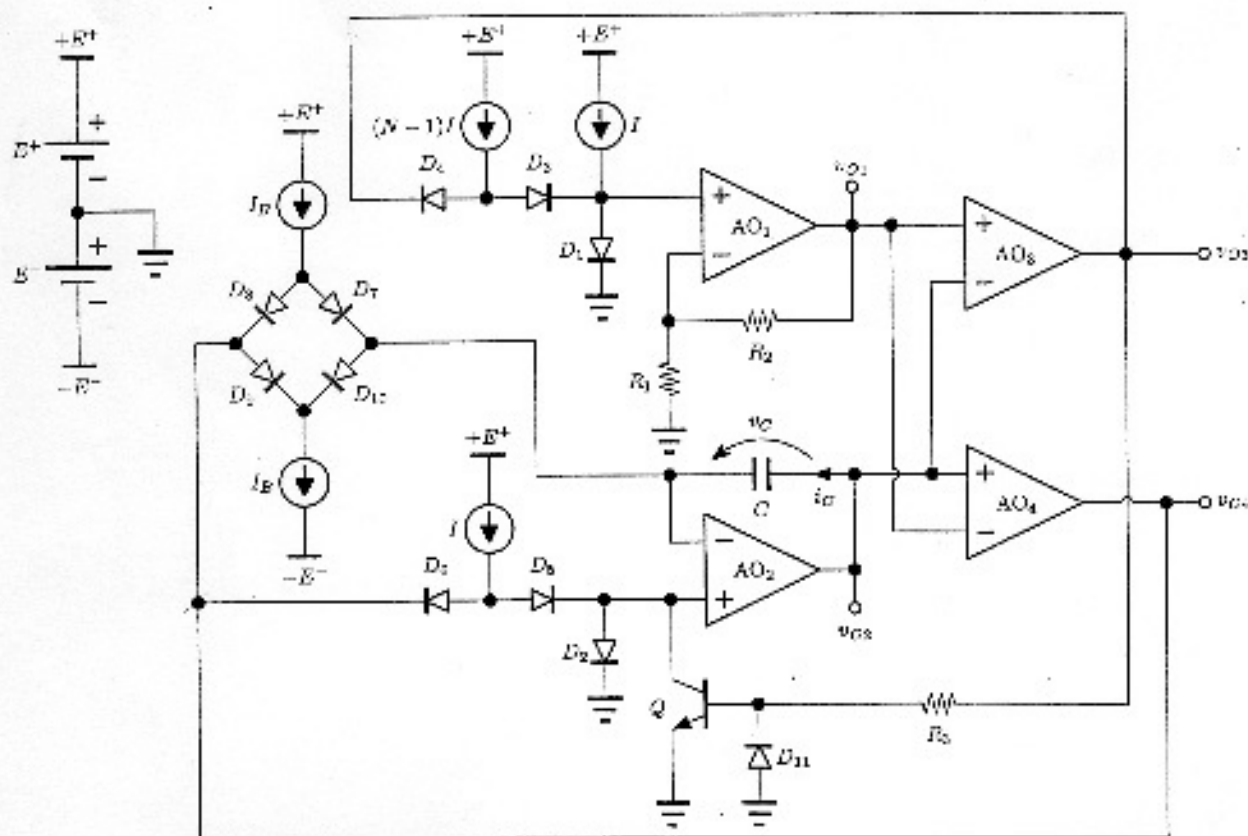


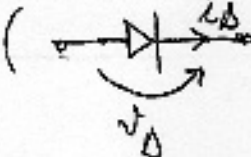
TT 2019

Problema nr. 1

ș.l. Arcadie Cracan, conf. Neculai Cojan, ETTI, Iași



În circuitul din figura sursele de curent continuu notate cu I , $(N-1)I$, I_E sunt ideale, diodele D1-D11 au caracteristica exponențială, tranzistorul Q are tensiunea de saturare $U_{CESat}=0$, amplificatoarele operationale AO1-AO4 sunt ideale și alimentate cu sursă dublă (E^+ și E^-).



$$i_D = I_S e^{v_D/V_T}$$

Se cere:

1. Determinați expresiile tensiunii din ieșirea AO1, notată v_{O1} , în funcție de v_{O3} .
2. Determinați limitele variației tensiunii v_C de la bornele condensatorului (v_{Cmax} , v_{Cmin}).
3. Desenați forma de undă a tensiunii v_{O2} și calculați valorile extreme ale acesteia.

Rezolvare Problema 1, 29 mart 2019, Buc

2p 1. Tensiunea v_{03} poate fi $v_{OH} (= +E^+)$ sau $v_{OL} (= -E^-)$ deoarece AO₃ este ideal.

Pt $v_{01} > v_{02} \rightarrow v_{03} = v_{OH} \rightarrow b_4 = \text{off}, b_3 = \text{on}, b_1 = \text{on}, I_{D1} = nI$

$$v_{OH} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_T \ln \frac{nI}{I_S}$$

Pt $v_{01} < v_{02} \rightarrow v_{03} = v_{OL} \rightarrow b_4 = \text{on}, b_3 = \text{off}, b_1 = \text{on}, I_{D1} = I$

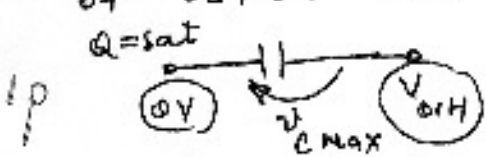
$$v_{OL} = V_T \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \ln \frac{I}{I_S}$$

4p 2. Circuitul format din puntea cu diode, I₀, AO2 și AO4 generează semnal triunghiular în ieșirea v_{02} și dreptunghiular în ieșirea v_{04} . Tensiunea v_{04} este fie v_{OH} fie v_{OL} .

1p Pt $v_{04} = v_{OH} \rightarrow b_8 = \text{off}, b_9 = \text{on}, b_7 = \text{on}, b_{10} = \text{off}, i_C = -I_0, Q = \text{off}$

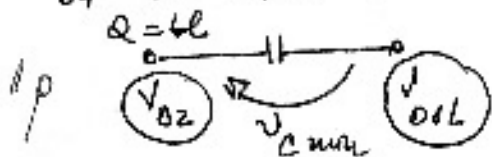
1p Pt $v_{04} = v_{OL} \rightarrow b_8 = \text{on}, b_9 = \text{off}, b_7 = \text{off}, b_{10} = \text{on}, i_C = +I_0, Q = \text{sat}, v_{C\text{sat}} = 0$

Pt $v_{04} = v_{OL}, v_{03} = v_{OH}$, C se încarcă până când $v_{02} = v_{OH}$

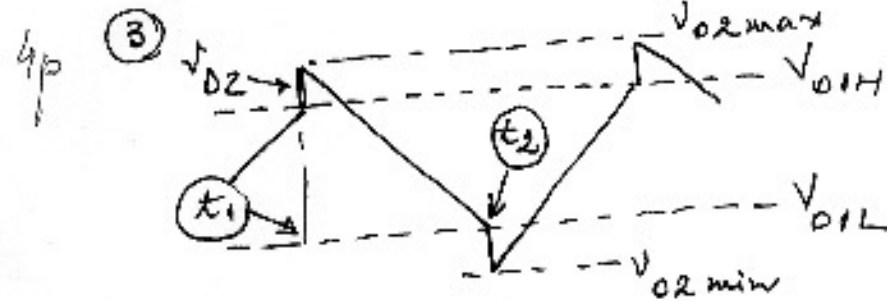


$$v_{C\text{max}} = v_{OH} - 0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_T \ln \frac{nI}{I_S}$$

Pt $v_{04} = v_{OH}, v_{03} = v_{OL}$, C se descarcă până când $v_{02} = v_{OL}$



$$v_{C\text{min}} = v_{OL} - v_{D2} = \frac{R_2}{R_1} V_T \ln \frac{I}{I_S}$$



4p { variație liniară 0,5p
valori $v_{O2\text{max}}, v_{O2\text{min}}$ 0,5p
salturi de nivel 1p
salturi calculate 2p

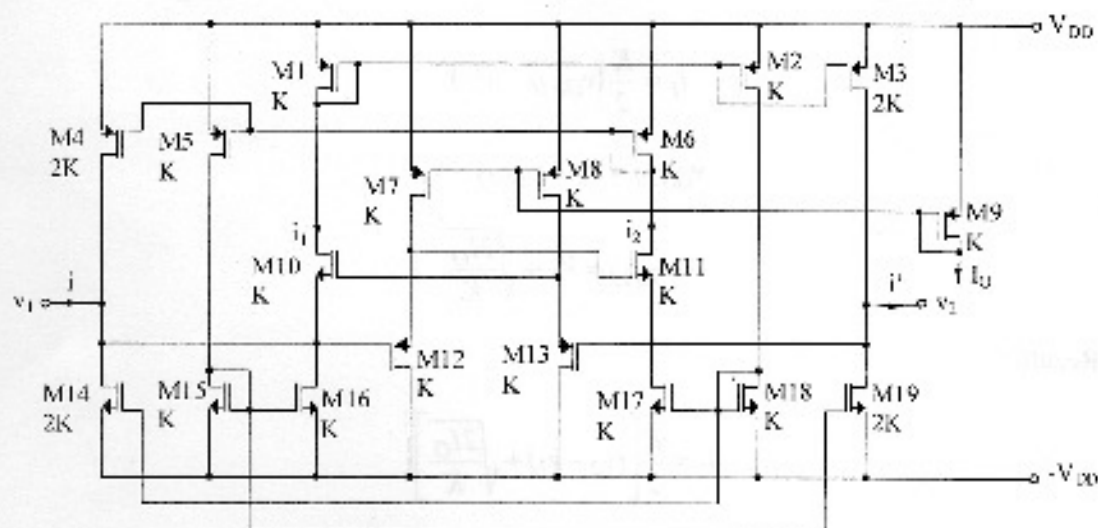
În momentul t_1 , Q se blochează, $v_{I2}^+ = v_{D2}$, ieșirea trece prin salt la valoarea $v_{O2\text{max}} = v_{OH} + v_{D2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_T \ln \frac{nI}{I_S} + V_T \ln \frac{I}{I_S}$

În momentul t_2 , Q se blochează, $v_{I2}^+ = 0$, saltul negativ duce din intrarea ④ a AO2 (duce de la v_{D2} la zero) apare în ieșirea v_{02} în baza tensiunii comutației:

$$v_{O2\text{min}} = v_{OL} - v_{D2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_T \ln \frac{I}{I_S} - V_T \ln \frac{I}{I_S} = \frac{R_2}{R_1} V_T \ln \frac{I}{I_S}$$

Problema 2 - prof.dr.ing. Cosmin Radu POPA (UPB)

Se consideră circuitul din figura următoare. Toate tranzistoarele sunt identice (cu excepția tranzistoarelor M3, M4, M14 și M19, care au factorii de aspect de 2 ori mai mari decât ai celorlalte tranzistoare). I_O reprezintă un curent constant, aplicat din exterior. Toate tranzistoarele sunt polarizate în saturație, prezentând o dependență a curentului de drenă de tensiunea grilă-sursă exprimată prin relația $I_D = (K/2)(V_{GS} - V_T)^2$, K și V_T fiind parametri ai tranzistorului MOS.



- 2p a. Să se determine expresiile curenților i și i' ca funcție de curenții i_1 și i_2 ;
- 6p b. Să se determine expresiile curenților i și i' ca funcție de potențialele v_1 și v_2 ;
- 2p c. Să se determine expresia mărimii ce caracterizează funcționarea circuitului.

Rezolvare

a. Expresia curentului i este:

$$i = i_{D14} + i_{D16} - i_{D4} - i_{D1}$$

Dar $i_{D4} = 2i_2 i_{D16} - i_2 i_{D14} = 2i_1 i_{D1} = i_1$. Rezultă:

$$i = i_1 - i_2$$

Similar:

$$i' = i_1 - i_2$$

b.

$$i_1 = \frac{K}{2} (v_{GS16} - V_T)^2$$

$$v_{GS16} = v_2 + v_{SG12} - v_1$$

$$v_{SG12} = V_T + \sqrt{\frac{2I_O}{K}}$$

Rezultă:

$$i_1 = \frac{K}{2} \left[(v_2 - v_1) + \sqrt{\frac{2I_O}{K}} \right]^2$$

Deci:

$$i_1 = I_O + \frac{K}{2} (v_1 - v_2)^2 - \sqrt{2KI_O} (v_1 - v_2)$$

Similar:

$$i_2 = I_O + \frac{K}{2} (v_1 - v_2)^2 + \sqrt{2KI_O} (v_1 - v_2)$$

$$i = i' = -\sqrt{8KI_O} (v_1 - v_2)$$

c.

$$R_{ECH} = \frac{v_1 - v_2}{i} = -\frac{1}{\sqrt{8KI_O}}$$

Problema 3 - conf.dr.ing. Stefan Marinca

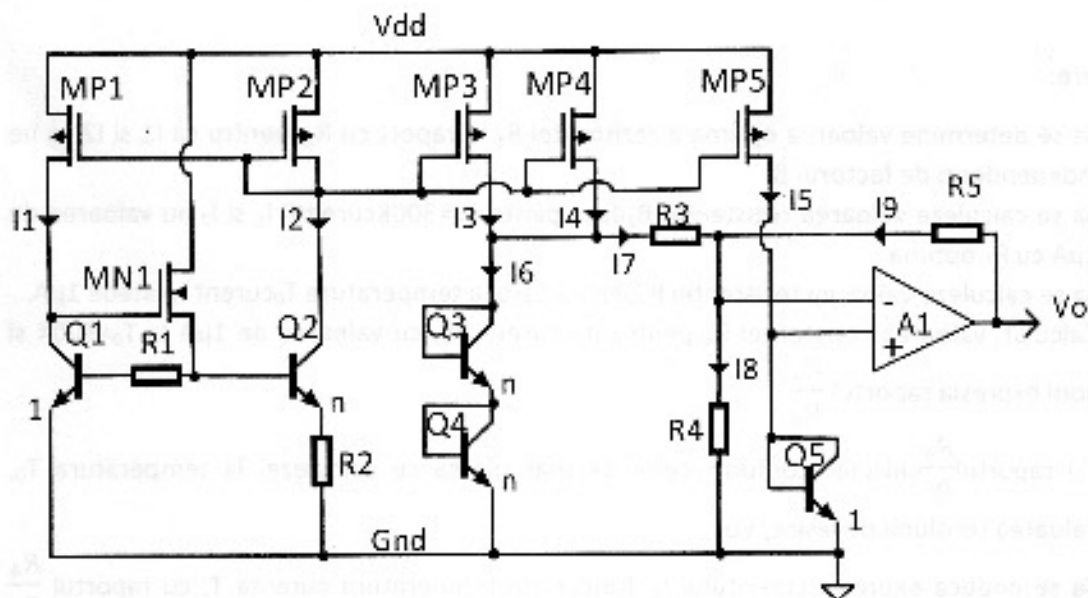


Fig.1

În circuitul din Fig.1 tranzistoarele bipolare Q1 și Q5, au arii de emitor unitare iar Q2, Q3, Q4, au arii de emitor de n ori aria unitară; tranzistoarele PMOS, MP1-MP5, sunt identice, cu rezistența de ieșire infinită; amplificatorul operațional, A, este ideal; toate rezistoarele sunt ideale (independente de temperatură).

Tensiunile bază-emitor ale tranzistoarelor bipolare, Q1 - Q5, depind de temperatura absolută, T , conform relației (1):

$$V_{be} = V_{G0} - (V_{G0} - V_{be0}) * \frac{T}{T_0} \quad (1)$$

unde V_{be} este tensiunea bază-emitor a tranzistorului corespunzător, la temperatura curentă T , iar V_{be0} este tensiunea bază-emitor a aceluiași tranzistor la o temperatură de referință, T_0 ; V_{G0} este tensiunea bandgap extrapolată la temperatura zero absolut.

Se dau $V_{G0} = 1.2V$; $T_0 = 300K$; tensiunea termică, $V_{tn}(T_0) = \frac{kT_0}{q} = 26mV$, tensiunea bază-emitor a tranzistorului unitar, la T_0 , $V_{be10} = 0.6V$; tensiunea bază-emitor a tranzistoarelor cu arie de emitor mare, la T_0 , se notează cu V_{be0} ; La temperatura curentă, T , tensiunile bază-emitor ale celor două tipuri de tranzistoare se notează cu V_{be1} , respectiv V_{be0} ; raportul n al ariilor de emitor este $n=8$; $\ln(8)=2.079$.

Se cere:

- Sa se determine valoarea optima a rezistentei R_1 in raport cu R_2 , pentru ca I_1 si I_2 sa fie independenti de factorul β .
- Sa se calculeze valoarea rezistentei R_2 daca pentru $T_0=300K$ curentii I_1 si I_2 au valoarea de $1\mu A$ cu R_1 optima.
- Sa se calculeze valoarea rezistentei R_3 pentru care la temperatura T_0 curent I_2 este de $1\mu A$.
- Calculati valoarea rezistentei R_4 pentru un curent, I_8 , cu valoarea de $1\mu A$ la $T_0=300K$ si apoi expresia raportul $\frac{R_4}{R_3}$.
- Cu raportul $\frac{R_4}{R_3}$ calculat conform celor de mai sus sa se calculeze, la temperatura T_0 , valoarea tensiunii de iesire, V_o .
- Sa se deduca expresia curentului I_3 , functie de temperatura curenta T , cu raportul $\frac{R_4}{R_3}$ calculat conform celor de mai sus.
- Sa se reprezinte grafic (calitativ) variatia cu temperatura a curentilor I_1-I_3 .
- Sa se determine expresia tensiunii de iesire functie de temperatura, cu raportul $\frac{R_4}{R_3}$ conform celor de mai sus, si apoi conditia pentru care tensiunea de iesire este independenta de tempera, respectiv valoarea rezistentei R_2 pentru cazul cu valorile numerice date.

Rezolvare

a) 1p

Pe ochiul de circuit cecuprinde tensiunile baza-emitor ale tranzistoarelor Q1 si Q2, se poate scrie:

$$V_{be1} + I_b * R_1 = V_{be2} + I_c * R_2 = V_{be2} + (I_c + I_b) * R_2 \quad (2)$$

Pentru $R_1=R_2$ curentii de poarizare I_1-I_3 depind doar de tensiunea diferenta baza-emitor a tranzistoarelor Q1, Q2:

$$I_c(Q2) = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5 = \frac{\Delta V_{be}}{R_2}; \quad \Delta V_{be} = V_{be1} - V_{be2} \quad (3)$$

b) 1p

Pentru $R_1=R_2$ si $I_1=I_2=1\mu A$, la tempeartura T_0 , se obtine:

$$R_2 = \frac{\Delta V_{be0}}{I_2} = \frac{kT_0}{q} * \ln(8) * \frac{1}{I_2} = \frac{0.054V}{1\mu A} = 54k\Omega$$

c) 1p

Valoarea rezistentei R_3 , pentr $I_7=1\mu A$ la T_0 , este:

$$R_3 = \frac{V_{R3}}{I_7} = \frac{2V_{be10} - V_{be10}}{I_7} = \frac{V_{be10} - 2\Delta V_{be0}}{I_7} = \frac{0.6V - 2 * 0.054V}{1\mu A} = 492k\Omega$$

d) 1p

Pentru $I_8=1\mu A$ la T_0 rezulta:

$$R_4 = \frac{V_{be10}}{I_8} = \frac{600mV}{1\mu A} = 600k\Omega \quad (4)$$

Raportul $\frac{R_1}{R_3}$ este:

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{V_{be10}}{V_{be10} - 2\Delta V_{be0}} \quad (5)$$

e) 1p

La temperatura T_0 curentul prin rezistenta de reactie, I_c , este nul (curentii I_7 si I_8 sunt egali si de sens contrarau). Cu A deamplificare infinita si curent de intrare nul, rezulta tensiunea de iesire, V_o :

$$V_o(T_0) = V_{be01} + R_3 * I_9(T_0) = V_{be01} \quad (6)$$

respectiv $V_o(T_0)=0.6V$, pentru cazul cu valorile numerice date.

f) 2p

Expresia curentului prin rezistenta R_2 , cu sensul de la iesirea amplificatorului spre borna inversoare, este:

$$I_9(T) = \frac{V_{be1}}{R_4} - \frac{V_{be1} - 2\Delta V_{be}}{R_3} = \frac{V_{be1}}{R_4} \cdot \left(1 - \frac{R_4}{R_3}\right) + \frac{2\Delta V_{be}}{R_3} \quad (7)$$

Din (5) rezulta:

$$R_3 = R_4 \cdot \frac{V_{be10}}{V_{be10} - 2\Delta V_{be0}}; \quad 1 - \frac{R_4}{R_3} = -\frac{2\Delta V_{be0}}{V_{be10} - 2\Delta V_{be0}} \quad (8)$$

$$I_9(T) = -\frac{V_{GD} - (V_{GD} - V_{be10}) \cdot \frac{T}{T_0}}{R_4} \cdot \frac{2\Delta V_{be0}}{V_{be10} - 2\Delta V_{be0}} + \frac{2\Delta V_{be0} \cdot \frac{T}{T_0} \cdot V_{be10}}{R_4 \cdot (V_{be10} - 2\Delta V_{be0})} \quad (9)$$

respectiv:

$$I_9(T) = \frac{V_{GD}}{R_4} \cdot \frac{2\Delta V_{be0}}{V_{be10} - 2\Delta V_{be0}} \cdot \left(\frac{T}{T_0} - 1\right) \quad (10)$$

g) 1p

Pentru cazul cu valorile numerice date, la temperatura T_0 , curenții I_1-I_8 au toți valoarea de $1\mu A$. La aceeași temperatură curentul I_9 este nul. Variațiile cu temperatura a curenților I_1-I_9 sunt reprezentate în graficul din Fig.2

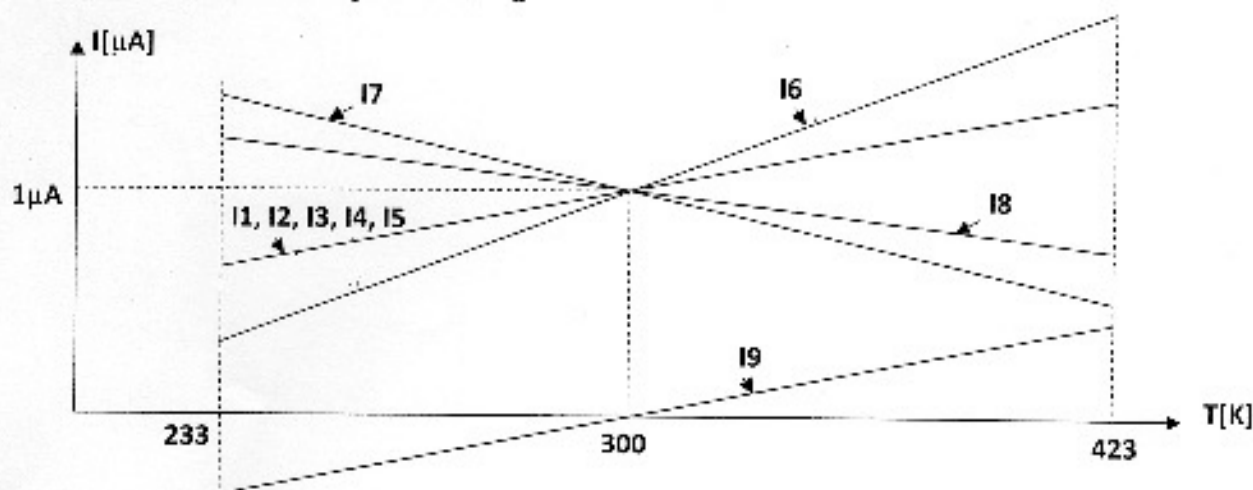


Fig.2

h) 2p

Ținând seama de cele de mai sus tensiunea de ieșire devine:

$$V_0(T) = V_{GD} - (V_{GD} - V_{be10}) \cdot \frac{T}{T_0} + \frac{V_{GD} \cdot 2\Delta V_{be0}}{V_{be10} - 2\Delta V_{be0}} \cdot \left(\frac{T}{T_0} - 1\right) \cdot \frac{R_5}{R_4} \quad (12)$$

sau

$$V_0(T) = V_{G0} - \frac{V_{G0} \cdot 2\Delta V_{be0}}{V_{be10} - 2\Delta V_{be0}} + \frac{R_5}{R_4} - \frac{T}{T_0} \cdot \left[V_{G0} - V_{be10} - \frac{V_{G0} \cdot 2\Delta V_{be0}}{V_{be10} - 2\Delta V_{be0}} + \frac{R_5}{R_4} \right] \quad (11)$$

Pentru ca tensiunea de iesire sa fie independenta de temperatura este necesar ca:

$$\frac{V_{G0} \cdot 2\Delta V_{be0}}{V_{be10} - 2\Delta V_{be0}} + \frac{R_5}{R_4} = V_{G0} - V_{be10} \quad (12)$$

sau:

$$\frac{R_5}{R_4} = \frac{(V_{G0} - V_{be10}) \cdot (V_{be10} - 2\Delta V_{be0})}{V_{G0} \cdot 2\Delta V_{be0}} \quad (13)$$

pentru care tensiunea de iesire este:

$$V_0(T) = V_{G0} - V_{G0} + V_{be10} = V_{be10} \quad (14)$$

adica aceeaasi cu valoarea de la temperatura T_0 . Rezulta ca pentru $\frac{R_5}{R_4}$ calculat cu (15) tensiunea V_0 este independenta de temperatura. Pentru cazul cu datele numerice date rezulta:

$$R_5 = 492k\Omega + \frac{(1.2V - 0.6V) \cdot 0.6V}{1.2V \cdot 0.108V} = 1.366M\Omega$$