

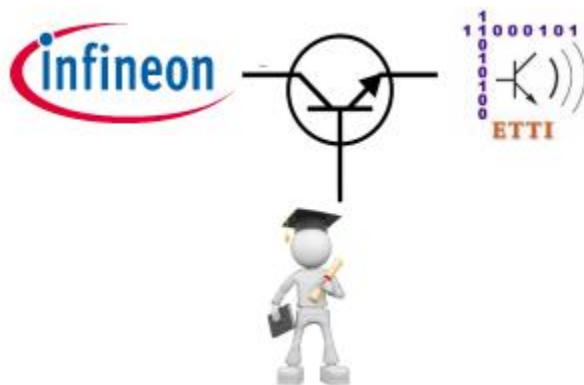
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București

Facultatea E.T.T.I.

Anul universitar 2024-2025

# Proiect 1

## Proiectarea și realizarea unui preamplifiator audio cu amplificarea controlată de tensiune



Coordonatori științifici:

Prof. dr. ing. Dragoș Dobrescu

Ș.l. dr. ing. Mădălin Moise

Student: Bardasu Emilian Andrei

Grupa: 433B

N=1

# CUPRINS

1. Introducere .....	3
1.1. Amplificatorul audio .....	3
2. Cerinte de proiectare.....	4
2.1. Descrierea temei.....	4
2.2. Realizarea în tehnologie SMT & PCB .....	4
3. Date pentru proiectarea circuitului .....	6
3.1. Schema bloc .....	6
3.2. Schema electrica.....	6
3.3. Puncte statice de functionare .....	7
4. Simulare .....	9
4.1. PSF in OrCAD.....	9
4.2. Simularea montajului electric.....	11
5. Ansamblare PCB .....	12
6. Bill of materials .....	17
7. Concluzii .....	18
8. Bibliografie .....	19

# **1. Introducere**

## **1.1. Amplificatorul audio**

Un amplificator este un dispozitiv utilizat pentru a crește amplitudinea unui semnal, păstrând intacte alți parametri ai acestuia, cum ar fi frecvența și forma undei. Amplificatoarele sunt printre cele mai comune circuite în electronică, având un rol esențial într-o gamă largă de aplicații și sisteme electronice.

Amplificatoarele de tensiune audio sunt special concepute pentru a amplifica semnalele slabe provenite de la surse precum microfoane, pickup-uri pentru instrumente muzicale sau discuri. Acestea pot include circuite suplimentare care permit funcții avansate, cum ar fi corectarea tonului, egalizarea nivelurilor semnalelor sau mixarea intrărilor multiple. În general, ele se caracterizează printr-un câștig ridicat de tensiune și o rezistență de ieșire medie sau ridicată, fiind indispensabile în sistemele audio moderne.

Un amplificator audio parcurge următoarele etape de functionare:

1. Recepția semnalului de intrare
2. Amplificarea semnalului
3. Eliminarea zgomotului
4. Iesirea semnalului amplificat

Semnalul audio preluat de amplificator de la dispozitivele sursă, precum instrumentele muzicale, laptopurile sau casetofoanele, are o putere redusă. Circuitul de ieșire al amplificatorului procesează acest semnal slab și generează unul nou, cu o putere mult mai mare, care este transmis către boxe pentru redare.

Boxele joacă un rol crucial în lanțul audio, transformând semnalul electric amplificat în unde sonore și oferind calitatea audio percepută de ascultători.

Semnalul de intrare modulează circuitele amplificatorului, care eliberează energia acumulată de condensatori și transformator, asigurând astfel o amplificare eficientă și consistentă a sunetului.

## 2. Cerinte de proiectare

### 2.1 Descrierea temei

Să se proiecteze și să se realizeze practic un preamplificator de audiofrecvență cu control în tensiune având următoarele caracteristici:

- Tensiunea de alimentare unipolară ( $V_{CC}=11\text{ V}$ ) sau bipolară ( $V_{CC}=11\text{ V}$ ,  $V_{EE}=-V_{CC}$ ). Semnalizarea prezenței tensiunii cu LED.
- Tensiune de intrare sinusoidală cu amplitudinea cuprinsă între 0 și 10 mV.
- Frecvența semnalului de intrare de 1 kHz.
- Tensiunea continuă de control a amplificării cuprinsă între 0 și 1 V.
- Amplificarea în tensiune controlată cuprinsă între 1 și 10.
- Rezistența de sarcină 600  $\Omega$ .

### 2.2 Realizarea în tehnologie SMT & PCB

Pentru tehnologia SMT & PCB, circuitul va fi realizat sub forma unui modul electronic a cărui structură de interconectare (PCB) va respecta următoarele cerințe de proiectare:

- Dimensiunile PCB: 40mm x 40mm;
- Material FR4, dublu strat/ grosimea foliei de cupru 18  $\mu\text{m}$ , grosimea plăcii 1,5 mm;
- Componente pasive SMD chip 0805;
- Se pot folosi numai tranzistoare bipolare și TEC-MOS în capsule SMD (SOT 23, D-PAK). Tranzistoarele TEC-J pot fi utilizate numai dacă se justifică necesitatea acestora
- Puncte de test: pătrate, maxim 5 – justificate de planul de testare
- Originea (punctul de coordonate (0,0)) va fi plasat în colțul din stânga-jos al plăcii de cablaj imprimat, astfel toate elementele proiectului vor avea coordonate pozitive
- Față de marginea plăcii, se va păstra o gardare („clearance”) de 1,2 mm; aici nu vor fi plasate componente, trasee, texte, etc.

- Placa va fi prevăzută cu 2 markeri fiduciali globali pe layerul TOP, la distanța de 200 mil față de marginea plăcii, plasați convenabil; acești markeri vor exista și pe layerul Solder Paste Top (suprapuși peste cei de pe TOP); vor fi utilizați în momentul alinierii șablonului cu placa. Marcajul fiducial va fi un cerc de diametru minim 1mm pe layerul respectiv, aflat într-un spațiu circular de diametru minim dublu față de cercul interior, în care nu se va afla nimic pe nici un layer
- Se va acorda o atenție sporită layer-ului Mască de inscripționare (Silk Screen); acesta nu trebuie să se regăsească pe pad-urile componentelor;
- Se va genera un nou layer neelectric, MECANIC. Acesta va conține: conturul plăcii, desenul de găurire („drill drawing”) și tabelul de găurire („drill chart/table”, „drill legend”), o secțiune transversală prin circuitul imprimat proiectat („layer stack-up”) și informațiile mecanice necesare pentru fabricația PCB;
- Cotele de gabarit/dimensiunile plăcii nu trebuie să se regăsească pe layerul electric TOP; acestea, dacă există, se vor plasa pe un layer neelectric mecanic;
- Placa va fi prevăzută cu elementele de identificare ale proiectantului (nume, prenume, grupă, PDCE I 2024-2025).

Pentru traseele de interconectare se dau următoarele lățimi:

- Curent de 1A - 30 mil;
- Curent de sute de mA - 20 mil;
- Semnal - 16 mil.

Spațierea, în toate cazurile, va fi de 12 mil.

## 3. Date pentru proiectarea circuitului

### 3.1. Schema bloc

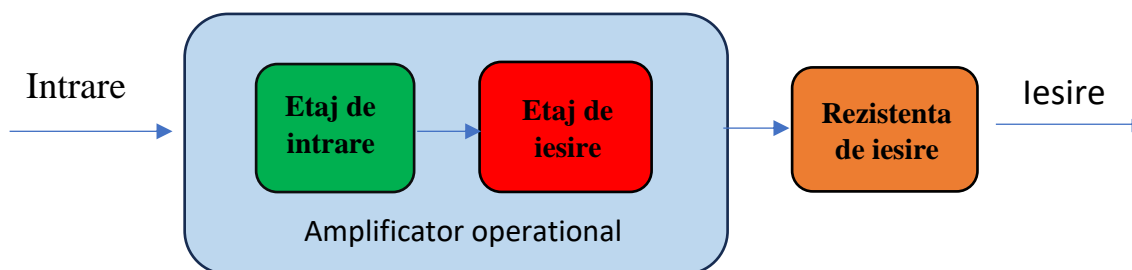


Figura 1: Schema bloc a circuitului

### 3.2. Schema electrica

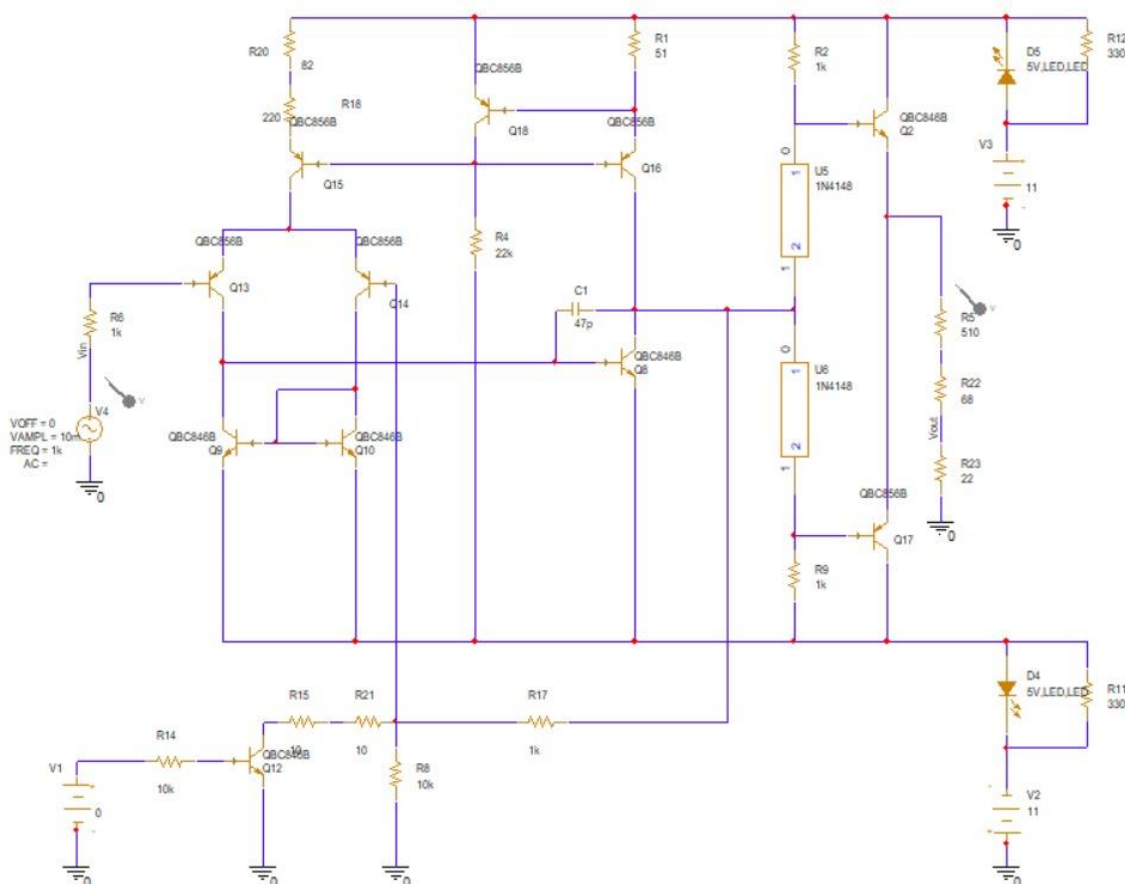


Figura 2: Schema electrica a circuitului



### 3.3. Puncte statice de functionare

$$\begin{aligned}
 V_{BE2} + V_{BE17} &= 2V_D \Rightarrow V_D = 0,6 & V_{LED} &= 3V \\
 V_{ce} &= I_1 R_2 + 2V_D + I_2 R_3 - V_3 & V_{ce} &= 11V \\
 8 &= I_1 \cdot 10^3 + 1,2 + I_2 \cdot 10^3 - 8 & I_{LED} &= 26 \text{ mA} \\
 \Rightarrow I_1 + I_2 &= 14,8 \text{ mA} \Rightarrow I_1 = I_2 = 7,4 \text{ mA} & \text{Conditie RAN:} & \\
 V_{ce} &= I_1 R_2 + V_{BE2} + V_{BE17} - V_{ce} & V_{ce} &\geq V_{BE} \\
 V_{BE17} &= 16 - 0,6 - 7,4 = 8V \\
 V_{ce} &= V_{CE2} + V_{BE17} - V_{ce} \Rightarrow V_{CE2} = 8V \\
 V_{BE18} &= 0,6V \\
 V_{BE16} - V_{BE18} &= 0 \Rightarrow V_{BE18} = V_{BE16} = 0,6 \\
 V_{ce} &= 11,2V \\
 I_{E18} &\approx I_{E16} = I_4 = 0,67 \text{ mA} \\
 V_{ce} &= I_{E16} R_1 + V_{CE16} + V_D + I_2 R_3 - V_{ce} \\
 V_{CE16} &= 16 - 1,2 - 7,4 = 7,4V \\
 I_{E16} &= \frac{0,6}{51} = 11,7 \text{ mA} \approx I_{E16} \\
 V_{ce} &= I_{E16} R_1 + V_{CE16} + V_{CE8} - V_{ce} \\
 16 &= 0,6 + 7,4 + V_{CE8} \Rightarrow V_{CE8} = 8V \\
 I_{E8} &= I_{E16} = 11,7 \text{ mA} \\
 -V_{ce} &= -V_{BE8} + V_{CE9} - V_3 \Rightarrow V_{CE9} = V_{BE8} = 0,6V \\
 V_{CE10} &= V_{CE9} = 0,6V \\
 V_{ce} &= V_{CE18} + I_4 R_4 - V_{ce} \Rightarrow I_4 = \frac{16 - 1,2}{22} \cdot 10^{-3} = 0,67 \text{ mA} \\
 V_{ce} &= I_{E15} (R_{20} + R_{18}) + I_4 R_4 - V_{ce} \\
 I_{E15} &= \frac{1,2}{302} = 3,9 \text{ mA} \\
 V_{ce} &= I_{E15} (R_{20} + R_{18}) + V_{BE13} + V_{CE15} \Rightarrow V_{CE15} = 8 - 0,6 - 1,1 \\
 & & & V_{CE15} = 6,3V \\
 V_{ce} &= I (R_{20} + R_{18}) + V_{CE15} + V_{CE13} + V_{CE9} - V_{ce} \\
 \Rightarrow V_{CE9} &= V_{CE13} = 16 - 6,3 - 0,6 - 3,9 \cdot 302 \cdot 10^{-3} \\
 & & & V_{CE13} = 8V \\
 & & & V_{CE13} = V_{CE14} = 8V \\
 & & & I_{E13} = I_{E14} = \frac{I_{E15}}{2} = 1,9 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

$$P_{Q16} = V_{CE16} \cdot I_{E16} = 7,4 \cdot 11,7 \cdot 10^{-3} = 86,58 \text{ mW}$$

$$P_{Q18} = 1,2 \cdot 0,67 \cdot 10^{-3} = 0,804 \text{ mW}$$

$$P_{Q2} = 8 \cdot 11,7 \cdot 10^{-3} = 93,6 \text{ mW}$$

$$P_{Q15} = 6,3 \cdot 3,8 \cdot 10^{-3} = 21,7 \text{ mW}$$

$$P_{Q13} = P_{Q14} = 15,2 \text{ mW}$$

$$P_{R2} =$$

$$P_{R2} = R \cdot I_1^2 = 10^3 \cdot 7,4^2 \cdot 10^{-6} = 54,76 \text{ mW} = P_{R3} = 54,76 \text{ mW}$$

$$P_{R1} = 51 \cdot 11,7^2 \cdot 10^{-6} = 6,981 \text{ mW}$$

$$P_{R4} = I_{E18}^2 \cdot R_4 = 22 \cdot 10^3 \cdot 0,67^2 \cdot 10^{-6} = 9,84 \text{ mW}$$

$$P_{R20} = P_{R1} \cdot I_{E15}^2 \cdot R_{20} = 3,8 \cdot 10^3 \cdot 82 = 1,247 \text{ mW}$$

$$P_{R18} = 3,8^2 \cdot 10^{-6} \cdot 220 = 3,34 \text{ mW}$$

$$R_{LED} = \frac{V_{LED}}{I_{LED}} = 115,4 \Omega$$

$$\Rightarrow P_{RLED} = R \cdot I^2 = 115,4 \cdot 26^2 \cdot 10^{-6} = 78 \text{ mW}$$



## 4. Simulare

### 4.1. PSF in OrCAD

Această simulare are scopul de a determina punctul static de funcționare al tranzistoarelor și de a verifica curenții ce circulă prin componente, precum și puterile acestora, pentru a asigura că nu depășesc valoarea maximă admisă.

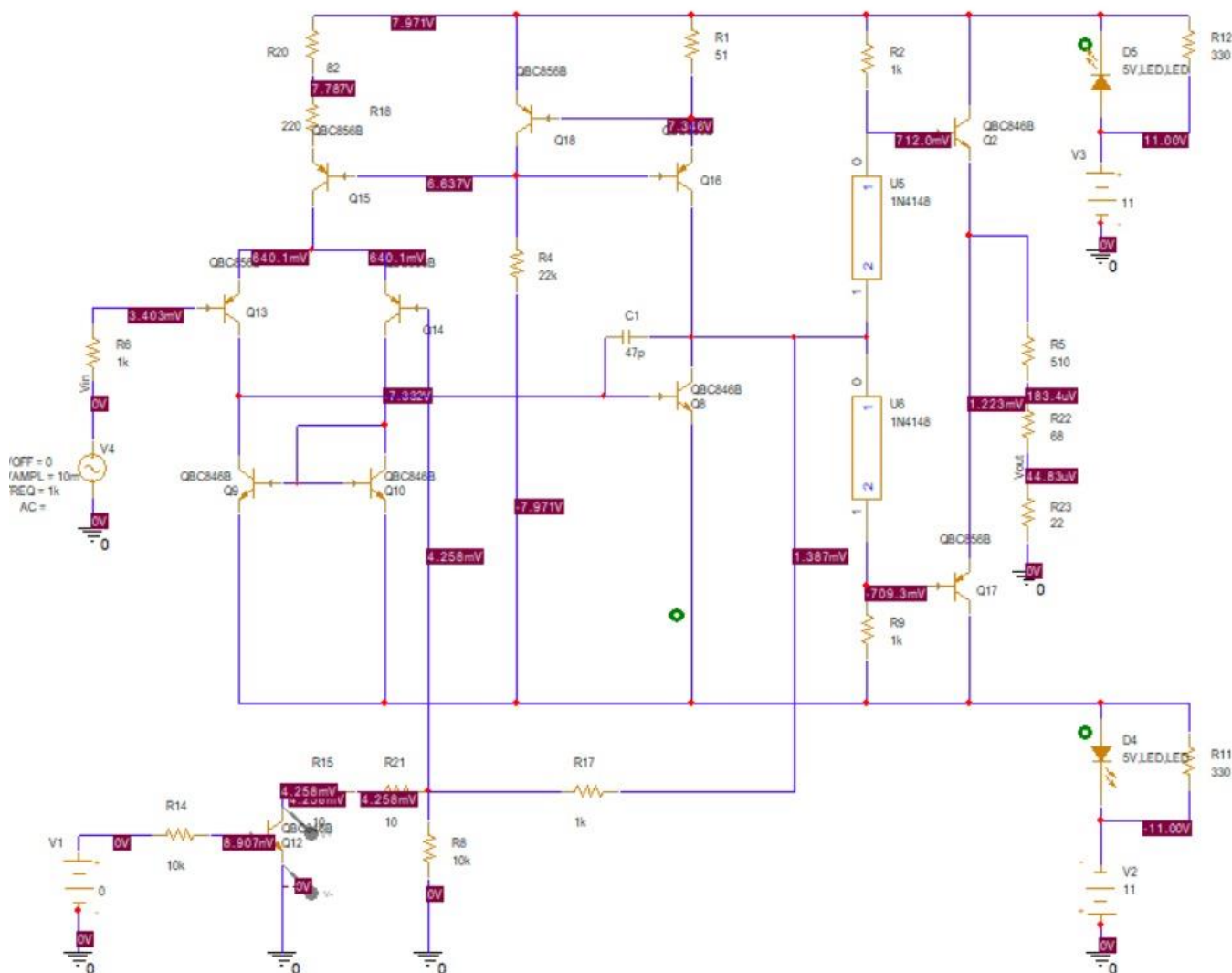


Figura 5: Tensiuni in OrCAD

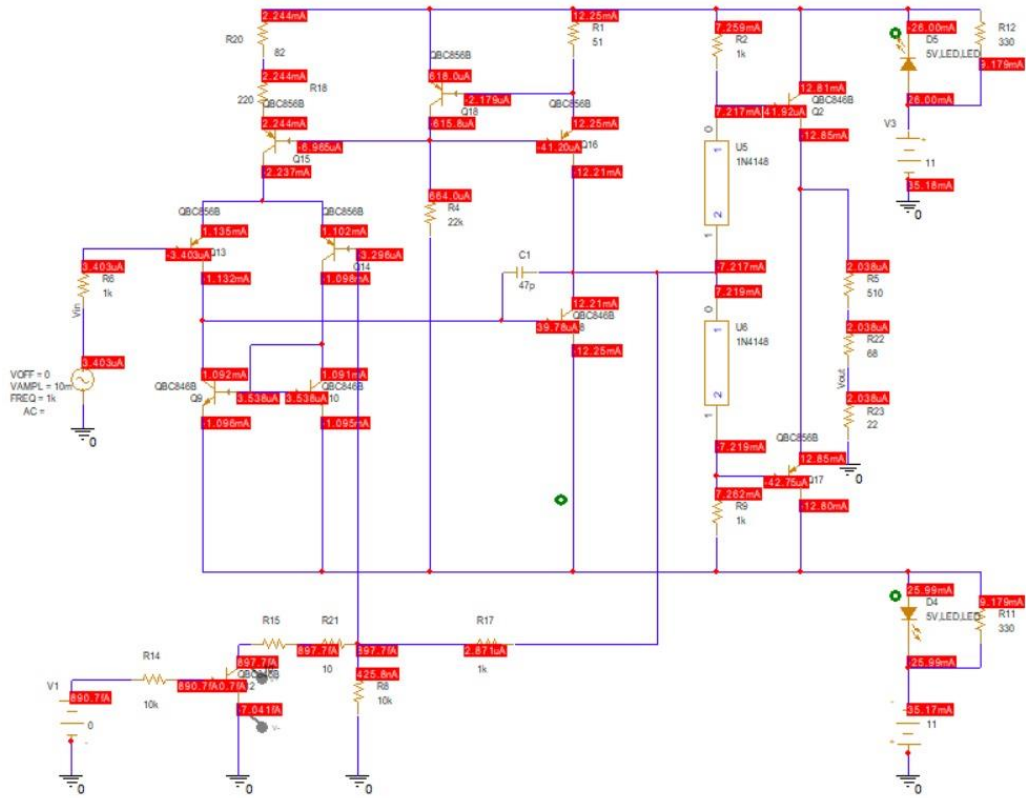


Figura 6: Intensitati in OrCAD

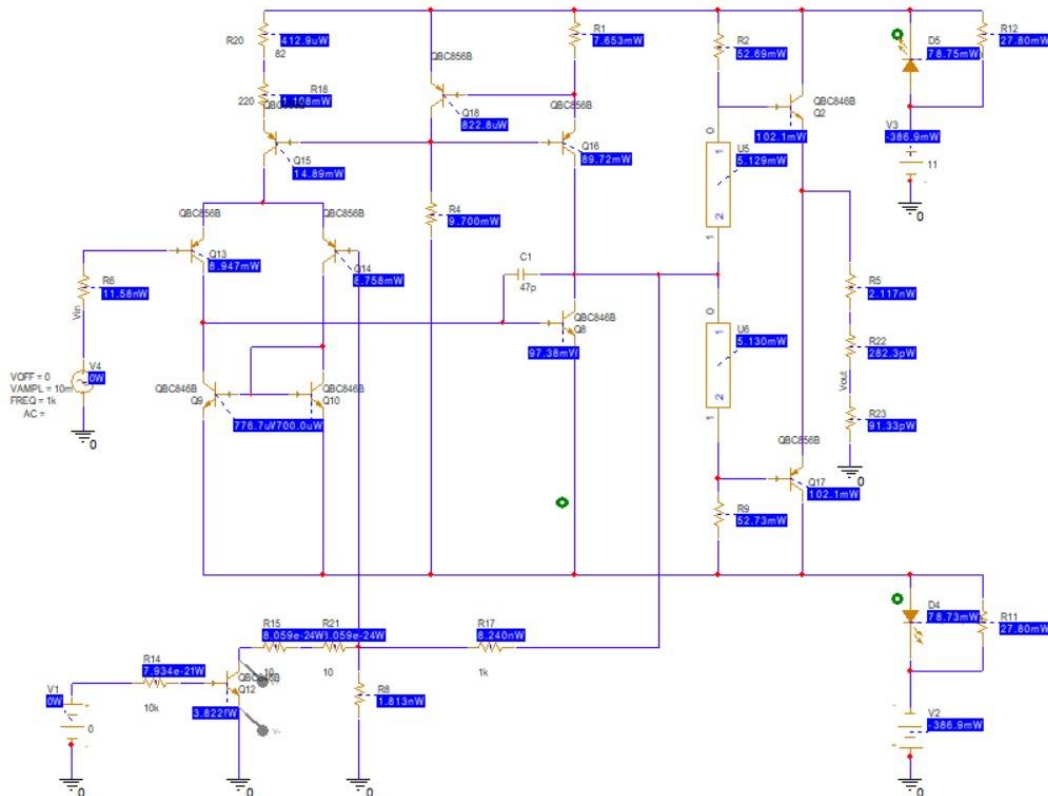
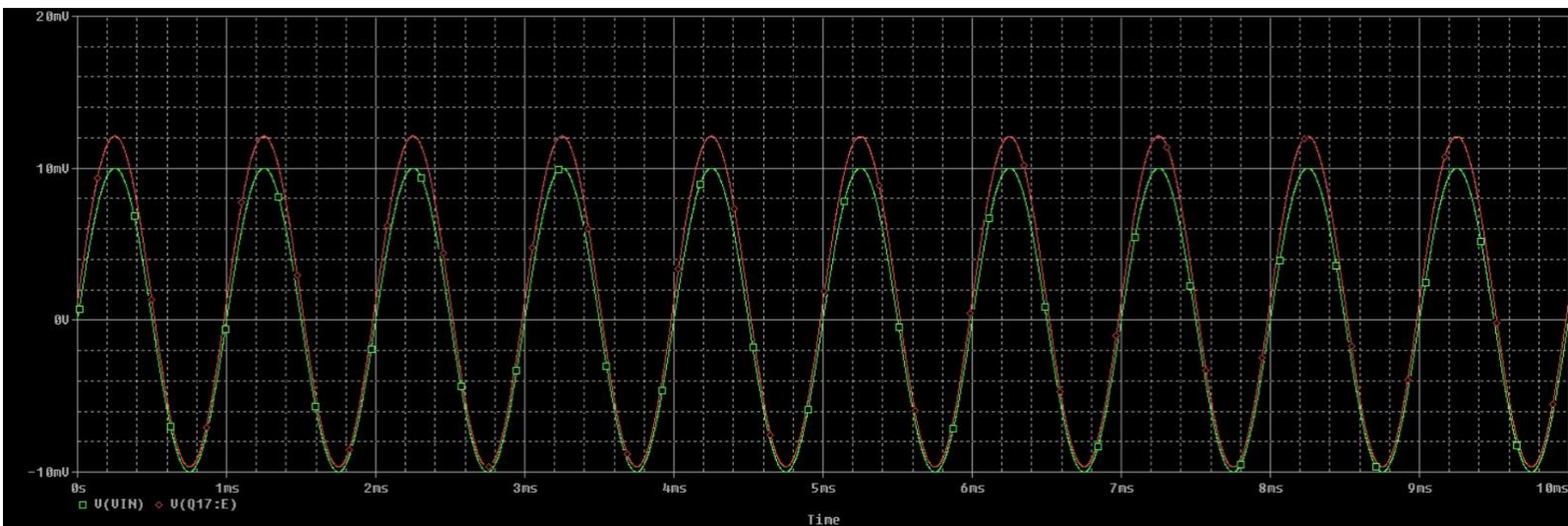
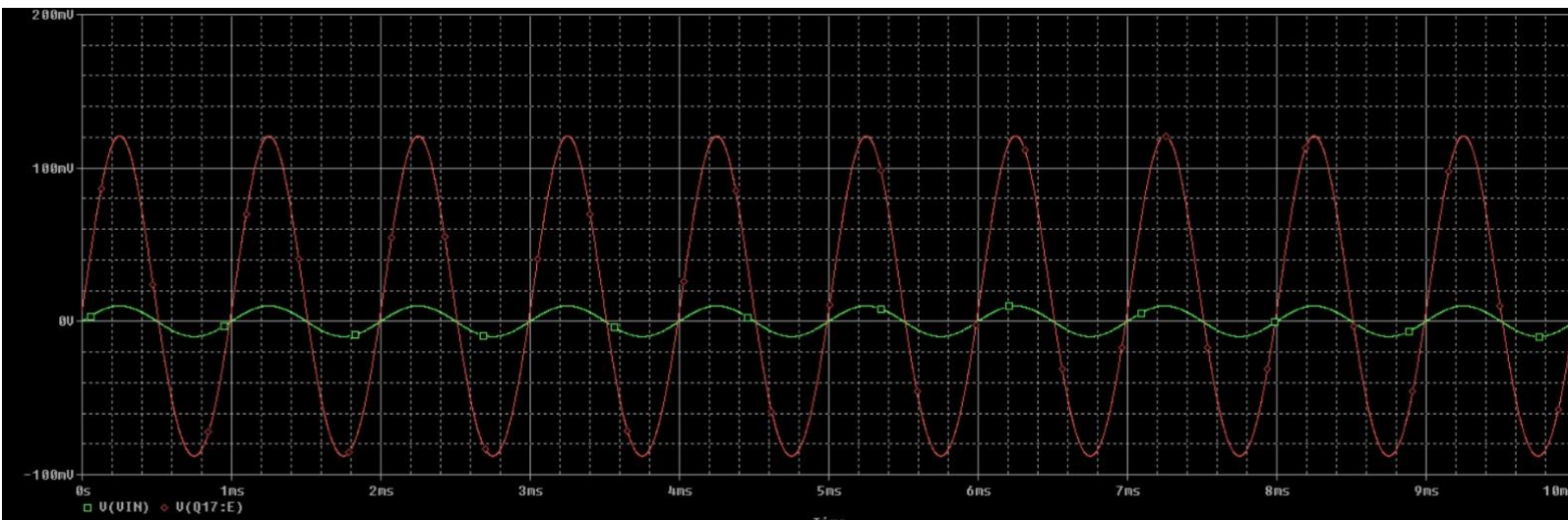


Figura 7: Puteri in OrCAD

## 4.2. Simularea montajului electric



**Figura 6:** Simularea amplificatorului cu tensiune controlata de 0V



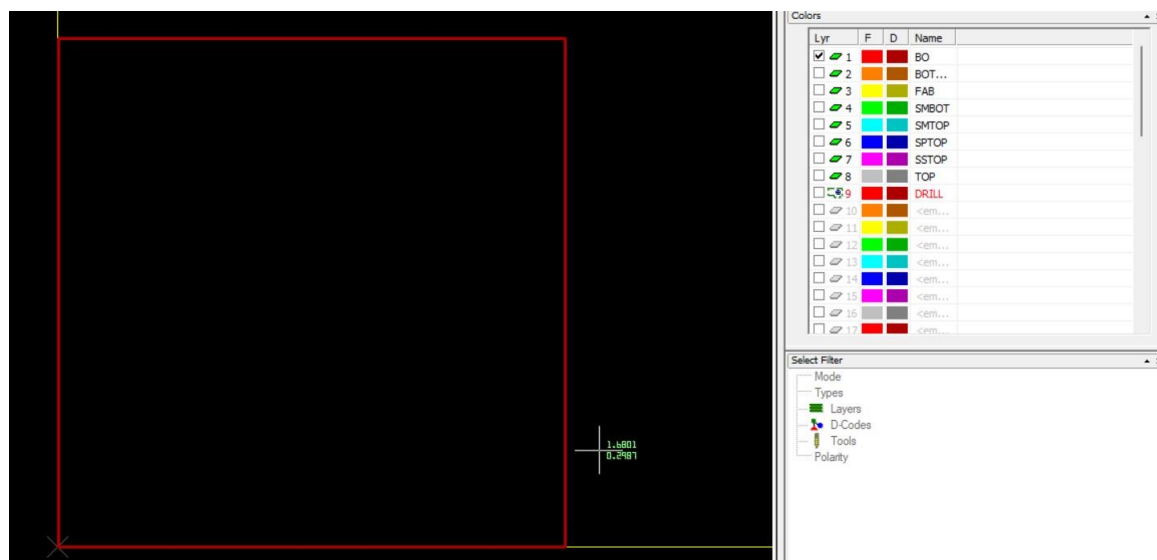
**Figura 7:** Simularea amplificatorului cu tensiune controlata de 1V

## 5. Ansamblare PCB

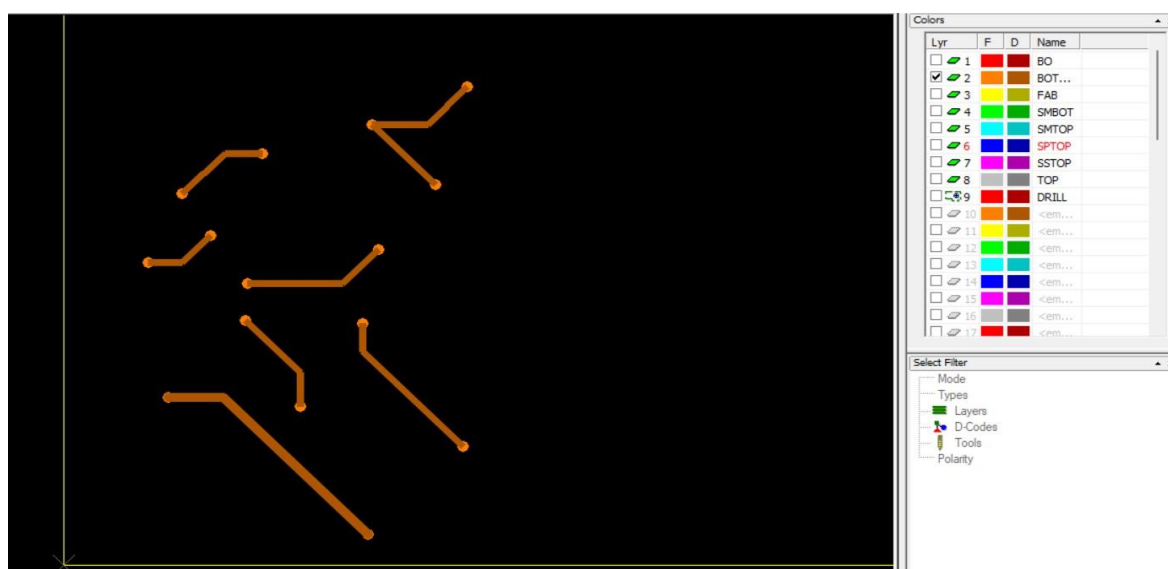
Pentru realizarea structurii PCB a preamplificatorului audio este necesara trimiterea la fabrica a fisierelor Gerber, care contin datele de fabricatie necesare pentru ansamblarea sa.

Layerurile care alcatuiesc fisierele Gerber sunt urmatoarele:

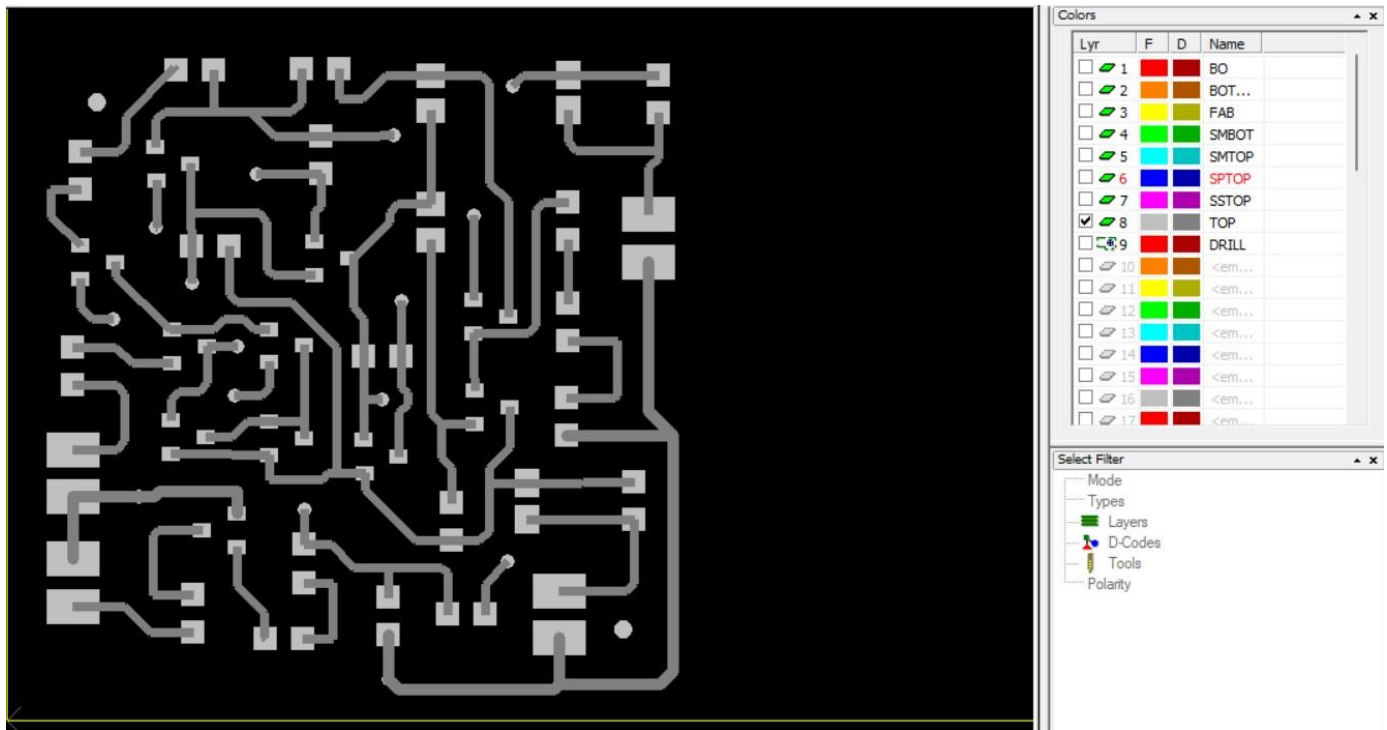
### 1) BO



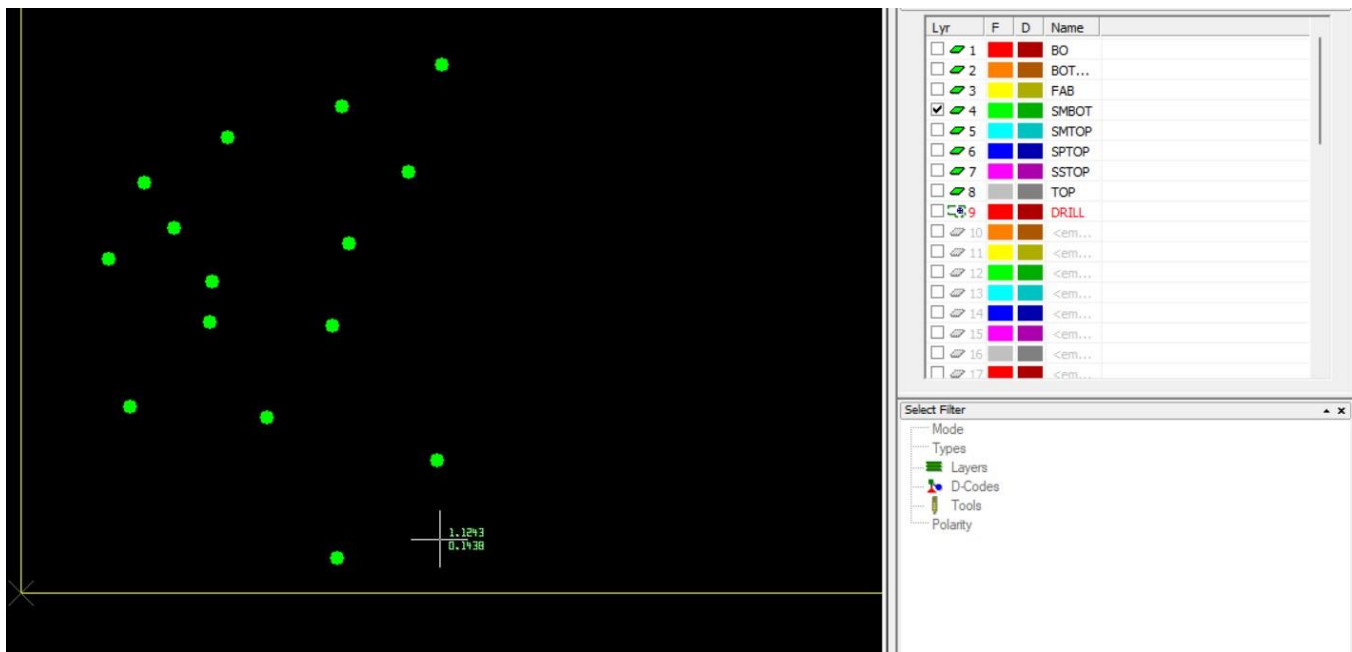
### 2) BOT



### 3) TOP

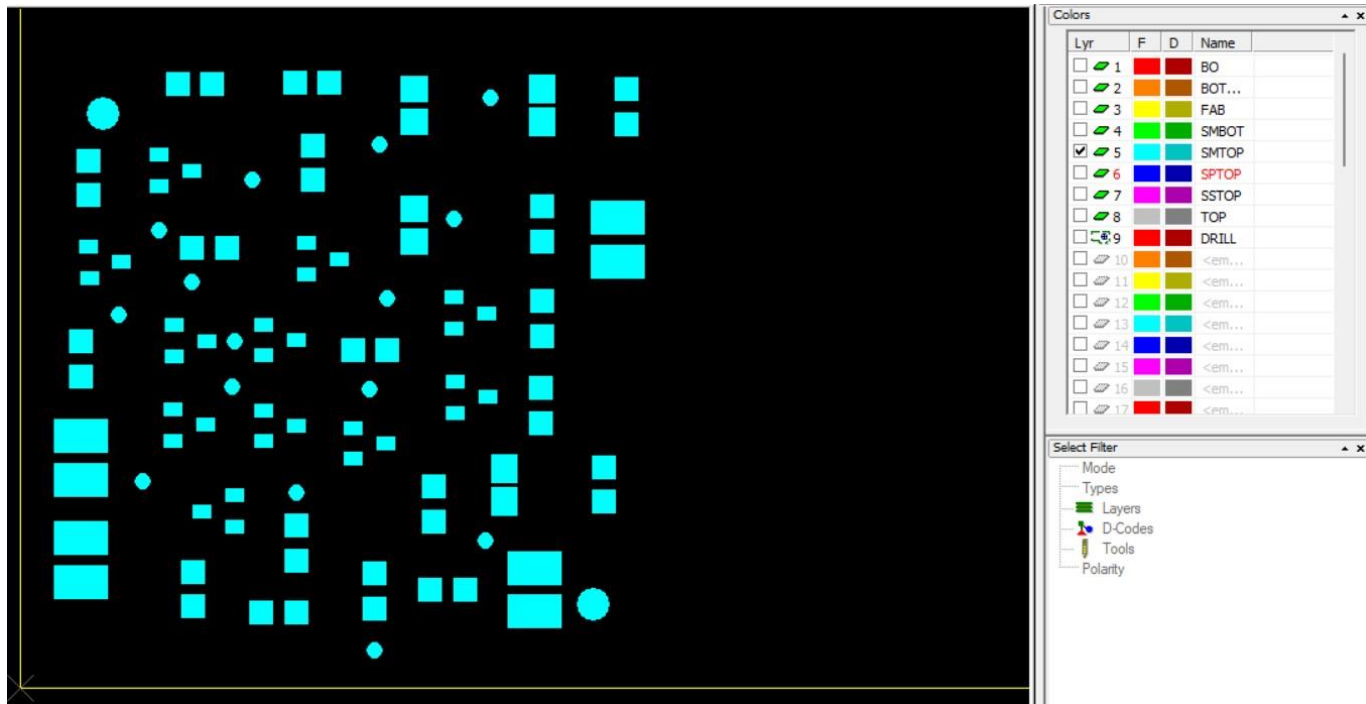


### 4) SMBOT

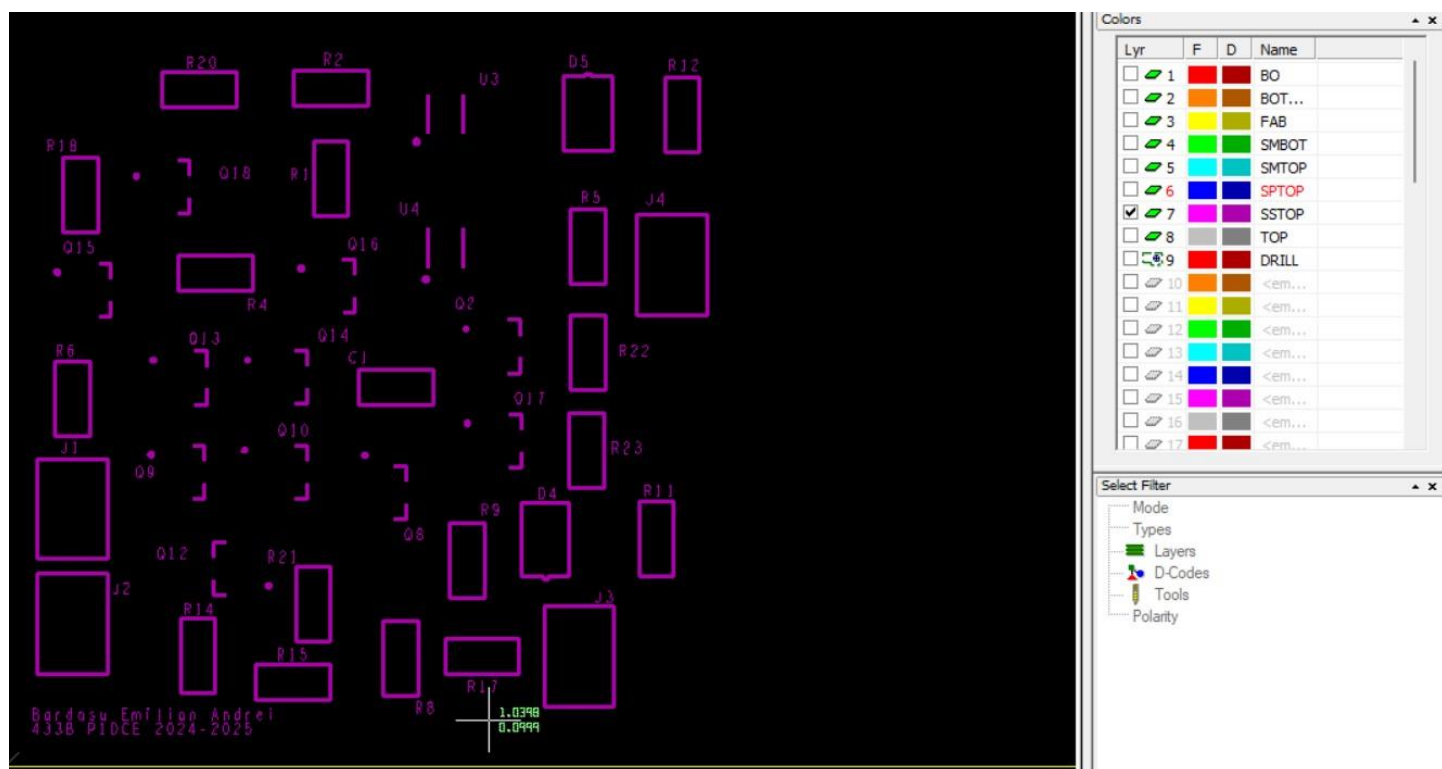




## 5) SMTOP

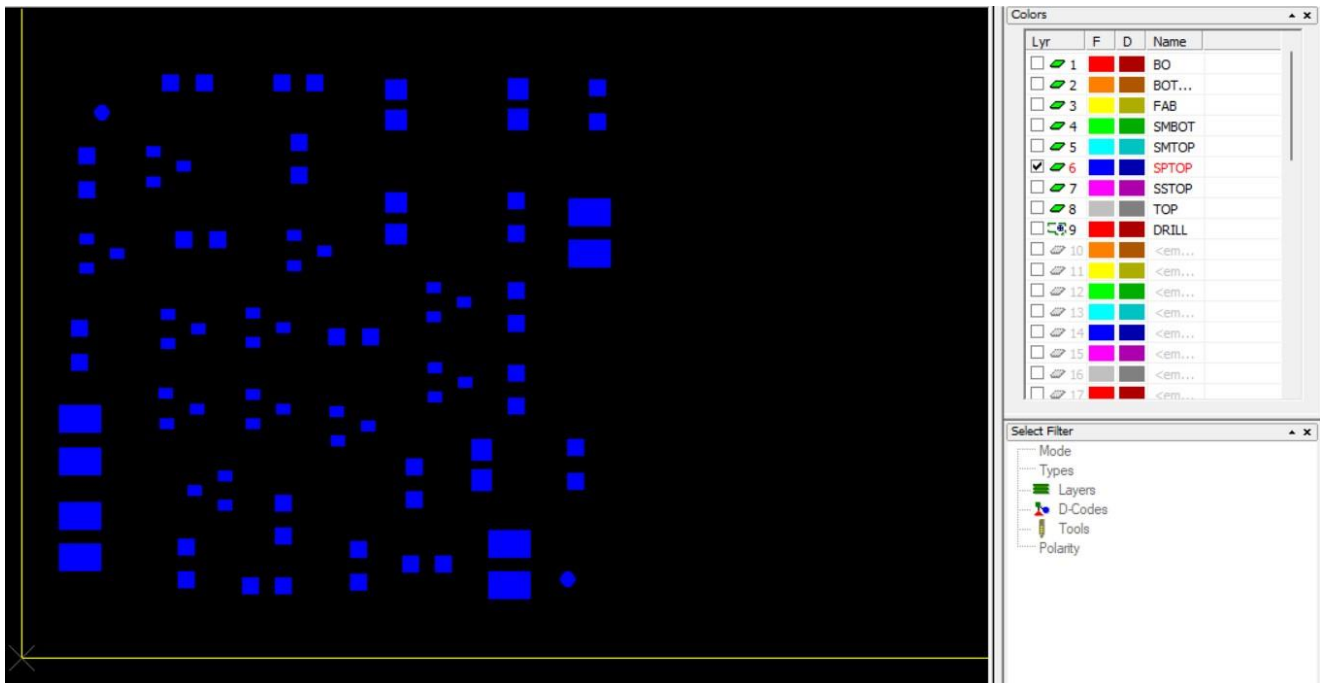


## 6) SSTOP

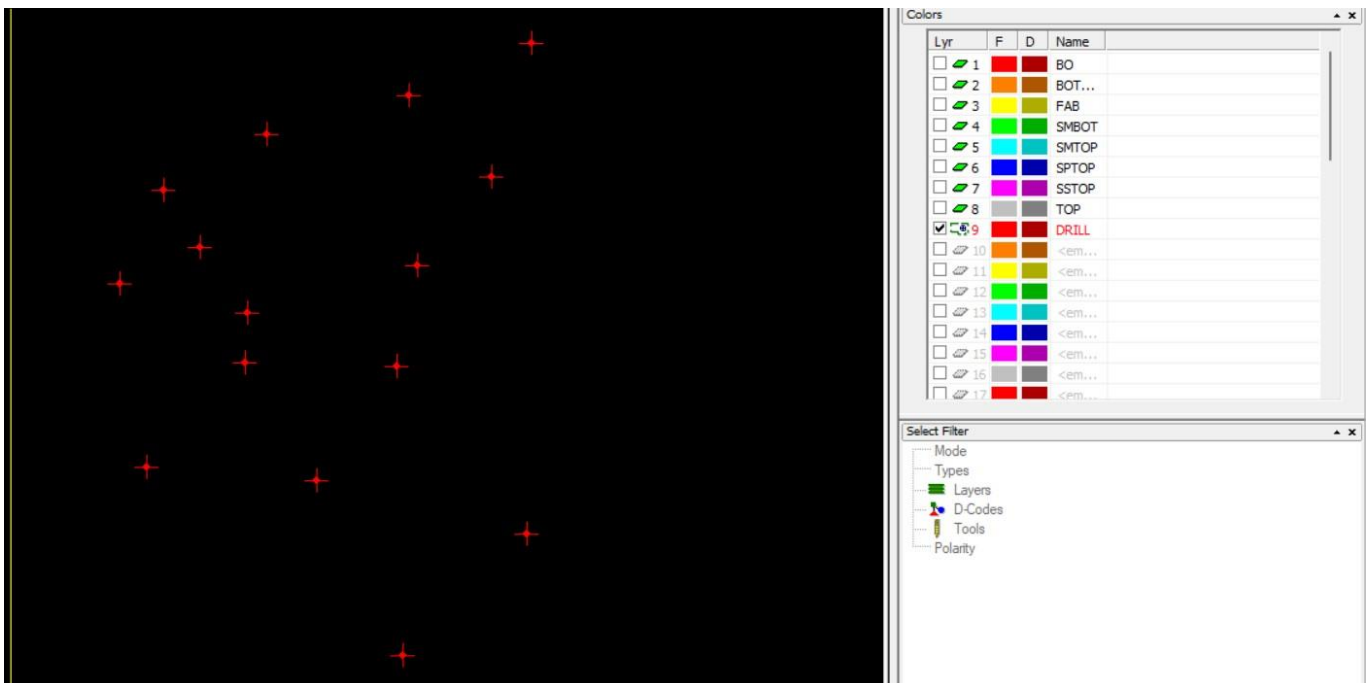




## 7) SPTOP



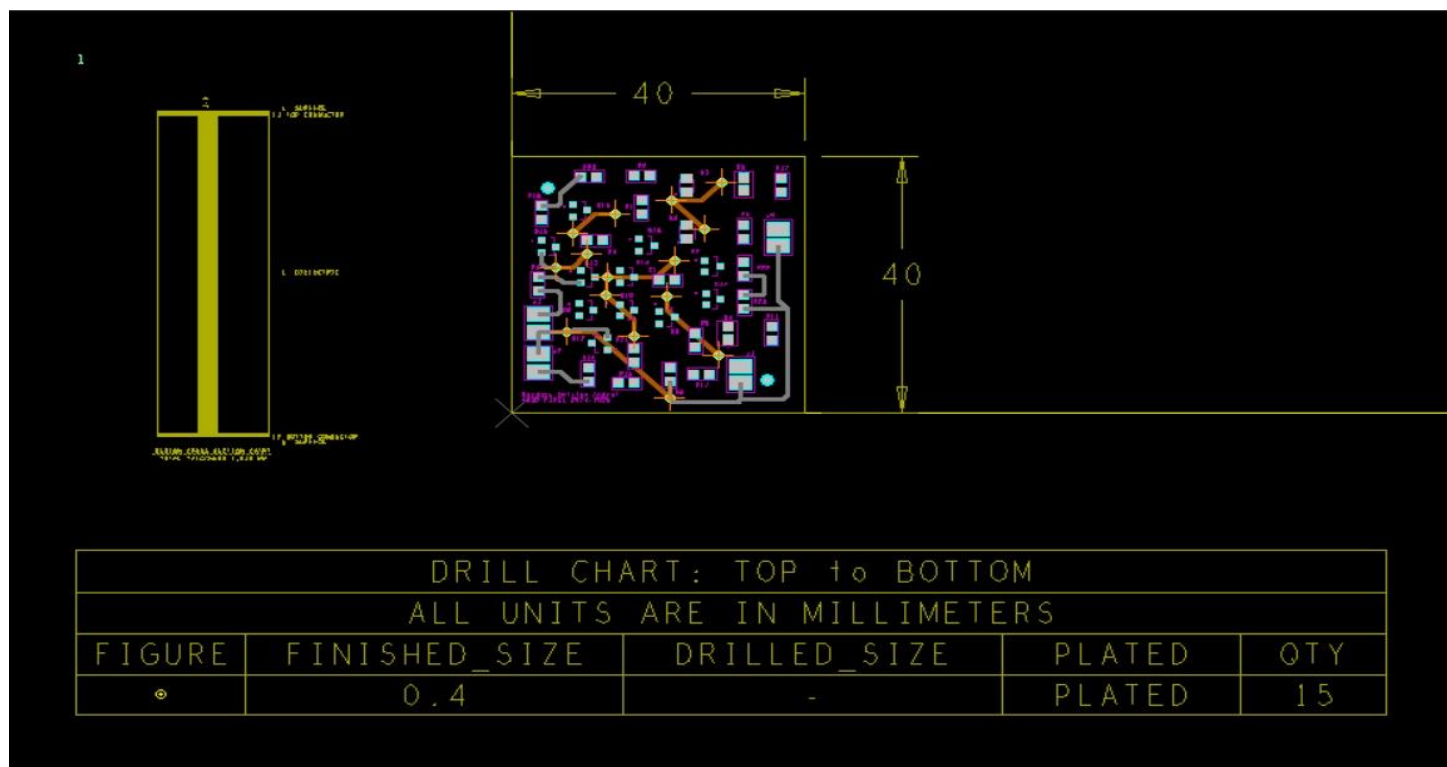
## 8) DRILL



## 9) FAB



## 10) TOATE LAYERELE



## 6. Bill of materials

Nr. Crt.	Nume	Catalog	Cod distrib	Nume prod	Prod	Clasă	Qty fix	Qty final	Qty min	Descriere	Distribuitor
5	10	<a href="#">(LINK)</a>	SMD0805-10R-5%	0805S8J0100T5E	ROYAL OHM	rezistor			2	Rezistor SMD, chip, 0805, 10Ω, ±5%, 0.125W	TME România
6	22	<a href="#">(LINK)</a>	SMD0805-22R-1%	0805S8F220JT5E	ROYAL OHM	rezistor			1	Rezistor SMD, chip, 0805, 22Ω, ±1%, 0.125W	TME România
8	51	<a href="#">(LINK)</a>	SMD0805-51R-5%	0805S8J0510T5E	ROYAL OHM	rezistor			1	Rezistor SMD, chip, 0805, 51Ω, ±5%, 0.125W	TME România
9	68	<a href="#">(LINK)</a>	SMD0805-68R-1%	0805S8F680JT5E	ROYAL OHM	rezistor			1	Rezistor SMD, chip, 0805, 68Ω, ±1%, 0.125W	TME România
10	82	<a href="#">(LINK)</a>	SMD0805-82R-5%	WF08P820J TL	WALSIN	rezistor			1	Rezistor SMD, chip, 0805, 82Ω, ±5%, 0.125W	TME România
13	220	<a href="#">(LINK)</a>	SMD0805-220R-5%	0805S8J0221T5E	ROYAL OHM	rezistor			1	Rezistor SMD, chip, 0805, 220Ω, ±5%, 0.125W	TME România
14	330	<a href="#">(LINK)</a>	SMD0805-330R-5%	0805S8J0331T5E	ROYAL OHM	rezistor			2	Rezistor SMD, chip, 0805, 330Ω, ±5%, 0.125W	TME România
16	510	<a href="#">(LINK)</a>	SMD0805-510R-5%	0805S8J0511T5E	YAGEO	rezistor			1	Rezistor SMD, chip, 0805, 510Ω, ±5%, 0.125W	TME România
20	1k	<a href="#">(LINK)</a>	SMD0805-1K-5%	0805S8J0102T5E	ROYAL OHM	rezistor			4	Rezistor SMD, chip, 0805, 1kΩ, ±5%, 0.125W	TME România
33	10k	<a href="#">(LINK)</a>	SMD0805-10K-5%	0805S8J0103T5E	ROYAL OHM	rezistor			2	Rezistor SMD, chip, 0805, 10kΩ, ±5%, 0.125W	TME România
35	22k	<a href="#">(LINK)</a>	SMD0805-22K-5%	0805S8J0223T5E	ROYAL OHM	rezistor			1	Rezistor SMD, chip, 0805, 22kΩ, ±5%, 0.125W	TME România
59	47pF	<a href="#">(LINK)</a>	CL21C470J BANNNC	CL21C470J BANNNC	SAMSUNG	condensator			1	Condensator ceramic, MLCC, 47pF, 50V, COG, ±5%, SMD, 0805, -55÷125°C	TME România
77	4148	<a href="#">(LINK)</a>	1N4148-0805	CD4148WS(0805C)	DC Components	diodă pn			2	Diodă comutație, SMD, 0805, 300mA, 100V	TME România
78	LED	<a href="#">(LINK)</a>	OF-SMD2012B	OF-SMD2012B	OPTOFLASH	LED			2	LED albastru, SMD, 0805, 150-200mcd, 476nm, 120°	TME România
86	PNP	<a href="#">(LINK)</a>	BC856B	BC856B	DIOTEC	tranzistor bipolar			6	Tranzistor bipolar PNP, SMD, SOT23, 80V, 100mA	TME România
87	NPN	<a href="#">(LINK)</a>	BC846B	BC846B	DIOTEC	tranzistor bipolar			5	Tranzistor bipolar NPN, SMD, SOT23, 65V, 100mA	TME România

## 7. Concluzii

Preamplificatorul audio a demonstrat o performanță consistentă, asigurând o sursă de semnal stabilă și ușor de controlat. Printre avantajele sale se remarcă eficiența în procesarea și generarea sunetelor audio, oferind o soluție economică comparativ cu alternativele comerciale, fără a face compromisuri în privința calității. De asemenea, flexibilitatea în reglarea tensiunii îi ofera o gama larga de utilitati in anumite domenii.

Totuși, există câteva dezavantaje care merită luate în considerare. Complexitatea construcției poate reprezenta un obstacol pentru utilizatorii cu mai puțină experiență în electronică, iar cerințele legate de cunoștințe tehnice avansate pot limita accesibilitatea acestui proiect.

În concluzie, acest proiect a reușit să îndeplinească obiectivele propuse, oferind o soluție versatilă și eficientă pentru generarea semnalelor audio.

## 8. Bibliografie

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Audio\\_power\\_amplifier](https://en.wikipedia.org/wiki/Audio_power_amplifier)
- <https://www.youtube.com/watch?v=yMrCCx6uqcE>
- [https://www.youtube.com/watch?v=abUMAo\\_ODv0&t=622s](https://www.youtube.com/watch?v=abUMAo_ODv0&t=622s)
- <https://www.youtube.com/watch?v=b8arWWrMGXA&t=1718s>
- <https://www.soundbridge.io/voltage-controlled-amplifier-explained>
- „Circuite electronice fundamentale” – Gheorghe Brezeanu, Florin Draghici