

Sisteme și Circuite Integrate pentru Aplicații Auto

*Simularea circuitului Brokaw
folosind X2GO Cadence:
Analiză și Optimizare*

Profesori îndrumători:

Iulian Campanu

Cosmin-Sorin Plesa

Realizat de:

Roșca David-Sorin

CUPRINS

1. Specificații individuale.....	2
2. Descrierea Funcționării Referinței de tensiune	2
2.1 Referința de tensiune	2
2.2 Schema Circuitului: Brokaw.....	4
2.3 Celula Brokaw	4
2.4 Circuite auxiliare: Amplificatorul Operațional si circuitul de startup	5
3. Proiectarea Referinței de tensiune și a circuitelor auxiliare.....	6
4. Simulari in cadence.....	9
4.1 Schema Circuitului(ideal).....	9
4.2 Variatia Vout inainte de ajustare(AO ideal)	9
4.3 Variatia lui Vout dupa ajustare(AO ideal)	10
4.4 Schema circuitului de start-up.....	10
4.5 Variatia lui Vout cu circuitul de start-up	11
4.6 Amplificatorul Real	11
4.7 Circuit de testbench pentru OTA	12
4.8 Simulare pentru determinarea amplificării si a defazajului la OTA	12
4.9 Circuitul implementat cu componente reale	13
4.10 Simulare inainte de ajustarea rezistentelor	13
4.11 Simulare dupa ajustarea rezistentelor	14
4.12 Simulare cu OTA real si cu rezistente de proces	14
5. Bibliografie	15

1.Specificații individuale

Specificații						
BANDGAP TYPE	BANDGAP VOLTAGE	QUIESCENT CURRENT	TEMP. RANGE	PRECISION ACROSS TEMP&MC300	SUPPLY RANGE	OTA TYPE
Brokaw	1.2V	30uA	-40: 150degC	+/-3%	1.6V:2V	Miller/Folded cascode

2.Descrierea Funcționării Referinței de tensiune

2.1 Referința de tensiune

Referinta de tensiune este un circuit simplu ce ofera o tensiune stabila in timp si impotriva variatiilor cu procesul de fabricatie, tensiunea de alimentare si temperatura (PVT) precum si a conditiilor de mediu: stres mecanic, presiune, umiditate, radiatie, etc.

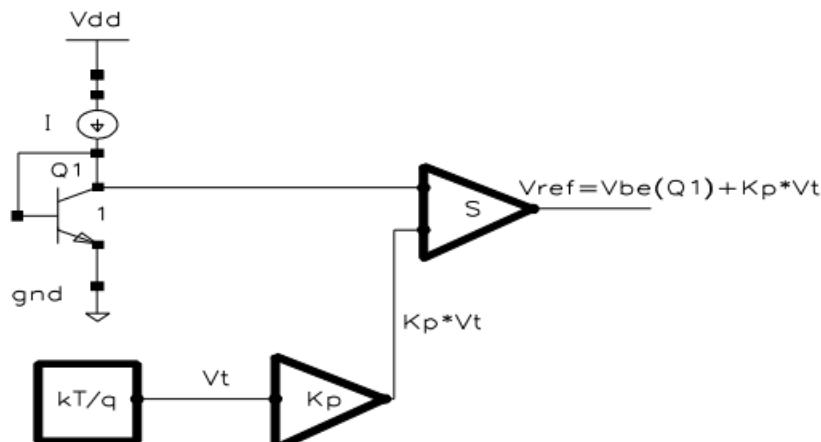


Fig.8a Principiul referinței de tensiune de tip Bandgap

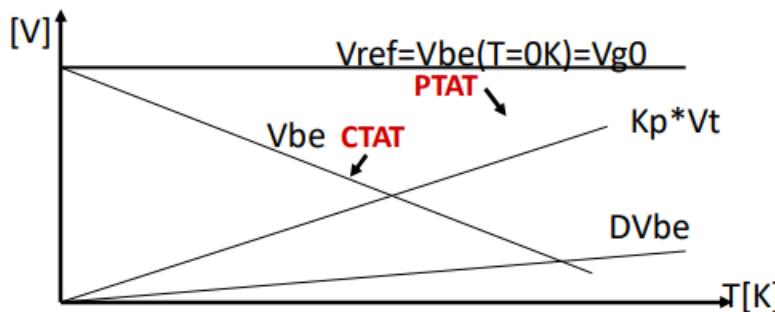
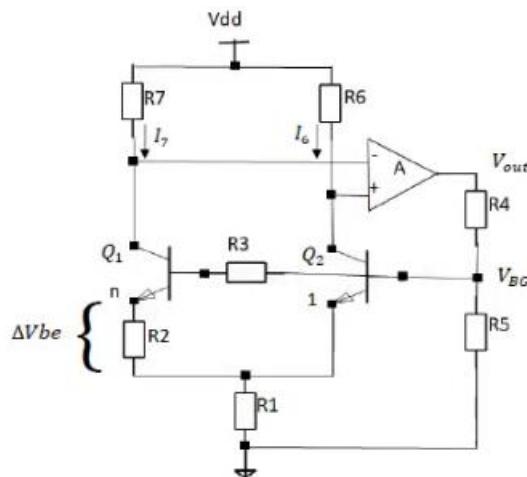


Fig.8b Tensiunile PTAT si CTAT intr-o referinta tip bandgap

Referința de tensiune de tip Bandgap e bazată pe suma a două tensiuni:

- ✓ Tensiunea baza-emitor a tranzistorului bipolar, cu variație complementară cu temperatura (CTAT) cu valoarea tipică de 0.65V la temperatura ambientă.
- ✓ Diferența a două tensiuni baza-emitor, DVbe, proporțională cu temperatura absolută(PTAT) cu o valoare tipică de sub 100mV la aceeași temperatură
- ✓ Condiția de compensare este ca cele două tensiuni să aibă pante egale și opuse cu temperatura. De aceea cea de-a două tensiune PTAT este amplificată cu un factor kp, cu valori între 5 și 10.

2.2 Schema Circuitului: Brokaw



2.3 Celula Brokaw

- ✓ Aria emitorului lui Q1 este de n ori mai mare decat aria emitorului tranzistorului Q2, prin urmare:

$$\frac{I_{s1}}{I_{s2}} = n$$

AO are $R_N \Rightarrow VR_7 = VR_6 \Rightarrow$ pentru $R_7 = R_6, I_7 = I_6$

- ✓ Pe rezistorul R2 caderea de tensiune este proportionala cu VT:

$$VR_2 = VBE_2 - VBE_1 = VT * \ln \frac{I_6}{n * I_{s2}} - VT * \ln \frac{I_7}{I_{s1}} \Rightarrow VR_2 = VT * \ln(n)$$

- ✓ Rezulta curentii prin tranzistoare:

$$IR_2 = \frac{VR_2}{R_2} = \frac{VR}{R_2} * \ln(n), \quad IR_2 = Ic_1; \quad Ic_1 = I_7, \quad I_7 = I_6$$

- ✓ Expresia tensiunii Vbg este:

$$\begin{aligned} VBG &= VBE_2 + VR_1 \Rightarrow VBG = VBE_2 + R_1 * (I_7 + I_6) \\ VBG &= VBE_2 + VT * \frac{2 * R_1}{R_2} * \ln(n) \end{aligned}$$

- ✓ Expresia tensiunii Vout:

$$VBG = Vout * \frac{R_5}{R_5 + R_4} \Rightarrow Vout = \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right) * VBG$$

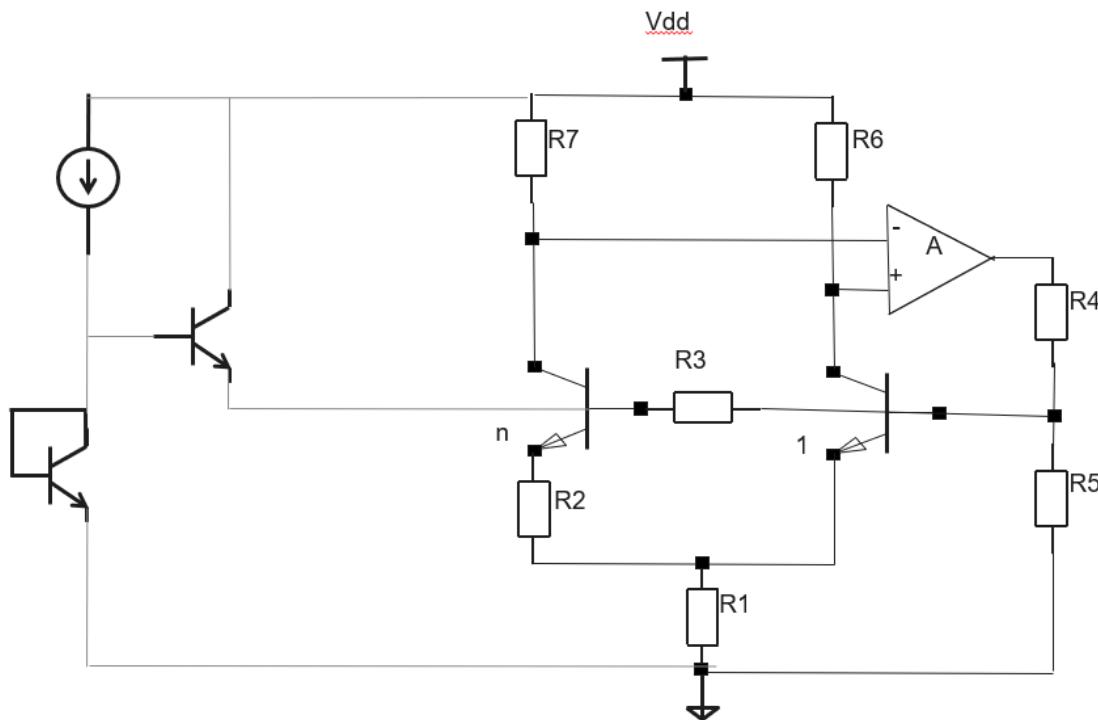
$$V_{out} = \left(1 + \frac{R4}{R5}\right) * (V_{BE2} + VT * \frac{2R1}{R2} * \ln(n))$$

Adaugarea rez. R3 creeaza o cadere de tensiune proportionala cu curentul de baza in bucla ΔVBE , reducand tensiunea Vout, pentru a compensa eroarea datorata curentilor de baza a tranzistorilor.

$$R3 = \frac{R2}{R1} * (R4 || R5)$$

2.4 Circuite auxiliare: Amplificatorul Operational si circuitul de startup

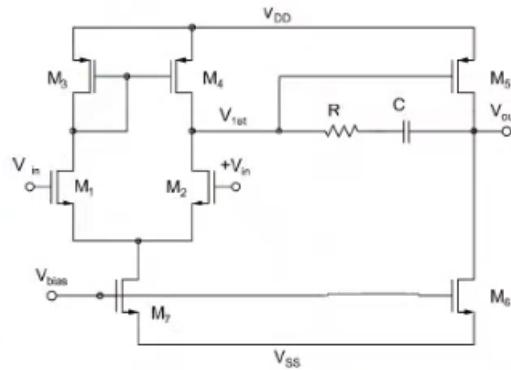
1. Circuitul de startup



Circuitul de startup funcționează când este alimentată referința. Particularitatea acestor circuite este ca ele sunt active doar în faza de pornire, ulterior ele nu mai funcționează.

2. Amplificatorul Operational

AO-ul folosit în cadrul referinței este unul Miller. Primul etaj de amplificare este diferențial de tip NMOS, cu o pereche de oglinzi de curent PMOS.



3. Proiectarea Referinței de tensiune și a circuitelor auxiliare

1. Referința de tensiune

Mă folosesc de ecuațiile calculate anterior:

$$V_{BG} = V_{BE2} + VT * \frac{2R1}{R2} * \ln(n)$$

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R4}{R5}\right) * V_{BG}$$

Realizăm compensarea termică:

$$\frac{\partial V_{BG}}{\partial \theta} = 0$$

$$\frac{\partial V_{BE2}}{\partial \theta} + \frac{\partial VT}{\partial \theta} * \frac{2R1}{R2} * \ln(n) = 0 \Rightarrow \frac{2R1}{R2} = \frac{\frac{\partial V_{BE2}}{\partial \theta}}{\frac{\partial VT}{\partial \theta} * \ln(n)}, n = 8$$

Stim ca: Tensiunea BE= -2mV/C, iar tensiunea termica este 0.083 mV/C

- ✓ Dimensionarea rezistentelor R2 si R1:

Prin ramura cu R2, R1, am ales un curent de 4uA.

$$\frac{2R1}{R2} = \frac{2}{0.083 * 2.07} \Rightarrow \frac{2R1}{R2} \cong 10 \Rightarrow R1 = \frac{10 * R2}{2} = 5 * R2$$

$$IR2 = \frac{VR2}{R2} = \frac{VT}{R2} * \ln(n)$$

$$R2 = \frac{VT}{IR2} * \ln(n) \Rightarrow R2 = \frac{26mV}{4uA} * \ln(8)$$

$$R2 \cong 14k\Omega \text{ 😊}$$

$$R1 = 5 * R2 = 5 * 14k\Omega = 70k\Omega \text{ 😊}$$

- ✓ Dimensionarea rezistentelor R4, R5 si R3:

$$Vout = \left(1 + \frac{R4}{R5}\right) * VBG, Vout = 1.2V$$

$$VBG = VBE2 + VT * \frac{2R1}{R2} * \ln(8)$$

$$VBG = 0.7V + 26mV * \frac{2 * 5 * R2}{R2} * 2.07 \Rightarrow VBG = 1.24V$$

$$1.2V = \left(1 + \frac{R4}{R5}\right) * 1.24V \Rightarrow \frac{R4}{R5} \cong 0$$

$$R4 = 0$$

$$R5 \gg \infty$$

$$R3 = \frac{R2}{R1} (R4||R5), (R4||R5) \cong 0, \text{deci } R3 = 0$$

- ✓ Dimensionare rezistente R6 si R7:

$$v^+ = v^- \Rightarrow R7 = R6 \text{ si } I7 = I6 \Rightarrow v^+ = VDD - VR6$$

$$VR6 = I6 * R6 \Rightarrow R6 = \frac{VR6}{I6}$$

$$R6 = \frac{Vdd - v^+}{I6}, \text{ vom alege } I6 = 4uA \text{ si } VDD = 1.8V, \text{ aleg } v^+ = 1.3V$$

$$R6 = \frac{1.8 - 1.3V}{4uA} = 125K\Omega$$

$$R6=R7=125k\Omega$$

2. Amplificatorul Operational

Configuratia de amplificator pentru acest proiect este un AO Miller.

Din bugetul total de curent(30uA), am alocat 16uA amplificatorului operational, iar cea mai mare parte din curent am folosit-o la iesire.(8uA)

$$R1 = \frac{VDD - VGS}{I} \Rightarrow R1 = \frac{1.8 - 0.834}{2uA} \Rightarrow R1 = 483k$$

$$VGS = VDs_{sat} + Vth \Rightarrow VGS = 150mV + 684mV = 834mV$$

Dimensiunile pentru tranzistorii N vor fi:

$$\frac{ID}{ID_{ref}} = \frac{\frac{W}{L}}{\frac{W_{ref}}{L_{ref}}} \left(\frac{VD_{sat}}{VD_{satref}} \right)^2$$

$$M8, M9: \frac{2u}{10u} = \frac{\frac{W}{L}}{\frac{1.7}{0.5}} \left(\frac{VD_{sat}}{150m} \right)^2 \Rightarrow Vds_{sat} = 150mV$$

$$0.68 = \frac{W}{L} \Rightarrow L = 2u, W = 1.36u$$

Dimensiunile pentru tranzistorii P:

Dimensiunile unitate pentru tranzistoarele N si P, pentru curentul de Ibias de 2uA sunt: $N = \frac{W}{L} = \frac{1.36u}{2u}$, $P = \frac{W}{L} = \frac{5.6u}{2u}$

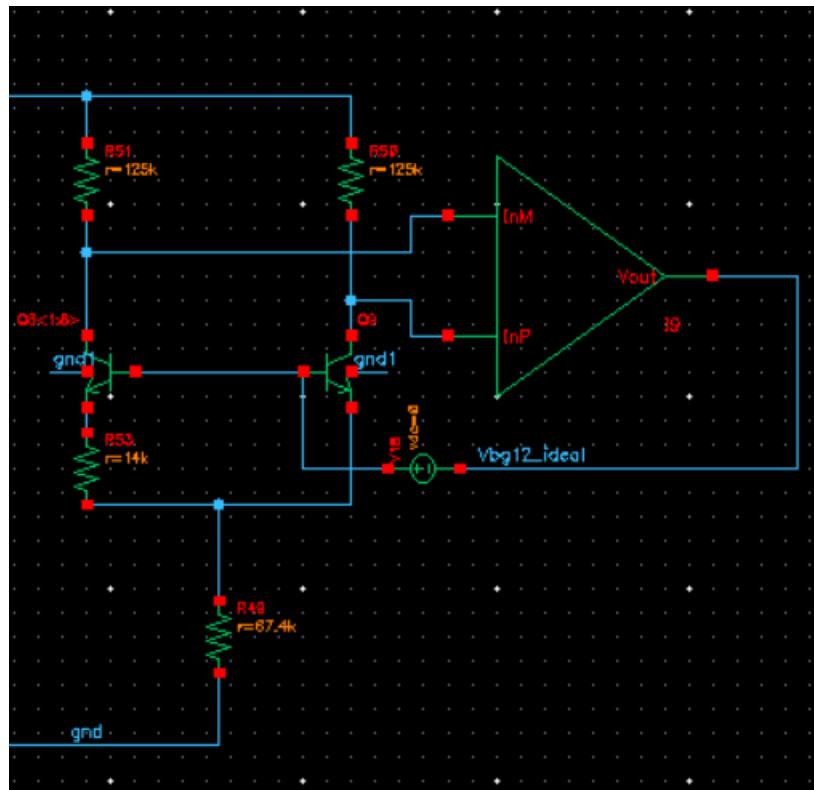
Dimensiunile tranzistoarelor din Amplificatorul Operational sunt: $M7, M8: \frac{W}{L} = P$

$$M6 = \frac{w}{L} = N, M4 = \frac{w}{L} = 2N, M1, M0 = \frac{w}{L} = P, M2, M3 = \frac{w}{L} = N, M5 = 4N, M9 = 4P$$

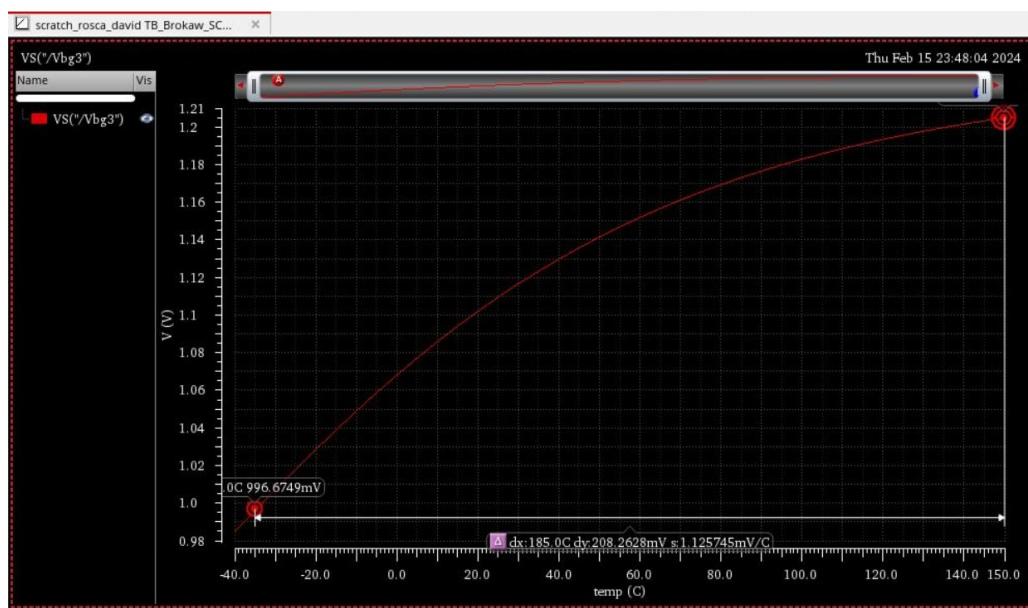
Cp=4pF, R2=7.5k, R1=475k

4.Simulari in cadence

4.1 Schema Circuitului(ideal)

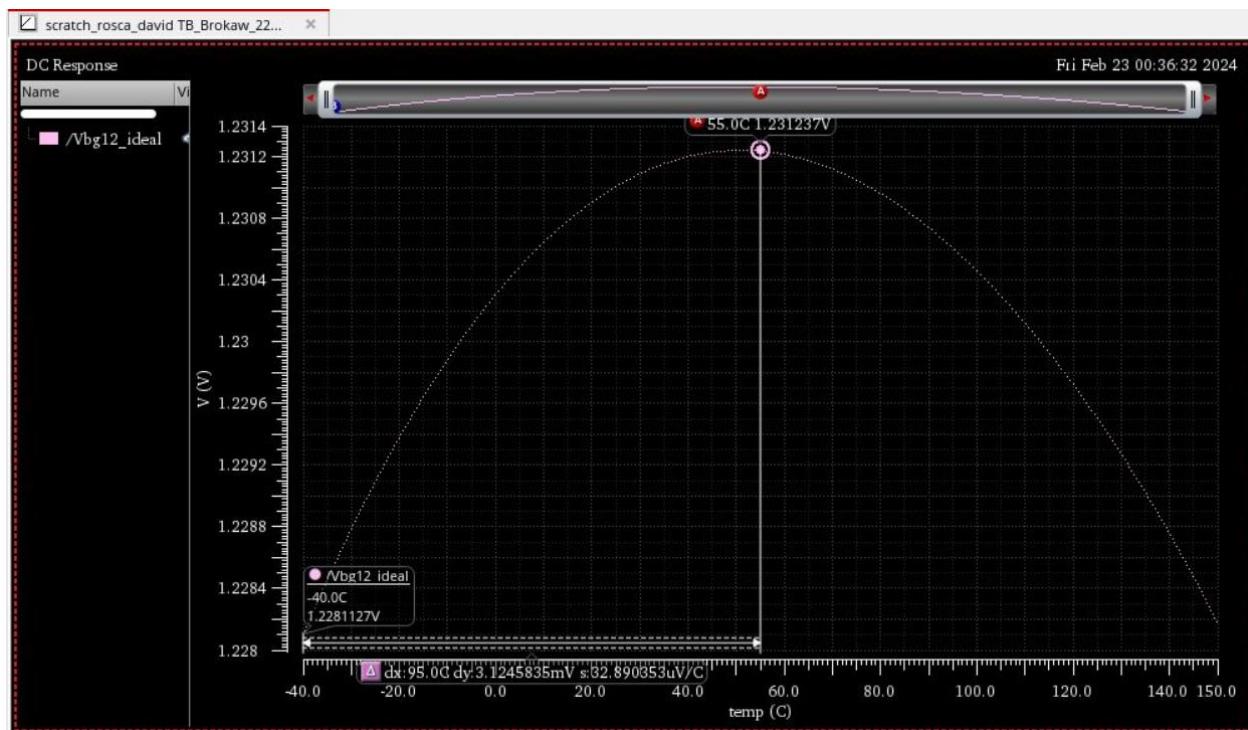


4.2 Variatia Vout inainte de ajustare(AO ideal)

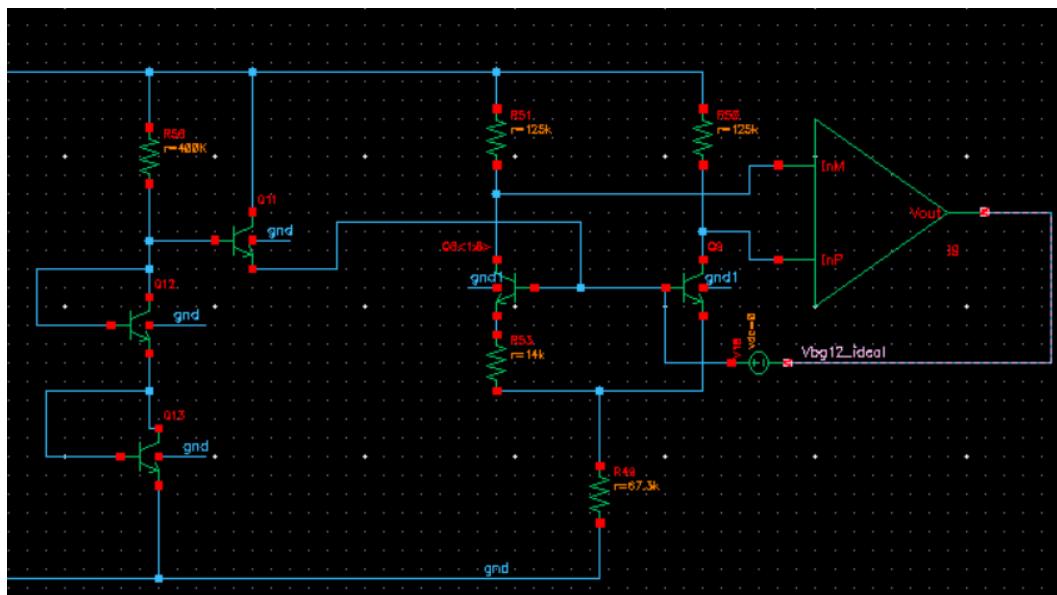


- ✓ Observam ca avem o caracteristica de tip PTAT.

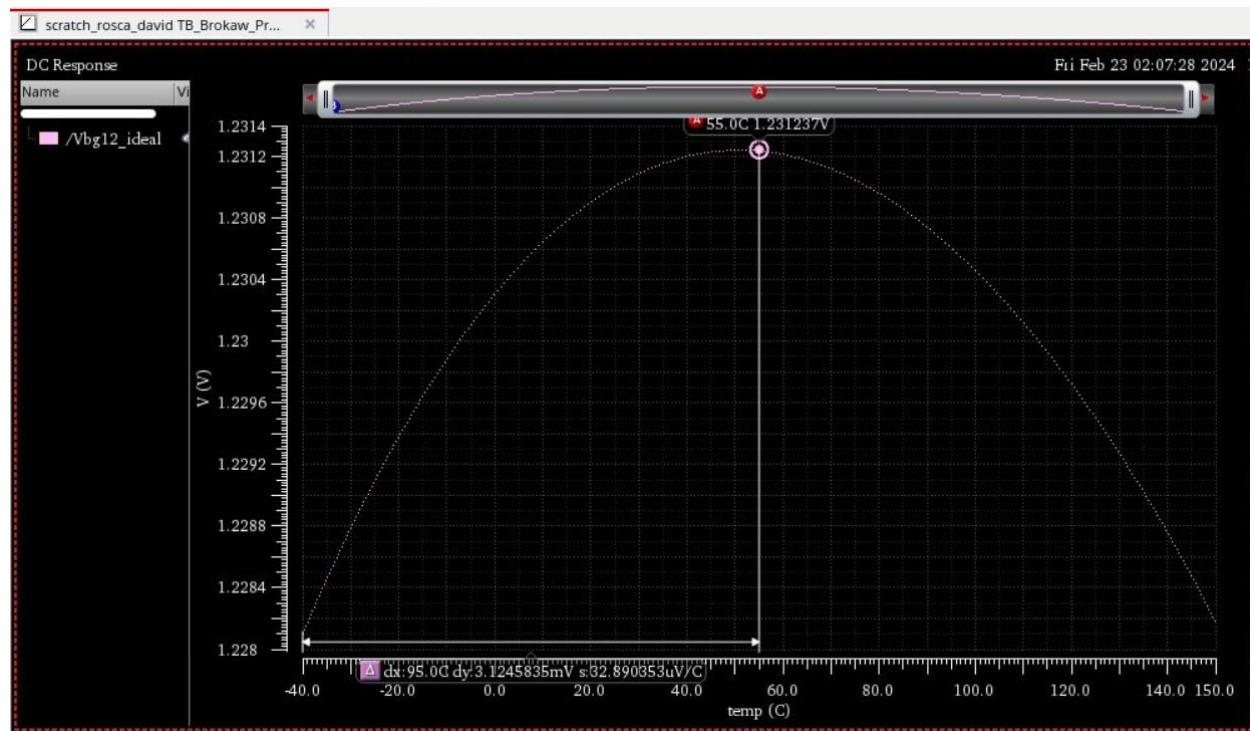
4.3 Variatia lui V_{out} după ajustare(AO ideal)



4.4 Schema circuitului de start-up

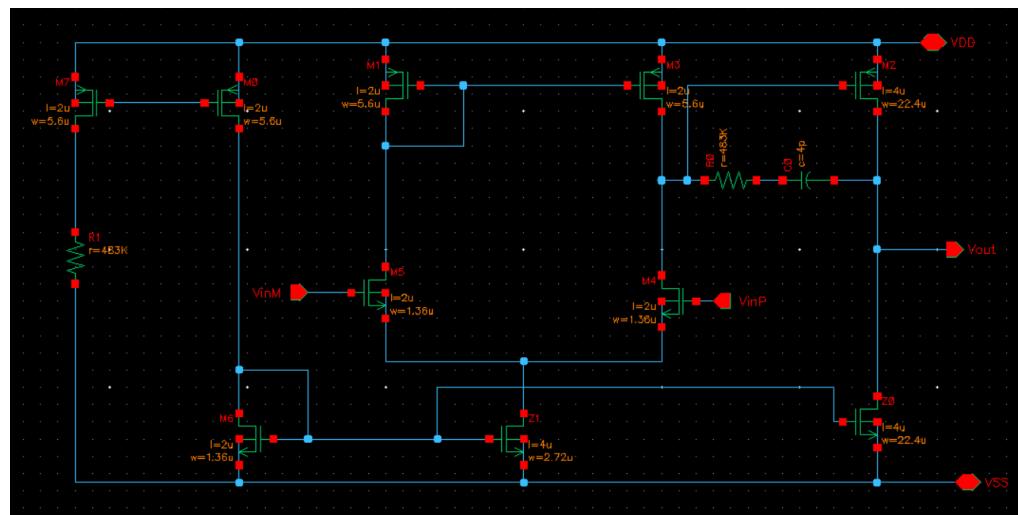


4.5 Variatia lui V_{out} cu circuitul de start-up

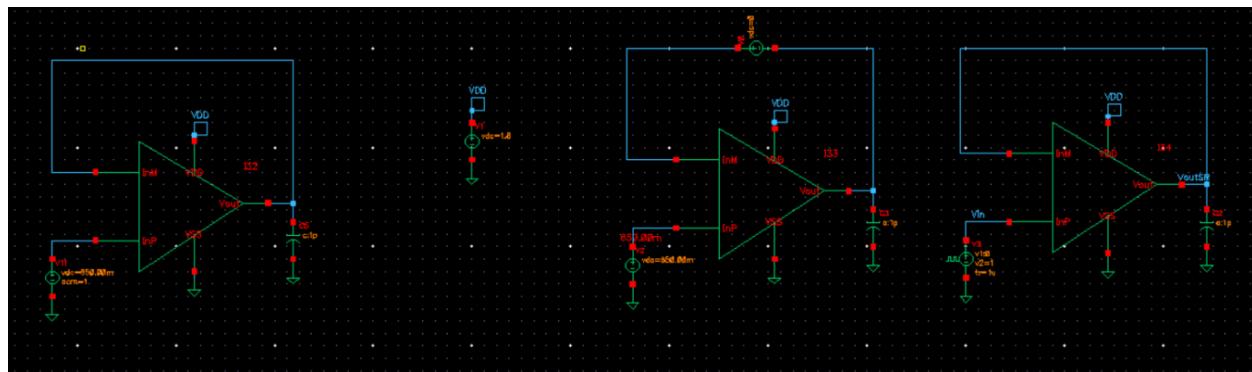


4.6 Amplificatorul Real

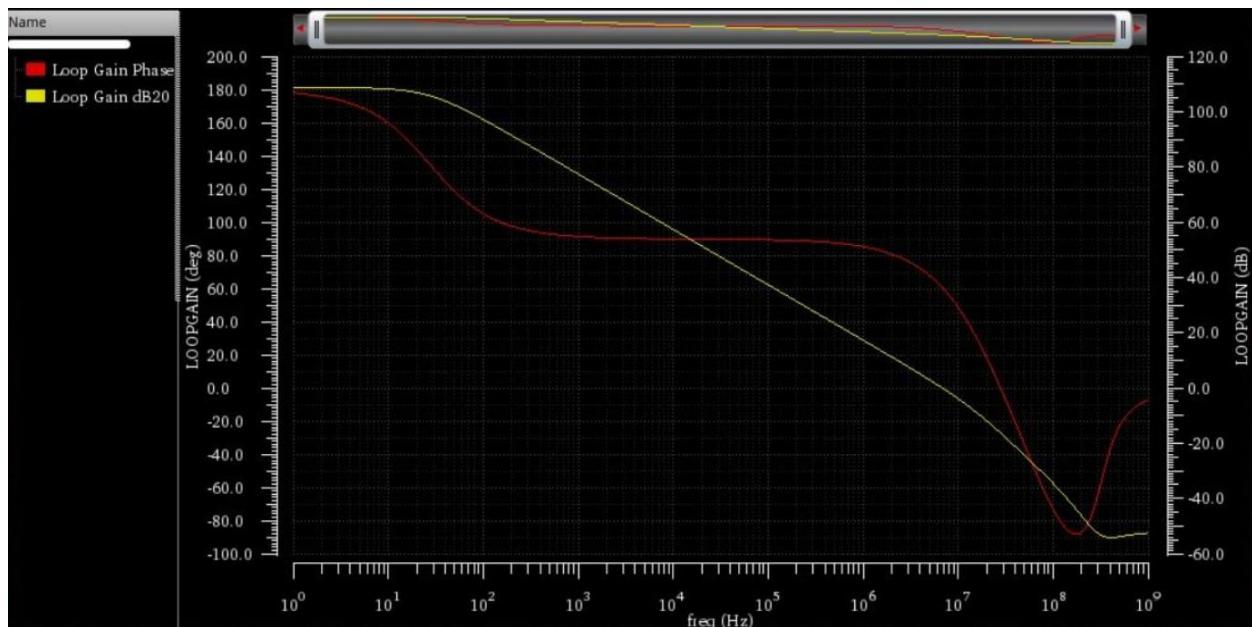
✓ Schema in interiorul AO-ului-Miller.



4.7 Circuit de testbench pentru OTA



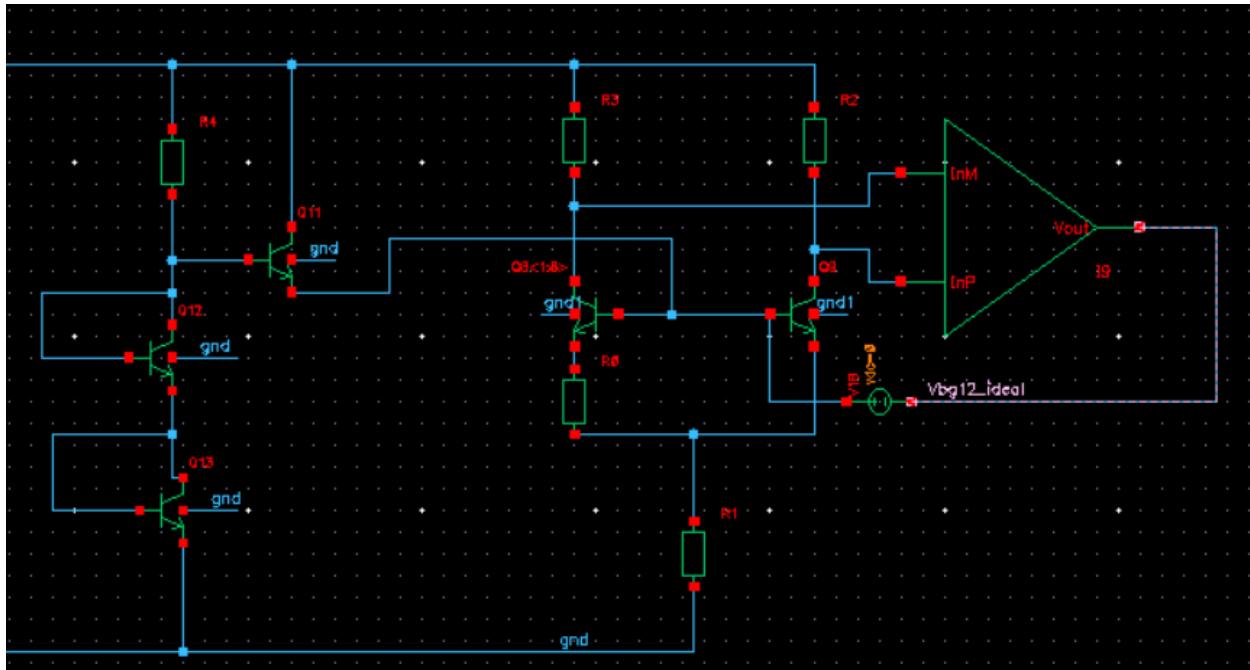
4.8 Simulare pentru determinarea amplificării si a defazajului la OTA



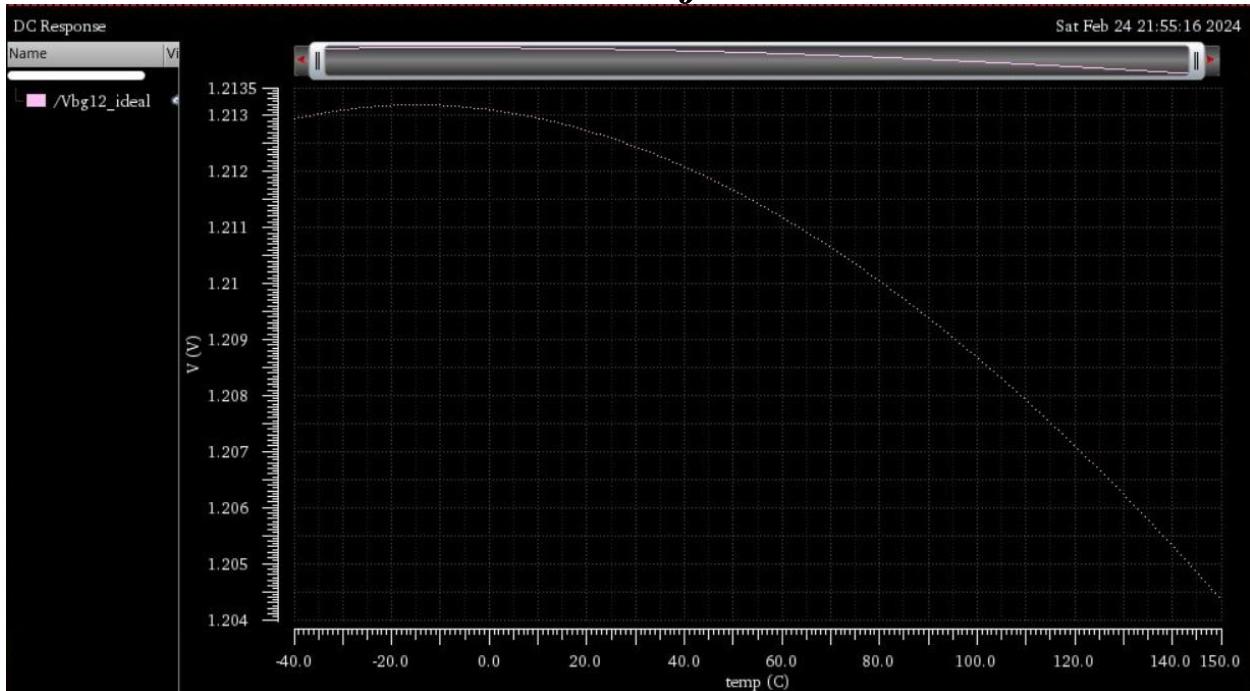
Rezultate:

Phase Margin	82.95
Phase Margin Frequency	784.1K
Gain Margin	26.62
A0	112.8

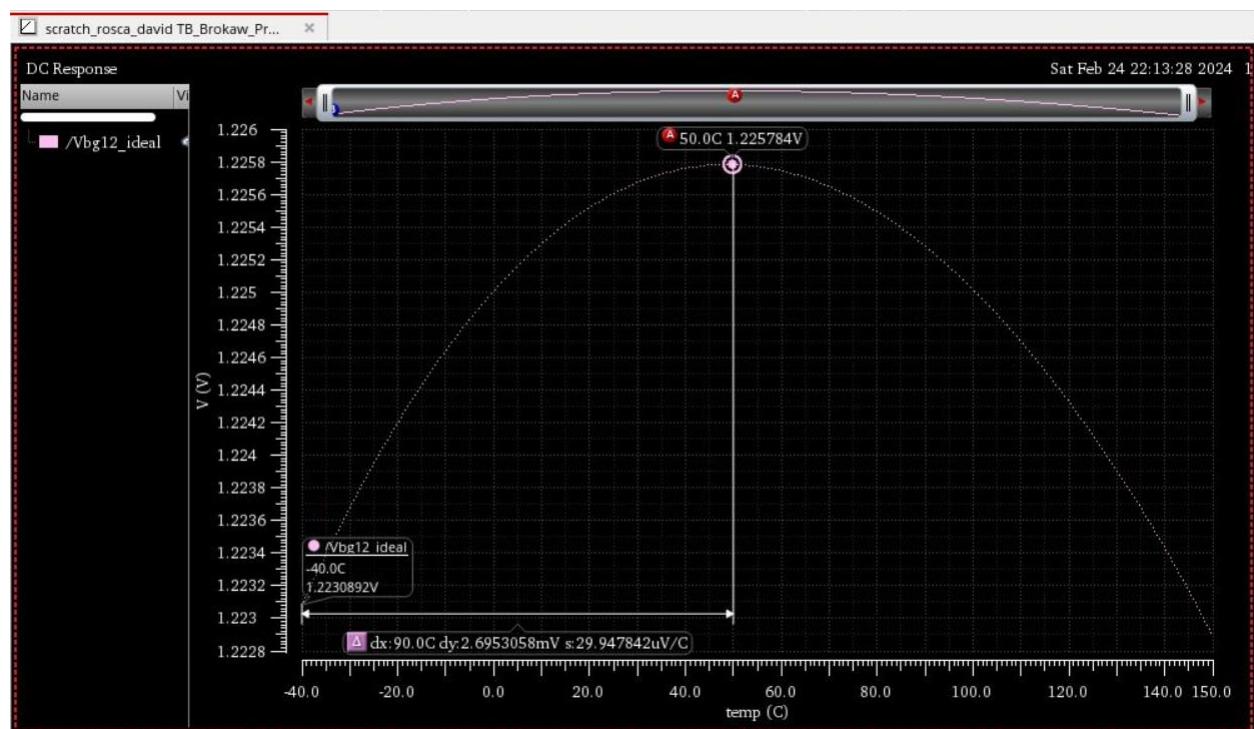
4.9 Circuitul implementat cu componente reale



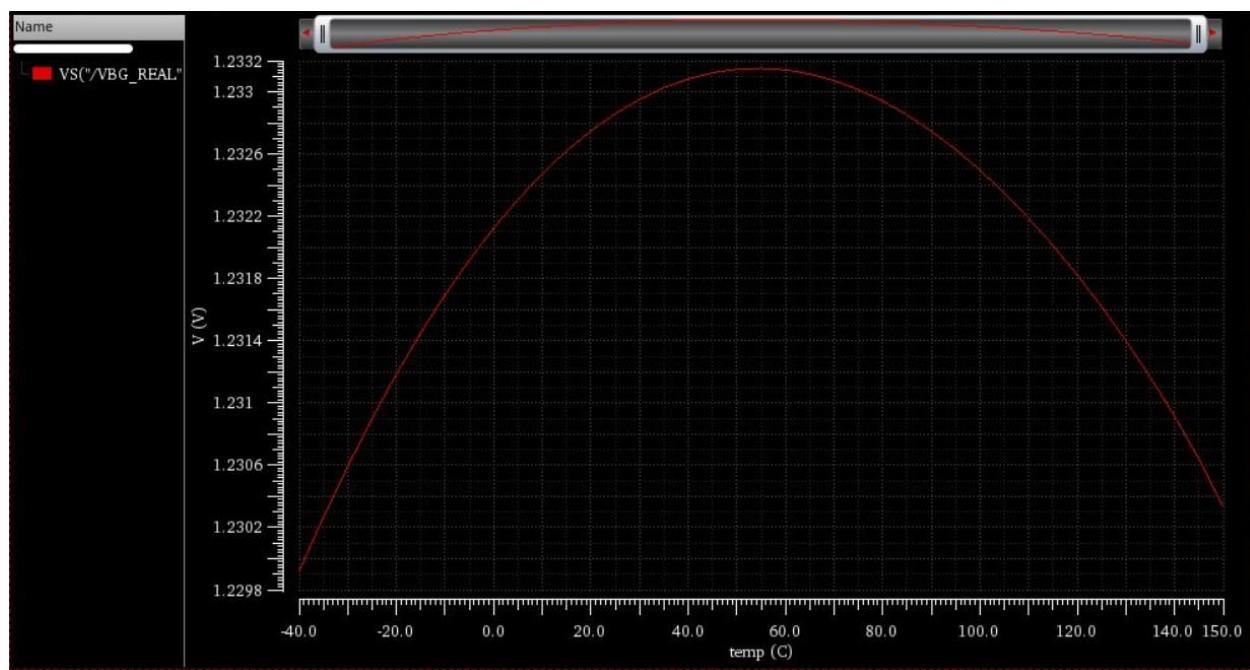
4.10 Simulare inainte de ajustarea rezistențelor



4.11 Simulare după ajustarea rezistențelor



4.12 Simulare cu OTA real și cu rezistente de proces



5. *Bibliografie*

1. Cursuri de la compania Infineon Technologies.
2. Cursuri de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Marius Neag.
3. Videoclipuri de la Infineon Technologies