**𝐏𝐫𝐨𝐢𝐞𝐜𝐭 𝐓𝐞𝐡𝐧𝐢𝐜𝐢 𝐂𝐀𝐃**

**𝐔𝐧𝐢𝐯𝐞𝐫𝐬𝐢𝐭𝐚𝐭𝐞𝐚 𝐓𝐞𝐡𝐧𝐢𝐜ă 𝐝𝐢𝐧 𝐂𝐥𝐮𝐣-𝐍𝐚𝐩𝐨𝐜𝐚**

**𝐀𝐦𝐩𝐥𝐢𝐟𝐢𝐜𝐚𝐭𝐨𝐫 𝐚𝐮𝐝𝐢𝐨**

**Coordonatori**

asist.drd.ing. Elena Ștețco

**Student**

Mihut Darius Daniel

Grupa 2126

𝐂𝐮𝐩𝐫𝐢𝐧𝐬:

1. **Specificații proiectare** .................................................................................... 4  
 1.1 Detalii generale despre proiectare .............................................................. 4  
 1.2 Specificații individuale de proiectare ......................................................... 4

2. **Schema bloc a circuitului** .............................................................................. 5  
 2.1 Descrierea schemei bloc ............................................................................. 5

3. **Schema electrică a circuitului** ....................................................................... 6  
 3.1 Schema electrică completă .......................................................................... 6

4. **Filtru trece-bandă activ** .................................................................................. 7  
 4.1 Descrierea filtrului trece-bandă ................................................................... 7  
 4.2 Simularea filtrului trece-bandă .................................................................... 8

5. **Filtrul trece-sus** ............................................................................................... 9  
 5.1 Rol funcțional ..........................................................................................….9  
 5.2 Calculul frecvenței de tăiere ...............................................................……..9  
 5.3 Schema electrică .......................................................................................... 9  
 5.4 Simularea filtrului trece-sus ..............................................................……...10

6. **Filtrul trece-jos** ............................................................................................... 11  
 6.1 Rol funcțional ........................................................................................…...11  
 6.2 Calculul frecvenței de tăiere .............................................................………11  
 6.3 Schema electrică .................................................................................……..11  
 6.4 Simularea filtrului trece-jos ..............................................................………12

7. **Etajele de amplificare fixe** ...........................................................................…13  
 7.1 Rol funcțional ........................................................................................……13  
 7.2 Calcule pentru etajul 1 .......................................................................………13  
 7.3 Calcule pentru etajul 2 .......................................................................………14  
 7.4 Schemele electrice ..............................................................................………14  
 7.5 Simulările pentru etaje .......................................................................……….16

8. **Etajul cu amplificare reglabilă (SET)** ........................................................…...17  
 8.1 Rol funcțional ........................................................................................……...17  
 8.2 Calcule pentru SET = 1 și SET = 0 .................................................………….18  
 8.3 Schema electrică .................................................................................………..19  
 8.4 Simulări pentru reglaj .........................................................................……..…20

9. **Etaj tampon (buffer de tensiune)** ...............................................................……21  
 9.1 Rol funcțional ........................................................................................……...21  
 9.2 Schema electrică .................................................................................………..23

10. **Etajul de putere** ............................................................................................... 22  
 10.1 Scop .......................................................................................................…...22  
 10.2 Configurație ........................................................................................……..22  
 10.3 Schema electrică .......................................................................................... 23

11. **Simulările circuitului complet** ....................................................................... 24  
 11.1 Analiza în frecvență (AC Sweep) ................................................................ 24  
 11.2 Simularea în domeniul timp (Time Domain) ............................................... 24  
 11.3 Simularea Monte Carlo .................................................................................25  
 11.4 Analiza FFT ................................................................................................. 26

11.5 Simularea Parametric Sweep………………………………………………….26

11.6 Simularea Temperature(Sweep)………………………………………………27

12.Bibliografie……………………………………………………………………...28

**1. 𝐒𝐩𝐞𝐜𝐢𝐟𝐢𝐜𝐚ț𝐢𝐢 𝐩𝐫𝐨𝐢𝐞𝐜𝐭𝐚𝐫𝐞**

* 1. **Detalii generale despre proiectare**

Să se proiecteze un amplificator audio care să respecte următoarele specificații:

(a) Amplitudinea semnalul de la intrarea circuitului are valoarea Vin= x [uV] (specificată în prima coloană);

(b) rezistența de la ieșirea circuitului are valoarea de x [Ω] (Coloana 2);

(c) Variația amplitudinii semnalului de ieșire este între x-y [V] (Coloanele 3-4);

(d) banda de frecvență are o valoarea cuprinsă între x-y [Hz] (Coloanele 5-6).

Proiectul trebuie să includă atât schema electrică a amplificatorului, cât și calculele necesare pentru determinarea componentelor utilizate, justificarea alegerii acestora și

analiza performanței circuitului.

* 1. **Specificații individuale de proiectare**

Specificatiile individuale se găsesc în Tabelul 1:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ampli. Semnal  intrare[uV] | Rezistenta  iesire [Ω] | Ao min[V] | Ao Max[V] | fmin [Hz] | fmax [Hz] |
| 900 | 9 | 3 | 13 | 210 | 900 |

*Tabelul 1. Specificații individuale de proiectare*

**2. Schema bloc a circuitului**

**2.1 Descrierea schemei bloc**

Circuitul este alcătuit din cinci etaje funcționale: un filtru trece-bandă activ, trei etaje de amplificare și un etaj de putere. Semnalul de intrare, de 900 μV, este mai întâi filtrat pentru a selecta frecvențele utile între 210 Hz și 9000 Hz. Urmează două etaje de amplificare fixă și un al treilea cu potențiometru, care permite reglarea tensiunii de ieșire între 3 V și 13 V. Etajul final de putere adaptează semnalul la o sarcină de 9 Ω, asigurând funcționarea fără distorsiuni.

Sursa semnal audio

(900μV)

Filtru trece-bandă activ (selectează 210 Hz – 9000 Hz)

Etaje de amplificare

(A = 3333 și A = 14444)

Etaj de putere

Sarcină finală

(9 Ω)

*Figura 1.Schema bloc*

**3. Schema electrică a circuitului**

**3.1 Schema electrică completă**



*Figura 2.Schema electrică completă*

Schema electrică a circuitului este compusă dintr-un filtru trece-bandă, trei etaje de amplificare operațională și un etaj final de putere cu tranzistoare complementare. Semnalul de intrare este aplicat unui filtru activ realizat cu amplificator operațional TL072, care selectează frecvențele utile între 210 Hz și 9000 Hz. Semnalul filtrat este apoi amplificat de două etaje neînversoare cu amplificare fixă.Al treilea etaj de amplificare include un potențiometru, care permite reglarea nivelului semnalului de ieșire între ±3 V și ±13 V, în funcție de poziția contactului „SET”. Etajul final este un amplificator de putere push-pull realizat cu tranzistoare TIP31A și TIP32A, comandate de un etaj de bias cu diode și rezistențe de polarizare, care permite adaptarea la o sarcină reală de 9 Ω fără distorsiuni semnificative.Întregul circuit este alimentat de la o sursă simetrică ±15 V, iar topologia aleasă permite o amplificare stabilă, reglabilă și eficientă a semnalului audio.

**4. Filtru trece-bandă activ**

**4.1** **Descrierea filtrului trece-bandă**

Filtrul trece-bandă activ este primul bloc funcțional al circuitului și are rolul de a selecta frecvențele utile ale semnalului audio, aflate în intervalul 210 Hz – 9000 Hz, conform cerințelor proiectului. Acesta este realizat cu un amplificator operațional TL072 și componente pasive (rezistențe și condensatoare), configurate în așa fel încât să elimine atât frecvențele joase (sub 210 Hz), cât și pe cele înalte (peste 9000 Hz).

Filtrul este format din două părți:

- un filtru trece-sus care blochează frecvențele sub 210 Hz;

- un filtru trece-jos care blochează frecvențele peste 9000 Hz.

Prin combinarea acestora, se obține o bandă de frecvență utilă ce corespunde exact domeniului auditiv de interes pentru aplicația audio. Utilizarea unui filtru activ (cu amplificator operațional) asigură o curbă de răspuns mai clară și o amplificare posibilă a semnalului, spre deosebire de un filtru pasiv care doar atenuază.

Filtrul contribuie la îmbunătățirea fidelității semnalului final, eliminând zgomotele de fond (de joasă frecvență) și eventualele interferențe sau componente nedorite de înaltă frecvență.



*Figura 3.Schema electrică a filtrului trece-bandă activ*

**4.2 Simularea filtrului trece-bandă activ**



*Figura 4.Semnalul filtrului trece-bandă activ*

În urma simulării de tip AC Sweep, s-a obținut caracteristica de frecvență a filtrului trece-bandă implementat în circuit. Graficul indică modul în care amplitudinea semnalului de ieșire variază în funcție de frecvența semnalului de intrare.

Se observă clar o zonă de trecere bine definită, în care filtrul permite semnalelor să treacă aproape fără atenuare. Aceasta se întinde aproximativ între 210 Hz și 9000 Hz, ceea ce corespunde cerințelor proiectului. În afara acestei benzi, amplitudinea scade semnificativ, ceea ce indică o atenuare eficientă a frecvențelor nedorite – atât a celor joase (sub 210 Hz), cât și a celor înalte (peste 9 kHz).

Forma caracteristicii este tipică pentru un filtru trece-bandă cu amplificator operațional (activ), iar frecvența centrală (unde amplitudinea este maximă) se situează în jurul valorii de 1.5–2 kHz, ceea ce asigură un răspuns echilibrat în banda audio de interes.

Acest rezultat confirmă că filtrul funcționează corect și îndeplinește cerințele de proiectare, oferind o selecție eficientă a semnalului audio pentru amplificarea ulterioară.

**5.Filtrul trece-sus**

**5.1 Rol funcțional:**

Elimină frecvențele nedorite de joasă frecvență, precum zgomot de rețea, vibrații sau offseturi DC.

Împreună cu filtrul trece-jos formează un filtru trece-bandă activ care izolează exact banda audio necesară: 210 Hz – 9000 Hz.

Contribuie la claritatea semnalului și la eficiența amplificării ulterioare.

**5.2 Calculul frecvenței de tăiere:**

Formula frecvenței de tăiere:

Înlocuire cu valorile componentelor:

**5.3 Schema electrică**



*Figura 5.Schema electrică a filtrului trece-sus*

**5.4 Simularea filtrului trece-sus**



*Figura 6.Semnalul filtrului trece-sus*

Simularea realizată este de tip AC Sweep și urmărește răspunsul în frecvență al filtrului trece-jos implementat în a doua etapă a circuitului. Pe axa orizontală este reprezentată frecvența (în scară logaritmică), iar pe axa verticală tensiunea de ieșire.

Se observă că în zona frecvențelor joase (sub 1 kHz), semnalul de ieșire este aproape constant și nelimitat, ceea ce confirmă faptul că aceste frecvențe sunt transmise complet. Începând cu aproximativ 9 kHz, semnalul începe să fie atenuat treptat, până când, la frecvențe peste 30–40 kHz, este semnificativ redus.

**6. Filtrul trece-jos**

**6.1 Rol functional**

Atenuează frecvențele înalte nedorite, cum ar fi zgomotele de comutație, semnale de înaltă frecvență parazite sau armonici nedorite din etajele anterioare.

Limitează banda superioară a semnalului la aproximativ 9000 Hz, asigurând un răspuns audio clar, fără componente înalte care pot distorsiona semnalul sau satura etajele de amplificare.

Împreună cu filtrul trece-sus formează un filtru trece-bandă activ, care selectează cu precizie banda audio dorită (210 Hz – 9000 Hz).

**6.2 Calculul frecvenței de tăiere:**

Formula frecvenței de tăiere:

Înlocuire cu valorile componentelor:

**6.3 Schema electrică**



*Figura 7.Schema electrică a filtrului trece-jos*

**6.4 Simularea filtrului trece-jos**



*Figura 8.Semnalul filtrului trece-jos*

Pentru verificarea funcționării filtrului trece-sus, a fost realizată o simulare de tip **AC Sweep**, analizând răspunsul în frecvență începând de la frecvențe foarte joase (10 Hz) până în domeniul audio relevant. Graficul rezultat prezintă amplitudinea tensiunii de ieșire în funcție de frecvență.

Se observă că în zona joasă a spectrului, sub **200 Hz**, semnalul este semnificativ atenuat. Pe măsură ce frecvența crește, amplitudinea de ieșire crește progresiv, ajungând la un nivel stabil în jurul valorii de **210 Hz**, după care rămâne constantă. Această tranziție indică foarte clar zona de tăiere a filtrului.

**7. Etajele de amplificare fixe**

**7.1 Rol funcțional**

Etajele 1 și 2 din circuitul amplificator audio reprezintă primele două trepte de amplificare aplicate semnalului provenit de la filtrul trece-bandă. Acestea sunt implementate folosind amplificatoare operaționale de tip TL072, configurate în regim neînversor. Scopul lor este de a amplifica semnalul audio de foarte joasă amplitudine (900 μV) până la un nivel suficient de mare, astfel încât să poată fi reglat și adaptat de etajul următor.

Configurarea neînversoare implică aplicarea semnalului de intrare pe borna pozitivă a amplificatorului operațional, în timp ce borna negativă este legată la o rețea de feedback formată din două rezistențe.

**7.2 Formule și calcule pentru Etajul 1 de amplificare**

Formula amplificării:

Înlocuire cu valorile rezistențelor:

Calculul tensiunii de ieșire teoretice:

Verificare cu valoarea simulată:

Amplitudine observată din grafic:

Verifcarea valorilor din simulare:

A screenshot of a graph

AI-generated content may be incorrect.

*Figura 9.Valorile rezultate din simulare*

**7.2 Formule și calcule pentru Etajul 2 de amplificare**

Formula amplificării:

Înlocuire cu valorile rezistențelor:

Calculul tensiunii de ieșire teoretice:

Verificare cu valoarea simulată:

Amplitudine observată din grafic:

Verifcarea valorilor din simulare:

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

*Figura 10.Valorile rezultate din simulare*

**7.3 Schemele electrice pentru cele două etaje de amplificare**



*Figura 11.Schema electrică pentru primul etaj de amplifcare*



*Figura 12.Schema electrică pentru al doilea etaj de amplifcare*



*Figura 13.Schema electrică pentru cele două etaje de amplifcare împreuna*

**7.4 Simularile pentru cele două etaje de amplificare**



*Figura 14.Simularea primului etaj de amplificare*



*Figura 15.Simularea celor doua etaje de amplificare*

**8. Etajul cu amplificare reglabila**

**8.1 Rol funcțional**

Etajul 3 din lanțul de amplificare este conceput pentru a oferi **control reglabil asupra amplificării finale** a semnalului audio, înainte ca acesta să fie aplicat la ieșirea circuitului sau la etajul de putere. Acest etaj este realizat cu un amplificator operațional TL072 în configurație **neînversoare**, ceea ce asigură păstrarea fazei semnalului.

Spre deosebire de etajele anterioare, care au o amplificare fixă, etajul 3 este prevăzut cu un **potențiometru** plasat în rețeaua de feedback, ceea ce permite **reglarea continuă a amplificării**.

Potențiometrul face parte din divizorul de tensiune al rețelei de feedback și este conectat în serie cu o rezistență fixă (R23).

Prin variarea rezistenței R24 (între 0 Ω și 100 kΩ), utilizatorul poate modifica amplificarea etajului.

* **Funcție practică și control:**
* În funcție de poziția potențiometrului (sau a semnalului SET = 0 sau SET = 1), tensiunea de ieșire poate fi controlată între limitele cerute de aplicație, de exemplu între ±3 V și ±13 V.
* Prin această reglare, etajul 3 devine o interfață flexibilă între amplificarea brută oferită de etajele fixe și cerințele precise de nivel de semnal ale sarcinii (ex. difuzor).
* De asemenea, reglajul fin permite evitarea saturației în etajul final de putere și optimizează consumul.
* **Avantaje oferite de acest etaj:**
* **Reglaj precis** al amplitudinii semnalului.
* **Adaptabilitate** la diferite condiții de sarcină sau preferințe de volum.
* **Stabilitate**, deoarece amplificatorul funcționează în regim liniar datorită feedbackului negativ.
* **Izolare și protecție** față de variațiile semnalelor din etajele anterioare.

**8.2 Formule și calcule pentru Etajul 3 de amplificare**

Formula amplificării:

**Pentru SET=1 ->**

Valori:

Calcul:

Tensiune de intrare:

Tensiune de ieșire teoretică:

Verificare cu simularea:

A screenshot of a graph

AI-generated content may be incorrect.

*Figura 16.Valorile rezultate din simulare pentru SET=1*

**Pentru SET=0 ->**

Valori:

Calcul:

Tensiune de intrare:

Tensiune de ieșire teoretică:

Valoare simulată:

A screenshot of a graph

AI-generated content may be incorrect.

*Figura 17.Valorile rezultate din simulare pentru SET=0*

**8.3 Schema electrică**



*Figura 18.Schema electrică etaj cu reglaj*

**8.4 Simulările pentru etajul cu reglaj**

**Pentru SET=1 -> **

*Figura 19.Simularea pentru SET=1*

**Pentru SET=0 ->**

****

*Figura 20.Simularea pentru SET=0*

**9.Etaj tampon (Buffer de tensiune)**

**9.1 Rol funcțional**

**Configurație utilizată:**

Circuitul de mai jos reprezintă un buffer de tensiune realizat cu un amplificator operațional AD822, în configurație follower (urmăritor de tensiune):

Intrarea semnalului este aplicată la borna neînversoare (+)(+)(+);

Borna inversoare (−)(-)(−) este conectată direct la ieșire;

Nu există rezistențe de feedback sau de intrare, deci amplificarea este unitară (Av=1)(A\_v = 1)(Av​=1).

**Scopul utilizării bufferului:**

Separă etajele de amplificare, oferind:

Impedență de intrare mare, care nu încarcă etajul anterior;

Impedență de ieșire mică, capabilă să alimenteze sarcini mai grele;

Menține forma și amplitudinea semnalului, fără amplificare sau modificare.

**Concluzie:**

Diferența minoră se datorează erorilor interne ale amplificatorului operațional în simulare. Totuși, comportamentul este specific unui buffer de tensiune, utilizat pentru adaptare de impedanță și izolare între etaje fără a modifica semnalul de intrare.

**9.2 Schema electrică**



*Figura 21.Etaj de tampon*

**10.Etajul de putere**

**10.1 Scopul etajului de putere**

Etajul de putere are rolul de a livra curent suficient sarcinii (R = 9 Ω), păstrând forma semnalului amplificat de etajele anterioare, fără ca amplificatorul operațional să fie suprasolicitat. Acesta preia semnalul de tensiune de la buffer sau amplificatorul principal și îl transformă într-un semnal de tensiune cu putere mare.

**10.2 Configurație folosită**

Etajul este realizat în configurație **push-pull simetric**, utilizând:

* **Tranzistoare de ieșire (putere):**
  + Q2 – TIP41C (NPN)
  + Q4 – TIP41C (NPN)
  + Q1 – TIP42C (PNP)
  + Q3 – TIP42C (PNP)
* **Diode de polarizare:**
  + D1–D4 – 1N4148
  + Asigură o tensiune de prag de aproximativ 0.6–0.7 V pentru fiecare joncțiune BE.
* **Rezistențe de bază:**
  + R63, R64 – 1 kΩ

**10.3 Schema electrică**



*Figura 22.Schema electrica a etajului de putere*

**11.Simularile circuitului complet**

**11.1 Simularea in frecvență**

Graficul de sus: amplificarea în dB, adică

Graficul de jos: amplitudinea efectivă a semnalului ​, în funcție de frecvență;

Este o analiză AC sweep, pe o scală logaritmică de frecvență (excelent pentru filtre și răspuns în frecvență).



*Figura 23. Analiza in frecvență a circuitului*

**11.2 Simularea Time Domain**



Figura 24.Analiza in timp a circuitului

**11.3 Simularea Monte-Carlo**

**1.Toate undele sunt aproape identice:**

-Se suprapun perfect — micile diferențe sunt insesizabile în majoritatea punctelor;

-Asta înseamnă că toleranțele nu afectează semnificativ funcționarea circuitului.

**2. Forma de undă este mereu sinus pur:**

-Nu sunt deformări, saturație, rupturi sau modificări de frecvență;

-Semnalul rămâne stabil și corect în toate variantele simulate.



*Figura 25.Simularea Monte-Carlo*

**11.4 Simularea FFT**

**Analiza FFT a semnalului de ieșire** confirmă faptul că circuitul amplificator păstrează fidelitatea semnalului audio. Rezultatul indică o componentă spectrală dominantă la frecvența fundamentală de 210 Hz, fără armonici vizibile, ceea ce demonstrează o funcționare liniară, fără distorsiuni semnificative.



Figura 26. Simularea FFT

**11.5 Simularea Parametric Sweep**



Figura 27.Simularea Parametric Sweep pe rezistența R23

**11.6 Simularea Temperature(Sweep)**

Pentru a testa influența variației de temperatură asupra performanței circuitului, s-a realizat o simulare de tip Temperature Sweep în regim tranzitoriu, la următoarele temperaturi: -50°C, 0°C, 100°C și 150°C. Rezultatele arată că forma de undă rămâne stabilă, fără variații semnificative de amplitudine sau fază, ceea ce indică o comportare robustă termic a amplificatorului.



Figura 28.Simularea pentru Temperature(Sweep)

**12. Bibliografie**

<https://www.radioamator.ro/articole/print.php?id=994>

<https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_4.html>

<http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/de/DE_Curs8.pdf>

<http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/cef/seminar/4_Amplif_putere_RN.pdf>

<http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/cef/06_amplif_putere.pdf>

<https://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Bandpass-filter-calculator.php>

Proiectare asistata de calculator”, Ovidiu Pop, Ed. Mediamira, Cluj-Napoca, 2007