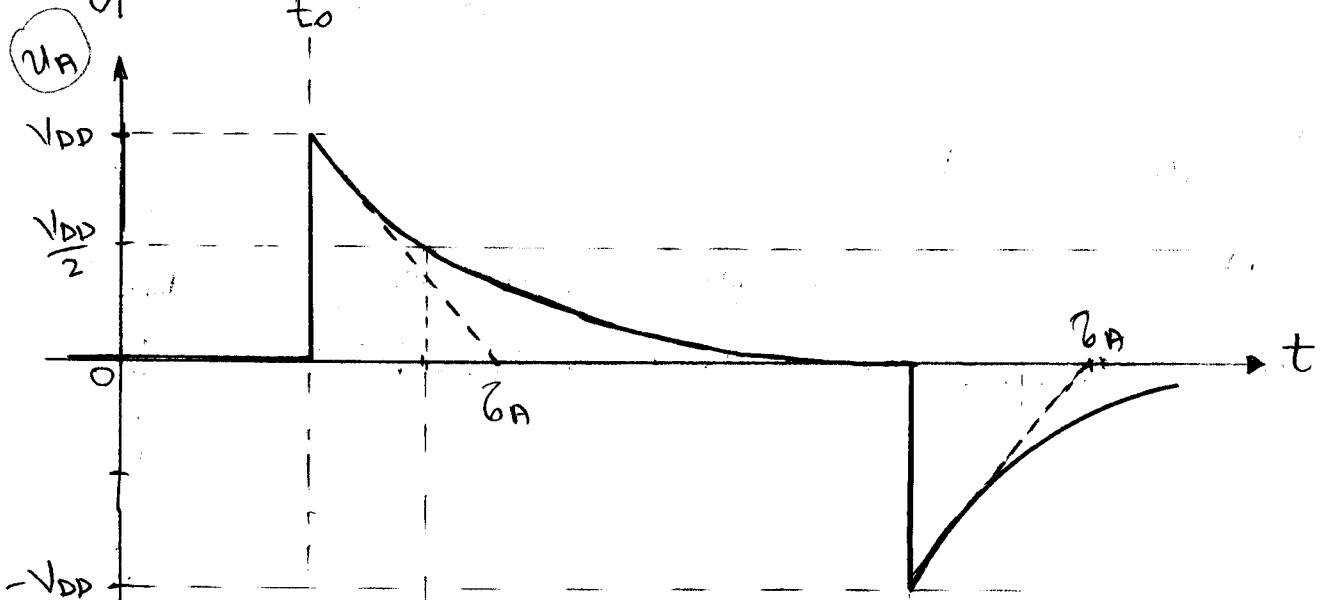
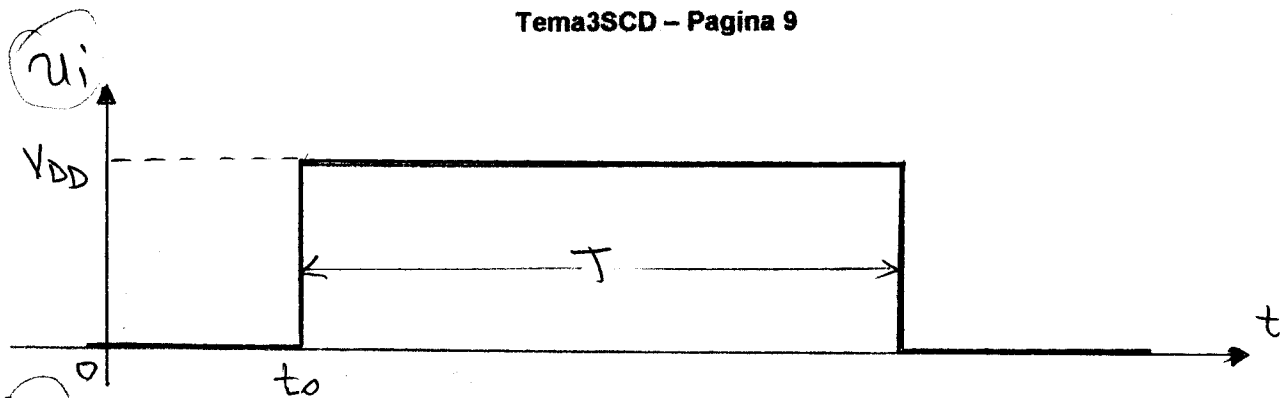
$$u_D = 0$$

~ In punctul E: sau la ieșire

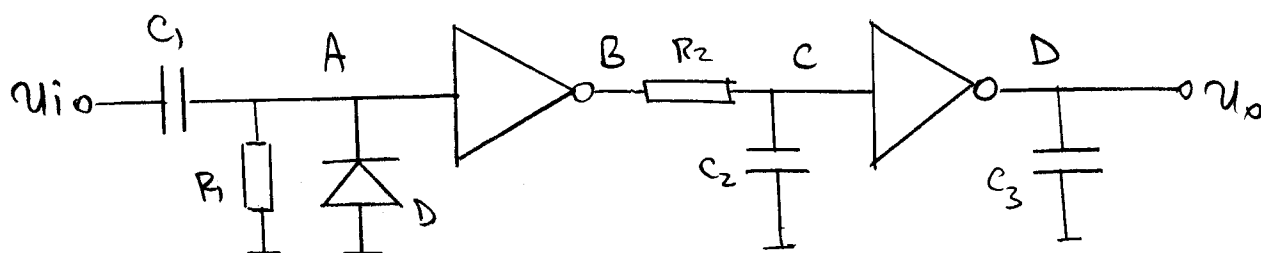
Vom avea tot timpul

$$u_E = u_0 = V_{DD}$$

Diagramele sunt prezentate în continuare:

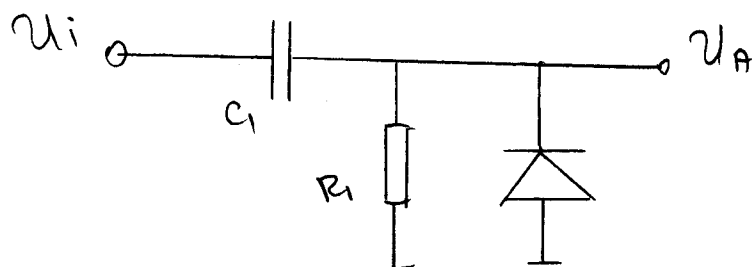


P3



~ In punctul A:

Apre o limitare pe frontul negativ datorată tensiunii U_D de deschidere a diodei:



• la momentul t_0 :

$$u_A(0) = V_{DD}$$

$$u_A(\infty) = 0$$

constantă de timp: $\tau_A = R_1 C_1$.

$$\Rightarrow u_A(t) = V_{DD} e^{-t/\tau_A}$$

$$u_A(\Delta t_0) = \frac{V_{DD}}{2} \Rightarrow \Delta t_0 = R_1 C_1 \ln 2$$

• la momentul $t_0 + T$:

$$u_A(0) = -U_D$$

$$u_A(\infty) = 0$$

$$\Rightarrow u_A(t) = -U_D e^{-t/\tau_A}$$

~ In punctul B :

Are loc comutarea stării pe intervalul dat de Δt_0 .

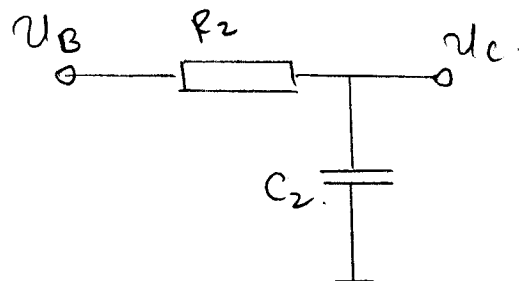
~ In punctul C:

$$u_C(0) = V_{DD}$$

$$u_C(\infty) = 0$$

$$\tau_C = R_2 C_2$$

$$\Rightarrow u_C(t) = V_{DD} e^{-t/\tau_C}$$



$$u_C(\Delta t_1) = \frac{V_{DD}}{2} \Rightarrow \Delta t_1 = R_2 C_2 \ln 2$$

o dacă $R_2 C_2 > R_1 C_1$ $u_C > V_{PrL} = \frac{V_{DD}}{2}$ vom avea $u_0 = 0$

o dacă $R_2 C_2 = R_1 C_1$ ($\tau_A = \tau_C$) vom avea:

$$u_C(\Delta t_0) = V_{DD} e^{-\Delta t_0/\tau_C} = V$$

la momentul t_2

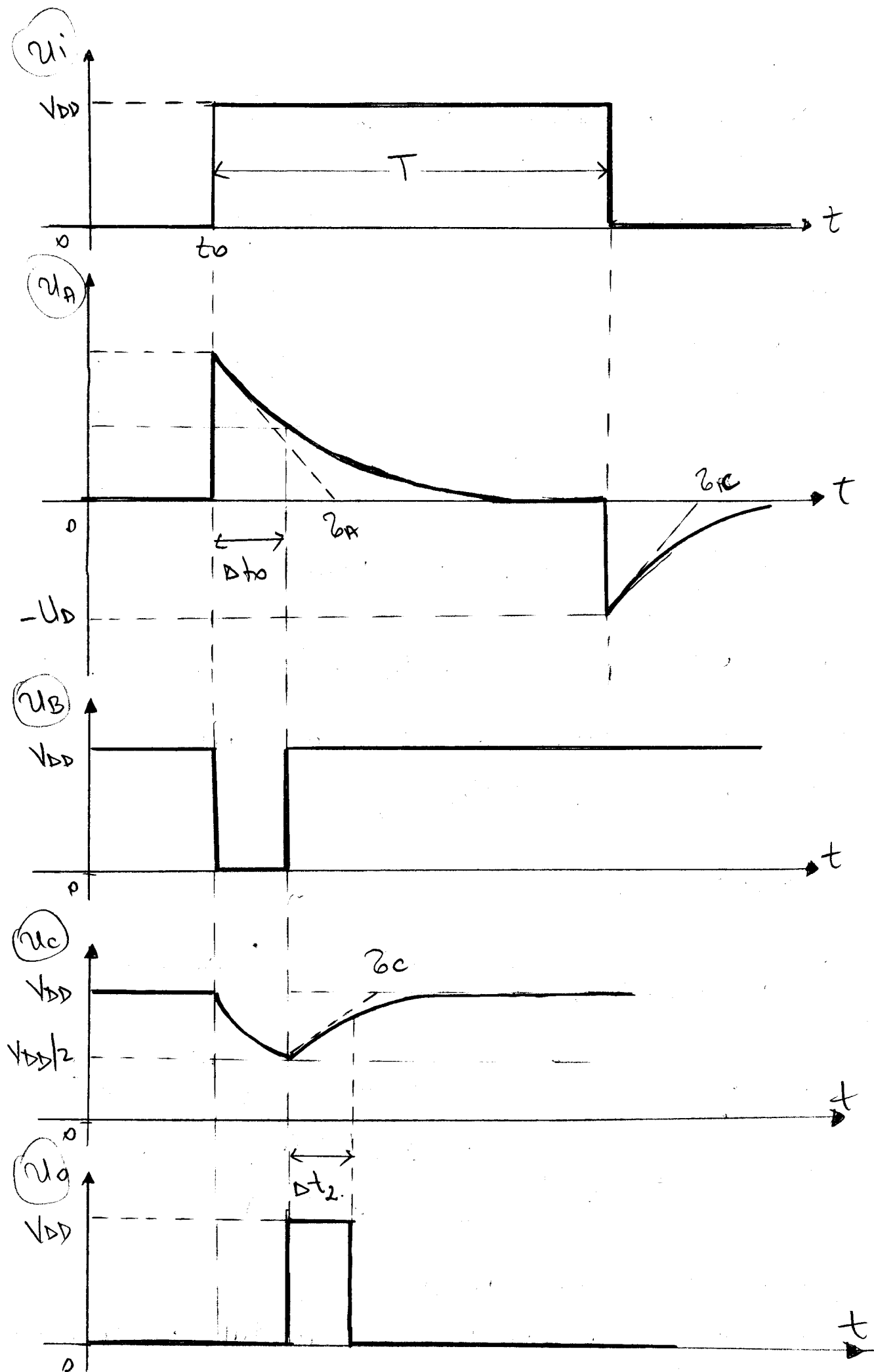
$$\left. \begin{array}{l} u_C(0) = V \\ u_C(\infty) = V_{DD} \end{array} \right\} \Rightarrow u_C(t) = V + (V_{DD} - V) e^{-t/\tau_C}$$

$$u_C(\Delta t_2) = \frac{V_{DD}}{2} \Rightarrow e^{-\Delta t_0/\tau_C} + (1 - e^{-\Delta t_0/\tau_C}) e^{-\Delta t_2/\tau_C} = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \Delta t_2 = \tau_C \ln \frac{1 - 2e^{-\Delta t_0/\tau_C}}{2(1 - e^{-\Delta t_0/\tau_C})}$$

~ In punctul D : sau la ieșire

Situația este identică cu punctul B deoarece avem timpul Δt_2 .



Enunț:

Pentru următoarele scheme se consideră:

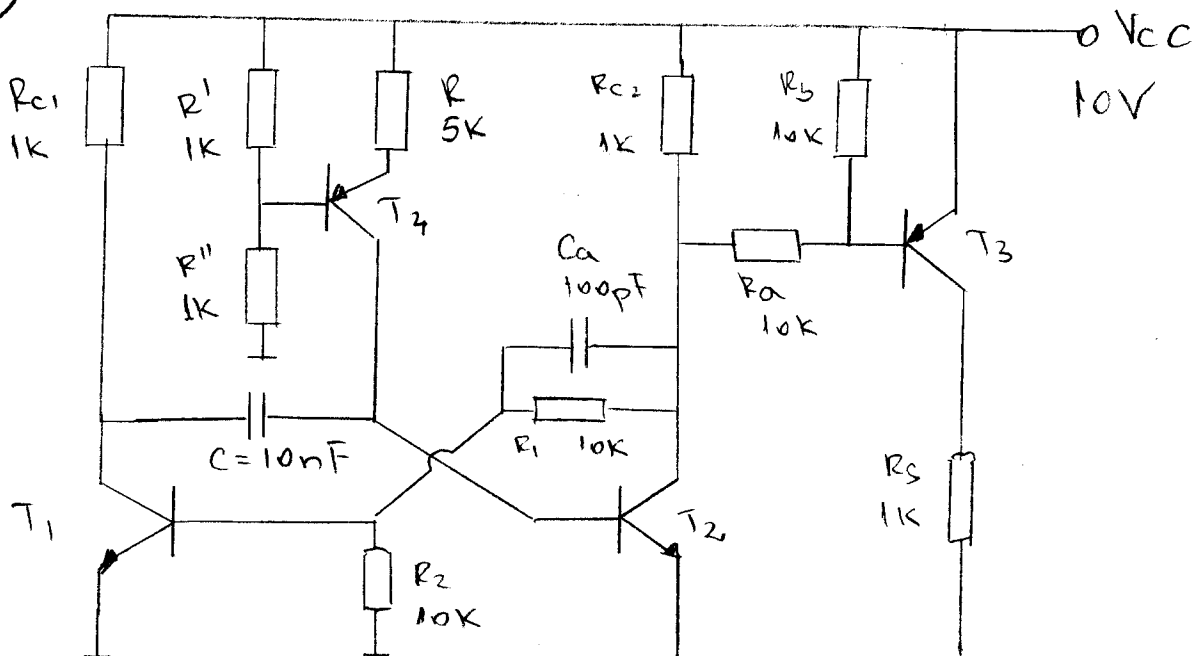
$$U_{BE} = 0,2 \text{ V (constant)}$$

$$\beta_0 = 100$$

Se cer:

- Să se calculeze gradul de saturație ale tranzistoarelor atunci când sunt în stare de conducție.
- Puterea dată de sursa de alimentare în starea de așteptare.
- Răspunsul tranzitoriu în cazul aplicării unui impuls de comandă.

(P4)

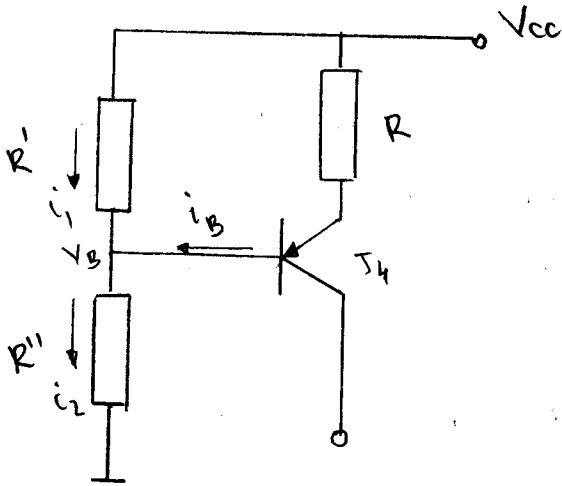


- Se observă că tranzistoarele T_1 și T_2 alcătuiesc un circuit basculant monostabil.

Funcționarea normală a acestui circuit este cu

T_1 blocat și T_2 saturat.

Tranzistorul T_4 pare a funcționa ca un generator de curent. Pentru aceasta trebuie să demonstrăm că el funcționează în RAN:



$$V_{BT4} = \frac{R''}{R' + R''} V_{cc} = 5V$$

curentul de colector este:

$$i_C = \frac{V_{cc} - U_{BE} - V_{BT4}}{R} = \frac{4,2}{5} = 0,84mA$$

$$i_B = \frac{i_C}{\beta_0} = 8,4 \mu A$$

$$i_{Bsi} = \frac{V_{cc} - U_{BE}}{\beta_0 R} = \frac{9,2}{5 \cdot 100} = \frac{9,2}{500} = 18 \mu A$$

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} i_B < i_{Bsi} \\ V_{BT4} > 0 \end{array} \right\} \Rightarrow T_4 \text{ este in RAN} \rightarrow \text{este generator}$$

Curentul de generator va fi:

$$I_g = I_{C4} = 0,84mA.$$

Tranzistorul T_3 conduce deoarece:

$$i_{B3} = i_{Ra} - i_{Rb} = \frac{V_{cc} - U_{BE}}{R_a} - \frac{U_{BE}}{R_b} = \frac{9,2 - 0,8}{10} = 0,84mA$$

$$i_{Bsi3} = \frac{V_{cc}}{\beta_0 R_s} = 0,1mA \Rightarrow T_2 \text{ este in SAT.}$$

Gradul de saturație a lui T_3 este:

$$\eta_3 = \frac{i_{B3}}{i_{Bsi3}} - 1 = \frac{0,84}{0,1} - 1 = 7,4$$

Tranzistorul T_2 conduce în SAT deoarece

$$i_{B2} = i_c = 0,84 \text{ mA}$$

$$i_{Bsi2} = \frac{V_{cc}}{\beta_0 R_{c2}} + \frac{V_{cc} - U_{BE}}{\beta_0 R_a} = \frac{10,92}{100} \approx 0,11 \text{ mA}$$

$$i_{B2} > i_{Bsi2} \Rightarrow T_2 \text{ conduce în SAT}$$

Gradul de saturație a lui T_2 este:

$$\eta_2 = \frac{i_{B2}}{i_{Bsi2}} - 1 = 6,7$$

b) Puterea disipată în starea de așteptare este:

$$P_d = \frac{V_{cc}^2}{R' + R''} + \frac{(V_{cc} - U_{BE} - V_{BT4})^2}{R} + \frac{V_{cc}^2}{R_{c2}} + \frac{V_{cc}^2}{R_3} +$$

$$+ \frac{(V_{cc} - U_{BE})^2}{R_a} + \frac{U_{BE}^2}{R_b} + U_{CE3} I_{c3}$$

$$= 50 + 3,528 + 100 + 100 + 8,464 + 0,064 + 7,728$$

$$\approx 270 \text{ mW.}$$

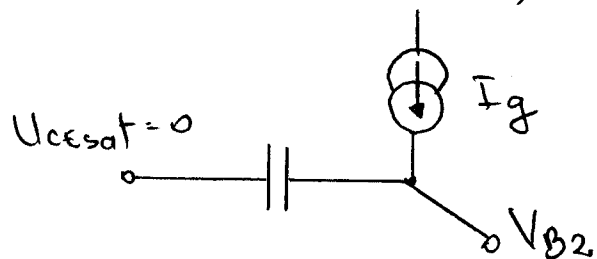
$$\Rightarrow \boxed{P_d \approx 270 \text{ mW}}$$

c) Studiăm formele de undă în diferite puncte din circuit.

T_1 este blocat. Pentru a-l scoate din starea de blocare trebuie ca impulsul să aibă o amplitudine suficient de mare și o energie suficientă.

Tensiunea din bază lui T_1 va fi menținută la U_{BE} de către capacitatea de accelerare a lui, T_1 fiind în starea de saturație.

În bază lui T_2 , circuitul este:



$$i_c = C \frac{dV_{B2}}{dt}$$

$$V_{B2}(t) = V_{B2}(0) + \frac{i_c}{C} t$$

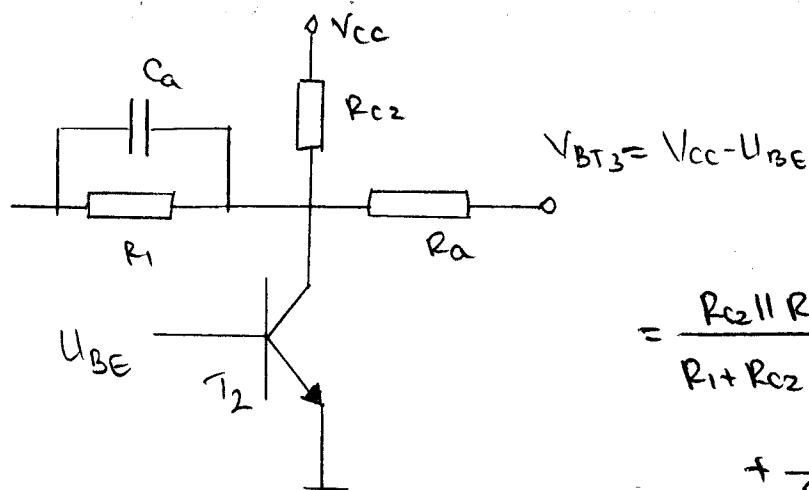
dar avem condițiile că :

$$V_{B2}(0) = U_{BE} - V_{CC}$$

$$V_{B2}(T) = U_{BE}$$

$$U_{BE} - V_{CC} + \frac{i_c}{C} T = U_{BE} \Rightarrow T = \frac{C V_{CC}}{i_c}$$

În colectorul lui T_2 avem:



$$U_{c2}(0) = 0$$

$$U_{c2}(\infty) =$$

$$= \frac{R_{c2} \parallel R_a}{R_1 + R_{c2} \parallel R_a} U_{BE} + \frac{R_1 \parallel R_a}{R_{c2} + R_1 \parallel R_a} V_{CC} +$$

$$+ \frac{R_1 \parallel R_a}{R_{c2} + R_1 \parallel R_a} (V_{CC} - U_{BE}) \approx V_{CC} = 10V$$

$$\tau = C_a (R_{c2} \parallel R_a \parallel R_1) = 83 \text{ ns}$$

$$\Rightarrow V_{c2}(t) = V_{cc} (1 - e^{-t/\tau})$$

Vom avea $t_{f+} = 2,3 \tau \approx 191 \text{ ns}$

Determinăm starea lui T_3 în funcție de U_{c2}

$$V_{c2} > V_{cc} - \underbrace{\frac{R_a + R_b}{R_b} U_{BE}}_{T_3 \text{ blocat}} = 8,4 \text{ V}$$

$$\Rightarrow \tau' = [R_{c2} \parallel (R_a + R_b) \parallel R_1] C_a = \tau$$

La t_{0+} avem T_1 blocat și T_2 în SAT.

Determinăm forma de undă la revenire din colectorul lui T_1 :

$$\left. \begin{array}{l} V_{c1}(0) = 0 \\ V_{c1}(\infty) = V_{cc} \\ \tau_{rev} = R_{a1} \cdot C \end{array} \right\} \Rightarrow V_{c1}(t) = V_{cc} (1 - e^{-t/\tau_{rev}})$$

Observăm că la ieșire T_3 prezintă și o regiune de RAN. Determinăm durata acestei regiuni din condiția

$$\hat{I}_{B3} = \hat{I}_{B33} \Rightarrow \frac{9,2 U_{c2}}{10} \cdot 0,08 = 0,1 \Rightarrow U_{c2} = 7,4 \text{ V}$$

$$U_{c2}(\Delta t_1) = 7,4 \Rightarrow 10 (1 - e^{-\Delta t_1/\tau}) = 7,4$$

$$\Rightarrow \Delta t_1 = \tau \ln \frac{50}{13} \approx 112 \text{ ns}$$

Vom avea:

$$U_{C2} = V_{CC} - \underbrace{\frac{R_b + R_a}{R_b} U_{BE}}_{\text{aici } T_3 \text{ se blochează}} = 8,4.$$

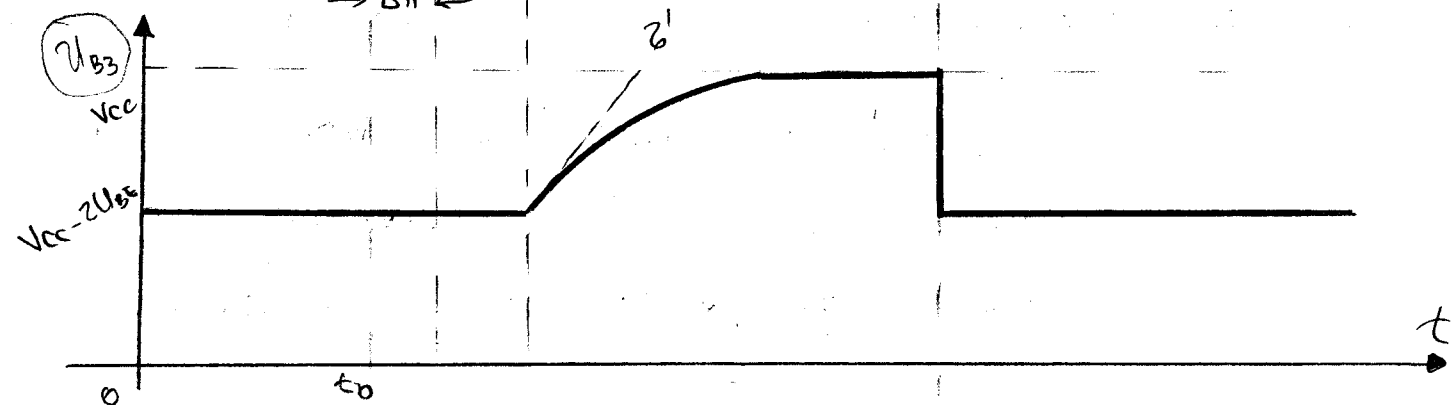
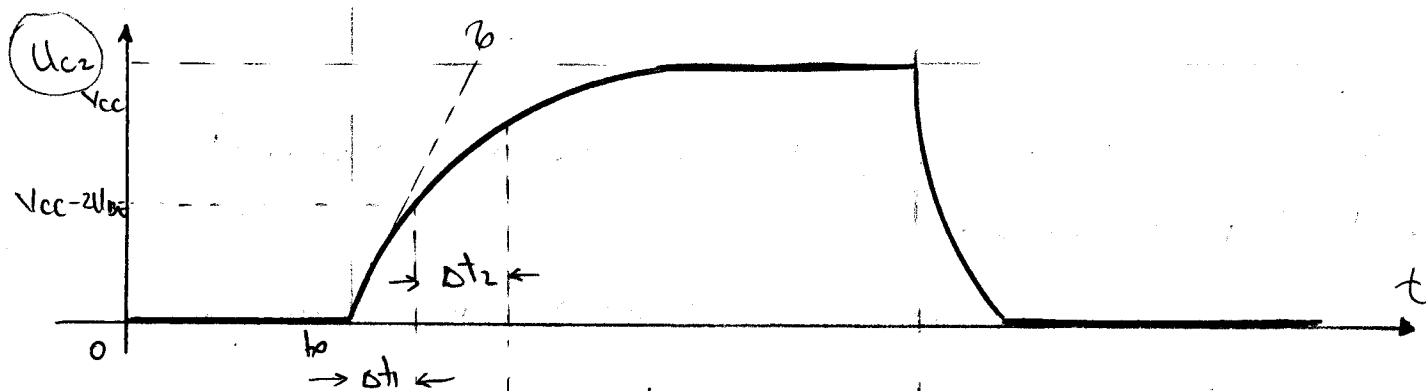
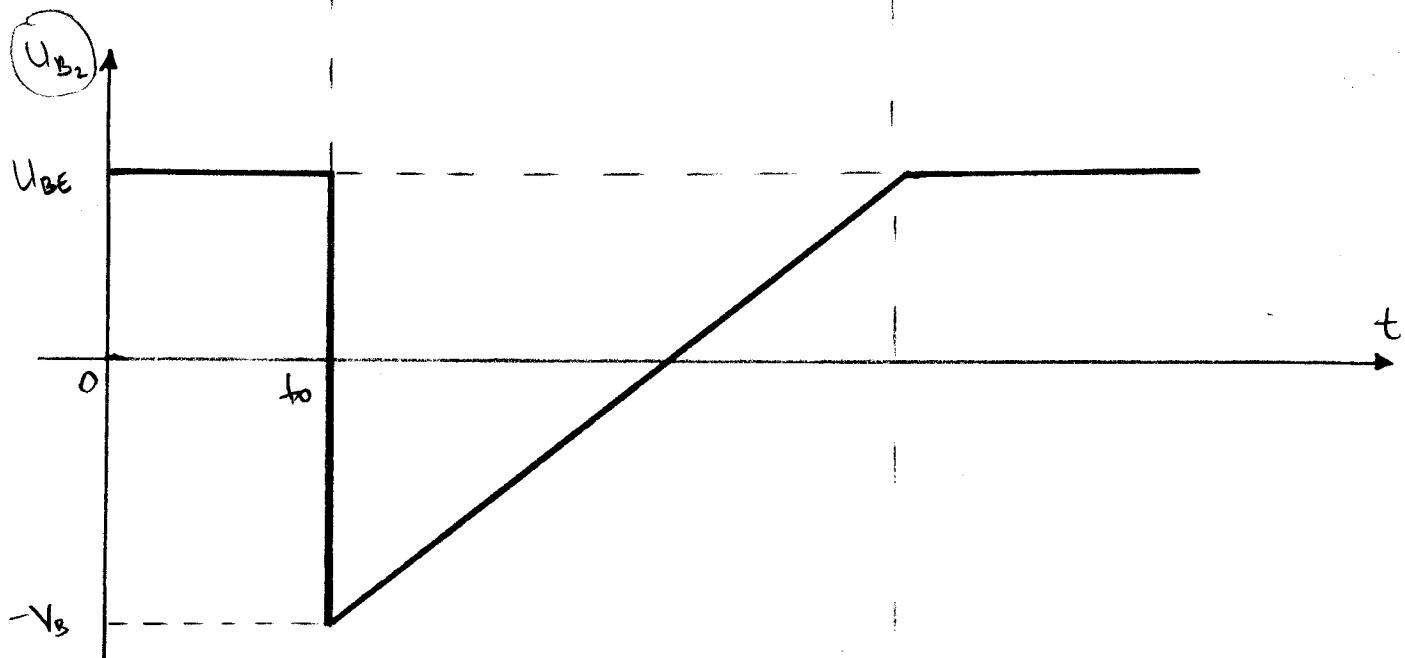
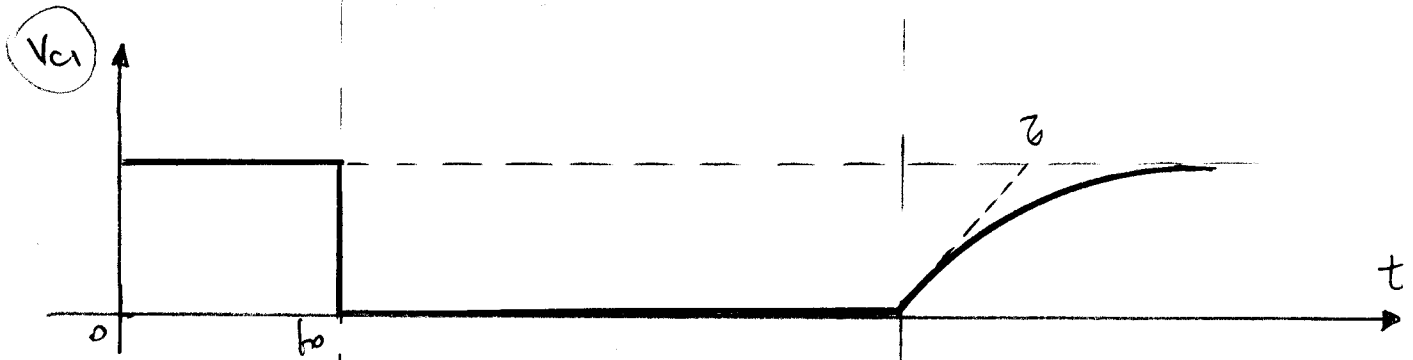
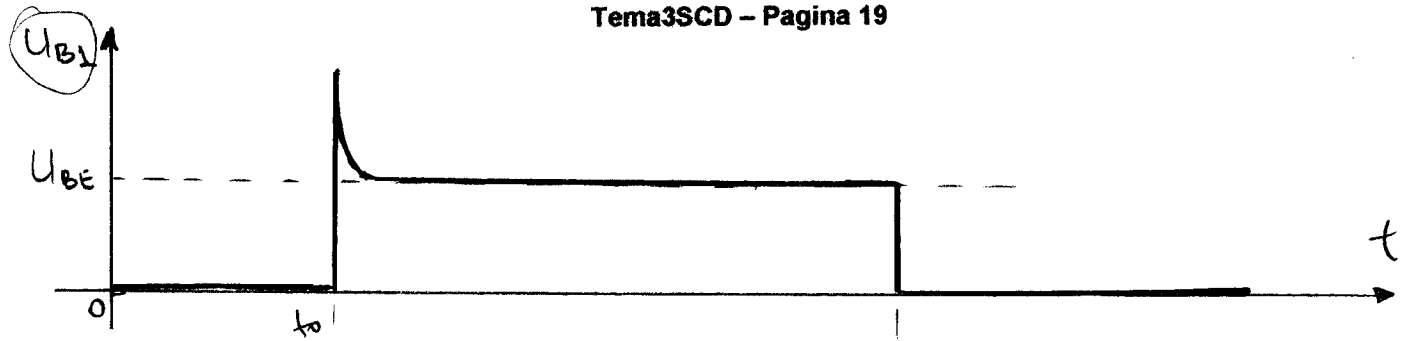
$$U_{C2}(\Delta t_2) = 8,4 \Rightarrow$$

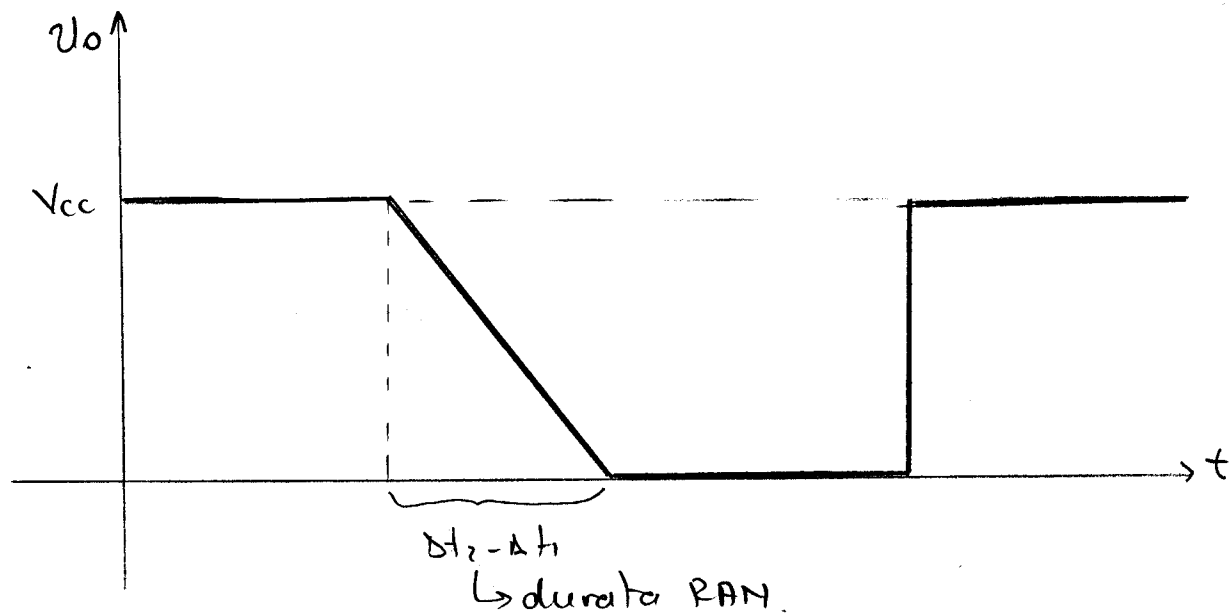
$$\Rightarrow \Delta t_2 = 2 \ln \frac{25}{4} = 2 \ln \frac{5}{2} \approx 152 \text{ ns}.$$

Forma de undă din colectorul lui T_3 este aceeași cu forma de undă de la ieșirea circuitului, adică u_o .

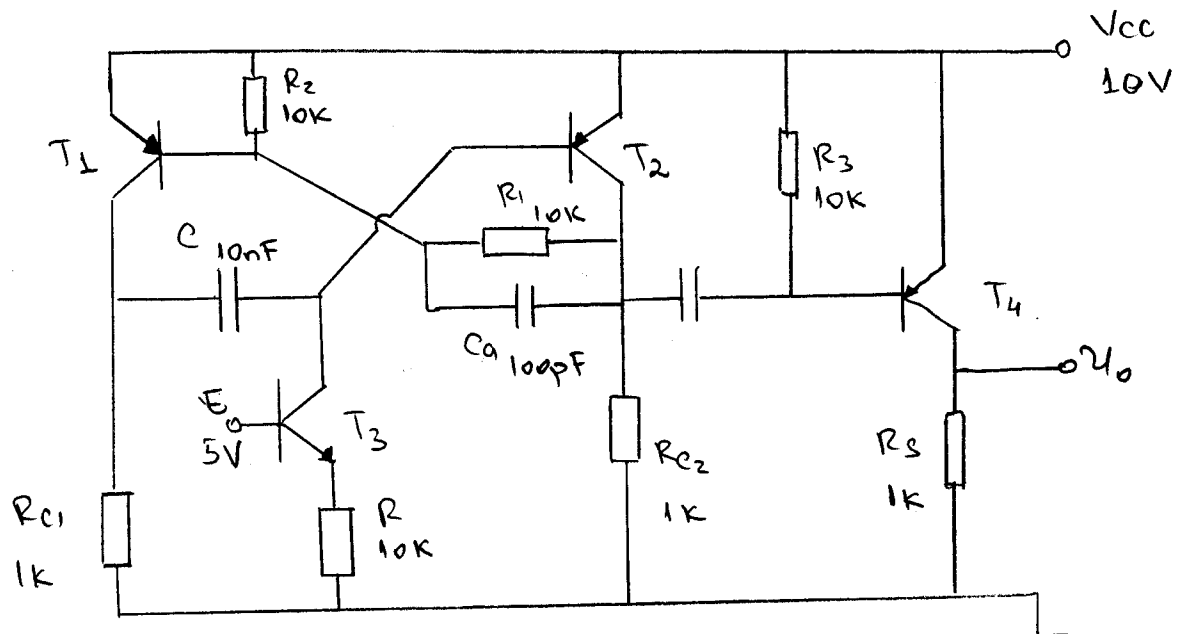
În diagramele următoare vor fi puse în evidență măsurile calculate pentru timpi $\Delta t_1, \Delta t_2, t_{ot}, t_f$, ceea ce caracterizează cele două stări a circuitului monostabil: starea stabilă cu T_2 în saturație și T_1 blocat și starea cvasistabilă cu T_1 în saturație și T_2 blocat.

Formele de undă corespunzătoare măsurilor calculate sunt următoarele:



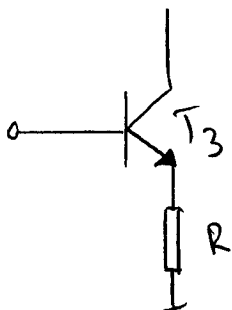


P5



a) Se observă că T_1 și T_2 formează un circuit basculant monostabil

Se observă că T_3 poate fi pe postul unui generator de curent. Să demonstrăm că el se află în RAN:



T_3 este tot timpul în RAN deoarece nu are rezistență în colector și nu poate ajunge la starea de saturație.

Cum $U_{BT_3} = E > 0$ este exclus ca T_3 să fie blocat, deci T_3 este tot timpul în RAN.

$\Rightarrow T_3$ este generator de curent

Curentul echivalent este:

$$I_g = \frac{E - U_{BE}}{R} = \frac{4,2}{10} = 0,42 \text{ mA}$$

Verificăm starea în care se află T_2 :

$$\hat{I}_{Bsi_2} = \frac{V_{cc}}{\beta_o R_{c2}} = 0,1 \text{ mA}$$

$$I_{B2} = I_g = 0,42 \text{ mA}$$

$\Rightarrow I_{B2} > \hat{I}_{Bsi_2} \Rightarrow T_2$ conduce în SAT

$$\beta_2 = \frac{I_{B2}}{I_{Bsi_2}} - 1 = \frac{0,42}{0,1} - 1 = 3,2$$

T_1 este blocat, la fel și T_4 .

b) Calculăm puterea disipată în starea de așteptare:

$$\begin{aligned} P_d &= R i_c^2 + U_{ce} i_c + \frac{V_{cc}^2}{R_c^2} + \frac{U_{BE}^2}{R_b} + U_{ce3} i_{B3} \beta_o = \\ &= 125 \text{ mW}. \end{aligned}$$

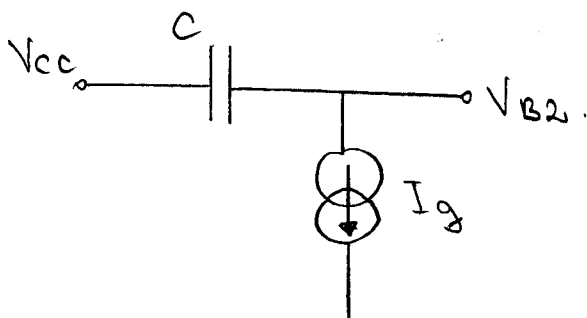
c) Determinăm formele de undă în diverse puncte din circuit.

Cot timp T_1 este blocat

$$V_{B1} = V_{cc}$$

Pentru a scoate T_1 din starea de blocare trebuie să aplicăm în baza acestuia un impuls cu amplitudine negativă suficient de mare.

o Circuitul din baza lui T_2 este:



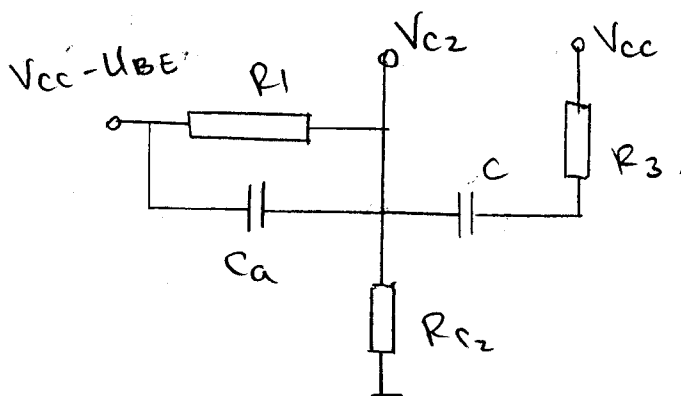
$$-I_g = C \frac{dV_{B2}}{dt}$$

$$V_{B2}(t) = V_{B2}(0) - \frac{I_g}{C} t \Rightarrow$$

$$\rightarrow V_{B2}(t) = 2V_{cc} - U_{BE} - \frac{I_g}{2} t$$

$$V_{B2}(T) = V_{cc} - U_{BE} \Rightarrow \frac{I_g}{2} T = V_{cc} \Rightarrow T = \frac{V_{cc} \cdot C}{I_g}$$

o Circuitul în colectorul lui T_2 este:



pentru $t = t_0$

$$V_{c2}(0) = 0$$

$$V_{c2}(\infty) = \frac{R_{c2}}{R_1 + R_{c2}} (V_{cc} - U_{BE})$$

$$= \frac{9,2}{11} \approx 0,8 < V_{cc}$$

$$\tau_1 = (C_a + C)(R_1 \parallel (R_{c2} + R_3)) = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$\Rightarrow V_{c2} = V_{cc} e^{-t/\tau_1}$$

$$t_{f+} = 2,3 \tau_1 = 2,53 \cdot 10^{-6} \text{ s.}$$

$$i_{R3} = C \frac{dV_2}{dt} = \frac{C}{\tau_1} V_{cc} e^{-t/\tau_1}$$

$$V_{B3} = V_{cc} - R_3 i_{R3}$$

$$\Rightarrow V_{B3} = V_{cc} \left(1 - \frac{C R_3}{\tau_1} e^{-t/\tau_1} \right)$$

$$\text{Avem: } V_{B3}(\Delta t) = V_{cc} - U_{BE}$$

$$V_{cc} - U_{BE} = V_{cc} - V_{cc} \frac{C R_3}{\tau_1} e^{-\Delta t/\tau_1}$$

$$\frac{U_{BE}}{V_{cc}} \cdot \frac{\tau_1}{C R_3} = e^{-\Delta t/\tau_1} \Rightarrow \Delta t = \tau_1 \ln \frac{V_{cc}}{U_{BE}} \cdot \frac{C R_3}{\tau_1} = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

Pentru $t > \Delta t$ avem:

$$i_{B4} + i_{R3} = \frac{C}{\tau_1} V_{cc} e^{-t/\tau_1}$$

$$i_{B4} = \frac{C}{\tau_1} V_{cc} e^{-t/\tau_1} - \frac{U_{BE}}{R_3}$$

$$\text{si } i_{B4}(\Delta t') = i_{BSi4} = \frac{V_{cc}}{R_3}$$

$$\Rightarrow \frac{C}{\tau_1} V_{cc} e^{-\Delta t'/\tau_1} = \frac{U_{BE}}{R_3} + \frac{V_{cc}}{R_3}$$

$$\Delta t' = \tau_1 \ln \frac{C V_{cc}}{\tau_1 \left(\frac{U_{BE}}{R_3} + \frac{V_{cc}}{R_3} \right)}$$

calculând se obține $\Delta t' = -0,11 \cdot 10^{-6} \text{ s} < 0$ deci
avem că:

$$i_{B4} < i_{B5} i_H$$

$\Rightarrow T_4$ conduce în RAN.

Vom folosi modelul generatorului de curent și vom avea:

$$U_0 = R_s \beta_0 i_{B4}$$

$$\Rightarrow U_0 = R_s \beta_0 \left(\frac{C'}{Z_1} e^{-t/Z_1} - \frac{U_{BE}}{R_3} \right)$$

În colectorul lui T_1 avem:

pentru $t = t_0 + T$ avem:

$$V_{C1}(0) = V_{CC}$$

$$V_{C1}(\infty) = 0$$

$$Z_{rev} = R_{C1} C$$

$$\Rightarrow V_{C1} = V_{CC} e^{-t/Z_{rev}}$$

Am obținut așadar expresiile tensiunilor din bazele și colectoarele tuturor tranzistoarelor.

Datorită generatorului de curent, caracteristica e linie în baza lui T_2

Formele de undă sunt următoarele:

