



Universitatea Națională de Științe și Tehnologie POLITEHNICA BUCUREȘTI



Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

Proiect 1 - Dispozitive și circuite electronice

Generator de semnal dreptunghiular

Student: Costea Corina

Grupa: 434E-MON

Coordonator: Conf. Dr. Ing. Florin Drăghici

2023-2024

Cuprins

Tema proiectului.....	3
Schema bloc.....	4
Schema electrică.....	6
Componenta circuitului.....	7
Relațiile de dimensionare.....	10
Calcul analitic.....	12
Schema cu conectori.....	21
Layout.....	22
Instrucțiuni de utilizare.....	27

1. Tema proiectului

Tema 6 - Oscilator semnal dreptunghiular (N = 7)

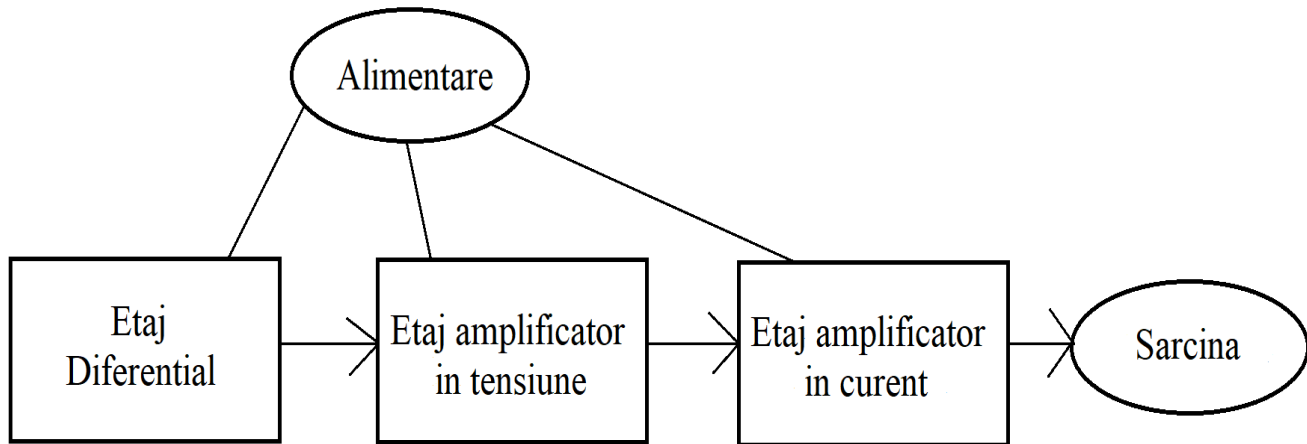
Să se proiecteze și realizeze un oscilator semnal dreptunghiular cu următoarele caracteristici:

- Frecvența de oscilație, f_o , reglabilă în intervalul: $7 \div 21$ [KHz];
- Factor de umplere: 0.5;
- Sarcina la ieșire, R_L : 7 [K Ω];
- Valoarea (vârf la vârf) a oscilației la ieșire, V_o , reglabilă în intervalul: $0 \div 1.4$ [V];
- Semnalul la ieșire nu are componentă continuă;
- Domeniul temperaturilor de funcționare: $0^0 - 70^0\text{C}$ (verificabil prin testare în temperatură);
- Semnalizarea prezenței tensiunilor de alimentare cu diodă de tip LED.

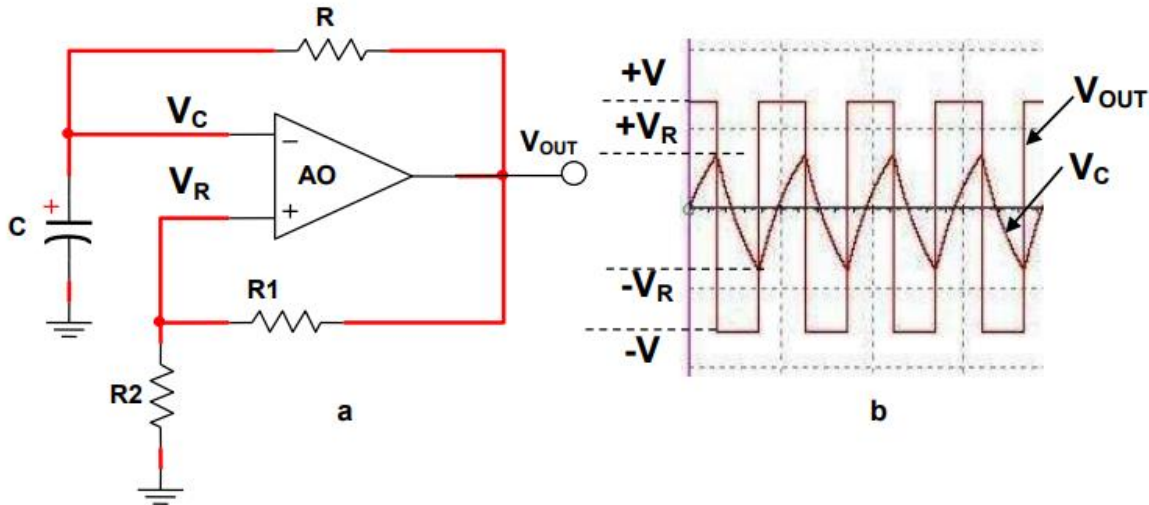
Circuitul va fi proiectat și realizat sub forma unui modul electronic a cărui structură de interconectare va fi concepută în:

Tehnologie SMT & PCB.

2.Schema bloc



Oscilator de relaxare



Pentru a realiza un generator de semnal dreptunghiular am folosit un Oscilator de relaxare a cărei funcționare se bazează pe încărcarea și descărcarea unui condensator.

Tensiunea de pe condensatorul C se aplică pe intrarea inversoare a amplificatorului operațional AO. Intrarea neinversoare este conectată la divizorul de tensiune format din rezistențele R1 și R2 prin intermediul căruia se aplică o parte din semnalul de ieșire a AO.

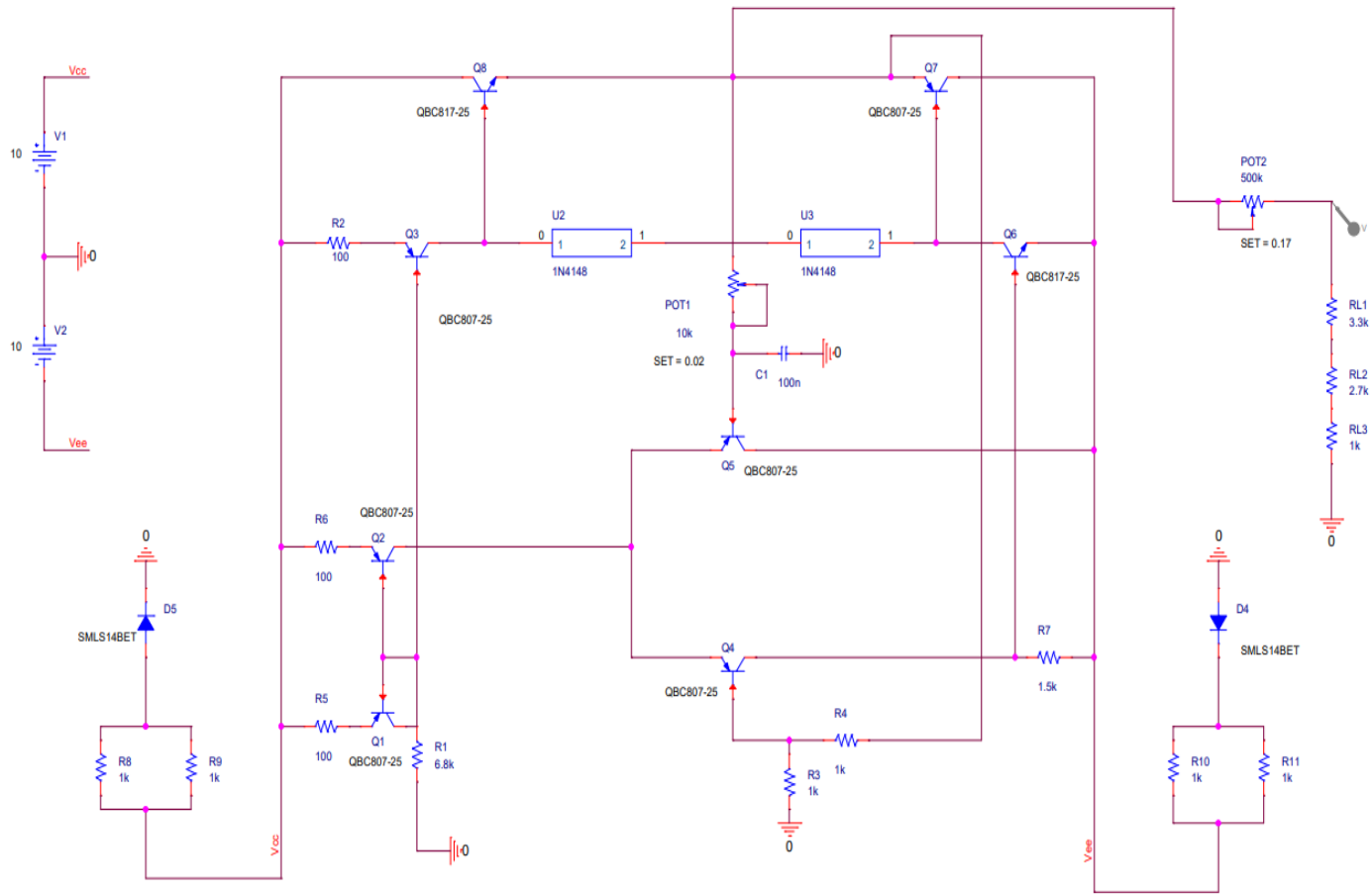
La aplicarea tensiunii de alimentare condensatorul C este descărcat deci intrarea inversoare a AO se află la potențial 0. La ieșirea AO apare nivelul maxim pozitiv (+V) iar condensatorul C începe să se încarce prin intermediul rezistorului R. Când tensiunea pe condensator este egală cu tensiunea de reacție de la intrarea neinversoare (+V_R), intrarea neinversoare se află la potențial maxim (+V_R). La ieșirea AO apare nivelul maxim negativ (-V) iar condensatorul C începe să se descarce de la valoarea +V_R la valoarea -V_R. Când tensiunea pe intrarea inversoare atinge valoarea -V_R, AO comută la nivelul maxim pozitiv (+V) și ciclul se reia.

Astfel la ieșirea amplificatorului operațional apare o tensiune de formă dreptunghiulară.

Prin calcule (se regăsesc la capitolul Calcule Analitice), am determinat tensiunea de referință V_R la care semnalul comută.

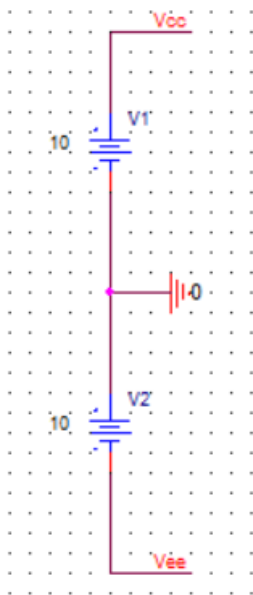
$$V_R = (R_2 / (R_1 + R_2)) * V$$

3.Schema electrică



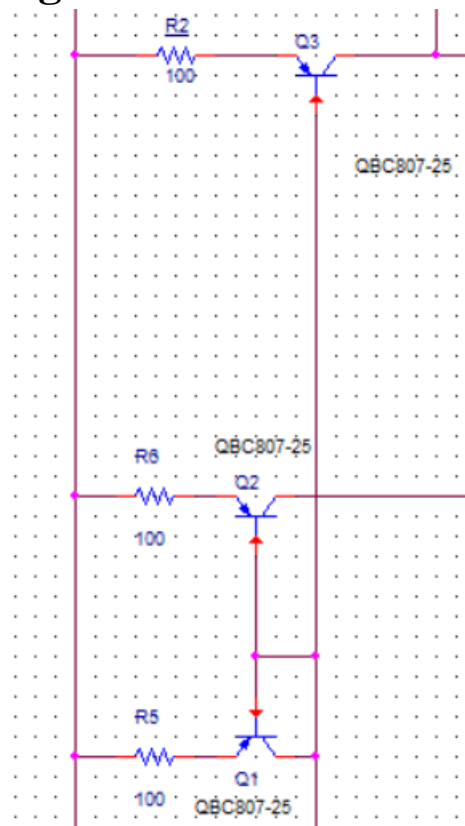
4. Componenta circuitului

4.1 Sursa de alimentare



Am ales o alimentare simetrică de ± 10 V cu o ramură de +10V și o ramură de -10V, aceasta fiind o valoare des întâlnită.

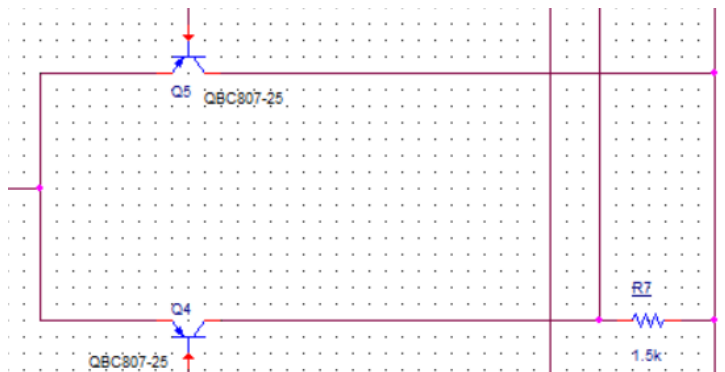
4.2 Oglinda de curent



Oglinda de current este cea mai răspândită sursă de current. Aceasta este compusă din trei tranzistori identici (Q1, Q2, Q3) și trei rezistoare (R1, R2, R3) cu valoarea rezistenței de 100 de ohmi. Aceste rezistențe se numesc rezistențe de degenerare și au valori egale pentru a ajuta să se copieze curentul de referință în mod egal prin celelalte două tranzistoare.

Am ales tranzistoarele Q1, Q2, Q3 PNP de tipul QBC807-25 deoarece au un factor de amplificare în curent foarte mare, $h_{FE}=400$ ceea ce ajută la o egalitate mai bună între curentul de referință și curentul de ieșire din oglindă, dar și pentru a elimina cât mai mult variația cu temperatura.

4.3 Etajul diferențial



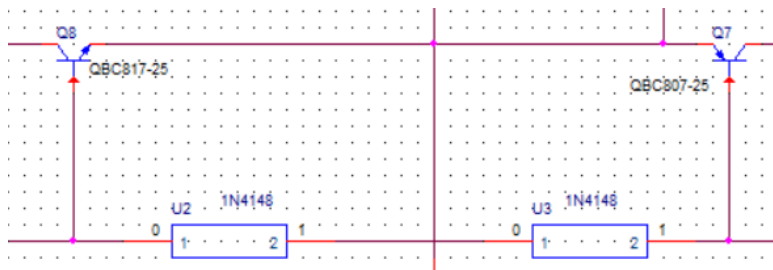
Etajul diferențial are rolul de a realiza adaptarea de impedanță între sursa de semnal și următorul etaj. Acesta transformă un semnal de tip tensiune într-un semnal de tip curent, deci este un etaj de tip transconductanță.

Etajul diferențial este alcătuit din tranzistoarele Q4 și Q5, tranzistoare identice de tipul QBC807-25, dar este conectat în același timp și la oglinda de curent prezentată anterior pentru stabilitate și pentru a reduce zgomotul.

Curentul care intră în etajul diferențial provine de la Q2 care face parte din oglinda de curent. Acest curent nu se împarte în mod egal pe cele două ramuri ale etajului diferențial deoarece rezistența R7 absoarbe mai mult curent pe care îl împinge spre următorul etaj format din tranzistorul Q6.

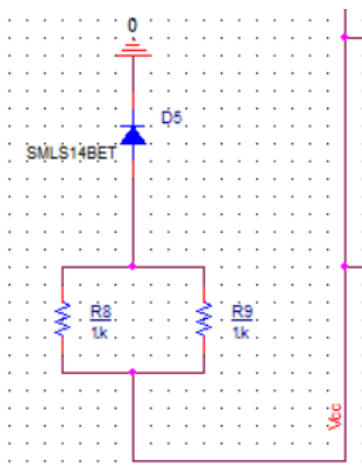
Q6 este un etaj ce are rolul de a transforma curentul primit de la etajul anterior într-o tensiune pe care în același timp o și amplifică fiind un etaj în configurație emitor comun.

4.4 Etajul de ieșire



Etajul de ieșire este alcătuit din două tranzistoare complementare, de tip colector comun Q7 și Q8 de tipul QBC807-25, respectiv QBC817-25, legate într-o configurație push-pull. Deoarece între bazele tranzistoarelor există o cădere de tensiune dată de tensiunea de pe cele două diode, acest etaj de ieșire este unul de clasă AB caracterizat de distorsiuni medii și randament mediu. Deoarece întreg circuitul nu prezintă distorsiuni atât de ridicate, pot opta și pentru un etaj de ieșire în clasă B, asta însemnând să scurtcircuitiez cele două diode.

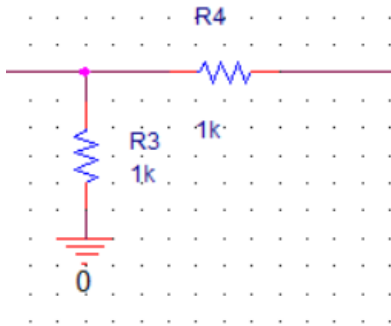
4.5 LED-ul



LED-ul a fost introdus pentru a semnaliza alimentarea circuitului. Am înseriat ledul cu o grupare paralel de rezistoare astfel încât pe acesta să cadă o tensiune de aproximativ 3V. În același timp, rezistențele au și rolul de protecție pentru diodele tip led.

5. Relațiile de dimensionare

5.1. Factorul de umplere

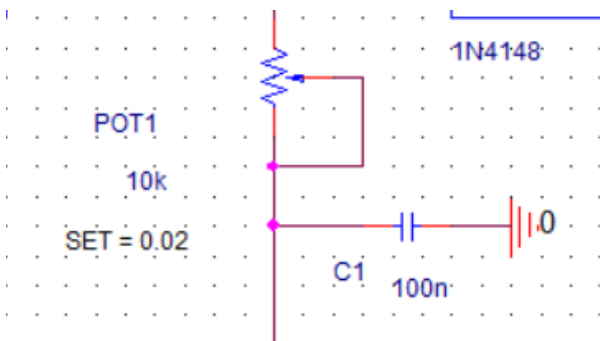


Factorul de umplere este determinat de divizorul rezistiv $R_6 \rightarrow R_5$ și acesta este egal cu $R_3/(R_3 + R_4)$.

Având în vedere că factorul de umplere trebuie să fie 0.5, se alege $R_3 = R_4$.

Am ales $R_3 = R_4 = 1k$ deoarece din simulări am realizat faptul că această valoare este cea mai potrivită pentru intervalul meu de frecvențe, [7kHz ; 21kHz]. Dacă dorim să lucrăm la frecvențe mai mari, alegem o valoare mai mare pentru cele două rezistențe.

5.2. Frecvența de oscilație



Frecvența de oscilație este determinată de rețeaua RC formată din $P_1 = 10k$ și C și trebuie să aparțină intervalului [7kHz ; 21kHz].

Pentru a calcula frecvența de oscilație, calculăm perioada folosind formula specifică pentru oscilatorul de relaxare, și anume:

$$T = 2 * R * C * \ln[(1 + R_3/(R_3 + R_4))/(1 - R_3/(R_3 + R_4))]$$

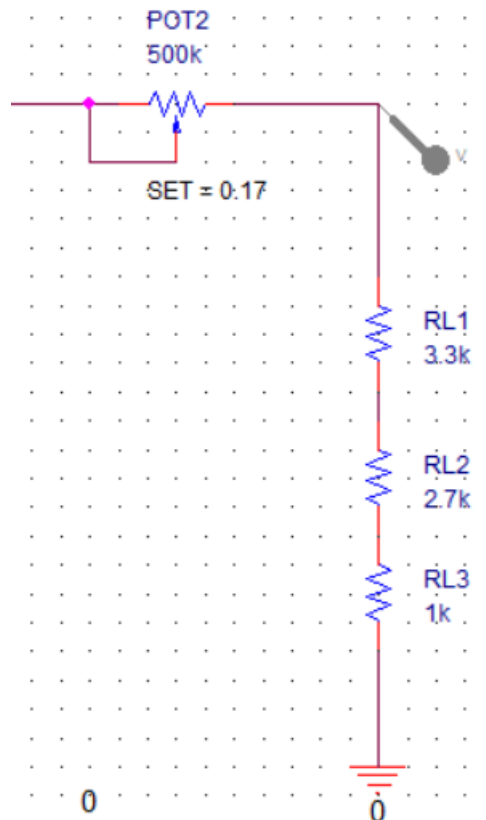
$$R_3/(R_3 + R_4) = 0.5 \Rightarrow T = 2 * R_e * C$$

Valoarea capacității condensatorului C este $C = 100 \text{ nF}$.

Rezistența R poate fi reglată cu ajutorul potențiometrului $POT1 = 10k$.

Pentru a obține cele două valori ale frecvenței de oscilație, setăm potențiometrul 1 la cele două valori(0.071 pentru 7kHz, respective 0.02 pentru 21kHz) calculate la Capitolul 6 “Calcul Analitic”.

5.3. Amplitudinea vârf-la-vârf

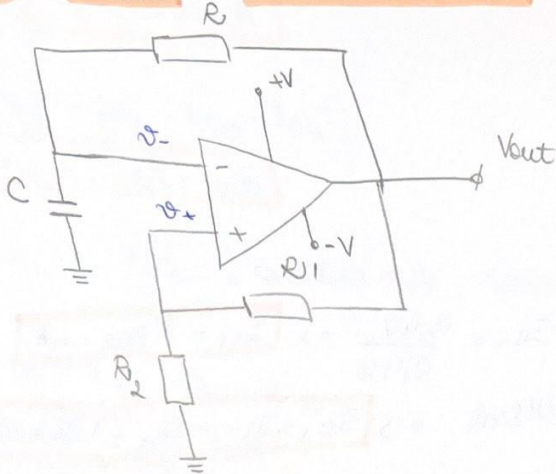


Amplitudinea varf-la-varf este determinata Capitolul 6 “Calcul Analitic”.

6. Calculul analitic

CALCULUL ANALITIC

1) OSCILATOR DE RELAXARE



- Initial C este descărcat $\Rightarrow V_C = 0 \Rightarrow v_- = 0$
 $V_{out} = +V$

$$v_+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{out} \quad \Bigg| \quad \Rightarrow v_+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (+V)$$

$V_{out} = +V$

$v_+ = V_R$ (valoarea pozitivă la care se încarcă condensatorul)
 $V_C > V_R \Rightarrow V_{out}$ comută în $(-V)$

- Analog, $-V_R = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (-V)$

$V_C \leq -V_R \Rightarrow V_{out}$ comută în $(+V)$

2). PUNCTUL STATIC DE FUNCȚIONARE

yp. $Q_1 \dots Q_3$ în RAN

$$I_B \approx 0$$

$$I_C \approx I_E$$

$$V_{BE} = 0.6V$$

$$\beta = 400$$

$$I_{C1} \cdot R_5 + I_{C1} \cdot R_1 + V_{EB1} = V_{CC} \Rightarrow I_{C1} = \frac{9.4V}{8.9K} \Rightarrow I_{C1} = 1.362 \text{ mA}$$

$$Q_1, Q_2, Q_3 \text{ egălimul de curenți} \Rightarrow I_{C1} = I_{C2} = I_{C3} = 1.362 \text{ mA}$$

$$I_{C3} \cdot R_2 + V_{EB3} + I_1 \cdot R_1 = V_{CC} \Rightarrow I_1 = \frac{V_{CC} - V_{EB3} - I_{C3} \cdot R_2}{R_1} \Rightarrow I_1 = 1.362 \text{ mA}$$

$$I_{C1} = I_1 = 1.362 \text{ mA}$$

$$I_{B1} = I_{B2} = I_{B3} = \frac{I_{C1}}{\beta} = 0.00345 \text{ mA} = 3.45 \mu A$$

$$2V_D - 2V_{EB} = 0 \Rightarrow V_D = V_{EB} = 0.6V$$

$$I_4 \cdot R_4 = V_{EB6} \Rightarrow I_4 = \frac{V_{EB6}}{R_4} \Rightarrow I_4 = 0.4 \text{ mA} = 400 \mu A$$

$$I_{C4} = I_{B6} + I_4$$

$$I_{B6} = \frac{I_{C6}}{\beta} = 0.00345 \text{ mA} = 3.45 \mu A$$

$$I_{C6} \approx I_{C3} = 1.362 \text{ mA}$$

$$I_{C4} = 403.45 \mu A = 0.403 \text{ mA}$$

$$I_{B4} = \frac{I_{C4}}{\beta} = 0.001 \text{ mA} = 1 \mu A$$

$$I_{C4} + I_{C5} = I_{C2} \Rightarrow I_{C5} = I_{C2} - I_{C4} = 1.362 - 0.403 \Rightarrow I_{C5} = 0.959 \text{ mA}$$

$$I_{B5} = \frac{I_{C5}}{\beta} = 0.00239 \text{ mA} = 2.39 \mu A$$

$$I_3 \cdot R_4 - V_{EB4} + V_{EB5} + I_{B5} \cdot R_{T1} = 0$$

$$\Rightarrow I_3 = 23,9 \mu A$$

$$I_{C4} = I_{C6} - I_{C5} - I_{C4}$$

$$I_{C4} = 2,424 \text{ mA}$$

$$I_{B4} = \frac{I_{C4}}{\beta} = 0,00681 \text{ mA} = 681 \mu A$$

$$I_{C2} + I_{B5} + I_3 = I_{C4}$$

$$I_{C2} = 2,09 \text{ mA}$$

$$I_{C1}(R_5 + R_1) + V_{EC1} = V_{CC} \Rightarrow V_{EC1} = 0,6 \text{ V} \Rightarrow$$

$$I_{C2} \cdot R_6 + V_{EC2} + V_{EB4} + I_3 \cdot R_3 = V_{CC}$$

$$V_{EC2} = 10 - 0,6 - 1,382 \cdot 0,1 - 0,029 \cdot 1$$

$$V_{EC2} = 9,234 \text{ V}$$

$$I_{C2} \cdot R_6 + V_{EC2} + V_{EC4} + I_4 \cdot R_4 = V_{CC} - V_{EE}$$

$$V_{EC4} = 20 - 9,23 - 0,1382 - 0,6$$

$$V_{EC4} = 10,038 \text{ V}$$

$$V_{EC4} + I_4 \cdot R_4 = V_{EC5}$$

$$V_{EC5} = 10,038 + 0,6$$

$$V_{EC5} = 10,638 \text{ V}$$

$$V_{CE8} = V_{EC4} + V_{BE8}$$

$$V_{CE8} = 10,038 + 0,6$$

$$V_{CE8} = 10,638 \text{ V}$$

$$V_{CE3} + V_{BE4} + V_{CE5} = V_{CC} - V_{EE}$$

$$V_{CE5} = 20 - 10,638 - 0,6$$

$$V_{CE5} = 9,04 \text{ V}$$

$$V_{EE3} = V_{EE2} + I_{C2} \cdot R_B + I_{B5} \cdot R_{T1}$$

$$V_{EE3} = 9,234 + 0,136 + 0,0239$$

$$V_{EE3} = 9,366 \text{ V}$$

$$I_{D1, D2} = I_{C3} - I_{B2} = 1,35 \text{ mA}$$

$$Q_{V1} \left\{ \begin{array}{l} I_{C1} = 1,362 \text{ mA} \\ V_{EE1} = 0,6 \text{ V} \\ P_D = 0,8142 \text{ mW} \end{array} \right.$$

$$Q_{V2} \left\{ \begin{array}{l} I_{C2} = 1,362 \text{ mA} \\ V_{EE2} = 9,234 \text{ V} \\ P_D = 12,54 \text{ mW} \end{array} \right.$$

$$Q_{V3} \left\{ \begin{array}{l} I_{C3} = 1,362 \text{ mA} \\ V_{EE3} = 9,366 \text{ V} \\ P_D = 12,54 \text{ mW} \end{array} \right.$$

$$Q_{V4} \left\{ \begin{array}{l} I_{C4} = 0,1403 \text{ mA} \\ V_{EE4} = 10,038 \text{ V} \\ P_D = 13,641 \text{ mW} \end{array} \right.$$

$$Q_{V5} \left\{ \begin{array}{l} I_{C5} = 0,959 \text{ mA} \\ V_{EE5} = 10,638 \text{ V} \\ P_D = 10,2 \text{ mW} \end{array} \right.$$

$$Q_{V6} \left\{ \begin{array}{l} I_{C6} = 1,362 \text{ mA} \\ V_{EE6} = 9,04 \text{ V} \\ P_D = 12,258 \text{ mW} \end{array} \right.$$

$$Q_{V7} \left\{ \begin{array}{l} I_{C7} = 2,1424 \text{ mA} \\ V_{EE7} = 9,362 \text{ V} \\ P_D = 25,15 \text{ mW} \end{array} \right.$$

$$Q_{V8} \left\{ \begin{array}{l} I_{C8} = 2,69 \text{ mA} \\ V_{EE8} = 10,638 \text{ V} \\ P_D = 28,616 \text{ mW} \end{array} \right.$$

Puterile disipate pe rezistențe:

$$P_D = R \cdot I^2$$

$$\bullet P_{D1} = R_1 \cdot I_1^2 = 12,61 \text{ mW}$$

$$\bullet P_{D2} = R_2 \cdot I_{C3}^2 = 0,185 \text{ mW}$$

$$\bullet P_{D3} = R_3 \cdot I_3^2 = 0,541 \mu\text{W}$$

$$\bullet P_{D4} = R_4 \cdot I_3^2 = 0,541 \mu\text{W}$$

$$\bullet P_{D5} = R_5 \cdot I_{C2}^2 = 0,185 \text{ mW}$$

$$\bullet P_{D6} = R_6 \cdot I_{C1}^2 = 0,185 \text{ mW}$$

$$\bullet P_{D7} = R_7 \cdot I_4^2 = 0,24 \text{ mW}$$

$$\bullet P_{D8} = P_{D9} = P_{D10} = P_{D11} = R_{8,9,10,11} \cdot I^2 = 44,39 \text{ mW}$$

3) CALCULUL FRECVENTEI DE OSCILATIE

$$f_{osc} = \frac{1}{T}$$

$$T = 2 \cdot \tau \cdot \ln \frac{1 + \frac{R_3}{R_3 + R_4}}{1 - \frac{R_3}{R_3 + R_4}}$$

$$\tau = R \cdot C \quad (\text{constanta de timp a circuitului})$$

$$R_3 = R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow \frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{1 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega} = 0.5$$

$$\Rightarrow T = 2\tau \cdot \ln \frac{1+0.5}{1-0.5}$$

$$T = 2\tau \cdot \ln 3 \quad \left| \begin{array}{l} \ln 3 \approx 1 \end{array} \right. \Rightarrow T = 2\tau$$

$$T = 2 \cdot R \cdot C \quad \left| \Rightarrow T = 2 \cdot R_{POT1} \cdot C \right.$$

$$R = R_{POT1}$$

$$\Rightarrow f_{osc} = \frac{1}{2 \cdot R_{POT1} \cdot C} \quad \Rightarrow R_{POT1} = \frac{1}{2 \cdot f \cdot C}$$

$$\bullet \quad N=4 \Rightarrow f_{osc} \in [4 \text{ kHz} ; 21 \text{ kHz}]$$

$$f_{osc} = 4 \text{ kHz} \Rightarrow R_{POT1} = \frac{1}{2 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 0.125 \text{ k}\Omega \Rightarrow \text{SET} = 0.10414$$

$$f_{osc} = 21 \text{ kHz} \Rightarrow R_{POT1} = \frac{1}{2 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 0.238 \text{ k}\Omega \Rightarrow \text{SET} = 0.102$$

4) CALCULUL TENSIUNII DE IEȘIRE

$$V_o = (V_{ce} + V_{ce4}) \cdot \frac{R_L}{R_L + P_{OT2}}$$

$$R_L = R_{L1} + R_{L2} + R_{L3} = 4 \text{ k}\Omega$$

$$V_o = (10 + 9,362) \cdot \frac{R_L}{R_L + P_{OT2}}$$

$$V_o = 19,362 \cdot \frac{4}{4 + P_{OT2}}$$

• $N=4 \Rightarrow V_o \in [0 \text{ V}; 1,4 \text{ V}]$
 $R_L = 4 \text{ k}\Omega$

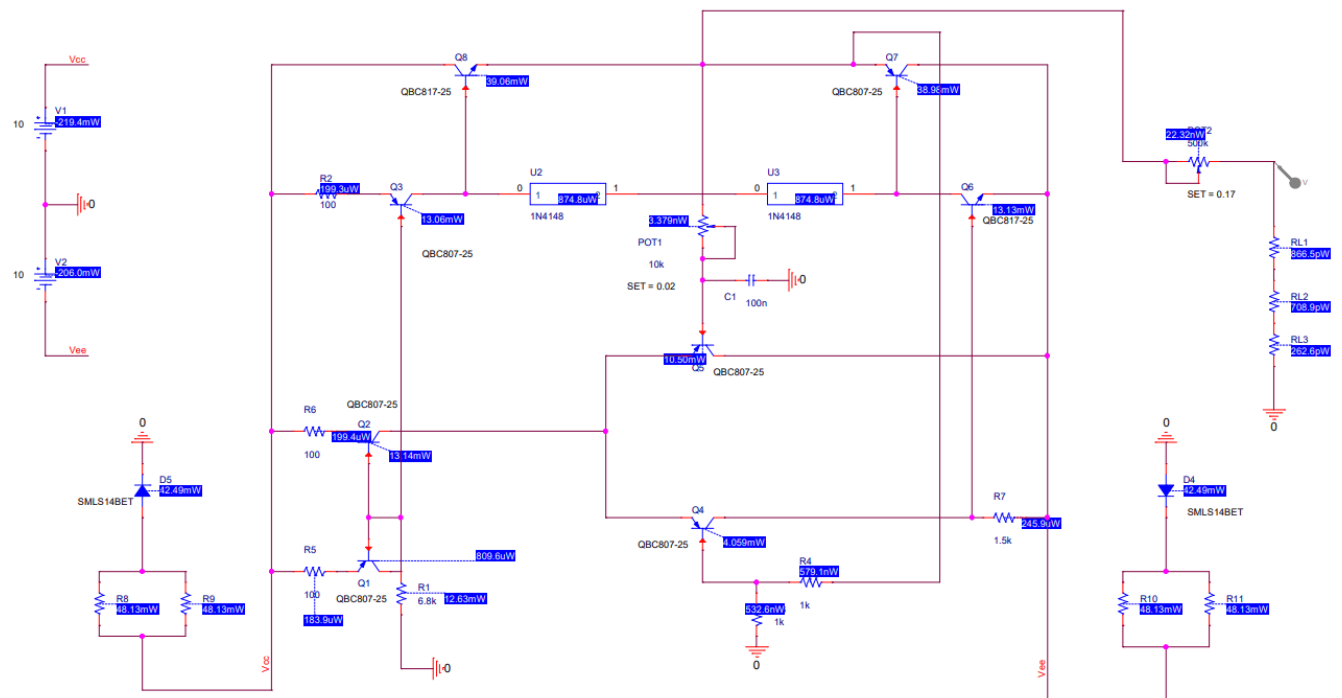
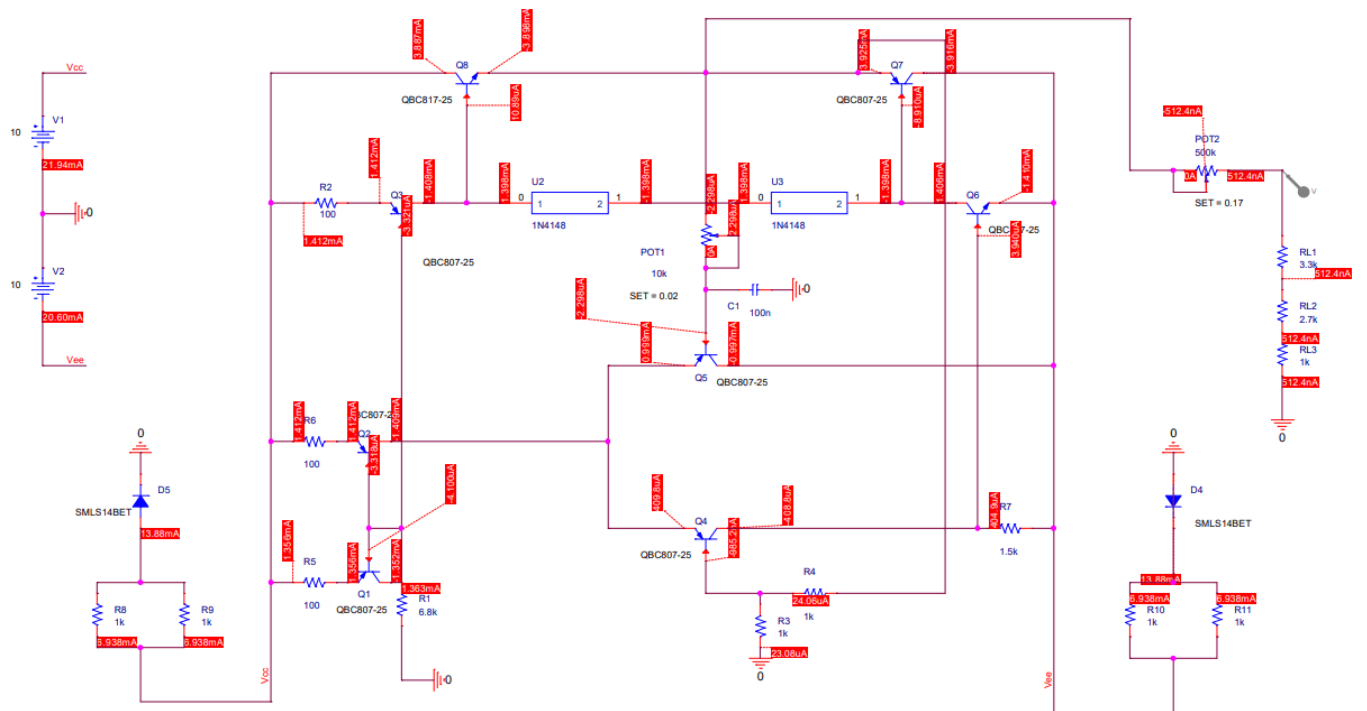
$$V_o = 1,4 \text{ V} \Rightarrow P_{OT2} = \frac{19,362 \cdot 4}{1,4} - 4$$

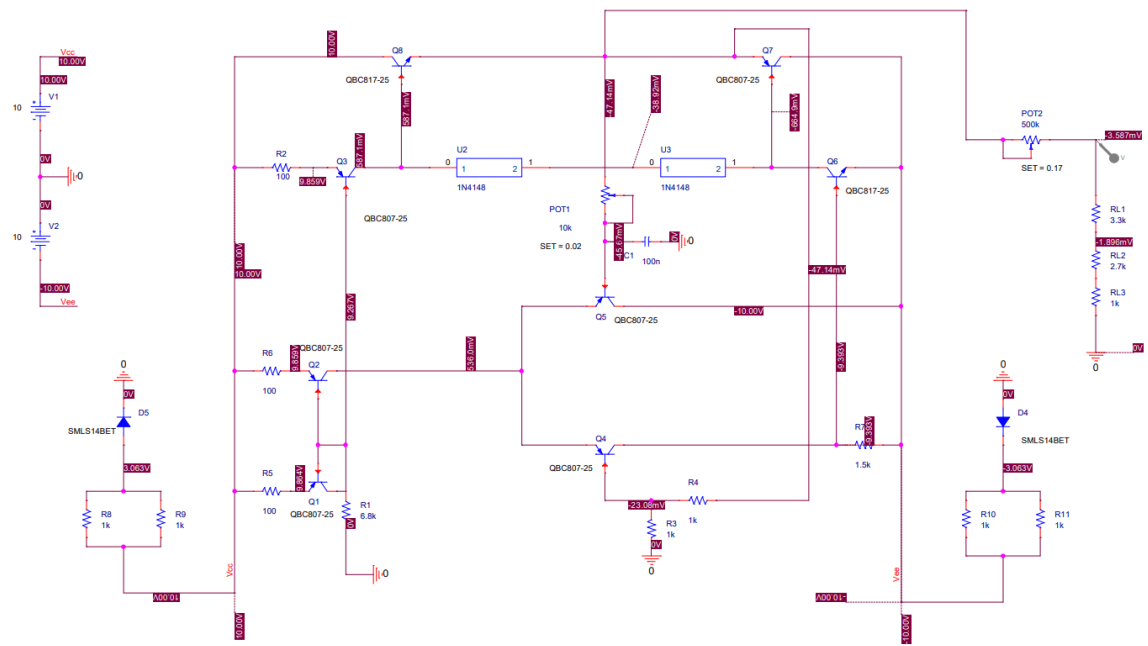
$$P_{OT2} = 89,81 \text{ k}\Omega$$

• Deoarece am ales $P_{OT2} = 100 \text{ k}\Omega \Rightarrow$ Trebuie notat ca $\eta_{ET} = \frac{89,91}{100}$

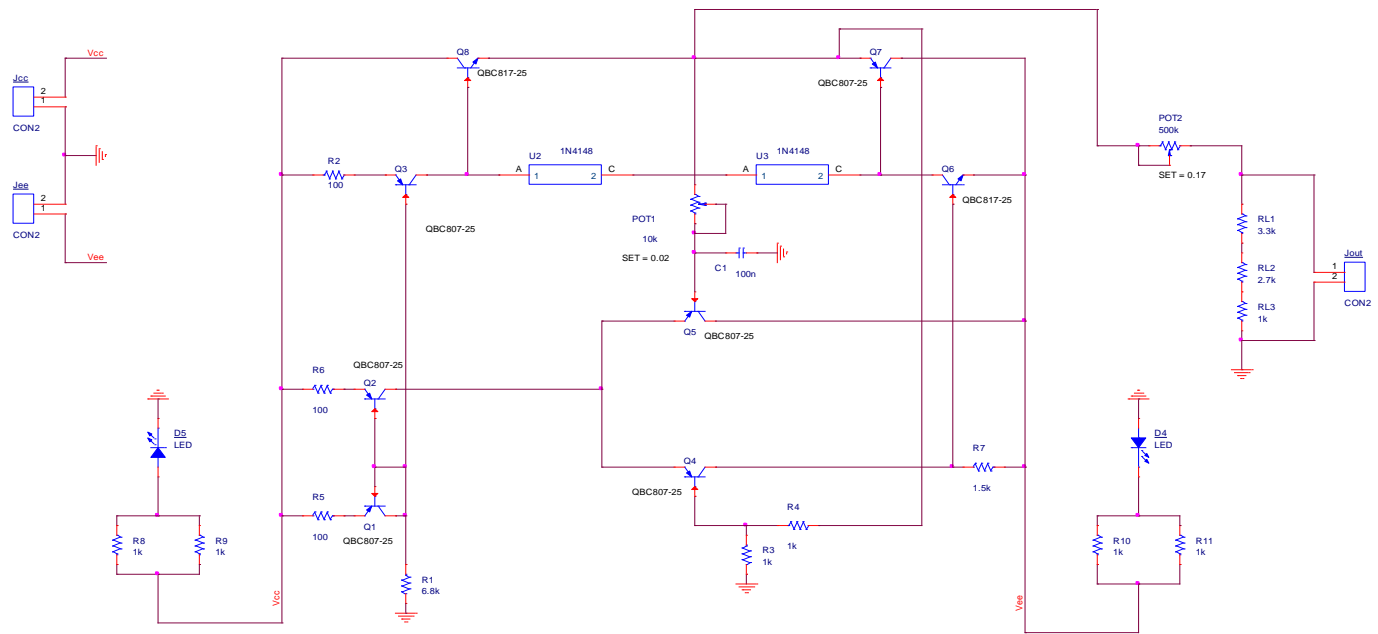
$V_o = 0 \text{ V} \Rightarrow P_{OT2}$ ia valoarea maximă $\Rightarrow \eta_{ET} = 1$.

$$\eta_{ET} \approx 0,14$$





7. Schema cu conectori



Pentru a realiza partea de PCB, am modificat schema proiectului, punând în locul surselor de tensiune, dar si la ieşire conectori.

Fiecărei componente din circuit i-am atribuit cate un footprint după cum urmeaza: la condensator SMC0805, la rezistoare SMR0805, la diode si leduri SMD0805, la tranzistoare TO236, la potentiometre TS53YL si la conectori SMR2512.

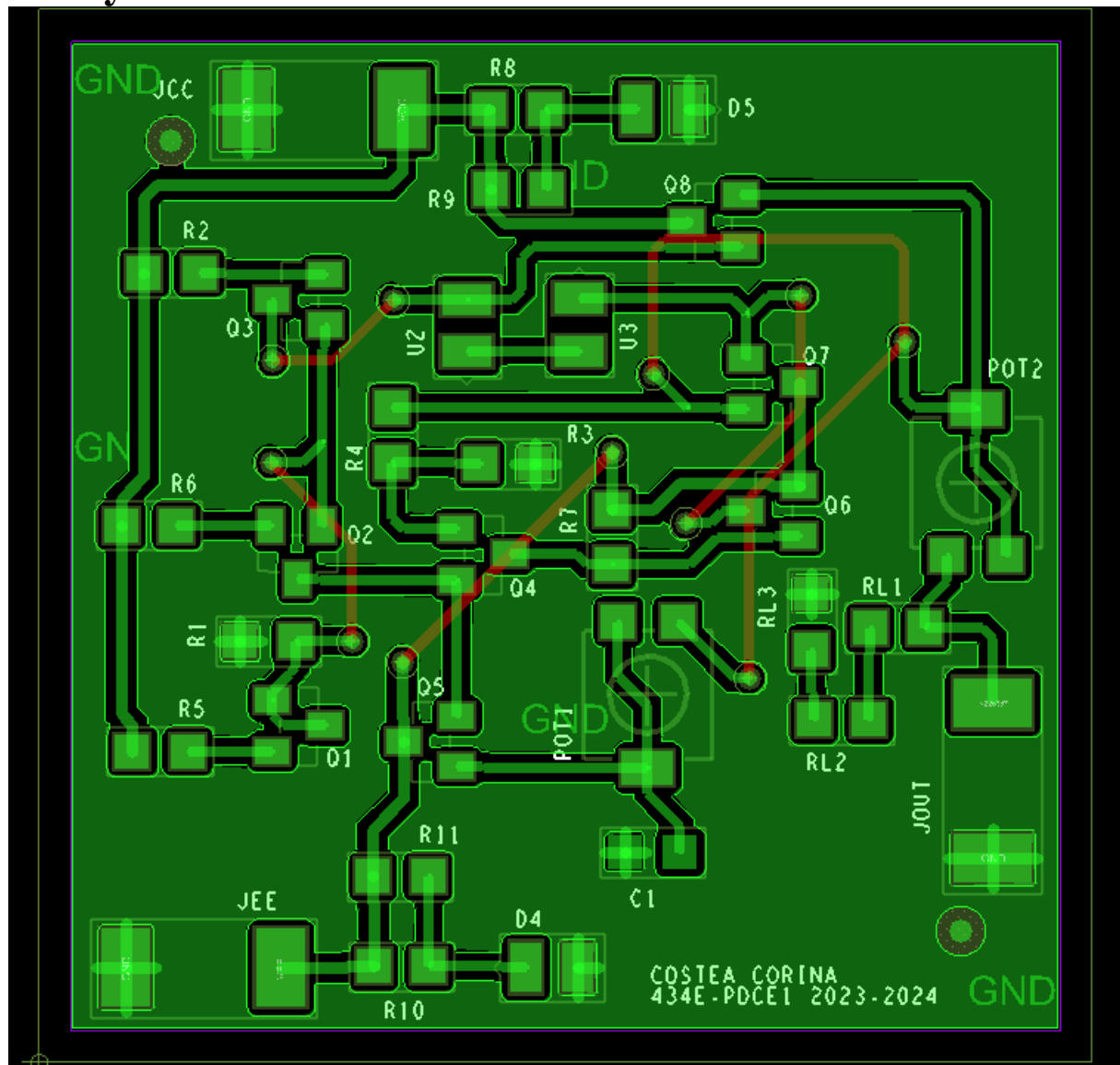
Proiectul PCB va fi realizat folosind straturile electrice TOP și BOTTOM, plasând toate componentele pe stratul TOP. Placa va fi una pătrată cu dimensiunile de 40X40 mm.

Spațiarea în toate cazurile este de 14 mils, iar lungimile traseelor sunt de 20 mils în cazul traseelor de alimentare, respectiv de 16 mils in restul cazurilor. Conexiunea cu masa am realizat-o printr-un plan de masă pe stratul electric TOP.

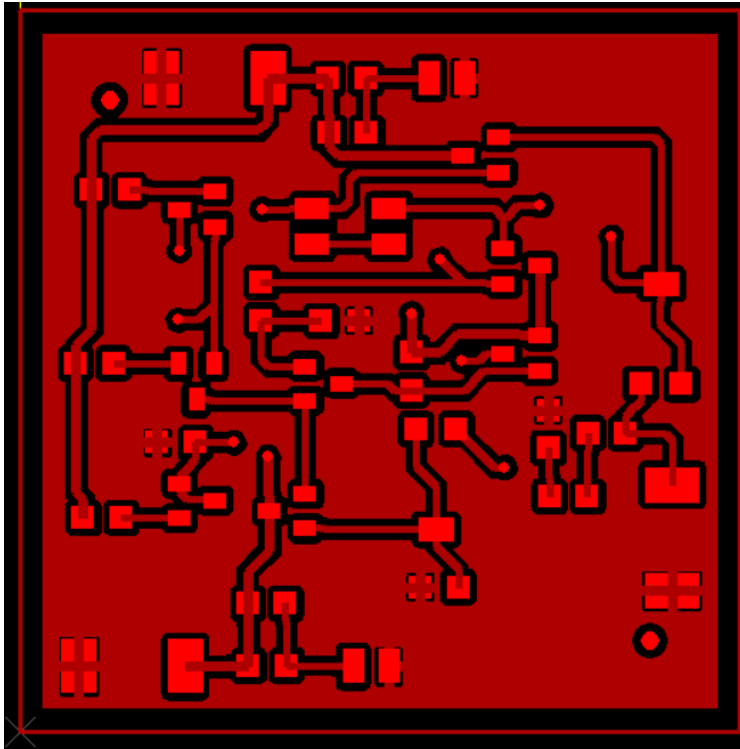
Bill of Materials

1	1	C1	100n
2	2	D4,D5	LED
3	3	Jout,Jee,Jcc	CON2
4	1	POT1	10k
5	1	POT2	500k
6	6	Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q7	QBC807-25
7	2	Q6,Q8	QBC817-25
8	1	RL1	3.3k
9	1	RL2	2.7k
10	7	RL3,R3,R4,R8,R9,R10,R11	1k
11	1	R1	6.8k
12	3	R2,R5,R6	100
13	1	R7	1.5k
14	2	U2,U3	1N4148

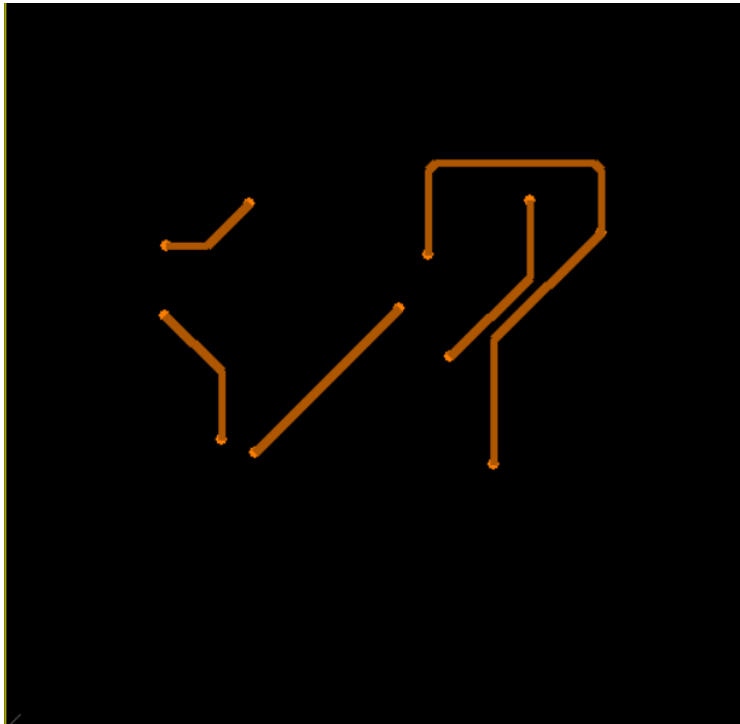
8. Layout



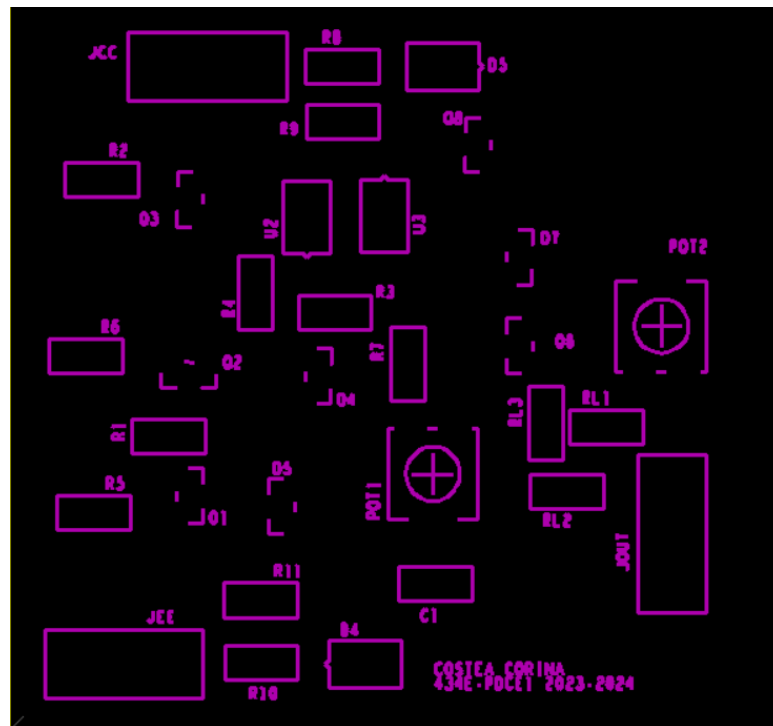
TOP



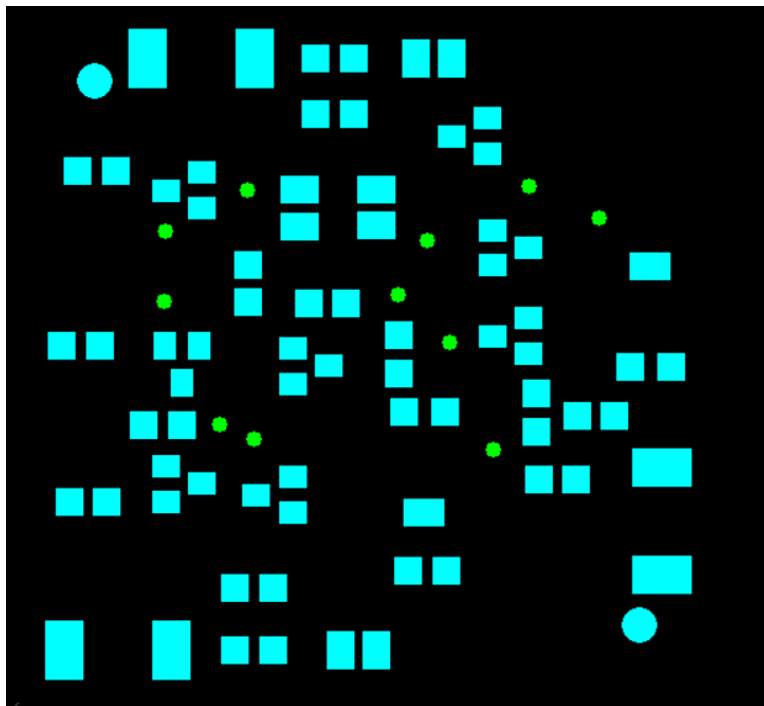
BOTTOM



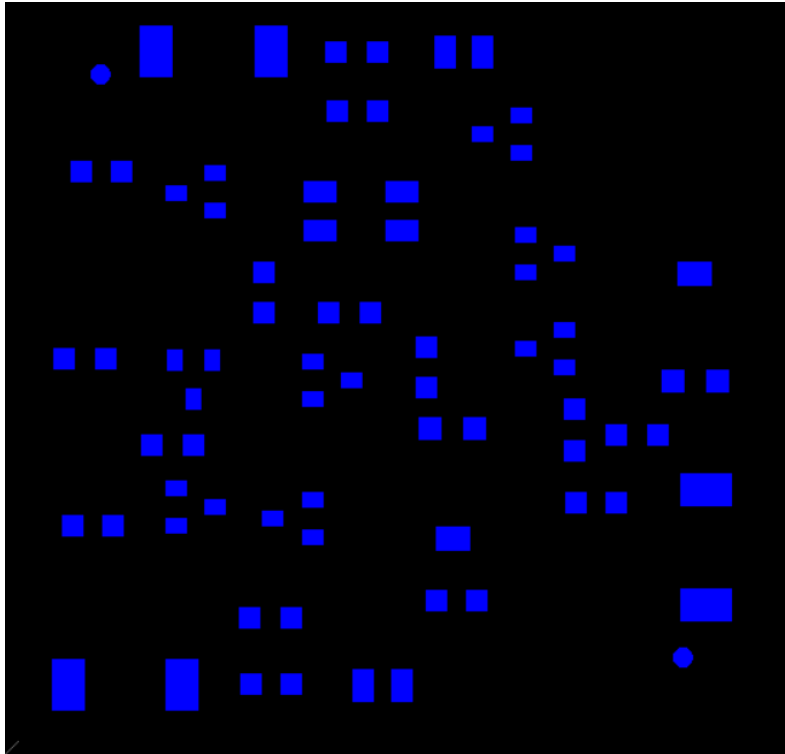
SSTOP



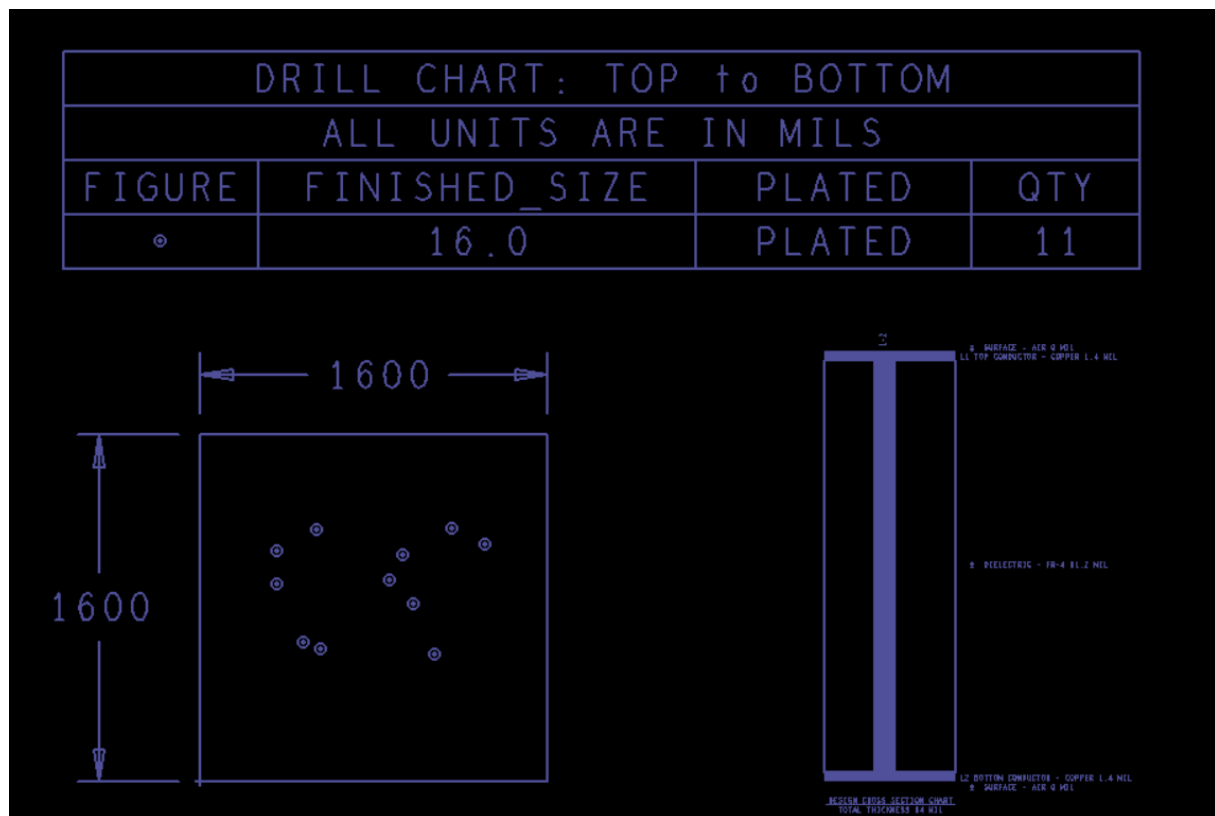
SMTOP + SMBOT



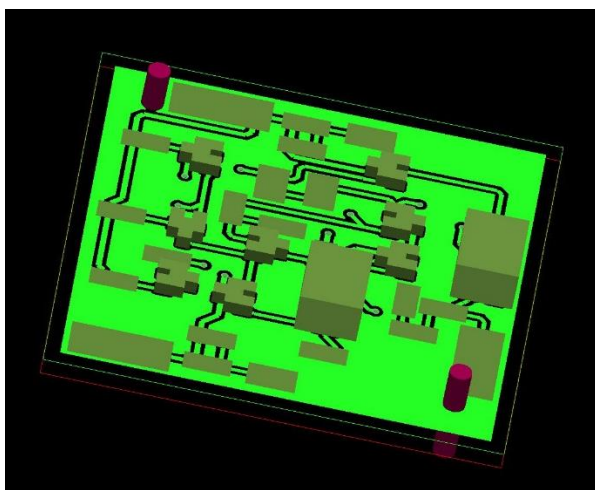
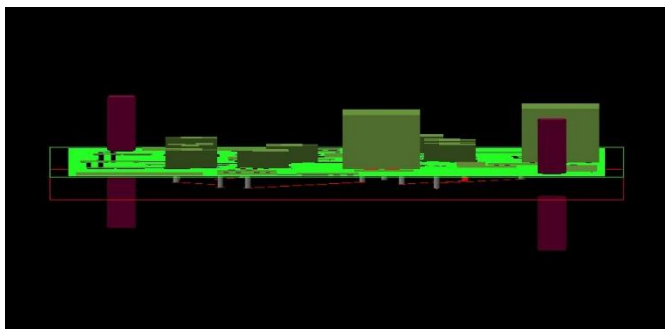
SPTOP



BO+FAB



DESIGN 3D



9. Instrucțiuni de utilizare

Proiectul realizat conține schema unui generator de semnal dreptunghiular, pornind de la un oscilator de relaxare.

Acesta a fost realizat cu scopul de a obține la ieșire un semnal dreptunghiular căruia îi poate fi modificată frecvența, dar și tensiunea de ieșire. Acestea două se pot modifica cu ajutorul a două potențiometre, POT1 și POT2, în funcție de dorințele utilizatorului. În cazul meu, frecvența circuitului a fost setată în intervalul $[7;21]$ kHz (cu ajutorul POT1), iar tensiunea de ieșire $[0;1,4]$ V (cu ajutorul POT2).

Funcționalitatea circuitului a fost testată de asemenea în temperatură, între -20 și 120 de grade.

Tensiunea de ieșire se măsoară între conectorul Jout și GND.

- Pentru o tensiune $V_{out} = 1.4 \text{ V} \Rightarrow$ valoarea lui POT2 de $89.81 \text{ k}\Omega$, deci $SET = 0.17$
- Pentru o tensiune $V_{out} \approx 0 \text{ V} \Rightarrow$ valoarea lui POT2 este maximă, deci $SET = 1$