ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET UNIVERZITETA U SARAJEVU

Z. PAŠIĆ
J. BRAŠNIĆ

IMPULSNA ELEKTRONIKA

ZBIRKA ZADATAKA

SARAJEVO, 1973.

P R E D G O V O R

Ova Zbirka predstavlja selekciju zadataka koji su dolazili na pismenim ispitima iz predmeta "Impulsna elektronika". Zbirka je podjeljena na tri dijela, od kojih su prva dva posvećena rješavanju elementarnih električnih mreža i osnovnih impulsnih sklopova, a treći dio "BLACK BOX" sintetiziranju ili analizi jednostavnijih struktura.

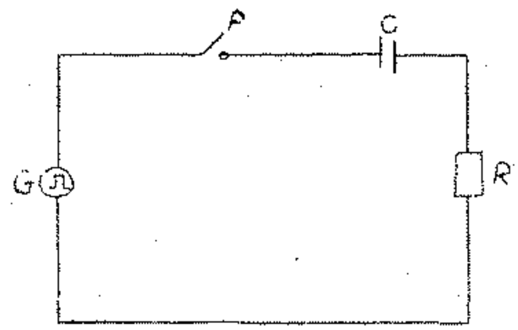
Studentima se preporučuje da zadatke rješavaju samostalno, a data rješenja da koriste samo za provjeru svojih rezultata.

Treba napomenuti da sva rješenja u ovoj Zbirci, naročito ona u dijelu "BLACK BOX" nisu i jedina moguća rješenja, te se pri rješavanju može u potpunosti iskazati individualnost i kreativnost studenta.

Obzirom da ova zbirka izlazi prvi put, te da je umnožena i formirana u dosta kratkom roku, autori će biti zahvalni za sve primjedbe i sugestije koje im pažljivi čitaoci dostave. Autori takodje žele da izraze zahvalnost Doc. Dž. Hasanbegoviću, za učinjenu recenziju i veoma korisne savjete.

RC I RL KRUGOVI

.1. Dato je RC kolo prema slici 1.1. u momentu $t = 0$ zatvori se preklopka P i iz generatora G počinje da na RC kolo djeluje niz pravokutnih impulsa amplitude 10 V, trajanju 0,5 ms sa frekvencijom $f = 1$ KHz.



$C = 1 \mu F$
$R = 10$ K

Sl.1.1.

Postavlja se pitanje, da li dato kolo može da služi kao kolo za integriranje zadanog niza impulsa, te ako može sa koga elementa treba snimiti integrirajući izlaz?

Kolika će biti istosmjerna veličina izlaznog napona u stacionarnom stanju?

Rješenje:

Ako se promatra odziv sklopa na jedan impuls izlaz na kondenzatoru C će predstavljati integral ulaznog signala jer je vremenska konstanta sklopa znatno veća od vremena trajanja impulsa

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^3} = 1 \text{ ms}$$

$$\tau = R \cdot C = 10 \text{ ms}$$

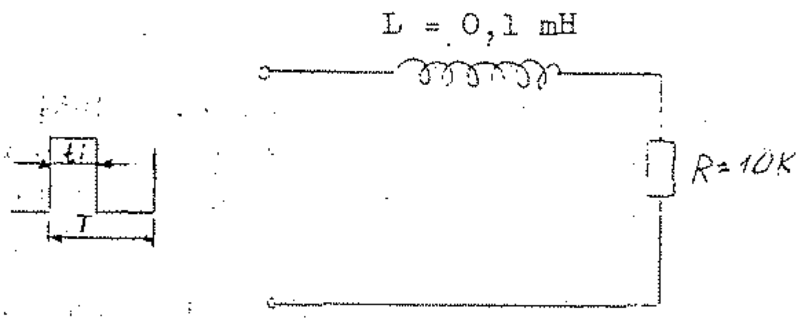
$$\frac{\tau}{T} = 10$$

Ukoliko na sklop djeluje niz impulsa kondenzator C se u toku pauze prazni sa istom vremenskom konstantom kojom se nabija u toku djelovanja impulsa sklop nepamti prethodno stanje te prema tome i ne daje integral od niza impulsa.

Na kondenzatoru C uspostavlja se stacionarna vrijednost napona koja je odredjena sa:

$$U_{st} = E \cdot \frac{ti}{T} = 10.\frac{0,5ms}{1ms} = 5\ V$$

1.2. Dato je kolo prema slici 1.2. Ako se na ulaz kola dovodi niz pravokutnih impulsa perioda ponavljanja $T = 2\,\mu s$ i trajanja $ti = 1\,\mu s$, može li dato kolo da posluži kao kolo za diferenciranje?
Koliko mora iznositi L da bi kolo integriralo dati niz impulsa? Sa koga elementa se uzima diferencirajući, a sa koga integrirajući izlaz?



Sl.1.2

Rješenje:

Vremenska konstanta ovoga sklopa

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0.1.10^{-3}}{10\ .\ 10^{3}} = 10.10^{-9}S = 10\ \overset{\text{[nanosekundi]}}{ns}\ a$$

trajanje ulaznog impulsa $ti = 1\,\mu s$.

Pošto je vremenska konstanta sklopa mnogo manja od trajanja impulsa na ulazu, sklop na slici može služiti kao kolo za diferenciranje.

Izlazni impuls u tom slučaju se uzima sa induktiviteta.

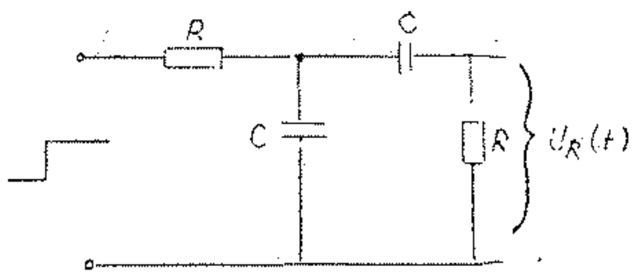
Da bi kolo mogla da integrira jedan impuls potrebno je da vremenska konstanta sklopa bude mnogo veća od trajanja impulsa, np $10\,\mu s$ (pošto trajanje ulaznog impulsa iznosi $1\,\mu s$) tj. induktivitet treba da iznosi najmanje 0,2 H.

Integral ulaznog signala se uzima sa otpora R.

Ako je na ulaz u sklop doveden niz impulsa sklop neće na otporu R davati integral niza impulsa nego će se uspostaviti stacionarna vrijednost signala koga iznosi.

$$U_{st} = E \frac{ti}{T}$$

1.3. Dato je kolo kao na slici 1.3.



Sl. 1.3

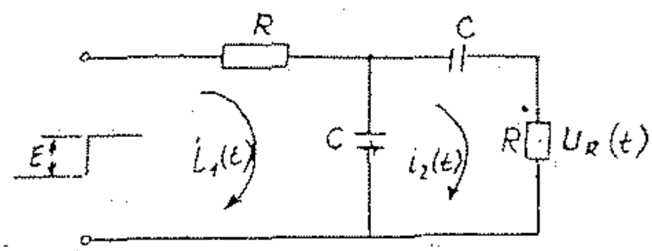
Ako je na ulaz dovedena step funkcija iznosa E naći:

a/ zakon po kojem se mijenja napon na izlazu $U_{R\ t}$

b/ vrijeme t_x u kojem je $U_{R\ t}$ dostigao maksimum,

c/ $U_R(t_x) = ?$

Rješenje:



$$E = i_1 R + \frac{1}{C}\int i_1 dt - \frac{1}{C}\int i_2 dt$$

$$0 = i_2 R + \frac{1}{C}\int i_2 dt + \frac{1}{C}\int i_2 dt - \frac{1}{C}\int i_1 dt$$

$$E = i_1 R + \frac{1}{C}\int i_1 dt - \frac{1}{C}\int i_2 dt \quad /$$

$$0 = i_2 R + \frac{2}{C}\int i_2 dt - \frac{1}{C}\int i_1 dt \quad /$$

diferenciramo

$$1.\quad 0 = R\frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C}i_1 - \frac{1}{C}i_2$$

$$2.\quad 0 = R\frac{di_2}{dt} + \frac{2}{C}i_2 - \frac{i_1}{C}$$

Iz druge jednadžbe:

$$\frac{i_1}{C} = R\frac{di_2}{dt} + \frac{2}{C}i_2 \qquad i_1 = RC\frac{di_2}{dt} + 2\,i_2$$

Uvrstimo u 1.

$$\frac{di_1}{dt} = RC\frac{di_2^2}{dt^2} + 2\,\frac{di_2}{dt}$$

$$0 = R\left(RC\frac{di_2^2}{dt^2} + 2\,\frac{di_2}{dt}\right) + \frac{1}{C}\left(RC\frac{di_2}{dt} + 2i_2\right) -$$

$$- \frac{1}{C}i_2$$

$$0 = R^2C\frac{di_2^2}{dt^2} + 2\,R\frac{di_2}{dt} + R\frac{di_2}{dt} + \frac{2i_2}{C} - \frac{i_2}{C}$$

$$R^2C\frac{di_2^2}{dt^2} + 3R\frac{di_2}{dt} + \frac{i_2}{C} = 0\,/\,.\,C$$

$$R^2C^2\frac{di_2^2}{dt^2} + 3RC\frac{di_2}{dt} + i_2 = 0\,/\,:\,R^2C^2$$

$$\frac{di_2^2}{dt^2} + \frac{3}{\tau}\,\frac{di_2}{dt} + \frac{1}{\tau^2} = 0$$

$$r^2 + \frac{3}{\tau}\,.\,r + \frac{1}{\tau^2} = 0$$

$$r_{12} = -\frac{3}{2\tau} \pm \sqrt{\frac{9}{4\tau^2} - \frac{1}{\tau^2}} = -\frac{3}{2\tau} \pm \sqrt{\frac{9-4}{4\tau^2}}$$

$$r_{1,2} = -\frac{3}{2\tau} + \frac{\sqrt{5}}{2\tau} = \frac{-3 \pm \sqrt{5}}{2\tau}$$

$$r_1 = \frac{-3+\sqrt{5}}{2\tau}\,; \qquad r_2 = \frac{-3-\sqrt{5}}{2\tau}$$

$$i_2\,t = A.1^{r_1 t} + B\,.\,1^{r_2 t}$$

$$i_1(t) = RC\left(\frac{di_2}{dt}\right) + 2\,i_2$$

$$i_1(t) = ARCr_1 . 1^{r_1 t} + BRC\,r_2 1^{r_2 t} + 2A . 1^{r_1 t} + 2B\,1^{r_2 t}$$

Početni uslovi:

$$i_1(0) = \frac{E}{R}\ ;\ i_2(0) = 0$$

$$\frac{E}{R} = ARC\,r_1 + BRC\,r_2 + 2A + 2B$$

$$0 = A + B \qquad A = -B$$

$$\frac{E}{R} = ARC\,r_1 - ARC\,r_2 + 2A - 2A$$

$$\frac{E}{R} = A\tau(r_1 - r_2) \qquad A = \frac{E}{R\tau\,(r_1 - r_2)}$$

$$B = -\frac{E}{R\tau\,(r_1 - r_2)}$$

$$i_2(t) = \frac{E}{R\tau}\left[\frac{1}{r_1 - r_2} . e^{r_1 t} - \frac{1}{r_1 - r_2} . e^{r_2 t}\right]$$

$$U_R(t) = \frac{E}{\tau}\left[\frac{1}{r_1 - r_2} . e^{r_1 t} - \frac{1}{r_1 - r_2} . e^{r_2 t}\right]$$

$$U_R(t) = \frac{E}{\tau(r_1 - r_2)} . \left[e^{r_1 t} - e^{r_2 t}\right] =$$

$$= \frac{E}{\tau\left(\frac{-3+\sqrt{5}}{2} + \frac{3+\sqrt{5}}{2}\right)}\left[e^{r_1 t} - e^{r_2 t}\right]$$

$$U_R(t) = \frac{E}{\sqrt{5}}\left[1^{-\frac{0,38t}{\tau}} - 1^{-5,24\ t/\tau}\right]$$

b/ Na izlazu otpor R napon je d t slijedećim izrazom

$$U_R(t) = \frac{E}{\sqrt{5}}\left(e^{r_1 t} - e^{r_2 t}\right)$$

Da dobijemo vrijeme t_x za koje funkcija ima maksimalnu vrijednost potrebno je naći prvu derivaciju funkcije i izjednačiti je sa nulom:

$$U_R(t)' = \frac{E}{\sqrt{5}}\left[r_1 . e^{r_1 t} - r_2 . e^{r_2 t}\right]$$

$$\frac{E}{\sqrt{5}}\left(r_1 . e^{r_1 t} - r_2 . e^{r_2 t}\right) = 0$$

$$r_1 . e^{r_1 t} = r_2 . e^{r_2 t}$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{e^{r_2 t}}{e^{r_1 t}} \quad \text{logaritmiramo}$$

te je

$$\ln r_1 - \ln r_2 = r_2 t - r_1 t$$

$$t = \frac{\ln r_1 - \ln r_2}{r_2 - r_1} = \frac{\ln \frac{r_1}{r_2}}{r_2 - r_1}$$

pošto je

$$r_1 = -\frac{3+\sqrt{5}}{2\tau} \quad \text{a} \quad r_2 = \frac{-3-\sqrt{5}}{2\tau}$$

$$t = \frac{\ln \dfrac{\frac{-3+\sqrt{5}}{2\tau}}{\frac{-3-\sqrt{5}}{2\tau}}}{\frac{-3-\sqrt{5}+3-\sqrt{5}}{2\tau}}$$

$$t = \tau \frac{\ln 0{,}145}{-2{,}24} = 0{,}86\,\tau$$

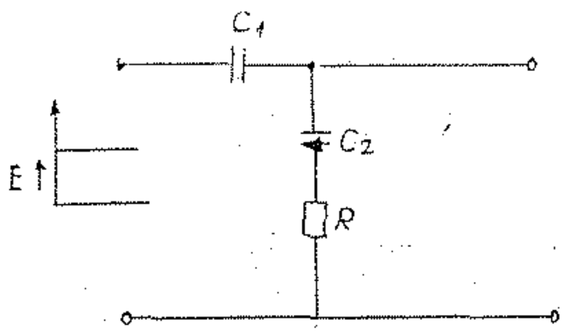
Dakle maksimalna vrijednost napona će se pojaviti u trenutku

$$\underline{\underline{t_x = 0{,}86\,\tau}}$$

$$U_R(t_x) = \frac{E}{\sqrt{5}} \left[1^{r_1 t_x} - 1^{r_2 t_x} \right]$$

$$\underline{U_R(0{,}86\,\tau) = 0{,}19\ E}$$

1.4. Dato je kolo prema slici 1.4.



Sl.1.4

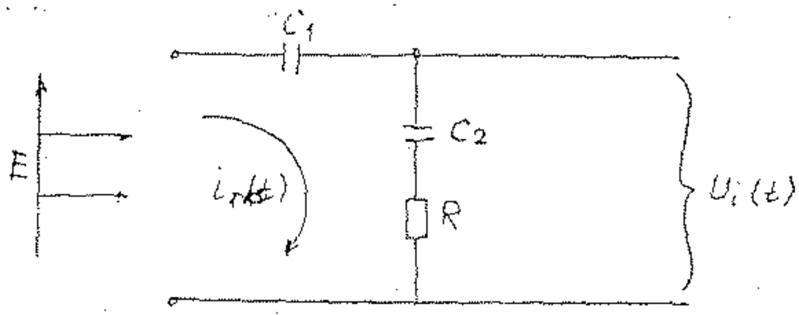
Ako se u momentu t =0 dovede na ulaz step funkcija amplitude E naći:

a/ ovisnost izlaza o vremenu i ulaznom naponu

b/ ovisnost izlaza o vremenu i ulaznom naponu ako je $C_1 = C_2$

c/ $U_i(\infty) = ?$ za $C_1 = C_2$

Rješenje:



$$E = \frac{1}{C_1}\int i_1\,dt + i_1 R + \frac{1}{C_2}\int i_1 dt$$

$$E = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)\int i_1 dt + i_1 R \longrightarrow$$ diferenciramo

$$0 = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right) i_1 + R\,\frac{di_1}{dt}$$

$$R\,\frac{di_1}{dt} + \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right) i_1 = 0 \quad /: R$$

$$\frac{di_1}{dt} + \frac{C_2 + C_1}{C_1 C_2 R}\, i_1 = 0 \quad / \frac{dt}{i_1}$$

$$\frac{di_1}{i_1} = -\frac{C_2 + C_1}{RC_1C_2}\, dt$$

$$\ln\frac{i_1}{A} = -\frac{C_2 + C_1}{RC_1C_2}\,.t$$

$$i_1 = A\,.\,e^{-\frac{C_2+C_1}{RC_1C_2}\,.t}$$

Početni uslovi za t = 0

$$i_1(0) = \frac{E}{R}$$

$$\frac{E}{R} = A.e^{-\frac{C_1+C_2}{RC_1C_2}\,.\,0} = A$$

$$i_1(t) = \frac{E}{R}\,.e^{-\frac{C_1+C_2}{RC_1C_2}\,.t}$$

$$U_{iz}(t) = \frac{E}{R}\,.e^{-\frac{C_1+C_2}{RC_1C_2}.t}.R + \frac{1}{C_2}\int_0^t \frac{E}{R}.e^{-\frac{C_2+C_1}{RC_1C_2}}.dt$$

$$U_{iz}(t) = \frac{E}{R}\,.e^{-\frac{C_1+C_2}{RC_1C_2}.t}.R + \frac{1}{C_2}.\,\frac{E}{R}\left|\frac{e^{-\frac{C_2+C_1}{RC_1C_2}.t}}{-\frac{C_2+C_1}{RC_1C_2}}\right|_0^t =$$

$$U_{iz}(t) = \frac{E.C_1}{C_1+C_2} + E\left(e - \frac{C_1}{C_1+C_2}\right).e^{-\frac{C_1+C_2}{RC_1C_2}.t}$$

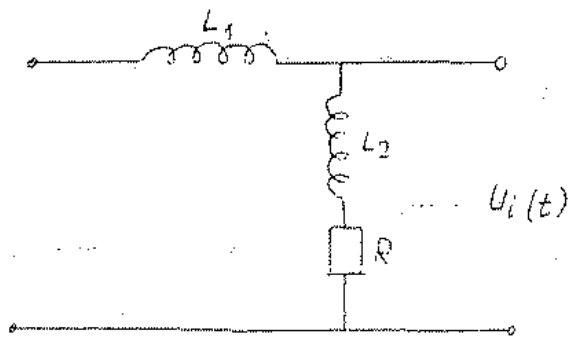
b/ $C_1 = C_2$

$$U_{iz}t = \frac{E}{2} + E\,.\,1^{-\frac{2}{RC}.t}\left[1 - \frac{1}{2}\right]$$

$$U_{iz}(t) = \frac{E}{2}\left[1+1^{-\frac{2}{RC}\,.t}\right]$$

c/ $Uiz\,(\infty) = \frac{E}{2}$

1.5. Dato je kolo prema slici 1.5.



Sl.1.5

Ako se u momentu $t = 0$ dovode na ulaz kola step funkcije amplitude E, naći:

a/ $U_i(t) = ?$ b/ $U_i(t) = ?$ za $L_1 = L_2$

c/ $U_i(0) = ?$ i $U_i(\infty) = ?$ za $L_1 = L_2$

Rješenje:

$$(L_1S + L_2S+R)\,I(s) = \frac{E}{S}$$

$$I(S)= \frac{E}{S} \cdot \frac{1}{L_1S+L_2S+R} = \frac{E}{S\,[S(L_1+L_2)+ R]}$$

$$U_i(S)= I(S)\,.\,Z_2(S)= \frac{E}{S[S(L_1+L_2)+R]}\cdot\left[L_2S+R\right] =$$

$$= \frac{E.L_2}{S(L_1+L_2)+R} + \frac{E.R}{S[S(L_1+L_2)+R]}$$

Razvijamo drugi član:

$$\frac{1}{S[S(L_1+L_2)+ R]} = \frac{A}{S} + \frac{B}{S(L_1 + L_2)+R}$$

$$1 = A\,S(L_1+L_2)+ AR + BS$$

$$AR = 1 \longrightarrow A = \frac{1}{R}$$

$$A(L_1+L_2) + B = 0$$

$$B = -A(L_1 + L_2) = -\frac{L_1 + L_2}{R}$$

$$U_i(S) = \frac{E \cdot L_2}{R + S(L_1 + L_2)} + \frac{E}{S} - \frac{(L_1 + L_2)E}{S(L_1 + L_2) + R}$$

$$U_i(S) = \frac{E}{S} - \frac{L_1 E}{(L_1+L_2)\left(S + \frac{R}{L_1+L_2}\right)}$$

$$\mathcal{L}^{-1}\left\{U_1(S)\right\} = E - \frac{L_1 E}{L_1+L_2} \cdot e^{-t/\tau} \qquad \tau = \frac{L_1 + L_2}{R}$$

a/ $U_i(t) = E\left(1 - \frac{L_1}{L_1+L_2} \cdot e^{-t/\tau}\right)$

b/ za $L_1 = L_2$

$$U_i(t) = E\left(1 - \frac{L_1}{2L_1} \cdot e^{-t/\tau}\right)$$

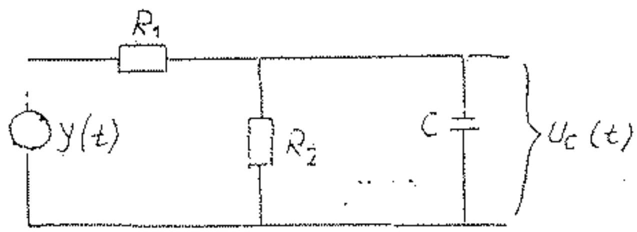
$$U_i(t) = E\left(1 - \frac{1}{2} \cdot e^{-t/\tau}\right)$$

c/ $U_i(0) = E\left(L - \frac{1}{2}\, 1^0\right) = \frac{E}{2}$

$$U_i(\infty) = E\left(1 - \frac{1}{2}\, 1^{-\infty}\right) = E$$

1.6. Na sklop na slici 1.6 dovede se u momentu $t = 0$ napon dat funkcijom $y(t) = kt$.

Naći zakon po kojem se mijenja napon na C metodom Duhamelovog integrala.



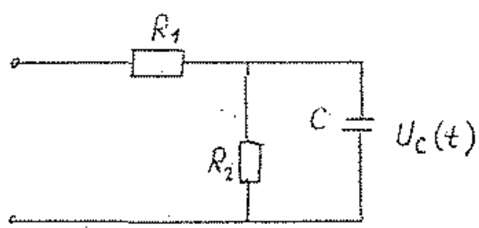
Sl.1.6

Rješenje:

$$U_c(t) = h(t).y(0) + \int_0^t y'(\xi)\, h(t-\xi) . d\xi$$

h(t) je prelazna funkcija kola.

Promatramo odziv kola na jediničnu pobudu



$$U_c(t) = U_c(\infty) - \left[U_c(\infty) - U_c(0)\right].1^{-t/\tau}$$

$$U_c(0) = 0 \quad ; \quad U_c(\infty) = \frac{E}{R_1 + R_2} . R_2$$

$$U_c(t) = \frac{E}{R_1 + R_2} . R_2 - \left[\frac{E}{R_1 + R_2} . R_2 - 0\right] . 1^{-t/\tau} = \frac{E.R_2}{R_1 + R_2}\left(1 - 1^{-t/\tau}\right)$$

$$U_c(t) = \frac{E.R_2}{R_1 + R_2}\left(1 - 1^{-t/\tau}\right)$$

$$h(t)= \frac{R_2}{R_1 + R_2}\left(1-e^{-t/\tau}\right)$$

$$h(t-\xi)= \frac{R_2}{R_1 + R_2}\left(1-1^{-\frac{t-\xi}{\tau}}\right)$$

$$Y'(\xi)= K$$

Pošto je $y(0)= 0$;

$$U_c(t)= \int_0^t y'(\xi)\, h(t-\xi)\,.\, d\xi$$

$$U_c(t)= \int_0^t K\,.\,\frac{R_2}{R_1 + R_2}\left(1-1^{-\frac{t-\xi}{\tau}}\right).d\xi =$$

$$= \frac{K.R_2}{R_1+R_2}\left\{\int_0^t d\xi - 1^{-t/\tau}\int_0^t 1^{\xi/\tau} .d\xi\right\}=$$

$$= \frac{K.R_2}{R_1+R_2}\left\{\xi\Big|_0^t - 1^{-t/\tau}.\left[\frac{1^{\xi/\tau}}{1/\tau}\right]_0^t\right\}=$$

$$= \frac{K.R_2}{R_1+R_2}\left[t-\tau\left(1-1^{-t/\tau}\right)\right]; \quad \tau = C.\frac{R_1.R_2}{R_1+R_2}$$

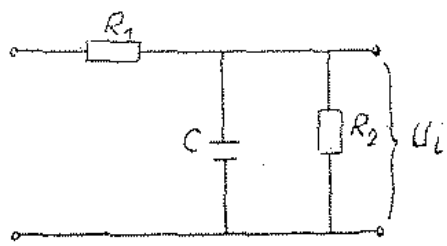
Zakon promjene napona kondenzatoru je:

$$U_c(t) = \frac{K.R_2}{R_1+R_2}\left[t-\tau\left(1-1^{-t/\tau}\right)\right]$$

1.7. Zadat je sklop prema slici 1.7. Ako se na ulaz dovede step funkcija amplitude E, naći zakon po kojem se mijenja izlazni napon U.
Naći vrijeme t za koje će izlazni napon iznositi $\frac{1}{2}$ E za slijedeće vrijednosti elemenata:

$R_1 = R_2 = 100\ K$

$c = 10\mu F$



Sl.1.7

Rješenje:

$$U_{iz}(t) = U_{iz}(\infty) - [U_{iz}(\infty) - U_{iz}(0)].1^{-t/\tau}$$

$$t = 0 \qquad U_{iz}(0) = 0$$

$$t = \infty \qquad U_{iz}(\infty) = \frac{E.R_2}{R_1+R_2}$$

$$\tau = \frac{R_1.R_2}{R_1+R_2}.C$$

$$U_{iz}(t) = \frac{E\ .\ R_2}{R_1\ +R_2}\left[1 - 1^{-t/\tau}\right]$$

$$\tau = \frac{(100)^2.10^6.10.10^{-6}}{200.10^3}$$

$$\tau = 0{,}5\ \text{sek}$$

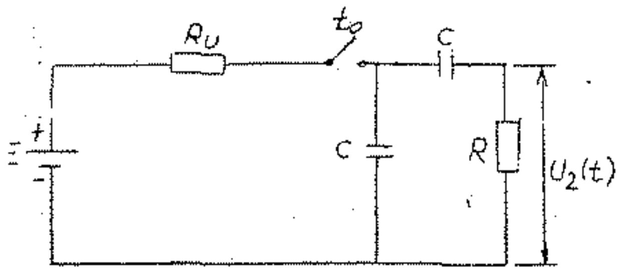
Za $t = \infty \quad U_{iz}(t_\infty) = \frac{E}{2}$

Praktično se može smatrati da je stacionarno stanje postignuto po isteku 3-5 vremenskih konstanti sklopa $\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot C$, pa će napon na izlazu dostići polovinu svoje vrijednosti u slučaju $R_1 = R_2$ nakon 1,5-2,5 sek.

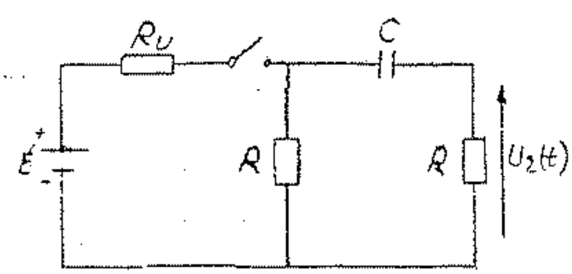
1.8. Data su dva RC kola prema sl.1.8a i 1.8b. Naći zakone promjene napona na izlazima oba kola $U_2(t)$.

Ako se Ru može zanemariti da li kolo sa slike 1.8a može da se zamjeni sa kolom sa slike 1.8b?

Diskutirati zadatak.

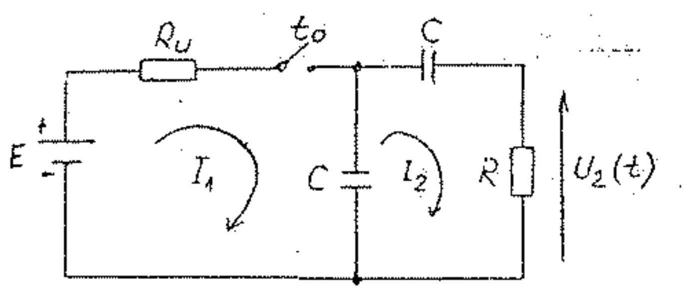


Sl.1.8a



Sl.1.8b

Rješenje:



$$E = I_1 Rn + \frac{1}{c}\int I_1 dt - \frac{1}{c}\int I_2\, dt$$

$$0 = -\frac{1}{C}\; I_1 dt + I_2 . R + \frac{1}{C}\int I_2 dt + \frac{1}{C}\int I_2 dt$$

$$\left.\begin{aligned} E &= I_1 Rn + \frac{1}{c}\int I_1 dt - \frac{1}{c}\int I_2 dt \\ 0 &= -\frac{1}{c}\int I_1 dt + I_2 R + \frac{2}{c}\int I_2\, dt \end{aligned}\right\} \text{diferenciramo}$$

1. $$0 = \frac{di_1}{dt} . Rn + \frac{1}{c} i_1 - \frac{1}{c} i_2$$

2. $$0 = -\frac{1}{c} i_1 + \frac{di_2}{dt} . R + \frac{2i_2}{c}$$

Iz druge jednadžbe:

$$i_1 = RC . \frac{di_2}{dt} + 2i_2 \text{ uvrstimo u prvu jednadžbu}$$

$$0 = \left(RC . \frac{di^2_2}{dt^2} + \frac{2di_2}{dt}\right) . Rn + \frac{1}{c}\left(RC \frac{di_2}{dt} + 2i_2\right)$$

$$0 = RnRC \frac{di^2_2}{dt^2} + \frac{di_2}{dt}\left(2Rn + R\right) + \frac{i_2}{c} \quad / .C$$

$$RnRC^2 . \frac{di^2_2}{dt^2} + C\left(2Rn+R\right) . \frac{di_2}{dt} + i_2 = 0$$

$$\frac{di^2_2}{dt^2} + \frac{2Rn+R}{RnRC} . \frac{di_2}{dt} + \frac{i_2}{RnRC^2} = 0$$

$$N = \frac{2Rn+R}{RnRC}; \quad M^2 = \frac{1}{RnRC^2}$$

$$\frac{di^2_2}{dt^2} + N \frac{di_2}{dt} + i_2 M^2 = 0$$

Karakteristična jednadžba :

$$r^2 + N.r + M^2 = 0$$

$$r_{12} = -\frac{N}{2} \pm \sqrt{\frac{N^2}{4} - M^2} = -\frac{N}{2} \pm \sqrt{\frac{N^2-4M^2}{4}} =$$

$$= \frac{-N \pm \sqrt{N^2-4M^2}}{2}$$

$$i_2(t) = A.1^{r_1 t} + B.1^{r_2 t}$$

$$i_1(t) = RC \cdot \frac{di_2}{dt} + 2i_2$$

$$i_1(t) = RC\left[A.r_1 1^{r_1 t} + Br_2.1^{r_2 t}\right] + 2A.1^{t_1 t} + 2B.1^{r_2 t}$$

$$i_1(t) = ARC.r_1 1^{r_1 t} + BRC.r_2.1^{r_2 t} + 2A.1^{r_1 t} + 2B.1^{r_2 t}$$

Za $t = 0$

$$i_2(0) = 0; \quad i_1(0) = \frac{E}{Rn}$$

$$0 = A + B \qquad A = -B$$

$$\frac{E}{Rn} = ARC\, r_1 + BRC\, r_2 + 2A + 2B$$

$$\frac{E}{Rn} = A\left(RC\, r_1 - RC\, r_2\right)$$

$$A = \frac{E}{Rn\left(RCr_1 - RC\, r_2\right)} \; ; \qquad B = -\frac{E}{Rn\left(RC\, r_1 - RCr_2\right)}$$

$$i_2(t) = A.1^{r_1 t} + B1^{r_2 t}$$

$$i_2(t) = \frac{E}{Rn\ RCr_1-RCr_2} \cdot 1^{r_1 t} - \frac{E}{Rn\ RCr_1-RC\ r_2} \cdot 1^{r_2 t}$$

Pošto je

$$r_1 = -\frac{N}{2} + \sqrt{\frac{N^2-4M^2}{4}} = -\frac{N}{2} + \frac{\sqrt{N^2-4M^2}}{2}$$

$$r_1 = -\frac{2Rn+R}{2RnRC} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{4Rn^2+4RnR+R^2}{Rn^2R^2C^2} - \frac{4}{RnRC^2}} =$$

$$r_1 = -\frac{2Rn+R}{2RnRC} + \frac{\sqrt{4Rn^2+R^2}}{2RnRC} = -\frac{2Rn\ R + \sqrt{4Rn^2+R^2}}{2RnRC}$$

$$r_2 = -\frac{2Rn+R}{2Rn\ RC} - \frac{\sqrt{4Rn^2+R^2}}{2RnRC} = \frac{-2Rn-R-\sqrt{4Rn^2+R^2}}{2RnRC}$$

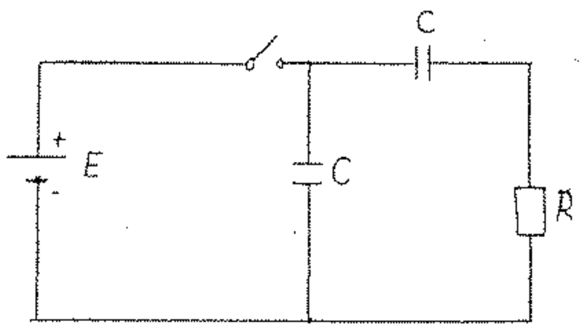
$$i_2(t) = \frac{E}{Rn(RCr_1-RCr_2)} \cdot \left(1^{r_1 t} - 1^{r_2 t}\right) =$$

$$= \frac{E}{\sqrt{4Rn^2+R}} \cdot \left(1\ \frac{-2Rn-R+\sqrt{4Rn^2+R^2}}{2RnRC} - 1\ \frac{-2Rn-R-\sqrt{4Rn^2+R^2}}{2RnRC}\right.$$

pa se napon na otporu R mijenja po zakonu:

$$U_2(t) = \frac{-E\ .\ R}{\sqrt{4Rn^2+R}} \cdot \left(1^{\frac{-2Rn-R+\sqrt{4Rn^2+R^2}}{2RnRC}} - 1^{\frac{2Rn-R-\sqrt{4Rn^2+R^2}}{2RnRC}}\right)$$

U slučaju da se Rn može zanemariti imamo slijedeću mrežu



Nepostrojanje unutarnjeg otpora ukazuje na činjenicu da je izvor E idealan izvor.

U trenutku t = O kondenzator C će se nabiti na napon E. RC mreže na koju je u trenutku t_o doveden napon E nalazi se na osnovu:

$$U(t)=U(\infty)-\left[U(\infty)-U(0)\right].1^{-t/\tau}$$

$$U(\infty)=0 \quad U(0)=E$$

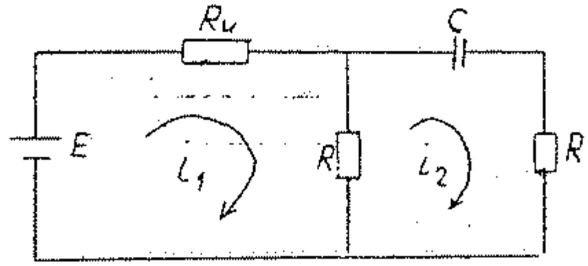
$$U(t)=E\ .\ 1^{-t/\tau}$$ gdje je

$$\tau = RC$$

Dakle zakon promjene napona na R je:

$$U(t)=E.1^{-t/RC}$$

Kolo b/



$$E = i_1(Rn+R)-i_2.R \longrightarrow i_1 = \frac{E}{Rn+R} + \frac{i_2 R}{Rn+R}$$

$$0 = 2i_2R + \frac{1}{C}\int i_2dt-i_1R$$

$$0 = 2i_2R + \frac{1}{C}\int i_2dt - \frac{E}{Rn+R}.R \quad \frac{-i_2R^2}{Rn+R}$$ diferencirano jednadžbe

$$\frac{di_2}{dt}\underbrace{\left(\frac{2R\ Rn+R^2}{Rn + R}\right)}_{K} + \frac{1}{C}\ i_2 = 0$$

$$\frac{di_2}{dt} = -\frac{i_2}{KC}$$

$$\ln i_2 = -\frac{t}{KC} + \ln A$$

$$\ln\frac{i_2}{A} = -t$$

$$i_2(t)= A.1^{-t/KC}$$

Iz početnih uvjeta za $t = 0$ $i_2(0) = \frac{E}{R + 2Rn}$

te je:

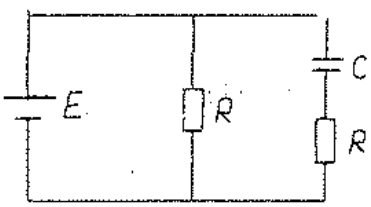
$$\frac{E}{R + 2Rn} = A$$

$$i_2(t) = \frac{E}{2Rn+ R}.1^{-\frac{t}{\frac{2RnR+R^2.C}{R+Rn}}}$$

Zakon promjene napona na otporu je:

$$U(t) = \frac{E.R}{R + Rln} \cdot 1^{-\dfrac{t}{\dfrac{2Rn\,R + R^2}{R + Rn} \cdot C}}$$

U slučaju da je Rn = O imamo slijedeću mrežu:



$$U_{iz}(t) = U(\infty) - \left[U(\infty) - U(0)\right].1^{-t/\tau}$$

$$U(\infty) = 0$$

$U(0) = E$ a $\tau = C.R$ te je

$$U_{iz}(t) = E.1^{-\frac{t}{\tau}} = E.1^{-\frac{t}{RC}}$$

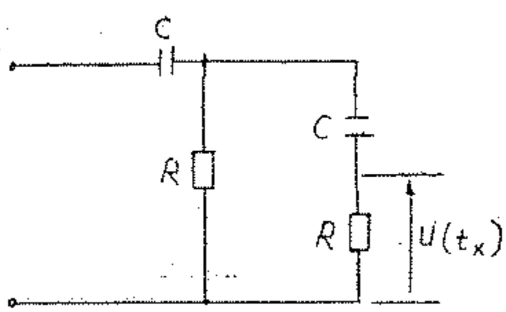
Vidimo da se kolo sa slike 1.8a može zamjeniti kolom sa slike 1.8b u slučaju Rn= O.

Da bi se kolo sa slike 1.8.a moglo zamijeniti kolom sa slike 1.8.b uz Rn=O, potrebno je da izvor u sl.1.8.a bude zaista idealan izvor, tj. da raspolaže neizmjernom energijom. Na izvor u slici 1.8.b takav zahtjev se ne postavlja.

1.9. Dato je pasivno kolo prema slici 1.9. Naći uz pretpostavku step funkcije na ulazu :

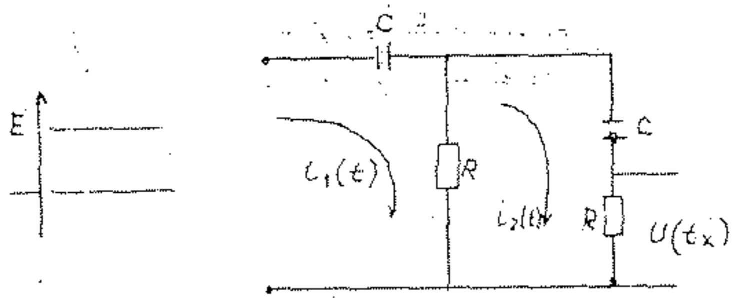
a/ zakon promjene napona na izlazu sklopa U t .

b/ vrijeme t_x za koje $U(t_x) = \frac{E}{2}$



Sl.1.9

Rješenje:



$$E = \frac{1}{C}\int i_1 dt + i_1 R - i_2 R$$

$$0 = i_2 \cdot 2R + \frac{1}{C}\int i_2 dt - i_1 R \quad \Big/ \text{ diferenciramo}$$

$$\left.\begin{aligned} 1/\ 0 &= \frac{i_1}{C} + R\,\frac{di_1}{dt} - R\,\frac{di_2}{dt} \\ 0 &= 2R\,\frac{di_2}{dt} + \frac{i_2}{C} - R\,\frac{di_1}{dt} \end{aligned}\right\} +$$

$$0 = R\,\frac{di_2}{dt} + \frac{i_1}{C} + \frac{i_2}{C}$$

$$\frac{i_1}{C} = -\frac{R di_2}{dt} - \frac{i_2}{C} \quad \Big/ C$$

$$i_1 = -i_2 - RC \cdot \frac{di_2}{dt}$$

Uvrštenjem i_1 u drugu jednadžbu koju množimo sa C dobijamo:

$$2RC\,\frac{di_2}{dt} + i_2 - RC\,\frac{di_1}{dt} = 0$$

$$2RC\,\frac{di_2}{dt} + i_2 - RC\left(-\frac{di_2}{dt} - RC\,\frac{di^2_2}{dt^2}\right) = 0$$

$$R^2C^2 \frac{d^2i_2}{dt^2} + 3RC \frac{di_2}{dt} + i_2 = 0/: R^2C^2$$

$$\frac{d^2i_2}{dt^2} + \frac{3}{RC} \cdot \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{R^2C^2} \cdot i_2 = 0$$

$$\tau = RC$$

$$\frac{d^2i_2}{dt^2} + \frac{3}{\tau} \cdot \frac{di_2}{dt} + \frac{i_2}{\tau^2} = 0$$

Karakteristična jednadžba je:

$$r^2 + \frac{3}{\tau} \cdot r + \frac{1}{\tau^2} = 0$$

$$r_{12} = - \frac{3}{2\tau} \pm \sqrt{\frac{9}{4\tau^2} - \frac{1}{\tau^2}}$$

$$r_1 = \frac{1}{2\tau} \left(-3 + \sqrt{5}\right. ; \qquad r_2 = \frac{1}{2\tau} \left(-3 - \sqrt{5}\right)$$

$$i_2 t = A.1^{\frac{1}{2\tau}(-3+\sqrt{5})t} + B.1^{\frac{1}{2\tau}(-3-\sqrt{5}).t}$$

Početni uvjeti $t = 0$

$$i_2(0) = \frac{E}{R} ; \qquad i_1(0) = \frac{2E}{R}$$

$$i_2 t = A.1^{r_1t} + B.1^{r_2t}$$

$$i_1t = - i_2 - RC \frac{di_2}{dt}$$

$$i_1(t) = -A.e^{r_1 t} - B.e^{r_2 t} - RC(r_1 A.e^{r_1 t} + Br_2 e^{r_2 t})$$

Iz početnih uvjeta

$$\frac{E}{R} = A + B \longrightarrow B = \frac{E}{R} - A$$

$$\frac{2E}{R} = -A - B - RC(r_1 A + Br_2)$$

$$\frac{2E}{R} = -A - \frac{E}{R} + A - RC\left[r_1 A + r_2\left(\frac{E}{R} - A\right)\right]$$

$$\frac{2E}{R} = -\frac{E}{R} - RC\left(r_1 A + r_2 \frac{E}{R} - A\, r_2\right), \text{ uz } RC = \tau$$

$$\frac{2E}{R} = -\frac{E}{R} - \tau r_1 A - \tau r_2 \frac{E}{R} + \tau A\, r_2$$

$$\frac{3E + \tau r_2 E}{R} = A(\tau r_2 - \tau r_1)$$

$$A = \frac{3E + \tau r_2 E}{R(\tau r_2 - \tau r_1)}$$

$$B = \frac{E}{R} - A = \frac{E}{R} - \frac{3E + \tau r_2 E}{R\tau(r_2 - r_1)}$$

$$i_2(t) = \frac{3E + \tau r_2 E}{R(\tau r_2 - \tau r_1)} \cdot e^{r_1 t} + \left(\frac{E}{R} - \frac{3E + \tau r_2 E}{R\tau(r_2 - r_1)}\right) \cdot e^{r_2 t}$$

pa je

$$U_R(t) = \frac{3 - \sqrt{5}}{2\sqrt{5}} \cdot E\left(e^{r_2 t} - e^{r_1 t}\right) + E.e^{r_2 t} \text{ što se}$$

može svesti na:

$$\underline{U_R(t) = 1,17\ E.1^{r_2 t} - 0,17.E.1^{r_1 t}}$$

b/ $0,5\ E = 1,17\ E.1^{r_2 t_x} - 0,17\ E.1^{r_1 t_x}$

Razvijamo funkciju $1^{r_2 t_x}$ i $1^{r_1 t_x}$ u Tejlorov red aproksimirajući ga sa prva tri člana:

$$1^{r_1 t_x} = 1 + \frac{r_1 t_x}{1} + \frac{r_1^2 t_x^2}{2}$$

$$1^{r_2 t_x} = 1 + \frac{r_2 t_x}{1} + \frac{r_2^2 t_x^2}{2}$$

$$0,5E = 1,17E\left(1+r_2 t_x + \frac{r_2^2 t_x^2}{2}\right) - 0,17E\left(1+r_1 t_x + \frac{r_1^2 t_x^2}{2}\right)$$

$$0,5E=1,17E+1,17E.r_2 t_x + \frac{1,17E.r_2^2 t_x^2}{2} - 0,17E - 0,17Er_1 t_x - 0,17E\,\frac{r_1^2 t_x^2}{2}$$

$$0,5E=E+t_x\underbrace{\left(1,17r_2-0,17r_1\right)}_{B}E+t_x 2\left(\frac{1,17}{2}\,r_2^2 - \frac{0,17}{2}\,r_1^2\right)E \,/\, E$$

$$At_x^2+Bt_x + 0,5 = 0$$

$$A = \frac{1,17}{2}\left(\frac{-3\ 2,24}{2\tau}\right)^2 - \frac{0,17}{2}\left(\frac{-3+2,24}{2\tau}\right)^2$$

$$A = \frac{1,17}{2}\left(\frac{-2,62}{\tau}\right)^2 - \frac{0,17}{2}\left(\frac{-0,38}{\tau}\right)^2$$

$$A = \frac{0,585}{\tau^2} \cdot 6,98 - \frac{0,085}{\tau^2} \cdot 0,144$$

$$A = \frac{4,07}{\tau^2} - \frac{0,0123}{\tau^2} = \frac{4,058}{\tau^2}$$

$$B = 1,17\ r_2 - 0,17\ r_1$$

$$B = 1,17\left(\frac{-2,62}{\tau}\right) - 0,17\left(\frac{-0,38}{\tau}\right)$$

$$B = -\frac{3}{\tau}$$

Trebamo rješiti jednadžbu:

$$\frac{4t_x^2}{\tau^2} - \frac{3}{\tau} \cdot t_x + 0,5 = 0 \quad / \cdot 4/\tau^2$$

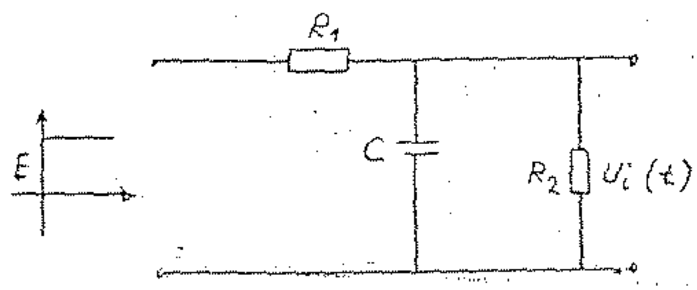
$$t_x^2 - \frac{3}{4}\tau t_x + \frac{\tau^2}{8} = 0$$

$$t_{x12} = \frac{3\tau}{8} \pm \sqrt{\frac{9\tau^2}{64} - \frac{1\tau}{8}} = \frac{3\tau}{8} \pm \sqrt{\frac{\tau^2}{64}} =$$

$$= \frac{3\tau}{8} \pm \frac{\tau}{8}$$

Za $t_x = 0,25\,\tau$ napon $U(t_x) = \frac{E}{2}$.

1.10. Dato je kolo na slici 1.10a



Sl. 1.10a

Treba pronaći zakon promjene izlaznog napona $U_{i\,t}$ kada na ulaz djeluje step funkcija amplitude E=10V u slučajevima:

a/ $R_1 = R_2 = 10$ K, $C = 5\,\mu F$

b/ Kada R_1 i C zamjene mjesta, a zadržavaju vrijednosti kao u tački a/.

Rješenje:

$$U_{iz}(t) = U_{iz}(\infty) - \left[U_{iz}(\infty) - U_{iz}(0)\right].1^{-t/\tau}$$

Početni i zonačni uvjeti za ovaj slučaj:

$$t = 0 \quad U_{iz}(0) = 0$$

$$t = \infty \quad U_{iz}(\infty) = \frac{E}{R_1+R_2}.R_2 \; ; \qquad \tau = \frac{R_1.R_2}{R_1+R_2}.C$$

$$U_{iz}(t) = \frac{E.R_2}{R_1+R_2} - \left[\frac{E.R_2}{R_1+R_2} - 0\right].1^{-t/\tau}$$

$$U_{iz}(t) = \frac{E.R_2}{R_1+R_2}\left(1 - 1^{-t/\tau}\right)$$

a/ $$U_{iz}(t) = \frac{10.10.10^3}{20.10^3}\left[1-1^{-t/\tau}\right] \; ; \quad \tau = \frac{R_1.R_2}{R_1+R_2}.C$$

$$\tau = 25 \text{ msek.}$$

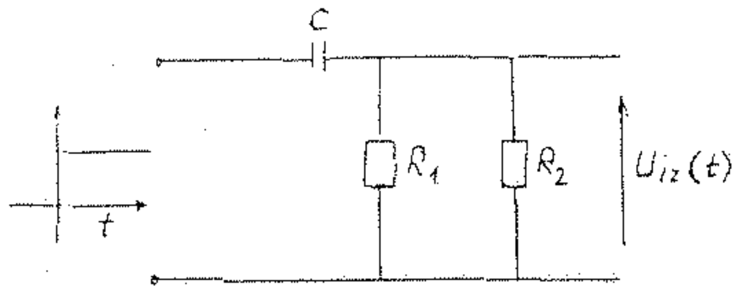
$$U_{iz}(t) = 5\left(1-1^{-t/25.10^{-3}}\right)$$

b/ $$t = 0 \quad U_{iz}(0) = E$$

$$t = \infty \quad U_{iz}(\infty) = 0$$

$$U_{iz}(t) = 0-(0-E).1^{-t/\tau}$$

$$U_{iz}(t) = E.1^{-t/\tau} = 10.1^{-t/25.10^{-3}}$$

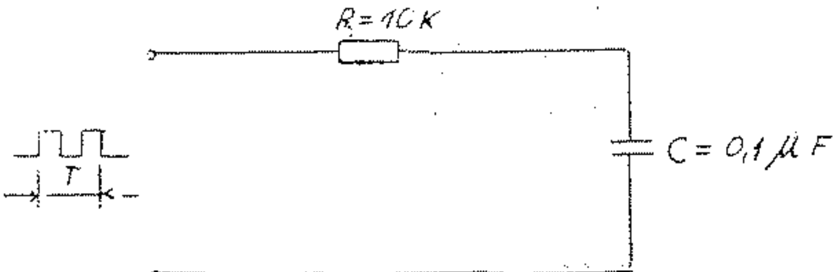


Sl.10 b

1.11 Na sklop prikazan na slici 1.11 narinut je simetričan pravokutni napon perioda ponavljanja T = 20 m sek.

Da li se ovakvim sklopom može dobiti približna derivacija ulaznog signala?

Ukoliko može, sa koga elementa treba uzeti izlazni signal, a ukoliko ne može, objasniti zbog čega ne može



Sl.1.11

Da bi se sklop mogao koristiti kao sklop za deriviranje potrebno je da vremenska konstanta sklopa bude mnogo manja od trajanja ulaznog signala.

$$\tau = R.C = 10.10^{3}.0,1.10^{-6} = 10^{-3} = 1 \text{msek.}$$

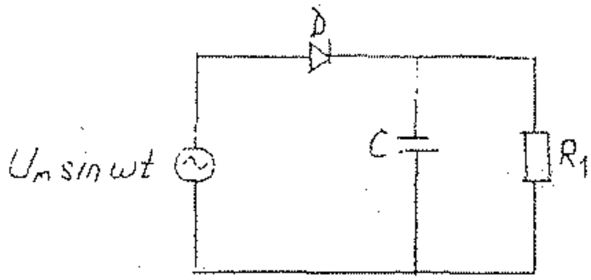
$$\frac{T}{\tau} = 20$$

Dakle na izlazu sklopa je moguće dobiti približnu derivaciju ulaznog signala.

Izlazni signal u tom slučaju se uzima sa otpora R.

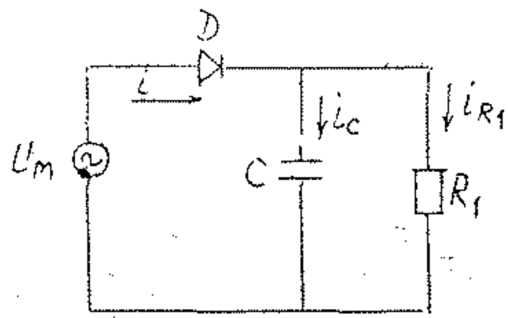
1.12. RC kolo na slici 1.12 vezano je na izvor sinusoidalnog napona amplitude 10 V. Nacrtati realni oblik i izračunati koliko iznosi minimalna vrijednost napona na otporu R_1 u stacionarnom stanju, te u kom trenutku se javlja. Zadano:

$U_m = 10$ V; $f = 50$ Hz; $R_1 = 4$ KΩ; $C = 2,5\,\mu$F.



Sl.1.12.

Rješenje:



Kondenzator C se nabija sve dok je ulazni signal veći od napona na kondenzatoru uz zanemaren pad napona na diodi.

Iznos napona na kondenzatoru pri kome se dioda upravo koči odredjuje se iz uslova da je suma struja i_R i i_C jednaka nuli.

Počev od toga trenutka kondenzator C se prazni po eksponencijalnom zakonu sa vremenskom konstantom R_1C. Minimalna vrijednost napona na kondenzatoru odnosno na otporu R_1 i trenutak u kome se ona javlja odredjuje se iz uslova da napon na kondenzatoru bude jednak trenutnoj vrijednosti ulaznog sinusnog signala.

Za vrijeme pozitivne poluperiode diode D je propusno polarizirana te zanemarujući pad napona na diodi, kroz diodu teče struja:

$$i = i_R + i_C = U_m \left(\frac{1}{R} \sin wt + C w \cos wt \right)$$

Stavljajući i = 0 i označavajući

$$wt_1 = \alpha_1 \text{ slijedi:}$$

gdje t = 0 označava trenutak pojave pozitivne poluperiode prema slici 1.13.

$$0 = U_m \left(\frac{\sin wt}{R} + \omega C \cos \omega t \right) : U_m$$

$$-\omega RC = \operatorname{tg} \alpha_1$$

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \left(- \omega C R_1 \right)$$

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \left(- \frac{2\pi}{T} . C R_1 \right)$$

$$T = \frac{1}{50} = 20 \text{ msek.}$$

$$\tau = R_1 C = 4.10^3 . 2,5 . 10^{-6} = 10 \text{ msek}$$

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{-2\pi}{20 \text{msek}} . 10 \text{msek}$$

$\alpha_1 = 108^o$, odavde je trenutak kočenja diode odredjen sa:

$$t_1 = \frac{\alpha_1}{\omega} = \frac{108^o}{\frac{360^o}{20 \text{msek}}} = 6 \text{ msek}$$

Napon na otporu R_1, U_{R1}, od koga se kondenzator počinje prazniti po eksponencijalnom zakonu iznosi:

$$U_{R_1} = U_n \sin\omega t,$$

$$U_{R_1} = 10 \sin \frac{2\pi}{T} \cdot 6\,msek$$

$$U_{R_1} = 10 \sin \frac{12\pi}{20}$$

$$U_{R_1} = 10 \sin 72^\circ = 9{,}50 \text{ V}$$

Traženi minimalni napon odredićemo grafički. U trenutku kada je dioda zakočena kondenzator će se prazniti preko otpora R_1 po zakonu

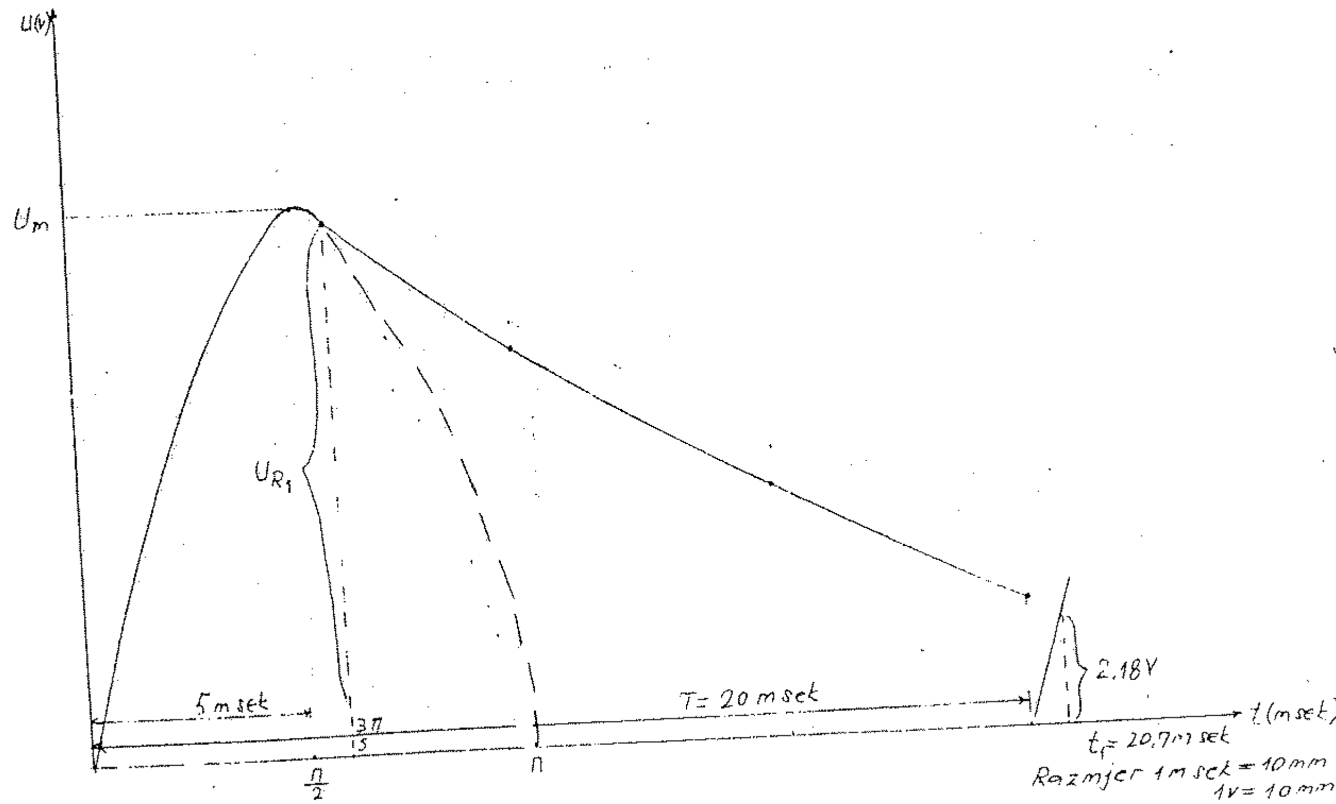
$$U_{pr} = U_{R_1} \cdot 1^{-\left(\frac{t - 6\ msek}{\tau}\right)}$$

Minimalni napon će biti u trenutku izjednačenja $U_{pr} = U_n \sin\omega t$

Iz dijagrama na slici 1.13. dobivamo $U_{min} = 2{,}18$ V.

Ovaj napon će se pojavljivati u trenucima

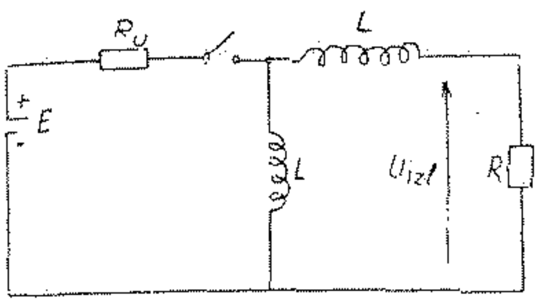
$$\left(N \cdot 20 \text{ ms} + 0{,}7 \text{ ms}\right) \quad N = 1,2,3,\ldots n.$$



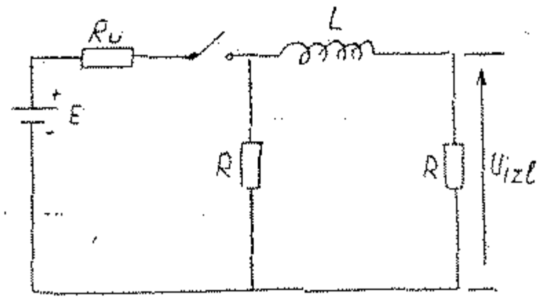
u(V)
Um
UR1
5 m sek
T= 20 m sek
2,18V
t (m sek)
3π/15
π/2
π
tr= 20,7 m sek
Razmjer 1 m sek = 10 mm
1V= 10 mm

sl. 1.13

1.13. Data su dva LR kola prema slici 1.14a i sl. 1.14b. Naći zakone promjene napona na izlazima ova dva pasivna kola. Ako se unutarnji otpor generatora može zanemariti

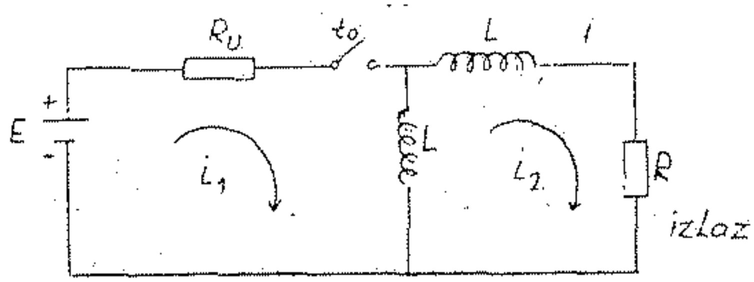


Sl.1.14a



Sl.1.14b

Rješenje:



$$E = Rn.i_1 + L \cdot \frac{di_1}{dt} - L \frac{di_2}{dt}$$

$$0 = - L \cdot \frac{di_1}{dt} + 2 L \frac{di_2}{dt} + Ri_2$$

$$\frac{E}{S} = Rn.i_1(S) + LS\, i_1(S) - L\, Si_2\,(S)$$

$$0 = - LS\, i_1(S) + 2\, LS\, i_2(S) + Ri_2(S)$$

Iz druge jednadžbe:

$$i_1(S) = i_2(S)\left[\frac{2LS + R}{LS}\right]$$

$$\frac{E}{S} = i_2(S)\left\{Rn\left(\frac{2LS+R}{LS}\right) + LS+R\right\}$$

$$i_2(S) = \frac{E}{S\left[\frac{2LRnS+RRn+L^2S^2+LRS}{LS}\right]}$$

$$I_2(S) = \frac{E}{S^2+S\underbrace{\frac{2Rn + R}{L}}_{a} + \underbrace{\frac{R\ Rn}{L^2}}_{b^2}} \cdot \frac{1}{L}$$

$$i_2(S) = \frac{E}{L} \cdot \frac{1}{S^2 + aS + b^2}$$

Primjenom Heavisideova razvoja:

$$\mathcal{L}^{-1}\left\{F(S)\right\} = \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{p(S)}{q(S)}\right\} = \sum_{v=1}^{\nu} \frac{p(S_v)}{q'(S_v)} \cdot e^{S_v t}$$

$$S^2 + aS + b = 0$$

$$S_{12} = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - b^2} = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2-4b^2}{4}} =$$

$$= \frac{-a \pm \sqrt{a^2-4b^2}}{2}$$

$$S_{12} = -\frac{2Rn+R}{2L} \pm \frac{\sqrt{(2Rn+R)^2-4\ R\ Rn}}{2L}$$

$$S_1 = -\frac{2Rn+R}{2L} + \frac{\sqrt{(2Rn+R)^2-4\ R\ Rn}}{2L}$$

$$S_2 = -\frac{2Rn+R}{2L} - \frac{\sqrt{(2Rn+R)^2\ -4\ R\ Rn}}{2L}$$

$$\mathcal{Q}(Sv) = S^2 + aS + b^2$$

$$\mathcal{Q}(Sv) = 2S + a$$

$$\mathcal{Q}'(S_1) = 2\left[-\left(\frac{2Rn+R}{2L}\right) + \frac{\sqrt{(2Rn+R)^2 - 4RRn}}{2L}\right] + \frac{2Rn+R}{L}$$

$$\mathcal{Q}'(S_1) = -\frac{(2Rn+R)}{L} + \frac{\sqrt{(2Rn+R)^2-4RRn}}{L} + \frac{2Rn+\ R}{L}$$

$$\mathcal{Q}'(S_1) = \frac{\sqrt{(2Rn+R)^2\ -4R\ Rn}}{L}$$

$$\mathcal{Q}'(S_2) = 2\left[-\frac{(2Rn+R)}{2L} - \frac{\sqrt{2Rn+R\ ^2-4R\ Rn}}{2L}\right] + \frac{2Rn\ +\ R}{L}$$

$$\mathcal{Q}'(S_2) = -\frac{2Rn\ +\ R}{L} - \frac{\sqrt{2Rn+R\ ^2-4R\ Rn}}{L} + \frac{2Rn\ +\ R}{L}$$

$$\mathcal{Q}'(S_2) = -\frac{\sqrt{2\ Rn\ +\ R\ ^2\ -\ 4R\ Rn}}{L}$$

$$i_2(t) = \frac{E}{L}\left[\frac{1}{\frac{\sqrt{(2Rn+R)^2-4R\ Rn}}{L}} \cdot e^{s_1 t} \quad \frac{e^{s_1 t}}{\frac{\sqrt{(2Rn+R)^2-4R\ Rn}}{L}}\right]$$

$$i_2(t) = \frac{E}{\sqrt{2Rn+R\ ^2-4R\ Rn}}\left[1^{-\left(\frac{2Rn+R}{2L}\right)+\frac{(2Rn+R)^2-4R\ Rn}{2L}\ t}\right.$$

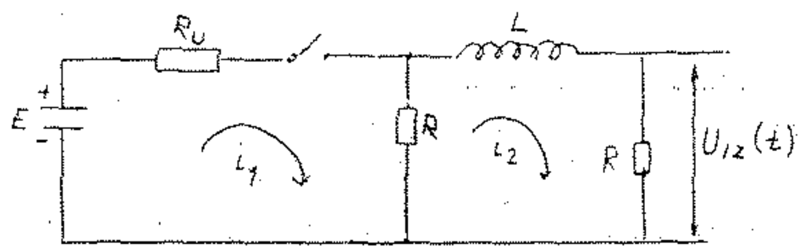
$$i_2(t) = \frac{E}{\sqrt{(2Rn+R)^2-4R\ Rn}}\cdot\left[e^{\left[-\left(\frac{2Rn+R}{2L}\right)+\frac{\sqrt{(2Rn+R)^2-4RRn}}{2L}\right].t}-\right.$$

$$\left.-\ e^{\left[-\frac{(2Rn+R)}{2L}-\frac{\sqrt{(2Rn+R)^2-4RRn}}{2L}\right].t}\right]$$

$$U_{iz}(t) = i_2(t)\ .R$$

$$U_{iz}(t) = \frac{E.R}{\sqrt{4Rn^2+R^2}}\left[e^{\left[-\left(\frac{2Rn+R}{2L}\right)+\frac{\sqrt{4Rn^2+R^2}}{2L}\right].t}-\right.$$

$$\left.-\ e^{\left[-\left(\frac{2Rn+R}{2L}\right)-\frac{\sqrt{4Rn^2+R^2}}{2L}\right].t}\right]$$



$$U_{iz}(t) = U_{iz}(\infty) - \left[U_{iz}(\infty) - U_{iz}(0)\right].e^{-t/\tau}$$

Za t = 0

$$U_{iz}(0) = 0 \quad U_{iz}(\infty) = \frac{E.R}{2Rn+R} \quad ; \quad \tau = \frac{L}{Rnk} = \frac{L}{\frac{R\ Rn}{R+Rn}+R}$$

$$U_{iz}(t) = \frac{E.R}{2Rn+R} - \frac{E.R}{2Rn+R}\ .e^{-t/\tau}$$

$$U_{iz}(t) = \frac{E.R}{2Rn+R}\left[1-e^{-t/\tau}\right]$$

C. Promatramo sada slučaj kada su unutarnji otpori generatora u mreži pod a i pod b zanemarivi:

U slučaju pod a uz unutarnji otpor Rn imamo:

$$U_2(t)=\frac{E.R}{\sqrt{4Rn^2+R^2}}\left[e^{\left[-\left(\frac{2R_v+R}{2L}\right)+\frac{\sqrt{4R_v^2+R^2}}{2L}\right]\cdot t}-e^{\left[-\left(\frac{2R_v+R}{2L}\right)-\frac{\sqrt{4R_v^2+R^2}}{2L}\right]\cdot t}\right]$$

Rn = 0 imamo:

$$U_2(t)=E\left[1-1^{-\frac{R}{L}.t}\right]=E\left[1-1^{-t/\tau}\right]$$ gdje je

$$\tau=\frac{L}{R}$$

U slučaju pod b) uz unutarnji otpor Rn imamo:

$$U_2(t)=\frac{E.R}{2Rn+R}\left[1-1^{-t/\tau}\right]$$ gdje je $$\tau=\frac{L}{\frac{R\ Rn}{R+Rn}+R}$$

Uz Rn = 0

$$U_2(t)=E\left[1-1^{-t/\tau}\right]$$ gdje je $$\tau=\frac{L}{R}.$$

Dakle vidimo da je zakon promjene napona U_2 t za oba kruga isti, znači kolo sa slike a može se zamjeniti sa kolom na slici b uz zanemaren Rn = 0.

Napomena:

U slučaju kola a kada je zanemariv unutarnji otpor izvora nakon završenog prelaznog procesa induktivitet L bi predstavljao kratki spoj za izvor E.

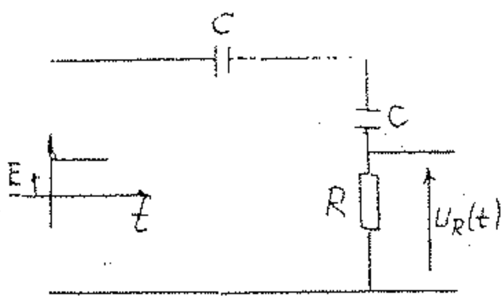
U slučaju kola b) uz zanemariv unutarnji otpor izvora nakon završenog prelaznog procesa izvor E nije kratko spojen nego se strujni krug zatvara preko paralelne kombinacije otpora R, te ne preopterećuje izvor E.

14. Dato je RC i RL kolo prema slici 1.15a i i 1.15 b. Odrediti promjenu napona u funkciji vremena kada se u trenutku t = 0 na njih dovede step napona:

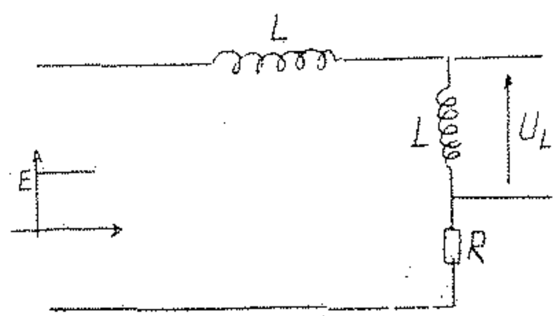
a/ Na otporu R_1 CR kruga

b/ Na induktivitetu L, LR kruga

c/ Trenutak u kome je napona pod a jednak naponu pod b .



Sl.1.15a



Sl.1.15b

a/ U Laplasovom području II Kirhofov zakon za dati krug na sl. 1.15 a je:

$$i_1(S)\left(\frac{2}{SC} + R\right) = \frac{E}{S}$$

$$i(S) = \frac{E}{R}\,\frac{1}{\left(s + \frac{2}{RC}\right)} \rightarrow \text{u vremenskom domenu:}$$

$$i(t) = \frac{E}{R} \cdot 1^{-t/\tau_1} \quad \text{gdje je} \quad \tau_1 = \frac{RC}{2}$$

Napon $U_R(t) = i(t).R = E.1^{-t/\tau_1}$

b/ U Laplasovom području II Kirhofov zakon za krug na sl. 1.15 b je:

$$i(S)(2LS + R) = \frac{E}{S}$$

$$i(S) = \frac{E}{2L} \cdot \frac{1}{S\left(S + \frac{R}{2L}\right)}$$ čemu u vremenskom

domenu odgovara:

$$i(t) = \frac{E}{2L} \int_0^t 1^{-t/\tau_2} dt \quad \text{gdje je} \quad \tau_2 = \frac{2L}{R}$$

$$i(t) = \frac{E}{2L} \int_0^t 1^{-\frac{t}{\tau_2}} dt = -\frac{E}{2L} \tau_2 \left(1^{-t/\tau_2}\right) \Big|_0^t =$$

$$= \frac{E}{R} \left(1 - 1^{-\frac{t}{\tau_2}}\right)$$

$$i(t) = \frac{E}{R} \left(1 - 1^{-\frac{t}{\tau_2}}\right)$$

Pošto je

$$U_L(t) = L\,\frac{di(t)}{dt} = \frac{L \cdot E}{R\,\frac{2L}{R}} \cdot 1^{-t/\tau_2}$$

$$U_L(t) = \frac{E}{2} \cdot 1^{-t/\tau_2}$$

c)

za $t = \infty$ i

$$U_R(ti) = U_L(ti) \quad E \cdot 1^{-ti/\tau_1} = \frac{E}{2} \cdot 1^{-\frac{ti}{\tau_2}}$$

$$-\frac{ti}{\tau_1} = -\frac{ti}{\tau_2} - \ln 2$$

$$ti \; \frac{1}{\tau_2} - \frac{1}{\tau_1} = -\ln 2$$

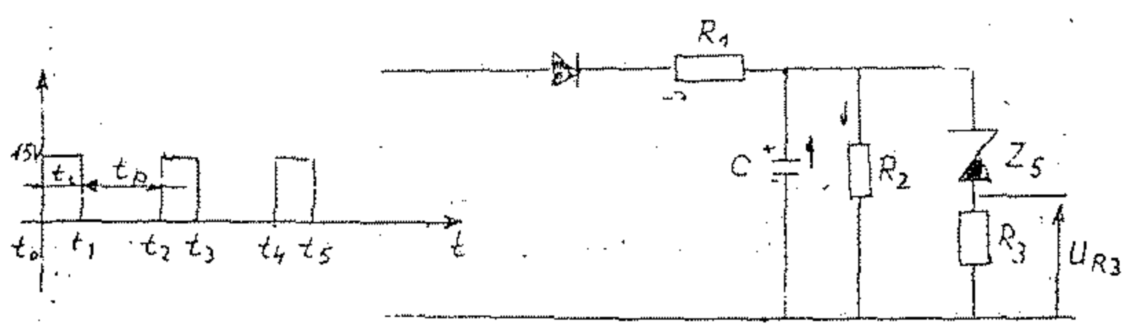
$$ti = \frac{\ln 2}{\frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2}} \quad \text{zamjenjujući} \quad {}_1 \; {}^{i} \; {}_2$$

$$ti = \frac{2RLC \ln 2}{4L - R^2 C}$$

Da bi došlo do izjednačenja napona mora biti ispunjen uvjet da je $4L - R^2C > 0$

1.15. Na ulaz sklopa prema slici 1.16 dovodi se niz pravokutnih impulsa amplitude 15 V, trajanja 5 msek i perioda ponavljanja 10 msek.

Nakon koliko ulaznih impulsa će se na R_3 pojaviti bilo kakav naponski signal?



Sl.1.16

Zadano: $R_1 = 10$ K; $R_2 = 20$ K, $R_3 = 200$ K, $C = 5\,\mu F$

$U_z = 5$ V

Rješenje:

Pri nailasku prvog impulsa u trenutku $t = t_0$ kondenzator C se nabija po zakonu:

$$U_C(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E \left(1 - e^{-t/\tau_1}\right) \text{ gdje je}$$

$$\tau_1 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdot C$$

Promjenu napona datu ovim zakonom imamo do trenutka t_1 kada prestaje impuls i počinje pražnjenje RC mreže.

Dakle pri kraju prvog impulsa:

$$U_C(t_1) = \frac{R_2 E}{R_1 + R_2} \left(1 - e^{-t_1/\tau_1}\right)$$

Do nailaska drugog impulsa napon će se mjenjati po zakonu:

$$U_C(t) = U_C(t_1) \cdot e^{-\frac{(t-t_1)}{\tau_2}} \qquad \text{gdje je} \quad \tau_2 = R_2 C$$

$$U_C(t_2) = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2} \left(1 - e^{\frac{-t_1}{\tau_1}}\right) \cdot e^{-\left(\frac{t_2 - t_1}{\tau_2}\right)}$$

$$U_C(t_3) = U_C(t_2) + \left[E \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_C(t_2)\right] \left(1 - e^{-t/\tau_1}\right)$$

$$U_C(t_3) = U_C(t_2) + \left[E \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_C(t_2)\right] \left(1 - e^{-\frac{t_3 - t_2}{\tau_1}}\right) =$$

$$= \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2} \left(1 - e^{\frac{-t_3 - t_2}{\tau_1}}\right) + U_C(t_2) \, 1^{\frac{-t_3 - t_2}{\tau_1}}$$

$$U_C(t_4) = U_C(t_3).1^{-\frac{t_4-t_3}{\tau_2}} =$$

$$= \left[\frac{E\,R_2}{R_1 + R_2}\left(1-e^{-\frac{t_3-t_2}{\tau_1}}\right) + U_C(t_2).1^{\frac{-t_3-t_2}{\tau_1}}\right].1^{\frac{-t_4-t_3}{\tau_2}}$$

$$U_C(t_5) = U_C(t_4) + \left[E\frac{R_2}{R_1+R_2} - U_C(t_4)\right]\left(1-e^{-\frac{t_5-t_4}{\tau_1}}\right) =$$

$$= \frac{E.R_2}{R_1+R_2}\left(1-e^{\frac{-t_3-t_2}{\tau_1}}\right) + U_C(t_4).1^{-\frac{t_5-t_4}{\tau_1}}$$

Označavajući $t_k - t_j$. sa ti odnosno t_p

$$U_C(t_1) = E\frac{R_2}{R_1+R_2}\left(1-e^{-ti/\tau_1}\right)$$

$$U_C(t_2) = \frac{E.R_2}{R_1+R_2}\left(1-e^{-ti/\tau_1}\right)e^{-tp/\tau_2}$$

$$U_C(t_3) = \frac{E.R_2}{R_1+R_2}\left(1-e^{-ti/\tau_1} + U_C(t_2).1^{-ti/\tau_1}\right.$$

$$U_C(t_4) = \left[\frac{E.R_2}{R_1+R_2}\left(1-e^{-ti/\tau_1}\right) + U_C(t_2).1^{-ti/\tau_1}\right].1^{-tp/\tau_2}$$

$$U_C(t_5) = \frac{E.R_2}{R_1+R_2}\left(1-e^{-ti/\tau_1}\right) + U_C(t_4).1^{-ti/\tau_1} \quad \text{odnosno}$$

nakon uvrštenja $U_C(t_4)$

$$U_C(t_5)=\frac{E\cdot R_2}{R_1+R_2}\left(1-1^{-ti/\tau_1}\right)+$$

$$+\frac{E\cdot R_2}{R_1+R_2}\left(1-1^{-ti/\tau_1}\right)\left[.1^{-tp/\tau_2}+1^{-tp/\tau_2}.1^{-ti/\tau_1}.1^{-tp/\tau_2}\right]1^{-ti/\tau_1}$$

$$U_C(t_5)=\frac{E.R_2}{R_1+R_2}\left(1-1^{-ti/\tau_1}\right)\left[1+1^{-tp/\tau_2}.1^{-ti/\tau_1}+1^{-\frac{2tp}{\tau_2}}.1^{-2\,ti/\tau_1}\right]$$

Vidi se da je moguće poopćiti dobivene rezultate. Uvodeći oznake:

$$M=\frac{E.R_2}{R_1+R_2}\left(1-1^{\frac{-ti}{\tau_1}}\right)$$

$$S=1^{-ti/\tau_1}\;;\;r=1^{\frac{-tp}{\tau_2}}$$, slijedi da je

za $n = 1$

$U(1) = M$

za $n = 2$ $U(2)= M.(Sr+1)$

za $n = 3$ $U(3)= M\,(S^2r^2+Sr+1)$

pa će općenito vrijediti:

$$U(n)=M\sum_{k=1}^{n}\left(r.S\right)^{k-1}$$ -n je broj ulaznih impulsa

$$\tau_1=\frac{R_2.R_1}{R_2+R_1}.C=\frac{20.10.10^6}{30.10^3}.5.10^{-6}=33{,}3\text{ msek.}$$

$$\tau_2=R_2.C=20.10^3.5.10^{-6}=100\text{ msek.}$$

$$M = \frac{15.20}{30}\left(1-1^{-\frac{5}{33,3}}\right) \approx 10\left(1-\frac{1}{1^{\frac{5}{33,3}}}\right) = 10(0,14)$$

$$M = 1,4\ V$$

$$S = 1^{-ti/\tau_1} = 1^{-\frac{5msek}{33msek}} = 0,86$$

$$r = 1^{-tp/\tau_2} = 1^{\frac{-5msek}{100msek}} = 0,95$$

$$U_n = 1,4 \sum_{k=1}^{n} (0,95.0,86)^{K-1}$$

$$U_n = 1,4 \sum_{k=1}^{n} (0,818)^{k-1}$$

Za 1 impuls $U(1) = 1,4\ V$

Za 2 impuls $U(2) = 1,4(1+0,818) = 1,4.1,818 = 2,54\ V$

Za 3 impuls $U(3) = 1,4(1+0,818+0,663) =$

$= 1,4(2,48) = 3,48\ V$

Za 5 impuls $U(5) = 1,4(1+0,818+0,818^2+0,818^3+0,818^4)$

$U(5) = 1,4(1+0,818+0,67+0,55+0,45)$

$U(5) = 1,4.3,5 = 4,9\ V$

Za 6 impuls

$U(6) = 1,4(3,5 + 0,368)$

$U(6) = 1,4.3,86 = 5,4\ V$

Na otporu R_3 naponski signal će se pojaviti nakon 6 impulsa, pošto će tada napon na kondenzatoru biti veći od $U_z = 5\ V$.

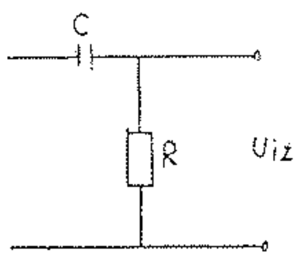
1.16 Na kolo prema sl. 1.17 dovodi se niz pravokutnih impulsa prema sl.1.18, kod kojih je vrijeme uspostavljanja vrlo malo.

1. Nacrtati oblik signala na izlazu pretpostavljajući da je vremenska konstanta kola dovoljno velike te ne nastaju nikakva izobličenja impulsa.

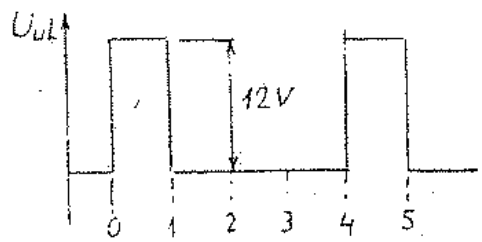
2. U slučaju da je niz impulsa simetričan sa ponavljanjem od 2 msek odrediti:

a/ Širinu impulsa na izlazu u trenutku kada zadnja ivica iznosi svega desetinu amplitude prednje ivice, uzimajući da je vremenska konstanta RC = 0,1 ti, gdje je ti širina impulsa.

b/ Vremensku konstantu kola pri kojoj bi zadnja ivica impulsa bila svega za 10% manja od prednje ivice.



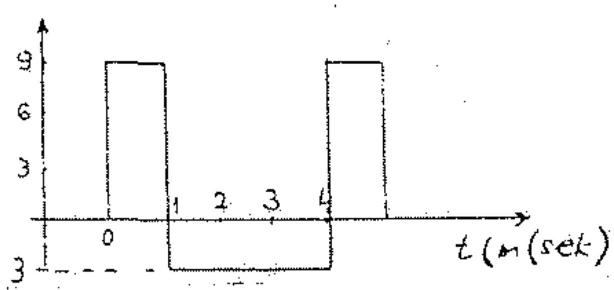
Sl.1.17



Sl.1.18

Rješenje

1. Obzirom da kondenzator ne propušta istosmjernu struju, srednja vrijednost napona na izlazu je nula, što znači da su površine prikazane na dijagramu sl.1.19, u stacionarnom stanju, sa obadvije strane vremenske osi jednake.



Sl.1.19

2. Prema slici 1.20 napon na izlazu je

$$U_2 = U_2 \cdot e^{-\frac{t-to}{RC}}$$

Ako je vremenska konstanta kola mala u poredjenju sa trajanjem impulsa pobudni signal će biti jako deformiran tako da se na izlazu dobiju jednaki pozitivni i negativni impulsi kraćeg trajanja.

a/ Iz izraza $U_2 = U_2 e^{-\frac{t-to}{RC}} = 0{,}1U_2$

nalazimo da će zadnja ivica u trenutku

$$t' - to = RC \ln 0.1 = 0{,}1 \text{ ti } \ln 10 = 0{,}23 \text{ ms}$$

biti svedena na svega 10% veličine prednje ivice. Oblik izlaznog napona je prikazan na sl.1.20 a.

b/ Oblik izlaznog impulsa za ovaj slučaj je malo deformiran Sl.1.20b.

Traćeži procentualno smanjenje zadnje ivice u odnosu na prednju dobija se:

$$\frac{U_2-U_2}{U_2}\ \% = \left(1 - e^{-\frac{t-to}{RC}}\right).100$$

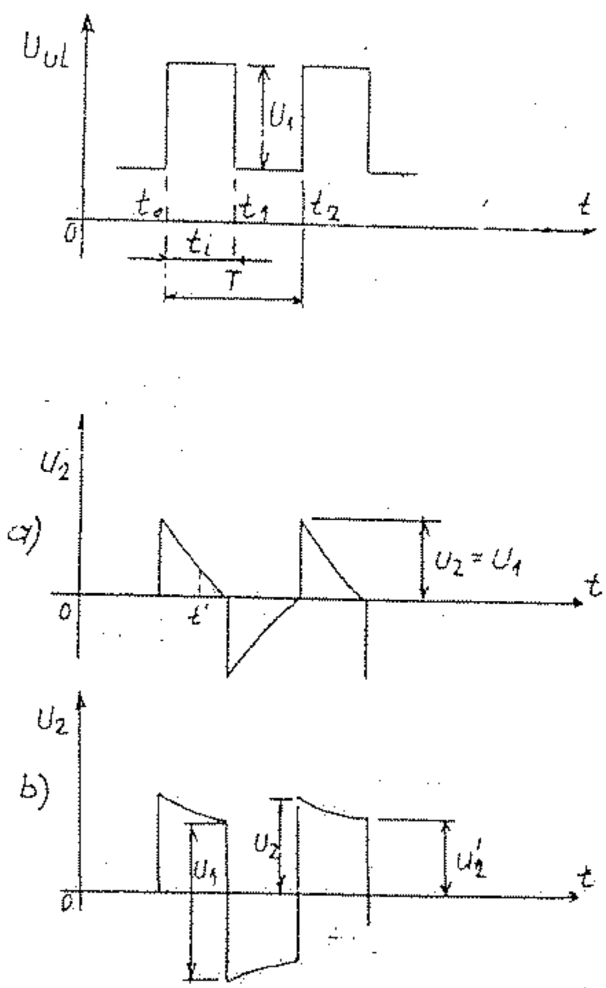
Razvijajući eksponencijalni član u Maklorenov red, pri čemu se dovoljna tačnost postiže već sa prvim članom reda, dobiva se:

$$\frac{U_2-U_2}{U_2}\ \% = \left[1-\left(1-\frac{t-to}{1/RC}+\frac{(t-to)^2}{2/R^2C^2}-\left(\frac{t-to}{3/R^3C^3}\right)^3+\ldots\right)\right].100$$

$$\approx \frac{t - to}{RC} .100$$

U trenutku $t = t_1$ je $t_1 - to = ti$, a $U_2 = U_2$ pa se iz gornjeg izraza nalazi:

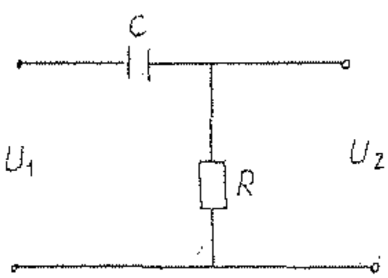
$$RC = \frac{100\ ti}{\frac{U_2 - U_{2\%}}{U_2}} = \frac{100\ .10^{-3}}{10} = 10 \text{ nsek}$$



Sl.1.20

1.17 Na ulaz kola prema slici 1.21 dovodi se trapezni napon amplitude 50 V i frekvencije 50 KHz . Prednja ivica narinutog napona uspostavlja se na vrijednost linearno u toku $2\mu S$, dok se promjena napona na zadnjoj ivici impulsa dešava trenutno.

Odredjujući oblik napona na otporniku R u toku prve poluperiode narinutog napona, izračunati vrijednost kapaciteta C sa kojom će pri R = 100 K Ω vrijednost izlaznog napona na zadnjoj ivici iznositi 9 V.



Sl.1.21

Rješenje:

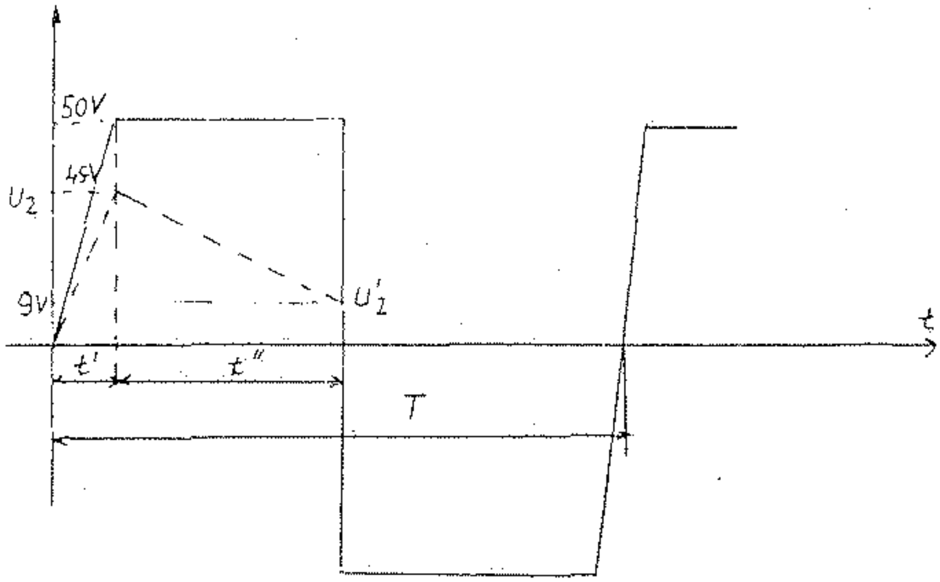
Narinuti napon ima oblik kao na slici 1.22.

U toku porasta narinutog napona U_1 izlazni napon će se dobiti slijedećim razmatranjem

Za $t < t'$ $\quad U_1 = U_1 \dfrac{t}{t'} = R.i + \dfrac{1}{C} \int_0^t i dt$ diferenciramo

$$R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \frac{U_1}{t'}$$ Rješavanjem ove diferencijalne jednadžbe dobivamo i

$$i = \frac{C}{t'} . U_1 \left(1-e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad a$$



Sl.1.22

$$U_2 = R.i = \frac{RC}{t'} U_1 \left(1-1^{-\frac{t}{RC}}\right) \text{za } t \leqslant t'$$

Razvijajući eksponencijalni član u red, uspostavljanje prednje ivice impulsa na izlaznim krajevima može se dati sa:

$$U_2 \cong \frac{RC}{t'} . U_1 \left[1-\left(1-\frac{t}{RC}+\frac{t^2}{2(RC)^2}\right)\right] =$$

$$= U_1' \left(1-\frac{t}{2\ RC}\right)$$

gdje je

$$U_1' = \frac{U_1}{t'} t \quad \text{pobudni napon u intervalu } 0 \leqslant t \leqslant t'$$

U intervalu $t' \leqslant t \leqslant \frac{T}{2}$ napon na izlazu će opadati prema:

$$U_2' = U_2 \cdot e^{-t/RC} \approx U_2\left(1 - \frac{t}{RC}\right)$$

gdje je

U_2 najveća vrijednost napona prednje ivice:

$$U_2 = U_1\left(1 - \frac{t'}{2RC}\right)$$

Prema tome vrijednost napona zadnje ivice impulsa na izlazu je:

$$U_2' = U_1\left(1 - \frac{t'}{2RC}\right)\left(1 - \frac{t''}{RC}\right)$$

odavde preko kvadratne jednadžbe:

$$2(U_1 - U_2')(RC)^2 - (t' + 2t'')\, U_1 RC + t't''\, U_1 = 0$$

i zamjenjujući brojne vrijednosti za $U_1 = 50$ V,

$t' = 2\mu S$ i $t'' = \frac{1}{2f} - t' = 8\mu S$ za vremensku konstantu se dobijaju vrijednosti:

$$RC = \frac{0.9.10^{-3} \pm 0.74.10^{3}}{164} = 10\mu S \text{ i}$$

$$RC \approx 1\ \mu S$$

Uz $RC = 10\mu S$ izračunava se maksimalna vrijednost napona prednje ivice:

$$U_2 = 50\left(1 - \frac{2}{2.10}\right) = 45 \text{ V},$$

te se oblik impulsa na izlazu CR kruga može ucrtati kako je pokazano na sl.1.22.

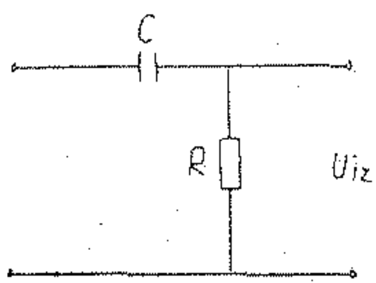
Druga vrijednost $RC \cong 1 \mu S$ nezadovoljava.

1.18 Na R-C kolo sl.1.23 dovodi se impuls, čija se prednja ivica uspostavlja eksponencijalno sa vremenskom konstantom τ_i = 0,2 msek, zadnja ivica opada trenutno prema sl.1.24.

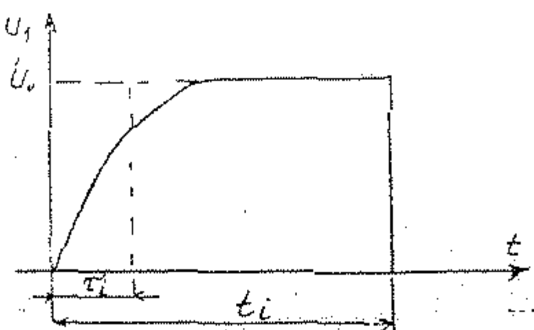
Trajanje impulsa ti = 1 msek.

a/ Ako je vremenska konstanta kola $RC = \tau i$ odrediti valni oblik izlaznog signala.

b/ Odrediti iznos napona izlaznog signala pri kraju prvog impulsa ako je U_1 = 10 V.



Sl.1.23



Sl.1.24

Rješenje:

Odziv RC kola na eksponencijalnu funkciju nalazimo pomoću Diamelovog integrala:

$$U_{iz}(t) = U_1(0) . h(t) + \int_0^t U_1'(\xi)\, h(t-\xi)\, d\xi$$

Ovaj izraz će vrijediti u intervalu (0-ti).

h t je težinska funkcija , tj. odziv sistema na jedinični step.

Za ovaj slučaj:

$$U_R(t) = U_R(\infty) - \left[U_R(\infty) - U_R(0)\right].1^{-t/\tau_1}$$

$$U_R(\infty) = 0 \; ; \quad U_R(0) = E$$

Slijedi:

$$U_R(t) = E.1^{-t/\tau_1} \rightarrow h(t) = 1^{-t/\tau_1} \quad za\ E = 1$$

$$U_1(t) = 10\left(1 - 1^{-t/\tau_1}\right)$$

$$U_1(0) = 0$$

$$U_1'(\xi) = \frac{10}{\tau_i}.1^{-\xi/\tau_i} \; . \; h(t-\xi) = 1^{-\frac{t-\xi}{\tau_i}}$$

$$U_{iz}(t) = \int_0^t \frac{10}{\tau_i}.1^{-\xi/\tau_i}.1^{-\frac{t-\xi}{\tau_i}} d\xi = \frac{10}{\tau_i}.1^{-\frac{t}{\tau_i}}.t$$

Dakle odziv u intervalu $0 < t <$ ti je:

$$U_{iz}(t) = \frac{10}{\tau_i}.t.1^{-\frac{t}{\tau_i}}$$

Kako je sistem linearan prema principu superpozicije može se pretpostaviti da u trenutku t = ti na ulaz dovodimo negativan step amplitude - 10 V.

Odziv na ovaj step je:

$$U_{iz}' = E.1^{-t/\tau_i} = -10.1^{-t/\tau_i}$$

Pošto step djeluje u trenutku t = ti to je odziv na ovaj step:

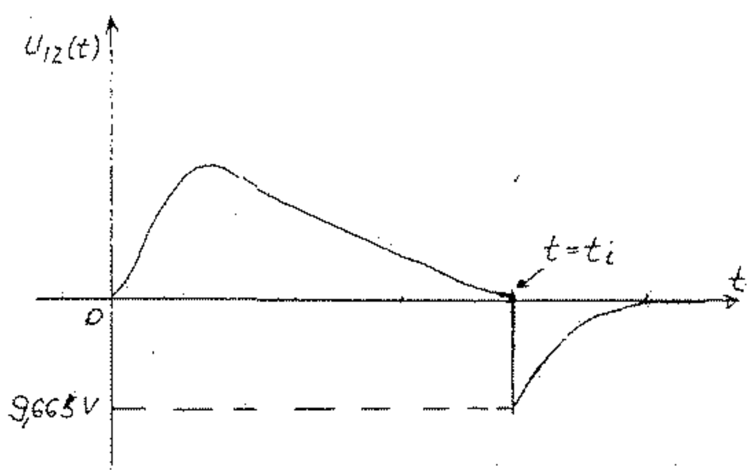
$$U'_{iz}(t) = -10 \,.\, 1^{-\frac{t-ti}{\tau_i}}$$

Konačno dobijeno odziv na zadati ulaz:

$$a/ \quad 0 < t < ti \quad U_{iz}(t) = \frac{10}{\tau_i}\,.t.1^{-t/\tau_i} = 50.10^3 t.1^{-t/\tau_i}$$

$$b/ \quad ti < t < \infty \quad U_{iz}(t) = \frac{10}{\tau_i}.t.1^{-t/\tau_i} - 10.1^{-\frac{t-ti}{\tau_i}}$$

Oblik izlaznog signala je prikazan na sl.1.25.



Sl.1.25.

b/ U trenutku $t = ti = 10^{-3}$ sek

$$U_{iz}(ti) = 50.10^3.10^{-3}.1^{-\frac{10^{-3}}{0,2.10^{-3}}} = 50.0,00674 = 0,337 \text{ V}$$

U trenutku ti, ovaj nivo opada za - 10 V, odnosno napon izlaza u trenutku t = ti pada sa vrijednosti 0,337 V na vrijednost:

$$U_{iz}(ti) = (-10+0,337)\ V = -9,663\ V$$

TRANZISTOR KAO PREKIDAČ

2.1. Naći izraz za napon na emiterskom sloju tranzistora.

Osnovna relacija koja opisuje rad tranzistora u aktivnom području je:

$$I_C = -\alpha I_E + I_{CO} \quad \dots\dots\dots \quad 1$$

je strujno pojačanje u spoju sa zajedničkom bazom.

I_{CO} - inverzna struja zasićenja

I_{CO} - ćemo promatrajući P-N spoj zamjeniti potpunijim izrazom:

Voltamper karakteristika P-N ili N-P spoja je data relacijom:

$$I = I_o \left(e^{\frac{V}{\eta VT}} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots \quad 2$$

V - napon narinut na diodu

η - parametar koji uzima u obzir rekombinaciju nosilaca pri prijelazu kroz spoj

VT- elektron volt ekvivalent temperature

$$VT = \frac{K \cdot T}{1} \text{ gdje je } \dots\dots\dots \quad 3$$

$K = 1,380.10^{-23}$ j/oK Boltzmanova konstanta

T - apsolutna temperatura

$1 = 1,602.10^{-19}$ [AS]- naboj elektrona

otuda $V_T = \frac{T}{11600}$ i na sobnoj temperaturi

$$V_T = 26 \text{ mV}.$$

Primjenom jednadžbe 2. jednadjba 1 postaje

$$I_C = -\alpha_N I_E + I_{Co}\left(1 - 1^{VC/\eta V_T}\right) \ldots\ldots \quad 4$$

$\alpha = \alpha_N$ pri normalnoj polarizaciji transistora

Analogno $I_E = -\alpha_I I_C + I_{EO}\left(1 - 1^{VE/\eta V_T}\right) \ldots\ldots \quad 5$

$$I_C + \alpha_N I_E = I_{Co}\left(1 - 1^{VC/\eta V_T}\right)$$

$$I_C + \alpha_I I_C = I_{EO}\left(1 - 1^{V_E/\eta V_T}\right)$$

$$\frac{I_E + \alpha_I I_C}{I_{EO}} = 1 - 1^{V_E/\eta V_T}$$

$$1^{V_E/\eta V_T} = 1 - \left(\frac{I_E + \;_I I_C}{I_{EO}}\right)$$

$$V_E = \eta V_T \ln\left(1 - \frac{I_E + \alpha_I I_C}{I_{EO}}\right) \ldots\ldots\ldots \quad 6$$

2.2. Naći napon na emiterskom sloju germanijumskog tranzistora na sobnoj temperaturi ako baza tranzistora nije priključena ni na kakav izvor. Pojačanje direktno polariziranog tranzistora je dva puta veće od pojačanja tok istog tranzistora polaziranog inverzno.

Rješenje:

Kako je pokazano u zadatku 2.1

$$V_E = \eta V_T \ln\left(1 - \frac{I_E + \alpha_I I_C}{I_{EO}}\right)$$

Pošto je $I_b = 0$ kolektorska struja

$$I_C = I_{CEO} = \beta \underset{=0}{I_b} + (\beta + 1) I_{CO}$$

$$I_C = I_{CEO} = \left(\frac{\alpha_N}{1-\alpha_N} + 1 \right) I_{CO} = \frac{I_{CO}}{1-\alpha_N}$$

$$I_E = - I_C \quad i \quad \alpha_N I_{EO} = \alpha_i I_{CO}$$

$$I_{EO} = \frac{\alpha_i I_{CO}}{\alpha_N}$$ uvrštavajući ove izraze u izraz

za V_E dobivamo:

$$V_E = \eta V_T \ln \left[1 + \frac{\alpha_N (1-\alpha_i)}{\alpha_I (1-\alpha_N)} \right.$$

Za Ge $\alpha_N = 0,9$ i $\alpha_I = 0,5$ i $\eta = 1$

$$V_E \cong 26 \ln 10$$

$$V_E \cong + 60 \text{ mV}$$

2.3. Izračunati napone U_{BE}, U_{CE} i U_{CB} germanijevog NPN tranzistora 2 N 404 u zasićenju, ako je poznato $I_E = 20,35$ mA, $- I_C = 20$ mA, $- I_{CO} = 2.10^{-6}$ A, otpor sloja baze $r_b = 100\Omega$ i koeficijenti $N = 0,99$ i $\alpha_i = 0,5$

Rješenje:

Služeći se izrazima izvedenim za V_E u zadatku 2.1 i analogno sa V_C.

$$V_E = \eta V_T \ln \left(1 - \frac{I_E + \alpha_i I_C}{I_{EO}} \right)$$

$$V_C = \eta V_T \ln \left(1 - \frac{I_C + \alpha_N I_E}{I_{CO}}\right)$$

$$V_E = (0{,}026).2{,}3 \log_{10}\left[1 - \frac{20{,}35 - (0{,}50).20}{-10^{-3}}\right] = 0{,}24 \text{ V}$$

i

$$V_C = (0{,}026)(2{,}3)\log_{10}\left[1 - \frac{-20 + 0{,}99(20{,}35)}{-(2)(10^{-3})}\right] = +\,0{,}11 \text{ V}$$

Za PNP tranzistor

$$V_{CE} = V_C - V_E = 0{,}11 - 0{,}24 \approx -\,0{,}13 \text{ V}$$

$$V_{CB} = V_C - I_b\, r_{bb'} = 0{,}11 + 0{,}035 \cong 0{,}15 \text{ V}$$

i

$$V_{BE} = I_b\, r_{bb'} - V_E = -\,0{,}035 - 0{,}24 \approx 0{,}28 \text{ V}$$

2.4. Tranzistor je zakočen ako je njegova emiterska struja jednaka nuli, a kroz kolektor teče inverzna struja zasićenja.

Naći koliki mora postojati napon na emiterskom sloju germanijskog tranzistora da bi on bio zakočen.

Zadano: Temperatura ambijenta $25^\circ C$ $(300^\circ K)$

$\beta = 100$

Rješenje:

Uz uslove:

$I_E = 0$, $I_C = I_{CO}$ i primjenom jednadžbe za napon na emiterskom sloju tranzistora izvedene u zadatku 2.1.

$$V_E = \eta V_T \ln\left(1 - \frac{I_E + \alpha_i I_C}{I_{EO}}\right) \text{dobivamo}$$

$$V_E = \eta V_T \ln\left(1 - \frac{\alpha_i I_{CO}}{I_{EO}}\right) \text{pošto je}$$

$$I_{EO} = \frac{\alpha_i}{\alpha_N} \cdot I_{CO}$$

$$V_E = \eta V_T \ln\left(1 - \frac{\alpha_i I_{co}}{\frac{\alpha_i}{\alpha_N} \cdot I_{co}}\right) = \eta V_T \ln\left(1 - \alpha_N\right)$$

$$\beta = \frac{\alpha_N}{1-\alpha_N} \;;\quad \alpha_N = \frac{\beta}{1+\beta} \quad \text{dakle}$$

$$\alpha_N = \frac{100}{101} = 0{,}99$$

Za G_e je $\eta = 1$ $\quad V_T = 26$ mV

te je

$$V_E = 26.10^{-3} \ln\left(1-0{,}99\right) = 26.10^{-3} \ln 0.01$$

$$V_E = 26.10^{-3}(-4{,}6) = -120 \text{ mV}$$

2.6. Naći napon na otporu tijela baze $r_b = 20\,\Omega$ germanijumskog slojnog tranzistora, ako je zadano

- pojačanje tranzistora u spoju sa zajedničkim emiterom $\beta = 100$
- inverzna kolektorska struja zasićenja $I_{co} = 0{,}1\,\mu s$
- pojačanje inverzno polariziranog tranzistora u spoju sa zajedničkom bazom $\alpha_i = 0.1$.
- pad napona na kolektorskom spoju $V_C = 0{,}1$ V
- pad napona na emiterskom spoju $V_E = 0{,}2$ V.

Rješenje:

Služeći se izrazima za struju I_C i I_E imamo

$$I_C = \frac{\alpha_N I_{EO}}{1-\alpha_N \alpha_i}\left(1^{\frac{V_E}{\eta V_T}} - 1\right) - \frac{I_{CO}}{1-\alpha_N \alpha_i}\left(1^{\frac{V_C}{\eta V_T}} - 1\right)$$

$$I_E = \frac{\alpha_i I_{CO}}{1-\alpha_N \alpha i}\left(1^{\frac{V_C}{\eta V_T}} - 1\right) - \frac{I_{EO}}{1-\alpha_N \alpha_i}\left(1^{\frac{V_E}{\eta V_T}} - 1\right)$$

$$\alpha_N I_{EO} = \alpha_i I_{CO}$$

$$I_{EO} = \frac{\alpha_i I_{CO}}{\alpha_N}$$

$$I_C = \frac{\alpha_N \frac{\alpha_i I_{CO}}{\alpha_N}}{1-\alpha_N \alpha_i}\left(1^{V_E/\eta V_T} - 1\right) - \frac{I_{CO}}{1-\alpha_N \alpha_i}\left(1^{\frac{V_E}{\eta V_T}} - 1\right) =$$

$$= \frac{\alpha_i I_{CO}}{1-\alpha_N \alpha_i}\left(1^{\frac{V_E}{\eta V_T}} - 1\right) - \frac{I_{CO}}{1-\alpha_N \alpha_i}\left(1^{\frac{V_C}{\eta V_T}} - 1\right)$$

$$I_C = \frac{I_{CO}}{1-\alpha_N \alpha_i}\left[\alpha_i\left(1^{\frac{V_E}{\eta VT}} - 1\right) - \left(1^{\frac{V_C}{\eta VT}} - 1\right)\right]$$

$$I_E = \frac{\alpha_i I_{CO}}{1-\alpha_N \alpha i}\left(1^{\frac{V_C}{\eta VT}} - 1\right) - \frac{\alpha_i I_{CO}}{\alpha_N (1-\alpha_N \alpha_i)}\left(1^{\frac{V_E}{\eta VT}} - 1\right)$$

$$I_E = \frac{\alpha_i I_{CO}}{1-\alpha_N \alpha i}\left[\left(1^{\frac{V_C}{\eta V_T}} - 1\right) - \frac{1}{\alpha N}\left(1^{\frac{V_E}{\eta VT}} - 1\right)\right]$$

$\beta = 100$; $\alpha i = 0,1$; $U_C = 0,1$ V; $U_E = 0,2$ V

$$\beta = \frac{\alpha_N}{1-\alpha_N} \quad \alpha_N = \frac{\beta}{1+\beta} = \frac{100}{101} = 0,99$$

Izračunavano :

$$I_E = \frac{0.1.10^{-6}.0.1}{1-0,99 \; . \; 0,1}\left[\left(1^{\frac{0,1}{26.10^{-3}}}-1\right)-\frac{1}{0,99}\left(1^{\frac{0,2}{26.10^{-3}}}-1\right)\right]$$

$$I_E = 24 \,\mu A$$

$$I_C = \frac{I_{CO}}{1-\alpha_N\alpha_i}\left[\alpha_i\left(1^{\frac{V_E}{\eta V_T}}-1\right)-\left(1^{V_C/\eta V_T}-1\right)\right]$$

$$I_C = \frac{0.1.10^{-6}}{1-0,99.0.1}\left[0.1\left(1^{\frac{0.2}{26.10^{-3}}}-1\right)-\left(1^{\frac{0,1}{26.10^{-3}}}-1\right)\right]$$

$$I_C = 19,3 \,\mu A$$

$$I_b + I_C + I_E = 0$$

$$I_b = -\left[-24.10^{-6} + 19,3.10^{-6}\right]$$

$$I_b = 4,7 \,\mu s$$

$$U_{Rbb'} = I_b \, . \, R_{bb'} = 4,7.10^{-6}.20$$

$$U_{Rbb'} = 0,094 \text{ mV}$$

3.1. Zadan je FLIP-FLOP sa slijedećim podacima:

Tranzistor AC 551

$E_C = 10$ V

$E_b = 4,5$ V

$R_C = 1$ K 2

$R_1 = 6$ K 8

$R = 8$ K 2

- Koliko mora biti β_{min} za date tranzistore kako bi sklop pouzdano radio?

- Ako je na dati sklop u oba kolektora spojeno aktivno opterećenje odredjeno sa:

$R_{opt} = 2$ K 2
$E_{opt} = -2$ V

a/ Kolika je vrijednost korigiranog otpora R_1, da bi sklop pouzdano radio?

b/ Koliko mora biti β_{min} u slučaju da R_1 treba da ostane 6 K 8 ?

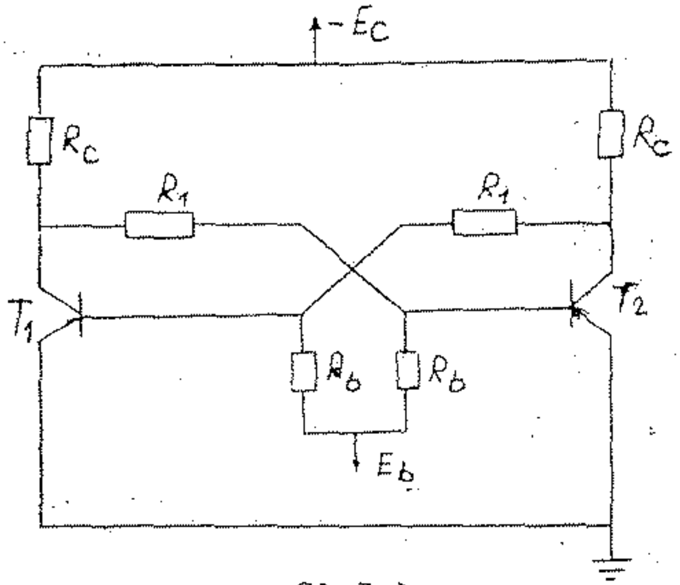
Rješenje:

Da odredimo β_{min} za korektan rad tranzistora promatrat ćemo multivibrator na sl. 3.1.

Predpostavićemo da tranzistori T_1 i T_2 rade u prekidačkom režimu, te da je napon izmedju kolektora i emitera tranzistora u vodjenju jednak nuli.

Ako tranzistor T_1 radi, napon u njegovom kolektoru je jednak nuli, te je napon u bazi tranzistora T_2 odredjen naponom E_b i djeliteljem R_b, R, i takav da je tranzistor T_2 zakočen.

Da bi tranzistor bio u zasićenju potrebno je da njegova bazna struja bude veća ili jednaka od bazne struje



Sl.3.1

zasićenja I_{bz}:

$$i_b \geqslant I_{bz} = \frac{I_{Cz}}{\beta}$$

Da bi tranzistor T_1 bio zakočen, napon izmedju njegove baze i emitera treba biti manji ili jednak nuli:

$$U_{BE} \leqslant 0 \quad (U_{BE} \geqslant 0) \text{ za PNP}$$

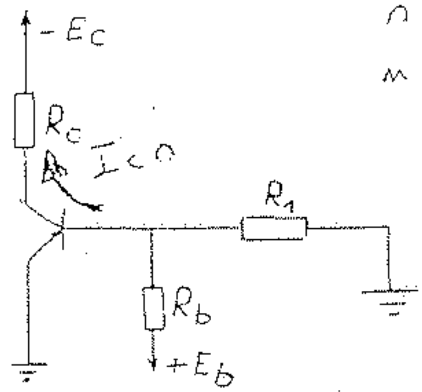
čemu je kat

Prema slici 3.2:

$$U_{BE} = \frac{E_b \cdot R_1}{R_1 + R_b} - I_{CO} \frac{R_1 R_b}{R_1 + R_b}$$

odakle slijedi:

? Smjer struje I_{CO} u NPN i PNP tranz.



Sl.3.2

$$R_b \leqslant \frac{E_b}{I_{CO}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3.1$$

$$R_{b\max} = \frac{E_b}{I_{CO\max}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3.2$$

U slučaju kada T_2 vodi prema slici 3.3 imamo:

$$I_{Cz} = \frac{E_C}{R_C}$$

$$I_B \geqslant i_{Bz} = \frac{I_{Cz}}{\beta}$$

$$E_C - (I_b' + I_{CO}) \cdot R_C - I_b' R_1 = 0$$

$$I_b' = \frac{E_C - I_{CO} R_C}{R_C + R}$$ pošto se $I_{CO} R_C$ može zanemari-

ti u odnosu na E_C

$$I_b' = \frac{E_C}{R_C + R}$$

$$i_b = I_b' - I_{Rb}$$

$$i_b = \frac{E_C}{R_C+R} - \frac{E_b}{R_b}$$

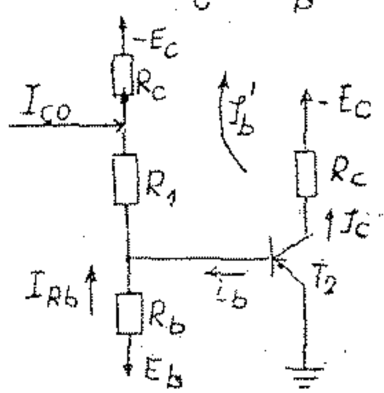
Da bi uvjet $i_b \geq \frac{I_{Cz}}{\beta}$ bio zadovoljen E_C mora zadovoljavati relaciju:

$$E_C \geq \left(\frac{E_C}{\beta R_C} + \frac{E_b}{R_b}\right)\left(R_1 + R_C\right) \quad \text{odakle slijedi:}$$

$$R_1 \leq \left(\frac{\beta}{1 + \beta \frac{E_b}{E_C} \frac{R_C}{R_b}} - 1\right) \cdot R_C \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \; 3.3$$

i

$$R_{1\;max} = \left(\frac{\beta_{min}}{1+\beta_{min} \frac{E_b}{E_C} \cdot \frac{R_C}{R_b}} - 1\right) R_C \ldots\ldots\ldots \; 3.4$$



Sl.3.3

Koristeći relaciju 3.4

$$\beta_{min} = \frac{R_1 + R_C}{R_C - (R_1+R_C)\frac{E_b}{E_C} \cdot \frac{R_C}{R_b}}$$

$$\beta_{min} = \frac{6,8 \cdot 10^3 + 1,2 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 10^3 - (6,8 \cdot 10^3 + 1,2 \cdot 10^3) \cdot \frac{4,5}{10} \cdot \frac{1,2}{8,2}} = 12$$

Dakle: $\beta_{min} = 12$

a/ Ako stavimo na FLIP-FLOP aktivno opterećenje prema slici 3.4 vrijednost otpora se dobije iz relacije:

$$R_1 = \frac{R_p \cdot R_C}{R_C + R_p} \left(\frac{\beta_{min}}{1 + \beta_{min} X} - 1 \right) \text{ gdje je}$$

$$X = \frac{\frac{E_b}{R_b}}{\frac{E_C}{R_C} + \frac{E}{R_p}} = \frac{\frac{4,5}{8,2 \cdot 10^3}}{\frac{10}{1,2 \cdot 10^3} + \frac{2}{2,2 \cdot 10^3}} = \frac{6}{100}$$

$$R_1 = \frac{2,2 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 10^3}{(2,2+1,2) \cdot 10^3} \left(\frac{12}{1 + \frac{12 \cdot 6}{100}} - 1 \right) =$$

$$= \frac{2,64 \cdot 10^3}{3,4} \cdot \left(\frac{1200-173}{173} \right)$$

$$R_1 = 4,6 \text{ K}$$

b/ $\beta_{min} = ?$

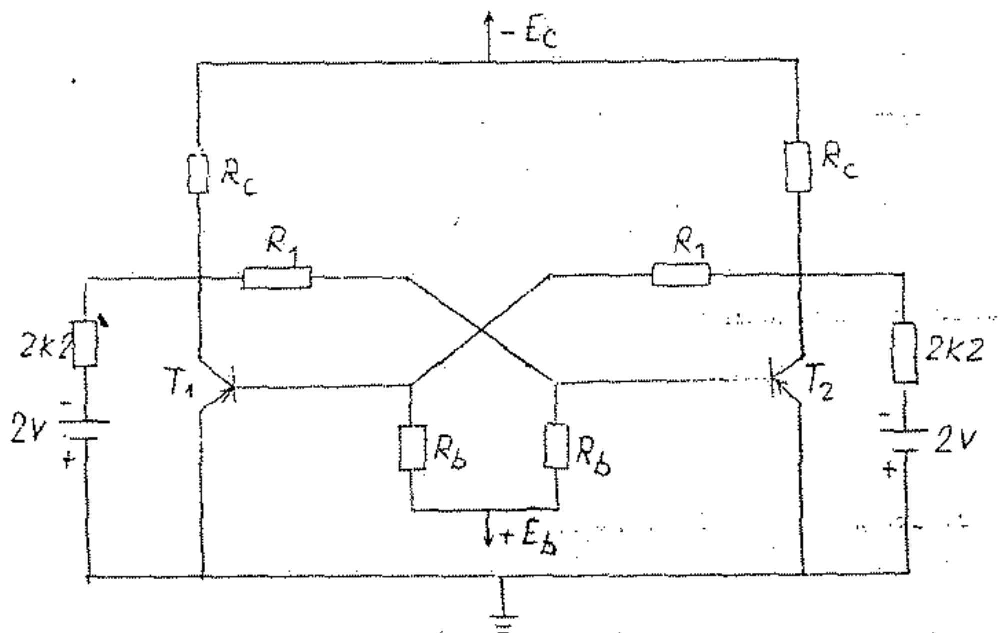
Iz relacije:

$$R_1 = \frac{R_C \cdot R_p}{R_C + R_p} \left(\frac{\beta_{min}}{1 + \beta_{min} X} - 1 \right)$$

$$\beta_{min} = \frac{R + \dfrac{R_C \cdot R_p}{R_C + R_p}}{\dfrac{R_C \cdot R_p}{R_C + R_p} - RX - X\,\dfrac{R_C\, R_p}{R_C + R_p}} =$$

$$= \frac{6{,}8 + \dfrac{1{,}2 \cdot 2{,}2}{1{,}2 + 2{,}2}}{\dfrac{1{,}2 \cdot 2{,}2}{1{,}2 + 2{,}2} - \dfrac{6{,}8 \cdot 6}{100} - \dfrac{6}{100} \cdot \dfrac{1{,}2 \cdot 2{,}2}{1{,}2 + 2{,}2}}$$

$$\beta_{min} = 23{,}4$$

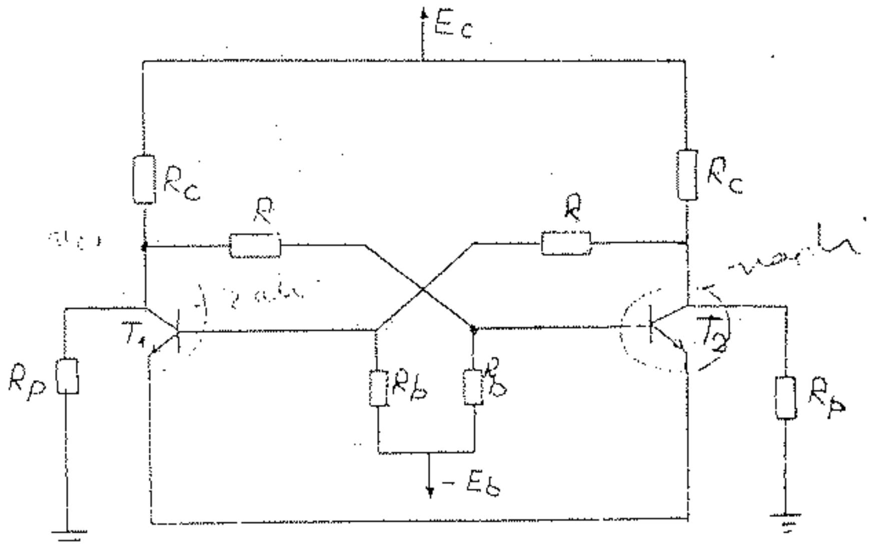


Sl.3.4

3.2. Nacrtati i izračunati bistabilni multivibrator čija je amplituda izlaznog signala U_m = 10 V.

Multivibrator je simetrično opterećen otporima R_p = 5 K.

Koristiti tranzistor BC 219S čije je $\beta_{min} = 100$ i I_{CO} $25^oC = 5.10^{-9}A$



Sl.3.5

a/ E_C biramo iz relacije $E_C = (1,1-1,4)\ U_m$

Usvajamo $E_C = 1,2\ U_m = 1,2.10\ V = 12\ V$

b/ E_b odabiramo prema $E = 1 - 2\ V$

Usvajamo $E_b = 1\ V$

c/ Odabiremo struju zasićenja:

$$I_{Czos} = 10mA, \text{ tada je } R_C = \frac{E_C}{I_{Czos}}$$

$$R_C = \frac{12}{10.10^{-3}} = 1,2\ K$$

d/ Predpostavimo da sklop treba korektno da radi do temperature $t = 55^oC$, tada će I_{Comax} biti:

$$I_{Comax} = I_{CO}.2^{\frac{t-to}{10}}$$

$$I_{Comax} = 8.5.10^{-9} = 40 \ nA$$

pa slijedi:

$$R_b \leq \frac{E}{I_{Comax}} = \frac{1}{40.10^{-9}} = 25.10^{6} \ \Omega$$

Usvajamo $R_b = 10 \ K$

e/ Otpor R odredjujemo iz relacije:

$$R \leq \frac{R_C \cdot R_p}{R_C + R_p} \left(\frac{\beta}{1 + \beta X} - 1 \right)$$

$$\text{Uz} \quad E = 0 , \qquad X = \frac{E_b}{E_C} \cdot \frac{R_C}{R_b}$$

$$X = \frac{1}{12} \cdot \frac{1,2.10^{3}}{20.10^{6}} = 5.10^{-6}$$

i uz $\beta = \beta_{min}$

$$R \leq \frac{1,2.5}{6,2} \cdot \left(\frac{100}{1+5.10^{-4}} - 1 \right) = 96 \ K$$

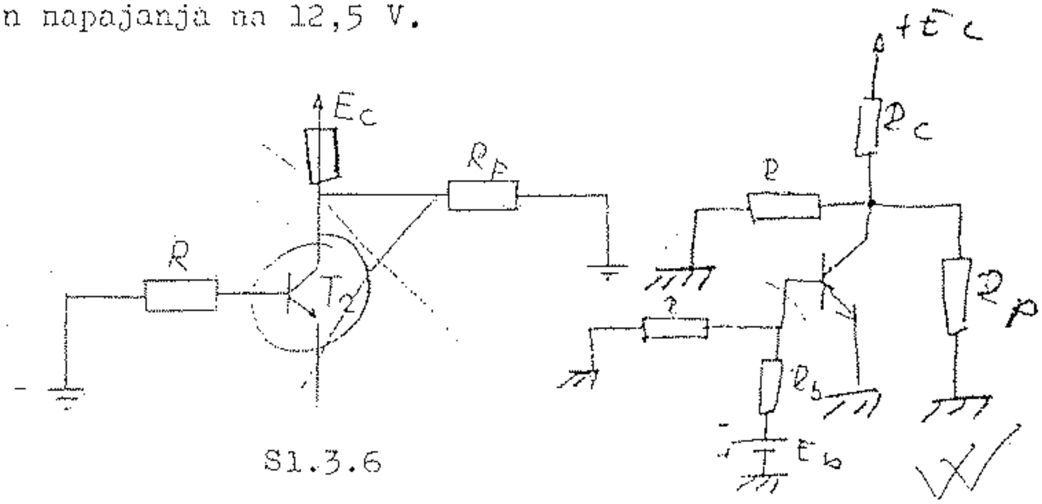
Odabireno $R = 50 \ K$

Amplituda na otporu R_p uz zanemaren $I_{Co}R_C$ i uz zanemaren off-set napon tranzistora u zasićenju, slijedi iz slike 3.6. Slika 3.6 predstavlja nadomjesnu shemu u slučaju kada je tranzistor T_2 zakočen.

$$U_m = \frac{E_C}{\frac{R \cdot R_p}{R + R_p} + R_C} \cdot \frac{R \cdot R_p}{R + R_p}$$

$$U_m = 9,6 \ V$$

Da dobijemo signal željene amplitude potrebno je povećati napon napajanja na 12,5 V.



Sl.3.6

3.3. Izračunati vrijednosti elemenata bistabilnog multivibratora koji je nesimetrično opterećen opterećen samo jedan izlaz , tako da isti pouzdano radi u temperaturnom intervalu od -20°C do 55°C.

Dato je: PNP tranzistori AC 542

$U_i = 8$ V, $R_{opt} = 2$ K, $E_{opt} = 0$

$f_{nl} = 50$ KHz

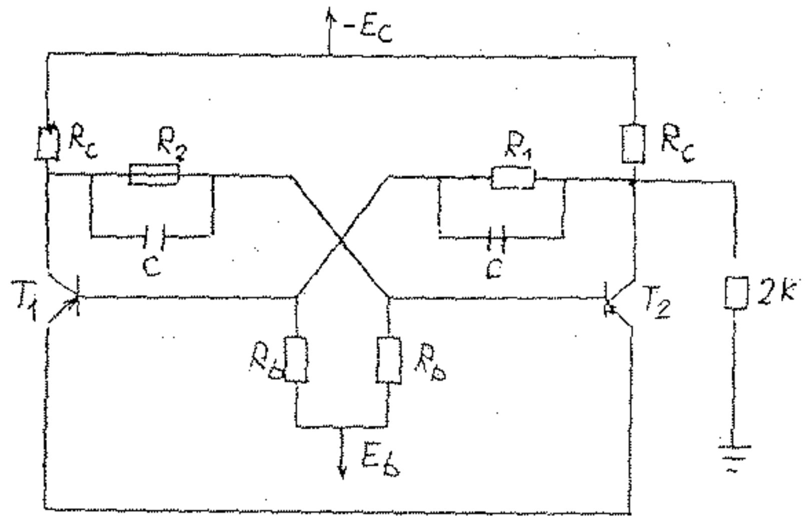
Podaci za tranzistore: $\beta_{min} = 50$, $f_{\alpha gr} = 1$MHz, $I_{CO} = 5\mu A$

a/ E_C biramo iz relacije $E_C = (1,1-1,4)\ U_{inp}$

Usvajamo $E_C = 10$ V

b/ E_b odabiremo prema $E = (1-2)$V

Usvajamo $E_b = 1,5$ V



Sl.3.7

c/ Odabiremo struju zasićenja I_{Cz} = 10 mA te je

$$R_C = \frac{E_C}{I_{Czas}} = \frac{10}{10.10^{-3}} = 1K$$

d/ Od sklopa se zahtjeva korektan rad do tempera-
ture 55°C te je

$$I_{COmax} = I_{CO25} \cdot 2^{\frac{t-t_o}{10}} = I_{CO} \cdot 2^{\frac{55-25}{10}} = 8.I_{CO}$$

$$I_{COmax} = 40 \mu A$$

$$R_b \leqslant \frac{1,5}{40.10^{-6}} = 37,5\ K\Omega$$

Odabiremo R_b = 20 K

e/ Otpor R_1 biramo iz uvjeta zasićenja tranzistora T_1

Bazna i kolektorska struja tranzistora T_1 je

$$I_{b1} = \frac{U_{C2}}{R_1} - \frac{E_b}{R_b}$$

$$U_{C2} = \frac{E_C}{R_C\left(\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_1}\right)}$$ Uslov zasićenja je

$\beta I_{b1} \geqslant I_{Czos}$ postaje:

$$\beta\left(\frac{U_{C2}}{R_1} - \frac{E_b}{R_b}\right) \geqslant \frac{E_C}{R_C}$$

$$\beta\left(\frac{E_C}{R_C\,\dfrac{(R_C R_1 + R_1 R_p + R_p R_C)}{R_p\, R_C}} \cdot \frac{1}{R_1} - \frac{E_b}{R_b}\right) \geqslant \frac{E_C}{R_C} \quad ,$$

odakle slijedi:

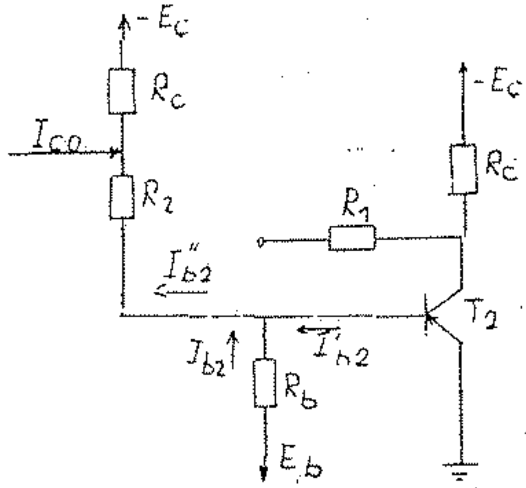
$$R_1 \leqslant \frac{R_C \cdot R_p}{R_C + R_p}\left[\frac{\beta}{1 + \frac{E_b}{E_C} \cdot \frac{R_C}{R_b} \cdot \beta} - 1\right]$$

i nakon uvrštavanja vrijednosti:

$$R_1 \leqq \frac{2}{3} \cdot \frac{48,6}{1,375} = 23,6\ \mathrm{K}\Omega$$

Usvajamo $R_1 = 15$ K

f/ Iz uslova zasićenja tranzistora T_2 imamo, slika 3.8.



Sl.3.8.

$$E_C - (I''_{b2} + I_{CO}) \cdot R_C - I''_{b2} \cdot R_2 = 0$$

$$I''_{b2} = \frac{E_C - I_{CO}R_C}{R_C + R_2}$$ Pošto je:

$$I'_{b2} = I''_{b2} - I_{b2} \quad \text{a} \quad I_{b2} = \frac{E_b}{R_b}$$

$$I'_{b2} = \frac{E_C - I_{CO}\,R_C}{R_C + R_2} - \frac{E_b}{R_b}$$

$$I_{Czas} = \frac{E_C}{R_C} \quad \text{i} \quad I'_{b2} \geq \frac{I_{Cz}}{\beta} \quad \text{te} \quad \frac{E_C}{R_C}$$

mora zadovoljiti relaciju:

$$\beta\left(\frac{E_C - I_{COmax} \cdot R_C}{R_2 + R_C} - \frac{E_b}{R_b}\right) \geqslant \frac{E_C}{R_C}$$

slijedi:

$$R_2 \leqslant \left(\frac{\beta}{1 + \beta\frac{E_b}{E_C} \quad \frac{R_c}{R_b}} - 1\right) R_C - \frac{I_{COmax} \cdot R_C}{\frac{E_C}{\beta R_C} + \frac{E_b}{R_b}}$$

Odnosno:

$$R_{2max} = \left(\frac{\beta_{min}}{1 + \beta_{min}\frac{E_b}{E_C} \cdot \frac{R_C}{R_b}} - 1\right) R_C - \frac{I_{COmax} \cdot R_C}{\frac{E_C}{\beta R_C} + \frac{E_b}{R_b}}$$

Uz uvrštene vrijednosti, R_{2max} postaje:

$$R_{2max} = \frac{50-1,37}{1,37} - \frac{40}{275} \approx 35\ K$$

Usvajamo $R_2 = 20\ K$

Provjera amplitude:

Uz zanemaren pad napona uzrokovan strujom I_{Co} i zanemaren off-set napon tranzistora T_2 u vodjenju, amplituda izlaznog signala U_i je odredjena relacijom:

$$U_i = \frac{E_C}{\frac{R_1 \cdot R_p}{R_1 + R_p} + R_C} \cdot \frac{R_1 \cdot R_p}{R_1 + R_p}$$, što uz uvrštene

vrijednosti daje:

$$U_i = \frac{17,7}{2,77} = 6,5\ V$$

Widi se da je amplituda izlaznog signala manja od zahtjevanih 8 V, te je potrebno povećati napon napajanja i ponoviti proračun.

g: Komutirajući kapacitet C odredimo iz uvjeta:

$$R_C \cdot C \approx 1,5\ \tau_\alpha \approx \frac{0.3}{f_{\alpha gr}}$$

$$C = \frac{0.3}{f_{\alpha gr} \cdot R_C} = \frac{0.3}{10^6 \cdot 10^3}$$

$$C = 0,3 \cdot 10^{-3} = 300\,\mu F$$

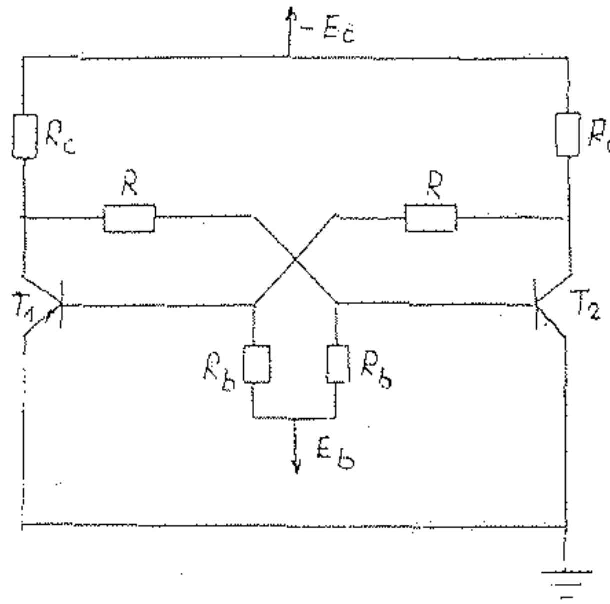
h/ Maksimalna frekvencija ulaznih impulsa može se odrediti iz izraza:

$$f_{max} \cong 1,3\ f_{\alpha gr} = 1,3 \cdot 10^6 = 1,3\ \text{MHz}$$

Frekvencija ulaznih impulsa je 50 KHz, dakle sklop frekventno zadovoljava.

3.4. Naći vrijednosti elemenata FLIP-FLOPA, ako je zadano: $U_C = -10$ V, $U_b = 4,5$ V $I_{CO} = 50\,\mu A$, $\beta = 50$. U_{be} proizvoljno odabrati!

Rješenje:



Sl.3.9

- Otpor R_b odredimo iz uvjeta kočenja tranzistora:

$$R_b \leq \frac{E_b}{I_{CO}} = \frac{4,5}{50.10^{-6}}$$

$$R_b \leq 90 \text{ K}\Omega$$

- Usvajamo $R_b = 50 \text{ K}\Omega$
- Uz usvojenu $I_{Czas} = 10$ mA

$$R_C \approx \frac{E_C}{I_{Czas}} = \frac{10}{10.10^{-3}} \approx 1 \text{ K}\Omega$$

- Iz jednadžbe 3.3 zadatka 3.1

$$R \leq \left(\frac{\beta}{1 + \beta \frac{E}{E_C} \cdot \frac{R_C}{R_b}} - 1 \right) R_C$$

$$R \leq \left(\frac{50}{1 + 50\,\frac{4,5}{10} \cdot \frac{1}{80}} - 1 \right) 1$$

$$R \leq 39\ K\Omega$$

Usvajamo $R = 20\ K\Omega$

Proračun smo napravili uz predpostavku da je napon U_{be} tranzistora koji je u zasićenju približno nula.

3.5. Okidanje bistabilnog multivibratora, predstavljenog sl.3.10 vrši se dovodjenjem bipolarnih impulsa amplitude E i perioda t_p u bazu tranzistora T_1.

1/ Nacrtati u funkciji vremena valni oblik ulaznog signala i signala u bazi i kolektoru tranzistora T_2.

2/ Izračunati gornju graničnu frekvenciju sklopa.

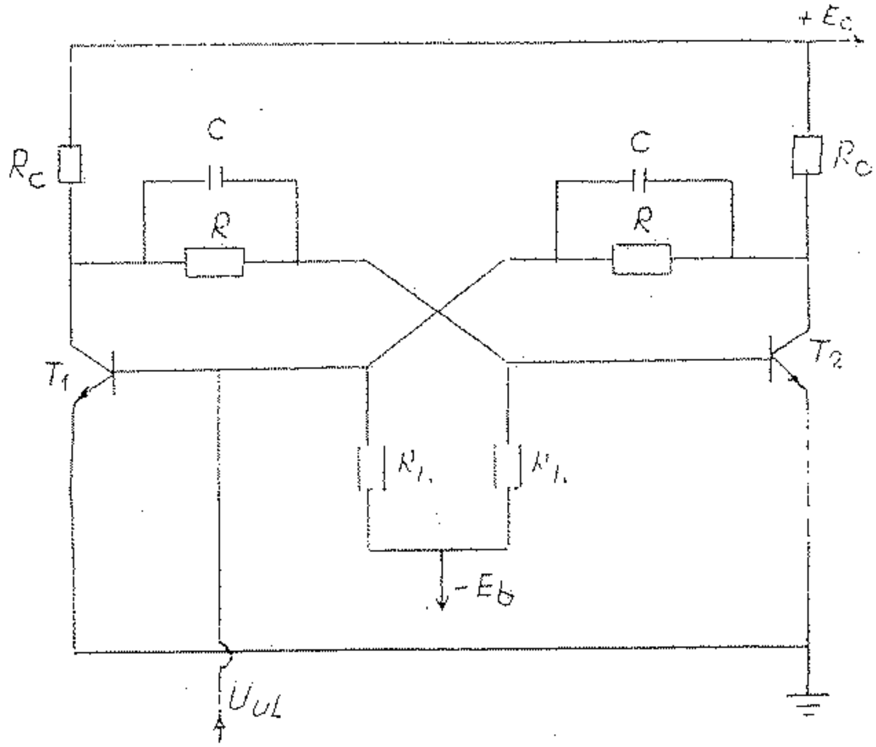
Zadano: $E_C = 15$ V, $- E_b = 5$ V; $E = 5$V, t_p=0,5nsek,
$R_C = 1{,}5$K; $R_b = 30$ K; $R = 82$ K; $C=57\,nF$,
$f_{\alpha gr} = 5$ MHz, $\beta = 100$

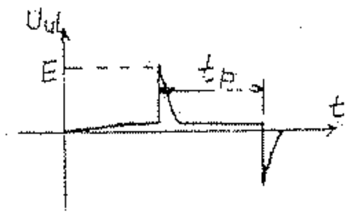
Rješenje:

a/ Vrijeme rekombinacije sekundarnih nosilaca naboja u području baze dato je izrazom:

$$t_z = \tau_\alpha (S-1)$$

gdje je $\tau_\alpha = \frac{1}{2\pi f_\alpha}$ f_α - granična frekvencija tranzistora u spoju sa zajedničkom bazom



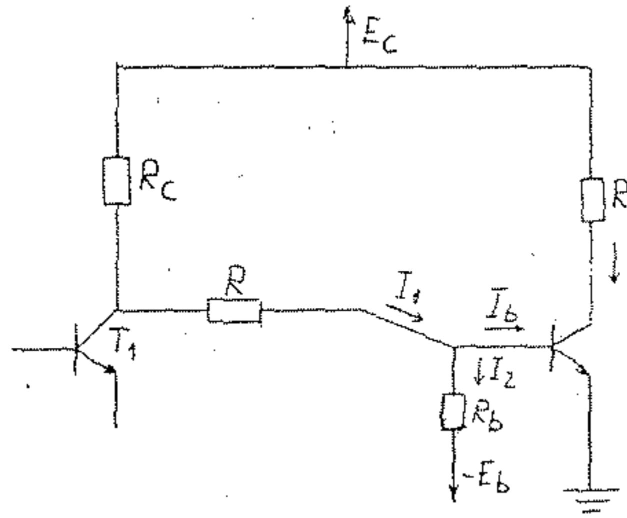


Sl.3.10.

$$S = \frac{\beta I_b}{I_{Cz}}$$

I_b ćemo naći na osnovu slike 3.11.

$$I_1 = I_2 + I_b$$



Sl.3.11

$I_2 \approx \frac{E_b}{R_b}$ uz zanemaren napon izmedju baze i emitera tranzistora T_2.

$I_1 \approx \frac{E_C}{R_C+R}$ pa je:

$$I_b \approx \frac{E_C}{R_C + R} - \frac{E_b}{R_b}$$

$$I_b = \frac{15}{(1,5 + 8,2)10^3} - \frac{5}{30.10^3}$$

$$I_b = 1,39 \text{ mA}$$

$$I_{Cz} \simeq \frac{E_C}{R_C} = \frac{15}{1,5.10^3} = 10 \text{ mA}$$

$$S = \frac{\beta I_b}{I_{Cz}} = \frac{100.1,39.10^{-3}}{10.10^{-3}} = 13,9$$

$$S = 13,9$$

$$\tau_\alpha = \frac{1}{2\pi f\alpha} = \frac{10^{-6}}{2.3,14.5} = 31,84 \text{ msek}$$

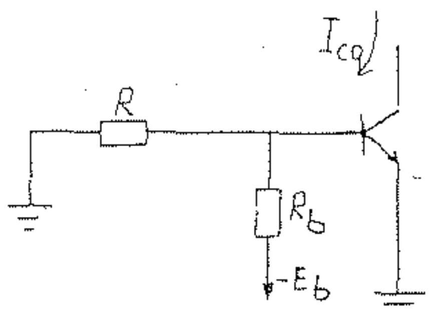
$$t_z = \tau_\alpha(S-1) = 31,84.10^{-9}\,[13,9-1]$$

$$t_z = 410 \text{ nsek} = 0,41\ \mu \text{ sek.}$$

b/ Vrijeme " pripreme" t_p'

$$t_p' \approx \tau_\alpha \cdot \frac{U_{bo}}{I_{n1}\cdot R_C}$$

Prema sl.3.12



Sl.3.12

$$U_{bo} = -\frac{E_b\ .R}{R+R_b} + I_{CO}\cdot\frac{RR_b}{R+R_b} \quad \text{uz zanemarenje}\quad I_{CO}\,\frac{R\ R_b}{R+R_b}$$

$$U_{bo} = \frac{-E_b.R}{R+R_b} = \frac{-5.82.10^3}{(82+30).10^3} = -3.65 \text{ V}$$

$$U_{bo} = -3,65 \text{ V} \quad ; \quad I_{n1} \cong I_{Cz} = 10 \text{ mA}$$

$$t_p' = 31{,}84 \; . \; 10^{-9} \left(\frac{5}{10.10^{-3}.1{,}5.10^{3}} \right)$$

$$t_p' = \frac{31{,}84.5.10^{-9}}{15} = 10{,}6 \text{ msek}$$

c/ Trajanje kočenja:

$$t_k \approx \tau_\alpha = 31{,}84 \text{ nsek}$$

d/

$$T_n^{(-)} = \tau_\alpha \left(1 + \frac{|U_{bo}|}{|E_C|}\right.$$

$$T_n^{(-)} \cong 31{,}84.10^{-9}\left(1 + \frac{3{,}65}{15}\right)$$

$$T_n^{(-)} \cong 31{,}84 \; . \; 10^{-9}.1{,}24$$

$$T_n^{(-)} = 39{,}5 \text{ nsek}$$

e/ $T_n^{(+)} \approx 3\, R_C \; . \; C$

$$T_n^{(+)} \approx 3 \; .1{,}5.10^{3}.57.10^{-9}$$

$$T_n^{(+)} = 256 \;\mu \text{sek}$$

Vidimo da je $T_n^{(+)}$ znatno veća od ostalih karakterističnih vremena.

2/ $$f_{max} = \frac{1}{T_{min}}$$

$$T_{min} = t_z + t_p' + t_k + T_n^{(+)}$$

$$T_{min} = 0{,}41.10^{-6} + 0{,}0106.10^{-6} + 256.10^{-6} + 0{,}03184.10^{-6}$$

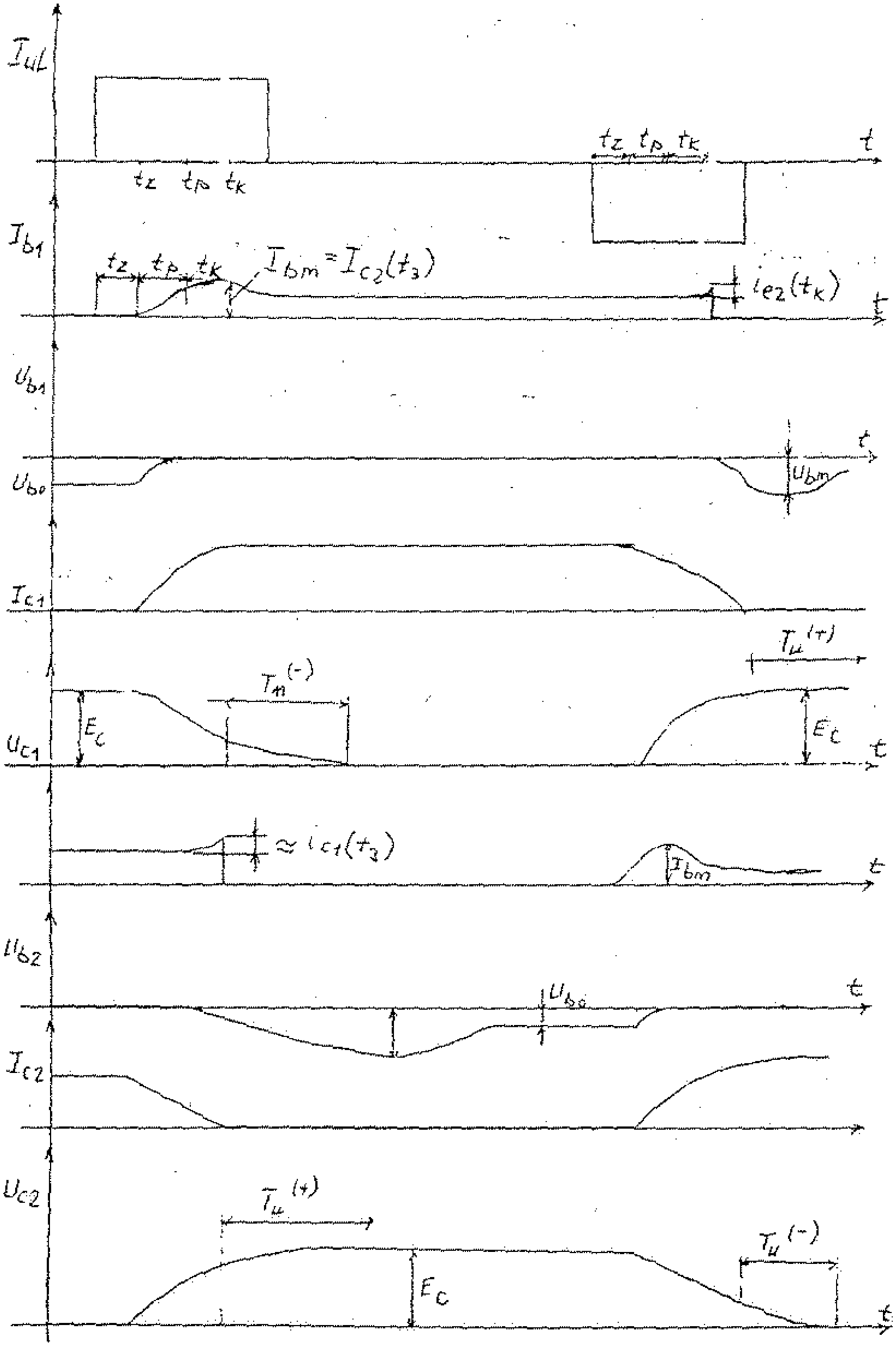
$$T_{min} \approx 256{,}5\ \mu sek$$

$$f_{max} = \frac{1}{256.10^{-6}} = \frac{10^6}{256} = 3{,}9\ KHz$$

$$f_{max} = 3{,}9.10^3\ Hz$$

Frekvencija ulaznih signala je 2.10^3 Hz, što znači da će sklop moći slijediti ulazne impulse.

Valni oblik signala u bazama i kolektorima tranzistora prikazan je na Sl.3.13.



I_{ul}
t_z t_p t_k
t
I_{b1}
$I_{bm} = I_{c2}(t_3)$
$i_{e2}(t_k)$
U_{b1}
U_{b0}
U_{bm}
I_{c1}
$T_u^{(+)}$
$T_n^{(-)}$
U_{c1}
E_c
$\approx i_{c1}(t_3)$
I_{bm}
U_{b2}
U_{b0}
I_{c2}
U_{c2}
$T_u^{(+)}$
$T_u^{(-)}$

Sl.3.13

4.1. Proračunati nesimetričan astabilni multivibrator.

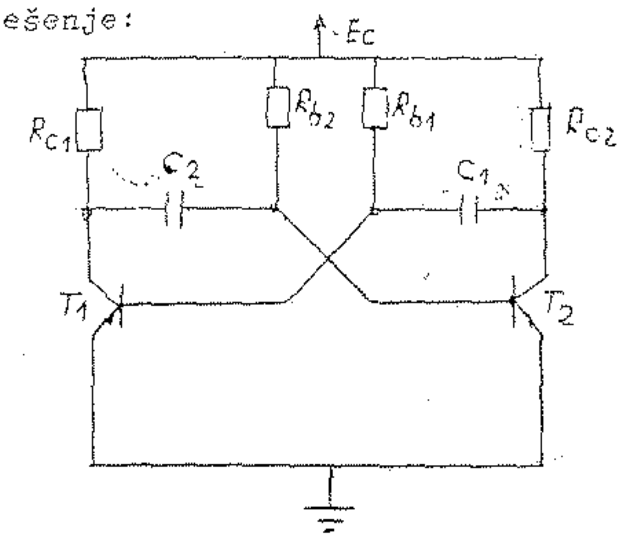
Zadano: $U_m = 10$ V; $f = 10$ KHz; $T_1 : T_2 = 3:1$

Tip tranzistora ACS42,

$\beta = 30 \div 120$; $I_{Cmax\ dop} = \pm 10$ mA

Izračunati faktor iscjepkanosti Q za oba izlaza . Za slučaj proračunatih vrijednosti

Rješenje:



Sl.4.1

- Odabiremo E_C iz relacije:

$$E_C = (1,1 - 1,2)U_m$$

usvajamo $E_C = -12$ V

- Uz usvojene struje zasićenja $I_{C1zas} = 4$ mA i $I_{C2z} = 2$ mA

$$R_{C1} = \frac{E_C}{I_{C1zas}} = \frac{12}{4.10^{-3}} = 3\ K$$

$$R_{C2} = \frac{E_C}{I_{C2zas}} = \frac{12}{2.10^{-3}} \approx 6\ K$$

- Pri računanju R_b moramo poći od relacije za zasićenje tranzistora:

$$\beta_{min}\ I_b \geqslant I_{Czas}$$

$$R_{b1} \leqslant \beta_{min}\ R_{C1}$$

$$R_{b1} \leqslant 90\ K\Omega$$

$$R_{b2} \leqslant \beta_{min}\ R_{C2}$$

$$R_{b2} \leqslant 180\ K\Omega$$

Usvajamo $R_{b2} = 120\ K\Omega$

Frekvencija impulsa iz astabilnog multivibratora:

$$f = 10\ KHz,\ \text{te je}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^4} = 10^{-4}\ \text{sek} = 0{,}1\ \text{msek}$$

$$T = T_1 + T_2$$

Da odredimo trajanje pojedinih nestabilnih stanja promatrati ćemo napone u bazama tranzistora T_1 i T_2 kada su oni naizmjenično zakočeni.

a/ Tranzistor T_1 je došao u zasićenje a T_2 je zakočen, dakle u njegovom kolektoru je napona $\approx E_C$.

Napon u bazi tranzistora T_2 mijenja se po slijedećem zakonu:

$$U_{be2}(t) = U_{be2}(\infty) - \left[U_{be2}(\infty) - U_{be2}(0)\right] . e^{-t/\tau}$$

Uz zanemarenje struje I_{CO}

$$U_{be2}(0) = E_C \quad a \quad U_{be2}(\infty) = -E_C$$

$$U_{be2}(t) = -E_C - \left[-E_C - E_C\right] . e^{-t/\tau_2}$$ gdje je

$$\tau_2 = R_{b2} C_2$$

$$U_{be2}(t) = -E_C + 2E_C . e^{-t/\tau_2}$$

Ovo nestabilno stanje traje dok napona $U_{be2}(t)$ ne bude jednako približno nuli.

U tome trenutku ($t = T_2$) vrijedi relacija:

$$0 = E_C\left(2.e^{-t/\tau_2} - 1\right) /t = T_2$$

odakle je: $T_2 \approx \tau_2 \ln 2$

$$T_2 \approx 0,694.120.10^3.C_2$$

analogno: $T_1 \approx \tau \ln 2$ gdje je $\tau_1 = R_{b1} C_1$

Dakle $T_1 \approx 0,694.90.10^3.C_1$

Pošto je $T_1 = 3\ T_2$ to je $4\ T_2 = T$ te je

$$\frac{T}{4} \approx 0,694.120.10^3 C_2$$

$$C_2 = \frac{0,1.10^{-3}}{4.0,694.120.10^3}$$

$$C_2 = 0{,}3\,\mu F \quad ? \quad C_1 = 0{,}3\,nF$$

$$C_1 = \frac{3T}{4.0{,}694.90.10^3}$$

$$C_1 = 1{,}2\,nF$$

Vrijeme porasta signala u kolektorima ćemo odrediti iz vremenskih konstanti $R_{C2}.C_1$ i $R_{C1}.C_2$.

Porast signala u kolektoru tranzistora T_1 je odredjeno relacijom

$$U_{C1} = U_{C1}(\infty) - \left[U_{C1}(\infty) - U_{C1}(0) \right].e^{-t/\tau_1}$$

$$U_{C1}(\infty) = -E_C; \quad U_{C1}(0) = 0$$

$$U_{C1} = -E_C - \left[-E_C\right].\, e^{-t/\tau_1}$$

$$U_{C1} = -E_C\left(1-e^{-t/\tau_1}\right); \quad \tau_1 = R_{C1}.C_2$$

$$\tau_1 = 3.10^3.0{,}3.10^{-9} = 0{,}9.10^{-6}\ \text{sek}$$

U trenutku $t = T_1$:

$$U_{C1} = -E_C\left(1-e^{-T_1/\tau_1}\right)$$

$$U_{C1} = -12\left(1-\frac{1}{1\ \frac{75}{0{,}9}.10^{-6}}\right) = -12\ V$$

Porast napona u kolektoru tranzistora T_2 je:

$$U_{C2} = -E_C\left(1-e^{-T_1/\tau_2}\right)\ a$$

$$R \leq \frac{\beta R_{c1}}{1+\beta \frac{E_b R_{c1}}{E_c R_b}} - R_{c2}$$

$$\tau_2 = R_{C2} \cdot C_1 = 6.10^3.1,2.10^{-9}$$

$$\tau_2 \doteq 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ sek}$$

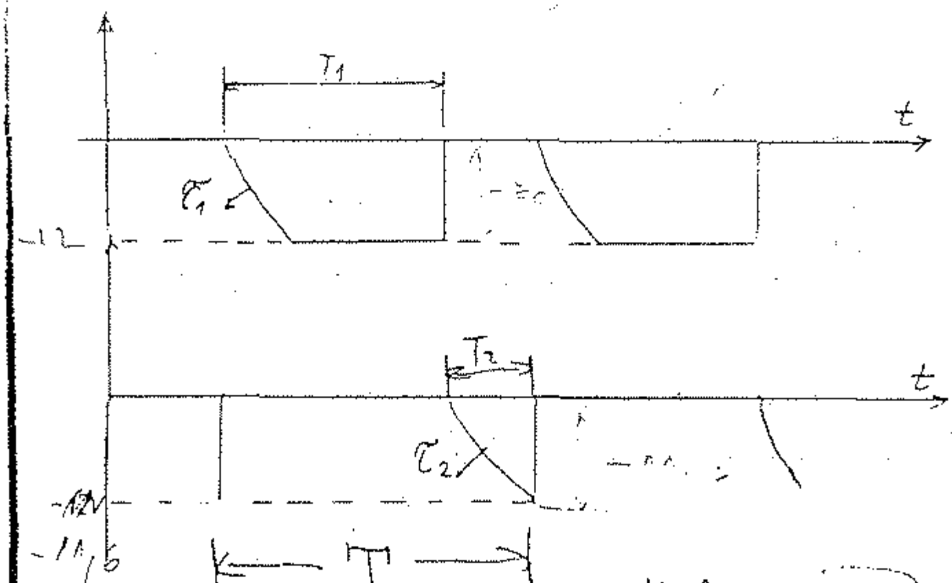
U trenutku $t = T_2$:

$$U_{C2} = - E_C \left(1-e^{-T_2/\tau_2}\right)$$

$$U_{C2} = - 12 \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{25}{7,2}}}\right)$$

$$U_{C2} = - 12 \left(1-0,033\right) = 11,6 \text{ V}$$

Na sl.4.2 prikazan je valni oblik izlaznog signala:



$u_{C2} \approx u_{CE}$ napisati pogotovo do $-E_C$

Sl.4. 2

Faktor iscjepkanosti : $Q_2 = \frac{T}{T_1} = \frac{4}{3} = 1,33$

$$Q_1 = \frac{T}{T_2} = \frac{T_1+T_2}{T_2} = 4$$

4.2. Simetrični astabilni multivibrator, frekvencije 5 Hz služi kao oscilator digitalnog sata. Digitalni sat treba da radi zadovoljavajuće u temperaturnom intervalu 0-60°C.

Potrebno je:

a/ Nacrtati logičku strukturu digitalnog sata koji pokazuje sekunde i minute i vremenski dijagram unutar strukture do isteka vremena od 4 sekunde.

b/ Proračunati astabilni multivibrator ako njegovi izlazni impulsi treba da imaju amplitudu 8 V.

Koristiti tranzistore BC219S sa slijedećim podacima:

$$U_{Cemaxdop} = 32\ V,\ I_{Cmaxdop} = 100\ mA,\ \beta = 100\ do\ 130$$

$$I_{CO} = 10.10^{-9} A\ na\ 20^{o}C;\ f_{\alpha g} = 100\ MHz.$$

c/ Ako je neophodno zamijeniti jedan od tranzistora astabilnog multivibratora koji od dva navedena tranzistora treba upotrebiti?

AF261	AC342
$-U_{Cemaxdop} = 24\ V$	$U_{Cemaxdop} = 24\ V$
$-I_{Cemaxdop} = 15\ mA$	$I_{Cmaxdop} = 15\ mA$
$\beta = 60-12o$	$\beta = 40 - 80$
$-U_{bez} = 0,2$	$U_{bez} = 0,4\ V$
$-U_{beo} = 0,3$	$U_{beo} = 0,3\ V$
$-I_{CO} = 10.10^{-3} A$ na $25^{o}C$	$I_{CO} = 10^{-6}\ A$
$f_{\alpha g} = 50\ MHz$	$f_{\alpha g} = 5\ MHz$

a/ Frekvencija astabilnog multivibratora $f = 5Hz$.

$$\text{Perioda } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5} = 0{,}2 \text{ sek.}$$

Na izlazu multivibfatora bi imali svakih 0,2 sek jedan impuls.

Sat ćemo načiniti koristeći kao osnovnu strukturu bistabli multivibrator.

Da bi dobili na izlazu sekunde potrebno je od binarnih multivibratora napraviti djelitelj sa pet, da bi nakon pet ulaznih impulsa na izlazu iz brojača dobili jedan impuls. Da dobijemo pokazivač minuta potrebno je na indikator sekundi ddograditi još djelitelj sa 60.

Da dobijemo indikaciju sekundi potrebna su tri bistabila a brojač treba da broji u sistemu 5.

Potratne sprege se odrede iz relacije

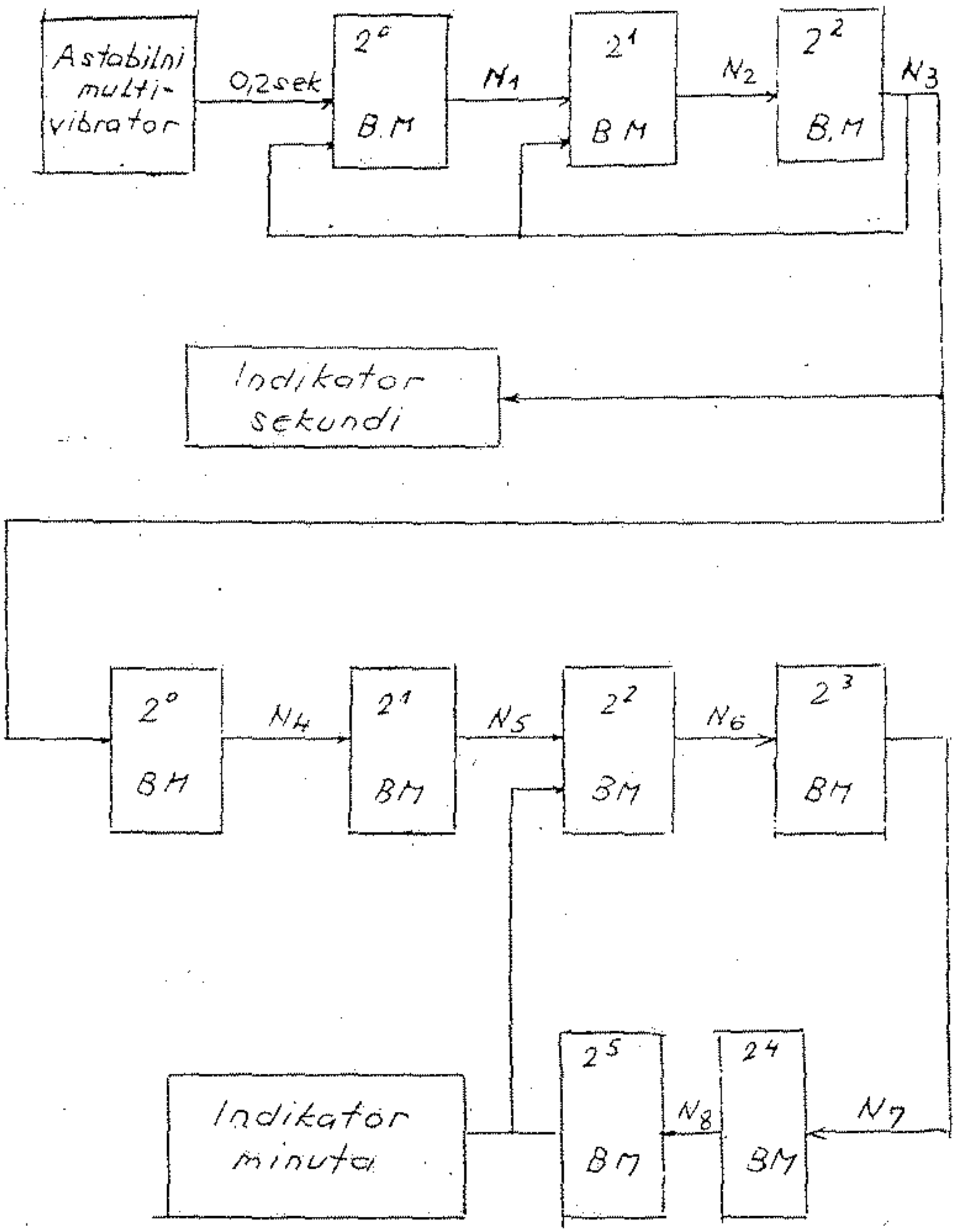
$$8 - 5 = 3 - 1.2^0+1.2^1+0.2^2$$

Vidimo da se povratne veze vode sa zadnjeg na prvi i drugi binar.

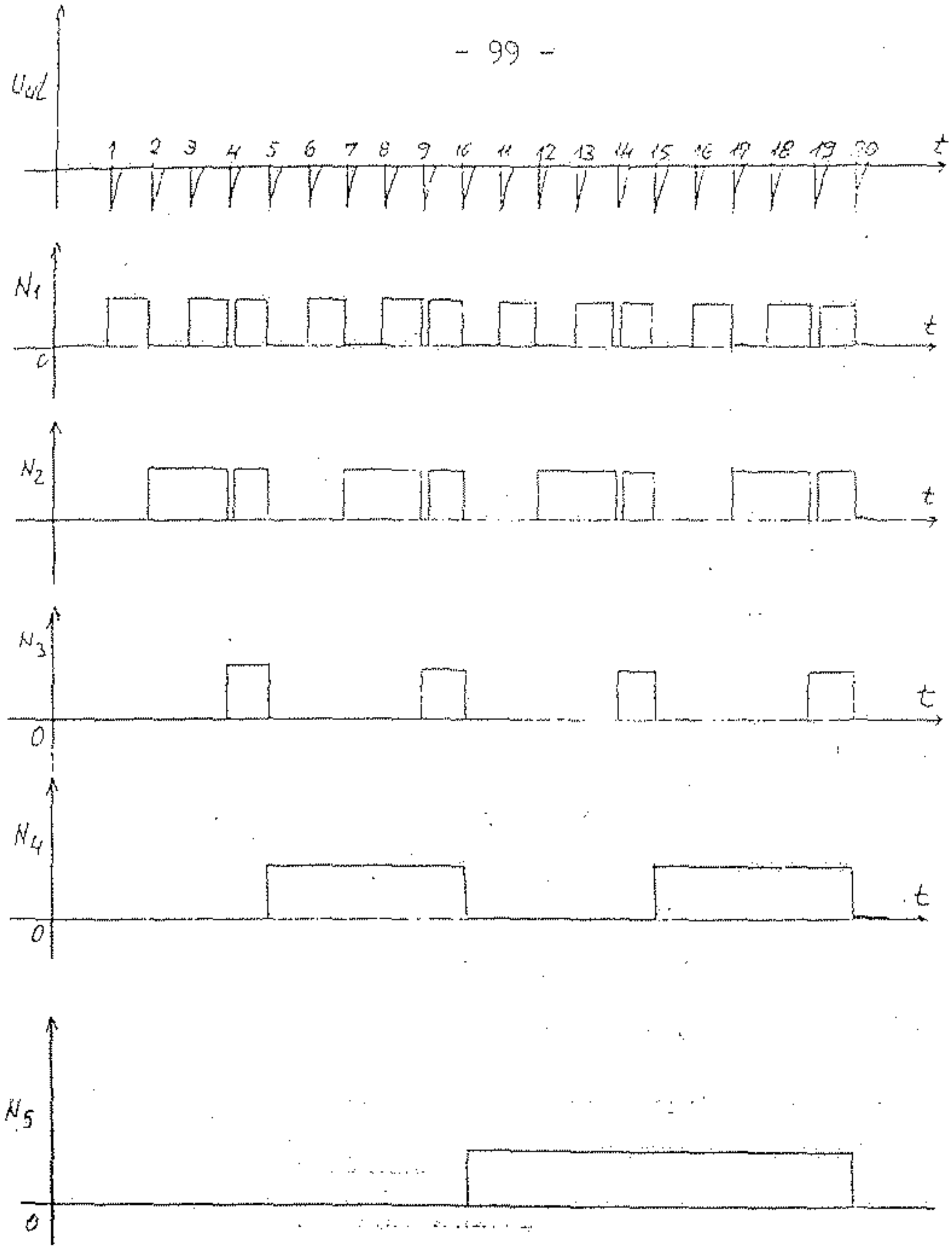
Kod brojača minuta potrebna su nam 6 binara.Povratne sprege se izvode prema slijedećoj relaciji:

$$2^6 - 60 = 4 = 0.2^0+0.2^1+1.2^2+0.2^3+0.2^4+0.2^5$$

Dakle sa zadnjeg binara povratna sprega se vodi na treći binar. Struktura bi izgledala prema slici 4.3.


Astabilni multivibrator
0,2sek
2^0 B.M
N_1
2^1 BM
N_2
2^2 B.M
N_3
Indikator sekundi
2^0 BM
N_4
2^1 BM
N_5
2^2 BM
N_6
2^3 BM
Indikator minuta
2^5 BM
N_8
2^4 BM
N_7

Sl.4.3



Sl.4.4

Na sl.4.4 prikazan je vremenski dijagram unutar strukture u vremenu od 4 sekunde.

b/ Odabiremo E_C prema relaciji:

$$E_C = (1,1 - 1,2)\ U_n$$

Usvajamo $E_C = 10$ V

$$R_{C1} = R_{C2} = R_C$$

$$R_C \geqslant \frac{E_C}{I_{Cmaxdop}} \quad \text{uz } I_{Cmaxdop} = 100 \text{ mA}$$

$$R_C \geqslant 100\ \Omega$$

Usvajamo $R_C = 1\ K\Omega$

Iz uvjeta zasićenja: $R \leqslant \beta_{min} \cdot R_C$

$$R \leqslant 100 \cdot 10^3 = 100\ K\Omega$$

Usvajamo $R = 50\ K\Omega$

Pošto je astabilni multivibrator simetričan $R_1C_1 = R_2C_2 = RC$ period ponavljanja impulsa:

$$T = 2RC \ln \frac{2 + \frac{I_{CO}R}{E_C}}{1 + \frac{I_{CO}R}{E_C}}$$

Potrebno je da sklop korektno radi na temperaturi od 60^oC te je:

$$T = 2RC \ln \frac{2 + \frac{I_{Comax} \cdot R}{E_C}}{1 + \frac{I_{Comax} \cdot R}{E_C}}$$

$$I_{CO60} = I_{COmax} = I_{CO20°C} \cdot 2^{\frac{60-20}{10}} = 16\ I_{CO20°C}$$

$$I_{CO60°C} = 160\ nA$$

Pošto je

$$I_{Comax} \cdot R = 160.10^{-9}.50.10^{3} = 8.10^{-3} \ll E_C$$

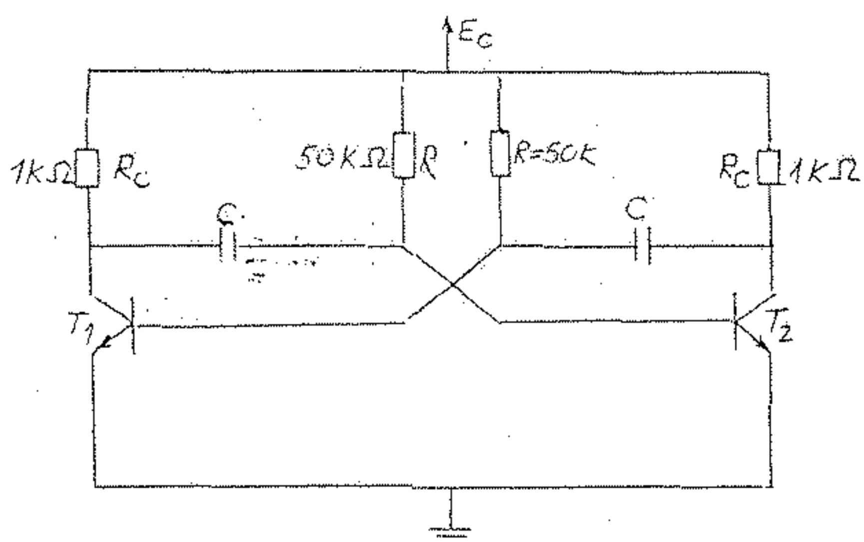
te je $T = 2\ RC\ \ln 2$

$$T = 1{,}388.RC$$

$$C = \frac{T}{1{,}388\ R} = \frac{0{,}2}{1{,}388.50.10^{3}}$$

$$C = \frac{0{,}2.10^{-4}}{6{,}94} = 2{,}88\ \mu F$$

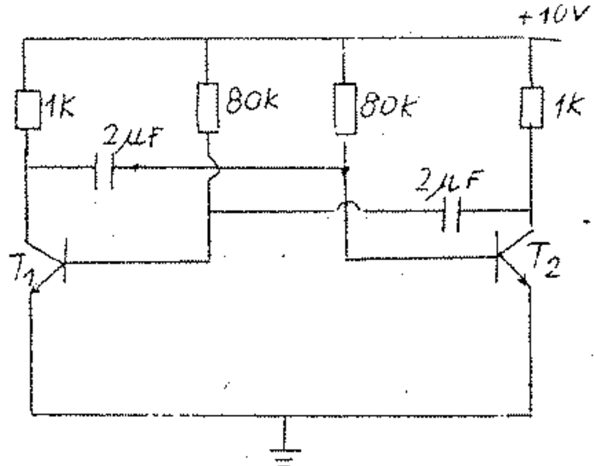
Na sl.4.5 prikazan je proračunati multivibrator



Sl.4.5

c/ Ako je potrebno zamjeniti jedan od tranzistora astabilnog multivibratora, uzeli bi tranzistor AC 342 jer je on NPN tranzistor.

4.3. Dat je astabilni multivibrator prema slici 4.6 Nacrtati valni oblik signala u kolektorima i bazama i izračunati karakteristične veličine ovih signala.



Sl.4.6

Rješenje:

- Pošto je simetričan astabilni multivibrator to će trajanje impulsa i u jednom i drugom kolektoru biti isto.

$$T = T_1 + T_2 = (C_1R_{1} + C_2R_{2}) \ln 2$$

$$C = C_1 = C_2 ; \qquad R_{b1} = R_{b2} = R_b$$

$$T = 1{,}4.80.10^3.2.10^{-6}$$

$$T = 224 \text{ m sek}$$

Pronatramo porast kolektorskog napona pri kočenju tranzistora T_C . Zakon promjene napona U_{C2} je dat slijedećom jednadžbom.

$$U_{C2}(t) = U_{C2}(\infty) - \left[U_{C2}(\infty) - U_{C2}(0)\right]\cdot e^{-t/\tau}$$

$$U_{C2}(\infty) = E_C \ ; \qquad U_{C2}(0) = 0$$

$$U_{C2} = E_C - E_C\cdot 1^{-\frac{t}{\tau}} = E_C\left(1-1^{-t/\tau}\right); \qquad \tau = R_C\cdot C$$

$$\tau = 2.10^{-6}.10^{3} = 2.10^{-3} = 2 \text{ msek.}$$

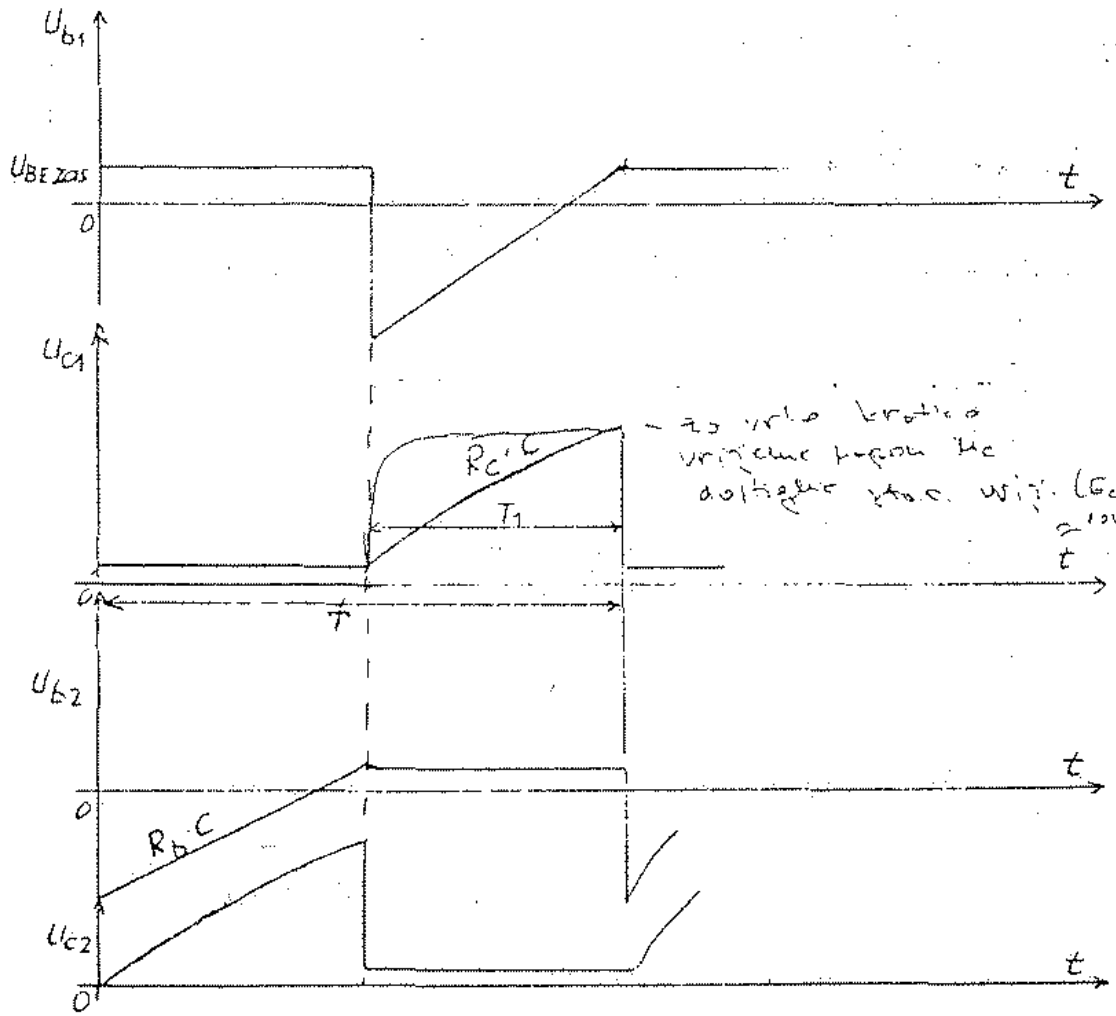
U trenutku $t = T_2 = 112$ msek

$$U_{C2}(T_2) = 10\left[1 - \frac{1}{e^{\frac{112}{2}}}\right] \approx \underline{\underline{10}}\ \text{V}$$

Pošto je sklop simetričan i

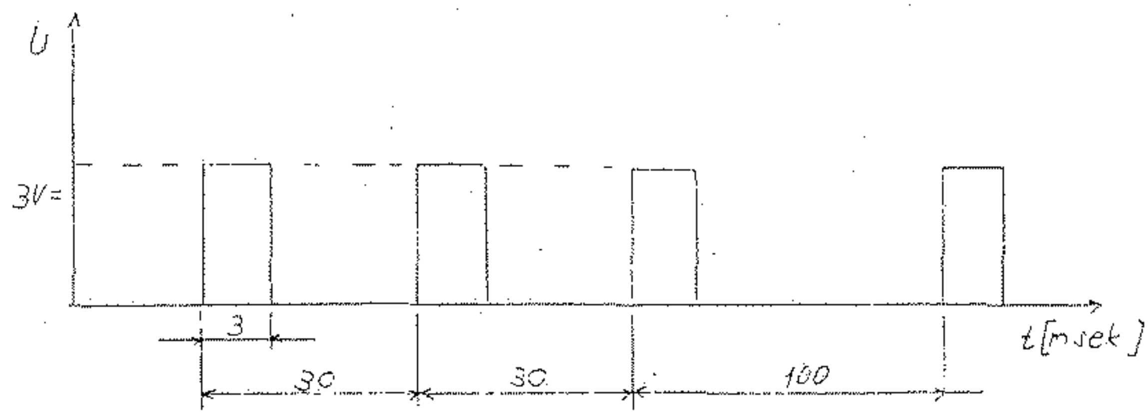
$U_{C1}(T_1) \approx 10$ V, što je ujedno amplituda izlaznog signala.

Na sl.4.7 prikazani su valni oblici u karakterističnim tačkama.



Sl.4.7

4.4. Nacrtati valni oblik signala u kolektorima i bazama sklopa iz zadatka 4.3 i izračunati karakteristične veličine tih signala, ako se u bazu tranzistora T_2 preko otpora R = 10 K dovodi niz impulsa prema slici 4.8 pri čemu prvi impuls koincidira sa trenutkom promjene stanja tranzistora T_2 iz stanja vodjenja u stanje kočenja.



Sl.4.8

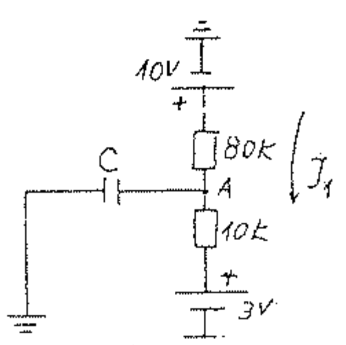
Rješenje:

Tranzistor T_2 je upravo zakočen. Promatramo promjenu napona u njegovoj bazi pri dovodjenju impulsa t = 3ms i amplitude 3 V.

$$U_{be2}(t) = U_{be2}(\infty) - \left[U_{be2}(\infty) - U_{be2}(0)\right] . e^{-t/\tau},$$

$$U_{be2}(0) = - E_C = - 10 \text{ V}$$

Prema slici 4.9. $U_{be2}(\infty) = I_1 ; 10.10^3 + 3 \text{ V} =$



Sl.4.9

$$= \frac{(10-3)}{90.10^3}.10^3.10+3 =$$

$$= 3,78 \text{ V}$$

$$U_{be2}(\infty) = 3,78 \text{ V}$$

$$\tau = \frac{80.10}{90}.10^{3}.2.10^{-6} = 17,8.10^{-3} \text{ sek.}$$

Napon u bazi tranzistora T_2 će se mijenjati prema:

$$U_{be2}(t) = 3,78 - \left[3,78 + 10\right].e^{-t/17,8.10^{-3}} =$$

$$= 3,78 - 13,78.e^{-t/17,8.10^{-3}}$$

U trenutku završetka prvog ulaznog impulsa, za t = 3 msek, napon u bazi tranzistora T_2, iznosi:

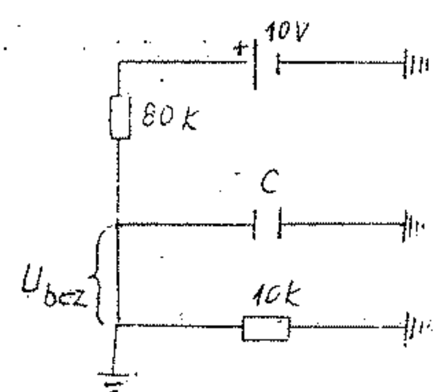
$$U_{be2}(3) = 3,78-13,78.1^{-\frac{3.10^{-3}}{17,8.10^{-3}}}$$

$$U_{be2}(3) = -7,82 \text{ V}$$

U vrijeme pauze ulaznog impulsa prema slici 4.10 napon $U_{be2}(t-3)$ se odredi na osnovu:

$$U_{be2}(0) = -7,82 \text{ V}$$

$$U_{be2}(\infty) = \frac{10.10}{90.10^{3}} = 1,11 \text{ V}$$



Sl.4.10

$$U_{be2}(t) = 1,11 - (1,11+7,82).e^{-\frac{t-3}{\tau}} \quad a$$

U_{be2} (t) za t = 30 msek je:

$$U_{be2}(30) = 1,11 - 8,93.1^{-\frac{27.10^{-3}}{17,8.10^{-3}}}$$

$$U_{be2}(30) = -0,84 \text{ V}$$

U trenutku t = 30 msek nailazi novi impuls u toku djelovanja ovoga impulsa napon u bazi T_2 će se mijenjati po zakonu:

$$U_{be2}(t) = U_{be2}(\infty) - [U_{be2}(\infty) - U_{be_2}(0)].e^{-\left(\frac{t-30}{\tau}\right)}$$

gdje je:

$$U_{be2}(0) = -0,84 \text{ V}$$

$$U_{be2}(\infty) = 3,78 \text{ V}$$

$$U_{be2}(t) = 3,78 - (3,78+0,84).F^{-\left(\frac{t-30}{\tau}\right)}$$

U trenutku t = 33 msek:

$$U_{be2}(33) = 3,78-4,62 .F^{-3/\tau}$$

$$U_{be2}(33) = 3,78 - \frac{4,62}{3\ 17,8}$$

$$U_{be2}(33) = -0,11 \text{ V}$$

U trenutku t = 33 prestaje drugi impuls te imamo promjenu napona prema:

$$U_{be2}(0) = -0,11 \text{ V}$$

$$U_{be2}(\infty) = 1,11 \text{ V}$$

$$U_{e2}\, t = 1,11 - 1,22.1^{-\frac{t-33}{\tau}}$$

Tranzistor T_2 će provesti kada je $U_{be2}(t) \approx 0$

$$0 = 1,11 - 1,22.\mathrm{e}^{-x/\tau}$$

$$X = \tau\,[\ln 1,22 - \ln 1,11]$$

$$X = 17,8.10^{-3}\,[0,199-0,104]$$

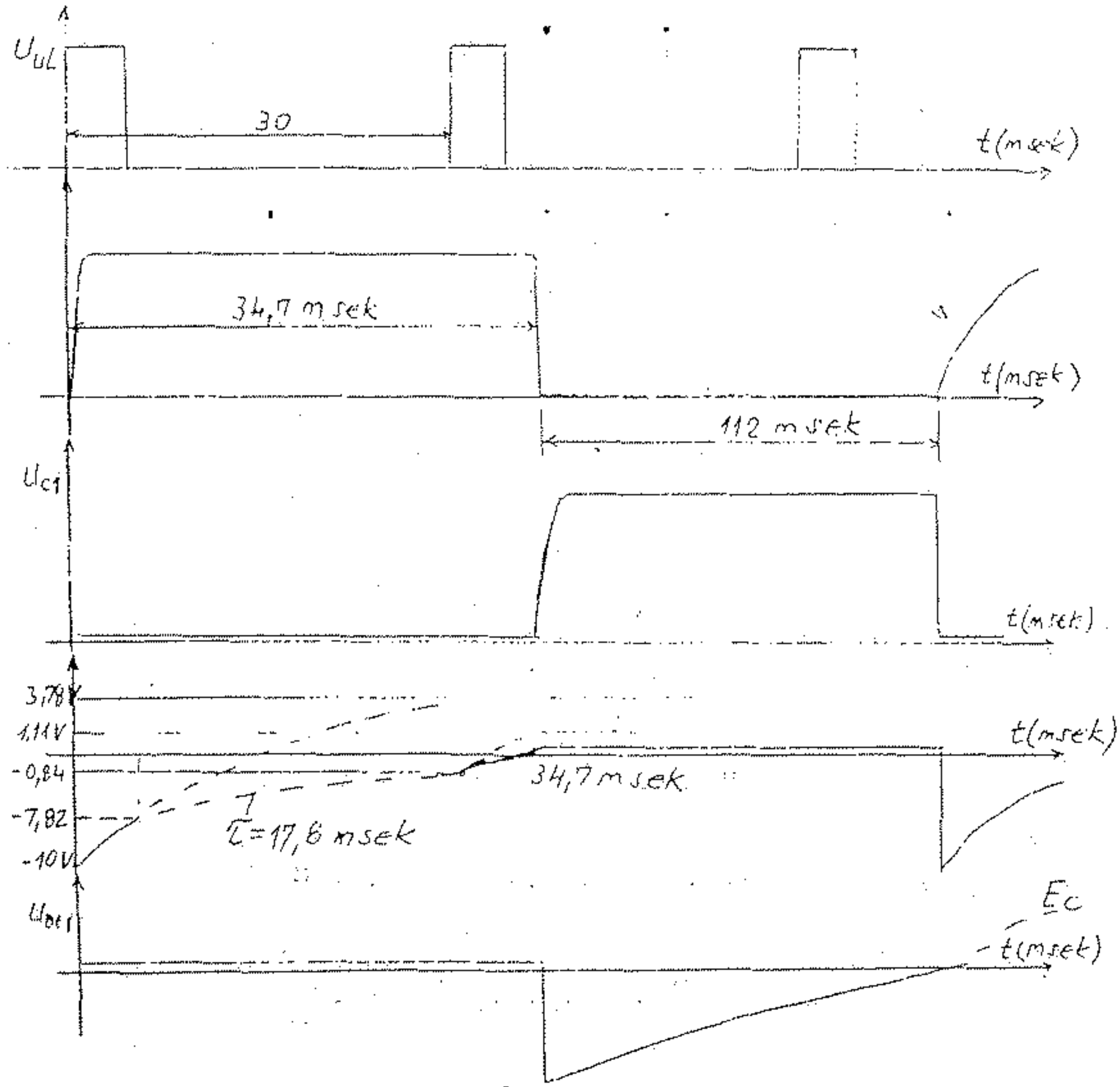
$$X = 1,69.10^{-3} \text{ sek}$$

Pošto je $X = (t-33)$ msek to je

$$t = (33 + 1,69) = 34,7 \text{ msek}$$

Dakle u trenutku t = 34,7 msek tranzistor T_2 će početi da vodi.
Tranzistor T_2 će voditi do t = 34,7+112 msek.

Na sl.4.11 prikazan je valni oblik napona u karakterističnim tačkama.

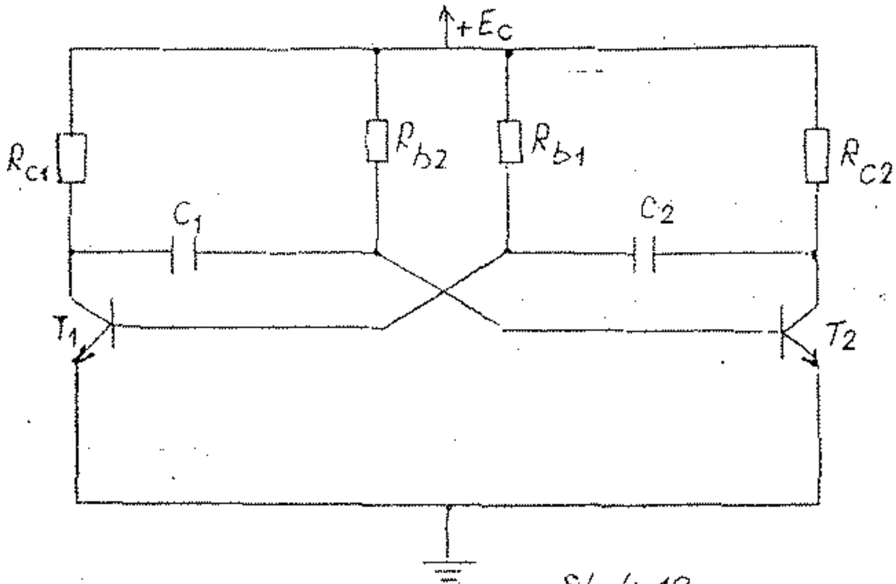


Sl.4.11

4.5 dat je sklop na sl.4.13 označiti odakle se dobijaju izlazni signali, te naći njihovu frekvenciju i amplitudu.

Dato je E_C = 10 V; $R_{C1} = R_{C2}$ = 1K; R_{b1} = 10 K;

$R_{b2} = 2\ K\Omega$; $C_1 = 0{,}5\ \mu F$; $C_2 = 0{,}05 \cdot 10^{-6}\ F$



Sl. 4.12

Rješenje:

Izlazni signali se dobijaju iz kolektora tranzistora T_1 ili iz kolektora transistora T_2.

$$f = \frac{1}{T} \quad ; \quad T = T_1 + T_2$$

$$T_1 \approx \tau_1 \ln 2 = 0{,}7 \cdot 10^4 \cdot 0{,}05 \cdot 10^{-6} = 0{,}35 \text{ msek}$$

$$T_2 \approx \tau_2 \ln_2 = 0{,}7 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-6} = 0{,}7 \text{ msek}$$

$$T = T_1 + T_2 = 1{,}05 \text{ msek}$$

$$f = 0{,}955 \text{ KHz}$$

U trenutku kada tranzistor T_1 prestane voditi napon u kolektoru tranzistora T_1 raste prema slijedećem zakonu:

$$U_{C1}(t) = U_{C1}(\infty) - \left[U_{C1}(\infty) - U_{C1}(0)\right].1^{-t/\tau}$$

$$U_{C1}(\infty) = E_C$$

$$U_{C1}(0) = 0 \qquad \text{a} \quad \tau = R_{C1}.C_1$$

$$U_{C1}(t) = E_C - E_C.1^{-t/\tau} = E_C\left(1 - 1^{-t/\tau}\right)$$

Napon u kolektoru tranzistora T_1 pri kraju trajanja njegovog zakočenog stanja uz $\tau = R_{C1}.C_1 = 0,5.10^{-3}$ će iznositi:

$$U_{C1}(T_1) = 10\left(1 - \frac{1}{e^{\frac{0,35.10^{-3}}{0,5.10^{-3}}}}\right) = 10\left(1 - \frac{1}{2,02}\right)$$

$$U_{C1}(T_1) = 5,05 \text{ V}$$

Impulsi na kolektoru T_2 pri kraju trajanja zakočenosti tranzistora T_2 će poprimiti vrijednoxt:

$$U_{C2}(t) = E_C\left(1 - e^{-t/\tau_2}\right) \quad \text{a}$$

$$\tau_2 = R_{C2}.C_2 = 0,05.10^{-3} \text{ sek}$$

$$U_{C2}(T_2) = 10\left(1 - \frac{1}{e^{\frac{0,7.10^{-3}}{0,05.10^{-3}}}}\right) = 10.\left(1 - \frac{1}{e^{14}}\right)$$

$$U_{C2}(T_2) \cong 10\ V$$

Vidimo da će napon na kolektoru tranzistora T_2 narasti na maximalnu vrijednost za vrijeme T_2.

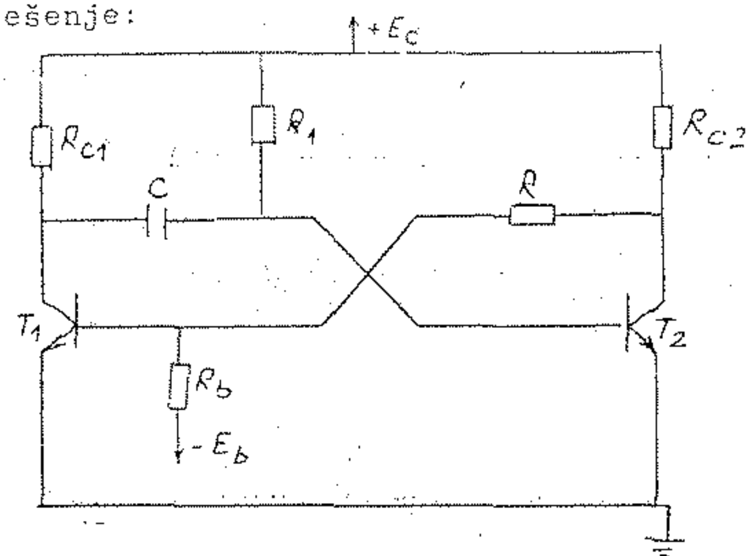
5.1. Proračunati monostabilni multivibrator ako je zadano:

Amplituda izlaznih impulsa U_m = 10 V, vrijeme trajanja nestabilnog stanja ti = 0,1 sek.

Tranzistor:

I_{Cmax} = 10 mA, I_{C0max} = 100 μA, β_{min} = 60.

Rješenje:



Sl.5.1

Napon napajanja odredimo iz relacije:

$$E_C \approx (1,1\text{-}1,2)\ U_m$$

Usvajamo $E_C = 1{,}2\ U_B = 12\ V$

Uz odabranu struju zasićenja $I_{C2zas} = 6\ mA$

$$R_{C2} = \frac{12}{6.10^{-3}} = 2\ K\Omega$$

Prednapon E_b se obično uzima 1-2 V

Usvajamo $E_b = 1\ V$

Iz uvjeta da tranzistor T_1 bude zakočen ako T_2 vodi odredimo vrijednost otpora R .

$$U_{BE} = -\frac{E_b \cdot R}{R + R_B} + I_{CO} \cdot \frac{R\ R_b}{R + R_b}$$

$$I_{CO} \frac{RR_B}{R+R_b} \leq E_b \cdot \frac{R}{R+R_b} \quad \text{odavde} \quad R_b \leq \frac{E_b}{I_{CO}}$$

$$R_{bmax} = \frac{E_b}{I_{COmax}} \qquad R_b \leq R_{bmax}$$

U ovom slučaju

$$R_{bmax} = \frac{1}{100.10^{-6}} = \frac{10^6}{10^2} = 10.10^3\,\Omega$$

Usvajamo

$$R_b = 5\ K$$

Otpor R se odredi analogno razmatranju kod bistabilnog multivibratora, iz uvjeta zasićenja tranzistora T_1 kada je T_2 zakočen.

$$R \leqq \left(\frac{\beta_{min}}{1+\beta_{min}\frac{E}{E_C}\frac{R_{C2}}{\;}} - 1 \right) R_{C2}$$

$$R \leqslant \left(\frac{60}{1+60\,\frac{1}{12}\,\frac{2.10^2}{5.10^2}} - 1 \right) 2.10^3$$

$$R \leqslant 19.2.10^3 = 38\ K$$

Usvajamo $R = 20\ K$

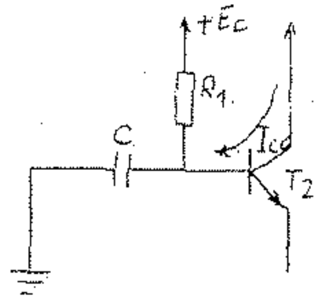
Otpor R_1 odredimo iz uvjeta zasićenja tranzistora T_2.

$$I_{C2z} \leqslant \beta\, I_b \text{ odnosno}$$

$$R_1 \leqslant \beta R_{C2} = 60.2K = 120\ K\Omega$$

Usvajamo $R_1 = 60\ K\Omega$

U stacionarnom stanju tranzistor T_2 vodi. Dovodjenjem impulsa u bazu tranzistora T_1 tranzistor T_1 provede . Napon u bazi tranzistora T_2 prema slici 5.2 mijenja se sa vremenskom konstantom R_1C . Kada napon u bazi postane približno nula volti, tranzistor T_2 će provesti.



Sl.5.2

$$U_{bE}(0) = -E_C; \quad U_{BE}(\infty) = E_C + I_{CO}R_1$$

$$U_{be}(t) = E_C + I_{CO}R_1 - [E_C + I_{CO}R_1 + E_C] \cdot e^{-t/\tau}$$

$$U_{be}(t) = E_C + I_{CO}R_1 - [2E_C + I_{CO}R_1] e^{-t/\tau} \text{ pošto je}$$

U trenutku ti napon U_{BEzC} imamo:

$$ti \approx \tau \ln \frac{2 + \frac{I_{CO}R_1}{E_C}}{1 + \frac{I_{CO}R_1}{E_C}}$$

Gdje je $\tau = R_1 C$

$$I_{COmax} R_1 = 100.10^{-6} \cdot 60.10^3 = 6 \text{ V}$$

Dakle uticaj struje I_{CO} se ne može zanemariti:

$$ti = R_1.C.\ln \frac{2 + \frac{6}{12}}{1 + \frac{6}{12}} = R_1 C \ln \frac{2,5}{1,5}$$

odavde je:

$$C = \frac{ti}{R_1 \ln 1,67} = \frac{0,1}{60.10^3.0,513}$$

$$C = 3,25 \mu F$$

Pošto nisu dati zahtjevi za vrijeme uspostavljanja odabraćemo R_{C1} tako da zadovolji zahtjev na maximalnu struju zasićenja, time ćemo uzeti i najmanje vrijeme uspostavljanja.

$$R_{C1} = \frac{E_C}{I_{C1max}} = \frac{12}{10.10^{-3}} = 1,2 \text{ K}$$

Usvajamo $R_{C1} = 1,2$ K

Provjera amplitude izlaznog signala za proračunate komponente:

$$U_n = \frac{R}{R + R_{C2}} \cdot E_C = \frac{20.10^3}{20.10^3+2.10^3} .12$$

$$U_n = 10,8 \text{ V}$$

Izlazni napon zadovoljava po amplitudi.

5.2. Trajanje nestabilnog stanja monostabilnog multivibratora iznosi 10 milisek. Napon napajanja multivibratora E_C = 10 V. Ako se 2ms nakon nailaska ulaznog impulsa koji mijenja stanje monostabilnog multivibratora skokovito promjeni napon E_E na 15 V, izračunati kako će se to odraziti na trajanje nestabilnog stanja datog sklopa. Nacrtati dijagrame napona u karakterističnim tačkama.

Rješenje:

Nakon 2 ms trajanja nestabilnog stanja, napajanje se promjeni sa 10 V na 15 V.

Približna relacija za trajanje nestabilnog stanja koja ne zadovoljava u ovom zadatku je:

$$ti = 0,7\ R_1\ C \text{ - prije promjene napona } E_C.$$

Prije promjene napona napajanja, napon u bazi zakočenog tranzistora se mijenja po zakonu:

$$U_{be2}(t) = E_C + I_{CO}R_1 - \left[E_C + I_{CO}R_1 + E_C\right].\mathcal{E}^{-t/\tau}$$

Uz zanemarenje $I_{CO}R_1$ u odnosu na E_C, ~~wa~~ relaciji postoje:

$$U_{be2}(t) = E_C\left(1-2.\mathcal{E}^{-t/\tau}\right) \quad ; \quad \tau = R_1C = \frac{ti}{0,7} = 14,3 \text{ msek}$$

U trenutku t = 2 ms napon u bazi zakočenog tranzistora iznosi:

$$U_{be2}(2) = 10\left(1-2.\mathcal{E}^{-2/14,3}\right) = -7,4 \text{ V}$$

Nakon promjene napona E_C na E_{C1}, zakon promjene napona u bazi zakočenog tranzistora se može naći na osnovu:

$$U_{be2}(\infty) = E_{C1} \quad ; \quad U_{be2}(2) = -7,4 \text{ V}$$

$$U_{be2}(t) = 15 - [15+7,4].\mathcal{E}^{-t/\tau} = 15-22,4.\mathcal{E}^{-t/\tau}$$

Nestabilno stanje će trajati dok U_{e2} ne postane jednako nuli

$$15-22,4.\mathcal{E}^{-t_1/\tau} = 0$$

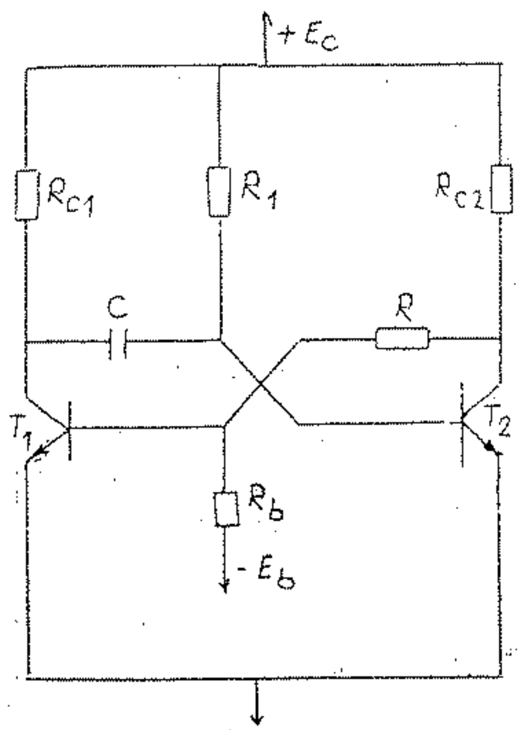
$$\frac{t_1}{\tau} = \ln\frac{22,4}{15}$$

$$t_1 = 5,7 \text{ msek}$$

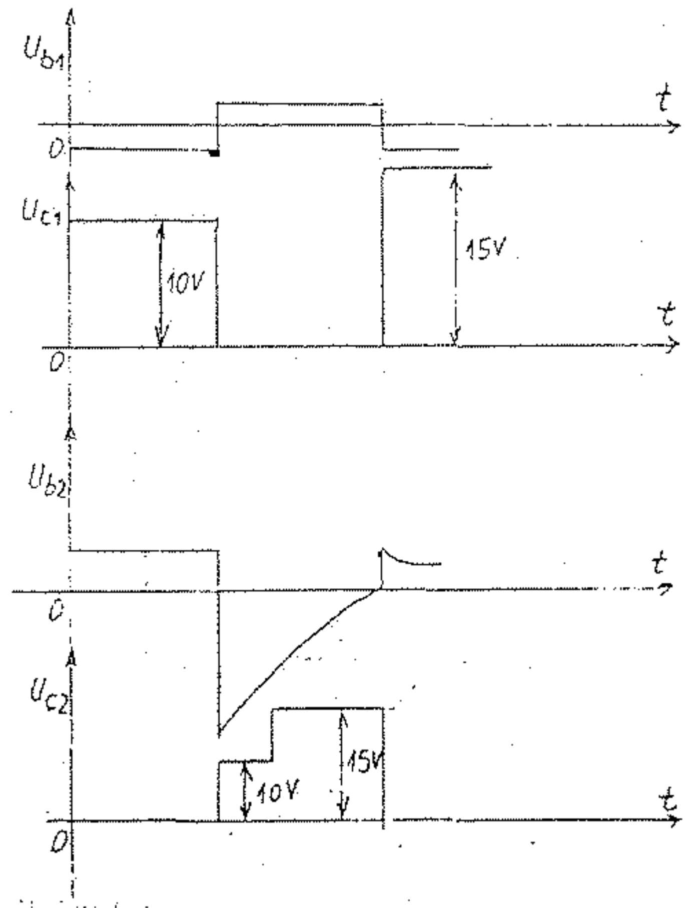
Trajanje nestabilnog stanja u ovome slučaju iznosi:

$$Ti = (2+5,7) \text{ msek} = 7,7 \text{ msek}$$

Struktura multivibratora i dijagrami napona u karakterističnim tačkama data je na sl.5.3a,b.



Sl.5.3a



Sl.5.3b

5.3. Ako 5 msek nakon početka kvazistabilnog stanja monostabilnog multivibratora napon u bazi tranzistora, koji je zakočen iznosi – 8 V, izračunati:

a/ trajanje kvazistabilnog stanja

b/ Elemente sklopa tako da vrijeme porasta izlaznog signala bude manje od 1 msek.

c/ maksimalno dopušteni frekvenciju ulaznih impulsa.

Zadano: Amplituda izlaznog signala 10 V
Tranzistor BC 219-S,

$U_{Cemaxdop} = 32$ V; $I_{Cmaxdop} = 100$ mA, $\beta = 100-150$

$I_{CO} = 10.10^{-9}$ na 25^oC; $f_{\alpha g} = 100$ MHz.

Rješenje:

a/ Napon napajánja odredimo iz relacije

$$E_C = (1,1 - 1,2)\, U_{in} = 11 \text{ V}$$

Obično se odabire napon E_b izmedju 1-2 V

Usvajamo $E_b = 2$ V

Kako je pokazano u zadatku 5,1

$$R_b \leq \frac{E_b}{I_{COmax}}\ , \qquad I_{COmax} \text{ na } 68^oC = I_{CO/25^oC} \cdot 2^{\frac{t_{65}-t_{25}}{10}}$$

$$I_{COmax} \text{ /na } 65^oC = 10.10^{-9}.2^4 = 160 \text{ nA}$$

$$R_b \leq \frac{2}{160.10^{-9}}$$

$$R_b \leq 12,5.10^6 \Omega$$

Usvajamo $R_b = 500$ K

R_{C2} odredimo uz usvojenu struju $I_{C2zos} = 5$ mA.

$$R_{C2} = \frac{E_C}{I_{Czos}} = \frac{11}{5,10^{-3}} = \frac{11}{5} \text{ K} \doteq 2,2 \text{ K}$$

Iz uslova zasićenja tranzistora T_2 odredimo R_1.

$$R_1 \leq \beta_{min} R_{C2}$$

$$R_1 \leq 100 . 2,2 . 10^3 = 220 . 10^3 \Omega$$

Usvajamo $R_1 = 150 \ K\Omega$

Otpor R odredimo iz slijedeće jednadžbe:

$$R \leq R_{C2} \left(\frac{\beta_{min}}{1+\beta_{min} \frac{E}{E_C} \cdot \frac{R_{C2}}{R_b}} -1 \right)$$

$$R \leq 2,2 . 10^3 \left(\frac{100}{1+100 \ \frac{2}{11} \cdot \frac{2,2 . 10^3}{500 . 10^3}} -1 \right)$$

$$R \leq 202 \ K$$

Usvajamo $R = 100 \ K$

Da odredimo vrijednost kondenzatora C promatramo napon $U_{be2}(t)$, uz zanemarenje uticaja I_{CO}:

$$U_{be2}(t) = E_C \left(1-2 . e^{-t/\tau}\right) \text{odakle}$$

$$t = \tau \ln \frac{2EC}{E_C - U_{be2}(t)} = R_1 C \ln \frac{2 \ E_C}{E_C - U_{be2}(t)}$$

Za t = 5 msek; $U_{be2} \ 5 = - 8$ V, te se dobiva:

$$C = \frac{t}{R_1 \ln \frac{2E_C}{E_C - U_{be2}(t)}} = \frac{5 . 10^{-3}}{150 . 10^3 \ln \frac{22}{11+8}}$$

$$C = 225.10^{-9}\ F$$

Trajanje kvazistabilnog stanja odredimo uz zanemarenje I_{CO}:

$$ti \approx 0,694\ R_1\ C$$

$$ti \approx 0,694.150.10^3.225.10^{-9}$$

$$ti \approx 23,4\ msek$$

b/ Vrijeme uspostavljanja impulsa je dato približno sa

$$tn = (3-5)\ R_{C1}.C$$

$$tn \leq 1\ m\ sek$$

$$4\ R_{C1}.C \leq 1\ msek$$

$$R_{C1} \leq \frac{1msek}{4C} = \frac{10^{-3}}{4.225.10^{-9}} = \frac{1}{0,9}\ .10^3$$

$$R_{C1} \leq 1,11\ K\Omega$$

Usvajamo $R_{C1} = 1\ K\Omega$

c/

$$f_{dozmax} = \frac{1}{T} \qquad T = ti+tn = 22\ msek$$

$$f_{maxdoz} = 45,5\ Hz$$

Provjera amplitude izlaznog signala

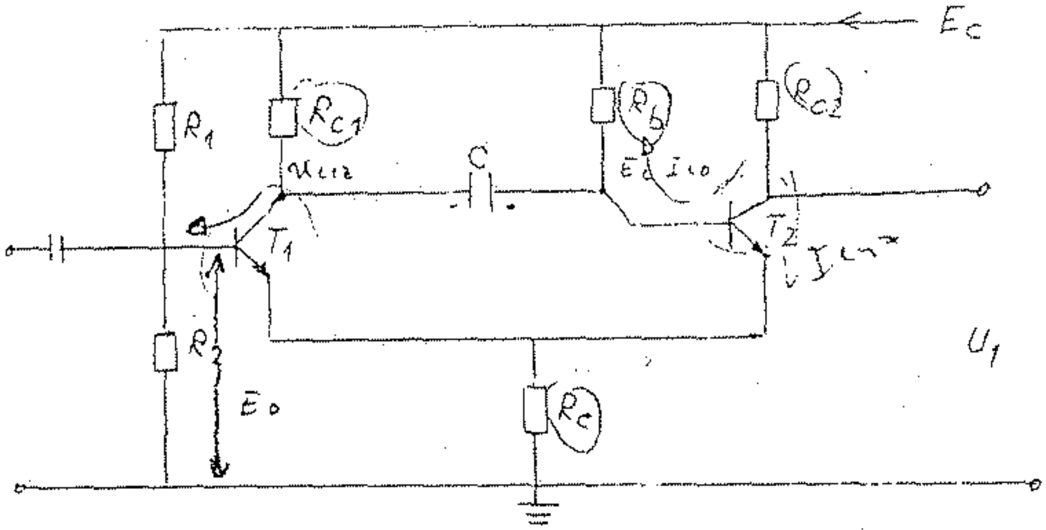
$$U_m \approx E_C\ \frac{R}{R+R_{C2}} = 11\ .\ \frac{100\ K}{102,2K} = 10,6\ V$$

5.4. Nacrtati monostabilni multivibrator sa emiterskom spregom i izračunati vrijednost elemenata, ako je potrebno da se amplitude izlaznog napona mijenja od 4 V do 10V.

Trajanje nestabilnog stanja ti = 1 msek.

Koristiti tranzistor BC2196 sa β_{min} =100, I_{Cmax}=60mA, ostale podatke potrebne za proračun pretpostaviti.

Rješenje:



Sl.5.4

Odabireno $E_C = (1,1-1,2)\,U_n = 11$ V

Potrebno je da $U_{Cmaxdop} \geqslant 2\,2$ V

$$I_{C2zas} = 30 \text{ mA}; \quad R_{C2} = \frac{E_C - U_{2z}}{I_{C2zas}} = \frac{7}{30.10^{-3}}$$

$$R_{C2} = 230\,\Omega$$

RC_1 se odabire tako da je $R_{d1} = (2-3)\,R_{C2}$

Usvajano: $R_{C1} = 600\,\Omega$

Vrijednost kondenzatora C odredićemo na osnovu vremena trajanja nestabilnog stanja.

U trenutku t = 0 nastupa nestabilno stanje, te je:

$$U_{be2}(0) = -(E_C - U_{2z})$$

$$U_{be2}(\infty) = E_C - U_{1z} + I_{CO} R_b$$

$$U_{be2}(t) = E_C - U_{1z} + I_{CO} R_{b2} - [E_C - U_{1z} + I_{CO} R_b + R + E_C - U_{2z}] \cdot e^{-ti/\tau}$$

Pošto je trajanje kvazistabilnog stanja odredjeno trenutkom kada je $U_{be2}(t)$ približno nula vrijede slijedeće relacije:

$$0 = E_C - U_{1z} + I_{CO} R_b - [E_C - U_{1z} + I_{CO} R + E_C - U_{2z}] \cdot e^{-ti/\tau}$$

$$\tau = R_b \cdot C$$

$$ti = \tau \ln \frac{2E_C - (U_{1z} + U_{2z}) + I_{CO} R_b}{E_C - U_{1z} + I_{CO} R_2} \qquad \text{odakle}$$

$$C = \frac{ti}{R_b} \cdot \frac{1}{\ln \left(\frac{2E_C - U_{1z} + U_{2z} + I_{CO} R_b}{E_C - U_{1z} + I_{CO} R_b} \right)}$$

Napon U_{1z} koji nam je potreban pri računanju vrijednosti kondenzatora odredićemo promatrajući sl.5.5.

$$R \leq \beta_{min} R_{C2} = 100.230 = 23 \text{ K}$$

Usvajamo

$$R_b = 10 \text{ K}$$

$$R_e = \frac{U_{C2z}}{I_{C2zas}} = \frac{4}{30.10^{-3}} = 134\,\Omega$$

Da odredimo otpore R_1 i R_2 koji odredjuju potencijal baze tranzistora T_1 potrebno je pretpostaviti koliki je napon E_o potreban u bazi T_1 da tranzistor T_1 bude zakočen dok T_2 vodi. se da će T_1 biti zakočen ako je:

$$E_o \leqslant U_{2z}$$

Pošto je $U_{2z} = 4V$,

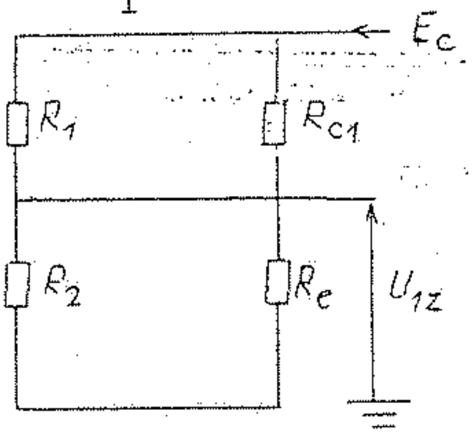
usvajamo $E_o = 3$ V

$$E_o \approx E_C \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad ; \quad R_2 = \frac{E_o}{E_C}(R_1 + R_2)$$

$$\boxed{R_1 + R_2 = 11 \text{ K}}$$

$$R_2 = \frac{3 \cdot 11 \cdot K}{11} = 3 \text{ K}$$

$$R_1 = 8 \text{ K}$$



Sl.5.5

$$U_{1z} = E_C \cdot \frac{G_{C1}+G_1}{G_{C1}+G_1+G_2+G_E} \qquad G_{C1} = \frac{1}{600} = 0,167.10^{-2}$$

$$G_2 = \frac{1}{3.10^3} = 0,33.10^{-3}$$

$$G_1 = \frac{1}{8.10^3} = 0,125.10^{-3}$$

$$G_E = \frac{1}{134} = 0,745.10^{-2}$$

$$U_{1z} = 11. \frac{0,167.10^{-2}+0,0125.10^{-2}}{0,167.10^{-2}+0,0125.10^{-2}+0,033.10^{-2}+0,745.10^{-2}}$$

$$U_{1z} = 2,06 \text{ V}$$

Dakle $U_{1z} < E_c$.

Uz izračunatu vrijednost U_{1z} kondenzator C će imati slijedeću vrijednost uz zanemareno

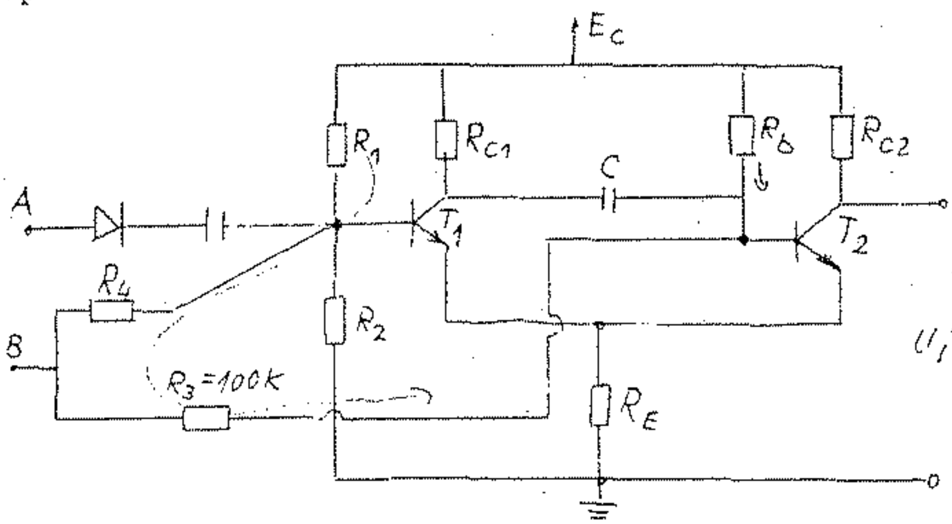
$$I_{C0} \cdot R_b = 10.10^{-9}.10.10^3 = 100.10^{-6} = 10^{-4} \quad :$$

$$C = \frac{10^{-3}}{10.10^3} \cdot \frac{1}{\ln \frac{22-6,06}{8,94} +}$$

$$C = 175 \text{ nF}$$

5.5. a/ Proračunati monostabilni multivibrator dat sl.5.6, ako trajanje nestabilnog stanja iznosi 200 msek. Posmatrati ulaz A . Amplituda izlaznog signala iznosi 10 V.

b/ Proračunati i grafički skicirati efekat koji će u sklopu izazvati niz pozitivnih impulsa amplitude 4V, trajanja 10 msek i frekvencije 10 Hz koji se dovode na ulaz B datog sklopa.



Sl.5.6

Rješenje:

- Uz vrijednost izlaznog signala Ui = 10 V odabiremo napon napajanja $E_C = (1,1-1,4)\ Ui = 12\ V$

- Otpor u kolektoru tranzistora T_2 odredimo iz relacije

$$R_{C2} = \frac{E_C - U_{2z}}{I_{C2zas}}$$

Predpostavićemo $U_{2z} = 2\ V$, a $I_{C2z} = 10\ mA$, tada je:

$$R_{C2} = \frac{12-2}{10.10^{-3}} = 1\ K$$

Uz odabrani napon U_{2z} = 2 V otpor R_E ima vrijednost:

$$R_E = \frac{U_{2z}}{E_C - U_{2z}} \cdot R_{C2}$$

$$R_E = 200\,\Omega$$

Otpor R_{C1} se obično uzima $(2-3)\ R_{C2}$

Usvajamo $R_{C1} = 2,5\ R_{C2} = 2,5\ K$

- Otpor R_b računamo iz uvjeta zasićenja tranzistora T_2. Baznu struju tranzistor dobiva preko otpora R_b i otpora $R_1+R_4+R_3$. Pretpostavimo da je

$$R_1 + R_4 + R_3 \gg R_b \quad \text{tada je}$$

$$R_b \leqslant \beta_{min} \cdot R_{C2}$$

$$R_b \leqslant 60,1\ K = 60\ K$$

Usvajamo $R_b = 20\ K$

Djelitelj R_1-R_2 odredićemo iz uslova da je T_1 zakočen. U tome slučaju $U_{BE1} \leqslant 0$

$$U_{BE1} = E_O - U_{2z} \leqslant 0 \text{ odnosno}$$

$$E_o \leqslant U_{2z}$$

Usvajamo $E_o = 1,2$ V

Pošto je $E_o \approx E_C \dfrac{R_2}{R_1 + R_2}$ uz uvjet $(R_3 + R_4 + R_e) \gg R_2$

$$R_2 = \frac{E_c}{E_C} \left(R_1 + R_2\right) \quad \text{uz } R_1 + R_2 = 10\ K$$

$$R_2 = 1\ K$$

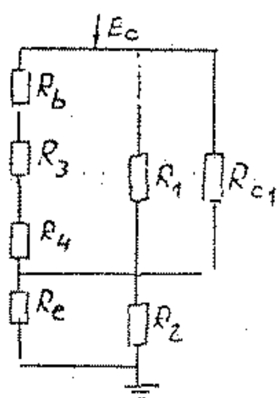
$$R_1 = 9\ K$$

Vrijednost kondenzatora C odredićemo iz vremena trajanja kvazistabilnog stanja:

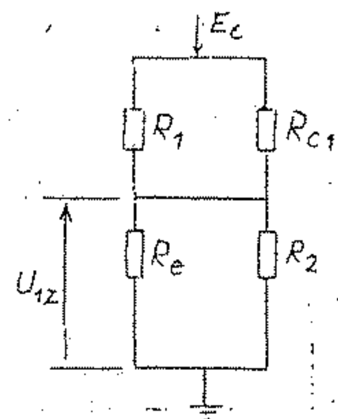
$$ti = \tau \ln \frac{2E_C - \left(U_{1z} + U_{2z}\right) + I_{CO} R_b}{E_C - U_{1z} + I_{CO} R_b}$$

$$\tau = R_b \cdot C$$

Potrebno je da se odredi i U_{1z}. Pronatrajući djelitelj prema slici 5.7.



Sl.5.7



Sl.5.8

Pošto je $R_b + R_3 + R_4 \gg R_1 \parallel R_{C1}$ može se pronatrati djelitelj prema sl.5.8.

$$U_{1z} = \frac{E_C \cdot R_2 \parallel R_e}{R_1 \parallel R_{C1} + R_2 \parallel R_e}$$

$$U_{1z} = \frac{E_C \dfrac{R_2 . R_e}{R_2 + R_e}}{\dfrac{R_1 . R_{C1}}{R_1 + R_{C1}} + \dfrac{R_2 + R_e}{R_2 + R_e}} = 12 \, \frac{0,167 . 10^3}{1,97 + 0,167 \; . 10^3} = 0,985$$

Dakle ispunjen je uvjet $U_{1z} < E_0$

Uz zanemarenje $I_{CO} \, R_b$:

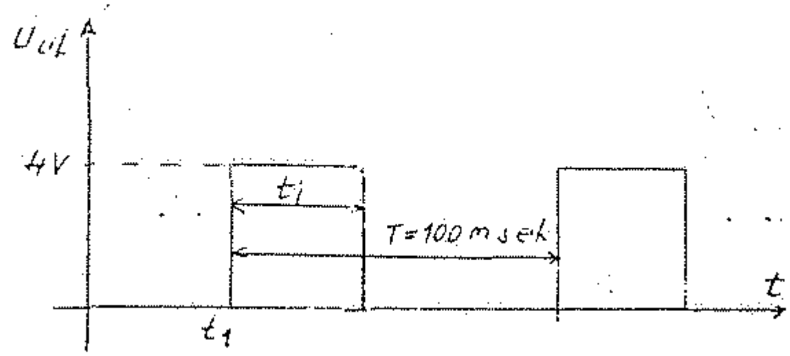
$$ti = R_b . C \ln \left(\frac{24 - (2 + 0,985)}{12 - 0,985} \right)$$

$$ti = R_b . C \ln 1,9 \quad \text{odakle je}$$

$$C = \frac{200 . 10^{-3}}{20 . 10^3 . 0,64}$$

$$C = 15 \mu F$$

B/ Dovedeni impulsi u tačku B imaju oblik prema sl.5.9.



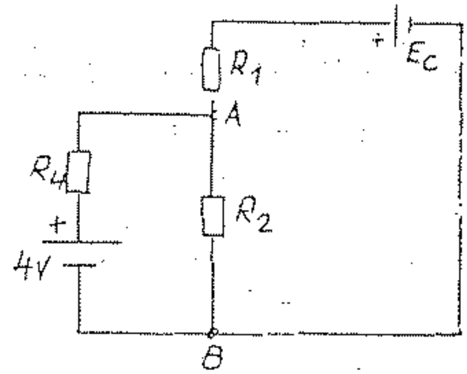
Sl.5.9

Nailazak prvog impulsa dovedi u zasićenje tranzistor T_1 što uzrokuje kočenje tranzistora T_2.

Otpor R_4 moramo odabrati tako da tranzistor T_1 bude u zasićenju. Dakle mora vrijediti:

$$U_{BE} > 0 \text{ odnosno } U_{R2} > U_{2zas}$$

Prema slici 5.10 odredimo napon u tačkama A i B.



Sl.5.10

$$E_T = \frac{E_C - 4}{R_1 + R_4} + 4 \; ; \; R_T = \frac{R_1 . R_4}{R_1 + R_4} \; ; \; E_T \text{ i } R_T \text{ su}$$

Thevenenov napon i otpor u tačkama A i B.

$$U_{R2} = U_{AB} = \frac{E_T}{R_T + R_2} \cdot R_2$$

$$U_{R2} = \frac{\frac{8.R_4}{R_1 + R_4} . R_4 + 4}{\frac{R_1 . R_4}{R_1 + R_4} + R_2} . R_2 \quad \text{nakon uvrštavanja}$$

vrijednosti uz uvjet $U_{R2} \geqslant U_{2z}$:

$$R_4 \leqslant \frac{18}{8} = 2,25$$

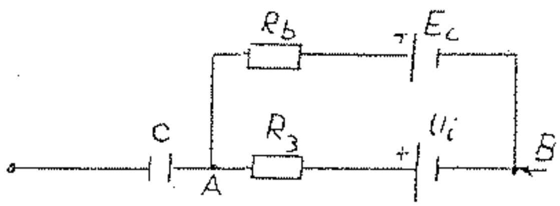
Usvajamo $R_4 = 1\ K$

Uz usvojeno $R_4 = 1\ K$ tranzistor T_1 će provesti pri nailasku impulsa, i sklop će dospjeti u kvazistabilno stanje.

Da odredimo trajanje kvazistabilnog stanja promatramo napon u bazi tranzistora T_2.

U trenutku provodjenja tranzistora T_1 u bazi tranzistora T_2 napon $U_{Be2}(0) = -\left(E_C - U_{2z}\right)$

Prema sl.5.11.



Sl.5.11

$$U_{AB} = \frac{E_C - U_i}{R_3 + R} \cdot R_3 + U_i = \frac{8.100.10^3}{120.10^3} + 4 = 10{,}6\ V$$

$$U_{be2}(\infty) = 10{,}6 - U_{1z} \quad \text{uz} \quad U_{1z} = 0{,}98\ V$$

$$U_{bez}(\infty) = 9{,}62\ V$$

$$U_{be2}(o) = -12 + 2 = -10\ V$$

$$U_{be2}(t) = U_{be2}(\infty) - \left[U_{be2}(\infty) - U_{be2}(0)\right] . \mathrm{e}^{-t/\tau}$$

$$\tau = \frac{R_6 . R_3}{R_6 + R_3} . C = \frac{20.10^3.100.10^3}{120.10^3} .15.10^{-6} = 0{,}25\ \text{sek}$$

$$U_{be2}(t) = 9{,}62 - \left[9{,}62 + 12 - 2\right] . \mathrm{e}^{-t/\tau}$$

$$U_{be2}(t) = 9,62 - 19,62 \cdot \mathcal{E}^{-t/\tau}$$

U trenutku prestanka impulsa napon U_{e2} t će iznositi:

$$U_{be2}(10) = 9,62 \cdot \mathcal{E}^{-\frac{10}{250}}$$

$$U_{be2}(10) = 8,28 \text{ V}$$

U trenutku prestanka impulsa neće prestati trajanje kvazistabilnog stanja.

Za vrijeme pauze izmedju impulsa:

$$U_{be2}(\infty) = \frac{E_C \cdot E_3}{R_3 + R_6} - U_{1z} = \frac{120}{12} - 0,98 = 9,02 \text{ V}$$

$$U_{be2}(0) = -8,28 \text{ V}$$

$$\tau = \frac{R_3 \cdot R_6}{R_3 + R_6} \cdot C = 250 \text{ msek}$$

$$U_{be2}(t) = 9,02 - [9,02 + 8,28] \cdot 1^{-t/\tau} = 9,02 - 17,3 \cdot 1^{-t/\tau}$$

u trenutku t = 90 msek

$$U_{be2}(90) = 9,02 - \frac{17,3}{1^{\frac{90}{250}}} = -3 \text{ V}$$

U vrijeme nailaska drugog impulsa:

$$U_{be2}(t) = 9,62 - (9,62 + 3) \cdot 1^{-t/\tau}$$, a u trenutku

prestanka drugog impulsa:

$$U_{be2}(10) = 9{,}62 - 12{,}62 \cdot e^{-\frac{10}{250}} = -2{,}4 \text{ V}$$

U vrijeme pauze izmedju impulsa:

$$U_{be2} = 9{,}02 - (9{,}02 + 2{,}4) \cdot e^{-t/\tau} = 9{,}02 - 11{,}42 \cdot e^{-t/\tau}$$

Astabilno stanje će prestati u trenutku odredjenom sa:

$$U_{be2} = 0$$

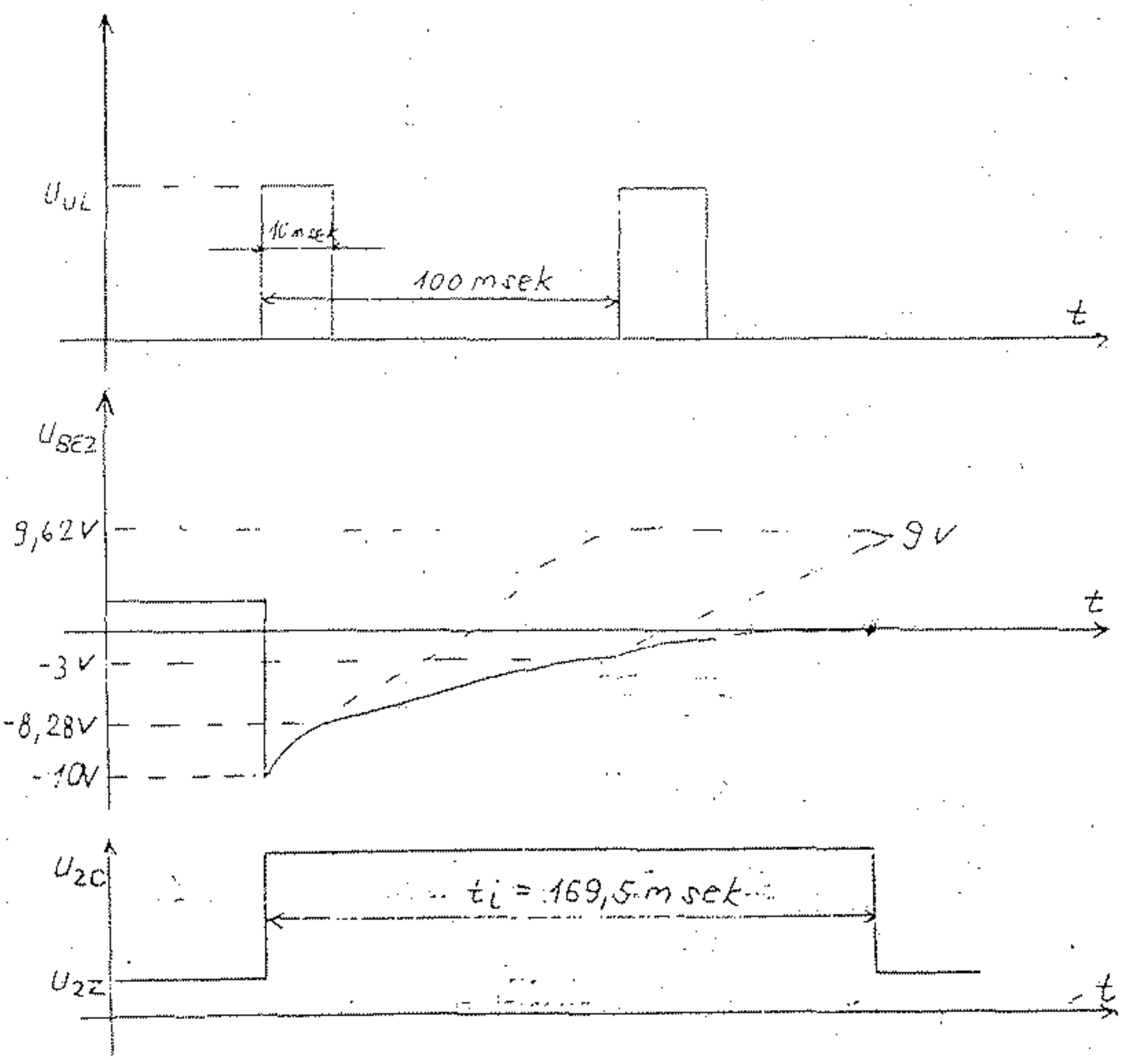
$$0 = 9{,}02 - 11{,}42 \cdot e^{-t/\tau}$$

$$t = 59{,}5 \text{ msek}$$

Ukupno vrijeme trajanja kvazistabilnog stanja

$$T = 100 + 10 + 59{,}5 = 169{,}5 \text{ msek}$$

Na slici 5.12 je prikazana promjena napona u bazi i kolektora tranzistora T_2.


U_{UL}
10 msek
100 msek
t
U_{SEZ}
9,62V
9V
-3V
-8,28V
-10V
t
U_{2C}
t_i = 169,5 msek
U_{2Z}
t

S1.5.12

5.6. Napon na emiterskom otporniku monostabilnog multivibratora sa emiterskom spregom u kvazistabilnom stanju iznosi 5 V. Napon napajanja monostabilnog multivibratora je 12 V, a trajanje kvazistabilnog stanja iznosi 15 msek.

a/ Proračunati elemente monostabilnog multivibratora

b/ Ako se 5 msek nakon nastajanja kvazistabilnog stanja emiterski otpornik kratko spoji u trajanju 2 msek, objasniti i proračunati efekte koje izaziva kratko spajanje otpornika R_e u multivibratoru.

Rješenje:

a/ Predpostavimo da je $I_{Cz1} = 10$ mA.

Pad napona na otporu R_e iznosi 5 V te je:

$$R_e = \frac{5}{10.10^{-3}} = 500\,\Omega$$

$$I_{Cz1}\left(R_{C1} + R_e\right) = E_C$$

$$R_{C1} = \frac{E_C - I_{Cz1}\cdot R_e}{I_{Cz1}} = (1200-500)\,\Omega = 700\,\Omega$$

$$E_o > U_{1z}\ ;\ E_o \leqslant U_{2z}\ ;\ E_o = \frac{E_C \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{odavde}$$

$$R_2 = \frac{E_o}{E_C}\left(R_1 + R_2\right)$$

Bazna struja $I_{b1z} = \dfrac{I_{C1z}}{\beta_{min}}$ a $I_{C1z} = \dfrac{E_C}{R_{C1} + R_e}$

$$I_{C1z} = \frac{12}{700 + 500} = \frac{120}{1200} = 10 \text{ mA}$$

uz $\beta_{min} = 100 \quad I_{bBz} = 100\ \mu A$

Struju kroz djelitelj R_1-R_2 biramo tako da bude znatno veća od bazne struje tranzistora T_1 u vodjenju.

$$I_{R2} \gg I_{b1z}$$

uz $\quad I_{R2} = 100\ I_{bz1} = 10\ mA$

Odnosno $\quad I_{R1} \approx I_{R2}$

$$E_C = (R_1 + R_2)I_{R1}; \quad R_1 + R_2 = \frac{E_C}{I_{R1}}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{12}{10.10^{-3}} = 1,2\ K\Omega$$

Pošto je $R_2 = \dfrac{E_o}{E_C}(R_1+R_2)$ uz usvojeni

$$E_o = 6\ V$$

$$R_2 = \frac{R_1+R_2}{2} = 600\ \Omega$$

$$R_1 = 600\ \Omega$$

Usvajamo $U_{2z} = 7\ V$

Pošto se obično uzima $R_{C1} = (2-3)R_{C2}$

Usvajamo $\quad R_{C2} = 300\ \Omega$

$$I_{C2zas} \cong \frac{E_C - U_{2z}}{R_{C2}}$$

$$I_{C2z} = \frac{12-7}{300} = \frac{5}{3} \cdot 10^{-2}\ A = 16{,}7\ mA$$

R_b ćemo odrediti iz uslova zasićenja tranzistora T_2 kada vodi:

$$R_b \leq \beta_{min}\, R_{C2}$$

$$R_b \leq 100 \cdot 300 \leq 30\ K$$

Usvajamo $R_b = 20\ K$

Trajanje nestabilnog stanja odredićemo analogno kao i u predhodnim zadacima promatrajući

$$U_{be2}(\infty) \text{ i } U_{be2}(0) .$$

$$U_{be2}(\infty) = E_C - U_{1z} + I_{CO}\, R_b$$

$$U_{be2}(0) = -(E_C - U_{2z})$$

$$U_{be2} = E_C - U_{1z} + I_{CO}R_b - (E_C - U_{1z} + I_{CO}R_b + E_C - U_{2z}) \cdot e^{-t/\tau}$$

gdje je $\tau = R_b \cdot C$

Trajanje nestabilnog stanje je odredjeno trenutkom prolaska napona $U_{be2}(t)$ kroz nulu.

$$0 = E_C - U_{1z} + I_{CO}R_b - [E_C - U_{1z} + I_{CO}R_b + E_C - U_{2z}] \cdot e^{-ti/\tau}$$

$$ti = \tau \ln \frac{2E_C - (U_{1z} + U_{2z}) + I_{CO}R_b}{E_C - U_{1z} + I_{CO}R_b}$$

Predpostavimo da možemo zanemariti $I_{CO}R_b$ u odnosu na R_C, pa je:

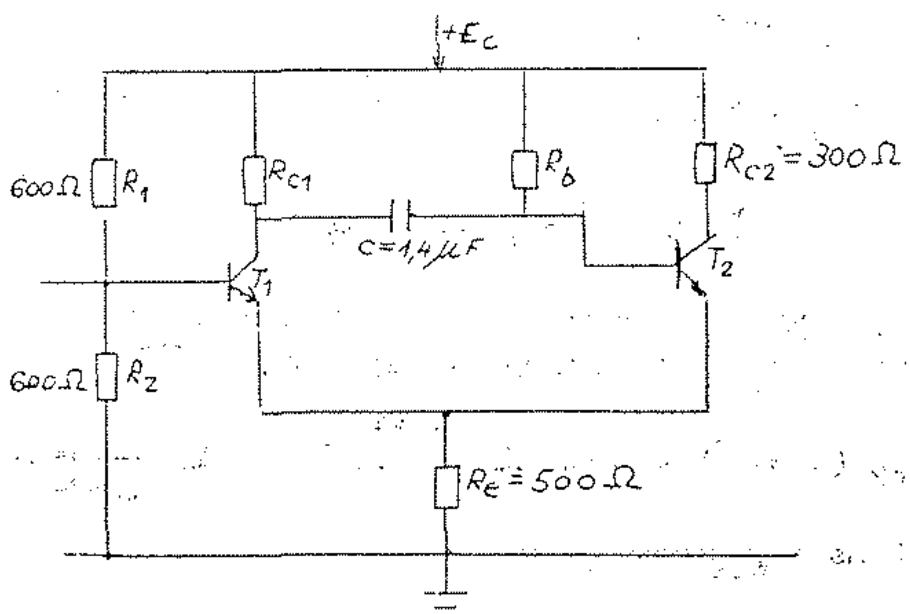
$$ti \approx \tau \ln \frac{2E_c - (U_{1z} + U_{2z})}{E_C - U_{1z}}$$

$$ti \approx \tau . \ln \frac{24-12}{12-5} = \tau \ln 1,72 \text{ odakle je:}$$

$$C = \frac{ti}{R_b \ln 1,72} = \frac{15.10^{-3}}{20.10^{3}.0,542}$$

$$C = 1,4\,\mu F$$

Proračunati monostabilni multivibrator je prikazan na sl. 5.13.



Sl.5.13

b/ Do trenutka ti = 5 msek napon u bazi drugog tranzistora mijenja se po zakonu:

$$U_{be2}(t) = E_C - U_{1z} - I_{CO}R_b - [E_C - U_{1z} + I_{CO}R_b + E_C - U_{2z}] \cdot e^{-t/\tau}$$

Ako se zanemari $I_{CO}R_b$

U trenutku t = 5 ms:

$$U_{be2}\,(5\text{ msek}) = 12-5-[24-12] \cdot e^{-5/\tau}$$

$$\tau = R_b \cdot C = 20 \cdot 10^3 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-6}\text{ sek} = 28\text{ msek}$$

$$U_{be2}\,(5\text{ msek}) = -3\text{ V}$$

Daljnje nabijanje kondenzatora se nastavlja sa promjenjenim odnosima pošto je otpor R_e premošten.

$$U_{be2}(\infty) = E_C$$

$$U_{be2}(5) = -3-5 = -8\text{ V}$$

$$U_{be2}(t) = E_C - [E_C - U_{be2}(5)] \cdot e^{-t/\tau}$$

Pošto je otpornik kratko spojen 2 ms, izračunati ćemo koliki je napon $U_{be2}(t)$ nakon isteka 2 msek.

$$U_{be2}\,(2\text{msek}) = 12-20 \cdot e^{-\frac{2 \cdot 10^3}{28 \cdot 10^{-3}}} = 12-\frac{20}{1{,}674} = -6{,}6\text{V}$$

Po isteku 2 ms $U_{be2} = -6{,}6$ V

Uklanjanjem kratkospojnika sa otpora R_e pojavljuje se na kondenzatoru pozitivan skok napona od 5 V te imamo:

$$U_{be2}(0) = -6,6 + 5 = -1,66 \text{ V}$$

$$U_{be2}(\infty) = E_C - U_{1z} = 12-5=7 \text{ V}$$

$$U_{be2}(t) = 7-[7+1,66] \cdot e^{-t/\tau}$$

$$0 = 7 - 8,66 \cdot e^{-t_x/\tau}$$

$$t_x = 6 \text{ msek}$$

Trajanje kvazistabilnog stanja odnosno impulsa na kolektoru tranzistora T_2 pri postavljenim uvjetima, uz kratko spajanje otpora R_e je:

$$t_n = (5+2+6) \text{ msek} = 13 \text{ msek}$$

5.7. Proračunati monostabilni multivibrator sa emiterskom spregom ako trajanje kvazistabilnog stanja treba da iznosi 10 milisekundi i E_C = 1,8 V.

Koristiti tranzistor sa podacima:

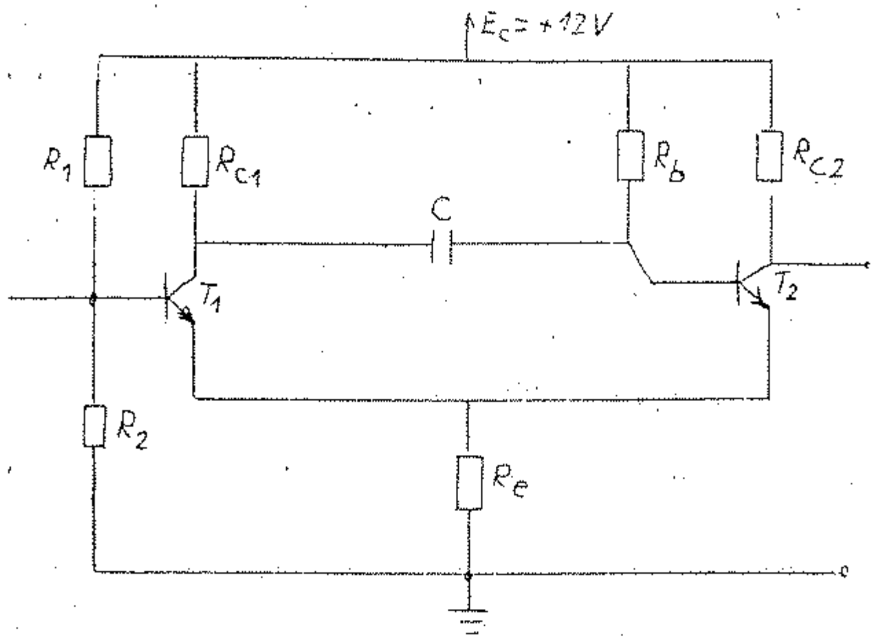
$$U_{Cemaxdop} = 32 \text{ V}$$

$$I_{Cmaxdop} = 100 \text{ mA}$$

$$f_{\alpha gr} = 50 \text{ MHz}$$

β_{min} = 100 ; I_{CO} zanemarivo

Rješenje:



Sl.5.14

Odabiremo $2\,E_C \leqslant U_{Cemaxdop}$

Usvajamo $E_C = 12$ V

Uz usvojenu $I_{C2z} = 10$ mA i uz uvjet da je

$U_{2z} = 2$ V, odakle slijedi:

$$R_{C2} \simeq \frac{E_C - U_{2z}}{I_{C2z}} = \frac{10}{10.10^{-3}} = 1\ \text{K}$$

Obično se uzima

$$R_{C1} = (2-3)\ R_{C2}$$

Usvajamo

$$R_{C1} = 2{,}5\ \text{K}\Omega$$

$$R_e = \frac{U_{2z}}{I_{C2z}} = \frac{2}{10.10^{-3}} = 200\,\Omega$$

Iz uvjeta zasićenja tranzistora T_2:

$$R_b \leqslant \beta_{min} R_{C2}$$

$$R_b \leqslant 100 .1\ K\Omega$$

Usvajamo $R_b = 50\ K\Omega$

Pošto je

$$E_o \approx E_C \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_2 \approx \frac{E_o(R_1+R_2)}{E_C}$$

Struju kroz djelitelj R_1-R_2 biramo tako da bude puno veća od bazne struje tranzistora T_1.

$$I_{C1z} = \frac{E_C}{R_{C1}+R_e} = \frac{12}{2,5+0,2} = 4,45\ mA$$

$$I_{bz} = \frac{I_{zz}}{\beta_{min}} = \frac{4,45.10^{-3}}{100}\ A = 4,45.10^{-5} A$$

$$I_{R1} \approx I_{R2} \gg I_{bz1}$$

Uz $I_{R1} = 50\ I_{bz1} = 222\ .10^{-5}\ A = 2,22\ mA$

$$E_C = (R_1 + R_2)\, I_{R1}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{12}{2,22}\ .10^{+3}\,\Omega = 5,4\ K\Omega$$

Usvajano

$$R_1 + R_2 = 5\ K\Omega$$

Odnosno

$$R_2 \approx \frac{E_o}{E_C}\ (R_1 + R_2)$$

$$R_2 \approx \frac{1,8}{12}\ .5\ K = 750\,\Omega$$

$$R_1 = 4,25\ K\Omega$$

Odredimo napon U_{1z}:

$$U_{1z} = \frac{E_C\ .\ R_2 \parallel R_e}{R_1 \parallel R_{C1} + R_2 \parallel R_e} = 1,08\ V$$

Pošto je $E_o = 1,8$ V ispunjen je uvjet

da je $E_o > U_{1z}$

Traži se da trajanje nestabilnog stanja bude 10 msek. Pošto je trajanje nestabilnog stanja monostabilnog multivibratora (kako je izvedeno u zadatku 5.4) odredjeno sa:

$$ti = \tau \ln \left[\frac{2E_C - (U_{1z} + U_{2z})}{E_C - U_{1z}} \right] \text{ uz}$$

zanemareni uticaj struje I_{CO},

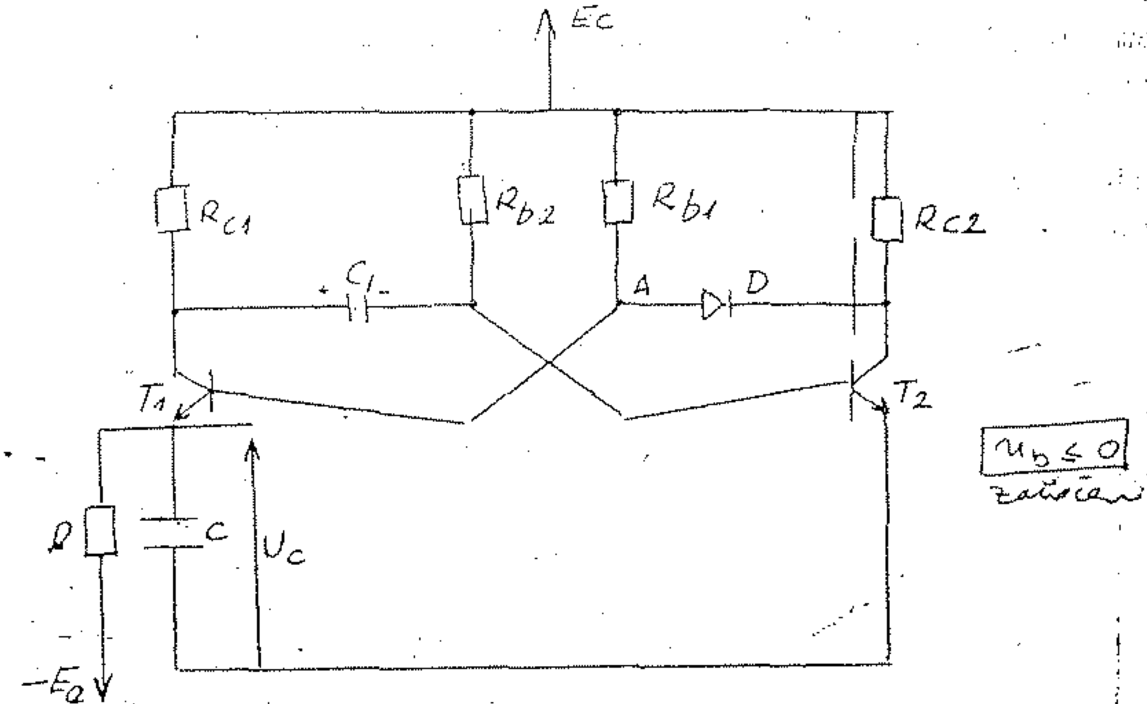
$$\tau = R_b . C$$

$$C = \frac{ti}{R_b} \cdot \frac{1}{\ln \left[\frac{2E_C - (U_{1z} + U_{2z})}{E_C - U_{1z}} \right]}$$

$$C = \frac{10.10^{-3}}{5.10^{3}} \frac{1}{\ln \left[\frac{24-2,95}{12 - 0,95} \right]} ; \qquad C = 0,3 \mu F$$

OSNOVNI SKLOPOVI

6.1. Objasniti rad sklopa prema sl.6.1a.(generator pilastog napona)

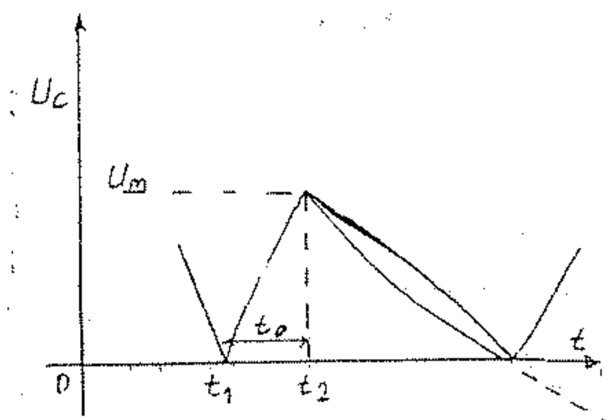


Sl.6.1a

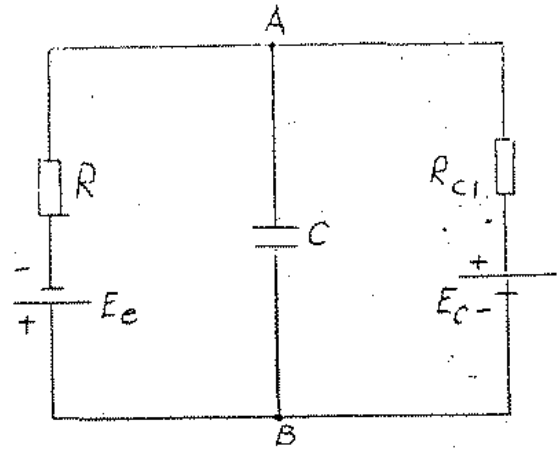
Rješenje:

Sklop na slici je generator pilastog napona. Napon u obliku pile dobiva se na kondenzatoru C.

Predpostavimo da u trenutku t_1 prema Sl.6.la tranzi- T_1 stor počinje da radi, to će biti kada napon na kondenzatoru bude približno nula pošto u tački A i kada tranzistor T_2 vodi imamo jedan pozitivan potencijal koji je jednak $(U_{DV}+U_{Cezas})$. U trenutku provodjenja tranzistora T_1 tranzistor T_2 se koči što ujedno tranzistor T_1 tera u još dublje zasićenje. Punjenje kondenzatora za to vrijeme odrediti ćemo promatrajući ekvivalentnu shemu Sl.6.lc u slučaju kada je tranzistor T_1 u zasićenju



Sl.6.lb



Sl.6.lC

U analizi smo predpostavili da je $U_{CEz} \approx 0$.

$U_C(0) = 0 \quad U_C(\infty) = E_{eKAB}; \quad \tau = R_{eK} \cdot C$

$$R_{eK} = \frac{R \cdot R_{C1}}{R_{C1}+R} \; ; \quad E_{eKAB} = \frac{E_C + E_e}{R_1+R_{C1}} \cdot R - E_e$$

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

$$U_C(t)=\left(\frac{E_C+E_e}{R+R_{C1}}.R-E_e\right)-\left(\frac{E_C+E_e}{R+R_{C1}}.R-E_e\right).\mathcal{e}^{-\frac{t}{R_{eK}.C}}$$

$$U_C\ (t)=\left(\frac{E_C+E_e}{R+R_{C1}}.R-E_e\right)\left(1-\mathcal{e}^{-\frac{t(R+R_{C1})}{R\ R_{C1}.C}}\right)$$

Uz uvjet da je $R \gg R_{C1}$ napon $U_C(t)$ će rasti do približno $\frac{E_C}{1,1-1,2}$ ovisno o vrsti tranzistora , tada će doći do kočenja tranzistora T_1 a tranzistor T_2 će provesti.

Napon $U_C(t)$ će rqsti do trenutka kada mu vrijednost postane približno $\frac{E_C}{(1,1-1,2)}$ ovisno o vrsti tranzistora i tada će doći do kočenja tranzistora T_1 a tranzistor T_2 će provesti.

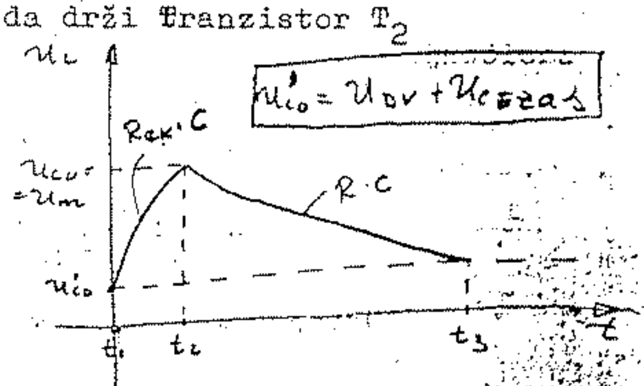
Od trenutka $t = t_2$ počinje izbijanje kondenzatora C prema naponu $- E_e$ sa vremenskom konstantom $\tau_{iz} = R.C$

Zakon pražnjenja je:

$$U_C(t)=\ -E_e-\left[-E_e-U_n\right].\mathcal{e}^{-t/\tau_{iz}} \qquad u_{co}=\frac{E_c}{1,1-1,2}=U_m$$

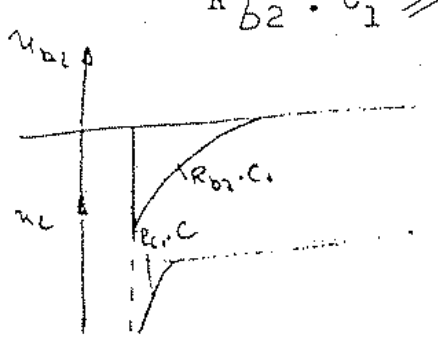
Kada napon U_C padne približno na nulu tranzistor T_1 provede i cijeli se postupak ponavlja.

Uvjet koji se postavlja na vremensku konstantu $R_{b2} \cdot C_1$ je da ima takvu vrijednost da drži tranzistor T_2 zakočen dok tranzistor T_1 vodi.



Dakle

$$R_{b2} \cdot C_1 \gg R_{C1}.C$$



6.2. Proračunati multivibrator sa kondenzatorom u emiteru generator pilastog napona

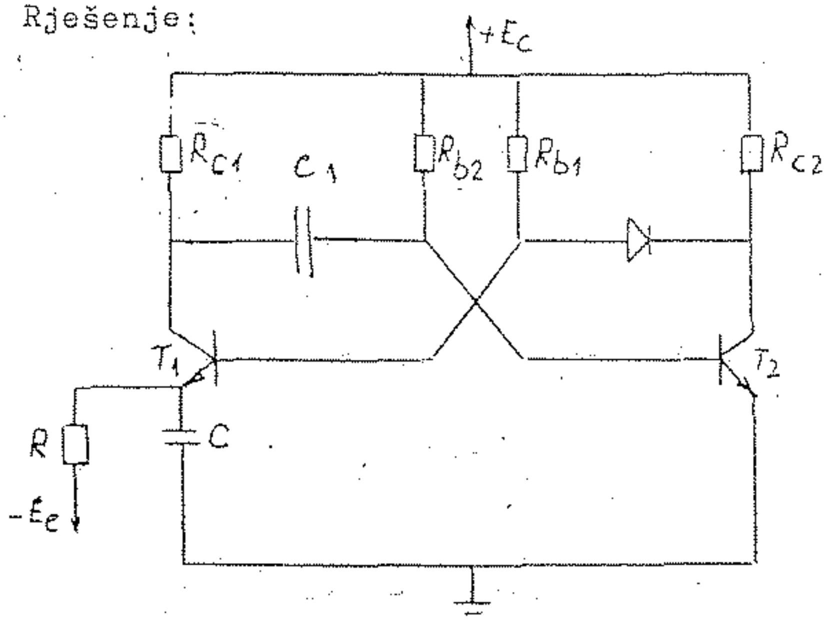
Zadano: Tranzistor NPN, BSJ 63, $\beta_{min}=60$

$$I_{Cmaxdop} = 15 \text{ mA}$$

$$|E_C| = |E_e| = 6 \text{ V}$$

Trajanje pile $T = 10 \cdot t_o$ gdje je t_o trajanje pilastog signala $(t_o \leq 10 \mu S)$.

Rješenje:



Sl.6.2

Iz uslova zasićenja tranzistora T_1 i uz struju zasićenja

$$I_{Cz} = 10 \text{ mA, slijedi:}$$

$$R_{C1} \leq \frac{E_C}{I_{Cz}} = \frac{6}{10.10^{-3}} = 600\Omega$$

Usvajamo $R_{C1} = 600\Omega$

Iz uvjeta zasićenja

$$R_{b1} \leq \beta_{min} \, . R_{C1} = 60.600 = 36 \text{ K}\Omega$$

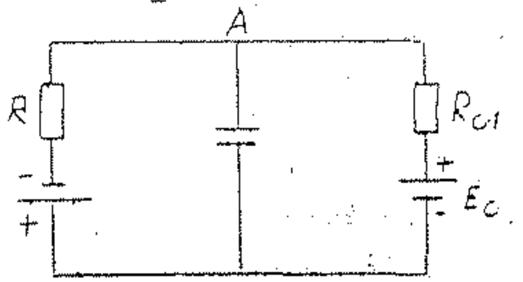
Usvajamo $R_{b1} = 30 \text{ K}\Omega$

Birajući $R_{C2} \gg R_{C1}$ na pr: $R_{C2} = 3 \text{ K}\Omega$, slijedi da mora vrijediti:

$$R_{b2} \leq \beta_{min} \, . R_{C2} = 60.3.10^3 = 180 \text{ K}\Omega$$

Usvajamo $R_{b2} = 100 \text{ K}\Omega$

Kondenzator C biramo na osnovu ekvivalentne sheme u slučaju kada tranzistor T_1 vodi, prema sl.6.3.



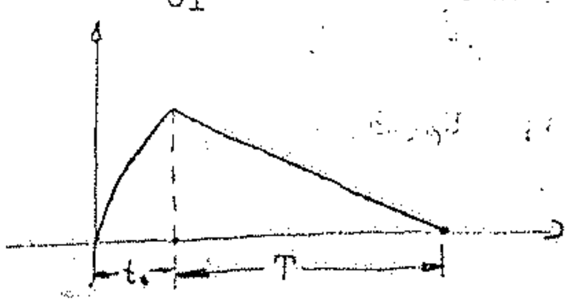
Sl.6.3

Zakon promjene napona na kondenzatoru se, u ovome slučaju, nalazi polazeći od:

$$U_C(0) = 0 \; ; \; U_C(\infty) = E_{eKAB} ; \; \tau = R_{eK} . C$$

$$R_{eK} = \frac{R_{C1} . R}{R_{C1} + R} \; ; \; E_{eKAB} = \frac{E_C + E_e}{R + R_{C1}} . R - E_e$$

$\boxed{t_0 = (3-5) R_{eK} . C}$



Ako je $R \gg R_{C1}$

$R_{eK} \approx R_{C1}$; $E_{eKAB} \simeq E_C$, pa slijedi:

$$U_C(t) = U_C(\infty) - [U_C(\infty) - U_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$U_C(t) = E_C - [E_C - 0] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$U_C(t) = E_C \left(1 - e^{-t/\tau}\right) \quad \text{gdje je : } \tau \approx R_{C1} \cdot C$$

Uz ovakve uslove može se smatrati da će nabijanje kondenzatora biti završeno nakon (3-5) vremenskih konstanti:

$U_C(t) \approx E_C$ nakon $(3-5)\ R_{C1} \cdot C$, a to je istovremeno i trajanje fronta pilastog signala.

Otuda je:

$$C \leqslant \frac{t_o}{4R_{C1}} = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 600} = 0{,}416 \cdot 10^{-8}$$

Usvajamo

$$C = 4 \cdot 10^{-9}\ F$$

Kada napon na kondenzatoru C naraste na $\approx \frac{E_C}{1{,}1 \text{ do } 1{,}2}$ zakoči se tranzistor T_1 i kondenzator se izbija prema naponu $- E_e$. U trenutku kada napon U_C opadne na nula volti tranzistor T_1 će ponovo provesti.

Kondenzator će se nabiti približno na:

$$U_m = \frac{E_C}{1{,}2} = 5\ V$$

$$U_C(0) = 5\ V; \quad U_C(\infty) = - E_e$$

Pražnjenje kondenzatora dato je slijedećom relacijom:

$$U_C\ (t) = -\ E_e - \left[-\ E_e - U_C(0)\right] 1^{-t/\tau} = -6 + 11 . \ell^{-t/\tau}$$

$$0 = -\ 6 + 11 . \ell^{-\frac{T}{\tau}}$$

i iz uslova da trajanje radnog hoda pilastog signala iznosi $10 \cdot t_0$ slijedi vrijednost R:

$$R = \frac{T}{0,61 . C} = \frac{100 . 10^{-6}}{0,61 . 4 . 10^{-9}} = 41\ K$$

Pošto je $R_{C1} = 0,6$ K a R = 41 K vidi se da je zadovoljen i uslov $R \gg R_{C1}$, uveden u toku proračuna.

Da bi sklop korektno radio potrebno je da se osigura da tranzistor T_2 bude zakočen za vrijeme vodjenja tranzistora T_1 . To se postiže odnosom vremenskih konstanti $R_{C1}C$ i $R_{b2} . C_1$.

$$\boxed{C_1 R_{b2} \gg R_{C1} . C}$$

Usvajamo $50\ R_{C1} . C = C_1\ R_{b2}$ odakle je

$$\underline{\underline{C_1}} = \frac{50\ R_{C1} . C}{R_{b2}} = 1,2\ \ nF$$

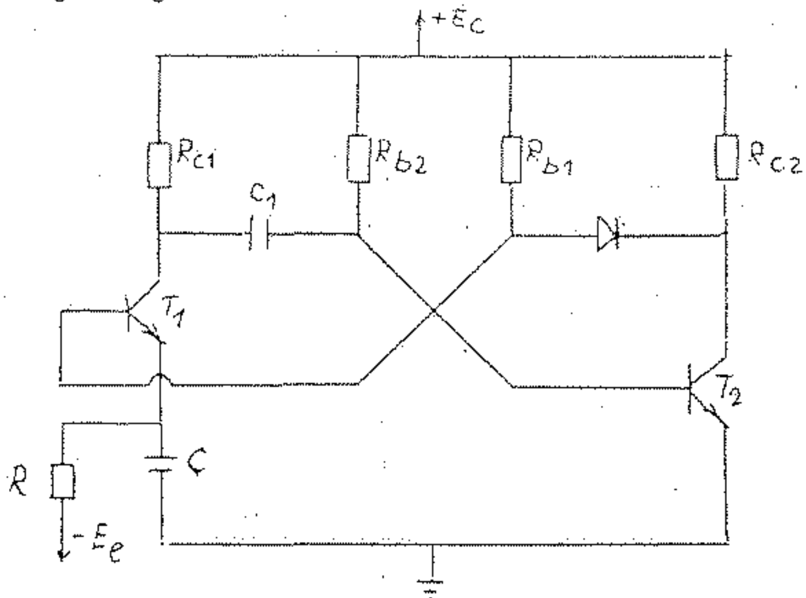
stupid (glupo)

6.3. Proračunati i skicirati shemu multivibratora sa kondenzatorom u emiteru kao generator pilastog napona.

Skicirati dijagrame napona na kondenzatoru u emiteru i kolektoru tranzistora. Tranzistor proizvoljno odabrati.

Dato je : E_C = 10 V, $-E_e$ = 6 V, trajanje pile T=10to gdje je t_o trajanje fronta pilastog signala (to = 50 μS).

Rješenje:



Sl.6.4

Odabiremo tranzistor $U_{Cemaxdop}$ = 32 V,

$I_{Cmaxdop}$ = 100 mA, β_{min} = 100

Uz odabranu struju zasićenja I_{Czmax} = 50 mA

$$R_{C1} \leqq \frac{10}{50.10^{-3}} = 200\,\Omega$$

Usvajamo

$$R_{C1} = 200\,\Omega$$

$$R_{b1} \leq \beta_{min} \; R_{C1} = 100.200 = 20.10^3 \Omega$$

Usvajamo

$$R_{b1} = 10 \text{ K}$$

$R_{C2} \gg R_{C1}$ Obično se uzima $\boxed{R_{C2} = (1-5K)}$

Usvajamo

$$R_{C2} = 4 \text{ K}$$

$$R_{b2} \leq \beta_{min} \; R_{C2} = 100 \; .4K = 400 \text{ K}$$

Usvajamo

$$R_{b2} = 100 \text{ K}$$

Vrijeme to je odredjeno vremenskom konstantom nabijanja kondenzatora C kada tranzistor T_1 vodi.

Uz predpostavku da je $R \gg R_{C1}$, kondenzator će se puniti po zakonu:

$$U_{Cpn} = E_C \left(1-e^{-t/\tau}\right) \text{gdje je } \tau \approx R_{C1}.C$$

Kondenzator će se nabiti na $\frac{E_C}{1,2}$ nakon približno (5τ) tada je:

$$t_o \approx 5\tau = 5.R_{C1}.C$$

$$C \approx \frac{t_o}{5R_{C1}} = \frac{50.10^{-6}}{5.200}$$

$$C \approx 50.10^{-9} \text{ F}$$

$$\boxed{t_o = (3-5) R_{C1} \cdot C}$$

$$\frac{E_C}{1,2} = E_C\left(1 - e^{-\frac{t_o}{\tau}}\right)$$

$$1,2$$

$$1 = 1,2 - 1,2\, e^{-t/\tau}$$

$$1,2\, e^{-\frac{t_o}{\tau}} = 0,2$$

$$e^{\frac{t_o}{\tau}} = \frac{12}{2}$$

$$\frac{t_o}{\tau} = \ln\frac{12}{2} = \ln 6$$

$$t_o = \tau \ln 6$$

Pri zakočenom tranzistoru T_1, kondenzator C će se prazniti prema naponu $- E_e$ sa vremenskom konstantom $\tau = R.C.$

$$U_C(0) \; \frac{E_C}{1,2} \approx 9V; \quad U_C(\infty) = - E_e = - 6 \text{ V}$$

$$U_C(t) = U_c(\infty) - \left[U_C(\infty) - U_C(0)\right].\mathcal{E}^{-t/\tau}$$

$$U_C(t) = - 6 + 15.\mathcal{E}^{-t/\tau}$$

za $t = T$; $U_C(T) \approx 0$

$$0 = - 6 + 15.\mathcal{E}^{-T/\tau} \quad \text{gdje je } \tau = R.C$$

Odavde

$$R = \frac{T}{C \ln 2,5} = \frac{500.10^{-6}}{50.10^{-9}.0,915}$$

$$R = 11 \text{ K}$$

Pošto je $R_{C1} = 200\,\Omega$ vidi se da je ispunjen uvjet $R \gg R_{C1}$.

Da bi sklop korektno radio potrebno je da se osigura da tranzistor T_2 bude zakočen dok tranzistor T_1 vodi. Dakle potrebno je da vrijedi:

$$R_{C1}.C \ll R_{b2}.C_1$$

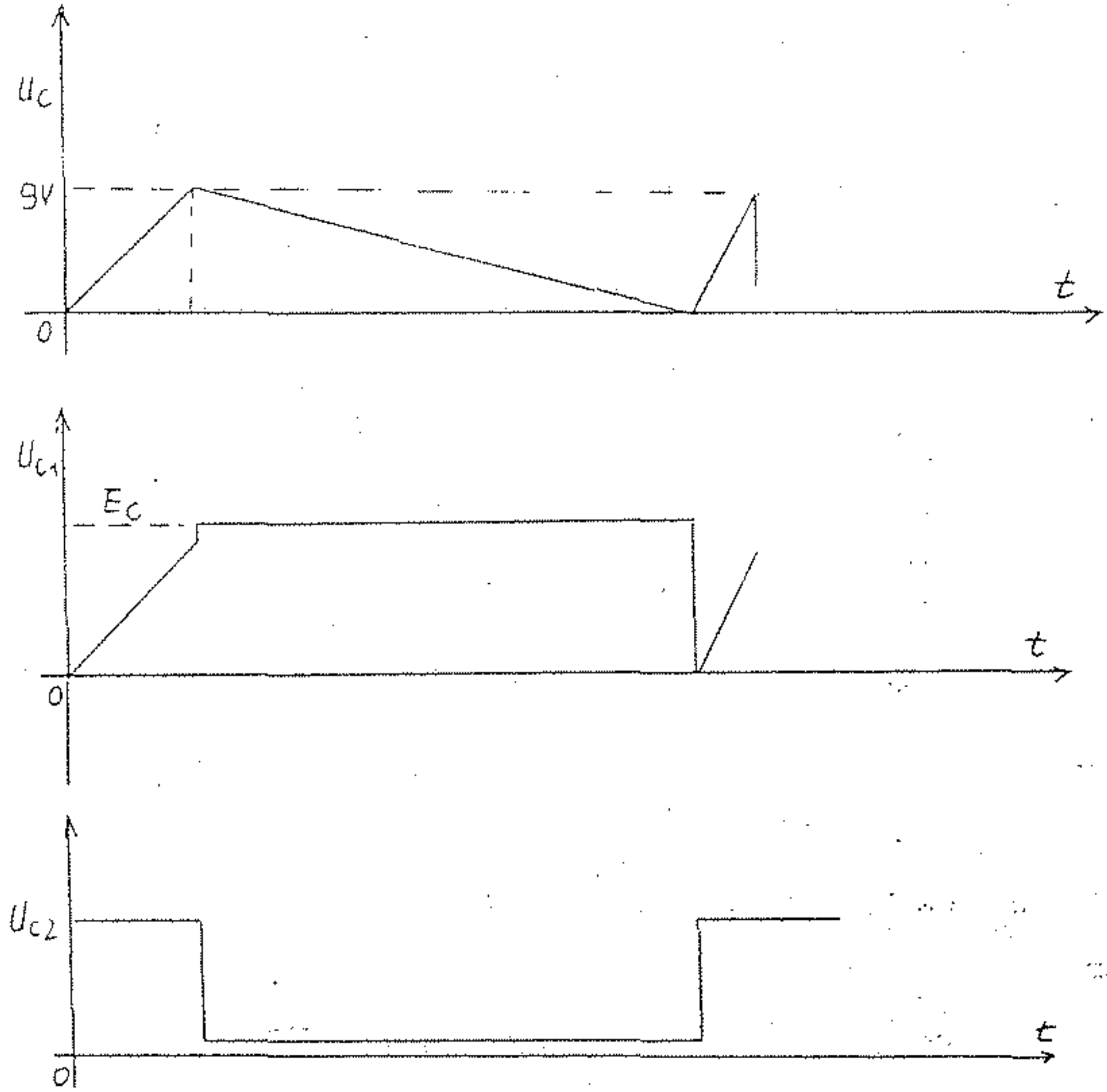
Usvajamo

$$20\, R_{C1}.C \approx R_{b2}.C_1$$

$$C_1 = \frac{20 R_{C1}.C}{R_{b2}}$$

$$C_1 = 2\ nF$$

Na sl.6.5 prikazani su valni oblici napona na kondenzatoru C i u kolektorima tranzistora.



Sl.6.5.

6.4. Proračunati oscilator pilastog napona sa amplitudom izlaznog signala od 5 V trajanja 16 msek i vremena porasta manjeg od 1 msek.

Koristiti tranzistore BC219S sa podacima:

$U_{Cemax} = 32$ V, $I_{Cmax} = 100$ mA, $I_{CO} = 5\mu A$ na 20°C.

$\beta_{min} = 100$.

Rješenje:

$E_C = (1,1-1,2)U_m = 1,2.5 = 6$ V

$R_{C1} = \frac{E_C}{I_{ez}}$ uz odabranu $I_{Cz} = 20$ mA

$R_{C1} = \frac{6}{20.10^{-3}} = 300\,\Omega$

$R_{C2} \gg R_{C1}$

Usvajamo

$R_{C2} = 3\ K\Omega$

$R_{b1} \leqslant \beta R_{C1} = 100.0,3 = 30\ K\Omega$

Usvajamo

$R_{b1} = 10\ K\Omega$

$R_{b2} \leqslant R_{C2} = 300\ K\Omega$

Usvajamo

$R_{b2} = 100\ K\Omega$

Uz uslov da je $R \gg R_{C1}$ kao i u predhodnim zadacima možemo napisati:

$$t = (3\text{-}5)R_{C1}.C,$$ [illegible] $t \leq 5\, R_{C1}\, C \leq 1\, msec$

odakle slijedi vrijednost kondenzatora C:

$$C \leq \frac{t}{5\, R_{C1}} = \frac{10^{-3}}{5.0{,}3.10^{3}} = 0{,}67\,\mu F$$

Usvajamo

$$C = 0{,}5\,\mu F$$

Pri pražnjenju kondenzatora C prema naponu E_e, pošto je tranzistor T_1 zakočen imamo slijedeće

$$U_C(0) = U_m = 5V, \quad U_C(\infty) = -E_e \quad \text{ako je } E_e = E_C = 6\ V$$

tada je izbijanje kondenzatora dato sa:

$$U_C(t) = -E_e - [-E_e - 5]\ .1^{-t/\tau} \qquad \tau = R.C$$

$$U_C(t) = -6 + 11.\ell^{-t/\tau}$$

za $t = T = 10$ msek napon $U_C(t) = 0$

$$6 = 11.\ell^{-T/\tau}$$

$$R = \frac{10.10^{-3}}{0{,}5.10^{-6}.0{,}61}$$

$$R = 3{,}3\ K\Omega$$

Vidi se da je ispunjen uvjet $R \gg R_{C1}$:

$$R = 1\ 11\ R_{C1}$$

C_1 odredimo iz uvjeta

$$R_{C1} \cdot C \ll R_{b2} \cdot C_1$$

Usvajamo $50 . R_{C1} C = R_{b2} . C$

$$C = \frac{500 . 0{,}3 . 0{,}5 . 10^{-6} . 10^3}{100 . 10^3}$$

$$C = 758\ n\ F$$

6.5. Nacrtati i proračunati oscilator pilastog napona, čija će amplituda izlaznog signala iznositi 10 V, trajanje fronta $t_f = 5$ msek, a nelinearnost $\varepsilon = 0{,}16$.

Period ponavljanja izlaznih signala treba da iznosi 7 msek. Izračunati koliko može da iznosi opteretni otpor za dati koeficijent nelinearnosti.

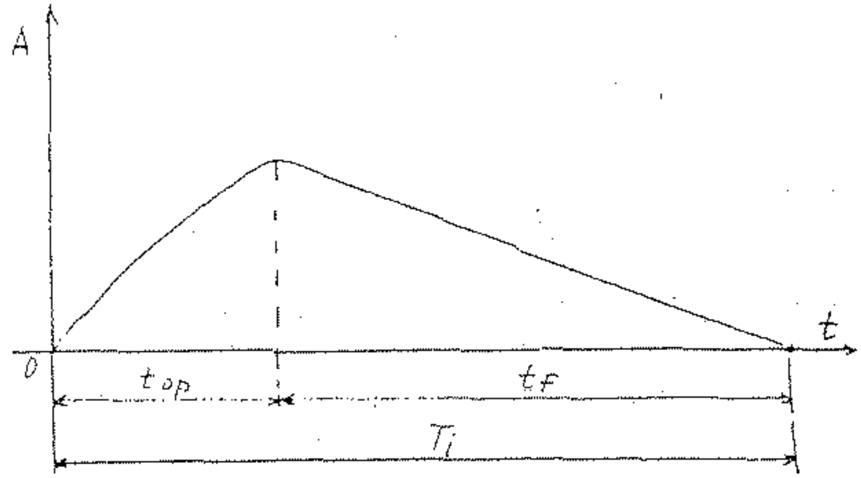
Tranzistor odabrati prema nahodjenju.

Rješenje:

Odabiremo tranzistor sa $I_{Cmax} = 100$ mA

$U_{Cemax} = 32$ V, $\beta_{min} = 100$

Impuls ima oblik prema sl.6.6



Sl.6.6

Pri sintezi ovoga generatora oscilatora pilastog napona poći ćemo od zahtjeva da nelinearnost bude manja od 0,16.

$$\varepsilon = \frac{\left(\frac{dU_C}{dt}\right)_{počet} - \left(\frac{dU_C}{dt}\right)_{konač}}{\left(\frac{dU_C}{dt}\right)_{počet.}}$$

Odabiremo $E_C = (1,1-1,2)\, U_m = 11$ V

$$U_C(0) = U_m \qquad U_C(\infty) = -E_e$$

$$U_C(t) = -E_e - \left[-E_e - U_m\right] \cdot e^{-t/\tau}$$

$$\frac{dU_C}{dt} = \frac{1}{\tau}\left[-E_e - U_m\right] \cdot e^{-t/\tau}$$

$$\left(\frac{dUC}{dt}\right)_{t=0} = \frac{1}{\tau}\left(-E_e - U_m\right)$$

$$\left(\frac{dU_C}{dt}\right)t = t_f = \frac{1}{\tau}\left[- E_e - U_n\right] . e^{-t_f/\tau}$$

Nakon uvrštavanja u početni izraz:

$$\mathcal{E} = 1 - e^{-t_f/\tau} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1$$

$$\frac{1}{e^{t_f/\tau}} = 1 - \mathcal{E}$$

$$\frac{t_f}{\tau} = \ln\left(\frac{1}{1-\mathcal{E}}\right) \text{ odakle slijedi:}$$

$$\tau = \frac{t_f}{\ln\left(\frac{1}{1-\mathcal{E}}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2$$

Pražnjenje kondenzatora C prema naponu $-E_e$ definira trajanje vremena t_f, prolaskom U_C kroz nulu.

$$U_C(0) = U_n$$

$$U_C(\infty) = -E_e \qquad U_C(t) = -E_e - \left[-E_e - U_n\right] . e^{-t/\tau}$$

$$e^{t_f/\tau} = \frac{E_e + U_n}{E_e} \; ; \; \frac{t_f}{\tau} = \ln \frac{E_e + U_n}{E_e}$$

$$\tau = \frac{t_f}{\ln \frac{E_e + U_n}{E_e}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3$$

Izjednačavanjem relacija 2 i 3 slijedi:

$$\frac{t_f}{\ln\left(\frac{E_e + U_m}{E_e}\right)} = \frac{t_f}{\ln\left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right)}$$

$$\ln\left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right) = \ln\frac{E_e + U_m}{E_e} \quad \text{odakle}$$

$$E_e\left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right) - E_e = U_m$$

$$E_e = \frac{U_m}{\frac{1}{1-\varepsilon} - 1} \quad \text{uz uvjet da je } \varepsilon \leq 0{,}16$$

$\varepsilon = 0{,}15$ — [illegible] !

zato da za izračunate Ee nelinearnost sigurno ne bude veća od 0,16

$$E_e = \frac{10}{\frac{1}{0{,}85} - 1}$$

$E_e = 55{,}5$ V → usvojeno Ee=60V

Iz vremena punjenja kondenzatora na napon E_C odrediti ćemo ~~R_{C1}~~ C $t_{op} = (3-5)\,R_{C1} \cdot C$

$$t_{op} \approx 5\,R_{C1} \cdot C \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4$$

Usvajamo $I_{Cz} = 70$ mA

$$R_{C1} = \frac{E_C}{I_{Cz}} = \frac{11}{70.10^{-3}} = 160\,\Omega$$

Iz relacije 4:

$$C \approx \frac{top}{5\ R_{C1}} = \frac{2.10^{-3}}{800}$$

$$C = 2{,}5\ \mu F$$

Uz izračunato E_e i dato t_f odredit ćemo τ :

$$\tau = \frac{t_f}{\ln\left(\frac{E_e + U_m}{E_e}\right)}$$

$$\tau = \frac{5.10^{-3}}{\ln\left(\frac{60+10}{60}\right)}$$

$$\tau = 40\ \text{msek}$$

Iz izračunatog τ odredimo R

$$R\ .\ C = \tau \quad \text{odnosno} \quad R = \frac{\tau}{C}$$

$$R = \frac{40.10^{-3}}{25.10^{-6}} = 16\ K\,\Omega$$

U slučaju da se priključi opteretni otpor doći će do promjene trajanja pilastog signala i do promjene koeficijenta nelinearnosti.

Polazimo od slijedećih relacija:

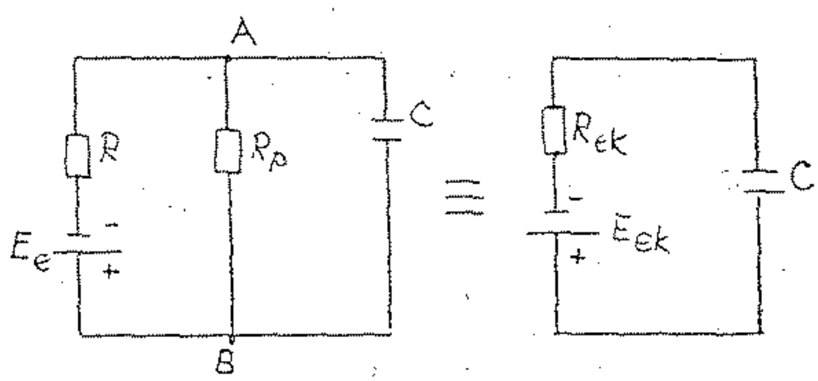
$$\tau = \frac{t_f}{\ln \dfrac{1}{1-\varepsilon}} \quad \text{i} \quad \tau = \frac{t_f}{\ln \dfrac{E_{eK}+U_m}{E_{eK}}}$$

$$\ln \left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right) = \ln \left(\frac{E_{eK}+U_m}{E_{eK}}\right) \text{ odavde}$$

$$E_{eK} = U_m \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right) \quad \text{za} \quad \varepsilon = 0,16$$

$$E_{eK_{AB}} = 10 \left(\frac{0,84}{0,16}\right) = \frac{8,4}{0,16} = 52,5 \text{ V}$$

Promatrajući ekvivalentnu shemu na sl.6.7 pri opterećenju imamo:



Sl.6.7

$$E_{eK_{AB}} = \frac{E_e}{R + R_p} \cdot R_p \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 5$$

$$R_{eK_{AB}} = \frac{R \cdot R_p}{R + R_p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6$$

Iz relacije 5 imamo

$$R_p \cdot E_{eK_{AB}} - R_p E_e = - R \cdot E_{eK_{AB}}$$

$$R_p = \frac{- R\, E_{eK_{AB}}}{E_{eK_{AB}} - E_e} = \frac{-16.10^2.52,5}{52,5-60}$$

$$R_p = \frac{52,5.16.10^3}{7,5} = 7.16\ K\Omega = 112\ K\Omega$$

Pošto smo odredili R_p iz uvjeta zasićenja uz poznati R_{C1} i $\beta_{min} = 150$ odrediti ćemo slijedeće elemente:

$$R_{b1} \leq \beta_{min} R_{C1} = 150.160 = 24\ K\Omega$$

Usvajamo $R_{b1} = 10\ K$

$$R_{C2} \gg R_{C1} \quad \text{Usvajamo } R_{C2} = 3\ K\Omega$$

$$R_{b2} \leq \beta_{min} R_{C2} = 100.3K = 300\ K\Omega$$

Usvajamo $R_{b2} = 100\ K\Omega$

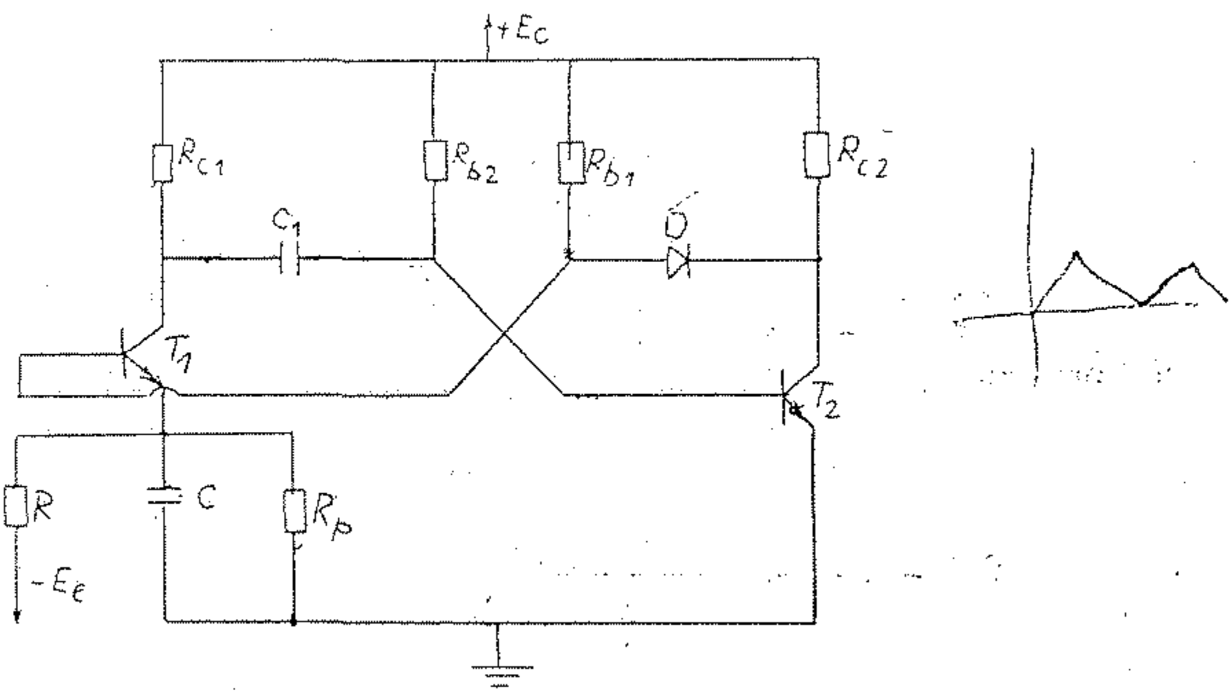
Da bi sklop korektno radio potrebno je da zadovolji i relaciju:

$$C_1 R_{b2} = 50 R_{C1} C$$

$$C_1 = \frac{50 R_{C1} \cdot C}{R_{b2}} = \frac{160.50.2,5.10^{-6}}{100.10^3}$$

$$C_1 = 200 \text{ nF}$$

Na sl.6.8 prikazana je shema proračunatog oscilatora pilastog napona.



Sl.6.8

6.6. Nacrtati i proračunati generator pilastog napona koji na potrošaču od 5 K daje napon sa maximalnom amplitudom $U_m = 5$ V, trajanja fronta 100 msek i čiji koeficijent nelinearnosti $\mathcal{E} = 0.1$.

Rješenje:

Odabiremo $E_C = 1{,}2 \cdot U_m = 6$ V

$$\mathcal{E} = \frac{\left(\frac{dU_C}{dt}\right)_{poč.} - \left(\frac{dU_C}{dt}\right)_{kon.}}{\left(\frac{dU_C}{dt}\right)_{poč.}}$$

$$U_C(0) = U_m \ , \ U_C(\infty) = -E_e$$

$$U_C(t) = -E_e - [-E_e - U_m] \cdot e^{-t/\tau}$$

$$\frac{dU_C(t)}{dt} = \frac{1}{\tau}\left[-E_e - U_m\right] \cdot e^{-t/\tau}$$ nakon uvrštavanja

u izraz za $\mathcal{E}$ imamo:

$$\mathcal{E} = 1 - e^{-t_f/\tau}$$ a odavde

$$\tau = \frac{t_f}{\ln\left(\frac{1}{1-\mathcal{E}}\right)} = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{\ln\left(\frac{1}{0{,}9}\right)} = 994 \text{ msek}$$

a $\tau = R_{eK} \cdot C$

Analogno zadatku 6.5:

$$\tau = \frac{t_f}{\ln \frac{E_{eK} + U_m}{E_{ek}}}$$

$$\ln \frac{E_{eK}+U_n}{E_{eK}} = \frac{t_f}{\tau}$$

$$\frac{E_{eK}+U_n}{E_{eK}} = e^{\frac{t_f}{\tau}} \quad / \cdot E_{eK}$$

$$E_{eK} + U_n = E_{eK} \cdot e^{t_f/\tau}$$

$$E_{eK}\left(e^{t_f/\tau} - 1\right) = U_n$$

$$E_{eK} = \frac{U_n}{e^{t_f/\tau} - 1} = \frac{5}{e^{100/994} - 1}$$

$$E_{eK} = 47 \text{ V}$$

Pošto je $E_{eK} = \dfrac{E_e}{R + R_p} R_p$ uz odabrano

$$\boxed{R = 10 \text{ K}\Omega}$$

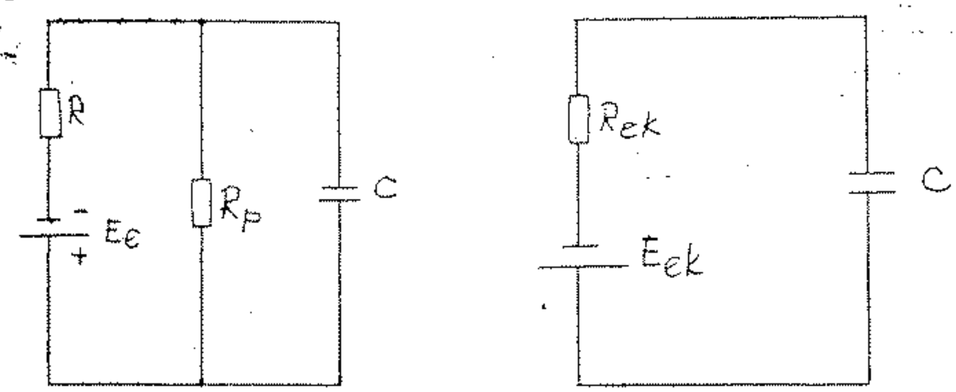
$$E_e = E_{eK}\left(\frac{R + R_p}{R_p}\right)$$

$$E_e = \frac{47.15.10}{5.10^3} = 141 \text{ V}$$

$$E_e = 141 \text{ V}$$

$$R_{eK} = \frac{R.R_p}{R+R_p} = \frac{10.5}{15} = 3,33 \text{ K}\Omega$$

Dakle pri pražnjenju kondenzatora prema $-E_e$ imamo konfiguraciju prema sl.6.9./a



a/ b/

Sl.6.9/a

Prema slici 6.9.b, $\tau = R_{eK} \cdot C$

$$c = \frac{\tau}{R_{eK}} = \frac{994.10^{-3}}{3,33.10^{3}}$$

$$C \simeq 300 \mu F$$

Vrijeme top impulsa, potrebno je da bude što manje i uz uvjet $R_{C1} \lll R_{eK}$ dato je slijedećom relacijom:

$$top = 5\ R_{C1} \cdot C$$

Uz $I_{Czasmax} = 60$ mA

$$R_{C1} = \frac{E_C}{I_{Czasmax}} = \frac{6}{60.10^{3}} = 100\,\Omega$$

Odnosno $R_{C1} = 0,1\ K\Omega$

top = 15 msek

$R_{C2} \gg R_{C1}$ $R_{C2} = 2\ K$

R_{b1} uz $\beta_{min} = 100$ je odredjeno sa:

$R_{b1} \leq \beta_{min} \cdot R_{C1} = 0,1 . 100 . 10^3 = 10\ K\Omega$

Usvajamo $R_{b1} = 5\ K$

$R_{b2} \leq 2 . 100 . 10^3 = 200\ K\Omega$

Usvajamo $R_{b2} = 50\ K\Omega$

Da bi sklop radio korektno mora biti zadovoljeno:

$$C_1\ R_{b2} \approx (20 - 50)\ R_{C1} C$$

$$C_1 = \frac{30 . R_{C1} . C}{R_{b2}} = \frac{30 . 100 . 30 . 10^{-6}}{50 . 10^3}$$

$$C_1 = 1,8\ \mu F$$

Proračunati sklop ima raspored elemenata kao i u zadatku 6.5, vrijednosti elemenata iz zadatka 6.6.

6.7. Nacrtati i proračunati generator pilastog napona, čija će amplituda izlaznog signala iznositi 10 V, trajanje fronta t_f = 6 msek, a nelinearnost $\mathcal{E} \approx 0,16$.

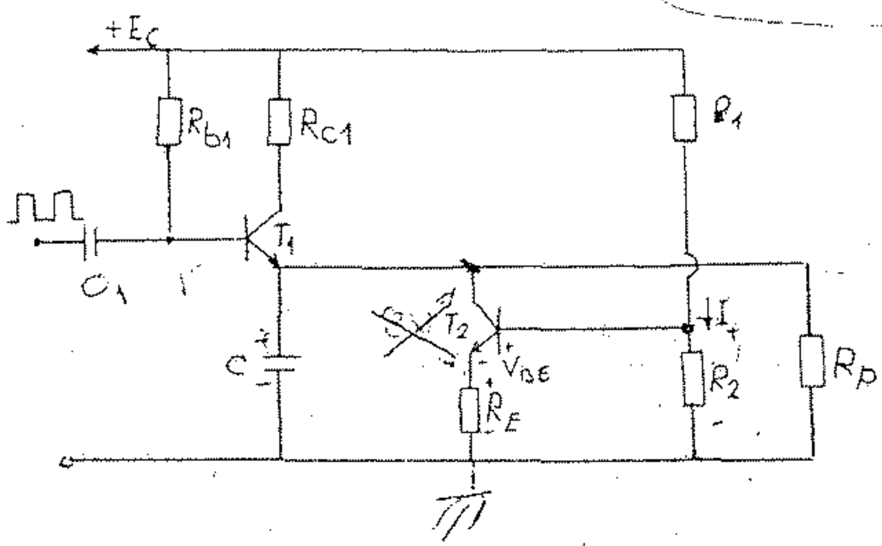
Period ponavljanja izlaznih signala treba da iznosi 8 msek. Izračunati koliko može da iznosi opteretni otpor za dati koeficijent nelinearnosti?

Koristiti tranzistor BC 254 sa podacima:

U_{Cemax} = 25 V; I_{Cmax} = 100 mA, β_{min} = 150,

I_{COmax} = 0,5 μA. Ostale potrebne vrijednosti predpostaviti.

Rješenje:



Sl.6.9/б

Kao generator pilastog napona koristićemo sklop prikazan na sl.6.9./б

U početnom stanju u bazama tranzistora su pozitivni naponi, oba tranzistora vode a T_1 je u zasićenju:

Da T_1 bude u zasićenju mora biti:

$$I_{b1} \geqslant \frac{I_{C1z}}{\beta_1}$$

Odnosno

$$R_{b1} \leqslant \beta_{min} \cdot R_{C1}$$

Uz usvojenu struju I_{Cz} = 80 mA i ~~$E_C = 1,2\ U_m = 12$ V~~

$E_c = (1,1 - 1,2) U_m = 12$ V

$$R_{C1} = \frac{12}{80.10^{-3}} = \frac{12.10^2}{8} = 150\ \Omega$$

Usvajamo $R_{C1} = 150\ \Omega$

$$R_{b1} \leqslant 150.0,15.10^3 = 22,5.10^3\ \Omega$$

Usvajamo $R_{b1} = 10\ K\Omega$

Kondenzator C se nabija na napon U_m nakon $(3-5)\ \tau$ a

$$\tau = R_{C1} \cdot C$$

$$top = (3-5)\ R_{C1} \cdot C \quad ; \quad C = \frac{top}{4R_{C1}}$$

$$C = \frac{2.10^{-3}}{4.150} = \frac{2.10^{-3}}{600} = 3,34\ \mu F$$

Usvajamo $C = 3\ \mu F$

Tranzistor T_2 radi u linearnom režimu i napon u njegovom emiteru iznosi:

$$U_e = I_{E2} \cdot R_E = U_{b2} - V_{bE} \text{ gdje je}$$

U_{b2} napon u bazi tranzistora T_2

$$I_{E2} \simeq \frac{U_{b2}}{R_E} - \frac{V_{BE}}{R_E}$$

Djelitelj R_1 ; R_2 se odabire tako da njegova struja bude znatno veća od struje baze tranzistora T_2, da bi napon U_{b2} bio konstantan a prema tome i struja I_{E2}.

Usvajamo $\left(R_1 + R_2\right) = 400\,\Omega$

Uz $U_{b2} = 2\,V$

$$R_2 = \frac{U_2}{E_C}\left(R_1 + R_2\right) = \frac{2.400}{12} = 66{,}5\,\Omega$$

Usvajamo $R_2 = 60\,\Omega$

Prema tome $R_1 = 340\,\Omega$

Zahtjeva se da amplituda pile bude 10 V, što znači da se kondenzator za vrijeme t_f treba da izbije za 10 V.

$$\frac{I_{C2}}{C} \cdot t = 10\ V$$

$$I_{C2} = \frac{10.3.10^{-6}}{6.10^{-3}} = 5\ mA$$

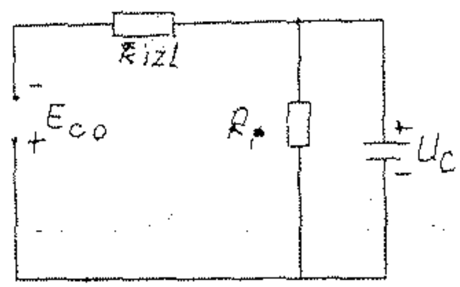
$$I_{C2} \approx I_{E2} = I_{E1}$$

Dakle R_E uz $V_{BE} = 0{,}7$ V je:

$$R_E = \frac{U_{b2}-V_{BE}}{I_{E_2}} = \frac{2-0{,}7}{5.10^{-3}} = \cancel{2{,}6\ K\Omega} \quad 0{,}26\ K = 260\ \Omega$$

Usvajamo $R_E = 2{,}5\ K\Omega \cdot 10^{-1} = 250\ \Omega$

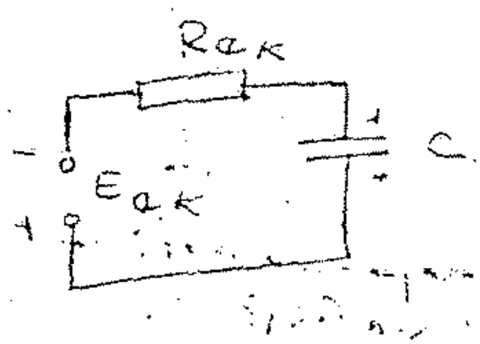
Tranzistor koji djeluje kao strujni izvor zamjenimo sa naponskim izvorom E_{CO} i unutarnjim otporom Rizl, tako da je $E_{CO} \approx I_{C2} \cdot R_{izl}$ prema sl.6.10



Sl.6.10

Slika 6.10 možemo pojednostaviti koristeći Thevenenov teorem, prema sl.6.11.

$$R_{eq} = \frac{Rizl.Rp}{Rizl+Rp} \; ; \quad E_{eq} = E_{CO} \cdot \frac{Rp}{Rizl+ Rp}$$



Napon na kondenzatoru C mijenja se po zakonu:

$$U_C = \left(E_{eq}+U_{CO}\right)\left(1-\mathcal{E}^{-t/R_{eq}\cdot C}\right)-U_{CO}$$

gdje je U_{CO} početna vrijednost na kondenzatoru.

Konačna vrijednost napona se dobije stavljajući vrijednost $t = t_f$ u izraz za U_C.

$$U_{Ckon} = -\left(E_{eq} + U_{CO}\right)\cdot\mathcal{E}^{-t_f/R_{eq}\cdot C} + E_{eq}$$

Te je $U_p = U_{Ckon} - U_{cpoč}$

Koeficijent nelinearnosti $\mathcal{E}$, nalazimo polazeći od definicije:

$$\mathcal{E} = \frac{\left(\frac{du}{dt}\right)poč - \left(\frac{du}{dt}\right)kon}{\left(\frac{du}{dt}\right)poč}$$

Nakon sredjivanja dobivamo da je:

$$\mathcal{E} = \frac{U_p}{E_{eq} + U_{CO}} = \frac{U_p}{E_C\cdot\frac{R_p}{R_{izl}+R_p} + U_{CO}}$$

U našem zadatku se traži da uz koeficijent nelinearnosti $\mathcal{E} = 0,16$; odredimo koliki smije biti najmanji otpor opterećenje R_p

$$0,16 = \frac{10}{E_{eq} + U_{CO}} \quad \text{uz} \quad U_{CO} = 12\ V$$

napon na koji se nalijo C.

$$E_{eq} = \frac{10-2.0,16}{0,16} = \frac{9,68}{0,16} = 60,5 \text{ V}$$

$$E_{eq} = E_{CO} \cdot \frac{Rp}{Rizl + Rp}$$

$$Uz \quad R_e \ll \boxed{Rizl = 10^6 \Omega}$$

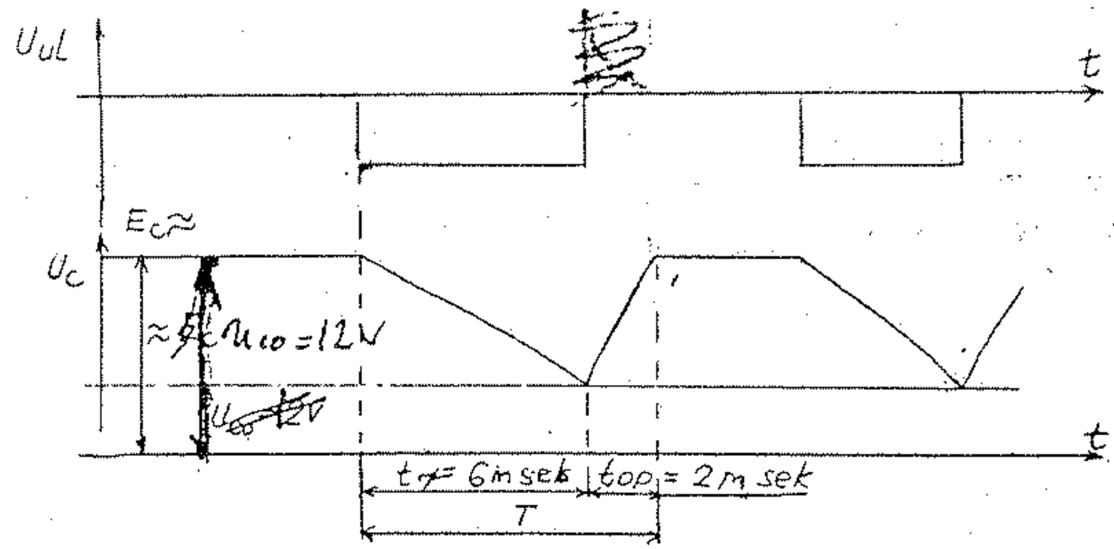
$$E_{CO} = 5.10^{-3}.10^6 = 5.10^3 \text{ V}$$

$$E_{eq}.Rizl = E_{eq}.Rp = E_{CO}.Rp$$

$$Rp \geqslant \frac{E_{eq} \, . \, Rizl}{E_{CO} - E_{eq}} = \frac{60,5.10^6}{5.10^3 - 60,5}$$

$$Rp \geqslant 12,25 \text{ K}\Omega$$

Valni oblik signala na otporu Rp odnosno kondenzatoru C prikazan je na sl. 6.12.

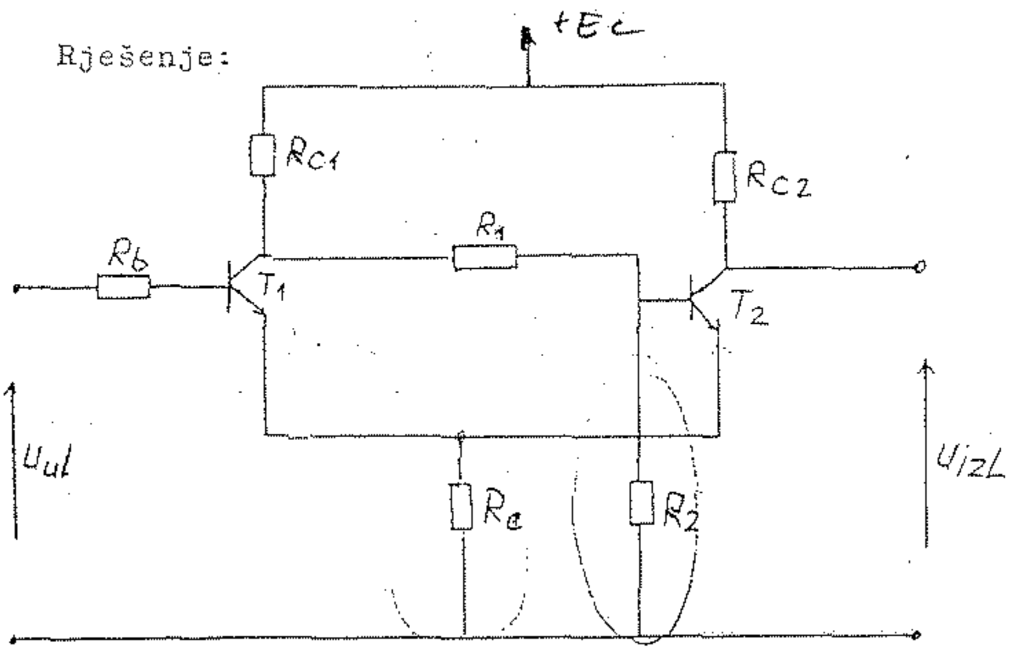


Sl.6.12

7.1. Proračunati Schmitov tviger sa tranzistorima koji rade u prekidačkom režimu. Amplituda izlaznog signala U_m = 10 V, napon gornjeg praga V_g = 3 V a napon donjeg praga Vd = 2 V . Upotrebljen je tranzistor BC219S sa podacima:

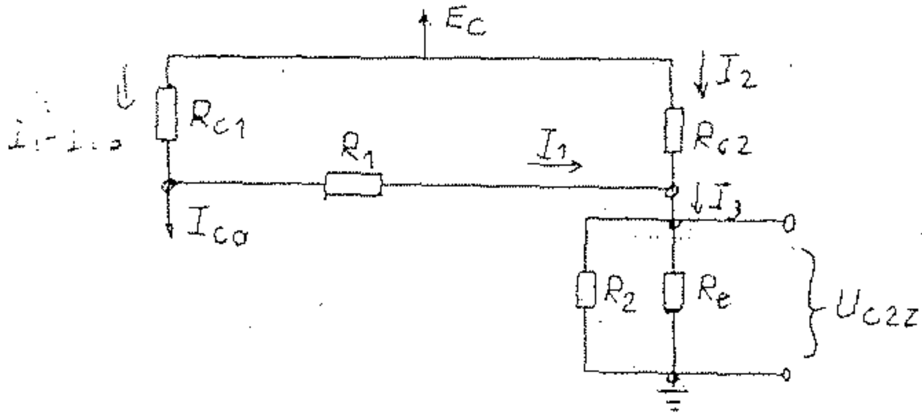
U_{CEmax} = 32 V; I_{Cmax} = 100 mA, β_{min} = 100.

Rješenje:



Sl.7.1

Napon gornjeg praga je onaj napon, pri kome tranzistor T_1 upravo počinje da vodi. Iz ekvivalentne sheme na sl. 7.2 koja vrijedi u slučaju kada tranzistor T_2 vodi .



Sl.7.2

$R_b \leq h_{min}(R_1 + R_e)$

slijedi da je $V_g = U_{Cz2} + V_{\gamma 1}$ gdje je $V_{\gamma 1}$ napon provodjenja izmedju baze i emitera tranzistora T_1.

$$U_{C2z} = I_3 \cdot R \; ; \qquad R = \frac{R_e \, R_2}{R_e + R_2}$$

Da bi našli U_{C2z} neophodno je odrediti struju I_3. Iz slike slijedi:

$$I_3 = I_1 + I_2$$

$$I_1 = \frac{E_C - U_{C2z} - I_{CO}R_{C1}}{R_{C1} + R_1}$$

$$I_2 = \frac{E_C - U_{C2z}}{R_{C2}}$$

$$I_3 = \frac{E_C - U_{C2z} - I_{CO}R_{C1}}{R_{C1} + R_1} + \frac{E_C - U_{C2z}}{R_{C2}}$$ te je

$$U_{C2z} = \left[\frac{E_C - U_{C2z} - I_{CO}R_{C1}}{R_{C1} + R_1} + \frac{E_C - U_{C2z}}{R_{C2}} \right] . R \quad \text{odnosno:}$$

$$U_{C2z} = \frac{E_C(R_1 + R_{C1} + R_{C2}) - I_{CO}R_{C1}R_{C2}}{R_1 + R_{C1} + R_{C2} + \frac{R_{C2}(R_2 + R_e)}{R_2 \; R_e}(R_1 + R_{C1})}$$

Predpostavljamo da je:

$$I_{CO} \frac{R_{C1}R_{C2}}{R_1} \ll E_C$$

$$R_1 \gg R_{C1} + R_{C2}$$

$$R_2 \gg R_e \quad \text{te je}$$

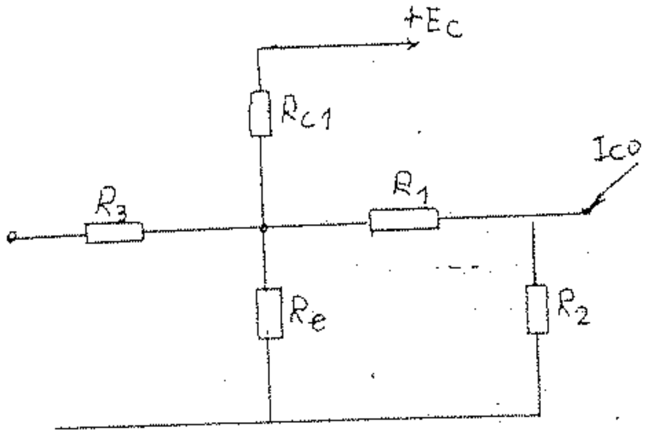
$$U_{C2z} \simeq \frac{E_C \cdot R_1}{R_1 + \frac{R_1 R_{C2}}{R_e}}$$

Odnosno $U_{C2z} \simeq E_C \dfrac{R_e}{R_{C2} + R_e}$ te je

$$V_g \approx E_C \cdot \frac{R_e}{R_{e2} + R_e} + V_{\gamma 1}$$

Izraz za napon donjeg praga ćemo dobiti ako odredimo pri kome naponu tranzistor T_1 koji je vodio počinje da se koči.

Nadomjesna shema u tome slučaju, data je na sl.7.3.



Sl.7.3

$$V_d \approx U_{C1z}$$

$$U_{C1z} = \frac{E_C \cdot \dfrac{R_e\left(R_1 + R_2\right)}{R_e + R_1 + R_2}}{R_{C1} + \dfrac{R_e\left(R_1 + R_2\right)}{R_e + R_1 + R_2}}$$

$$U_{C1z} = \frac{E_C}{1 + \dfrac{R_{C1}}{R_e\left(R_1 + R_2\right)}\left(R_e + R_1 + R_2\right)}$$

Uvodeći pretpostavku da je

$$R_1 + R_2 \gg R_e$$

slijedi:

$$U_{C1z} \cong \frac{E_C}{1 + \frac{R_{C1}}{R_e}}$$

$$U_{1z} = \frac{E_C . R_e}{R_{C1} + R_e}$$

$$V_d \approx E_C \cdot \frac{R_e}{R_{C1} + R_e}$$

Amplituda izlaznog signala je odredjena sa $U_m = E_C - U_{C2z}$ i iznosi:

$$U_m = E_C \cdot \frac{R_{C2}}{R_{C2} + R_e}$$

Pošto smo izračunali opće izraze možemo preći na konkretni proračun.

Na osnovu zadanog V_g:

$$U_{C2z} = V_g - V_{\gamma 1} = (3-0,5)V = 2,5\ V \quad \text{uz } V_{\gamma 1} = 0,5\ V$$

$$E_C \approx U_m + U_{C2z} = 12,5\ V$$

$$R_e \approx \frac{U_{C2z}}{I_{C2z}} \quad \text{uz usvojenu struju zasićenja}$$

$$I_{C2zas} = 10 \text{ mA} \gg I_{COmax}$$

$$R_e = \frac{2,5.10^3}{10} = 250\,\Omega$$

$$I_{C2z} \approx \frac{E_C}{R_{C2}+R_e};$$

$$\frac{12,5-2,5}{10\cdot 10^{-3}} = \frac{10}{10} = \underline{\underline{1K}}$$

$$R_{C2} \approx \frac{E_C - I_{C2z}R_e}{I_{C2z}} = \frac{12,5-2,5}{10.10^{-3}} = 1K\,\Omega$$

Uz izračunato R_e vrijednost otpora u kolektoru tranzistora T_1 iznosi:

$R_b = ?$

$$R_{C1} \approx \frac{R_e\,(E_C - V_d)}{V_d}$$

$$R_{C1} \approx \frac{250\,(12,5-2)}{2} = 1315\,\Omega$$

iz uslova da T_2 dobije dovoljno bazne struje u odnosu I_{C2z}. $\left(\frac{E_C - U_{C2z}}{R_{C1}+R_1} \geq \frac{I_{C2z}}{\beta_2}\right)$

$$R_1 \leq \frac{E_C - U_{C2z}}{I_{C2z}}\,\beta_2 - R_{C1}$$

$$R_1 \leq \frac{12,5-2,5}{10.10^{-3}}\,.100-1315,0$$

$$R_1 \leq 100.10^3 - 1315$$

Usvajamo $R_1 = 10\ K\Omega$

Iz izraza:

$U_{e2} \geq U_{C2z}$

$$E_C \cdot \frac{R_2}{R_{C1}+R_1+R_2} \geq U_{C2z}$$

$$R_2 \geqq \frac{U_{C2z}(R_{C1} + R_1)}{E_C - U_{C2z}}$$

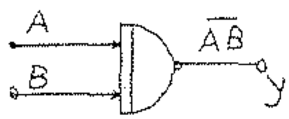
$$R_2 \geqslant 2{,}83\ K\Omega$$

Usvajamo $R_2 = 5\ K\Omega$

8.1. Pokazati kako se korištenjem NAND logičkog kola mogu realizirati osnovne logičke funkcije

Rješenje:

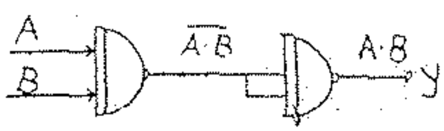
a/ "NAND" kolo



$$Y = \overline{AB} = \bar{A} + \bar{B}$$

Sl.8.1

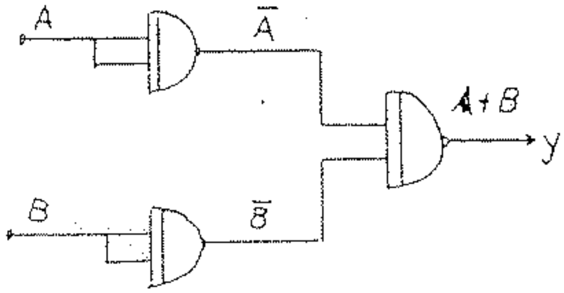
"I" kolo $Y = A.B$



$$Y = AB$$

Sl.8.2

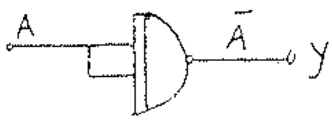
"ILI" kolo



$Y = A + B$

Sl.8.3

"NE" kolo



$Y = \bar{A}$

Sl.8.4

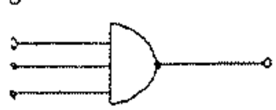
8.2. Koristeći NOR logičke elemente sa tri ulaza realizirati slijedeću logičku funkciju.

$$Y = A\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C}$$

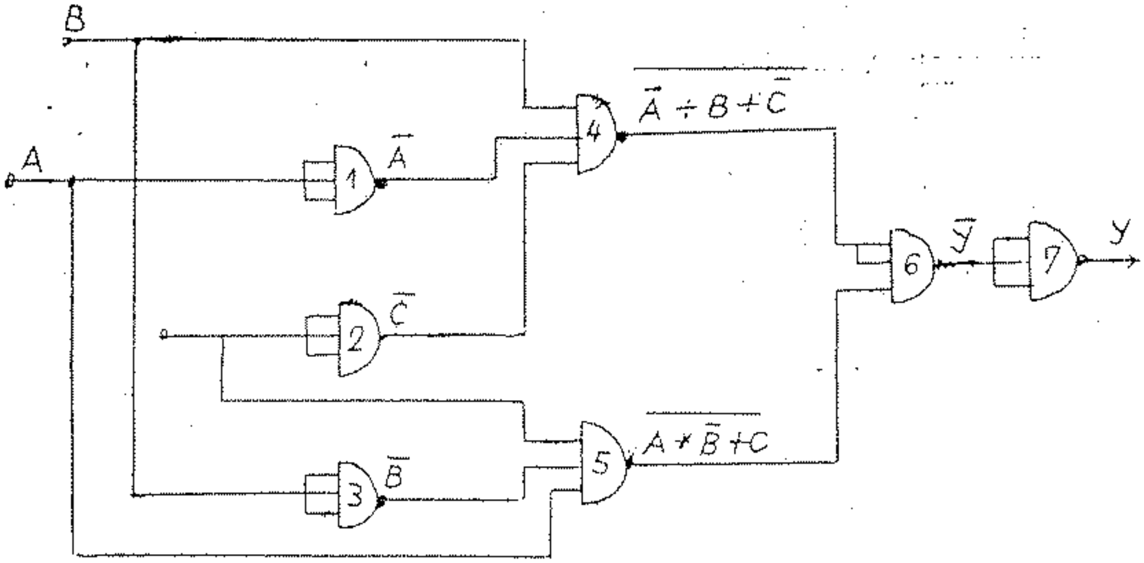
Rješenje:

$$Y = A\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} = \overline{\bar{A}+L+\bar{C}} \quad \overline{A+\bar{B}+C}$$

Označavajući NOR simbolom:



struktura koja realizira traženu logičnu funkciju, postaje kao na sl.8.5.



Sl.8.5

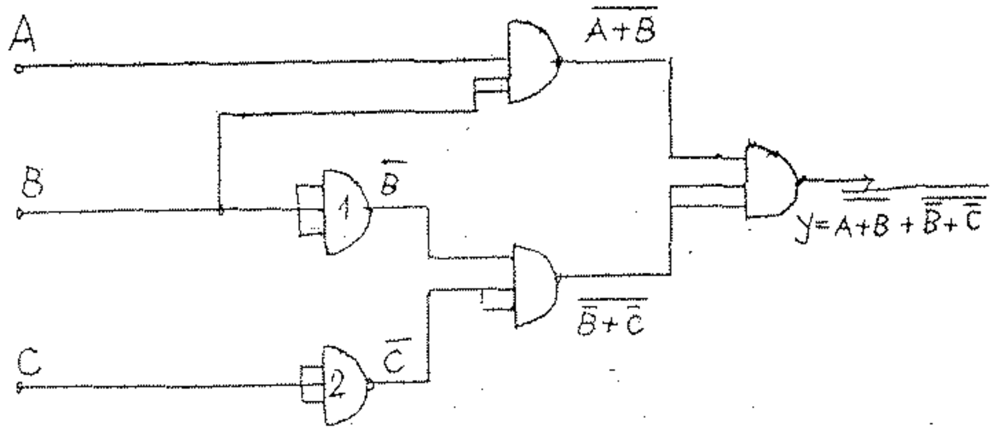
8.3. Zadana je slijedeća logička ovisnost $Y = (A + B)\left(\bar{B} + \bar{C}\right)$. Realizirati funkciju Y koristeći NOR-logičke elemente sa 3 ulaza.

Rješenje:

$$Y = (A + B)\left(\bar{B} + \bar{C}\right)$$

$$\bar{Y} = \overline{A + B} + \overline{\bar{B} + \bar{C}}$$

$$Y = \overline{\overline{A + B} + \overline{\bar{\bar{B}} + \bar{C}}}$$



Sl.8.6

8.4. Na slici 8.7 je predstavljeno otporničko tranzistorsko logičko kolo. Uz predpostavku da radimo sa pozitivnom logikom ustanoviti:

a/ Logičku ovisnog izlaza o ulaznim veličinama.

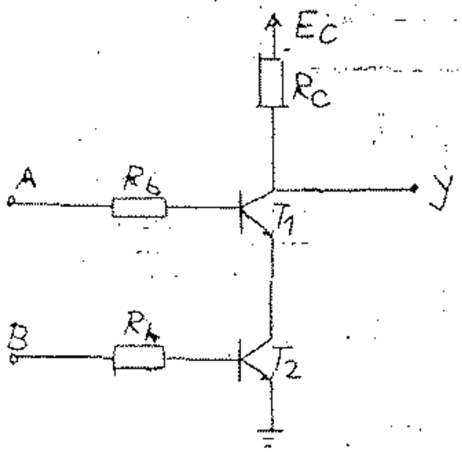
b/ Naći vrijednost otpornika R_b i R_C ako je zadano:

E_C = 12 V, Tranzistor BSJ63; β = 30-100

I_{Cmax} = 10 mA

U_{Cez} = 0,2 V

Signal + 6 V označen je logičnom jedinicom, signal od OV, logičnom nulom.



Sl.8.7

Rješenje:

a/ Tablica stanja:

A	B	Y
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Unoseći vrijednosti iz tablice stanja u Karnaughove tablice:

AB: 00	01	11	10
1	1	0	1

$$Y = \bar{A}\bar{B} + \bar{A}B + A\bar{B} = \bar{A} + \bar{B} = \overline{A.B}$$

Dati sklop realizira logičku funkciju NAND.

b. Usvajajući $I_{Cz} = 5$ mA

$$R_C \geqslant \frac{E_C - 2U_{Cez}}{I_{Cz}} = \frac{12-0,4}{5.10^{-3}} = \frac{11,6}{5.10^{-3}} = 2,32\ K\Omega$$

Usvajamo $R_C = 2,5\ K\Omega$

Otpor R_b treba tako dimenzionirati da obezbijedi dovoljnu baznu struju za tranzistor u zasićenju.

$$\beta_{min}\, I_b \geqslant I_{Cz}$$

$$I_b \geqslant \frac{I_{Cz}}{\beta_{min}}$$

$$I_b \geqslant \frac{5.10^{-3}}{30} = 1,67.10^{-4}\ A = 167\ \mu A$$

Ako su u zasićenju tranzistori T_1 i T_2 onda za tranzistor T_1 mora vrijediti relacija:

$$U_A - V_{BE} - U_{Cez} = I_b.R_b \quad \text{odnosno}$$

$$R_b = \frac{U_A - [V_{BE} + U_{Cez}]}{I_b}$$

Uzimajući da je pad napona izmedju baze i emitera tranzistora koji vode $V_{BE} = 0,6$ V,

$$R_b \leqslant \frac{6-0,8}{1,67-10^{-4}} = \frac{5,2.10^4}{1,67} = 3,11.10^4\,\Omega$$

$R_b \leq 31{,}1\ K$

Usvajamo za T_2 i T_1, $R_b = 15\ K$

Pri tome je faktor koji karakteriše dubinu zasićenja tranzistora, $S \approx 2$

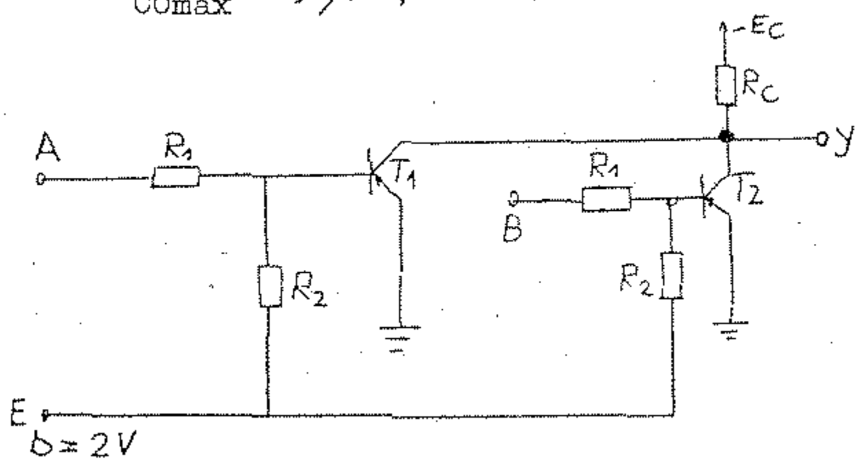
8.5. Na slici 8.8 je predstavljeno otporničko tranzistorsko logičko kolo. Uz predpostavku da radimo sa negativnom logikom ustanoviti:

a/ Logičku ovisnost izlaza Y od ulaznih veličina A i B.

b/ Naći vrijednost otpornika R_1, R_2 i R_C ako je zadano:

$- E_C = 10\ V$, $\beta_{min} = 50$, $I_{Cmaxdop} = 10\ mA$

$I_{C0max} = 5\ \mu A$, $- U_{nl} = 6\ V$.



Sl.8.8

Rješenje:

a/ $y = f(A,B) =$

Tablica stanja, uz korištenu negativnu logiku:

A	B	Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

$$Y = \overline{A + B}$$

Logičko kolo realizira NOR logičku funkciju.

b/ Usvajamo struju zasićenja $I_{Cz} = 5$ mA te je:

$$R_C = \frac{E_C}{I_{Cz}} = \frac{10}{5.10^{-3}} = 2\ K\Omega$$

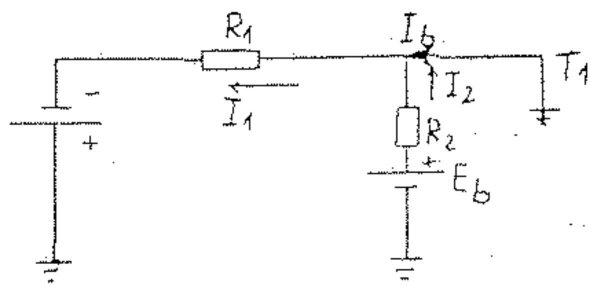
Otpori R_1 i R_2 moraju biti tako odabrani da obezbjedjuju vodjenje tranzistora kada se na ulazu nalazi signal "1" i uvodjenje tranzistora kada je na ulazu signal "0".

Da tranzistor T_1 odnosno T_2 bude u zasićenju potrebno je da bude:

$$I_b \geqslant \frac{I_{Cz}}{\beta_{min}}$$

$$I_b \geqslant \frac{5.10^{-3}}{50} = 10^{-4}\ A$$

Prema slici 8.9 zanemarujući napon U_{BE} $\left(V_{BE} \approx 0\right)$ u odnosu na ulazni signal



Sl.8.9

bazna struja tranzistora koji vodi odredjena je sa:

$$I_b = I_1 - I_2$$

$$I_b \approx \frac{U_{n1}}{R_1} - \frac{E_b}{R_2}$$

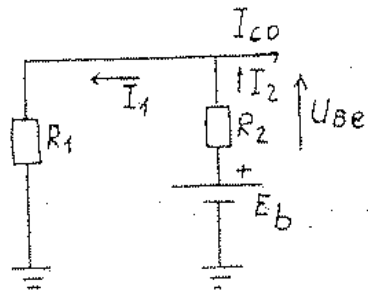
Odnosno:

$$\frac{U_{n1}}{R_1} - \frac{E_b}{R_2} \geqslant 10^{-4} \Big/ R_1 R_2$$

$$U_{n1} \cdot R_2 - E_b \cdot R_1 \geqslant 10^{-4} R_1 R_2$$

$$R_1 \leqslant \frac{U_{n1} \cdot R_2}{10^{-4} R_2 + E_b}$$

Da bi tranzistor T_1 odnosno T_2 bio zakočen, mora vrijediti:



Sl.8.10

Iz sl.8.10 $\quad U_{BE} \geqslant 0$

$$I_{CO} = - I_1 + I_2$$

$$I_{CO} = - \frac{U_{BE}}{R_1} + \frac{E_b}{R_2} - \frac{U_{BE}}{R_2} \quad / R_1 \cdot R_2$$

$$I_{CO} R_1 R_2 = - U_{BE} R_2 + E_b \cdot R_1 - U_{BE} \cdot R_1$$

$$U_{BE} = E_b \frac{R_1}{R_1 + R_2} - I_{CO} \frac{R_1 R_C}{R_1 + R_2}$$

Pošto treba da bude:

$$U_{BE} \geqslant 0 \quad .$$

slijedi da mora biti:

$$\frac{E_b R}{R_1 + R_2} \geqslant I_{CO} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$, odakle se nalazi vrijednost R_2:

$$R_2 \leq \frac{E_b}{I_C}$$

$$R_2 \leqslant \frac{2}{5.10^{-6}} = 0{,}4.10^6\,\Omega$$

Usvajamo $R_2 = 50$ K, pa izraz za R postaje:

$$R_1 \leqslant \frac{6.50.10^3}{50.10^3.10^{-4}+2}$$

$$R_1 \leqslant 4{,}3.10^4\,\Omega$$

Usvajamo $R_1 = 10\ \mathrm{K}\,\Omega$

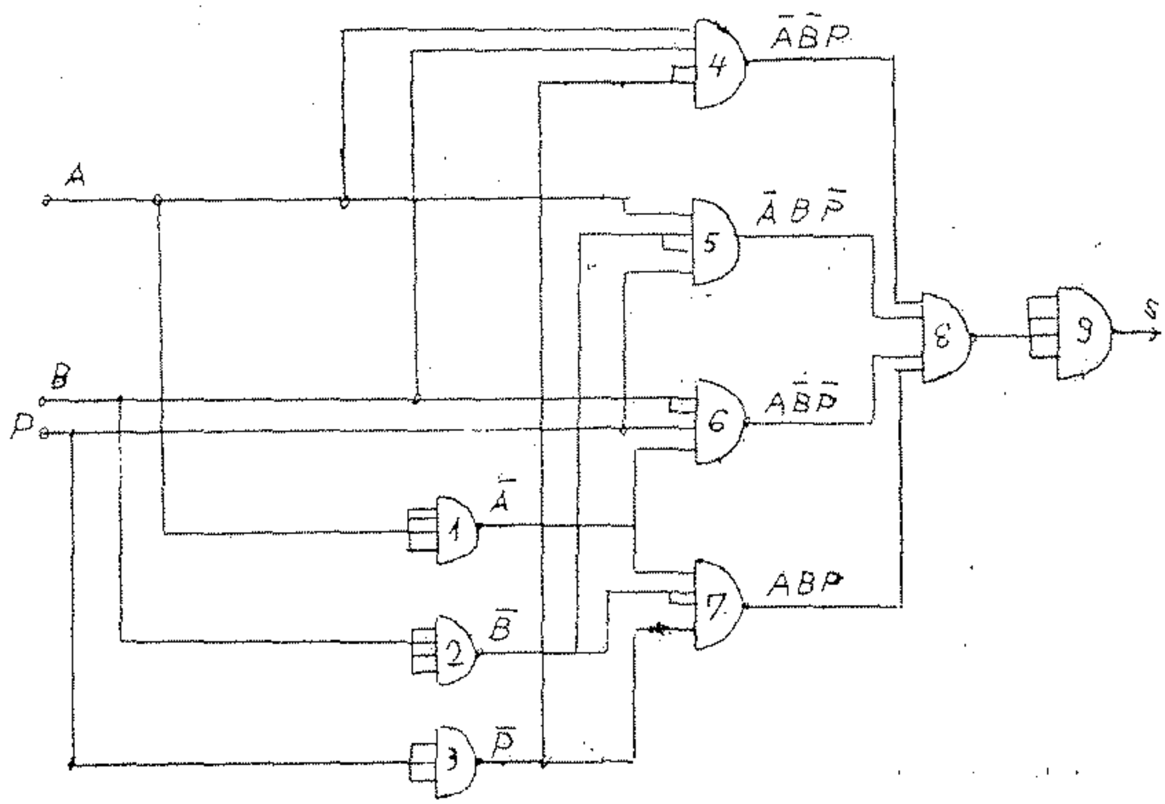
8.6. Koristeći NOR logičke elemente naći strukturu koja realizira logičku funkciju:

$$S = \bar{A}\bar{B}P + \bar{A}B\bar{P} + A\bar{B}\bar{P} + ABP$$

i izračunati elemente NOR-a koji je u datoj strukturi najviše opterećen. Koristiti tranzistore BC 219S.

Rješenje:

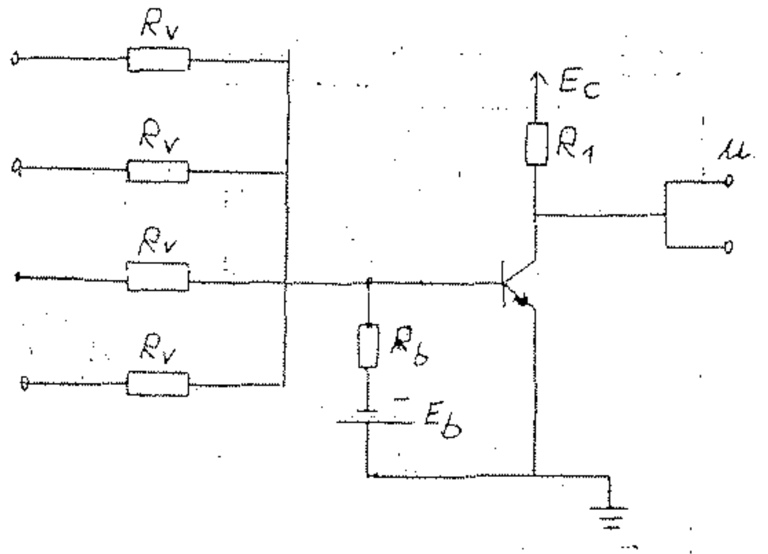
$$S = \bar{A}\bar{B}P + \bar{A}B\bar{P} + A\bar{B}\bar{P} + ABP$$



Sl.8.11

U datoj strukturi najviše su opterećeni NOR-ovi 1; 2; 3;

Dakle potrebno je proračunati NOR sa četiri ulaza i dva izlaza $(m = 4 \text{ i } n = 2)$.



Odabiremo $E_C = 10$ V i $E_b = E_C = 10$ V

$V_{BE} = 0{,}5$ V $- U_{bz} = 0{,}7$

$V_{CE} = 0{,}1$ V

Pri proračunu korištene su već izračunate relacije date u predavanjima

$$R_{v\ opt} = \frac{nR_1\left(f + h + \sqrt{fK+hK}\right)}{K - f - h}$$

gdje je:

$$K = (a\ E_{Cnom} - V_{BE1})(a\ E_{bnom} - U_{bz})\ b^2$$

$$f = (a\ E_{bnom} + V_{BE1})(V_{CEmax} + U_{bz}).\ C^2.m$$

$$h = (V_{BE1} - V_{CEmin})(a\ E_{bnom} - U_{bz})(m-1)\ b.C$$

Računajući sa deset postotnim odstupanjem od nominalnih vrijednosti koeficijenti a,b,c postaju:

$$a < 1 = 0,9 \quad 1 > b = 0,9 \ , \ KC = 1,1$$

$$E_{Cnom} = 10 \ V$$

Daklo:

$$K = (0,9.10-0,5)(0,9.10-0,7).0,81$$

$$K = 8,5.8,3.0,81$$

$$K = 57$$

$$f = (0,9.10+0,5)(0,1+0,7).1,1^2.4$$

$$f = 9,5.0,8.1,21.4 = 36,8$$

$$h = (0,5\div0,1)(0,9.10-0,7).3.0,9.1,1$$

$$h = 0,4.8,3.3.0,9.1,1$$

$$h = 9,8$$

Pri odabiranju otpora R_1 moraju biti zadovoljeni uvjeti:

$$R_1 > \frac{E_{Cmax}}{I_{Cmax}} = \frac{11}{60.10^{-3}} = \frac{11000}{60} = 184\,\Omega$$

$I_C \geqslant (10\text{-}15)\ I_{CO}$ odnosno ako uznemo

$$I_{COmax} = I_{CO} \cdot 2^{\frac{T_{max}-T_o}{10}} = 5.2^{\frac{65-25}{10}} = 5.2^4 = 8.10^{-6} A$$

$$R_1 \leqslant \frac{E_{cmin}}{15 I_{COmax}} = \frac{9.10^6}{15.80} = \frac{9.10^6}{1200} = 7,5\ K\Omega$$

Usvajamo $R_1 = 5,6\ K\Omega$

$$R_{vopt} = \frac{n.R_1\left(f+h+\sqrt{kf+hK}\right)}{k-f-h}$$

$$R_{vopt} = \frac{2.5,6.10^3\left(36,8+9,8+\sqrt{57.36,8+9,8.57}\right)}{57-36,8-9,8}$$

$$R_{vopt} = \frac{11,2.10^3\left(46,6+\sqrt{2660}\right)}{10,4}$$

$$R_{vopt} = \frac{11,2.10^3.98}{10,4}$$

$$R_{vopt} = 105\ K\Omega$$

$$R_b = \frac{a\ E_{bnom} - U_{bz}}{c\left[I_{COmax} + n\left[\frac{U_{bz} + U_{Cemax}}{b\ R_{Vopt}}\right]\right.}$$

$$R_b = \frac{0{,}9.10-0{,}7}{1{,}1\left[80.10^{-6}+\dfrac{4(0{,}7+0{,}1)}{0{,}9.105.10^{3}}\right]} = \frac{8{,}3}{1{,}1\left(80.10^{-6}+3{,}35.10^{-6}\right)}$$

$$R_b = \frac{8{,}3.10^{6}}{91{,}5}\ \Omega$$

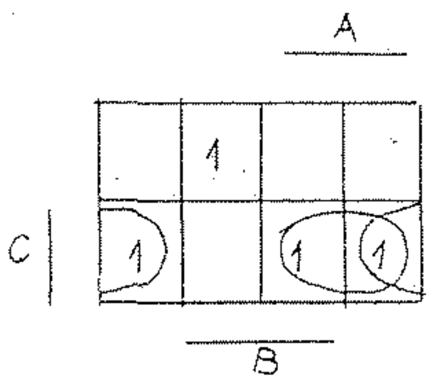
$$R_b = 91\ K\Omega$$

8.7. Minimizirati slijedeću logičku funkciju i prikazati njenu strukturu koristeći NAND logične elemente:

$$Y = A\bar{B}C \vee \bar{A}B\bar{C} \vee ABC \vee \bar{A}\bar{B}C$$

Rješenje:

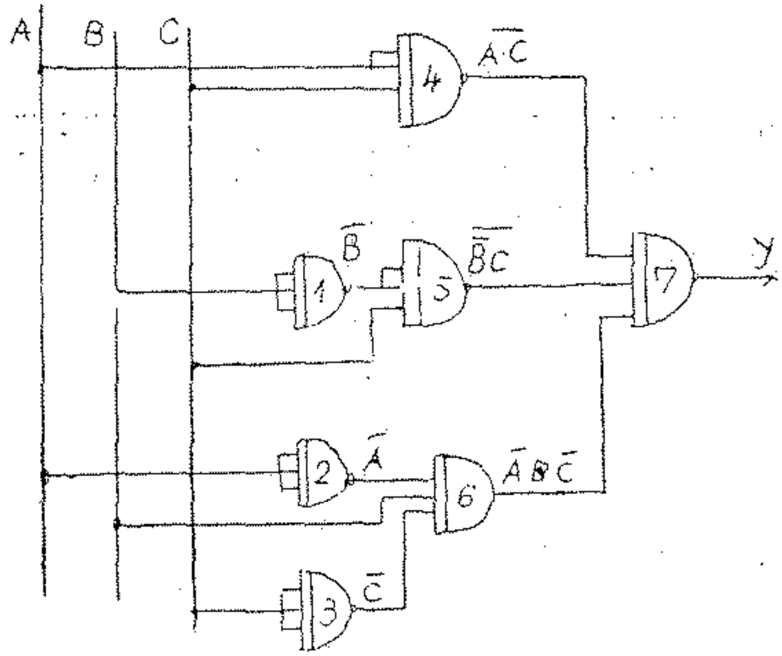
Prema Veitchevom dijagramu minimalna struktura Y je:



$$Y = AC \vee \bar{B}C \vee \bar{A}B\bar{C}$$

$$\bar{\bar{Y}} = \overline{AC\vee\bar{B}C\vee\bar{A}B\bar{C}} = \overline{AC}.\overline{\bar{B}C}.\overline{\bar{A}B}.\bar{C}$$

$$Y = \overline{\overline{AC}\ .\ \overline{\bar{B}C}\ .\ \overline{\bar{A}B\bar{C}}}$$



Sl.8.12

8.8. Zadata je logička funkcija

$$Y = A\bar{B}C \text{ V } \bar{A}B\bar{C} \text{ V } \overline{(AVB)(AVC)}$$

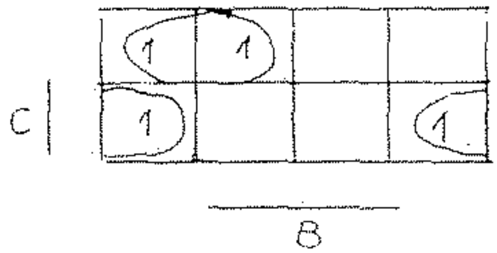
Realizirati funkciju koristeći NOR-logične elemente, tako da se dobije najekonomičnija struktura.

Rješenje:

$$Y = A\bar{B}C \text{ V } \bar{A}B\bar{C} \text{ V } \overline{(AVB)(AVC)} =$$

$$= A\bar{B}C \text{ V } \bar{A}B\bar{C} \text{ V } \bar{A}.\bar{B} \text{ V } \bar{A}.\bar{C}$$

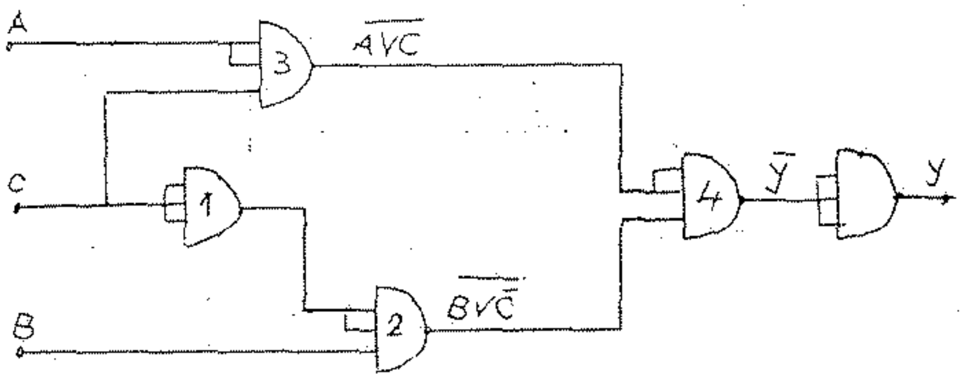
Miniziramo datu funkciju:



$$Y = \bar{A}\bar{C} \; V \; \bar{B}C$$

$$Y = \overline{AVC} \; V \; \overline{BV\bar{C}}$$

$$Y = \overline{\overline{AVC} \; V \; \overline{BV\bar{C}}}$$



Sl.8.13

8.9. Prikazati najekonomičniju strukturu na bazi NAND kola sa 3 ulaza , za datu logičku funkciju: $Y=BV\bar{D}V\bar{A}C$.

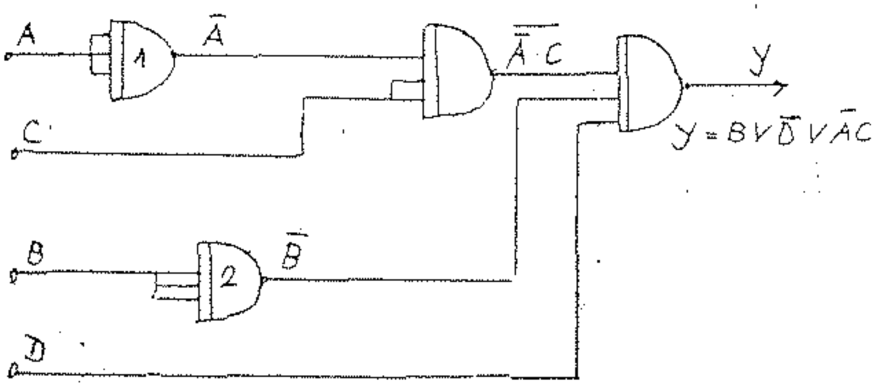
Rješenje:

$Y = B \vee \bar{D} \vee \bar{A}C$

$Y = \overline{B \vee \bar{D} \vee \bar{A}C} = \bar{B}.D.\overline{\bar{A}C}$

$Y = \overline{\bar{B}.D.\overline{\bar{A}C}}$

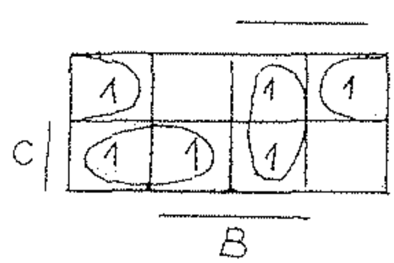
Na sl.8.14 je data tražena struktura.



Sl.8.14

8.10 Naći logičku strukturu koja realizira funkciju $Y = (\bar{A} \vee B \vee \bar{C})(A \vee \bar{B} \vee C)$. Koristiti NOR logičke elemente sa 3 ulaza. Minimizirati broj logičkih elemenata.

Rješenje:

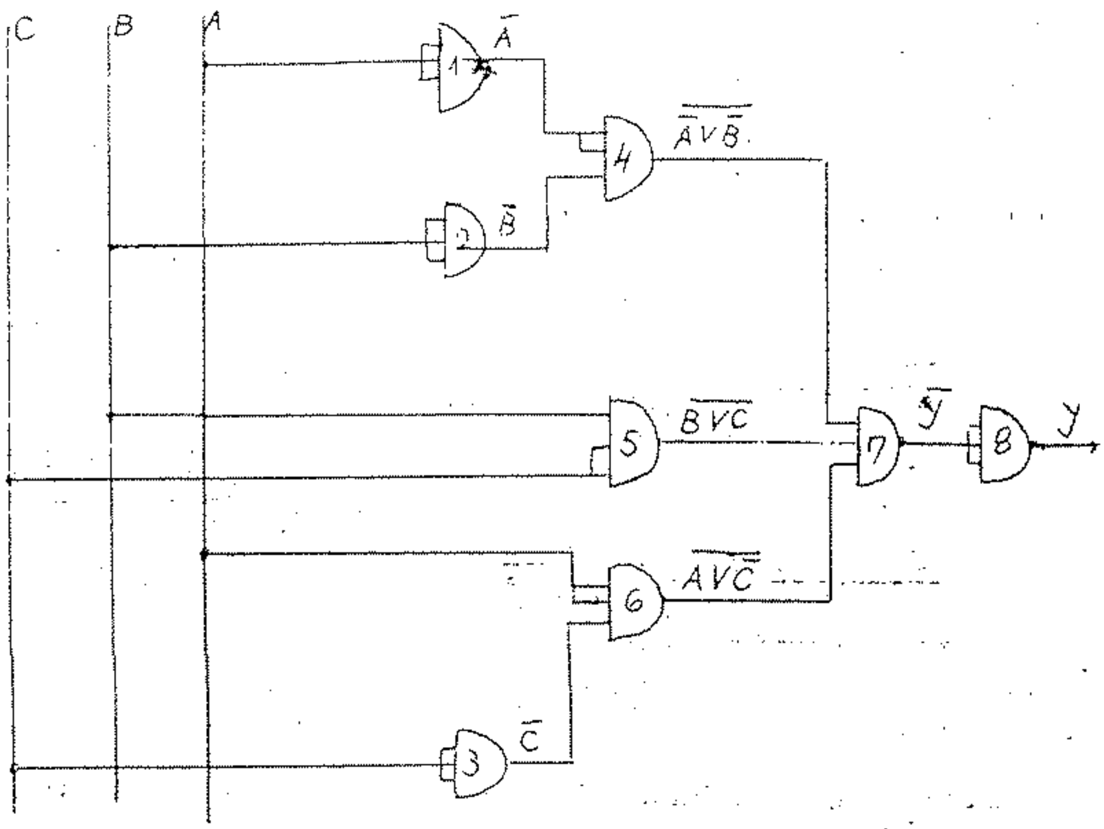


Iz Veitcheva dijagrama:

$$Y = \bar{B}\bar{C} V \bar{A}C V AB$$

$$Y = \overline{B V C}\ V\ \overline{A V \bar{C}}\ V \overline{\bar{A} V \bar{B}}$$

$$\bar{Y} = \overline{\overline{B V C}\ V\ \overline{A V \bar{C}}\ V\ \overline{\bar{A} V \bar{B}}}$$



Sl.8.15

8.11 Na raspolaganju su NOR i NAND logički elementi sa po dva ulaza. Naći najekonomičniju strukturu za funkciju.

$$Y = A \vee B \vee C \vee D$$

Koristeći navedene elemente uključujući i kombinacije od dva dva tipa navedenih logičkih elemenata .

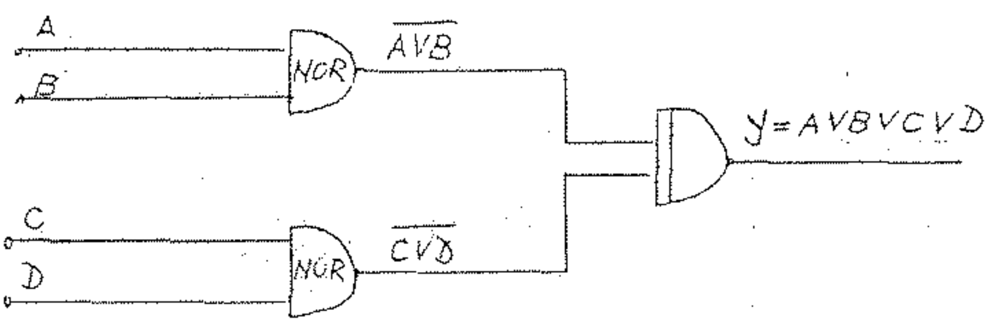
Rješenje:

$$Y = A \vee B \vee C \vee D$$

$$\overline{Y} = \overline{A \vee B} \cdot \overline{C \vee D}$$

$$Y = \overline{\overline{A \vee B} \cdot \overline{C \vee D}}$$

Dakle sklop će biti realiziran sa dva NOR i jednim NAND elementom:



Sl.8.16

8.12 Prikazati NAND simbolima sa dva ulaza logičku funkciju $Y = \overline{A}(B \vee C)$

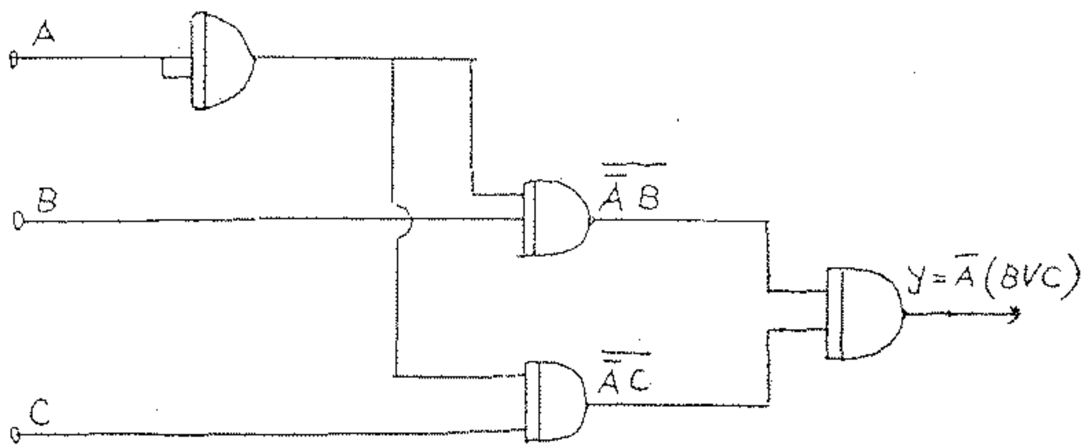
Rješenje:

$$Y = \overline{A}(B \vee C) = \overline{A}B \vee \overline{A}C$$

$$\overline{Y} = \overline{\overline{A}B} \cdot \overline{\overline{A}C}$$

$$Y = \overline{\overline{\overline{A}B} \cdot \overline{\overline{A}C}}$$

Logička struktura funkcije data je na slici 8.17.



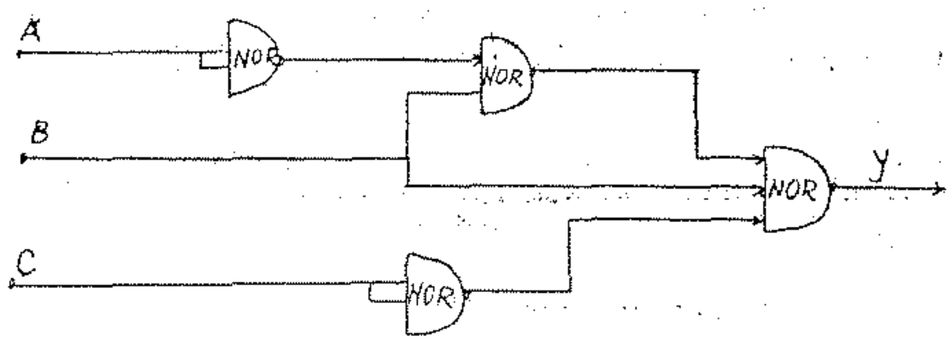
Sl.8.17

8.13. Data je logička struktura na bazi NOR logičkih elemenata prema Sl.8.18.

a/ Naći logičku ovisnost izlaza od ulaza.

b/ Koristeći NAND logičke elemente formirati logičku strukturu sa istom ovisnošću izlaza od ulaza.

c/ Može li se pomoću NOR-ova riješiti data ovisnost ekonomičnije i ako može, pokazati kako? Koristiti elemente sa 3 ulaza.



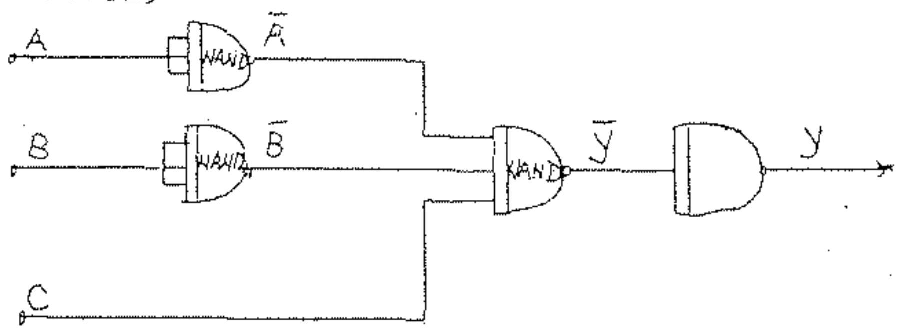
Sl.8.18

Rješenje

$$a/\quad Y = \overline{\bar{A}VB\ V\ BV\bar{C}} = \overline{A\bar{B}\ V\ BV\bar{C}}$$
$$Y = (\bar{A}VB)(\bar{B}\ .\ C)$$
$$Y = \bar{A}\bar{B}C\ V\ \underbrace{B\bar{B}C}_{=0} = \bar{A}\bar{B}C$$

$$b/\quad Y = \bar{A}\bar{B}C$$
$$\bar{Y} = \overline{\bar{A}\bar{B}.C}$$

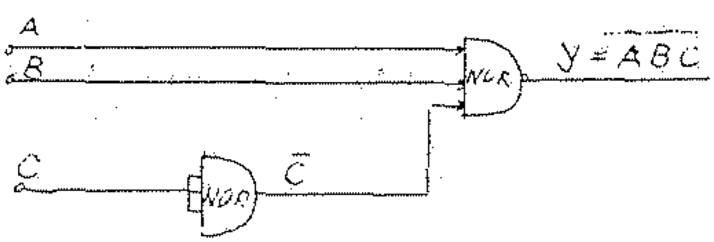
Logička struktura ostvarena NAND elementima će izgledati prema sl.8.19



Sl.8.19

$$c/\quad Y = \bar{A}\bar{B}C = \overline{AVBV\bar{C}}$$

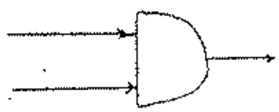
Dakle data struktura se može ostvariti ekonomičnije. Logička struktura je prikazana na Sl.8.20



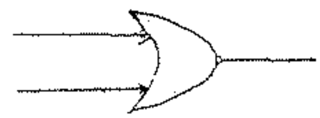
Sl.8.20

8.14 Integrirano kolo IDT 005 predstavljeno je u prilogu I svojom blok strukturom . Simboli su slijedeći:

"I" kolo



"NOR" kolo



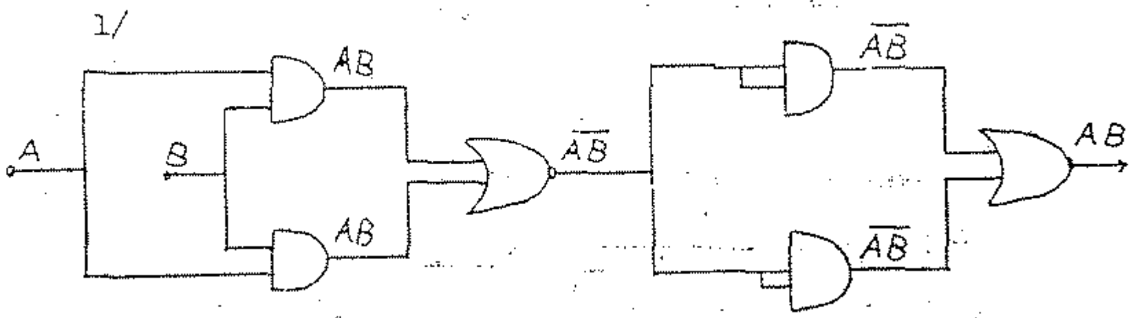
Ulaz označen sa EXP predstavlja exponderski izvod. Formirati logičke funkcije koje se mogu realizirati koristeći samo jedno kolo IDT 005 ulaz Exp ne treba uzeti u razmatranje.

Ograničiti se na promatranje najviše četiri ulazne varijable.

Rješenje:

a/ sa dvije varijable

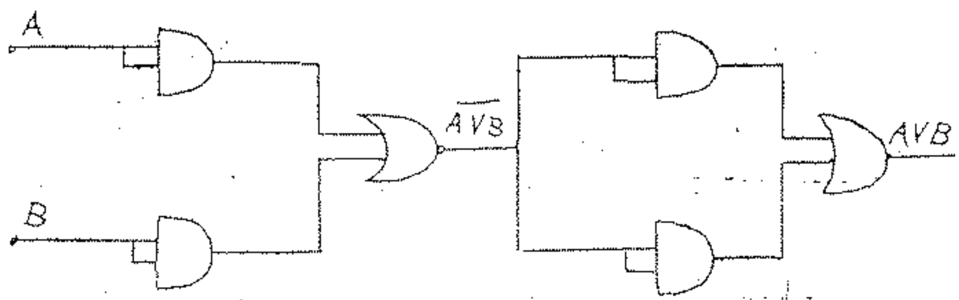
1/



Sl.8.21

Ostvarena funkcija je konjunkcija.

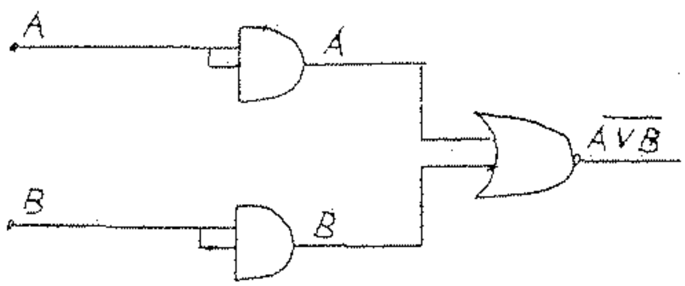
2/



Sl.8.22

Ostvarena funkcija je ILI.

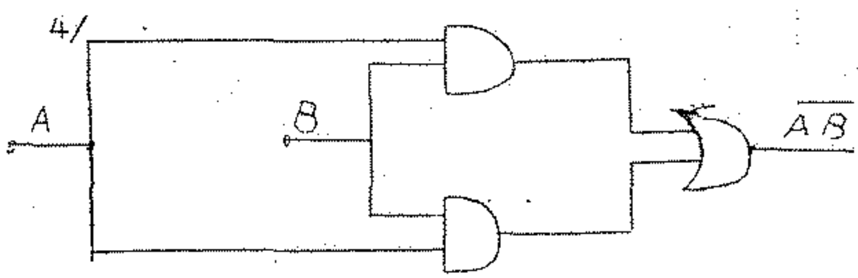
3/



Sl.8.23

Ostvarena funkcija je NOR

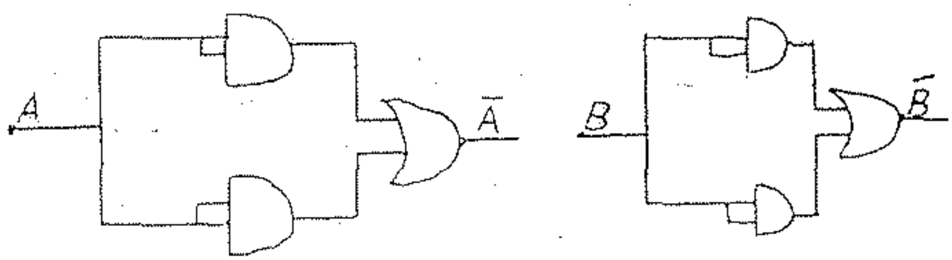
4/



Sl.8.24

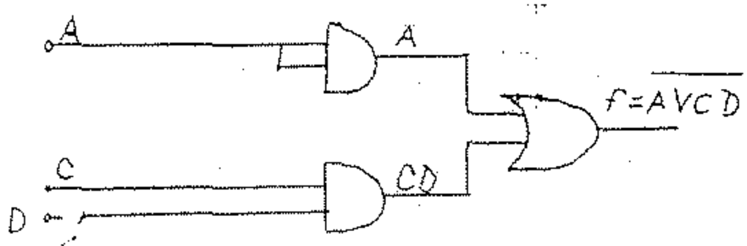
Ostvarena funkcija je NAND

5/



Ostvarena funkcija je invertor (NE).

b. Sa tri varijable:



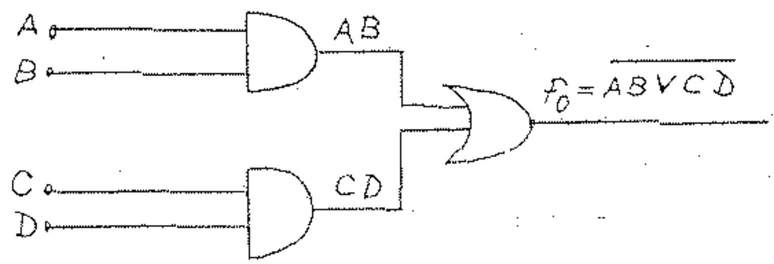
Pošto na ulaz može doći $\bar{A}$ i $\bar{C}$ i $\bar{D}$ onda na izlazu ovisno kakav je ulaz možemo imati slijedeće funkcije:

$f_o = \overline{AVCD}$, $f_1 = \overline{AV\bar{C}D}$, $f_2 = \overline{AVC\bar{D}}$

$f_3 = \overline{AV\bar{C}\bar{D}}$, $f_4 = \overline{\bar{A}VCD}$, $f_5 = \overline{\bar{A}V\bar{C}D}$

$f_6 = \overline{\bar{A}VC\bar{D}}$, $f_7 = \overline{\bar{A}V\bar{C}\bar{D}}$

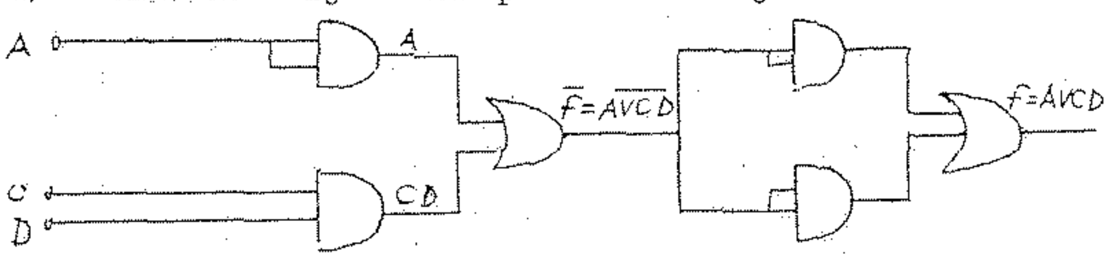
c/ Sa četiri varijable:



Sl.8.25

$f_o = \overline{ABVCD}$, $f_1 = \overline{ABV\bar{C}D}$, $f_2 = \overline{ABVC\bar{D}}$
$f_3 = \overline{ABV\bar{C}\bar{D}}$, $f_4 = \overline{\bar{A}BVCD}$, $f_5 = \overline{\bar{A}BV\bar{C}D}$
$f_6 = \overline{\bar{A}BVC\bar{D}}$, $f_7 = \overline{\bar{A}BV\bar{C}D}$, $f_8 = \overline{A\bar{B}VCD}$
$f_9 = \overline{A\bar{B}V\bar{C}D}$, $f_{1o} = \overline{A\bar{B}VC\bar{D}}$, $f_{11} = \overline{A\bar{B}V\bar{C}\bar{D}}$
$f_{12} = \overline{\bar{A}\bar{B}VCD}$, $f_{13} = \overline{\bar{A}\bar{B}V\bar{C}D}$, $f_{14} = \overline{\bar{A}\bar{B}VC\bar{D}}$
$f_{15} = \overline{\bar{A}\bar{B}V\bar{C}\bar{D}}$

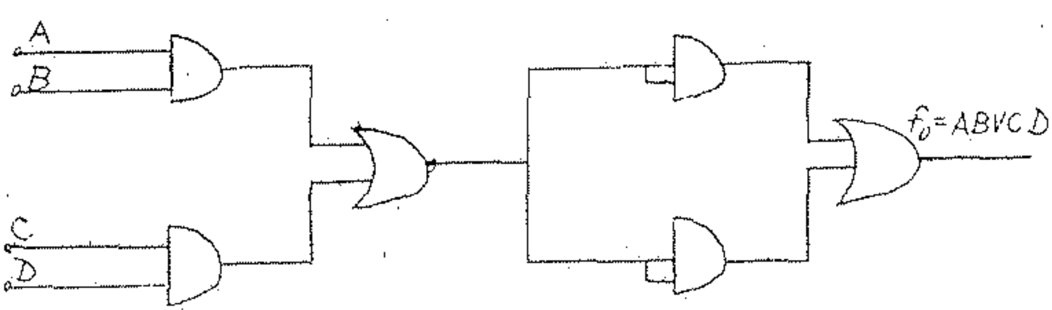
d/ Promatramo cijeli sklop sa tri varijable:



Sl.8.26

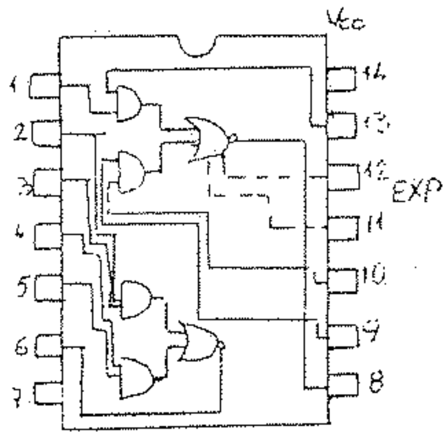
I u ovom slučaju je moguća kombinacija varijabli.

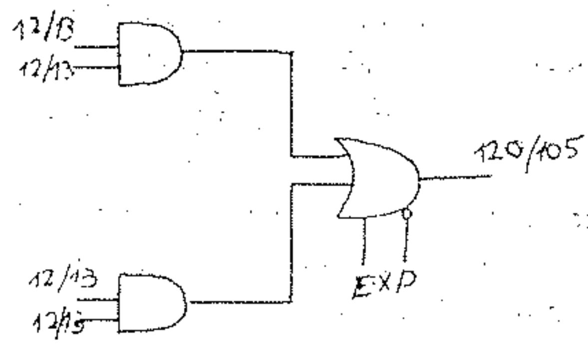
e/ Cijeli sklop sa četiri varijable:

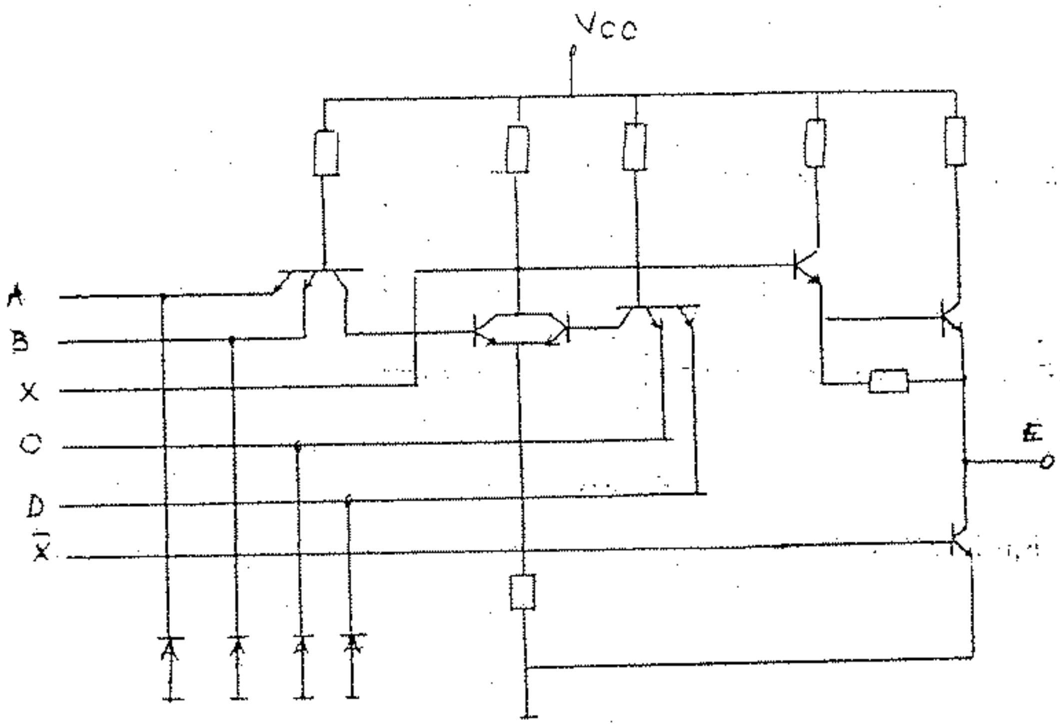


Sl.8.27

Prilog I


Vcc
1
2
3
4
5
6
7
14
13
12 EXP
11
10
9
8


12/13
12/13
12/13
12/13
120/105
EXP


Vcc
A
B
X
C
D
$\overline{X}$
E

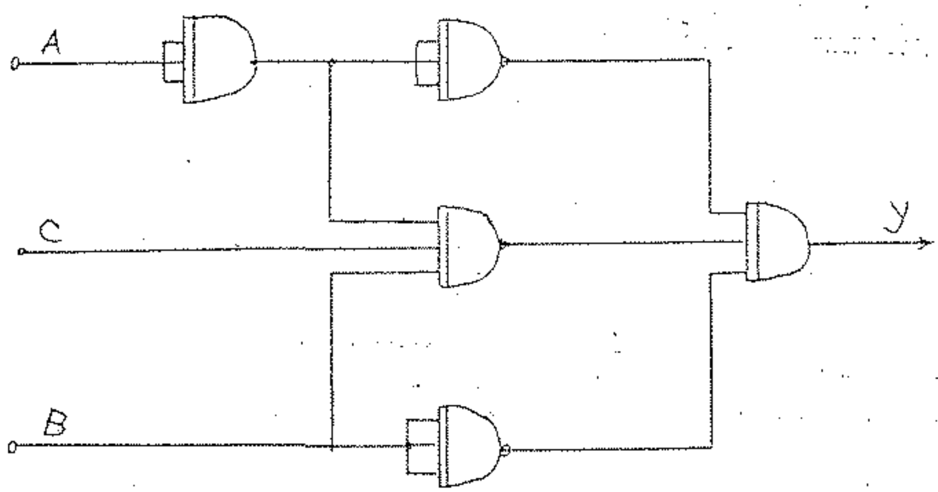
Kao i u predhodnim slučajevima i ovdje je moguća kombinacija varijabli.

8.15. Data je logička struktura prema Sl.8.28 na bazi NAND log. elemenata.

a/ Naći logičku ovisnost izlaza od ulaza

b/ Koristeći NOR log. elemente sintetizirati strukturu koja realizira istu logičku ovisnog izlaza od ulaza kao pod a/.

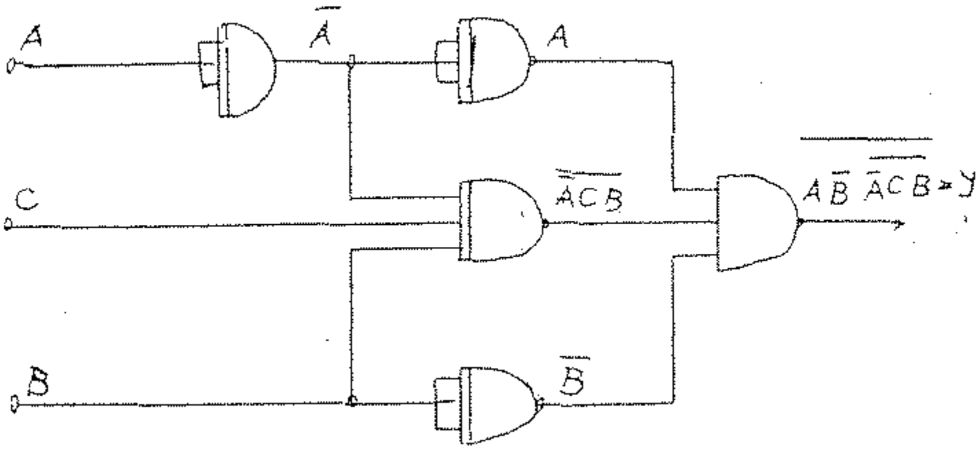
c/ Nacrtati detaljnu strukturnu shemu pod b/ uključujući i strukturu svakog NOR-a .



Sl.8.28

Rješenje:

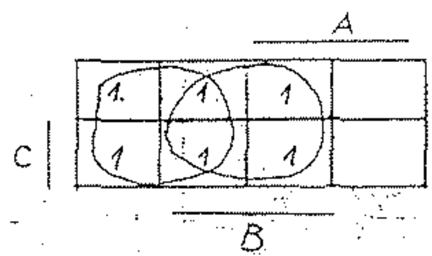
a/ Prema Sl.8.29.



Sl.8.29

$Y = \overline{A\bar{B}\ .\ \overline{\bar{A}CB}} = \overline{A\bar{B}} \vee \bar{A}CB = \bar{A} \vee B \vee \bar{A}CB$

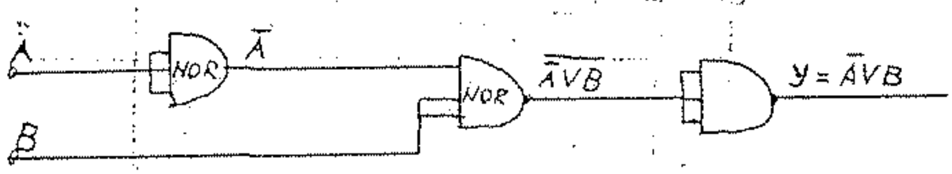
Funkciju $Y = \bar{A} \vee B \vee \bar{A}CB$ minimiziramo:



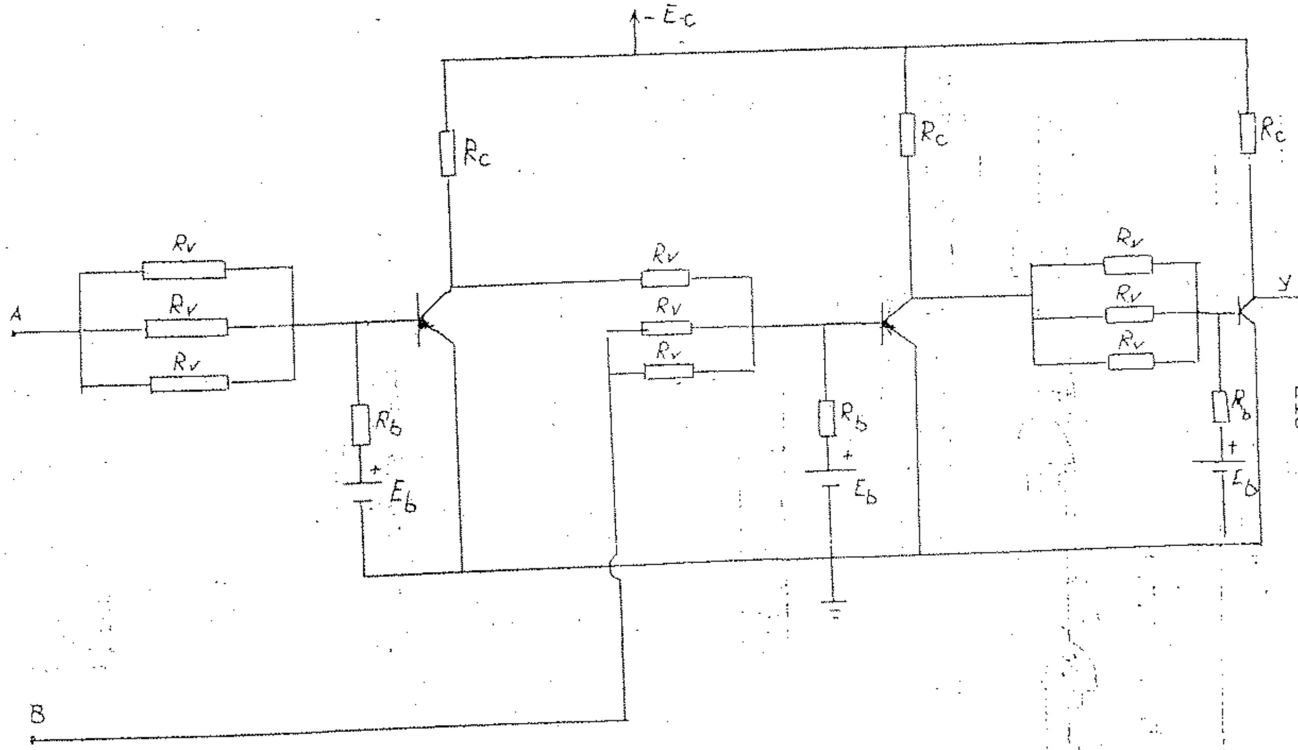
$Y = \bar{A} \vee B$

b/

$\bar{Y} = \overline{\bar{A} \vee B}$



Sl.8.30



sl. 8.31

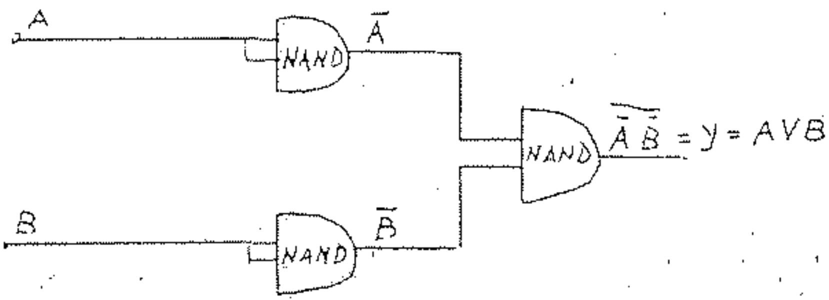
8.16. Koristeći NAND logičke elemente realizirati logičko ILI kolo.

a/ Nacrati detaljno elektronsku shemu realizirane strukture.

Predpostaviti NAND kolo sa dva ulaza.

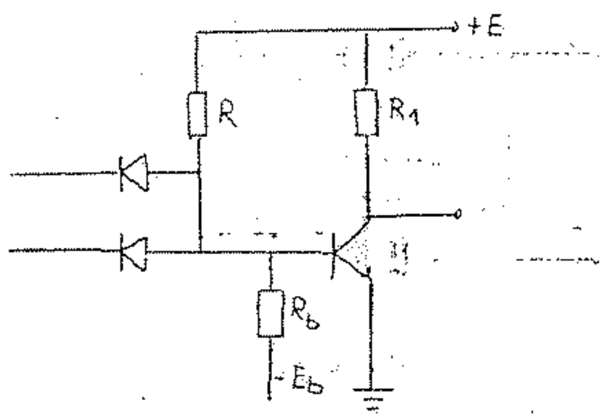
Rješenje:

$$Y = AVB = \overline{\overline{\overline{A}}.\overline{\overline{B}}} = \overline{\overline{A}}V\overline{\overline{B}}$$

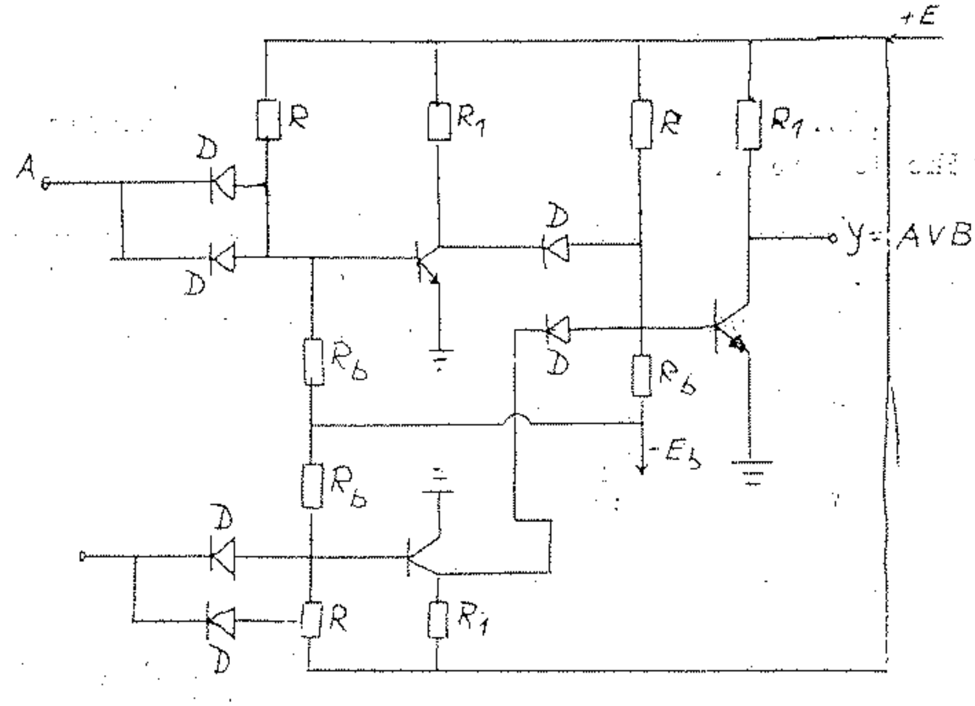


Sl.8.32

b/ Ako NAND realiziramo prema shemi na sl. 8.33 uz pozitivnu logiku, tada će tražena struktura biti kao na sl. 8.34.



Sl.8.33



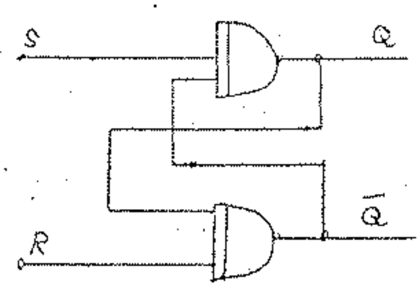
Sl.8.34

8.17 Na osnovu NAND-a kao polaznog elementa formirati detaljnu strukturu binarnog brojača koji broji do 7.

Nacrtati vremenski dijagram stanja brojača.

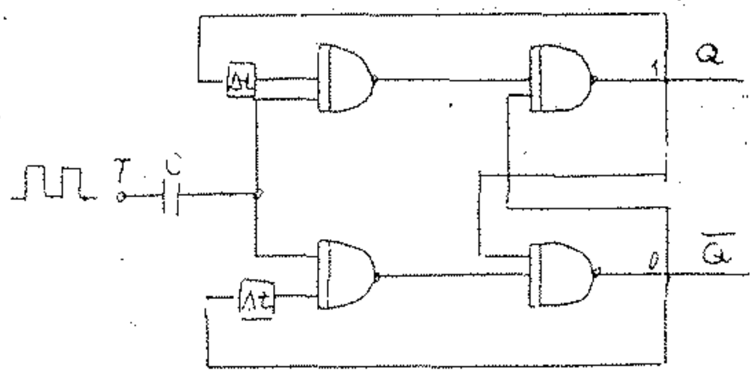
Rješenje:

Flip flop se relazira NAND-ovima na slijedeći način Sl.8.35.



Sl.8.35

T bistabilni multivibrator bi bio realiziran prema Sl.8.36.



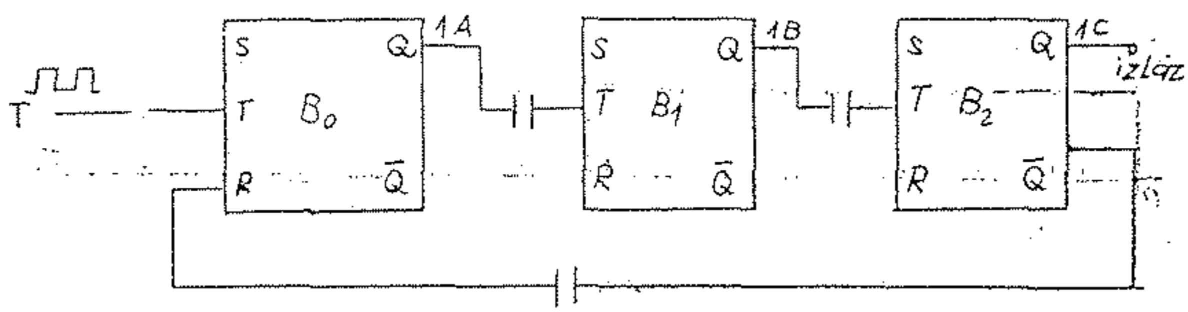
Sl.8.36

Struktura brojača koji bi brojio do 7 bila bi sastavljena iz tri RST binara.

$$A = 7; \quad B = 2^3 = 8; \; B - A = 8-7=1=1.2^0+0.2^1+0.2^2$$

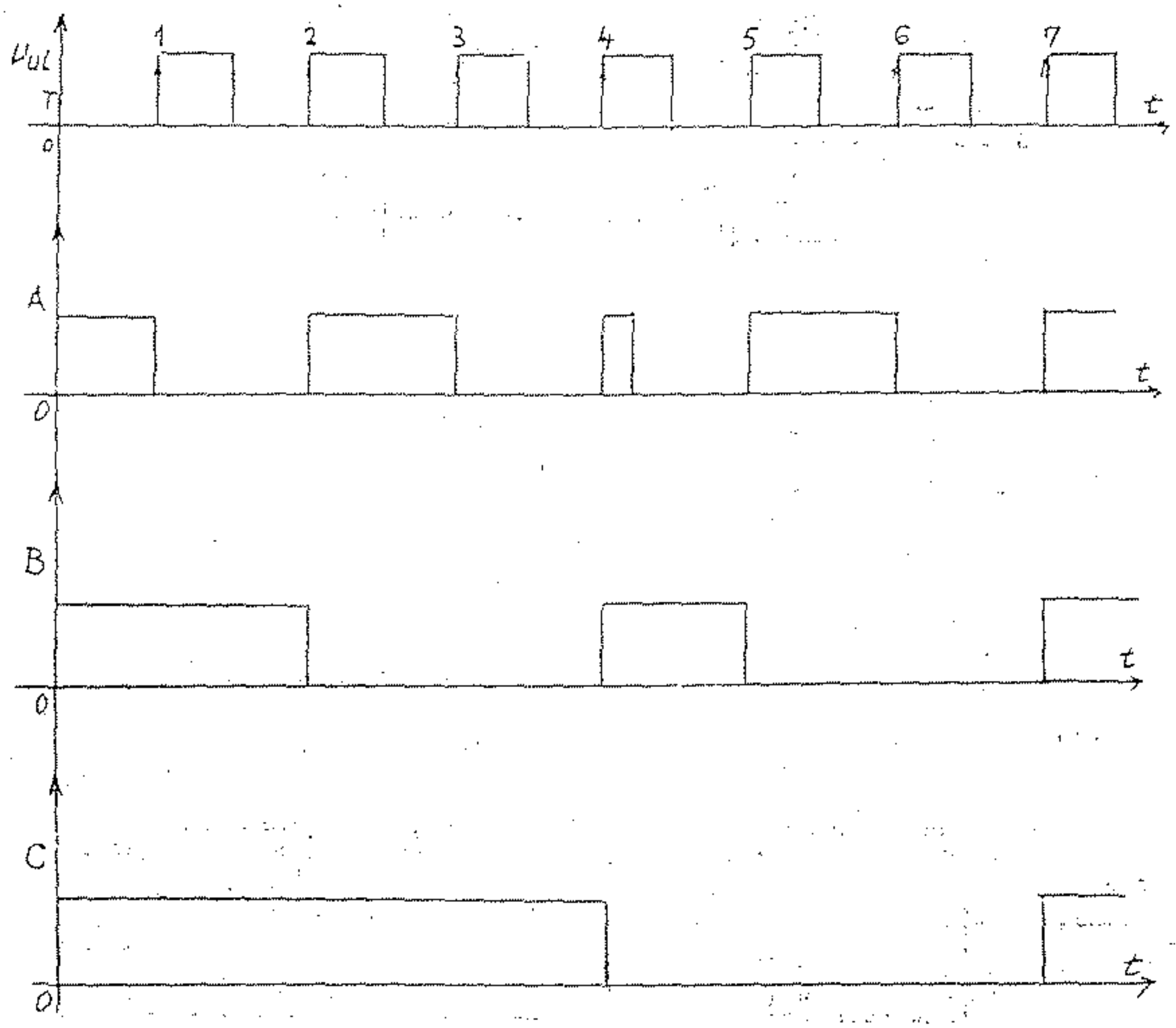
Pivratna sprega se izvodi sa trećeg multivibratora na prvi.

Struktura brojača je prikazana na sl.8.37 .



Sl.8.37

Vremenski dijagram stanja brojača dat je na sl.8.38.



Sl.8.38

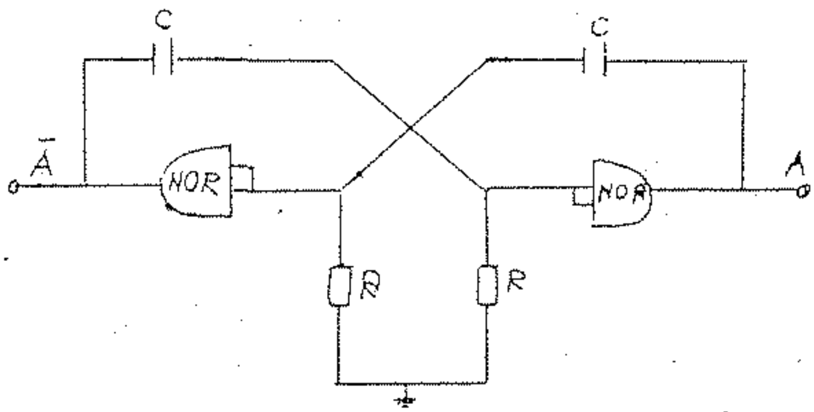
8.18. Koristeći NOR logičke elemente nacrtati strukturu astabilnog multivibratora.

Rješenje:

Na slici 8.39 prikazan simetrični astabilni multivibrator ostvaren NOR elementima.

Frekvencija astabilnog multivibratora odredjena je sa:

$$f \cong \frac{1}{2RC}$$



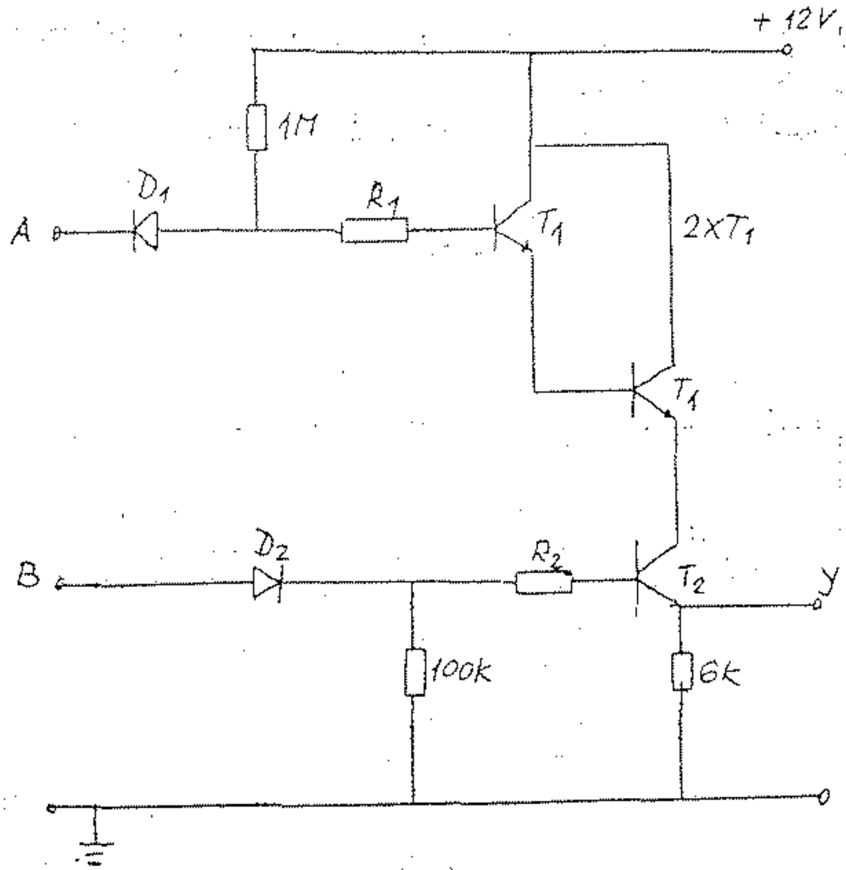
Sl.8.39

8.19. Dat je sklop prema sl.8.40. Naći logičku ovisnost izlaza Y od ulaznih varijabli A i B.

Proračunati otpore R_1 i R_2 ako se zanemaru inverzne struje zasićenja tranzistora i pad napona na diodama.

Koristiti pozitivnu logiku.

Zadano: $\beta_{T1} = 30$; $\beta_{T2} = 100$



Sl.8.40

Rješenje:

Na izlazu ćemo imati pozitivan naponski signal logičku jedinicu samo kada sve tri tranzistora vode. Da bi svi tranzistori vodili neophodno je da diode D_1 i D_2 budu zakočene jer u tom slučaju slojevi baza emiter T_1 i T_2 su propusno polarizirani.

Tabela stanja datog sklopa data je na sl.8.41:

Simbol		volti		volti	simbol
A	B	A	B	Y	Y
0	0	0V	0V	0V	0
0	1	0V	+12V	0V	0
1	0	+12	0V	+12V	1
1	1	+12V	+12V	0V	0

Sl.8.41

Iz tablice vidimo da sklop sa sl.8.40 realizira logičku funkciju $Y = A\bar{B}$.

Da odredimo otpor R_2 promatramo prvo krug tranzistora T_2. Da bi tranzistor T_2 bio u zasićenju potrebno je da vrijedi

$$(100\ K + R_2) \leqslant \beta_2 \cdot 6\ K = 600\ K\Omega$$

Odnosno $R_2 \leqslant 500\ K\Omega$

Usvajamo $R_2 = 400\ K\Omega$

Promatrajući tranzistor T_1 i njegove bazne otpore iz uslova zasićenja možemo napisati slijedeću relaciju:

$$(1\ M + R_1) \leqslant \beta_1^2\ .6.10^3$$

$$R_1 \leqslant 4{,}4\ M\Omega$$

Usvajamo $R_1 = 4\ M\Omega$

S T R U K T U R E

10.1. Blok struktura i karakteristika ulaza i izlaza sklopa date su na sl.10.1.

Nacrtati strukturu koja zadovoljava slijedeću funkcionalnost:

- U početnom stanju na ulazu nema signala a na izlazu postoji signal 2 V

- Dolaskom na ulaz impulsa odredjenog trajanja stanje na izlazu ne mijenja sve dok ne istekne neko vrijeme τ.

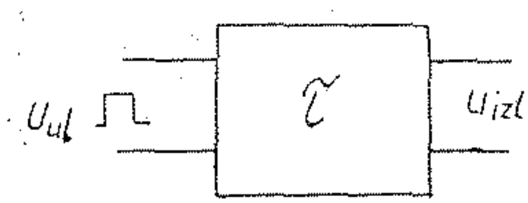
- Nakon vremena τ javlja se izlazni signal U_{iz} = 10 V i traje sve dok traje signal na ulazu.

- nestankom signala na ulazu sklop se vraća u početno stanje.

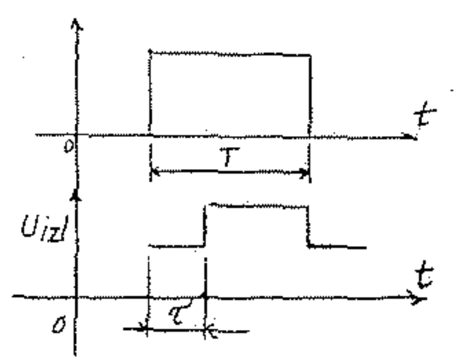
Koji element u sklopu odredjuje kašnjenje signala na izlazu za ulaznim signalom te razmotriti ponašanje sklopa u slučajevima

$$T < \tau \quad ; \quad T = \tau \quad ; \quad T > \tau$$

Nacrtati vremenske dijagrame signala u karakterističnim tačkama strukture.



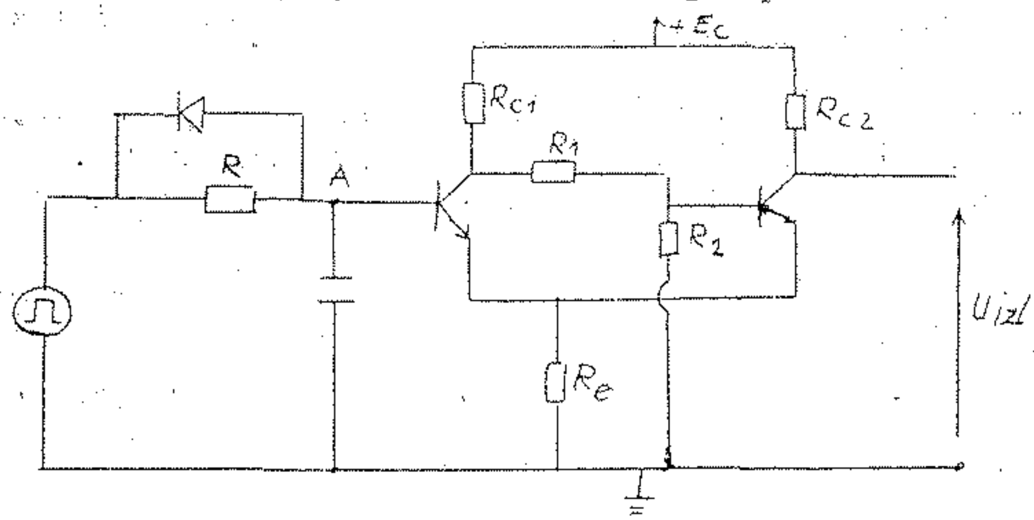
Sl.10.1a



Sl.10.1b

Rješenje:

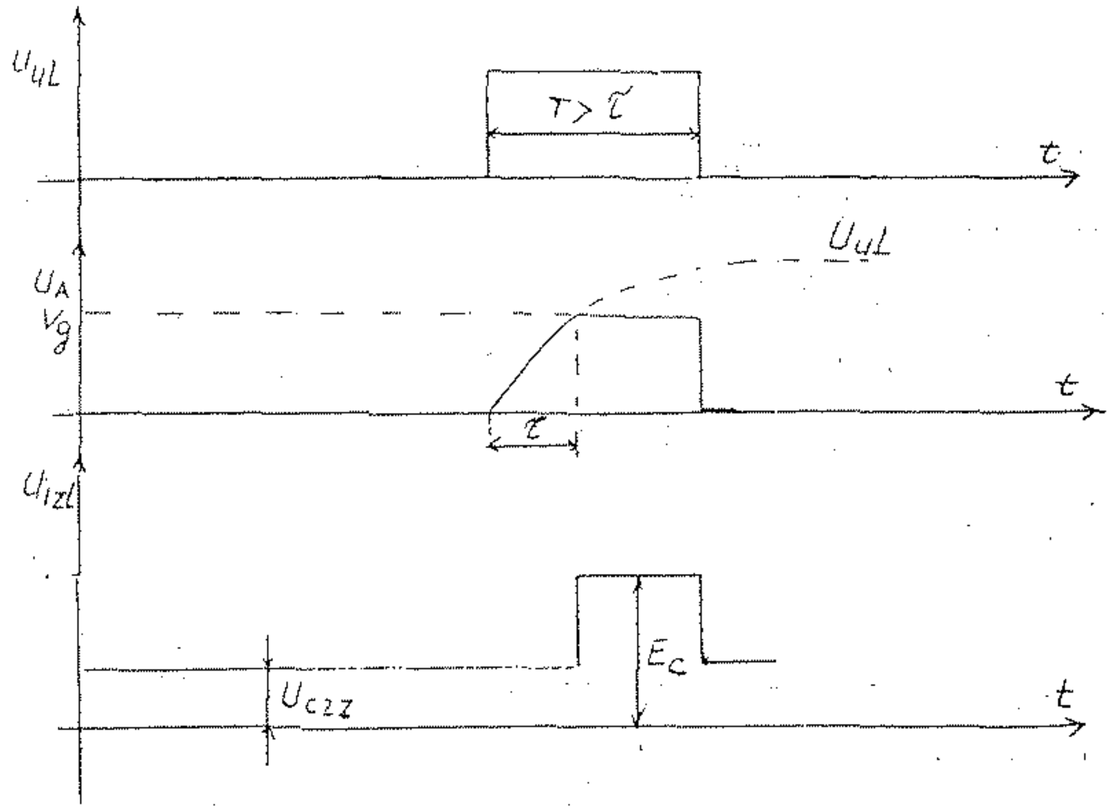
Struktura koja realizira traženi algoritam sastoji se od kola za kašnjenje i Schmitova tregra prema sl.10.2



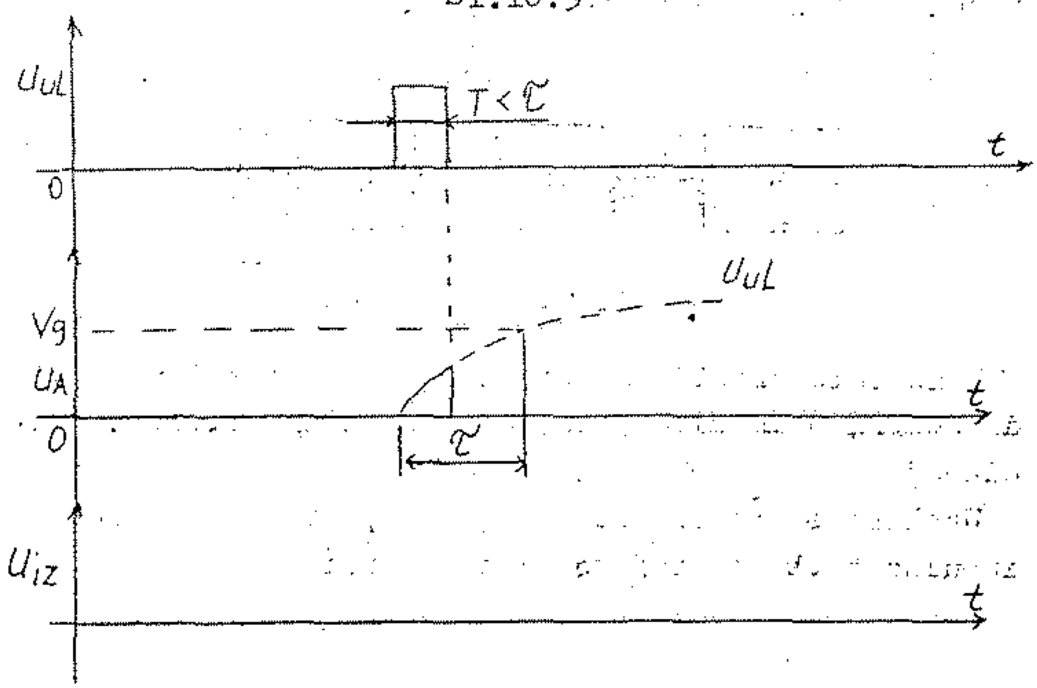
Sl.10.2

a/ Kašnjenje izlaznog signala za ulaznim odredjeno je pragom Šmitova trigera i vremenskom konstantom RC.

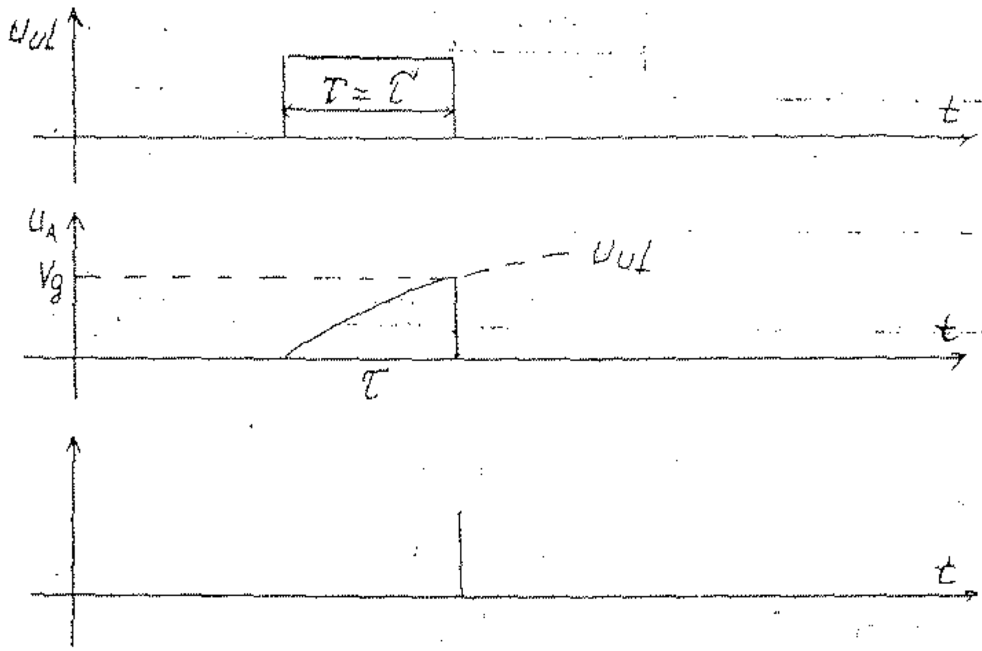
b/



Sl.10.3

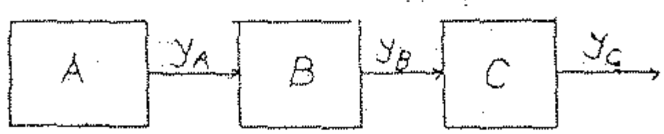


Sl.10.4



Sl.10.5

10.2 Dat je sklop prema sl.10.6



Sl.10.6

U momentu priključivanja napona na podsklop A isti počinje da generira impulse prema dijagramu na sl.10.7. Podsklop B odbrojava impulse do 8.

Ukoliko se na izlazu datog sklopa iz svake grupe od po osam impulsa treba da pojave samo neparni impulsi:

a/ naći tačnu strukturu zadatog sklopa

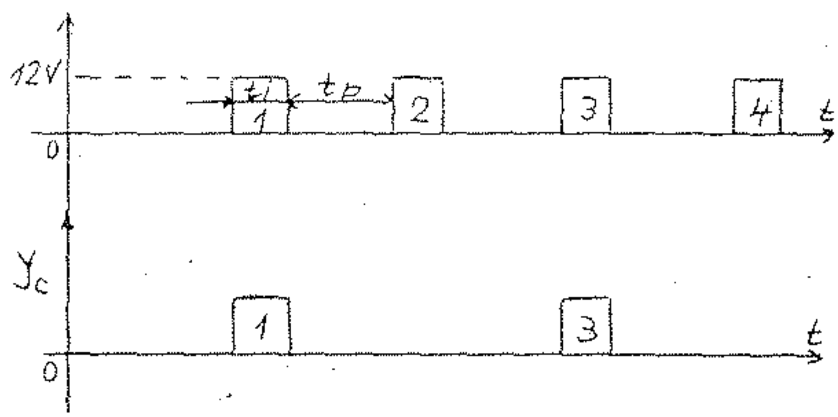
b/ proračunati elemente podsklopova kada je dato:

Tranzistor BC 219S ; U_{Cmax} = 32 V, $I_{Cmaxdop}$ = 100 mA

β = 100-150; I_{C025^oC} = 10.10^{-9}A, f_{α} = 5 MHz

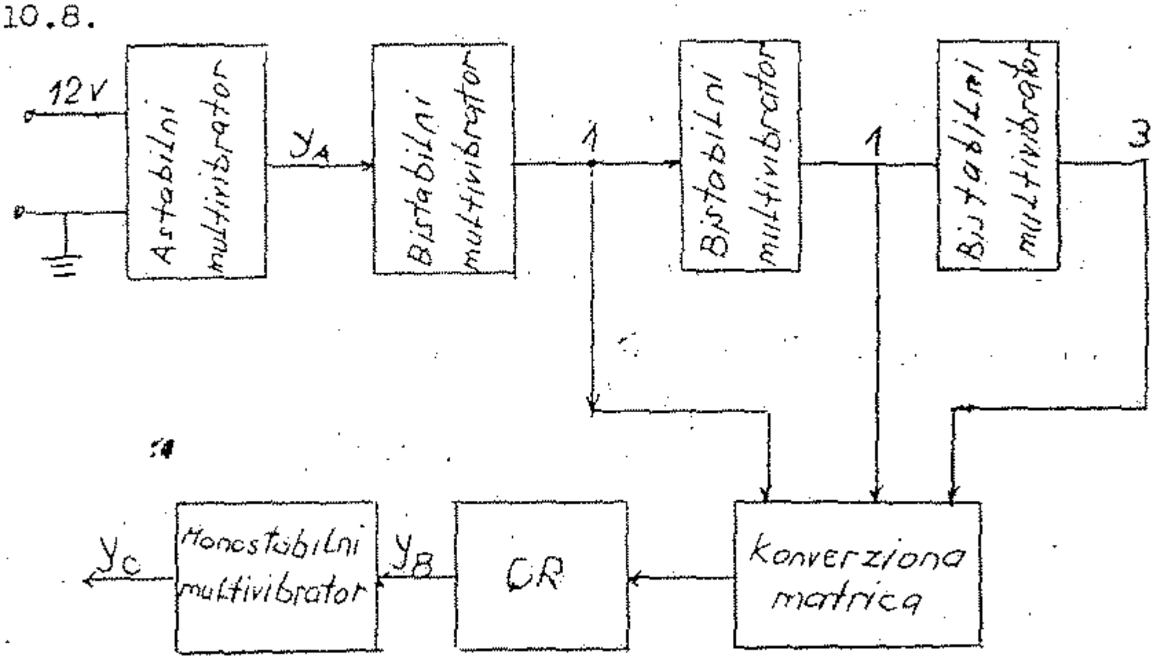
dioda BA 103 sa podacima:

- U_{dmax} = 10 V, I_{dmax} = 10 mA. Opseg ambijentnih temperatura: - 25°C do + 65°C



Sl.10.7

a/ Struktura je realizirana od elemenata prema sl. 10.8.

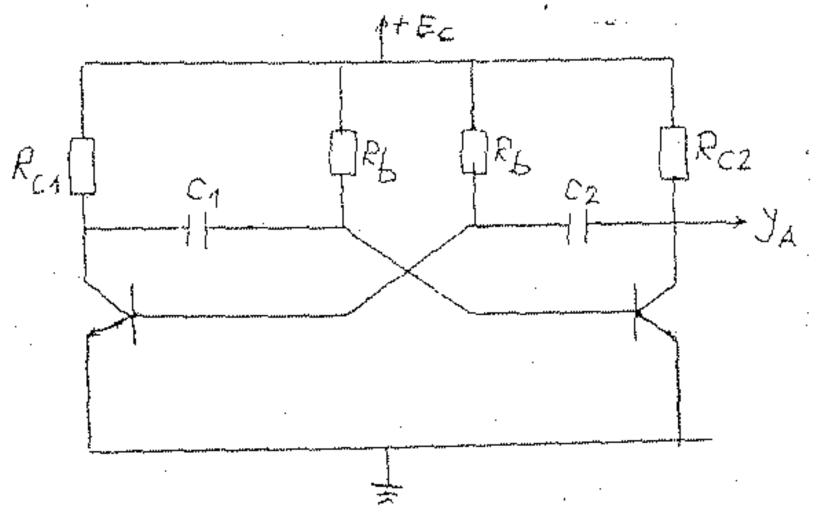


Sl.10.8

Pri dovodjenju napona od + 12 V na sklop A astabilni multivibrator uredjaj dobiva napajanje. Astabilni multivibrator formira impulse željene frekvencije. Tri bistabilna multivibratora zajedno sa dekodirajućom matricom izdvajaju od osam impulsa samo neparne OR podsklop omogućava aktiviranje monostabilnog multivibratora sa bilo kojim neparnim impulsom iz niza brojeva do osam.

Monostabilni multivibrator daje izlazne impulse traženog trajanja.

b/ A. Astabilni multivibrator:



Sl.10.9.

$E_C = 12$ V

Potrebno je zadovoljiti uvjet:

$$I_{Cmaxdop} > I_{Cz} \geq 20\, I_{COmax}$$

$$I_{COmax} = 2^{\frac{65-25}{10}} . I_{CO} = 16.10.10^{-9} = 160 \text{ nA}$$

$$20\, I_{CO} = 3,2\ \mu A$$

Usvajamo $I_{C1z} = 10 \text{ mA} = I_{C2z}$

$$R_{C1} = \frac{E_C}{I_{C1z}} = \frac{12}{10.10^{-3}} = 1{,}2 \text{ K}\Omega$$

$$R_{C1} = R_{C2} = 1{,}2 \text{ K}\Omega$$

Pri računanju R_b mora biti zadovoljen uvjet zasićenja tranzistora koji vodi.

Dakle

$$\beta_{min}\, I_b \geqslant I_{Cz}$$

$$R_b \leqq \beta_{min} \cdot R_C$$

$$R_b \leqslant 100.1{,}2 \text{ K}$$

Usvajamo $R_b = 100$ K

Koristeći izraz za

$$U_{be2} = U_{be2}(\infty) - \left[U_{be2}(\infty) - U_{be2}(0)\right] . \mathcal{E}^{-t/\tau_1}$$

$$U_{be2}(\infty) = E_C + I_{CO} R_b, \quad U_{be2}(0) = -E_C$$

$$U_{be2}(t) = E_C + I_{CO}R_b - \left[E_C + I_{CO}R_b + E_C\right] . \mathcal{E}^{-t/\tau_1}$$

$$U_{be2}(t) = E_C\left(1 - 2.1^{-t/\tau_1}\right) + I_{CO}R_b\left(1 - \mathcal{E}^{-t/\tau_1}\right)$$

Za $t = ti$ $U_{b2}(ti) = 0$ te je

$$E_C + I_{CO}R_b = 2E_C . 1^{-t/\tau_1} + I_{CO} . \mathcal{E}^{-t/\tau_1}$$

$$ti = \tau_1 \ln \frac{2\, E_C + I_{CO}\, R_b}{E_C + I_{CO}\, R_b}$$

$$ti = R_B . C_2 . \ln \frac{24 + 160 . 10^{-9} . 100 . 10^3}{12 + 160 . 10^{-9} . 100 . 10^3}$$

$ti \approx R_B . C_2 \ln 2$ odakle

$$C_2 = \frac{ti}{R_b \ln 2} = \frac{0,1 . 10^{-3}}{100 . 10^3 . 0,694}$$

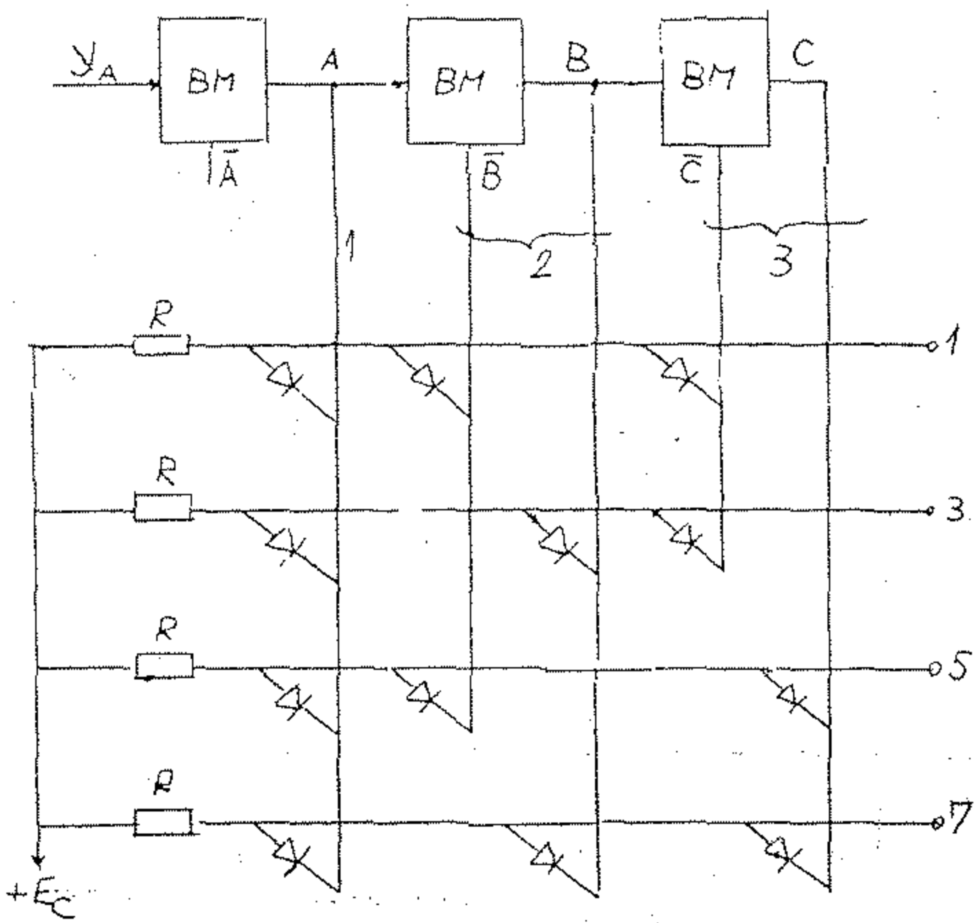
$$C_2 = 1,45 \text{ nF}$$

Vrijednost kondenzatora C_1 odredićemo iz analognog izraza

$$C_1 \approx \frac{t_p}{R_b \ln 2} = \frac{10 . 10^{-3}}{100 . 10^3 . 0,694}$$

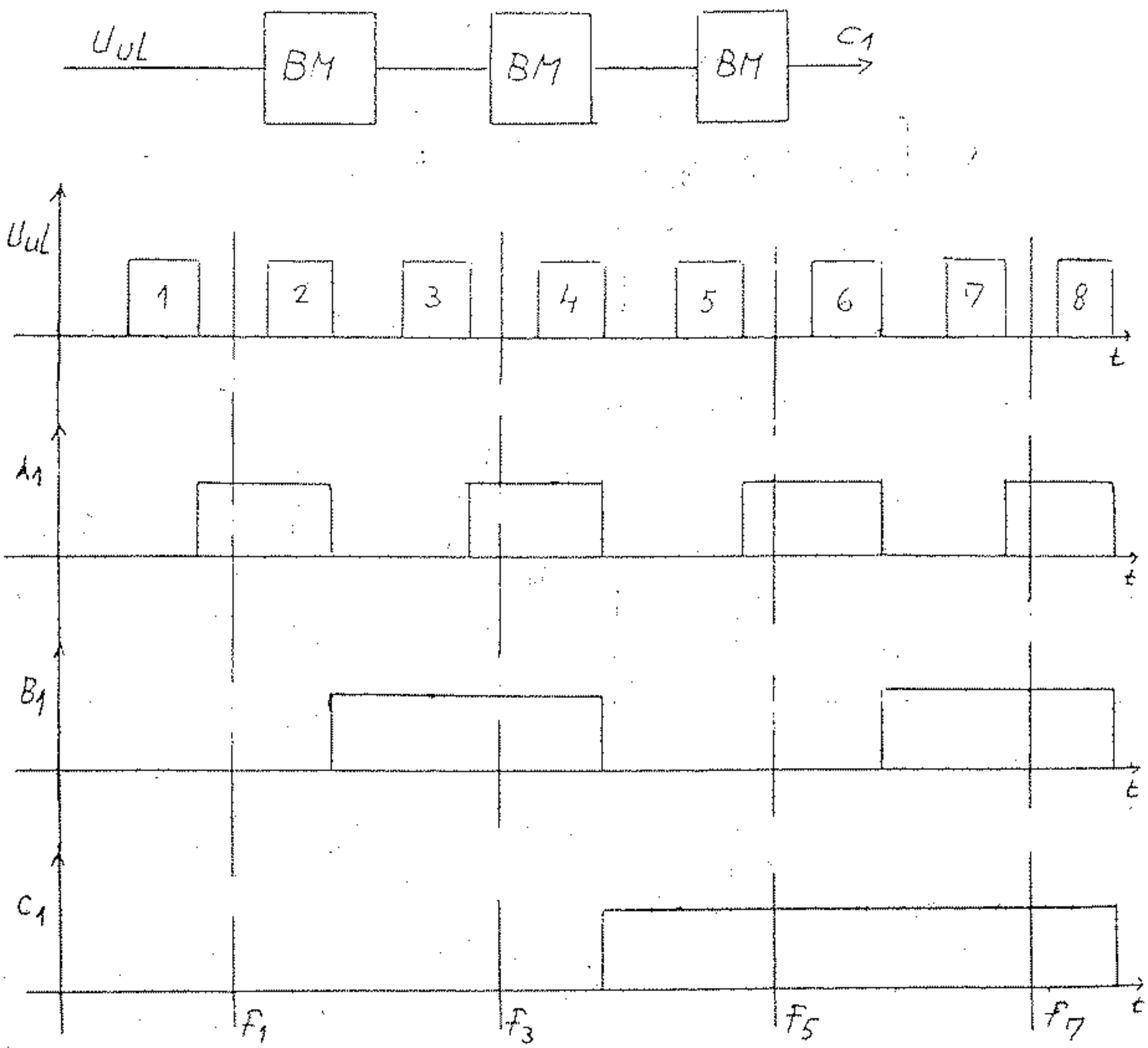
$$C_1 = 145 \text{ nF}$$

b/ Podsklop B sastoji se od tri bistabilna multivibratora i dekadirajuće matrice prema sl.10.11.



Sl.10.11

Prema slici 10.12 iz dijagrama stanja brojača odredjujemo dekodirajuću matricu prema sl.10.11.



Sl.10.12

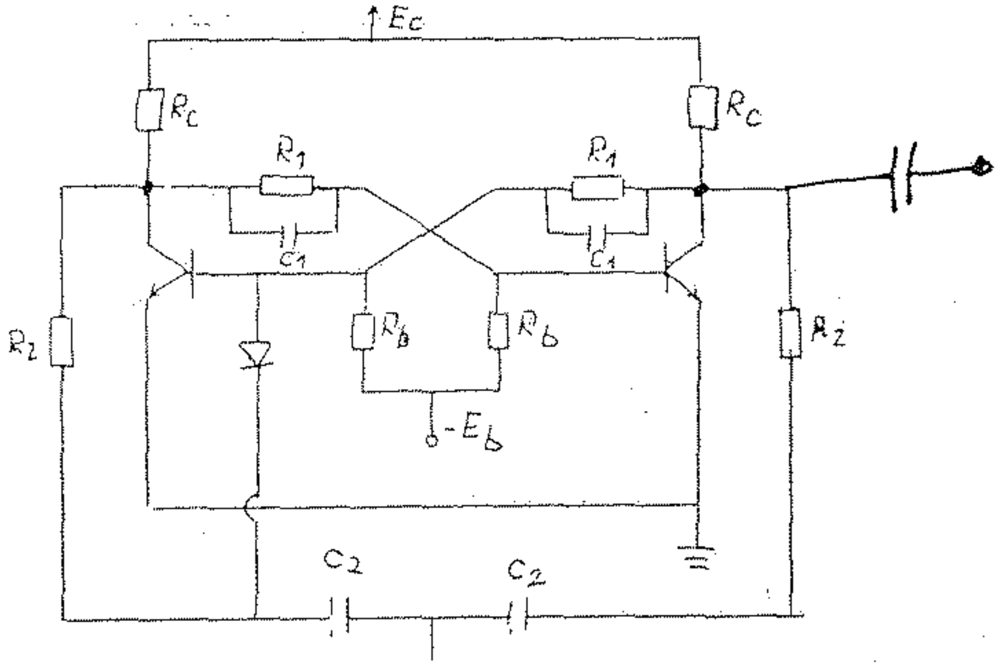
$f_1 = A_1\bar{B}_1\bar{C}_1$

$f_3 = A_1B_1\bar{C}_1$

$f_5 = A_1\bar{B}_1C_1$

$f_7 = A_1B_1C_1$

Proračun bistabilnog multivibratora:



Sl.10.13

$E_C = 12$ V

$E_b = 1,5$ V } usvajamo $\qquad R_C = \dfrac{12}{10.10^{-3}} = 1,2\ K\Omega$

$I_{Cz} = 10$ mA }

Od sklopa se zahtjeva da radi na + 60°C te je

$$R_b \leqslant \frac{E_b}{I_{COmax}} = \frac{15}{160.10^{-9}}$$

Usvajamo $R_b = 100\ K\Omega$

Da bi R_1 zadovoljio uvjet zasićenja tranzistora mora vrijediti:

$$R_1 \leqslant R_C \left(\frac{\beta_{min}}{1+\beta_{min}\dfrac{E_b}{R_b}\cdot\dfrac{R_c}{E_C}} - 1 \right)$$

$$R_1 \leqslant 1,2 \cdot 10^3 \left(\frac{100}{1+100 \dfrac{1,5}{100.10^3} \cdot \dfrac{1,2.10^3}{1,2}} -1 \right)$$

$$R_1 \leqslant 46,8\ K$$

Usvajamo $R_1 = 20\ K\Omega$

Da ne bi uticao na korektan rad bistabilnog multivibratora potrebno je da bude:

$$R_2 \gg R_C$$

Usvajamo $R_2 = 100\ K\Omega$

$$f\,nl = 99\ Hz$$

Da bi se dobilo malo vrijeme uspostavljanja signala potrebno odabrati malo

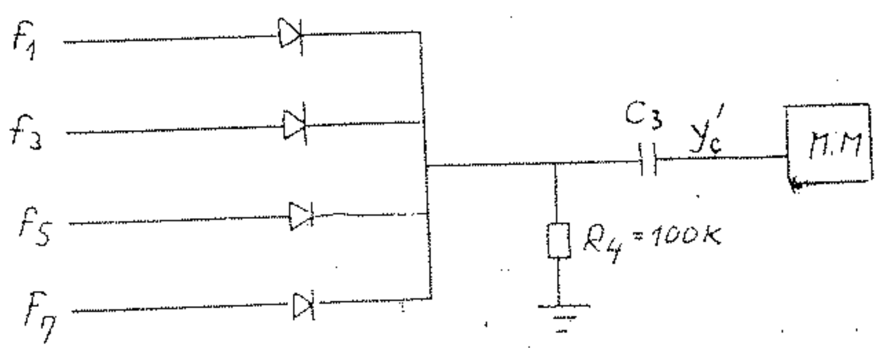
$$\tau_C = R_C . C_1$$

$$\tau_{Copt} \approx 1,5\ \tau_\alpha \approx \frac{0,3}{f_\alpha}$$

$$C_1 = \frac{0,3}{R_C \cdot f_\alpha} = \frac{0,3}{1,2.10^3.5.10^6}$$

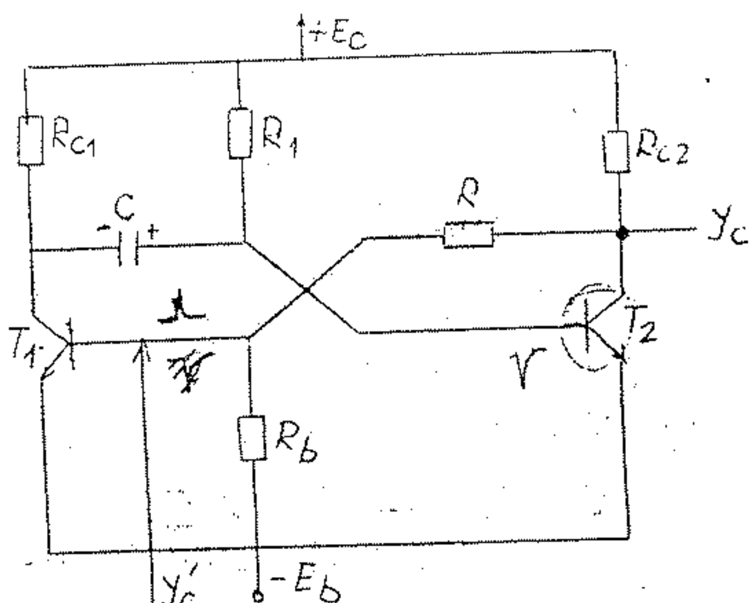
$$C_1 \approx 50\ pF$$

Podsklop C sastoji se od ILI kola i monostabilnog multivibratora prema sl.10.14



Sl.10.14

Proračun monostabilnog multivibratora:



Sl.10.15

$E_C = 12$ V

$E_b = 1{,}5$ V

Uvjet da tranzistor T_1 bude zakočen

$$R_B < \frac{E_b}{I_{COmax}} = \frac{1{,}5}{160.10^{-9}} = 9{,}35\ M\Omega$$

Usvajamo $R_b = 100\ K\Omega$

Uz struju zasićenja $I_{Cz} = 10$ mA

$$R_{C2} = \frac{E_C}{I_{Cz}} = 1{,}2\ K\Omega$$

R_1 odredimo iz uvjeta zasićenja tranzistora T_2

$$I_b \geqslant \frac{I_{Cz}}{\beta} \quad \text{te je}$$

$$R_1 \leq \beta R_{C2}$$

$$R_1 \leq 100.1{,}2.10^3$$

Usvajamo: $R_1 = 50\ K\Omega$

Trajanje izlaznog signala dato je sa :

$$ti = \tau \ln \frac{2E_C + I_{COmax}.R_1}{E_C + I_{COmax}.R_1}$$

$$ti = \tau \ln \frac{24+160.10^{-9}.50.10^3}{12 + 160.10^{-9}.50.10^3}$$

$$ti = \tau \ln \frac{24 + 8.10^{-3}}{12 + 8.10^{-3}}$$

zanemarivo u odnosu na 24 odnosno 12

$ti \approx R_1 C \ln 2$, odakle je

$$C \approx \frac{0{,}1.10^{-3}}{50.10^3 \ln 2} = 30\ nF$$

Mora biti:

$$t_p \geq (3\text{-}5)\ R_{C1}.C$$

Pošto je tp= 20,1 msek

$$R_{C1} \leq \frac{tp}{50} = \frac{20,1.10^{-3}}{5.30.10^{-9}}$$

$$R_{C1} \leq 134\ K\Omega$$

Usvajamo $R_{C1} = 50\ K\Omega$

Otpor R računamo iz relacije:

$$R \leq \left(\frac{\beta_{min}}{1+\beta_{min}\frac{E_b}{E_C}\cdot\frac{R_{C2}}{R_b}} -1 \right) R_{C2}$$

$$R \leq \left(\frac{100}{1+100\,\frac{1,5}{12}\cdot\frac{1,2.10^3}{100.10^3}} -1 \right) .1,2\ K$$

$$R \leq 103\ K\Omega$$

Usvajamo $R = 50\ K\Omega$

10.3. Na ulaz četveropola prema sl.10.16 dovodi se signal Sl.10.17a. Oblik izlaznog signala je dat na Sl.10.17b. Nacrtati i proračunati strukturu četveropola uz napomenu da prednja, pozitivna, ivica impulsa u slici 10.17a koincidira sa prednjom, pozitivnom, ivicom u slici 10.17 b.

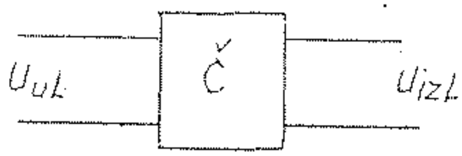
Ako je potrebno koristiti tranzistore BC 219S sa podacima:

$U_{Cemaxdop} = 32$ V

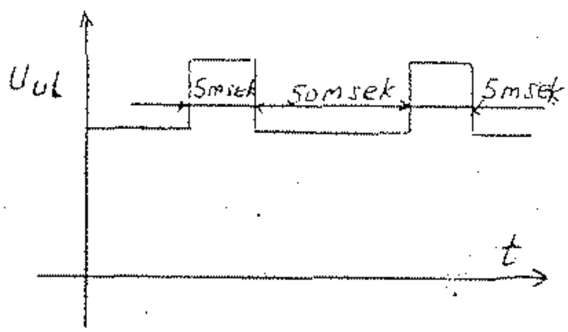
$\beta_{min} = 60$

$f_{gr} = 10$ MHz, $I_{CO}=5$ μA na temper. 25^{o}C

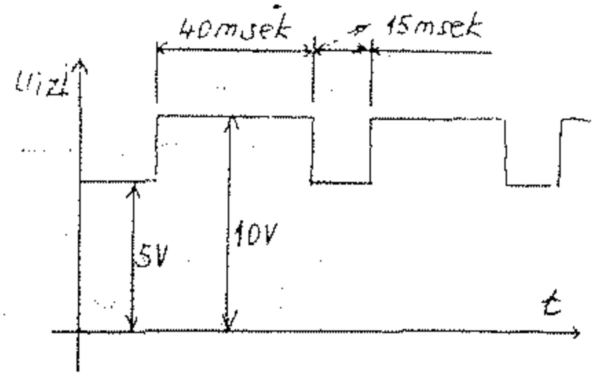
$I_{Cmaxdop} = 100$ mA



Sl.10.16



Sl.10.17a



Sl.10.17 b

Rješenje:

Četveropol na slici 10.16 je monostabilni multivibrator sa emiterskom spregom prema sl.10.18.

Odabiremo $E_C = (1,1-1,4)\ Ui_z = 12$ V, što zadovoljava $2\ E_C \leqslant U_{Cdop}$.

Otpor u kolektoru tranzistora T_2 odredimo iz relacije:

$$R_{C2} = \frac{E_C - U_{2z}}{I_{C2z}}$$

Za ovaj slučaj $U_{2z} = 5$ V te je uz $I_{C2z} = 20$ mA

$$R_{C2} = \frac{12-5}{20.10^{-3}} = 0,35\ K\Omega$$

$$a\quad R_e \cong \frac{U_{2z}}{I_{Czas}} = \frac{5}{20.10^{-3}} = 250\,\Omega$$

Obično se odabire $R_{C1} = (2-3)\ R_{C2}$

Usvajamo $R_{C1} = 2,5\ R_{C2} = 0,875\ K\Omega$

Otpor R_b računamo iz uvjeta zasićenja tranzistora T_2:

$$I_{b2} \geqslant \frac{I_{C2z}}{\beta_{min}} \quad \text{dakle} \quad R_b \leqslant \beta_{min} \cdot R_{C2}$$

$$R_b \leqslant 60.0,35.10^3 = 21.10^3$$

Usvajamo

$$R_b = 20\ K\Omega$$

Djelitelj R_1-R_2 odrediti ćemo iz uvjeta da je T_1 zakočen kada T_2 vodi:

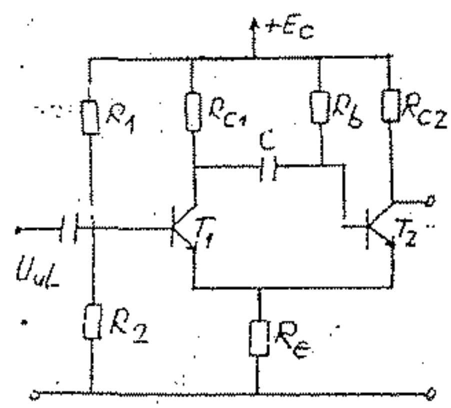
$$E_o \leqq U_{2z} \quad \text{Biramo:}$$

$$E_o = 4\ V$$

$$E_o = E_C \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Napon U_{1z} mora biti manji od E_o.

Bazna struja $I_{b1z} = \dfrac{I_{C1z}}{\beta_{min}}$



Sl. 10 18

$$I_{C1z} = \frac{E_C}{R_{C1} + R_e} = 10,5 \text{ mA}$$

$$I_{b1z} = 0,17 \text{ mA}$$

Struju kroz djelitelj $R_1 - R_2$ biramo tako da bude znatno veća od bazne struje tranzistora T_1 u vodjenju

$$I_{R_2} \gg I_{b1}$$

Uz $I_{R2} = 100\ I_{b1} = 17$ mA

Odnosno $I_{R1} \approx I_{R2}$

$E_C = (R_1 + R_2) \cdot I_{R1}$ odnosno

$$R_1 + R_2 = \frac{E_C}{I_{R1}} = \frac{12}{17} \cdot 10^3 \Omega$$

$$R_1 + R_2 = 0,705 \text{ K}\Omega$$

Usvajamo $R_1 + R_2 = 0,9 \text{ K}\Omega$

Pošto je $R_1 + R_2 = R_2 \cdot \frac{E_C}{E_o}$

$$R_2 = \frac{E_o}{E_C} (R_1 + R_2)$$

$$R_2 = \frac{4}{12} (0,9)$$

$$R_2 = 300 \Omega$$

$$R_1 = 600 \Omega$$

Vrijednost kondenzatora C odredićemo iz vremena trajanja kvazistabilnog stanja:

$$ti = \tau \ln \frac{2E_C - (U_{1z} + U_{2z}) + I_{CO} R_b}{E_C - U_{1z} + I_{CO} R_b}$$

$$U_{1z} \approx I_{C1z} \cdot R_E = 10{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}25 \cdot 10^3$$

$$U_{1z} \approx 2{,}6 < E_o$$

$$ti = 20 \cdot 10^3 \cdot C \ln \frac{24 - (2{,}6 + 5) + 5 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 10^3}{12 - 2{,}6 + 5 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 10^3}$$

Odakle $C = 3{,}5\ \mu F$

Kvazistacionarno stanje traje dok napon u bazi tranzistora T_2 ne postane približno OV. Tranzistor T_2 počinje da vodi dolazi do promjene stanja, a kondenzator C se sada nabija sa vremenskom konstantom:

$$t_u = (3 - 5)(R_{C1} + R_C) \cdot C$$

Po isteku tog vremena stacionarno stanje je uspostavljeno. Sobzirom na to mora biti zadovoljena relacija:

$$t_u \leq T - ti$$

$$t_u = 11{,}8 \text{ msek}, \; T = 55 \text{ msek}, \; ti = 40 \text{ msek}$$

$$t_u \leq 55 - 40 = 15 \text{ msek}$$

$$11{,}8 < 15$$

Dakle sklop će korektno raditi.

10.4. Četveropol na slici 10.19 kod temperature od + 60°C na opteretnom otporu od 250Ω daje signal prema slici 10.20.

a/ Identificirati, nacrtati i proračunati strukturu četveropola za temperaturu ambijenta + 60°C.

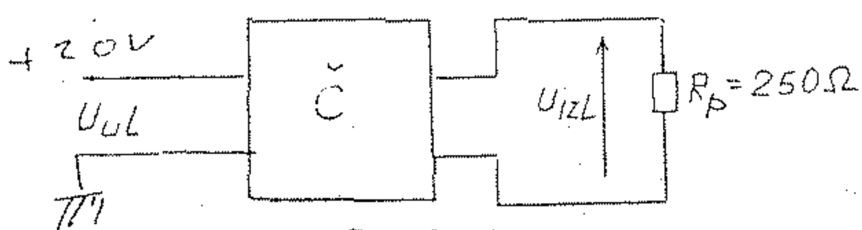
b/ Kakve će se promjene očitavati na izlaznom signalu pri radu sklopa na temperaturi od + 20°C uz otpor opterećenja R = 100 K ?

Ako je potrebno, kod proračuna koristiti tranzistor BSJ 63 sa karakteristikama:

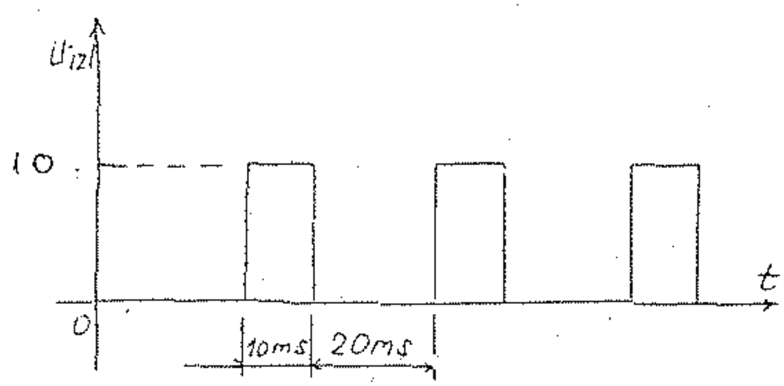
$U_{Cemaxdop} = 24$ V, $\beta = 30-80$

$I_{Cmaxdop} = 100$ mA, $f_{\alpha gr} = 100$ KHz

$I_{CO/20°C} = 5\ \mu A$



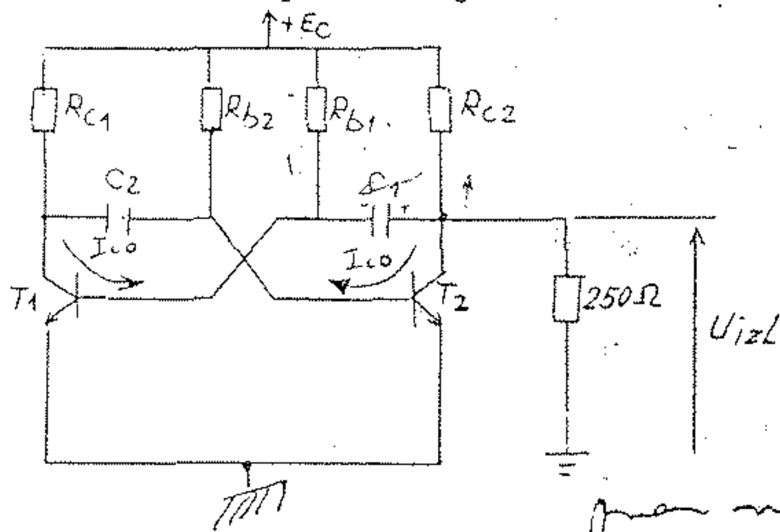
Sl.10.19



Sl.10.20

Rješenje:

a/ Četveropol koji realizira traženu funkcionalnost je astabilni multivibrator predstavljen slikom 10.21.



Sl.10.21

Usvajamo $E_C = 20\ V$

Da bi na opteretnom otporu $R_p = 250$ pali napon od 10 V, R_{C2} mora biti jednak R_p.

Dakle $R_{C2} = 250\,\Omega$

$$I_{C2} = \frac{E_C}{R_{C2}} = \frac{20}{0,25} \cdot 10^{-3}\ A$$

$I_{C2z} = 80\ mA$

Iz uvjeta zasićenja

$$R_{b2} \leq \beta_{min} \cdot R_{C2} = 30.0,25 \cdot 10^3$$

$$R_{b2} \leq 7,5\ K\Omega$$

Usvajamo $R_{b2} = 5\ K\Omega$

Za tranzistor T_1 usvajamo struju zasićenja $I_{C1zas} = 10$ mA te je:

$$R_{C1} = \frac{E_C}{I_{C1z}} = \frac{20}{10.10^{-3}} = 2\ K\Omega$$

Iz uslova zasićenja tranzistora T_1 odredimo vrijednost otpora R_{b1}:

$$R_{b1} \leq \beta_{min}\ R_{C1}$$

$$R_{b1} \leq 120\ K\Omega$$

Usvajamo $R_{b1} = 50\ K\Omega$

Vrijednost kondenzatora C_1 odredićemo iz trajanja vodjenja tranzistora T_2.

U trenutku provodjenja tranzistora T_2 tranzistor T_1 se koči pošto u bazu dobiva napon $- \frac{E_C}{2}$.

Otuda je trajanje jednog nestabilnog stanja multivibratora pri kome je zakočen tranzistor T_1 odredjeno polazeći od:

$$U_{be1}(0) = -\frac{E_C}{2}$$

$$U_{be1}(\infty) = E_C + I_{CO}\ R_{b1}$$

$$U_{be1}(t) = U_{be2}(\infty) - \left[U_{be2}(\infty) - U_{be1}(0)\right] . \mathcal{E}^{-t/\tau}$$

$$U_{be1}(t) = E_C + I_{CO}R_{b1} - \left[E_C + I_{CO}R_{b1} + \frac{E_C}{2}\right] . \mathcal{E}^{-t/\tau}$$

gdje je $\tau = R_{b1} \cdot C_1$

U trenutku kada tranzistor T_1 ponovno počinje da vodi $U_{be1}(t) \approx 0$, odakle slijedi vrijednost kondenzatora C_1:

$$C_1 = \frac{tp}{R_{b1} . \ln \dfrac{2 E_C + I_{COmax} \cdot R_{b1}}{E_C + I_{CO} R_{b1}}}$$

$$I_{COmax} = I_{CO20^\circ} \cdot 2^{\frac{60-20}{10}} = 80 \, \mu A$$

$$C_1 = \frac{20 . 10^{-3}}{50 . 10^3 . \ln \dfrac{30 + 80 . 50 . 10^3 . 10^{-6}}{20 + 80 . 50 . 10^3 . 10^{-6}}}$$

$$C_1 = 1{,}15 \, \mu F$$

Vrijednost kondenzatora C_2 odredimo iz trajanja impulsa ti = 10 msek:

$$U_{be2}(0) = - E_C$$

$$U_{be2}(\infty) = E_C + I_{CO} R_{b2}$$

$$U_{be2} \; t = E_C + I_{CO} R_{b2} - \left[E_C + I_{CO} R_{n2} + E_C \right] \cdot e^{-t/\tau}$$

gdje je $\tau = R_{b2} \cdot C_2$, pa je

$$C_2 = \frac{ti}{R_{b2} \ln \dfrac{2E_C + I_{COmax} R_{b2}}{E_C + I_{COmax} \cdot R_{b2}}}$$

$C_2 = 2,95\ \mu F$

b/ Uz otpor opterećenja Rp = 100 K kod astabilnog multivibratora mijenja se amplituda i frekvencija izlaznih signala. Pošto je $R_p = 100\ K \gg R_{C2}$, amplituda izlaznog signala iznosi:

$$U_{izl} = \frac{E_C}{R_{C2} + R_p} . R_p = \frac{20}{100,25} .100 \approx 20\ V$$

$$tp = C_1\ R_{b1}\ .\ \ln \frac{2E_C + I_{CO}R_{b1}}{E_C + I_{CO}R_{b1}}$$

$$tp = 10^{-6}.50.10^3.\ln \frac{40 + 5.10^{-6}.50.10^3}{20 + 5.10^{-6}.50.10^3}$$

$$tp = 40\ \text{msek}$$

$$ti = C_2R_{b2}\ \ln 1,98$$

$$ti = 2,95.10^{-6}.5.10^3.0,69$$

$$ti \approx 10\ \text{msek}$$

$$T = ti + tp = 50\ \text{msek}$$

Vidimo da se period impulsa znatno promijenio.

10.5. Svaki sedmi ulazni impuls četvrt na izlazu strukture, prikazane na sl. 10.22 uzrokuje pojavu jednog pozitivnog impulsa amplitude 10 V i trajanja 100 msek. Amplituda ulaznih impulsa je 10 V, trajanje 100 μ sek, a pauza izmedju 2 usastopna impulsa 20 msek.

a/ Nacrtati strukturu koja realizira zadanu funkcionalnost.

b/ Nacrtati vremenski dijagram signala unutar strukture.

C/ Proračunati osnovne sklopove koji se javljaju u strukturi.

Struktura treba pouzdano da radi u temperaturnom opsegu od - 30°C do + 60°C.

Koristiti tranzistor BC 219 S uz date parametre:

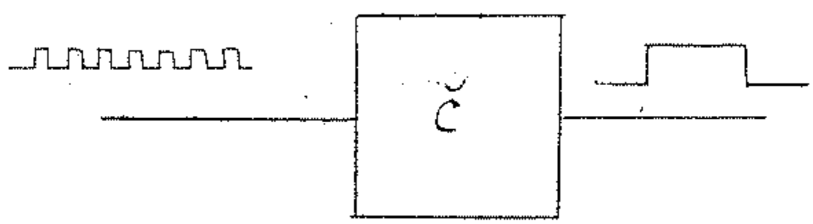
$I_{Cmax} = 100$ mA , $\quad I_{CO} = 10$ mA na 25°C

$\beta_{min} = 100$, $\quad U_{bez} = (0,3$ do $0,6)$ V

$U_{Cez} = (0,1$ do $0,5)$ V

$U_{be0} = (0,2$ do $0,5)$ V

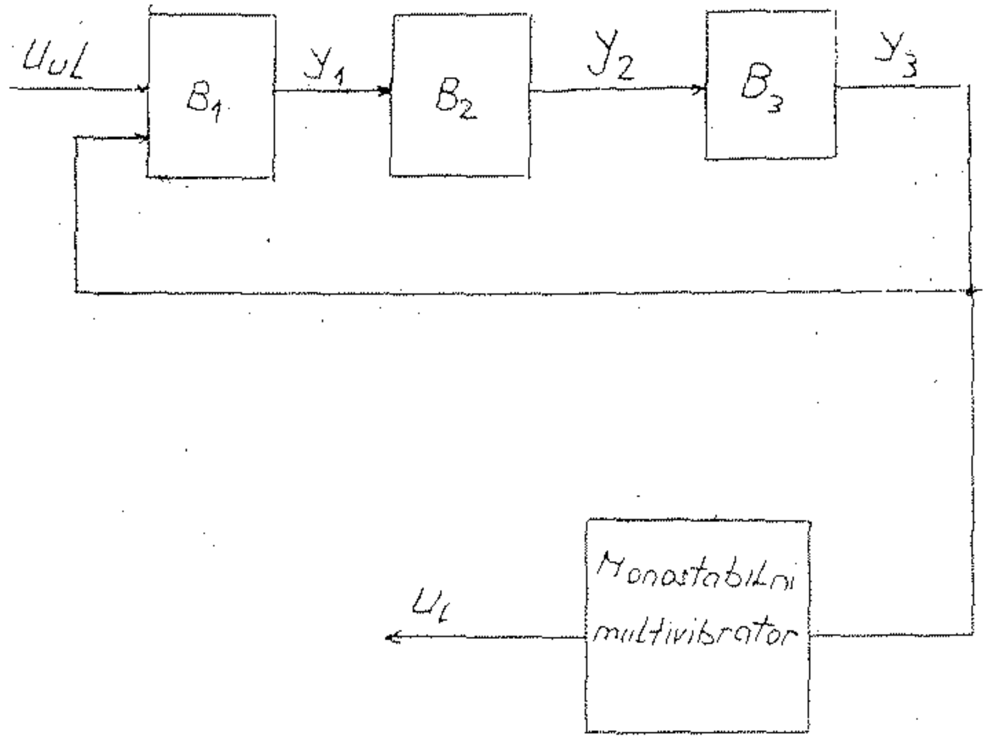
$f_{\alpha} = 5$ MHz



Sl.10.22

Rješenje:

Traženu funkcionalnost realizira struktura prema sl.10.23.



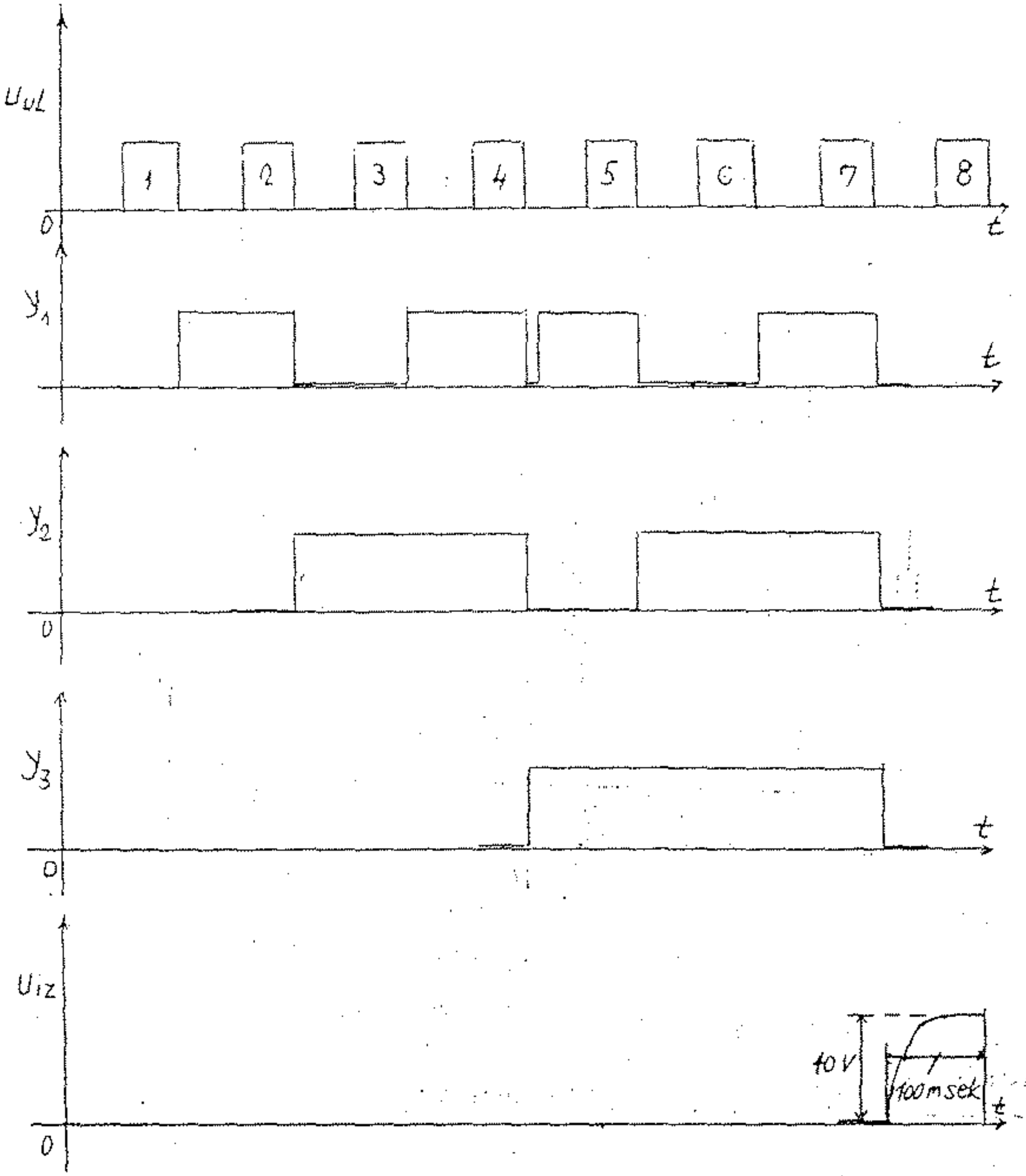
Sl.10.23

Brojač do sedam realiziraćemo sa tri binara:

$A = 7$, $B = 2^3 = 8$

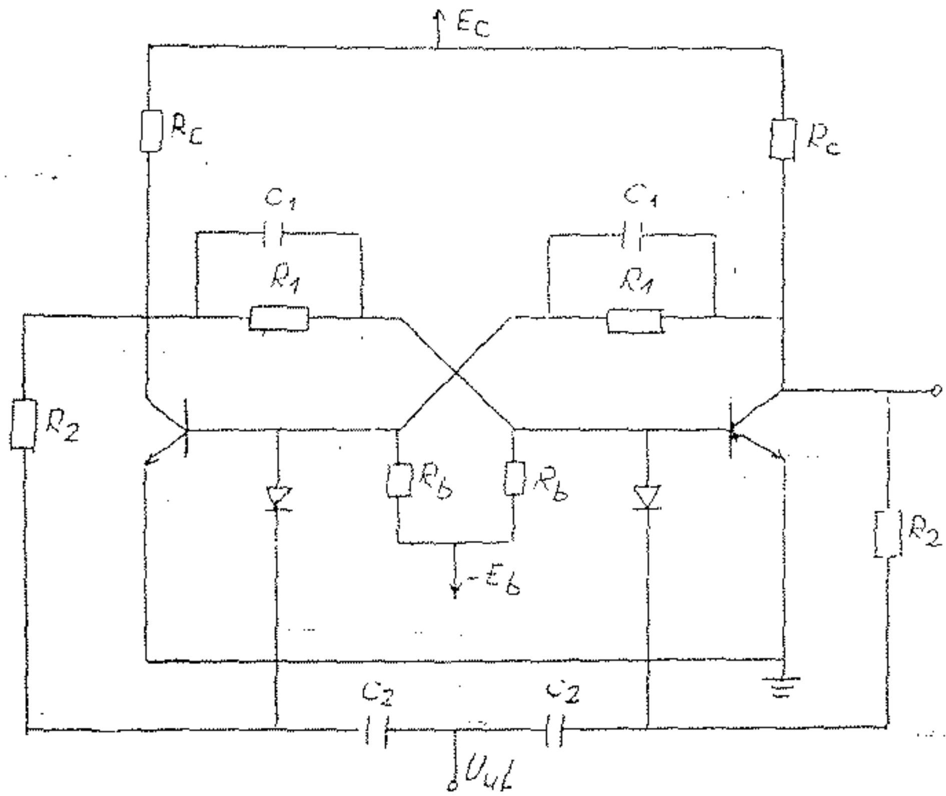
$B - A = 1 = 1.2^0+0.2^1+0.2^2$, povratnu spregu izvodimo sa trećeg na prvi binar prema slici 10.23.

b/ Vremenski dijagram signala unutar strukture Sl.10.24.



Sl.10.24

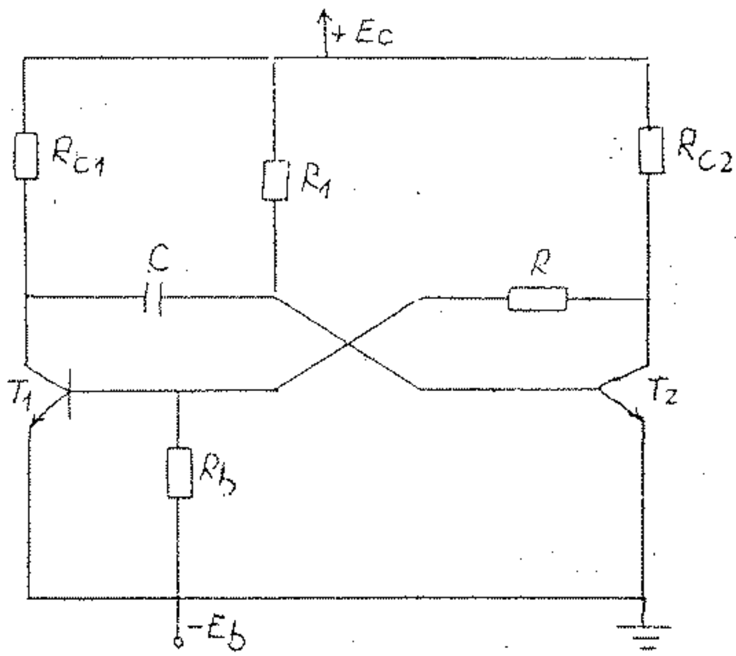
C/ Bistabilni multivibrator:



Sl.10.25

Proračun za Bistabilni multivibrator kao u zadatku 10.2.

Monostabilni multivibrator:



Sl.10.26

$E_C = (1,1 - 1,4)\ U_i = 12\ V$

Usvajano

$$I_{C2zas} = \frac{R_C}{R_{C2}} = 6\ mA$$

$$R_{C2} = \frac{1,2}{6}\ 10^3 = 2\ K\Omega$$

Uvjet da tranzistor T_1 bude zakočen:

$$R_b \leqslant \frac{E_b}{I_{COmax}} \qquad \text{uz usvojeni } E_b = 2\ V$$

$$I_{COmax} = I_{CO} \cdot 2^{\frac{65-25}{10}} = 10.2^4.10^{-9}A = 160\ A$$

$$R_b \leqslant \frac{2}{160.10^{-9}} = 12,5.10^6\,\Omega$$

Usvajano

$$R_b = 100\ K\Omega$$

$$R \leqslant \left(\frac{\beta_{min}}{1+\beta_{min} \frac{E_b \cdot R_{C2}}{E_C \cdot R_b}} - 1 \right) . R_{C2}$$

$$R \leqslant \left(\frac{100}{1+100 \frac{2.2.10^3}{12\ 100.10^3}} - 1 \right) .2.10^3$$

$R \leqslant$ 152 KΩ

Usvajamo R = 100 K

R_1 odredimo iz uvjeta zasićenja tranzistora T_2:

$$I_b \geqslant \frac{I_{Cz}}{\beta}$$

$$R_1 \leqslant \beta R_{C2}$$

$R_1 \leqslant 100\ .2.10^3$ Usvajamo

R_1 = 180 KΩ

Trajanje izlaznog signala je dato sa:

$$ti = \tau \ln \frac{2E_C + I_{COmax} . R_1}{E_C + I_{COmax} . R_1}$$

$$ti = 180.10^3.C \quad \ln \frac{24 + 160.10^{-9}.180.10^3}{12+160.10^{-9}.180.10^3}$$

$180.160.10^{-6} \lll 24$ te je $ti = R_1 C \ln 2$ odakle je

$$C = \frac{100.10^{-3}}{180.10^3.0,694}$$

C = 800 μF

Vrijeme uspostavljanja stabilnog stanja tn, nakon što je proteklo vrijeme t = ti, je odredjeno sa:

$$tn \approx (3 \div 5) \; R_{C1} \cdot C$$

Pošto je trajanje impulsa ti = 100 msek a vrijeme za koje naidje sedam impulsa T_p = 7.20,1 msek = 140,7 msek to je potrebno da bude:

$$tn \leq (Tp - ti) \text{ msek}$$

$$tn \leq 40{,}7 \text{ msek odakle}$$

$$R_{C1} \leq \frac{40{,}7 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot C} = \frac{40{,}7 \cdot 10^{-3}}{2{,}4 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_{C1} = 17 \text{ K}\Omega$$

Usvajamo $R_{C1} = 10 \text{ K}\Omega$

Potrebno je da R_{C1} zadovoljava i slijedeću relaciju:

$$R_{C1} \cdot C \gg (3-5)\, \tau_\alpha$$

$$\tau_\alpha = \frac{1}{2\pi f_\alpha} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 5 \cdot 10^6} = 0{,}318 \cdot 10^{-7}$$

$$R_{C1}\, C = 10 \cdot 10^3 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-6} = 8 \cdot 10^{-3}$$

$$8 \cdot 10^{-3} \gg 5 \cdot 0{,}318 \cdot 10^{-7}$$

$$8 \cdot 10^{-3} \gg 1{,}590 \cdot 10^{-7}$$

Dakle R_{C1} zadovoljava i ovaj uvjet .

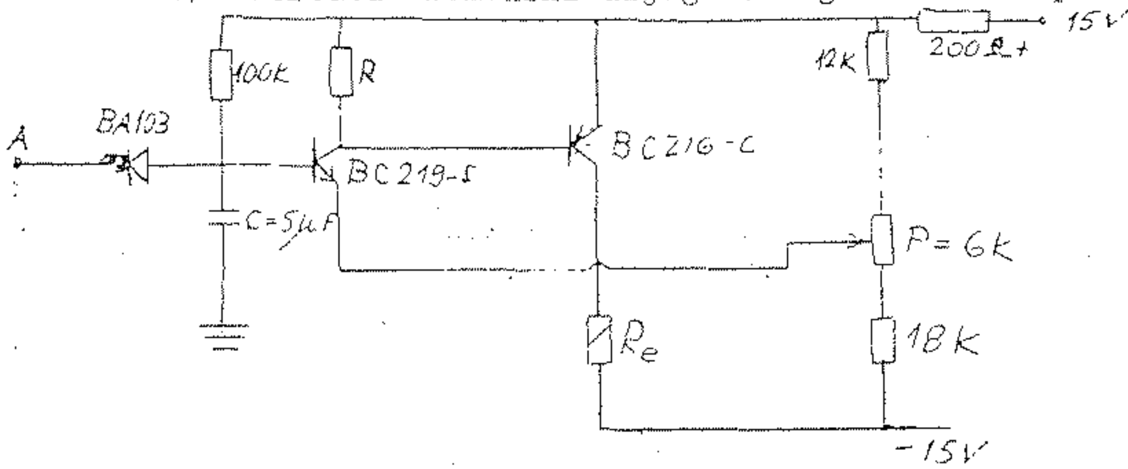
10.6. Na ulaz sklopa predstavljenog slikom 10.29 dolazi signal prema sl.10.30. Izlazni signal sklopa predstavlja prorada releja R_e.

a/ Odrediti šta sklop predstavlja i ukratko opisati njegovu funkcionalnost.

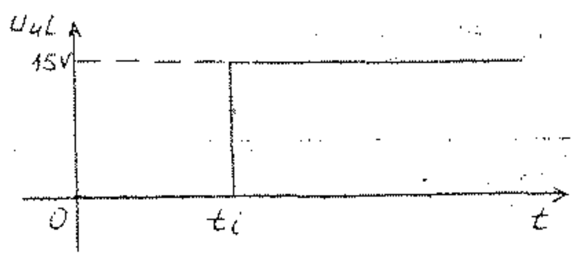
b/ Izračunati vrijednost otpora R

c/ Šta se može podešavati potenciometrom Pi u kojim granicama?

d/ Nacrtati vremenski dijagram signala u sklopu



Sl.10.29



Sl.10.30

Zadano:

BC216-C $U_{Cemaxdop}$=80V BC219-S $U_{Cemaxdop}$ = 32 V

$I_{Cmaxdop}$ = 50 mA $I_{Cemaxdop}$ = 100 mA

β = 60 β_{min} = 100

R_e = 30 V/20 mA

Ostale eventualno potrebne vrijednosti parametara tranzistora, predpostaviti.

a/ Ako se na ulaz A dovedi napon prema sl.10.30 sklop može da služi kao krug za vremensku zadršku.

U slučaju kada je na ulazu nula napona dioda 3A103 vodi, pa je baza tranzistora BC 219S na nuli potencijala, te je tranzistor BC 219S zakočen.

Kada na ulaz diode dodje pozitivan napon od +15V dioda je nepropusno polarizirana i kondenzator C se počinje nabijati preko vremenske konstante $\tau = 100\ K\Omega \cdot 5\mu F$.

Kada napon baze tranzistora BC219S postane pozitivniji od napona emitera, tranzistor počinje da vodi.

Napon u kolektoru tranzistora BC 219S pada i kada dostigne napon provodjenja tranzistora BC 216-C i ovaj tranzistor počinje da vodi. Pad napona na otporu R raste sve dok ne dostigne iznos V_{BE}. Zbog porasta napona na kondenzatoru C, raste i bazna struja tranzistora BC 216 C (koja se zatvara kroz tranzistor BC 219S), tranzistor BC216 C dolazi u zasićenje i rele R_S proradjuje.

b/ Kada je na ulazu A napon nula baza tranzistora BC219S je na potencijalu ≈ 0, a emiter je na naponu (pri položaju potenciometra u sredini P) :

$$U_E = \frac{30}{36,2.10^3} \cdot \left(18.10^3 + \frac{P}{2}\right) - 15 = +\ 2,4\ V$$

$U_E = 2,4$ V, te će tranzistor BC 219S biti zakočen.

Pri nailasku napona od 15 V dioda D je zakočena i kondenzator se puni prema zakonu:

$$U_C(t) = U(\infty) - [U(\infty) - U(0)] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$U(\infty) = 15$ V; $U(0) = 0$ uz zanemaren pad napona na diodi.

$$\tau = RC = 100.10^3.5.10^{-6} = 500 \text{ msek}$$

Trajanje vremenske zadrške sklopa odredjujemo iz uslova provodjenja tranzistora BC 219S . Zanemarujući napon V_{BE} i struju I_{CO} tranzistora BC 219S ovaj tranzistor će provesti kada napon u njegovoj bazi postane približno + 2,5 V.

$$2,4 = 15 - 15.E^{-t/\tau}$$

$$1^{-t/\tau} = 0,834$$

$$t = 90 \text{ msek}$$

Uz usvojenu kolektorsku struju provodjenje I_{Cpr}=1 mA. Da bi tranzistor BC 216C došao u zasićenje potrebno je zadovoljiti relaciju: $V_{BE} \leq U_R$ gdje je U_R pad napona na otporu R, uz V_{BE} = 0,7 V

$$I_{Cpr}.R \geqslant 0,7 \text{ V}$$

$$R \geqslant 7 \text{ K}\Omega$$

Usvajamo R = 10 KΩ

c/ Potenciometrom P se može podešavati vrijeme kašnjenja prorade releja R_e u slijedećim granicama:

1. U slučaju da je klizač u gornjem položaju vrijeme kašnjenja odredjujemo na slijedeći način:

$$U_E = \frac{30}{36,2.10^3}\left(18.10^3+P\right) -15 = + 4,9 \text{ V}$$

$$U_C(t) = U(\infty) - \left[U(\infty) - U(0)\right].E^{-t/\tau}$$

$$U_C(\infty) = 15 \text{ V}, \quad U_C(0) = 0$$

$$U_C(t) = 15 - 15 .E^{-t/\tau}$$

$$1^{-t/\tau} = \frac{10,1}{15} \quad \text{te je}$$

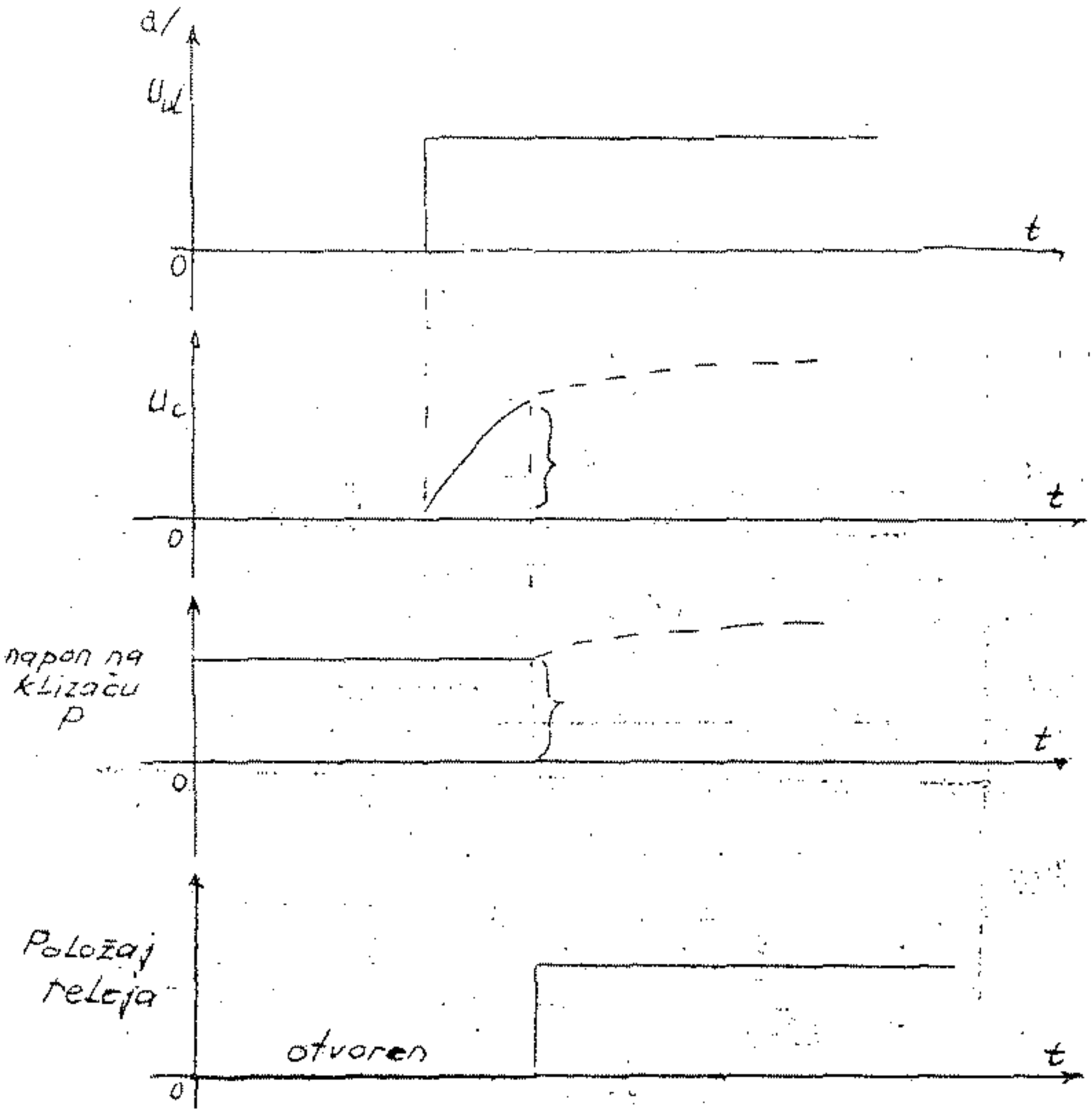
$$t = 202,5 \text{ msek}$$

2. U slučaju da je klizač potenciometra u krajnjem donjem položaju

$$U_E = \frac{30.18.10^3}{36,2.10^3} - 15 \approx 0$$

$$t = 0$$

Dakle kašnjenje je moguće podešavati od t =0-202,5 msek.

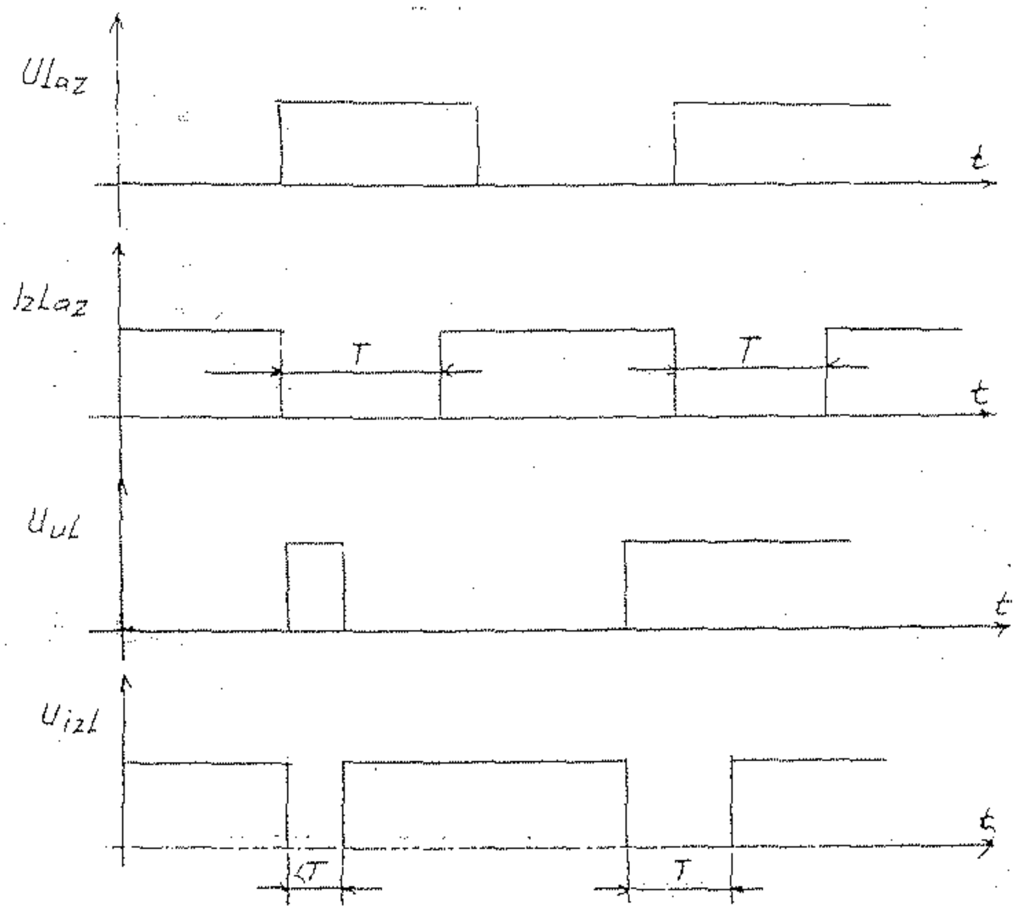


Sl.10.31

10.7. Pronaći principijelnu strukturu sklopa sa jednim ulazom i jednim izlazom, tako da funkcionira prema dijagramu na sl.10.32, tj.

- u stacionarnom stanju na ulazu nema signala, a izlaz je u stanju 1,
- kada na ulaz dodje signal 1, izlaz pada u nulu, i traje neko odredjeno vrijeme T nakon kojeg ponovo skače u stanje 1 ukoliko signal 1 na ulazu traje duže od vremena T.
- Ako ulazni signal padne na nulu prije isteka vremena T izlaz odmah mijenja stanje od na 1.

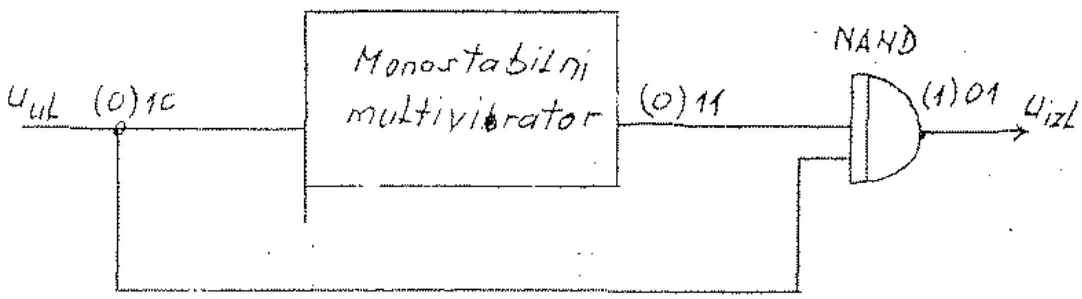
Nacrtati vremenski dijagram signala u karakterističnim tačkama strukture.



Sl.10.32

Rješenje:

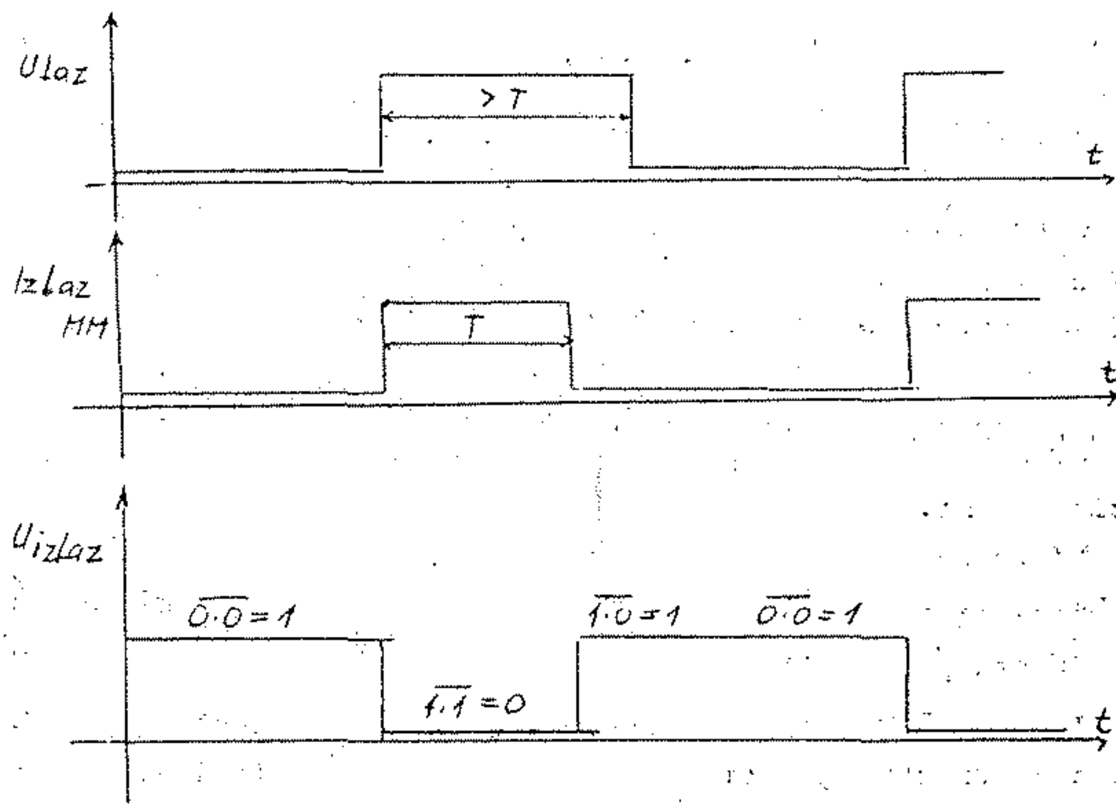
Struktura koja realizira traženi algoritam sastoji se od monostabilnog multivibratora i NAND-a prema sl.10.33



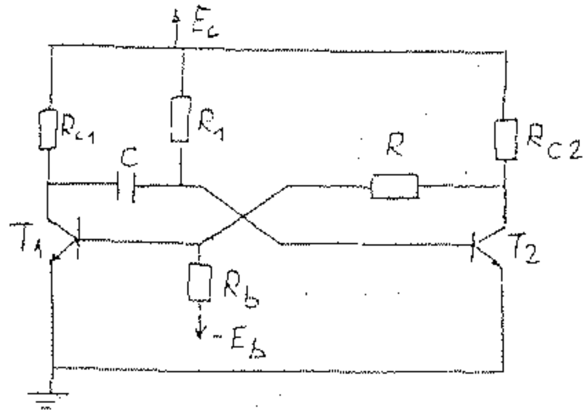
Sl.10.33

Obrazloženje rada strukture je dato na sl.10.34 a i 10.34 b.

Vremenski dijagram signala za slučaj da 1 na ulazu traje duže od vremena T:



Sl.10.34a



Sl.10.37

Otpor R odredimo koristeći se formulom:

$$R \leq \left(\frac{\beta_{min}}{1+\beta_{min}\frac{E_b}{E_c}\cdot\frac{R_{C2}}{R_b}} - 1 \right) \cdot R_{C2}$$

$$R \leq \left(\frac{30}{1+\frac{30}{10}\cdot\frac{2.10^3}{20.10^3}} \right) .2.10^3$$

$$R \leq 44.10^3 \Omega$$

Usvajamo R = 20 KΩ

Otpor R_1 odredimo iz uvjeta zasićenja tranzistora T_2

$$R_1 \leq \beta R_{C2} = 30.2\ K = 60\ K$$

Usvajamo R_1 = 10 KΩ

Koristeći izraz za trajanje nestabilnog stanja:

$$ti = \tau \ln \frac{2+\frac{I_{CO}\cdot R_1}{E_C}}{1+\frac{I_{CO}\ R_1}{E_C}}$$

gdje je $\tau = R_1C$, uz zanemarenje uticaja struje I_{CO} dobivamo:

$$C = \frac{ti}{R_1\ \ln 2}$$

Pošto je ti = T_o = 10 msek

$$C = \frac{10.10^{-3}}{10.10^{3}.0,694} = 1,45\ \mu F$$

Pošto nisu dati zahtjevi na vrijeme uspostavljanja napona u kolektoru tranzistora T_1, R_{C1} ćemo odabrati tako da zadovoljava maksimalnu struju kolektora dakle:

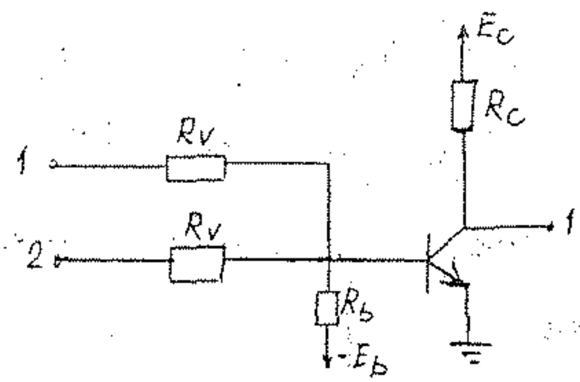
$$I_{C1z} \leq I_{Cmax} = 50\ mA$$

Uz I_{C1z} = 10 mA

$$R_{C1} = 1\ K\Omega$$

Proračun NOR - elementa:

Potrebno je proračunati NOR sa dva ulaza m = 2 i jednim izlazom n = 1 S1.10.38.



S1.10.38

Napon napajanja biramo s obzirom na izlazni signal U_{iz} = 10 V.

Biramo $|E_C| \approx |E_b|$ = 10 V

Tranzistor mora zadovoljavati uvjet da je

$$|U_{Cbmaxdop}| \geqslant |E_C| + |E_b| \quad \text{predpostavimo}$$

$$|U_{Cbmaxdop}| = 30 \text{ V}$$

Otpor R_C ćemo odrediti poznajući I_{C0max}

$$I_{C0max} = I_{C0} \cdot 2^{\frac{t_M - t_0}{10}} = 16.10^{-6} \text{ A}$$

$$R_C \leqslant \frac{E_{Cmin}}{20\, I_{C0max}} = \frac{(1-0,1).10}{20.16.10^{-6}} = \frac{9}{32}.10^5 = 28.10^3 \Omega$$

Odnosno:

$$R_C \geqslant \frac{E_{Cmax}}{I_{Cn}} = \frac{(1+0,1).10}{10.10^{-3}} = 1,1 \text{ K}\Omega$$

Usvajamo $R_C = 10 \text{ K}\Omega$

$$R_{vopt} \leqslant \frac{nR_C\left(f + h + \sqrt{fK + hK}\right)}{K - f - h}$$

gdje je :

$$K = \left(a\ E_{Cnom} - V_{BE1}\right)\left(a\ E_{bnom} - U_{bz}\right) b^2$$

$$f = \left(a\ E_{bnom} + V_{BE1}\right)\left(V_{CEmax} + U_{bb}\right) c^2 m$$

$$h = \left(V_{BE1} - V_{CEmin}\right)\left(a\ E_{bnom} - U_{bz}\right)(m-1) b.c$$

Predpostavljajući:

$V_{BE1} = 0,1$ V $\qquad a = 1-0,1 = 0,9$

$-U_{bz} = 0,4$ V $\qquad b = 1-0,1 = 0,9$

$V_{CEmax} = 0,5$ V $\qquad c = 1 + 0,1 = 1,1$

$V_{CEmin} = 0,05$

$E_{bnom} = E_{Cnom} = 10\ V$

$K = (0,9.10-0,4)(0,9.10-6,4)\ .0,9^2 = 60$

$f = (0,9.10+0,4)(0,5+0,4).1,1^2.2 = 20,5$

$h = (0,4-0,05)(0,9.10-0,4)(2-1)\ 0,9.1,1 = 2,98$

$$R_{vopt} \leq \frac{10.10^3\,(20,5+2,98+\sqrt{60.20,5+60.2,98}}{60-20,5-2,98}$$

$R_{Vopt} \leq 14\ K\Omega$

Usvajamo $R_{Vopt} = 10\ K\Omega$

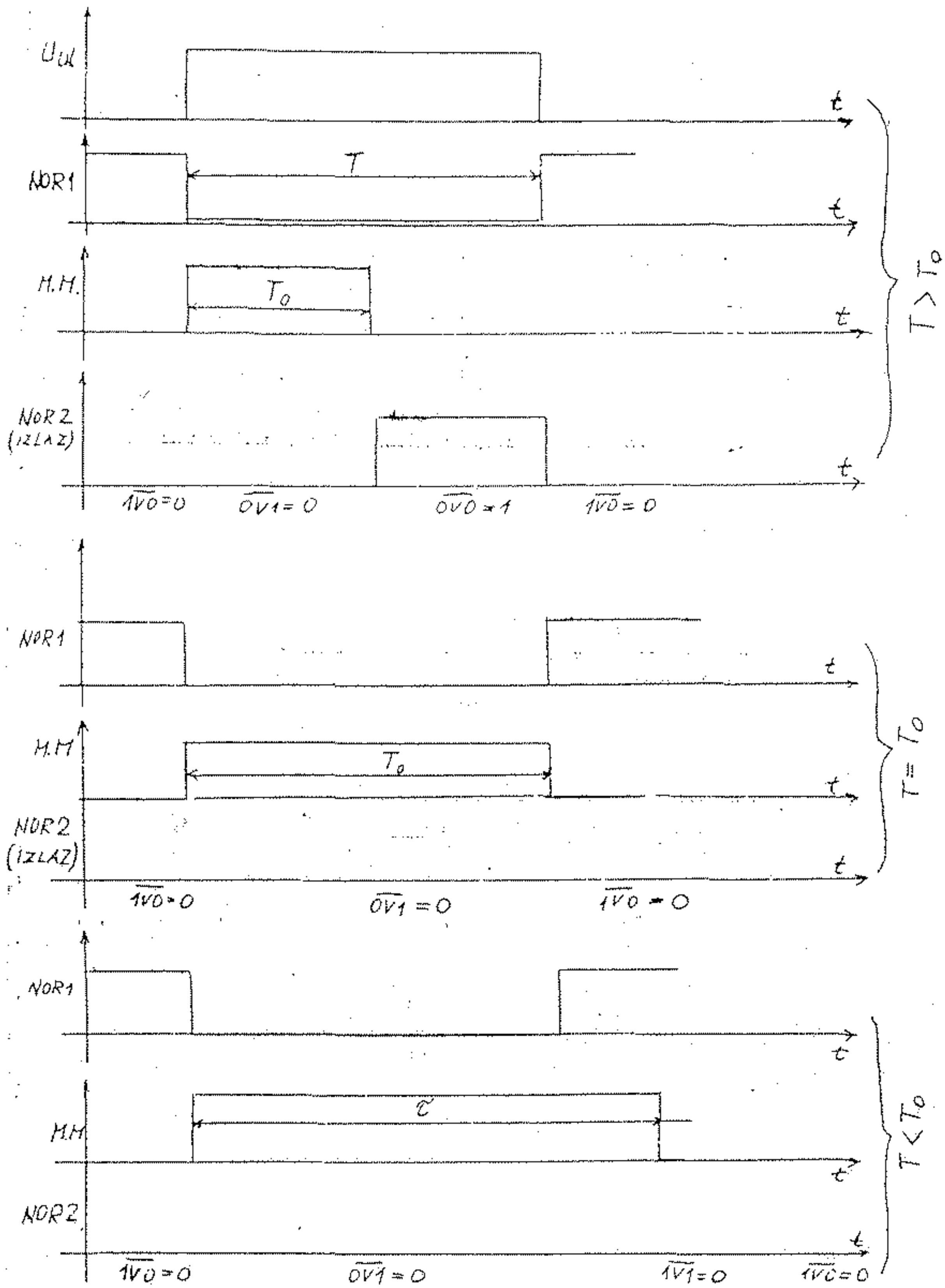
$$R_b \geqslant \frac{a\,E_{bnom} - U_{bz}}{c\left[I_{COmax} + n\,\frac{(U_{Cemax}+U_{bz})}{b\,R_{Vopt}}\right]}$$

$$R_b \geqslant \frac{o\ 0,9.10-0,4}{1,1\left[16.10^{-6} + \frac{0,5+0,4}{0,9.10.10^3}\cdot 2\right]}$$

$R_b \geqslant 36\ K\Omega$

Usvajamo $R_b = 40\ K\Omega$

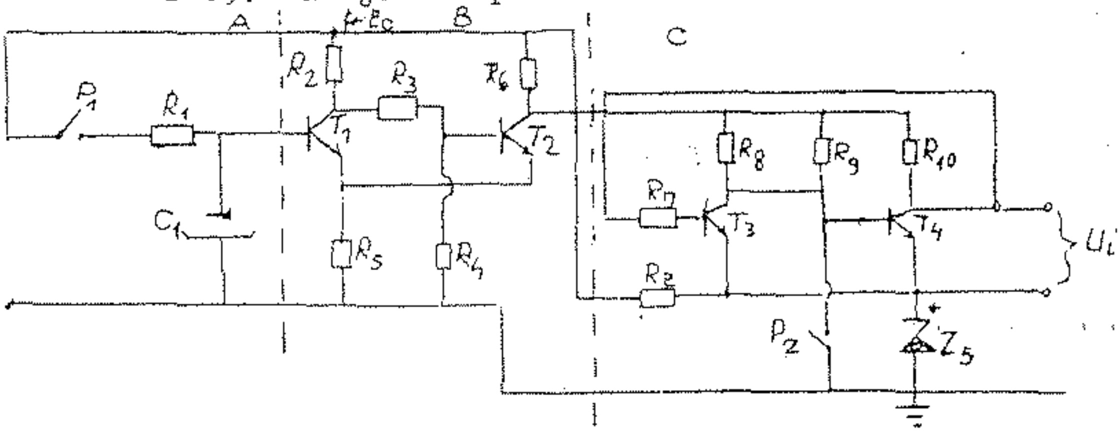
Na dijagramu Sl.10.39 je objašnjen rad strukture sa vrijednošću napona na izlazu NOR1, NOR 2 i monostabilnog multivibratora.



U_{ul}
NOR1
NOR2 (IZLAZ)
M.M.
T
T_0
τ
t
$T > T_0$
$T = T_0$
$T < T_0$
$1\overline{V0} = 0$
$0\overline{V1} = 0$
$0\overline{V0} = 1$
$1\overline{V1} = 0$

Sl.10.39

10.9. Dat je sklop slikan 10.40.



Sl.10.40

Izlazni signal Ui predstavlja napon izmedju kolektora i emitera tranzistora T_4. Prekidači P_1 i P_2 se mogu uključiti u proizvoljnim momentima.

Treba:

a/ Opisati funkcionalnost sklopa. Posebno razmotriti uticaj prekidača P_2.

b/ Proračunati elemente sklopa

c/ Nakon kojeg vremena od momenta ukapčanja prekidača P_1 proradi dio sklopa označen sa B

Zadano: R_1 = 150 KΩ ; C_1 = 500μF; = 24 V

Svi tranzistori rade u prekidačkom režimu, a dat je tip tranzistora sa slijedećim podacima:

$U_{Cmaxdop}$ = 32 V; $I_{Cemaxdop}$ = 100 mA

β = 100 do 150 ; I_{CO} = 10.10^{-9}A na 25°C

Napon vodjenja i kočenja proizvodjno odabrati.

Zener dioda Z_5 ima: I_{dmax} = 100 mA P_{dmax} = 250 mA.

Rješenje:

a/ 1/ P_1 otvoren i P_2 otvoren:

Tranzistor T_2 vodi te nije osigurano napajanje sklopu C, te je Ui = 0.

2/ P_1 zatvoren P_2 otvoren

Sklop A, koji predstavlja vremensku zadršku dobija na ulaz napon E_C t e nakon vremena zadrške koja je odredjena sa R_1 C i pragom Šmitovog trigera, skida Šmitov triger te tranzistor T_2 postaje zakočen i sklop C dobiva napajanje.

Tranzistor T_4 će provesti uz odabrane otpore R_8 i R_9 da obezbjede dovoljnu baznu struju T_4, te na izlazu nema signala.

3/ P_1 zatvoren P_2 zatvoren trajno

Sklop C će dobiti napajanje kao i u slučaju 2. Tranzistor T_3 će provesti i doći u zasićenja a T_4 će biti zakočen.

4/ P_1 zatvoren, P_2 zatvoren pa otvoren

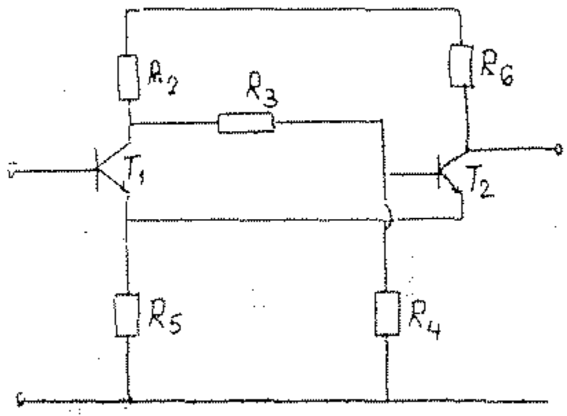
Imamo isti slučaj kao pod tri samo što se u nekom momentu otvori prekidač P_2, ništa se neće promjeniti tranzistor T_4 će biti zakočen pošto mu je baza + U_{z5} preko tranzistora T_3.

5/ P_1 otvoren, P_2 zatvoren

Tranzistor T_2 vodi te nije osigurano napajanje sklopu C, te je Ui = 0V

Vidimo da ovaj sklop pamti da je prekidač P_2 bio bar jednom zatvoren. Ova informacija ostaje zapamćena sve dok se prekidač P_1 ne otvori.

b/ Proračun podsklopa B



Sl.10.41

$E_C = 24$ V

Odabiremo $V_{gpr} = 5$ V, $V_{dpr} = 4$ V

Uz $U_g = 0,5$ V; $U_{2z} \approx V_{gpr} - U_{gl} = 4,5$ V

$$I_{CO} \lll I_{C2z} < I_{Cmaxdop}$$

$$I_{C2z} = \frac{E_C}{R_6 + R_5}$$ pošto je poznato U_{2z}

$$R_5 = \frac{U_{2z}}{I_{C2z}}$$

$$R_6 = \frac{E_C - U_{2z}}{I_{C2zas}}$$

Za dati tranzistor $I_{CO} = 10.10^{-9}$ A

$$I_{CO65^oC} = 160.10^{-9} A$$

$$I_{Cmaxdop} > I_{C2z} \gg I_{CO65}$$

$$R_7 \leq \left(600 - 1,475\right) . 10^3$$

Usvajamo $R_7 = 100\ K\Omega$

c/ $U_C = E_C \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$ gdje $\tau = R_1\ C_1$

$$\tau = 150.10^3.500.10^{-6} = 75 \text{ sek}$$

Pošto smo usvojili napon gornjeg praga $V_{gpr} = 5$ V

$$V_{gpr} = E_C \left(1 - e^{-t_K/\tau}\right)$$

$$E_C - V_{gpr} = E_C e^{-t_K/\tau}$$

$$t_K = \tau \ln \frac{E_C}{E_C - V_{gpr}}$$

$$t_K = 75 \ln \frac{24}{19} = 75.0,23$$

$$t_K = 17,4 \text{ sek}$$

Sklop označen sa B proradi 17,4 sek nakon ukapčanja prekidača P_1.