

Facultatea de Electronica, Telecomunicatii si Tehnologia Informatiei



Proiect la disciplina Tehnici CAD

Indicator de nivel audio (VU-metru)

An universitar: 2021-2022

Student:

Fornade Teodora-Cristiana

Grupa 2122

Profesori indrumatori:

Stetco Elena Mirela

Pop Ovidiu Aurel

1.Cerinta

Sa se proiecteze un circuit electronic care sa indice pe un afisaj cu leduri nivelul semnalului audio dintr-o banda de frecventa specificata(VU-metru). Circuitul este alimentat de la tensiunea $\pm VCC$. LED-urile trebuie sa fie de culori diferite. LED-urile se vor aprinde succesiv la depasirea fiecarui prag audio stabilit de proiectant.

Date de proiectare:

- Amplitudinea semnalului de intrare[uV] = 440 uV
- Banda de frecvente: fmin = 200 Hz, fmax = 8200 Hz
- Tensiunea de alimentare[V] = 14 V
- Semnalizari: 4(numarul de LED-uri)

2.Introducere

Schema bloc:



Indicatorul de nivel audio este un dispozitiv care arata nivelul audio prin aprinderea unui LED la o anumita amplitudine.

In montajul pe care il vom construi, va trebui sa amplificam tensiunea de intrare, ea avand o valoare foarte mica. Dupa o prima amplificare, semnalul rezultat va fi filtrat pentru a-l incadra in banda de frecvente ceruta, apoi il vom amplifica din nou pentru a ajunge o valoare apropiata de tensiunea de alimentare.

Pentru a semnaliza atingerea unui anumit prag ne vom folosi de cate un comparator pentru fiecare LED, care se va aprinde atunci cand pragul ales va fi depasit.

- Alegerea amplificatorului operational
Am ales amplificatorul operational UA772A care are banda de castig unitar de 3Mhz si tensiunea maxima de alimentare de $\pm 15V$.

Montaj final

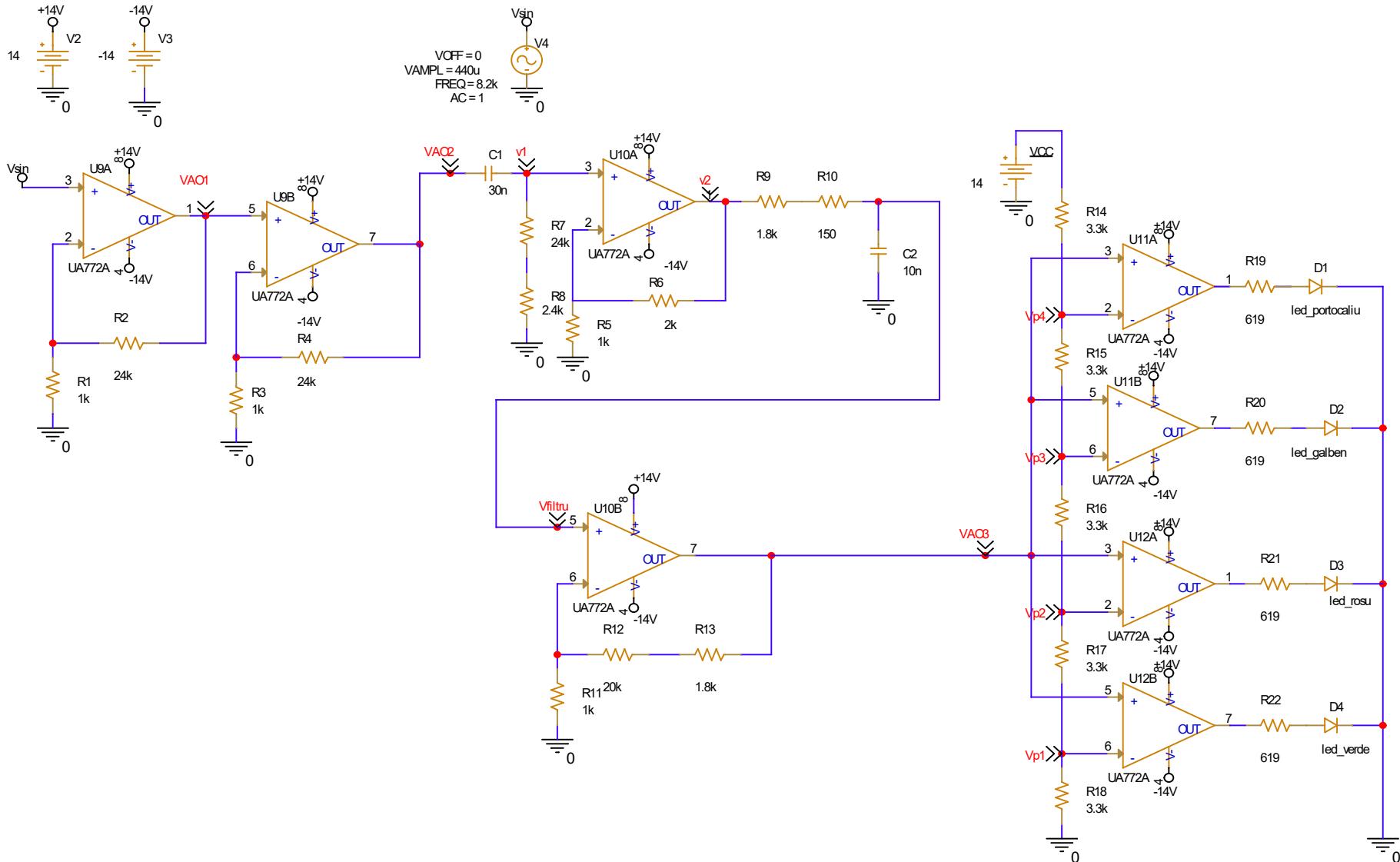


Figura 1. Circuitul final

3. Amplificarea si filtrarea tensiunii de intrare

Deoarece semnalul de intrare are o amplitudine de ordinul uV, amplificarea nu se va putea face intr-un singur etaj de amplificare. Din aceasta cauza, vom folosi mai multe etaje pentru a respecta datele de catalog ale amplificatorului operational.

De asemenea, vom amplifica, apoi vom filtra semnalul, urmand din nou sa il amplificam, deoarece semnalul are o amplitudine foarte mica, riscam sa nu il putem filtra.

Vom folosi un amplificator operational neinvesor care are urmatoare schema:

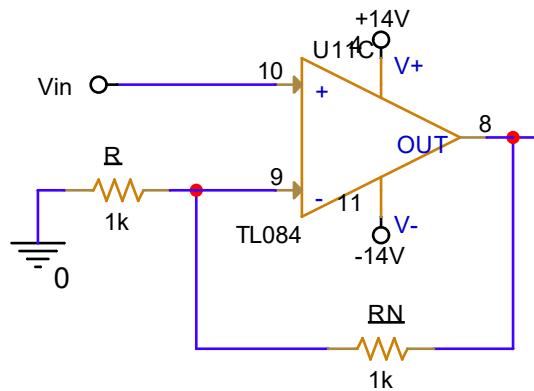


Figura 2. Schema unui amplificator operational neinvesor

Si amplificarea este data de relatia:

$$A = 1 + \frac{R_N}{R}, \text{ unde } \{R_N - rezistenta din reactia negativa}$$

Vom folosi 3 etaje de amplificare pentru a ne incadra in banda de frecventa.

Tensiunea de intrare este: $v_{\sin} = 0.44m * \sin(2\pi * 8.2k * t)$

❖ Primul etaj de amplificare

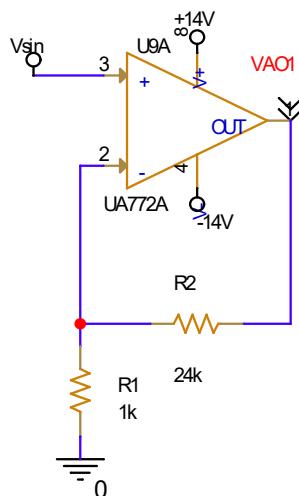


Figura 3. Schema primului etaj de amplificare

Vom calcula amplificarea utilizand formula:

$$V_{AO1} = A \cdot V_{\sin} ; \text{ unde : } \begin{cases} V_{\sin} = \text{tensiunea de intrare} \\ V_{AO1} = \text{tensiunea rezultata} \\ A = \text{amplificarea} \end{cases}$$

Am ales rezistentele R_1, R_2 din seria de valori E_{24} cu o toleranta de 5%.

$$R_1 = 1k\Omega \Rightarrow \begin{cases} R_{1\min} = 0.95k\Omega \\ R_{1\max} = 1.05k\Omega \end{cases}$$

$$R_2 = 24k\Omega \Rightarrow \begin{cases} R_{2\min} = 23.95k\Omega \\ R_{2\max} = 24.05k\Omega \end{cases}$$

$$A_{v\min} = 1 + \frac{R_{2\min}}{R_{1\max}} = 1 + \frac{23.95k}{1.05k} = 23.8$$

$$A_{v\max} = 1 + \frac{R_{2\max}}{R_{1\min}} = 1 + \frac{24.05k}{0.95k} = 26.31$$

$$\left. \begin{aligned} V_{AO1\min} &= A_{v\min} \cdot V_{\sin} = 23.8 \cdot 0.44m \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t) [V] \\ \Rightarrow V_{AO1\min} &= 10.15m \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t) [V] \\ V_{AO1\max} &= A_{v\max} \cdot V_{\sin} = 26.31 \cdot 0.44m \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t) [V] \\ \Rightarrow V_{AO1\max} &= 11.57m \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t) [V] \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_{AO1} \in [10.15m \div 11.57m] [V]$$

Pentru a verifica functionalitatea amplificarii vom crea un profil de simulare de tipul Time Domain(Transient).

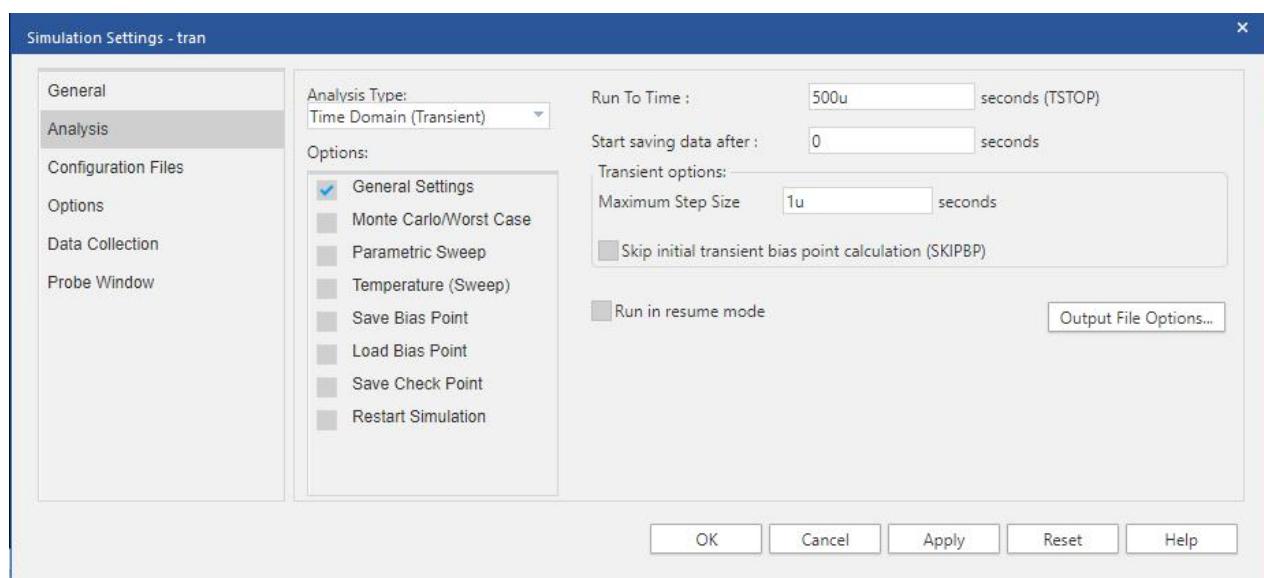


Figura 4. Profil de simulare pentru analiza tranzitorie

In urma simularii va rezulta urmatorul grafic in care avem cu verde, tensiunea de la intrarea amplificatorului si cu rosu, tensiunea amplificata.

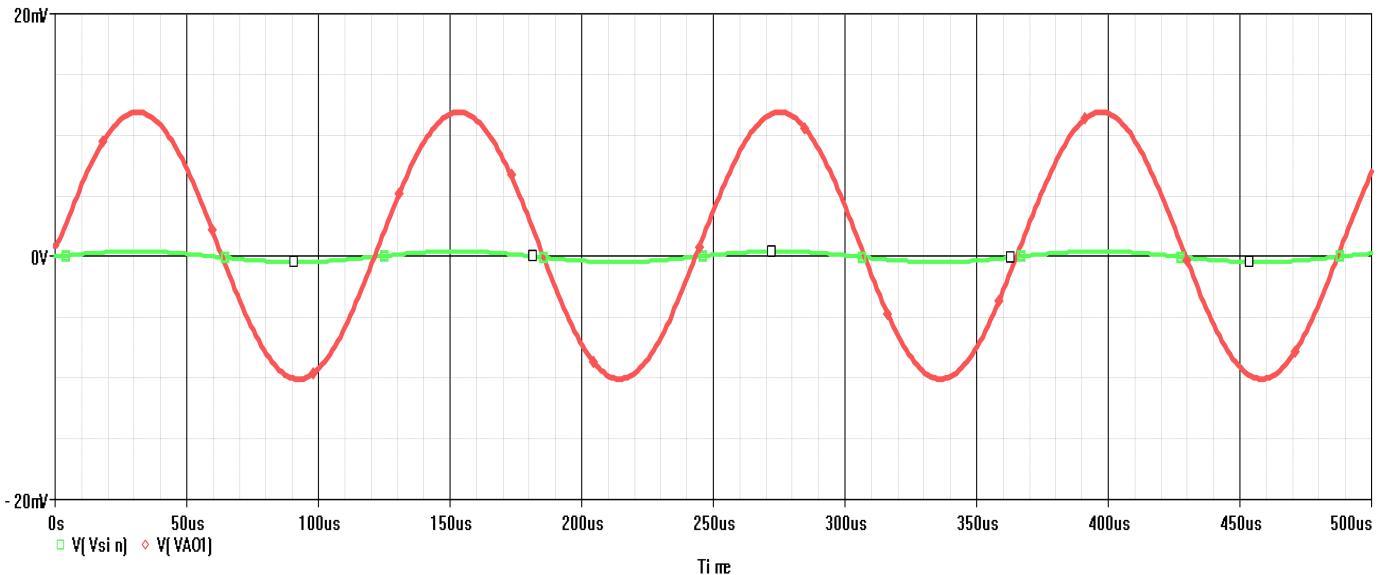


Figura 5. Rezultatul primei amplificari

Evaluate	Measurement	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Max(V(Vsin))	439.99763u
<input checked="" type="checkbox"/>	Max(V(VA01))	11.89204m

Figura 6.a. Masuratori efectuate

Din masuratori putem observa ca tensiunea a fost amplificata la valoarea de 11.89mV, aceasta fiind valoarea maxima de pe grafic.

Vom calcula tensiunea varf la varf, pentru a determina valoarea semnalului de iesire, dupa formula:

$$V_{pp} = V_{\min} + V_{\max}$$

Evaluate	Measurement	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Max(V(VA01))	11.89204m
<input checked="" type="checkbox"/>	Min(V(VA01))	-10.08240m

Figura 6.b. Masuratori efectuate

$$V_{pp} = 11.89m + 10.08m = 21.97mV$$

$$A = \frac{V_{pp}}{2} = 10.98mV$$

Deci, tensiunea dupa primul etaj de amplificare este: $v_{AO1} = 10.98m \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)$

❖ Al doilea etaj de amplificare

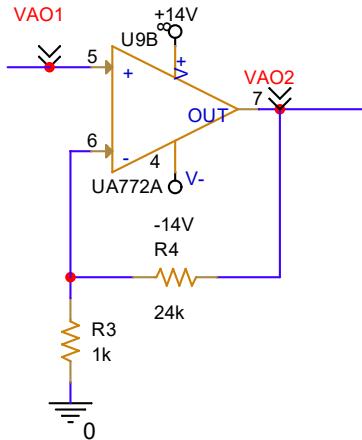


Figura 7. Schema celui de-al doilea etaj de amplificare

Pentru a calcula amplificarea vom proceda la fel ca la primul etaj de amplificare:

$$V_{AO2} = A \cdot V_{AO1}; \text{ unde : } \begin{cases} V_{AO1} = \text{tensiunea de intrare amplificata} \\ V_{AO2} = \text{tensiunea de iesire al etajului II de amplificare} \\ A = \text{amplificarea} \end{cases}$$

Am ales rezistentele R_3, R_4 din seria de valori E_{24} cu o toleranta de 5%.

$$R_3 = 1k\Omega \Rightarrow \begin{cases} R_{3\min} = 0.95k\Omega \\ R_{3\max} = 1.05k\Omega \end{cases}$$

$$R_4 = 24k\Omega \Rightarrow \begin{cases} R_{4\min} = 23.95k\Omega \\ R_{4\max} = 24.05k\Omega \end{cases}$$

$$A_{v\min} = 1 + \frac{R_{4\min}}{R_{3\max}} = 1 + \frac{23.95k}{1.05k} = 23.8$$

$$A_{v\max} = 1 + \frac{R_{4\max}}{R_{3\min}} = 1 + \frac{24.05k}{0.95k} = 26.31$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{AO2\min} = A_{v\min} \cdot V_{AO1} = 23.8 \cdot 10.985m \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \\ \Rightarrow V_{AO2\min} = 0.261 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \\ V_{AO2\max} = A_{v\max} \cdot V_{AO1} = 26.31 \cdot 10.985m \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \\ \Rightarrow V_{AO2\max} = 0.289 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \end{array} \right\} \Rightarrow V_{AO2} \in [0.261 \div 0.289][V]$$

Vom verifica functionalitatea circuitului similar ca la primul etaj de amplificare, folosind un profil de simulare Time Domain(Transient).

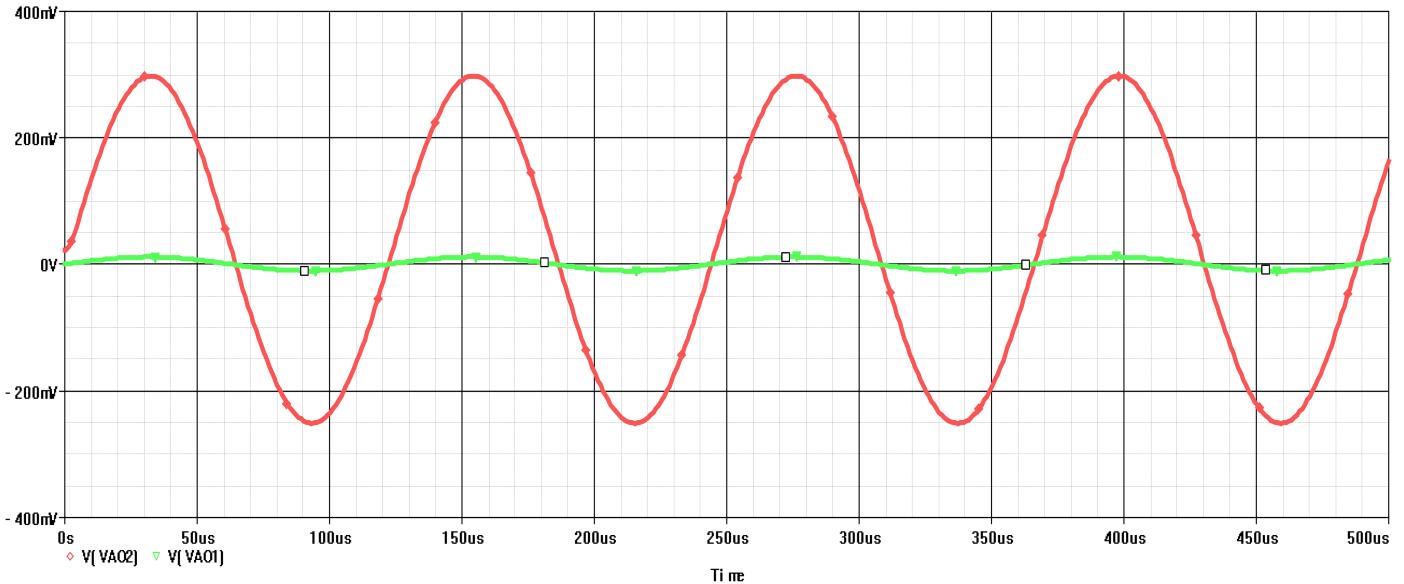


Figura 8. Simularea celui de-al doilea etaj de amplificare

	Evaluate	Measurement	Value
	<input checked="" type="checkbox"/>	Max(V(VA01))	11.89204m
	<input checked="" type="checkbox"/>	Max(V(VA02))	297.98293m
	<input checked="" type="checkbox"/>	Min(V(VA02))	-250.94206m

Figura 9. Masuratori efectuate

$$V_{pp} = 297m + 250m = 547mV$$

$$A = \frac{V_{pp}}{2} = 273mV = 0.273V$$

Deci, tensiunea dupa al doilea etaj de amplificare este: $v_{AO2} = 0.273 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V]$

❖ Filtrarea semnalului

Pentru a filtra semnalul vom folosi un filtru activ in configuratia acestuia care permite o banda larga de frecvente. Din datele de proiectare avem constrangerea de a pastra o banda de frecventa intre 200Hz si 8200Hz.

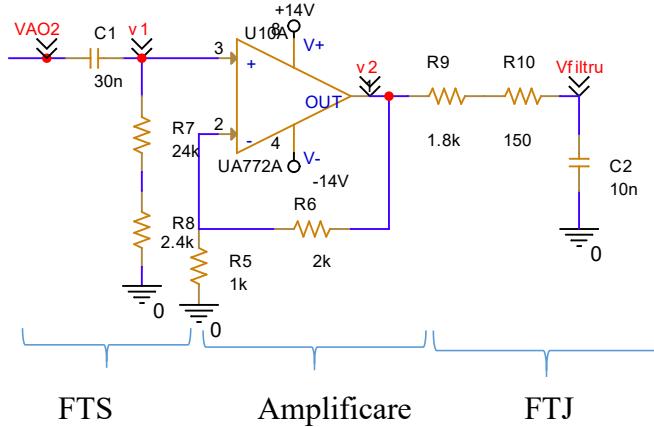


Figura 10. Schema filtrului activ

Acest filtru activ este alcătuit dintr-un filtru trece-jos, un filtru trece-sus, care împreună formează un filtru trece-banda și un amplificator, unde circuitul devine activ. Frecvența de tăiere a filtrului trece-jos(FTJ) este mai mare decât frecvența de tăiere a filtrului trece-sus(FTS), iar diferența dintre frecvențele la punctul de -3dB va determina largimea de banda a filtrului trece-banda(FTB), în timp ce se atenuează orice semnale în afara acestor puncte. Combinând în cascăda filtrele individuale FTS și FTJ produce un circuit de tip "Q-factor" scăzut, care are o banda largă de trecere.

Proiectare FTS

Vom începe prin proiectarea filtrului trece-sus:

f_i – frecvența inferioară

f_0 – frecvența de tăiere

$$f_i = f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$f_i = 200\text{Hz}$$

Initial vom alege o valoare a condensatorului, urmând să determinăm rezistența prin calcul. Vom alege $C_1 = 30\text{nF}$.

Inlocuim aceasta valoare în formula frecvenței de tăiere:

$$200 = \frac{1}{2\pi \cdot 30 \times 10^{-9} \cdot R} \Rightarrow R = \frac{1}{2\pi \cdot 30 \times 10^{-9} \cdot 200} = 26.52\text{k}\Omega$$

Cautăm o rezistență cat de apropiată de valoarea calculată în seriile de valori standard. Pentru a avea o rezistență de $26.52\text{k}\Omega$, vom pune două rezistențe în serie, a căror suma va fi cea a rezistenței calculate. Am ales valorile pentru R_7 și R_8 din seria de valori E_{24} cu o toleranță de 5%.

$$R_7 = 24k\Omega \Rightarrow \begin{cases} R_{7\min} = 23.95k\Omega \\ R_{7\max} = 24.05k\Omega \end{cases}$$

$$R_8 = 2.4k\Omega \Rightarrow \begin{cases} R_{8\min} = 2.35k\Omega \\ R_{8\max} = 2.45k\Omega \end{cases}$$

$$R_e = R_7 + R_8 = 24k + 2.4k = 26.4k\Omega$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_{e\min} = R_{7\min} + R_{8\min} = 23.95k + 2.35k = 26.3k\Omega \\ R_{e\max} = R_{7\max} + R_{8\max} = 24.05k + 2.45k = 26.5k\Omega \end{cases}$$

Pentru aceste valori ale rezistentelor avem o frecventa minima si una maxima:

$$f_{i\min} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{e\max} C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 26.5 \times 10^3 \cdot 30 \times 10^{-9}} = 200.19Hz$$

$$f_{i\max} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{e\min} C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 26.3 \times 10^3 \cdot 30 \times 10^{-9}} = 201.71Hz$$

Proiectare FTJ

Similar ca la proiectarea filtrului trece-sus, si aici vom alege o valoare a condensatorului urmand sa determinam rezistenta.

f_s – frecventa superioara

f_0 – frecventa de taiere

$$f_s = f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$f_s = 8200Hz = 8.2kHz$$

Alegem $C_2 = 10nF$.

$$8200 = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \times 10^{-9} \cdot R} \Rightarrow R = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \times 10^{-9} \cdot 8200} = 1.94k\Omega$$

Pentru a avea o rezistenta cat mai apropiata de rezistenta calculata ne vom folosi de 2 rezistente.

$R_9 = 1.8k\Omega$ (Seria E₂₄ cu o toleranta de 5%)

$$\begin{cases} R_{9\min} = 1.75k\Omega \\ R_{9\max} = 1.85k\Omega \end{cases}$$

$R_{10} = 150\Omega$ (Seria E₉₆ cu o toleranta de 1%)

$$\begin{cases} R_{10\min} = 149.99\Omega \\ R_{10\max} = 150.01\Omega \end{cases}$$

$$R_e = R_9 + R_{10} = 1.8k + 0.15k = 1.95k\Omega$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_{e\min} = R_{9\min} + R_{10\min} = 1.899k\Omega \\ R_{e\max} = R_{9\max} + R_{10\max} = 2k\Omega \end{cases}$$

Analog vom avea o frecventa minima si una maxima:

$$f_{s\min} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{e\max} C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 2 \times 10^3 \cdot 10 \times 10^{-9}} = 7.95kHz$$

$$f_{s\max} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{e\min} C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 1.899 \times 10^3 \cdot 10 \times 10^{-9}} = 8.38kHz$$

Pentru a verifica functionalitatea filtrului vom folosi un profil de simulare de tipul AC Sweep/Noise, in domeniul frecventa:

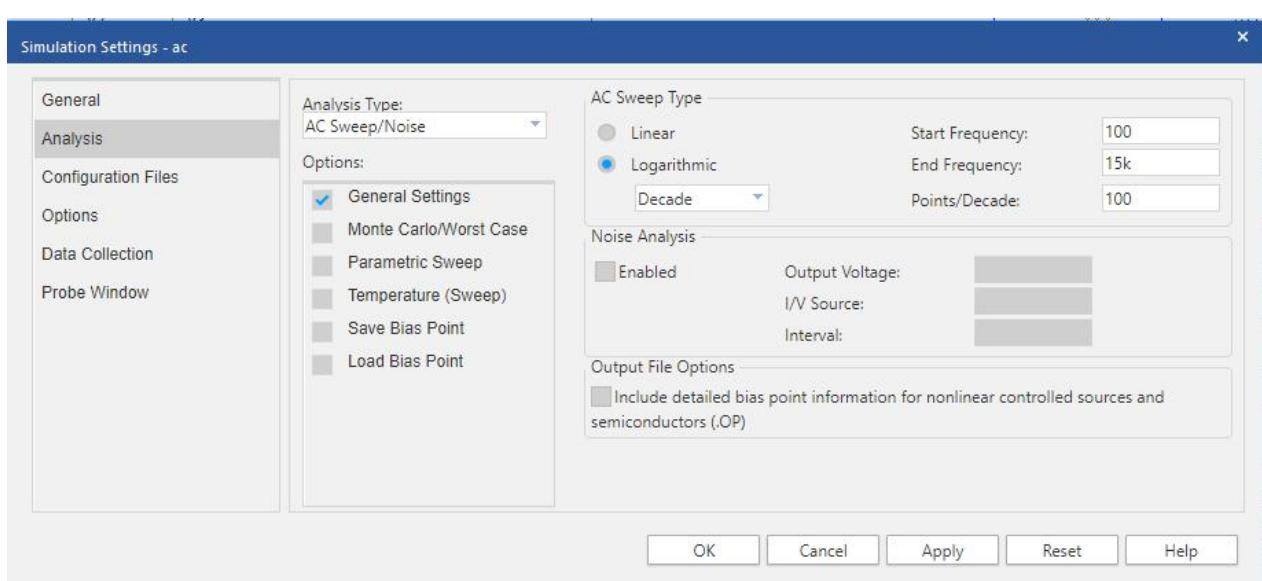


Figura 11. Profilul de simulare pentru afisarea diagramei Bode

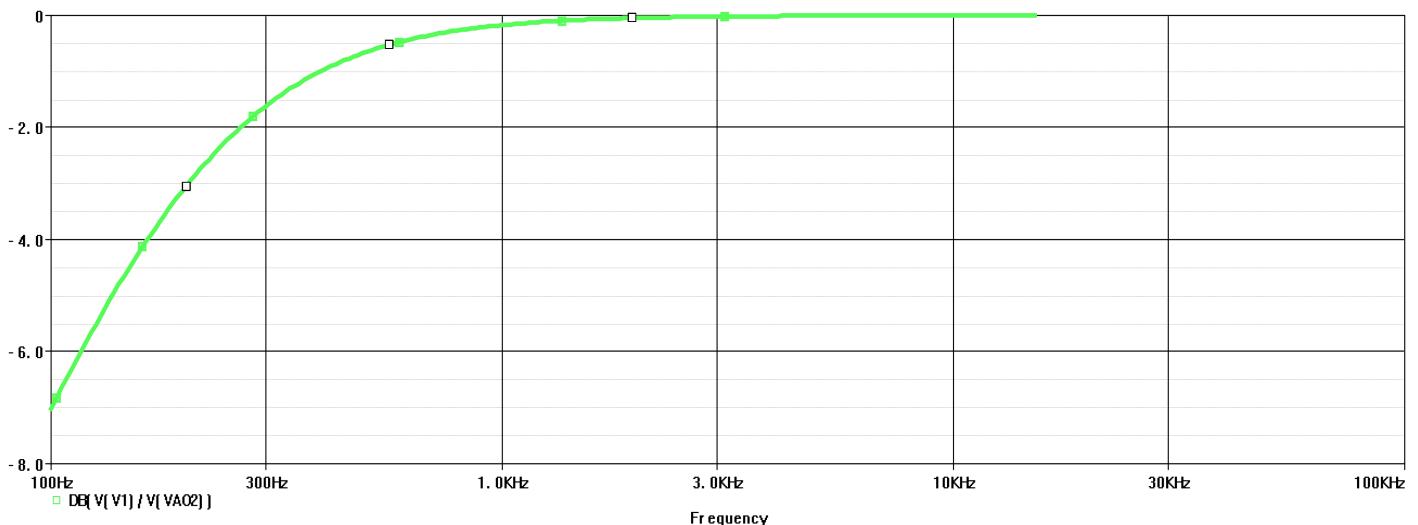


Figura 12. Diagrama Bode a FTS

Similar vom proceda si pentru filtrul trece-jos:

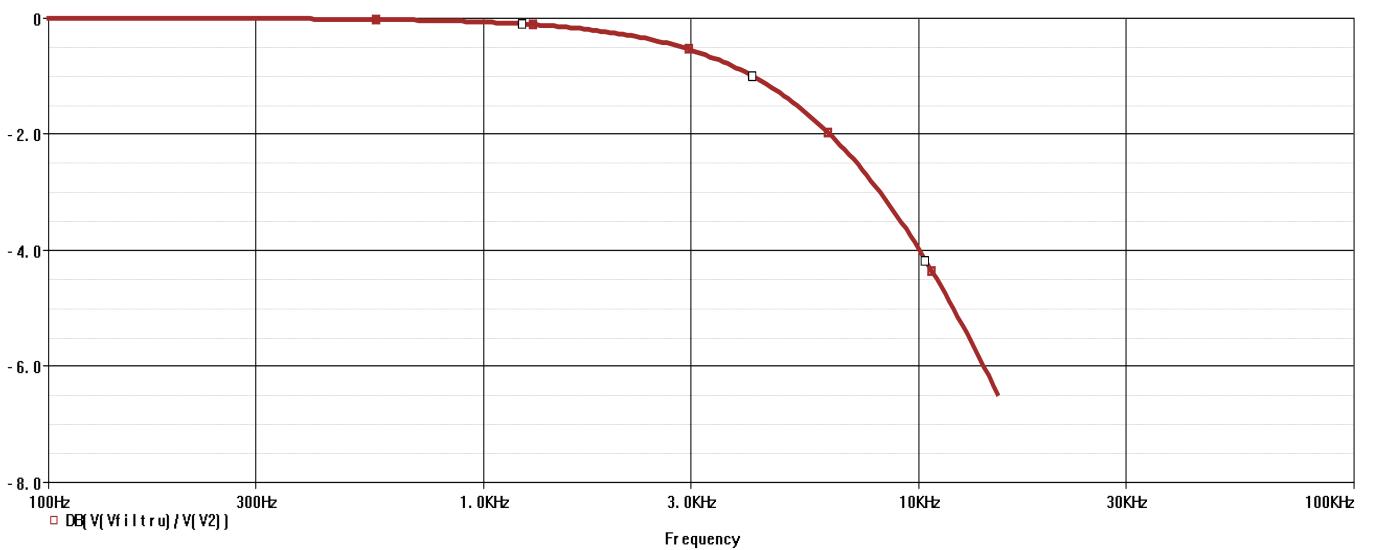


Figura 13. Diagrama Bode a FTJ

Afisam ambele caracteristici pentru a vizualiza Diagrama Bode a filtrului trece-banda:

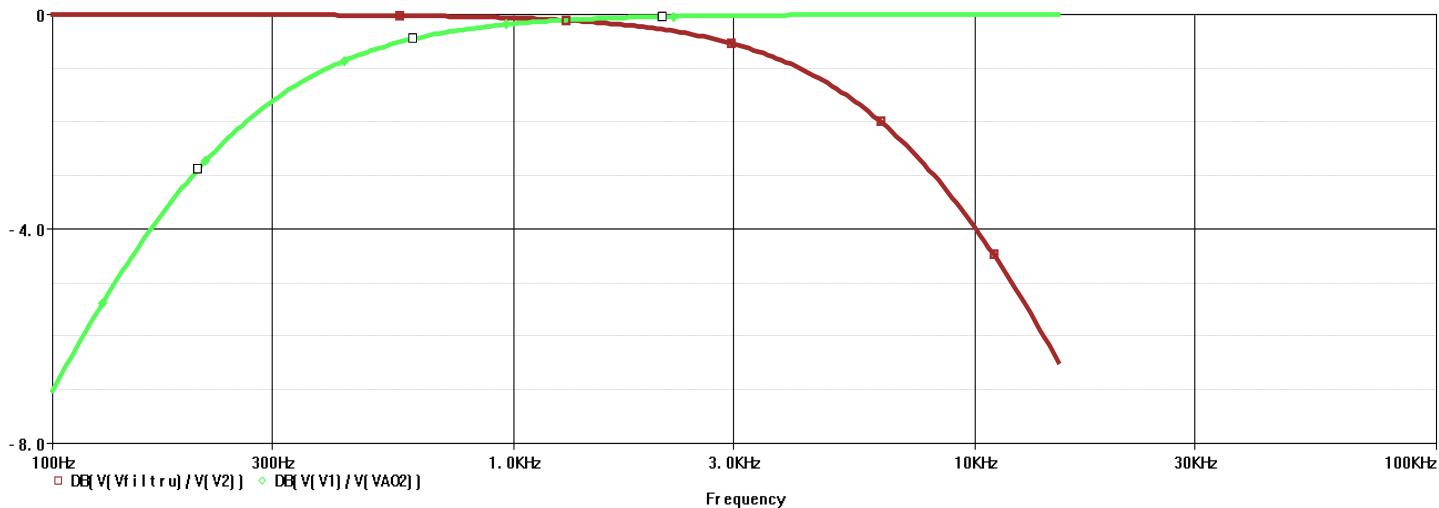


Figura 14. Diagrama Bode a FTB

	Evaluate	Measurement	Value
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff_Lowpass_3dB((V(Vfiltru)/V(V2)))	8.14366k
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff_Highpass_3dB((V(V1)/V(VAO2)))	201.42119

Figura 15. Masuratori efectuate

Observatii: Din masuratorile efectuate putem observa ca frecventa inferioara este 201.42Hz, iar frecventa superioara este 8.14kHz, putem considera ca filtrul este functional.

Amplificarea filtrului activ

Tensiunea la intrarea filtrului este: $v_{AO2} = 0.273 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V]$

Am ales rezistentele R_5, R_6 din seria de valori E_{24} cu o toleranta de 5%.

$$R_5 = 1k\Omega \Rightarrow \begin{cases} R_{5\min} = 0.95k\Omega \\ R_{5\max} = 1.05k\Omega \end{cases}$$

$$R_6 = 2k\Omega \Rightarrow \begin{cases} R_{6\min} = 1.95k\Omega \\ R_{6\max} = 2.05k\Omega \end{cases}$$

$$A_{v\min} = 1 + \frac{R_{6\min}}{R_{5\max}} = 1 + \frac{1.95k}{1.05k} = 2.85$$

$$A_{v\max} = 1 + \frac{R_{6\max}}{R_{5\min}} = 1 + \frac{2.05k}{0.95k} = 3.15$$

Filtrul are o amplificare aproximativ egala cu 3, ceea ce este echivalent cu aproximativ

9.54 dB.

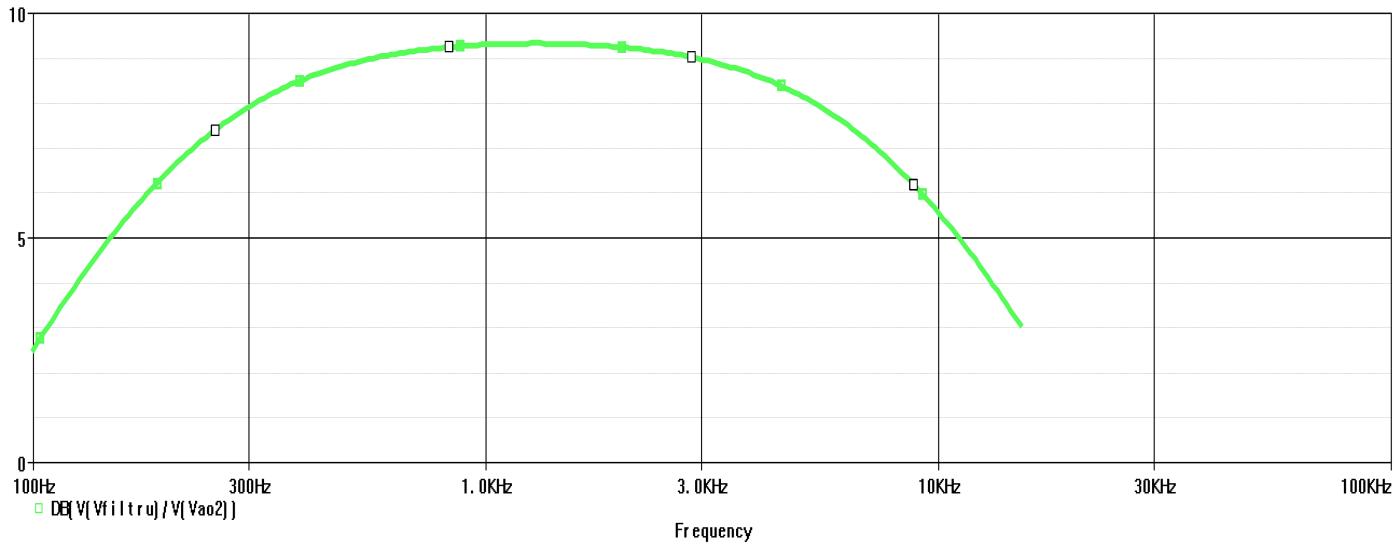


Figura 16. Diagrama Bode a filtrului activ

$$\left. \begin{array}{l} V_{filtru\ min} = A_{v\ min} \cdot V_{AO2} = 2.85 \cdot 0.273 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \\ \Rightarrow V_{filtru\ min} = 0.778 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \\ V_{filtru\ max} = A_{v\ max} \cdot V_{AO2} = 3.15 \cdot 0.273 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \\ \Rightarrow V_{filtru\ max} = 0.859 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \end{array} \right\} \Rightarrow V_{filtru} \in [0.778 \div 0.859][V]$$

Cu ajutorul aceleiasi analize tranzistorii vom afisa caracteristica semnalului:

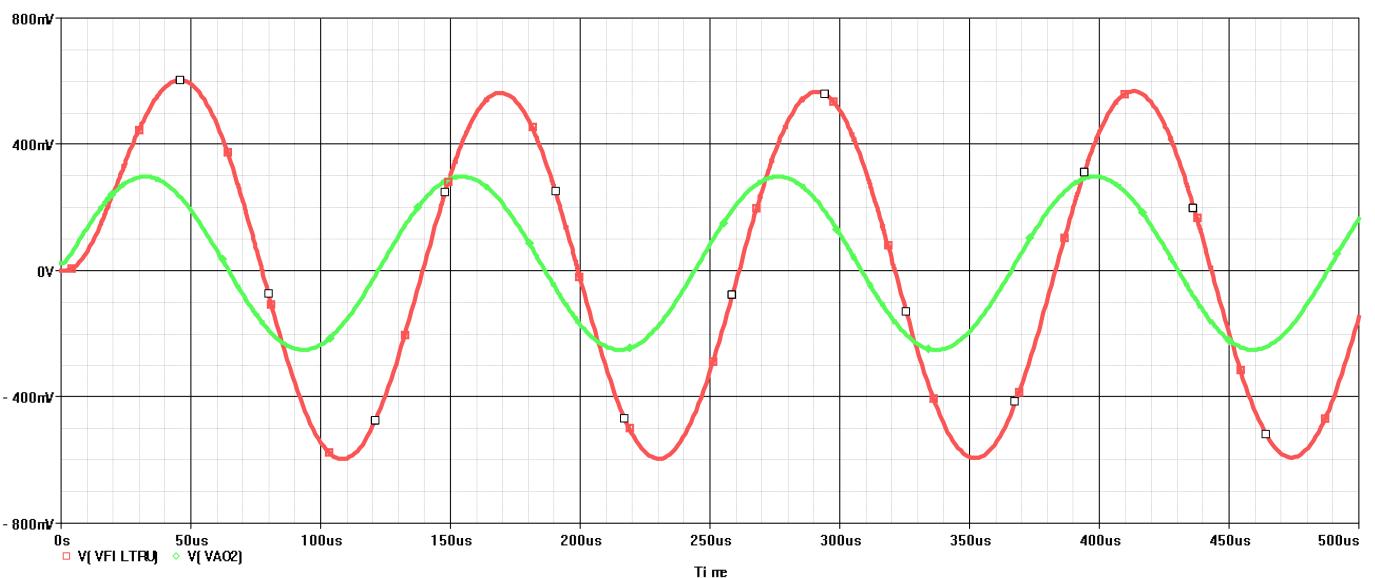


Figura 17. Amplificarea filtrului activ

	Evaluate	Measurement	Value
	<input checked="" type="checkbox"/>	Max(V(VAO2))	297.88315m
	<input checked="" type="checkbox"/>	Min(V(VAO2))	-250.81345m
	<input checked="" type="checkbox"/>	Max(V(Vfiltru))	603.81135m
	<input checked="" type="checkbox"/>	Min(V(Vfiltru))	-596.55262m

Figura 18. Masuratori efectuate asupra caracteristicilor filtrului

$$V_{pp} = 603.81m + 596.55m = 1200mV = 1.2V$$

$$A = \frac{V_{pp}}{2} = 600mV = 0.6V$$

Tensiunea la ieșirea filtrului este: $v_{AO2} = 0.6 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V]$.

Observatii: Semnalul se atenua din cauza aplicarii filtrelor și din aceasta cauza nu se incadreaza în valorile calculate mai sus.

❖ Al treilea etaj de amplificare

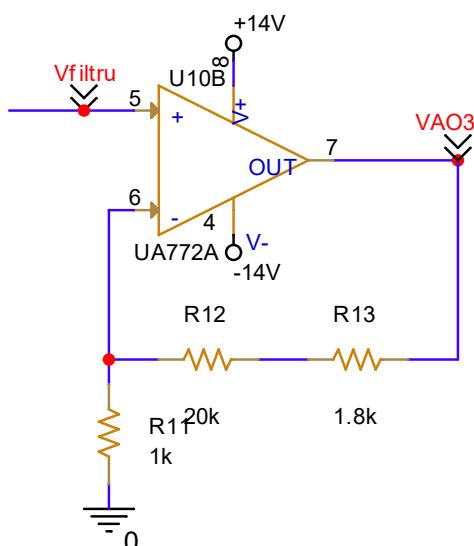


Figura 19. Schema celui de-al treilea etaj de amplificare

$$V_{AO3} = A \cdot V_{filtru}; \text{ unde : } \begin{cases} V_{AO3} = \text{tensiunea de intrare amplificata} \\ V_{filtru} = \text{tensiunea de la ieșirea filtrului} \\ A = \text{amplificarea} \end{cases}$$

Am ales rezistențele R_{11}, R_{12} și R_{13} din seria de valori E_{24} cu o toleranță de 5%.

$$R_{11} = 1k\Omega \Rightarrow \begin{cases} R_{11\min} = 0.95k\Omega \\ R_{11\max} = 1.05k\Omega \end{cases}$$

$$R_{12} = 20k\Omega \Rightarrow \begin{cases} R_{12\min} = 19.95k\Omega \\ R_{12\max} = 20.05k\Omega \end{cases}$$

$$R_{13} = 1.8k\Omega \Rightarrow \begin{cases} R_{13\min} = 1.75k\Omega \\ R_{13\max} = 1.85k\Omega \end{cases}$$

$$R_e = R_{12} + R_{13} = 20k + 1.8k = 21.8k\Omega$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_{e\min} = R_{12\min} + R_{13\min} = 19.95k + 1.75k = 21.7k\Omega \\ R_{e\max} = R_{12\max} + R_{13\max} = 20.05k + 1.85k = 21.9k\Omega \end{cases}$$

$$A_{v\min} = 1 + \frac{R_{e\min}}{R_{11\max}} = 1 + \frac{21.7k}{1.05k} = 21.66$$

$$A_{v\max} = 1 + \frac{R_{e\max}}{R_{11\min}} = 1 + \frac{21.9k}{0.95k} = 24.05$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{AO3\min} = A_{v\min} \cdot V_{filtru} = 21.66 \cdot 0.6 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \\ \Rightarrow V_{AO3\min} = 12.99 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \\ V_{AO3\max} = A_{v\max} \cdot V_{filtru} = 24.05 \cdot 0.6 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \\ \Rightarrow V_{AO3\max} = 14.43 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V] \end{array} \right\} \Rightarrow V_{AO3} \in [12.99 \div 14.43][V]$$

Vom verifica functionalitatea circuitului similar ca la primul etaj de amplificare, folosind un profil de simulare Time Domain(Transient).

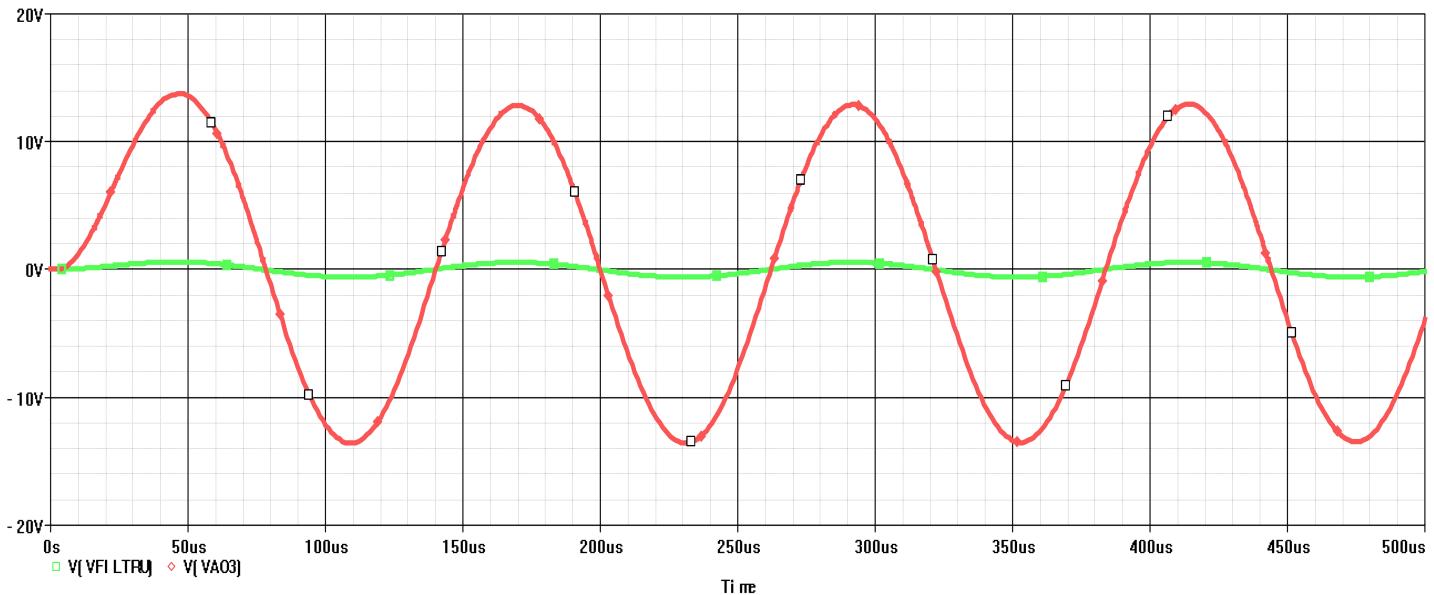


Figura 20. Simularea celui de-al treilea etaj de amplificare

Evaluate	Measurement	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Max(V(Vfiltru))	603.81135m
<input checked="" type="checkbox"/>	Min(V(Vfiltru))	-596.55262m
<input checked="" type="checkbox"/>	Max(V(Vao3))	13.73140
<input checked="" type="checkbox"/>	Min(V(Vao3))	-13.58781

Figura 21. Masuratori efectuate

$$V_{pp} = 13.73 + 13.58 = 27.31V$$

$$A = \frac{V_{pp}}{2} = 13.65V$$

Tensiunea la iesirea ultimului etaj de amplificare este: $v_{AO3} = 13.65 \cdot \sin(2\pi \cdot 8.2k \cdot t)[V]$.

4. Modelarea LED-urilor

Pentru modelarea LED-urilor ne vom folosi de graficul **Forward Current Vs. Forward Voltage** din foaia de catalog.

✧ Led portocaliu

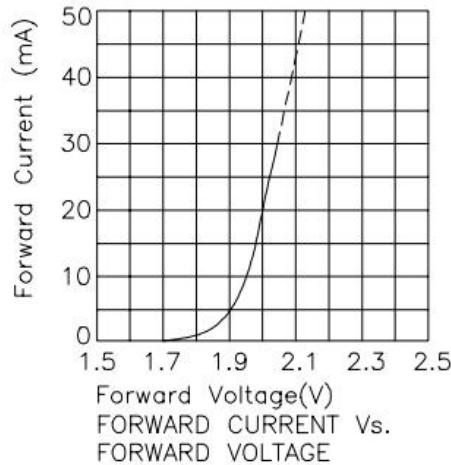


Figura 22. Graficul LED-ului portocaliu

Pentru a vizualiza corectitudinea modelarii vom realiza o schema electrica formata dintr-o sursa de curent continuu, o rezistenta si o dioda(Dbreak).

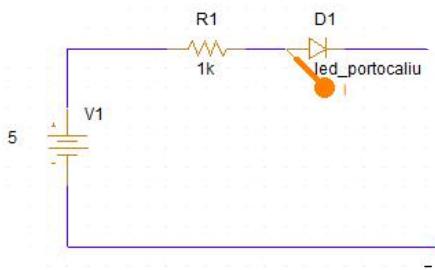


Figura 23. Schema electrica necesara simularii functionalitatii LED-ului

Pentru vizualizarea caracteristicii de curent a diodei vom crea un profil de simulare de tipul DC Sweep, in care vom baleia tensiunea de intrare. Vom folosi aceasta analiza si pentru simularea celorlalte diode.

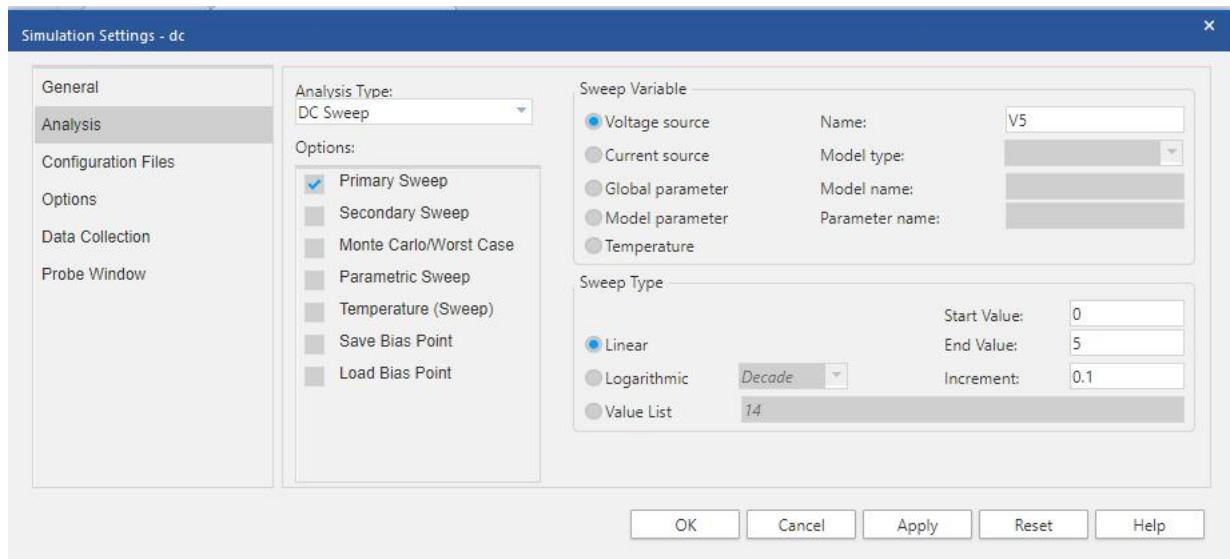


Figura 24. Profilul de simulare

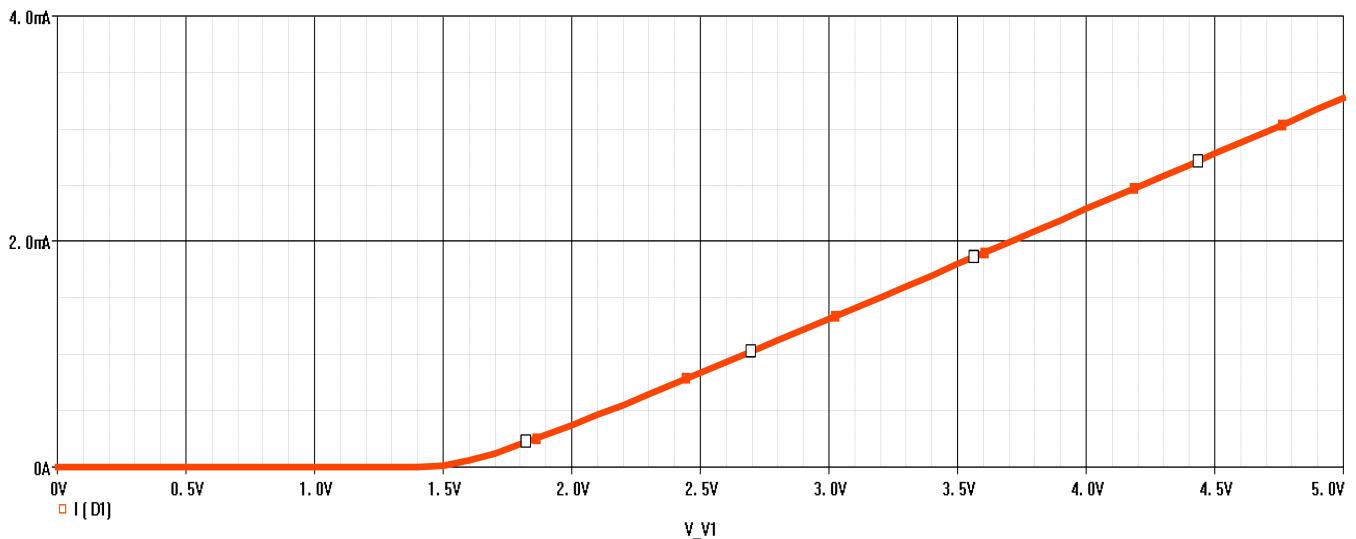


Figura 25. Caracteristica de curent a LED-ului portocaliu

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
X Values		1.7016	0.000	1.7016
CURSOR 1,2	I(D1)	122.075u	14.45E-21	122.075u

Figura 26. Măsurări efectuate

Observații: Din caracteristica de curent și din măsurările efectuate se observă că dioda se deschide la tensiunea de 1.7V, ceea ce înseamnă că modelarea LED-ului s-a efectuat corect.

✧ Led galben

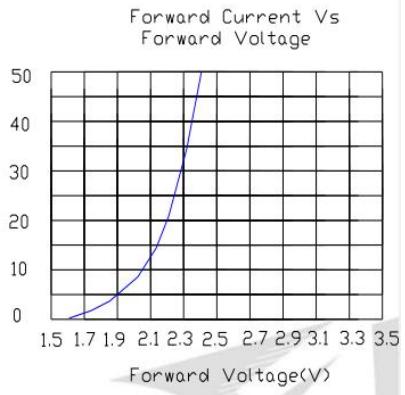


Figura 27. Graficul LED-ului galben

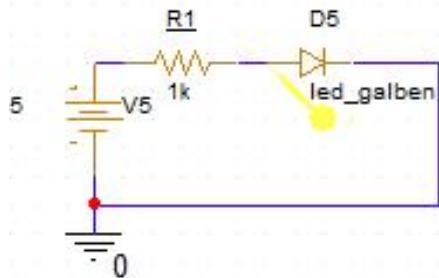


Figura 28. Schema electrica necesara simularii functionalitatii LED-ului

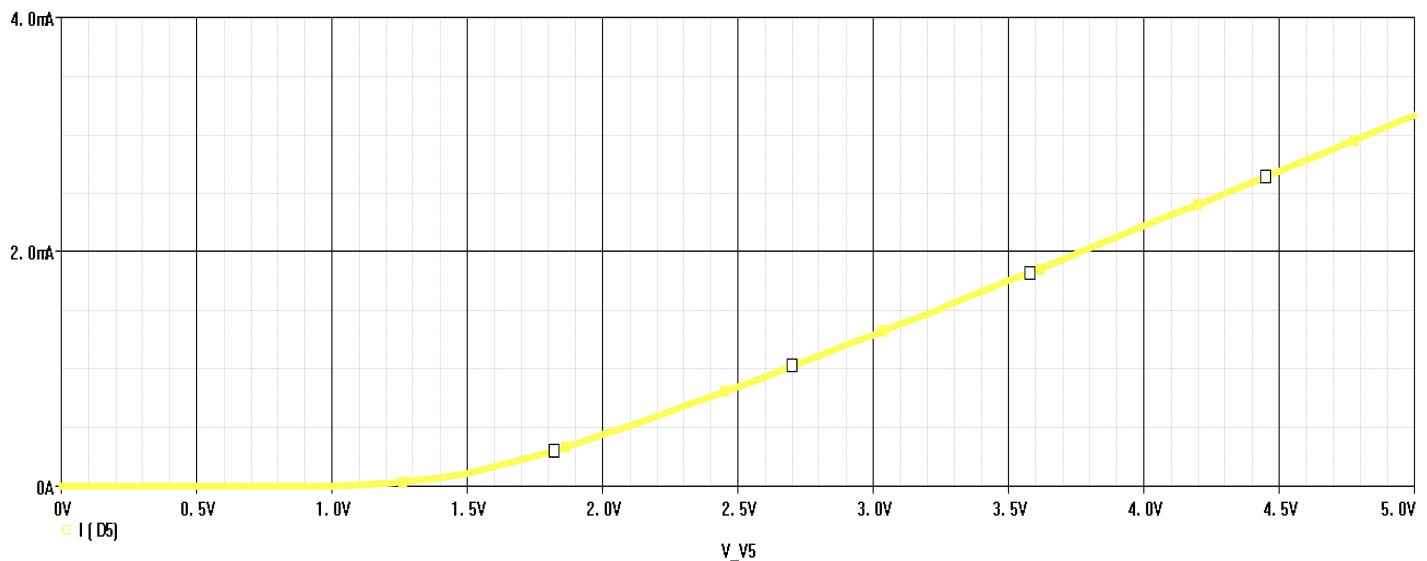


Figura 29. Caracteristica de curent a LED-ului galben

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
X Values		1.6008	0.000	1.6008
	I(D5)	165.102u	17.09E-21	165.102u

Figura 30. Masuratori efectuate cu ajutorul cursorului

Observatii: Din caracteristica de curent si din masuratorile efectuate se observa ca dioda se deschide la tensiunea de 1.6V, ceea ce inseamna ca modelarea LED-ului s-a efectuat corect.

✧ Led rosu

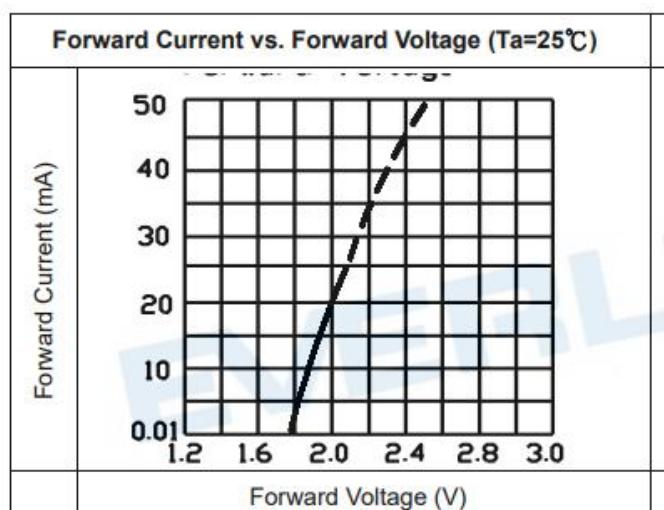


Figura 31. Graficul LED-ului rosu

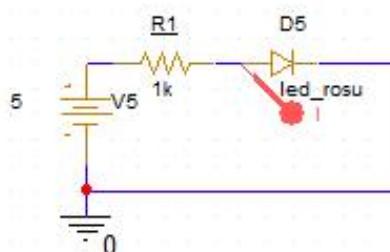


Figura 32. Schema electrica necesara simularii functionalitatii LED-ului

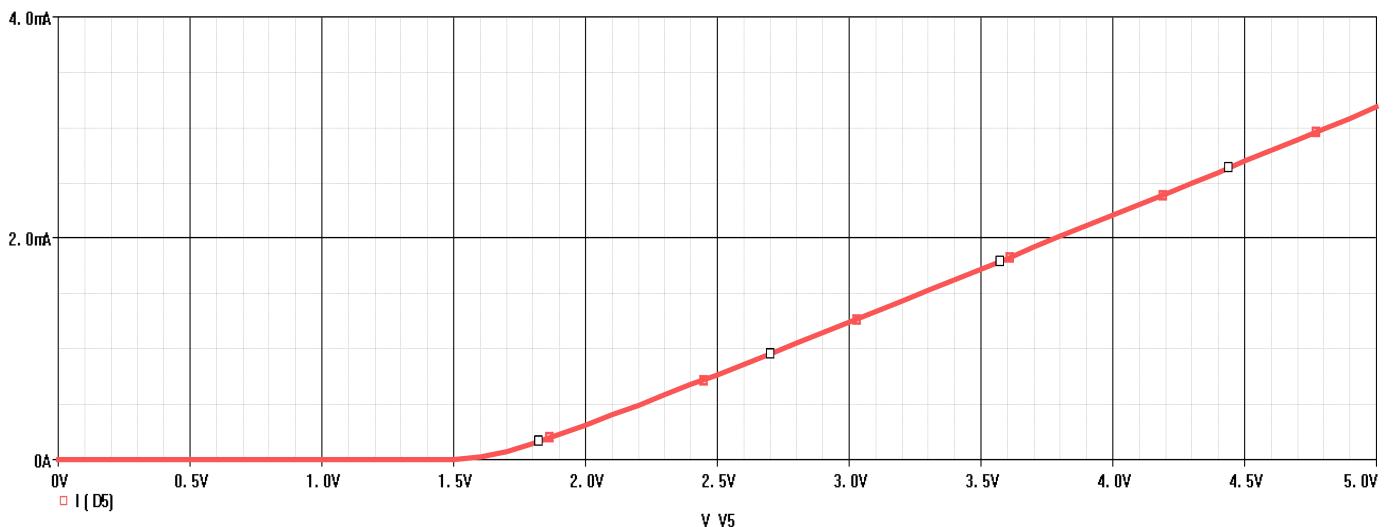


Figura 33. Caracteristica de curent a LED-ului rosu

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	1.8024	0.000	1.8024
CURSOR 1,2	I(D5)	149.275u	725.7E-24	149.275u

Figura 34. Masuratori efectuate cu ajutorul cursorului

Observatii: Din caracteristica de curent si din masuratorile efectuate se observa ca dioda se deschide la tensiunea de 1.8V, ceea ce inseamna ca modelarea LED-ului s-a efectuat corect.

✧ Led verde

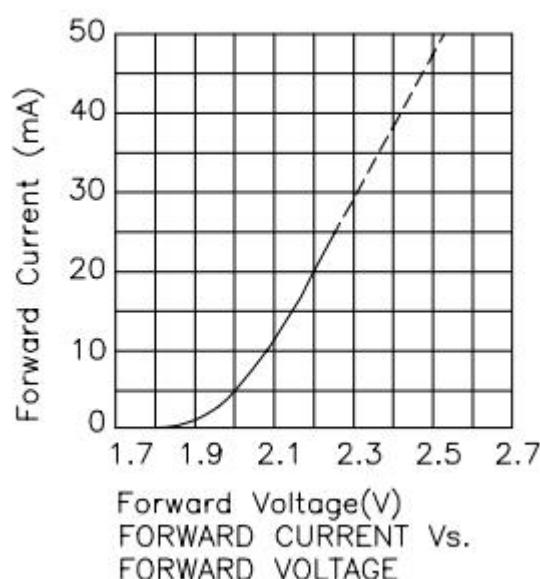


Figura 35. Graficul LED-ului verde

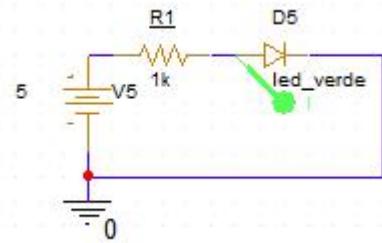


Figura 36. Schema electrica necesara simularii functionalitatii LED-ului

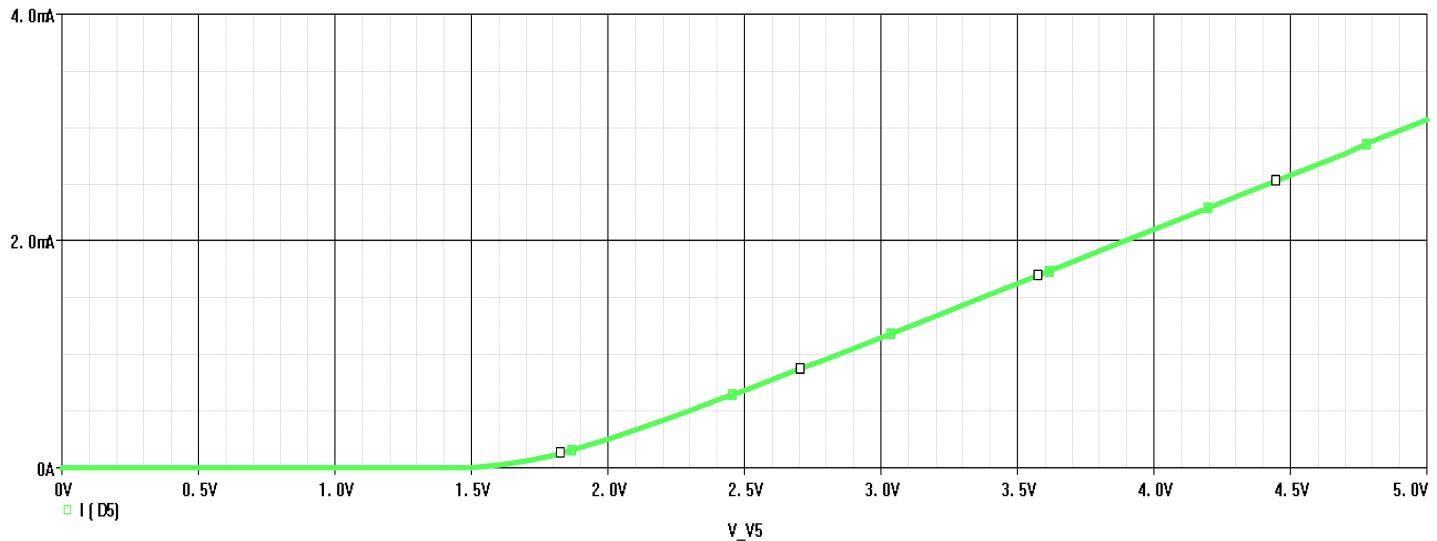


Figura 37. Caracteristica de curent a LED-ului verde

	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	1.8508	0.000	1.8508	
CURSOR 1,2	I(D5)	144.666u	53.90E-30	144.666u	

Figura 38. Masuratori efectuate

Observatii: Din caracteristica de curent si din masuratorile efectuate se observa ca dioda se deschide la tensiunea de 1.85V, ceea ce inseamna ca modelarea LED-ului s-a efectuat corect.

5. Limitarea curentului prin LED-uri

Vom limita curentul prin led cu ajutorul unei rezistente pe care o vom calcula dupa formula:

$$R = \frac{V_{cc} - V_f}{I_f}, unde: \begin{cases} V_{cc} - tensiunea de alimentare \\ V_f - caderea de tensiune pe LED \\ I_f - curentul maxim pe LED \end{cases}$$

- Pentru LED-ul portocaliu:

$$R_{19} = \frac{14V - 1.7V}{20mA} = 615\Omega \Rightarrow R_{19} = 619\Omega (\text{Seria E}_{48} \text{ cu o toleranta de } 2\%)$$

- Pentru LED-ul galben

$$R_{20} = \frac{14V - 1.7V}{20mA} = 615\Omega \Rightarrow R_{20} = 619\Omega (\text{Seria E}_{48} \text{ cu o toleranta de } 2\%)$$

- Pentru LED-ul rosu

$$R_{21} = \frac{14V - 1.8V}{20mA} = 610\Omega \Rightarrow R_{21} = 619\Omega (\text{Seria E}_{48} \text{ cu o toleranta de } 2\%)$$

- Pentru LED-ul verde

$$R_{22} = \frac{14V - 1.85V}{20mA} = 607\Omega \Rightarrow R_{22} = 619\Omega (\text{Seria E}_{48} \text{ cu o toleranta de } 2\%)$$

6. Determinarea pragurilor

Din datele de proiectare a circuitului reiese ca trebuie sa avem 4 semnalizari, adica 4 LED-uri. Acestea se vor aprinde la un prag dorit. Pentru a afla acest prag vom imparti tensiunea de iesire in 4 intervale:

$$V_{p1} \in [0 - 3.41][V]$$

$$V_{p2} \in [3.42 - 6.83][V]$$

$$V_{p3} \in [6.84 - 10.25][V]$$

$$V_{p4} \in [10.26 - 13.67][V]$$

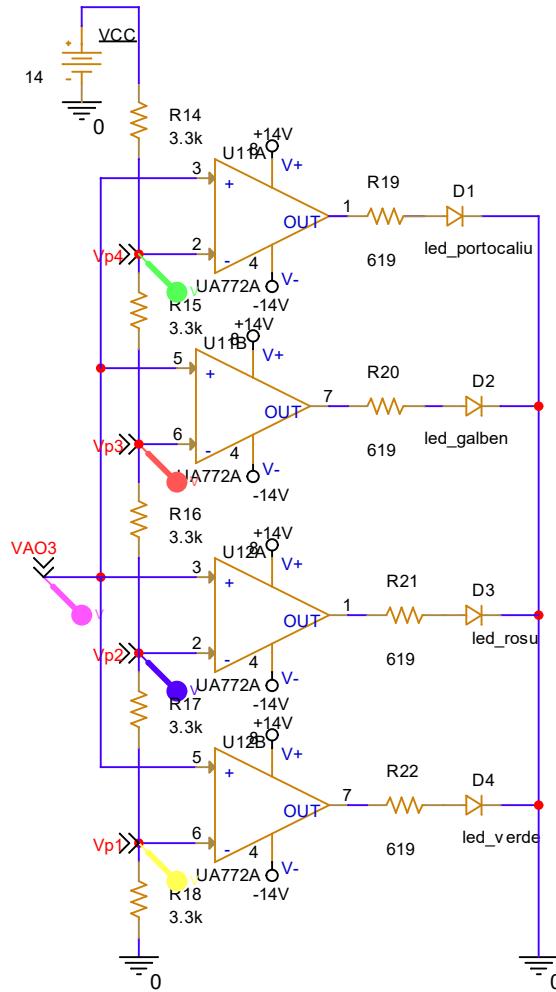


Figura 39. Schema electrica a detectorului de praguri

Cu ajutorul pragurilor vom alege valoarea rezistentei $R_{15}, R_{16}, R_{17}, R_{18}$ si R_{19} .

Pentru a ne fi mai usor la calcule vom alege ca rezistentele sa fie egale:

$$R_{14} = R_{15} = R_{16} = R_{17} = R_{18} = V_{p1} = 3.41k\Omega$$

Vom opta pentru o rezistenta apropiata de valoarea calculata, spre exemplu $R=3.3k\Omega$, din seria E_{24} , cu o toleranta de 5%.

Vom calcula din nou pragurile:

$$R_e = R_{14} + R_{15} + R_{16} + R_{17} + R_{18} = 3.3k \cdot 5 = 16.5k\Omega$$

$$V_{p1} = \frac{R_{18}}{R_e} \cdot V_{cc} = \frac{3.3k}{16.5k} \cdot 14V = 2.8V$$

$$V_{p2} = \frac{R_{18} + R_{17}}{R_e} \cdot V_{cc} = \frac{2 \cdot 3.3k}{16.5k} \cdot 14V = 5.6V$$

$$V_{p3} = \frac{R_{18} + R_{17} + R_{16}}{R_e} \cdot V_{cc} = \frac{3 \cdot 3.3k}{16.5k} \cdot 14V = 8.4V$$

$$V_{p4} = \frac{R_{18} + R_{17} + R_{16} + R_{15}}{R_e} \cdot V_{cc} = \frac{4 \cdot 3.3k}{16.5k} \cdot 14V = 11.2V$$

Cu ajutorul unei analize tranzistorii vom vizualiza pragurile:

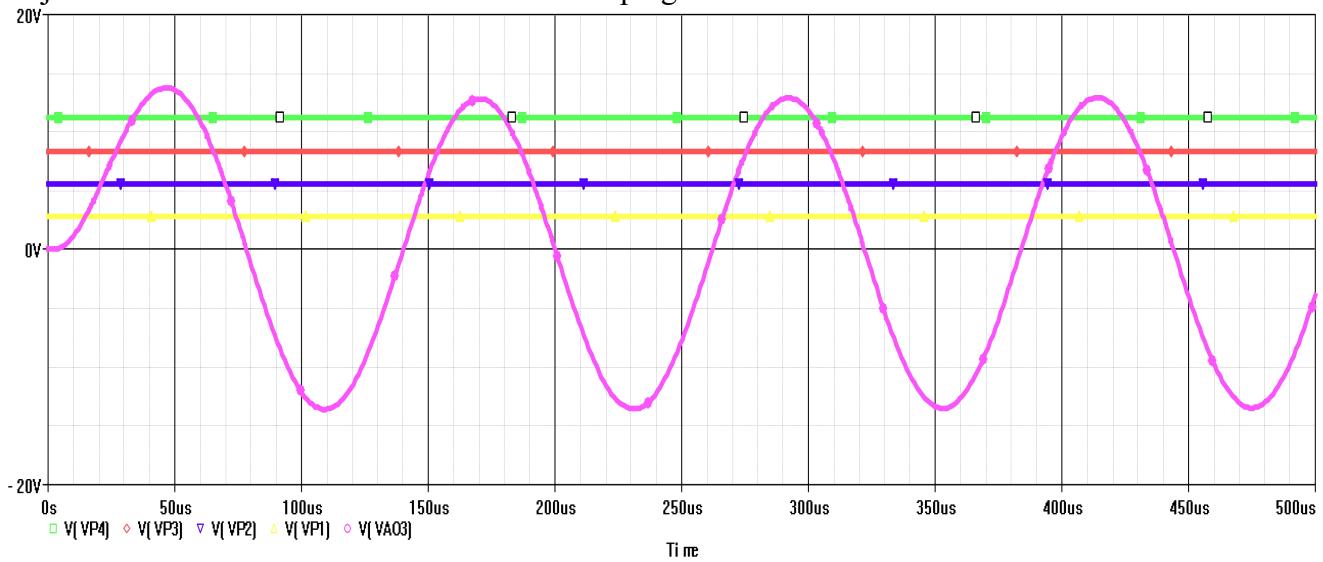


Figura 40. Simularea pentru tensiunile de prag

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	0.000	0.000	0.000
CURSOR 1.2	V(VP4)	11.200	11.200	0.000
	V(VP3)	8.4000	8.4000	0.000
	V(VP2)	5.6000	5.6000	0.000
	V(VP1)	2.8000	2.8000	0.000
	V(VAO3)	3.1810m	3.1810m	0.000

Figura 41. Rezultatul cursorului

Observatii: Din masuratorile efectuate cu ajutorul cursorului reiese ca am efectuat calculele corect, iar pragurile comparatoarelor sunt cele enumerate mai sus.

Analog vom proceda si pentru vizualizarea detectoarelor de praguri:

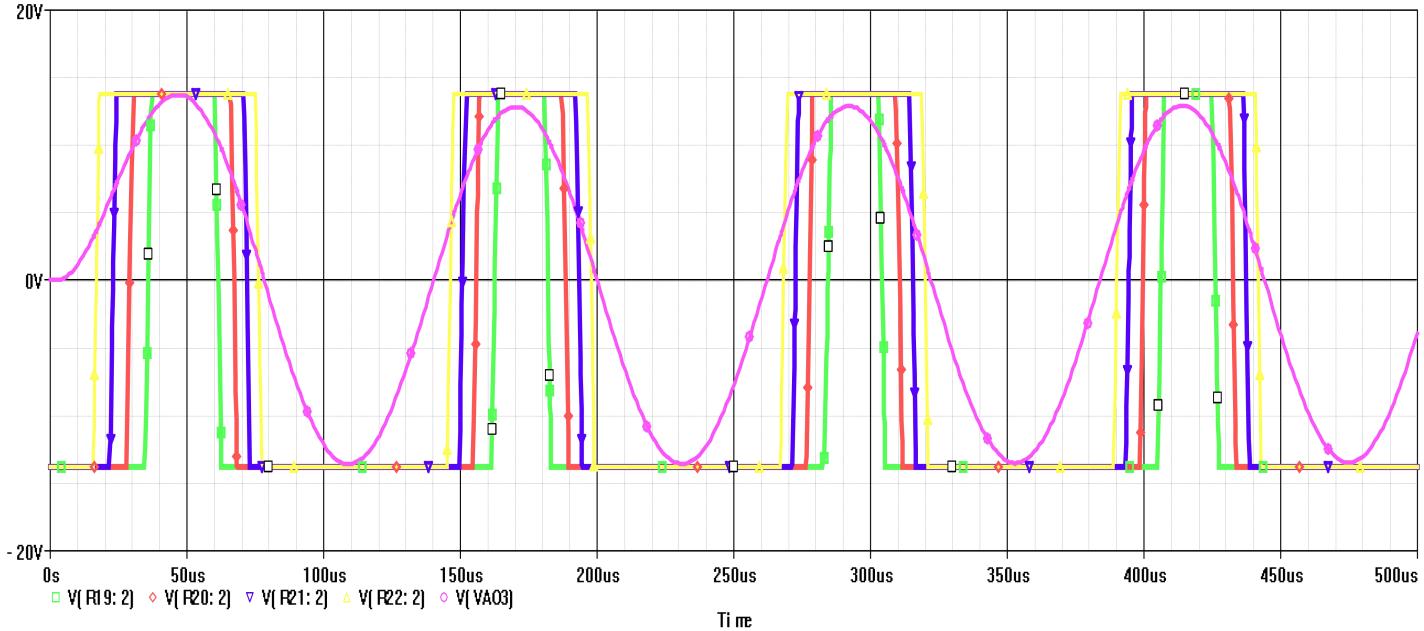


Figura 42. Simularea detectoarelor de praguri

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	170.161u	0.000	170.161u
CURSOR 1.2	V(R19:2)	13.768	-13.804	27.573
	V(R20:2)	13.770	-13.804	27.575
	V(R21:2)	13.770	-13.804	27.574
	V(R22:2)	13.771	-13.804	27.575
	V(VAO3)	12.840	3.1810m	12.837

Figura 43. Rezultatele cursorului

Observatii: Tensiunea de intrare(VAO3) este limitata la aproximativ $\pm V_{cc}$, iar fiecare grafic afiseaza pragul asociat. Din aceste masuratori putem observa ca avem un circuit functional.

7. Bibliografie

- Proiectare asistata de calculator – “Aplicatii” editura U.T.PRESS, Ovidiu Pop, Raul Fizesan, Gabriel Chindris
- Proiectare asistata de calculator, Editura Mediamira 2007, Ovidiu Pop
- <https://sites.google.com/site/bazelelectronicii/home/filtre/7-active-band-pass-filter>
- http://www.bertys.ro/codul_culorilor_rezistente.htm

Foile de catalog ale LED-urilor:

- <https://www.tme.eu/ro/details/l-483edt/led-uri-tht-5mm/kingbright-electronic/>
- <https://www.tme.eu/ro/details/fyl-5013nuyc1c/led-uri-tht-5mm/foryard/>
- <https://www.tme.eu/Document/f3872eef9fb3bbe7862b3681fdc36699/333-2SDRD-S530-A3.pdf>
- <https://www.tme.eu/ro/details/c503b-gan-cb0f0792/led-uri-tht-5mm/cree-led/>