

AMPLIFICATOR AUDIO DE PUTERE

2.1. TEMA DE PROIECTARE

Se referă la un amplificator de audiofrecvență de mare putere realizat dintr-un etaj de ieșire în clasă B polarizat cu ajutorul etajului pilot care lucrează în clasă A. Pentru asigurarea unui curent mare de ieșire tranzistoarele finale sunt realizate din două tranzistoare în conexiune Darlington.

Amplificarea în tensiune și adaptarea cu sursa de semnal de intrare este realizată cu ajutorul etajului de intrare de tip diferențial care lucrează de asemenea în clasă A. Amplificarea globală a amplificatorului este stabilită prin intermediul reacției negative.



Schema bloc.

Set de date utilizat

Nr	Amplificator				Sursă de alimentare	
	$P_s (W)$	$R_s (\Omega)$	$R_i (k\Omega)$	$A_v (-)$	$I_{om} (A)$	$R_{om} (\Omega)$
9.	40W	4	30	10	1.5	5.4

10-20W

10W

$$r_{ie} = \frac{V_b}{I_b}$$

(pt diferențial)

Principali parametri ai amplificatorului audio de putere sunt:

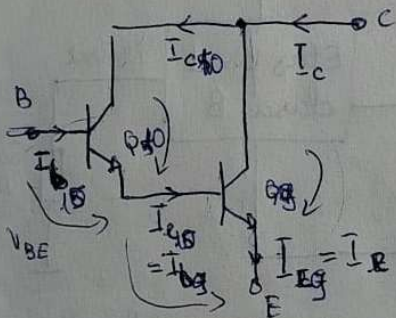
- Puterea nominală pe sarcină $P_s(W)$
- Rezistența de sarcină $R_s(\Omega)$
- Rezistența de intrare $R_i(k\Omega)$
- Amplificarea în tensiune $A_v(-)$

Sursa de alimentare va asigura următorii parametri:

- Curentul maxim $I_{om}(A)$
- Rezistența de ieșire maximă $R_{om}(\Omega)$
- Tensiunea de alimentare este $220Vac \pm 10\%$

Etajul final

- Realizat cu două tranzistoare bipolare complementare în conexiune colector comun.



Q_{10}, Q_{11} le considerăm în RAN

$$\left. \begin{aligned} V_{BE} &= V_{BE10} + V_{BE11} > 0 \\ &> 0 > 0 \\ V_{CE} &= V_{CE10} = V_{CE11} + V_{BE11} > 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{RAN}$$

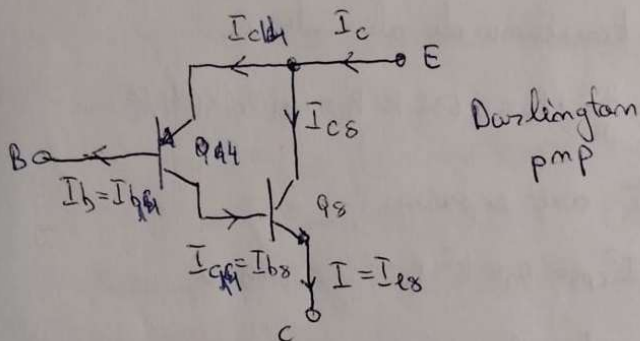
$$\begin{aligned} \text{Pt. } I_{C10} &= 0 \Rightarrow I_C = I_{C10} + I_{C11} = \beta_{F10} I_{B10} + \beta_{F11} I_{B11} = \beta_{F10} I_{B10} + \beta_{F11} I_{E10} = \\ &= \beta_{F10} I_{B10} + \beta_{F11} \frac{\beta_{F11} + 1}{\beta_{F11}} I_{C10} = \beta_{F10} I_{B10} + \beta_{F11} \frac{\beta_{F11} + 1}{\beta_{F11}} \beta_{F10} I_{E10} = \\ &= \beta_{F10} I_{E10} \left(1 + \beta_{F11} \frac{\beta_{F11} + 1}{\beta_{F11}} \right) = \beta_{F10} I_B \left(1 + \beta_{F11} \frac{\beta_{F11} + 1}{\beta_{F11}} \right) \\ \beta_F &= \frac{I_C}{I_B} = \beta_{F10} \left(1 + \beta_{F11} \frac{\beta_{F11} + 1}{\beta_{F11}} \right) \approx \beta_{F10} \cdot \beta_{F11} \end{aligned}$$

$$\beta_T \approx \beta_{T8} \quad (\beta_{T8} = \text{mare (avantaj)})$$

$$h_{ii} = \frac{V_{BE}}{I_B} = \frac{V_{BE18} + V_{BE8}}{I_{B8}} = \text{mare (avantaj)}$$

$$V_{CE, \text{sat}} = V_{CE8, \text{sat}} = \text{nu se modifica (avantaj)}$$

$$V_{BE} = 2 V_{BE8} = 2 V_{BE8} = \text{mare } \text{dezavantaj} \text{ (dezavantaj)}$$



$$\begin{aligned} Q_{14}, Q_8 \rightarrow \text{PNP} \Rightarrow & \begin{aligned} V_{EB} &= V_{EB14} > 0 \\ V_{EC} &= V_{CE8} = V_{EC14} + V_{BE8} > 0 \end{aligned} \quad \Rightarrow 1 \end{aligned}$$

$$I_{CB0} = 0 \Rightarrow$$

$$I_C = I_{E8} = (\beta_{T8} + 1) I_{B8} = (\beta_{T8} + 1) I_{Q14} = (\beta + 1) \beta_{T14} I_{B14} = (\beta_{T8} + 1) \beta_{T14} I_B$$

$$\beta_T = \frac{I_C}{I_B} = (\beta_{T8} + 1) \beta_{T14} \approx \beta_{T8} \cdot \beta_{T14} \text{ (mare } \rightarrow \text{ avantaj)}$$

$$h_{ii} = h_{ii8}, \quad V_{EB} = V_{EB14}, \quad V_{EC} = V_{CE8} = V_{EC14} + V_{BE8}$$

$$V_{EC, \text{sat.}} = V_{EC14, \text{sat.}} + V_{BE8} = 0,2 + 0,6 = 0,8 \text{ V}$$

Puterea disipată de tranzistorii finali Q_3, Q_8

$$P = \frac{E_c^2}{R} \Rightarrow E_c = \sqrt{P \cdot R}$$

$$E_c = 6,3245 \text{ V}$$

Puterea maximă $P_o = E_c \cdot I_{cm} \Rightarrow E_c = \frac{P_o}{I_{cm}} = \frac{12}{3} = 4 \text{ V}$

$P_o = 10 \text{ W}$ (obținută la ieșire)

\downarrow
3 A (pt.)

$$K = 0,636$$

Puterea absorbită de la sursa de alimentare este:

$$P_a = 2 E_c \cdot I_{med} \Rightarrow 2 \cdot 6,3245 \cdot 0,60764 = 7,6860 \text{ W}$$

$$I_{med} = K \cdot \frac{1}{T} \int_0^{T/2} I_{cm} \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t dt = K \cdot \frac{I_{cm}}{\pi} = 0,636 \cdot \frac{3}{4} = 0,60764 \text{ A}$$

K - factorul de utilizare a tensiunii de alimentare.

$$P_a = 2 E_c \cdot I_{med} = 2 E_c \cdot K \cdot \frac{I_{cm}}{\pi} = \frac{2K}{\pi} \cdot P_o = 0,636 \cdot K \cdot P_o = 4,04496 \text{ W}$$

Puterea nominală pe sarcină are expresia:

$$P_s = \frac{1}{2} R_s (K \cdot I_{cm})^2 = \frac{1}{2} R_s \cdot K^2 \cdot I_{cm}^2 = 0,5 K^2 \cdot P_o = 2,02248 \text{ W}$$

Puterea disipată de tranzistorii finali este:

$$P_d(Q_3, Q_8) = P_a - P_u = (0,636K - 0,5K^2) \cdot P_o = 2,02248 \text{ W}$$

$$\text{Randamentul } \eta = \frac{P_s}{P_a} = \frac{0,5 \cdot K^2 \cdot P_o}{0,636 \cdot K \cdot P_o} = 0,785 \cdot K = 0,49926$$

$$P_{dmax}(Q_3, Q_8) = [0,636^2 - 0,5 \cdot (0,636)^2] \cdot P_o = 0,2 \cdot P_o = 2 \text{ W}$$

$$K = 0,636$$

Pt. un singur tranzistor final

$$P_{dmax}(Q_3, Q_8) = \frac{1}{2} (0,636 \cdot K - 0,5K^2) \cdot P_o \text{ pt } K = 0,636$$

$$P_{dmax}(Q_3, Q_8) = 0,1 P_o = 1,0124 \text{ W}$$

Dimensionarea componentelor etajului final.

$$1. P_S = \frac{I_S^2 \cdot R_S}{2} = \frac{I_S \cdot V_S}{2} \Rightarrow I_S = \sqrt{\frac{2 \cdot P_S}{R_S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10}{4}} = \sqrt{5} = 2,236 \text{ A}$$

$$V_S = R_S \cdot I_S = 4 \cdot 2,236 = 8,944 \text{ V}$$

(Determinarea valorilor de vârf ale curentului și tensiunii pe sarcină)

2. Se admite o pierdere de putere de maxim 10% pe rezistențele de emitor R_{28}, R_{29}

$$V_{R28} = V_{R29} = R_{28} \cdot I_S = 1,15103 \text{ V} \quad 1,05092 \text{ V}$$

$$V_{R29} = V_{R28} = R_{29} \cdot I_S = 1,15103 \text{ V} \quad 1,05092 \text{ V}$$

$$P_{dR28, R29} = \frac{I_S \cdot V_{R28}}{4} = 0,5874 \text{ W} \Rightarrow \text{Se preferă ca } R_{28}, R_{29} \text{ să aibă o putere nominală de 1W.}$$

3. Se alege rezistența pt. circuitul de protecție la suprasarcină.

$$R_{\text{echivalent}}(R_1, R_2, R_3) = 0,156 \Omega, \quad V_R = R_e \cdot I_S = 0,3503 \text{ V} (= V_{R_e})$$

$$P_{dR_e} = \frac{I_S \cdot V_R}{2} = 0,39463 \text{ W}, \text{ Se alege fiecare rezistor de } 0,250 \text{ W.}$$

4. Se aleg transistoarii finali.

S-a optat pentru transistoari finali bipolari de putere de tip MJDBIC/TO având următorii parametri:

$$P_{tot} = 15 \text{ W}, \quad V_{CE0}, V_{CEr} = 100 \text{ V} \quad I_C = 3 \text{ A}$$

$$h_{FE} = 20$$

$$V_{BE} < 1,8 \text{ V}$$

$$V_{CES} = 1,2 \text{ V}$$

$$f_{Tmin} < 3 \text{ MHz}$$

5. Verificarea la străpungere a tranzistorilor finali.

$$E_C \leq 0,9 V_{CER}, \quad E_C = 0,324 V \leq 90 = 0,9 V_{CER}$$

6. Determinarea tensiunii reziduale pe darlingtonul mpn

$$V_{rez} = V_{CESQ} + V_{BEQ_{max}} = (0,7 + 1,8 = 2,5 V)$$

(Datasheet)

$$P_{Q_9, Q_8} = 20 \Rightarrow I_{BQ_9, Q_8} = \frac{I_{CQ_9, Q_8}}{\beta_{Q_9, Q_8}} = \frac{I_S}{\beta_{Q_9, Q_8}} = \frac{2,336}{20} =$$

În funcție de I_{BQ_9, Q_8} se alege Q_{10}, Q_{14} (BC817-25, BC807-25).

Pentru BC817, $V_{CESQ} \approx 0,7 V$.

$$\cancel{V_{rez} = \dots} \quad V_{rez} = 0,7 + 1,8 = 2,5 V$$

7. Determinarea tensiunii de alimentare.

$$E_C \geq V_S + V_{RE} + V_{R_{23}} + V_{rez} = \cancel{15,48} = E_C' = 12,845 V$$

Se alege $E_C = 15 V > E_C'$

8. Calculul energetic al tranzistorilor finali

$$P_0 = E_C \cdot I_{cm} = E_C \cdot I_S = 28,728 W$$

$$K = \frac{E_C'}{E_C} = 0,8563$$

$$P_a = 0,636 \cdot K \cdot P_0 = 15,6418 W$$

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot K^2 \cdot P_0 = 10,5291 W$$

$$P_d = P_a - P_s = 5,1127 W$$

Puterea disipată pe un tranzistor final este maximă pt. $K = 0,636$
este $P_{dmax Q_9} = P_{dmax Q_8} = 0,1 \cdot P_0 = 2,8721 W$

Puterea disipată pe un tranzistor final este maximă pt $K=0,636$:
~~este maximă~~ $P_{dmax Q_9} = P_{dmax Q_8} = 0,1 \cdot P_0 = 14,5 \text{ W}$ $2,8721 \text{ W}$

$$P_{d Q_9, Q_8} = 0,5(0,636K^2 - 0,5K^2) P_0 = ~~14,5~~ = 0,5(0,46634 - 0,36662) = 0,04988 \text{ W}$$

$$\eta = 0,785 \cdot K = 0,785 \cdot 0,8563 = 0,6721 \quad \eta = 67,21\%$$

9. Dimensionarea rezistențelor R_{26} și R_{27} .

Se aleg $R_{26}, R_{27} = 33 \Omega$, toleranță ± 5

$$I_{cmQ10} = I_{BQ9} + I_{R26} = I_{BQ9} + \frac{V_{BEQ9}}{R_{26}} = 60 + \frac{1,8}{0,033} = 114,545 \text{ mA}$$

$$I_{cmQ9} = \frac{3000}{60} \cdot 60 \text{ mA} = 3000 \text{ mA}$$

10. Estimarea sarcinii dinamice pt. Q_{10}, Q_{14} .

$$R_{ST10} = [R_{11Q9} + \beta_{Q9}(R_S + R_E + R_{28})] \parallel R_{26}$$

$$R_{11Q9} = \frac{V_{BEQ9}}{I_{BQ9}} \approx \frac{1,8}{60 \text{ mA}} = 30 \Omega$$

$$R_{ST} = [(30 + 40 \cdot (4 + 0,156 + 0,47))] \parallel 33 \Omega$$

$$R_{ST} = 23,0329 \Omega$$

11. Calculul energetic al tranzistorilor complementari

$$P_0 = I_{cmQ10} \cdot E_c = 0,5 \cdot 15 = 7,5 \text{ W}$$

$$P_{dmax} = 0,1 P_0 = 0,75 \text{ W}$$

Tranzistoarele BC817, BC807 corespund, cu următorii parametri:

$$V_{CE0} = 45 \text{ V}$$

$$I_C = 500 \text{ mA}$$

$$P_{tot} = 460 \text{ mW}$$

$$V_{CEr} = 50 \text{ V}$$

$$I_{cm} = 500 \text{ mA}$$

$$f_T = 100 \text{ MHz}$$

$$V_{EB0} = 5 \text{ V}$$

$$I_B = 12,5 \text{ mA}$$

$$R_{thj-c} \leq \#$$

$$h_{21E} = 40 \div 600$$

$$T_j = 150^\circ \text{ C}$$

12. Calculul frecvenței de tăiere.

$$\omega_T = \beta_0 \cdot \omega_p$$

Pt. Q_8, Q_5 $f_p \geq 100 \div 500 \text{ kHz}$

Pt. Q_{10}, Q_{14} $f_p \geq 0,35 \div 1,25 \text{ MHz}$

2.4 Etajul Pilot.

Dimensionarea componentelor etajului pilot.

1. Se calculează curentul de excitație maxim

$$I_{ex \max} = I_{BQ_{10} \max} = \frac{I_{CQ_{10} \max}}{\beta_{Q_{10} \min}} = \frac{500 \text{ mA}}{40} = 12,5 \text{ mA}$$

Se pot m

$$\Rightarrow I_{CQ_7} (\text{simulare}) = 2,943 \text{ mA} \approx 3 \text{ mA}$$

$$I_{CQ_7} = 14 \text{ mA} > I_{ex \max} = 12,5 \text{ mA}$$

2. Rezistența statică de alimentare.

$$R_C = R_B + R_E = \underbrace{R_{13} + R_{12}}_{\substack{\text{în circuit} \\ \text{avem } R_{13} = R_{12} = 1,8 \text{ k}\Omega}} = \frac{V_{CC}}{I_{CQ_7}} = \frac{15 \text{ V}}{14 \text{ mA}} = 1,0714 \text{ k}\Omega$$

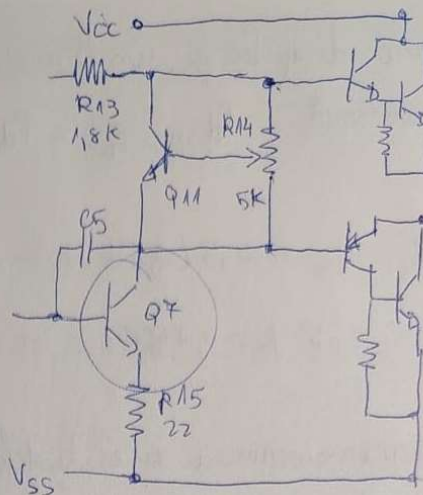
3. Sarcina dinamică a pilotului.

$$R_{din} \approx \frac{R_{13} \cdot h_{11Q_{14}}}{R_{13} + h_{11Q_{14}}} + \left(1 + h_{21E_f} \cdot \frac{R_{13}}{R_{13} + h_{11Q_{14}}} \right) \cdot R_{30}$$

$$h_{11Q_{14}} = \frac{\beta_{Q_{14}}}{g_{mQ_{14}}} = \frac{40}{40 \cdot 14} = 0,07142$$

$$h_{21E_f} = h_{21Q_{14}} \cdot h_{21Q_8} = 160 \cdot 10 = 1600$$

$$h'_{11Q_{14}} = h_{11Q_{14}} + h_{21E_f} \cdot R_{29} = 0,07142 + 1600 \cdot 0,33 = 528,07142$$



Schema Etaj pilot utilizată.

~~Se verifică R_{din}~~

$$R_{din} = \frac{3000 \cdot 0,07142}{3000,07142} + \left(1 + 1600 \cdot \frac{1,8}{1,8 + 528,071} \right) \cdot 4,1 \approx 9,60670 \text{ k}\Omega$$

$\approx 0,07142 \quad 6,43528$

Se verifică $R_{din} = 9,606 \text{ k}\Omega > R_B + R_G$

4. Tensiunea minimă pe tranzistorul pilot

$$V_{pmin} = V_{BEmin} Q_8 + V_{CEmin} Q_{14} = 0,6 + 0,7 = 1,3 \text{ V}$$

5. Alegerea tranzistorului pilot

- Se alege cu parametri: V_{CEsat} și I_{CER} de valoare mică.

Se alege tranzistorul BC817 cu parametri:

$$\begin{array}{lll} V_{CE0} = 45 \text{ V} & I_C = 500 \text{ mA} & P_{tot} = 460 \text{ mW} \\ V_{CER} = 50 \text{ V} & I_B \approx 12,5 \text{ mA} & f_T = 100 \text{ MHz} \\ V_{EB0} = 5 \text{ V} & T_J = 150^\circ \text{ C} & \\ h_{21E} = 40 \div 600 & & \end{array}$$

Tensiunea a tubului preluată de R_{15} este

$$V_{R15} = V_{pmin} - V_{CEsat} Q_7 = 1,3 - 0,7 = 0,6 \text{ V} \Rightarrow R_{15} = \frac{V_{R15}}{I_{CQ}} = \frac{0,6}{14} = 0,0428 \text{ k}\Omega = 42,8 \Omega$$

- 6. Curentul de bază al tranzistorului Q_7 .

Considerând h_{21E} mediu $Q_7 = 250$

$$\Rightarrow I_{BQ7} = \frac{44 \text{ mA}}{250} = 0,176 \text{ mA} = 176 \mu\text{A}$$

7. Verificarea funcționării la semnal mic.

$$\mu_{BE} = \frac{I_C}{g_m} = \frac{I_{EX}}{40 I_{CQ}} = \frac{12,5}{40 \cdot 14} = 0,2232 \text{ V} < \frac{kT}{q}$$

8. Amplificarea în tensiune a etajului pilot.

Etajul pilot este de tip EC (emitor comun) cu sarcină distribuită având amplificarea în tensiune:

$$A_{vp} \approx -\frac{R_{din}}{R_{15}} = -\frac{9,606 \text{ k}\Omega}{22 \text{ }\Omega} = -436,636$$

9. Calculul frecvenței de tăiere $\rightarrow \omega_T = \beta_0 \cdot \omega_p \Rightarrow f_{PD7} \geq 1 \dots 20 \text{ MHz}$

10. Calculul circuitului de polarizare al tranzistorilor finali.

Circuitul de polarizare este alcătuit din tranzistorul Q_{11} (superdiode) și potențiometrul R_{14} . Se consideră necesar pt. deschiderea tranzistorilor finali o tensiune de $2 \times 0,7 \text{ V}$

Tranzistorul Q_4 este de tipul BC817 (NPN) având următoarele valori limită absolute

$$V_{CE0} = 45 \text{ V}$$

$$P_{\text{stat}} = 460 \text{ mW}$$

$$I_C = 500 \text{ mA}$$

$$T_J = 150^\circ$$

$$I_B \leq 12,5 \text{ mA}$$

În PSF tranzistorul Q_{11} are următorii parametri:

$$\begin{array}{l} I_{C_{Q_{11}}} = 2,393 \text{ mA} \\ V_{CE_{Q_{11}}} \leq 2,342 \text{ V} \end{array} \quad \Rightarrow \quad I_{B_{Q_4}} = \frac{I_{C_{Q_{11}}}}{h_{FE, Q_{11}}} \approx \frac{2,393 \text{ V}}{250} = 9,572 \text{ }\mu\text{A}$$

Se alege prin divizorul de bază curentul:

$$I_d \approx 9,471 \text{ mA} \gg I_{B_{Q_4}} \Rightarrow (R_{14} = 5 \text{ k}\Omega \text{ (max)}) \quad R_{14} = \frac{240}{9,471} = 25,23 \text{ k}\Omega \approx 5 \text{ k}\Omega$$

Se alege $R_{14} = 5 \text{ k}\Omega$

2.5. Etajul diferențial

- Este alcătuit din 2 tranzistoare în conexiune EC care lucrează în clasă A și sunt cuplate diferențial. Componentele acestui etaj sunt următoarele:

$Q_{12}, Q_{13}, R_8, R_9, R_{38}, R_6, R_{11}, R_{38}, R_6, R_{31}, R_{37}, R_{10}, (C_3), D_1$

tranzistori
etaj
diferențial

rezistori
(pt. polarizare și reacție)

Diodă Zener
pt. alimentarea
etajului

Etajul diferențial asigură o impedanță de intrare convenabilă, reglează echilibrarea în absența semnalului pt întregul circuit al amplificatorului de putere și permite cuplarea rețelei de reacție negativă.

• Dimensionarea etajului diferențial

1. Alegerea Q_{12}, Q_{13}

Se aleg tranzistoarele de tipul BC807 și se împerechează (Este necesar ca acestea să aibă caracteristici cât mai apropiate).

$$V_{CE0} = 45V \quad I_C = 500mA$$

$$P_{tot} = 460mW \quad T_j = 150^\circ C$$

2. Dimensionarea rezistenței de colector a tranzistorului Q_{12} (R_{11})

$$\text{Se alege } R_{CQ_{11}} = R_{11} < Z_{imQ_{7min}}$$

$$Z_{imQ_{7min}} = h_{11eQ_{7min}} + h_{21eQ_7} \cdot R_{15}$$

$$I_{B,Q_{7min}} \approx \frac{2I_{CQ_7}}{h_{21Emedie,Q_7}} = \frac{2 \cdot 14}{250} = 0,112mA = 112\mu A$$

$$I_{CQ7min} \leq I_{BQ7max} = 112 \mu A \Rightarrow g_{m, Q7min} = 40 \cdot I_{CQ7min} = 4,480$$

$$\Rightarrow h_{11, Q7min} = \frac{\beta_{Q7min}}{g_{m, Q7min}} = \frac{40}{4,480} = 8,92857 \approx 9$$

$$Z_{im, Q7min} = h_{11, Q7min} + h_{21, Q7} \cdot R_{15} = 9 + 250 \cdot 0,022 \approx 14,5 k\Omega$$

Pentru polarizarea bazei lui $Q7$ trebuie ca:

$$(I_{CQ12} - I_{B, Q7}) \cdot R_{11} = V_{BE, Q7} + V_{R15} \approx 0,7 + 14 mA \cdot 0,022 k\Omega \approx 1 V$$

$$\pm 3 dB \rightarrow I_{CQ12} \leq 300 \mu A \quad \text{Se alege } I_{CQ12} = I_{CQ13} = 250 \mu A$$

$$\Rightarrow R_{11} \approx \frac{0,92}{250 - 86} \approx 2,0038 \approx 5,6 k\Omega \quad (\text{alegem această valoare pt } R_{11})$$

3. Verificarea funcționării la semnal mic.

$$u_{BE, Q12} = \frac{i_{CQ12}}{g_{mQ12}} = \frac{i_{CQ12}}{40 \cdot I_{CQ12}} = \frac{80 \mu A}{40 \cdot 250} = 8 mV$$

4. Determinarea tensiunii de ~~polar~~ stabilizare (D1)

$$V_Z = V_{R8} + V_{BE, Q12} + V_{R6} \approx V_{R8} + V_{BE, Q12}$$

$$V_Z = 8,2V \text{ astfel } V_Z \approx 1000 \cdot V_{BE, Q12}$$

$$\text{Pt } Q11 \rightarrow I_{CQ11} = 250 \mu A, V_{CE} \approx E_C \approx 16 V$$

5. Dimensionarea rezistențelor $R_6, R_{31}, R_{38}, R_{37}$

$$\text{Se alege } R_{16} = 30 k\Omega \rightarrow \text{pt a avea } Z_{im} = R_{in} \approx 30 k\Omega$$

$$R_{31} = 30 k\Omega \rightarrow \text{realizabil}$$

6. Dimensionarea rezistențelor R_9, R_8

$$h_{21E} = 250 \Rightarrow I_{B, Q12} = \frac{250}{250} = 1 \mu A$$

$$\Rightarrow V_{R6} = 40 mV \quad (V_{BE, Q12} = 0,6 V)$$

$$\Rightarrow V_{\frac{1}{2}R_9} + V_{R_8} = V_Z - V_{BE,Q12} - V_{R_6} \approx 7,56V$$

$$R_8 = \frac{V_{R_8}}{I_{R_8}} = \frac{4,5}{0,5} = 9k\Omega \pm 5\%$$

6. Polarizarea diodei D1

Zener \rightarrow BZX84C8V2 (PLP) 8,2V care trebuie polarizată la un curent nominal de ~~10mA~~ 5mA (I_Z)

$$R_7 = \frac{12 - 8,2V}{I_Z + I_{R_8}} = \frac{12 - 8,2}{5,5} = 690,9\Omega$$

7. Determinarea amplificării etajului diferențial.

$$A_{v,dif} \approx - \frac{R_{s,dif}}{\frac{1}{2}R_9}, \quad R_{s,dif} = \frac{R_{11} || Z_{in,Q12}}{2} = 2,8$$

$$A_{v,dif} \approx - \frac{2,8}{0,25} \approx -11,2$$

2.6 - Reacția negativă

$$\beta \approx \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{31} + R_{37}} \approx \frac{1}{10} \rightarrow \text{grad de reacție} \approx 20dB$$

Putem considera $V_{in,dif} \approx V_{gen} \Rightarrow V_{in,dif} = 0,5V$
 ~~$V_{gen} = 1,5V_{ef}$~~ (utilizat în simulare)

$$V_m = 0,7 \cdot I_S \cdot (R_S + R_{30}) = 0,7 \cdot 2,236 (4 + 0,157) = 6,50653$$

$$A_{V\pi} = \frac{V_m}{V_{in,dif}} = 13,013$$

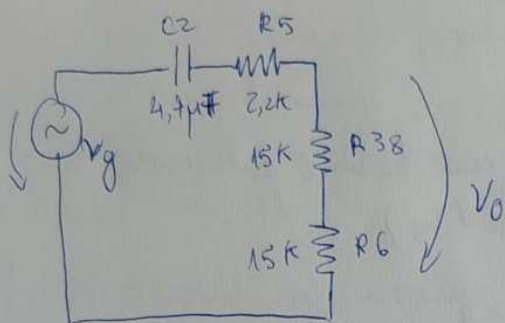
$$A_v \approx A_{vp} \cdot A_{v,dif} \approx$$

(bucă deschisă) $R_{10} \rightarrow 3,3k\Omega$

2.7. Stabilitatea

1. Stabilitatea la frecvențe joase.

Capacitățile ce intervin la frecvențe joase sunt : C_2, C_3, C_4 ;



$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{j\omega C R_{38+6}}{R_{38+6} + R_5 + Z_C}$$

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{R_{38+6}}{R_{38+6} + R_5 + Z_C} = \frac{j\omega C R_{38+6}}{1 + j\omega C (R_5 + R_{38+6})}$$

$$\omega_p = - \frac{1}{C(R_5 + R_{38+6})}, \quad f_c = \frac{1}{2\pi C(R_5 + R_{38+6})}$$

$$f_c = 3.49 \text{ Hz} \Rightarrow \text{Se alege } C_2 = 4.7 \mu\text{F}$$

Vom considera $C_3 = 10 \mu\text{F}$ și $C_4 = 10 \mu\text{F}$

2. Stabilitatea la frecvențe înalte.

Pentru analiza stabilității la frecvențe înalte se face diagrama repartițiilor la frecvențele de tăiere f_T a tranzistoarelor.

Se apreciază ca dificilă zonă de la 500 kHz unde se pot suprapune frecvențele de tăiere a trei tranzistoare.

La realizarea experimentală dacă apar oscilații se acționează printr-o reacție locală.

