

Universitatea “Politehnica” din Bucureşti
Facultatea de Electronică, Telecomunicaţii şi Tehnologia Informaţiei

**PROIECT 1
AMPLIFICATOR AUDIO DE PUTERE
CAPITOLUL 2**

Student : CIOC AMELIA-GISELE

Grupa: 432A

AMPLIFICATOR AUDIO DE PUTERE

Capitolul 2

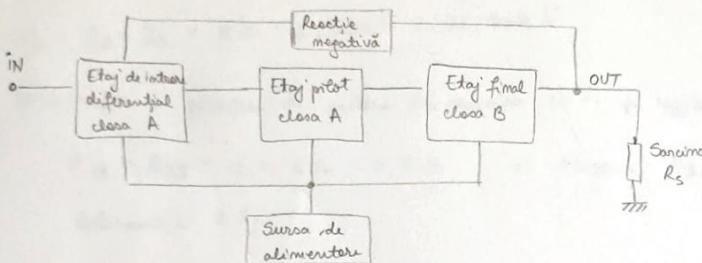
1. TEMA DE PROIECTARE

Tema de proiectare se referă la un amplificator de audiobanda de mare putere realizat dintr-un etaj de ieșire de clasa B polarizat cu ajutorul etajului pilot care lucra în clasa 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 intrare este realizată cu ajutorul etajului de intrare de tip diferențial care lucra în clasa A.

Amplificarea globală a amplificatorului este stabilită prin intermediul reacției negative.



2. DATE DE INTRARE

Principalii parametri ai amplificatorului audio de putere sunt:

- Puterea nominală pe sarcină P_S (W)
- Rezistența de sarcină R_S (-)
- Rezistența de intrare R_i (k Ω)
- Amplificarea în tensiune A_v (-)

Sursa de alimentare va asigura următorii parametri:

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

Valoile folosite pentru proiectarea etajelor amplificatorului audio de putere:

Nr.	Amplificator				Surse de alimentare	
	P_S (W)	R_S (-)	R_i (k Ω)	A_v (-)	I_{OM} (A)	R_{OM} (-)
16	30	8	45	8	2,7	9,8

ETAJUL FINAL

Este realizat cu 2 tranzistori bipolari complementare în conexiune CC.

Pentru cele 2 tranzistori finale în configurație darlington de tip npn și pnp.

Dimensionarea componentelor etajului final

- Determinarea valorilor de vîrf ale curentului și tensiunii pe sarcină

$$P_S = 30 \text{ W} = \frac{I_S^2 \cdot R_S}{2}$$

$$I_S = \sqrt{\frac{2P_S}{R_S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30}{8}} = \sqrt{\frac{30}{4}} = \frac{\sqrt{30}}{2} = 2,738 \text{ A}$$

$$V_S = R_S \cdot I_S = 8\Omega \cdot 2,738 \text{ A} = 21,904 \text{ V}$$

- Se admite o pierdere de putere de maxim 10% pe rezistențele de emitor R_{28} și R_{29}

$$R_{28} = R_{29} = 0,1 \cdot 8\Omega = 0,8\Omega \Rightarrow \text{Alegem } R_{28} \text{ și } R_{29} \text{ cu valoarea standard } 0,47\Omega \text{ toleranță } \pm 5\%.$$

Căderea maximă de tensiune pe R_{28} , R_{29} este:

$$V_{R28} = V_{R29} = R_{28} \cdot I_S = 2,738 \text{ A} \cdot 0,47\Omega = 1,286 \text{ V}$$

$$P_{dR_{28}, R_{29}} = \frac{I_S \cdot 1,286}{4} = 0,88 \text{ W} \quad \text{Se aleg } R_{28} \text{ și } R_{29} \text{ de } 1\text{W}$$

- Se alege rezistență pentru circuitul de protecție la suprasarcină.

$$R_{30} = 0,1\Omega$$

$$V_{R30} = 0,1 \cdot I_S = 0,1 \cdot 2,738 = 0,2738 \text{ V}$$

$$P_{dR_{30}} = \frac{I_S \cdot V_{R30}}{2} = 0,344 \text{ W} \Rightarrow \text{se alege } R_{30} \text{ de minim } 0,5\text{W}$$

$$\text{Pentru curent } I_{SC} = 3 \text{ A} \Rightarrow R_S = \frac{U_S}{I_{SC}} = \frac{21,904 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 7,304 \Omega$$

- Alegerea tranzistorilor finali

Se aleg tranzistorii bipolari p-n-p-n: MJD31CG și MJD32CG având parametri

$$P_{totala} = 15 \text{ W}$$

$$V_{CEO} \geq V_{CEsat} = 100 \text{ V}$$

$$I_C = 3 \text{ A}$$

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

$$f_T = 3 \text{ MHz}$$

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

$$-h_{FE} = 20$$

- Verificarea de strângere a tranzistorilor finali

$$E_C \leq 0,9 \cdot V_{CEsat}$$

$$E_C = 27 \text{ V} < 90 \text{ V}$$

$$E_C > V_{sarcină}(V_S) + V_{R30} + V_{R28} + V_{CEsat}$$

$$27 \text{ V} > 21,904 \text{ V} + 1,286 \text{ V} + 1,2 + 0,2 = 24,59 \text{ V}$$

6. Tensiunea reziduală pe darlingtonul NPN

$$V_{R22} = V_{CEQ_8} + V_{BEQ_1,5 \text{ max}}$$

$$\beta_{Q15Q4} = 20 \Rightarrow I_{BQ15} = I_{BQ14} = \frac{I_{CQ7}}{\beta_{Q7}} = \frac{I_S}{20} = \frac{2,738}{20} = 0,1369 \approx 0,137 \text{ A}$$

\Rightarrow Se alege pentru Q_8 și Q_7 modelele BC817 respectiv BC807.

Pentru Q_8 și BC817 avem: $V_{CEQ_8} = 0,7 \text{ V}$, $\beta = 160$

$$\Rightarrow V_{R22} = 0,7 + 1,8 = 2,5 \text{ V}$$

7. Determinarea tensiunii de alimentare

$$E_C \geq V_S + V_{R20} + V_{R22} + V_{R22} = 21,904 + 1,286 + 1,2 + 2,5 = 26,89 \text{ V}$$

$$27 \text{ V} > 26,89 \text{ V} = E_C$$

$$\text{Se alege } E_C \in [27, 30] \text{ V}$$

8. Calculul energetic al tranzistorilor finali

$$P_o = E_C \cdot I_{CQ7} = E_C \cdot I_S = 27 \text{ V} \cdot 2,738 \text{ A} = 73,926 \text{ W}$$

$$K = \frac{E_C}{E_C} = \frac{26,89}{27} \approx 0,995$$

$$P_a = 0,636K \cdot P_o \Rightarrow P_a = 47,016 \cdot K = 46,78 \text{ W}$$

$$P_s = \frac{1}{2}K^2 \cdot P_o = 36,594 \text{ W}$$

$$P_d = P_a - P_s = 10,186 \text{ W} < 15 \text{ W} \text{ ai tranzistorilor } Q_7 \text{ și } Q_8$$

$$P_{dmaxQ_7} = P_{dmaxQ_8} = 0,1 \cdot P_o = 7,3926 \text{ W}$$

$$\text{În cazul în care } K = 0,995 \Rightarrow P_{dQ7,Q8} = 0,5(0,636K - 0,5 \cdot K^2) \cdot P_o = 5,001 \text{ W} \approx 5 \text{ W}$$

$$\eta = 0,785 \cdot K = 0,781$$

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

Să înțelegem că $I_{BmaxQ_7} = 137 \mu\text{A}$

Pentru un curent total I_{CMQ7} de $170 \mu\text{A} \Rightarrow$ curentul prin R_{26} este de $33 \mu\text{A}$.

$$I_{R26} = \frac{V_{BEQ7,5}}{R_{26}} \Rightarrow R_{26} = \frac{V_{BEQ7,5}}{I_{R26}} = \frac{1,8 \text{ V}}{33 \mu\text{A}} = 54,54 \Omega$$

$$\Rightarrow \text{Alegem } R_{26} = 51 \Omega$$

$$I_{CMQ7} = I_{CQ7max} = I_{BQ7max} + I_{R26} = 137 \mu\text{A} + \frac{1,8 \text{ V}}{51 \Omega} = (1,137 + 35) \mu\text{A} = 172 \mu\text{A}$$

$I_{CQ7} > 172 \mu\text{A} \Rightarrow$ Modelul BC817 nu poate suporta.

10. Estimarea sarcinii dinamice pentru ω_8 și ω_9

$$R_{SRS} = [\alpha_{11A2} + \beta_{12}(R_3 + R_{30} + R_{28})] // R_{28}$$

$$R_{11A2} = \frac{V_{BE\text{MOS}}}{{I}_{BA\text{MOS}}} = \frac{128\text{ V}}{0,184\text{ A}} = 13,138\text{ k}\Omega$$

$$R_{SRS} = [13,138\text{ k}\Omega + 20 \cdot (8 + 0,1 + 0,47)\text{k}\Omega] // 51\text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow (84,538 // 51)\text{k}\Omega = \frac{184,538 \cdot 51}{184,538 + 51} \text{k}\Omega = 39,957\text{ k}\Omega$$

11. Calculul energetic al tranzistorilor complementari

$$P_0 = I_{CMQ_8} \cdot E_C = 172\text{ mA} \cdot 27\text{ V} = 4,644\text{ W}$$

$$P_{\text{dmax}} = 0,1 \cdot P_0 = 0,4644\text{ W}$$

\Rightarrow BC817 și BC807 corespund, având următorii parametri:

$$\eta_{FE} = 160 \div 400 \quad P_{\text{tot}} = 310\text{ mW}$$

$$V_{CE\text{sat}} = 0,7\text{ V}$$

$$V_{BE\text{sat}} = 1,3\text{ V}$$

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

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

12. Calculul frecvenței de tăiere:

$$\omega_T = \beta_0 \cdot \omega_B \quad f_B = \frac{2\pi}{\omega_B} \Rightarrow f_B = \frac{\omega_T}{\beta_0} = \frac{100\text{ MHz}}{\beta_0}$$

- pentru ω_{14} și ω_{15} : $f_B \geq 250 - 650\text{ kHz}$

- pentru ω_8 și ω_9 : $f_B \geq 5\text{ MHz}$

ETAJUL PILOT

Amplificatorul pilot este format cu tranzistorul darlington Q₁₂ - Q₄ și generatorul de curent cu reacție cu 2 tranzistori Q₇ și Q₈.

Prepolarizarea tranzistorului etajului final este realizată de grupul Q₅ - R₁₄ - R₁₅ care asigură tensiunea de deschidere a tranzistorului din etajul final, în lipsa semnalului de la intrare.

Tensiunea de prepolarizare a etajului final este dată de tensiunea CE a lui Q₅. PSF- ul acestui tranzistor este stabilit de divizorul rezistiv în baza realizat cu R₁₄ - R₁₅, iar curentul prim Q₅ este dat de generatorul de curent realizat cu Q₆ și Q₇.

Curentul prim E al lui Q₇ este : $I_{EQ7} = I_{BQ7} + I_{R13}$

$$I_{R13} = \frac{U_{EB6}}{R_{13}}$$

Pentru un curent de 10mA = I_{R13} și U_{EB6} ≈ 0,6V ⇒ R₁₃ = $\frac{0,6V}{10mA} = 60\Omega$

$$I_{CQ7} = I_{EQ7} - I_{BQ7}$$

$$I_{R12} = \frac{U_{R12}}{R_{12}} = \frac{V_{cc} - U_{EB6} - V_{BQ7}}{R_{12}} \approx \frac{(27 - 1,2)V}{R_{12}} = \frac{25,8V}{R_{12}}$$

Tranzistorul Q₁₃ a fost adăugat pentru a limita curentul maxim al lui Q₄ dacă amplificatorul se taie la semnal negativ.

Tranzistorul limitator de curent Q₁₃ dacă curentul de emitor al lui Q₄ depășește o valoare

(care poate fi deosebit de mică)

Tranzistorul Q₁₂ îmbunătățește compensarea în frecvență a amplificatorului și elimină modularea amplificării de frecvență mare a amplificatorului în funcție de semnalul produs de condensatorul Miller C₁ din colectorul de baza.

Dimensionarea componentelor etajului pilot

1. Se calculează curentul de excitare maximă pentru Q₈

$$I = \frac{I_{C8 \max}}{\beta_{8 \min}} = \frac{172mA}{400} = 0,43mA$$

$$\beta_{8 \min} = 100.$$

Se poate neglija curentii reziduali și alegem I = 2,5mA

2.

Sursa de curent cu reacție cu 2 tranzistori Q₇ și Q₈:

$$- Q_6 stabilizează curentul prim Q_7 la valoarea \frac{U_{EB6}}{R_{13}} = I_{CQ7}$$

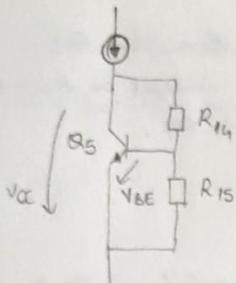
Pentru un curent I_{CQ7} = 10mA ⇒ R₁₃ = $\frac{0,65V}{10mA} = 65\Omega$

Alegem R₁₃ = 68Ω valoare standard

Dacă curentul prim ar fi prea mare, atunci Q₂ se va deschide mai mult și va trage în sus baza lui Q₁, ajustând astfel curentul prim astfel încât să nu depășească valoarea impusă.

Multiplicatorul de curent cu Q₂ produce o multiplicare a tensiunii V_{BE} de aproximativ 4 ori. (K=4)

Împedanța de ieșire a multiplicatorului de tensiune V_{BE} este de K · r_e; unde r_e este rezistența internă a emitorului tranzistorului Q₂.



Factorul de multiplicare este determinat de divizorul R₁₄ și R₁₅

$$V_{BES} = V_{R15} = \frac{R_{15}}{R_{14} + R_{15}} U_{CE5} = \frac{1}{K} U_{CE5}$$

$\Rightarrow \frac{1}{4} \cdot U_{BES}$ cade pe R₁₅

$\frac{3}{4} \cdot U_{BES}$ cade pe R₁₄

iar $V_{CE} = 4 \cdot V_{BE}$

$$K=4 \Rightarrow \frac{R_{15}}{R_{14} + R_{15}} = \frac{1}{4} \Leftrightarrow 4R_{15} = R_{14} + R_{15} \Rightarrow R_{14} = 3R_{15}$$

$$\text{Alegem } R_{15} \approx 500\Omega \Rightarrow R_{14} = 1,5\text{k}\Omega$$

R₁₅ va fi un semireglabil cu valoarea de 1kΩ, iar pentru R₁₄ alegem valoarea standard $1,5\text{k}\Omega$

$$\text{În acest caz, } V_{CE} = 4 \cdot V_{BE} = 4 \cdot 0,7\text{V} = 2,8\text{V} \approx 3\text{V}$$

Împedanța de ieșire în emitor a circuitului de multiplicare V_{BE} este de aproximativ K · r_e. Pentru r_e = 3Ω și K = 4 $\Rightarrow r_{e \text{ min}} = 4 \cdot 3 = 12\Omega$

3. Tensiunea minimă pe tranzistorul pilot

$$V_{pmim} = V_{CEsat} = 0,7\text{V}$$

4. Alegerea tranzistorilor pilot

Se alege pentru Q₄, BC846 cu parametrii:

$$\beta_{FE} = 150 \div 290$$

$$T = 150^\circ$$

$$P_{tot} = 250\text{mW}$$

$$V_{BE} = 660\text{mV}$$

$$V_{CEO} = 30 \div 65\text{V}$$

$$f = 300\text{MHz}$$

$$I_C = 100\text{mA}$$

$$V_{Bsat} = 700\text{mV}$$

$$V_{CESat} = 80\text{mV} (\text{ea } I_C = 100\text{mA})$$

Tensiunea re trebuie preluată de R₁₆ este:

$$V_{R16} = V_{pmim} - V_{CEsat} = 0,7 - 0,25 = 0,45$$

$$R_{16} = \frac{V_{R16}}{I_{R16}} = \frac{0,45\text{V}}{10\text{mA}} = \frac{0,45}{10\text{mA}} = 45\Omega$$

Calculul impune alegerea lui R₁₆ = 33Ω cu ± toleranță de 5%.

5. Curentul de bază al tranzistorului Q₄:

$$I_{B4} = \frac{I_C4}{290} = \frac{100\text{mA}}{290} = 0,34\text{mA} = 34\mu\text{A}$$

6. Verificarea funcționării la semnal mic

$$\mu_{BE} = \frac{I_C}{g_m} = \frac{2,5 \mu A}{40 \cdot I_{C4}} = \frac{2,5 \mu A}{40 \cdot 10 \mu A/V} = 0,00625 V = 6,25 mV < \frac{kT}{2}$$

7. Amplificarea în terierea a etajului preamplificator

Este amplificarea etaj $\Omega_2 - \Omega_4$ care, fiind etaj darlington $\Rightarrow A \approx A_{\text{inv}}$

8. Calculul frecvenței de tăiere

$$\omega_T = \beta_0 \cdot \omega_B \Rightarrow f_{B2g} \geq 11,3 \dots 28,26 \text{ MHz}$$

ETAJUL DIFERENTIAL

Este alcătuit din tranzistorii Q_1 și Q_2 în conexiune EC care lucrajă în clasa A și sunt cuplate diferențial.

Polarizarea etajului diferențial se face de la o sursă de curent constant de 1mA realizată cu tranzistorul Q_3 , rezistențele R_{11} , R_{10} și dioda Zener D_2 .

Jegirea din etajul diferențial din colectorul lui Q_3 este aplicată la etajul de amplificare pilot. În baza tranzistorului Q_2 se aplică reacția negativă realizată cu R_{18} și R_{19} .

1. Calculul generatorului de curent

Alegem pentru sursa de curent Q_3 , modelul BC856.

Alegem pentru tranzistorii Q_1 , Q_2 modelul BC856.

Parametrii:

$$I_c = 100 \mu\text{A}$$

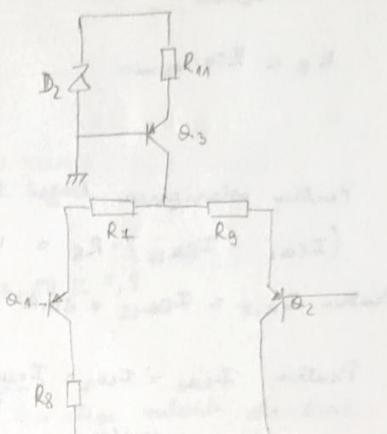
$$V_{CEO} = -30 \text{ V}$$

$$h_{FE} = 290$$

$$V_{BE} = 0,6 \text{ V} \quad (\text{la } 2 \mu\text{A})$$

$$P = 250 \text{ mW}$$

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



Curentul de ieșire I_c este atât în valoarea de 1mA.

$$\Rightarrow I_{E\text{Q}_3} \approx I_{C\text{Q}_3} = 1 \mu\text{A}$$

$$U_{D2} = I_{E\text{Q}_3} \cdot R_{11} + V_{BE\text{Q}_3}$$

$$6,2 \text{ V} = 1 \mu\text{A} \cdot R_{11} + 0,6 \text{ V} \Rightarrow 1 \mu\text{A} \cdot R_{11} = 5,6 \text{ V} \Rightarrow R_{11} = \frac{5,6 \text{ V}}{1 \mu\text{A}} = 5,6 \text{ k}\Omega \Rightarrow$$

$$\text{Alegem } R_{11} = 6,8 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Alegem } I_2 = 1 \text{ mA} \Rightarrow R_{10} = \frac{27 \text{ V} - U_{D2}}{I_2} = \frac{(27 - 6,2) \text{ V}}{1 \mu\text{A}} = \frac{20,8 \text{ V}}{1 \mu\text{A}} = 20,8 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow \text{Alegem } R_{10} = 22 \text{ k}\Omega$$

Calculul etajului cu cuplaj în emitor (este de tip degenerat din cauza rezistenței din emitor). Alegem pentru R_7 și R_8 o valoare de aproximativ 500 kΩ și le vom înlocui cu un rezistor semireglabil de valoare 1 kΩ pentru echilibrarea semnalului în sarcină.

Curentul prin tranzistorii Q_1 și Q_2 va fi: $I_{C\text{Q}_1} \approx I_{C\text{Q}_2} \approx \frac{I_{C\text{Q}_3}}{2}$

2. Dimensionarea rezistenței de colector a lui Q_1

Alegem $R_8 < Z_{\text{in}\text{Q}_12\text{min}}$

$$Z_{\text{in}\text{Q}_12\text{min}} = h_{11} + h_{21} (R_{18} \parallel Z_{\text{in}\text{Q}_3})$$

$$Z_{\text{in}\text{Q}_3} = h_{11} + h_{21} \cdot R_{16}$$

$$I_{B21} = \frac{I_{C21}}{h_{21}} = \frac{10 \text{ mA}}{290} = 0,034 \text{ mA} = 34 \mu\text{A}$$

$$g_{me} \approx 40 \cdot I_{Cmin} = 40 \cdot I_{B21} = 1,36 \text{ mA} \quad (I_{Cmin} \approx I_{B21max})$$

$$h_{11} = \frac{\beta_{min}}{g_{me}} = \frac{290}{1,36 \mu\text{A}} \cdot \frac{1}{2} = 106,6 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{inQ4} = 106,6 \text{ k}\Omega + 290 \cdot 33 \text{ }\Omega = 106,6 \text{ k}\Omega + 9,5 \text{ k}\Omega = 116,1 \text{ k}\Omega$$

$$R_{17} \parallel Z_{inQ4} = \frac{510 \cdot 116,17 \cdot 10^3}{116,680} = \frac{5924670}{11668} = 507,7 \text{ }\Omega$$

$$Z_{inQ2min} = 116,17 \text{ k}\Omega + 290 \cdot 507,7 \text{ }\Omega = 263,403 \text{ k}\Omega$$

$$R_8 < Z_{inQ2min}$$

Pentru polarizarea bazei tranzistorului Q12 trebuie ca

$$(I_{C12} - I_{B12}) \cdot R_8 = V_{BEQ12} + V_{R17} \approx 0,7 \text{ V} + I_{R17} \cdot R_{17} = 0,7 \text{ V} + 2 \text{ mA} \cdot 507,7 \text{ }\Omega = 1,72 \text{ V}$$

$$\text{Pentru } I_{R17} = I_{EQ12} = 2 \text{ mA} \Rightarrow I_{R17} \cdot I_{EQ12} = 507,7 \text{ }\Omega \cdot 2 \text{ mA} = 1,02 \text{ V}$$

Pentru $I_{C12} = I_{C21} = I_{C23} = 500 \mu\text{A}$ avem:

$$R_8 = \frac{1,72 \text{ V}}{0,5 \text{ mA} - \frac{2 \text{ mA}}{290}} = \frac{1,72 \text{ V}}{0,49 \text{ mA}} = 3,51 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Alegem } R_8 = 3,9 \text{ k}\Omega$$

3. Verificarea functionarării la neminal mic

$$u_{BEQ12} = \frac{i_{C12}}{g_{me}} = \frac{80 \mu\text{A}}{40 \cdot I_{C21}} = \frac{80 \mu\text{A}}{40 \cdot 0,5 \text{ mA/V}} = \frac{80 \mu\text{A}}{20 \text{ mA/V}} = 4 \text{ mV}$$

4. Determinarea amplificării etajului diferențial

$$I_{EE} = I_{C21} = 1 \text{ mA}$$

Rezistența de ieșire pentru cursa de curent este $R_{EE} = \frac{V_A}{I_{EE}}$ (V_A = tensiunea Early)

$$V_A = 59,62 \approx 60 \text{ V} \text{ (din modelul SPICE al lui Q3)}$$

$$R_{EE} = \frac{60 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 60 \text{ k}\Omega$$

$$g_{me1} = g_{me2} = g_{me} = 40 I_{C21} = 40 \cdot \frac{I_{EE}}{2} = 20 \text{ mA/V}$$

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_{C21}}{V_i} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_{sdif}}{\frac{1}{g_{me}} + R_{emitterQ1}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_8 \parallel Z_{inQ12}}{\frac{1}{g_{me}} + R_f} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,84 \text{ k}\Omega}{\frac{1}{g_{me}} + 560} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,84 \cdot 10^3}{560} = 3,42$$

$$\text{Amplificarea de mod comun: } A_{CM} = \frac{R_{sdif}}{2R_{EE}} \cdot \frac{3,84 \text{ k}\Omega}{120 \text{ k}\Omega} = 0,082$$

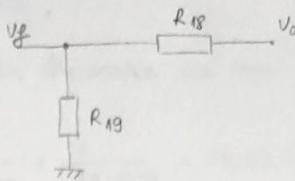
$$CHRR = \frac{AV_{25}}{A_{CM}} \approx \frac{3,84}{0,032} = 120 \quad [41,58 \text{ dB}]$$

REACTIJA NEGATIVĂ

Reactia negativa este formată cu rezistențele R_{18} , R_{19}

Factorul de divizare al reactiei este : $\frac{R_{19}}{R_{19} + R_{18}}$

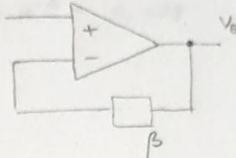
$$V_f = \frac{R_{19}}{R_{19} + R_{18}} \cdot V_o \Rightarrow \frac{V_f}{V_o} = \beta = \frac{R_{19}}{R_{19} + R_{18}} \approx \frac{1}{8}$$



Pentru amplificare $A_V = 8$, avem nevoie de un factor de divizare pe reactie de valoare 8.

$$A = \frac{a}{1 + a \cdot \beta} = \frac{1}{\frac{1}{a} + \beta}$$

a = amplificarea in buclă de reactie



Tip reactie: mod-bruclă

$$\text{dacă } a \rightarrow \infty \Rightarrow A = \frac{1}{\beta}$$

$$\text{pentru } a = 600 \Rightarrow A = \frac{1}{\frac{1}{600} + \frac{75}{8}} = \frac{600}{75+1} = \frac{600}{76} = 7,89 \approx 7,9$$

Vor alege $R_{19} = 2k$ și $R_{18} = 14k$ pentru $\beta = \frac{1}{8} \Rightarrow$ Vor alege valorile standard:

$$\begin{cases} R_{18} = 15k \\ R_{19} = 2k \end{cases}$$

STABILITATEA

1. Stabilitatea la frecvențe joase

Capacitățile ce intervin la frecvențe joase sunt C_1, C_2, C_3

C_3 introduce 1 pol și 1 zero. Se alege pt. părțea dată de C_3 frecvența cea mai mare.

Se alege $C_3 = 10\mu F$ și rezultă

$$T_{3p} = C_3 R_{19} = 10\mu F \cdot 1K = 0,01 \Rightarrow f_{3p} = \frac{1}{2\pi T_{3p}} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,01} = 15,92 \text{ Hz}$$

$$T_{3z} = C_3 (R_{19} + R_{18}) = 10\mu F \cdot (1K + 6,8K) = 7,8 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 0,078$$

$$f_{3z} = \frac{1}{2\pi T_{3z}} = 2,04 \text{ Hz}$$

Având în vedere că R_{20} se alege astfel încât impedanța voită spre amplificator să fie $47\text{k}\Omega$ vom alege C_2 astfel:

$$\text{considerând frecvența } f_1 = 0,3 \text{ Hz} \Rightarrow C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot 0,3 \cdot 47 \cdot 10^3} = 19,29 \mu F$$

\Rightarrow Alegem C_2 cu valoarea standard $10\mu F$

Se alege $C_1 = 10\mu F$

LISTA COMPONENTELOR AMPLIFICATORULUI

Resistente

$$R_{31} = 0,1\text{ k}\Omega, 5\%$$

$$R_{30} = 0,1\text{ k}\Omega, 5\%$$

$$R_{29} = 0,47\text{ k}\Omega, 5\%$$

$$R_{28} = 0,47\text{ k}\Omega, 5\%$$

$$R_{27} = 51\text{ }\Omega, 5\%$$

$$R_{26} = 51\text{ }\Omega, 5\%$$

$$R_{25} = 47\text{ k}\Omega, 5\%$$

$$R_{19} = 2\text{ k}\Omega, 5\%$$

$$R_{18} = 15\text{ k}\Omega, 5\%$$

$$R_{17} = 510\text{ }\Omega, 5\%$$

$$R_{16} = 33\text{ }\Omega, 5\%$$

$$R_{15} = 1\text{ k}\Omega, 5\% \text{ (semireglabil)}$$

$$R_{14} = 1,5\text{ k}\Omega, 5\%$$

$$R_{13} = 68\text{ }\Omega, 5\%$$

$$R_{12} = 22\text{ k}\Omega, 5\%$$

$$R_{11} = 6,8\text{ k}\Omega, 5\%$$

$$R_{10} = 22\text{ k}\Omega, 5\%$$

$$R_8 = 3,9\text{ k}, 5\%$$

$$R_7 = 510, 5\%, R_9 = 470\text{ }\Omega, 5\% \text{ (preferabil să fie înlocuit cu un semireglabil pentru echilibrarea semnalului)}$$

$$R_5 = 18\text{ }\Omega, 5\%$$

Condensatori

$$C_1 = 10\text{ pF}$$

$$C_2 = 10\text{ }\mu\text{F}$$

$$C_3 = 10\text{ }\mu\text{F}$$

Diode

$$D_Z = 6,2\text{ V} \quad 8Z \times 84C6V2$$

Transistori

$$Q_1 \text{ BC856}$$

$$Q_3 \text{ BC856}$$

$$Q_5 \text{ BC856}$$

$$Q_8 \text{ BC817}$$

$$Q_{14} \text{ MJD31CG}$$

$$Q_2 \text{ BC856}$$

$$Q_4 \text{ BC846}$$

$$Q_6 \text{ BC856}$$

$$Q_9 \text{ BC807}$$

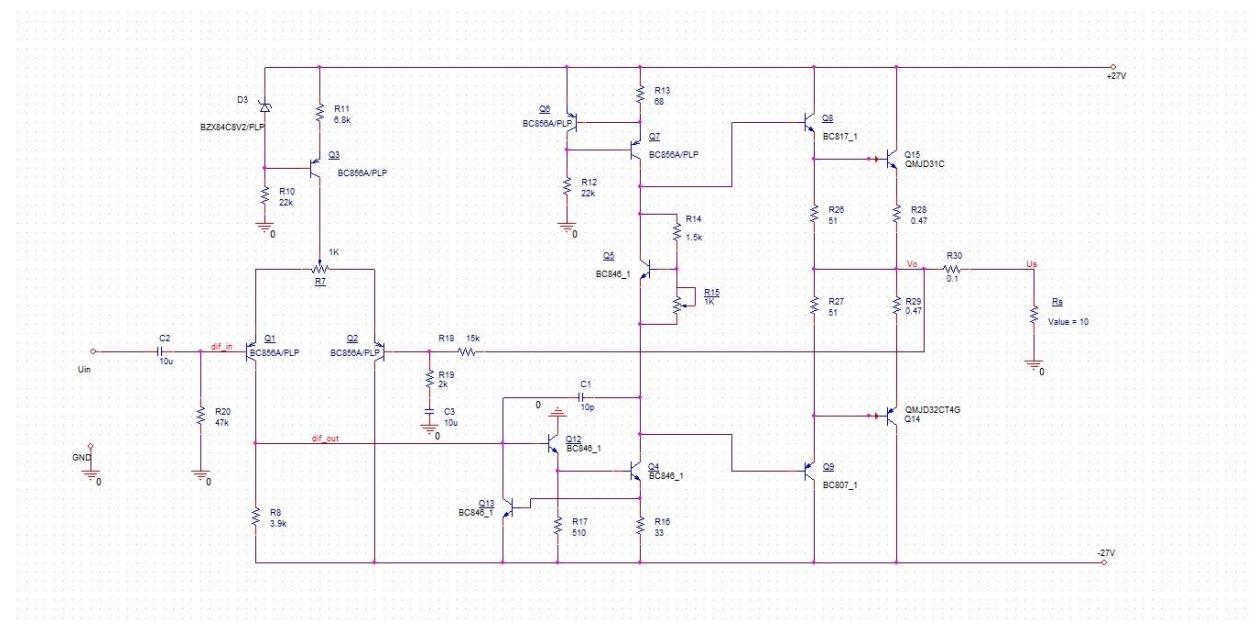
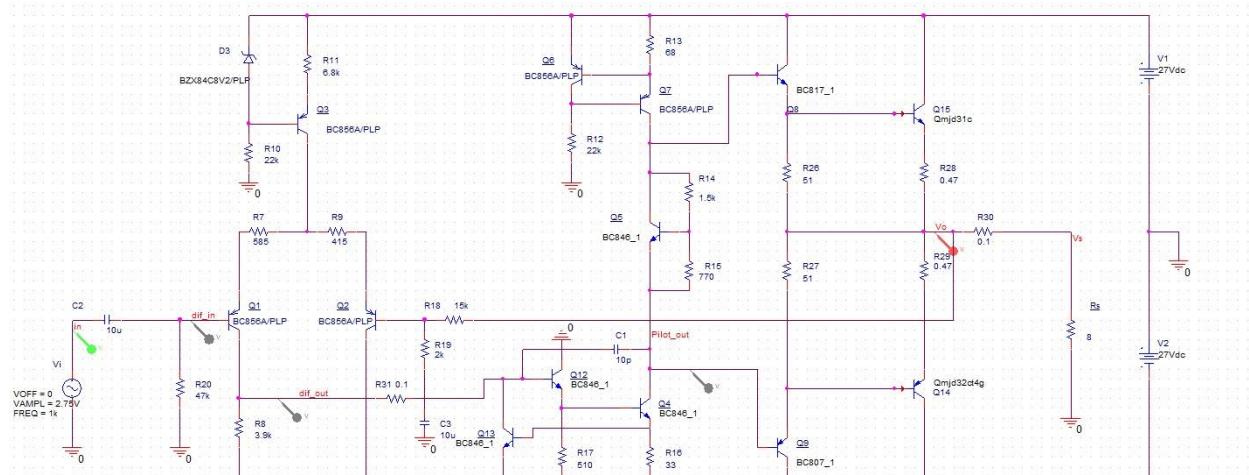
$$Q_{15} \text{ MJA32CG}$$

$$Q_{12} \text{ - BC846}$$

$$Q_{13} \text{ - BC846}$$

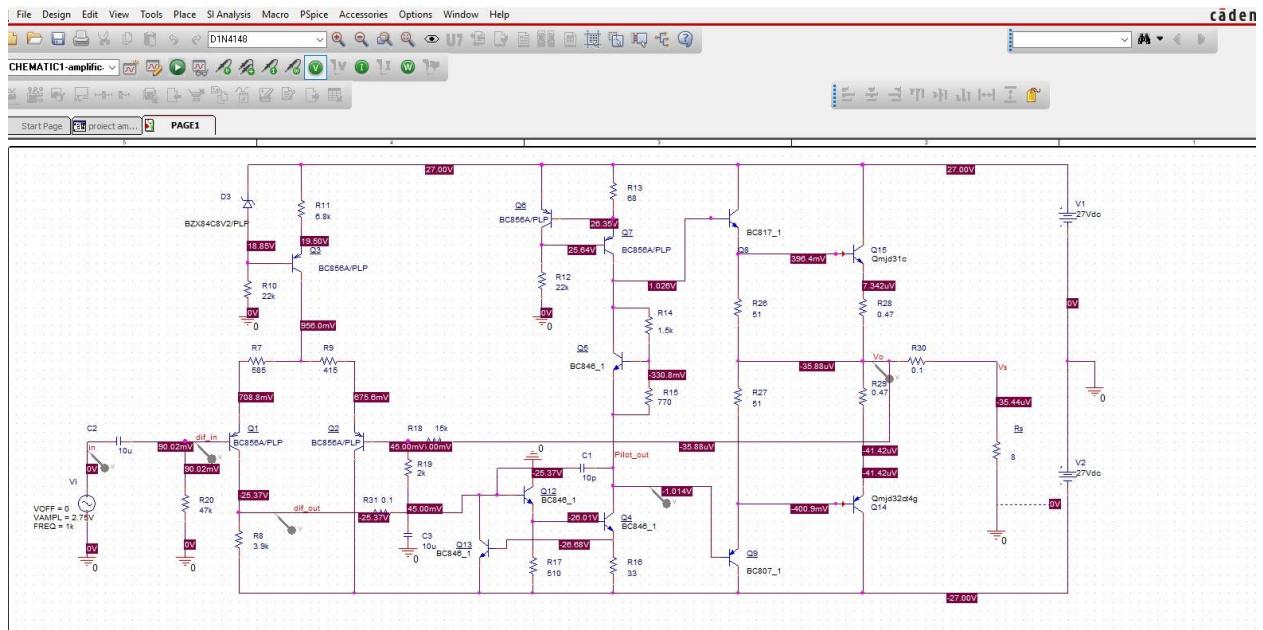
Schema amplificatorului audio de putere cu puterea de 30W este prezentata in figura 1

Rezistoarele au toleranta de 5%.



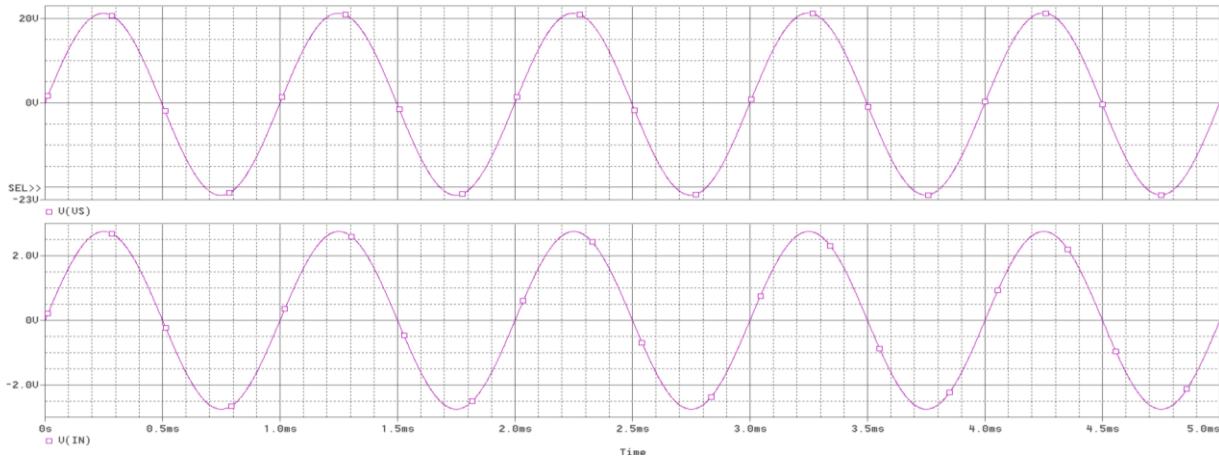
Simularea amplificatorului de putere

- *Simulare PSF*
- PSF-ul amplificatorului de putere

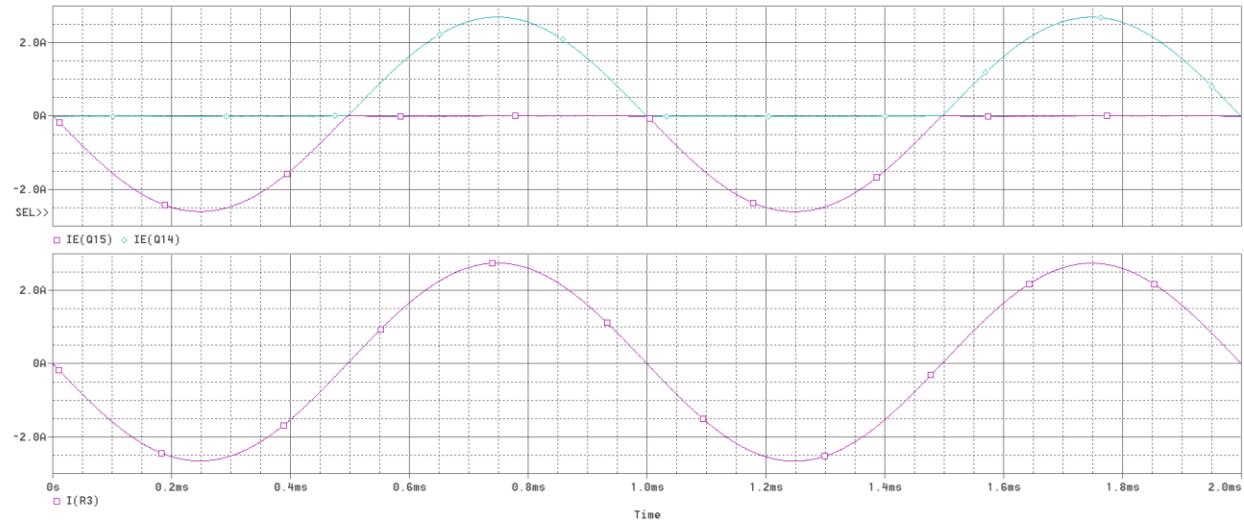


➤ Simulare in domeniul timp si vizualizarea formelor de undă

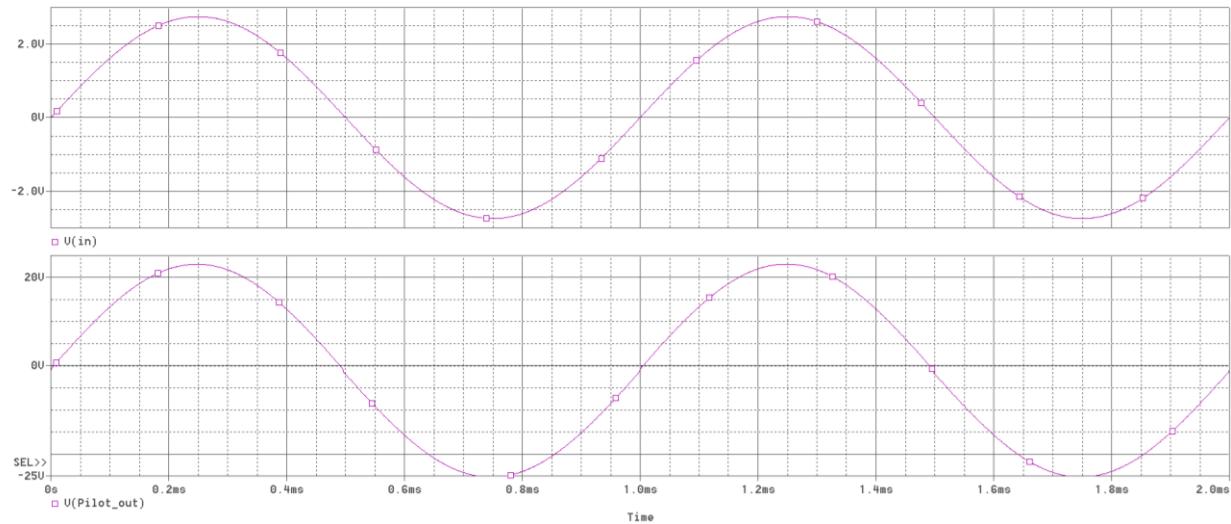
- Tensiunea la intrare si pe sarcina



- Curentii prin sarcina si prin tranzistorii finali pentru tensiunea maxima la intrare

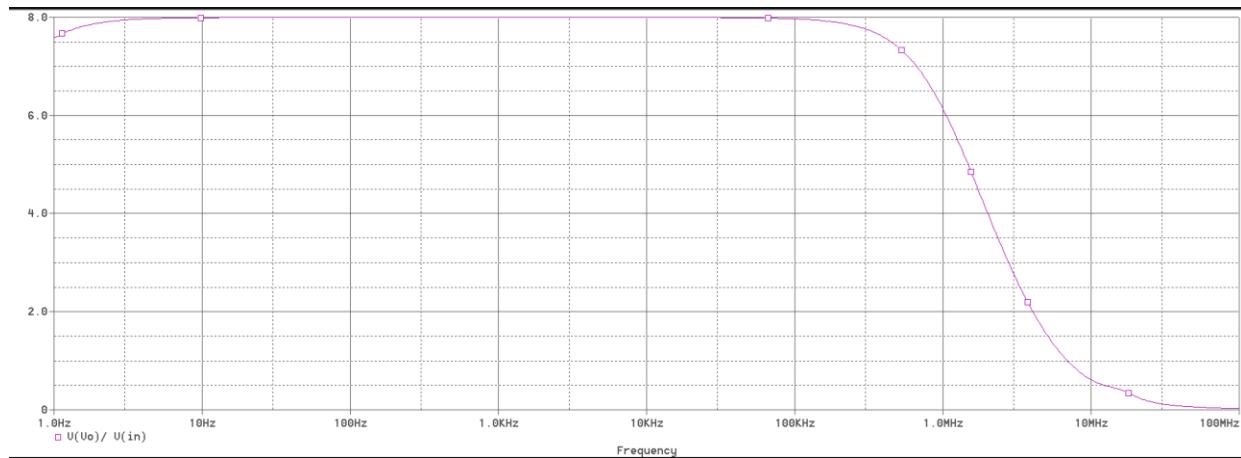


Tensiunea la iesirea amplificatorului pilot Q4

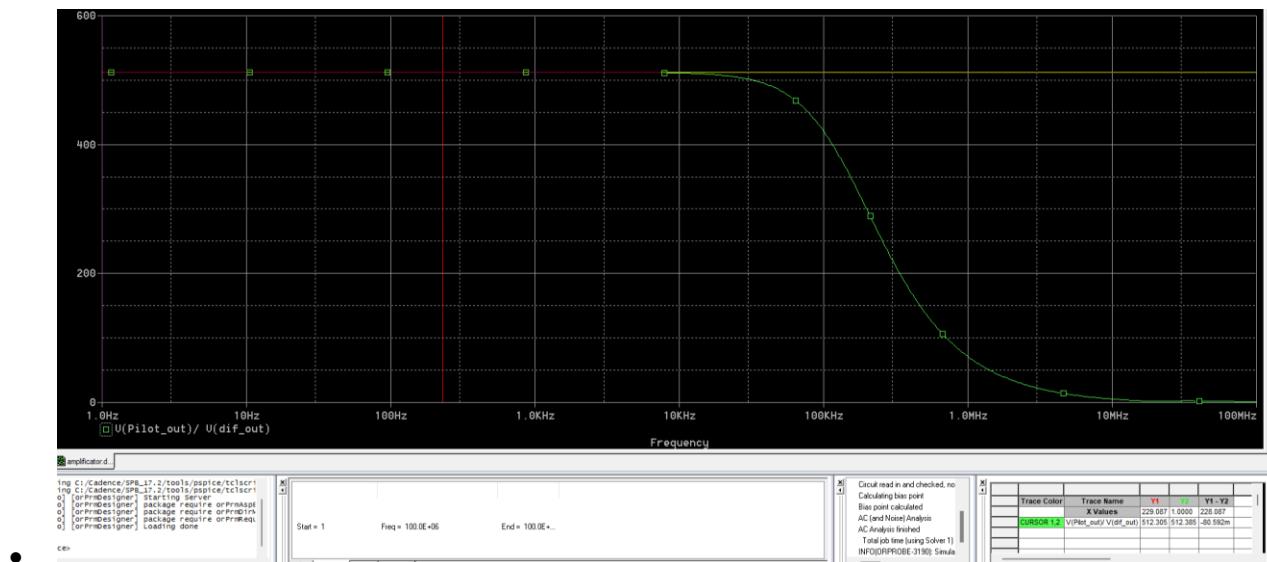


- Simulare in domeniul frecventa si vizualizarea amplificarilor si impedantelor etajelor

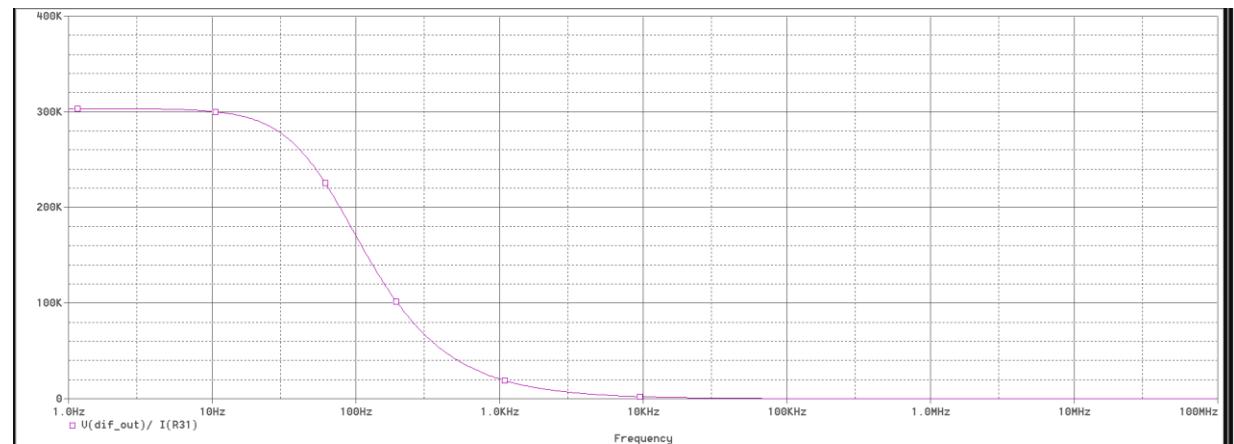
- Amplificarea in tensiune la iesirea amplificatorului (U_o/U_{in})



- Amplificarea etajului pilot este 512



- Impedanta de intrare in etajul pilot este



- Simulare rezistenta echivalenta in colectorul tranzistorului pilot.

Este rezistenta de iesire din multiplicatorul Vbe (de ordinul $k \cdot re \approx 12\Omega$ pentru $k=4$ si $re=3\Omega$) serie cu rezistenta sursei de curent cu reactie care este mare. Simularea rezistentelor de iesire din fiecare circuit separat si rezistenta de iesire totala este prezentata in figurile urmatoare:

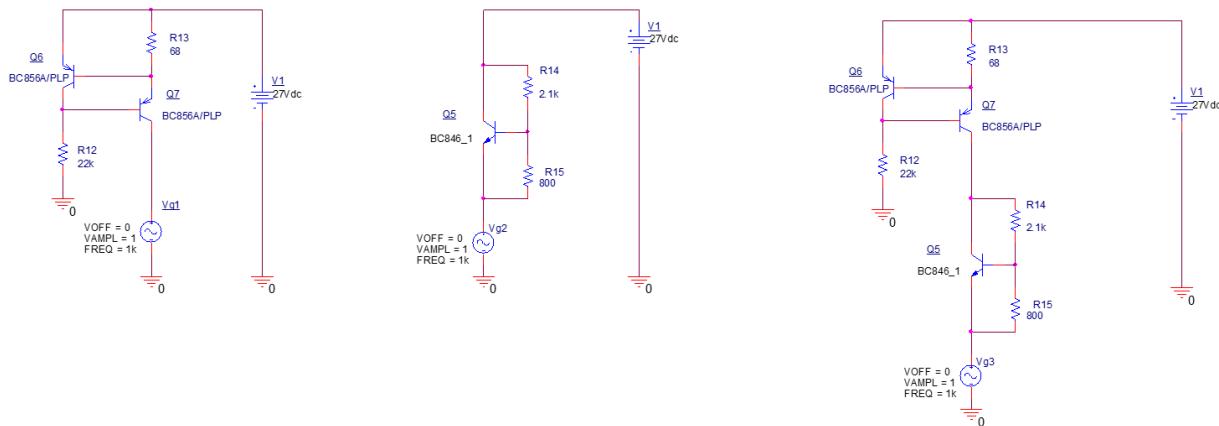
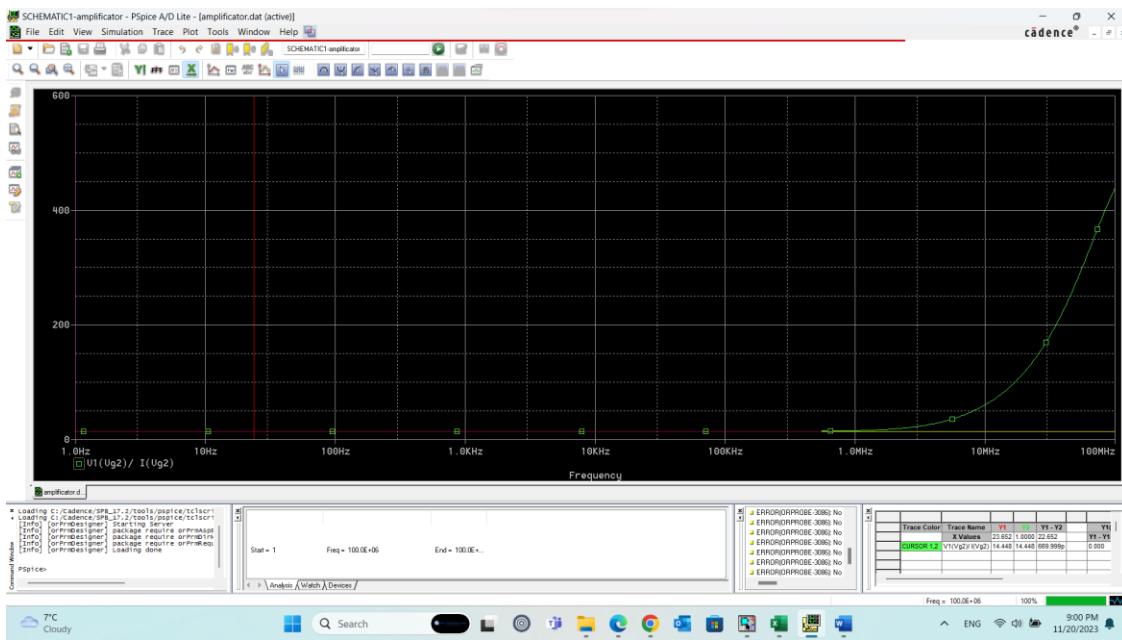
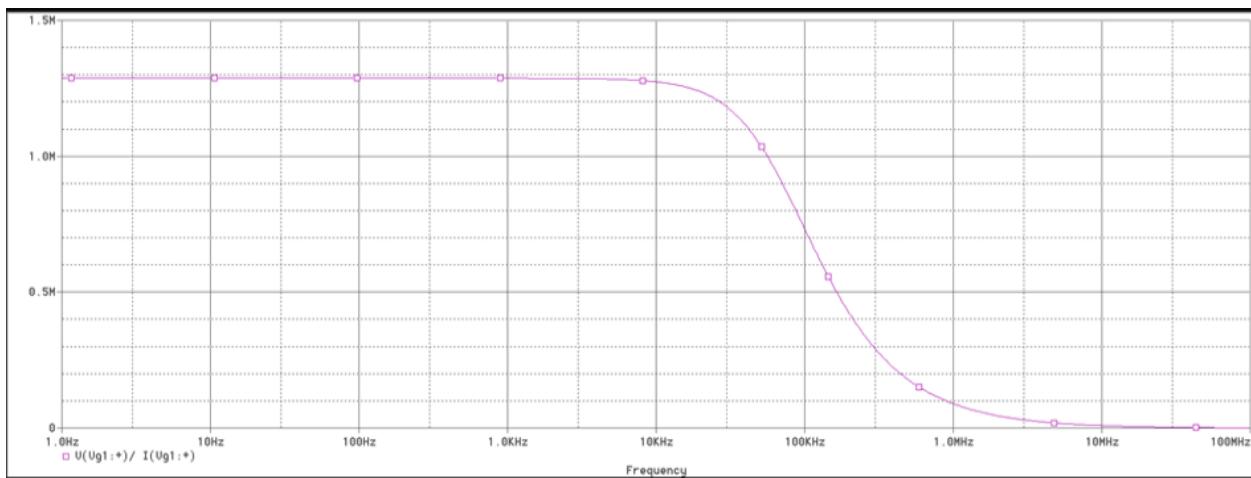
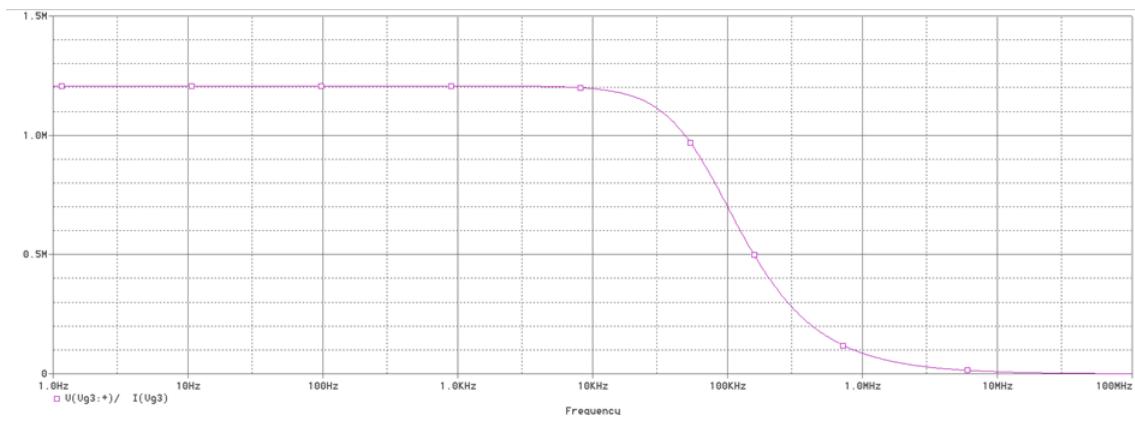


Fig. 1 Schema de simulare a rezistentei (impedantei) de iesire din circuitele din colectorul tranzistorului din etajul pilot

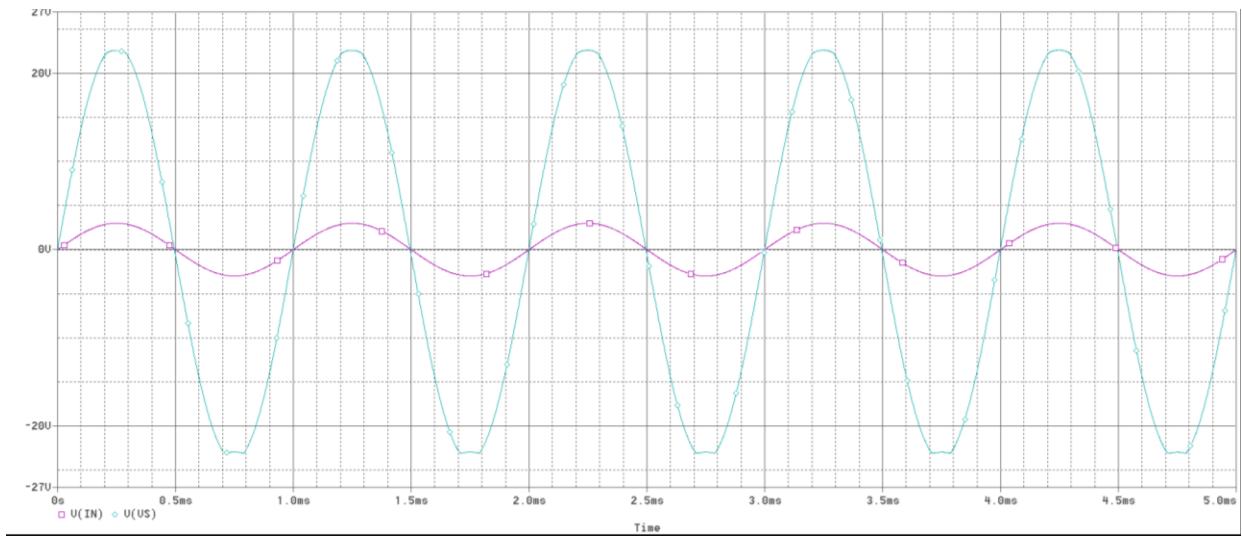


Impedanta de iesire a multiplicatorului de V_{be} este 14.4 Ohm in simularea Pspice.

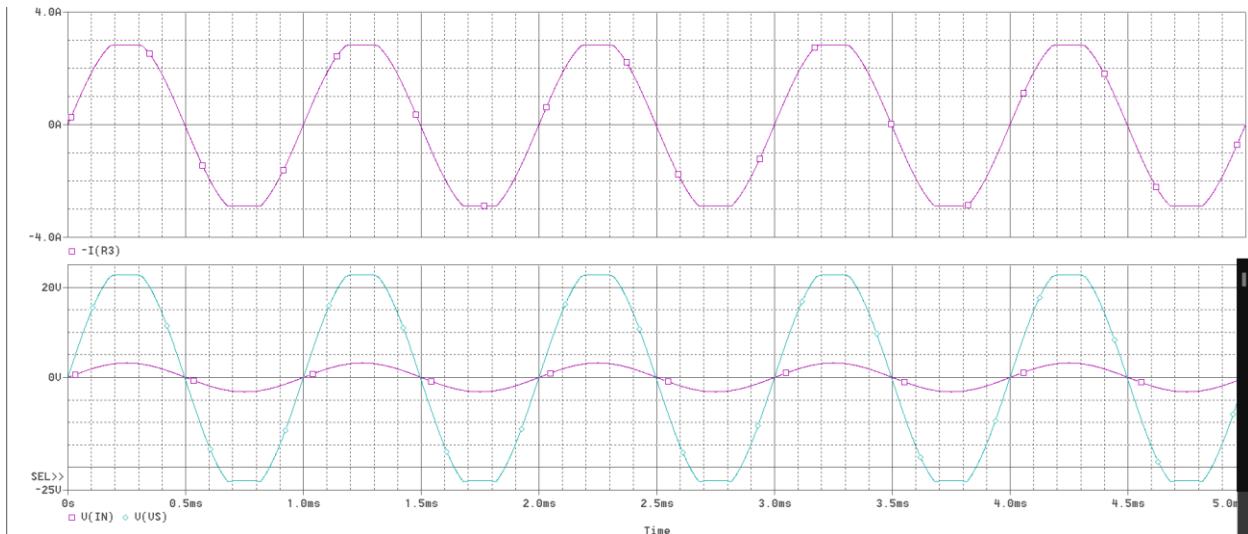


➤ Limitarea etalului de ieșire la aplicarea unei tensiuni la intrare mai mari decat tensiunea maxima

Limitarea tensiunii la ieșire pentru $Ui = 3V$:



Limitarea tensiunii si a curentului prin sarcina pentru $U_i = 3V$:



Bibliografie:

- „Etaje componente ale C.I. analogice. Amplificatorul diferențial”- Adrian Sorin Mirea
- „Designing Audio Power Amplifiers ” -Bob Cordell
- <https://electronics.stackexchange.com/questions/529475/design-a-class-ab-audio-amplifier>
- <https://ukdiss.com/examples/class-ab-audio-amplifier.php>
- [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Electronics/Book%3A_Semiconductor_Devices_-_Theory_and_Application_\(Fiore\)/09%3A_BJT_Class_B_Power_Amplifiers/9.2%3A_The_Class_B_Configuration](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Electrical_Engineering/Electronics/Book%3A_Semiconductor_Devices_-_Theory_and_Application_(Fiore)/09%3A_BJT_Class_B_Power_Amplifiers/9.2%3A_The_Class_B_Configuration)