

Universitatea “Politehnica” din București
Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

Proiect 1 - Dispozitive și Circuite Electronice
Oscilator de semnal dreptunghiular

Coordonator:

Conf. Dr. Ing. Florin Drăghici

Autor:

Găujăneanu Nicoleta Monica

Anul 2022-2023

Cuprins

1. Tema proiectului.....	3
2. Schema bloc.....	4
3. Schema electrică detaliată... ..	5
4. Relațiile de dimensionare	10
5. Calcul analitic	12
6. Layout.....	20

1.Tema proiectului

Tema 6 - Oscilator semnal dreptunghiular (N = 5)

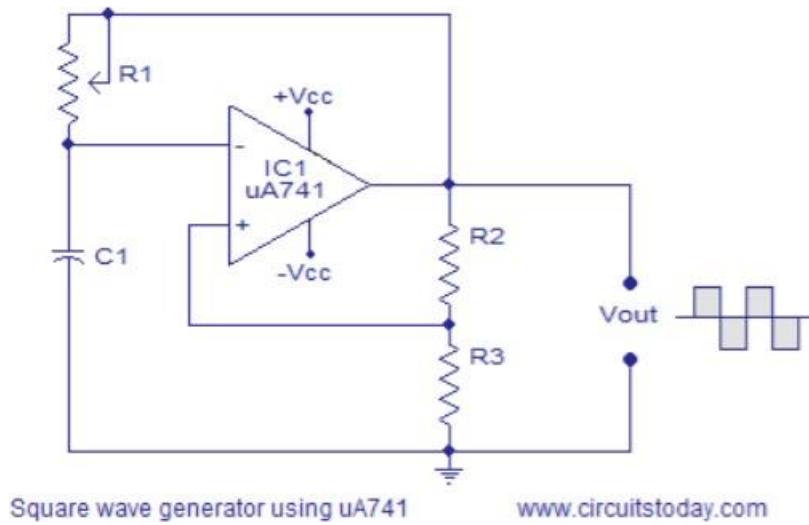
Să se proiecteze și realizeze un oscilator semnal dreptunghiular cu următoarele caracteristici:

- Frecvența de oscilație, f_o , reglabilă în intervalul: $5 \div 15$ [KHz];
- Factor de umplere: 0.5;
- Sarcina la ieșire, R_L : 5 [K Ω];
- Valoarea (vârf la vârf) a oscilației la ieșire, V_o , reglabilă în intervalul: $0 \div 1$ [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:

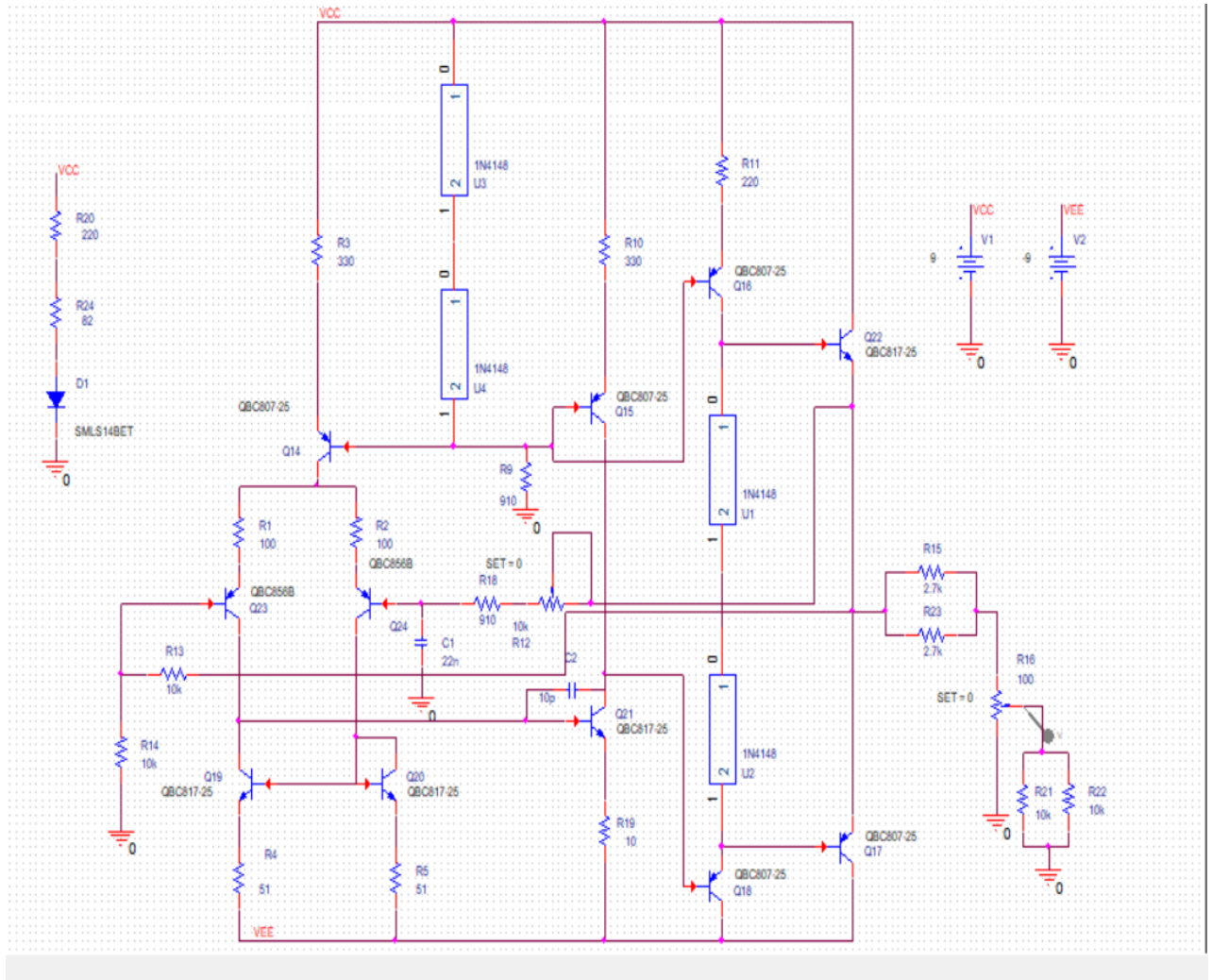
Tehnologie SMT & PCB.

2. Schema bloc

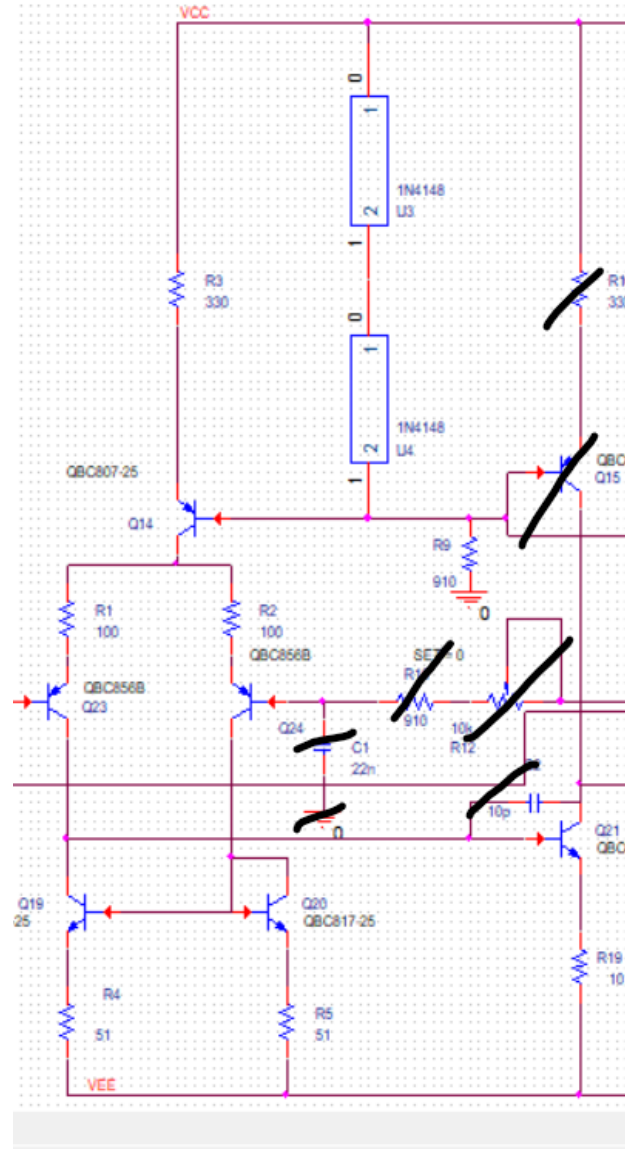


3. Schema electrică detaliată

i. Schemă electrică



- Etajul diferențial



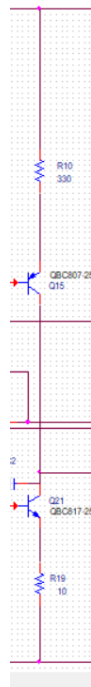
Amplificatorul diferential controlat de un generator de curent constant cu oglinda de curent – pentru a crea un diferential perfect stabil si mai putin sensibil la variatiile de temperatura am conectat tranzistorul Q14 in emitoarele tranzistoarelor Q23 si Q24, acesta alimentand diferentialul cu un curent constant. Curentul de pe cei doi emitori din diferential este suficient de stabil, astfel castigul nu sufera variatii

atunci cand se modifica alimentarea sau temperatura. Am ales aceasta configuratie pentru a reduce zgomotul si distorsiunile, in vederea cresterii CMMR-ului.

Oglinda de curent – din cauza tolerantelor rezistentelor R_1 si R_2 valorile curentilor in diferential nu mai sunt identice, ceea ce poate duce la dezechilibru si la o functionare defectoasa a amplificatorului. Tranzistoarele Q_{19} si Q_{20} sunt cele care repara aceasta diferenta de absorbtie.

Q_{23} si Q_{24} vor avea aceeasi tensiune baza-emitor iar curentii lor de colector vor fi egali, pentru a echilibra eventualele diferente de tensiune baza-emitor am utilizat doi rezistori, R_1 si R_2 , in serie cu emitorul tranzistoarelor.

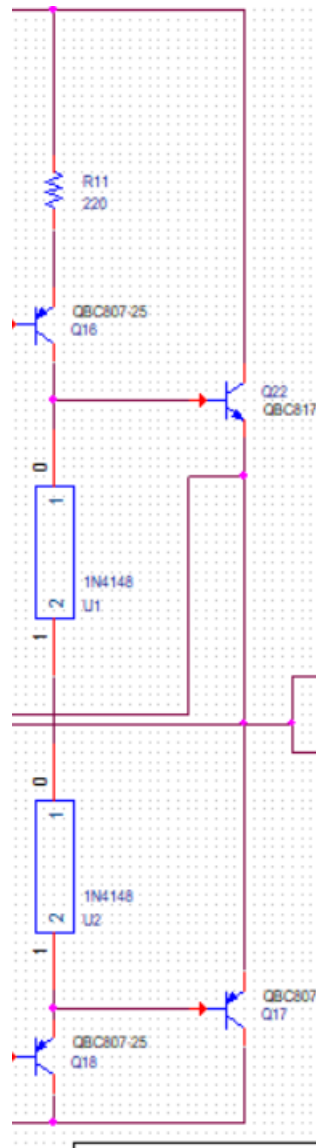
- Etajul amplificator in tensiune



Acest etaj are rolul de a transforma curentul primit de la etajul precedent intr-o tensiune de valoare mare. Etajul are o amplificare in tensiune foarte mare in bucla deschisa, de aceea este obligatoriu sa se utilizeze o bucla de reactie negativa pentru a reduce amplificarea in tensiune la o valoare utila.

Etajul este realizat cu tranzistor bipolar Q_{15} in configuratie *emitor degenerat* cu o amplificare foarte mare in tensiune. Pentru a putea comanda etajul final dorim un curent mare prin Q_{15} .

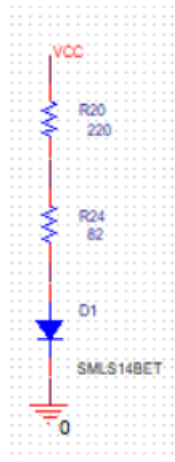
- Etajul de iesire in clasa AB



In cazul etajului AB, la tensiuni mici de intrare, ambele tranzistoare sunt in conductie. Prin variatia tensiunii de intrare, unul dintre tranzistoare conduce curenti din ce in ce mai mari, iar celalalt evolueaza lent spre blocare, astfel nu va exista domeniu al tensiunii de intrare in care si Q22 si Q17 sa fie simultan blocate, ceea ce duce la diminuarea distorsiunilor. Are loc un consum suplimentar de putere datorita polarizarii, insa curentul este suficient de mic pentru ca acest consum suplimentar sa nu conteze. Randamentul este asemanator cu cel pentru etajul in clasa B (adica mai

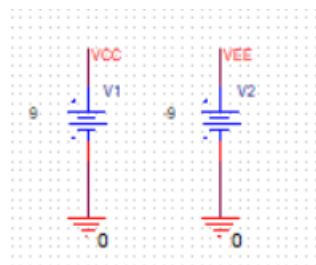
bun decat in clasa A). *Colectorul comun* Q18 repeta semnalul, rezistenta de intrare de la colectorul comun neinfluentand negativ amplificarea emitorului comun.

- LED-ul



LED-ul a fost introdus pentru a semnaliza alimentarea circuitului. Conform foi de catalog tensiunea admisa este de 3.2 V iar curentul pentru care aceasta se aprinde este aproximativ 20 mA. Am inseriat LED-ul cu o grupare serie de rezistente R_{20} si R_{24} de 302 Ω astfel incat pe dioda sa cada o tensiune apropiata de 3.2V iar curentul sa fie de cel putin 18 mA ca LED-ul sa se aprinda. Conform simularii, tensiunea pe LED este 3.166V si curentul prin el este 19.31 mA.

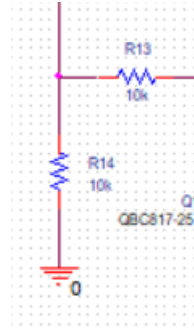
- Sursa de alimentare



Am ales o sursa de alimentare simetrica de ± 9 astfel incat sa fie mai mare decat tensiunile de pe fiecare ramura. La o tensiune de alimentare mai mica, unele tranzistoare ar fi putut intra in zona de saturatie. Este o alimentare des folosita.

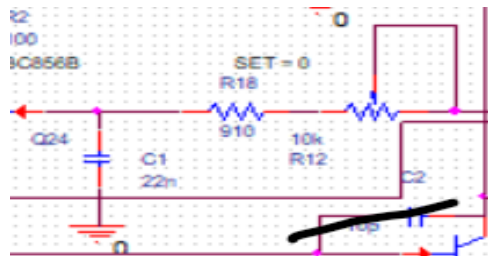
4. Relațiile de dimensionare

i. Factorul de umplere



Factorul de umplere τ este determinat de divizorul rezistiv $R_3 - R_4$ și acesta este egal cu $R_{14}/(R_{14} + R_{13})$. Având în vedere că τ trebuie să fie 0.5, se ia $R_{14} = R_{13}$. R_{14} și R_{14} au fost luate cu valoarea de 10 k Ω , deoarece din simulări am observat că semnalul îndeplinește condițiile de proiectare.

ii. Frecvența de oscilație



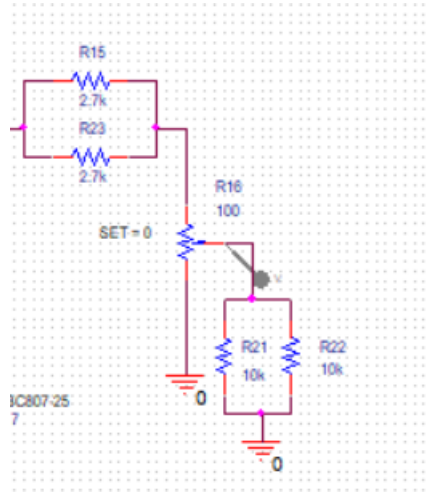
Frecvența de oscilație este determinată de rețeaua RC formată din R_{18} , potențiometrul R_{12} și C_1 . Am folosit formula specifică oscilatorului de relaxare :

$$T = 2 * R_e * C_1 * \ln[(1 + \tau)/(1 - \tau)] ; \quad \tau = 0.5 \Rightarrow T = 2.2 * R_e * C_1.$$

Alegând $C_1 = 22$ nF, rezistențele $R_{18} = 910 \Omega$ și potențiometrul $R_{12} = 10$ k Ω se obține $f_{\min} = 1.88$ kHz pentru R_{12} la 10 k Ω și $f_{\max} = 22.17$ kHz pentru R_{12} la 0.

În simulări se obține $f_{\min} \approx 1.903$ kHz și $f_{\max} \approx 22.11$ kHz, valori care cuprind intervalul [5, 15] kHz.

iii. Amplitudinea vârf-la-vârf



Amplitudinea varf-la-varf este determinata de divizorul de tensiune $R_{15} \parallel R_{23}$ (R_e) si potentiometrul R_{16} .

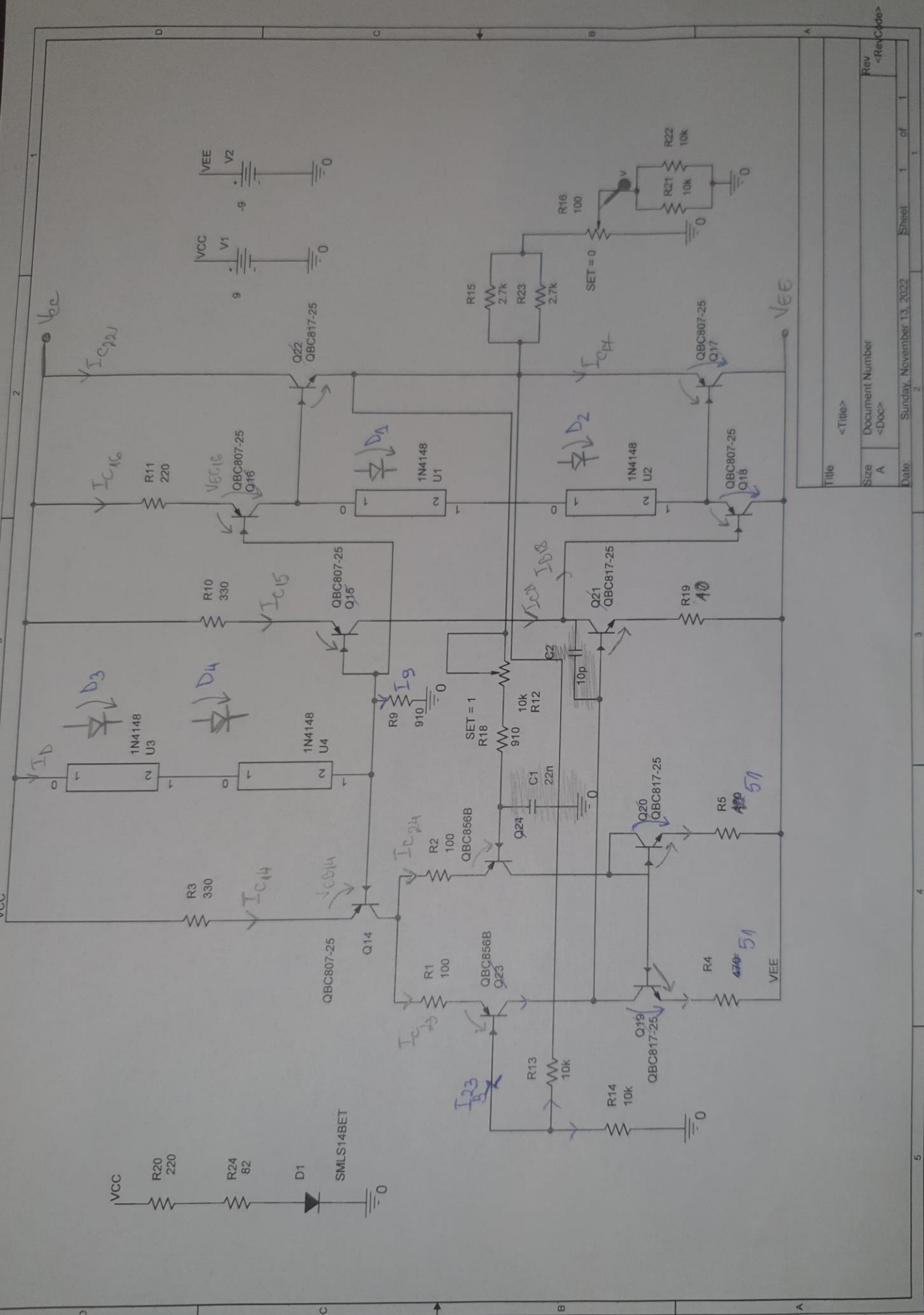
Am folosit relatia $V_o = V_i \cdot R_{16} / (R_e + R_{16})$.

$$V_o = V_i \cdot \frac{R_{16}}{R_{16} + R_e}$$

$$0,5 = 9 \cdot \frac{R_{16}}{R_{16} + R_e} \Rightarrow \frac{R_{16}}{R_{16} + R_e} = \frac{1}{18} \Rightarrow \frac{R_{16}}{R_e} = \frac{18}{17} \approx 0,6$$

În urma simulărilor am găsit $R_e \approx 1,35K\Omega$
 $R_{16} \approx 100\Omega$

* denșimea de alimentare trebuia folosită în colțul cu o valoare mai mică, deoarece o parte din ea se distribuie pe componente (oare zgomet)



Calcul analitic

Presupunem toate tranzistoarele în RAN, toate diodele în conductie cu $V_D \approx 0,7V$

$$I_{C14} \cdot R_3 + V_{EB14} - 2V_D = 0 \Rightarrow I_{C14} = \frac{2V_D - V_{EB14}}{R_3} =$$
$$= \frac{0,8}{0,33} = 2,42 \text{ mA} \Rightarrow \boxed{I_{C14} = 2,42 \text{ mA}}$$

$$I_{C23} = I_{C24} = \frac{I_{C14}}{2} = 1,21 \text{ mA} \Rightarrow \boxed{I_{C23} = I_{C24} = 1,21 \text{ mA}}$$

$$I_{C15} \cdot R_{10} + \cancel{V_{EB15}} - \cancel{V_{EB14}} - I_{C14} \cdot R_3 = 0 \Rightarrow I_{C15} = \frac{R_3}{R_{10}} \cdot I_{C14} =$$
$$= \frac{0,33}{0,33} \cdot 2,42 \Rightarrow \boxed{I_{C15} = 2,42 \text{ mA}}$$

$$I_{C16} \cdot R_{11} + \cancel{V_{EC16}} - \cancel{V_{EC15}} - I_{C15} \cdot R_{10} = 0 \Rightarrow I_{C16} = \frac{R_{10}}{R_{11}} \cdot I_{C15} =$$
$$= \frac{0,33}{0,22} \cdot 2,42 = \frac{3}{2} \cdot 2,42 \Rightarrow \boxed{I_{C16} = 3,63 \text{ mA}}$$

$$-V_{CC} + R_{10} \cdot I_{C15} + V_{EB15} + I_g \cdot R_g = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_g = \frac{9 - 0,33 \cdot 2,42 - 0,6}{0,91} = \frac{7,601}{0,91} \Rightarrow \boxed{I_g = 8,35 \text{ mA}}$$

$$\left. \begin{aligned} I_{C23} &= I_{C19} + I_{B21} \\ \beta_{Q21} &= 250 \Rightarrow I_B \simeq 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \boxed{I_{C19} = 1,21 \text{ mA}}$$

$$\boxed{I_{C20} = 1,21 \text{ mA}}$$

$$I_{C21} = I_{C15} \Rightarrow \boxed{I_{C21} = 2,42 \text{ mA}}$$

$$V_{CE19} + I_{C19} \cdot R_4 - I_{C21} \cdot R_{19} - V_{BE21} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{CE19} = 0,6 + 2,42 \cdot 0,041 - 1,21 \cdot 0,10 =$$

$$= 0,6 + 0,244 - 0,121 = 0,723 \text{ V} \Rightarrow V_{CE19} = 0,723 \text{ V}$$

$$V_{CE} > |V_{BE}| \Rightarrow Q_{19} \text{ în RAN}$$

$$V_{CE20} + V_{EB20} + \underbrace{V_{DB20}}_0 = 0 \Rightarrow V_{CE20} = V_{BE20} \Rightarrow \boxed{V_{CE20} = 0,6 \text{ V}}$$

$$V_{CE20} > V_{BE20} \Rightarrow Q_{20} \text{ la limita RAN}$$

~~Q23 în RAN~~
~~Q23 în RAN~~
~~Q23 în RAN~~

$$V_{EC18} - V_{EC17} + V_{EB17} = 0 \Rightarrow \boxed{V_{EC18} = V_{EC17} - 0,6}$$

$$-V_{CC} + I_{C16} \cdot R_{11} + V_{EC16} + V_{BE22} + V_{EC17} + V_{EE} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{EC16} = 9 - (-9) - 3,63 \cdot 0,22 - 0,6 - V_{EC17} = 16,6 - V_{EC17}}$$

$$Q_{23} \rightarrow QBC\ 856B \Rightarrow \beta = 290 \quad (h_{FE} \text{ data value})$$

$$I_{B23} = \frac{I_{E23}}{\beta} = \frac{1,21}{290} = 4,17 \mu A \Rightarrow \boxed{I_{B23} = 4,17 \mu A}$$

$$I_{R13} + I_{R14} = I_{B23} \Rightarrow I_{R13} + I_{R14} = 4,17 \mu A$$

$$-V_{EE} - V_{EC17} - \underbrace{I_{R13} \cdot R_{13}}_{\text{negl.}} + \underbrace{I_{R14} \cdot R_{14}}_{\text{negl.}} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{EC17} \simeq -V_{EE} \Rightarrow \boxed{V_{EC17} \simeq 9V}$$

$$V_{EC17} > V_{EB17} \Rightarrow \boxed{Q_{17} \text{ in RAN.}}$$

$$V_{EC18} = V_{EC17} - 0,6 \Rightarrow \boxed{V_{EC18} = 8,4V} \Rightarrow V_{EC18} > V_{EB18} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_{18} \text{ in RAN.}}$$

$$V_{EC16} = 16,6 - V_{EC17} \Rightarrow \boxed{V_{EC16} = 7,6V} \Rightarrow V_{EC16} > V_{EB16} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_{16} \text{ in RAN.}}$$

$$-V_{CC} + V_{CE22} + V_{EC17} + V_{EE} = 0 \Rightarrow V_{CE22} = V_{CC} - V_{EE} - V_{EC17} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{CE22} = 9 - (-9) - 9 = 9V \Rightarrow \boxed{V_{CE22} = 9V}$$

$$V_{CE22} > V_{BE22} \Rightarrow \boxed{Q_{22} \text{ in RAN.}}$$

$$-V_{EE} - V_{EC17} + V_{EB17} + V_{EB18} + V_{CE21} + I_{21} \cdot R_{19} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{CE21} = V_{EC17} - V_{EB17} - V_{EB18} - I_{C21} \cdot R_{19} = 9 - 1,2 -$$

$$- 2,42 \cdot 0,01 \Rightarrow \boxed{V_{CE21} = 7,775V} \Rightarrow V_{CE21} > V_{BE21} \Rightarrow$$

$\Rightarrow Q_{21}$ în RAN

$$-V_{CC} + I_{E15} \cdot R_{10} + V_{EE15} + V_{CE21} \cdot I_{C21} \cdot R_{19} + V_{EE} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{EC15} = V_{CC} - V_{EE} - I_{E15} \cdot R_{10} - V_{CE21} \cdot I_{C21} \cdot R_{19} =$$

$$= 9 - (-9) - 2,42 \cdot 0,33 - 7,775 - 2,42 \cdot 0,01 =$$

$$= 18 - 0,7986 - 7,775 - 0,0242 \Rightarrow \boxed{V_{EC15} = 9,4V} \Rightarrow$$

$\Rightarrow V_{EC15} > V_{EB15} \Rightarrow Q_{15}$ în RAN.

$$-V_{CC} + I_{C14} \cdot R_3 + V_{EC14} + I_{C23} \cdot R_1 + V_{EB23} + \underbrace{I_{R14} \cdot R_{14}}_{\text{negl.}} = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{EC14} = 9 - 2,42 \cdot 0,33 - 1,21 \cdot 0,1 - 0,6 =$$

$$= 9 - 0,7986 - 0,121 - 0,6 \Rightarrow \boxed{V_{EC14} = 7,48V} \Rightarrow V_{EC14} > V_{EB14} \Rightarrow$$

$\Rightarrow Q_{14}$ în RAN

$$-V_{CC} + I_{E14} \cdot R_{13} + V_{EC14} + I_{C23} \cdot R_1 + V_{EC23} + V_{CE19} + I_{E19} \cdot R_4 +$$

$$+ V_{EE} = 0 \Rightarrow V_{EC23} = 9 + 9 - 2,42 \cdot 0,33 - 7,48 - 1,21 \cdot 0,1 -$$

$$- 0,782 - 1,21 \cdot 0,051 = 18 - 0,7986 - 7,48 - 0,121 - 0,782 - 0,061$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{EC23} = 8,75V} \Rightarrow V_{EC23} > V_{EB23} \Rightarrow Q_{23}$$

la fel și pt Q_{24} în RAN

$$I_{B24} = \frac{I_{C24}}{\beta} \quad \left. \vphantom{I_{B24}} \right\} \Rightarrow I_{B24} = \frac{1,21}{290} = 4,17 \mu A = I_{B23}$$

$$Q_{24} = QBC856 \Rightarrow \boxed{\beta = 290}$$

$$I_{B14} = \frac{I_{C14}}{\beta} \quad \left. \vphantom{I_{B14}} \right\} \Rightarrow I_{B14} = \frac{2,42}{250} = 9,68 \mu A$$

$$Q_{14} = QBC807-27 \Rightarrow \boxed{\beta = 250}$$

$$I_{B19} = \frac{I_{C19}}{\beta} = \frac{1,21}{250} = 4,84 \mu A$$

$$I_{B21} = \frac{I_{C21}}{\beta} = \frac{I_{C15}}{\beta} = I_{B15} = \frac{2,42}{250} = 9,68 \mu A \dots$$

Calcul putorii tranz.

$$P_{Q23} = V_{CE23} \cdot I_{C23} = 8,75 \cdot 1,21 = 10,58 \text{ mW} \quad \text{simulator } 11,27 \text{ mW}$$

$$P_{Q24} = 10,58 \text{ mW} \quad \text{simulator } 11,25 \text{ mW}$$

$$P_{Q19} = V_{CE19} \cdot I_{C19} = 0,782 \cdot 1,21 = 846 \mu W \quad 728 \mu W \text{ pe simulator}$$

$$P_{Q20} = 846 \mu W \quad 754 \mu W \text{ pe simulator}$$

$$P_{Q14} = V_{CE14} \cdot I_{C14} = 4,48 \cdot 2,42 = 18,55 \text{ mW} \quad 18,48 \text{ mW}$$

$$P_{Q15} = V_{CE15} \cdot I_{C15} = 9,4 \cdot 2,42 = 22,748 \text{ mW} \quad 23,65 \text{ mW}$$

$$P_{Q16} = V_{CE16} \cdot I_{C16} = 7,6 \cdot 3,63 = 27,588 \text{ mW} \quad 27,72 \text{ mW}$$

$$P_{Q21} = V_{CE21} \cdot I_{C21} = 4,775 \cdot 2,42 = 18,815 \text{ mW} \quad 19,45 \text{ mW}$$

$$P_{Q18} = V_{EC18} \cdot I_{C18} = 8,4 \cdot 3,63 = 30,492 \text{ mW} \quad 30,87 \text{ mW}$$

$$P_{Q22} = V_{CE22} \cdot I_{C22} = 9 \cdot 21,21 = 190,89 \text{ mW} \quad 193,8 \text{ mW}$$

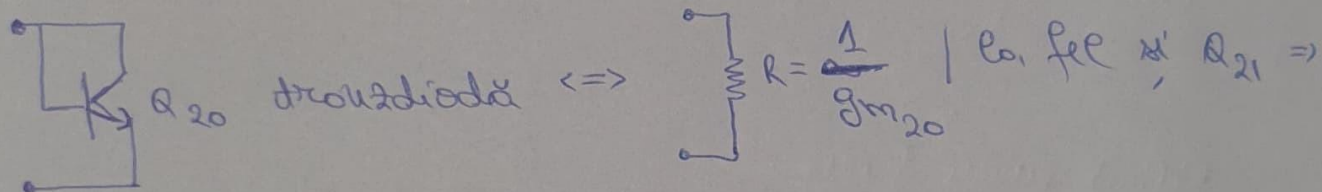
$$P_{Q17} = V_{EC17} \cdot I_{C17} = 9 \cdot 21,21 = 190,89 \text{ mW} \quad 195,1 \text{ mW}$$

pe simulott

Schemă de C.A

D_3, D_4 scurt \Rightarrow scurtcircuitarea rez $R_3, R_6, R_{11} \Rightarrow$

\Rightarrow dispar $Q_{14}, Q_{15}, Q_{16}, Q_{22}$



$\Rightarrow Q_{20}, Q_{21}$ dispar

Q_{19}, Q_{20} oglindă de curent

Q_{19} - 2 electrozi la masă

$\Rightarrow Q_{19}$ dispare

Q_{18}, Q_{17} - 2 electrozi masă

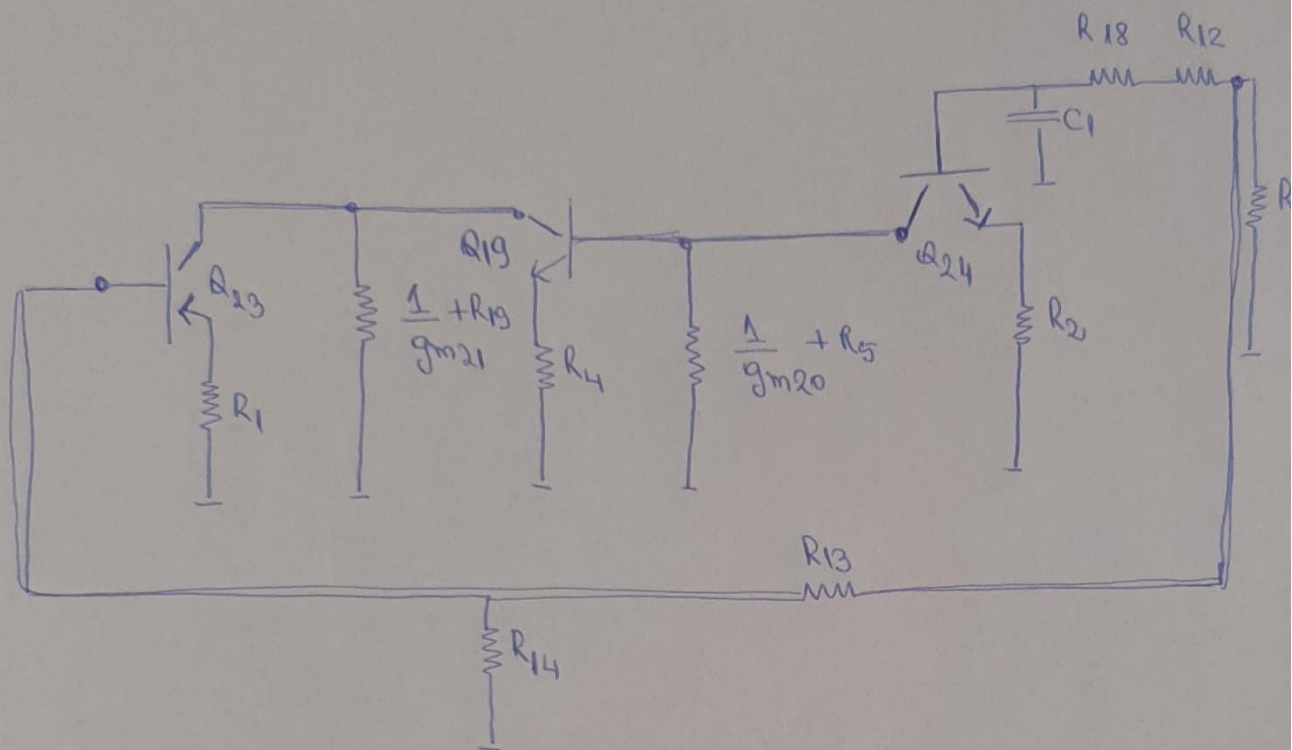
R.R.P : $C_1, R_{18} + R_{12}$

R.R.N : R_{13}, R_{14}

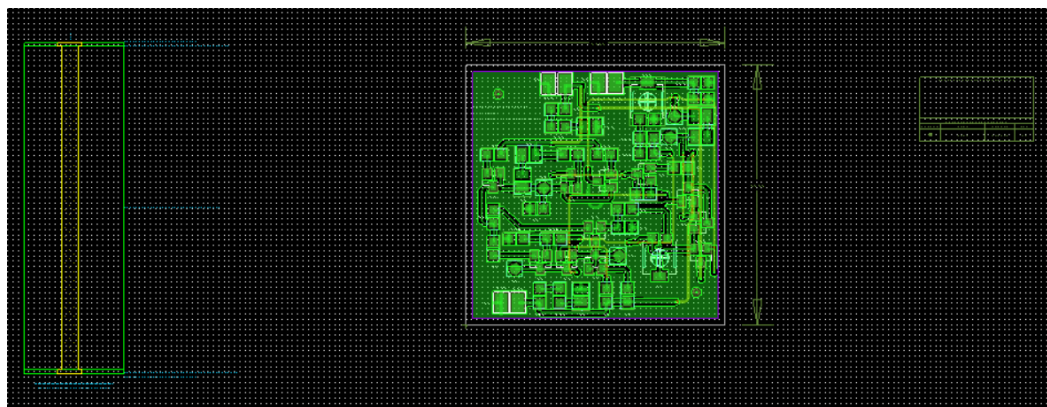
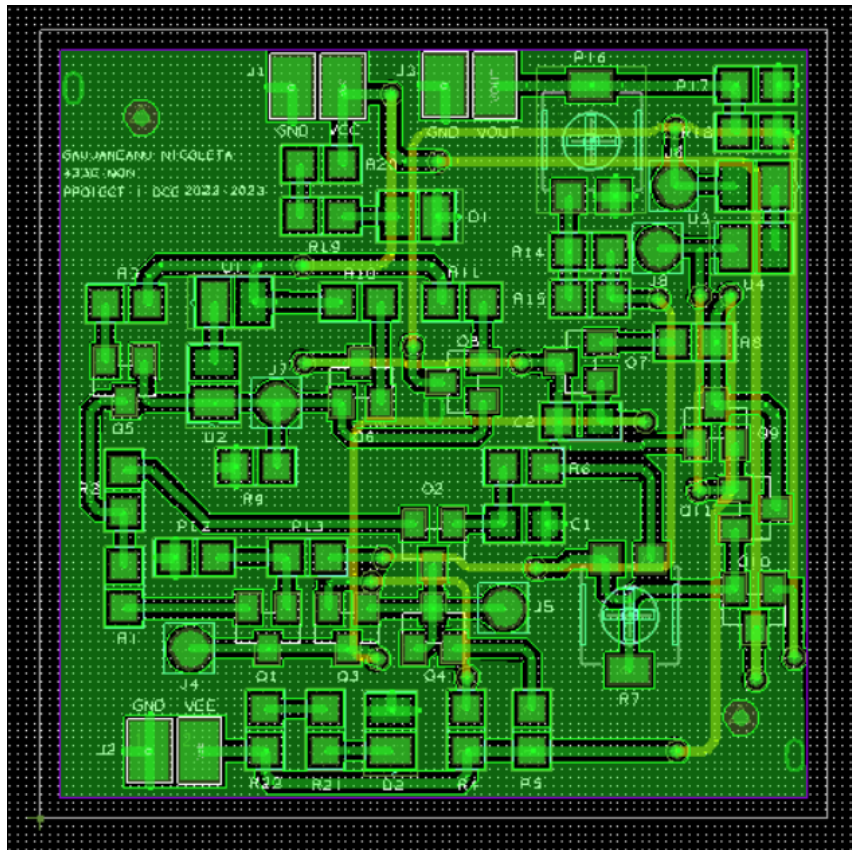
A.B : $Q_{23}, Q_{19}, \left(\frac{1}{g_{m20}}\right), Q_{24}$

$$g_m = 40 I_c$$

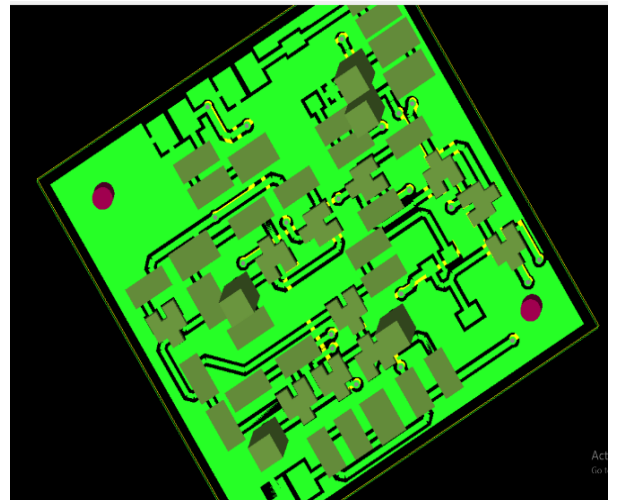
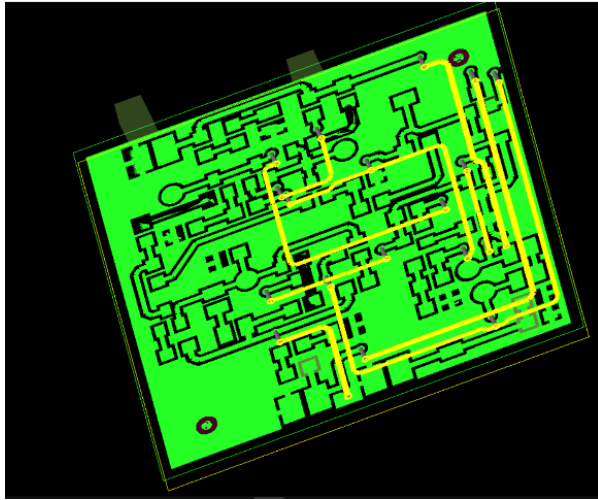
$$R_L' = [(R_{15} \parallel R_{23}) + R_{16}] \parallel (R_{21} \parallel R_{22})$$



6. Layout



Vedere 3D



- Întrucât nu am curenți prin circuit care să depășească ordinul zecilor de mA, conform PSF-ului analitic și simulat, nu am folosit trasee cu lățimi mai mari de 22 mili. Traseele de alimentare și cel de masa au lățimea de 20 mili. Restul traseelor sunt cele care conectează componentele între ele și au lățimea de 18 mili.
- Toate componentele folosite sunt de tip SMD, editarea pad-urilor fiind făcută după următoarele reguli: Lungime pad – L ; Thermal Relief - $L + 30$ mil; Antipad - $L + 10$ mil; Soldermask - $L + 10$ mil; Solderpaste (pastemask) – $L - 10\%L$ mil.
- Jumperii au fost puși cât mai aproape de marginea plăcii ca să facă loc celorlalte componente, alimentarea circuitului să fie cât mai accesibilă și să imite intrarea și ieșirea circuitului din schema electrică.
- Pentru a facilita rutarea traseelor am folosit un plan de masa pe top.

Bibliografie

1. <https://www.circuitstoday.com/square-wave-generator-using-ua-741>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=WR75zA589RI>
3. <https://www.youtube.com/watch?v=HVuYi2GgkCE>
4. <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/class-ab-amplifier.html>
5. G. Brezeanu, F. Drăghici, Circuite electronice fundamentale, Ed. Niculescu, București, 2013
6. Cursuri CIA – 2021, Seria E, Facultatea de Electronica si Telecomunicatii, Universitatea Politehnica, Bucuresti
7. www.dce.pub.ro