Seminar 8

STABILIZATOARE LINIARE

P1 Pentru circuitul din fig. 1 se cunosc:

D_z { $V_z = 5V$; $I_{z,min} = 5mA$; $I_{z,max} = 50mA$; $R_z \simeq 10\Omega$; $\frac{\Delta V_z}{\Delta T} \simeq 0 \ mV/^oC$

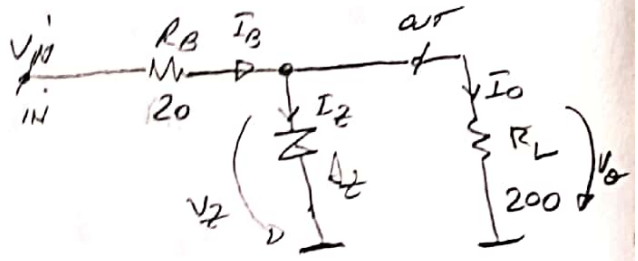


Fig. 1

Se cer.:

1. Tipul stabilizatorului
2. Tensiunea de ieșire (V_o) și curentii prin circuit pentru $V_{in} = 6V$ și $R_L = 200\Omega$.
3. Tensiunea de intrare minimă ($V_{in,min}$) pentru $R_L = 200\Omega$.
4. Tensiunea de intrare maximă ($V_{in,max}$) pentru $R_L = 200\Omega$.
5. Factorul de stabilizare cu temperatura ($S_T = \frac{\Delta V_o}{\Delta T}$)
6. Valoarea minimă a rezistenței de sarcină, $R_{L,min}$ pt. $V_{in} = 6V$.
7. Valoarea maximă a rezistenței de sarcină, $R_{L,max}$ pt. $V_{in} = 6V$.
8. Factorul de stabilizare cu tensiunea $S = \frac{V_i}{V_o}$ pt $R_L = 200\Omega$.

Rezolvare

1) Circuitul din fig. 1. este un stabilizator parametric cu diodă Zener. S.p.d.v al dispunerii elementelor el. reglaj este un stab cu E.R. paralele (D_z).

2.] Pe fig. 1 se observă că $\boxed{V_0 = V_z = 5V}$

Curentul de ieșire, $I_0 = \frac{V_0}{R_L} = 25\ mA$

Curentul prin rezistorul R_B este: $I_B = \frac{V_{IN} - V_0}{R_B} = \frac{1}{0,02}\ mA = 50\ mA$

Se observă: $I_z = I_B - I_0 = 25\ mA$

$I_z > I_{z,min} \Rightarrow D_z$ este în stabilizare și $V_z = ct.$

3.] Dacă rezistența de sarcină se micșorează (mărește) valoarea ct. ($R_L = 200\ \Omega$) ceea ce implică $I_0 = \frac{V_0}{R_L} = ct.$ atunci, tensiunea de ieșire duce la creșterea curentului I_B.

Cum $I_B = I_z + I_0$ și $I_0 = ct.$ rezultă că, creșterea lui I_B duce la creșterea lui I_z.

Valoarea limită a lui I_z pentru care $V_0 = V_z = ct$ este $I_{z,min}$.

Se observă: $V_{I,min} = V_0 + R_B(I_0 + I_{z,min}) = 5,6V$

4.] Pt. o rezistență de sarcină ct. și $V_0 = ct$ (stabilizată) creșterea tensiunii de ieșire duce la creșterea I_z.

Valoarea maximă admisă de D_z, conform datelor problemei, este $I_{z,max} = 50\ mA$. Se observă:

$$V_{I,max} = V_0 + R_B(I_0 + I_{z,max}) = 9,5V$$

Dacă am reprezenta caracteristica $V_0 = f(V_I)$ rezultă, pe baza datelor calculate, Fig. 2.

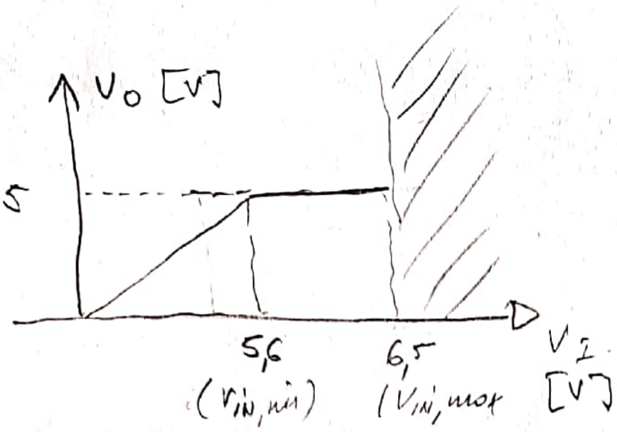


Fig. 2.

Comentarii:

Calculele realizate la punctele 3 și 4 arată că pentru un resistor de sarcină cu valoare de 200Ω beneficiem de o tensiune de ieșire $V_0 = ct$ pentru $V_{IN} \in [5,6 \dots 6,5V]$

O tensiune de intrare sub $V_{IN,min}$ nu va putea menține $V_0 = ct.$ deoarece dioda zener va lucra sub $I_{Z,min}$, deci, nu va fi în stabilizare.

Depășirea $V_{I,max}$ va duce la depășirea curentului maxim suportat de D_Z, deci, la distrugerea acesteia. (Un factor limitator pentru $V_{I,max}$ este și puterea maximă suportată de R_B – nu a fost luată în calcul deoarece nu a fost specificată în datele problemei).

5] Factorul de stabilizare cu temperatura este:

$$S_T = \frac{\Delta V_0}{\Delta T} = \frac{\Delta V_Z}{\Delta T} \cong 0\, mV/°C$$

↑ stabilizatorul este termocompensat

Dacă temperatura variază (într-un interval dat - pt. electronică de larg consum $-30 \dots 120\,°C$) => $V_0 = ct$ ceea ce este de dorit.

6.] Dacă $V_0 = ct$ (pentru a-și păstra funcția de stabilizator) și R_L variază => că variază curentul prin D_Z.

Cum în zona de $V_o = ct$ pentru un $V_{IN} = ct = 6V$ rezultă

$$I_B = \frac{V_{IN} - V_o}{R_B} = 50\,mA$$

$$I_B = I_Z + I_{Lo} = I_Z + \frac{V_o}{R_L}$$

La curent, valoarea minimă a lui R_L va fi impusă de curentul minim suportat de D_Z, $I_{Z,min} = 5mA$

$$I_{O,max} = I_B - I_{Z,min} = 45mA$$

$$R_{L,min} = \frac{V_o}{I_{O,max}} \approx 111,1\,\Omega$$

7.| Valoarea maximă a lui R_L, $R_{L,max}$ este impusă de curentul max. suportat de D_Z, $I_{Z,max}$:

$$I_{O,min} = I_B - I_{Z,max} = 0$$

$$R_{L,max} = \frac{V_o}{I_{O,min}} = \infty$$

} Stabilizatorul poate funcționa cu ieșirea în gol

Ce se întâmplă dacă $R_L = 0$ (ieșire în scurtcircuit)?

8.| Factorul de stabilizare cu tensiune de ondulație

În cazul unui stabilizator, tensiunea de ieșire poate fi variabilă în funcție de două motive:

a) O variație în domeniul $[V_{IN,min}, V_{IN,max}]$ datorată variației în funcție de parametrii rețelei care furnizează V_{IN} și a tensiunii rețelei care furnizează energie. Această variație este aleatoare.

b) O variație periodică dată de redresorul care face conversia tensiunii alternative în tensiune continuă (RIPLU)

În Fig. 3 este dată o evoluție în timp a v_{in} pentru un stab. Se observă că pe lângă variația datorată lui v_{in}, este suprapusă și semnal de amplitudine mică, periodic - riplul.

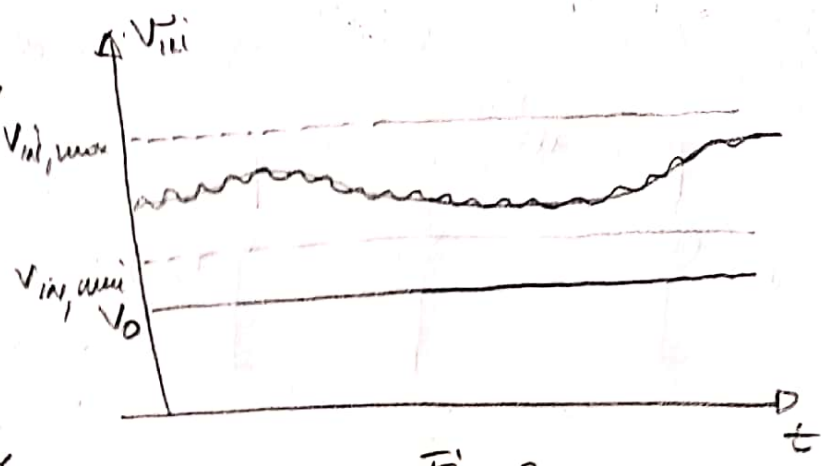


Fig. 3.

Stabilizatorul trebuie să rejecteze pe cât este posibil și să ofere la ieșire o tensiune V_o constantă.

Pentru a putea studia riplul se înlocuiește în locul lui V_{in} o sursă de semnal mic, alternativ - v_i, ca în fig. 4.

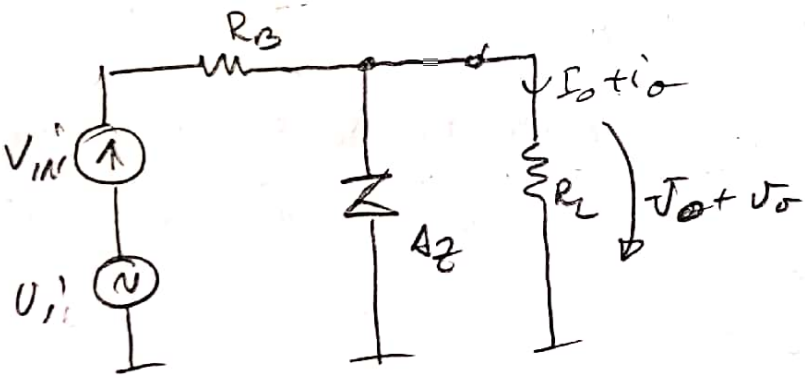


Fig. 4

Parametrul dinamic al stabilizatorului care arată cât de bine rejectează un stab. comp. variabilă a semnalului de la intrare se află $S = \frac{v_i}{v_o}$

Un stab ideal rejectează complet comp. variabilă a semnalului de la intrare, la ieșire, deci $v_i \neq 0 \Rightarrow v_o = 0 \Rightarrow S = \infty$.

Le stabilizatoarele reale $S < \infty$ dar se caută primii proiectori ca valoarea lui S să fie cât mai mare.

Pentru evaluarea lui S pentru stab. din Fig. 4

se desenează schema de c.a. din fig. 5.

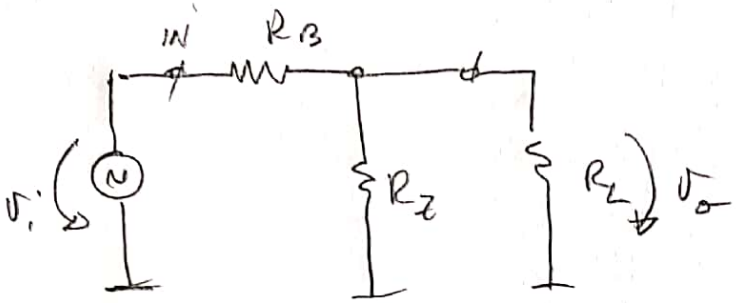


Fig. 5.

$$V_o = \frac{R_2 \| R_L}{R_2 \| R_L + R_B} \cdot V_i$$

$$S = \frac{V_i}{V_o} = \frac{R_2 \| R_L + R_B}{R_2 \| R_L} = 1 + \frac{R_B}{R_2 \| R_L}$$

Cum $R_2 \simeq 10\Omega$ și $R_L = 200\Omega \Rightarrow R_2 \| R_L \simeq R_2 = 10\Omega$

Deci, $S = 1 + \frac{20}{10} = 3$

S este de valoare foarte redusă. Pentru stabilirea lui S, fără a modifica parametrii staticei ai etajului se pot face următoarele:

a) Utilizând o diodă Zener în R_2 cât mai mică (de exemplu, de valoare a lui R_2 de 1Ω din loc în loc $R_2 = 2V$

b) Utilizarea unui condensator montat în paralel pe ieșirea stabilizatorului ca în fig. 6.

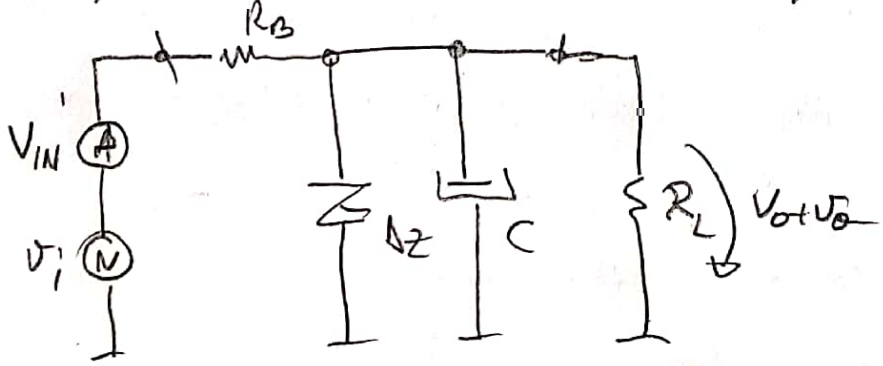


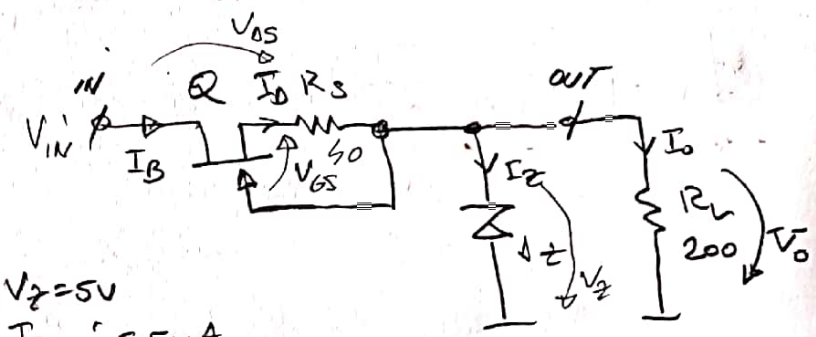
Fig. 6

Prin adăugarea acestui condensator, $S = 1 + \frac{R_B}{R_2 \| R_L \| \underline{Z}_C}$

Deoarece $C \to \infty \Rightarrow \underline{Z}_C \to 0 \Rightarrow S \to \infty$

Pe discuțiile rude nu avem la dispoziție $C = \infty$ (C_{cu}) Co urmare, se alege o valoare a lui C suficient de mare astfel încât ne se obțină un S multumitor.

P2.



Pentru stabilirea ului Fig. 7.

se cunoaște.

$$Q\begin{cases} I_{DSS} = 200\,mA \\ V_T = -4V \\ r_{dc} = r_D = 10\,k\Omega \\ V_{DS,max} = 25V \end{cases}; \quad \Delta_Z\begin{cases} V_Z = 5V \\ I_{Z,min} = 5\,mA \\ I_{Z,max} = 50\,mA \\ R_Z \simeq 10\,\Omega \\ \frac{\Delta V_Z}{\Delta T} = 0\,mV/^\circ C \end{cases}$$ Fig. 7.

Cerințele sunt identice cu cele de la P1.

1.] - Stabilizator parametric cu diodă Zener și sursă de curent constant (Q, R_S).

2] $V_o = V_Z = 5V$

$I_o = \frac{V_o}{R_L} = 25\,mA$

$$\begin{cases} I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \\ V_{GS} = -R_S \cdot I_D. \end{cases}$$

$$\Downarrow$$

$$-\frac{V_{GS}}{R_S} = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2.$$

Prin rezolvarea ec. de grad II rezultă: $V_{GS} = -2V$, $\underline{I_D = 50\,mA = ct.}$

Co urmare $I_Z = I_D - I_o = 25\,mA$.

Se observă că pentru un $V_i \in [V_{IN,min}, V_{IN,max}]$ și $R_L = ct$, curentul prin Δ_Z rămâne ct deci nu face ca efectul lui R_Z să fie eliminat $\Rightarrow$ V_Z rămâne mai stabil față de P1

3.] $V_{IN,min}$ este tensiunea la care $V_O = ct = 5V$ și Q este la limita saturației. $V_{DS,min} = V_{DS\,sat} = V_{GS} - V_T = 2V$

Deci, $V_{IN,min} = V_{DS,min} + R_S \cdot I_D + V_O = 9V$

4.] $V_{IN,max}$ este egală cu tensiunea maximă suportată de tranzistorul Q, $V_{DS,max}$

$$V_{IN,max} = V_{DS,max} + R_S \cdot I_D + V_O = 32V.$$

5.] Factorul de stabilizare în temp:

$$S_T = \frac{\Delta V_O}{\Delta T} = \frac{\Delta V_Z}{\Delta T} \cong 0\,mV/°C$$

6.] Valoarea minimă a rezistenței de sarcină în calculul parametrilor mod ca în P_1.

$$R_{L,min} \cong 111{,}1\,\Omega$$

7.] Val maximă a rez. de sarcină - identic P_1.

$$R_{L,max} = \infty \quad (\text{stab. poate funcț. în icirc. în gol. } I_D = 0)$$

OBSERVAȚIE:

În acest schemă din fig. 7 în cadrul calculul valorilor extreme ale R_L valoarea V_{IN} dată trebuie aceasta este în intervalul $[V_{IN,min}, V_{IN,max}]$.

În cazul P_1 (fig. 1) domeniul în care este bine ca R_L este în funcție de valoarea V_{IN}.

d) Factorul de stabilizare S. se calculează pe schema de c.a. din fig. 8.

- r_e este rezistența echivalentă în c.a. a grupului Q, R_S. (fig. 9, 10).

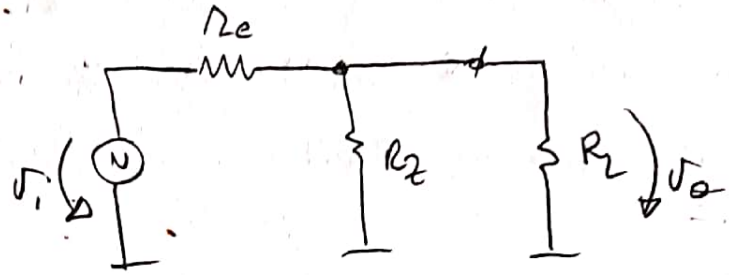
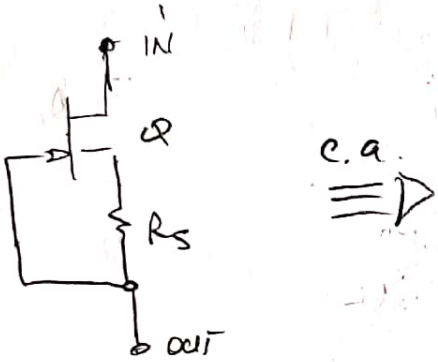


Fig. 8.



c.a. ⟹

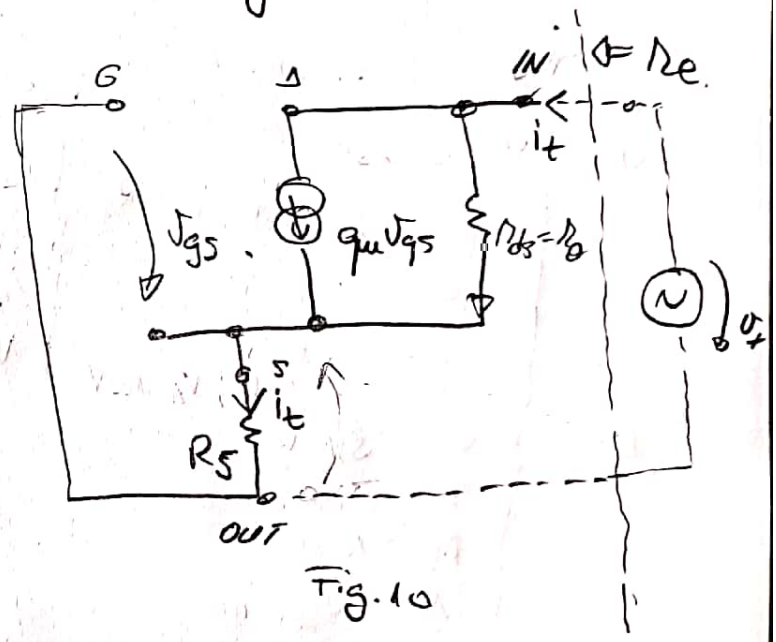


Fig. 9

Fig. 10

$$r_e = \frac{v_t}{i_t} = \frac{+v_{gs}\left[1 + \left(\frac{1}{R_S} + g_m\right) r_{ds}\right]}{+\frac{v_{gs}}{R_S}}$$

$$i_t = \frac{-v_{gs}}{R_S}$$

$$v_t = -v_{gs} + \left(-\frac{v_{gs}}{R_S} - g_m v_{gs}\right) r_{ds}$$

$$r_e = R_S + \left(1 + g_m R_S\right) \cdot r_{ds} \; -$$

$$g_m = \frac{2 I_{DSS}}{|V_T|}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right) =$$

$$r_e = 0{,}04K + \left(1 + 50K\Omega^{-1} \cdot 0{,}05K\Omega\right) \cdot 10K\Omega =$$

$$g_m = 100\,\frac{mA}{V}\left(1 - 0{,}5\right) = 50K\Omega^{-1}$$

$$r_e \cong 30K\Omega$$

- Cu urmare $S = 1 + \frac{r_e}{R_2 \| R_L} \cong 1 + \frac{r_e}{R_2} \cong \underline{3000}$

!! Pe acest circuit (sz) prin introducerea în locul lui a grupului Q, R_S factorul de stabilizare

crești de la 3 la 3000 (3 ordine de mărime)

O îmbunătățire suplimentară a lui S se poate obține prin adăugarea în paralel cu D_Z a unui condensator. (vezi analiza realizată la P2)

P3/ Componentele stabilizatorului din Fig. 11 au parametrii:

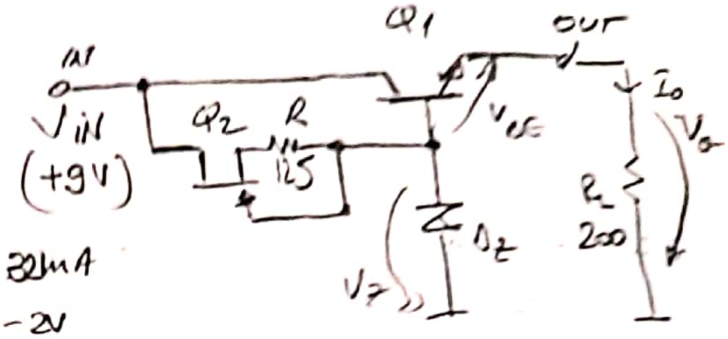


Fig. 11.

Q_1: $V_{BE} \approx 0,6V$; $I_{C,max} = 250mA$; $P_{D,max} = 500mW$; $\beta_F = \beta_0 = 100$; $V_{CE,max} = 25V$; $V_A = 100V$

Q_2: $I_{DSS} = 32mA$; $V_T = -2V$; $r_o = r_{ds} = 50k\Omega$; $V_{DS,max} = 25V$

D_Z: $V_Z = 5,6V$; $I_{Z,min} = 5mA$; $R_Z \cong 10\Omega$; $\frac{\Delta V_Z}{\Delta T} \cong 0\ mV/^\circ C$; $I_{Z,max} = 50mA$

Cerințele sunt identice cu cele de la P1.

9) $R_o = ?$ (la semnal mic)

10) Să se explice funcționarea stab.

1./ Este un stab. parametric cu ERS (Q_1) și referință realizată pe D_Z.

Q_2, R este o sursă de curent constant care alimentează baza tranzistorului Q_1 și D_Z.

2./ $V_O = V_Z - V_{BE} = 5V$

$I_O = \frac{V_O}{R_L} = \frac{5}{0,2} mA = 25mA$

$$\begin{cases} I_{D2} = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right)^2 \\ V_{GS2} = -R \cdot I_{D2} \end{cases} \Rightarrow V_{GS2} = -1V, \quad I_D = 8mA$$

$I_{D2} = I_Z + I_{B1} = I_Z + \frac{I_{C1}}{\beta} \Rightarrow I_Z = I_{D2} - \frac{I_{C1}}{\beta} \cong I_{D2} = 8mA$

$I_Z > I_{Z,min}$ Dstab

$V_{CE1} = V_{IN} - V_{OUT} = 4V > V_{BE}$ RAN

$V_{DS2} = V_{IN} - V_Z - R \cdot I_{D2} = 3V > V_{GS} - V_T$ SAT.

3.) $V_{IN,min} = ?$

$V_{IN,min1} = V_0 + V_{CE1,min} = V_0 + V_{BE1} = 5{,}6V.$

$V_{IN,min2} = V_0 + I_{D2} \cdot R + V_{DS,min2} = V_0 + I_{D2} \cdot R + V_{DS,sat2} = 7{,}6V$

$V_{IN,min} = \max\{V_{IN,min1}, V_{IN,min2}\} = 7{,}6V$

4) $V_{IN,max} = ?$

$V^{P}_{CE,max1} = \frac{P_{0,max}}{I_C} = \frac{500mW}{25mA} = 20V$

$V_{IN,max1} = V_0 + V_{CE,max1} = 30V$

$V_{IN,max2} = V_0 + V^{P}_{CE,max1} = 25V$

$V_{IN,max3} = V_0 + V_{BE} + R \cdot I_{D2} + V_{DS,max2} = 31{,}6V$

$V_{IN,max} = \min\{V_{IN,max1}, V_{IN,max2}, V_{IN,max3}\} = 25V$

5.) $S_T = \frac{\Delta V_0}{\Delta T} = \frac{\Delta}{\Delta T}(V_Z - V_{BE}) = \frac{\Delta V_Z}{\Delta T} - \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T} = 0\frac{mV}{°C} - (-2mV/°C)$

$S_T = 2mV/°C$ → tensiunea de ieșire crește cu temp. cu $2mV/°C$. Stab. nu este termocomp.

Indicați o posibilitate de compensare termică a stab!

6.) Valoarea minimă a rez. de sarcină, $R_{L,min}$

Daca $R_L \downarrow \Rightarrow I_o \uparrow$ (V_o fix. pe porțiunea ca).

$I_{o,max1} = \beta \cdot I_{B,max}$ $\quad I_{B,max} = I_{o2} - I_{C,min} = 3mA$

$I_{o,max1} = 100 \cdot 3mA = 300mA$ $\quad I_{o,max3} = \frac{P_{D,max1}}{V_{CE1}} = \frac{P_{D,max}}{V_{in} - V_o} =$

$I_{o,max2} = I_{C,max1} = 250mA.$ $\quad = \frac{500mW}{4V} = 125mA$

Factorul limitativ este puterea disipată maximă a tranzistorului.

Deci, $I_{o,max} = min \{ I_{o,max1}, I_{o,max2}, I_{o,max3} \}$

$$R_{L,min.} = \frac{V_o}{I_{o,max}} = 40\Omega$$

7. $R_{L,max}$ - valoarea maximă a rez. de sarcină.

Daca $R_L \uparrow \Rightarrow I_o \downarrow$ (V_o fix. pe porțiunea ct).

$I_{o,min}$ poate fi zero (ieșirea stab. în gol).

$$\Rightarrow R_{L,max} = \frac{V_o}{I_{o,min}} = \infty.$$

8. $S = ?$

Se desenează schema de c.a. ca în fig. 12.

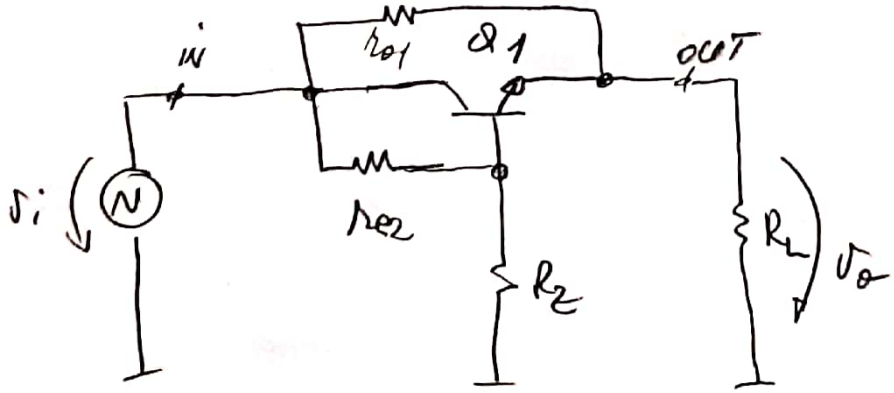


Fig. 12

Se înlocuiește tranzistorul Q_1 în circuitul real echiv. de c.a. semnal mic: și JF. (fig. 13)

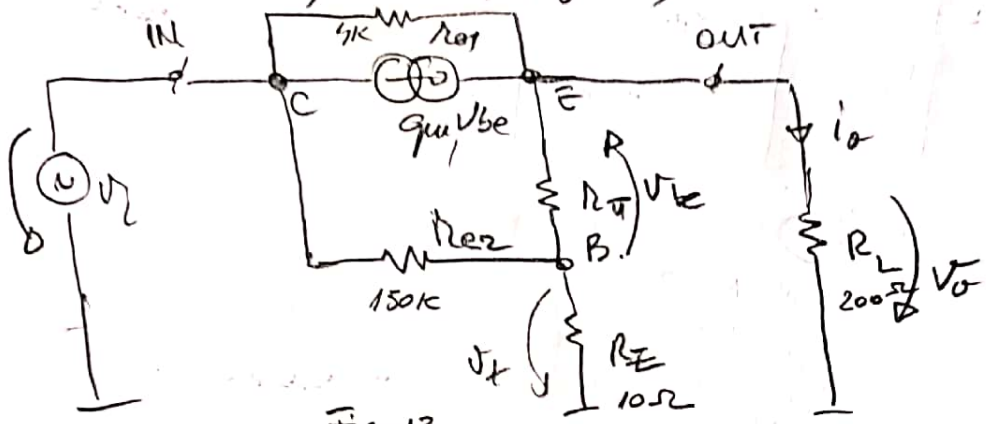


Fig. 13.

$$r_{o1} = \frac{V_A}{I_C} = \frac{100}{25}\,K\Omega = 4K\Omega$$

r_{e2} se calculează în același mod ca r_e în R_2

Deci, $r_{e2} = R' + (1 + g_{m2}R_2)\cdot r_{ds2}$ - $g_{m2} = \frac{2I_{DSS}}{|V_T|}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_T}\right) = 16K\Omega^{-1}$

$r_{e2} \cong 150K\Omega$

Raportul $\frac{v_o}{v_i}$ poate fi calculat prin metoda superpoziției sau prin utilizarea tehnicii de calcul din curs. (cap. 4)

$$i_c = g_{m1}\cdot V_{be} \cong i_o$$

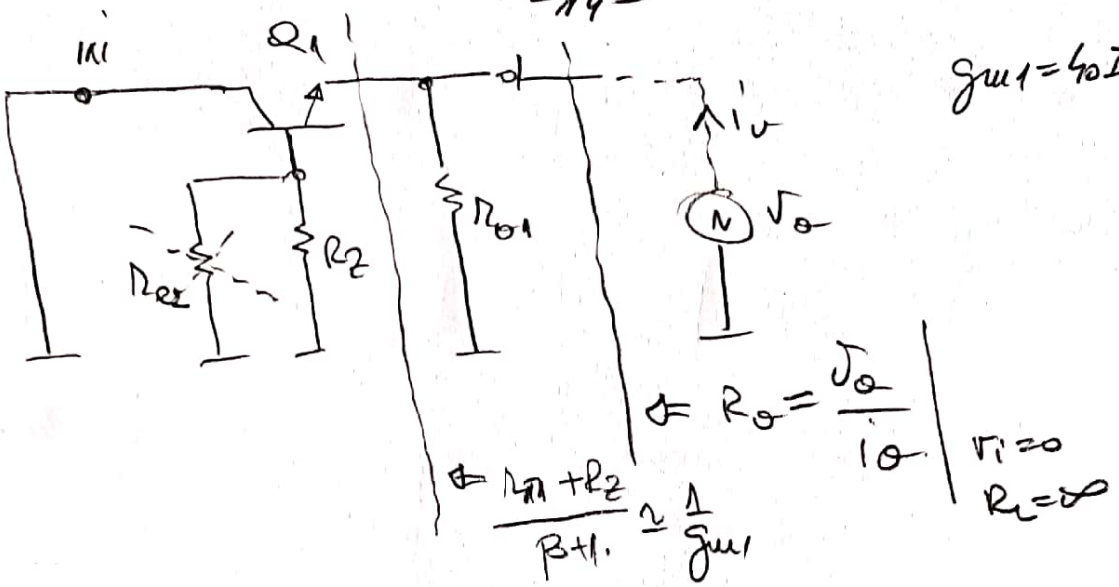
$$v_o \cong g_{m1}\cdot V_{be}\cdot R_L$$

Pe circ. din fig. 13 $v_z = v_o + v_{be} = v_{be}(1 + g_{m1}R_L) \cong v_o$

$$\frac{1}{S} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_z}\cdot\frac{v_z}{v_i} \cong \frac{v_z}{v_i} \cong \frac{R_2}{R_2 + r_{e2}}$$

$$S = 1 + \frac{r_{e2}}{R_2} \cong \frac{r_{e2}}{R_2} = \frac{150K}{0{,}01K} = 15000.$$

9.| $R_o = \left.\frac{v_o}{i_o}\right|_{\substack{v_i=0\\ R_L=\infty}}$ (vezi fig. 14)



$g_{m1} = 40 I_{C1} = 1000\ k\Omega^{-1}$

$\Rightarrow R_o = \left.\frac{V_o}{i_o}\right|_{\substack{V_i=0 \\ R_L=\infty}}$

$\Rightarrow \frac{R_{o1} + R_2}{\beta+1} \simeq \frac{1}{g_{m1}}$

$$R_o \simeq \left(\frac{1}{g_{m1}}\right) \| R_{o1} \simeq \frac{1}{g_{m1}} = \frac{1}{1000}\ K = 1\ \Omega$$

10. Funcționare

Dacă V_{IN} variază în intervalul $[V_{IN,min}, V_{IN,max}]$ în afara unui din următoarele:

Pp. că $V_{IN} \uparrow \Rightarrow V_o \uparrow$ deoarece $\begin{cases} V_o = V_Z - V_{BE} \\ V_Z = ct \\ I_C = I_S \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_{TH}}\right) \end{cases}$

$\Rightarrow I_o \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow \Rightarrow V_{BE} \uparrow \Rightarrow V_o = \overset{ct.}{V_Z} - V_{BE} \uparrow$ ↓

Rezultă că creștere a lui V_o este anulată.