

# *Proiect la Sisteme cu Circuite integrate Analogice*

*Proiectarea și Simularea Etajelor:  
Amplificator, Filtre, PGA și Redresoare  
în LTspice*

*Profesori îndrumători:*

**Gheorghe Eduard Vladu**

**Madalina Daniela Farcas**

**Raul Ciprian Onet**

*Realizat de:*

**Roșca David-Sorin**

# Cuprins

1. Specificații Individuale .....	3
1.1 Etajul 1 .....	3
1.2 Etajul 2 .....	3
1.3 Etajul 3 .....	4
1.4 Etajul 4 .....	4
2. Specificatii Generale .....	4
2.1 Etajul 1 .....	4
2.2 Etajul 2 .....	5
2.3 Etajul 3 .....	6
2.4 Etajul 4 si Tip AO .....	6
3. Amplificatorul I-V .....	7
3.1 Schema Circuitului .....	7
3.2 Dimensionarea .....	7
3.3 Efectul curenților de polarizare și a tensiunii de offset .....	10
3.4 Simulări în LTspice .....	12
3.5 DCOP: Punct static de funcționare .....	12
3.6 DCOP: Compensare/Ajustare nivel DC la ieșire .....	13
3.7 AC: Castig la joasa frecventa = specs .....	14
3.8 AC: banda > banda filtru .....	15
3.8 AC: PSRR .....	16
3.9 AC: CMRR .....	17
3.10 Transient: SR > specificatii .....	18
3.11 Transient: Liniaritate > specs (pentru THD < 1%) .....	19
3.12 Tabel de comparatie: specificatii vs. masuratori .....	20
4. Filtru Tow-Thomas .....	21
4.1 Schema Circuitului .....	21
4.2 Dimensionarea .....	21
4.3 Simulări în LTspice .....	22
4.4 DCOP: Punctul Static de funcționare .....	22
4.5 AC: Câștig în banda de trecere= specs .....	23
4.6 AC: Banda=specs .....	24

<b>4.7 Transient: Liniaritatea.....</b>	25
<b>4.8 Tabel de comparatie: specificatii vs. masuratori.....</b>	26
<b>5. PGA .....</b>	27
<b>5.1 Schema Circuitului .....</b>	27
<b>5.2 Dimensionarea.....</b>	27
<b>5.3 Circuitul și Switch-urile în Ltspice.....</b>	30
<b>5.4 Simulări în LTspice .....</b>	31
<b>5.5 DCOP: Punctul Static de Functionare .....</b>	31
<b>5.6 AC: Toate treptele de câștig implementate .....</b>	32
<b>5.7 AC: Banda PGA( pt fiecare câștig)&gt;Banda Filtrului .....</b>	37
<b>5.8 Transient : Liniaritate &gt; specs pt castig min/max (pentru THD &lt; 1%) .....</b>	42
<b>5.9 Tabel de comparatie: specificatii vs. masuratori.....</b>	44
<b>6. Peak Detect .....</b>	44
<b>6.1 Schema Circuitului .....</b>	44
<b>6.2 Dimensionarea.....</b>	45
<b>6.3 Schema Circuitului in LTspice .....</b>	45
<b>6.4 Simulari in LTspice .....</b>	46
<b>6.5 DCOP: Punctul Static de Functionare .....</b>	46
<b>6.6 AC: Castig=specs.....</b>	47
<b>6.7 Transient: Implementarea functie de circuit .....</b>	48
<b>6.8 Transient: Domeniul Liniar .....</b>	49
<b>6.9 Tabel de comparatie: specificatii vs. Masuratori .....</b>	50
<b>7. Verificarea si caracterizarea interfetei analogice .....</b>	50
<b>7.1 Schema celor 4 etaje bloc.....</b>	50
<b>7.2 Simulari în LTspice .....</b>	51
<b>7.3 Simulare AC.....</b>	51
<b>7.4 Simulare Transient.....</b>	51
<b>8. Bibliografie .....</b>	52

## 1. Specificații Individuale

### 1.1 Etajul 1

Etajul 1					
Sursa Semnal	amplitudine minima (pt castig maxim PGA)	amplitudine maxima (pt castig minim PGA)	unitate masura	Tip Etaj	Castig  etaj 1 (liniar)
3	6.73E-05	1.69E-04	A (single ended)	3	10000

### 1.2 Etajul 2

Etajul 2				
Tip etaj 2	$ H_0 $ castig liniar in banda de trecere	Rintrare minim	Banda	Q
10	1	2.00E+03	6.00E+03	1.41

## 1.3 Etajul 3

Etaj 3					
Tip etaj 3	castig minim [dB]	rezolutie (pas minim) [dB]	nr pasi	castig maxim [dB]	Rintrare minim
6	11	2	5	19	

## 1.4 Etajul 4

Etaj 4		AO
tip Etaj 4	Castig  etaj 4 (liniar)	Tip AO
18	1	12

## 2.Specificatii Generale

### 2.1 Etajul 1

Sursa semnal						
nr	Marime fizica	tip sursa	Valoare DC	Amplitudine minima (pentru PGA setat la castig maxim) [V sau A]	Amplitudine maxima (pentru PGA setat la castig maxim) [V sau A]	frecventa maxima "fin_max"
3	current	single ended	0	spec individual	spec individual	banda filtru (LPF) sau fmax banda de trecere (BPF)

Etaj 1-Amplificator									
Sursa semnal	nr	Semnal intrare	semnal iesire	tip	Castig  (liniar) [V/V, I/V, V/I]	Rin_min [Ohms]	reglaj Out_DC	banda*	liniaritate
3	3	curent	tensiune	Amplificator I-V cu 1 AO	spec individual		DA	>fin_max	fara distorsiuni la fin_max pt ampl_in*castig (SR, THD<1%)

## 2.2 Etajul 2

Etaj 2-Filtru										
nr	Semnal intrare	Semnal iesire	tip functie de transfer	topologie	H0 castig in banda de trecere [V/V sau I/V]	Rin_min	Rin_min	f0 frecventa centrala filtru trece-banda	Q	liniaritate
10	tensiune	tensiune	trece banda BPF	Tow-Thomas V-V	1	2.00E+03	spec individual	BW*Q	spec individual	amplitudinea de la iesire = (amplitudinea de la intrare)X(castigul in banda de trecere) pentru un semnal armonic cu frecventa = frecventa centrala BPF

## 2.3 Etajul 3

Etaj 3-PGA								
nr	tip	castig minim [dB]	rezolutie (pas minim) [dB]	numar pasi	castig maxim [dB]	Rin_min [Ohms]	banda	liniaritate
6	neinvesor, comutatoare in afara caii de semnal	spec ind	spec ind	spec ind	spec ind	>Fin_max		fara distorsiuni la fin_max pt ampl_in_min*castig_ max_PGA si ampli_in_max*castig_ min_PGA (THD<1%)

## 2.4 Etajul 4 si Tip AO

Etajul 4-Redresor/Convertor AC-DC/Detector de varf			
nr	tip	castig [v/v]	semnal mare - circuitul are functia dorita pe domeniul
18	Detector de varf - Peak Detect (pozitiv)		Vin_max
Tip Amplificator Operational AO			
nr	Denumire	tensiune de alimentare	
12	LT6018	+/-15V	

## 3. Amplificatorul I-V

### 3.1 Schema Circuitului

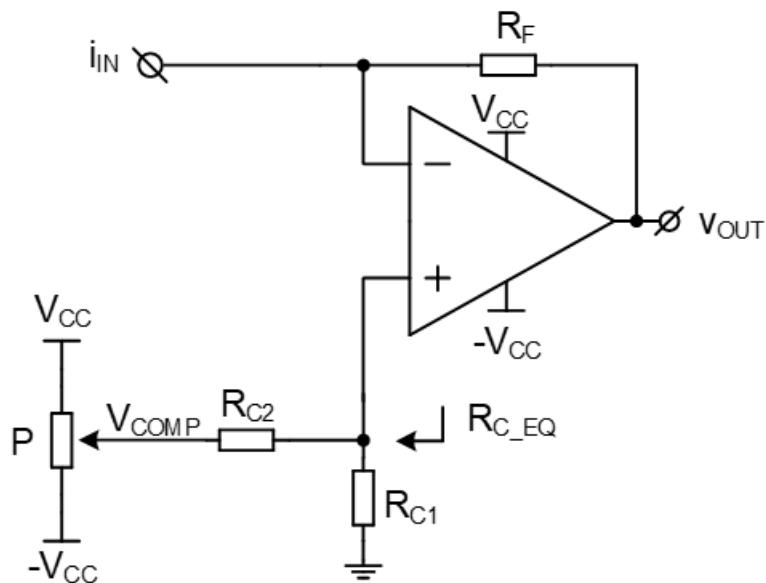
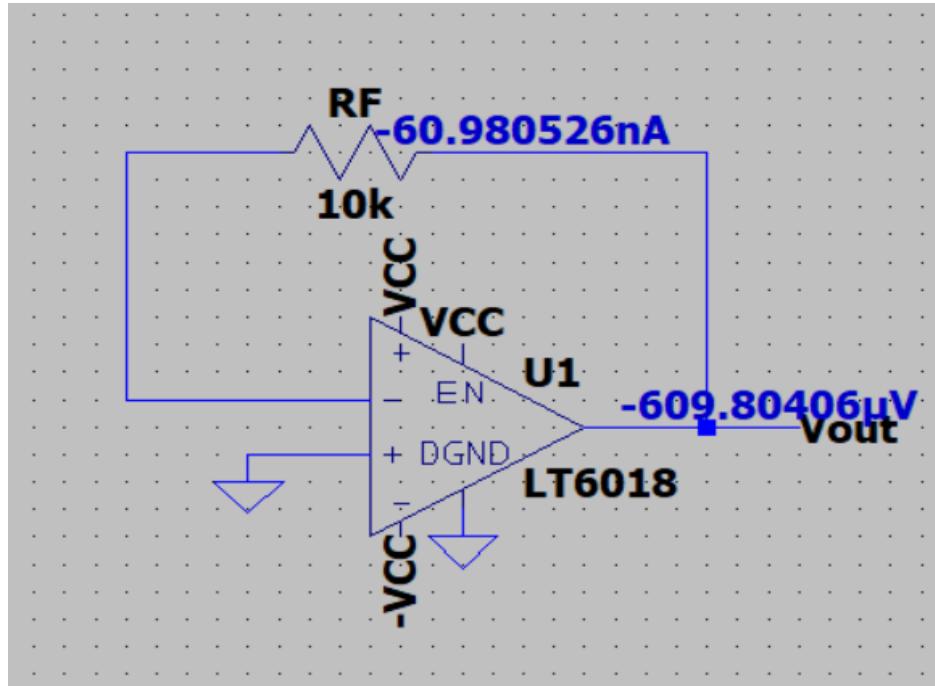


Figura 1. Schema Circuitului

### 3.2 Dimensionarea

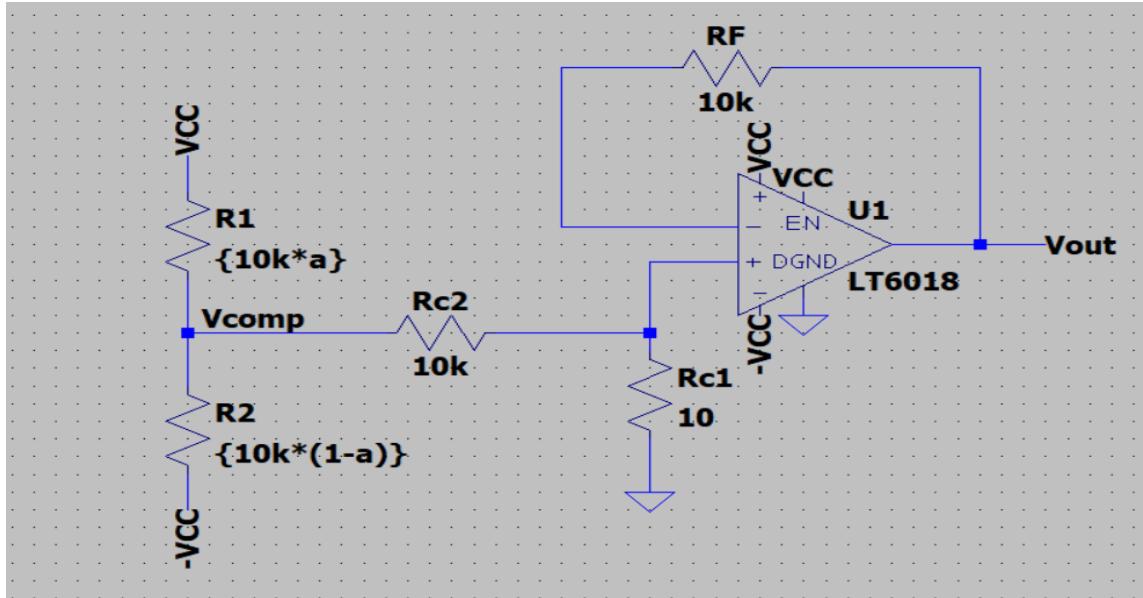
Pentru a dimensiona circuitul o să pasivizam  $i_{IN}$  și vom pune la borna  $v(+)$  masa, vom realiza o simulare DCOP pentru a determina  $V_{outEroare}$ .



**Figura 2. Calcularea lui VoutEr**

Dupa simularea DCOP am aflat  $V_{out,eroare} = -609.804 \mu V$  😊

Vom redesena circuitul pentru a determina valoarea rezistentei  $R_{c1}$ ,  $R_{c2}$ . Ca sa nu avem consum mare de curent vom folosi un potentiometru de 10kohm



**Figura 3. Circuitul după calcularea VoutEr**

Alegem  $Rc2=10\text{k}\Omega$  și vom calcula  $Rc1$ .

Prima dată vom pleca de la  $\alpha = 0,47$  și vom determina tensiunea la potențiometru  $V_p$ . Aplicam Millman în nodul  $V_p$  pentru a afla tensiunea.

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{\frac{VDD}{\alpha P} - \frac{VDD}{(1-\alpha)P}}{\frac{1}{\alpha P} - \frac{1}{(1-\alpha)P}} = \frac{\frac{(1-\alpha)PVDD - \alpha PVDD}{\alpha P(1-\alpha)P}}{\frac{(1-\alpha)P + \alpha P}{\alpha P(1-\alpha)P}} \\ &= \frac{PVDD - \alpha PVDD - \alpha PVDD}{P - \alpha P + \alpha P} \Rightarrow V_p = VDD(1 - 2\alpha) \end{aligned}$$

$$V_p = 15(1 - 2 * 0.47) \Rightarrow V_p = 0.9V \quad \text{😊}$$

Dacă știm tensiunea după potențiometru putem afla rezistențele  $Rc1$ ,  $Rc2$ .

Am luat  $\alpha \in [0,1] \Rightarrow$  o să luăm  $\alpha = 0.47$ , deoarece avem Veroare negativ și dacă luăm  $\alpha < 0.5$  vom avea o compensare pozitivă.

$$V_{comp} = \frac{Rc1}{Rc1 + Rc2} \times V_p$$

Stim că  $Rc2=10\text{k}\Omega$ , dar  $Rc2 \gg Rc1$

$$0.0006 = \frac{Rc1}{Rc1 + 10\text{k}\Omega} \times 0.9 = 0.0006(Rc1 + 10\text{k}\Omega) = 0.9Rc1$$

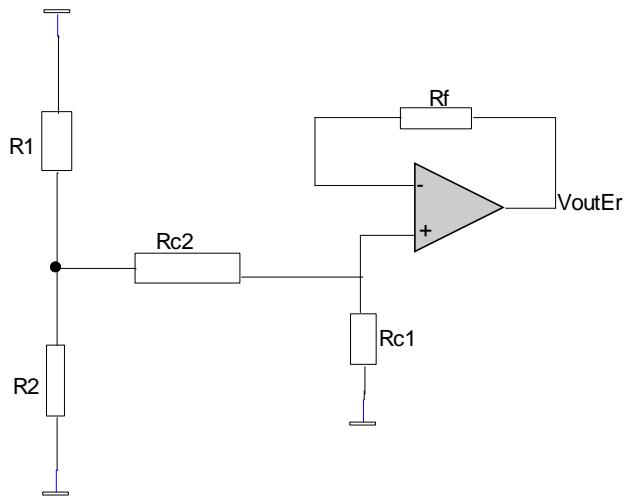
$$0.0006Rc1 + 6 = 0.9Rc1 \Rightarrow 0.9Rc1 - 0.0006Rc1 = 6$$

$$0.8994Rc1 = 6 \Rightarrow Rc1 = 6.67\Omega \quad \text{😊}$$

În simulatorul LTspice vom aproxima  $Rc1=10\text{k}\Omega$  😊 pentru a avea o compensare mai bună.

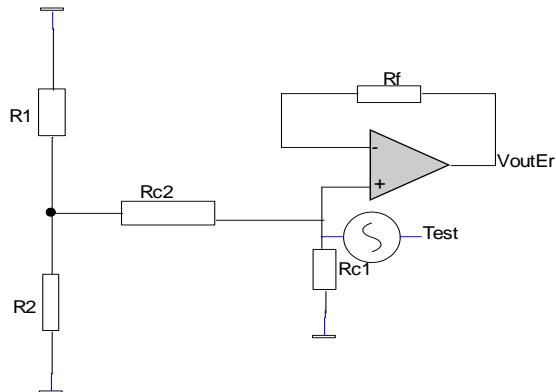
### 3.3 Efectul curenților de polarizare și a tensiunii de offset

Vom pasiviza toate sursele din circuit:



**Figura 4. Pasivizarea tensiunilor de intrare**

Vom calcula rezistența echivalentă vazută la  $V(+)$

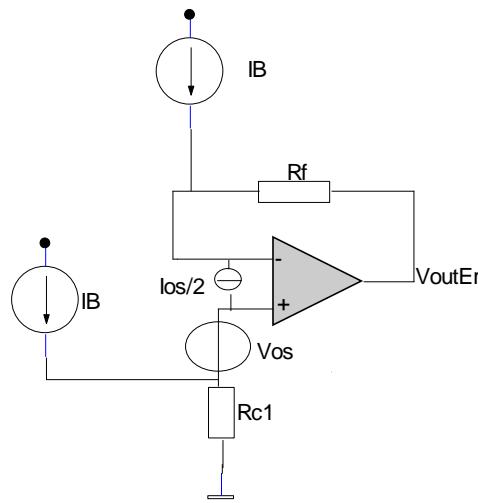


**Figura 5. Calcularea Rezistenței echivalente**

Deci rezistența echivalentă o să fie de forma

$$Rech = [(R1//R2) + R_{C2}] + R_{C1} = 10\Omega \quad \text{😊}$$

Aplicăm pe circuit curenții de polarizare și tensiunea de offset:



**Figura 6. Efectul Curenților de polarizare și a tensiunii de offset**

Pasivizăm  $I_{os}$  și  $IB$  => Efectul lui  $V_{os}$

$$V_{outEr} = V_{os} \quad \text{😊}$$

Pasivizăm  $V_{os}$ ,  $IB(-)$ ,  $I_{os}$  => Efectul lui  $IB(+)$

$$V_{outEr} = Rech * IB \quad \text{😊}$$

Pasivizăm  $IB(+)$ ,  $I_{os}$ ,  $V_{os}$  => Efectul lui  $IB(-)$

$$V_{outEr} = -Rech * IB \quad \text{😊}$$

Pasivizăm  $IB(+)$ ,  $IB(-)$  și  $V_{os}$  => efectul lui  $I_{os}$

$$v^+ = v^-$$

$$v^+ = -Rech \times \frac{I_{os}}{2}$$

$$v^- = Rf \frac{I_{os}}{2} + V_{outEr}|I_{os}$$

$$-Rech \frac{I_{os}}{2} = Rf \frac{I_{os}}{2} + V_{outEr}|I_{os} \Rightarrow -Rech \frac{I_{os}}{2} - Rf \frac{I_{os}}{2} = V_{outEr}|I_{os}$$

$$V_{outEr}|_{Ios} = -\frac{Ios}{2}(Rech + Rf)$$



Din datasheet am luat valorile pentru  $I_{os}=-6nA$ ,  $V_{os}=8uV$  și  $IB=60nA$

$$V_{outEr}=V_{os}+Rech \cdot IB - RF \cdot IB - \frac{Ios}{2}(Rech+RF)$$

$$V_{outEr}=8 \cdot 10^{-6} + 10 * 60 * 10^{-9} - 10 * 10^3 * 60 * 10^{-9} + \frac{6}{2} 10^{-9} (10 + 10^4) = -561.37 \mu V$$

Avem  $V_{outEr}=-561.37 \mu V$  în calculi, iar în simulatorul LTspice avem  $V_{outEr}=-609.804 \mu V$ , deci nu avem o diferență mare între valoarea calculată și cea simulată.

### 3.4 Simulații în LTspice

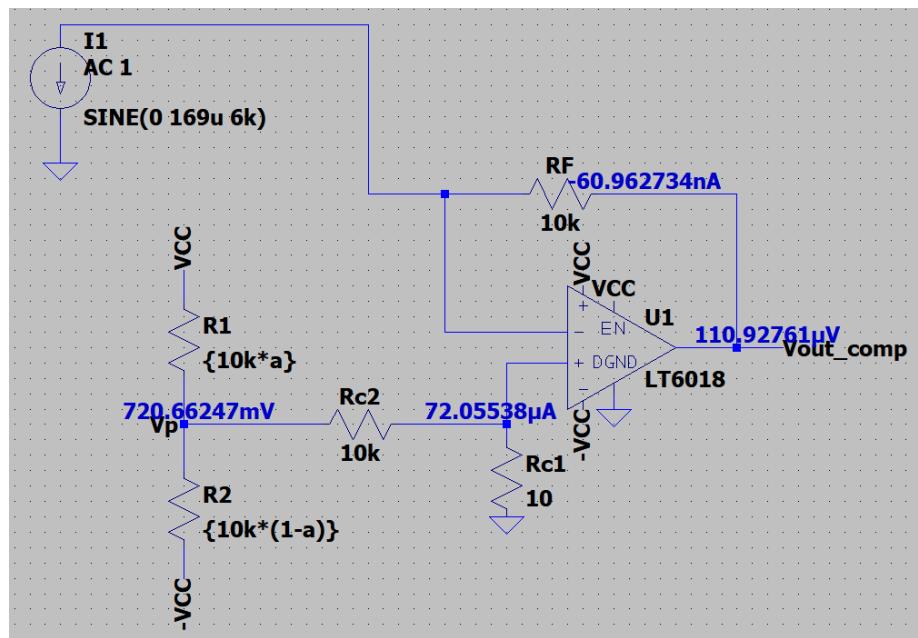
### 3.5 DCOP: Punct static de funcționare

```
* D:\Anul\Anul III\SEM. I\SCIA\Project SCIA Rosca David Sorin\Project SCIA Scheme\Etajul1AO-IV.asc
--- Operating Point ---
V(vcc) : 15 voltage
V(-vcc) : -15 voltage
V(vout_comp) : 0.000110928 voltage
V(n001) : 0.000720555 voltage
V(n002) : 0.000720554 voltage
V(vp) : 0.720662 voltage
I(I1) : 0 device_current
I(Rf) : -6.09627e-08 device_current
I(Rc1) : 7.20554e-05 device_current
I(Rc2) : -7.19942e-05 device_current
I(R1) : 0.00303816 device_current
I(R2) : 0.00296616 device_current
I(V1) : -0.0155095 device_current
I(V2) : -0.0154367 device_current
Ix(u1:1) : -6.11898e-08 subckt_current
Ix(u1:2) : -6.09627e-08 subckt_current
Ix(u1:3) : 0.0124713 subckt_current
Ix(u1:4) : -0.0124706 subckt_current
Ix(u1:5) : 6.09627e-08 subckt_current
Ix(u1:6) : 1.25003e-09 subckt_current
Ix(u1:7) : -7.01e-07 subckt_current
```

Figura 7. Punctul Static de Funcționare

### 3.6 DCOP: Compensare/Ajustare nivel DC la ieșire

Pentru că avem o tensiune de eroare la ieșirea amplificatorului inversor ( $V_{out,Er} = -609.804\mu V$ ), aceasta presupune aplicarea unei tensiuni de compensare ce poate fi reglată prin intermediul unui potențiometru.



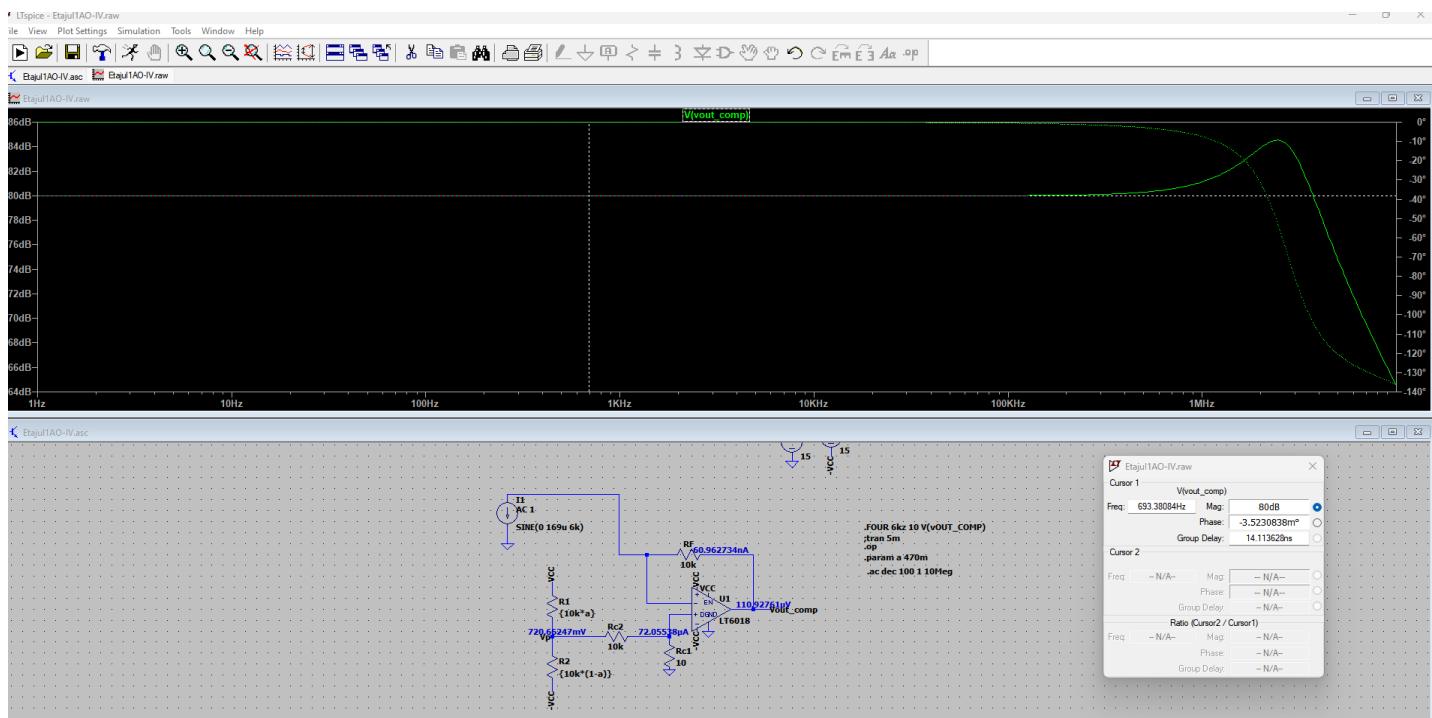
**Figura 8. Tensiunea de compensare**

Cu ajutorul potențiometrului am compensat tensiunea de eroare la  $110.92\mu V$ . 😊

## 3.7 AC: Castig la joasa frecventa = specs

Câștigul din specificații este 10.000, dacă-l convertim în decibeli ar trebui să obținem 80dB.

Pentru aceasta am creat o simulare AC, cu Type of sweep: decade, Number of points per decade: 100, Start frequency: 1, Stop frequency: 10Meg. Totodată, am pus la sursa de current un semnal SINE cu valoarea DC:0, Amplitudine 169u( amplitudinea maximă din specificații), iar la frecvență am pus 6kHz( frecvența din specificații).

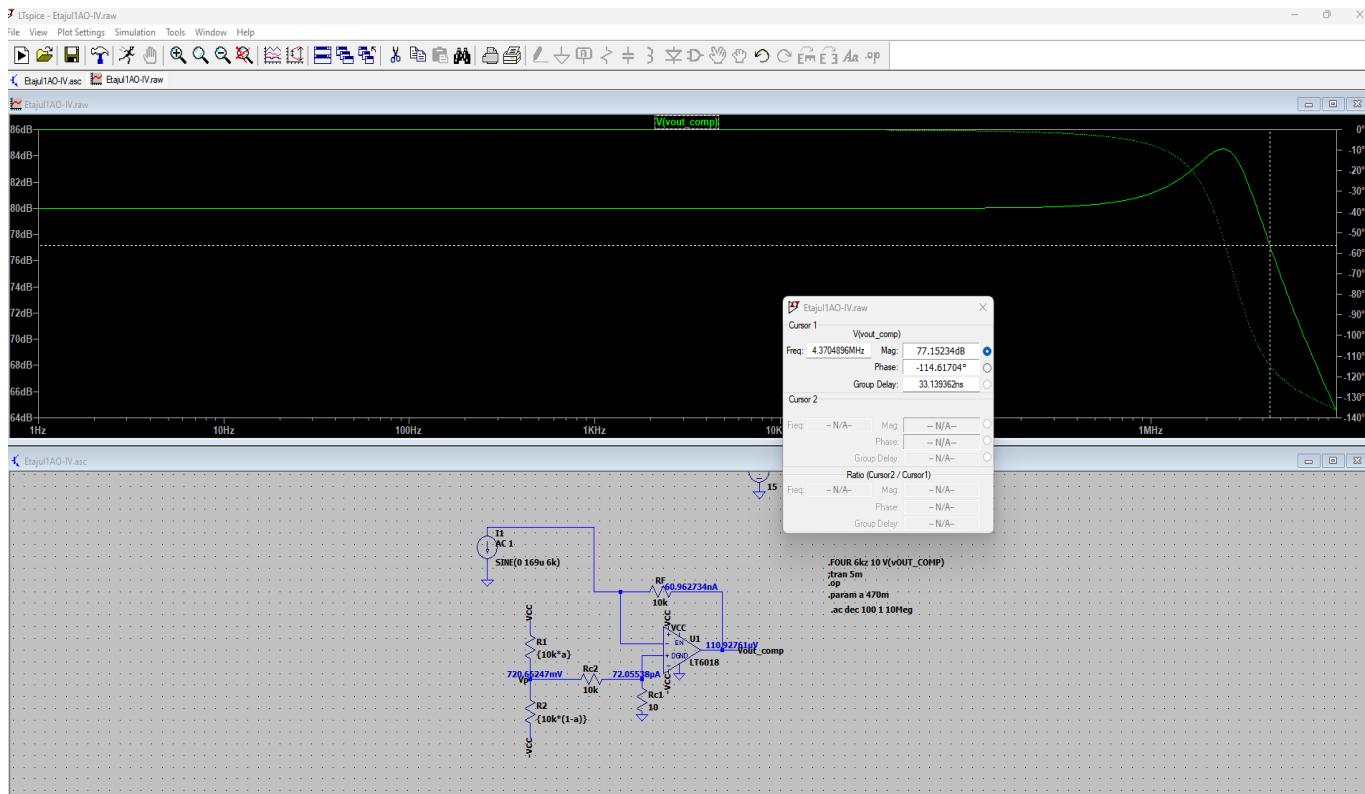


**Figura 9. Măsurarea câștigului**

### 3.8 AC: banda > banda filtru

Pentru a afla banda(BW) o să realizăm o simulare AC în programul LTspice, iar banda se măsoară la -3dB.

Banda filtrului este 6kHz, iar banda măsurată este **4.3704896MHz** 😊



**Figura 10. Măsurarea Benzii AO**

### 3.8 AC: PSRR

**Definitie PSRR**= variația tensiunii de dezechilibru datorită modificarii tensiunii de alimentare.

La una dintre alimentări vom pune AC 1, iar după măsurăm PSRR la joasă frecvență.

Observăm că obținem -70.94dB.

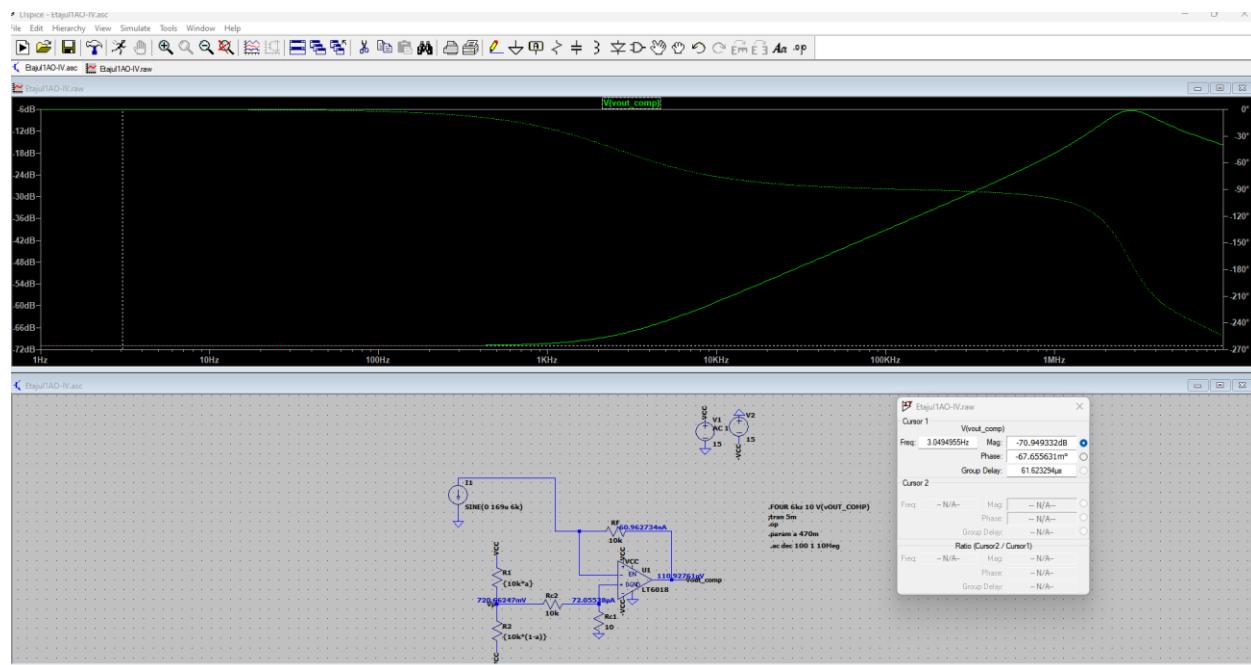


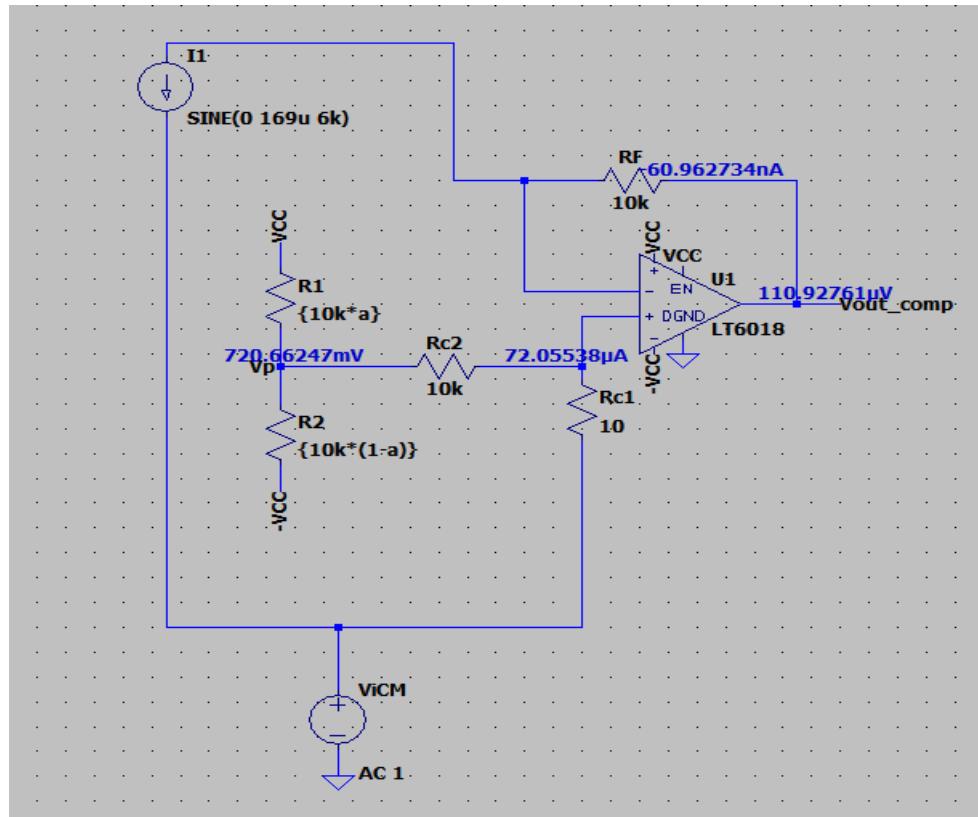
Figura 11. Măsurare PSRR

### 3.9 AC: CMRR

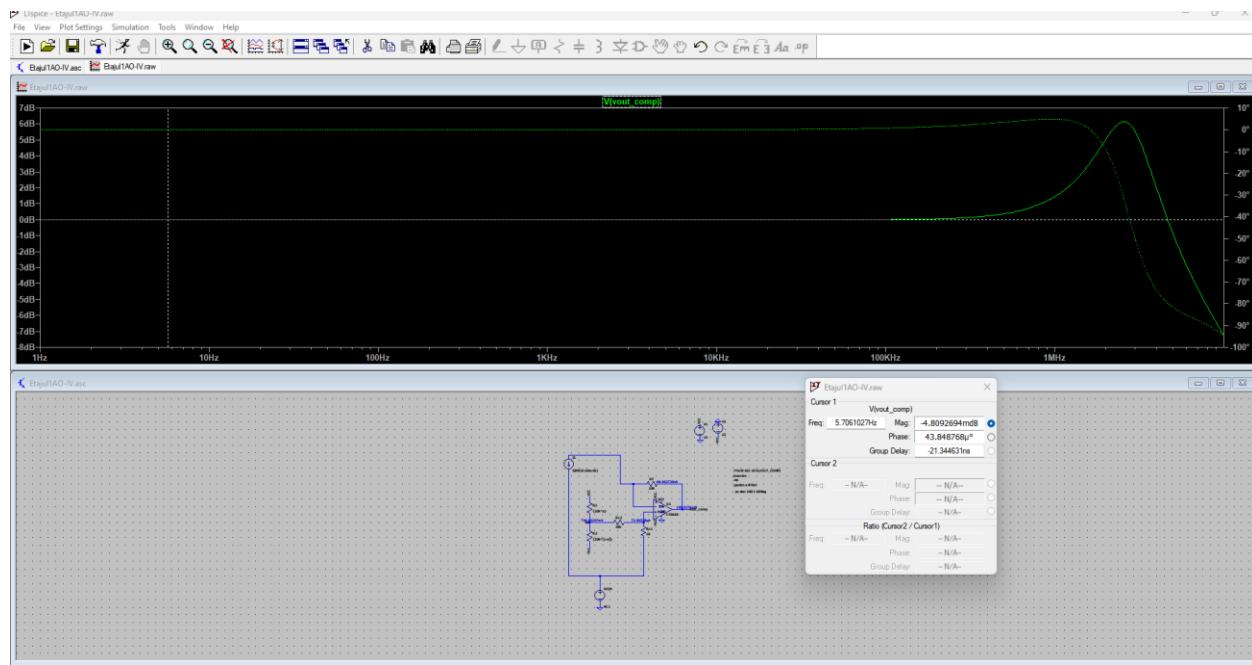
**Definirea CMRR** = variația tensiunii de dezechilibru datorită modificării tensiunii de intrare de mod comun.

Pentru a măsura CMRR vom pune la intrarea AO-ului o tensiune de mod comun de valoare AC 1.

Vom măsura tot la joasă frecvență și obținem: **-4.809dB**



**Figura 12. Implementare în circuit a tensiunii VICM**



**Figura 13. Măsurare CMRR**

### 3.10 Transient: SR > specificatii

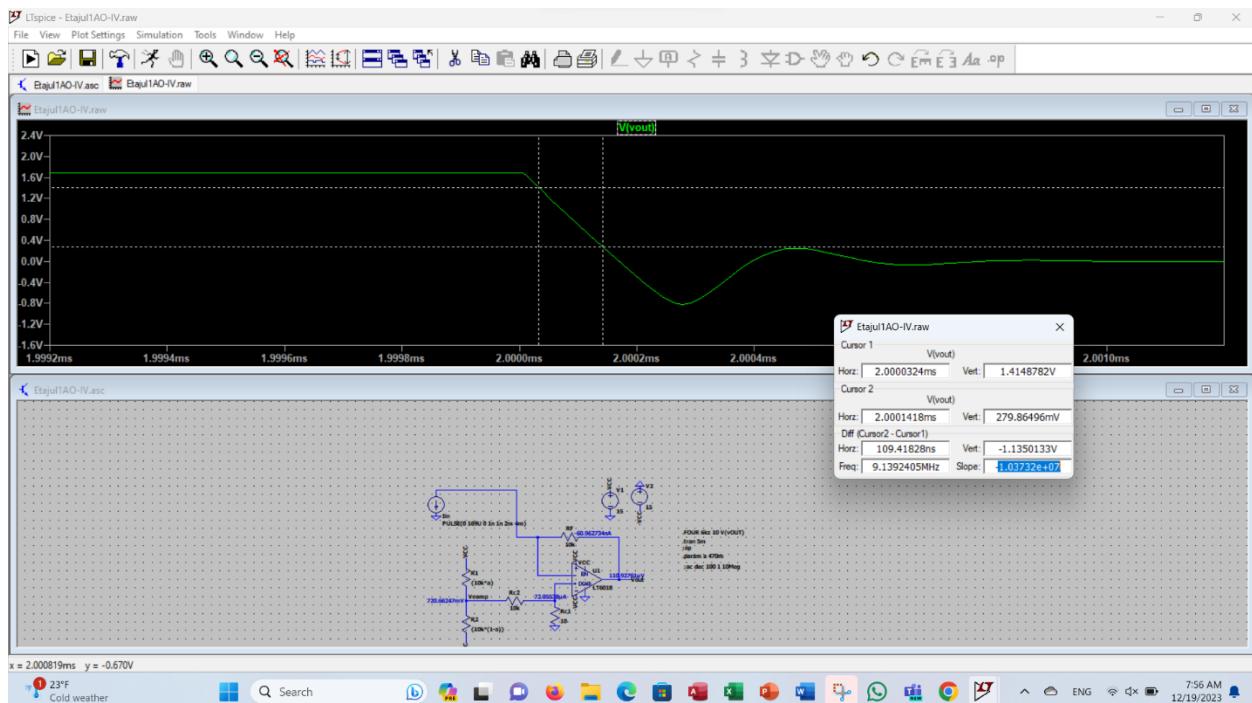
**Slew-Rate (SR) definiție:** viteza maximă de variație a semnalului de la ieșirea AO.

$$SR = \left( \frac{\partial V_{out}}{\partial t} \right) MAX$$

Pentru măsurarea SR vom pune la intrare un semnal PULSE cu următoarele componente: I1=0, I2=169u, Tdelay=0, Trise=1n, Tfall=1n, Ton=2m, Tperiod=4m.

După vom măsura panta de ieșire pe frontrul ascendent respectiv descendente.

Obținem  $SR = -1.03732E+07$  😊

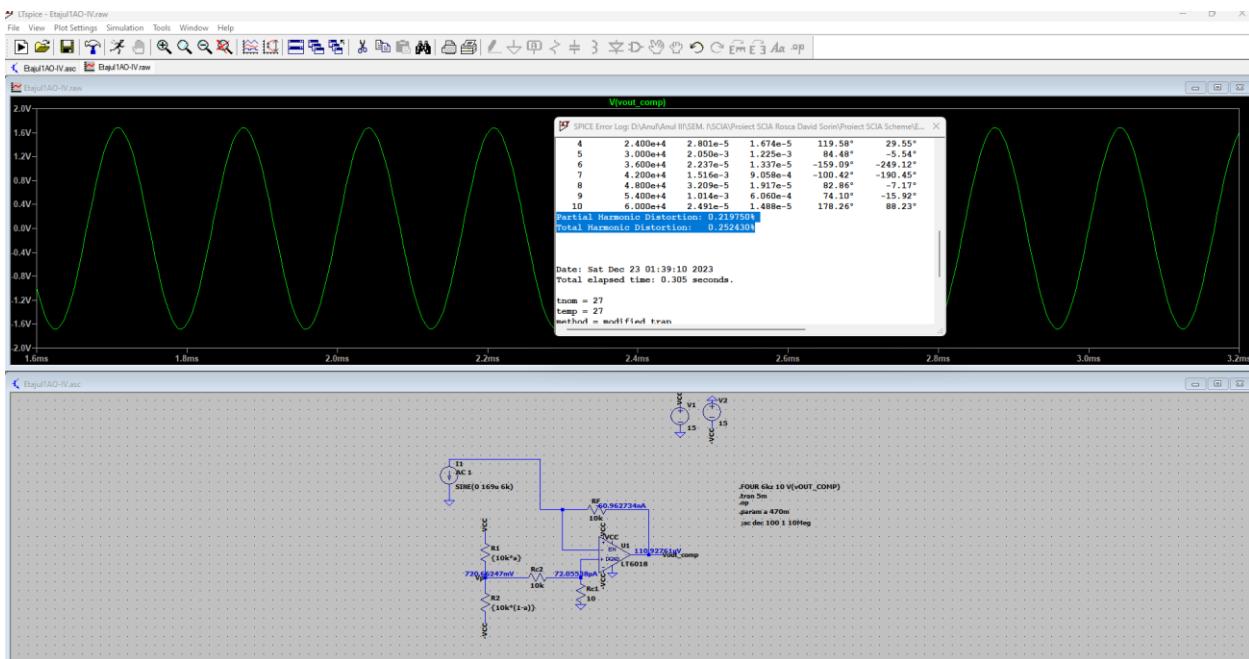


**Figura 14. Măsurarea Slew-Rate-ului**

### 3.11 Transient: Liniaritate > specs (pentru THD < 1%)

Pentru a determina liniaritatea circuitului vom realiza o analiza transient si variem iesirea. Totodata, vom realiza o functie Four pentru a ne aparea in simulare THD-UL (**Total Harmonic Distortion**). Pentru a determina THD-ul vom micsora sau mari amplitudinea sinusului, iar ca sa

verificam daca scade sau creste THD-ul trebuie sa intram la view->Spice Error LOG.



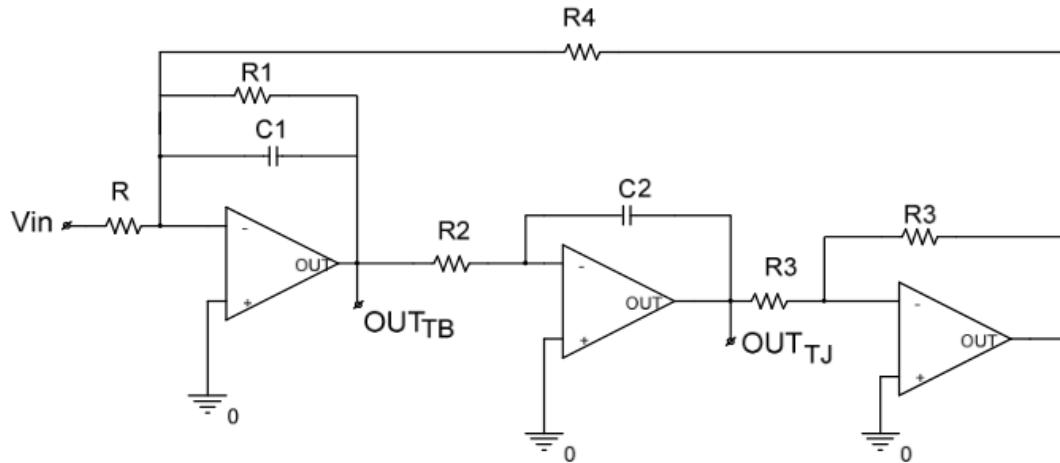
**Figura 15. Liniaritatea Circuitului, THD**

### 3.12 Tabel de comparatie: specificatii vs. masuratori

Specificatii				Masuratori			
Câstig	Banda Filtru	SR	Liniaritatea	Câstig	Banda Filtru	SR	Liniaritatea
80 dB	6kHz	-	fara distorsiuni la fin_max pt ampl_in*casting (SR, THD<1%)	80 dB	4.38MHz	1.04E+07	Am pus ampli 169u si am unTHD de 0.25%

## 4. Filtru Tow-Thomas

### 4.1 Schema Circuitului



### 4.2 Dimensionarea

Pentru a dimensiona filtrul o să mă folosesc de specificațiile date și anume:

$$H_0 = 1, R_{inmin} = 2k\Omega, BW = 6kHz, Q = 1.41$$

$$H_0 = \frac{R4}{R} \Rightarrow 1 = \frac{R4}{R} \Rightarrow R4 = R$$

Dacă  $C1=C2=C$  și  $R2=R4$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R1R4R1C2}} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{R2C}$$

$$Q = R1 \sqrt{\frac{C1}{C2R2R4}} \Rightarrow Q = \frac{R1}{R2}$$

$$1.41 = \frac{R1}{R2} \Rightarrow R1 = 1.41 * R2$$

Aleg  $C=1nF$  😊

$$f_0 = BW * Q = 6 * 10^3 * 1.41 = 8.41kHz$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = 6.28 * 8.41 * 10^3 = 52.81kHz$$

$$\omega_0 = \frac{1}{R2C} \Rightarrow R2 = \frac{1}{\omega_0 * C} = \frac{1}{52.81 * 10^3 * 10^{-9}} \Rightarrow$$

$$R2 = 19k\Omega \quad \text{😊}$$

R2=R4=R=19kΩ 😊

R1=1.41\*19\*10<sup>3</sup>=26kΩ 😊

Aleg R3=10kΩ 😊

## 4.3 Simulații în LTspice

## 4.4 DCOP: Punctul Static de funcționare

```
* D:\Anul III\SEM. I\SCIA\Proiect SCIA Rosca David Sorin\Proiect SCIA Scheme\Etajul2Filtru_Tow_Thom...
--- Operating Point ---
V(vcc) : 15 voltage
V(vee) : -15 voltage
V(out_tb) : -0.00115863 voltage
V(n001) : 2.21159e-09 voltage
V(out_tj) : -0.000297867 voltage
V(n003) : 1.14535e-09 voltage
V(vout) : -0.000311936 voltage
V(n002) : 1.14643e-09 voltage
V(n004) : 0 voltage
I(C1) : -1.15863e-24 device_current
I(C2) : -2.97868e-25 device_current
I(R2) : -4.45627e-08 device_current
I(R3) : 6.09805e-08 device_current
I(R4) : 2.97868e-08 device_current
I(R5) : -3.11937e-08 device_current
I(R6) : -1.64178e-08 device_current
I(R1) : 6.37676e-14 device_current
I(Vcc) : -0.0374141 device_current
I(Vee) : 0.0374118 device_current
I(Vl) : 6.37676e-14 device_current
Ix(u1:1) : -6.12076e-08 subckt_current
Ix(u1:2) : -6.09805e-08 subckt_current
Ix(u1:3) : 0.0124714 subckt_current
Ix(u1:4) : -0.0124707 subckt_current
Ix(u1:5) : 1.05543e-07 subckt_current
Ix(u1:6) : 1.25003e-09 subckt_current
Ix(u1:7) : -7.01e-07 subckt_current
Ix(u2:1) : -6.12076e-08 subckt_current
Ix(u2:2) : -6.09805e-08 subckt_current
Ix(u2:3) : 0.0124714 subckt_current
Ix(u2:4) : -0.0124706 subckt_current
Ix(u2:5) : 2.97868e-08 subckt_current
Ix(u2:6) : 1.25003e-09 subckt_current
Ix(u2:7) : -7.01e-07 subckt_current
Ix(u3:1) : -6.12076e-08 subckt_current
Ix(u3:2) : -6.09805e-08 subckt_current
Ix(u3:3) : 0.0124714 subckt_current
Ix(u3:4) : -0.0124706 subckt_current
Ix(u3:5) : 4.76115e-08 subckt_current
Ix(u3:6) : 1.25003e-09 subckt_current
Ix(u3:7) : -7.01e-07 subckt_current
```

**Figura 1. PSF al Filtrului**

## 4.5 AC: Câștig în banda de trecere= specs

$H_0$  se măsoară la 0 dB.

Totodată, am trecut în liniar circuitul și am observat că obțin 1 la fel ca și în specificații.

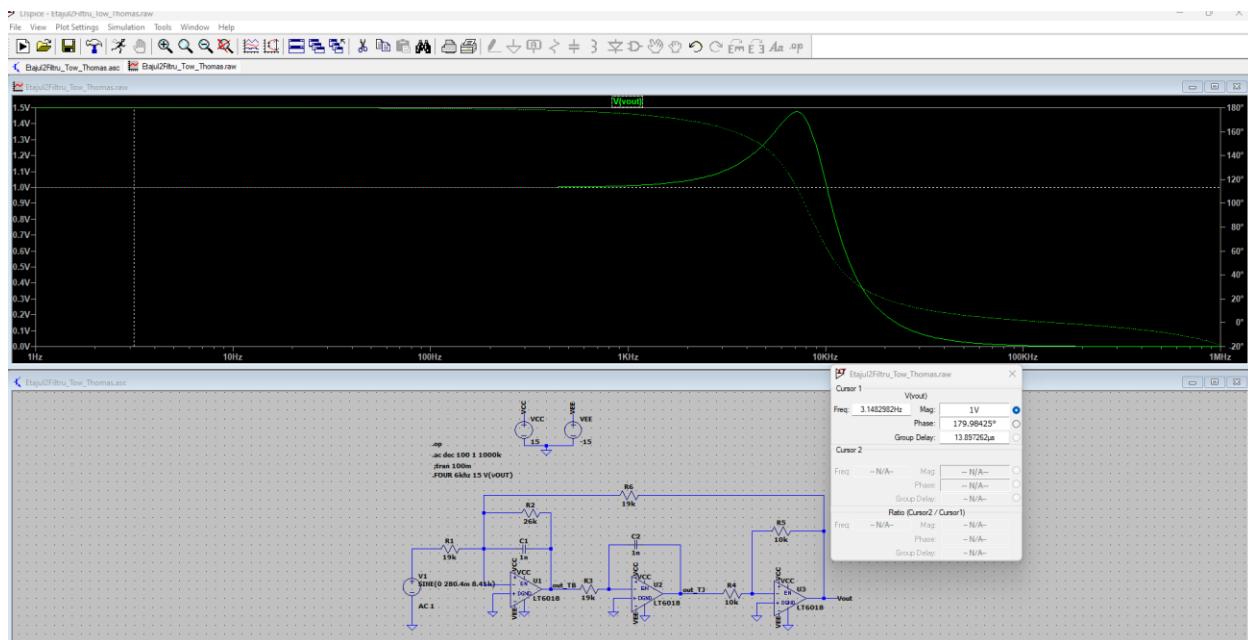
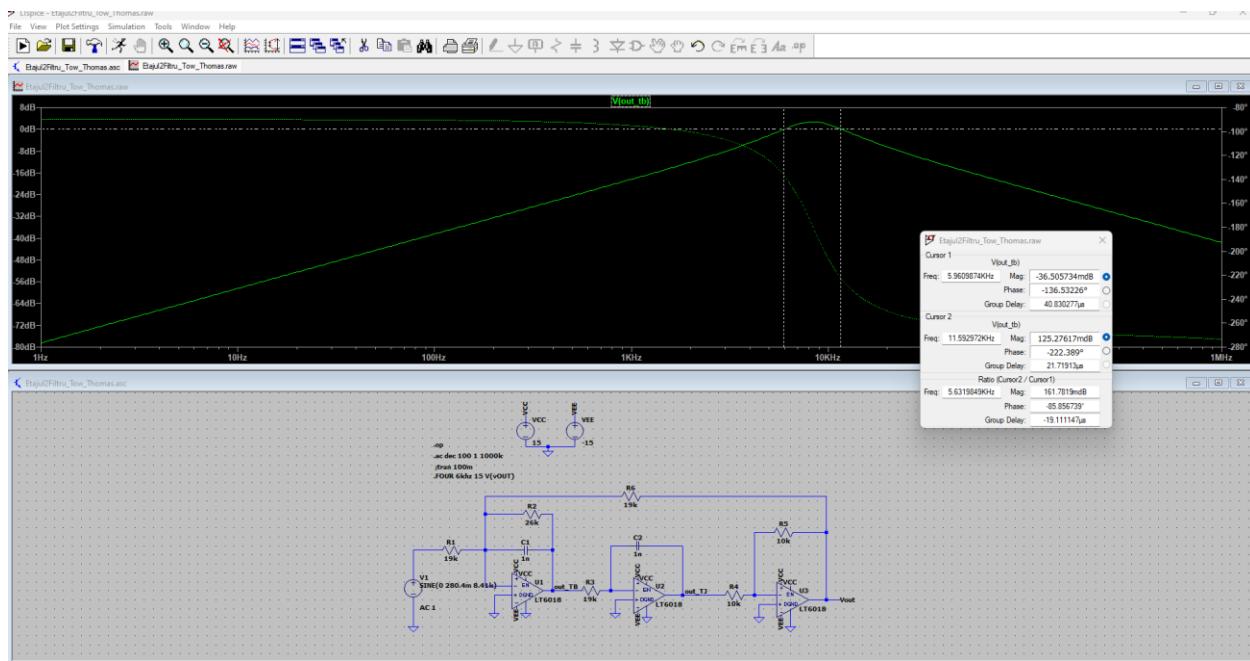


Figura 2. Măsurarea Câștigului în banda de trecere

## 4.6 AC: Banda=specs

Pentru a măsura banda la un Filtru Trece Bandă o să punem două cursoare și măsurăm la 0dB. Prin măsurare observăm, că obținem banda de **5.631kHz**, ce este aproximativ 6kHz.



**Figura 3. Măsurarea benzii la FTB**

## 4.7 Transient: Liniaritatea

Pentru a măsura liniaritatea ne folosim de relația: amplitudinea de la ieșire = (amplitudinea de la intrare)X(castigul în banda de trecere) pentru un semnal armonic cu frecvența = frecvența centrală BPF

Amplitudinea de la ieșire=169u\*1=169u

Pentru a demonstra liniaritatea o să schimbăm amplitudinea pentru a avea THD-ul mai mic de 1%, deci amplitudinea de la ieșire=269m

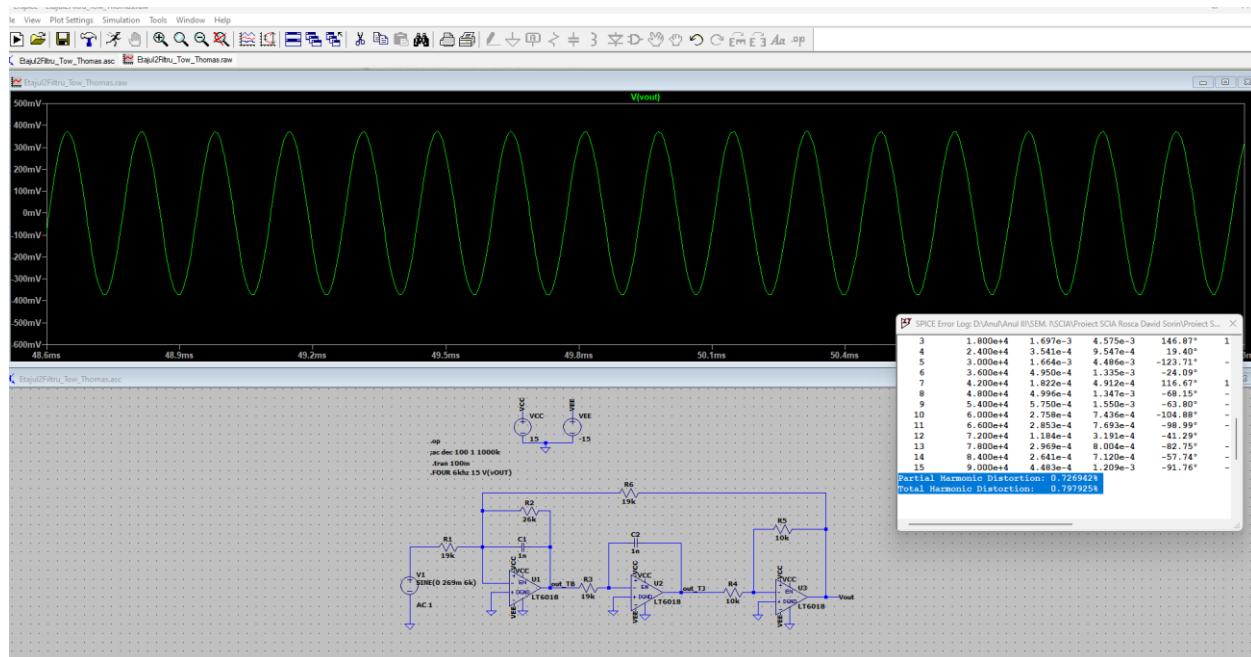
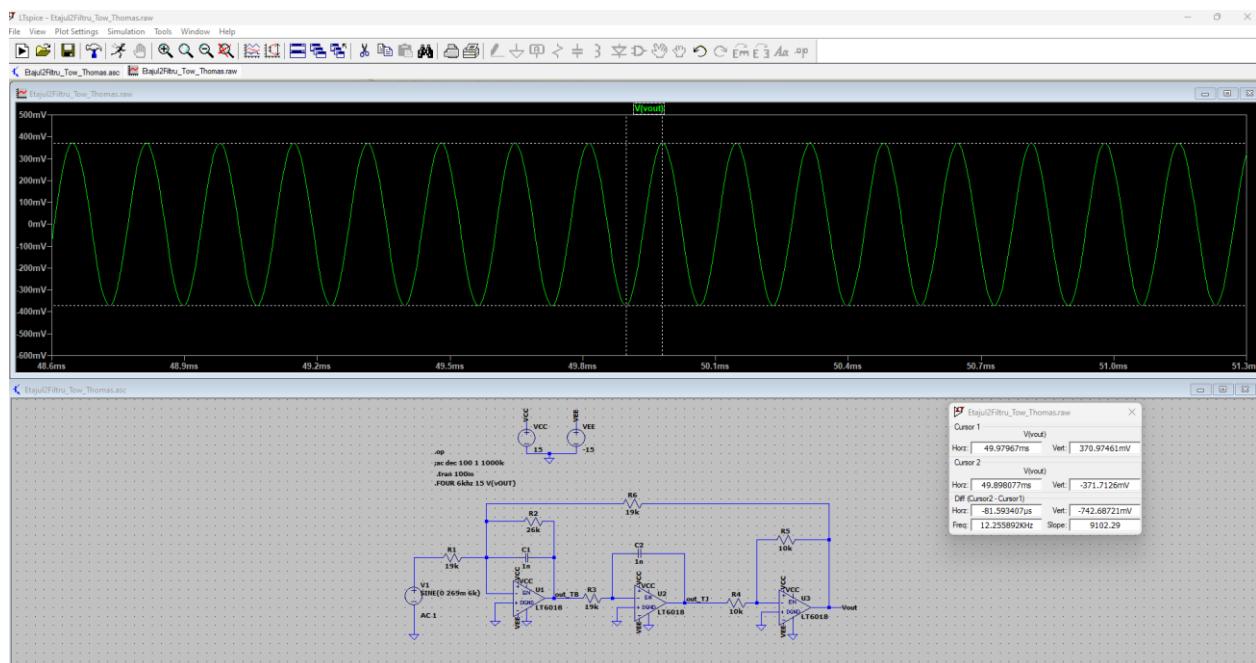


Figura 4. Ajustarea THD



**Figura 5. Măsurarea Ampl de la ieșire**

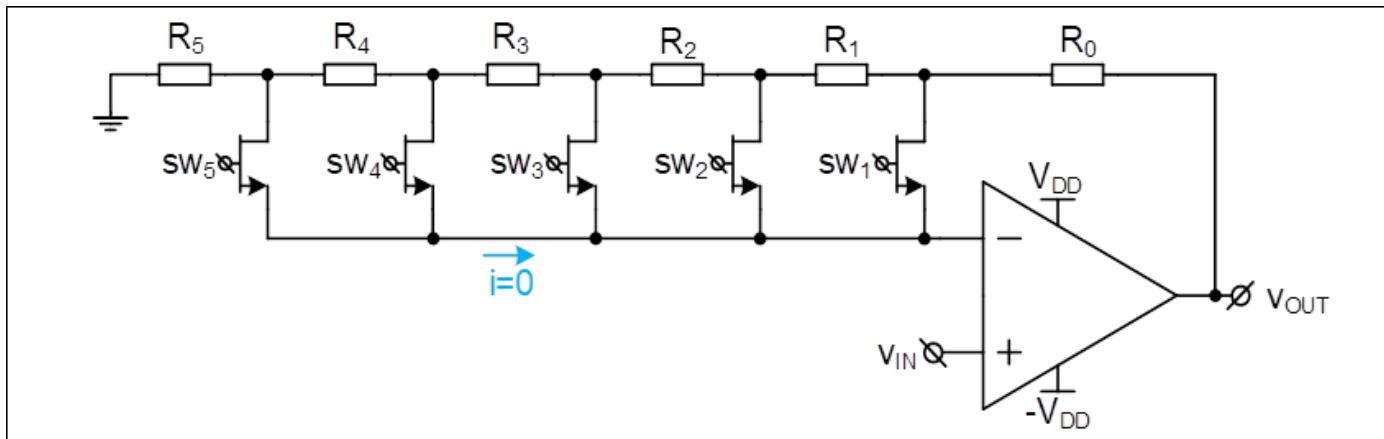
Prin măsurare obținem amplitudinea de la ieșire vârf la vârf: 740mV 😊

## 4.8 Tabel de comparatie: specificatii vs. masuratori

Specificări			Măsurători		
Câstig în banda de trecere	Banda	Liniaritatea	Câstig în banda de trecere	Banda	Liniaritatea
1	6kHz	amplitudinea de la ieșire = (amplitudinea de la intrare)X(castigul in banda de trecere) pentru un semnal armonic cu frecventa = frecventa centrala BPF	1	5.631kHz	740mV

## 5. PGA

### 5.1 Schema Circuitului



### 5.2 Dimensionarea

Pentru a dimensiona circuitul mă folosesc de specificațiile date și anume: Câștig maxim: 19dB, Câștig minim: 11 dB, rezoluție de 2 dB și nr. Pași 5.

$$\{11, 13, 15, 17, 19\}[\text{dB}] \rightarrow \{3.54, 4.46, 5.62, 7.07, 8.91\}$$

$$x_{liniar} = 10^{\frac{ydB}{20}}$$

$$y=11 \Rightarrow x_{liniar} = 10^{\frac{11}{20}} = 3.54 \quad \text{😊}$$

$$y=13 \Rightarrow x_{liniar} = 10^{\frac{13}{20}} = 4.46 \quad \text{😊}$$

$$y=15 \Rightarrow x_{liniar} = 10^{\frac{15}{20}} = 5.62 \quad \text{😊}$$

$$y=17 \Rightarrow x_{liniar} = 10^{\frac{17}{20}} = 7.07 \quad \text{😊}$$

$$y=19 \Rightarrow x_{liniar} = 10^{\frac{19}{20}} = 8.91 \quad \text{😊}$$

Amplificarea la un neinvensor este  $1 + \frac{RF}{RG}$

Cazul 1:  $S_{W_5} = \text{ON}$ ,  $S_{W_4} = S_{W_3} = S_{W_2} = S_{W_1} = \text{OFF}$

$$Av = 1 + \frac{R_0 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{R_5} = 8.91$$

Cazul 2:  $S_{W_4} = \text{ON}$ ,  $S_{W_5} = S_{W_3} = S_{W_2} = S_{W_1} = \text{OFF}$

$$Av = 1 + \frac{R_0 + R_1 + R_2 + R_3}{R_5 + R_4} = 7.07$$

Cazul 3:  $S_{W_3} = \text{ON}$ ,  $S_{W_5} = S_{W_4} = S_{W_2} = S_{W_1} = \text{OFF}$

$$Av = 1 + \frac{R_0 + R_1 + R_2}{R_3 + R_4 + R_5} = 5.62$$

Cazul 4:  $S_{W_2} = \text{ON}$ ,  $S_{W_5} = S_{W_4} = S_{W_3} = S_{W_1} = \text{OFF}$

$$Av = 1 + \frac{R_0 + R_1}{R_2 + R_3 + R_4 + R_5} = 4.46$$

Cazul 5:  $S_{W_1} = \text{ON}$ ,  $S_{W_5} = S_{W_4} = S_{W_3} = S_{W_2} = \text{OFF}$

$$Av = 1 + \frac{R_0}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} = 3.54$$

Rezolvăm următorul sistem de ecuații pentru a determina rezistențele PGA-ului.

$$\begin{cases} R_0 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 7.91R_5 \\ R_0 + R_1 + R_2 + R_3 = 6.07(R_5 + R_4) \\ R_0 + R_1 + R_2 = 4.62(R_3 + R_4 + R_5) \\ R_0 + R_1 = 3.46(R_2 + R_3 + R_4 + R_5) \\ R_0 = 2.54(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) \end{cases}$$

Aleg  $R_5=10k\Omega$  😊

$$R_0+R_1+R_2+R_3=7.91R_5-R_4$$

$$7.91R_5-R_4=6.06(R_5+R_4)$$

$$79.1k-R_4=60.7k+6.07R_4$$

$$79.1k-60.7k=6.07R_4+R_4 \Rightarrow R_4=2.6k\Omega$$
 😊

$$R_0+R_1+R_2=6.07(R_5+R_4)-R_3$$

$$6.07(R_5+R_4)-R_3=4.6(R_3+R_4+R_5)$$

$$6.07(10k+2.6k)-R_3=4.6(R_3+2.6k+10k)$$

$$76.356k-R_3=4.6R_3+57.96k$$

$$76.356k-57.96k=4.6R_3+R_3$$

$$18.39k=5.6R_3 \Rightarrow R_3=3.285K\Omega$$
 😊

$$R_0+R_1=4.6(R_3+R_4+R_5)-R_2$$

$$4.6(3.285k+2.6k+10k)-R_2=3.4(R_2+R_3+R_4+R_5)$$

$$73.071k-R_2=3.4R_2+54.009k$$

$$73.07k-54.009k=3.4R_2+R_2$$

$$19.062=4.4R_2 \Rightarrow R_2=4.33k\Omega$$
 😊

$$R_0=3.4(R_2+R_3+R_4+R_5)-R_1$$

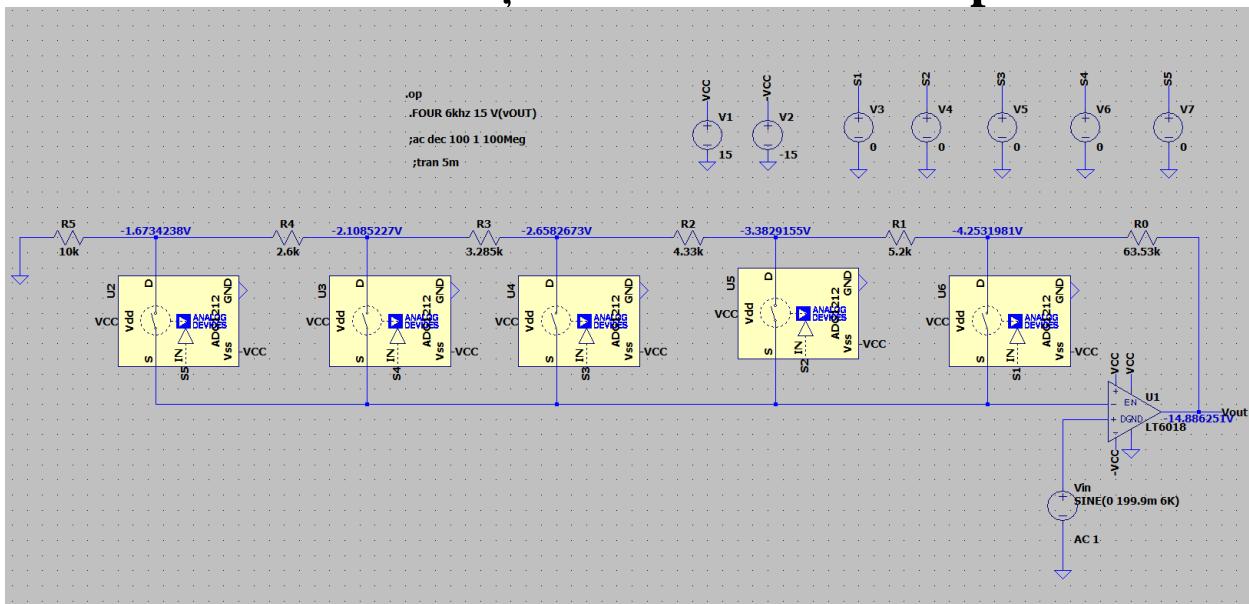
$$3.4(R_2 + R_3 + R_4 + R_5) - R_1 = 2.5(R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)$$

$$68.731k - R_1 = 2.5R_1 + 50.53k$$

$$68.731k - 50.53k = 3.5R_1 \Rightarrow R_1 = 5.2k\Omega \quad \text{😊}$$

$$R_0 = 63.53k\Omega \quad \text{😊}$$

### 5.3 Circuitul și Switch-urile în Ltspice



## 5.4 Simulări în LTspice

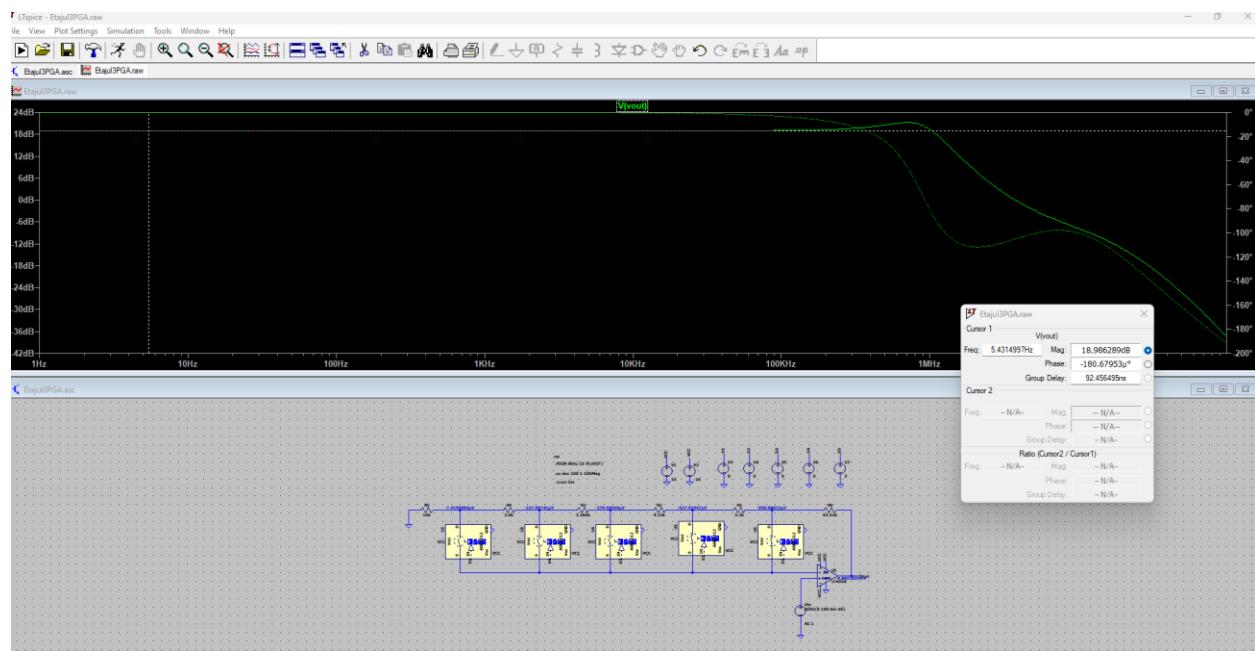
## 5.5 DCOP: Punctul Static de Funcționare

```
* D:\Anul\Anul III\SEM. I\SCIA\Proiect SCIA Rosca David Sorin\Proiect SCIA Scheme\Etajul3PGA.asc
--- Operating Point ---
V(vcc) : 15 voltage
V(-vcc) : -15 voltage
V(vout) : -14.8863 voltage
V(n006) : 0.001826 voltage
V(n007) : 0 voltage
V(n005) : -4.2532 voltage
V(n004) : -3.38292 voltage
V(n003) : -2.65827 voltage
V(n002) : -2.10852 voltage
V(n001) : -1.67342 voltage
V(s1) : 0 voltage
V(s2) : 0 voltage
V(s3) : 0 voltage
V(s4) : 0 voltage
V(s5) : 0 voltage
I(R1) : -0.000167362 device_current
I(R2) : -0.000167355 device_current
I(R3) : -0.00016735 device_current
I(R4) : -0.000167346 device_current
I(R5) : -0.000167342 device_current
I(R0) : -0.000167371 device_current
I(V1) : -0.00621685 device_current
I(V2) : 0.00638307 device_current
I(Vin) : 1.22068e-07 device_current
I(V3) : 0 device_current
I(V4) : 0 device_current
I(V5) : 0 device_current
I(V6) : 0 device_current
I(V7) : 0 device_current
Ix(u1:1) : -1.22068e-07 subckt_current
Ix(u1:2) : -7.46019e-11 subckt_current
Ix(u1:3) : 0.00621639 subckt_current
Ix(u1:4) : -0.00638263 subckt_current
Ix(u1:5) : 0.000167371 subckt_current
Ix(u1:6) : 1.25003e-09 subckt_current
Ix(u1:7) : -7.01e-07 subckt_current
Ix(u2:1) : 0 subckt_current
Ix(u2:2) : -3.3502e-09 subckt_current
Ix(u2:3) : 7.00251e-12 subckt_current
Ix(u2:4) : -8.83885e-08 subckt_current
Ix(u2:5) : 1.6716e-28 subckt current
```

## 5.6 AC: Toate treptele de căștig implementate

Cazul 1:  $S_{w_5} = \text{ON}$ ,  $S_{w_4} = S_{w_3} = S_{w_2} = S_{w_1} = \text{OFF}$

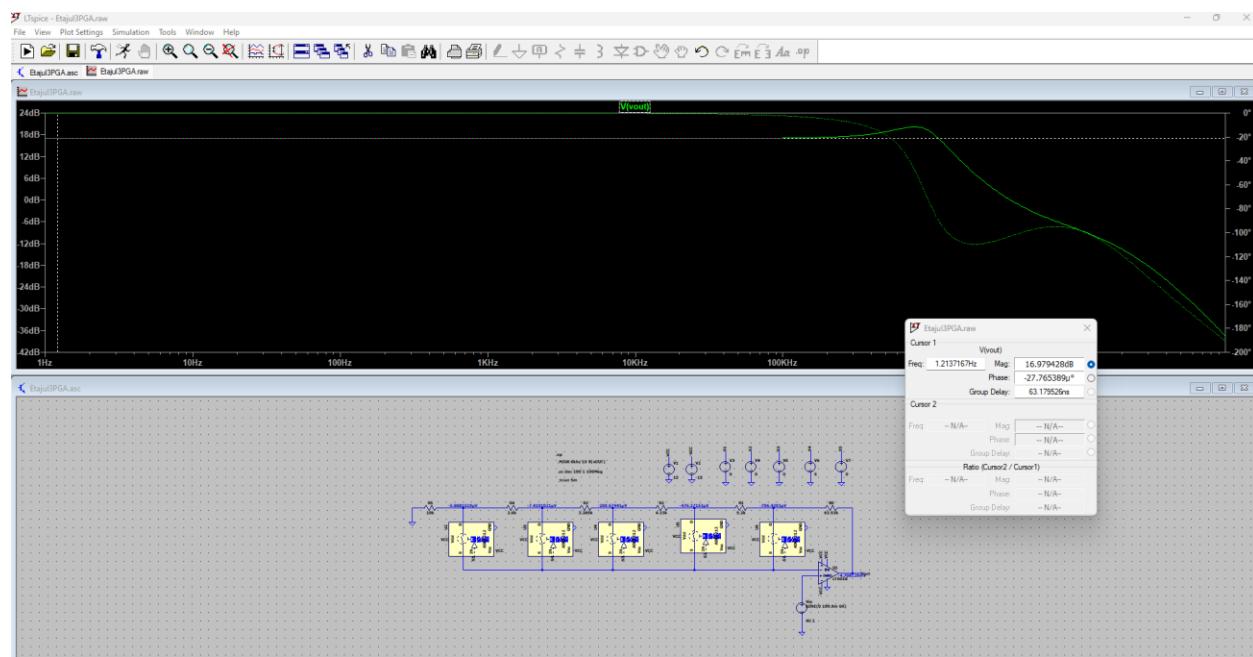
Obținem în simulare 18.98dB ce e aproximativ 19dB



**Figura 1. Măsurare SW5**

Cazul 2:  $S_{W_4} = \text{ON}$ ,  $S_{W_5} = S_{W_3} = S_{W_2} = S_{W_1} = \text{OFF}$

Obținem prin simulare un câștig de 16.97dB ce este aproximativ 17dB



**Figura 2. Măsurarea SW4**

Cazul 3:  $S_{W3} = ON$ ,  $S_{W5} = S_{W4} = S_{W2} = S_{W1} = OFF$

Obținem prin simulare un câștig de 14.96dB ce este aproximativ 15dB

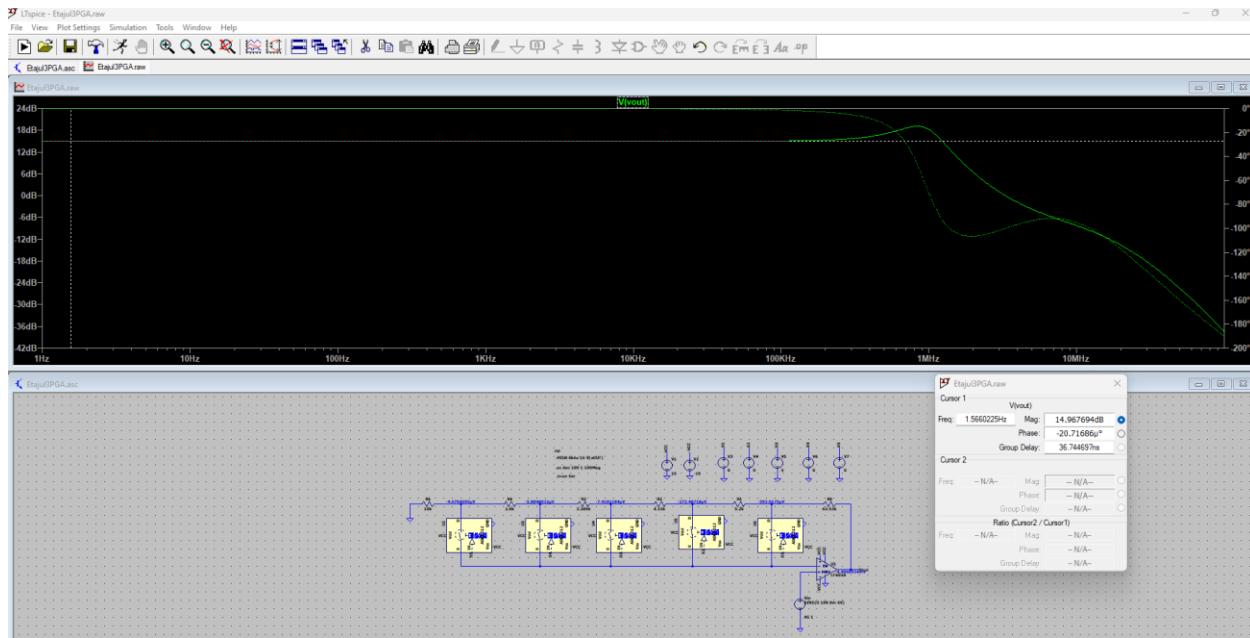


Figura 3. Măsurarea Câștig când SW3 este ON

Cazul 4:  $s_{w_2}=ON$ ,  $s_{w_5}=s_{w_4}=s_{w_3}=s_{w_1}=OFF$

Obținem prin simulare un câstig de 12.87dB ce este aproximativ 13dB

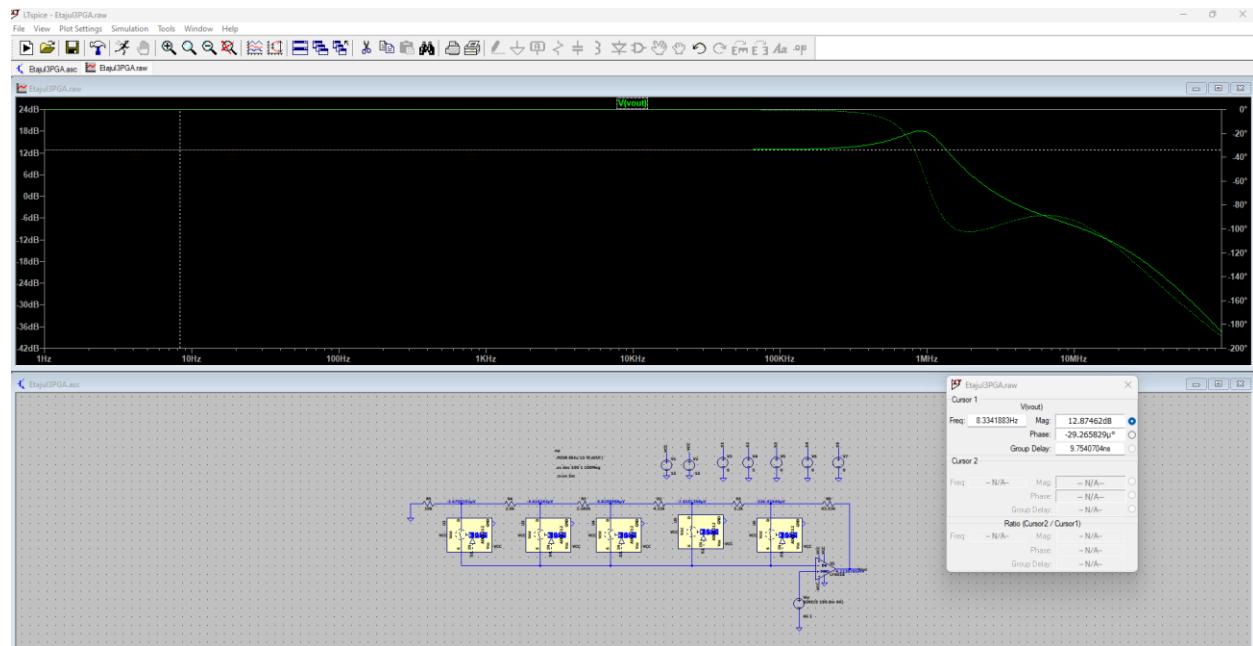
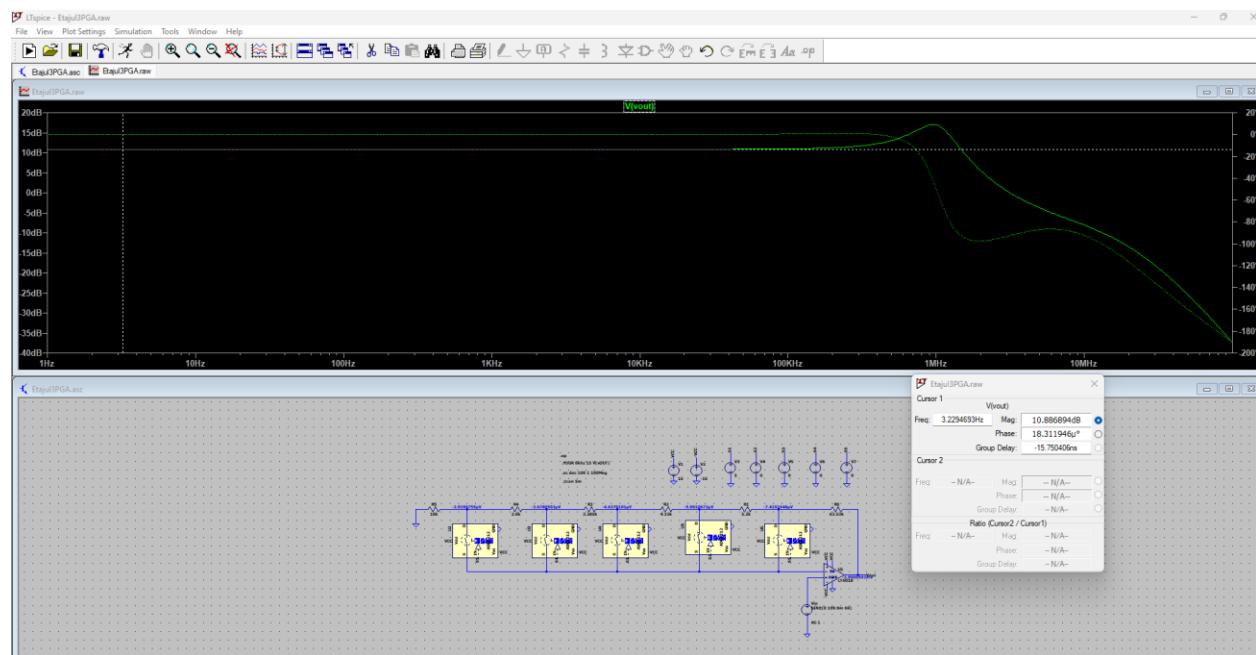


Figura 4. Măsurarea Câștigului când SW2=ON

Cazul 5:  $s_{w_1}=ON$ ,  $s_{w_5}=s_{w_4}=s_{w_3}=s_{w_2}=OFF$

Obținem prin simulare un câștig de 10.88dB ce este aproximativ 11dB



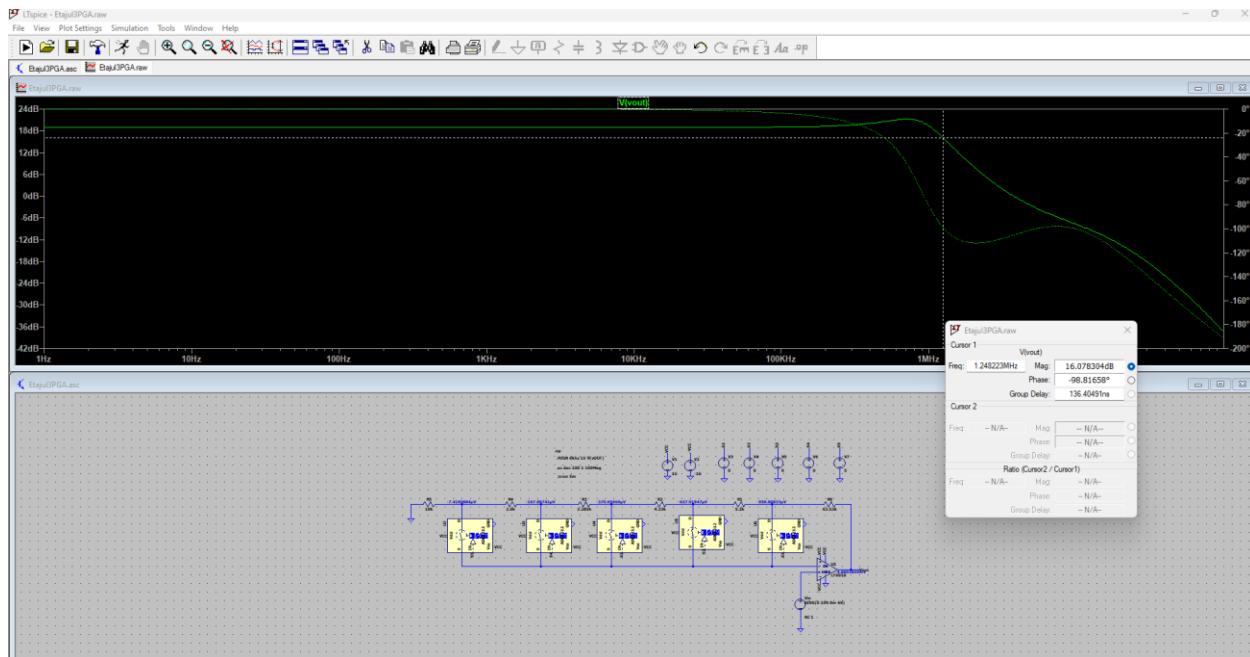
**Figura 5. Măsurarea câștigului pentru SW1=ON**

## 5.7 AC: Banda PGA( pt fiecare câștig)>Banda Filtrului

Cazul 1:  $S_{W_5} = \text{ON}$ ,  $S_{W_4} = S_{W_3} = S_{W_2} = S_{W_1} = \text{OFF}$

Banda se masoara la -3dB, iar in cazul acesta obtinem

$\text{BW} = 1.248223\text{MHz}$  😊

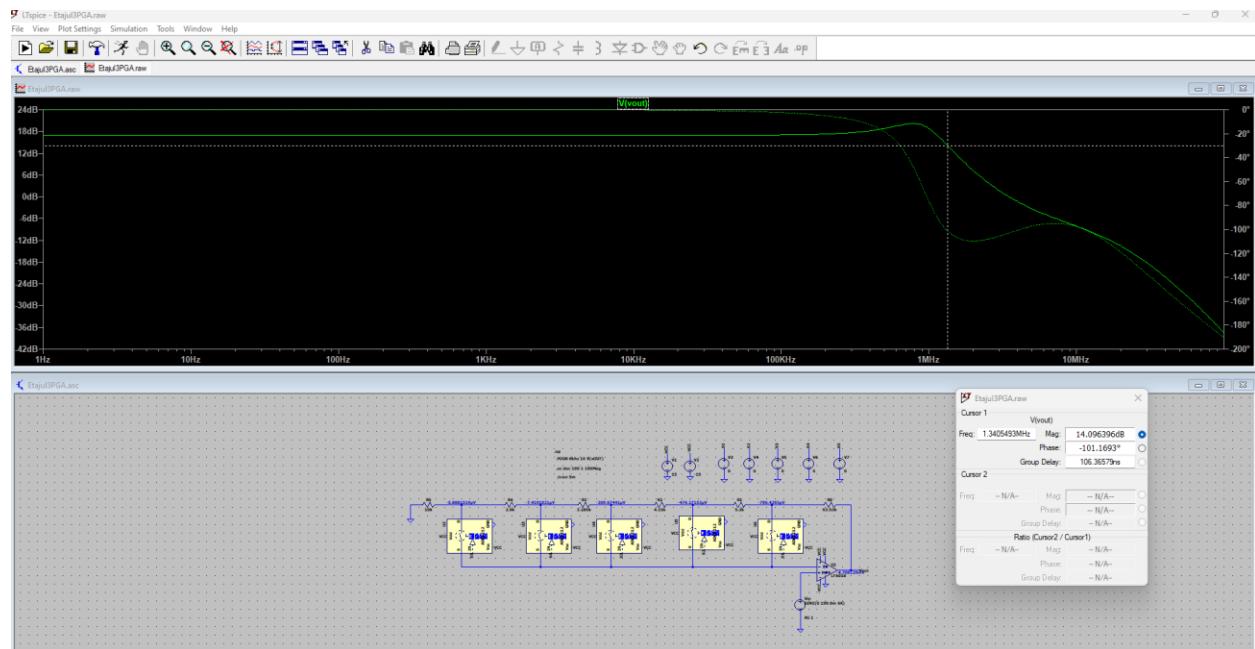


**Figura 6. Masurarea BW pentru SW5 ON**

**Cazul 2:**  $S_{W4} = \text{ON}$ ,  $S_{W5} = S_{W3} = S_{W2} = S_{W1} = \text{OFF}$

Banda se masoara la -3dB, iar in cazul acesta obtinem

$\text{BW} = 1.3405493\text{MHz}$  😊

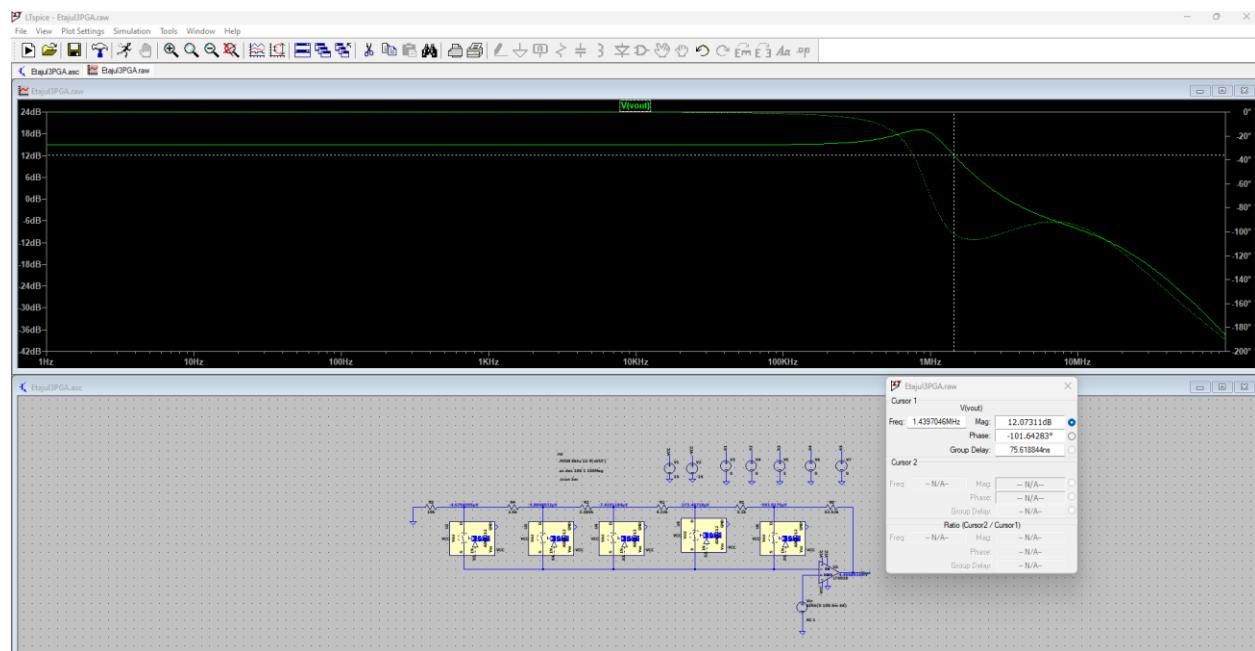


**Figura 7. Masurarea BW cand SW4 ON**

Cazul 3:  $S_{W3} = \text{ON}$ ,  $S_{W5} = S_{W4} = S_{W2} = S_{W1} = \text{OFF}$

Banda se masoara la -3dB, iar in cazul acesta obtinem

$\text{BW} = 1.4397046\text{MHz}$  😊

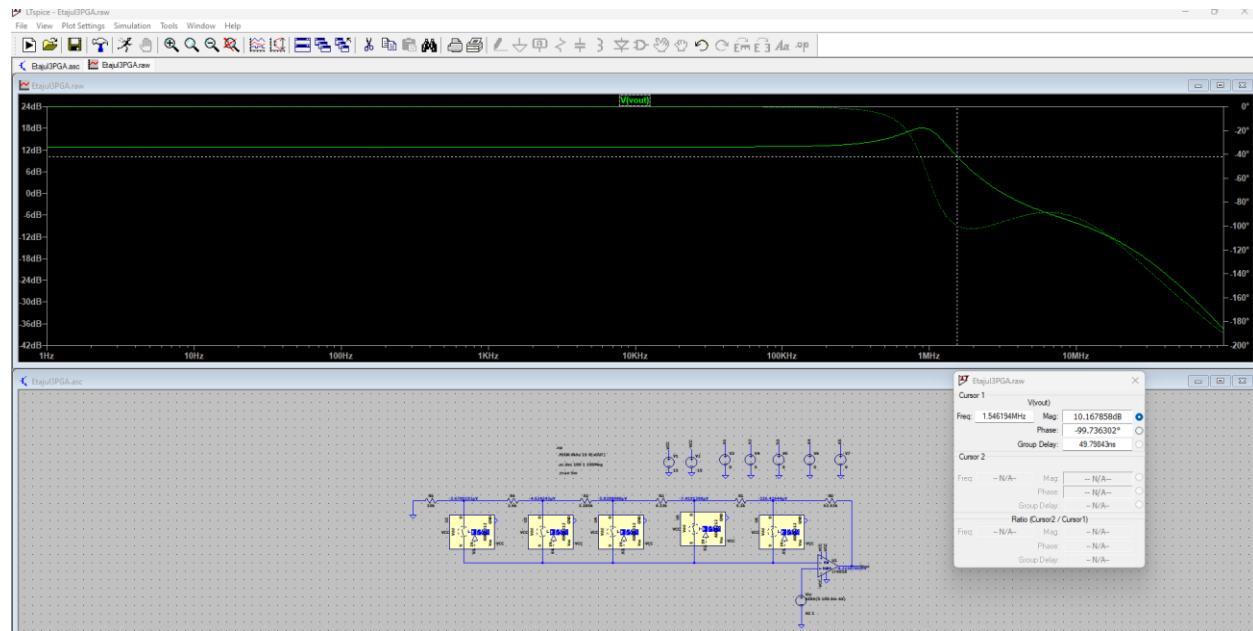


**Figura 8. Masurarea BW cand SW3 ON**

**Cazul 4:**  $S_{W2}=ON$ ,  $S_{W5}=S_{W4}=S_{W3}=S_{W1}=OFF$

Banda se masoara la -3dB, iar in cazul acesta obtinem

**BW= 1.546194MHz** 😊

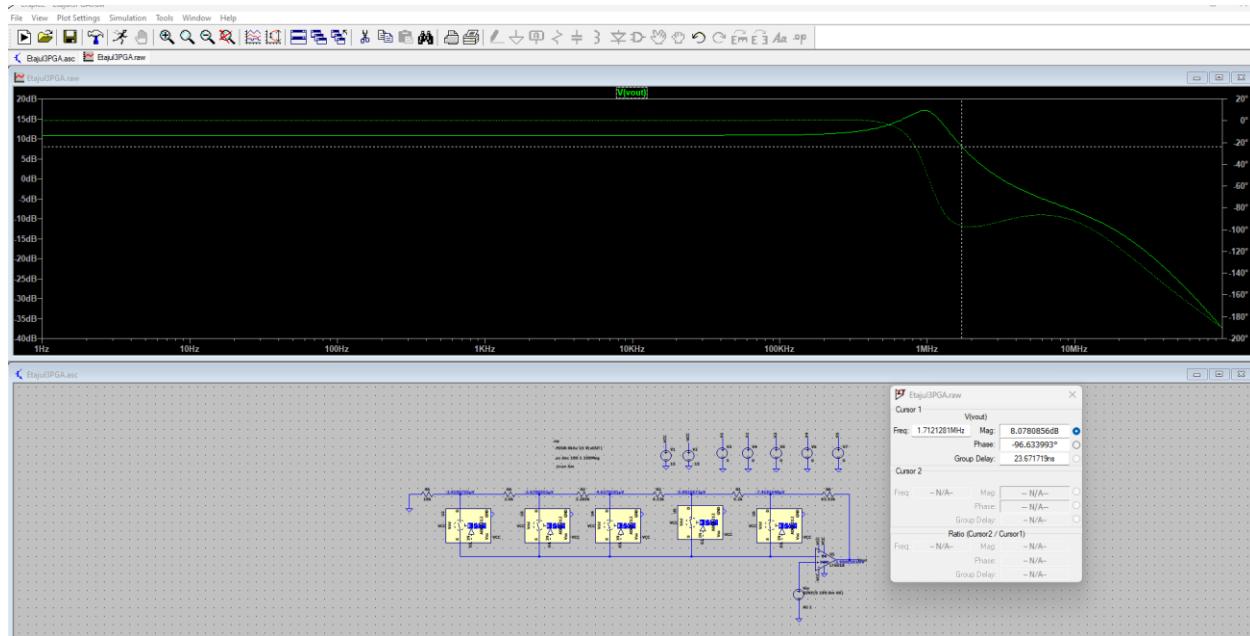


**Figura 9. Masurarea BW cand SW2 ON**

**Cazul 5:**  $S_{W_1} = ON$ ,  $S_{W_5} = S_{W_4} = S_{W_3} = S_{W_2} = OFF$

Banda se masoara la -3dB, iar in cazul acesta obtinem

$BW = 1.7121281\text{MHz}$  😊



**Figura 10. Masurarea BW cand SW1 ON**

## 5.8 Transient : Liniaritate > specs pt castig min/max (pentru THD < 1%)

### 1. Liniaritatea pentru castig minim

Fara distorsiuni la fin\_max pt ampl\_in\_min\*castig\_max\_PGA si ampli\_in\_max\*castig\_min\_PGA (THD<1%)

$$\text{Ampl\_in\_min} * \text{castig\_max} = 11 * 169\mu = 1869\mu$$

Amplitudinea pentru a avea circuitul linear si sa avem THD<1% este :199.9m

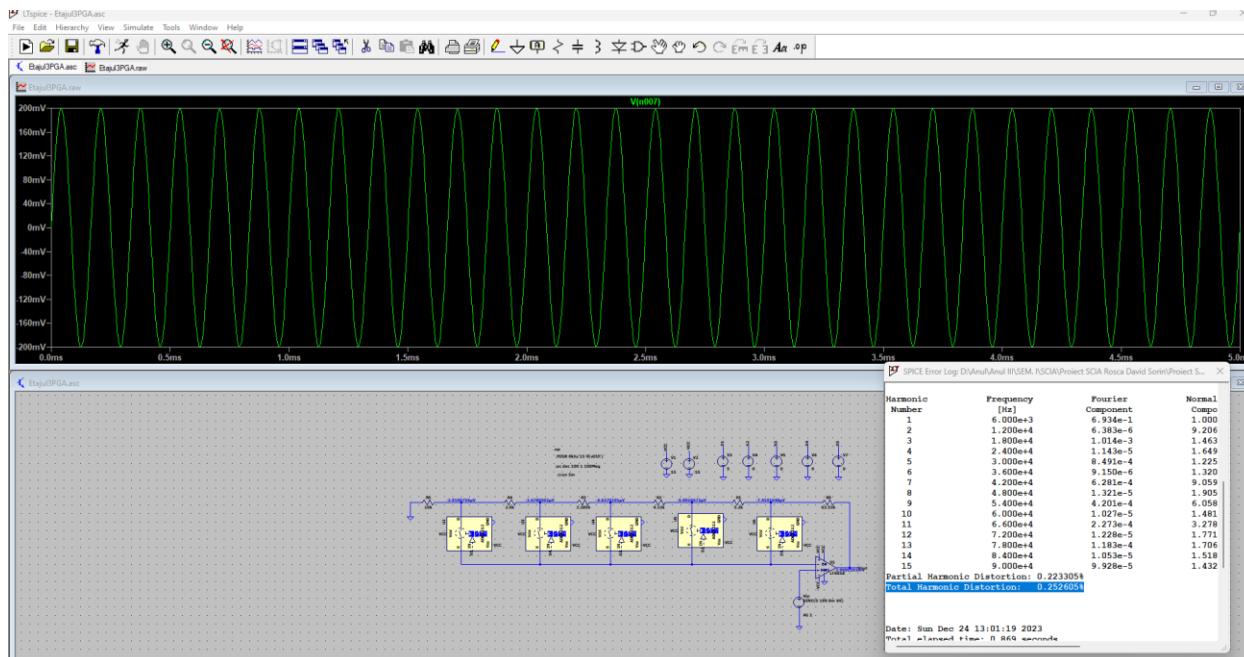


Figura 11. Liniaritatea pentru castigul minim

## 2. Liniaritatea pentru castig maxim

Fara distorsiuni la fin\_max pt ampl\_in\_min\*castig\_max\_PGA si ampl\_in\_max\*castig\_min\_PGA (THD<1%)

$$\text{Ampl\_in\_min} * \text{castig\_max} = 19 * 67.3\mu = 1278.7\mu$$

Amplitudinea pentru a avea circuitul linear si sa avem THD<1% este :199.9m

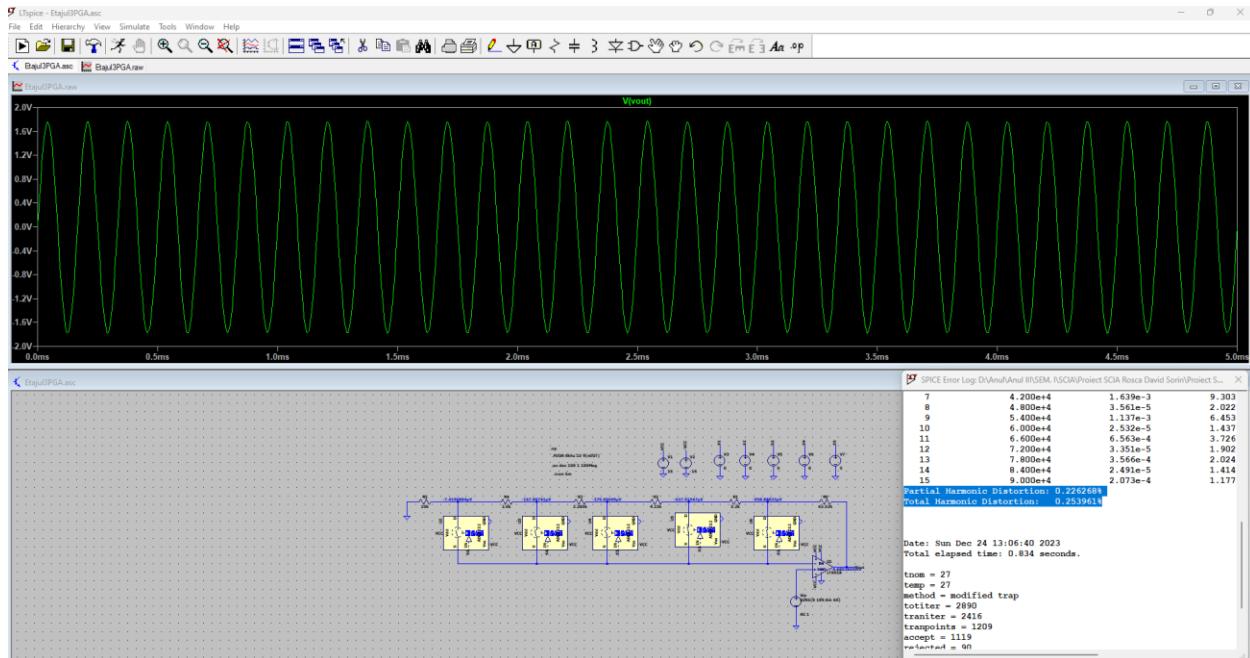


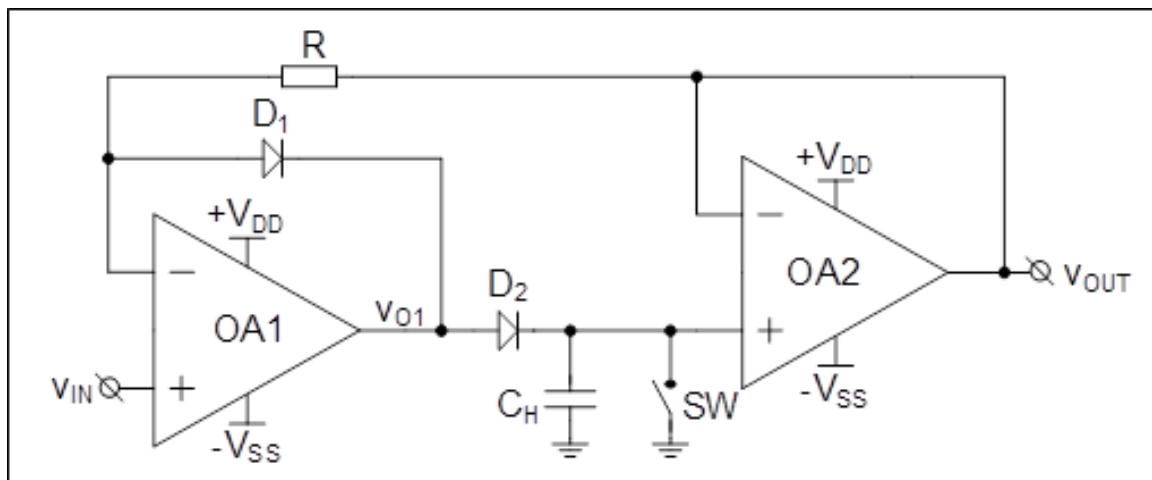
Figura 12. Liniaritatea pentru castig maxim

## 5.9 Tabel de comparatie: specificatii vs. masuratori

Specificatii					Masurare				
Castig Sw1	Castig Sw2	Castig SW3	Castig sw4	Castig Sw5	Castig Sw1	Castig Sw2	Castig SW3	Castig sw4	Castig Sw5
11	13	15	17	19	10.88	12.87	14.97	16.97	18.98
Specificatii					Masurare				
BW SW1	BW SW2	BW SW3	BW SW4	BW SW5	BW SW1	BW SW2	BW SW3	BW SW4	BW SW5
>6KHz	>6KHz	>6KHz	>6KHz	>6KHz	1.712128 1MHz	1.546194 MHz	1.439704 6MHz	1.340549 3MHz	1.248223 MHz
Specificatii		Masurare							
min 1869u	max 1278.7u	199.9m	199.9m						

## 6. Peak Detect

### 6.1 Schema Circuitului



## 6.2 Dimensionarea

*Mod de lucru urmărire (track-mode) = Vin in creștere, cu valori mai mari decât maxim-ul valorilor anterioare*

*Initial: AO1 și AO2 in echilibru, cu bucle de reacție în jurul lor*

$$V_1^+ = V_1^- = V_{in} ; V_{CH} = V_2^+ = V_2^- = V_{out}$$

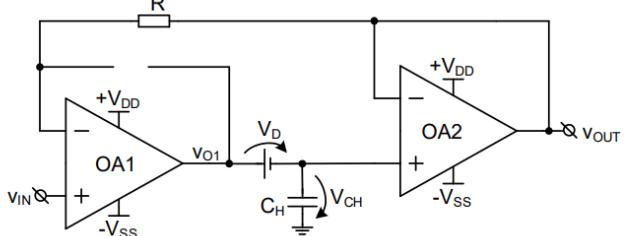
$\Rightarrow$  la echilibru  $V_{in} = V_{out}$

$$V_{in} \uparrow \Rightarrow V_1^+ > V_1^- = V_{CH}$$

( $C_H$  pastreaza valoarea precedenta a  $V_{in}$ )

$$\Rightarrow V_{o1} \uparrow +V_{CC} \Rightarrow D1 \text{ OFF}, D2 \text{ ON}$$

Schema echivalentă



Există o buclă de reacție negativă în jurul

lui AO 1 pentru ca  $V_2^+ = V_2^-$ ; Rezulta:  $i_R = 0 \Rightarrow V_{out} = V_{in}$

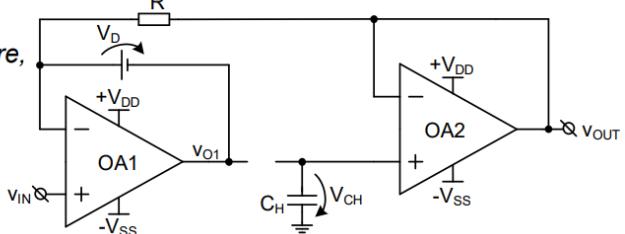
AO 1 încarcă  $C_H$  până la valoarea  $V_{out} = V_{in}$

*Mod de lucru păstrare (hold-mode) = Vin in descreștere, valori mai mici decât maxim-ul valorilor anterioare*

$$V_{in} \downarrow \Rightarrow V_1^+ < V_1^- = V_{CH}$$

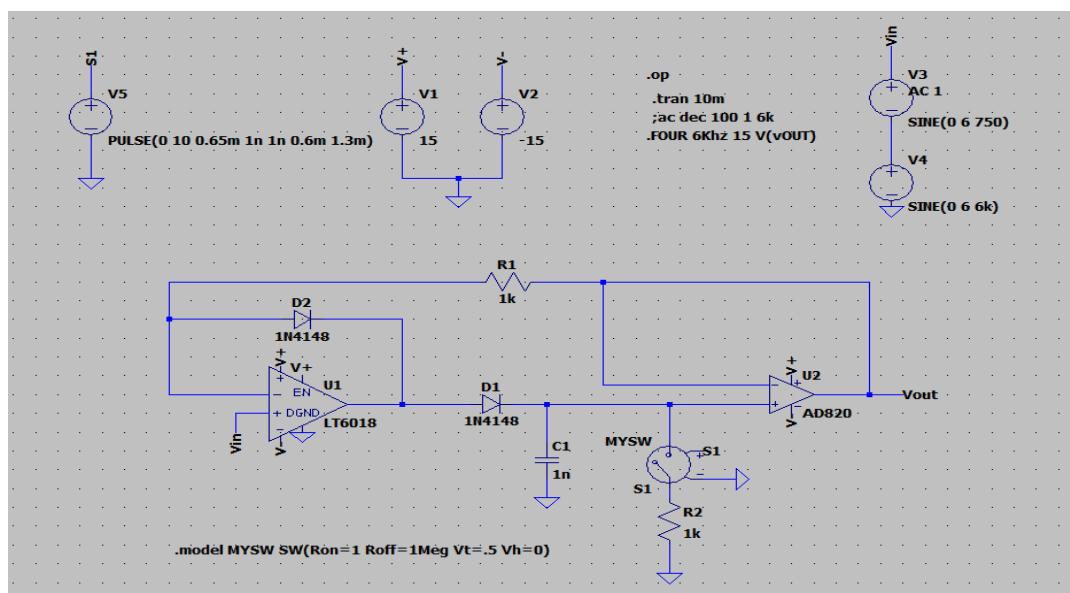
( $C_H$  pastreaza valoarea precedenta a  $V_{in}$ )

$$\Rightarrow V_{o1} \downarrow -V_{CC} \Rightarrow D1 \text{ ON}, D2 \text{ OFF}$$



$$i_R \neq 0 \Rightarrow V_{out} \neq V_{in} ; V_{out} = V_{CH}$$

## 6.3 Schema Circuitului in LTspice



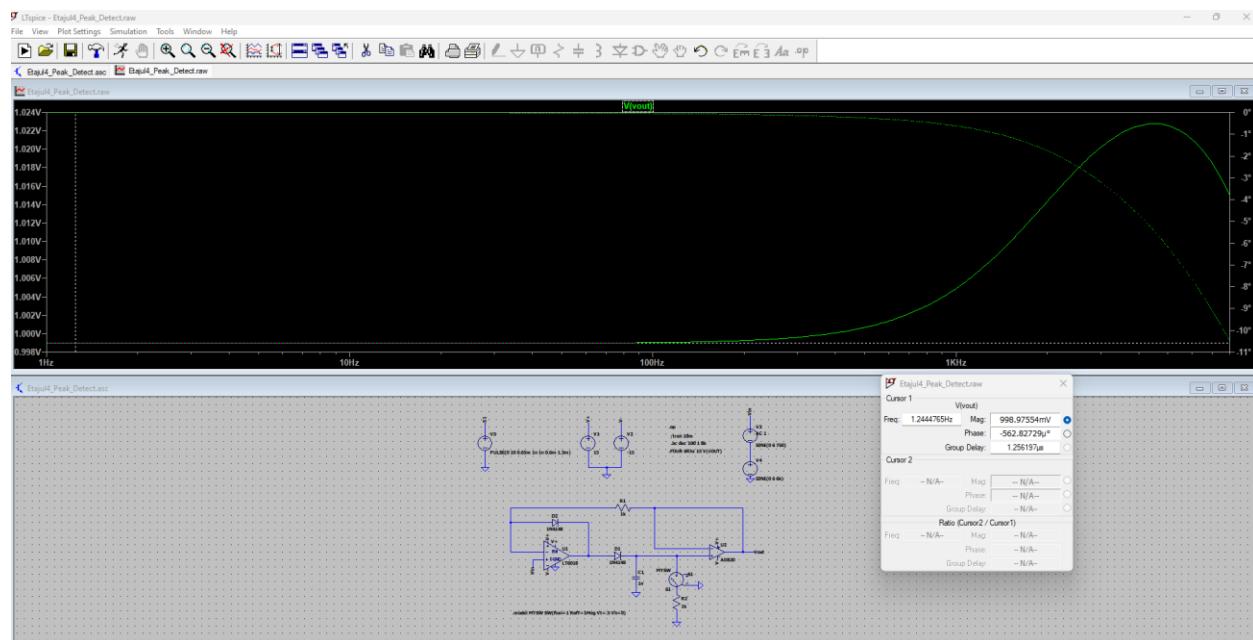
## 6.4 Simulari in LTspice

## 6.5 DCOP: Punctul Static de Funcționare

```
* D:\Anul\Anul III\SEM. I\SCIA\Project SCIA Rosca David Sorin\Project SCIA Scheme\Etajul4_Peak_Detect.asc
--- Operating Point ---
V(v+) :      15          voltage
V(v-) :     -15          voltage
V(n003) :   -0.00113183  voltage
V(n002) :    1.20951e-09  voltage
V(vin) :       0          voltage
V(vout) :   -6.09156e-05  voltage
V(n001) :       0          voltage
V(n004) :   -6.09176e-05  voltage
V(s1) :        0          voltage
V(n005) :  -6.08568e-08  voltage
I(C1) :  -6.09176e-26  device_current
I(D1) :  -5.88568e-11  device_current
I(D2) :  6.37354e-11  device_current
I(R1) :  -6.09168e-08  device_current
I(R2) :  -6.08568e-11  device_current
I(S1) :  -6.08568e-11  device_current
I(V1) :  -0.0131789  device_current
I(V2) :  0.0131781  device_current
I(V3) :  6.12076e-08  device_current
I(V5) :        0          device_current
I(V4) :  6.12076e-08  device_current
Ix(u1:1) : -6.12076e-08  subckt_current
Ix(u1:2) : -6.09805e-08  subckt_current
Ix(u1:3) :  0.0124714  subckt_current
Ix(u1:4) : -0.0124706  subckt_current
Ix(u1:5) :  1.22592e-10  subckt_current
Ix(u1:6) :  1.25003e-09  subckt_current
Ix(u1:7) :  -7.01e-07  subckt_current
Ix(u2:1) :  2e-12  subckt_current
Ix(u2:2) :  2e-12  subckt_current
Ix(u2:3) :  0.0007075  subckt_current
Ix(u2:4) : -0.000707561  subckt_current
Ix(u2:5) :  6.09148e-08  subckt_current
```

## 6.6 AC: Castig=specs

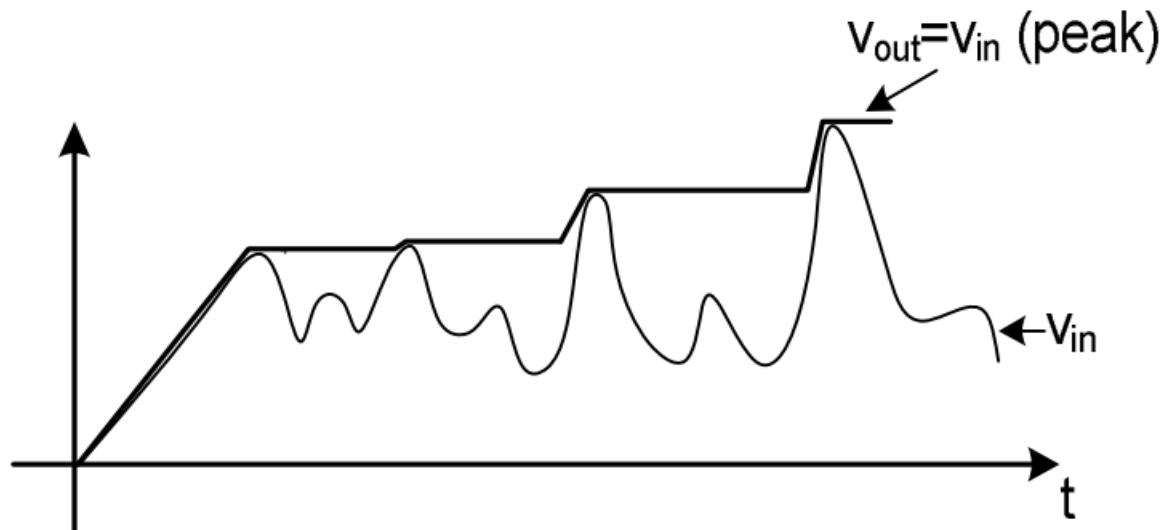
Castigul liniar are valoare 1, iar prin masurare observam ca obtinem valoarea de 998.97554mV.



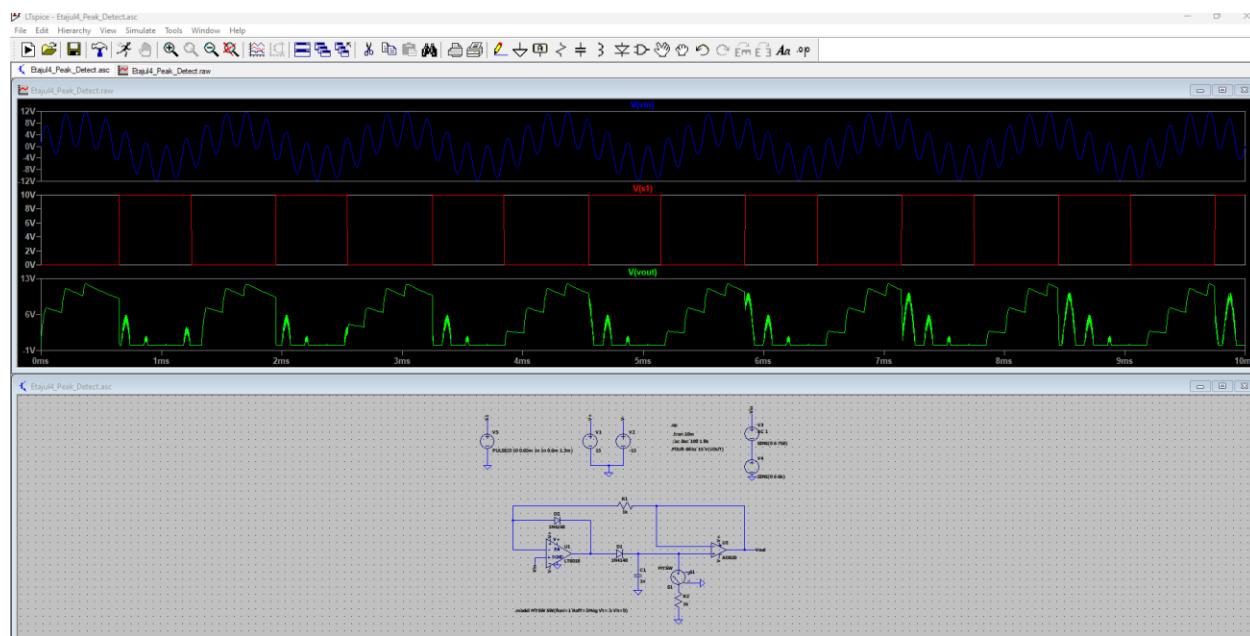
**Figura 1. Masurarea Castigului liniar**

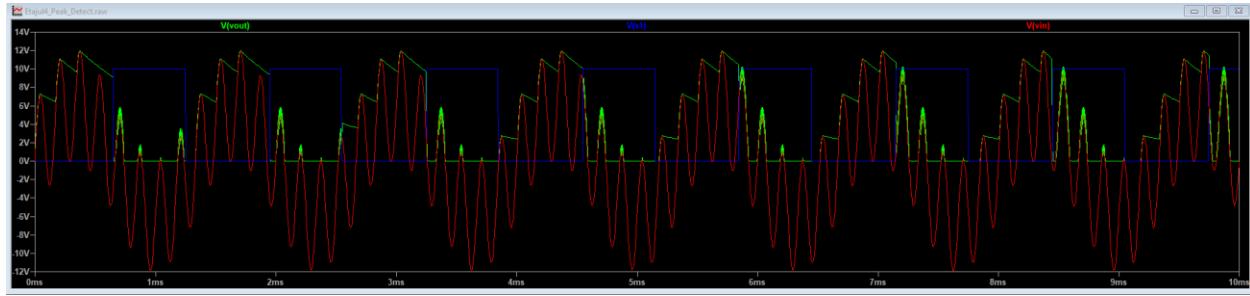
## 6.7 Transient: Implementarea functiei de circuit

### Functie de circuit



### Rezultate in simulatorul LTspice:





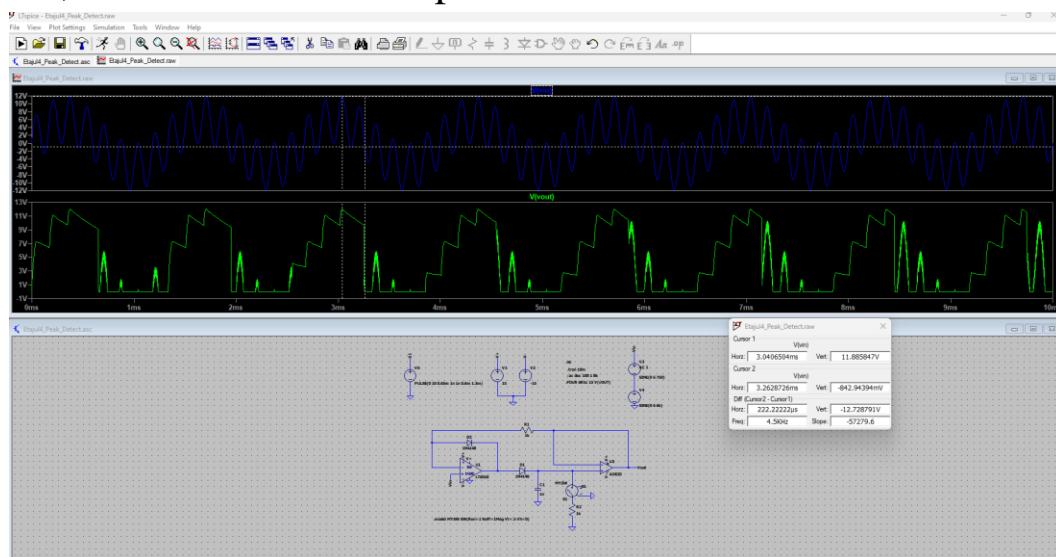
## 6.8 Transient: Domeniul Liniar

In acest caz nu se verifica liniaritatea propriu-zisa, deoarece circuitul in practica este unul neliniar, ci verificam functionalitatea pentru amplitudinea maxima de la intrare.

In specificatii avem: ampl maxima la intrarea peak detect = ampl max\_sursa\*castigetaj1\*castiget2\*castigminPGA

Ampl maxima la intrarea peak detect=169u\*10000\*1\*11=185.9m

Ca sa indeplinim cerinta trebuie sa avem o amplitudine mai mare decat 185.9m, iar in simulare o sa aplicam un sinus cu 6V.

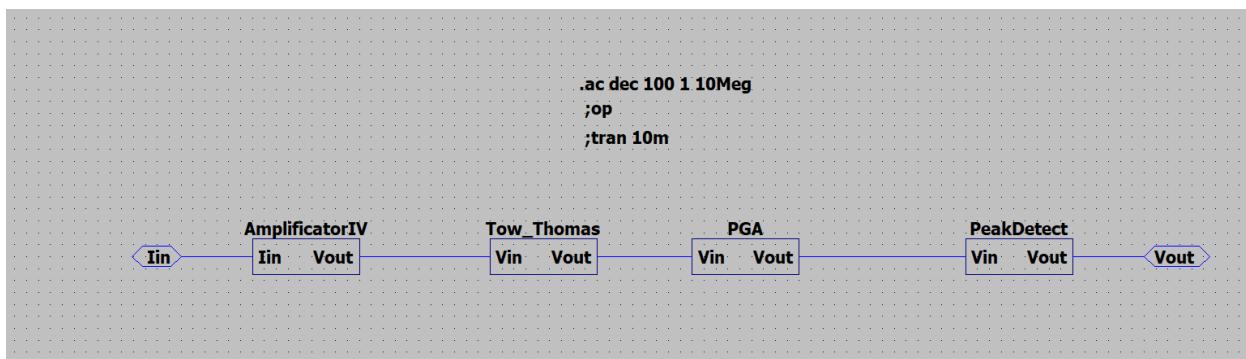


## 6.9 Tabel de comparatie: specificatii vs. Masuratori

Specificatii		Masurare	
Castig	Liniaritatea	Castig	Liniaritatea
1	185.9m	998.97554 mV	12.590239V

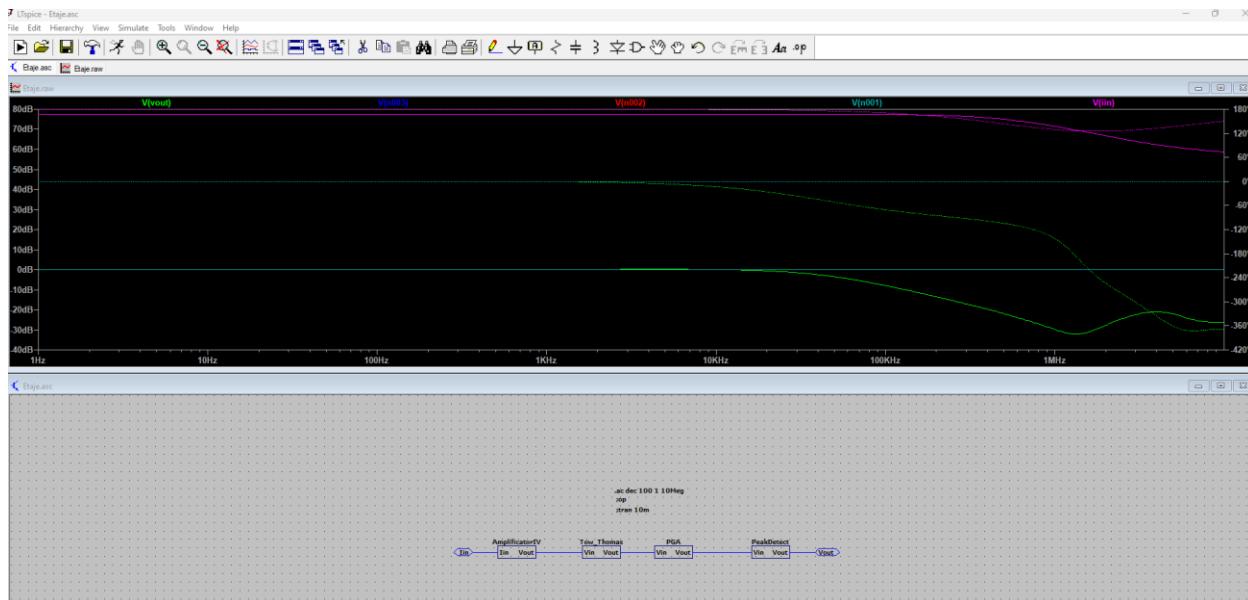
## 7. Verificarea si caracterizarea interfetei analogice

### 7.1 Schema celor 4 etaje bloc

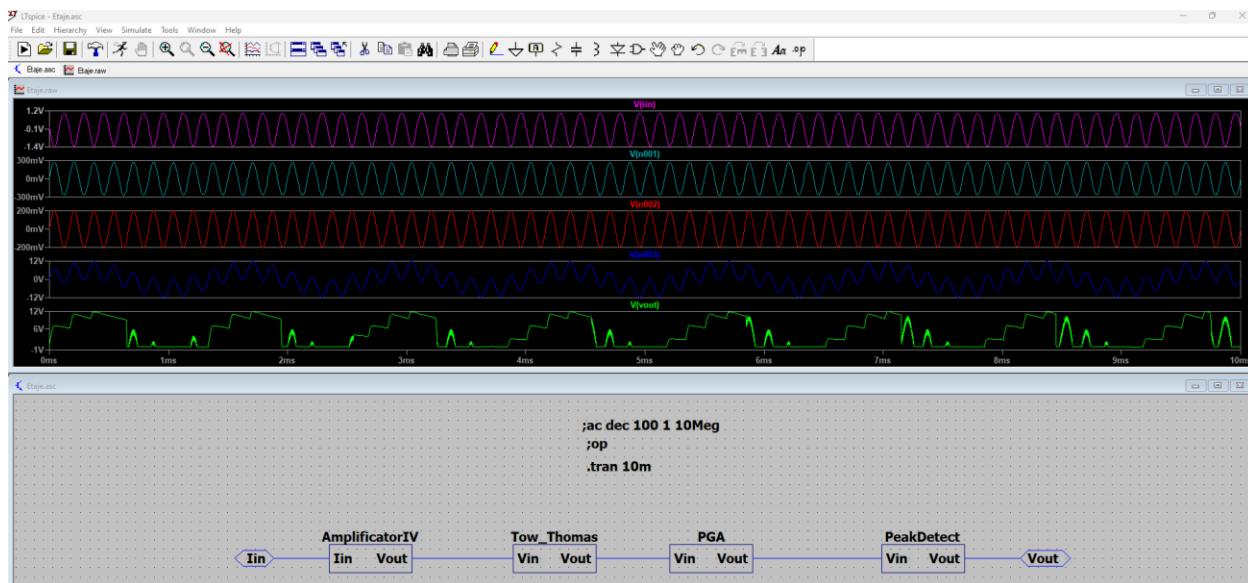


## 7.2 Simulare în LTspice

### 7.3 Simulare AC



### 7.4 Simulare Transient



## 8. Bibliografie

1. M.Neag, *Notite de Curs Sisteme cu Circuite integrate analogice*
2. M.Neag, Albert Fazakas- *Circuite integrate analogice- Indrumator de laborator*
3. *Tutoriale video despre simulatorul LTspice pe YouTube.*
4. *Laboratoare video de pe platforma Teams.*