

Universitatea „POLITEHNICA” Bucuresti

FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI

Proiect 1

***Stabilizator de tensiune cu Element de
Reglaj Serie (ERS)***

Mitrea Bogdan-Gabriel

Grupa 432Da

2023 – 2024

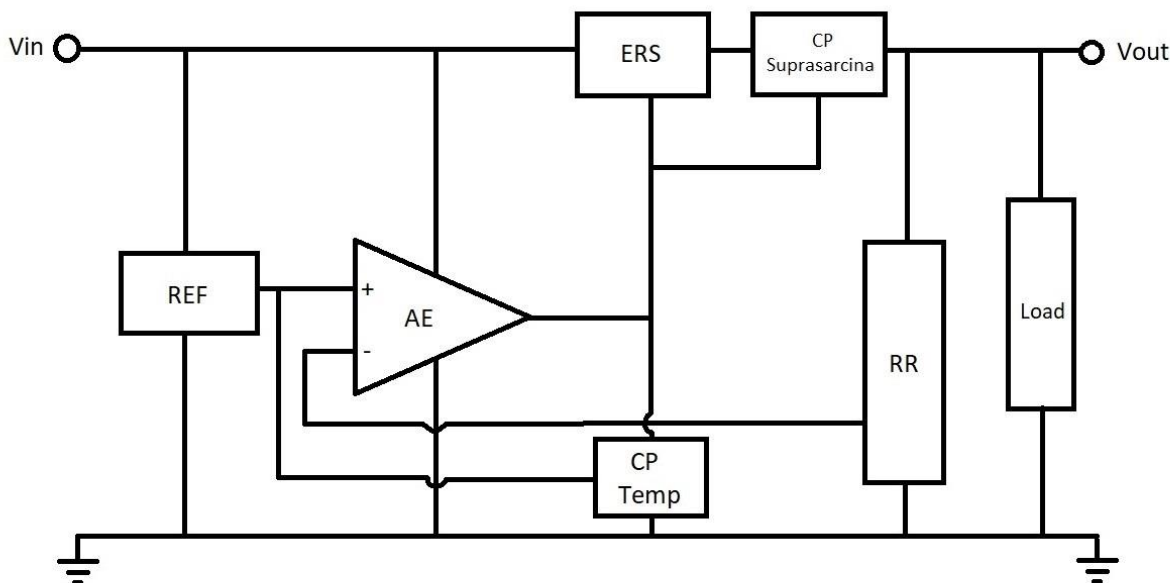
Tema 3 - Stabilizator de tensiune cu Element de Reglaj Serie (ERS)

1. Tema proiectului:

Se proiecteaza si se realizeaza un stabilizator de tensiune cu ERS avand urmatoarele caracteristici:

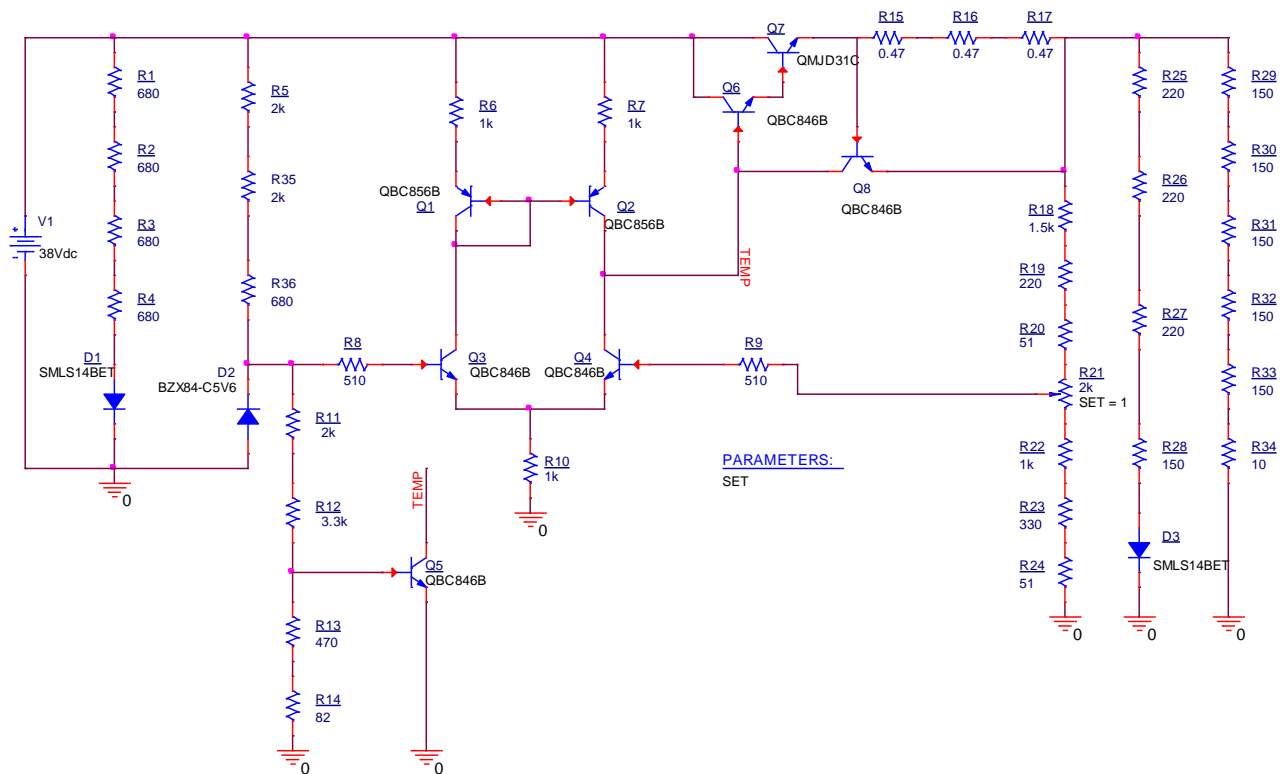
- ◆ Tensiunea de ieșire reglabilă în intervalul: $9,5 \div 19$ [V];
- ◆ Element de reglaj serie;
- ◆ Sarcina la ieșire: 760 [Ω];
- ◆ Deriva termică $< 2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$;
- ◆ Protecție la suprasarcină prin limitarea temperaturii tranzistorului regulator serie la 120°C , si a curentului maxim la $0,5\text{A}$;
- ◆ Tensiune de intrare în intervalul: $34,2 \div 38$ [V];
- ◆ Amplificarea în tensiune minimă (în buclă deschisă) a amplificatorului de eroare: minim 100;
- ◆ Domeniul temperaturilor de funcționare: $0^{\circ}\text{--}60^{\circ}\text{C}$ (verificabil prin testare în temperatură);
- ◆ Semnalizarea prezenței tensiunilor de intrare/ieșire cu diodă de tip LED.

2. Schema bloc functională:



Se folosește un sistem de stabilizare cu un element regulator în serie (ERS) controlat de un amplificator de eroare (AE), care compară tensiunea furnizată de referință (REF) cu tensiunea preluată de la ieșire prin intermediul rețelei de reacție (RR). De asemenea, este implementat un circuit de protecție împotriva suprasarcinii, și împotriva temperaturii.

3. Schema elettrica dettagliata:



Referinta de tensiune: R5, R35, R36, D2; D2 are o tensiune constanta, iar R5, R35 si R36 regleaza curentul care ajunge catre D2 si catre circuitul de protectie la temperatura.

Amplificatorul de eroare: Q1 - Q4, R6 – R10; Oglinda de curent are rolul de a diviza curentul in 2 curenti egali, iar rezistenta R10 pentru a putea cadea pe acea rezistenta o tensiune. R8 si R9 ajuta la amplificare – cu ajutorul lor am putut seta o amplificare dorita (3000).

Circuitul de protecție la temperatură: Q5, R11 – R14; Alegerea raportului de rezistențe este important pentru a seta V_{BE} la o valoare sub 0.7V (în acest caz 0.53V), din care se poate afla I_c al tranzistorului, care va trebui să se deschidă, să curgă curent prin el la o temperatură de 120°C.

Circuitul de protectie la suprasarcina: Q8, R15 – R17; Trebuie aleasa o rezistenta cat mai mica, deoarece la scurtcircuit la iesire, toata tensiunea va cadea pe rezistenta mica => curent mare, dimensionat la aproximativ 0.5A.

Elementul de reglaj serie: Q6, Q7; Stabilizeaza tensiunea de iesire.

Reteaua de reactie negativa: R18 – R24; Pentru a regla tensiunea minima, respectiv maxima la iesire, prin prezenta unui potentiometru.

Load: R29 – R34; Pentru stabilitate, si pentru a regla cantitatea de curent care trece prin circuit.

Relatii de dimensionare:

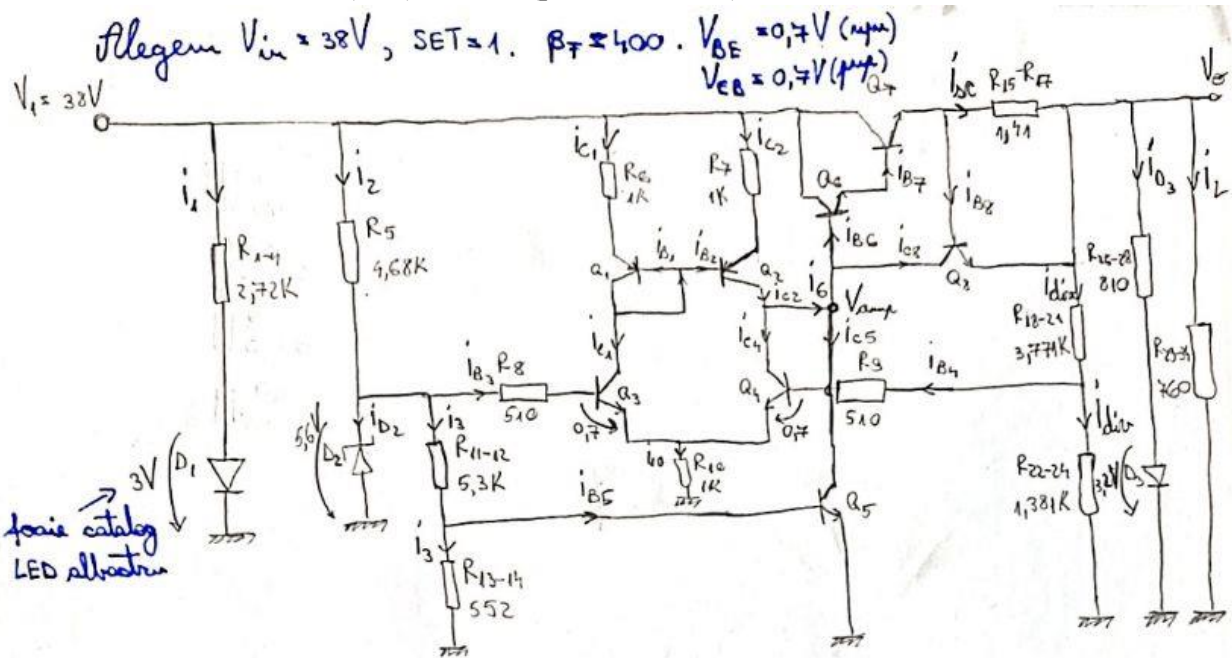
$$V_{out} / V_{ref} = 1 + (R18 + R19 + R20 + SET \cdot R21) / ((1-SET) \cdot R21 + R22 + R23 + R24);$$

V_{ref} reprezinta tensiunea de la intrarea amplificatorului de eroare.

De asemenea, un rol important la protectia asupra sarcinii si a temperaturii o au dimensionarea divizorului de tensiune R11-12 | R13-14 si alegerea rezistentei foarte mici.

In circuit exista si doua ramuri pe care apar doua LED-uri, pentru a semnaliza tensiunea de intrare, respectiv iesire. Alegerea rezistentelor conectate in serie cu cele doua LED-uri depind de reglarea intensitatii care trece prin LED: I_{LED} intre [10,20] mA.

Punctul static de functionare (PSF) calculat (pentru SET = 1):



$$TK_{II}: i_1 = \frac{V_1 - V_{D1}}{R_{1-4}} = \frac{35}{2,72} \approx 12,86 \text{ mA} \in [10, 20] \text{ mA (catalog - LED)}$$

$$TK_{II}: i_2 = \frac{V_1 - V_{D2}}{R_5} = \frac{38 - 5,6}{4,68} \approx 6,92 \text{ mA}$$

$$\text{II. } i_{D3} < i_{D2} \Rightarrow i_2 \approx i_{D2} + i_{D3}$$

$$\text{II. } i_{B5} < i_{D3} \Rightarrow i_{R_{13-14}} \approx i_{D3}$$

$$TK_{II}: V_{D2} = i_{D3} (R_{11-12} + R_{13-14}) \Rightarrow i_{D3} = \frac{5,6}{5,852} \approx 0,957 \text{ mA} \Rightarrow i_{D2} = 6,92 - 0,957 \approx 5,963 \text{ mA} > 5 \text{ mA}$$

$$TK_{II}: V_{D2} = i_{B3} R_8 + 0,7 + i_{B10} R_{10} \Rightarrow i_{B10} = \frac{5,6 - 0,7}{1} \approx 4,9 \text{ mA}$$

Q_1, Q_2 formează o oglindă de curent; $Q_{1,2}$ - de accelerare tip; $R_6 = R_7 =$

$$\Rightarrow i_{C1} = i_{C2}; i_{B1} = i_{B2} < i_{C1}, i_{C2} \Rightarrow i_{C3} = i_{C1}$$

$$i_{C4} = i_{C2} - i_{B6}$$

$i_{B6} \approx i_{B6} + i_{C8} + i_{C5}$; i_{B6} - ft mic; i_{C8} și i_{C5} sunt curenți mici, până când $\frac{dV_{BE}}{dT}$ protejile la temperatură, respectiv supraîncălzire, tranzistoarele "deschizându-se". $\Rightarrow i_{C6} < i_{C2} \Rightarrow i_{C4} \approx i_{C2}$

$$\Rightarrow i_{B1} = \dots = i_{B4} = 6,125 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} i_{B4} < i_{C4} &\Rightarrow \begin{cases} i_{C1} \approx i_{C3} \\ i_{C4} \approx i_{C4} \end{cases} \Rightarrow i_{C1} = i_{C2} = i_{C3} = i_{C4} \\ i_{B3} < i_{C3} &\Rightarrow i_{B3} = i_{C3} \\ i_{C1} = i_{C2} = i_{C3} = i_{C4} &\Rightarrow i_{B10} = i_{C3} + i_{C4} \Rightarrow i_{C1} = i_{C2} = i_{C3} = i_{C4} = \frac{4,9}{2} \approx 2,45 \text{ mA} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$TKII: i_2 R_5 + i_{B3} R_8 = i_{C1} R_6 + V_{EC1} \Rightarrow V_{EC1} = 3,24 \cdot 10 = 2,45$$

$$V_{EC1} = V_{EB1} = 0,7V$$

$$TKII: i_2 R_5 + i_{B3} R_8 = i_{C1} R_6 + V_{EC1} + V_{CB3} \Rightarrow V_{CB3} = 32,4 - 2,45 - 0,7 = 29,25V$$

$$\Rightarrow V_{CE3} = 29,25 + 0,7 = 29,95V$$

$$\uparrow \uparrow I_{B1} \ll I_{div}$$

$$TKII: R_9 i_{B1} + R_{10} i_{10} = I_{div} \cdot R_{22-24} \Rightarrow I_{div} = \frac{R_{10} i_{10}^{+0,7}}{R_{22-24}} = \frac{5,8}{1,381} = 4,05mA > I_{B1} \checkmark$$

$$(I_3 = 957\mu A \gg I_{B3} = 6,125\mu A \checkmark)$$

$$V_\sigma = I_{div} (R_{18-21} + R_{22-24}) = 4,05 \cdot (3,771 + 1,381) = 20,87V$$

$$TKII: V_\sigma = I_{D3} \cdot R_{25-28} + V_{D3} \Rightarrow I_{D3} = \frac{17,67}{0,81} = 21,81mA$$

$$(V_{D3} = 3,2V, \text{ la curenti mari } (> 20mA))$$

$$TKII: V_\sigma = I_L \cdot R_{29-34} \Rightarrow I_L = \frac{20,87}{0,76} = 27,46mA$$

$$V_{BE6} = V_{BE7} = 0,7V \stackrel{TKII}{\Rightarrow} V_{CB8} = 1,4V$$

$$TKI: I_{rc} = I_{div} + I_{D3} + I_L = 53,32mA \Rightarrow V_{R_{15-17}} = 53,32 \cdot 0,00141 = 0,07V \Rightarrow$$

$$\stackrel{TKII}{\Rightarrow} V_{BE8} = 0,07V \text{ (transistorul nu este deschis) } \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{CE8} = 1,47V \Rightarrow V_{amp} = V_{CE8} + V_\sigma = 20,87 + 1,47 = 22,34V$$

$$V_{amp} = V_{CE5} = 22,34V$$

$$TKII: V_1 - V_{amp} = R_7 i_{C2} + V_{EC2} \Rightarrow V_{EC2} = 13,21V$$

$$TKII: 38 - 20,87 = V_{CE7} + 0,07 \Rightarrow V_{CE7} = 17,06V$$

$$TKII: V_{amp} = V_{CE4} + R_{10} i_0 \Rightarrow V_{CE4} = 22,34 - 4,9 = 17,44V$$

$$V_{CB7} = 17,06 - 0,7 = 16,36V \stackrel{TKII}{\Rightarrow} V_{CE6}$$

$$\uparrow \uparrow I_{B2} \ll I_{rc} \Rightarrow I_{C7} = I_{rc} = 53,32mA \Rightarrow I_{B7} = 133\mu A = I_{C6} \Rightarrow I_{B6} = 333\mu A$$

$$TKII: V_{BE5} = I_3 \cdot R_{13-14} = 0,53V$$

$$I_{C8} \approx I_{S8} \text{ (deoarece } V_{BE8} \ll V_{th} \ln(\frac{I_C}{I_S})) ; I_{S8} \stackrel{\text{PSICE model}}{\approx} 10\mu A \approx I_{C8} \Rightarrow$$

$$V_{BE5} = 0,025 \cdot \ln\left(\frac{I_{C5}}{I_{S5}}\right) \Rightarrow \frac{I_{C5}}{I_{S5}} = e^{24,2} \Rightarrow I_{C5} = 2 \cdot 10^{-11} \cdot e^{24,2} = 16,1\mu A \Rightarrow I_{B5} = 40,2\mu A$$

$$\Rightarrow I_{C6} = I_{C5} = 16,1\mu A$$

$$\Rightarrow I_{C6} = 16,1\mu A$$

$$P_{R_{1-4}} = R_{1-4} \cdot I_1^2 = 12,86^2 \cdot 2,72 \approx 950 \text{ mW} \Rightarrow P_{R_{1-4}} \leq \frac{450}{4} \leq 112,5 \text{ mW}$$

$$P_{R_{5,35}} = 2 \cdot 6,92^2 \approx 95,79 \text{ mW}$$

$$P_{R_6} = P_{R_7} = 1 \cdot 2,45^2 \leq 6 \text{ mW}$$

$$P_{R_8} = P_{R_9} = 0,51 \cdot 6,125^2 \cdot 10^{-6} \approx 19,13 \text{ mW}$$

$$P_{R_{10}} = 1 \cdot 4,9^2 \leq 24 \text{ mW}$$

$$P_{R_{11}} = 2 \cdot 0,957^2 \approx 1,83 \text{ mW}$$

$$P_{R_{12}} \leq 3,022 \text{ mW}$$

$$P_{R_{13}} \leq 0,43 \text{ mW}$$

$$P_{R_{14}} \leq 0,048 \text{ mW}$$

$$P_{R_{36}} = 0,68 \cdot 6,92^2 \approx 32,58 \text{ mW}$$

$$P_{R_{15-17}} = 0,00141 \cdot 53,32^2 \approx 4 \text{ mW} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_{R_{15-17}} \leq 1,33 \text{ mW}$$

$$P_{R_{18}} = 4,05^2 \cdot 1,5 \approx 24,5 \text{ mW}$$

$$P_{R_{19}} = 4,05^2 \cdot 0,22 \approx 3,61 \text{ mW}$$

$$P_{R_{20}} \approx 0,836 \text{ mW}$$

$$P_{R_{21}} = 4,05^2 \cdot 2 \approx 32,8 \text{ mW}$$

$$P_{R_{22}} \approx 16,4 \text{ mW}$$

$$P_{R_{23}} = 0,33 \cdot 4,05^2 \approx 5,41 \text{ mW}$$

$$P_{R_{24}} = 0,051 \cdot 4,05^2 \approx 0,836 \text{ mW}$$

$$P_{R_{25}} = 0,22 \cdot 21,81^2 \approx 104,65 \text{ mW} = P_{R_{26}} = P_{R_{27}}$$

$$P_{R_{28}} = 0,15 \cdot 21,81^2 \approx 71,35 \text{ mW}$$

$$P_{R_{29}} = P_{R_{30}} = P_{R_{31}} = P_{R_{32}} = P_{R_{33}} = 0,15 \cdot 27,46^2 \approx 113,1 \text{ mW}$$

$$P_{R_{34}} = 0,01 \cdot 27,46^2 \approx 7,54 \text{ mW}$$

$$P_{D_1} = U_{D_1} \cdot I_1 = 3 \cdot 12,86 \approx 38,58 \text{ mW}$$

$$P_{D_2} = U_{D_2} \cdot I_{D_2} = 5,6 \cdot 5,963 \approx 33,4 \text{ mW}$$

$$P_{D_3} = U_{D_3} \cdot I_{D_3} = 3,2 \cdot 21,81 \approx 69,8 \text{ mW}$$

$$P_{Q_1} = V_{EC_1} \cdot I_{C_1} = 0,7 \cdot 2,45 \approx 1,72 \text{ mW}$$

$$P_{Q_2} = V_{EC_2} \cdot I_{C_2} = 13,21 \cdot 2,45 \approx 32,36 \text{ mW}$$

$$P_{Q_3} = V_{CE_3} \cdot I_{C_1} = 29,95 \cdot 2,45 \approx 73,38 \text{ mW}$$

$$P_{Q_4} = V_{CE_4} \cdot I_{C_2} = 17,44 \cdot 2,45 \approx 42,73 \text{ mW}$$

$$P_{Q_5} = V_{CE_5} \cdot I_{C_5} = 22,34 \cdot 0,016 \approx 0,357 \text{ mW}$$

$$P_{Q_6} = V_{CE_6} \cdot I_{C_6} = 16,36 \cdot 0,133 \approx 2,176 \text{ mW}$$

$$P_{Q_7} = V_{CE_7} \cdot I_{C_7} = 17,06 \cdot 53,32 \approx 909,6 \text{ mW}$$

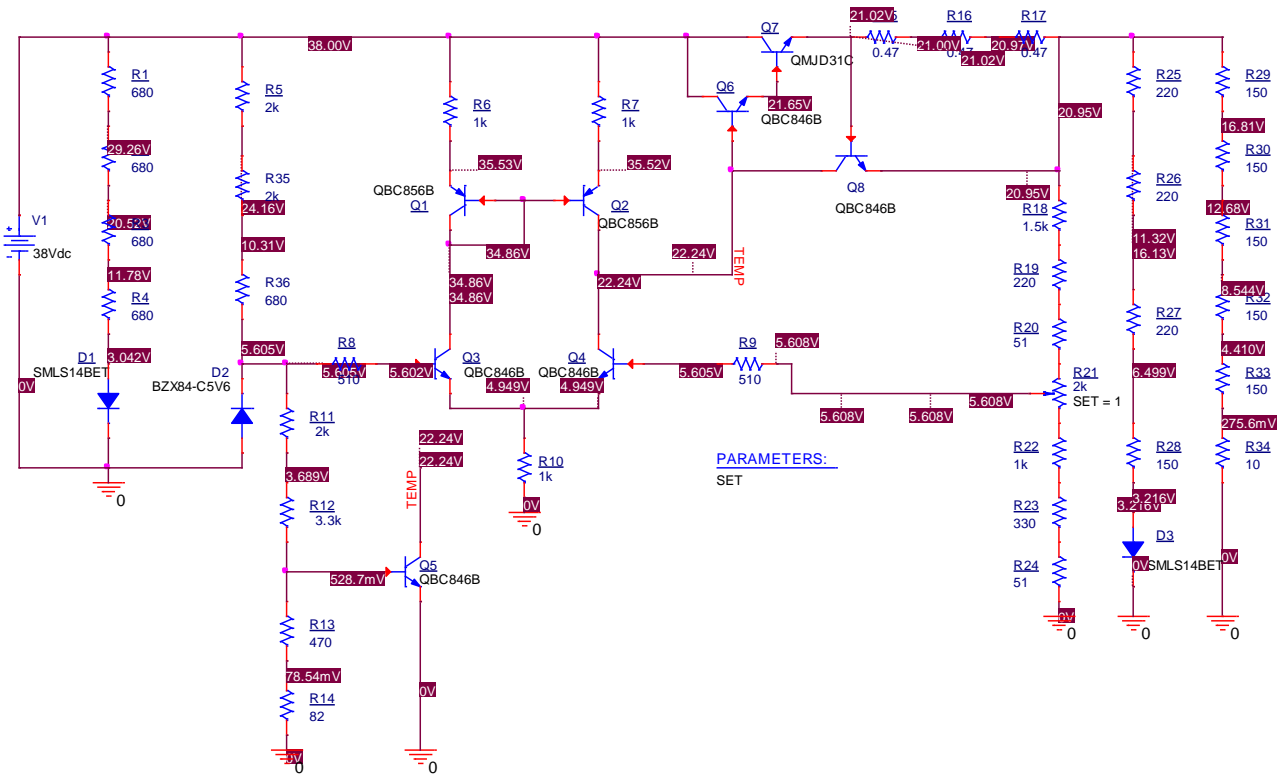
(transistor de putere)

$$P_{Q_8} = V_{CE_8} \cdot I_{C_8} = 1,47 \cdot 10 \text{ } \mu\text{A} \approx 14,7 \text{ } \mu\text{W}$$

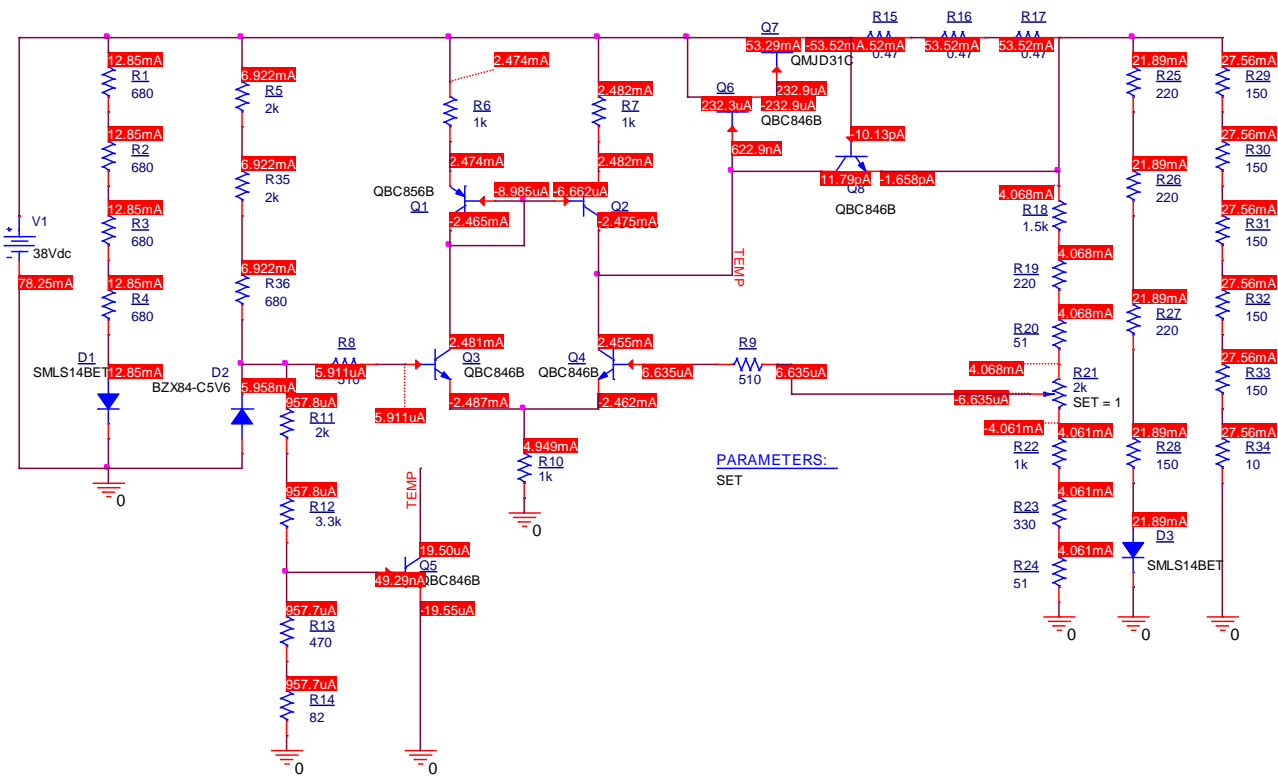
Punctul static de functionare(PSF) simulat (pentru SET = 1):

Tensiunile, curentii si puterile disipate in circuit sunt aceleasi cu cele calculate analitic, dupa cum urmeaza:

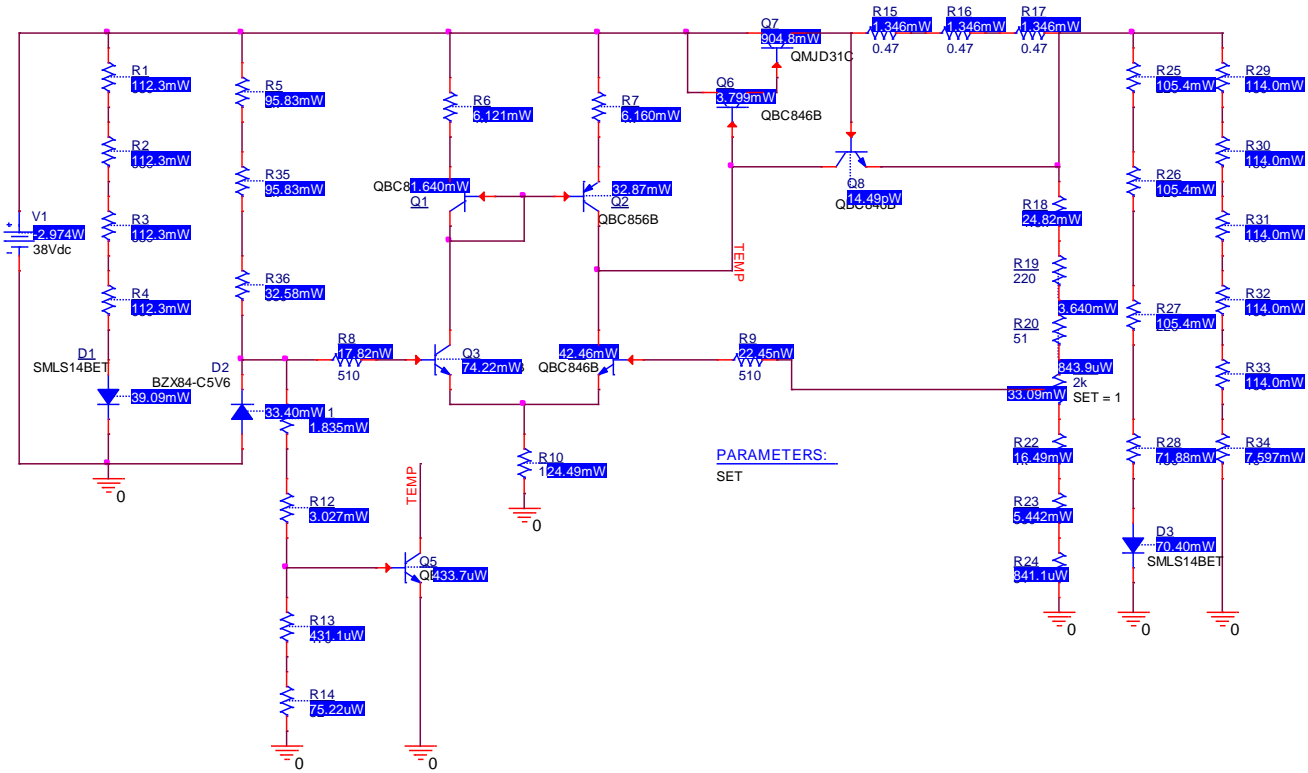
Tensiunile in circuit:



Curentii prin circuit:



Puterile disipate pe fiecare componenta:

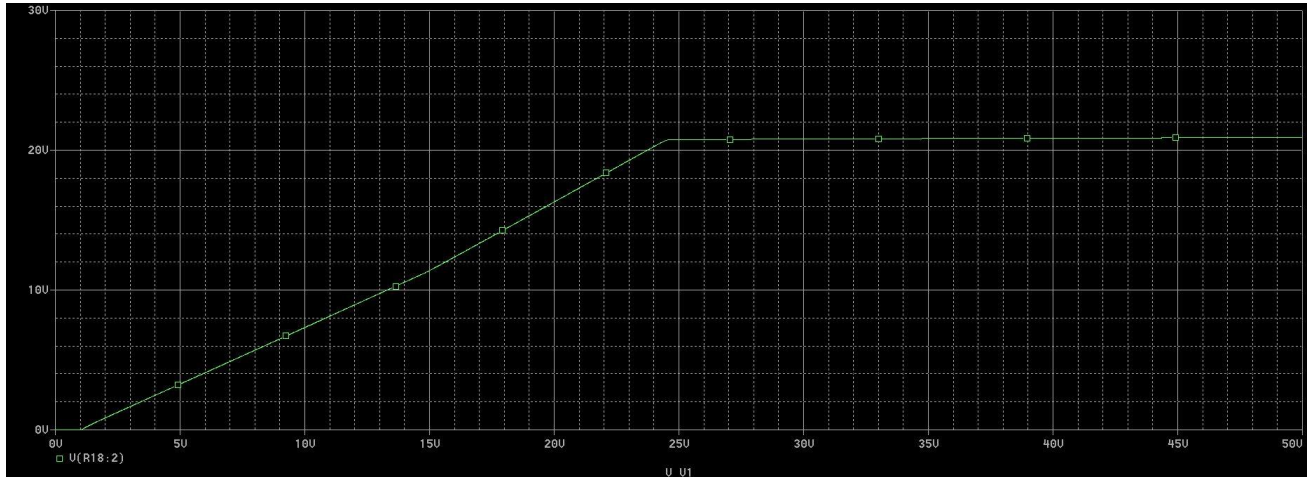


Verificare functionalitate circuit:

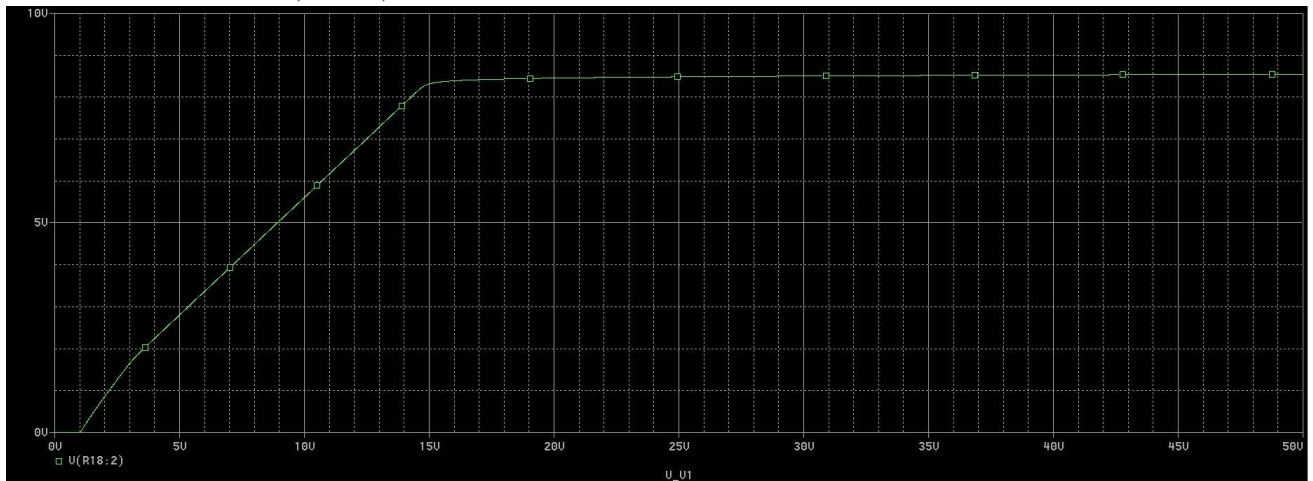
Stabilizarea tensiunii de iesire:

Cele doua grafice arata dependenta tensiunii de iesire in functie de tensiunea de intrare. Dupa o anumita valoare la intrare, tensiunea de la iesire se stabilizeaza si devine constanta.

- Pentru $V_{out} = V_{out\ max} (= 19V)$

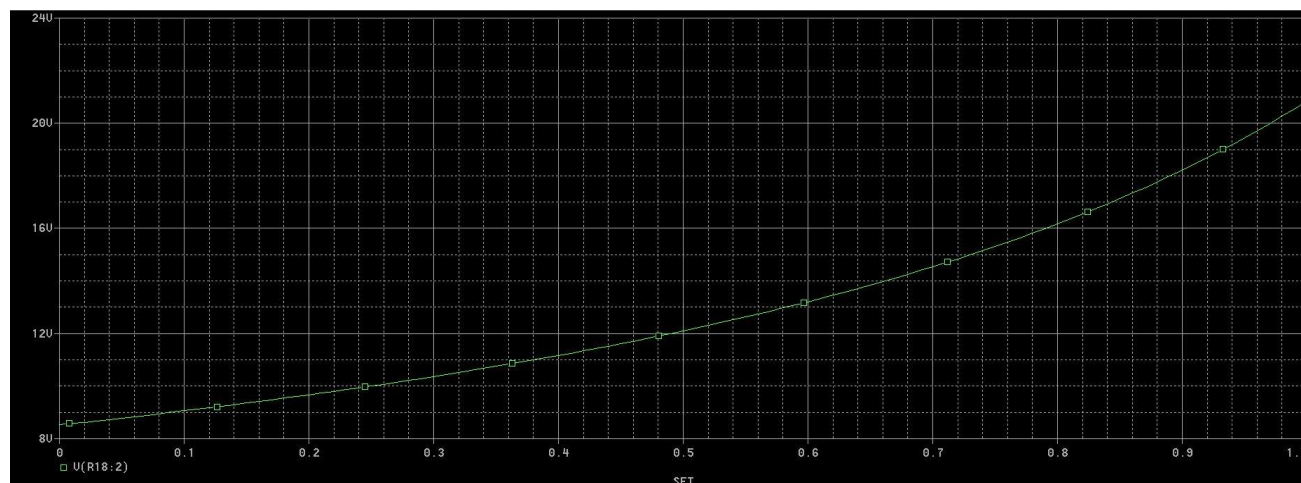


- Pentru $V_{out} = V_{out\ min} (= 9.5V)$



Variatia tensiunii de iesire in functie de potentiometru:

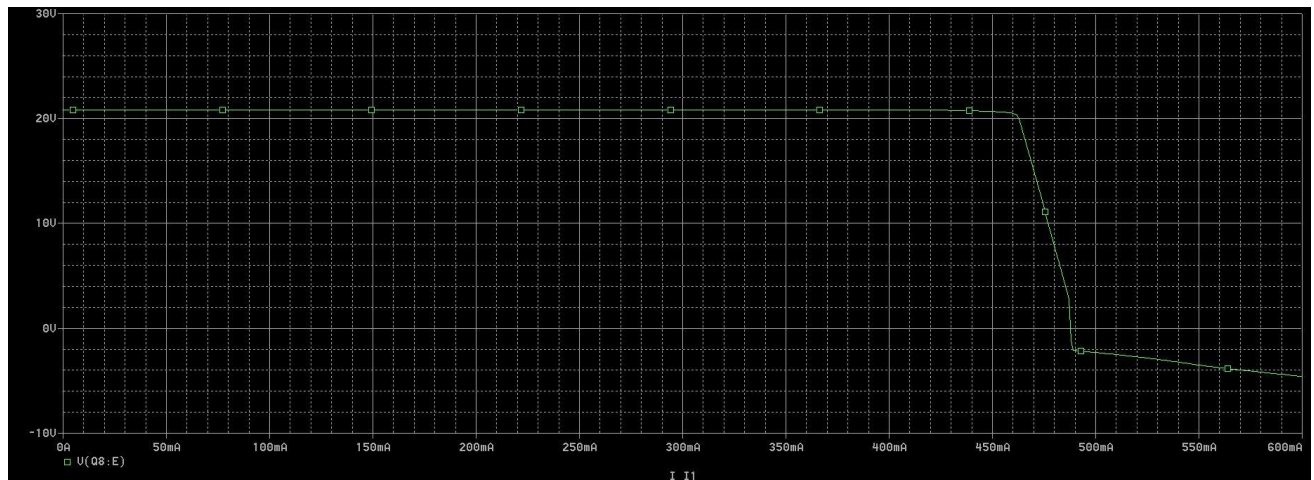
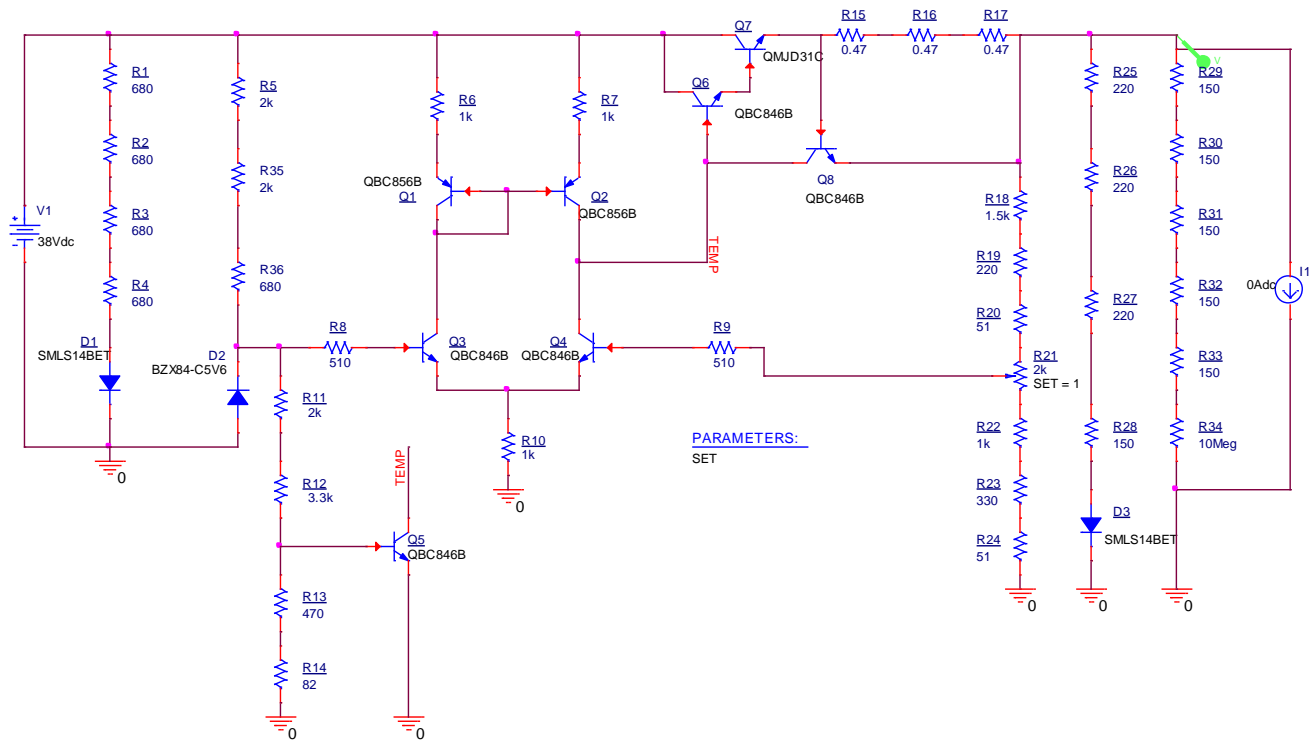
Acest grafic reprezinta variatia tensiunii de la iesire in functie de SET-ul potentiometrului de la retea de reactie negativa, ce ia valori intre 0 si 1. Dupa cum se cere, V_{out} trebuie sa fie in intervalul $\{9.5, 19\}$ V, valori pe care le-am micșorat, respectiv majorat cu 10%, astfel ca noul interval este $\{8.55, 20.9\}$ V.



In continuare, am lucrat cu $SET = 1$.

Verificare protectie la suprasarcina:

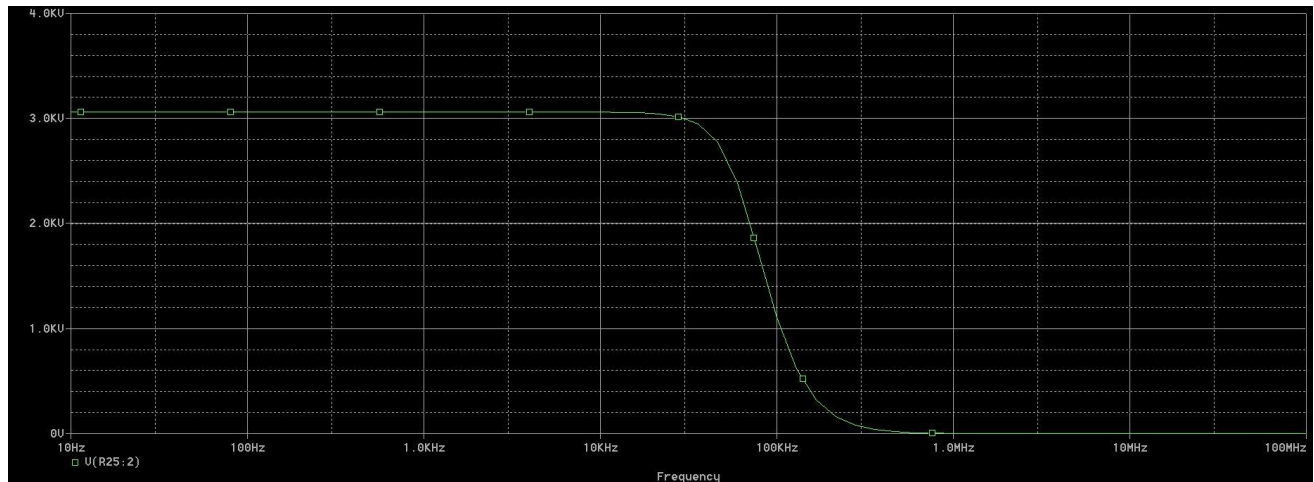
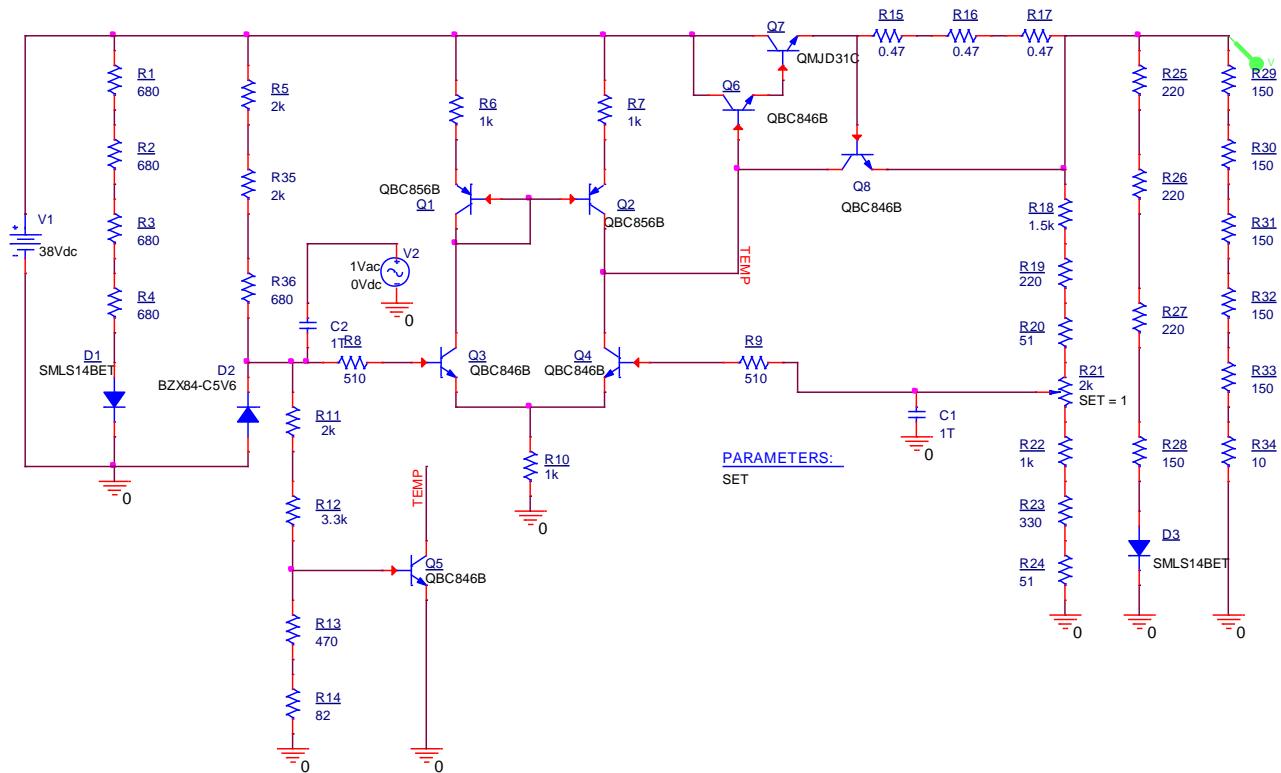
Pentru a verifica protectia la suprasarcina, am introdus la iesire o sursa de curent continuu, iar sarcina am facut-o foarte mare pentru a simula un gol. Analiza este de tip „DC Sweep”, in functie de sursa de curent I1.



Limitarea curentului ~ 480 mA;

Verificare amplificare:

Pentru a verifica amplificarea, am introdus cate un condensator la fiecare intrare a amplificatorului de eroare, pe borna pozitiva punand in plus un generator de curent alternativ, de amplitudine 1V. Amplificarea care ne intereseaza este semnalul stabilizat de pe grafic.



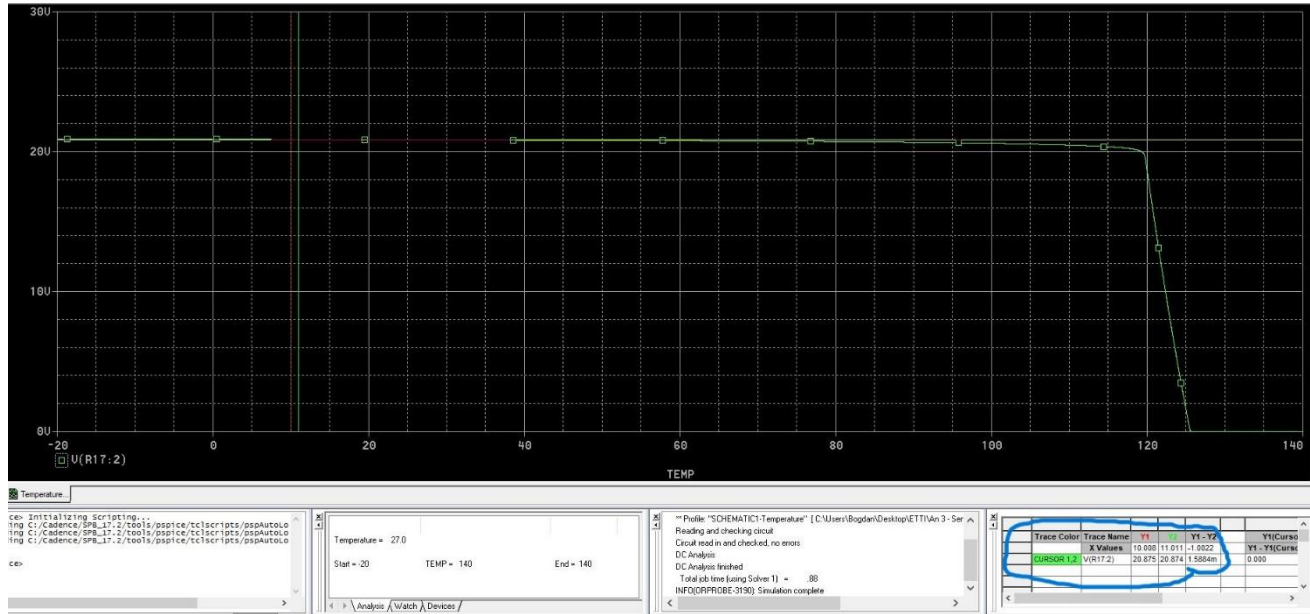
Amplificarea = 3000 > 100;

Verificare protectie la temperatura + deriva termica:

Pe grafic se poate observa faptul ca semnalul de la iesire este stabil pana la temperatura de 120°C, dupa care scade brusc pana la 0V.

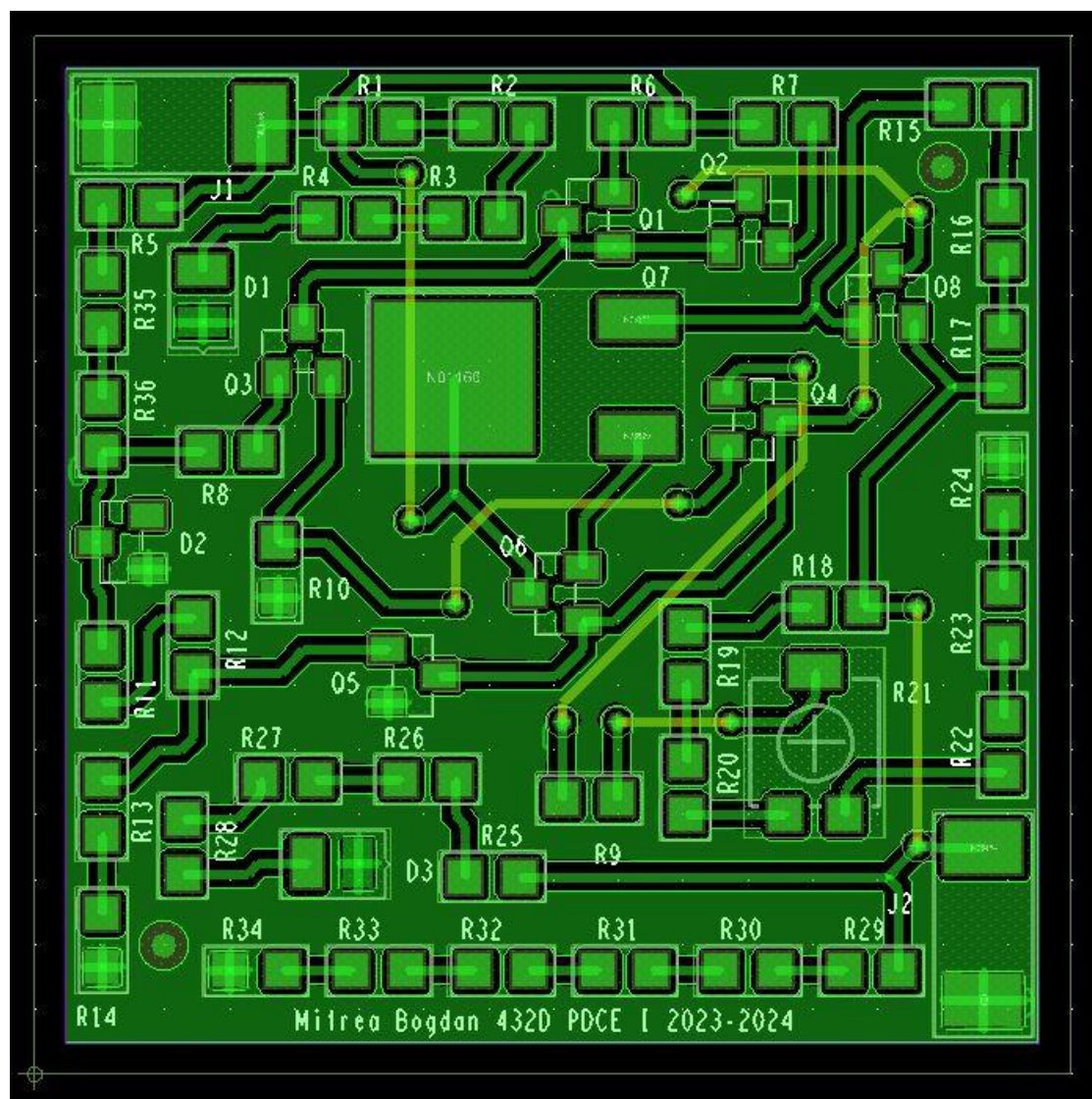
Inercuit in coltul din dreapta jos este folosirea cursorilor si calculul pantei, ceea ce determina deriva termica. Am luat cursorii convenabil, astfel incat $Y2 - Y1 = 1$, iar deriva termica este $X2 - X1$.

Deriva termica = $1.59 < 2 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$;



ETAPA 2 – PCB:

Layoutul realizat in aplicatia „OrCAD PCB Editor”:

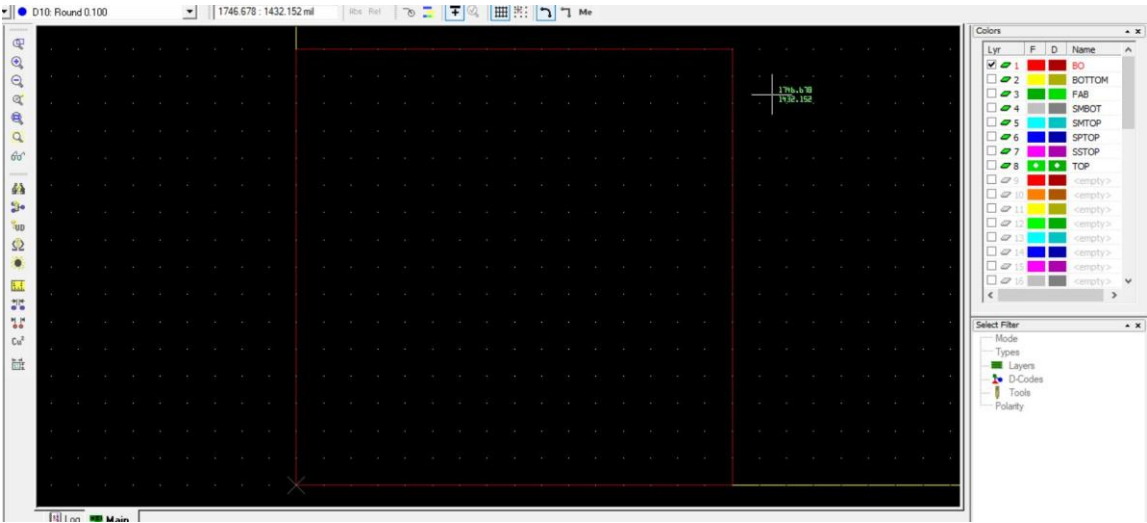


Footprinturile folosite pentru componente:

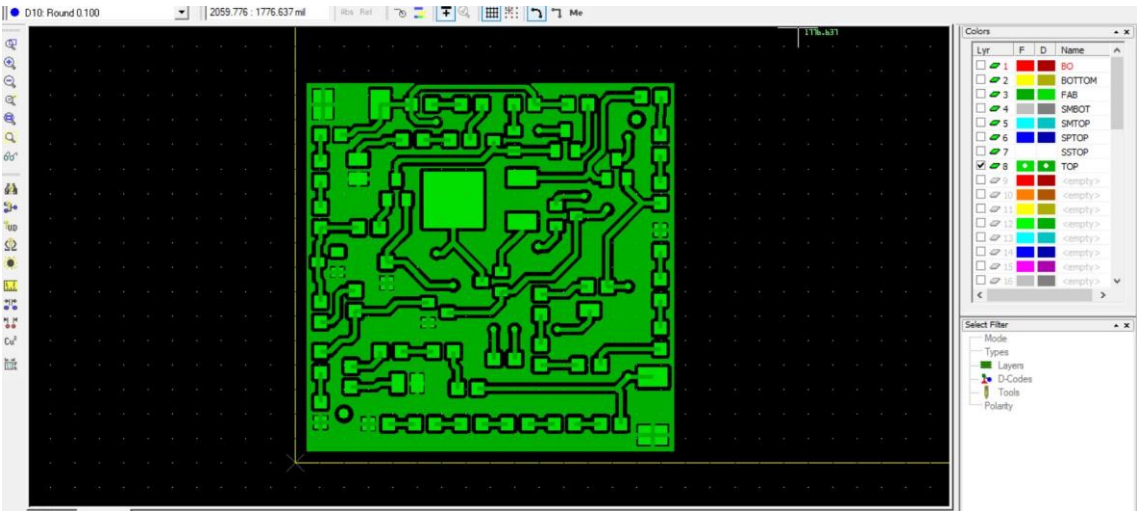
- Rezistoare R1...R36 (fara R21) – SMR0805;
- Potentiometru R21 – TS53YL;
- LED-uri D1, D3 – SMD0805;
- Dioda Zener D2 – TO236AA;
- Tranzistoare NPN/PNP Q1...Q8 (fara Q7) – TO236AA;
- Tranzistor de putere Q7 – DPACK;
- Conectori J1, J2 – SMR2512;

Fisiere Gerber:

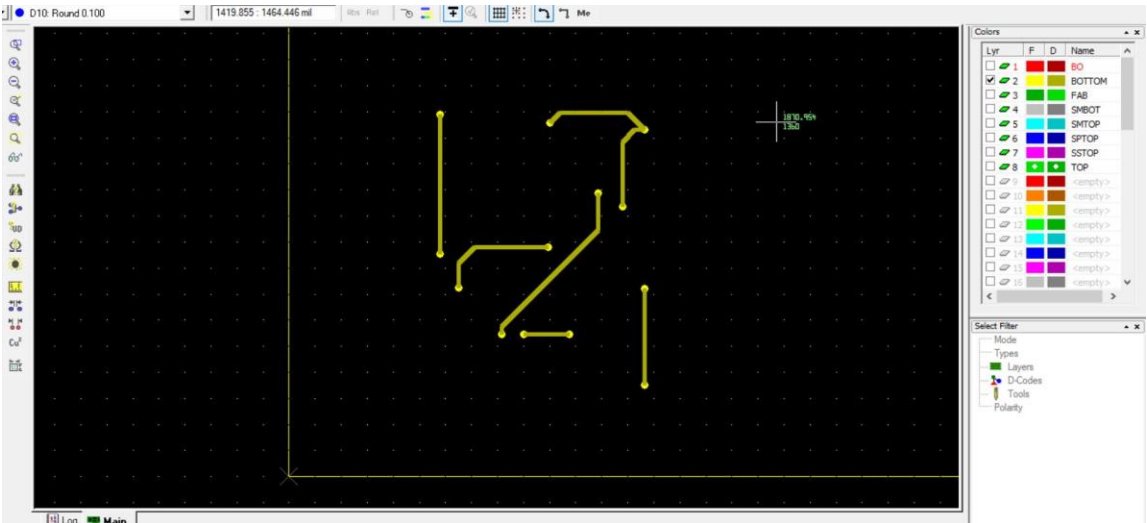
1. BO.art



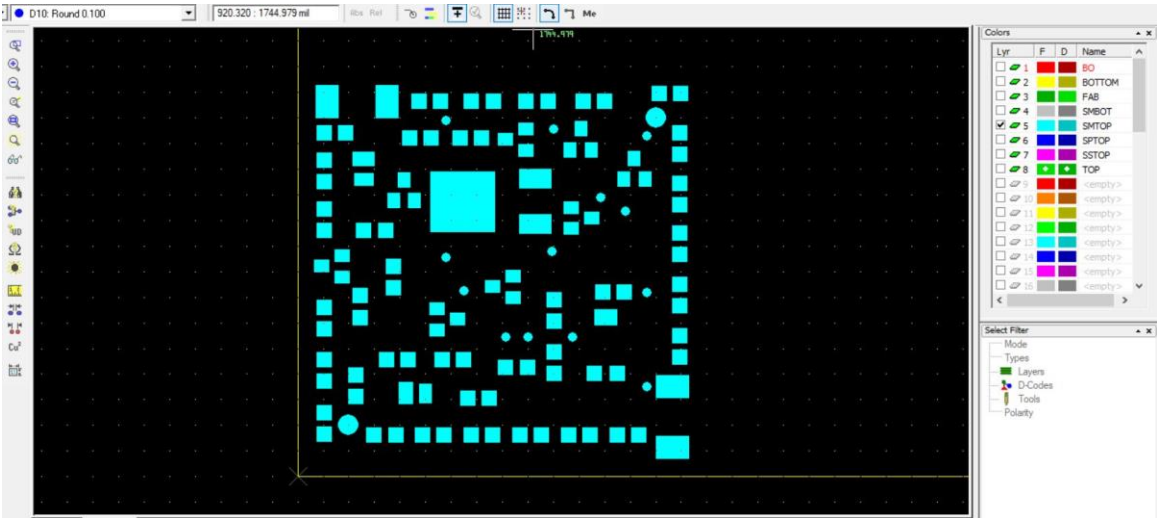
2. TOP.art



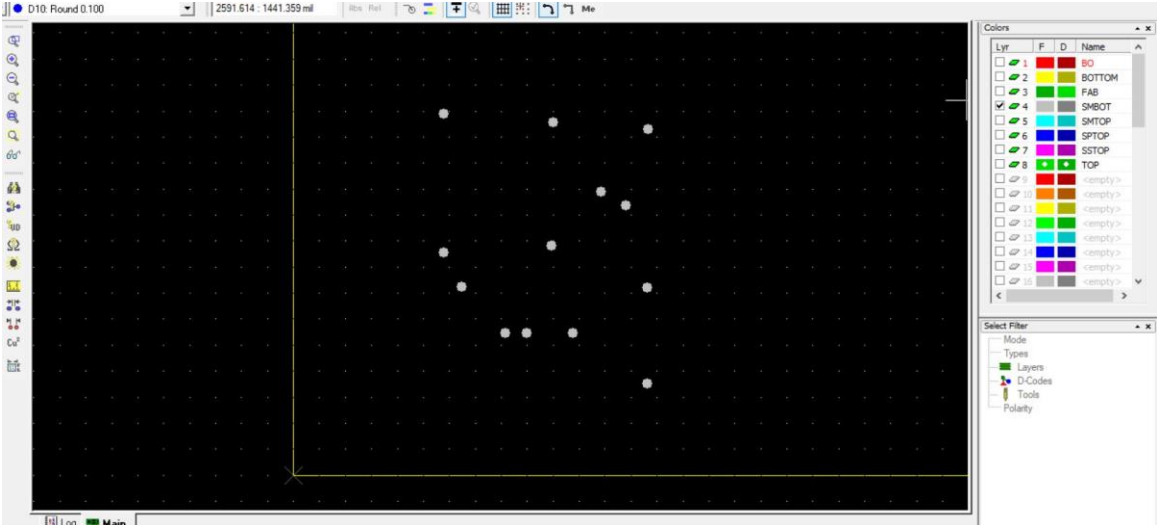
3. BOTTOM.art



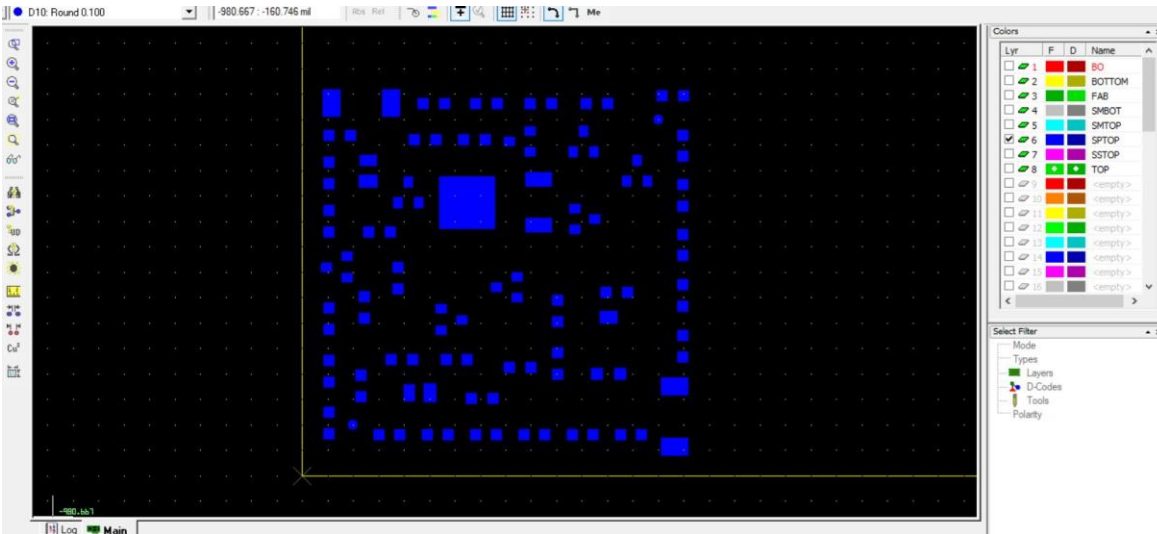
4. SMTOP.art



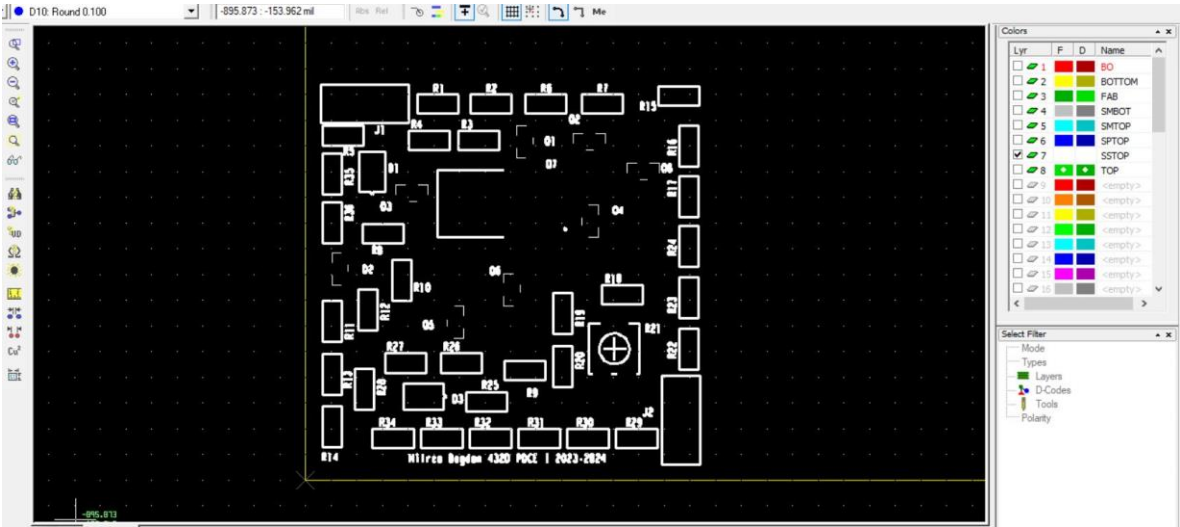
5. SMBOT.art



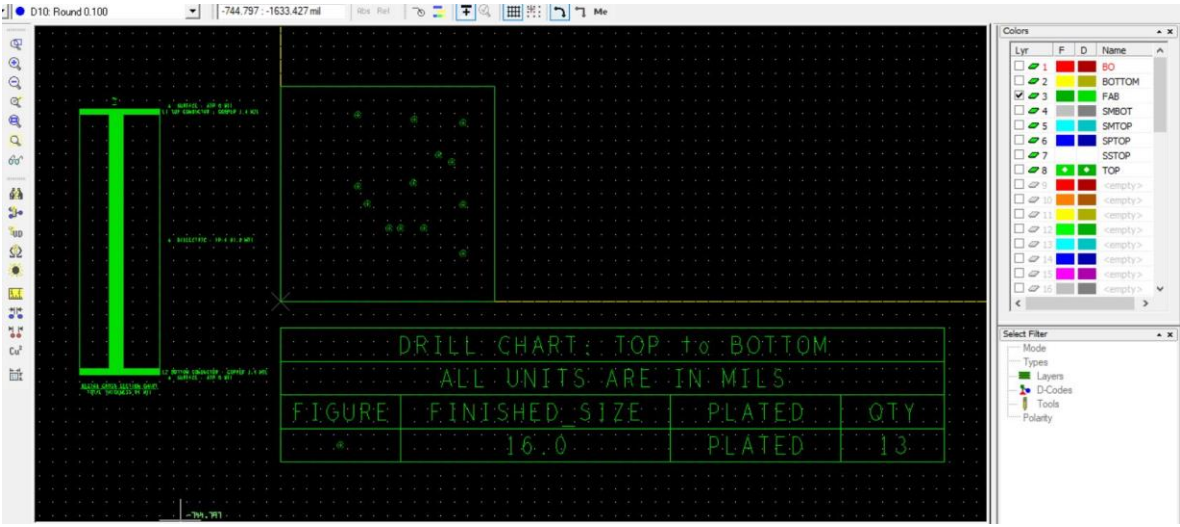
6. SPTOP.art



7. SSTOP.art



8. FAB.art



9.DRILL.drl (cu board outline pentru referinta):

