



Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București
FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA
INFORMAȚIEI

STABILIZATOR DE TENSIUNE CU ELEMENT DE REGLAJ SERIE

Proiect 1-DCE

Student: Năftănăilă Bianca-Elena

Grupa 431E

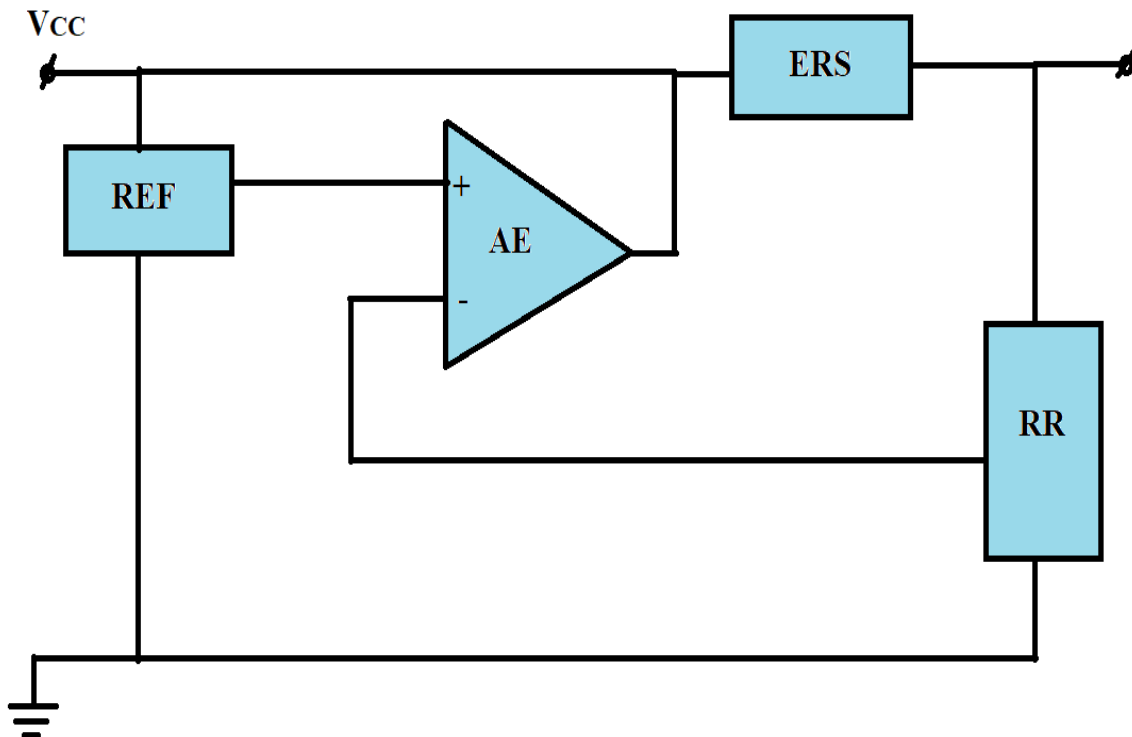
Tema 7

(N=16)

1) Date de proiectare

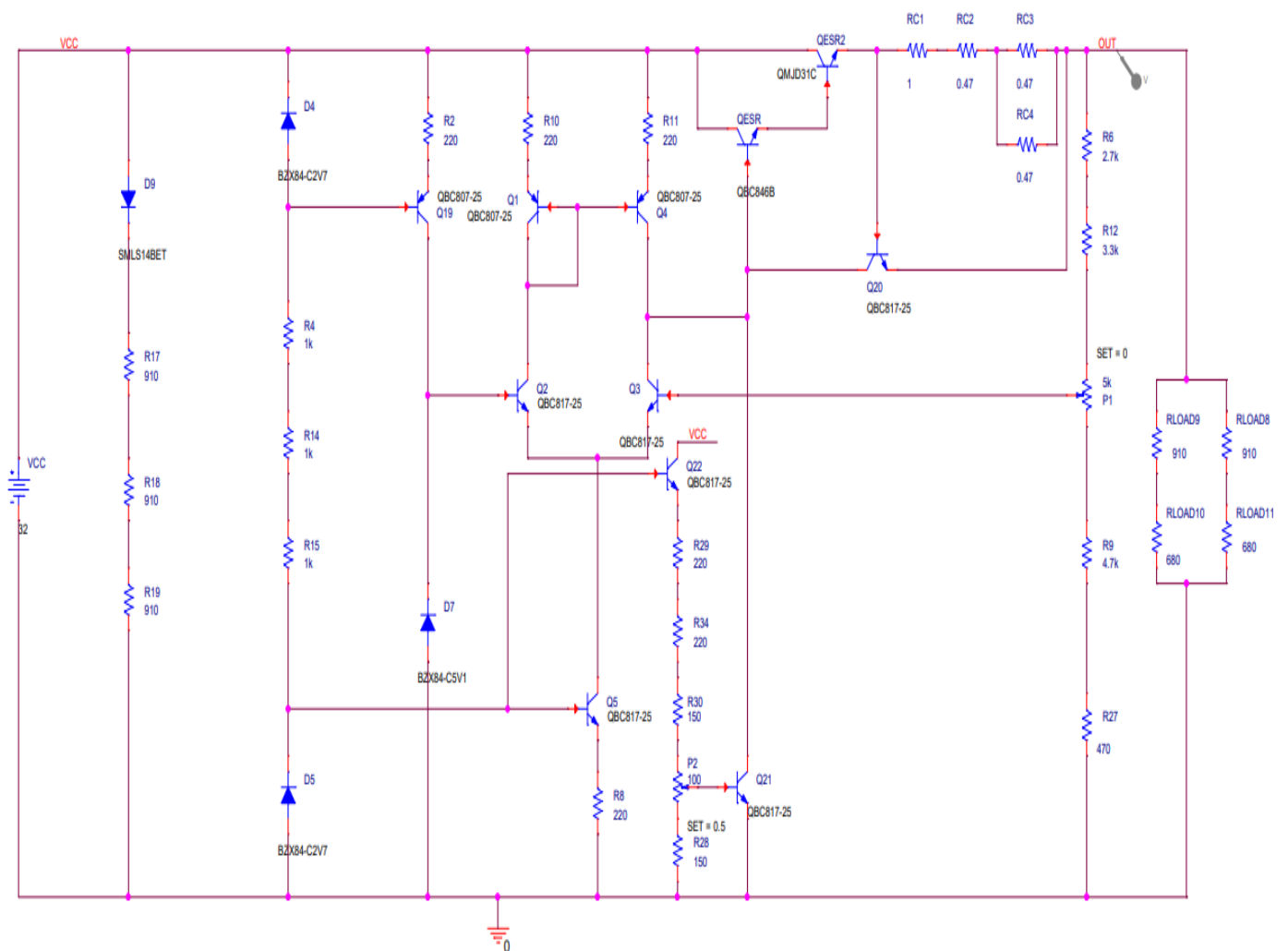
- Să se proiecteze și realizeze un stabilizator de tensiune cu ERS având următoarele caracteristici:
 - ◆ Tensiunea de ieșire reglabilă în intervalul: $-8 \div 16$ [V]
 - ◆ Element de reglaj serie;
 - ◆ Sarcina la ieșire $R_L = 800$ [Ω];
 - ◆ Deriva termică $< 2\text{mV}/^\circ\text{C}$;
 - ◆ Protecție la suprasarcină prin limitarea temperaturii tranzistorului element de reglaj serie la 100°C , și a curentului maxim la $0,4\text{A}$;
 - ◆ Tensiune de intrare în intervalul: $-28,8 \div 32$ [V]
 - ◆ Domeniul temperaturilor de funcționare: $0^\circ - 70^\circ\text{C}$ (verificabil prin testare în temperatură);
 - ◆ Amplificarea în tensiune minimă (în buclă deschisă) a amplificatorului de eroare: minim 200;
 - ◆ Semnalizarea prezenței tensiunilor de intrare/ieșire cu diodă de tip LED

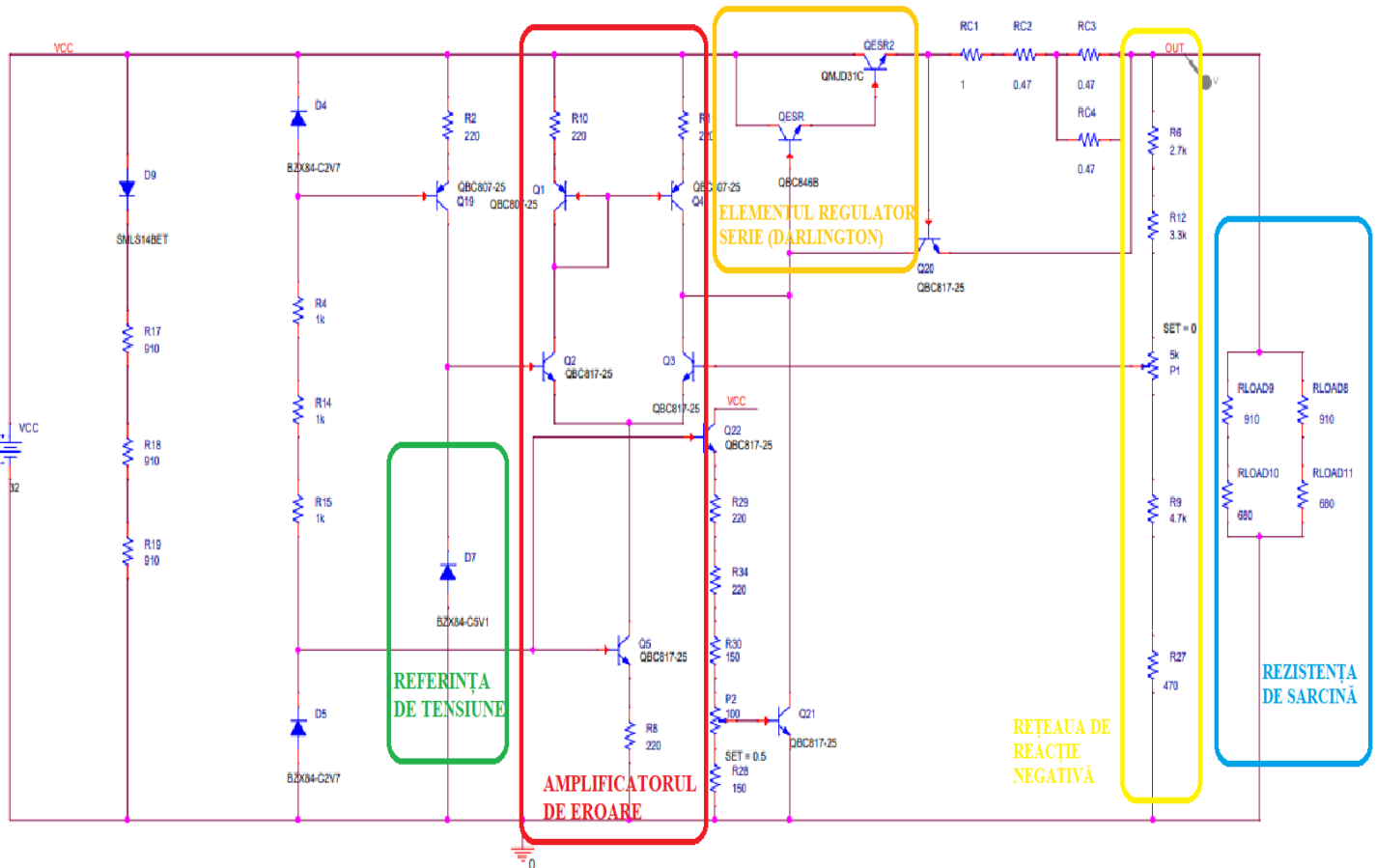
2) Schema bloc stabilizator de tensiune cu ERS



- **REF** - Referința de tensiune - asigură o mare stabilitate în timp la variația tensiunii de intrare și a temperaturii;
- **ERS** - Elementul de reglaj serie - menține tensiunea de ieșire la nivelul specificat sub controlul amplificatorului de eroare (controlează curentul de ieșire în circuit);
- **RR** - Rețeaua de reacție negativă – are rolul de a prelua semnalul de la ieșirea amplificatorului în sensul scăderii amplitudinii acestuia;
- **AE** - Amplificatorul de eroare compară tensiunea de ieșire pentru a acționa asupra elementului de reglaj.

3) Schema electrică





Rolul principalelor elemente din circuit:

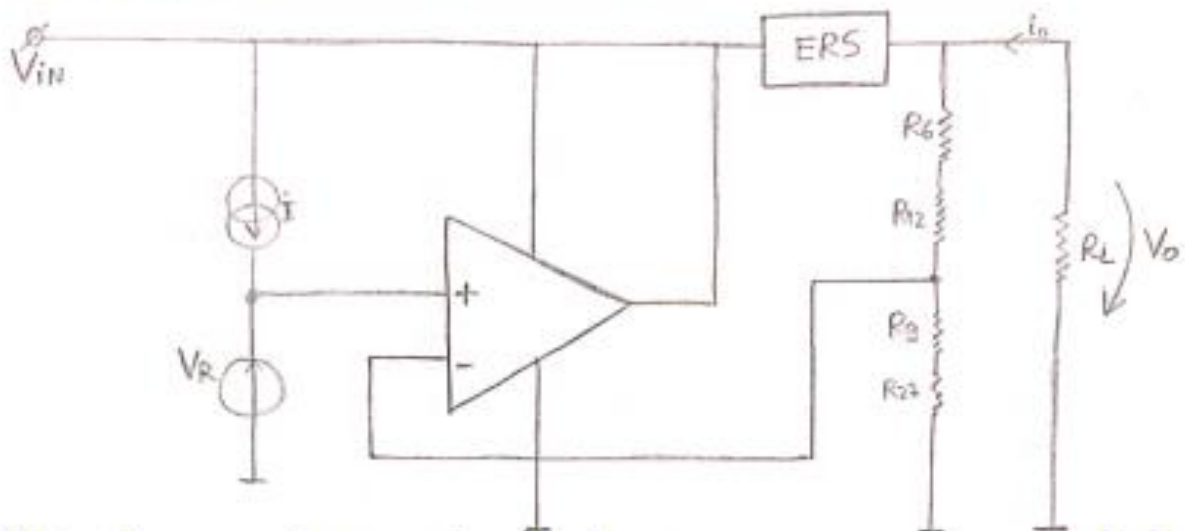
- Grupul QESR-QESR2 (Darlington) constituie elementul de reglaj serie, unde QESR2 este un tranzistor de putere (β_F redus) care dă curentul prin sarcină. Tranzistorul QESR are rolul de demultiplicare a curentului de bază al lui QESR2 și face posibilă funcționarea amplificatorului de eroare la curenți acceptabili.
- Etajul diferențial Q2 și Q3, împreună cu sursa de curent Q5, R8 și oglinda de curent Q1, Q4, R10 și R11 (ce are rolul de a asigura curenți egali prin cele două ramuri) formează amplificatorul de eroare.
- Dioda Zener este referința de tensiune și este polarizată la curent constant de sursa de curent D4 și R2.
- Q21 reprezintă senzorul de temperatură. Acest tranzistor va fi plasat pe radiatorul tranzistoarelor QESR, QESR2, cât mai aproape de acestea pentru a realiza un bun contact termic. Tensiunea V_{BE} la care acest tranzistor poate să conducă un curent semnificativ scade cu $2\text{mV}/^\circ\text{C}$. Astfel, se va ajusta valoarea divizorului de tensiune R29, R34, R30, P2, R28. P2, prin urmare, are rolul de a ajusta acest divizor astfel încât tensiunea din emitorul lui Q22 să deschidă pe Q21 la circa 100°C .
- Q20 și gruparea de rezistoare RC1-RC4 îndeplinesc rolul de protecție la scurtcircuit, deoarece, pentru a forța un curent mare prin tranzistorul QESR2 și când sarcina circuitului este mare am conectat aceste rezistențe de valori mici care să asigure un curent optim pentru a ține tensiunea de ieșire constantă.
- Gruparea de rezistoare RLOAD, RLOAD1-RLOAD7 formează rezistența de sarcină, alese astfel încât puterea disipată pe o rezistență să nu depășească 125mW .
- Potențiometrul P1 și rezistențele R6, R12, R9, R27 formează rețeaua de reacție negativă și au rolul de a regla tensiunea de la ieșirea stabilizatorului astfel încât să se acopere plaja de reglaj a acesteia.
- Valoarea diodei Zener (referința de tensiune) a fost aleasă astfel încât coeficientul de variație cu temperatura să fie mic, sub $2\text{mV}/^\circ\text{C}$, această diodă de 5.1V având un drift termic foarte mic.

- Calculul PSF-ului de mai jos s-a realizat pentru o rezistență de sarcină de $800\ \Omega$, dar aceasta a fost înlocuită cu un grup de mai multe rezistoare înseriate deoarece puterea disipată printr-o rezistență de această valoare era prea mare.
- Pentru a asigura un curent optim aprinderii celor două led-uri care semnalizează tensiunile de intrare/ieșire, pentru led-ul de la intrare (D2) s-a ales o valoare a rezistenței de $1.32k\ \Omega$, iar pentru led-ul de ieșire (D8) s-a ales rezistența de $590\ \Omega$. Aceste rezistențe au rolul de a prelua o mare parte a tensiunii de intrare/ieșire.
- Rezistențele ce fac parte din oglinda de curent (rezistențe de degenerare) au rolul de a egala curenții prin cele două ramuri, având o cădere de tensiune mică pe acestea.

3.1) Calcul analitic și relații de dimensionare

~ Stabilizator de tensiune ~

- $R_L = 800 \Omega$
- $V_O \in [8; 16] \text{ V}$
- $V_i \in [28,8; 32] \text{ V}$



• Verificarea toleranței diodei Zener asupra circuitului

→ Toleranță: $\pm 5\%$

Am ales dioda Zener BZX84-C5V1 $\Rightarrow V_Z \in \left[5,1 - \frac{5}{100} \cdot 5,1; 5,1 + \frac{5}{100} \cdot 5,1 \right]$

$$\Leftrightarrow V_Z \in [4,845; 5,355] \text{ [V]}$$

$$\triangleright V_{\text{min}} = V_Z \cdot \frac{R_6 + R_{12} + R_9 + R_{27} + R_{P1}}{R_9 + R_{27} + R_{P1}}$$

$$\triangleright V_{\text{max}} = V_Z \cdot \frac{R_6 + R_{12} + R_9 + R_{27} + R_{P1}}{R_9 + R_{27}}$$

$$\text{Pentru } V_Z = 4,845 \text{ V: } \begin{cases} V_{\text{min}} = 4,845 \cdot \frac{2,7 + 3,3 + 4,7 + 0,47 + 5}{4,7 + 0,47 + 5} = 4,7 \text{ V} \\ V_{\text{max}} = 4,845 \cdot \frac{2,7 + 3,3 + 4,7 + 0,47 + 5}{4,7 + 0,47} = 15,15 \text{ V} \end{cases}$$

$$\text{Pentru } V_Z = 5,355 \text{ V: } \begin{cases} V_{\text{min}} = 5,355 \cdot \frac{2,7 + 3,3 + 4,7 + 0,47 + 5}{4,7 + 0,47 + 5} = 8,5 \text{ V} \\ V_{\text{max}} = 5,355 \cdot \frac{2,7 + 3,3 + 4,7 + 0,47 + 5}{4,7 + 0,47} = 16,7 \text{ V} \end{cases}$$

\Rightarrow (+) V_Z limitele pentru V_O sunt atinse

Punctul static de funcționare teoretic (PSF)

CAZUL 1: $V_{CC} = 28,8V$ $SET_R = 1$

$$\begin{aligned} \rightarrow V_{P1} &= V_0 \cdot \frac{R_9 + R_{27}}{R_6 + R_{12} + R_9 + R_{27} + R_{P1}} \quad \left| \Rightarrow V_0 = \frac{R_9 + R_{27}}{R_6 + R_{12} + R_9 + R_{27} + R_{P1}} = V_{Z7} \right. \\ V_{P1} &= V_{BE3} + V_{BE2} + V_{Z7} \quad \left| \Rightarrow V_0 = V_{Z7} \cdot \frac{R_6 + R_{12} + R_9 + R_{27} + R_{P1}}{R_9 + R_{27}} = \right. \\ &= 5,1 \cdot \frac{16,17}{5,17} = 15,95V \Rightarrow V_0 = 15,95V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow V_{CC} &= V_{D9} + i_{D9}(R_{17} + R_{18} + R_{19}) \Rightarrow i_{D9} = \frac{V_{CC} - V_{D9}}{R_{17} + R_{18} + R_{19}} = \frac{28,8 - 3,2}{0,91 + 0,91 + 0,91} = \\ &= \frac{25,6}{2,73} = 9,37mA \quad i_{D9} = 9,37mA \end{aligned}$$

Conform fișii de catalog a led-ului, tensiunea acestuia este de 3,2V. Rezistențele R_{17}, R_{18}, R_{19} au fost alese în mod convenabil, astfel încât curentul prin led-ul D_9 să fie optim conform fișii de catalog, ținând cont și de puterile maxime admise pe rezistențe (125mW).

→ Calculăm curentul prin Q_{19} și D_7 , notat cu i_2 :

$$\begin{aligned} V_{D4} &= i_2 R_2 + V_{BE19} \Rightarrow i_2 = \frac{V_{Z4} - V_{BE19}}{R_2} = \frac{2,7 - 0,6}{0,22} = 9,54mA \\ i_2 &= 9,54mA \end{aligned}$$

→ Calculăm curentul prin D_4 și D_5 , notat cu i_1 :

$$\begin{aligned} V_{CC} &= V_{Z4} + i_1(R_4 + R_{14} + R_{15}) + V_{Z5} \Rightarrow i_1 = \frac{V_{CC} - V_{Z4} - V_{Z5}}{R_4 + R_{14} + R_{15}} = \\ &= \frac{28,8 - 2,7 - 2,7}{1 + 1 + 1} = 7,8mA \Rightarrow i_1 = 7,8mA \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow V_{Z5} &= V_{BE5} + i_{Q5} \cdot R_8 \Rightarrow i_{Q5} = \frac{V_{Z5} - V_{BE5}}{R_8} = \frac{2,7 - 0,6}{0,22} = 9,54mA \\ i_{Q5} &= 9,54mA \end{aligned}$$

$$\rightarrow i_{Q2} \approx i_{Q3} = \frac{i_{Q5}}{2} \Rightarrow i_{Q2} = i_{Q3} = 4,77mA$$

$$\rightarrow i_{Q1} \cdot R_{10} + V_{BE1} = i_{Q4} \cdot R_{11} + V_{BE4}, \text{ dar } R_{10} = R_{11} = 220\Omega \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i_{Q1} = i_{Q4} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} V_{CC} &= i_2 R_2 + V_{EC19} + V_{Z1} \Rightarrow V_{EC19} = V_{CC} - i_2 R_2 - V_{Z1} = 28,8 - 9,54 \cdot 0,22 - 2,7 = \\ &= 26,1 - 2,0988 = 24V \Rightarrow V_{EC19} = 24V \end{aligned}$$

Cum $i_{Q1} = i_{Q2}$, $i_{Q2} = i_{Q3}$, Q_4 și Q_1 formează oglindă de curent, iar rezistențele R_{10} și R_{11} sunt egale (rezistențe de degenerare), curenții pe cele două

marcouri sunt ipotetice să fie aproximativ egale $\Rightarrow i_{Q1}=i_{Q2}=i_{Q3}=i_{Q4}=4,77\text{ mA}$

$$\rightarrow V_{Z5} = V_{BE22} + i_{Q22}(R_{29} + R_{34} + R_{30} + R_{P2} + R_{28}) \Rightarrow i_{Q22} = \frac{V_{Z5} - V_{BE22}}{R_{29} + R_{34} + R_{30} + R_{P2} + R_{28}} =$$

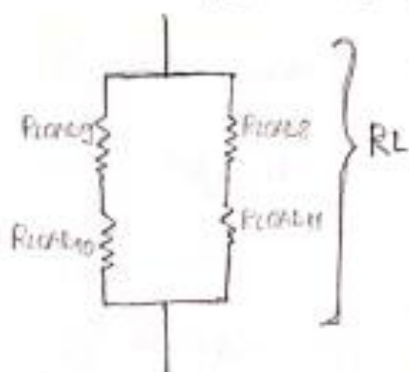
$$= \frac{2,7 - 0,6}{0,22 + 0,22 + 0,15 + 0,1 + 0,15} = \frac{2,1}{0,84} = 2,5\text{ mA} \Rightarrow i_{Q22} = 2,5\text{ mA}$$

→ Calculez curentul prin rețeaua de reacție negativă:

$$i_{\text{REACTIE}} = \frac{V_0}{R_6 + R_{12} + R_A + R_9 + R_{27}} = \frac{15,95}{2,7 + 3,3 + 5 + 4,7 + 0,47} = 0,986\text{ mA} \quad i_{\text{REACTIE}} = 0,986\text{ mA}$$

→ Calculez curentul prin rezistența de sarcină, notat i_{LOAD} :

$$i_{\text{LOAD}} = \frac{V_0}{R_L} = \frac{15,95}{0,795} = 20,06\text{ mA} \quad i_{\text{LOAD}} = 20,06\text{ mA}$$



Valorile rezistențelor $R_{\text{LOAD}8}, R_{\text{LOAD}9}, R_{\text{LOAD}10}, R_{\text{LOAD}11}$ au fost alese astfel încât rezistența echivalentă a acestora să fie cea impusă în cerințele de proiectare ($R_L = 800\Omega$). Acestea au fost grupate în paralel pentru ca puterea disipată pe fiecare rezistor să nu depășească puterea maximă admisă specificată în foaie de catalog (125 mW).

→ Notatie: $R_{C1} + R_{C2} + (R_{C3} || R_{C4}) = R_C$ $R_C = 1,47 + \frac{0,47 \cdot 0,47}{0,94} = 1,705\Omega$

Considerând că, curentul de bază al tranzistorului Q_{20} este neglijabil

$$\Rightarrow i_{Q5R2} = i_{RC} = i_{\text{REACTIE}} + i_{\text{LOAD}} = 0,986 + 20,06 = 21,04\text{ mA}$$

$$\Rightarrow i_{RC} = 21,04\text{ mA} = i_{Q5R2}$$

→ $V_{BE20} = i_{RC} \cdot R_C = 21,04 \cdot 10^{-3} \cdot 1,705 = 0,035\text{ V} < 0,6 \Rightarrow$ tranzistorul Q_{20} se află în blocare $\Rightarrow i_{Q20} = 0\text{ A}$

$$\rightarrow V_{EC1} = V_{BE1} = 0,6\text{ V}$$

$$\rightarrow V_{CC} = V_{CE22} + i_{Q22}(R_{29} + R_{34} + R_{30} + R_A + R_{28}) \Rightarrow V_{CE22} = V_{CC} - i_{Q22}(R_{29} + R_{34} + R_{30} + R_A + R_{28})$$

$$= 28,8 - 2,5(0,22 + 0,22 + 0,15 + 0,1 + 0,15) = 28,8 - 2,1 = 26,7\text{ V}$$

$$V_{CE22} = 26,7\text{ V}$$

$$\rightarrow V_{Z7} + V_{BE2} = V_{CE5} + i_{Q5}R_8 \Rightarrow V_{CE5} = V_{Z7} + V_{BE2} - i_{Q5}R_8 =$$

$$= 5,1 - 0,6 - 2,0988 \approx 2,4\text{ V} \Rightarrow V_{CE5} = 2,4\text{ V}$$

$$\rightarrow V_{CC} = i_{Q1} \cdot R_{10} + V_{EC1} + V_{CE2} + V_{CE5} + i_{Q5}R_8 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{CE2} = V_{CC} - i_{Q1}R_{10} - V_{EC1} - V_{CE5} - i_{Q5}R_8 = 28,8 - 1,0494 - 0,6 - 2,4 - 2,0988$$

$$= 22,65\text{ V} \Rightarrow V_{CE2} = 22,65\text{ V}$$

$$\rightarrow V_{CC} = I_{Q4} \cdot R_{11} + V_{EC4} + V_{BEESR} + V_{BEESR2} + V_{BE20} + I_{REACTIE} \cdot R_C \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{EC4} = V_{CC} - I_{Q4} \cdot R_{11} - 3V_{BE} - I_{REACTIE} \cdot R_C = 28,8 - 1,0494 - 1,8 - 15,94 = 10V \Rightarrow V_{EC4} = 10V$$

$$\rightarrow V_{CC} = I_{Q4} \cdot R_{11} + V_{EC4} + V_{CE3} + V_{CE5} + I_{Q3} \cdot R_8 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{CE3} = 28,8 - 1,0494 - 10 - 2,4 - 2,0988 = 13,25V \Rightarrow V_{CE3} = 13,25V$$

$$\rightarrow V_{CC} = I_{Q4} \cdot R_{11} + V_{CE21} + V_{EC4} \Rightarrow V_{CE21} = 28,8 - 1,0494 - 10 = 17,75V$$

$$\Rightarrow V_{CE21} = 17,75V$$

$$\rightarrow V_{CEESR2} \cong V_0 = 15,95V \quad V_{CEESR} = V_{CEESR2} - V_{BEESR2} \Rightarrow V_{CEESR} = 15,35V$$

$$\rightarrow I_{EESR} = I_{BESR2}$$

$$\text{Dar } I_{BESR2} = \frac{I_{CESR2}}{\beta_{CESR2}} = \frac{21,04}{125} = 168,3\mu A \Rightarrow I_{QESR} = 168,3\mu A$$

$$\rightarrow I_{Q21} = I_{BESR} = \frac{I_{CESR}}{\beta} = \frac{168,3}{10} = 16,83\mu A \quad I_{Q21} = 16,83\mu A$$

Centralizare PSE:

$$Q_1: \begin{cases} I_{Q1} = 4,77mA \\ V_{BE} = 0,6V > 0 \\ V_{EC} = 0,6V = V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{limita RAN}$$

$$Q_2: \begin{cases} I_{Q2} = 4,77mA \\ V_{BE} = 0,6V > 0 \\ V_{CE} = 22,65V > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q_3: \begin{cases} I_{Q3} = 4,77mA \\ V_{BE} = 0,6V > 0 \\ V_{CE} = 13,25V > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q_4: \begin{cases} I_{Q4} = 4,77mA \\ V_{BE} = 0,6V > 0 \\ V_{EC4} = 10V > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q_5: \begin{cases} I_{Q5} = 9,54mA \\ V_{BE} = 0,6V > 0 \\ V_{CE} = 2,4V > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q_{20}: \begin{cases} I_{Q20} = 0A \\ V_{BE} = 0,035V < 0,6 \end{cases} \Rightarrow \text{liberare}$$

$$Q_{21}: \begin{cases} I_{Q21} = 16,83\mu A \\ V_{BE} = 0,6V > 0 \\ V_{CE} = 17,75V > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q_{22}: \begin{cases} I_{Q22} = 2,5mA \\ V_{BE} = 0,6V > 0 \\ V_{CE} = 26,7V > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q_{ESR}: \begin{cases} I_{QESR} = 168,3\mu A \\ V_{BE} = 0,6V > 0 \\ V_{CE} = 15,35V > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q_{ESR2}: \begin{cases} I_{QESR2} = 21,04mA \\ V_{BE} = 0,6V > 0 \\ V_{CE} = 15,95V \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$D_4, D_5: \begin{cases} V_Z = 2,7V \\ I_Z = I_1 = 7,8mA > I_{Zmin} = 5mA \text{ (pauză de catalog)} \end{cases} \Rightarrow \text{stabilizare}$$

$$D_7: \begin{cases} V_Z = 5,1V \\ I_Z = 9,54mA > I_{Zmin} = 5mA \end{cases} \Rightarrow \text{stabilizare}$$

$$Q_{13}: \begin{cases} I_{Q13} = 9,54mA \\ V_{BE} = 0,6V > 0 \\ V_{EC} = 24V > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

→ Verificare puteri - cazul 1 - componente active:

	V	i	P
D9 (SMD2012B)	3,2 V	9,37 mA	29,98 mW < 114 mW
D4, D5 (BZX84-C2V7)	2,7 V	7,8 mA	21,06 mW < 250 mW
Q19	24 V	9,54 mA	228,96 mW < 310 mW
D7 (BZX84-C5V1)	5,1 V	9,54 mA	48,65 mW < 300 mW
Q1	0,6 V	4,77 mA	2,862 mW < 310 mW
Q2	22,65 V	4,77 mA	108,04 mW < 310 mW
Q5	2,4 V	9,54 mA	22,896 mW < 310 mW
Q4	10 V	4,77 mA	47,7 mW < 310 mW
Q3	13,25 V	4,77 mA	63,2 mW < 310 mW
Q22	26,7 V	2,5 mA	66,75 mW < 310 mW
QESR2	15,95 V	21,04 mA	335,58 mW < 15 W
QESR	15,35 V	168,3 μA	2,583 mW < 310 mW
Q21	17,75 V	16,83 μA	0,298 mW < 310 mW

CAZUL 2: $V_{CC} = 32 V$ $SETR = 1$

Valori care nu se modifică la schimbarea terminii de intrare (din calcul)

$$\rightarrow V_0 = 15,95 V \quad \rightarrow i_{Q1} = i_{Q2} = i_{Q3} = i_{Q4} = 4,77 mA \quad \rightarrow i_{QESR2} = 21,04 mA$$

$$\rightarrow i_2 = 9,54 mA \quad \rightarrow i_{Q22} = 4,77 mA \quad \rightarrow i_{Q20} = 0 A$$

$$\rightarrow i_{Q5} = 9,54 mA \quad \rightarrow i_{REACTIE} = 0,986 mA \quad \rightarrow V_{EC1} = 0,6 V$$

$$\rightarrow i_{Q2} = i_{Q3} = 4,77 mA \quad \rightarrow i_{LOAD} = 20,06 mA \quad \rightarrow V_{CE5} = 2,4 V$$

$$\rightarrow V_{CEESR2} = 15,95 V \quad \rightarrow V_{CEESR} = 15,35 V \quad \rightarrow i_{QESR} = 168,3 \mu A$$

$$\rightarrow i_{Q21} = 16,83 \mu A$$

$$\rightarrow i_{D9} = \frac{V_{CC} - V_{D9}}{R_{17} + R_{18} + R_{19}} = \frac{32 - 3,2}{243} = 10,54 mA \Rightarrow i_{D9} = 10,54 mA$$

$$\rightarrow i_1 = \frac{V_{CC} - V_{Z4} - V_{Z5}}{R_4 + R_{14} + R_{15}} = \frac{32 - 5,4}{3} = 8,86 mA \Rightarrow i_1 = 8,86 mA$$

$$\rightarrow V_{EC19} = V_{CC} - i_2 R_2 - V_{Z1} = 32 - 2,0988 - 2,7 = 27,2 V \Rightarrow V_{EC19} = 27,2 V$$

$$\rightarrow V_{CE2} = V_{CC} - i_{Q1} R_{10} - V_{EC1} - V_{CE5} - i_{Q5} R_8 = 32 - 1,0494 - 0,6 - 2,4 - 2,0988 = 25,85 V \Rightarrow V_{CE2} = 25,85 V$$

$$\rightarrow V_{EC4} = V_{CC} - i_{Q4} R_{11} - 3V_{BE} - i_{REACTIE} \cdot R_C = 32 - 1,0494 - 1,8 - 15,94 = 13,2 V \Rightarrow V_{EC4} = 13,2 V$$

$$\rightarrow V_{CE21} = V_{CC} - i_{Q4} R_{11} - V_{EC4} = 32 - 1,0494 - 13,2 = 17,75 V$$

$$V_{CE21} = 17,75 V$$

Verificare PSE:

$$Q1: \begin{cases} i_{Q1} = 4,77 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0,6 \text{ V} > 0 \\ V_{CE} = 0,6 \text{ V} = V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{limita RAN}$$

$$Q3: \begin{cases} i_{Q3} = 4,77 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0,6 \text{ V} > 0 \\ V_{CE} = 13,25 \text{ V} > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q5: \begin{cases} i_{Q5} = 9,54 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0,6 \text{ V} > 0 \\ V_{CE} = 2,4 \text{ V} > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q20: \begin{cases} i_{Q20} = 0 \text{ A} \\ V_{BE} = 0,035 \text{ V} < 0,6 \end{cases} \Rightarrow \text{blocare}$$

$$Q22: \begin{cases} i_{Q22} = 2,5 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0,6 \text{ V} > 0 \\ V_{CE} = 26,7 \text{ V} > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$QESR2: \begin{cases} i_{QESR2} = 21,04 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0,6 \text{ V} > 0 \\ V_{CE} = 15,95 \text{ V} > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$D7: \begin{cases} V_Z = 5,1 \text{ V} \\ i_Z = 9,54 \text{ mA} > i_{Z, \min} = 5 \text{ mA} \end{cases} \Rightarrow \text{stabilizare}$$

$$Q2: \begin{cases} i_{Q2} = 4,77 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0,6 \text{ V} > 0 \\ V_{CE} = 25,85 \text{ V} > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q4: \begin{cases} i_{Q4} = 4,77 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0,6 \text{ V} > 0 \\ V_{CE4} = 13,2 \text{ V} > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q19: \begin{cases} i_{Q19} = 9,54 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0,6 \text{ V} > 0 \\ V_{CE} = 27,2 \text{ V} > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$Q21: \begin{cases} i_{Q21} = 16,83 \mu\text{A} \\ V_{BE} = 0,6 \text{ V} > 0 \\ V_{CE} = 17,75 \text{ V} > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$QESR: \begin{cases} i_{QESR} = 168,3 \mu\text{A} \\ V_{BE} = 0,6 \text{ V} > 0 \\ V_{CE} = 15,35 \text{ V} > V_{BE} \end{cases} \Rightarrow \text{RAN}$$

$$D4, D5: \begin{cases} V_Z = 2,7 \text{ V} \\ i_Z = 8,86 \text{ mA} > i_{Z, \min} = 5 \text{ mA} \end{cases} \Rightarrow \text{stabilizare}$$

Verificare puteri - cazul 2 - componente active:

	V	i	P
D9	3,2 V	10,54 mA	33,72 mW < 114 mW
D4, D5	2,7 V	8,86 mA	23,92 mW < 250 mW
Q19	27,2 V	9,54 mA	259,48 mW < 310 mW
D7	5,1 V	9,54 mA	48,65 mW < 300 mW
Q1	0,6 V	4,77 mA	2,862 mW < 310 mW
Q2	25,85 V	4,77 mA	123,3 mW < 310 mW
Q5	2,4 V	9,54 mA	22,896 mW < 310 mW
Q4	13,2 V	4,77 mA	62,96 mW < 310 mW
Q3	13,25 V	4,77 mA	62,2 mW < 310 mW
Q22	25,85 V	2,5 mA	64,62 mW < 310 mW
QESR2	15,95 V	21,04 mA	335,58 mW < 15 W
QESR	15,35 V	168,3 μA	2,583 mW < 310 mW
Q21	17,75 V	16,83 μA	0,298 mW < 310 mW

CAZUL 3:

$$V_{CC} = 28,8 \text{ V} \quad \text{SET}_{P_1} = 0$$

Valori care nu se modifică la schimbarea tensiunii de ieșire (modificarea valorii potențialului P_1) (din calcul):

$$\begin{aligned} \rightarrow i_{B9} &= 9,37 \text{ mA} & \rightarrow i_{B2} = i_{B3} &= 4,77 \text{ mA} & \rightarrow i_{B20} &= 0 \text{ A} \\ \rightarrow i_2 &= 9,54 \text{ mA} & \rightarrow V_{EC19} &= 24 \text{ V} & \rightarrow V_{EC1} &= 0,6 \text{ V} \\ \rightarrow i_1 &= 7,8 \text{ mA} & \rightarrow i_{B1} = i_{B2} = i_{B3} = i_{B4} &= 4,77 \text{ mA} & \rightarrow V_{CE22} &= 26,7 \text{ V} \\ \rightarrow i_{B5} &= 9,54 \text{ mA} & \rightarrow i_{B22} &= 2,5 \text{ mA} & \rightarrow V_{CE5} &= 21,4 \text{ V} \\ & & & & \rightarrow V_{CE2} &= 22,65 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\rightarrow V_0 = V_{Z7} \cdot \frac{R_6 + R_{12} + R_9 + R_{27} + R_{P1}}{R_9 + R_{27}} = 51 \cdot \frac{16,17}{10,14} = 8,1 \text{ V} \Rightarrow V_0 = 8,1 \text{ V}$$

$$\rightarrow i_{\text{REACTIE}} = \frac{V_0}{R_6 + R_{12} + R_{P1} + R_9 + R_{27}} = \frac{8,1}{16,17} = 0,5 \text{ mA} \quad i_{\text{REACTIE}} = 0,5 \text{ mA}$$

$$\rightarrow i_{\text{LOAD}} = \frac{V_0}{R_L} = \frac{8,1}{0,795} = 10,18 \text{ mA} \Rightarrow i_{\text{LOAD}} = 10,18 \text{ mA}$$

$$\rightarrow i_{BESR2} = i_{\text{REACTIE}} + i_{\text{LOAD}} = 10,68 \text{ mA} \Rightarrow i_{BESR2} = 10,68 \text{ mA}$$

$$\rightarrow V_{EC4} = V_{CC} - i_{B4} \cdot R_{11} - 3V_{BE} - i_{\text{REACTIE}} \cdot R_C = 28,8 - 1,0494 - 1,8 - 8,085 = 17,86 \text{ V} \Rightarrow V_{EC4} = 17,86 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{CE3} = V_{CC} - i_{B4} \cdot R_1 - V_{EC4} - V_{CE5} - i_{B5} \cdot R_8 = 28,8 - 1,0494 - 17,86 - 2,4 - 2,0388 = 5,4 \text{ V} \Rightarrow V_{CE3} = 5,4 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{CE21} = 28,8 - 1,0494 - 17,86 = 9,89 \text{ V} \Rightarrow V_{CE21} = 9,89 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{CEESR2} \approx V_0 = 8,1 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{CEESR} = V_{CEESR2} - V_{BESR2} = 7,5 \text{ V} \Rightarrow V_{CEESR} = 7,5 \text{ V}$$

$$\rightarrow i_{GESR} = i_{BESR2}$$

$$\text{Dar } i_{GESR2} = \frac{i_{CESR2}}{\beta_{GESR2}} = \frac{10,68}{125} = 85,44 \mu\text{A} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i_{GESR} = 85,44 \mu\text{A}$$

$$\rightarrow i_{B21} = i_{GESR}$$

$$\text{Dar } i_{GESR} = \frac{i_{CESR}}{\beta} = \frac{85,44}{10} = 8,544 \mu\text{A}$$

$$\Rightarrow i_{B21} = 8,544 \mu\text{A}$$

Dispozitivele rămân în aceleași regimuri de funcționare ca în cazurile anterioare.

→ Verificare puteri - cazul 3 - componente active:

	V	i	P
D9	3,2V	9,37mA	29,98mW < 114mW
D4, D5	2,7V	7,8mA	21,06mW < 250mW
Q19	24V	9,54mA	228,96mW < 310mW
D7	5,1V	9,54mA	48,65mW < 300mW
Q1	0,6V	4,77mA	2,862mW < 310mW
Q2	22,65V	4,77mA	108,04mW < 310mW
Q5	2,4V	9,54mA	22,896mW < 310mW
Q4	17,86V	4,77mA	85,192mW < 310mW
Q3	5,4V	4,77mA	25,75mW < 310mW
Q22	26,7V	2,5mA	66,75mW < 310mW
QESR2	8,1V	10,68mA	86,5mW < 15W
QESR	7,5V	85,44μA	0,64mW < 310mW
Q21	9,89V	8,544μA	0,084mW < 310mW

CAZUL 4: $V_{CC}=32V$ $SET_A=0$

- $V_0 = 8,1V$ (nu se modifică față de cazul 3)
- $I_{D9} = 10,54mA$ (nu se modifică față de cazul 2)
- $i_2 = 9,54mA$ (nu se modifică în niciunul din cazuri)
- $i_1 = 8,86mA$ (nu se modifică față de cazul 2)
- $i_{Q5} = 9,54mA$ (nu se modifică în niciunul din cazuri)
- $i_{Q2} = i_{Q3} = \frac{i_{Q5}}{2} = 4,77mA$
- $V_{EC19} = 27,2V$ (nu se modifică față de cazul 2)
- $i_{Q1} = i_{Q2} = i_{Q3} = i_{Q4} = 4,77mA$
- $i_{Q22} = 2,5mA$ (nu se modifică în niciunul din cazuri)
- $i_{REACTIE} = 0,5mA$ (nu se modifică față de cazul 3)
- $i_{LOAD} = 10,18mA$ (nu se modifică față de cazul 3)
- $i_{QESR2} = 10,68mA$ (nu se modifică față de cazul 3)
- $i_{Q20} = 0A$
- $V_{EC1} = 0,6V$
- $V_{CE22} = 25,85V$ (nu se modifică față de cazul 2)
- $V_{CE5} = 2,4V$
- $V_{CE2} = 25,85V$ (nu se modifică față de cazul 2)
- $V_{EC4} = V_{CC} - i_{Q4} \cdot R_{11} - 3V_{BE} - i_{REACTIE} \cdot R_C = 32 - 1,0494 - 1,8 - 8,085 = 21V$ **$V_{EC4} = 21V$**

$$\rightarrow V_{CE3} = V_{CC} - I_{Q4} \cdot R_{11} - V_{EC4} - V_{CE5} - I_{Q5} R_8 = 32 - 1,0494 - 21 - 2,4 - 2,0988 = 5,45V \Rightarrow V_{CE3} = 5,45V$$

$$\rightarrow V_{CE21} = V_{CC} - I_{Q4} \cdot R_{11} - V_{EC4} = 32 - 1,0494 - 21 = 9,95 \Rightarrow V_{CE21} = 9,95V$$

$$\rightarrow V_{CEBESR2} = V_0 = 8,1V \text{ (nu se modifica pta de cazul 3)}$$

$$\rightarrow V_{CEBESR} = 7,5V \text{ (nu se modifica pta de cazul 3)}$$

$$\rightarrow I_{BESR} = 85,44 \mu A \text{ (nu se modifica pta de cazul 3)}$$

$$\rightarrow I_{Q21} = 8,544 \mu A \text{ (nu se modifica pta de cazul 3)}$$

Dispozitivele rămân în aceleași regimuri de funcționare ca în cazurile anterioare.

Verificare puteri - cazul 4 - componente active

	V	i	P
D9	3,2V	10,54mA	33,72mW < 114mW
D4, D5	2,7V	8,86mA	23,92mW < 250mW
Q19	27,2V	9,54mA	259,46mW < 310mW
D7	5,1V	9,54mA	48,65 < 300mW
Q1	0,6V	4,77mA	2,862mW < 310mW
Q2	25,85	4,77mA	123,3mW < 310mW
Q5	2,4V	9,54mA	22,896mW < 310mW
Q4	21V	4,77mA	100,17mW < 310mW
Q3	5,45V	4,77mA	26mW < 310mW
Q22	25,85V	2,5mA	64,62mW < 310mW
QESR2	8,1V	10,68mA	86,5mW < 15W
QESR	7,5V	85,44μA	0,64mW < 310mW
Q21	9,95V	8,54μA	0,084mW < 310mW

• **Calculul puterilor disipate pentru componentele pasive și verificarea respectării limitelor maxime.**

- $V_{CC} = 32V$, $SETA = 1$.

Pentru R_4, R_{14}, R_{15} : $P = i^2 \cdot R = 8,86^2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 = 78,4 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{17}, R_{18}, R_{19} : $P = i^2 \cdot R = 10,54^2 \cdot 10^{-6} \cdot 910 = 101,09 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_2 : $P = i^2 \cdot R = 9,54^2 \cdot 10^{-6} \cdot 220 = 20,02 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{10} : $P = i^2 \cdot R = 4,77^2 \cdot 10^{-6} \cdot 220 = 5 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_8 : $P = i^2 \cdot R = 9,54^2 \cdot 10^{-6} \cdot 220 = 20,02 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{11} : $P = i^2 \cdot R = 4,77^2 \cdot 10^{-6} \cdot 220 = 5 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{29}, R_{34} : $P = i^2 \cdot R = 4,77^2 \cdot 10^{-6} \cdot 220 = 5 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{30}, R_{28} : $P = i^2 \cdot R = 4,77^2 \cdot 10^{-6} \cdot 150 = 3,41 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{C1} : $P = i^2 \cdot R = 21,04^2 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 442,68 \mu\text{W} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{C2} : $P = i^2 \cdot R = 21,04^2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,47 = 208,06 \mu\text{W} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{C3}, R_{C4} : $P = i^2 \cdot R = 10,52^2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,47 = 52 \mu\text{W} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_6 : $P = i^2 \cdot R = 0,986^2 \cdot 10^{-6} \cdot 2,7 \cdot 10^3 = 2,62 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{12} : $P = i^2 \cdot R = 0,986^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3,3 \cdot 10^3 = 3,2 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru P_1 : $P = i^2 \cdot R = 0,986^2 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^3 = 4,86 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru P_2 : $P = i^2 \cdot R = 4,77^2 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 2,27 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_9 : $P = i^2 \cdot R = 0,986^2 \cdot 10^{-6} \cdot 4,7 \cdot 10^3 = 4,57 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{27} : $P = i^2 \cdot R = 0,986^2 \cdot 10^{-6} \cdot 470 = 457 \mu\text{W} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{LOAD9}, R_{LOAD8} : $P = i^2 \cdot R = 10,03^2 \cdot 10^{-6} \cdot 910 = 91,54 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

Pentru R_{LOAD10}, R_{LOAD11} : $P = i^2 \cdot R = 10,03^2 \cdot 10^{-6} \cdot 680 = 68,4 \text{ mW} < 125 \text{ mW} \checkmark$

• **Deriva termică:**

Caz I: $S_T = \frac{\Delta V_o}{\Delta T} = \frac{\Delta}{\Delta T} \left(V_{Z7} \cdot \frac{R_6 + R_{12} + R_9 + R_{27}}{R_9 + R_{27} + R_{P1}} \right)$

Caz II: $S_T = \frac{\Delta V_o}{\Delta T} = \frac{\Delta}{\Delta T} \left(V_{Z7} \cdot \frac{R_6 + R_{12} + R_9 + R_{27}}{R_9 + R_{27}} \right)$

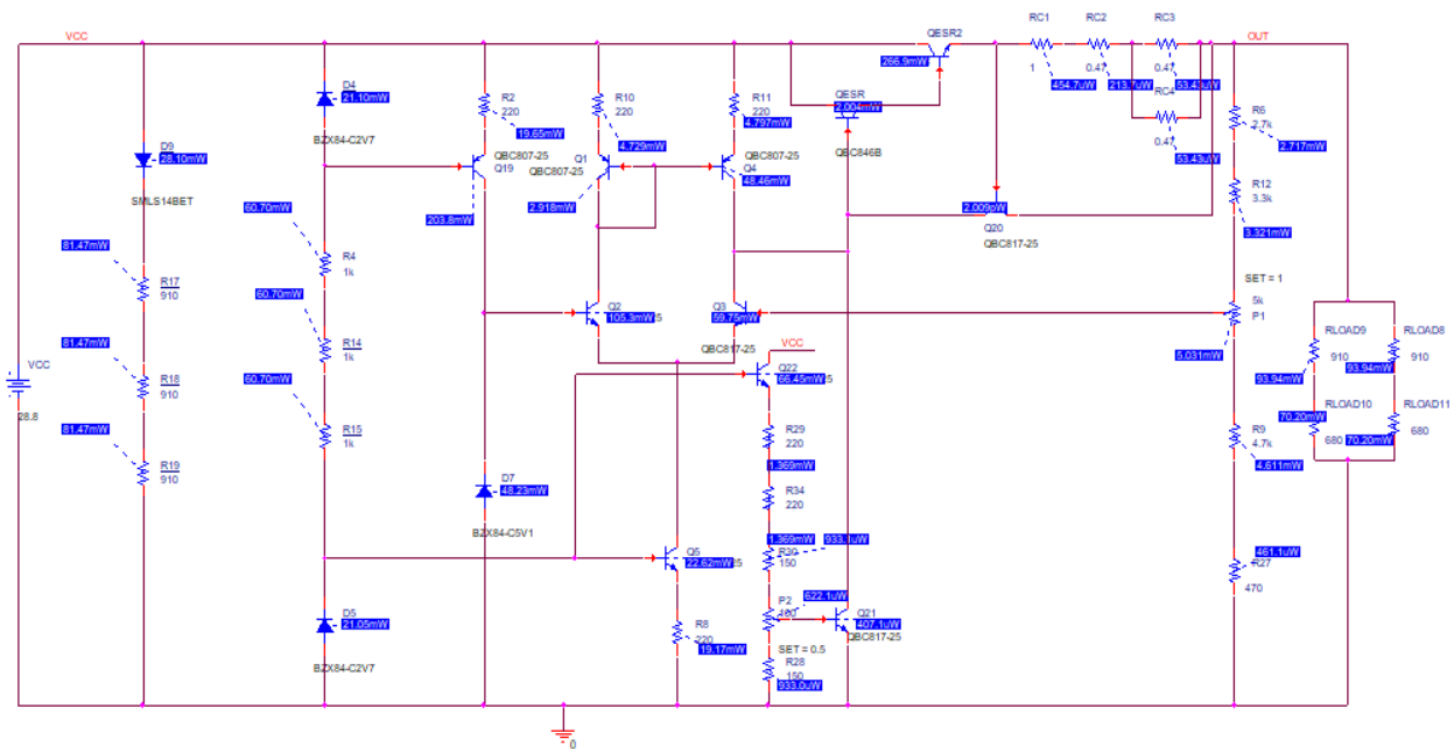
Am ales dioda Zener D_7 care variază cu temperatura cu $0,1 \text{ mV}/^\circ\text{C}$

Caz I: $S_T = \frac{R_6 + R_{12} + R_9 + R_{27}}{R_9 + R_{27} + R_{P1}} \cdot \frac{\Delta V_{Z7}}{\Delta T} = \frac{16,17}{10,17} \cdot 0,1 = 0,158 \text{ mV}/^\circ\text{C}$

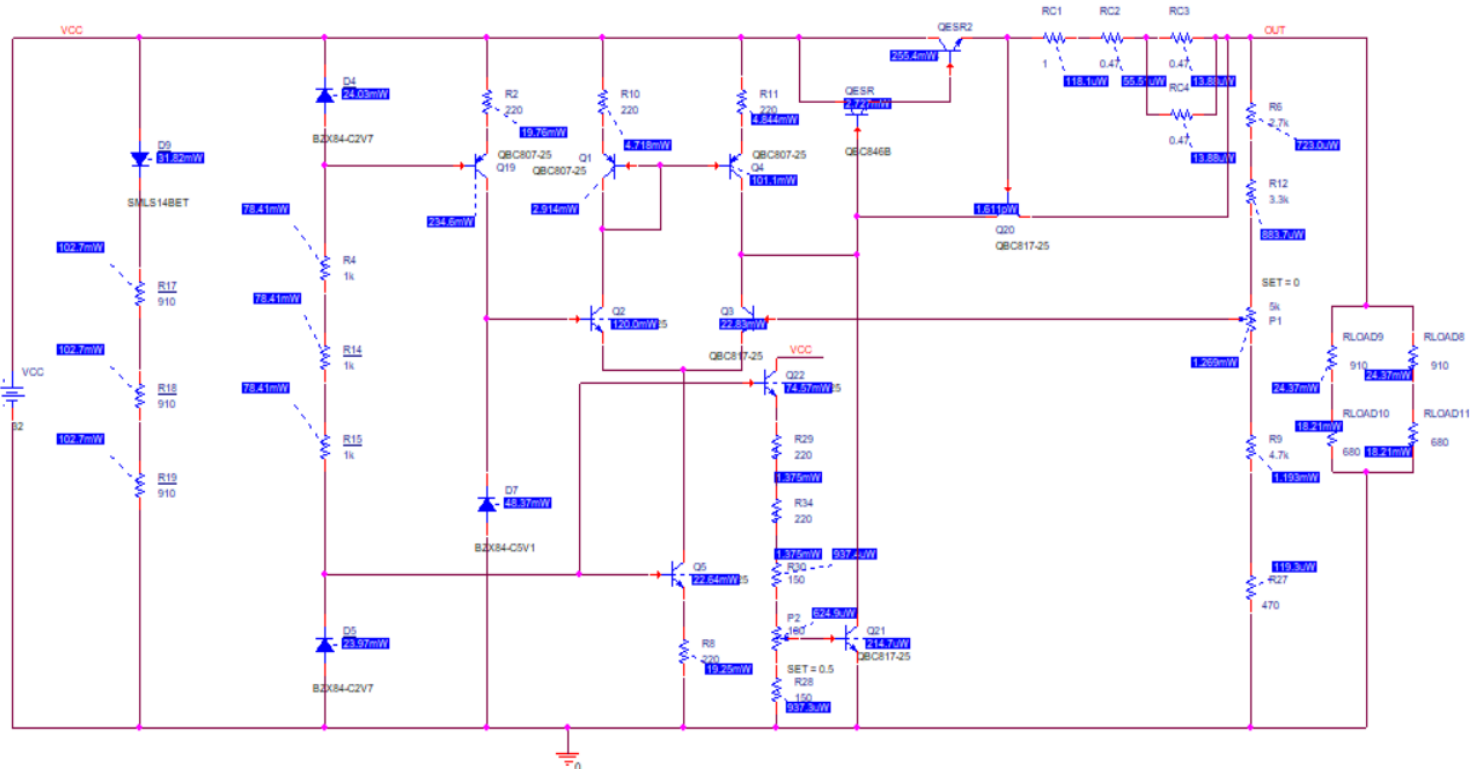
Caz II: $S_T = \frac{R_6 + R_{12} + R_9 + R_{27}}{R_9 + R_{27}} \cdot \frac{\Delta V_{Z7}}{\Delta T} = \frac{16,17}{5,17} \cdot 0,1 = 0,31 \text{ mV}/^\circ\text{C}$

3.2) *Punctul static de funcționare-determinat experimental (psf)*

Puterea disipată pe componente la tensiunea maximă de ieșire $V_{out}=16V$

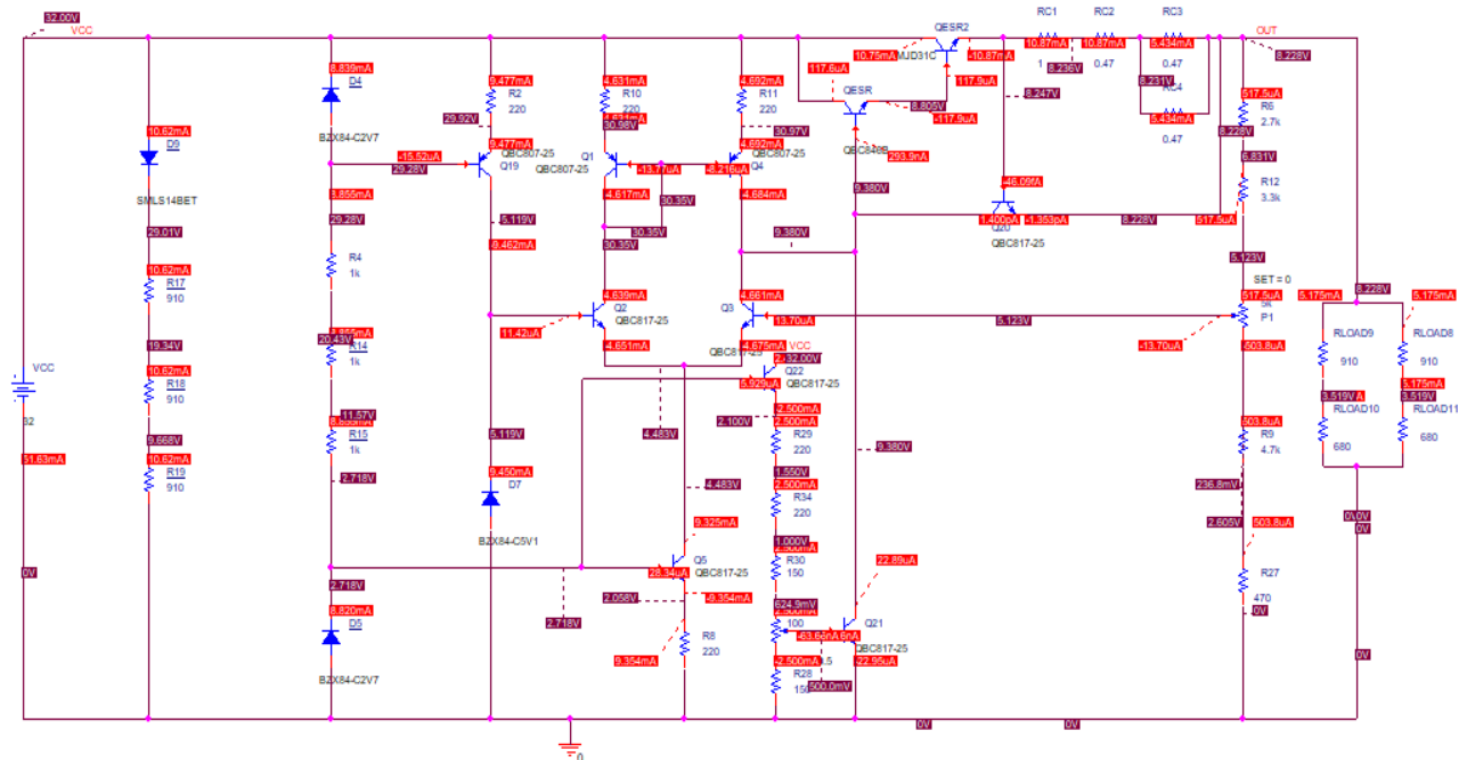


Puterea disipată pe componente la tensiunea minimă de ieșire $V_{out}=8V$

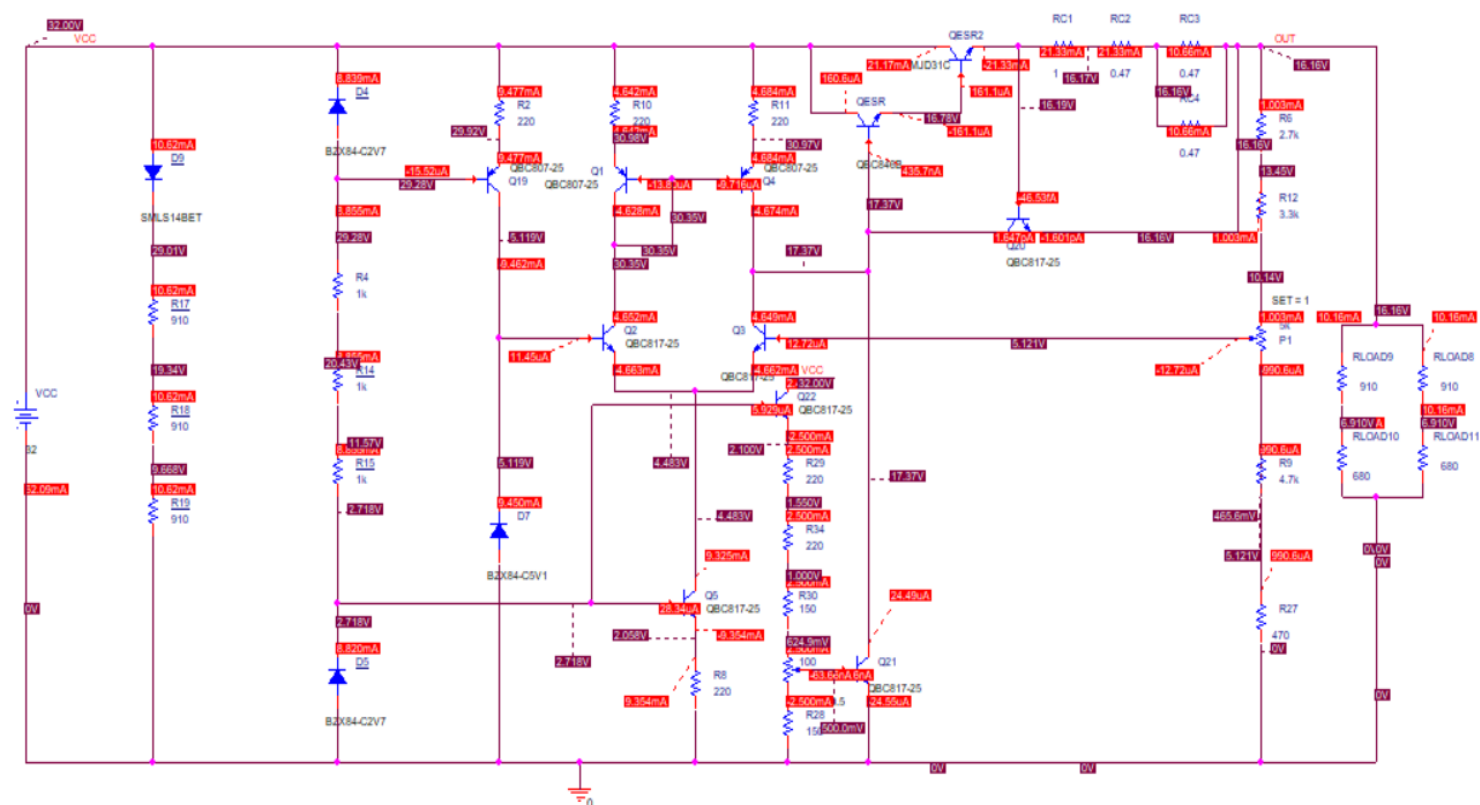


Se poate observa atât în psf-ul experimental, cât și în cel teoretic că pentru toate componentele puterea disipată nu depășește maximumul puterii admisibile.

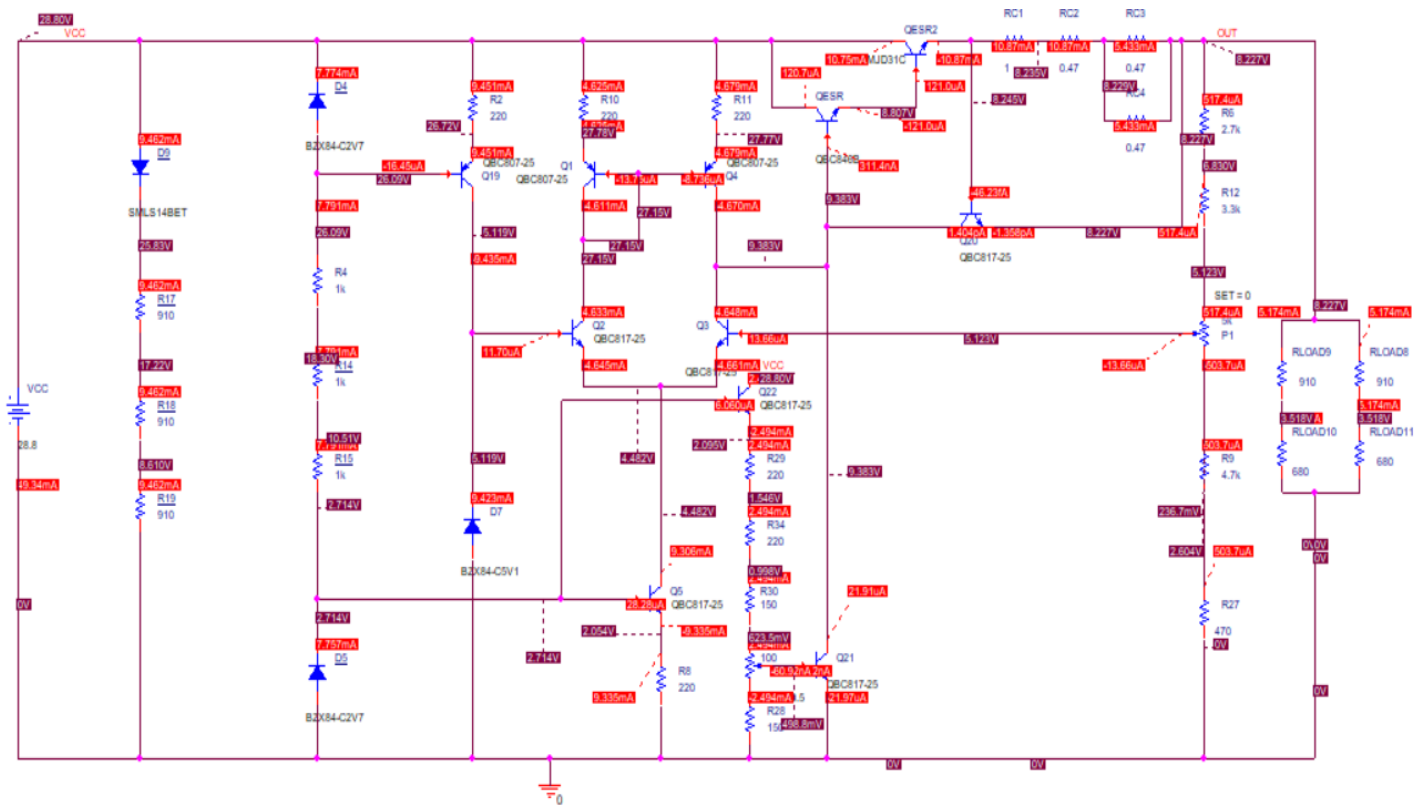
- Pentru $V_{in}=32V$ și $V_{out}=8V$



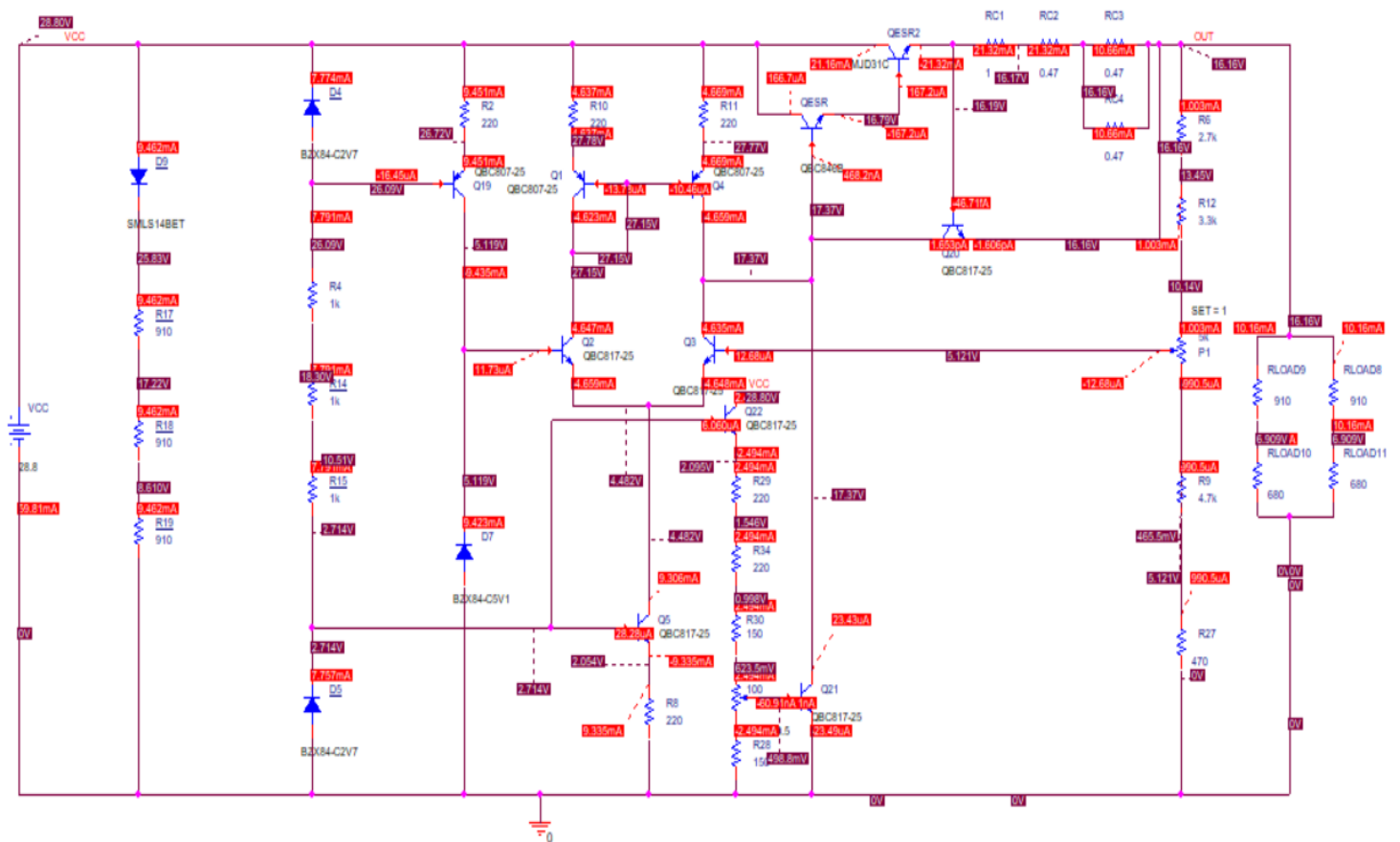
- Pentru $V_{in}=32V$ și $V_{out}=16V$



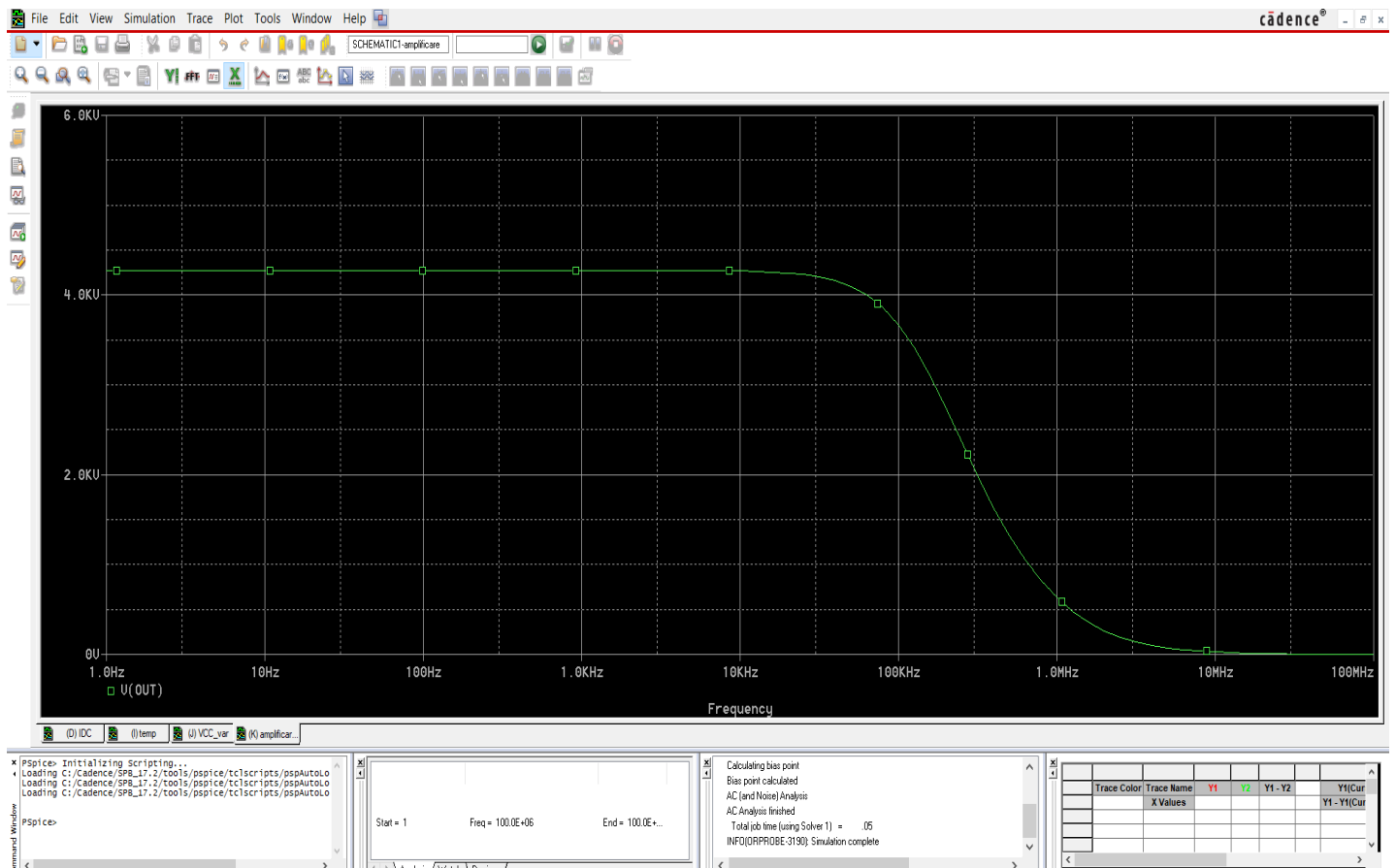
- Pentru $V_{in}=28,8V$ și $V_{out}=8V$



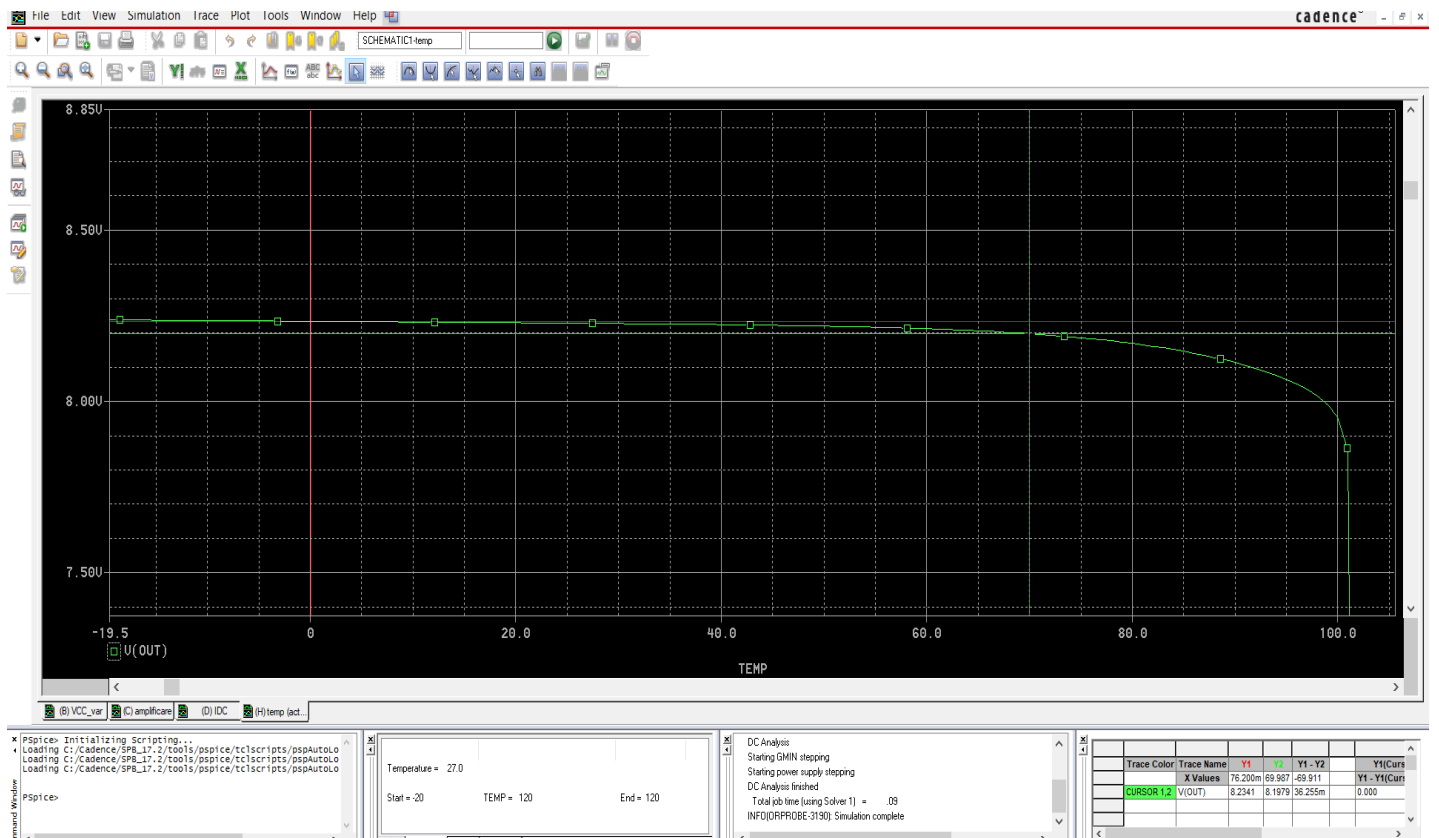
- Pentru $V_{in}=28,8V$ și tensiunea $V_{out}=16V$



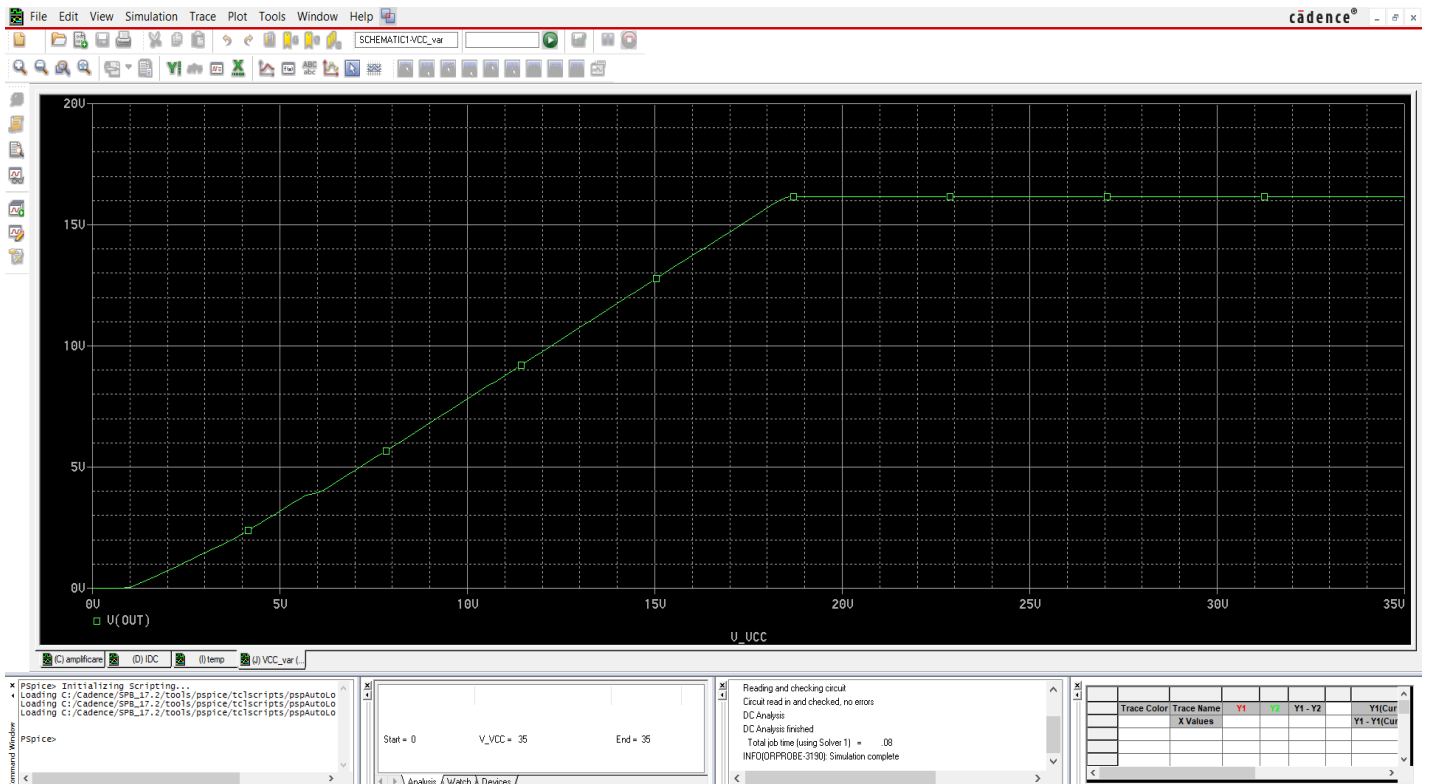
Amplificarea rezultată din simulări



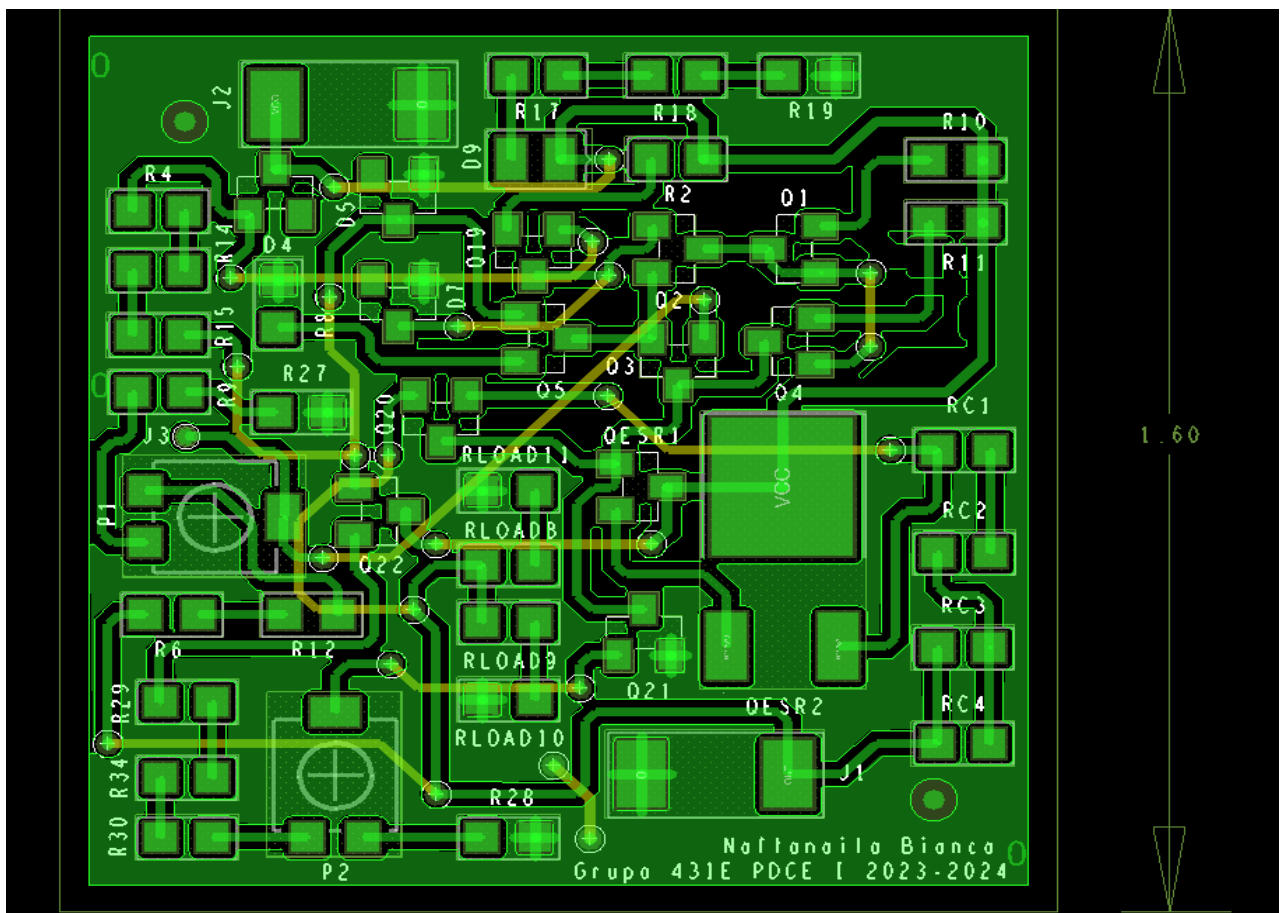
Coeficientul de variație cu temperatura



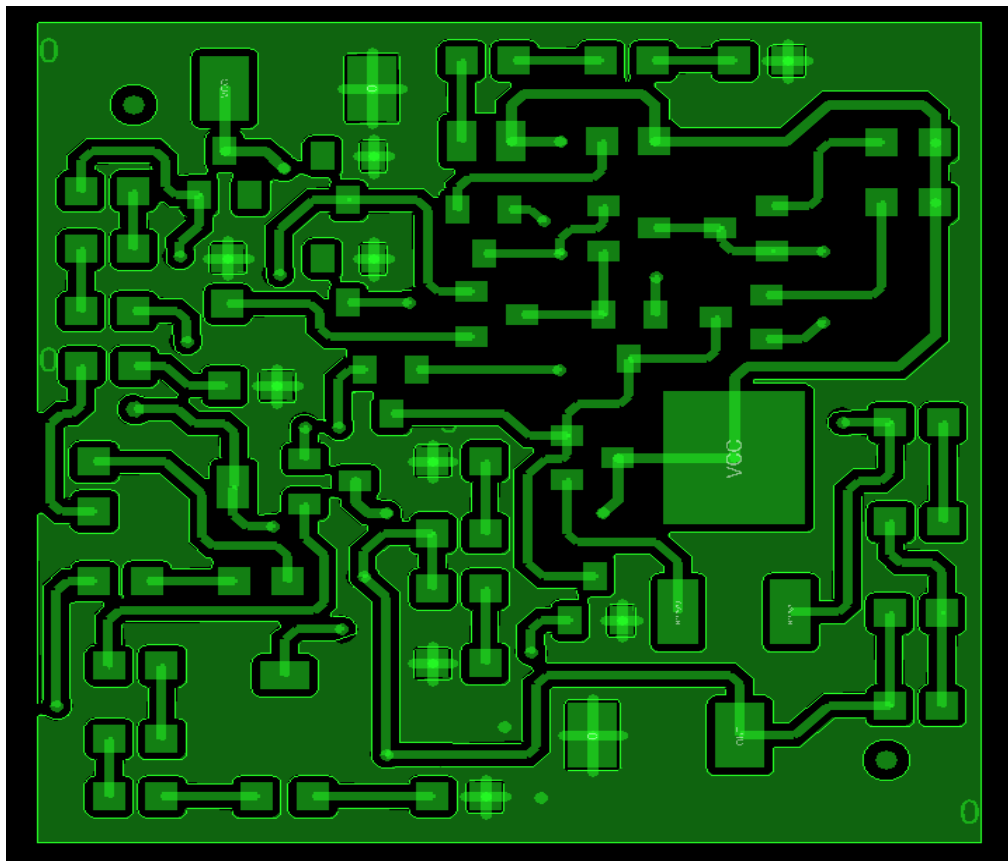
Tensiunea de ieșire în funcție de tensiunea de intrare



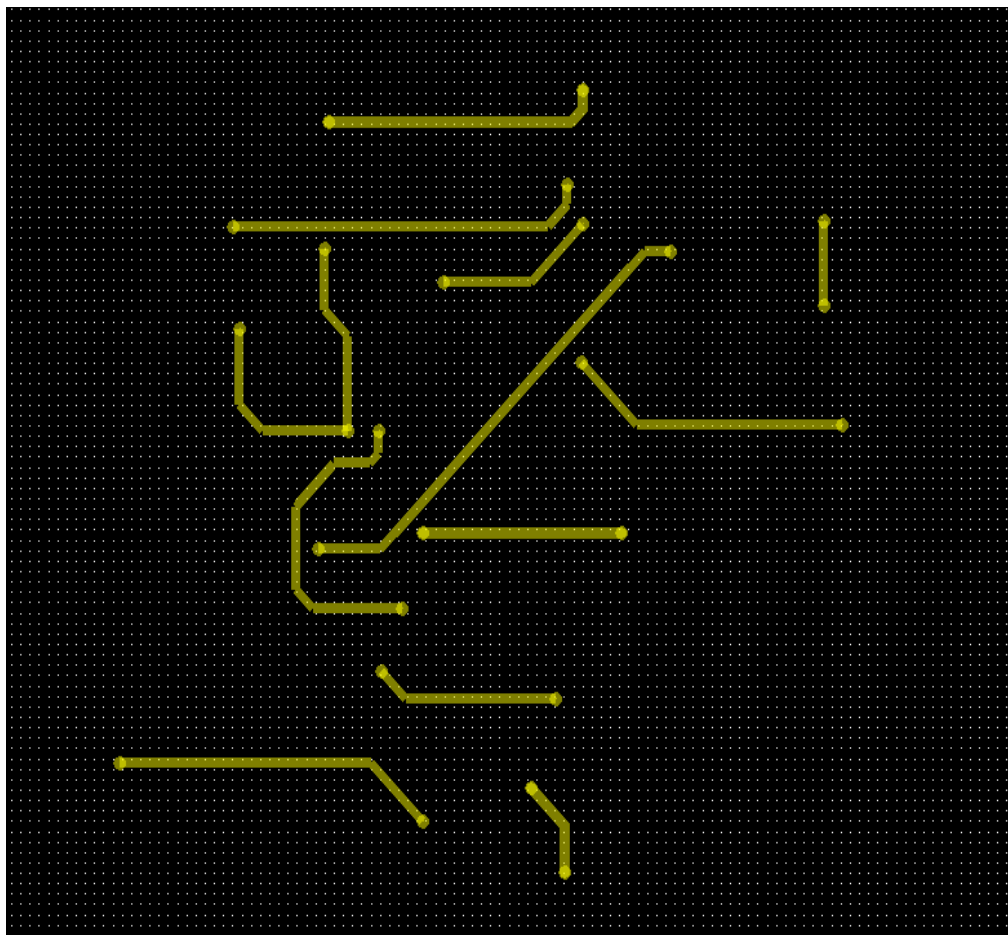
Layout



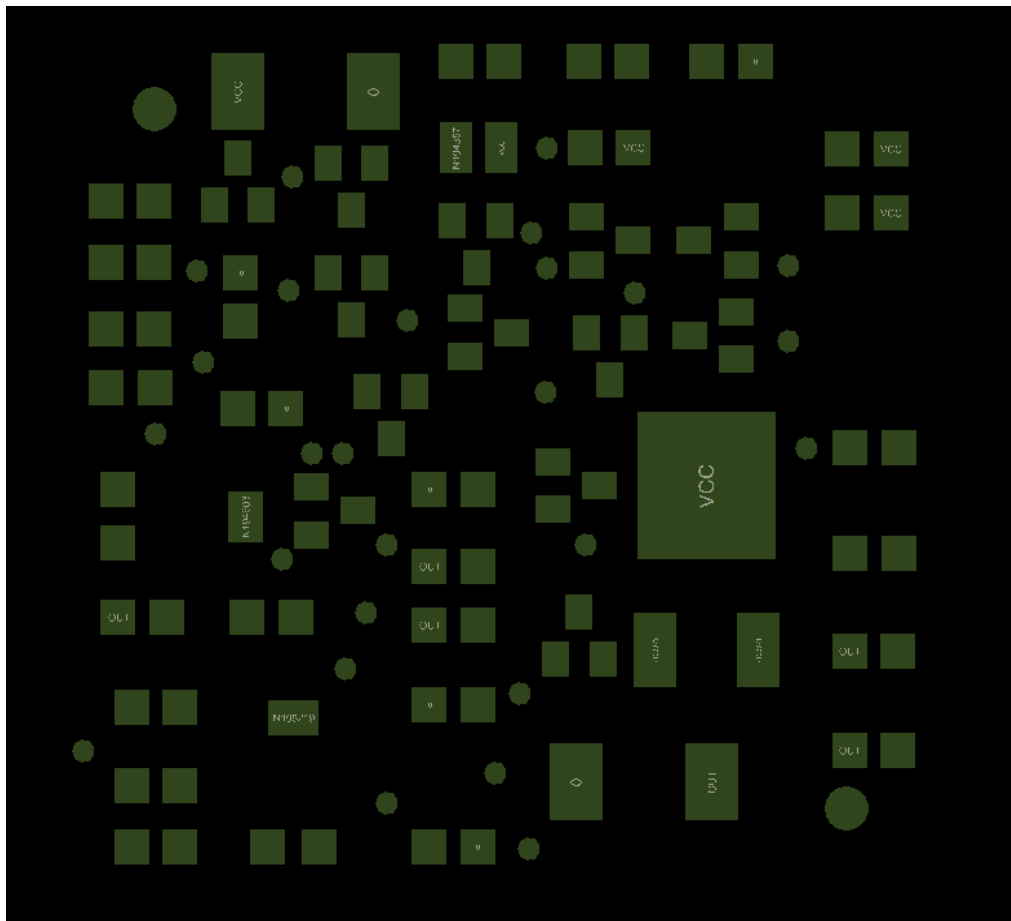
Layer electric TOP



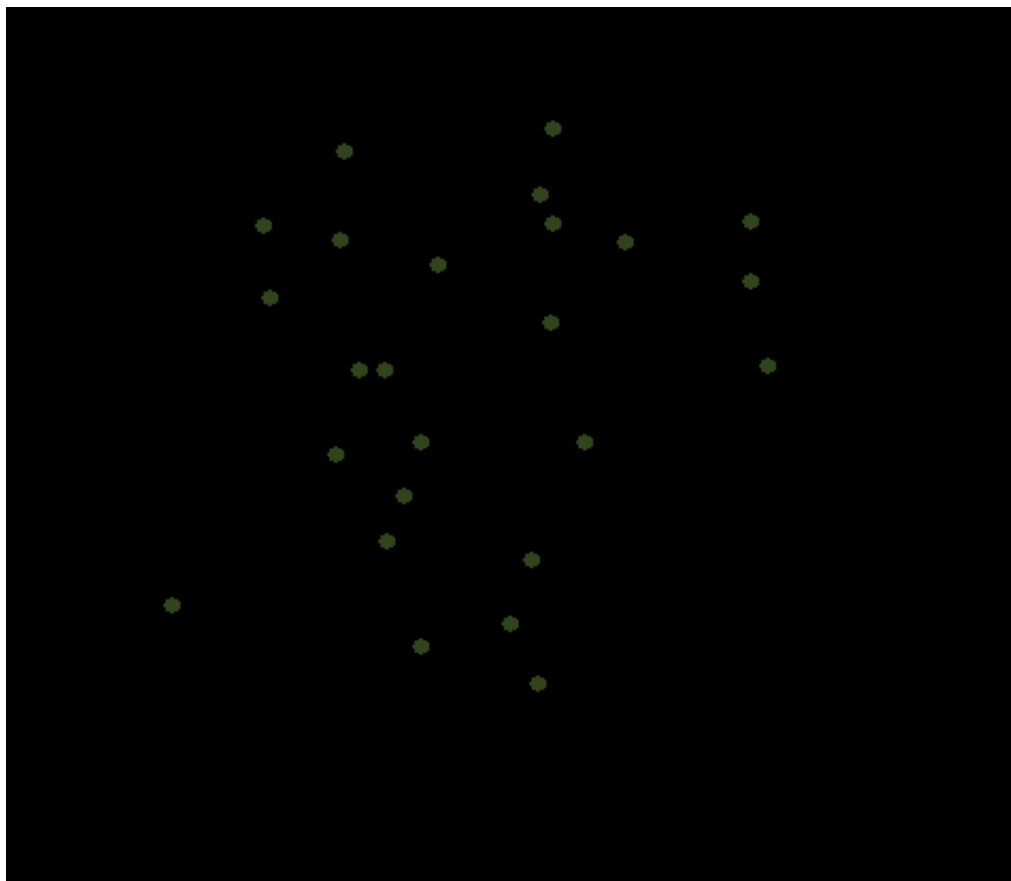
Layer electric BOTTOM



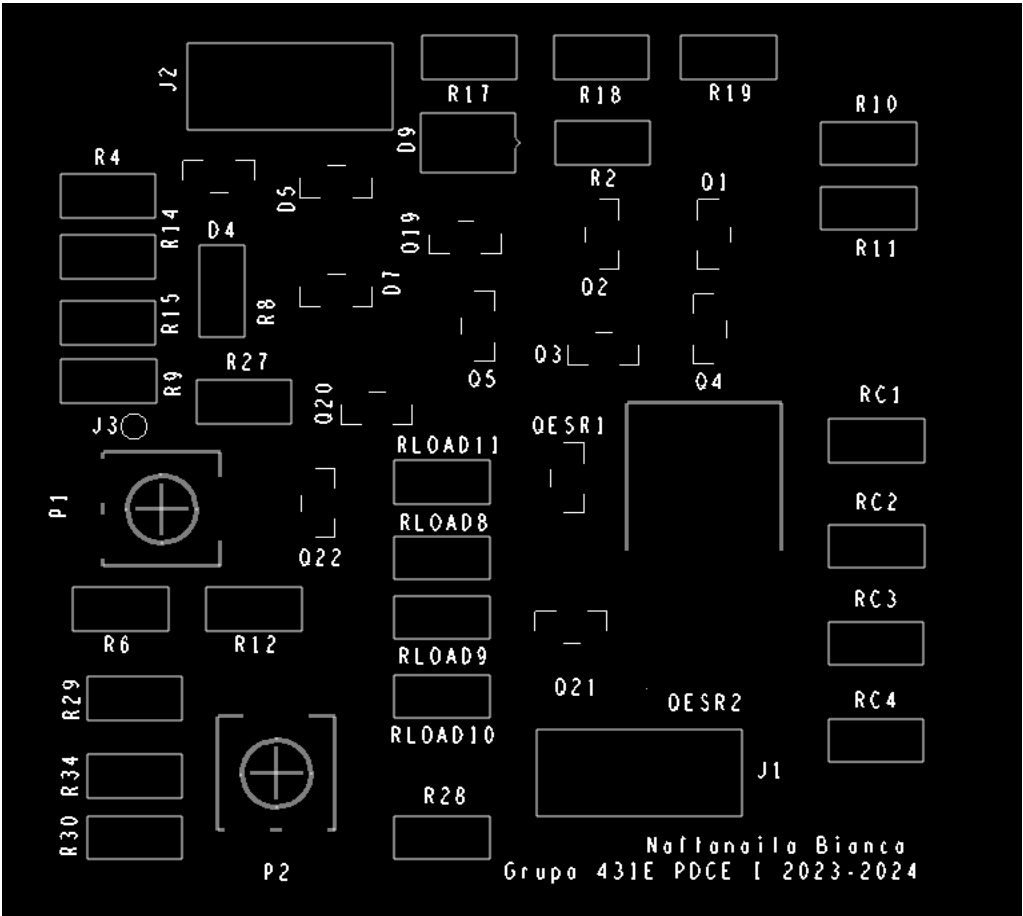
Soldermask top



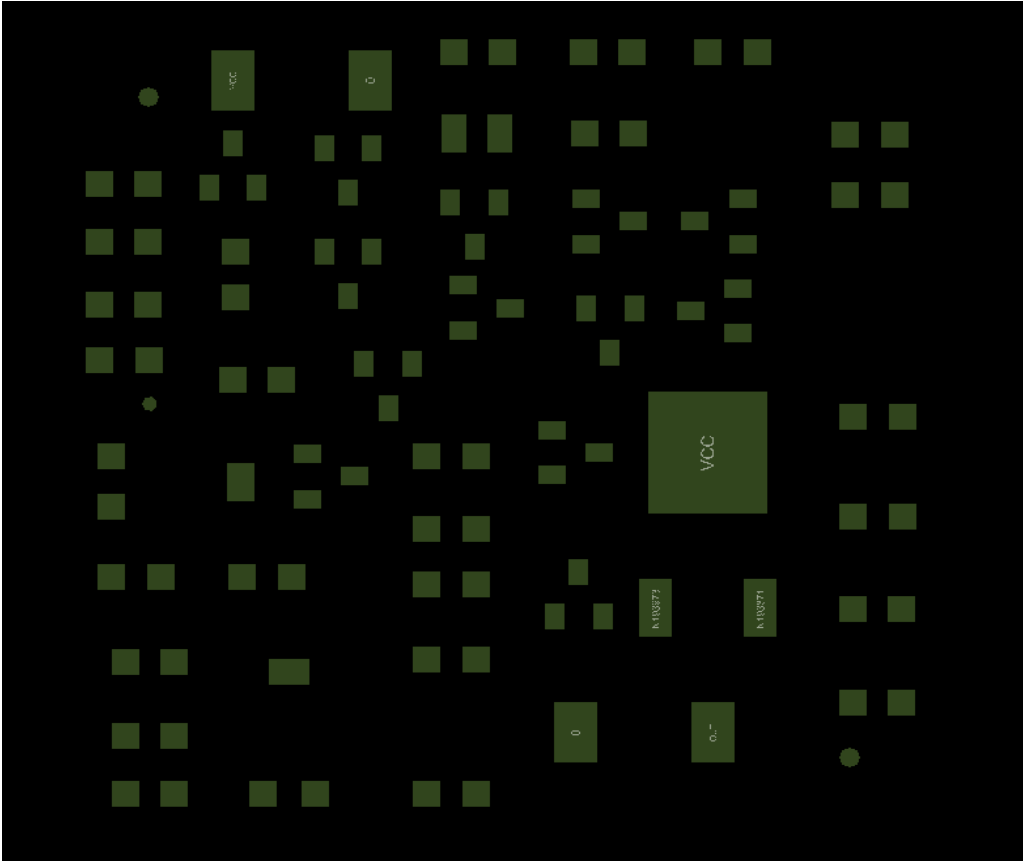
Soldermask bottom



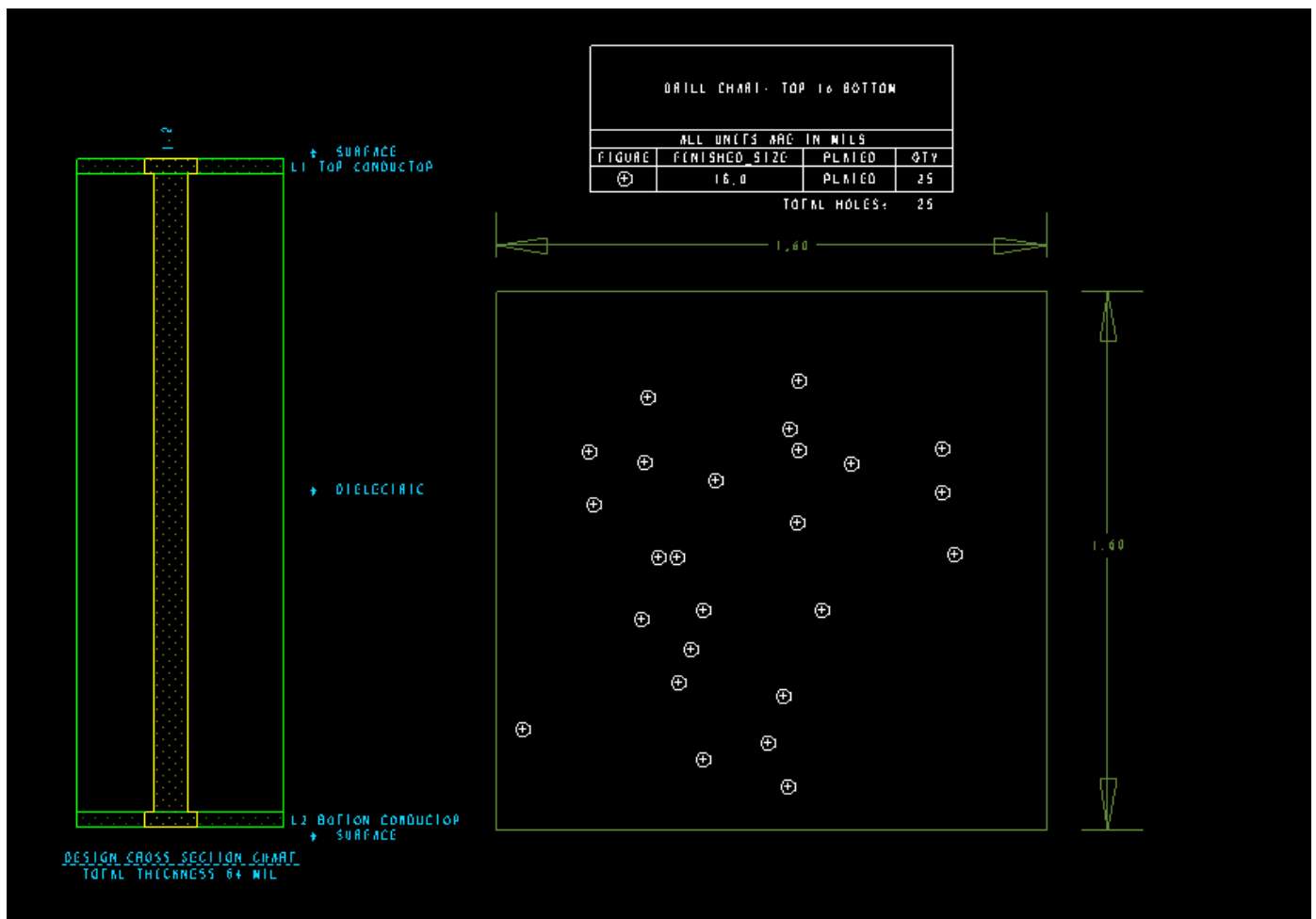
Silkscreen top



Solderpaste top



FAB



- Componentele active au fost poziționate cât mai aproape de mijlocul plăcuței deoarece acestea disipă putere, iar cele pasive au fost plasate pe marginea plăcii.
- Traseele de interconectare pentru semnal au fost alese de dimensiunea : 16 mil, iar traseele de interconectare pentru VCC și masă 0 (GND) au fost alese de dimensiunea de 20 mil deoarece prin acestea trec curenți de sute de mA.
- Etajul diferențial împreună cu oglinda ce polarizează acest etaj au fost plasate astfel încât să fie realizată o împerechere termică bună.
- Conectorii au fost plasați la margini pentru a se realiza cu ușurință conexiunile din exterior.