

Universitatea “Politehnica” din Bucuresti
FACULTATEA DE ELECTRONICA, TELECOMUNICATII SI TEHNOLOGIA INFORMATIEI

STABILIZATOR DE TENSIUNE CU ERS

Proiect 1

Student: Eftimie Albert Gabriele

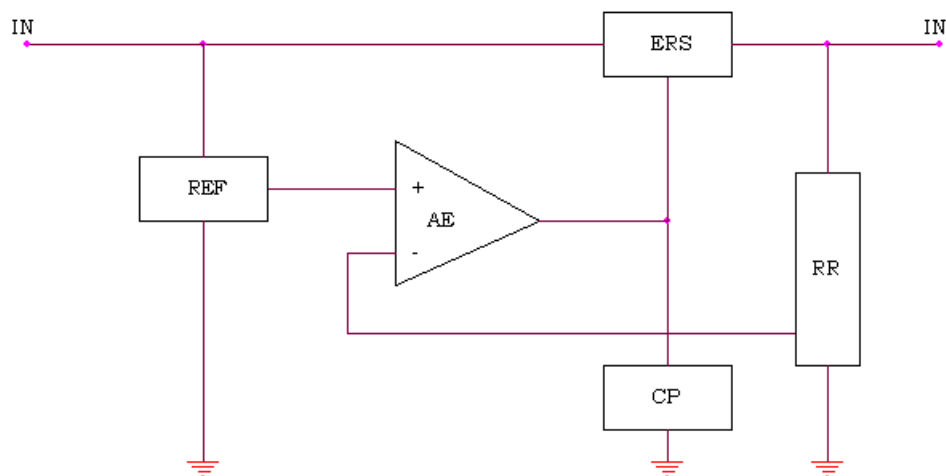
Grupa: 432D

2023-2024

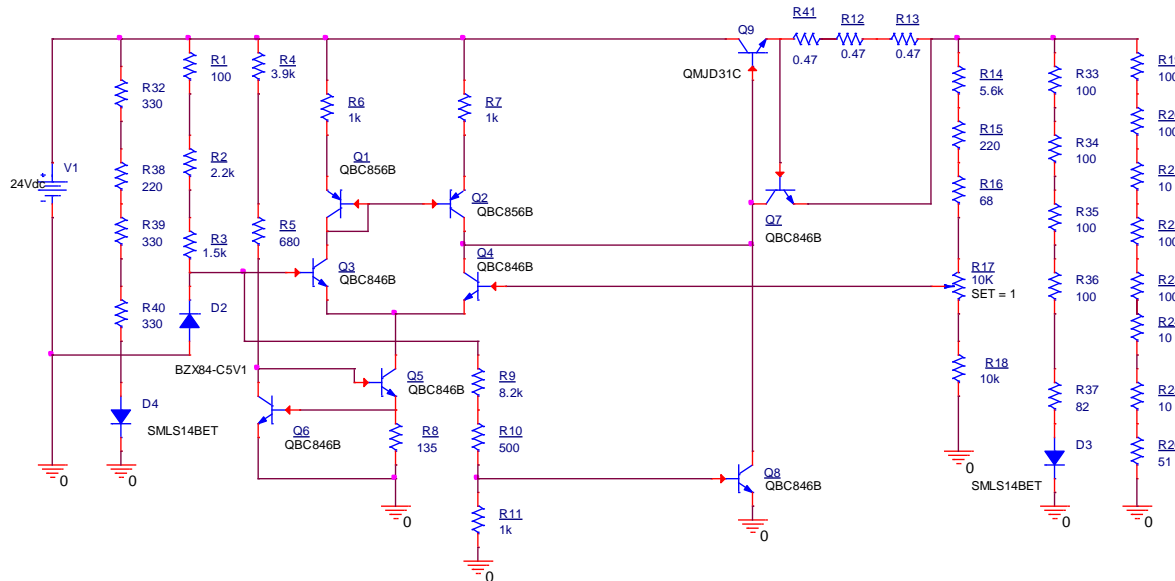
1. Date de proiectare

- $N=12$
- Element de reglaj serie
- Sarcina la iesire 480 ohmi
- Deriva termica $<2\text{mV/grad Celsius}$
- Protecție la suprasarcină prin limitarea temperaturii tranzistorului regulator serie la 1200C , si a curentului maxim la $0,5\text{A}$
- Tensiunea de intrare in interval $21,6\text{V}-24\text{V}$
- Amplificarea în tensiune minimă (în buclă deschisă) a amplificatorului de eroare: minim 100
- Domeniul temperaturilor de funcționare: $0-60\text{ Celsius}$ (verificabil prin testare în temperatura)
- Semnalizarea prezenței tensiunilor de intrare/ieșire cu diodă de tip LED

2. Schema bloc a circuitului



3. Schema electrica a circuitului



Blocurile componente ale stabilizatorului de tensiune sunt:

- referinta de tensiune data de dioda Zener D2, polarizata de rezistoarele R1, R2 si R3; acestea s-au ales astfel incat prin dioda sa curga un curent de aprox 5 mA prin zener)

- amplificatorul de eroare, alcatuit din Q3, Q4, amplificator alimentat la 2 surse de curent formate din R6, R7, Q1, Q2, respectiv R4, R5, R8, Q5, Q6; sursele de curent au fost dimensionate pentru a asigura prin ambele tranzistoare un curent aproximativ egal de 2.5mA

- reteaua de reactie negativa formata din rezistoarele R14, R15, R16, R17, R18 (divizor de tensiune); $V_{out}/V_{in}=10k/25.8k$, unde V_{out} este tensiunea data de dioda Zener

- circuitul de protectie la temperatura format din Q8, R9, R10 si R11; acesta a fost dimensionat astfel pentru ca tensiunea baza-emitor a lui Q8 sa fie de 460-500mV, aceasta crescand odata cu cresterea temperaturii, la 120 grade celsius urmand sa se

deschida tranzistorul. Tensiunea V_{be} este astfel setata cu ajutorul divizorului de tensiune format din R9, R10 si R11.

-circuitul de protectie la suprasarcina format din Q7, R12 si R13 a fost dimensionat astfel pentru a asigura o tensiune baza emitor de aprox 0.7V la un curent de 0.5A

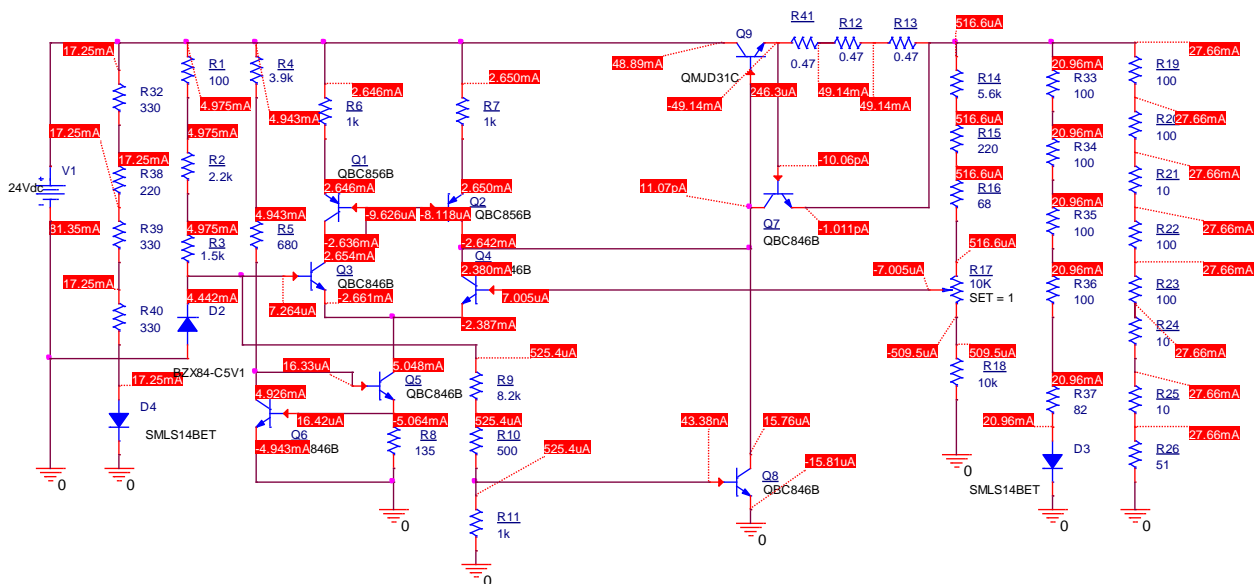
-elementul de reglaj serie format din tranzistoarele Q9, s-a ales un tranzistor de putere in locul a mai multor tranzistori legati in paralel deoarece la capacitate maxima, asupra acestuia urma sa fie disipata o putere de peste 1.2W

-cele 2 diode de semnalizare a tensiunii de la intrare si la iesire D2, D3 cu rezistoarele ce le polarizeaza R1, R2, R3 respectiv R33-R37

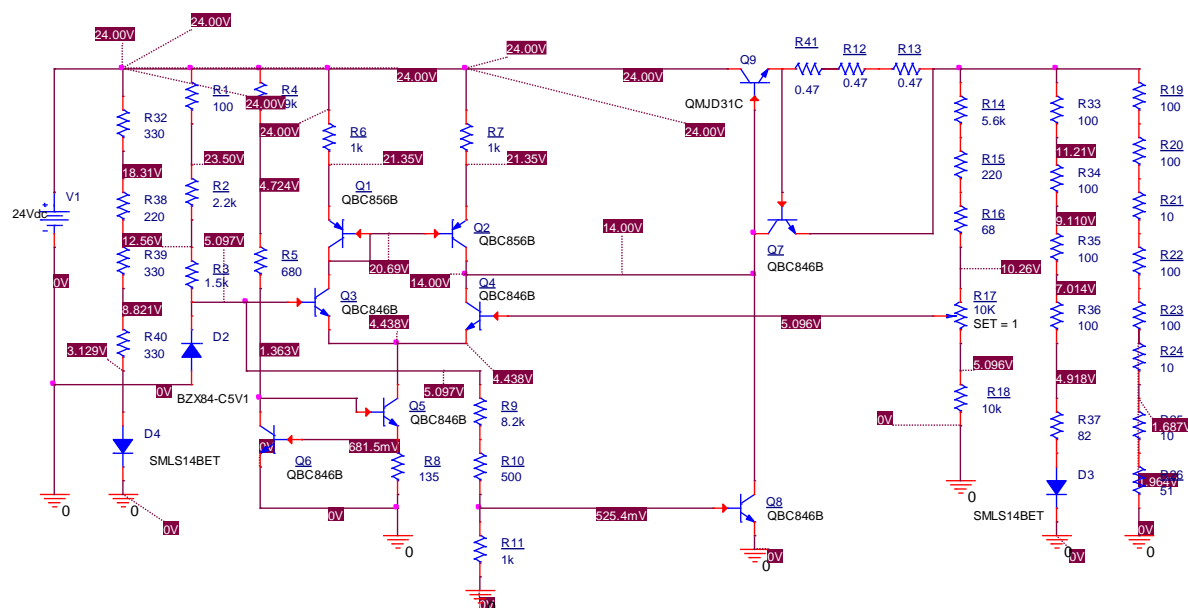
4. Simularile stabilizatorului

-punctul static de functionare simulat(pentru potentiometrul setat pe 1 si tensiunea maxima de intrare)

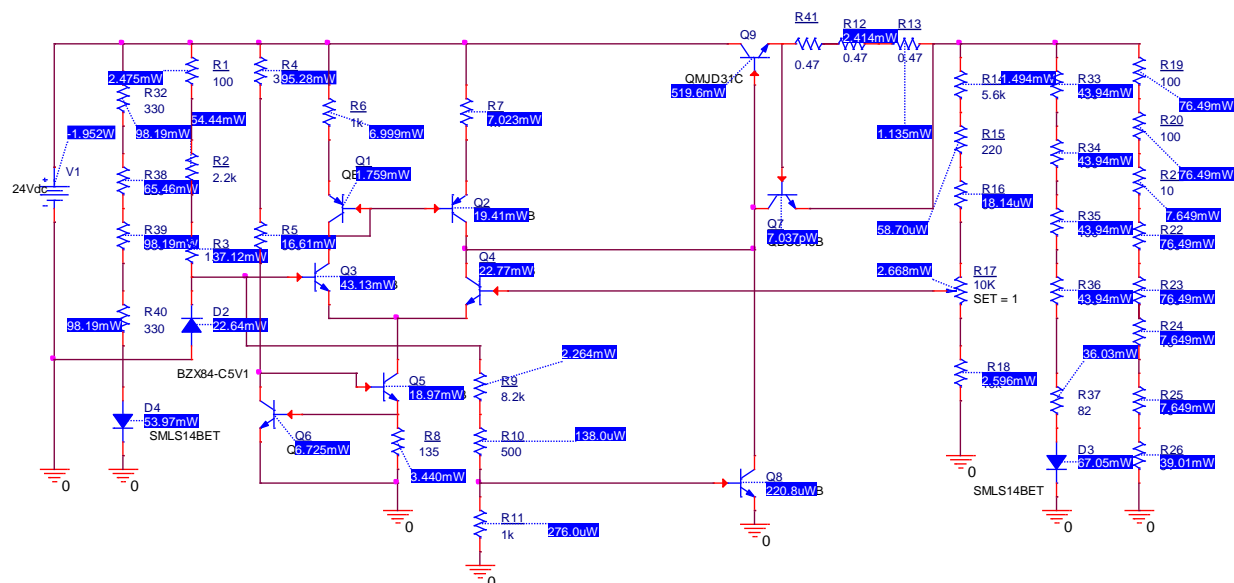
In figura de mai jos putem observa toti curentii din circuit



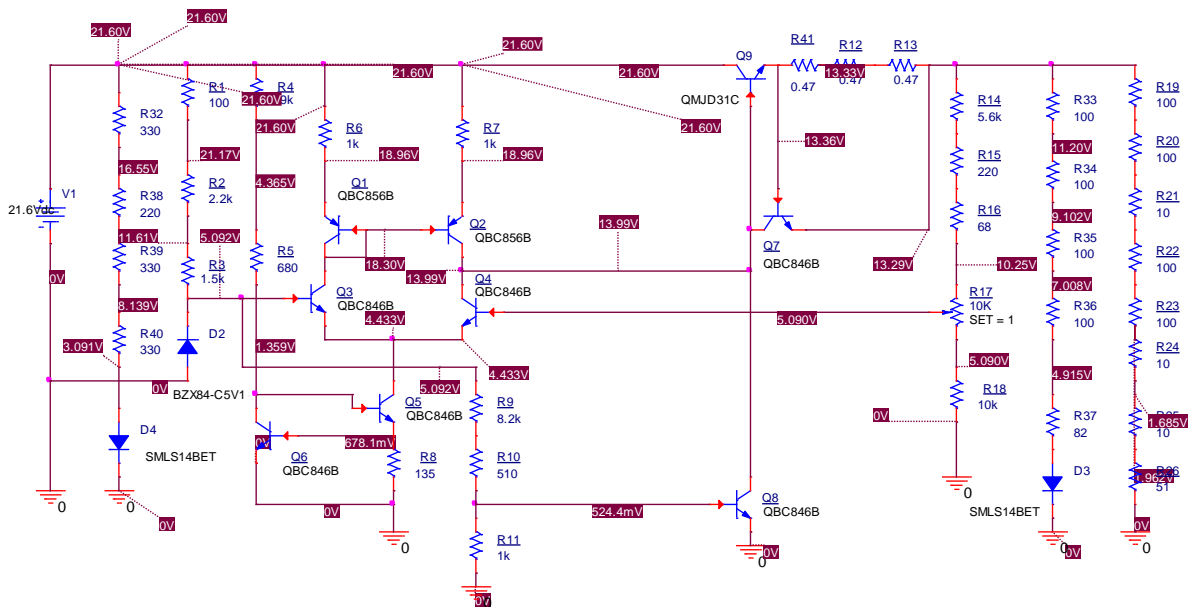
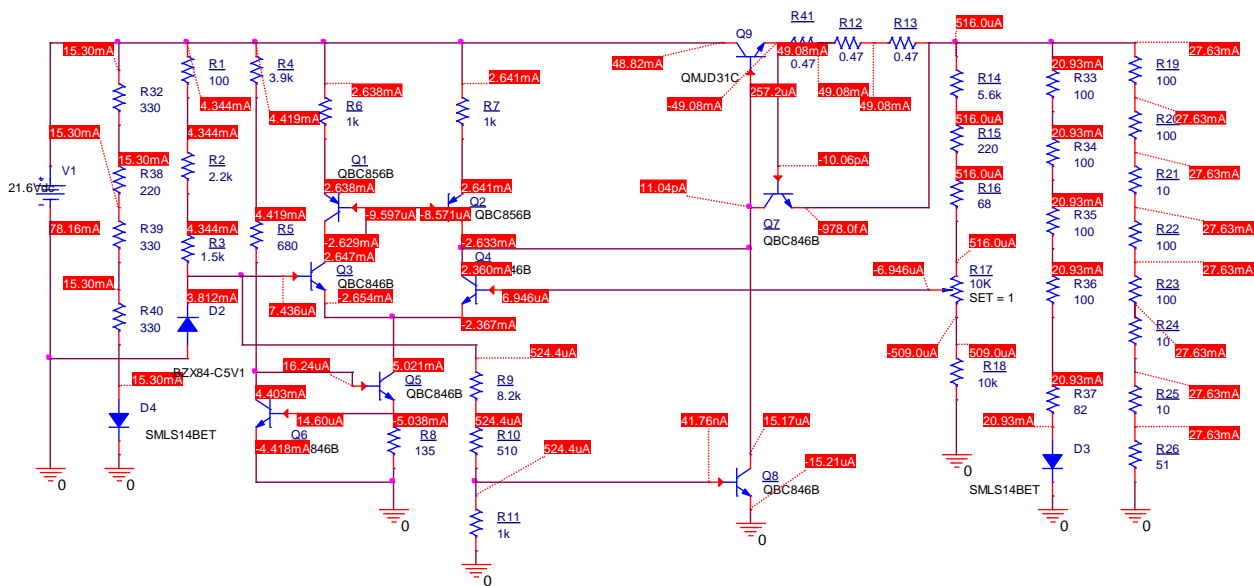
Se observa ca toate tranzistoarele bipolare sunt in regim activ de functionare(exceptie fac tranzistoarele din componenta circuitelor de protectie)

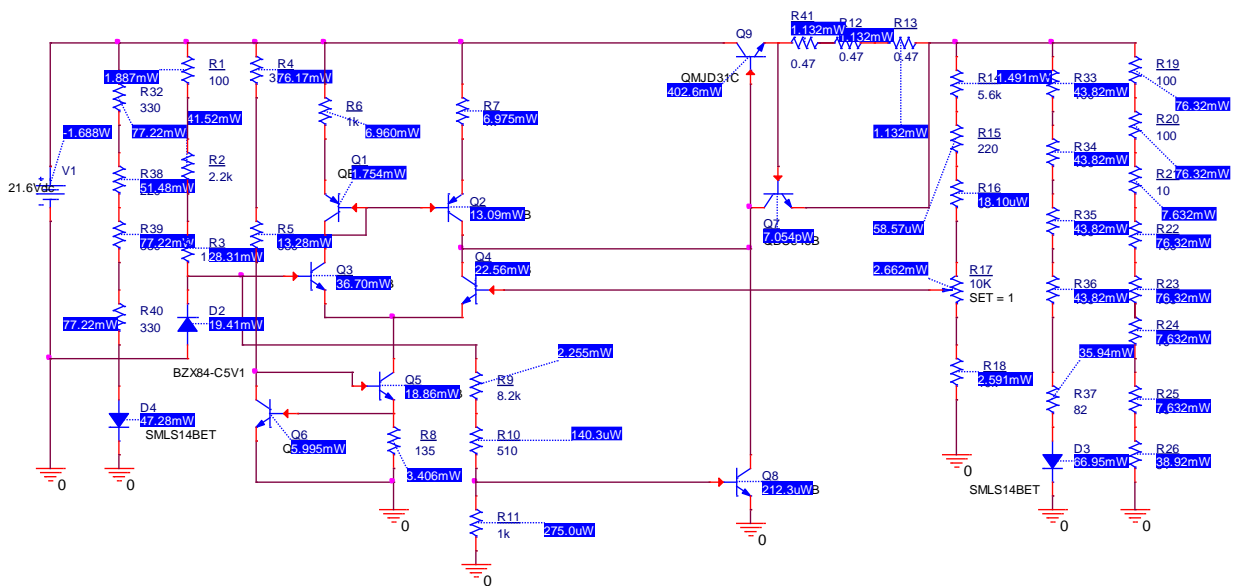


Puterile sunt toate conforme cu specificatiile componentelor(tranzistorul Q9 este unul de putere, 15W)

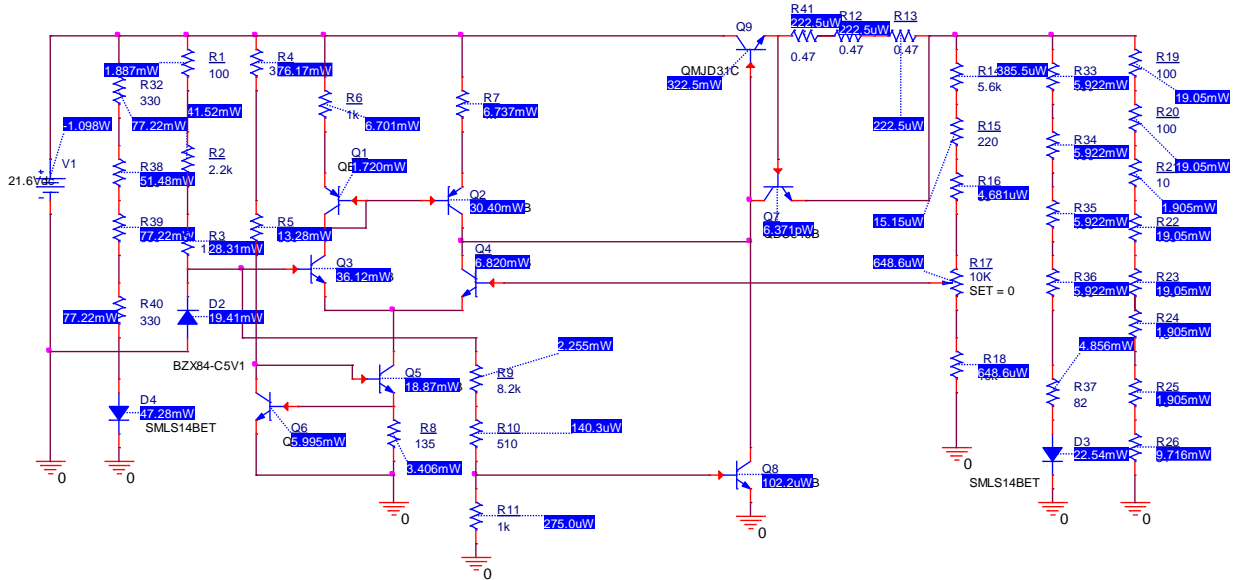
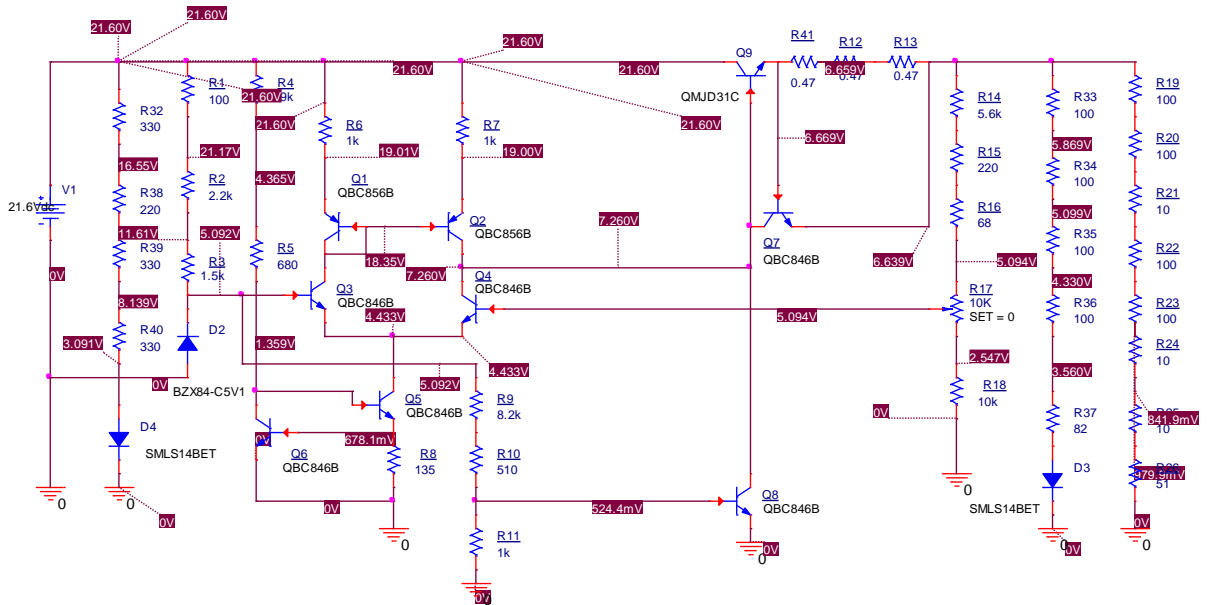


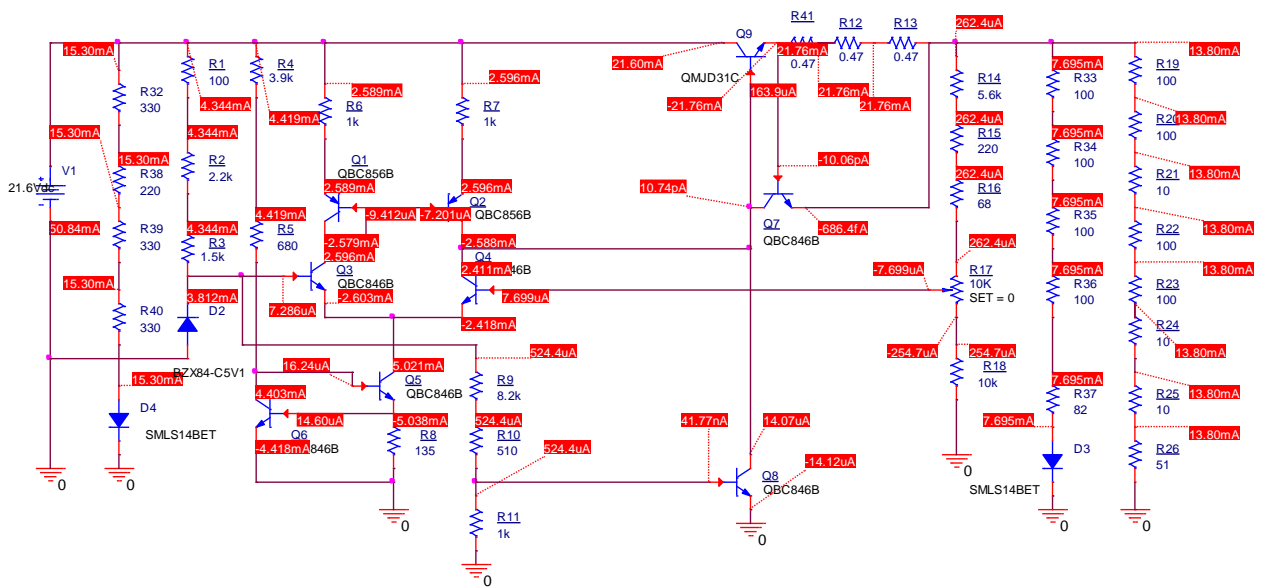
-punctul static de functionare simulat(pentru potentiometrul setat pe 1 si tensiunea minima de intrare)



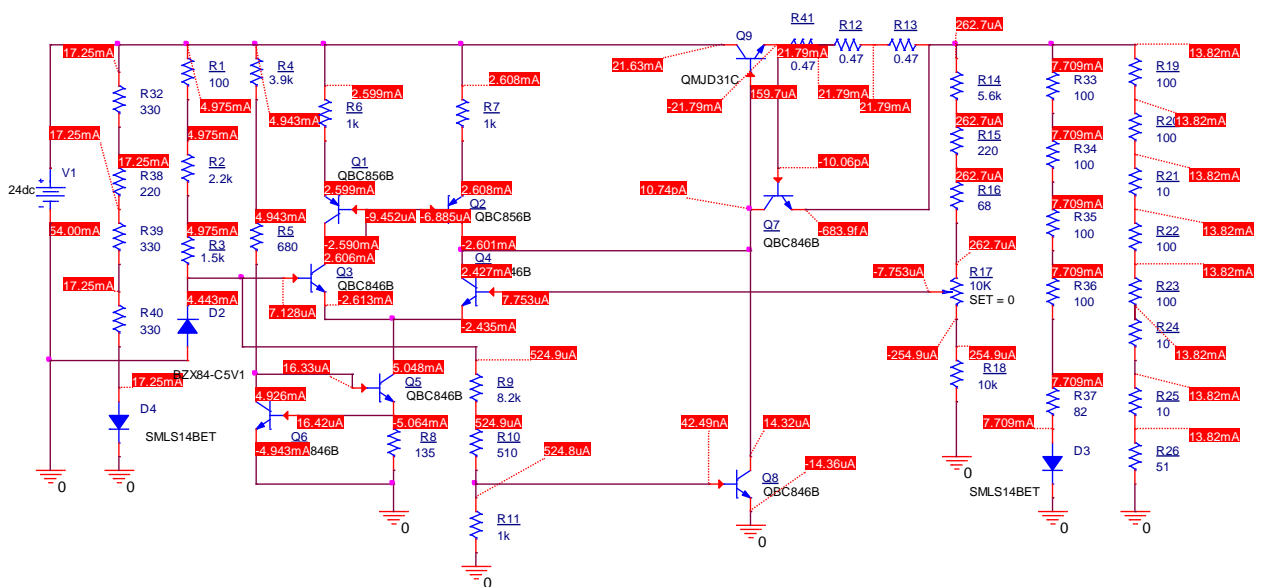


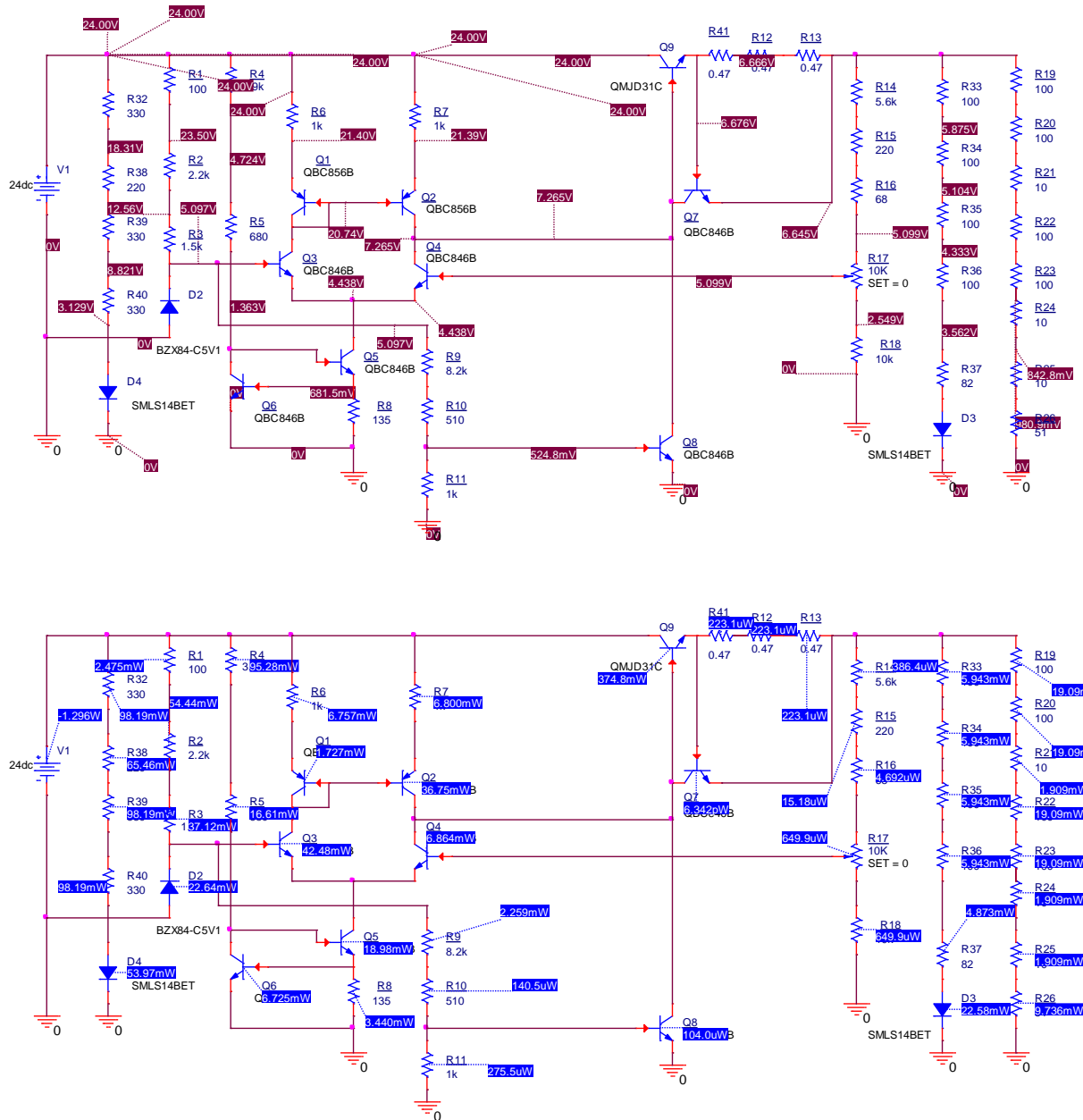
-punctul static de functionare simulat(pentru potentiometrul setat pe 0 si tensiunea minima de intrare)





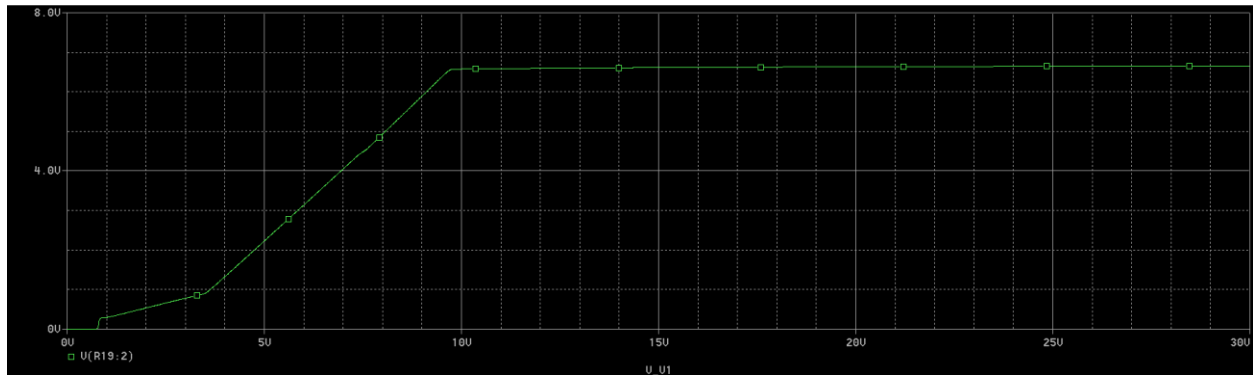
-punctul static de functionare simulat(pentru potentiometrul setat pe 0 si tensiunea maxima de intrare)



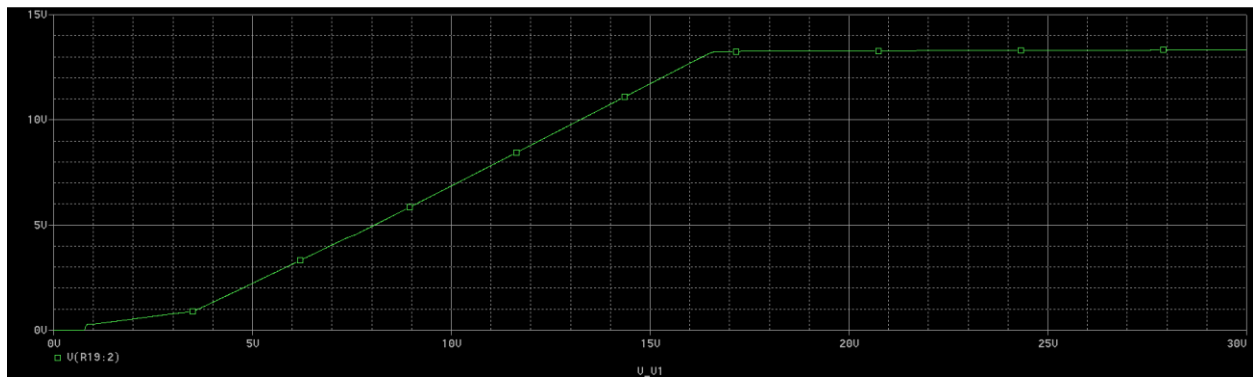


-analiza DC sweep

Potentiometrul este setat la 0



Potentiometrul este setat la 1



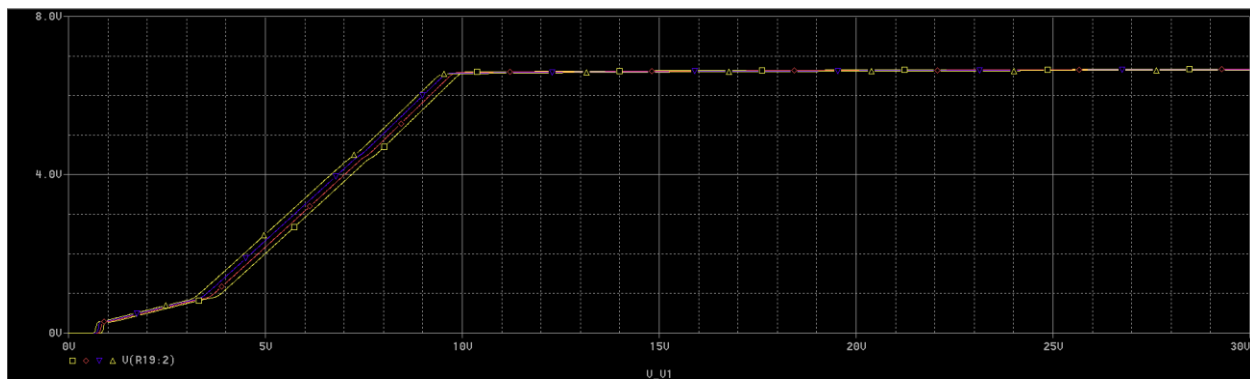
Am ales tensiuni de iesire cu 10% mai mari decat cele din cerinta din cauza tolerantelor rezistoarelor.

Se observa ca intre tensiunile de intrare date in cerinta (21,6V – 24 V), tensiunile de iesire sunt constante in ambele cazuri, tensiunea de iesire avand o variatie mai mica de 0.6mV/V .

-domeniul temperaturilor de functionare

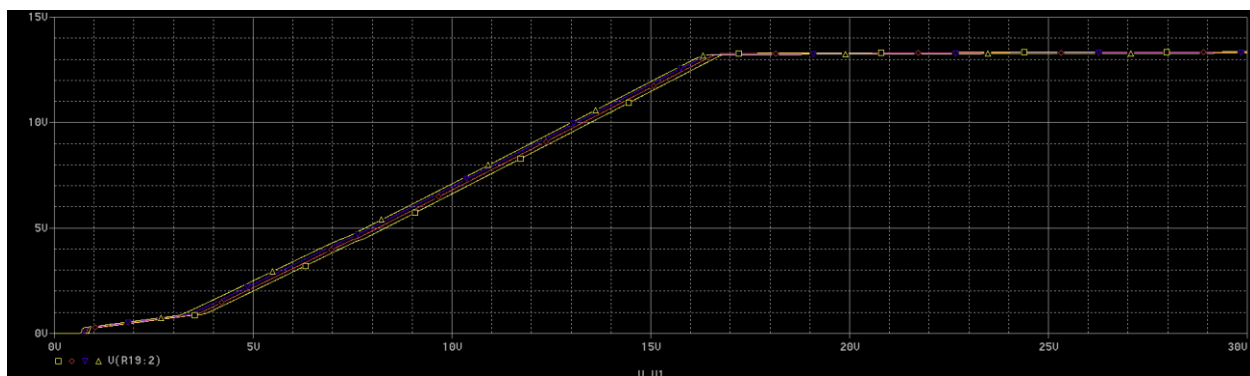
-analiza s-a facut pentru temperaturile 0, 20, 40 respectiv 60 grade Celsius

-pentru tensiunea minima la iesire

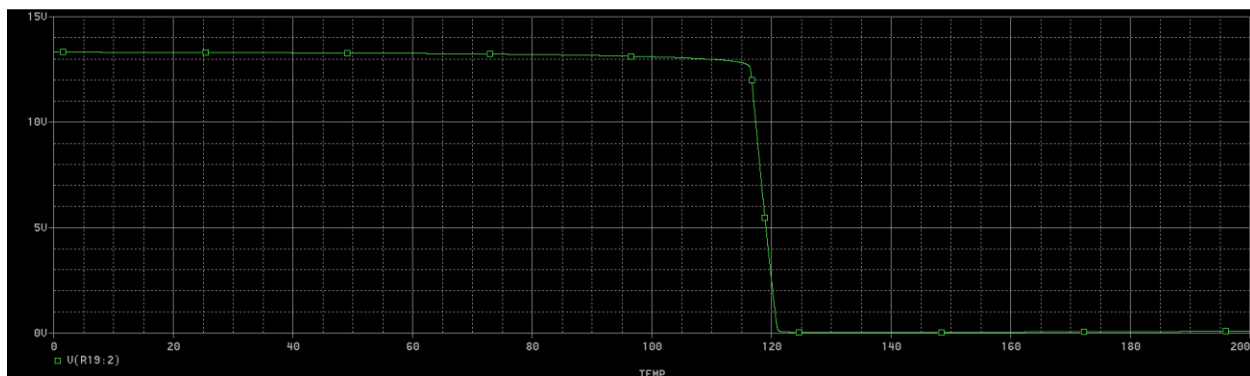


Se observa o caracteristica constanta in intervalul 0-60 grade Celsius

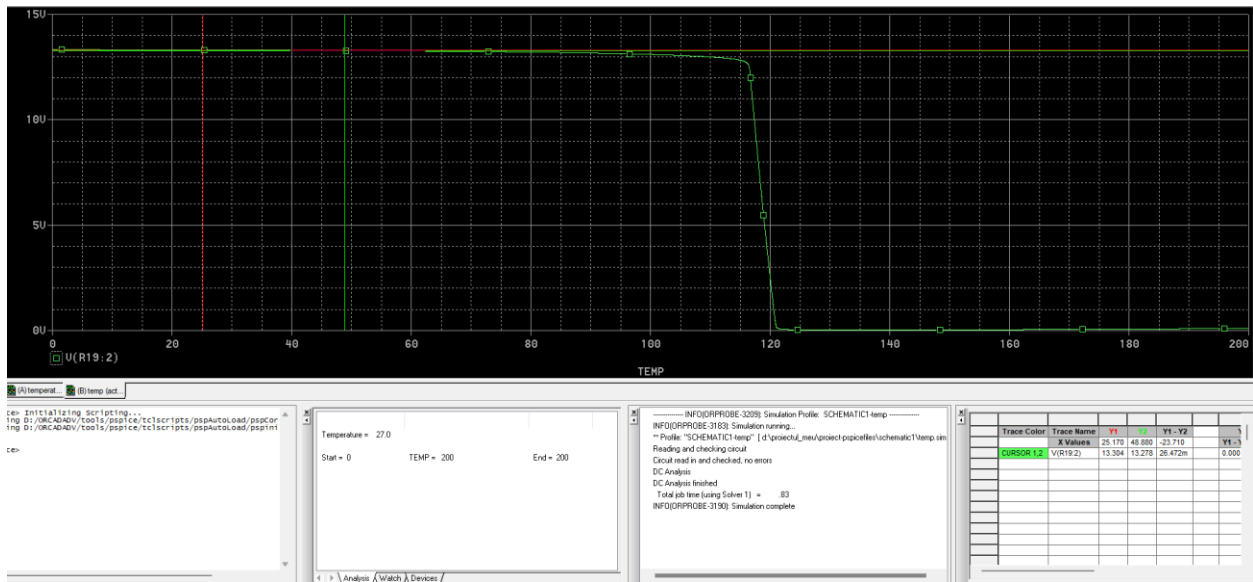
-pentru tensiunea maxima de iesire



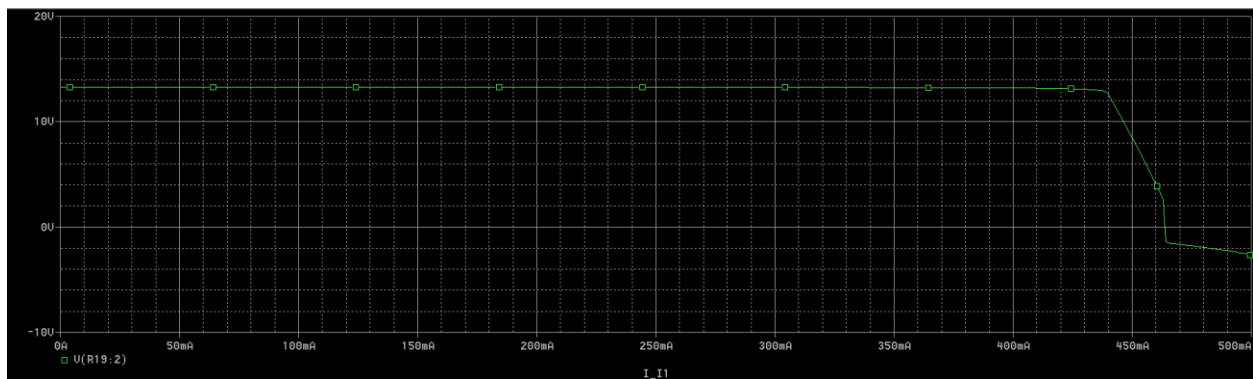
-protectia elementului regulator serie la temperaturi mai mari de 120 grade Celsius(am ales cazul cu tensiunea maxima de iesire)



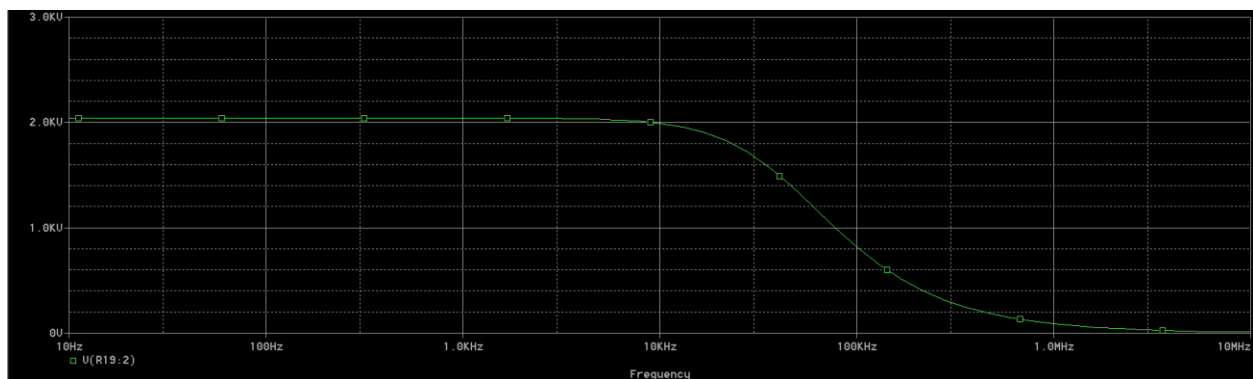
-deriva termica foarte mica (0,1mv/grad Celsius)



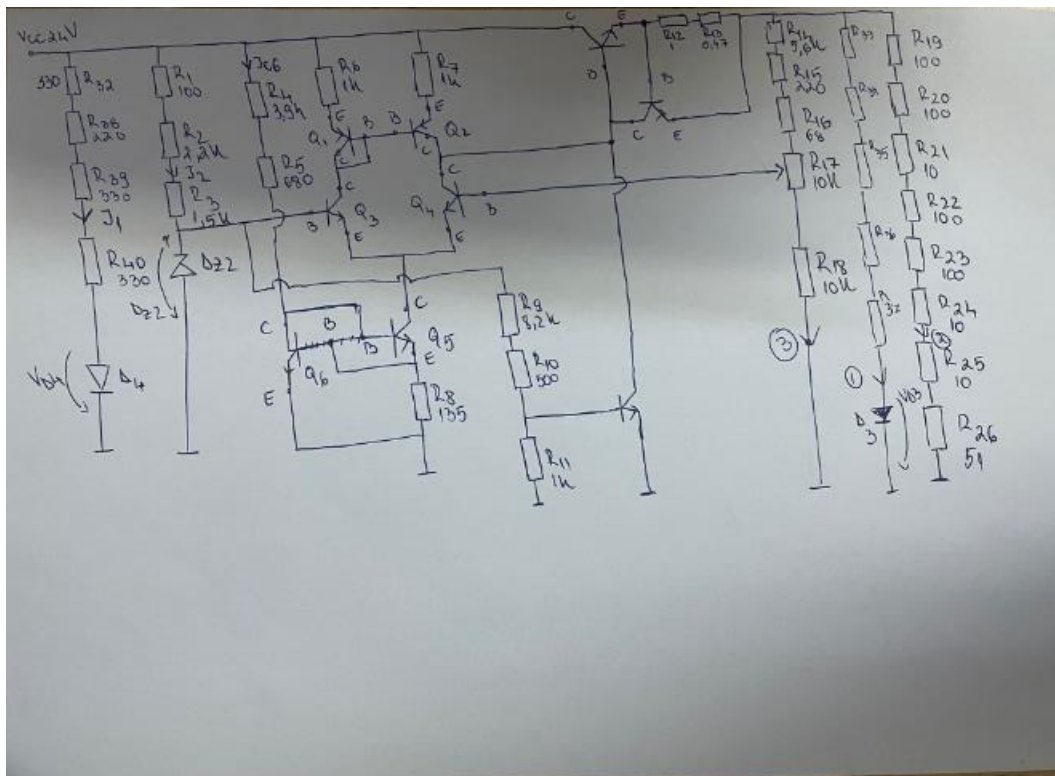
-protectia la suprasarcina



-amplificarea in bucla descisa de minim 100



Am ales o sursa de tensiune alternativa de 1V, se observa ca la iesire tensiunea este de peste 2KV, rezultand o amplificarea in bucla deschisa de peste 2000!



$$V_{cc} = I_1(R_{32} + R_{38} + R_{39} + R_{40}) + V_{B4}$$

$$I_1 = \frac{V_{cc} - V_{B4}}{R_{serie}} = \frac{24 - 3,2}{1,21} = 17,19 \text{ mA}$$

$$V_{cc} = I_{22}(R_1 + R_2 + R_3) + V_2$$

$$I_{22} = \frac{V_{cc} - V_2}{R_{serie}} = \frac{24 - 5,1}{3,8} \Rightarrow I_{22} = 4,97 \text{ mA}$$

Pp Q5 și Q6 în RAN \rightarrow neglijăm I_{B5} și $I_{B6} \Rightarrow$

$$\Rightarrow V_{cc} = I_{C6}(R_4 + R_5) + V_{BE5} + V_{BE6}$$

$$I_{C6} = \frac{V_{cc} - V_{BE5} - V_{BE6}}{R_4 + R_5} = \frac{24 - 0,7 - 0,7}{4,58} \Rightarrow I_{C6} = 4,93 \text{ mA} \approx 5 \text{ mA}$$

deoarece în amplificatorul de eroare Q3 și Q4 sunt identice

$$\Rightarrow I_{C3} = I_{C4} = \frac{I_{C5}}{2} = \frac{I_{C6}}{2} \Rightarrow I_{C3} = I_{C4} = 2,5 \text{ mA}$$

($I_{C5} = I_{C6}$ deoarece Q6 și Q5 formează o pereche de curent)

$$\text{Pentru } Q_6 \rightarrow I_{C5}R_8 = V_{BE} \rightarrow V_{BE} = 5 \cdot 0,135 = 0,675 \text{ V}$$

$$\text{Pp } Q_3 \text{ și } Q_4 \text{ în RAN} \Rightarrow -5,1 + 0,7 + V_{CE5} + I_{C5}R_8 = 0$$

$$V_{CE5} = 5,1 - 0,7 - 0,675$$

$$V_{CE5} = 3,725 \text{ V} > V_{BE5} \rightarrow Q_5 \text{ RAN}$$

$$V_{cc} = I_{C6}(R_4 + R_5) + V_{CE6}$$

$$V_{CE6} = V_{cc} - I_{C6}(R_4 + R_5) = 24 - 22,9 = V_{CE6} = 1,1 \text{ V} > V_{BE6} \Rightarrow Q_6 \text{ RAN}$$

$$V_{cc} = I_{C3}R_6 + V_{BE3} + V_{CE3} + V_{CE5} + I_{C5}R_8$$

$$V_{CE3} = 24 - 2,5 - 0,7 - 3,725 - 0,675 = 16,4 \text{ V} > V_{BE3} \Rightarrow Q_3 \text{ RAN}$$

$$V_{cc} = I_{C4}R_7 + V_{CE4} + V_{CE5} + V_{CE6} + I_{C5}R_8$$

$$V_{CE4} = V_{cc} - I_{C4}R_7 - V_{CE5} - V_{CE6} - I_{C5}R_8$$

$$V_{CE4} = 9,8 \text{ V} > 0,7 \rightarrow Q_4 \text{ în RAN}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{10} + R_9} \Rightarrow V_{BE8} = \frac{V_{in} R_{11}}{R_9 + R_{10} + R_{11}} \Rightarrow V_{BE8} = \frac{5,1}{8,7} = 0,586 V$$

$$V_{out} = V_{BE8} \quad V_{in} = V_{b2}$$

$$V_{CC} = I_{C4} R_7 + V_{CE2} + V_{CE8} \Rightarrow V_{CE8} = 14,2 V$$

Pe intrarea "a" a amplificatorului, la tensiune de alimentare de 24V, tensiunea este egală cu cea de ref (5,1V)

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{10}{25,9} \Rightarrow V_{in} = \frac{5,1 \cdot 25,9}{10} = 13,2 V \Rightarrow \text{tensiunea de la sursa stabilizatorului este } 13,2 V$$

Pun sarcina cu RN la sursa curentului $\frac{13,2}{25,9} = 0,5 \text{ mA}$ ①
Pe sarcina cu ledul avem $V_{led} = I_{R_{sarcie}} \cdot 3,2$

$$I = \frac{V_{led} - 3,2}{R_{sarcie}} = \frac{13,2 - 3,2}{0,492} = 20,74 \text{ mA}$$
 ②

$$\text{Pe sarcina cu sarcina} \Rightarrow \frac{V_{out}}{R_{sarcie}} = \frac{13,2}{481} = 27,44 \text{ mA}$$
 ③

În modul de la sursa protejii la supra-curent \rightarrow
curenti (①+②+③) $\Rightarrow I_{C8} = 20,74 + 27,44 + 0,5 = 48,68 \text{ mA}$

$$V_{BE7} = 48,68 \cdot 3,047 = 68,63 \text{ mV (această tensiune este egală cu tensiunea curentului, la 0,5 A de blocându-se)}$$

$$24 = V_{CE8} + V_{out} \Rightarrow V_{CE8} = 24 - 13,2 = 10,8 V$$

$$V_{CE8} + V_{CE7} + V_{out} = 0 \Rightarrow V_{CE7} = 14,2 - 13,2 = 1 V$$

PST realizat pentru tensiunea de alimentare max de SET=1

Calcul puteri

$$P_{R32} = P_{R39} = P_{R40} = I_1^2 \cdot 330 = 17,15^2 \cdot 330 = 97,51 \text{ mW}$$

$$P_{R38} = 17,15^2 \cdot 0,22 = 65 \text{ mW}$$

$$P_{R44} = 3,1 \cdot 17,25 = 53,47 \text{ mW}$$

$$P_{R1} = 0,1 \cdot 5^2 = 2,5 \text{ mW}$$

$$P_{R2} = 2,2 \cdot 25 = 55 \text{ mW}$$

$$P_{R3} = 1,5 \cdot 25 = 37,5 \text{ mW}$$

$$P_{R22} = U_2 \cdot I_{b2} = 5,5 \cdot 25 \text{ mW}$$

$$\rightarrow 24 - I(R_1 + R_2 + R_3) = 5$$

$$P_{R4} = I_{C6} R_4 = 5^2 \cdot 3,9^2 = 36 \text{ mW}$$
 92,5

$$P_{R5} = I_{C6} R_5 = 5^2 \cdot 0,68^2 = 17 \text{ mW}$$

$$P_{Q6} = V_{CE6} \cdot I_{C6} = 5,5 \text{ mW}$$

$$P_{Q5} = V_{CE5} \cdot I_{C5} = 18,625 \text{ mW}$$

$$P_{R8} = 25 \cdot 0,135 = 3,375 \text{ mW}$$

$$P_{Q1} = 2,5 \cdot 0,7 = 1,75 \text{ mW}$$

$$P_{Q2} = 2,5 \cdot 7,3 = 18,25 \text{ mW}$$

$$P_{Q3} = 2,5 \cdot 16,4 = 41 \text{ mW}$$

$$P_{Q4} = 2,5 \cdot 9,8 = 24,25 \text{ mW}$$

$$P_{R6} = 2,5^2 \cdot 1 = 6,25 \text{ mW}$$

$$P_{R7} = 2,5^2 \cdot 1 = 6,25 \text{ mW}$$

P_{R97} foarte mic deoarece curentul o foarte puțin
 P_{R107} este o fracțiune din curentul de bază al lui Q2

$$I_{B9} = \frac{50}{350} = 14 \mu A \rightarrow P_{Q8} = 14 \mu A \cdot 14,2 = 198 \mu W$$

$$P_{R14} = 5,6 \cdot (0,5)^2 = 1,5 mW$$

$$P_{R15} = 0,22 \cdot (0,5)^2 = 58 \mu W$$

$$P_{R16} = 0,068 \cdot (0,5)^2 = 18,1 \mu W$$

$$P_{R17} = 10 \cdot (0,5)^2 = 2,7 mW$$

$$P_{R18} = 10 \cdot (0,5)^2 = 2,6 mW$$

$$P_{R33} = 0,1 \cdot 20,74^2 = 43,9 mW$$

$$P_{R34} = 43,9 mW$$

$$P_{R35} = 43,9 mW$$

$$P_{R36} = 43,9 mW$$

$$P_{R37} = 0,08 \cdot 20,74^2 = 36 mW$$

$$P_{B3} = 3,2 \cdot 20,74^2 = 66,36 mW$$

$$P_{R19} = 0,1 \cdot 27,44^2 = 2,744 mW \quad 75,29 mW$$

$$P_{R20} = 2,7 \quad 75,29 mW$$

$$P_{R21} = 7,52 mW$$

$$P_{R22} = 7,5,29 mW$$

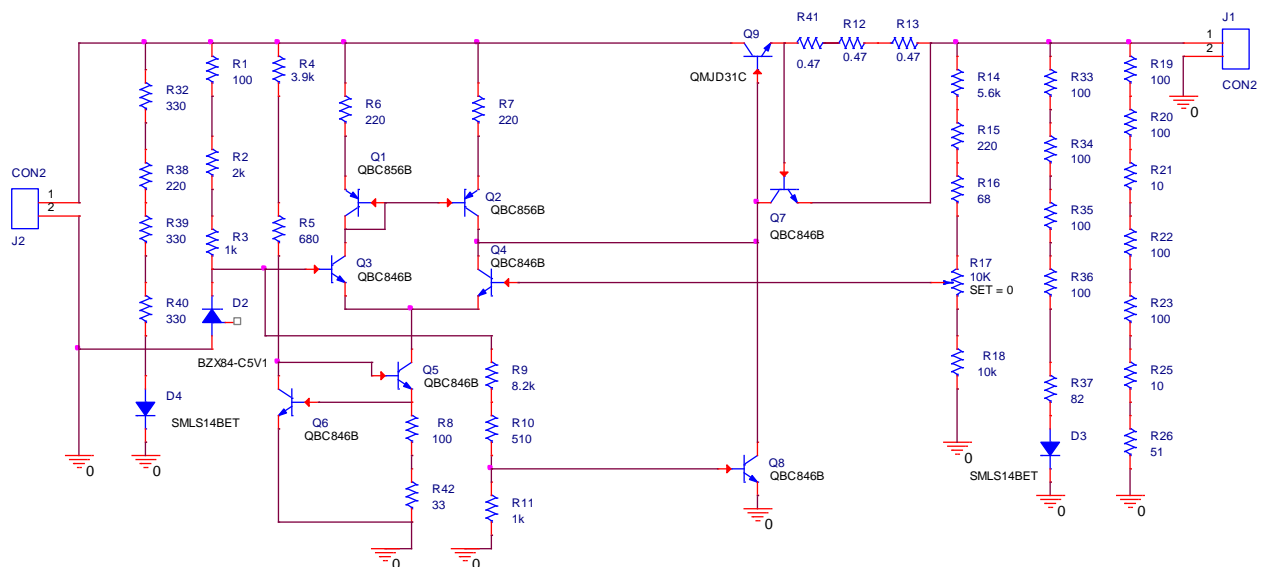
$$P_{R23} = 7,5,29 mW$$

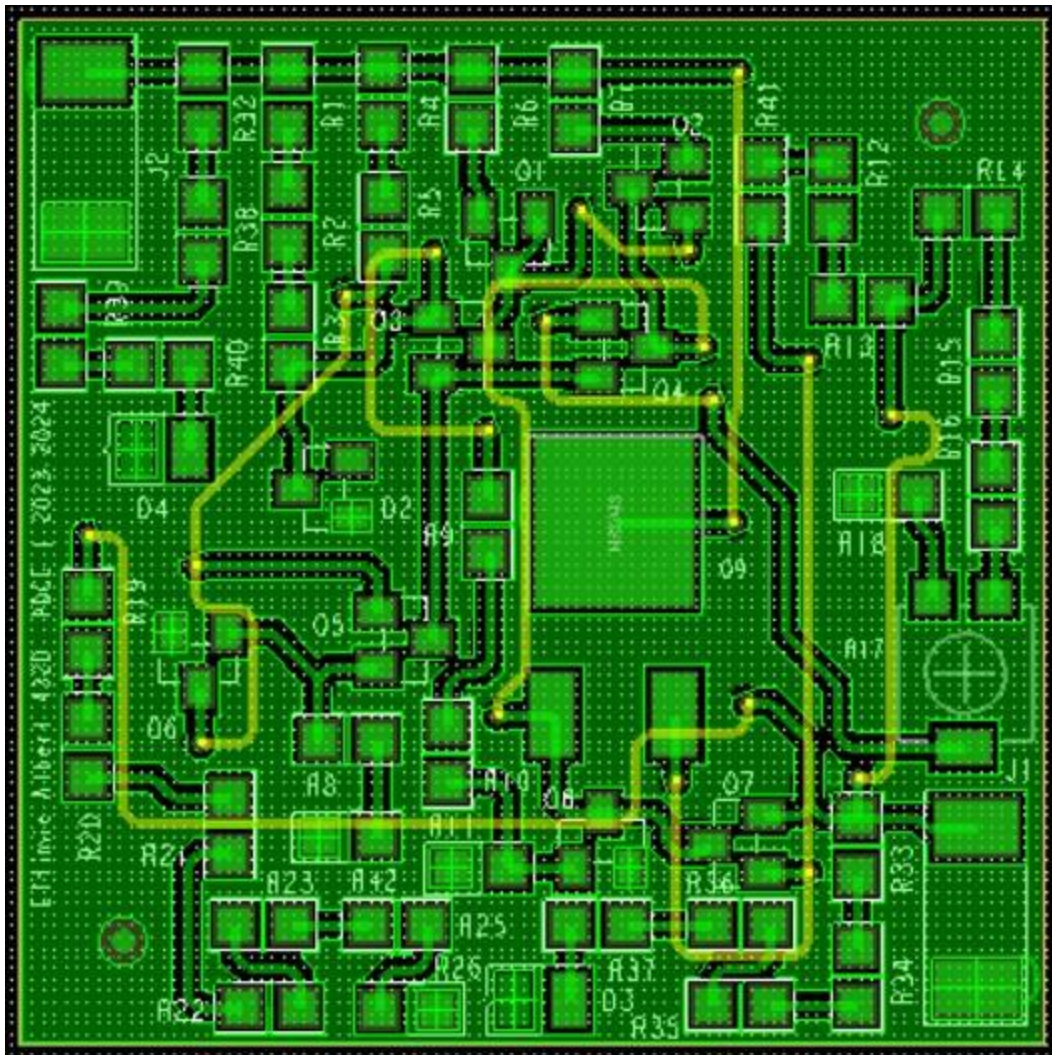
$$P_{R24} = 7,52 mW$$

$$P_{R25} = 7,52 mW$$

$$P_{R26} = 37,64 mW$$

5. Layout





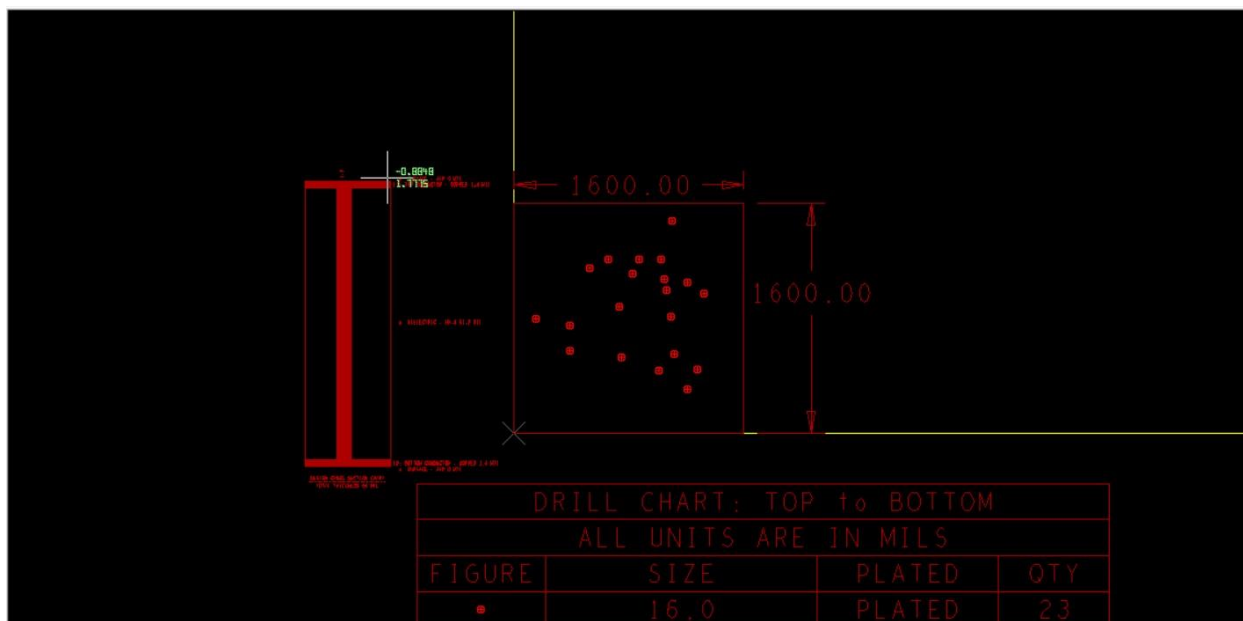
Capsule utilizate

- Rezistoare: SMR0805
- Tranzistoare: TO236AA
- Dioda Zener: TO236AA
- Diodele led: SMD0805
- Potentiometru: TS53YL
- Conectori: SMR2512

In alcatuirea PCB-ului am tinut cont de mai multe aspecte tehnologice, cum ar fi plasarea componentelor asupra carora se disipa cea mai mare putere in centrul

placii. S-au evitat unghiurile de 90 de grade pe acelasi strat, iar trecerea de pe un strat pe altul prin intermediul vias-urilor s-a realizat la un unghi de 90 de grade. S-a incercat ca traseele sa fie cat mai scurte si drepte, iar sub pad-urile componentelor s-a evitat plasarea de vias-uri sau trasee. Restul specificatiilor au fost respectate conform cerintelor tehnologice mentionate in cerinta.

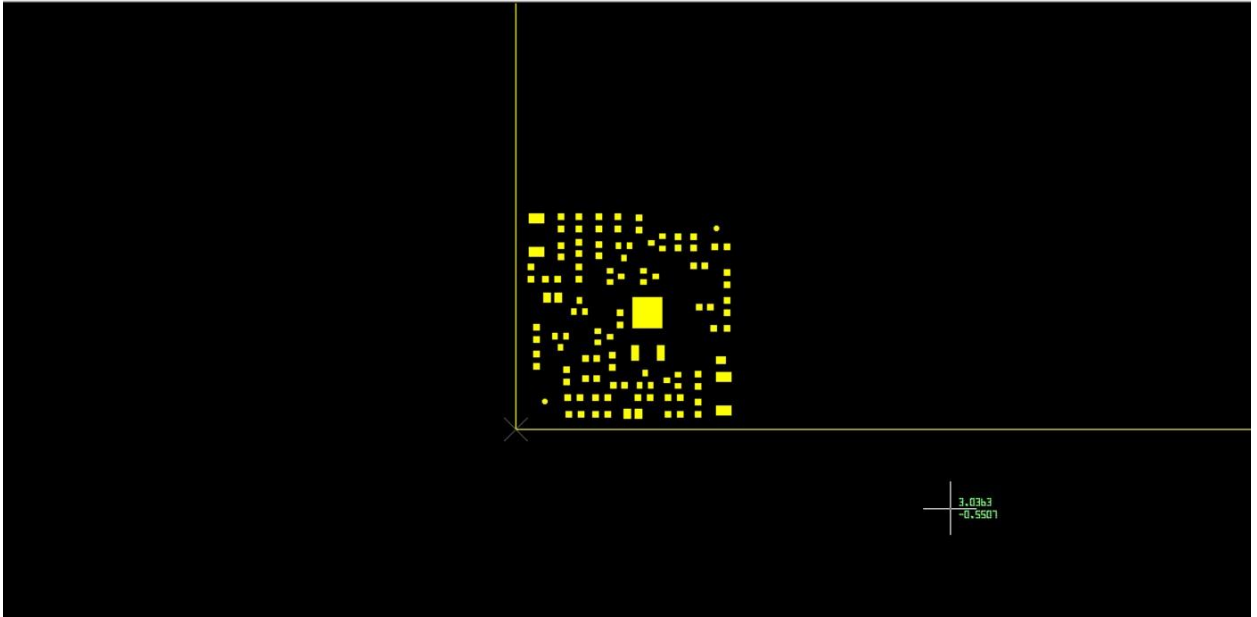
6. Fisierele de post-procesare



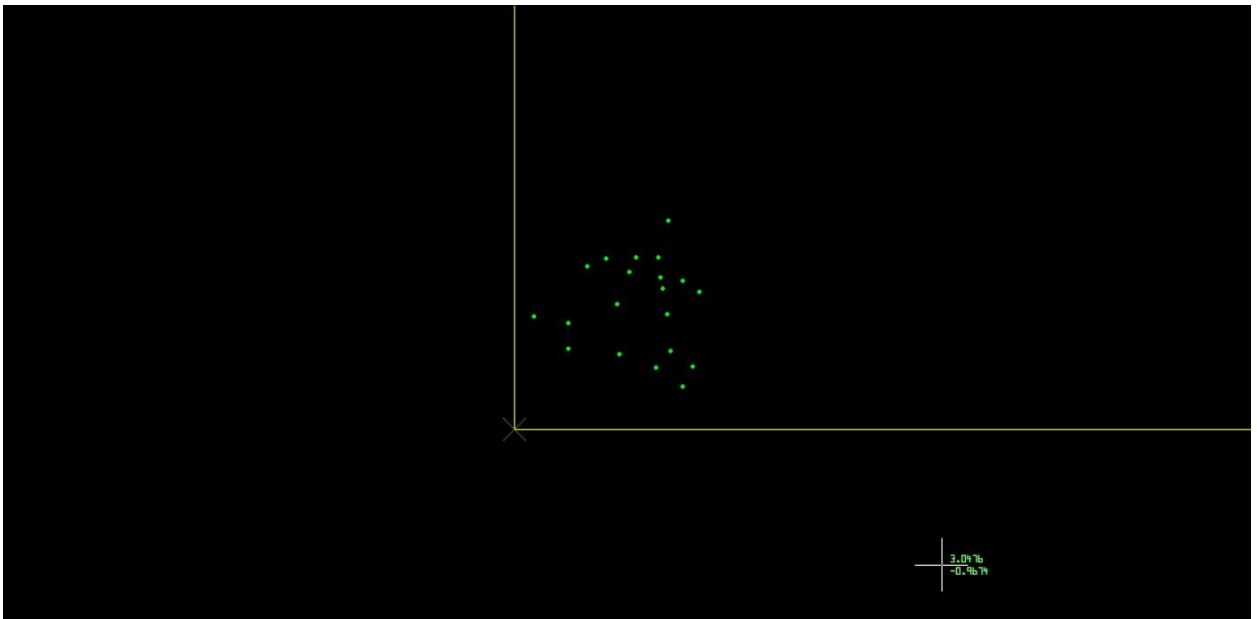
FAB



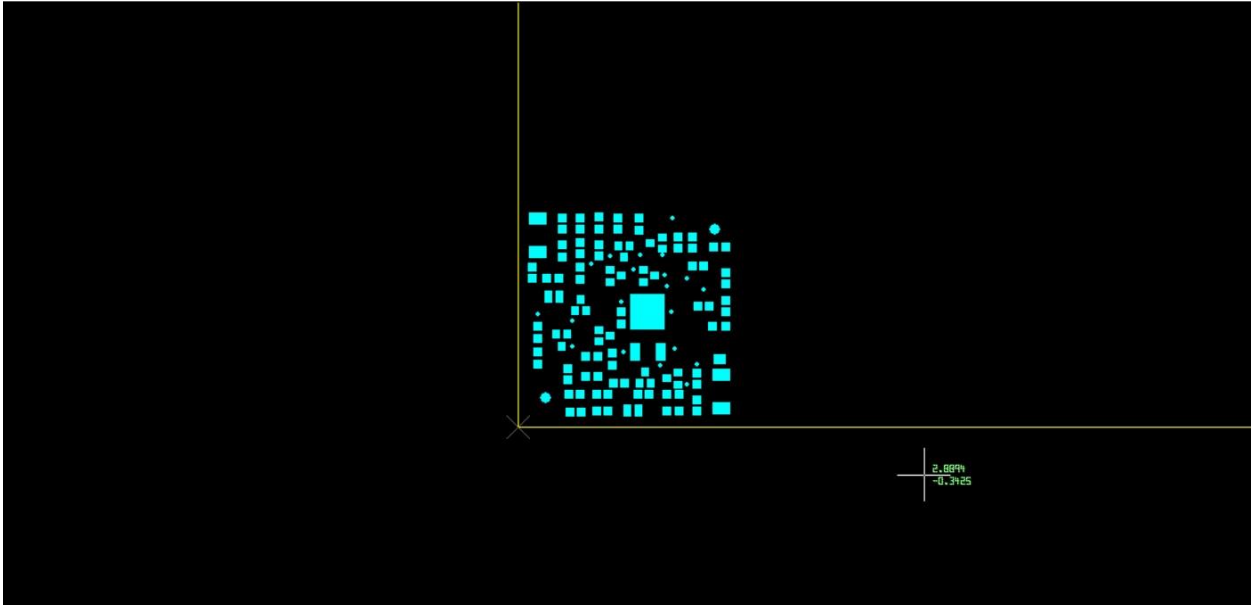
SSTOP



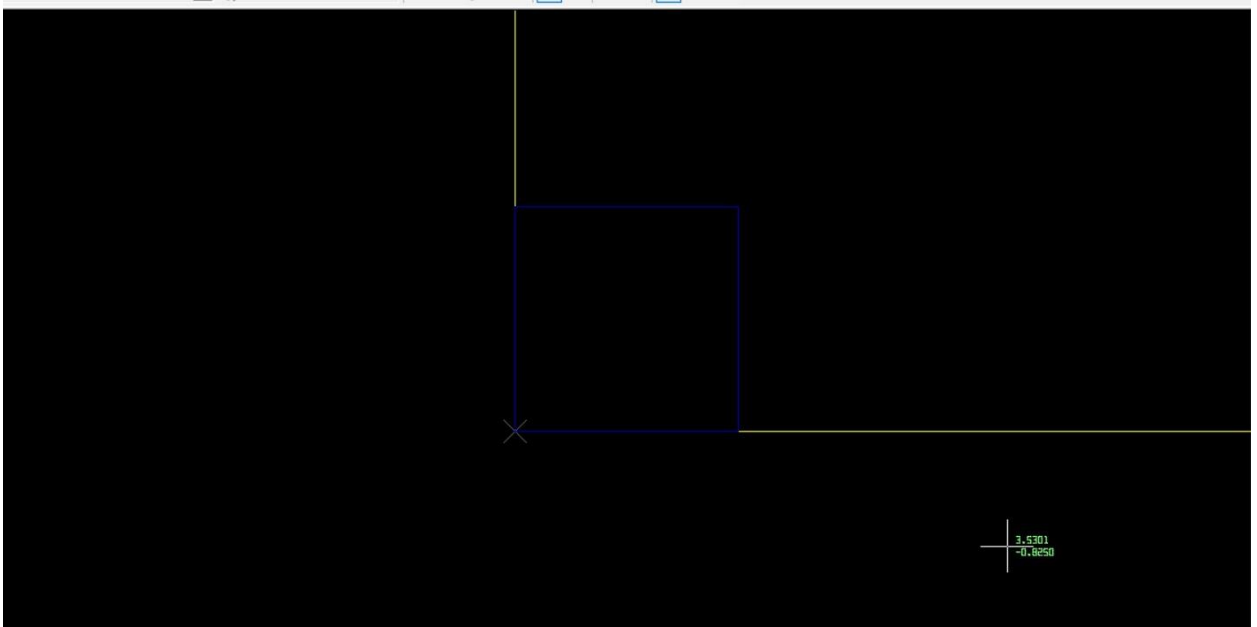
SPTOP



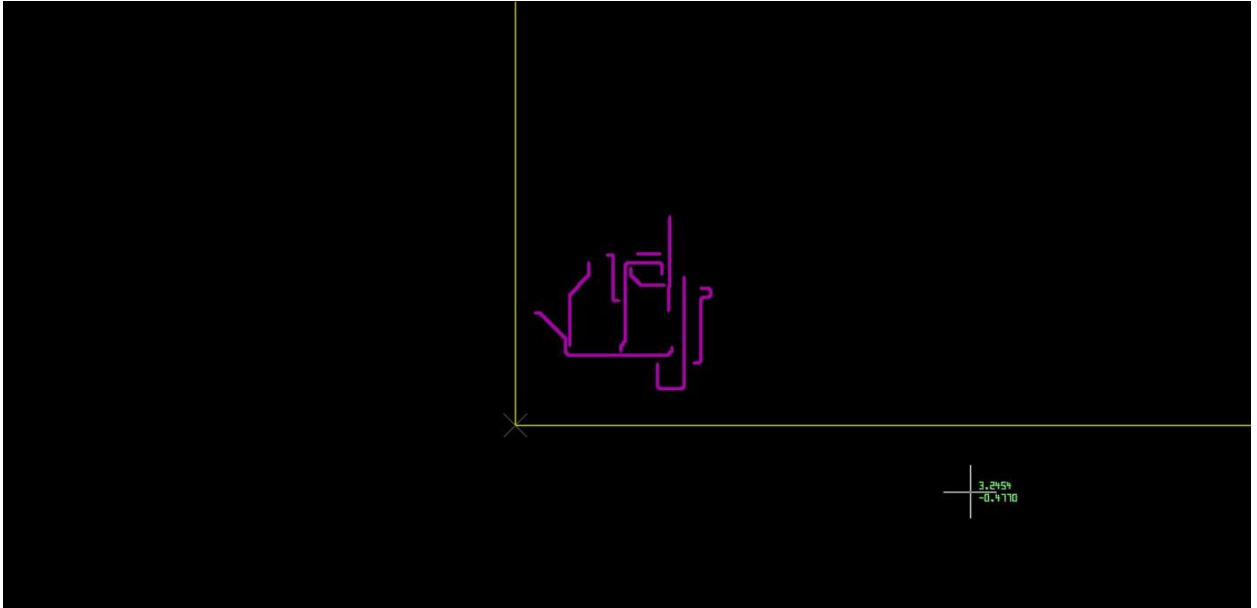
SMBOT



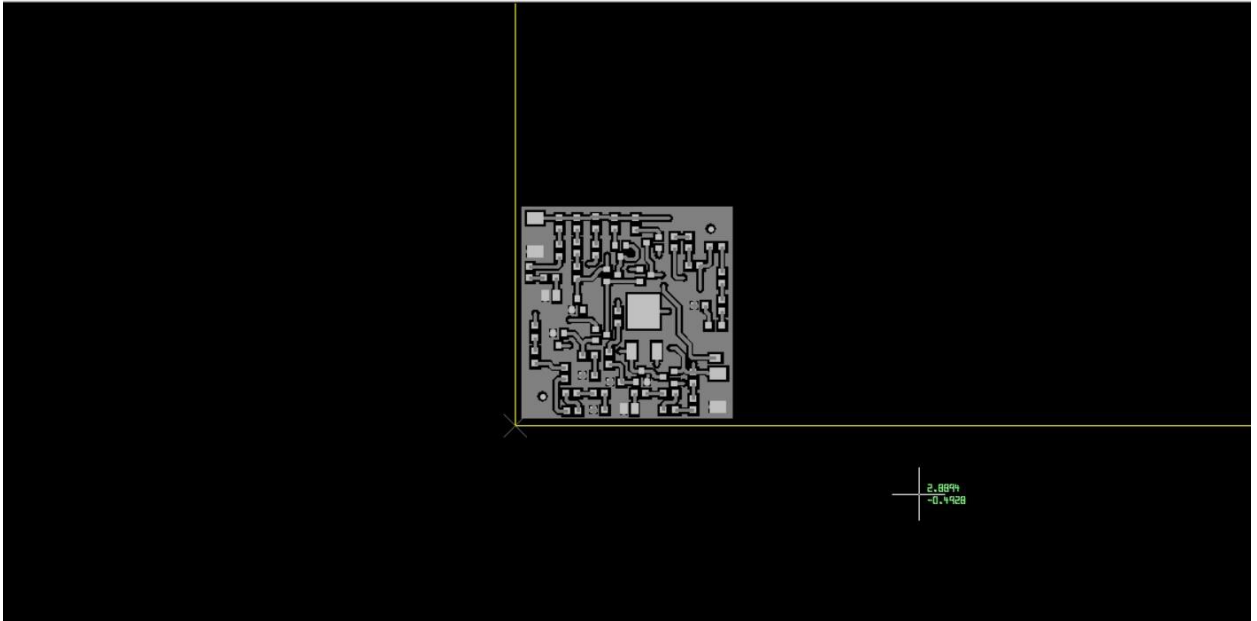
SMTOP



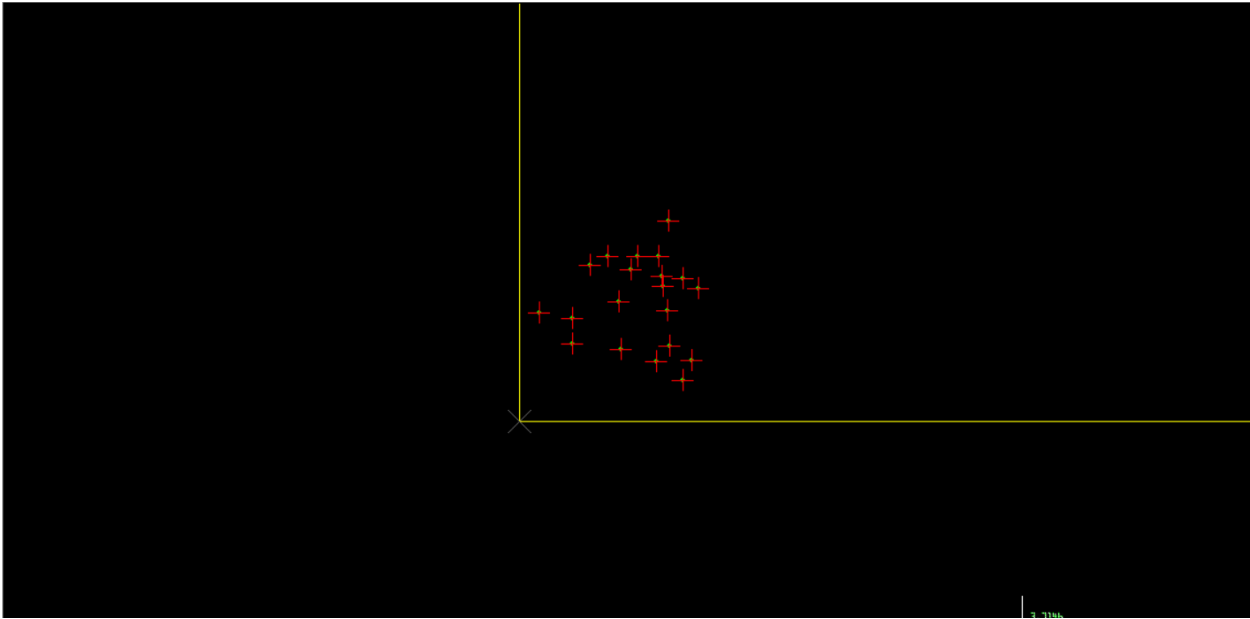
BO



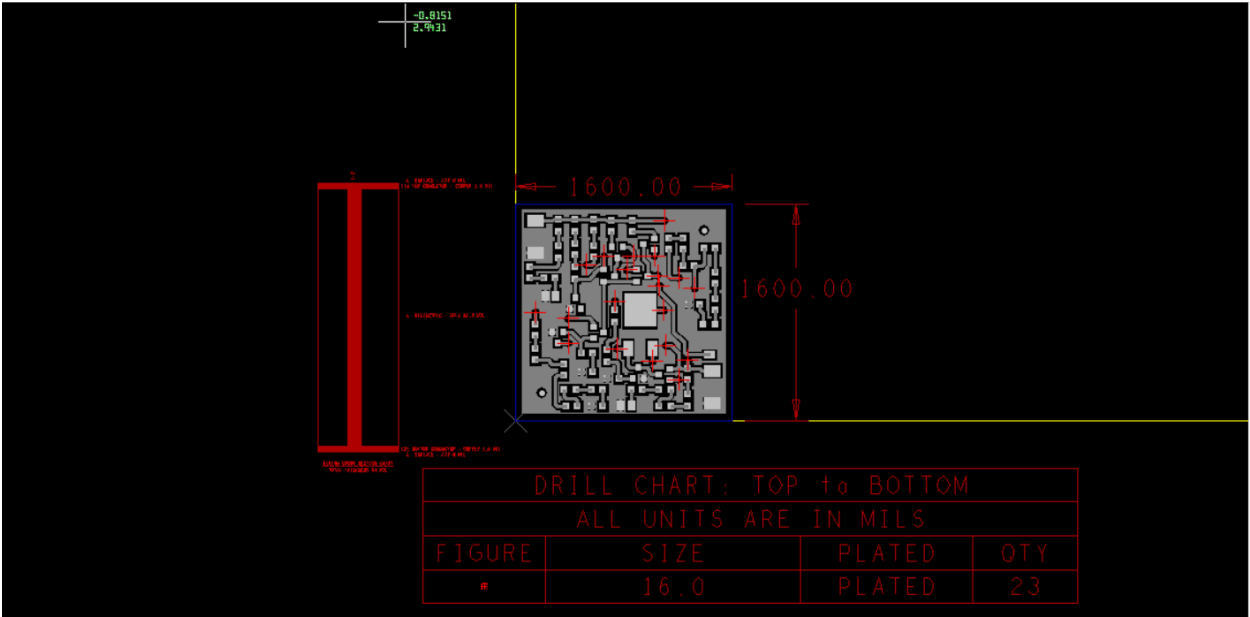
BOTTOM



TOP

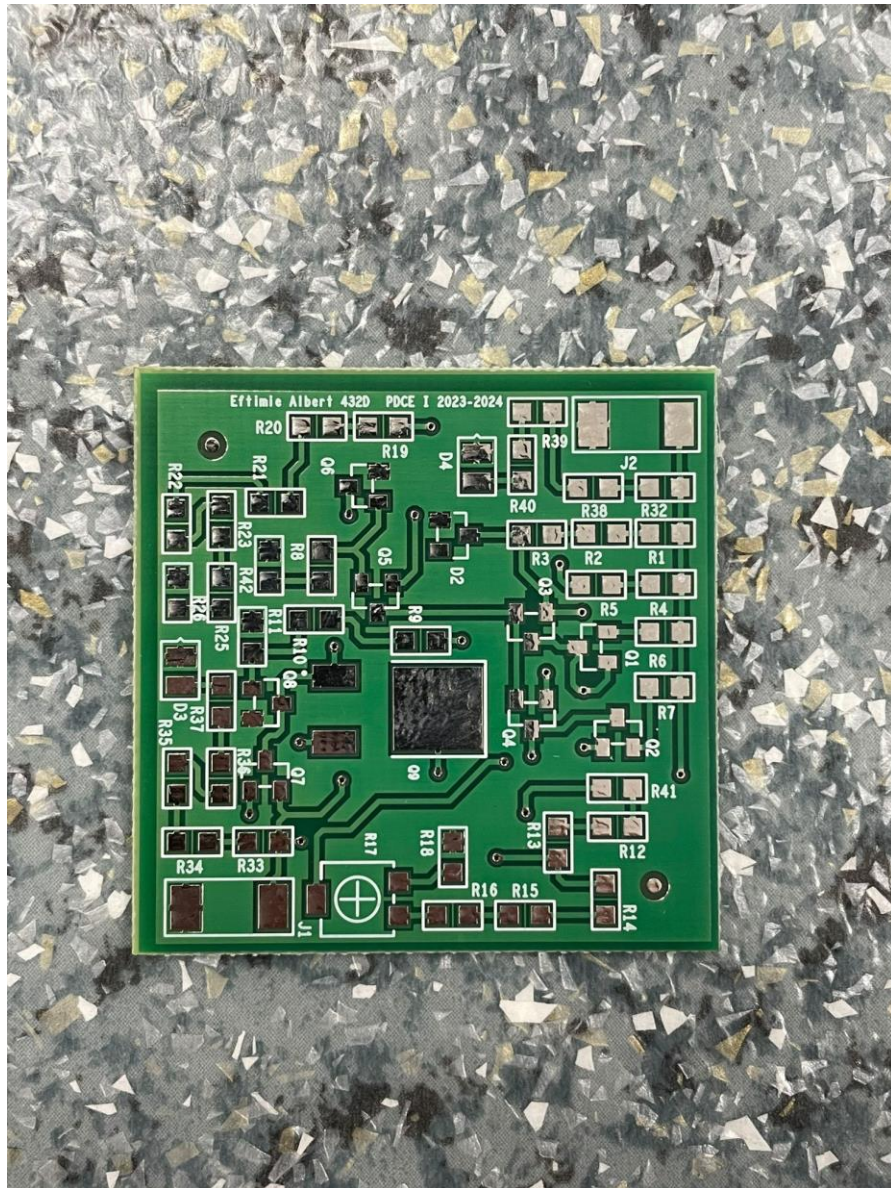


DRILL

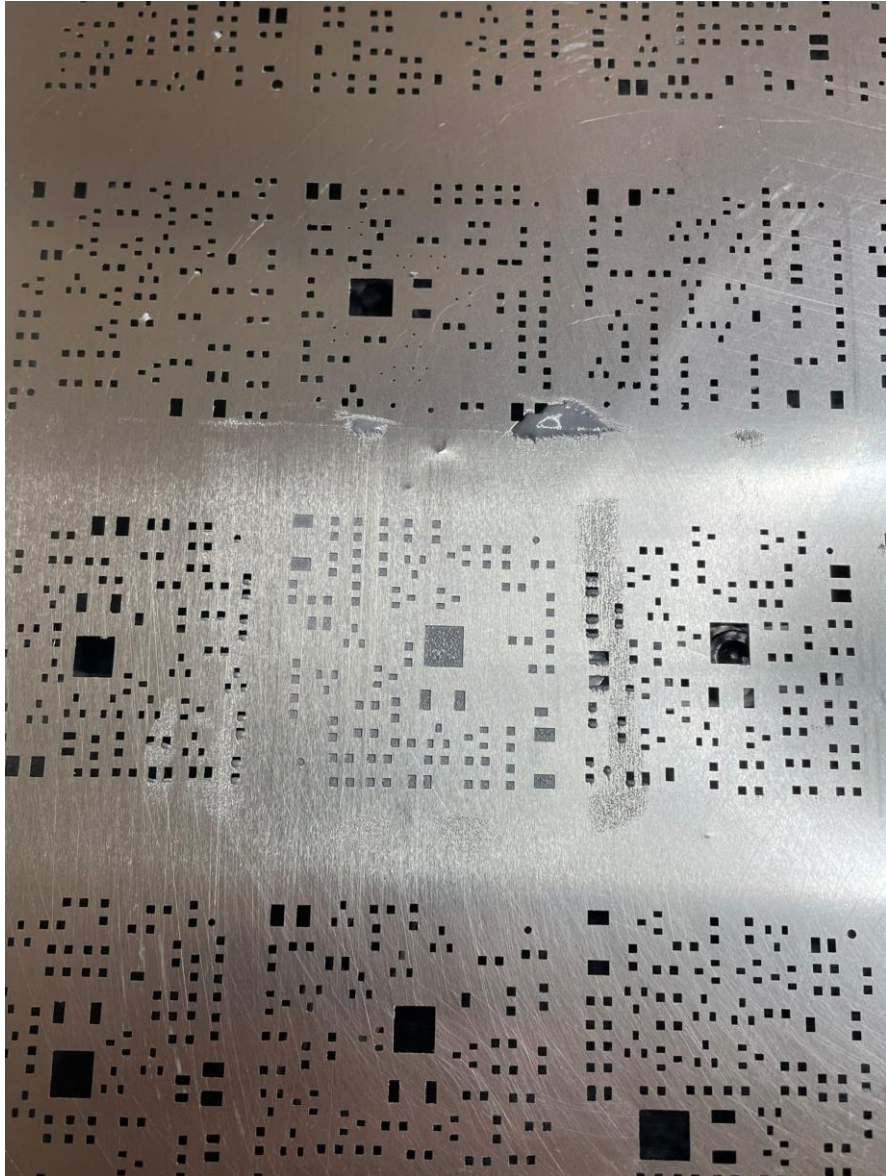


TOATE

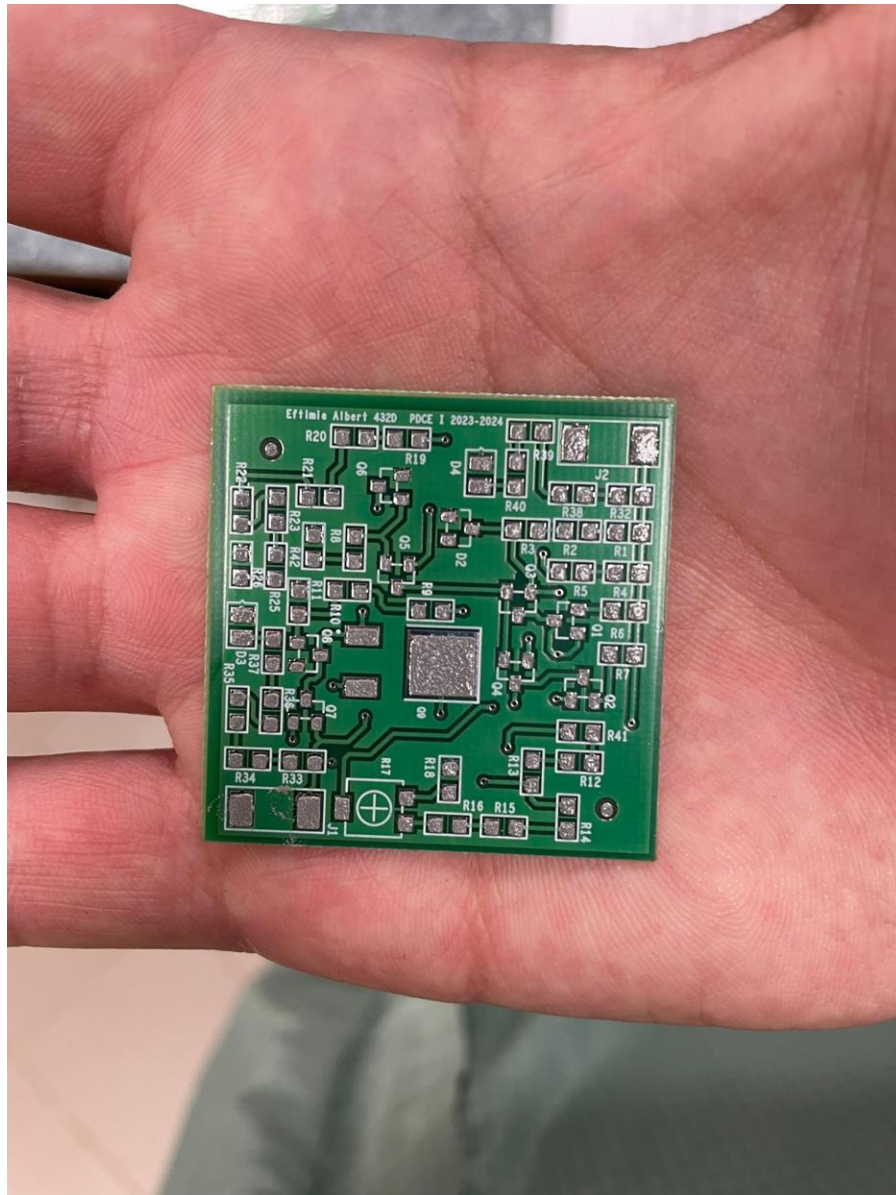
7. Asamblarea PCB-ului



PCB in starea initiala



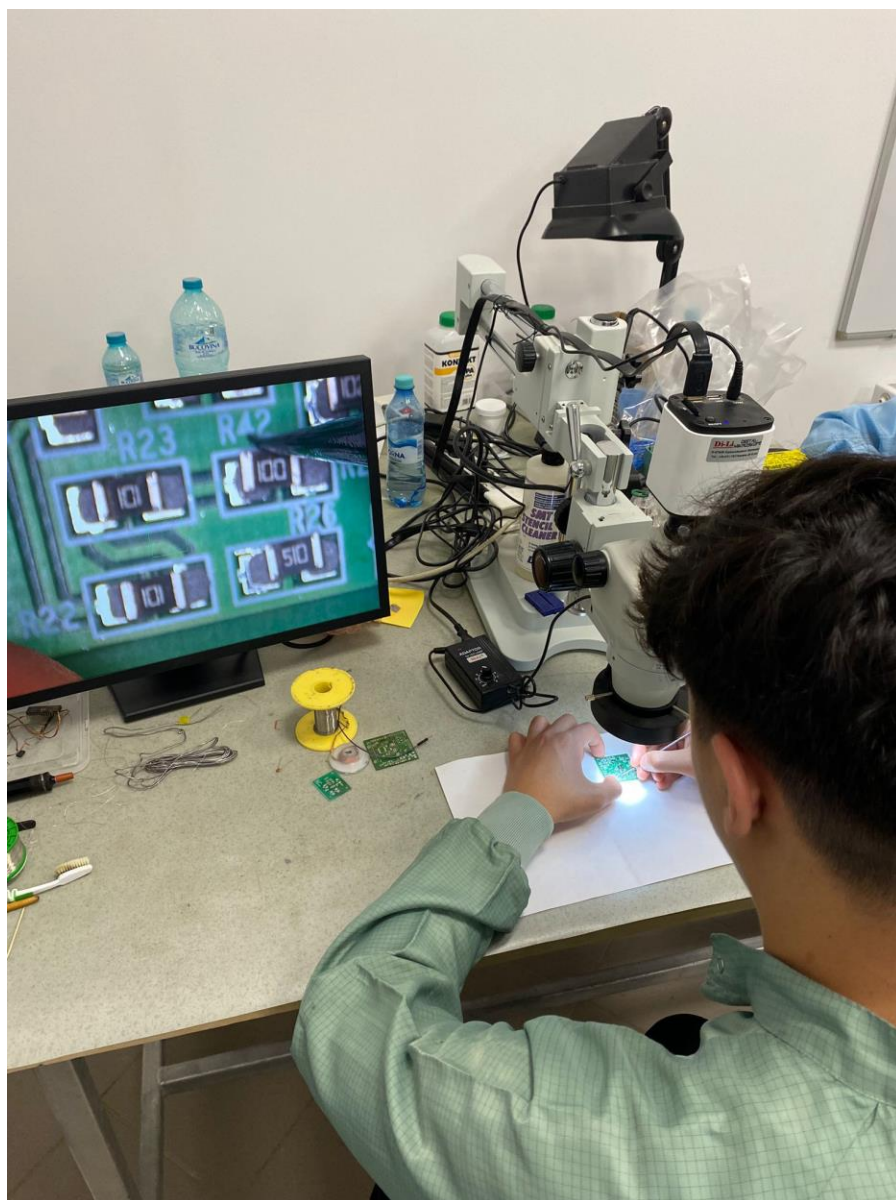
Aplicarea aliajului



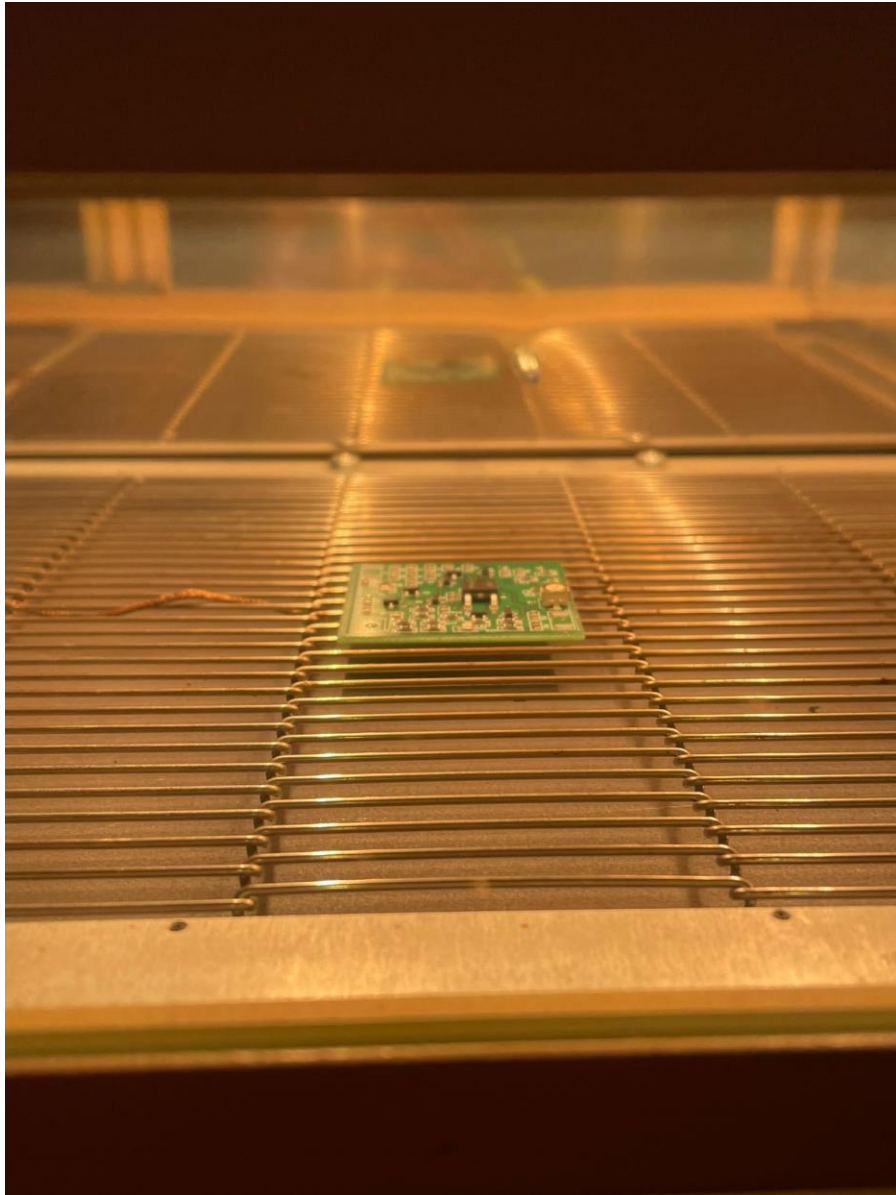
PCB-ul dupa aplicarea aliajului



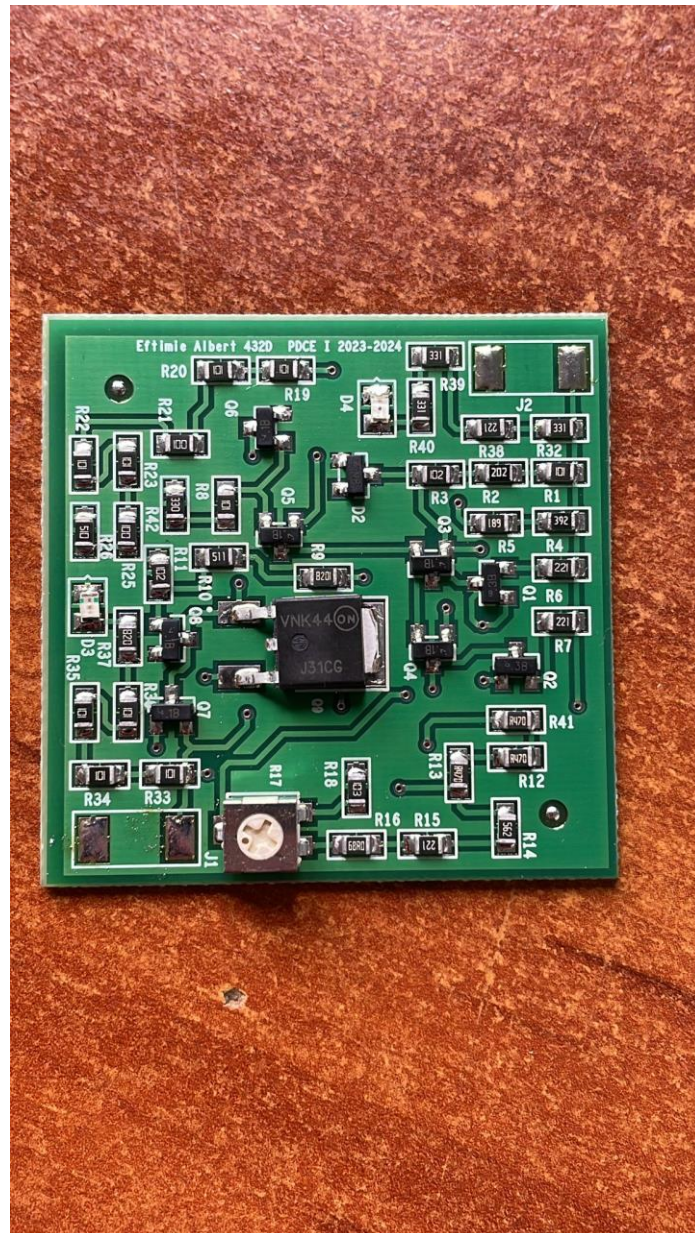
Plasarea componentelor cu ajutorul aparatului
pick & place



Indreptarea componentelor



Plasarea PCB-ului in cuptor



Rezultatul final

8. Probleme intampinate

De-a lungul proiectului am intampinat multe probleme de proiectare. Probabil cea mai des intalnita a fost puterea disipata pe rezistoare. Aceasta nu trebuia sa depaseasca 125 mW, dar pentru a fi sigur, am optat pentru o putere disipata maxima de aproximativ 100 mW. Pentru a rezolva aceasta problema am apelat la "spargerea" rezistoarelor in mai multe rezistoare de rezistenta egala. Astfel, puterea disipata pe acestea s-a incadrat in normele impuse.

O alta problema intampinata a fost plasarea ideala a componentelor: cele active ce disipa cea mai multa putere sa fie plasate in mijlocul PCB-ului, iar cele pasive pe marginea acestuia. Astfel au aparut alte probleme cum ar fi trasarea rutelor optime, fara unghiuri de 90 de grade, respectarea dimensiunii vias-urilor si a marker-ilor fiduciali. Toate aceste aspecte au dus la multiple reincerari de proiectare a PCB-ului, pana cand in final s-a ajuns la o forma aproximativ optima.

Cea mai mare problema dupa parerea mea a fost fixarea componentelor pe PCB in urma aplicarii aliajului. Cu ajutorul microscopului si al unei scobitori metalice am mutat cu mare atentie componentele astfel incat acestea sa fie perfect asezate pe pad-uri, insa fiind foarte mici a fost foarte usor sa le miscam gresit.

9. Bibliografie

- „Circuite Electronice Fundamentale” -probleme- Gheorghe Brezeanu, Florin Draghici, Florin Mitu, Gheorghe Dilimot
- „Circuite Electronice Fundamentale” Gheorghe Brezeanu, Florin Draghici
- <https://www.tme.eu/ro/>
- https://ro.wikipedia.org/wiki/Stabilizator_de_tensiune
- Note de curs - Circuite electronice fundamentale, Dragoş Dobrescu