
Proiect SCIA

Student: Pleș Andrei-Valentin

Group: 2331

Coordonator: Gheorghe Eduard Vladu,

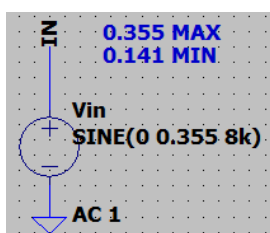
Raul Ciprian Oneț

-Documentație-

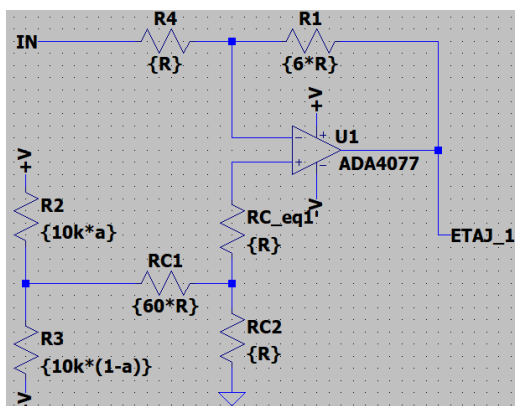
1. Tematica proiectului

Acest proiect are în vedere punerea în practică a cunoștințelor adunate pe parcursul primului semestru a anului universitar 2023-2024 la materia sisteme cu circuite integrate analogice.

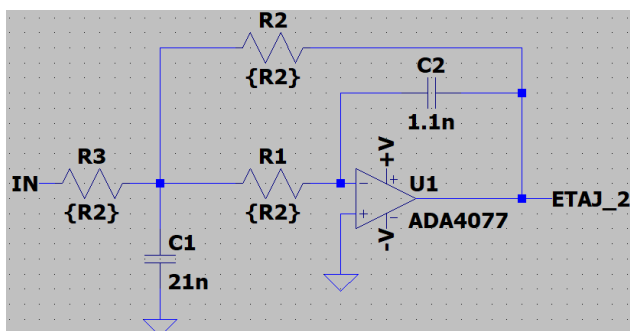
Circuitul este construit din mai multe etaje. Implementarea sa începe de la o sursă sinusoidală cu o frecvență maximă de 8kHz și amplitudinea cuprinsă între 0,141 și 0,355 volți.



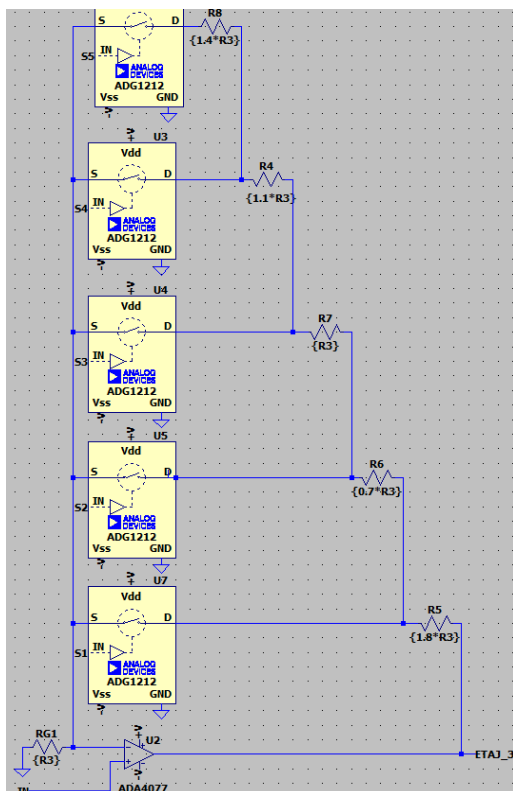
Etajul 1 al circuitului este reprezentat de un amplificator inversor cu compensare, rezistență de intrare minimă de 2k ohmi și un câștig de 6.



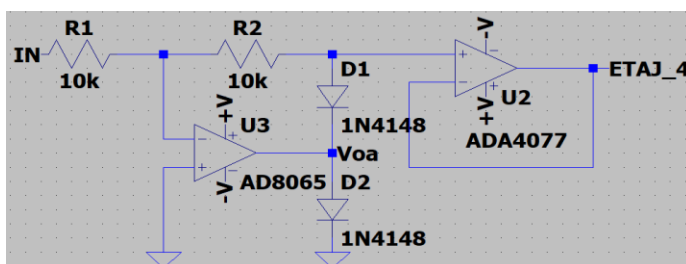
Etajul 2 îl formează un filtru trece jos de tip Rauch cu câștig liniar în banda de trecere egal cu 1. Frecvența de tăiere este 8kHz, rezistență de intrare minimă de 2k ohmi și factorul de calitate Q egal cu 1.41.



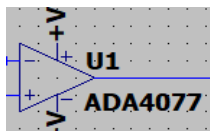
Etajul 3 este un amplificator neinversor cu câștig programabil cu switch-uri înafara căii de semnal, conexiune serie. Acesta are 5 trepte de câștig, începând de la 9dB până la 17dB cu un pas minim de 2dB.



Ultimul etaj al circuitului este un redresor cu dublă alternanță cu două amplificatoare operaționale și două diode.



Operaționalele folosite în circuit sunt de același fel, anume ADA4077 de la Analog Devices: 4 MHz, 7 nV/√Hz, offset și drift redus, amplificator de înaltă precizie. Toate sunt alimentate cu +/-15V.



2. Dimensionarea etajelor

Circuitele au fost dimensionate prin calcule și simulări pentru a îndeplini toate specificațiile necesare.

2.1 Etajul 1

Amplificatorul inversor se dimensionează știind că are o rezistență de intrare minimă de 2k ohmi și un câștig de 6. Folosind formula amplificării:

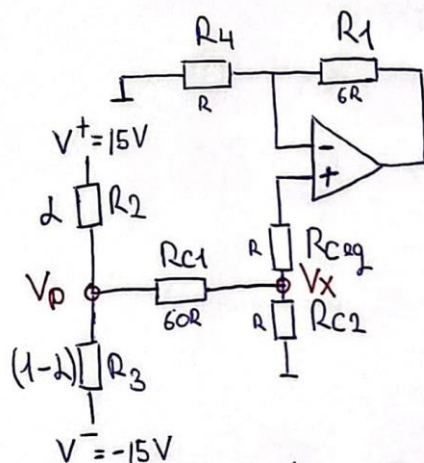
$$|A|_{\text{inversor}} = \frac{R_{\text{feedback}}}{R_{\text{in}}} \Rightarrow R_{\text{feedback}} = |A| * R_{\text{in}} = 6 * R_{\text{in}}.$$

Știind că rezistența de intrare este minim 2kΩ, valoarea minimă a rezistenței din calea de feedback este 12kΩ.

Următorul pas este dimensionarea circuitului de compensare a erorii DC pentru a o reduce la un ordin de mărime de nV. Măsurând punctul static de funcționare, eroarea inițială în circuit este de 74uV. Această eroare se compensează introducând o tensiune negativă pe borna pozitivă a operationalului, care după amplificare trebuie să fie egală în modul, dar de semn opus în comparație cu eroarea măsurată:

$$|A|_{\text{neinversor}} = 1 + \frac{R_{\text{feedback}}}{R_{\text{in}}} \Rightarrow V_x * \left(1 + \frac{R_{\text{feedback}}}{R_{\text{in}}}\right) = -V_{\text{err}}$$

Prin urmare tensiunea de compensare va fi de 7 ori mai mică decât Verr, adică $V_x = -10,57\mu\text{V}$. Această tensiune se obține cu ajutorul potențiometrului. Următorul pas este să calculăm V_p . Alegem $R_{c1} = 60 * R_{c2} = 60 * R_{\text{ceq}}$:



$$\begin{aligned} V_x &= V_p * \frac{R_{c2}}{R_{c1} + R_{c2}} \\ \Downarrow \\ V_p &= V_x * \frac{R_{c1} + R_{c2}}{R_{c2}} = -10,57 * 61 \\ &= -644,77 \mu\text{V} \end{aligned}$$

Știind că $V_p = -644,77\mu V$, aplicăm Millman pentru a afla valoarea lui α :

$$\text{Millman: } V_p = \frac{\frac{V^+}{\alpha R} + \frac{V^-}{(1-\alpha)R}}{\frac{1}{\alpha R} + \frac{1}{(1-\alpha)R}} = \frac{V^+(1-\alpha)R + V^-\alpha R}{(1-\alpha)R + \alpha R} = 15V(1-2\alpha)$$

$$15V(1-2\alpha) = -644,77\mu V$$

$$\alpha \simeq 0,500021$$

Astfel, etajul 1 al circuitului este dimensionat și îndeplinește toate specificațiile.

2.2 Etajul 2

Pentru acest etaj avem în vedere câștigul liniar în banda de trecere, factorul de calitate Q , rezistența minimă de intrare și banda. În primul rând, pentru a asigura câștigul liniar în banda de trecere egal cu 1 se impune condiția ca toate cele 3 rezistențe să fie de valori egale, de minim $2k\Omega$:

$$|H_0| = 1 \Leftrightarrow R_1 = R_2 = R_3$$

Știm că:

$$C_1 = \frac{3Q}{\omega_0 * R}; C_2 = \frac{1}{3Q * \omega_0 * R}; Q = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$$

De asemenea, frecvența de tăiere este egală cu 8kHz, prin urmare:

$$\omega_0 = 2\pi * f_0 = 50,27 * 10^3 \frac{rad}{s}$$

Pentru a îndeplini rezistența minimă de intrare și a asigura niște valori rezonabile pentru condensatoare, putem alege $R = 4k\Omega$ apoi calculăm valorile condensatoarelor:

$$C_1 = \frac{3 * 1,41}{50,27 * 10^3 \frac{rad}{s} * 4 * 10^3 k\Omega} \cong 21nF; C_2 \cong 1,1nF$$

Toate cerințele sunt împlinite prin această dimensionare a circuitului.

2.3 Etajul 3

Etajul amplificatorului programabil trebuie să asigure 5 trepte de câștig, începând de la 9dB până la 17dB cu un pas minim de 2dB. Primul pas este să aflăm care sunt treptele de amplificare și valoarea lor în domeniu liniar.

$$A_1 = 10^{\frac{9dB}{20}} = 2,8$$

$$A_2 = 10^{\frac{11dB}{20}} = 3,5$$

$$A_3 = 10^{\frac{13dB}{20}} = 4,5$$

$$A_4 = 10^{\frac{15dB}{20}} = 5,6$$

$$A_5 = 10^{\frac{17dB}{20}} = 7,1$$

Fiind într-o configurație neînversoare, folosim formula amplificării corespunzătoare:

$$|A|_{neinversor} = 1 + \frac{R_{feedback_echivalent}}{R_{ground}}$$

Alegând o valoare convenabilă pentru rezistența $R_g = 1k\Omega$ putem afla rezistențele echivalente de pe bucla de reacție pentru fiecare pas de amplificare:

$$R_{f5} + R_{f4} + R_{f3} + R_{f2} + R_{f1} = 6 \cdot R_G$$

$$R_{f4} + R_{f3} + R_{f2} + R_{f1} = 4.6 \cdot R_G$$

$$R_{f3} + R_{f2} + R_{f1} = 3.5 \cdot R_G$$

$$R_{f2} + R_{f1} = 2.5 \cdot R_G$$

$$R_{f1} = R_G \cdot 1.8$$

În final pentru a asigura toate treptele de amplificare vom folosi următoarele rezistențe pe bucla de reacție, iar comutarea va fi asigurată de switch-ul ADG1212.

$$R_{f1} = 1,8k\Omega; R_{f2} = 0,7k\Omega; R_{f3} = 1k\Omega; R_{f4} = 1,1k\Omega; R_{f5} = 1,4k\Omega;$$

2.4 Etajul 4

Redresorul cu dublă alternanță este alcătuit din două operaționale. Primul are topologie de amplificator înversor, prin urmare trebuie să ne asigurăm că amplificarea este egală cu 1 setând valori identice pentru cele două rezistențe. Al doilea operațional este un voltage follower. Vom alege $R = 10k\Omega$.

3. Caracterizarea etajelor 1 / 2 / 3 / 4

Vom analiza funcționarea fiecărui etaj de circuit prin simularea acestora.

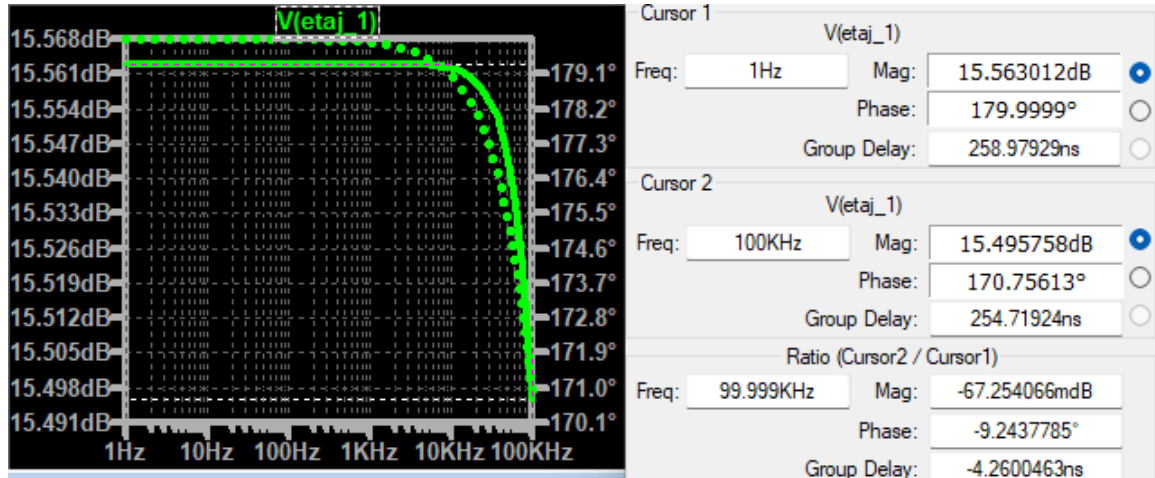
3.1 Etajul 1

Simularea .OP din fișierul Liniaritate_ET1 arată o eroare DC la ieșire de -11nV:

--- Operating Point ---

```
V(in):          0          voltage
V(etaj 1):      -1.11498e-08 voltage
```

Câștigul la joasă frecvență și banda se pot măsura tot din Liniaritate_ET1 printr-o simulare AC. Se poate observa că $A = 10^{\frac{15.56dB}{20}} = 5,999$ pentru întregul domeniu de frecvență:



Măsurarea CMRR-ului se face prin simularea fișierului cu același nume:

Measurement: common_mode_rejection_ratio

step	cmrr()	at
1	(25.318dB, 42.3491°)	1
2	(25.318dB, 42.3491°)	1

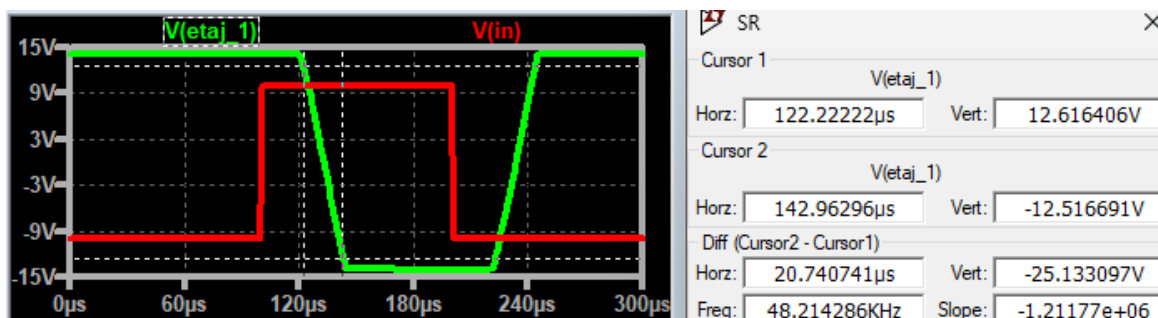
Măsurarea PSRR-ului se face prin simularea fișierului cu același nume:

Measurement: power_supply_rejection_ratio

step	psrr()	at
1	(125.207dB, 148.059°)	
2	(125.207dB, 148.059°)	

Măsurarea Slew Rate-ului se face prin simularea fișierului SR și este egal cu:

$$SR_{falling} = -\frac{27,11V}{22,52\mu s} = -\frac{1,2V}{\mu s}; \quad SR_{rising} = \frac{1,2V}{\mu s}$$

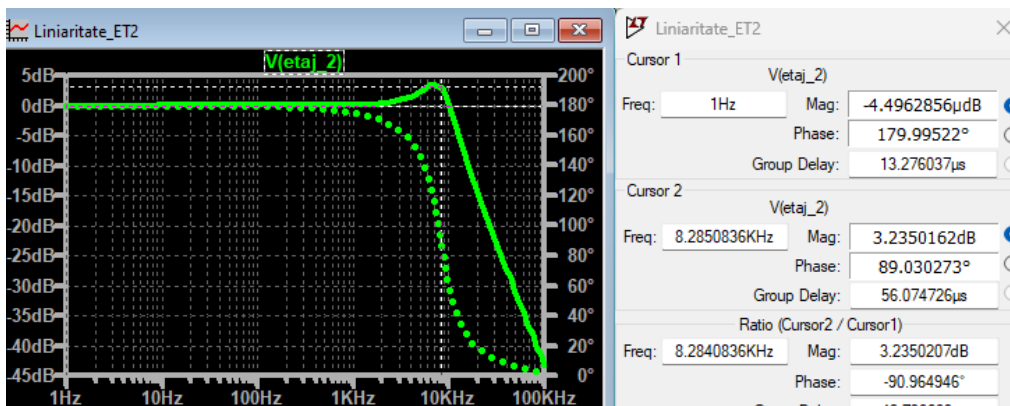


Liniaritatea poate fi măsurată cu ajutorul fișierului Liniaritate_ET1, analiză transient. THD-ul măsurat este $0,1\% < 1\%$.

Partial Harmonic Distortion: 0.063704%
Total Harmonic Distortion: 0.100980%

3.2 Etajul 2

Prin analiza AC a filtrului observăm îndeplinirea condiției $|H_0|=1$ (magnitudine cursor 1), iar banda este suficient de mare deoarece f_0 se află la $\sim 8.28\text{kHz}$ (cursor 2). Se poate observa și efectul de “gain peaking” datorat factorului $Q = 1.41$ mai mare decât 1.



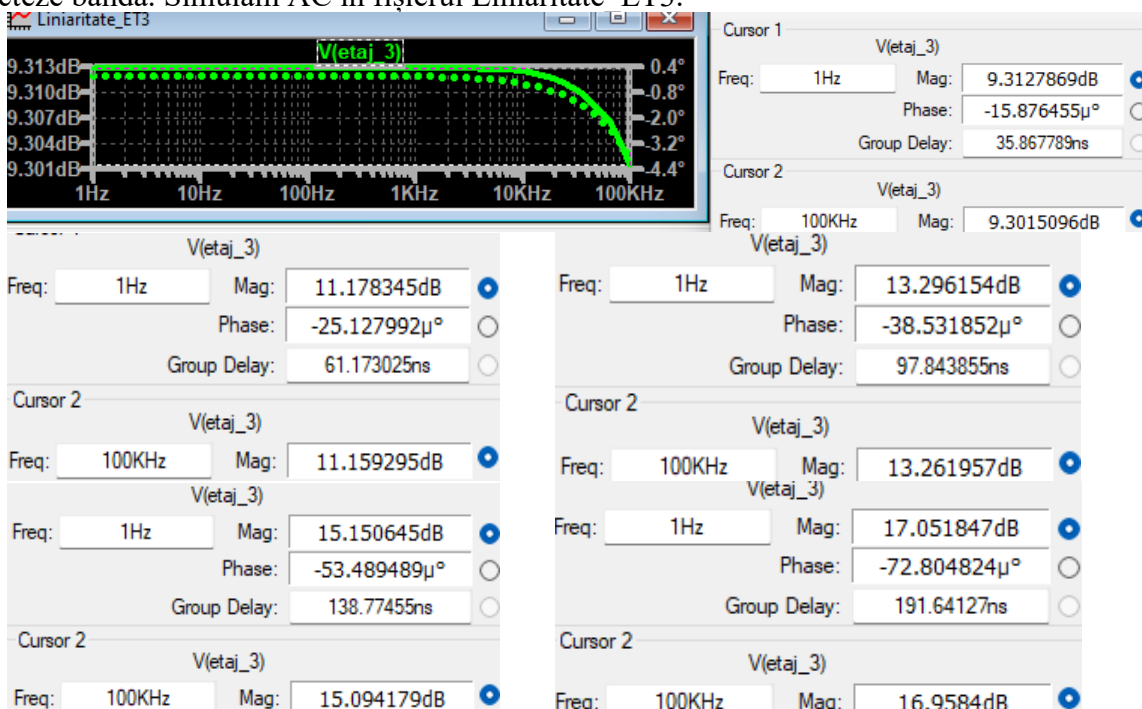
Liniaritatea se va măsura tot cu fișierul Liniaritate_ET2, de data aceasta analiză transient. THD este mai mic decât 1.

Partial Harmonic Distortion: 0.050522%

Total Harmonic Distortion: 0.073787%

3.3 Etajul 3

Circuitul respectă cerințele pentru toate treptele de câștig implementate, fără să afecteze banda. Simulăm AC în fișierul Liniaritate_ET3.



Liniaritatea se va măsura cu fișierul Liniaritate_ET3 cu analiză transient. THD se încadrează în specificații:

Partial Harmonic Distortion: 0.039194%

Total Harmonic Distortion: 0.061213%

3.4 Etajul 4

În primul rând, vom analiza funcționarea circuitului neliniar pas cu pas.

$$1) \begin{array}{l} V_{IN} = V_{DD} \\ \text{assume } D_1, D_2 \text{ off} \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} V_{OA} = a_o(V^+ - V^-) \\ V^+ = 0 \\ V^- = V_{DD} \end{array} \right\} \Rightarrow V_{OA1} = -V_{SS}$$

$$V_{AK1} = V_{A1} - V_{K1} = V_{IN} - (-V_{SS}) = 2V_{DD} > V_{ThD} \Rightarrow D_1 \text{ ON}$$

$$V_{AK2} = V_{A2} - V_{K2} = -V_{SS} - 0 = -V_{SS} \Rightarrow D_2 \text{ off}$$

$$\begin{array}{l} \bullet \text{ inverting amplifier} \Rightarrow V_{O1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{IN} \\ \bullet V_{O1} = -V_{IN} \end{array} \left. \begin{array}{l} V_{O1} = V_{OA} + V_{D1} \\ \text{voltage follower} \Rightarrow V_{out} = V_{O1} = -V_{IN} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} V_{OA} + V_{D1} = -V_{IN} \\ V_{OA} = -V_{IN} - V_{D1} \end{array}$$

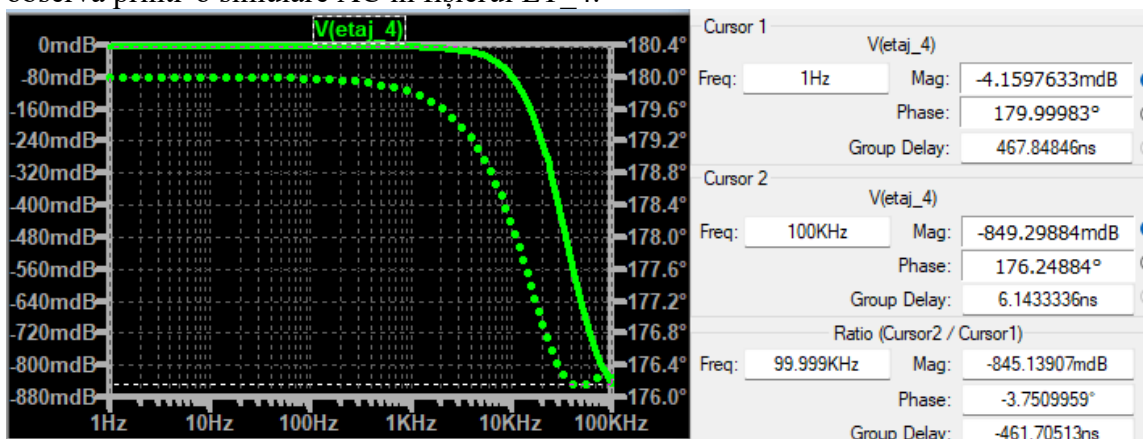
$$2) \begin{array}{l} V_{IN} = -V_{SS} \\ \text{assume } D_1, D_2 \text{ off} \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} V_{OA} = a_o(V^+ - V^-) \\ V^+ = 0 \\ V^- = -V_{SS} \end{array} \right\} \Rightarrow V_{OA1} = V_{DD}$$

$$V_{AK1} = V_{A1} - V_{K1} = V_{IN} - V_{DD} = -15V - 15V = -30V \Rightarrow D_1 \text{ OFF}$$

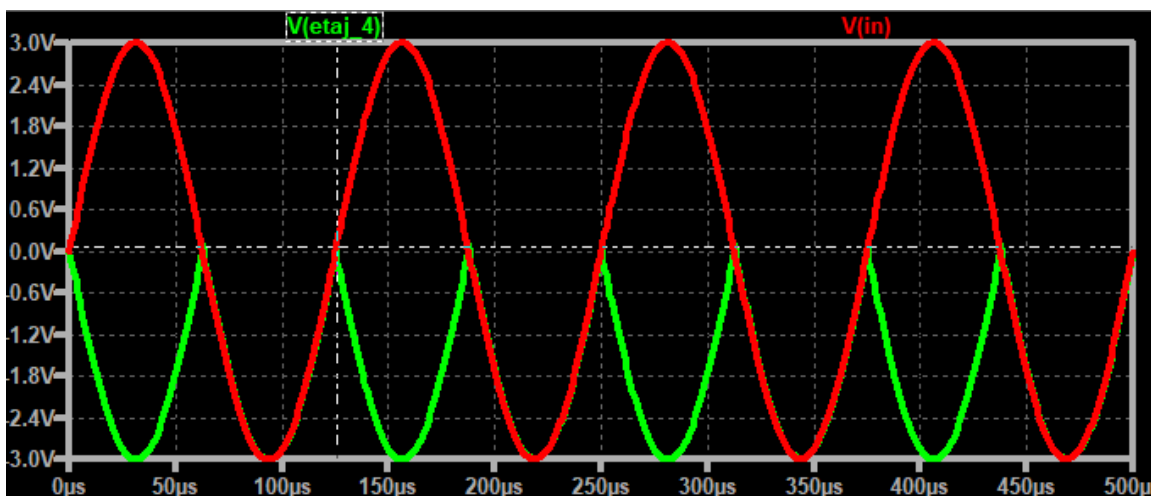
$$V_{AK2} = V_{A2} - V_{K2} = V_{DD} - 0 = V_{DD} > V_{ThD} \Rightarrow D_2 \text{ ON}$$

$$\begin{array}{l} \text{no feedback} \Rightarrow V_{O1} = V_{IN} \\ \text{voltage follower} \Rightarrow V_{out} = V_{O1} = V_{IN} \end{array}$$

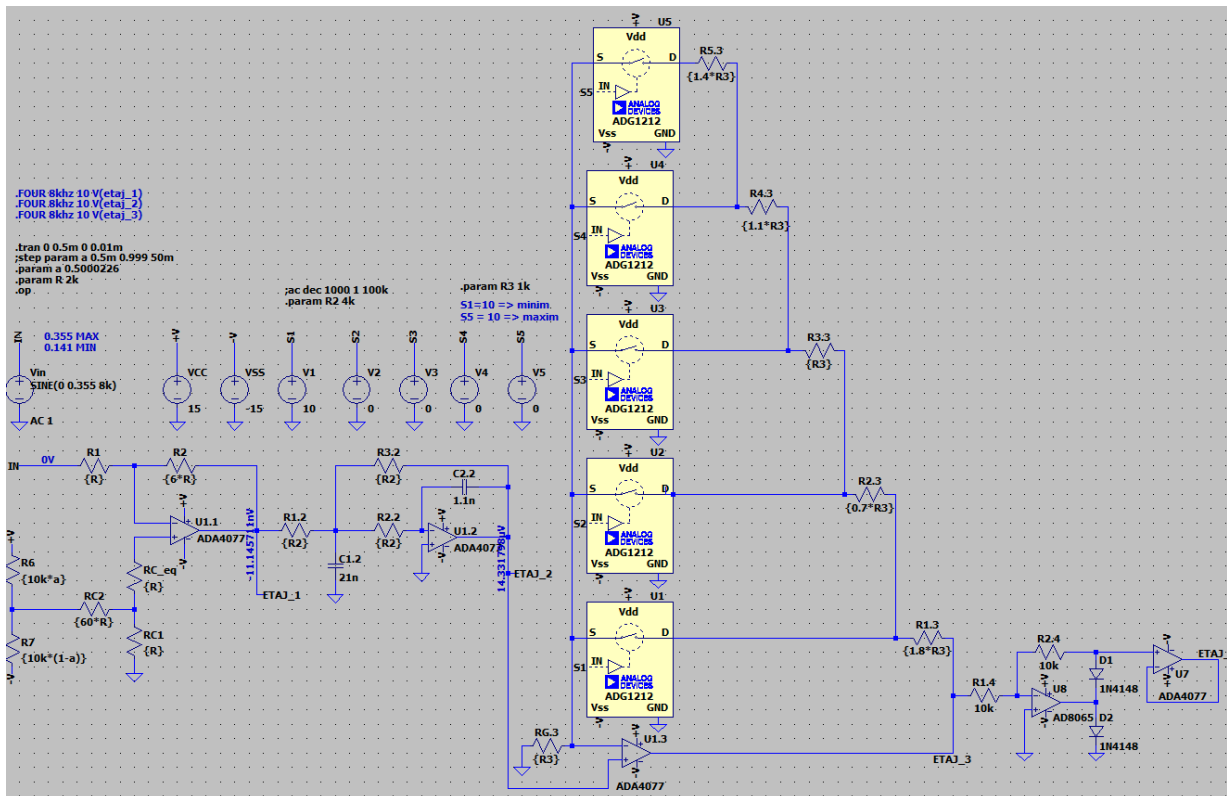
În urma calculelor se poate determina că acest circuit își îndeplinește funcția de redresor cu dublă alternanță. Respectarea câștigului unitar în banda de frecvență se observă printr-o simulare AC în fișierul ET_4.



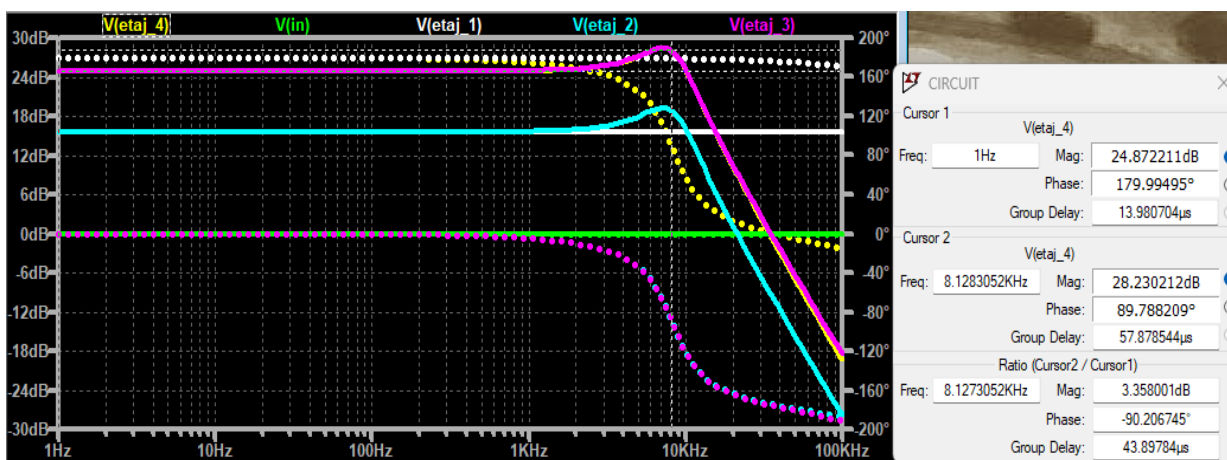
Efectuând o analiză transient putem observa din nou că circuitul își îndeplinește de asemenea funcția de redresor cu dublă alternanță.



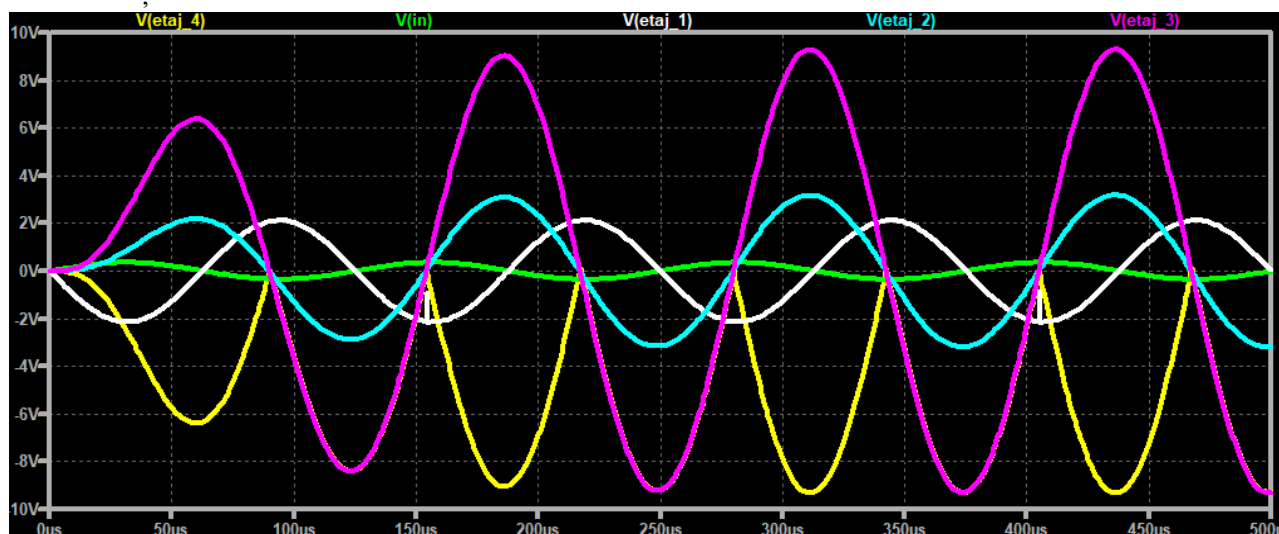
4. Verificarea si caracterizarea interfetei analogice



Simulăm întregul circuit prin accesarea fișierului CIRCUIT pentru a verifica împlinirea condițiilor de către toate etajele. În primul rând efectuăm o simulare de tip AC.



Rezultatele simulării confirmă menținerea benzii de frecvență specificată și funcționalitatea corectă în cadrul spectrului de frecvență definit în specificațiile date. Efectuăm și o simulare transient.



5. Concluzii

În concluzie, privind rezultatele din documentație, se poate observa că acestea se potrivesc cu cerințele stabilite. Implementarea este consistentă și respectă obiectivele inițiale ale proiectului.

Tabel de comparație: specificații vs. măsurători

	Specificație	Măsurat
Câștig etaj 1	6	5.99
Câștig etaj 2	0dB	-4,49μdB
Trepte de câștig etaj 3	9dB	9,31dB
	11dB	11,17dB
	13dB	13,29dB
	15dB	15,15dB
	17dB	17,05dB
Câștig etaj 4	0dB	-4,15m dB
Bandă circuit	8kHz	8,12kHz
THD etaj 1	<1%	0,1%
THD etaj 2	<1%	0,07%
THD etaj 3	<1%	0,06%
Eroare DC	nV	-11nV
Funcție etaj 4	Redresor dublă alternanță	Redresor dublă alternanță