



UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE
POLITEHNICA BUCUREȘTI
Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației



Circuite electronice fundamentale 2 – Proiect Generator de semnal dreptunghiular

Nume: Negru Nicușor Gabriel (N=16)
Grupa: 432E

Cuprins

1.Date inițiale de proiectare.....	3
1.1.Tema proiectului.....	3
1.2.Schema bloc a montajului electric.....	4
1.3.Schema electrică a montajului electric.....	5
2.Continutul tehnic/științific al proiectului.....	6
2.1.Descrierea funcțională a circuitului.....	6
2.1.1.Etajul diferențial.....	7
2.1.2.Etajul de amplificare în tensiune.....	8
2.1.3.Etajul de amplificare în curent.....	9
2.1.4.Alimentarea și ledurile.....	10
2.2.Calculul de dimensionare.....	11
2.2.1.Frecvența de oscilație.....	11
2.2.2.Tensiunea vârf la vârf.....	12
2.3.Punctul static de funcționare.....	13
3.Simularea montajului electric.....	16
3.1.Curenți.....	16
3.2.Tensiuni.....	17
3.3.Puteri.....	18
3.4. R14=0 și R15=10k.....	19
3.5. R14=100 și R15=10k.....	20
3.5. R14=0 și R15=0.....	21
3.5. R14=100 și R15=0.....	22
3.6.Temperatură.....	23
4.BOM.....	24
5.Layout.....	25
5.1.PCB design.....	25
5.2.Layer electric TOP.....	26
5.3.Layer electric BOTTOM.....	27
5.4.Solder Mask Top.....	28
5.5.Solder Mask Bottom.....	29
5.6.Silk Screen Top.....	30
5.7.Paste Mask Top.....	31
5.8.Board Outline.....	32
5.9.Fabrication Drawing.....	33

1.Date inițiale de proiectare

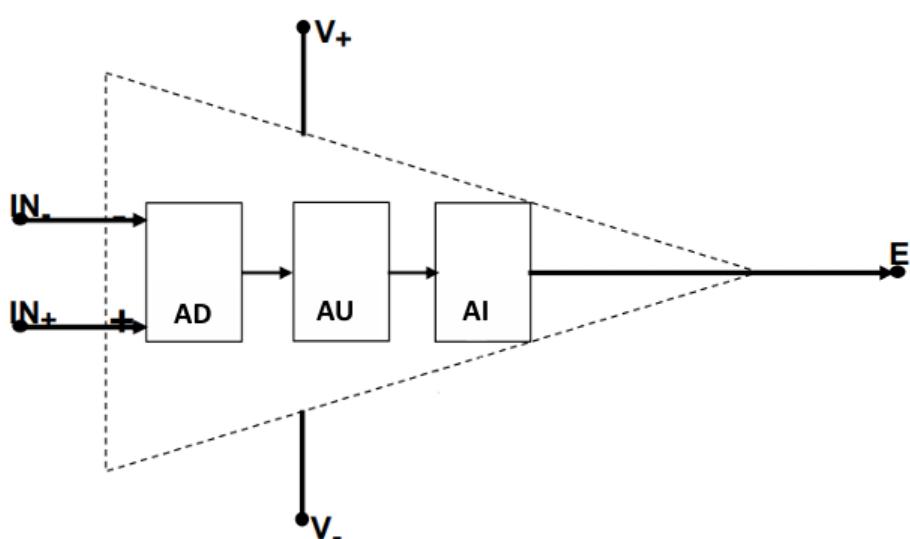
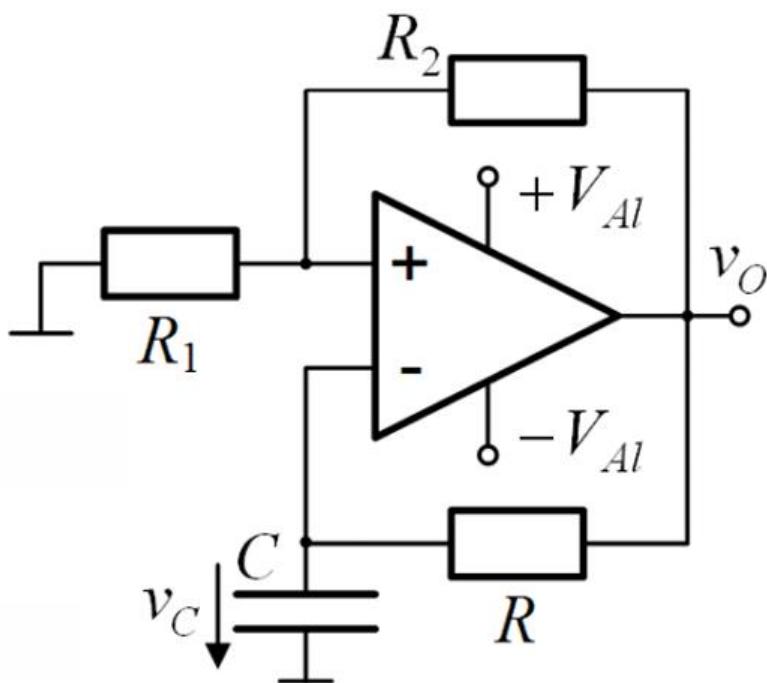
1.1.Tema proiectului

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

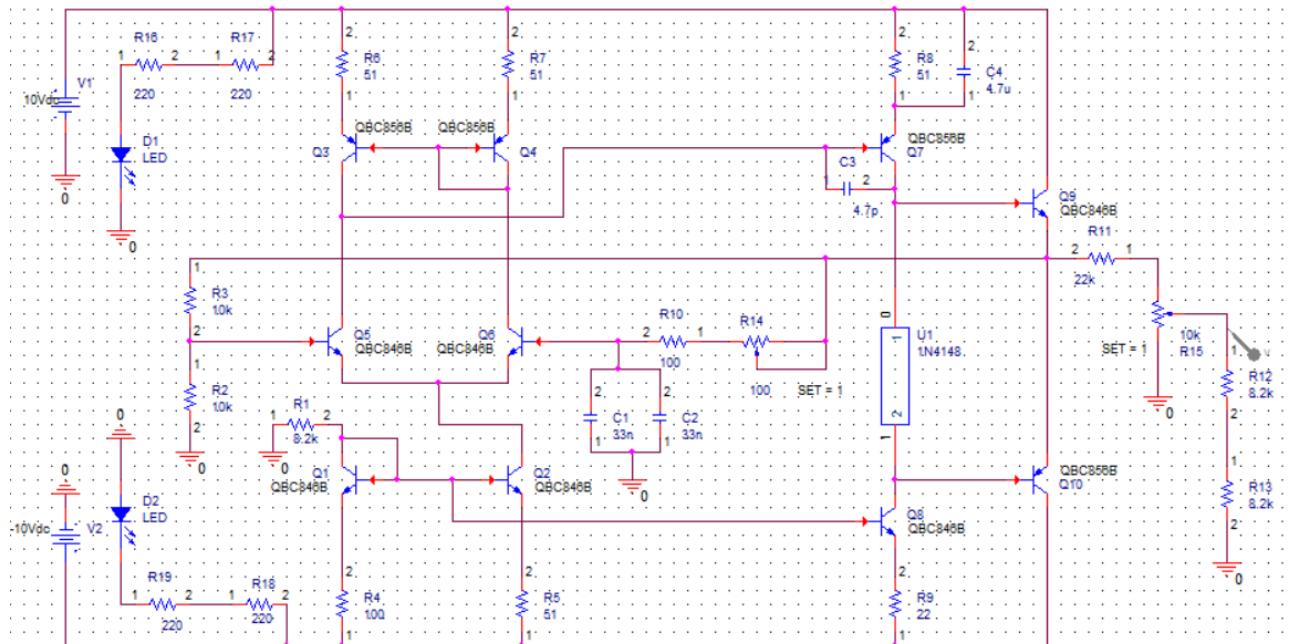
- frecvența de oscilație, f_0 , reglabilă în intervalul 32-64 kHz
- factor de umplere 0.5
- sarcina de ieșire, RL , 16k
- valoarea (vârf la vârf) a oscilației la ieșire, V_o , reglabilă în intervalul 0-4 V
- semnalul la ieșire nu are componentă continuă
- domeniul temperaturilor de funcționare $0^\circ C$ - $70^\circ C$ (verificabil prin testare în temperatură)
- semnalizarea prezenței tensiunilor de intrare/ieșire cu o diodă de tip led

1.2.Schema electrică de principiu

În ceea ce urmează, vom folosi un circuit basculant astabil, mai exact un oscilator de relaxare.



1.3.Schema electrică a montajului electric



2. Conținutul tehnic/științific al proiectului

2.1. Descrierea funcțională a circuitului

Am construit un oscilator de relaxare dintr-un comparator cu histerezis și o rețea RC pe intrarea inversoare.

Intrarea neinversoare este conectată la divizorul de tensiune format din R2 și R3 prin intermediul căruia o parte din semnalul de la ieșire revine la intrare și cu ajutorul căruia, în același timp, se fixează tensiunile de prag de histerezis.

Gruparea formată din C1, C2, R10 și R14 setează frecvența de oscilație.

Blocul de amplificare a fost proiectat ca o implementare discretă și respectă arhitectura standard a unui amplificator operațional, fiind format din trei etaje:

- etajul de amplificare diferențială
- etajul de amplificare în tensiune
- etajul de amplificare în curent

Am folosit două surse de $\pm 10V$.

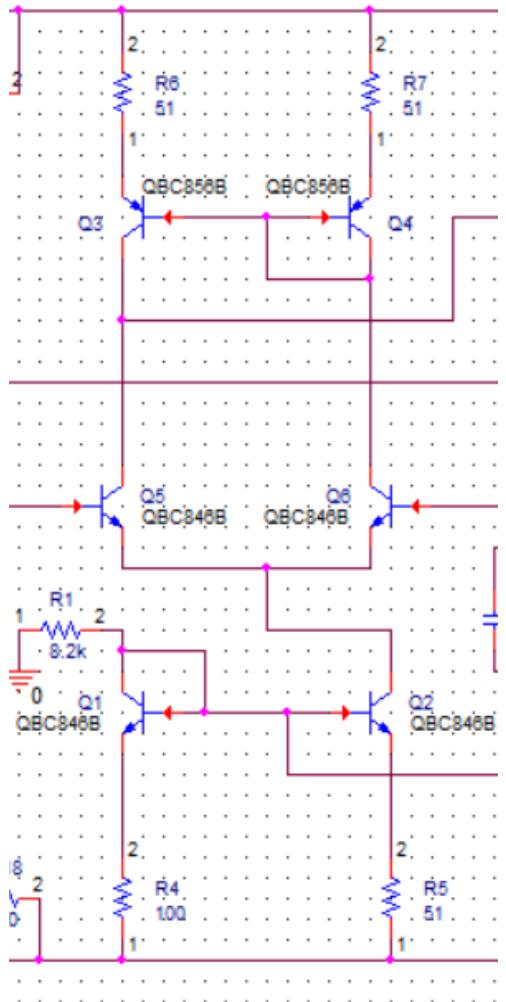
2.1.1. Etajul diferențial

Acesta este etajul de intrare al amplificatorului operațional discret. Rolul său este de a compara două tensiuni și de a amplifica diferența dintre ele. Este un amplificator diferențial cu sarcină activă, compus din trei părți distincte.

Tranzistoarele Q1 și Q2 formează o sursă de curent. Aceasta are rolul de a furniza curentul de polarizare pentru perechea diferențială și asigură o impedanță mare ce face etajul foarte imun la zgomot sau la variații ale tensiunii de alimentare. Rezistoarele R4 și R5 sunt rezistoare de degenerare de emitor și stabilizează sursa de curent la variațiile de temperatură.

Tranzistoarele Q5 și Q6 reprezintă perechea diferențială. Este de tip transconductanță, preia o diferență de tensiune la baze și o folosește pentru a dirija un curent între cele 2 colectoare. Baza lui Q5 reprezintă intrarea neinversoare, iar baza lui Q6 intrarea inversoare.

Tranzistoarele Q3 și Q4 alcătuiesc oglinda de curent ce acționează ca o sarcină activă cu impedanță foarte mare pentru a obține un câștig în tensiune uriaș.

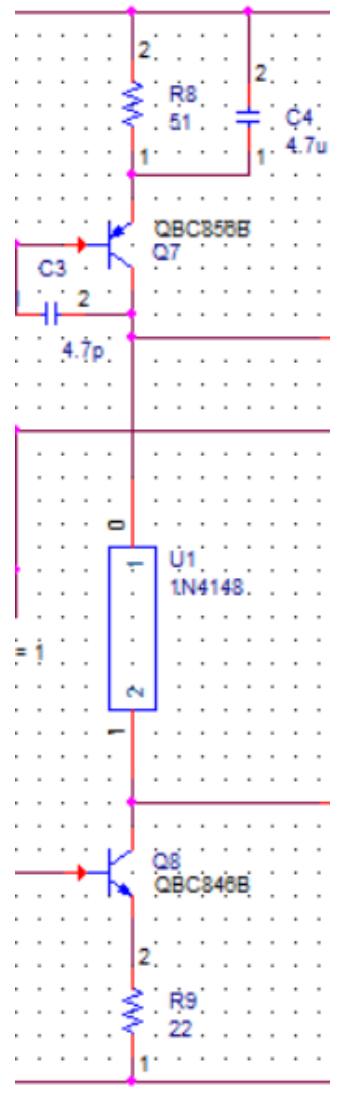


2.1.2. Etajul de amplificare în tensiune

Acest bloc reprezintă etajul intermediar al circuitului, realizând interfață între comparatorul diferențial și buffer-ul de ieșire. Atât Q7, cât și Q8 funcționează în conexiunea emitor comun. Această configurație este aleasă specific pentru a oferi un câștig mare în tensiune. Rolul lor este de a prelua semnalul mic furnizat de etajul diferențial și de a-l amplifica până la o excursie de tensiune maximă, apropiată de valorile alimentării. Deoarece semnalul este dreptunghiular, aceste tranzistoare vor lucra preponderent în regim de comutație, asigurând fronturi abrupte semnalului.

Condensatorul C3, conectat între baza și colectorul lui Q7, realizează o reacție negativă locală dependentă de frecvență. Acesta are rolul crucial de asigurare a stabilității amplificatorului, prevenind auto-oscilațiile parazite de înaltă frecvență care ar putea apărea în timpul comutării rapide.

Rezistențele R8 și R9 sunt rezistențe de degenerare în emitor liniarizând funcționarea tranzistoarelor și stabilizând punctul static de funcționare împotriva variațiilor termice.

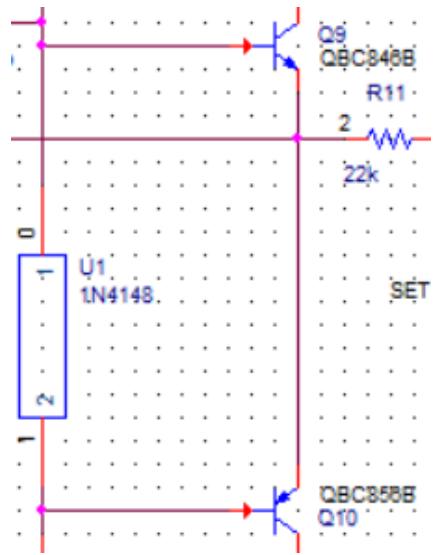


2.1.3. Etajul de amplificare în curent

Tranzistoarele Q9 și Q10 formează o configurație push-pull specifică amplificatoarelor de clasă B. Acesta este ultimul etaj al lanțului de amplificare și are rolul de a asigura puterea necesară transmiterii semnalului către sarcină, realizând totodată adaptarea de impedanță.

Este configurat ca un etaj colector comun, ceea ce înseamnă căstig în tensiune $x1$, adică tensiunea de la ieșire este copiată de la intrare. În schimb, oferă un căstig mare în curent, esențial pentru a livra semnal sarcinii.

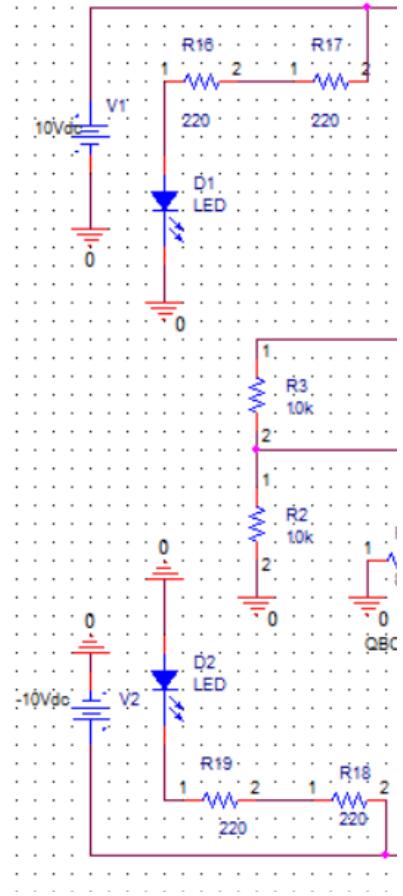
Cele 2 tranzistoare funcționează complementar, Q9 ocupându-se de alternanța pozitivă, iar Q10 de alternanța negativă. U1 asigură tensiunea bază-emitor pentru deschiderea celor două tranzistoare și mai are rol în reducerea distorsiunilor (crossoverului).



2.1.4. Alimentarea și ledurile

Circuitul este alimentat simetric cu $\pm 10V$. Astfel, semnalul de la ieșire nu are componentă continuă.

Conform cerințelor de proiectare, am semnalizat tensiunile de la intrare cu leduri de tip KP-2012SRC-PRV, în serie cu 2 rezistențe pentru a limita curentul prin ele. Am folosit 2 rezistențe pentru a limita puterea disipată ce ar fi căzut pe una singură și ar fi distrus-o. Conform foii de catalog, ledul funcționează la o tensiune de 1,85V și la un curent de 20 de mA, iar valorile rezistențelor au fost alese în consecință.



2.2.Calculul de dimensionare

2.2.1.Frecvența de oscilație

$$f = \frac{1}{2RC \ln\left(\frac{1+\zeta}{1-\zeta}\right)} = \frac{1}{2RC \ln\left(\frac{1+0,5}{1-0,5}\right)} = \frac{1}{2RC \ln 3}$$

$$f = \frac{1}{2,2RC}$$

$$f_{\min} = 32 \text{ kHz} \Rightarrow T_{\max} = \frac{1}{32 \cdot 10^3} \approx 30 \mu\text{s}$$

$$f_{\max} = 64 \text{ kHz} \Rightarrow T_{\min} = \frac{1}{64 \cdot 10^3} \approx 15 \mu\text{s}$$

$$T_{\max} = 2,2(R+P) \cdot C = 30 \mu\text{s}$$

$$\underline{T_{\min} = 2,2 \cdot R \cdot C = 15 \mu\text{s}} \quad (\because)$$

$$1 + \frac{P}{R} = 2 \Rightarrow P = R$$

Dacă $P = R = 100 \Omega$:

$$2,2 \cdot 100 \cdot C = 15 \cdot 10^{-6}$$

$$C = \frac{15 \cdot 10^{-6}}{2,2 \cdot 100} \approx 68 \text{ nF}$$

Aceasta valoare se obține punând 2 condensatori de 33 nF în paralel, aprox 66 nF .

2.2.2.Tensiunea vârf la vârf

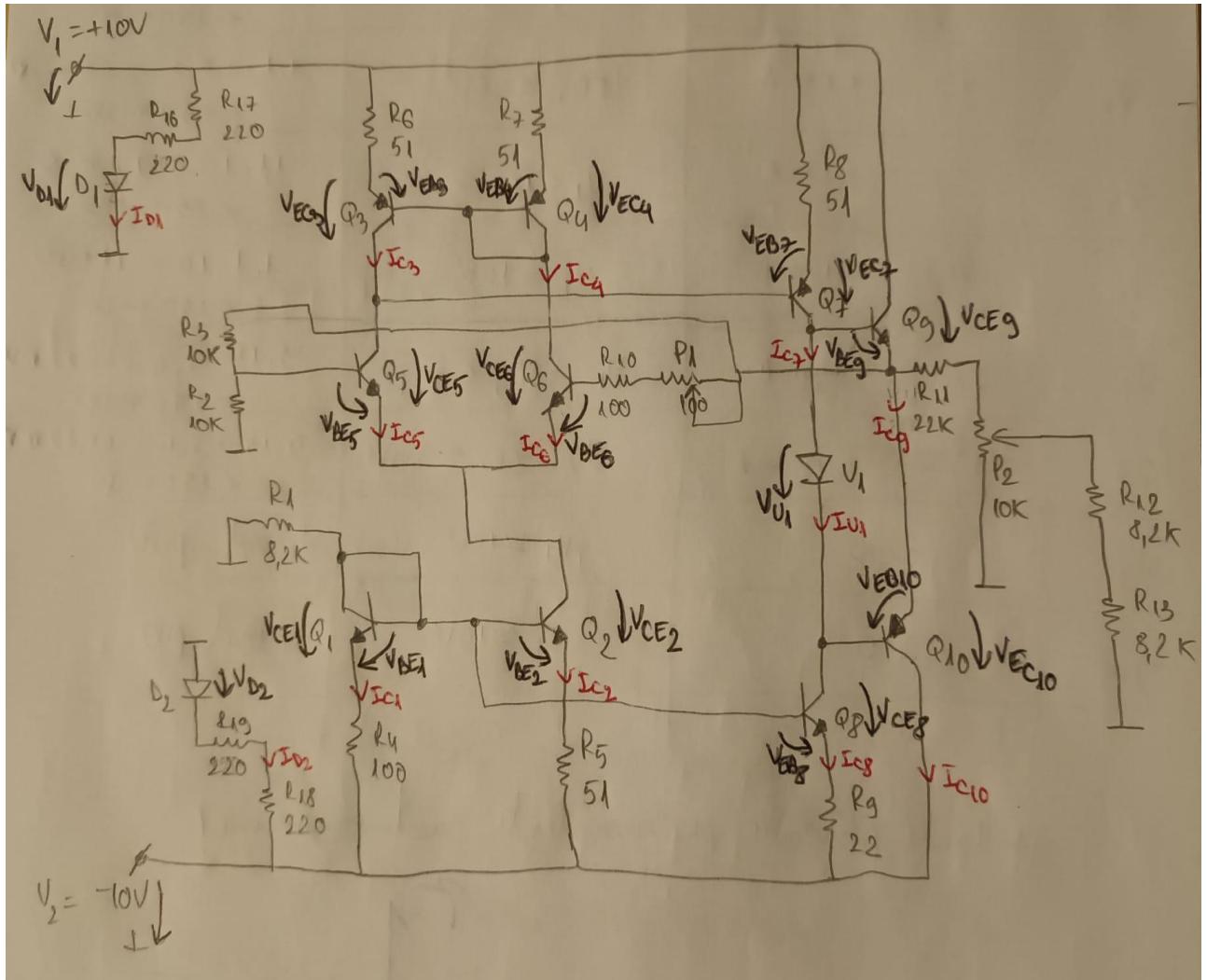
$$V_0 = V_{in} \cdot \frac{P}{R+P} \Rightarrow \frac{V_0}{V_{in}} = \frac{P}{R+P}$$

$$\text{Aleg } P = 10K \Rightarrow \frac{4}{20} = \frac{10}{R+10} \Rightarrow 4R + 40 = 200$$

$$R = \frac{160}{4} = 40K$$

Deoarece o parte din tensiunea de intrare se va disipa și pe celelalte componente și având în vedere și toleranța de $\pm 20\%$ a potențiometrului, aleg $R = 22K$.

2.3. Punctul static de funcționare



$$I_{C_4} (R_4 + R_4) + V_{BE1} + V_2 = 0$$

$$I_{C_4} = \frac{-V_2 - V_{BE1}}{R_4 + R_4} = \frac{10 - 0,6}{8,3} \approx 1,13 \text{ mA}$$

$$I_{C_4} \cdot R_4 - I_{C_2} \cdot R_5 - V_{BE2} + V_{BE1} = 0$$

$$I_{C_2} = \frac{I_{C_4} R_4}{R_5} \approx \frac{1,13 \cdot 100}{51} \approx 2,21 \text{ mA}$$

$$I_{C_4} \cdot R_4 - I_{C_8} R_9 - V_{EB8} + V_{BE1} = 0$$

$$I_{C_8} = \frac{I_{C_4} R_4}{R_9} = \frac{1,13 \cdot 100}{22} = 5,13 \text{ mA}$$

$$I_{C_3} = I_{C_4} = I_{C_5} = I_{C_6} = \frac{I_{C_2}}{2} = \frac{2,21}{2} = 1,1 \text{ mA}$$

$$I_{C_7} = I_{C_8} = 5,13 \text{ mA} = I_{U_1}$$

$$-V_1 + I_{led} R + V_{D_1} = 0$$

$$I_{led} = I_{D_1} = I_{D_2} = \frac{V_1 - V_{D_1}}{R} = \frac{10 - 1,85}{440} = 18 \text{ mA}$$

$$I_{C_9} = I_{C_{10}} \approx 0$$

$$\rightarrow V_{CE1} = V_{BE1} = 0,6 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{CE4} = V_{EB4} = 0,6 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{CE9} = V_1 = 10 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{CE10} = -V_2 = 10 \text{ V}$$

$$\rightarrow -V_1 + V_{CE7} + V_{BE9} = 0$$

$$V_{CE7} = V_1 - V_{BE9} = 10 - 0,6 = 9,4 \text{ V}$$

$$\rightarrow -V_2 - V_{CE8} - V_{EB10} = 0$$

$$V_{CE8} = -V_2 - V_{EB10} = 10 - 0,6 = 9,4 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{BE5} + V_{CE2} + V_2 = 0$$

$$V_{CE2} = -V_2 - V_{BE5} = 9,4 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{BE5} - V_{CE5} - V_{EB7} + V_1 = 0$$

$$V_{CE5} = V_1 = 10 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{BE5} - V_{CE6} - V_{EB4} + V_1 = 0$$

$$V_{CE6} = V_1 = 10 \text{ V}$$

$$\rightarrow V_{EC3} = V_{EB7} = 0,6 \text{ V}$$

currenti

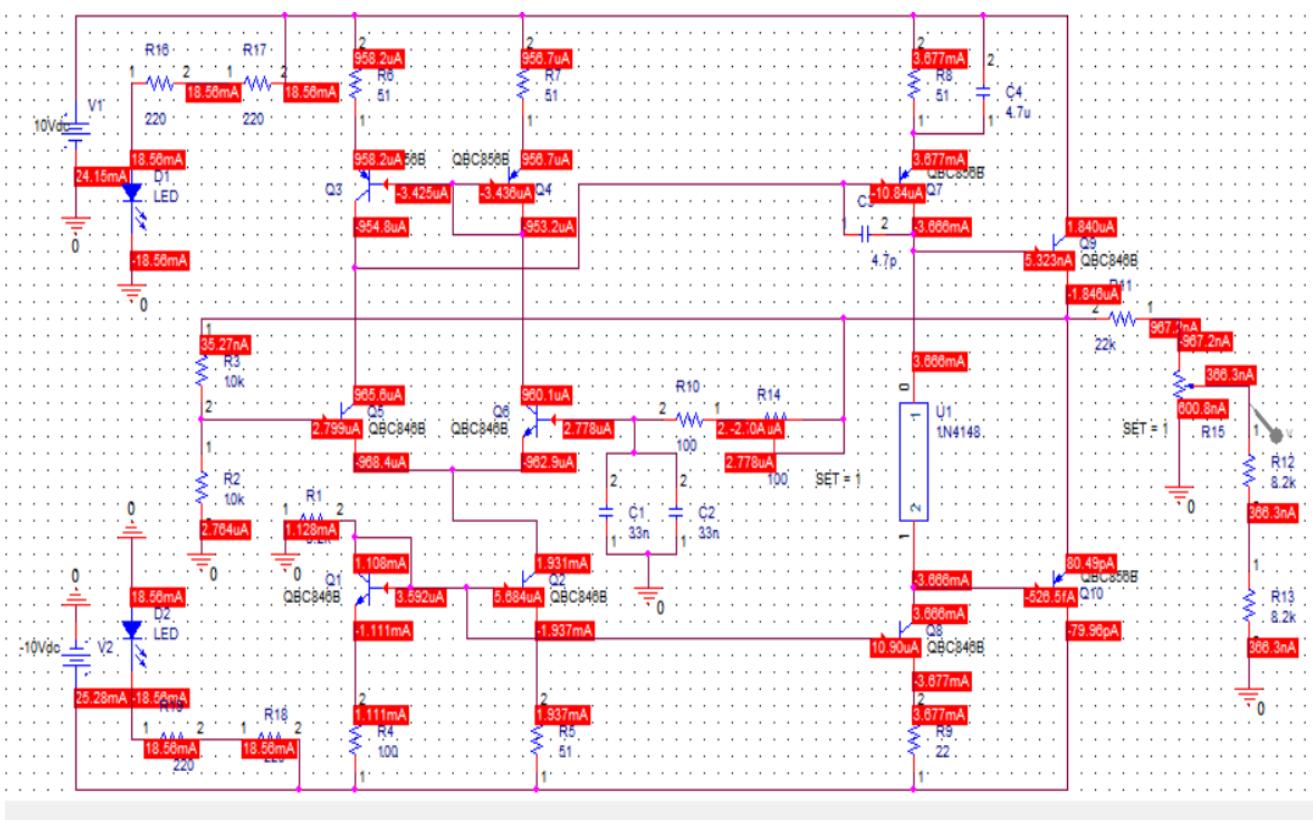
Tensioni

	I	V	P
D ₁	18 mA	1,85V	$18 \cdot 1,85 = 33,3 \text{ mW}$ $< 75 \text{ mW}$
D ₂	18 mA	1,85V	$18 \cdot 1,85 = 33,3 \text{ mW}$ $< 75 \text{ mW}$
U ₁	$I_{C8} = 5,13 \text{ mA} < 150 \text{ mA}$	$\approx 1 \text{ V}$	$5,13 \cdot 1 = 5,13 \text{ mW}$
Q ₁	$\frac{-V_2 - V_{BE1}}{R_1 + R_4} \approx 1,13 \text{ mA}$	$V_{BE1} = 0,6 \text{ V}$	$1,13 \cdot 0,6 = 0,67 \text{ mW}$ $< 250 \text{ mW}$
Q ₂	$\frac{I_{C1} R_4}{R_5} \approx 2,21 \text{ mA}$	$-V_2 - V_{BE5} = 9,4 \text{ V}$	$2,21 \cdot 9,4 = 20,77 \text{ mW}$ $< 250 \text{ mW}$
Q ₃	$\frac{I_{C2}}{2} \approx 1,1 \text{ mA}$	$V_{EB7} = 0,6 \text{ V}$	$1,1 \cdot 0,6 = 0,66 \text{ mW}$ $< 250 \text{ mW}$
Q ₄	$\frac{I_{C2}}{2} \approx 1,1 \text{ mA}$	$V_{EB4} \approx 0,6 \text{ V}$	$1,1 \cdot 0,6 = 0,66 \text{ mW}$ $< 250 \text{ mW}$
Q ₅	$\frac{I_{C2}}{2} \approx 1,1 \text{ mA}$	$V_A = 10 \text{ V}$	$1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mW}$ $< 250 \text{ mW}$
Q ₆	$\frac{I_{C2}}{2} \approx 1,1 \text{ mA}$	$V_A = 10 \text{ V}$	$1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mW}$ $< 250 \text{ mW}$
Q ₇	$I_{C8} = 5,13 \text{ mA}$	$V_A - V_{BE9} \approx 9,4 \text{ V}$	$5,13 \cdot 9,4 = 46,22 \text{ mW}$ $< 250 \text{ mW}$
Q ₈	$\frac{I_{C1} R_4}{R_9} \approx 5,13 \text{ mA}$	$-V_2 - V_{EB10} \approx 9,4 \text{ V}$	$5,13 \cdot 9,4 = 46,22 \text{ mW}$ $< 250 \text{ mW}$
Q ₉	≈ 0	$V_A \approx 10 \text{ V}$	de oord pW
Q ₁₀	≈ 0	$-V_2 \approx 10 \text{ V}$	de oord pW

3.Simularea montajului electric

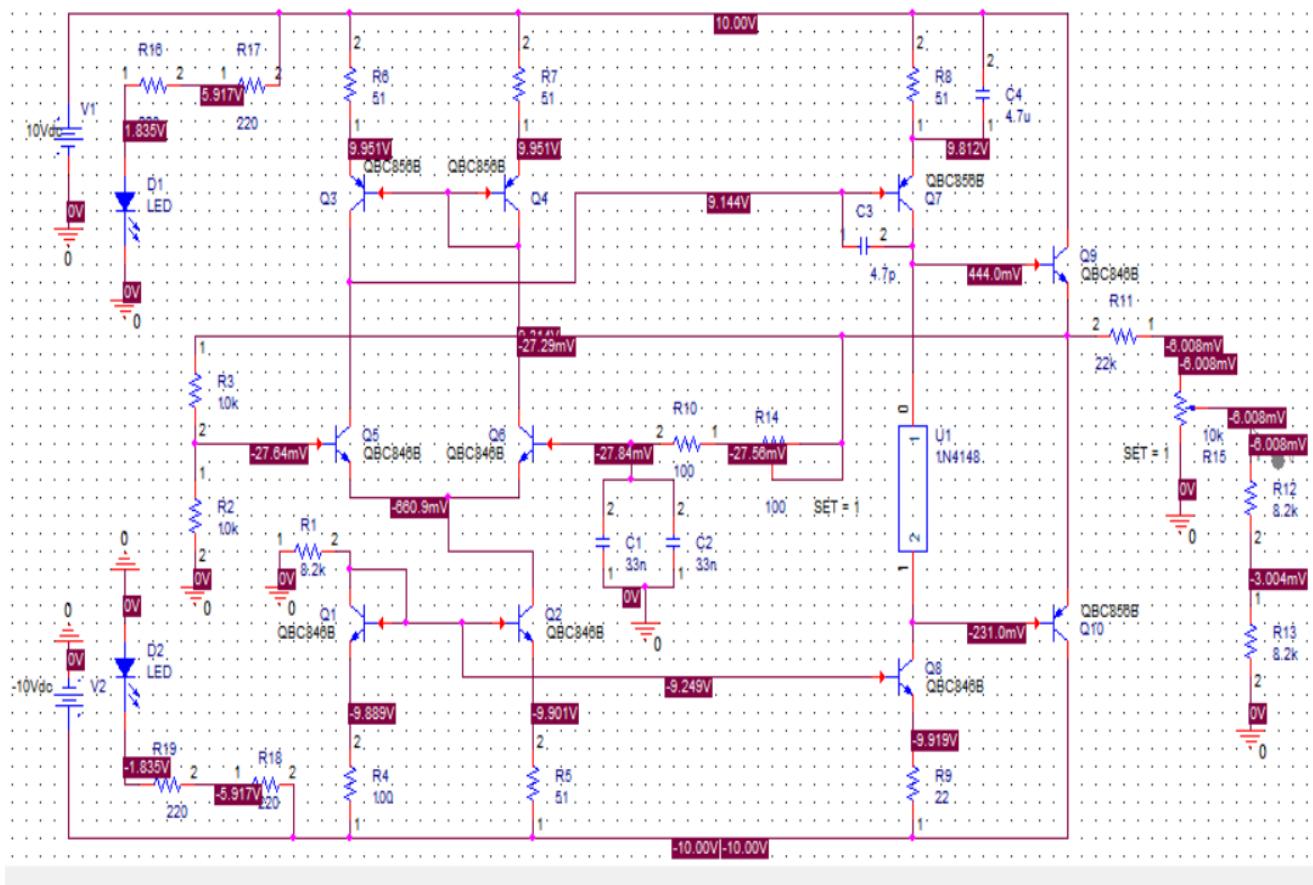
3.1.Curenti

Conform foilor de catalog al tuturor componentelor, ceea ce am obținut în simulare este sub limita curentilor maximi.



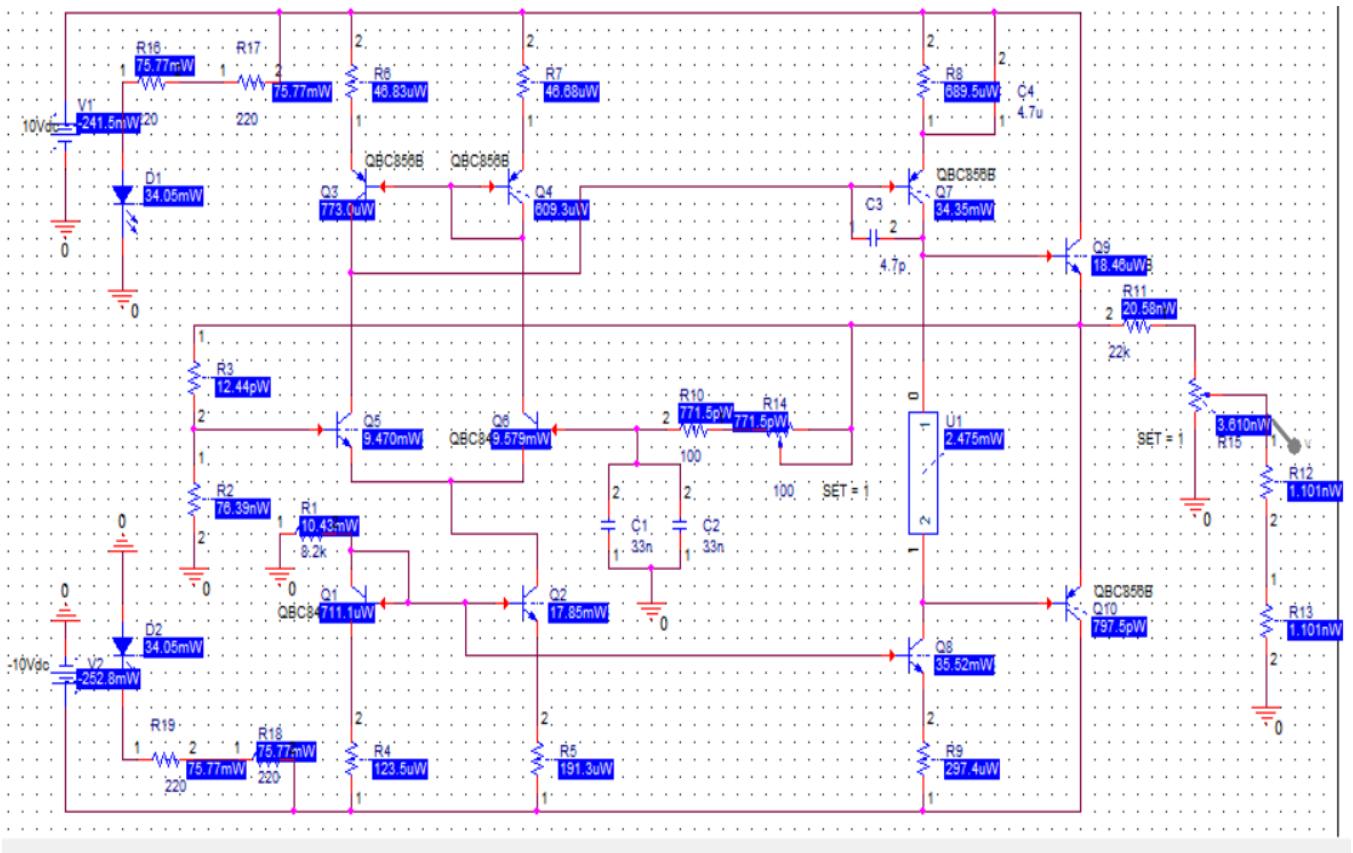
3.2.Tensiuni

Conform foilor de catalog al tuturor componentelor, ceea ce am obținut în simulare este sub limita tensiunilor maxime.



3.3.Puteri

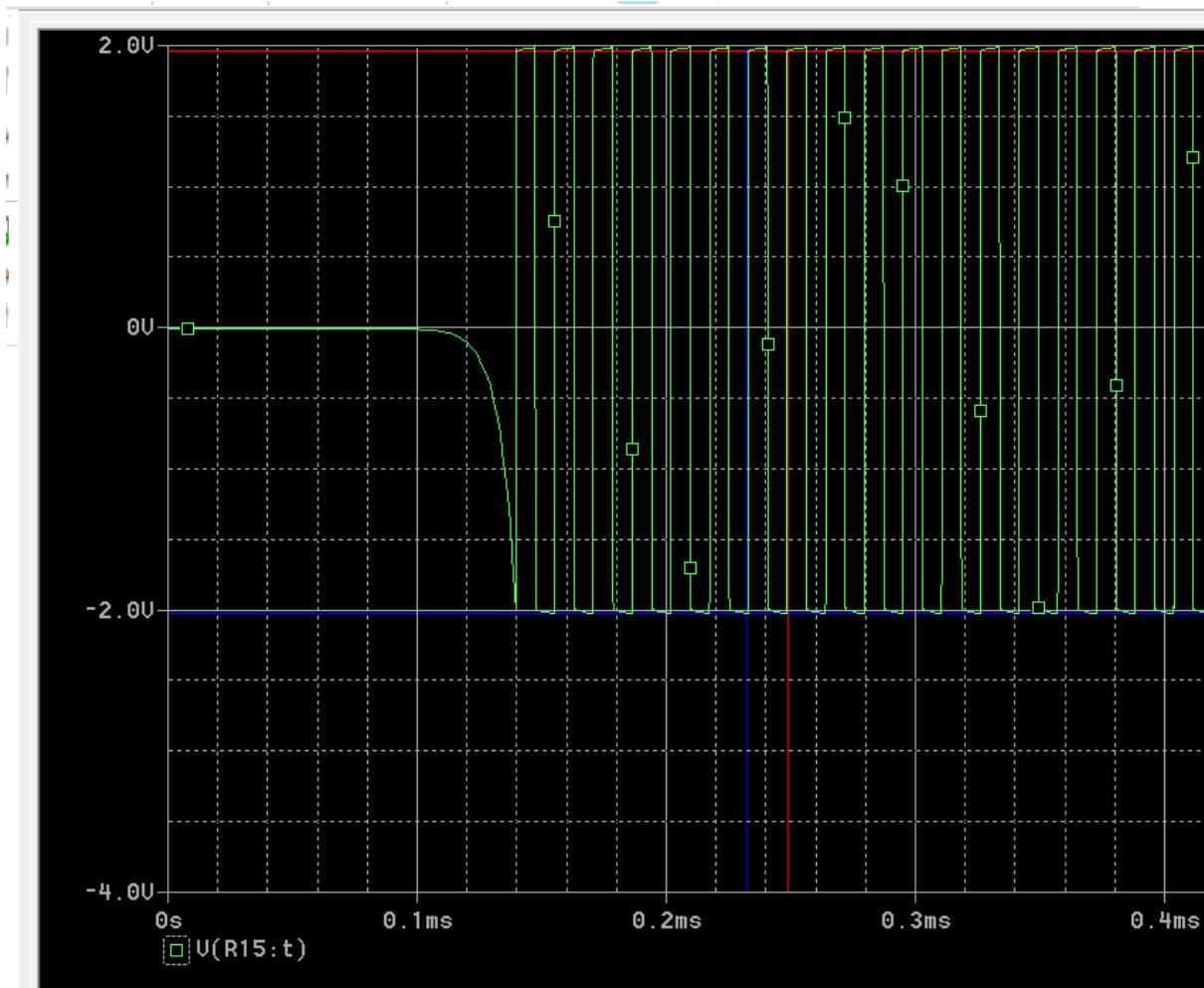
Conform foilor de catalog al tuturor componentelor, ceea ce am obținut în simulare este sub limita puterilor maxime.



3.4. R14=0 și R15=10k

$$\rightarrow f_{\max} = 1 / 16,443\text{u} = 60,816\text{kHz}$$

$$\rightarrow V_{pp} = 3,989 \text{ V}$$

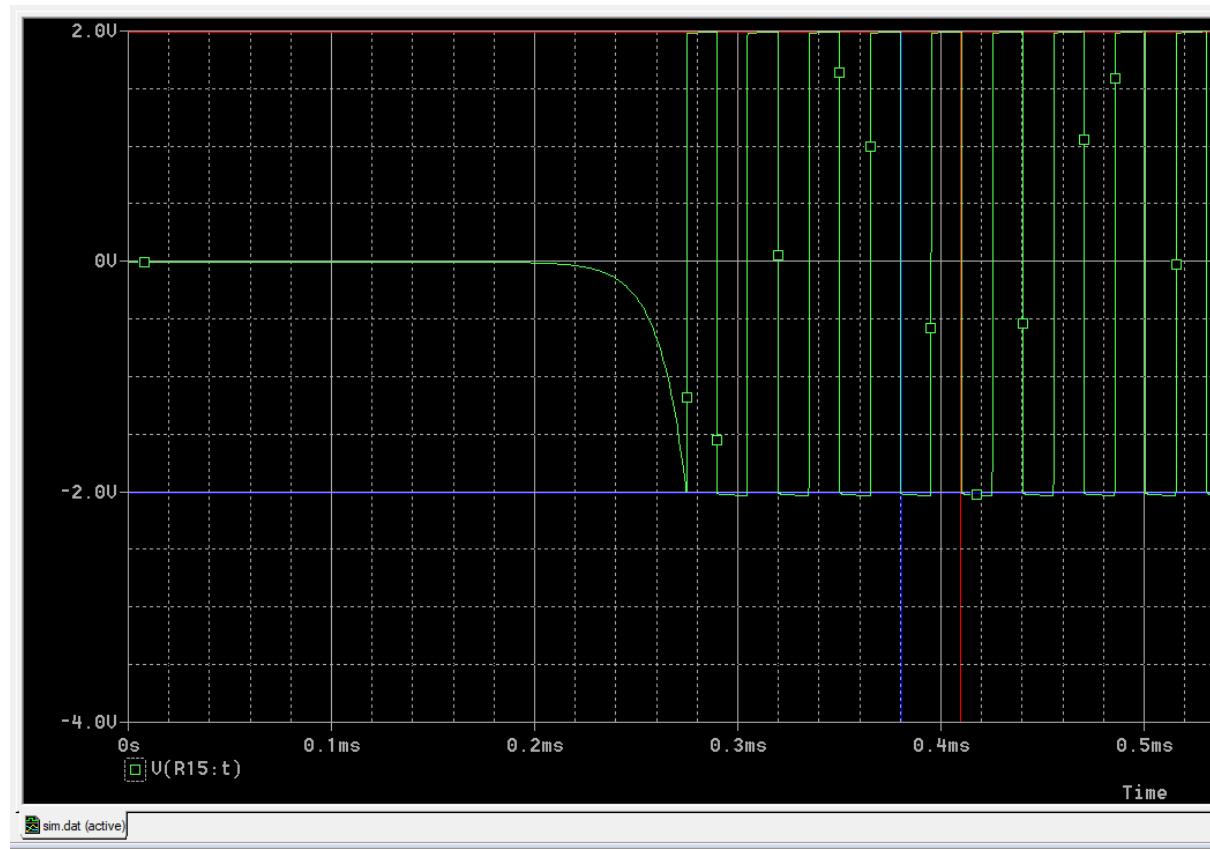


	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2		Y1(Cursor1) - Y2	
		X Values	248.902u	232.459u	16.443u		Y1 - Y1(Cursor1)	Y2
CURSOR 1,2		$V(R15:t)$	1.9648	-2.0251	3.9899		0.000	0.01

3.5. R14=100 și R15=10k

$$\rightarrow f_{min} = 1 / 28,959\mu = 34,531 \text{ kHz}$$

$$\rightarrow V_{pp} = 4,011 \text{ V}$$

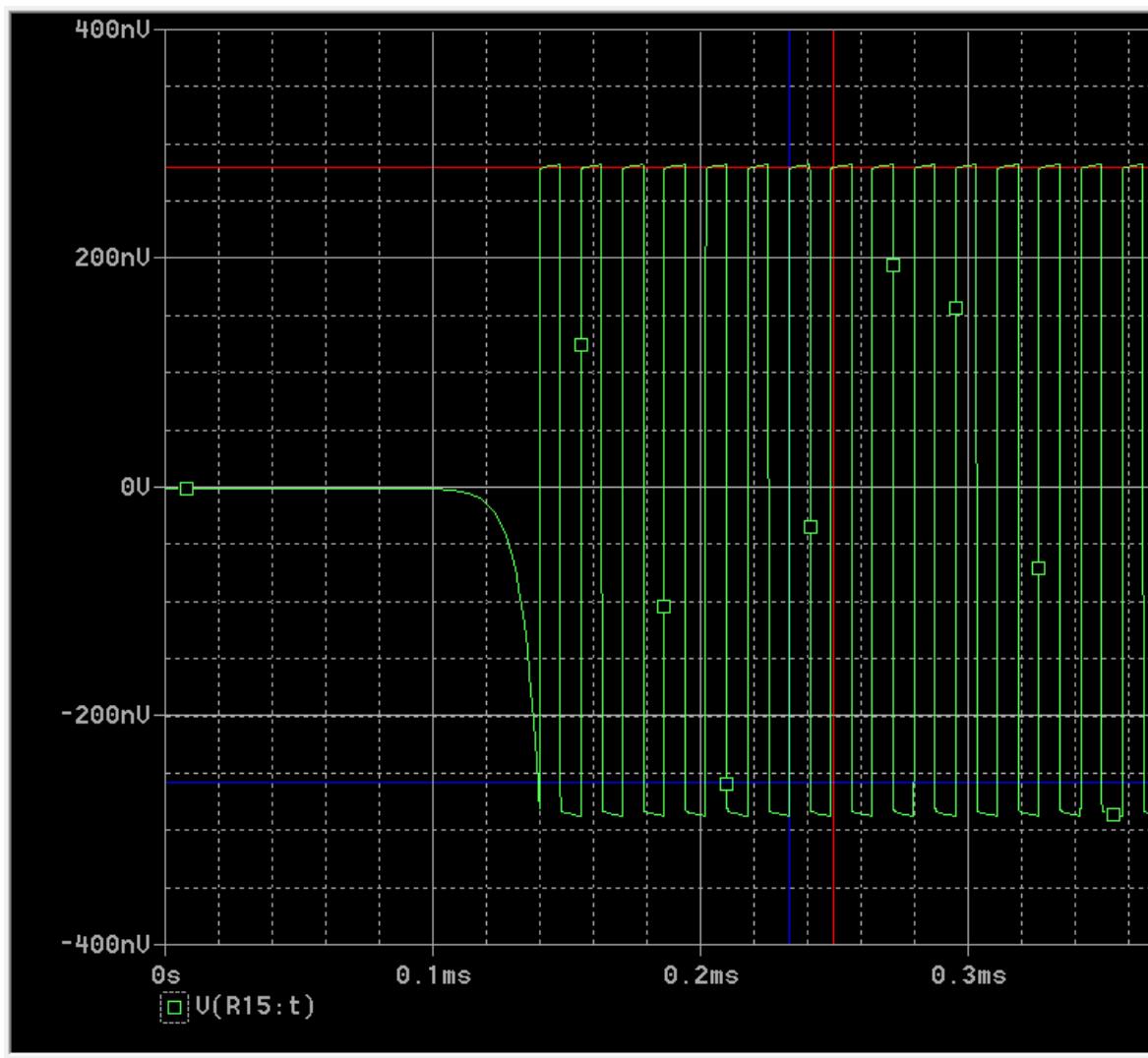


	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2		Y1(Cursor1) - Y2	
		X Values	409.659μ	380.701μ	28.959μ		Y1 - Y1(Cursor1)	Y2
CURSOR 1,2		V(R15:t)	1.9946	-2.0168	4.0114		0.000	0.00

3.5. R14=0 și R15=0

$$\rightarrow f_{\max} = 1 / 16,571\text{u} = 60,346\text{kHz}$$

$$\rightarrow V_{pp} = 537 \text{ nV}$$

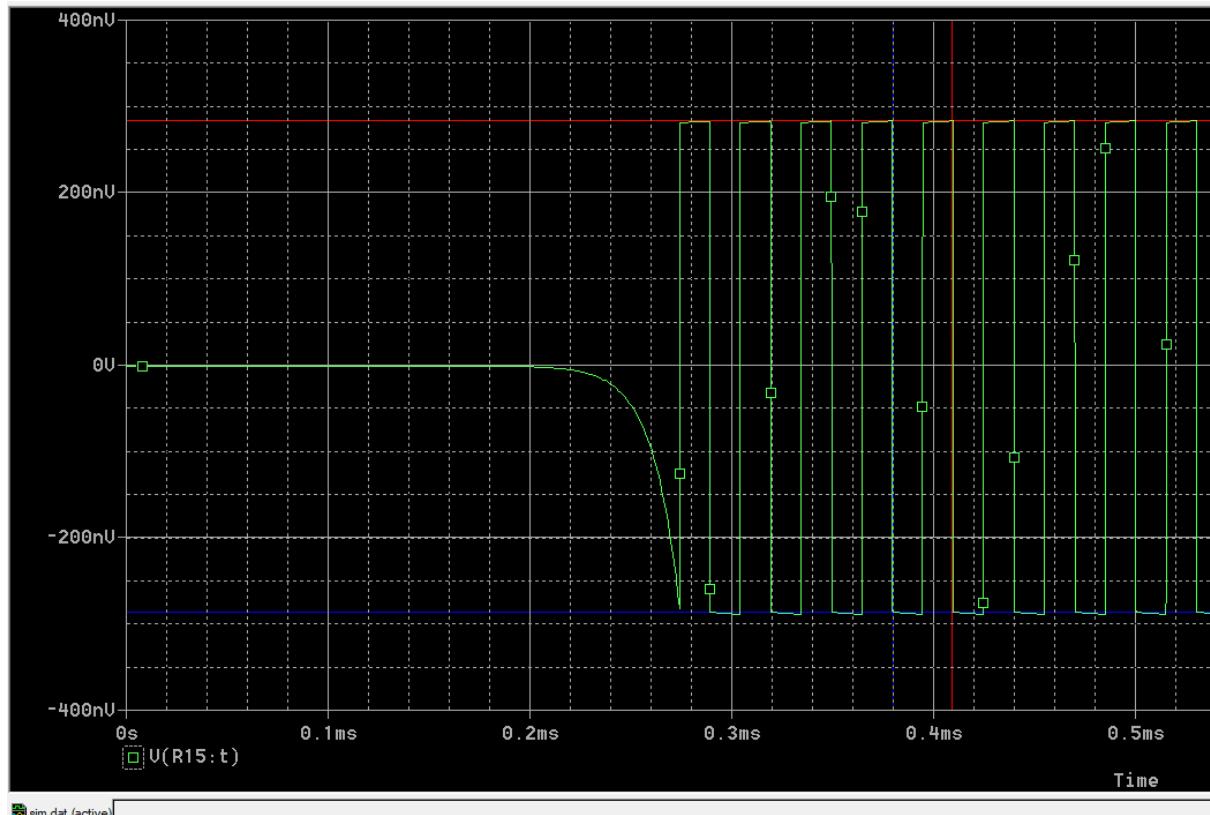


	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2		Y1(Cursor1) - 1	
		X Values	249.714u	233.143u	16.571u		Y1 - Y1(Cursor1)	Y
CURSOR 1,2	V(R15:t)		279.251n	-258.194n	537.445n		0.000	0

3.5. R14=100 și R15=0

$$\rightarrow f_{min} = 1 / 29,080\text{u} = 34,387\text{kHz}$$

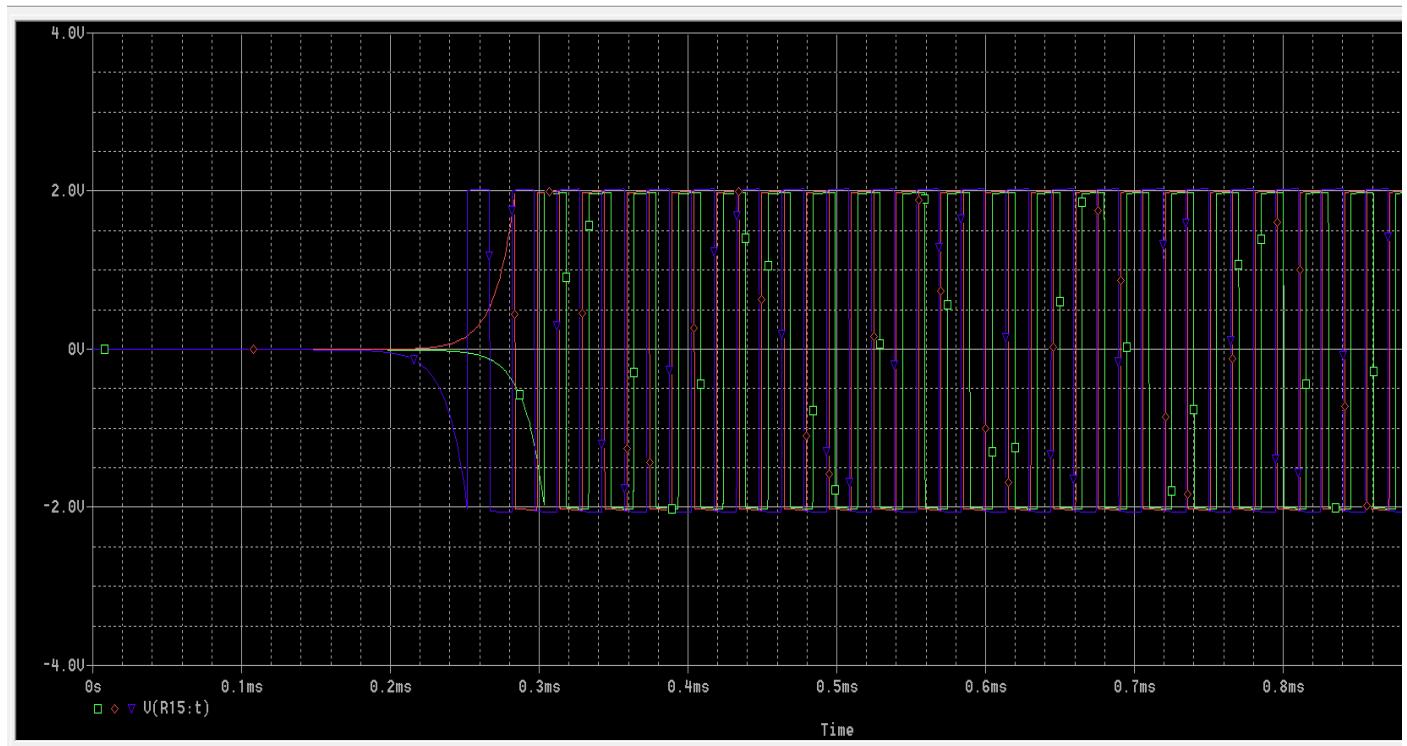
$$\rightarrow V_{pp} = 569 \text{ nV}$$



	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2		Y1(Cursor1) - Y2	
		X Values	409.201u	380.120u	29.080u		Y1 - Y1(Cursor1)	Y2
CURSOR 1,2	V(R15:t)		283.102n	-286.116n	569.217n		0.000	0

3.6.Temperatură

Am simulațat funcționarea circuitului la temperaturile -20, 25, 120 grade Celsius, toate componentele funcționând normal în acest interval de temperatură.

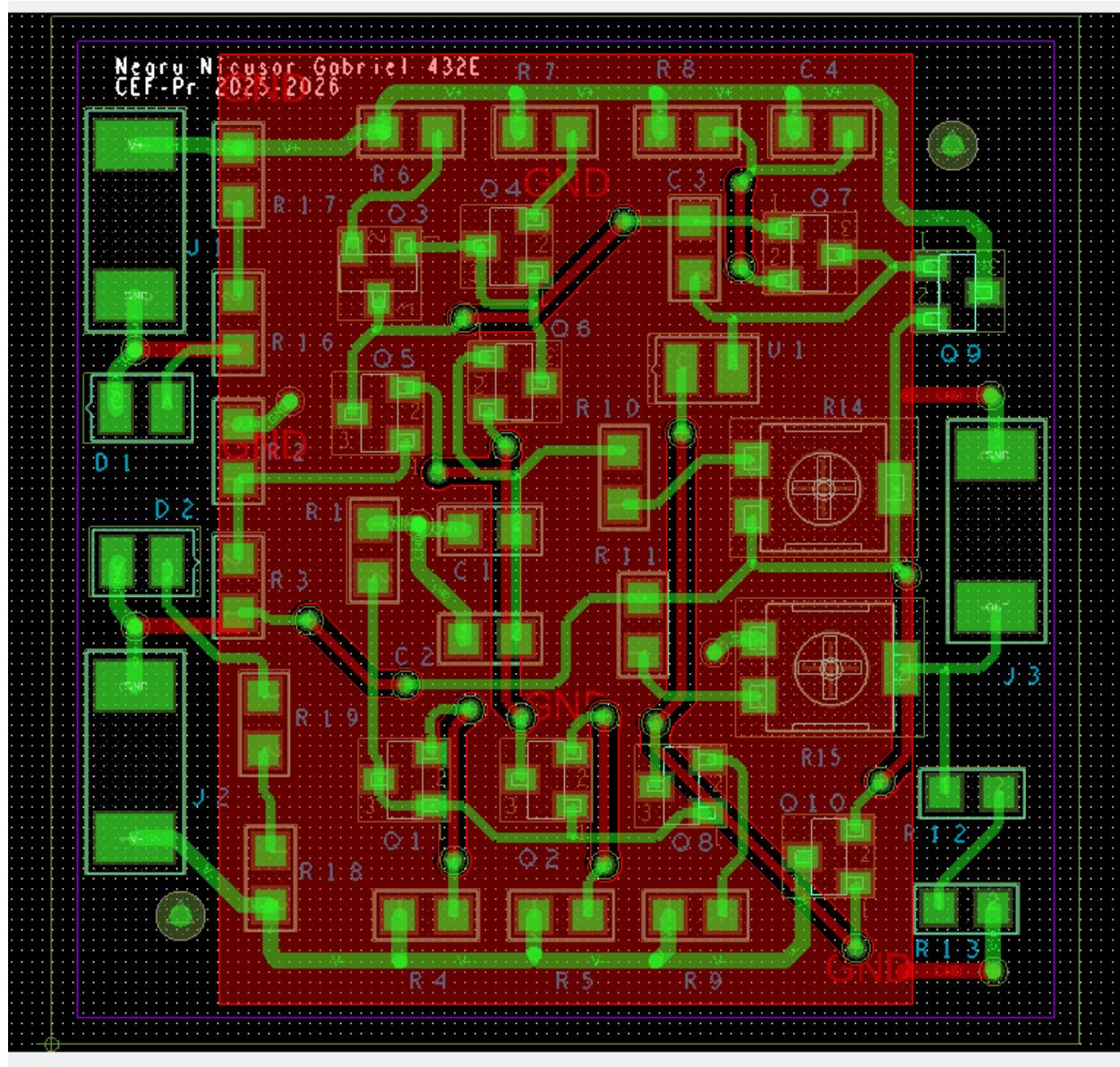


4.BOM

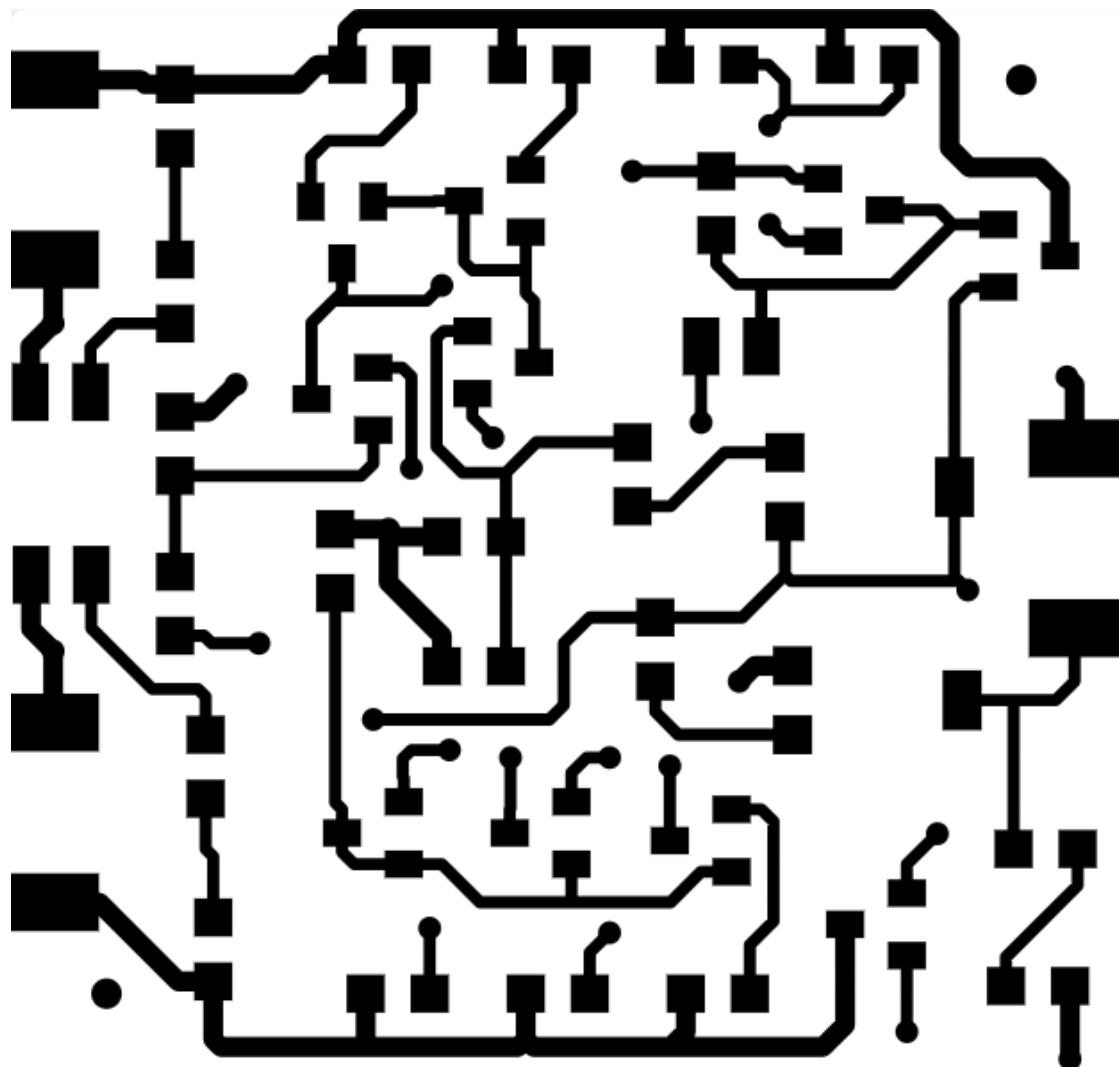
Nr. Crt.	Nume	Catalog	Cod distrib	Nume prod	Prod	Clasă	Qty fix	Qty final	Qty min	Descriere	Distribuitor	Pret (fara TVA) referinta /buc. TME Români	Pret total pe reper (fara TVA)
1	22	(LINK)	SMD0805-22R-1%	0805S8F220JT5E	ROYAL OHM	rezistor	20		1	Rezistor SMD, chip, 0805, 22Ω, ±1%, 0.125W	TME România	0,03041	0,6082
2	51	(LINK)	SMD0805-51R-1%	0805S8F510JT5E	ROYAL OHM	rezistor	40		4	Rezistor SMD, chip, 0805, 51Ω, ±1%, 0.125W	TME România	0,03041	1,2164
3	100	(LINK)	SMD0805-100R-1%	0805S8F100JT5E	ROYAL OHM	rezistor	60		2	Rezistor SMD, chip, 0805, 100Ω, ±1%, 0.125W	TME România	0,03041	1,8246
4	220	(LINK)	SMD0805-220R-1%	0805S8F220JT5E	ROYAL OHM	rezistor	30		4	Rezistor SMD, chip, 0805, 220Ω, ±1%, 0.125W	TME România	0,03041	0,9123
5	8.2k	(LINK)	SMD0805-8K2-5%	0805S8J0822T5E	ROYAL OHM	rezistor	30		3	Rezistor SMD, chip, 0805, 8.2kΩ, ±1%, 0.125W	TME România	0,03041	0,9123
6	10k	(LINK)	SMD0805-10K-1%	0805S8F1002T5E	ROYAL OHM	rezistor	100		2	Rezistor SMD, chip, 0805, 10kΩ, ±1%, 0.125W	TME România	0,03041	3,041
7	22k	(LINK)	SMD0805-22K-1%	0805S8F2202T5E	ROYAL OHM	rezistor	30		1	Rezistor SMD, chip, 0805, 22kΩ, ±1%, 0.125W	TME România	0,03041	0,9123
8	100ohm	(LINK)	1804GSMD100R	1804GSMD100R	SR PASSIVES	potențiometru	15		1	Potențiometru-tru liniar, simplă tură, SMD, 100Ω, ±10%, 100ppm/°C, 0.25W	TME România	2,4015	36,0225
9	10k	(LINK)	TS53YL103MR10	TS53YL103MR10	VISHAY	potențiometru	30		1	Potențiometru: de montare; singură tură; 10kΩ; 250mW; SMD; ±20%	TME România	2,4015	72,045
10	4.7pF	(LINK)	CC0805CRNPO9BN4R7	CC0805CRNPO9BN4R7	YAGEO	condensator	15		1	ceramic; MLCC; 4,7pF; 50V; C0G; ±0,25pF; SMD; 0805	TME România	0,0409	0,6135
11	33nF	(LINK)	CL21B333KBANNNC	CL21B333KBANNNC	SAMSUNG	condensator	40		2	Condensator: ceramic; MLCC; 33nF; 50V; X7R; ±10%; SMD; 0805	TME România	0,0409	1,636
12	4.7uF	(LINK)	GRM21BR72A474KA73L	GRM21BR72A474KA73L	MURATA	condensator	20		1	ceramic; MLCC; 4,7uF; 25V; X7R; ±10%; SMD; 0805	TME România	0,09963	1,9926
13	4148	(LINK)	1N4148-0805	CD4148WS(0805C)	DC Components	diodă pn	60		1	Diodă comutatie, SMD, 0805, 300mA, 100V	TME România	0,045	2,7
14	LED	(LINK)	KP-2012SRC-PRV	KP-2012SRC-PRV	Kingbright Electronic	LED	15		2	LED roșu, SMD, 0805, 100mod, 640nm, 120°	TME România	0,33109	4,96635
15	PNP	(LINK)	BC856B	BC856B	DIOTEC	tranzistor bipolar	100		4	Tranzistor bipolar PNP, SMD, SOT23, 80V, 100mA	TME România	0,0401	4,01
16	NPN	(LINK)	BC846B	BC846B	NXP	tranzistor bipolar	100		6	Tranzistor bipolar NPN, SMD, SOT23, 65V, 100mA	TME România	0,0481	4,81

5.Layout

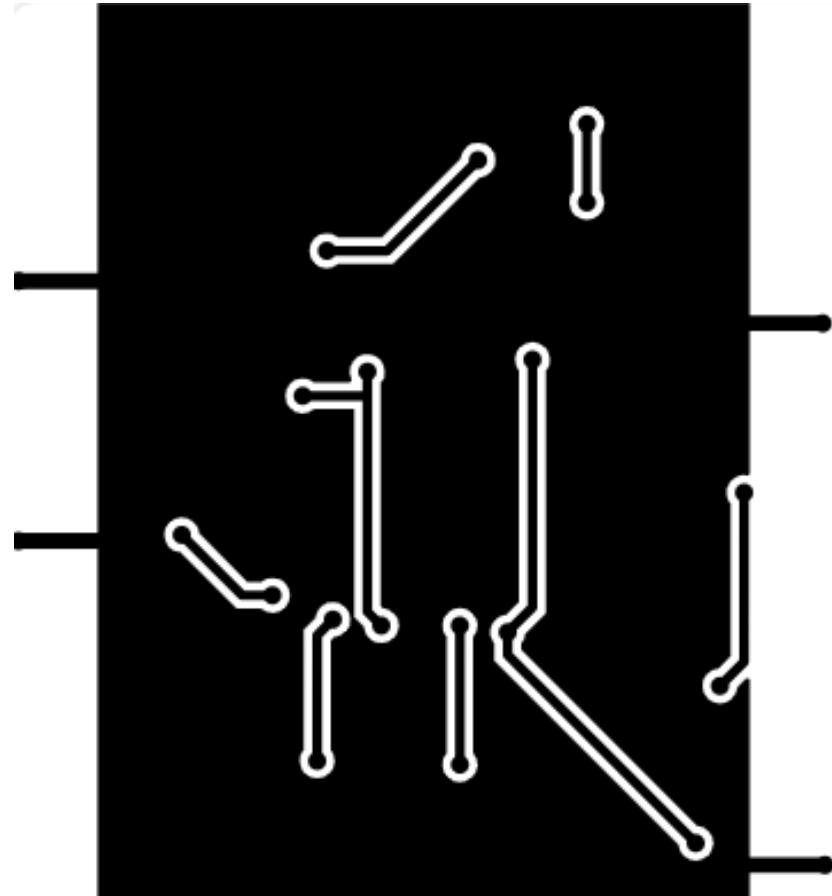
5.1.PCB design



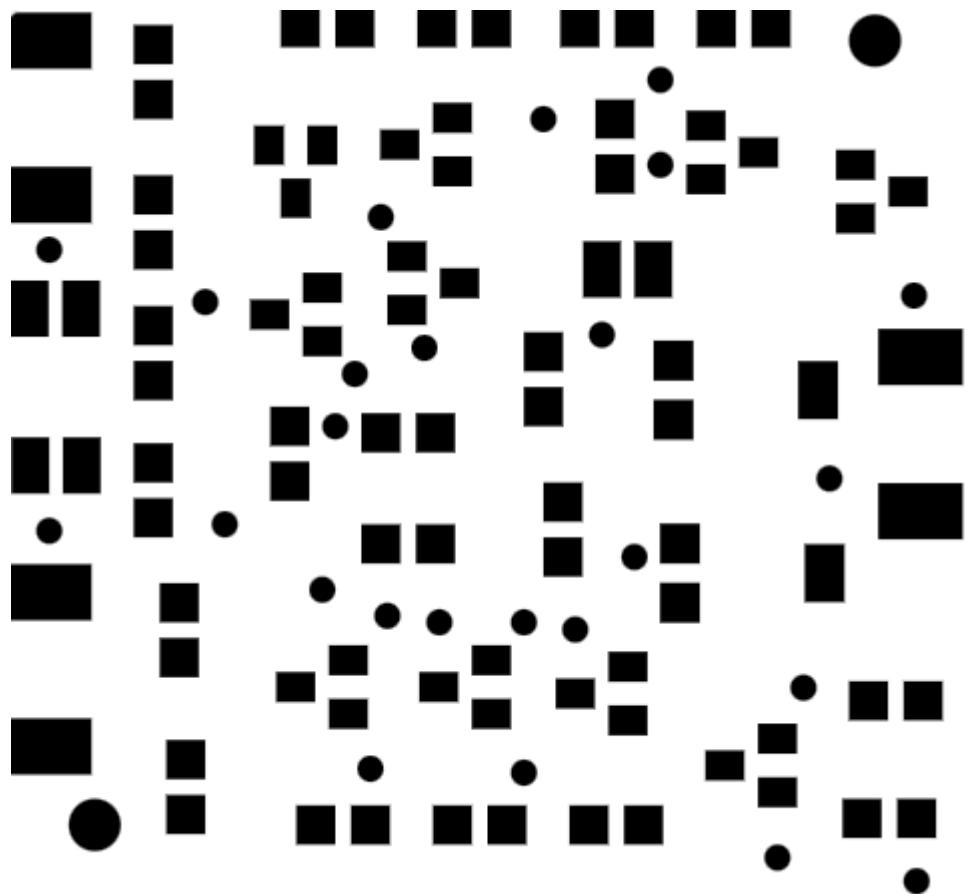
5.2.Layer electric TOP



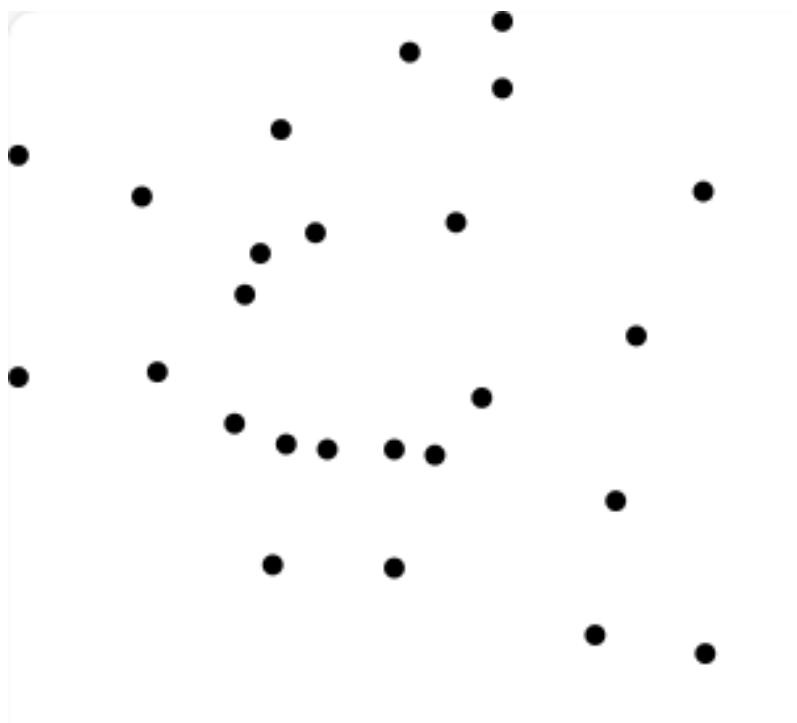
5.3.Layer electric BOTTOM



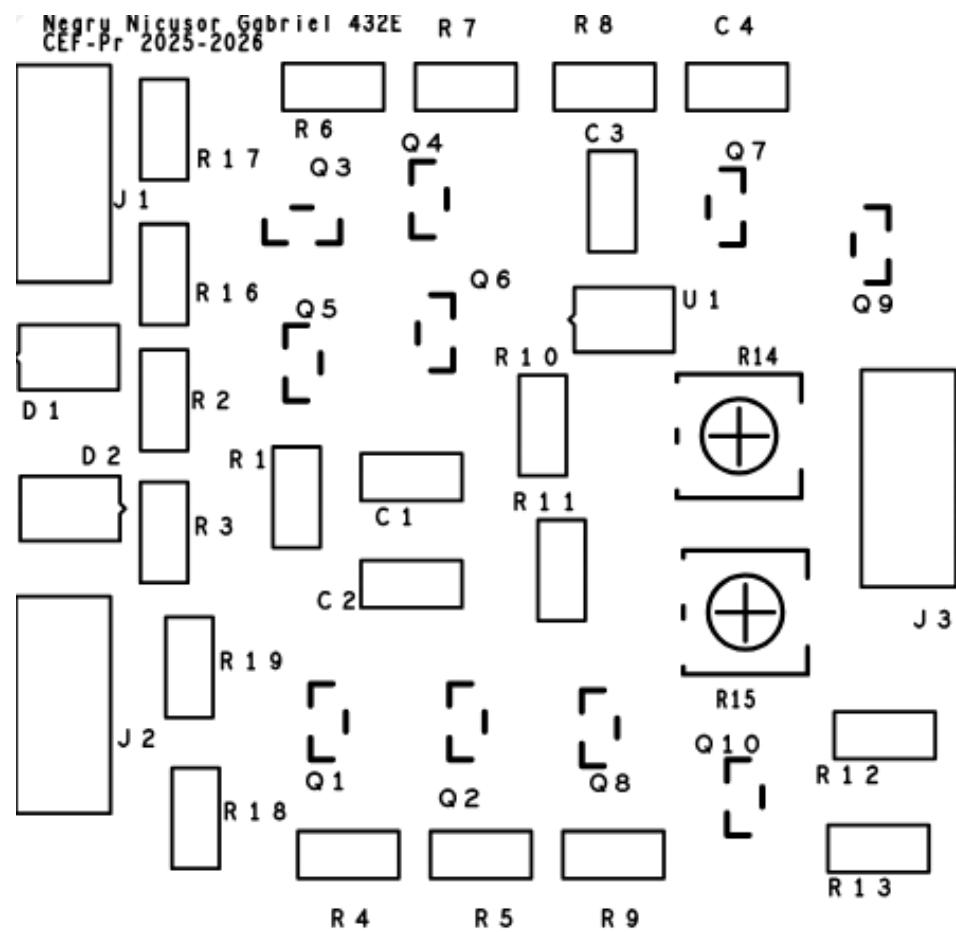
5.4.Solder Mask Top



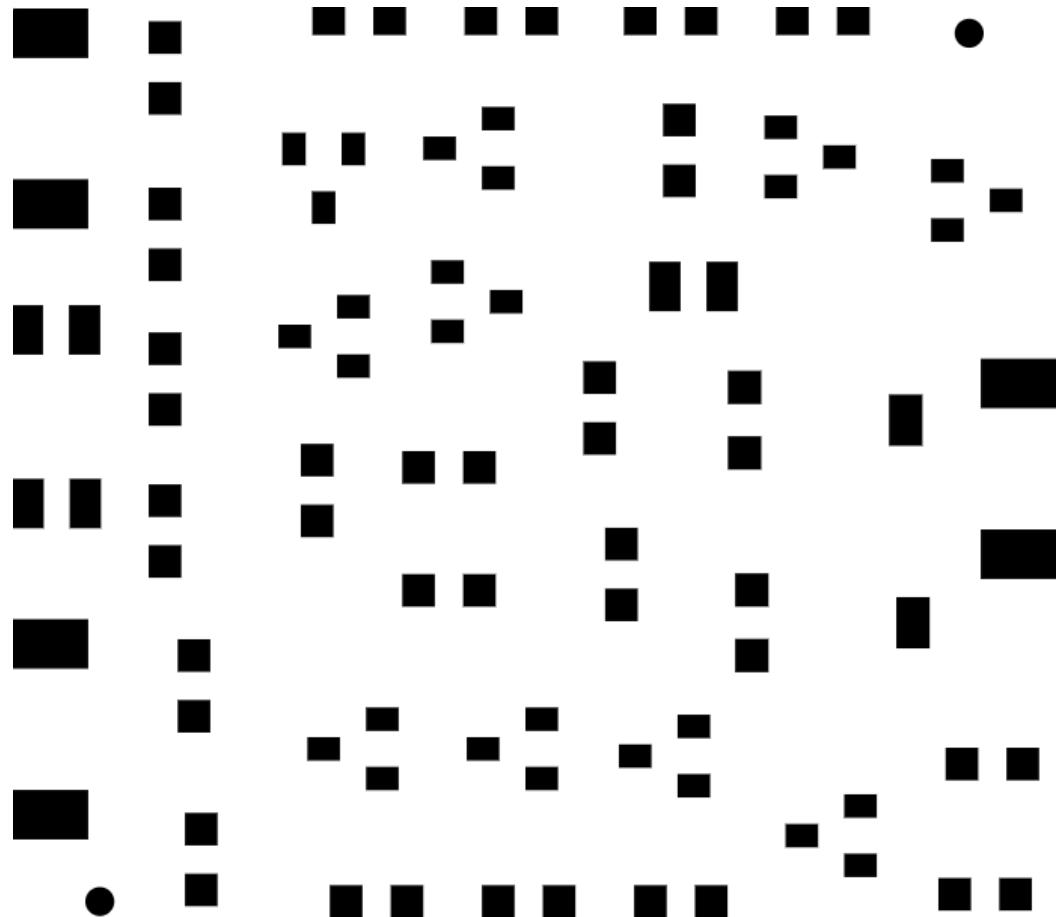
5.5.Solder Mask Bottom



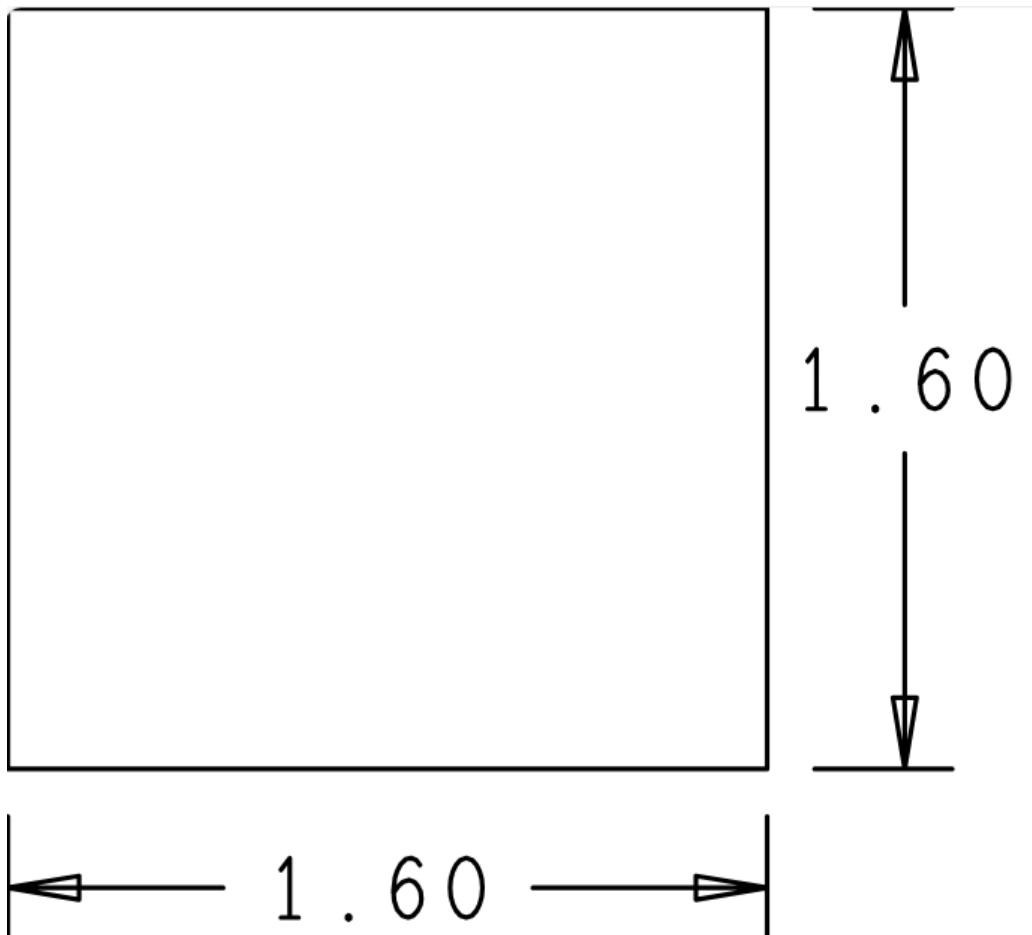
5.6.Silk Screen Top



5.7.Paste Mask Top



5.8. Board Outline



5.9.Fabrication Drawing

