

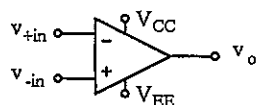
Problema 1.

Propusă de s. l. dr. ing. Radu Belea, UDJ Galati.

Notăm V_{CC} și V_{EE} , tensiunile de alimentare, v_{+in} și v_{-in} , sunt semnalele de intrare, iar v_o este semnalul de ieșire ale amplificatorului operațional integrat. Tensiunile v_{+in} , v_{-in} , pot lua valori între limitele:

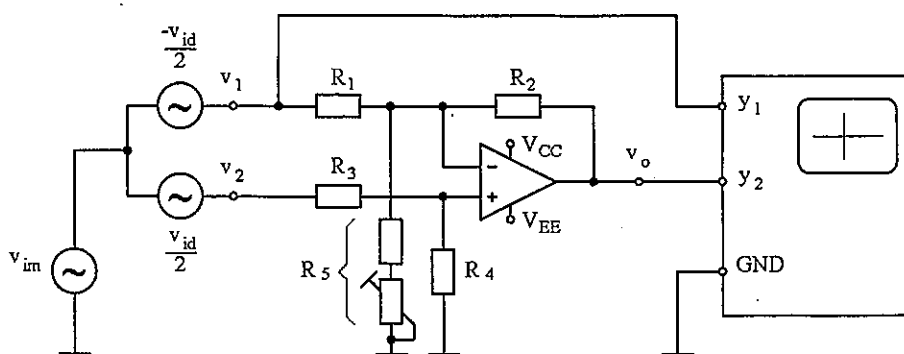
$$V_{EE} - 0.3 < v_{+in}, v_{-in} < V_{CC} - 1.5 \text{ V} ,$$

iar ceilalți parametri ai amplificatorului operațional sunt considerați ideali.



Cu acest circuit integrat se realizează amplificatorul din figura următoare.

Definim: $A_d = \frac{v_o}{v_{id}}$, amplificarea diferențială și $A_m = \frac{v_o}{v_{im}}$, amplificarea de mod comun.



Se cunosc: $R_1 = R_2 = R_3 = 480 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 20 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 5 \text{ V}$ și $V_{EE} = -5 \text{ V}$.

Se cer:

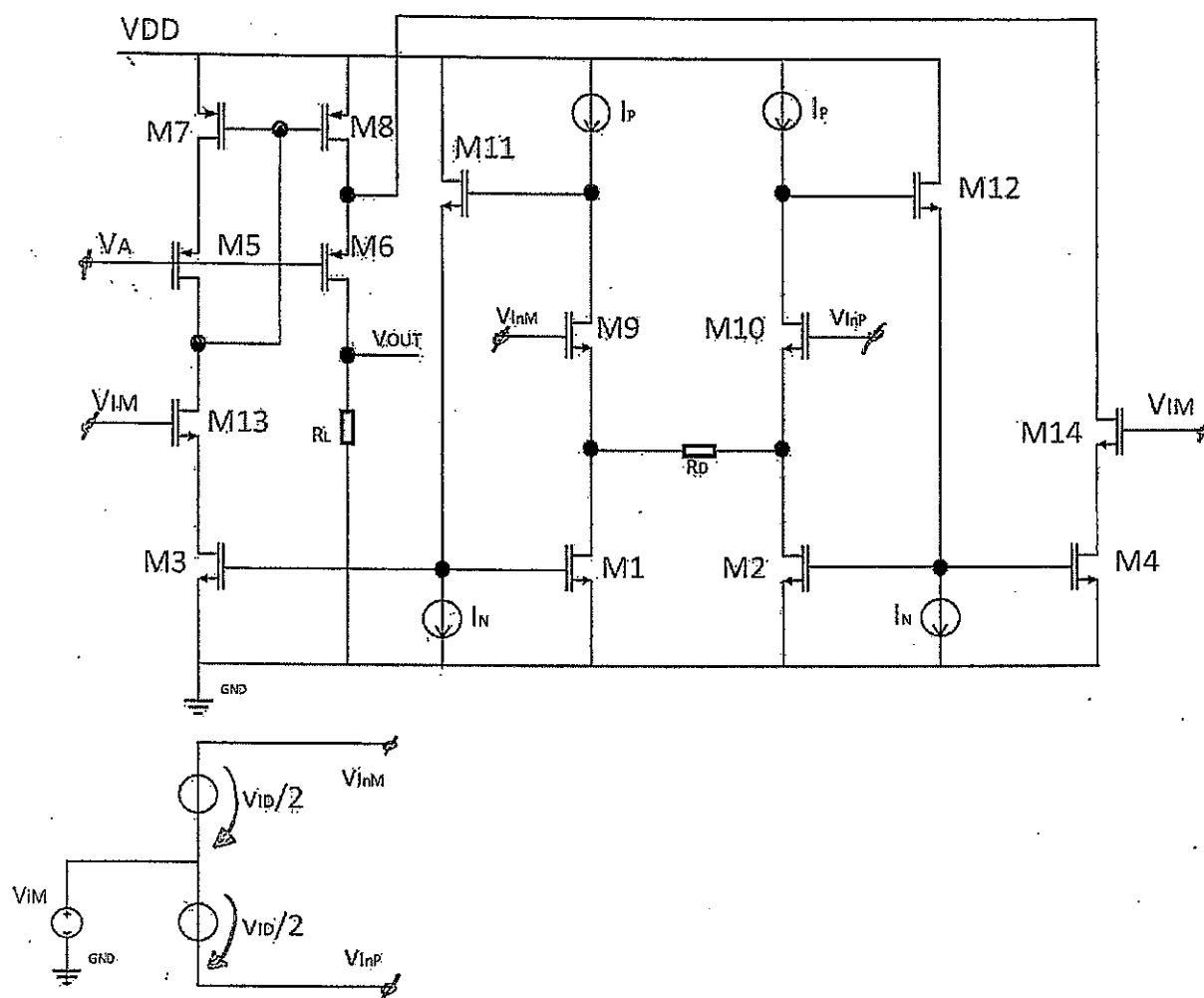
- Să se deducă expresiile analitice ale amplificărilor A_d și A_m .
- Considerând $A_m = 0$, să se deducă formulele de calcul ale tensiunilor $(v_{im})_{\max}$ și $(v_{im})_{\min}$.
- Să se calculeze valoarea rezistenței R_5 care anulează amplificarea de mod comun.
- Să se calculeze limitele $(v_{im})_{\max}$ și $(v_{im})_{\min}$ ale tensiunii de mod comun.

Problema 2. Asist.dr.ing. Raul ONET, Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca

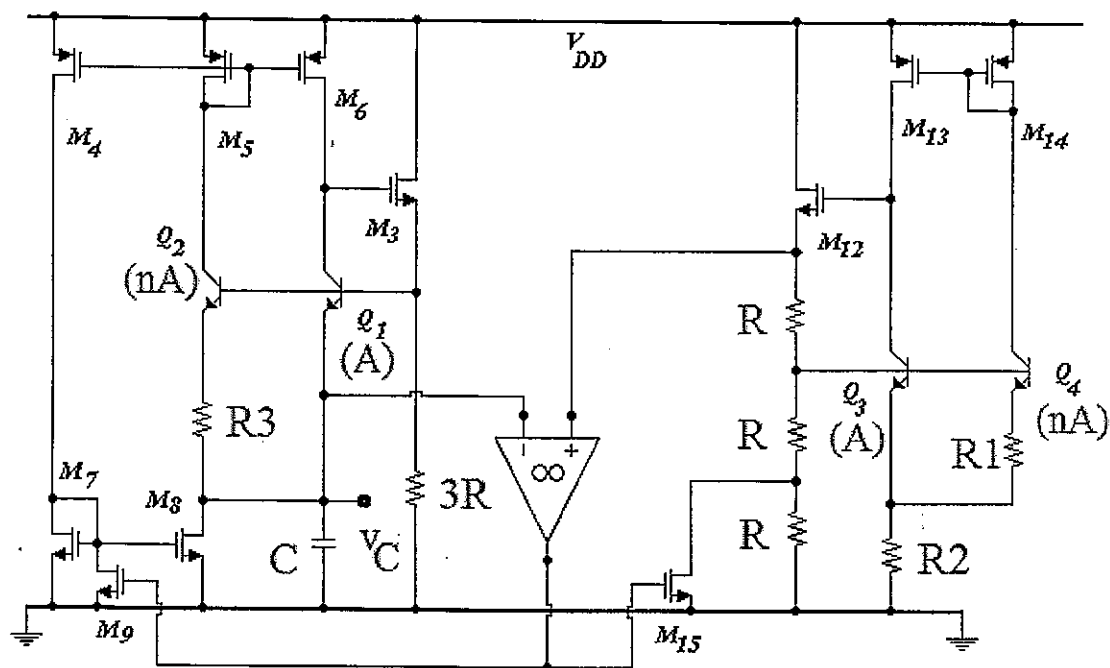
In schema din figura toti tranzistorii de acelasi tip sunt identici. Se neglijeaza efectul modularii lungimii canalului ($r_{ds} \rightarrow \infty$). V_{IM} si V_A sunt tensiuni constante (circuiturile care le genereaza nu sunt prezentate). Se dau: $V_{DD}=2\text{ V}$, $I_P=500\text{ }\mu\text{A}$, $I_N=100\text{ }\mu\text{A}$, $R_D=1\text{ k}\Omega$, $R_L=500\Omega$.

Se cer:

- Regimul de functionare al tranzistorului M6 pentru tensiune de intrare diferentiala nula, $v_{ID}=0$, stiind ca tensiunile V_{IM} si V_A sunt setate astfel incat toti ceilalti tranzistori sa fie in saturatie. Pentru aceasta calculati curentii de drena pentru toti tranzistorii din schema.
- Expresia tensiunii de iesire, v_{OUT} , in functie de tensiunea de intrare diferentiala, v_{ID} , pentru ambele alternante ale v_{ID} .
- Ce functie poate realiza acest circuit?
- Domeniul de valori al tensiunii de intrare diferentiale, v_{ID} , pentru care circuitul realizeaza functia determinata la punctul anterior.



Problema 3



$$4(W/L)_7 = (W/L)_8$$

In circuitul din figura AO este ideal si alimentat cu sursa simpla (unipolara). Tranzistoarele M9 si M15 sunt comutatoare ideale. Toate tranzistoarele PMOS sunt identice. Raportul dimensiunilor geometrice la tranzistoarele M7 si M8 este $(W/L)_8 = 4(W/L)_7$. Ariile emitoarelor tranzistoarelor bipolare Q1, Q2, Q3 si Q4 sunt A, nA, A si respective nA ca in figura de mai sus. Se considera ca circuitul starteaza la conectarea alimentarii. Se vor neglija curentii din bazele tranzistoarelor bipolare iar rezistentele drenasursa si collector-emitor ale tranzistoarelor se considera infinite.

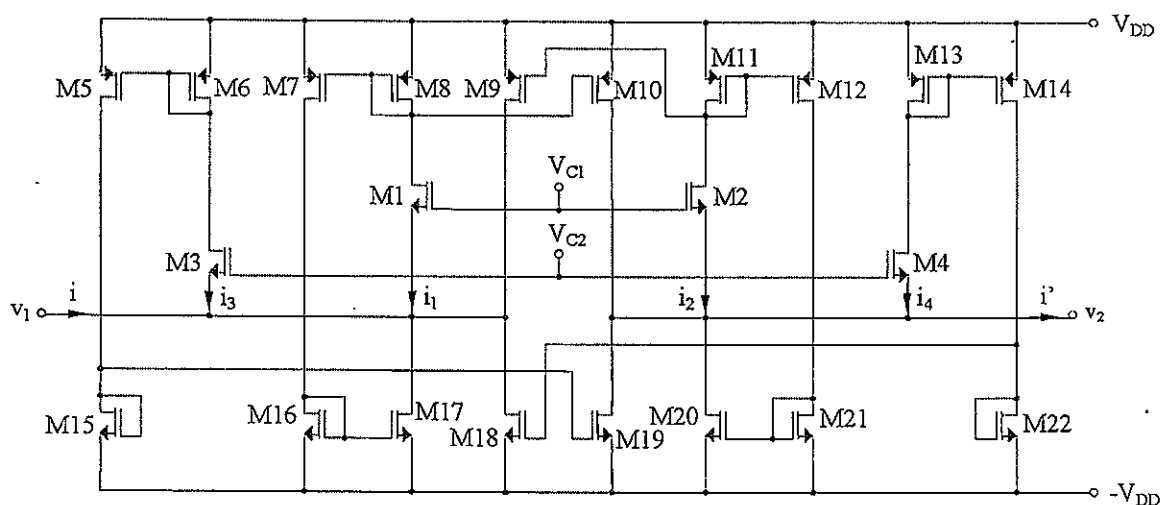
1. Sa se calculeze curentul din condensatorul C pentru cazul in care M8 este blocat,
2. Sa se calculeze tensiunea din sursa tranzistorului M12 in functie de starea comutatorului M15,
3. Considerind $(dV_{BE}/dT) = \text{constant} \approx -c$, $V_T = KT/q$, sa se determine relatia dintre R1, R2, n, c si (K/q) astfel incat deriva termica a tensiunii din sursa tranzistorului M12 sa fie nula.
4. Aratati ca tensiunea de pe condensatorul C variaza liniar periodic in timp,
5. Sa se calculeze perioada de oscilatie a tensiunii v_C (vezi figura).

Problema 4 - prof.dr.ing. Anca MANOLESCU, prof.dr.ing. Cosmin Radu POPA (UPB)

Se consideră circuitul din figura următoare. Tensiunile V_{C1} și V_{C2} sunt tensiuni constante, aplicate din exterior, asigurând o polarizare în saturație a tuturor tranzistoarelor circuitului. Se consideră toate tranzistoarele identice (cu excepția tranzistoarelor M17 și M20, care au factorii de aspect de 2 ori mai mari decât ai celorlalte tranzistoare). Dependența curentului de drenă de tensiunea grilă-sursă este exprimată prin relația:

$$I_D = \frac{K}{2}(V_{GS} - V_T)^2,$$

K și V_T fiind parametri ai tranzistorului MOS, identici pentru tranzistoarele NMOS și PMOS.



- Să se determine expresiile curenților i_1 , i_2 , i_3 și i_4 ca funcție de potențialele de intrare v_1 și v_2 , de tensiunile constante de polarizare V_{C1} și V_{C2} și de parametrii tranzistoarelor MOS
- Să se determine relația dintre curenții i și i'
- Ce funcție realizează circuitul?
- Să se determine expresia mărimii ce caracterizează funcționarea circuitului

Problema 1 2017.

Rezolvare:

a. Analizăm funcționarea în zona linieră, a amplificatorului scăzător cu tensiune de mod comun mărită, prin metoda suprapunerii efectelor.

Prima ecuație. Observăm că pentru $v_2 = 0$, avem $v_{+in} = 0$, (prin rezistențele $R_3 \parallel R_4$ potențialul masei se transmite până la intrarea neinversoare). Pentru că $v_{-in} \rightarrow 0$ (reacția este negativă), prin rezistența R_5 nu trece curent. În consecință, rezistența R_5 poate fi întreruptă fără modificarea celorlalți curenți din schemă.

$$\left. \begin{array}{l} v_1 \neq 0 \\ v_2 = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow v_{o,1} = -\frac{R_2}{R_1} v_1 \quad (1 \text{ p})$$

A doua ecuație:

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = 0 \\ v_2 \neq 0 \end{array} \right\} \Rightarrow v_{o,2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1 \parallel R_5} \right) v_2 \quad (1 \text{ p})$$

Adunăm cele două ecuații:

$$v_o = v_{o,1} + v_{o,2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1 \parallel R_5} \right) v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1 \quad (0.5 \text{ p})$$

Pentru simplificarea calculelor substituim $R_2 = R_1$ și $R_3 = R_1$ în ecuația (3)

$$v_o = \frac{R_4}{R_1 + R_4} \left(1 + \frac{R_1}{R_1 \parallel R_5} \right) v_2 - \frac{R_1}{R_1} v_1 \quad ;$$

$$v_o = \frac{R_4}{R_1 + R_4} \left(1 + \frac{R_1 (R_1 + R_5)}{R_1 R_5} \right) v_2 - \frac{R_1}{R_1} v_1 \quad ;$$

$$v_o = \frac{R_4}{R_1 + R_4} \cdot \frac{R_1 + 2R_5}{R_5} v_2 - v_1$$

Exprimăm v_1 și v_2 în funcție de v_{im} și v_{id} :

$$v_1 = v_{im} - \frac{v_{id}}{2} \quad \text{și} \quad v_2 = v_{im} + \frac{v_{id}}{2} \quad ,$$

Rezultă o expresie de forma: $v_o = A_d v_{id} + A_m v_{im}$, unde:

$$A_d = \left(\frac{R_4}{R_1 + R_4} \cdot \frac{R_1 + 2R_5}{R_5} + 1 \right) \frac{1}{2} \quad (1.5 \text{ p})$$

$$A_m = \frac{R_4}{R_1 + R_4} \cdot \frac{R_1 + 2R_5}{R_5} - 1 \quad (1.5 \text{ p})$$

b. Dacă $A_m = 0$ și $v_1 = v_2 = v_{im}$, rezultă $v_{+in} = v_{-in}$ și $v_o = 0$. În aceste condiții, în schemă există două divizoare de tensiune:

$$v_{+in} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_{im} \quad \text{și} \quad v_{-in} = \frac{R_2 \parallel R_5}{R_1 + (R_2 \parallel R_5)} v_{im} \quad (1 \text{ p})$$

De exemplu, tensiunile de $(v_{im})_{\max}$ și $(v_{im})_{\min}$ se calculează cu formula:

$$v_{im} = \frac{R_3 + R_4}{R_4} v_{+in} \quad (1 \text{ p})$$

c. Din condiția $A_m = 0$ obținem o ecuație din care calculăm rezistența R_5 :

$$\frac{R_4}{R_1 + R_4} \cdot \frac{R_1 + 2R_5}{R_5} - 1 = 0 \quad (0.5 \text{ p})$$

$$R_4 (R_1 + 2R_5) = (R_1 + R_4) R_5 \quad ;$$

$$R_4 R_1 + 2R_4 R_5 = (R_1 + R_4) R_5 \quad ;$$

$$R_4 R_1 = (R_1 - R_4) R_5 \quad \Rightarrow \quad R_5 = \frac{R_1 R_4}{R_1 - R_4} \quad ;$$

Înlocuim: $R_1 = 480 \text{ k}\Omega$ și $R_4 = 20 \text{ k}\Omega$ în formula (8):

$$R_5 = \frac{480 \text{ k}\Omega \times 20 \text{ k}\Omega}{480 \text{ k}\Omega - 20 \text{ k}\Omega} = \frac{480 \times 20}{460} \text{ k}\Omega \cong 20.1 \text{ k}\Omega \quad (1 \text{ P})$$

c. Pentru tensiunile de alimentare $V^+ = 5 \text{ V}$ și $V^- = -5 \text{ V}$, și pentru $v_{id} = 0$, limitele între care pot varia tensiunile v_{+in} și v_{-in} sunt:

$$(v_{+in})_{\min} = (v_{-in})_{\min} = V^- - 0.3 \text{ V} = -5 \text{ V} - 0.3 \text{ V} = -5.3 \text{ V} \quad ;$$

$$(v_{+in})_{\max} = (v_{-in})_{\max} = V^+ - 1.5 \text{ V} = 5 \text{ V} - 1.5 \text{ V} = 3.5 \text{ V} \quad (0.5 \text{ p})$$

Calculăm atenuarea divizorului de tensiune R_3 - R_4 . Notăm:

$$n = \frac{R_3 + R_4}{R_4} = \frac{480 \text{ k}\Omega + 20 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega} = \frac{500 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega} = 25$$

Calculăm limitele tensiunii de mod comun:

$$(v_{in})_{\min} = (v_{+in})_{\min} \times n = -5.3 \text{ V} \times 25 = -132.5 \text{ V}$$

$$(v_{in})_{\max} = (v_{+in})_{\max} \times n = 3.5 \text{ V} \times 25 = 87.5 \text{ V} \quad (0.5 \text{ p})$$

SOLUTIE - PROBLEMA 2

$$2). I_{D9} = I_{D10} = I_p \quad R_{DS} \rightarrow \infty \Rightarrow \begin{cases} V_{GS9} = V_{GS10} \\ V_{IMP} = V_{IMP1} \end{cases} \Rightarrow V_{RD} = 0 \Rightarrow I_{RD} = 0$$

$$\Rightarrow I_{D1} = I_{D2} = I_p$$

$$M_1 - M_3 \text{ OGLINDĂ CRT} \Rightarrow I_{D3} = I_{D13} = I_{D5} = I_{D7} = I_p$$

$$M_2 - M_4 \text{ OGLINDĂ CRT} \Rightarrow I_{D4} = I_{D14} = I_p$$

$$M_7 - M_8 \text{ OGLINDĂ CRT} \Rightarrow I_{D8} = I_p$$

M6 BLOCAT

2p

$$V_{RD} = (V_{IMP} - V_{GS10}) - (V_{IMP} - V_{GS10}) = V_{ID}$$

$$I_{RD} = V_{RD} / R_D = \frac{V_{ID}}{R_D}$$

$$I_{D1} = I_p + I_{RD} \Rightarrow I_{D8} = I_p + I_{RD}$$

$$I_{D6} = I_{D8} - I_{D14}$$

$$I_{D2} = I_p - I_{RD} \Rightarrow I_{D14} = I_p - I_{RD}$$

DAR NUMAI DACĂ $I_{RD} > 0$

$$V_{OUT} = R_L \cdot I_{D6} \Rightarrow V_{OUT} = \begin{cases} 2 \frac{R_L}{R_D} \cdot V_{ID} & \text{dacă } V_{ID} > 0 \\ 0 & \text{dacă } V_{ID} \leq 0 \end{cases}$$

5p

1. REDRESOR MONOALTERNANȚĂ

1p

CIRCUITUL FUNCȚIONEAZĂ CONFORM RELĂȚIEI DE MAI SUS NUMAI DACĂ TRANZISTOARELE RĂMÂN ÎN CONDUȚIE (CU EXCEPȚIA LUI M6)

$$I_{D2} > 0 \Rightarrow I_p - \frac{V_{ID}}{R_D} > 0 \Rightarrow V_{ID} < I_p \cdot R_D$$

2p

Soluție problema 3

1. (2p)

M_8 blocat determină: $I_C = I_1 + I_2$ (0,25p)

$I_2 = I_5 = I_6$ (oglindea M_5, M_6) (0,25p)

$I_6 = I_1$ datorită buclei de reacție negativă: Q_1, M_3 (0,25p)

$\Rightarrow I_C = 2I_2$ (0,25p)

Din ochiul BE_{Q2}, R_3, EB_{Q1} se obține $I_C = 2 \frac{V_T}{R_3} \ln n$ (1p)

2. (3p)

Notăm tensiunea din bazele Q_3, Q_4 cu V_{BG}

$V_{BG} = V_{BE3} + R_2(I_{C3} + I_{C4})$ (0,5p)

$I_{C4} = I_{14} = I_{13}$ (0,25p)

$I_{13} = I_3$ datorită buclei de reacție negativă prin Q_3, M_{12} (0,25p)

$V_{BE3} = V_{BE4} + R_1 I_4 \Rightarrow I_4 = \frac{V_T}{R_1} \ln n \Rightarrow$ (0,5p)

$\Rightarrow V_{BG} = V_{BE3} + 2V_T \frac{R_2}{R_1} \ln n$ (0,5p)

Pentru $M_{15} = on, V_{S12M} = \left(1 + \frac{R}{R}\right) V_{BG} = 2 \left(V_{BE3} + 2V_T \frac{R_2}{R_1} \ln n\right)$ (0,5p)

Pentru $M_{15} = off, V_{S12m} = \left(1 + \frac{R}{2R}\right) V_{BG} = \frac{3}{2} \left(V_{BE3} + 2V_T \frac{R_2}{R_1} \ln n\right)$ (0,5p)

3. (1p)

$\frac{\partial V_{S12}}{\partial T} = 0 \Rightarrow c = 2 \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{k}{q} \ln n \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{cq}{2k \ln n}$ (1p)

4. (2p)

Când M_{15} este ON, condensatorul C se încarcă la curent constant $2I_2$ până la valoarea V_{E12M} .

..... (0,5p)

La atingerea acestei tensiuni, M_{15} își schimbă starea, iar în sursa lui M_{12} tensiunea va fi V_{S12m} .

..... (0,5p)

Condensatorul se descarcă la curent constant de valoare $2I_2$ până când M_{15} își schimbă din nou starea și procesul se repetă. (0,5p)

Încărcarea și descărcarea condensatorului C făcându-se la curent constant, tensiunea v_C este liniar variabilă în timp. (0,5p)

5. (2p)

$\Delta V_{S12} = \frac{2I_2}{C} \cdot T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{\Delta V_{S12} C}{2I_2} = \frac{CR_3}{4V_T \ln n} \left(V_{BE3} + 2 \frac{R_2}{R_1} V_T \ln n\right)$ (0,75p)

$\Delta V_{S12} = \frac{2I_2}{C} \cdot T_2 \Rightarrow T_2 = \frac{\Delta V_{S12} C}{2I_2} = \frac{CR_3}{4V_T \ln n} \left(V_{BE3} + 2 \frac{R_2}{R_1} V_T \ln n\right)$ (0,75p)

$T = T_1 + T_2 = \frac{CR_3}{2V_T \ln n} \left(V_{BE3} + 2 \frac{R_2}{R_1} V_T \ln n\right)$ (0,5p)

Solucii prob. 4.

Rezolvare

a. Expresiile curenților i_1 , i_2 , i_3 și i_4 sunt:

(3p)

$$i_1 = \frac{K}{2}(V_{C1} - v_1 - V_T)^2$$

$$i_2 = \frac{K}{2}(V_{C1} - v_2 - V_T)^2$$

$$i_3 = \frac{K}{2}(V_{C2} - v_1 - V_T)^2$$

$$i_4 = \frac{K}{2}(V_{C2} - v_2 - V_T)^2$$

b. Expresiile curenților i și i' sunt:

(2p)

$$i = i_{D17} + i_{D18} - i_{D9} - i_3 - i_1$$

Dar $i_{D9} = i_2$, $i_{D17} = 2i_1$ și $i_{D18} = i_4$. Rezultă:

$$i = (i_1 - i_2) + (i_4 - i_3)$$

$$i' = i_{D10} - i_{D19} - i_{D20} + i_4 + i_2$$

Dar $i_{D10} = i_1$, $i_{D20} = 2i_2$ și $i_{D19} = i_3$. Rezultă:

$$i' = (i_1 - i_2) + (i_4 - i_3) = i$$

c. Inlocuind expresiile curenților i_1 , i_2 , i_3 și i_4 , se obține:

(3p)

$$i = K(v_1 - v_2)(V_{C2} - V_{C1})$$

Circuitul implementează o rezistență activă, având o rezistență echivalentă controlată în tensiune:

d.
(2p)

$$R_{ECH} = \frac{v_1 - v_2}{i} = \frac{1}{K(V_{C2} - V_{C1})}$$