

## Proiect ISM-Amplificator Miller cu 2 etaje

### • Etapa I

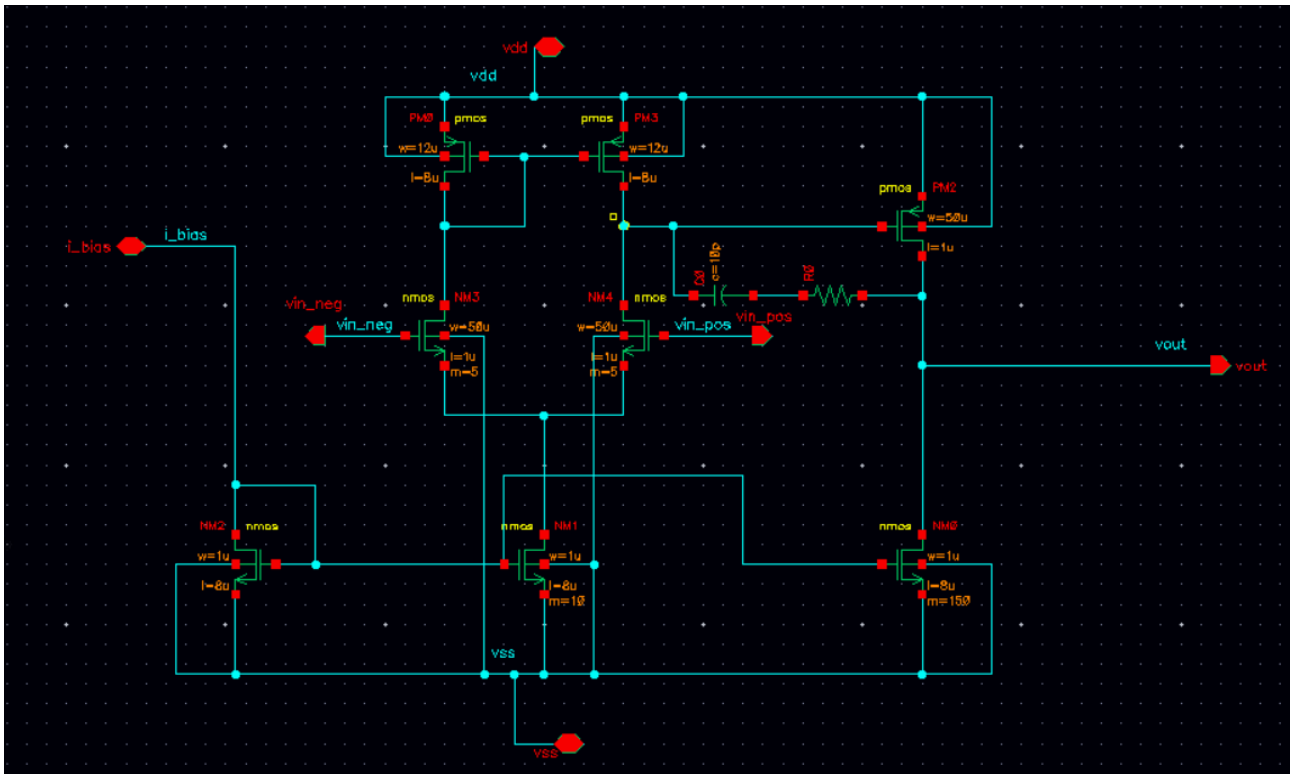
În realizarea proiectului am folosit user-ul student20, directorul în care am salvat este denumit TEMA\_ISM\_NISTOR\_STROE. Am lucrat în librăria ISM\_lib cu Cell View-urile Miller\_2\_Stage și tb\_psf.

Am ținut cont ca Simbol View-ul să aibă numărul de terminale specificate, denumirea specificată de dvs și să aibă forma specifică a unui amplificator, cea triunghiulară.

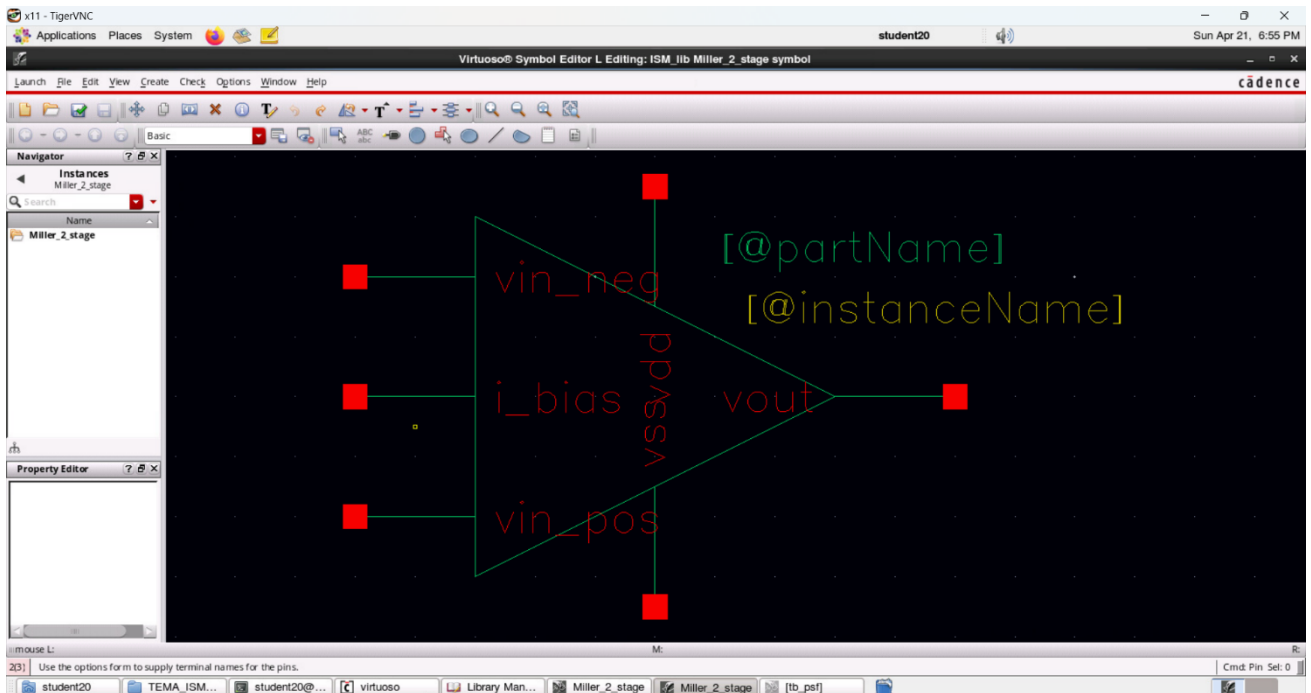
În ceea ce privește dimensionarea am ținut cont de următoarele lucruri:

- ✓ Tensiunea de overdrive  $V_{ov}$  să fie între 100-200 mV pentru toate tranzistoarele mai puțin cele din etajul diferențial unde  $V_{ov}$  aproximativ 0V, pentru asta am simulat un Operating Points al întregii scheme pentru a avea  $V_{gs}/V_{sg}$  urile tuturor tranzistoarelor și am calculat  $V_{ov}$ , cunoscând tensiunea de prag a tranzistoarelor NMOS și PMOS din fisierul de model al tehnologiei
- ✓ Conductanța de transfer ( $g_m$ ) a tranzistoarelor din etajul diferențial să aibă valori potrivite astfel încât  $V_{ov}$ -urile să fie aproximativ 0V față de celelalte tranzistoare
- ✓ Toate tranzistoarele din schemă să se afle în regim de saturație
- ✓ Am ținut cont ca în oglinzile de curent NMOS, lungimea  $L$  să fie mai mare decât lățimea  $W$ , am plecat cu o valoare mai mare pentru  $L$  decât valoarea tehnologiei de 180 nm multiplicată cu 4 nm
- ✓ Am considerat  $W$  mai mare decât  $L$  și pentru tranzistoarele PMOS
- ✓ Folosind ecuația de dispozitiv a tranzistoarelor pentru curentul  $I_D$  și cunoscând datorită simulării de Operating Points ceilalți parametri, am gândit convenabil valorile pentru  $W$ ,  $L$  și multiplicitatea  $M$
- ✓ Am ținut cont ca  $V_{sg}$ -urile tranzistoarelor PMOS din sarcina activă să aibă valoare mare și aproximativ egale cu  $V_{sg}$ -ul tranzistorului PMOS din etajul de ieșire
- ✓ Am dimensionat tranzistoarele din etajul de ieșire astfel încât la ieșire să avem un curent cât mai mare pentru a avea o amplificare DC mare și o margine de câștig care să se încadreze în cerințele date

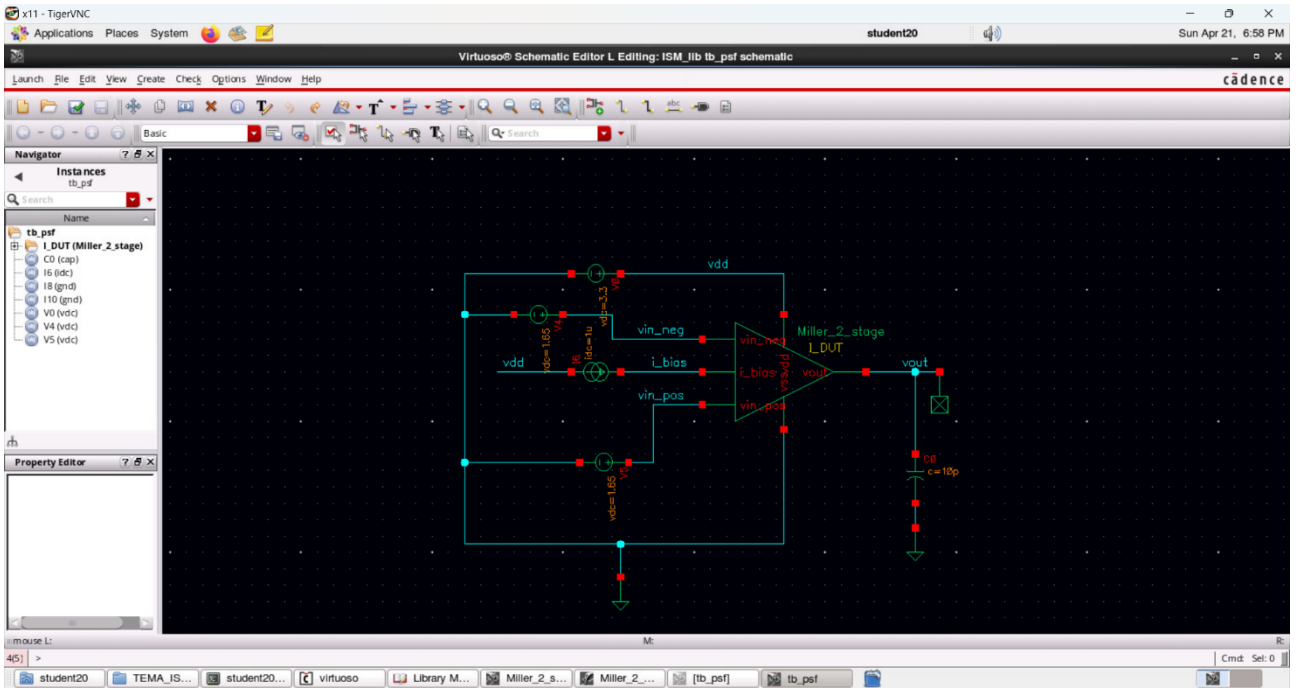
- Print-Screen Schematic View:



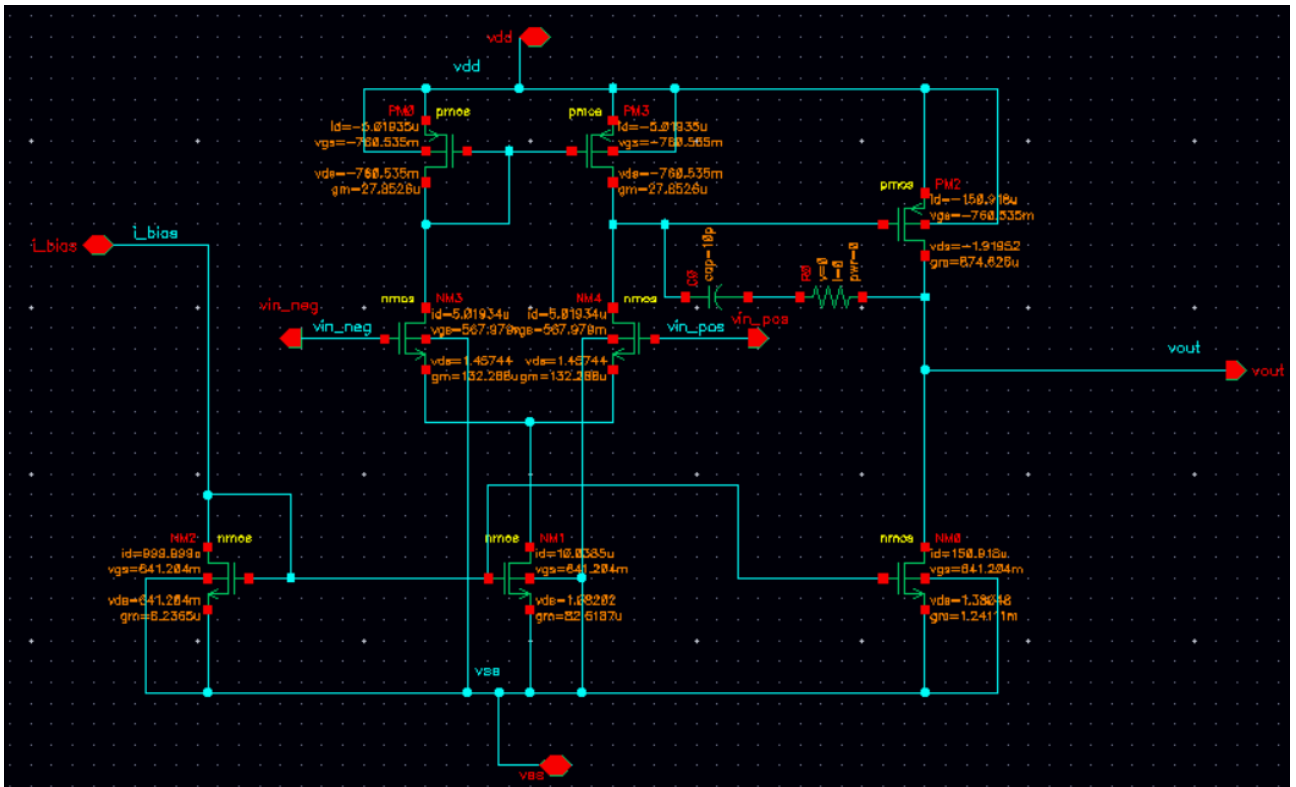
- Print-Screen Symbol View:



- **Print-Screen Test Bench:**



- Print-Screen DC Operating Points pe intregul schematic:

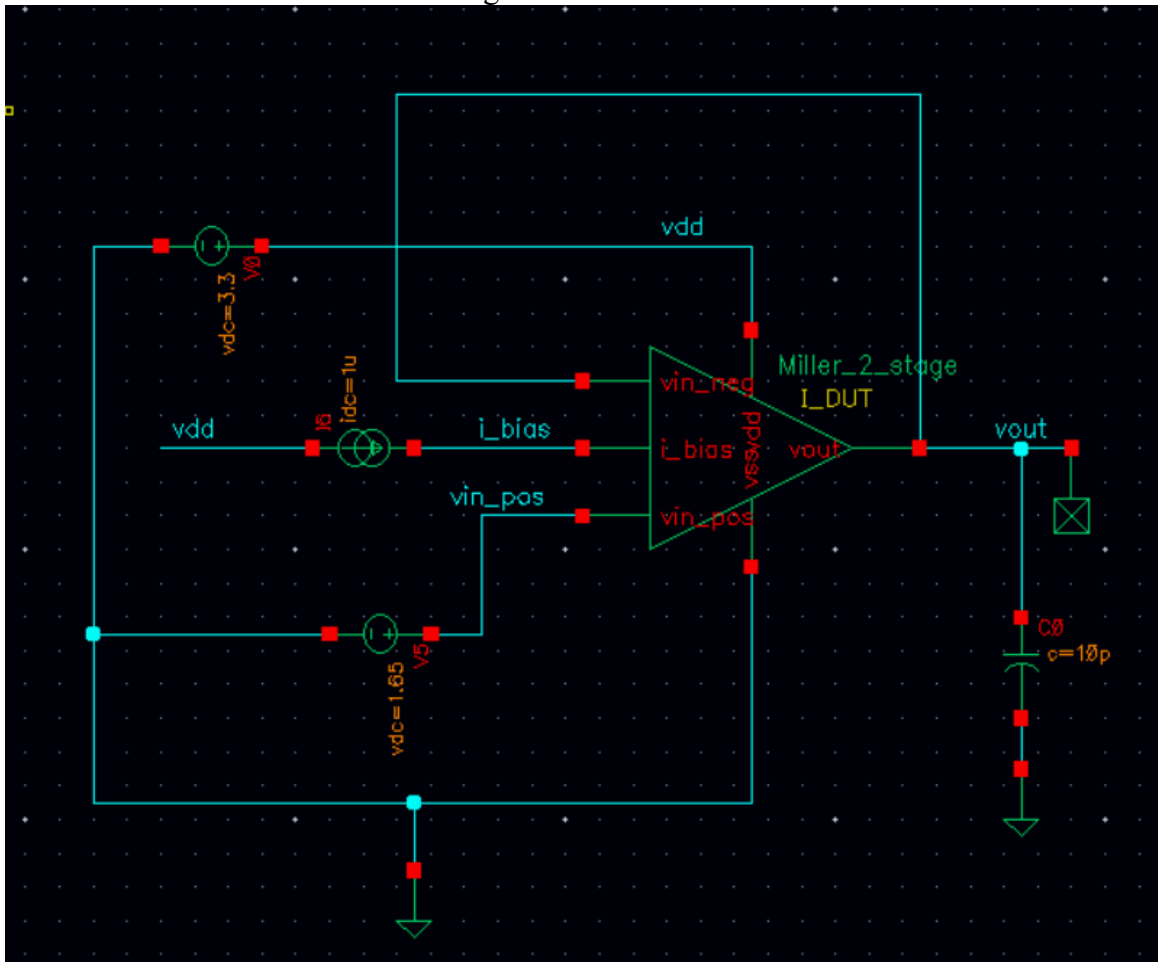


## • Etapa a II-a

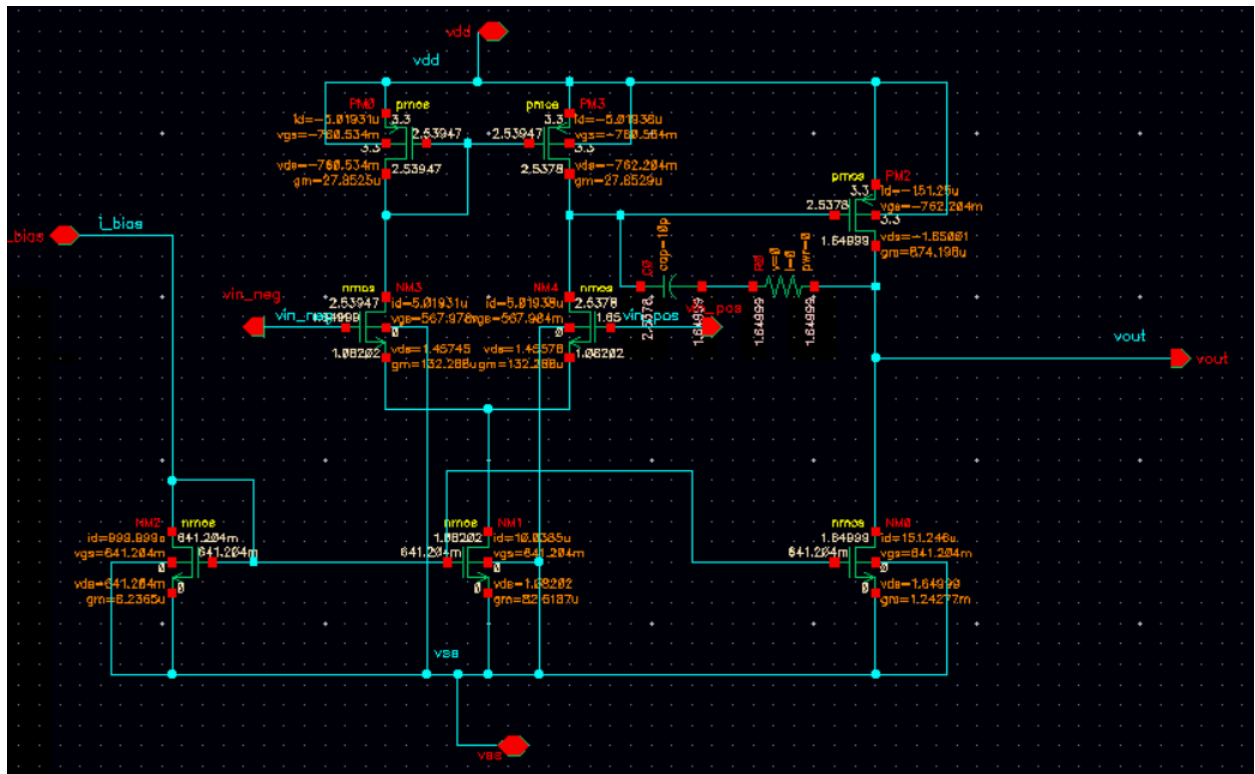
În realizarea proiectului am folosit user-ul student20, directorul în care am salvat este denumit TEMA\_SM\_NISTOR\_STROE. Am lucrat în librăria ISM\_lib.

### 2.1 Analiza .OP in configurație de repetor:

Analiza făcută a fost realizată în Cell View-ul testbench\_op\_repetor. Am realizat conexiunea de repetor de tensiune a AO-ului, conectând intrarea negativă la ieșire așa cum se observă în următoarea imagine:



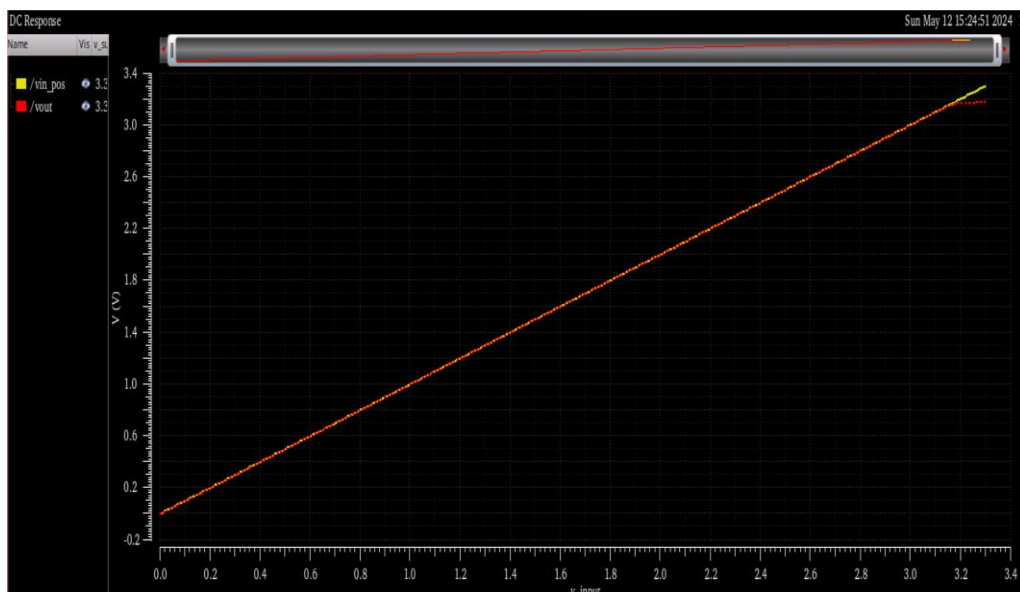
În urma analizei .OP efectuată s-au calculat valorile psf-urilor dispozitivelor din circuit după cum se poate vedea în următoarea imagine:



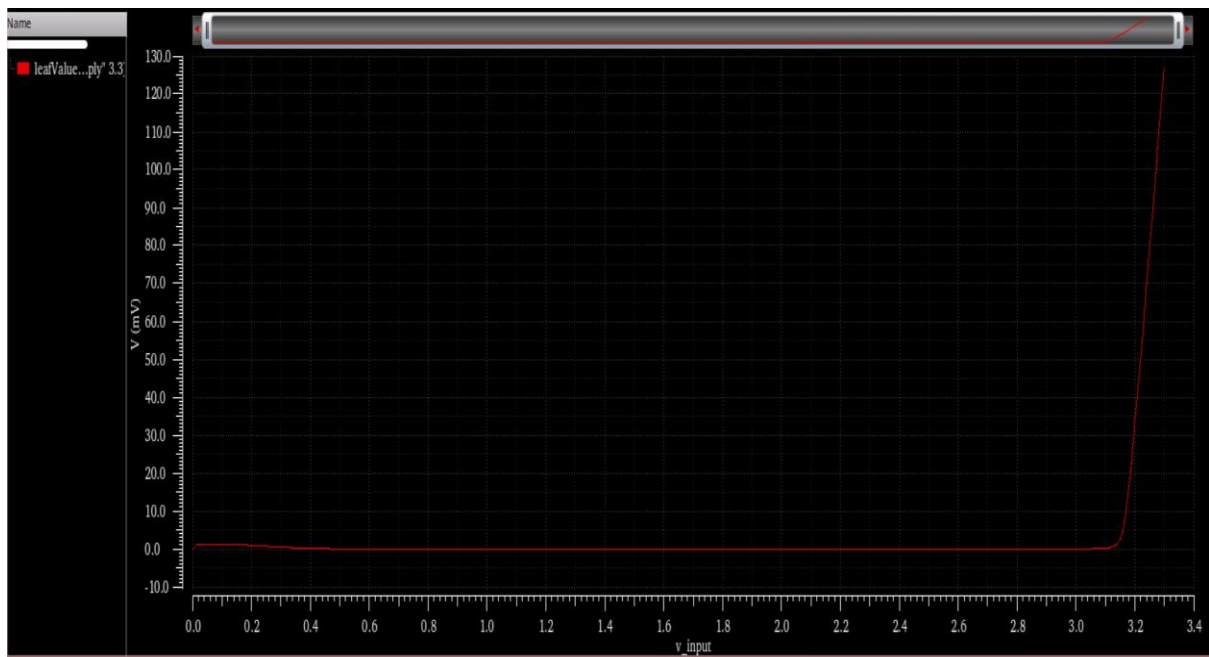
Se observă că tensiunile  $V_{gs}$  și  $V_{sg}$  ale tuturor tranzistoarelor nu depășesc valoarea maximă de 1.3V sugerată și că tensiunile de overdrive  $V_{ov}$  ale tranzistoarelor sunt între 100-200 mV. În imaginea de mai sus putem observa că tensiunile tuturor nodurilor din schemă se regasesc între VSS și VDD, nici o valoare nu este peste valoarea maximă de 3.3V

## 2.2 Analiza .DC în configurație de repetor:

În urma relaizării profilului de simulare .DC în configurația de repetor de tensiune , în următoarea analiză , am monitorizat tensiunea de intrare  $vin\_pos$  la variația tensiunii de alimentare  $v\_supply$ .

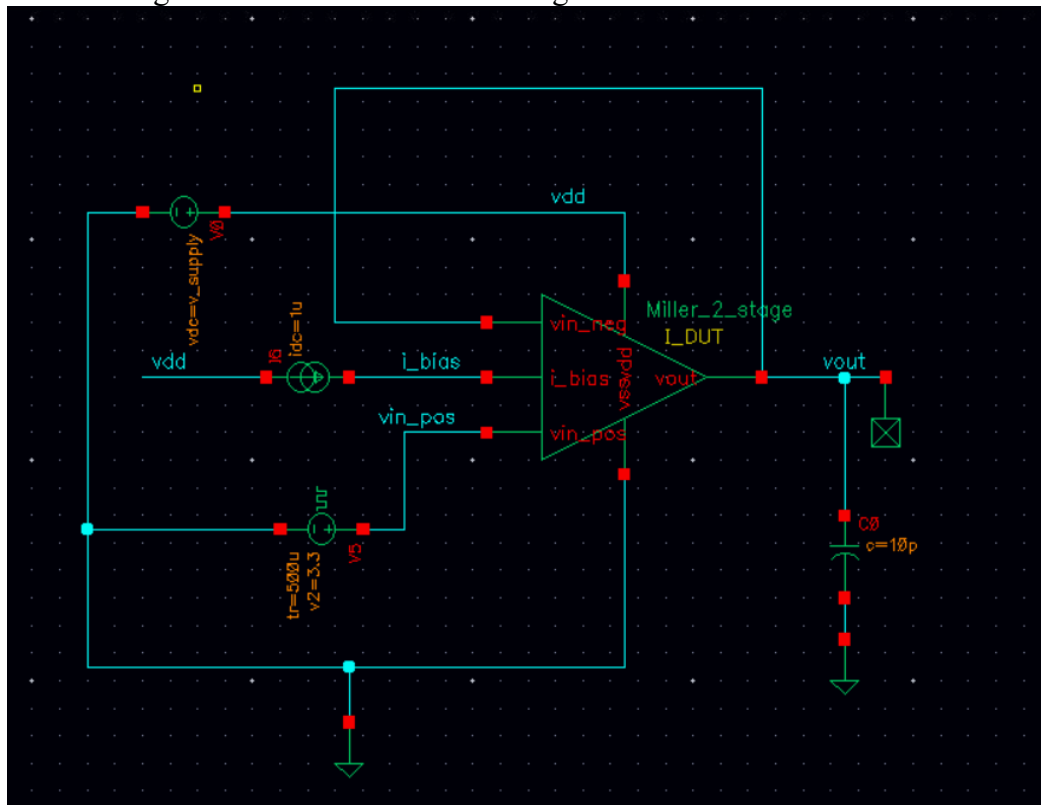


Pentru a pune în evidență și mai bine acest lucru am făcut un nou plot în care am afișat diferența dintre tensiunea de ieșire și tensiunea intrării neinvertoare, observând că tensiunea de intrare crește la nivel de ordinul  $\mu\text{V}$ -lor la variația tensiunii de alimentare.

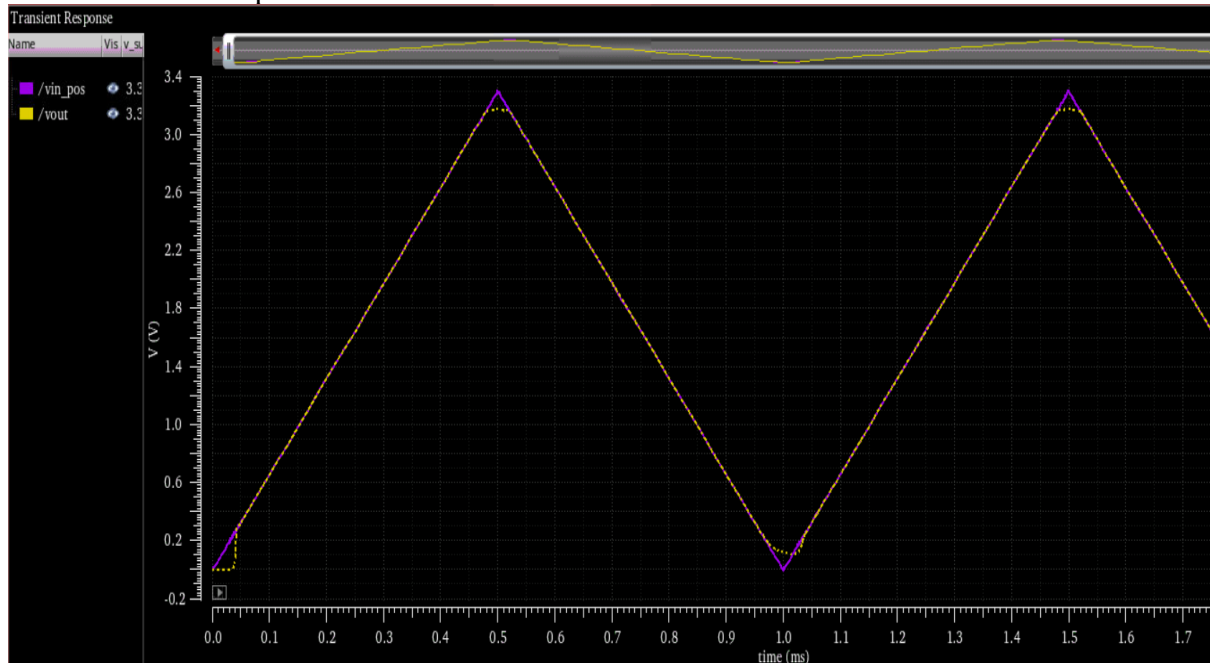


### 2.3 Analiza .TRAN în configurație de repetor:

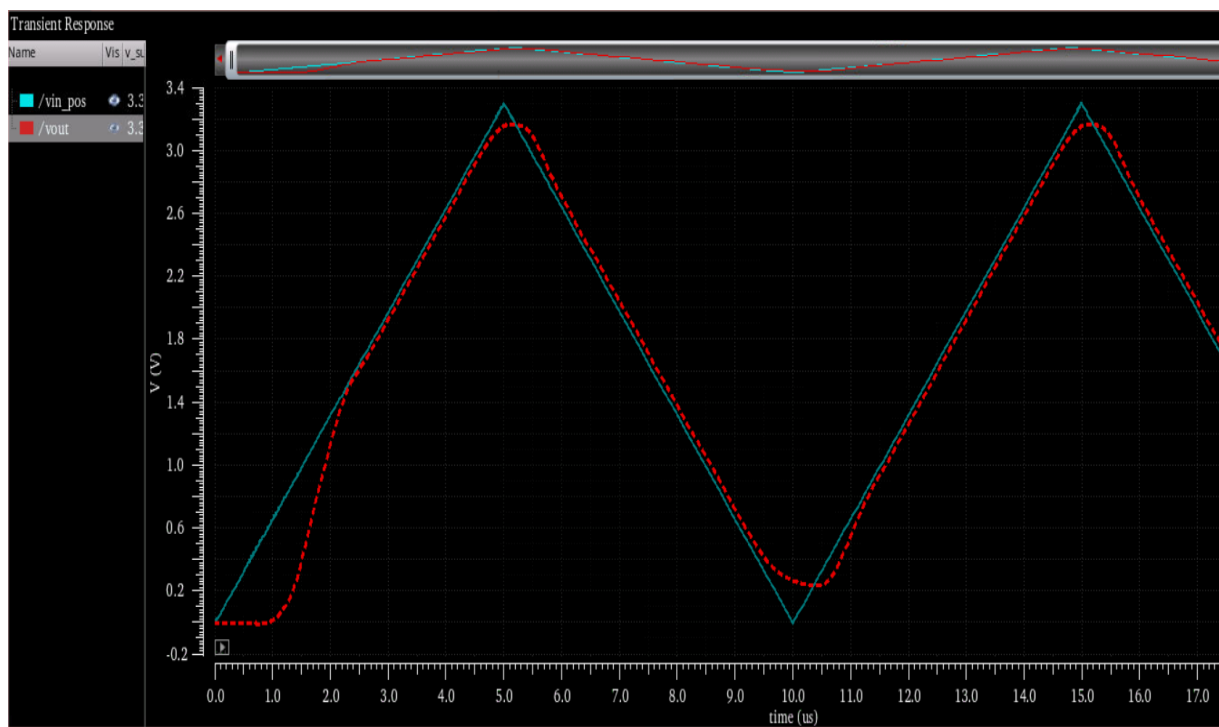
Pentru a realiza analiza în domeniul timp, am aplicat pe intrarea neinvertoare un semnal triunghiular, mai întâi cu o perioadă de  $T=1\text{ms}$ , iar apoi cu o perioadă de  $T=10\mu\text{s}$ , cuprins între tensiunile de alimentare, folosind o sursă de semnal de tip treaptă, `vpulse`, configurată în așa fel încât să genereze o formă de undă triunghiulară.



Rezultatul analizei pentru  $T=1\text{ms}$ :

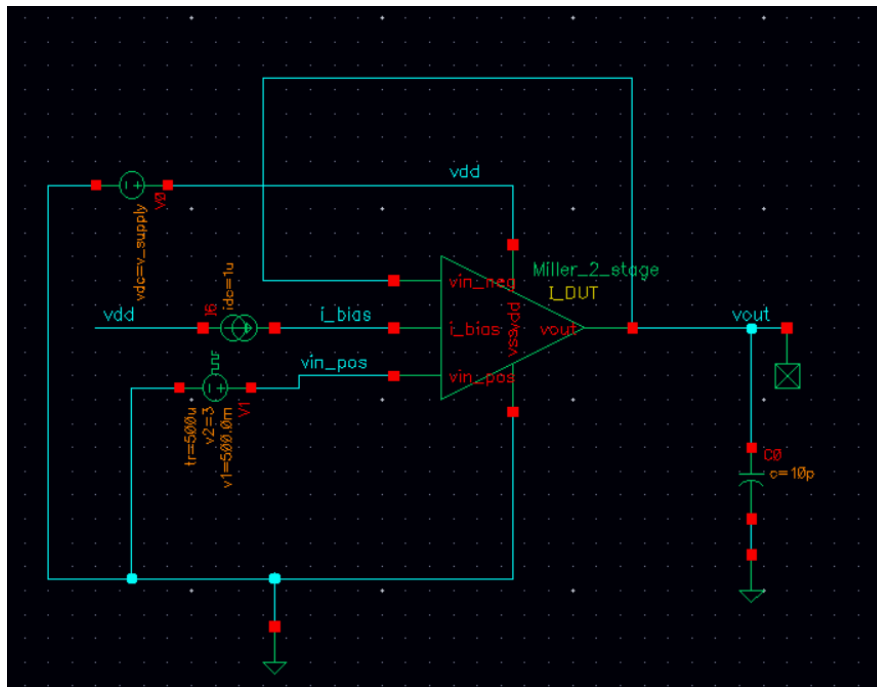


Rezultatul la  $T=10\mu\text{s}$ .



Observăm că offsetul este mai mare pentru o perioadă mai mică de timp.

## 2.4 Analiza .AC în configurație de repetor pe cornere și temperatură:



Pentru a face o analiză .AC în buclă închisă am introdus în testbench instanța IPROB, cu rolul de a fixa un psf corect al tranzistoarelor (calculează parametrii de DC –  $g_m$ ,  $r_{ds}$ ).

În urma acestei analize obținem urmatorul rezultat legat de stabilitatea amplificatorului:

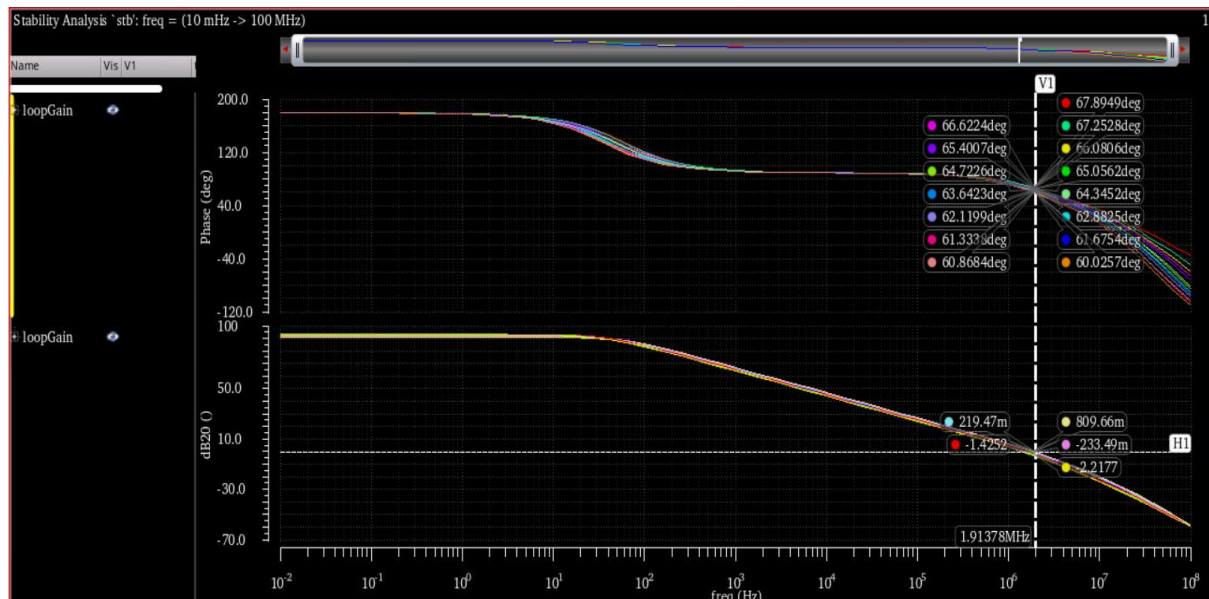
- PM – margine de fază
- GM – margine de câștig
- UGF = 1.8038 MHz ce reprezintă frecvența de câștig unitate.

Results Display Window			
Window Expressions Info Help			
cādence			
Stability Summary - circuit "testbench_ac_repetor" with loop probe "IPRB0"			
PM(deg)	@Freq(Hz)	GM(dB)	@Freq(Hz)
65.093	1.8038M	31.37	20.36M

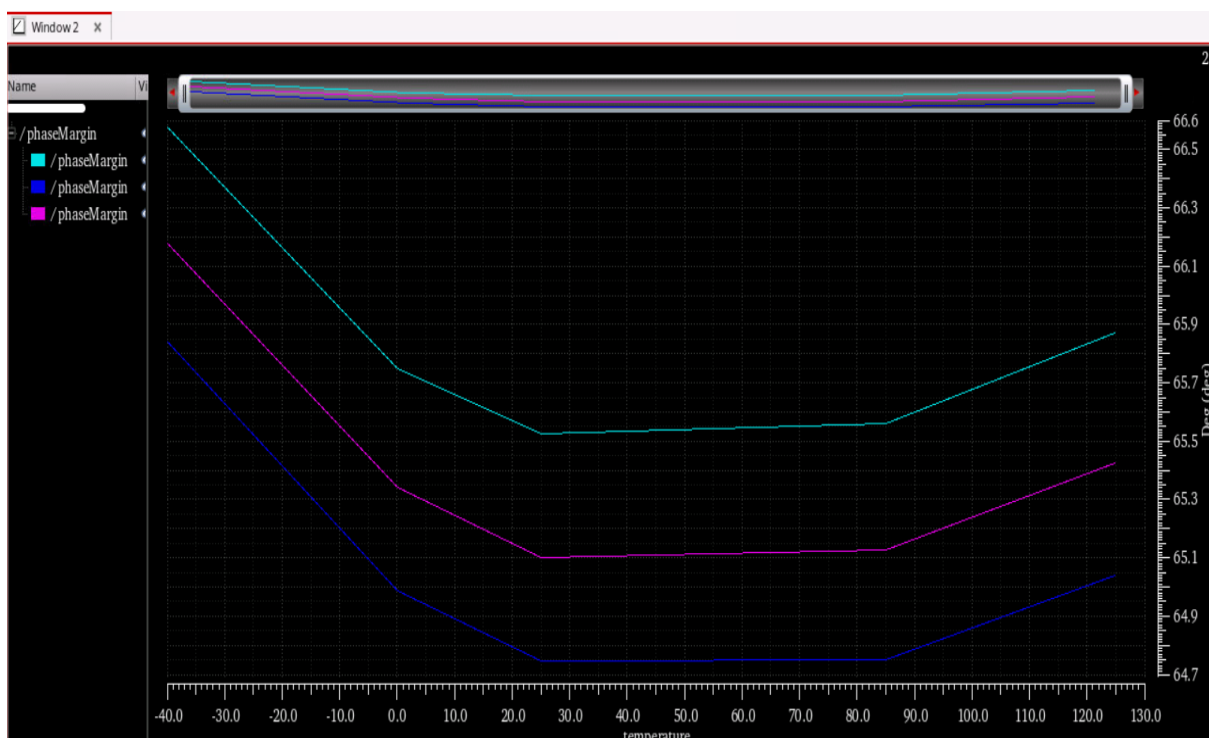


Prin metodă grafică (Diagramele Bode) se confirmă corectitudinea valorilor din tabelul de mai sus:

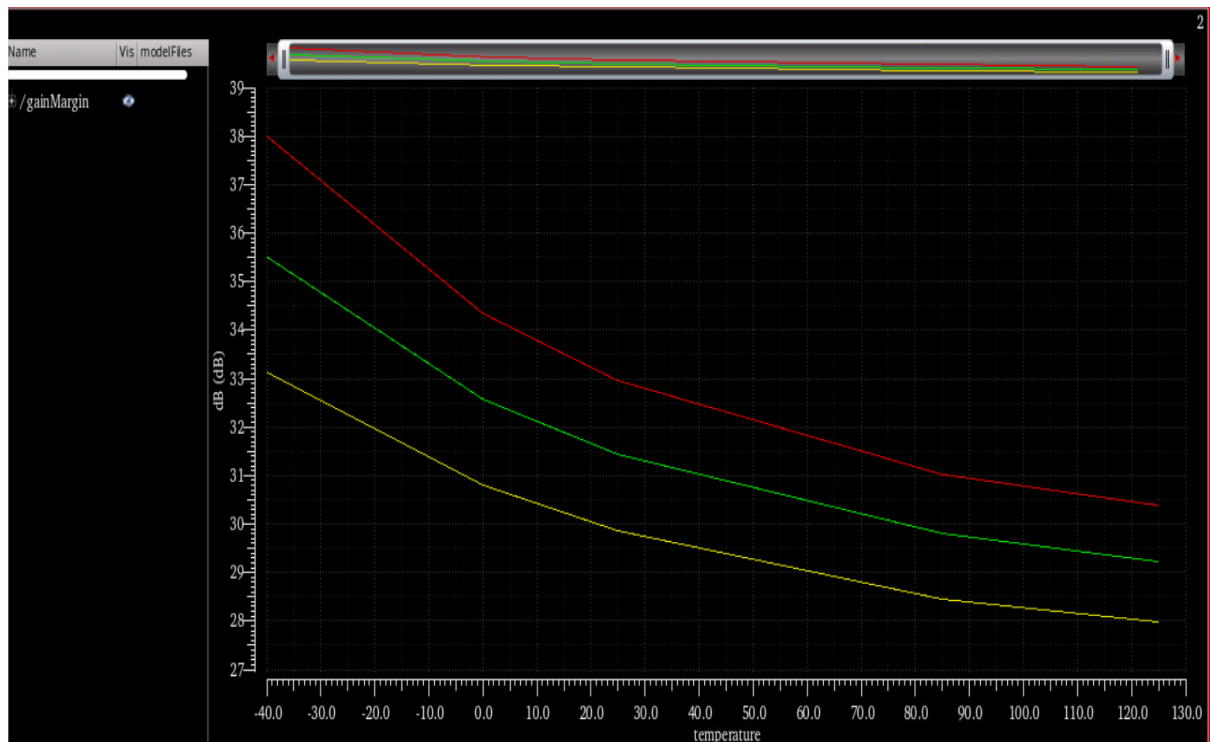
- ❖ Rezultatul analizei pe cornere si temperaură (-40,0,25,85,125 °C) pentru marginea de fază si cea de câştig:



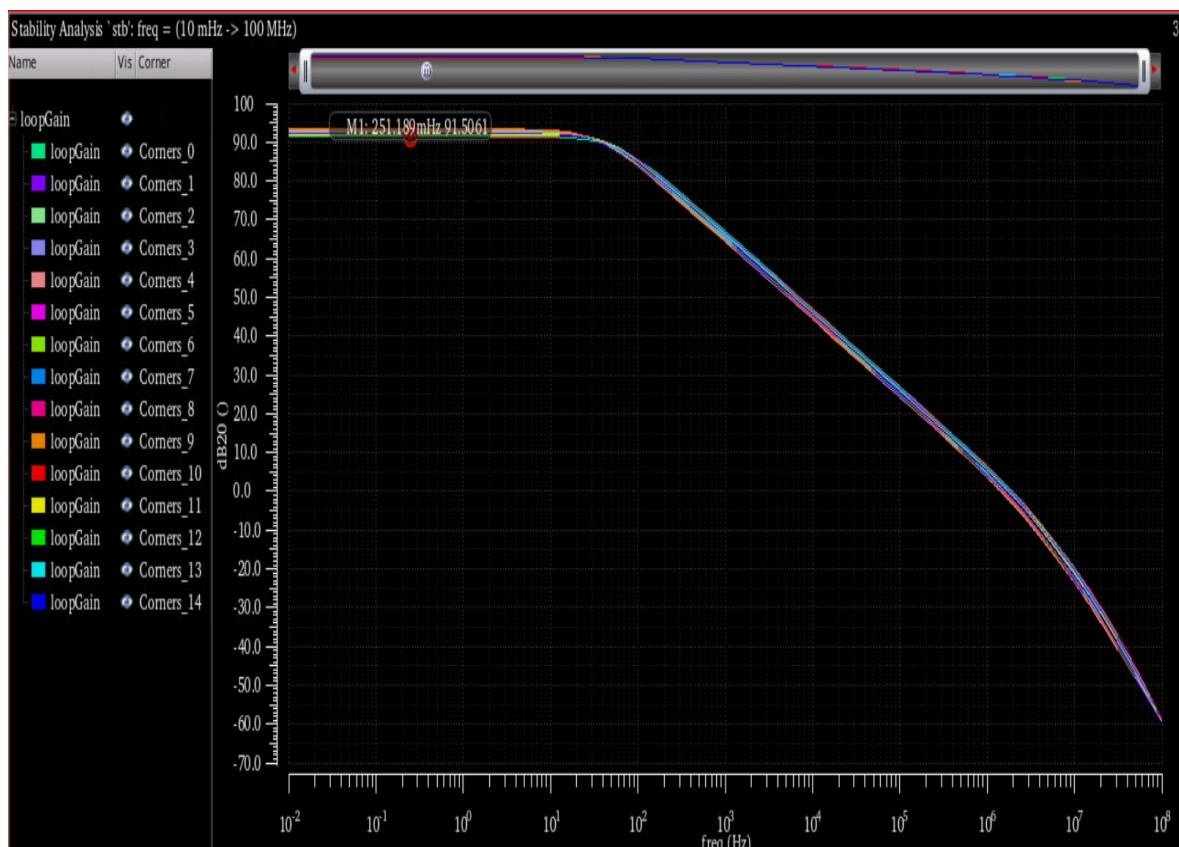
Putem observa în graficul de mai jos că marginea de fază variază între 64.5 și 66.6 ° la creșterea temperaturii.



Putem observa în graficul de mai jos ca marginea de câștig variaza între 28 dB și 38 dB la creșterea temperaturii.

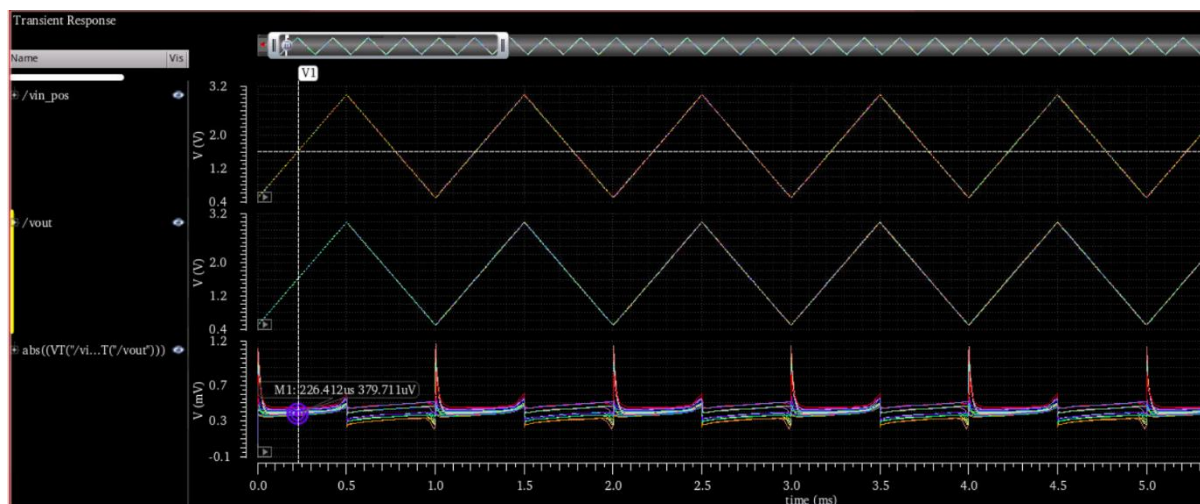


În graficul de mai jos putem observa că am obținut o amplificare de 91.5 dB.



## 2.5 Analiza .TRAN in configuratie de repeter pentru a determina tensiunea de offset sistematica pentru fiecare corner.

Se poate observa în graficul ilustrat mai jos că offsetul sistematic nu depășește valori de ordinul milivoltilor pentru nici unul din cornere, fiind de ordinul a sute de  $\mu\text{V}$ .



- **Etapas a III-a**

### 3.1 Analiza .OP in configuratie de repeter pentru a obtine PSF-ul schemei utilizând Calculator

Pentru a calcula PSF-ul schemei am utilizat Calculator unde, în urma selectării funcției vdc din schemă am ales fiecare tensiune din nod, apăsând pe firul respectiv tensiunii dorite, iar pentru a obține curenții de drenă ai tuturor tranzistorelor, folosind funcția idc, în schemă am apasat pe terminalul de drenă al tranzistorului dorit.

W27																						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1		Parameter gpdk.scs temperature						Corners_0	Corners_1	Corners_2	Corners_3	Corners_4	Corners_5	Corners_6	Corners_7	Corners_8	Corners_9	Corners_10	Corners_11	Corners_12	Corners_13	Corners_14
2								SS	SS	SS	SS	FF	FF	FF	FF	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN
3								-40	0	25	85	125	-40	0	25	85	125	-40	0	25	85	125
4																						
5	Test	Output	Spec	Weight	Pass/Fail	Min	Max	Corners_0	Corners_1	Corners_2	Corners_3	Corners_4	Corners_5	Corners_6	Corners_7	Corners_8	Corners_9	Corners_10	Corners_11	Corners_12	Corners_13	Corners_14
6	ISM_libres IDC("/I_DUT/NM3/D")					5.01E-06	5.04E-06	5.01E-06	5.01E-06	5.01E-06	5.02E-06	5.02E-06	5.03E-06	5.03E-06	5.03E-06	5.03E-06	5.04E-06	5.02E-06	5.03E-06	5.02E-06	5.02E-06	5.03E-06
7	ISM_libres IDC("/I_DUT/NM4/D")					5.01E-06	5.04E-06	5.01E-06	5.01E-06	5.01E-06	5.01E-06	5.02E-06	5.03E-06	5.03E-06	5.03E-06	5.03E-06	5.04E-06	5.02E-06	5.02E-06	5.02E-06	5.02E-06	5.03E-06
8	ISM_libres IDC("/I_DUT/PM0/D")					-5.04E-06	-5.01E-06	-5.01E-06	-5.01E-06	-5.01E-06	-5.01E-06	-5.02E-06	-5.03E-06	-5.03E-06	-5.03E-06	-5.03E-06	-5.04E-06	-5.02E-06	-5.02E-06	-5.02E-06	-5.02E-06	-5.03E-06
9	ISM_libres IDC("/I_DUT/PM3/D")					-5.04E-06	-5.01E-06	-5.01E-06	-5.01E-06	-5.01E-06	-5.01E-06	-5.02E-06	-5.03E-06	-5.03E-06	-5.03E-06	-5.03E-06	-5.04E-06	-5.02E-06	-5.02E-06	-5.02E-06	-5.02E-06	-5.03E-06
10	ISM_libres IDC("/I_DUT/PM2/D")					-1.52E-04	-1.51E-04	-1.51E-04	-1.51E-04	-1.51E-04	-1.51E-04	-1.51E-04	-1.52E-04	-1.52E-04	-1.52E-04	-1.51E-04	-1.52E-04	-1.51E-04	-1.51E-04	-1.51E-04	-1.51E-04	-1.51E-04
11	ISM_libres IDC("/I_DUT/MO0/D")					1.51E-04	1.52E-04	1.51E-04	1.51E-04	1.51E-04	1.51E-04	1.51E-04	1.52E-04	1.52E-04	1.52E-04	1.51E-04	1.51E-04	1.52E-04	1.51E-04	1.51E-04	1.51E-04	1.51E-04
12	ISM_libres IDC("/I_DUT/NM1/D")					1.00E-05	1.01E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.01E-05	1.01E-05	1.01E-05	1.01E-05	1.01E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05
13	ISM_libres IDC("/I_DUT/NM2/D")					1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06
14	ISM_libres VDC("/vdd")					3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
15	ISM_libres VDC("/I_DUT/net14")					2.44	2.654	2.44	2.45	2.457	2.475	2.489	2.598	2.61	2.618	2.639	2.654	2.52	2.531	2.539	2.559	2.573
16	ISM_libres VDC("/I_DUT/net17")					2.431	2.661	2.431	2.444	2.454	2.477	2.493	2.592	2.607	2.617	2.643	2.661	2.513	2.527	2.537	2.562	2.579
17	ISM_libres VDC("/vout")					1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
18	ISM_libres VDC("/I_DUT/net022")					1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
19	ISM_libres VDC("/vss")					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	ISM_libres VDC("/I_bias")					5.18E-01	7.60E-01	7.60E-01	7.55E-01	7.52E-01	7.44E-01	7.40E-01	5.47E-01	5.40E-01	5.35E-01	5.25E-01	5.18E-01	6.52E-01	6.45E-01	6.42E-01	6.33E-01	6.27E-01
21	ISM_libres VDC("/I_DUT/net13")					9.48E-01	1.232	9.48E-01	9.78E-01	9.96E-01	1.036	1.061	1.119	1.149	1.166	1.206	1.232	1.033	1.063	1.081	1.121	1.146
22	ISM_libres VDC("/vln_pos")					1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65

### 3.2 Analiza .DC in configuratie de repetor utilizând calculator:

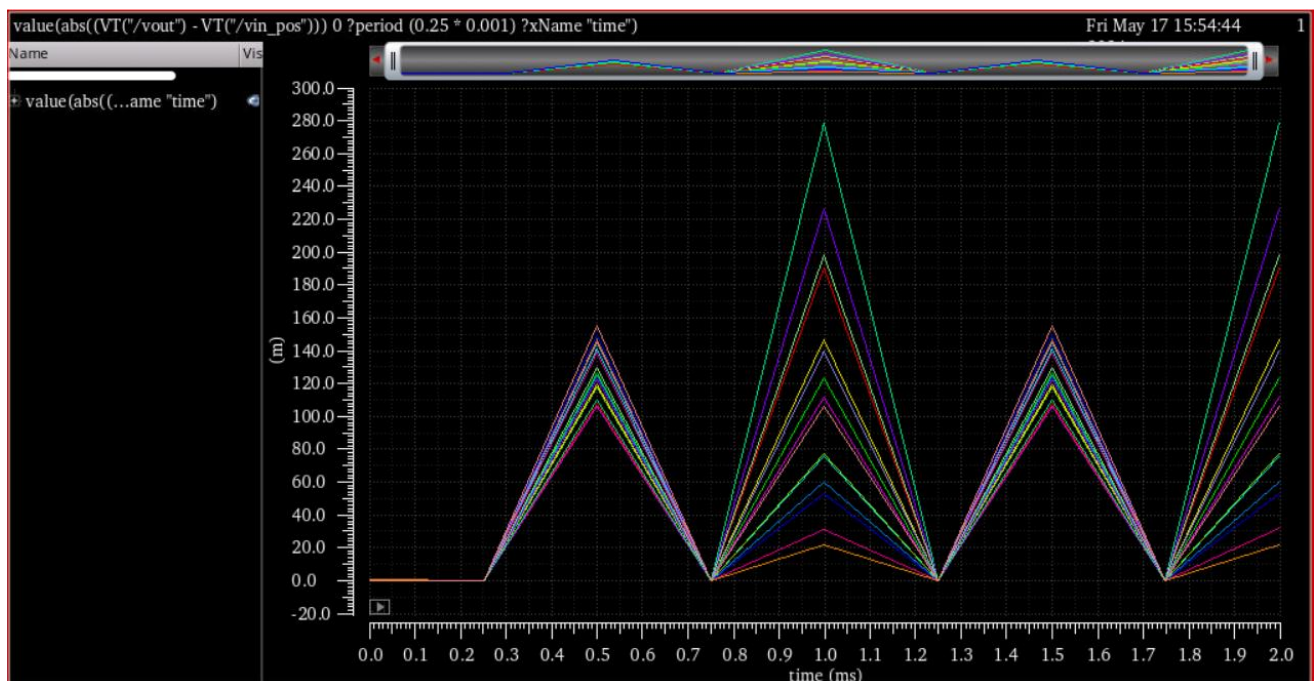
Pentru a calcula tensiunea de offset, am realizat o analiza .DC Sweep, unde în Calculator am folosit funcția  $\text{value}(\text{abs}((\text{VS}("/\text{vout}")) - \text{VS}("/\text{vin\_pos}"))) 0 \text{ ?period } 0.3 \text{ ?xName "time"}$  care afișează valoarea tensiunii de offset în puncte pentru tensiunea de intrare de la 0-3.3V cu pas de 0.3 V.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	v_input	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(	value(abs(
2	0	9.22E-08	1.68E-06	8.78E-06	1.24E-04	3.07E-04	2.71E-06	3.98E-05	1.14E-04	4.54E-04	8.12E-04	4.34E-08	1.17E-07	5.07E-07	1.51E-05	3.24E-05
3	3.00E-01	8.62E-04	7.16E-04	6.37E-04	4.86E-04	4.06E-04	4.22E-04	3.26E-04	2.81E-04	1.99E-04	1.54E-04	1.36E-03	1.21E-03	1.11E-03	8.87E-04	7.58E-04
4	6.00E-01	4.03E-05	2.28E-05	1.39E-05	4.89E-06	1.64E-05	8.13E-06	5.26E-06	1.29E-05	3.04E-05	4.21E-05	1.86E-04	1.41E-04	1.21E-04	8.50E-05	6.65E-05
5	9.00E-01	1.45E-05	1.28E-06	6.03E-06	2.23E-05	3.26E-05	9.35E-06	3.88E-06	1.13E-05	2.83E-05	3.94E-05	2.08E-05	7.37E-06	6.41E-08	1.58E-05	2.57E-05
6	1.2	1.98E-05	6.07E-06	1.40E-06	1.77E-05	2.79E-05	1.53E-05	1.51E-06	6.07E-06	2.30E-05	3.40E-05	2.46E-05	1.06E-05	3.15E-06	1.29E-05	2.28E-05
7	1.5	2.62E-05	1.16E-05	3.82E-06	1.29E-05	2.32E-05	2.17E-05	7.16E-06	7.04E-07	1.79E-05	2.90E-05	3.08E-05	1.60E-05	8.19E-06	8.33E-06	1.84E-05
8	1.8	3.34E-05	1.78E-05	9.65E-06	7.62E-06	1.82E-05	2.89E-05	1.34E-05	5.19E-06	1.26E-05	2.38E-05	3.81E-05	2.22E-05	1.40E-05	3.15E-06	1.35E-05
9	2.1	4.20E-05	2.53E-05	1.66E-05	1.41E-06	1.23E-05	3.75E-05	2.09E-05	1.21E-05	6.32E-06	1.78E-05	4.67E-05	2.97E-05	2.10E-05	3.07E-06	7.59E-06
10	2.4	5.27E-05	3.47E-05	2.55E-05	6.55E-06	4.77E-06	4.81E-05	3.01E-05	2.09E-05	1.58E-06	1.03E-05	5.76E-05	3.93E-05	3.00E-05	1.12E-05	6.82E-08
11	2.7	6.78E-05	4.84E-05	3.86E-05	1.87E-05	6.88E-06	6.28E-05	4.35E-05	3.37E-05	1.34E-05	9.81E-07	7.31E-05	5.35E-05	4.37E-05	2.40E-05	1.23E-05
12	3	1.12E-04	9.73E-05	9.17E-05	8.69E-05	8.97E-05	1.05E-04	8.97E-05	8.33E-05	7.54E-05	7.50E-05	1.21E-04	1.08E-04	1.03E-04	1.03E-04	1.11E-04
13	3.3	1.08E-01	1.20E-01	1.27E-01	1.41E-01	1.50E-01	1.07E-01	1.19E-01	1.25E-01	1.39E-01	1.47E-01	1.10E-01	1.23E-01	1.30E-01	1.46E-01	1.55E-01

### 3.3 Analiza .TRAN in configuratie de repetor utilizând calculator:

Pentru a calcula tensiunea diferențială de intrare am realizat o analiză .TRAN, modificând în schema de testbench sursa tensiunii de intrare care să genereze forma de undă triunghiulară, cu perioadă de 1ms, simularea durând 2 ms pentru a vedea două perioade din semnal.

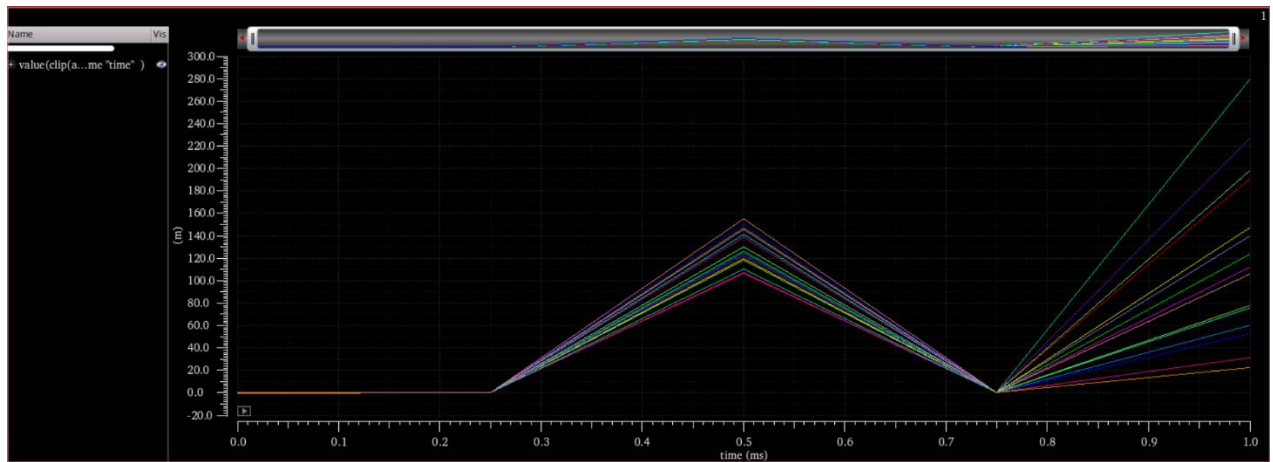
În calculator, pentru a calcula acest rezultat am folosit următoarea funcție:  $\text{value}(\text{abs}(\text{VT}("/\text{vout}")) - \text{VT}("/\text{vin\_pos}"))) 0 \text{ ?period } 0.25 * 1\text{m} \text{ ?xName "time"}$





Pentru calcularea și afisarea valorilor pentru o singură perioadă am utilizat funcția clip rezultând expresia:

$value(clip(abs(VT("/vout")-VT("/vin\_pos"))) 0 1m) 0 ?period 0.25*1m ?xName "time" )$



Rezultatele obținute le-am exportat într-un fișier de tip .csv:

B1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	time (s)	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(	value(clip(
2	0	9.22E-08	1.68E-06	8.78E-06	1.24E-04	3.07E-04	2.71E-06	3.98E-05	1.14E-04	4.54E-04	8.12E-04	4.34E-08	1.17E-07	5.07E-07	1.51E-05	3.24E-05
3	2.50E-04	4.90E-04	4.99E-04	5.12E-04	5.58E-04	5.95E-04	4.78E-04	4.88E-04	5.01E-04	5.46E-04	5.82E-04	5.03E-04	5.13E-04	5.26E-04	5.72E-04	6.09E-04
4	5.00E-04	1.08E-01	1.20E-01	1.27E-01	1.41E-01	1.50E-01	1.07E-01	1.19E-01	1.25E-01	1.39E-01	1.47E-01	1.10E-01	1.23E-01	1.30E-01	1.46E-01	1.55E-01
5	7.50E-04	4.31E-04	4.70E-04	5.00E-04	5.79E-04	6.37E-04	4.28E-04	4.68E-04	4.97E-04	5.77E-04	6.35E-04	4.35E-04	4.75E-04	5.05E-04	5.84E-04	6.42E-04
6	1.00E-03	1.91E-01	1.47E-01	1.24E-01	7.60E-02	5.30E-02	1.12E-01	7.77E-02	6.01E-02	3.19E-02	2.25E-02	2.79E-01	2.27E-01	1.98E-01	1.40E-01	1.06E-01

### 3.4 Analiza .AC pe cornere utilizând Calculator:

Am realizat o analiza .AC pe cornere de proces și temperatură, iar pentru a calcula parametrii ceruți, in Calculator am utilizat următoarele funcții:

- ❖ Pentru marginea de câștig:  $getData("/gainMargin" ?result "stb\_margin")$
- ❖ Pentru marginea de fază:  $getData("/phaseMargin" ?result "stb\_margin")$
- ❖ Pentru frecvența de câștig unitate:  $getData("/phaseMarginFreq" ?result "stb\_margin")$
- ❖ Pentru amplificarea DC:  $value(db20(getData("/loopGain" ?result "stb"))) 1)$

Rezultatele astfel obținute sunt afișate în următoarea imagine:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Parameter							Corners_0	Corners_1	Corners_2	Corners_3	Corners_4	Corners_5	Corners_6	Corners_7	Corners_8	Corners_9	Corners_10	Corners_11	Corners_12	Corners_13	Corners_14
2	gpdk.scs							NN	NN	NN	NN	NN	SS	SS	SS	SS	FF	FF	FF	FF	FF	FF
3	temperature							-40	0	25	85	125	-40	0	25	85	125	-40	0	25	85	125
4																						
5	Test	Output	Spec	Weight	Pass/Fail	Min	Max	Corners_0	Corners_1	Corners_2	Corners_3	Corners_4	Corners_5	Corners_6	Corners_7	Corners_8	Corners_9	Corners_10	Corners_11	Corners_12	Corners_13	Corners_14
6	ac_repetor	Margine castig				28	38.01	35.52	32.6	31.45	29.81	29.25	33.15	30.82	29.87	28.48	28	38.01	34.35	32.98	31.04	30.39
7	ac_repetor	Margine faza				64.75	66.58	66.18	65.34	65.1	65.13	65.43	65.84	64.99	64.75	64.75	65.04	66.58	65.75	65.53	65.56	65.88
8	ac_repetor	Frecventa castig unitate				1.48E+06	2.03E+06	2.00E+06	1.89E+06	1.81E+06	1.62E+06	1.51E+06	1.97E+06	1.86E+06	1.78E+06	1.60E+06	1.48E+06	2.03E+06	1.92E+06	1.84E+06	1.64E+06	1.52E+06
9	ac_repetor	Amplificare DC				91.51	93.57	91.65	92.45	92.78	93.23	93.35	91.74	92.56	92.91	93.4	93.57	91.51	92.27	92.57	92.92	92.94

### 3.5 Analiza .TRAN de tip Monte Carlo:

Am realizat o analiză tranzitorie de tip Monte Carlo, ce generează o variabilă aleatorie în 150 de puncte, cu o variație statistică ce ține cont atât de proces cât și de mismatch, folosind corner-ul stat. În urma analizei am obținut valoarea minimă, maximă, media și abaterea standard a variabilei pentru expresia tensiunii de offset aleatoriu evaluată la jumătate din tensiunea de alimentare ( $T/4$ ).

Test	Name	Yield	Min	Target	Max	Mean	Std Dev	Cpk	Errors
Yield Estimate: 100 % (150 passed/150 pts) Confidence Level: <not set> Filter: <not set>									
Monte_Carlo									
value(abs(VT("/vout") - VT("/vin_pos")))/0.00025(summary)									
		100	11.44u		14.94m	4.886m	3.565m		0
value(abs(VT("/vout") - VT("/vin_pos")))/0.00025_MC									
		100	11.44u	info	14.94m	4.886m	3.565m		0

În imaginea de mai jos este reprezentată histograma acestei variabile aleatorii, evidențiindu-se pe grafic valorile mai sus menționate. Numărul de bins a fost ales astfel încât acestea să se încadreze cât mai bine sub alura gaussiană plotată.

