

Tehnici CAD

- Proiect -

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca



Proiectarea unui circuit pentru controlul temperaturii într-o incintă

Student

Făgăraș Răzvan – Vasile

grupa 2123, semigrupa 1

Coordonatori

prof. dr. ing. Ovidiu Pop

asist. drd. ing. Elena Ștețco

Cuprins

1. Introducere.....	3
1.1 OrCad.....	3
1.2 PSpice	3
2. Cerințele și abordarea proiectului.....	4
2.1 Enunț	4
2.2 Specificații de proiectare	4
2.3 Principiul de funcționare	4
2.4 Schema Bloc a circuitului	5
2.5 Schema electrică a circuitului	5
3. Dimensionare circuit. Calcule	6
3.1 Oglinda de curent	6
3.2 Bufferul	8
3.3 Conversia de domeniu.....	9
3.4 Comparator. Calcularea pragurilor de comparare	13
3.5 LED-ul și modelarea acestuia.....	16
3.6 Rezistența bază tranzistor	18
3.7 Releul electromagnetic al centralei.....	19
4. Analize	20
4.1 Analiza Monte-Carlo	20
4.2 Analiza Worst-Case/Senzitivity.....	21
5. Bibliografie.....	23

1. Introducere

1.1 OrCad

OrCad este un pachet software destinat proiectării asistate de calculator a circuitelor electronice, al cărui producător este Cadence Design Systems.

Programul OrCad este folosit de inginerii electronicieni pentru a proiecta circuite electronice, pentru a face simulări, pentru a genera liste de materiale, precum și pentru a face proiecte de plăci de circuit imprimate.

Programul OrCad vine cu o suită de instrumente, inclusiv un editor schematic, un simulator SPICE, un editor de plăci de circuit, un modul de analiză termică, un generator de liste de materiale și multe altele. Aceste instrumente sunt integrate pentru a permite utilizatorilor să proiecteze, să simuleze și să producă circuite electronice cu ușurință.

1.2 PSpice

PSpice este un software de simulare a circuitelor electronice dezvoltat de compania Cadence Design Systems. Programul PSpice este utilizat pentru a simula comportamentul circuitelor electronice înainte de a fi construite fizic, pentru a testa funcționalitatea și performanța acestora și pentru a face optimizări înainte de fabricarea lor.

PSpice poate fi utilizat pentru a testa performanța circuitelor în condiții diferite, inclusiv variații ale temperaturii, ale tensiunii de alimentare, ale frecvenței și ale sarcinilor. De asemenea, PSpice poate simula componente electronice specifice, cum ar fi diode, tranzistoare, amplificatoare, convertizoare de putere, filtre și multe altele.

2. Cerințele și abordarea proiectului

2.1 Enunț

Să se proiecteze un sistem de control al temperaturii într-o incintă. Știind că senzorul de temperatură folosit poate să măsoare temperatura liniar în domeniul specificat în tabel coloana E, sistemul se va proiecta astfel încât temperatura din incintă să se mențină în intervalul specificat în coloana F. Senzorul de temperatură se va polariza în curent. Variația liniară a rezistenței electrice a senzorului cu temperatura este specificată în coloana G și trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul $[0 \div (V_{cc}-2V)]$. În incintă, temperatura este menținută în domeniul specificat cu ajutorul unei centrale termice comandată de un comparator și un releu electromagnetic. Ansamblul centrală termică-releu se va modela cu ajutorul unui rezistor. Starea centralei (pornită/oprită) este semnalizată de un LED, având culoarea specificată în tabel.

2.2 Specificații de proiectare

E	F	G	H	I
Domeniul de temperatură măsurabil $[^{\circ}C]$	Temperatura în incintă $[^{\circ}C]$	Rezistența senzorului $[k\Omega]$	VCC	Culoare LED
-5...+125	+15...+180	22k – 40k	15	PORTOCALIU

Tabel 1 - Specificații de proiectare

2.3 Principiul de funcționare

Circuitul de control al temperaturii are ca scop menținerea temperaturii într-un interval specificat într-o incintă. Pentru o înțelegere mai bună a fenomenelor, am împărțit circuitul în circuite bloc mai mici.

În primul rând am modelat o sursă de curent prin intermediul unei oglinzi de current care va induce un curent constant prin rezistența senzorului nostru.

Pasul următor va fi de a trece variația tensiunii măsurate pe rezistența senzorului printr-un repetor de tensiune, pentru a evita distorsiunile și pentru a avea adaptare de impedanță. Cu ajutorul unui amplificator diferențial vom extinde domeniul de variație al tensiunii pe care o măsurăm pe rezistența senzorului din oglindă cu $[0 \div (V_{cc}-2V)]$.

Apoi se vor determina tensiunile de prag ale temperaturii care trebuie menținută în incintă, iar prin intermediul unei centrale termice comandate cu un releu, temperatura va fi menținută între limitele cerute.

Prin intermediul releului electromagnetic, centrala poate fi oprită sau pornită în funcție de starea de ieșire a comparatorului, pentru a putea încălzi sau răci incinta. Se va utiliza și un LED pentru a semnaliza starea de oprit/pornit a centralei.

2.4 Schema Bloc a circuitului



Figura 1 - Schema BLOC

2.5 Schema electrică a circuitului

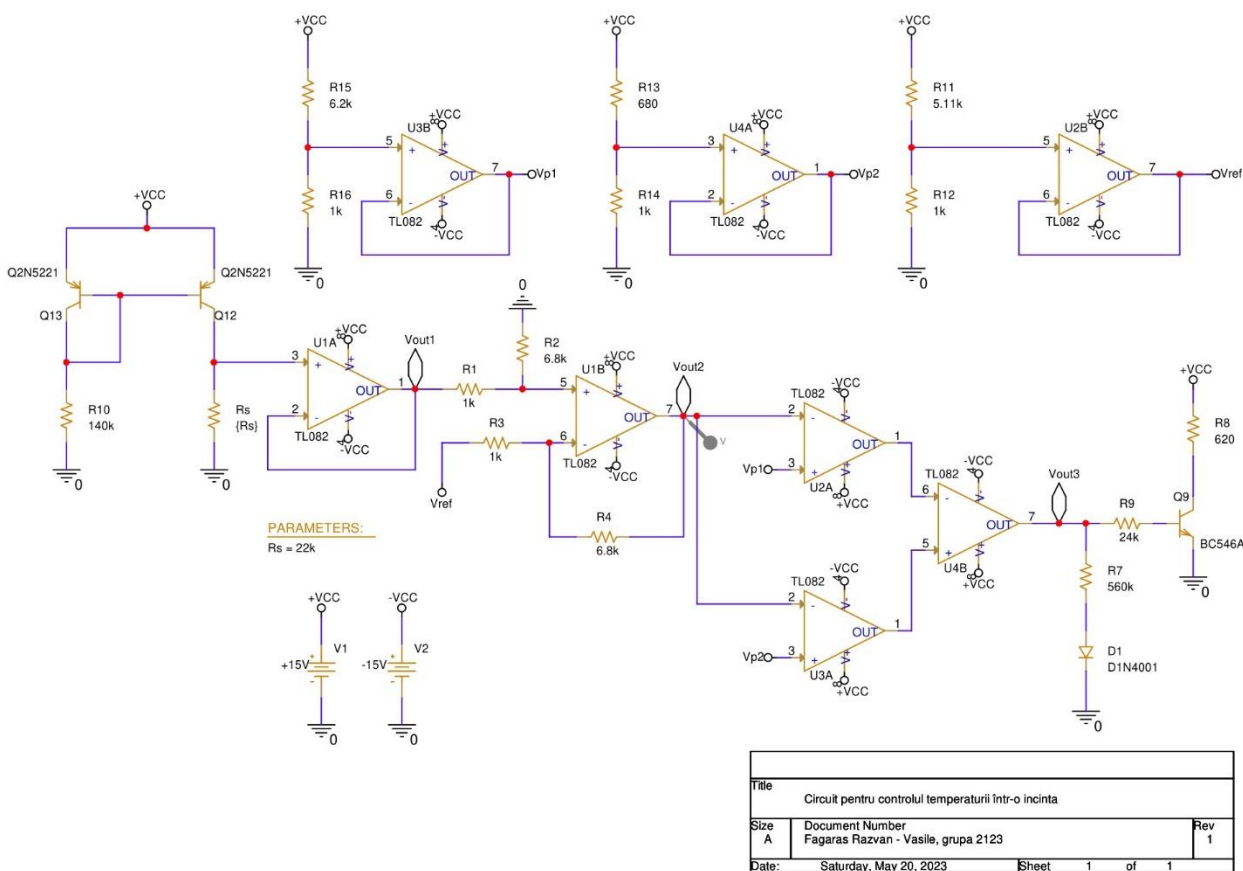


Figura 2 - Schema electrică a circuitului

3. Dimensionare circuit. Calcule

3.1 Oglinda de curent

În cazul nostru, avem un senzor de temperatură polarizat în curent, deci oglinda de curent este utilizată pentru a furniza curentul necesar senzorului, asigurând astfel o măsurare corectă și stabilă a temperaturii.

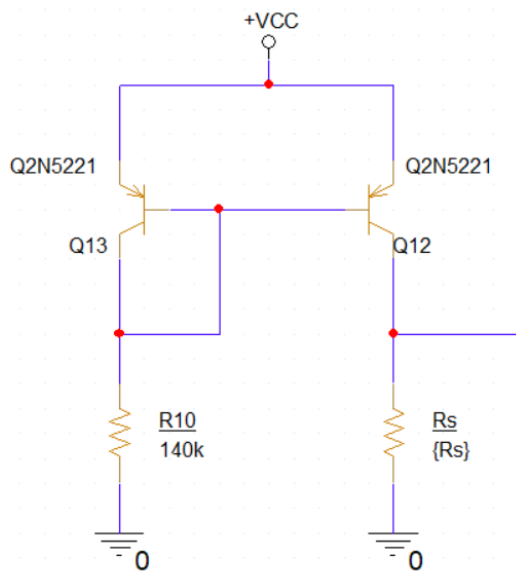


Figura 3 - Oglinda sabilizatoare de curent

În cazul oglinzii de curent am ales tranzistoare de tip PNP, modelul Q2N5221, iar în cazul curentului am ales arbitrar un curent de referință $I_C = 0.1\text{mA} = 100\mu\text{A}$.

O să calculez rezistența R_{10} din colectorul tranzistorului Q13, folosind relația (1):

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{10}} \quad (1)$$

$$\Rightarrow R_{10} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_C} = \frac{15 - 0.65}{0.1 \times 10^{-3}} = \frac{14.35}{0.1} \times 10^3 = 143.5\text{k}\Omega$$

Astfel obținem rezistența R_{10} de valoare $143.5\text{k}\Omega$, dar o să alegem $R_{10} = 140\text{k}\Omega$ cu o toleranță de $\pm 5\%$, seria E24, din tabelul cu valori standardizate.

În continuare o să calculez tensiunile maxime între care variază tensiunea măsurată pe rezistența senzorului.

$$V_{R_{s_{\min}}} = I_{\text{ref}} \times R_{b_{\min}} = 100 \times 10^{-6} \times 22 \times 10^3 = 2.2\text{V} \quad (2)$$

$$V_{R_{s_{\max}}} = I_{\text{ref}} \times R_{b_{\max}} = 100 \times 10^{-6} \times 40 \times 10^3 = 4\text{V} \quad (3)$$

Variația liniară a rezistenței electrice a senzorului de temperatură este transformată într-o variație de tensiune.

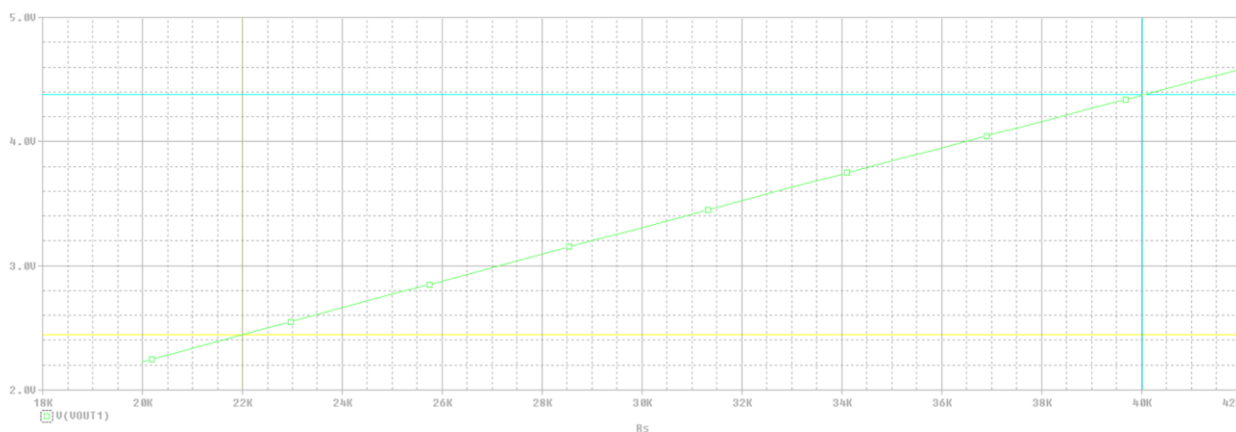
Observație: După efectuarea măsurărilor am constatat că din cauza neidealităților din circuit, valorile calculate diferă de cele măsurate, cu câteva zecimale. Astfel, am ales folosirea unui curent $I_c = 110\mu A$, în efectuarea celorlalte calcule. Astfel rezultă valorile din ecuațiile (4) respectiv (5).

Noile tensiuni vor fi:

$$V_{RS_{min}} = I_{ref} \times R_{b_{min}} \simeq 2.44V \quad (4)$$

$$V_{RS_{max}} = I_{ref} \times R_{b_{max}} \simeq 4.37V \quad (5)$$

Caracteristica de variație a tensiunii rezistenței senzorului se poate observa în graficul de mai jos, unde am amplasat un cursor la ieșirea V_{out1} și am rulat o analiză de tip DC-Sweep:



Grafic 1 - Caracteristica de variație a tensiunii senzorului

Amplasând un cursor pe graficul de mai sus putem vedea rezultatele simulării în tabelul de mai jos:

Probe Cursor										
	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2	Y1(Cursor1) - Y2(Cursor2)		1.9332		
		X Values	40.016K	22.000K	18.016K	Y1 - Y1(Cursor1)	Y2 - Y2(Cursor2)	Max Y	Min Y	Avg Y
	CURSOR 1,2	V(Rs:2)	4.3761	2.4429	1.9332	0.000	0.000	4.3761	2.4429	3.4095

Tabel 2 - Rezultatele simulării DC-Sweep

3.2 Bufferul

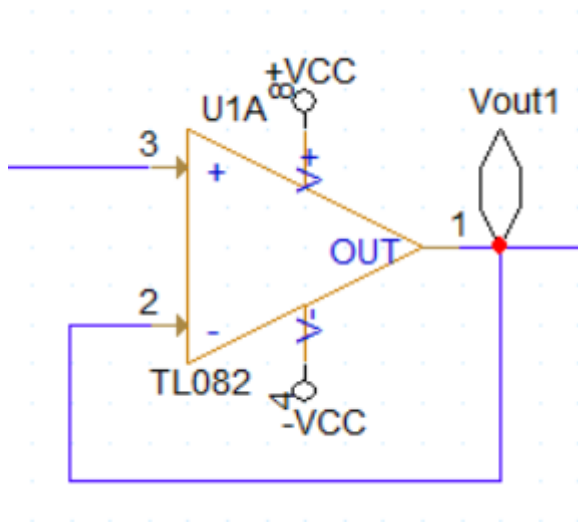


Figura 4 – Buffer (repeter de tensiune)

Rolul principal al unui buffer este de a amplifica și de a proteja semnalul, asigurându-se că acesta este transmis fără deteriorare sau interferențe către următoarele blocuri de circuit.

În urma unor simulări s-a constatat necesitatea implementării unui repeter de tensiune (Buffer). Astfel a fost implementat bufferul în circuitul nostru, pentru ca semnalul de la ieșirea senzorului să nu fie distorsionat și pentru a se realiza adaptarea de impedanță. În acest fel vom avea un transfer optim de tensiune.

În figurile de mai jos se poate observa diferența de tensiune atunci când avem bufferul conectat (Figura 5) și atunci când avem bufferul deconectat și avem legătură directă cu restul circuitului (Figura 6).

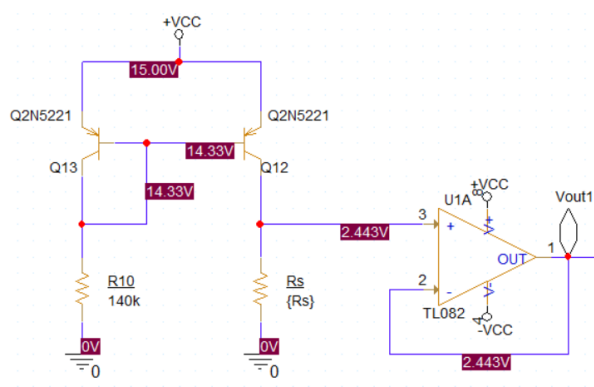


Figura 5 - Oglinda cu conexiune la Buffer

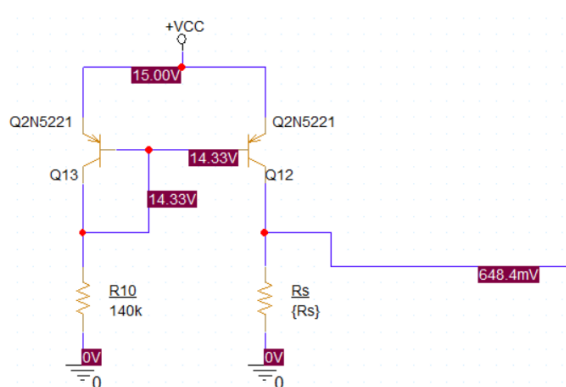


Figura 6 - Oglinda cu conexiune la Buffer

3.3 Conversia de domeniu

Am realizat extinderea de domeniu cu ajutorul unui amplificator diferențial. Amplificatorul diferențial amplifică diferența dintre cele două semnale de intrare, oferind astfel o amplificare a variației și extinderea domeniului de măsurare.

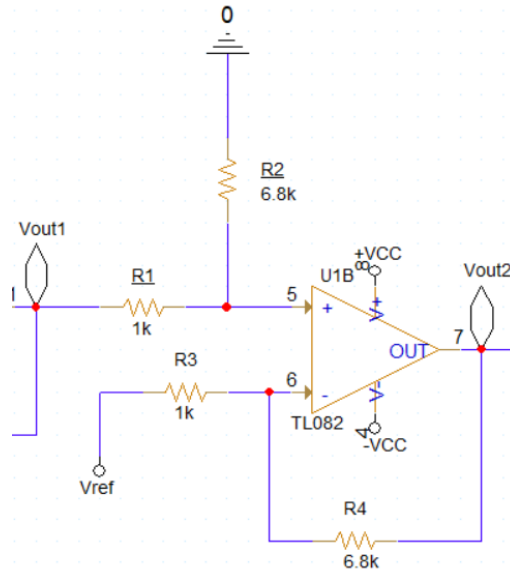


Figura 7 - Amplificatorul diferențial

O să deducem relațiile de funcționare pentru amplificatorul nostru, pentru că o să avem nevoie de acestea pentru realizarea calculelor viitoare:

$$v^+ = v^- \quad (6)$$

$$v^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{out1} \quad (7)$$

Aplicăm Millman pentru v^- și vom avea:

$$v^- = \frac{\frac{V_{ref}}{R_3} + \frac{V_{out2}}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \quad (8)$$

Dacă $R_3=R_1$ și $R_4=R_2$:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{out1} = \frac{\frac{V_{ref}}{R_3} + \frac{V_{out2}}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \quad (9)$$

$$\frac{R_3 + R_4}{R_3 \cdot R_4} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{out1} = \frac{V_{ref}}{R_1} + \frac{V_{out2}}{R_2} \quad (10)$$

$$V_{out2} = \frac{R_3 + R_4}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{out1} = \frac{R_4}{R_3} \cdot V_{ref} \quad (11)$$

$$V_{out2} = \frac{R_4}{R_3} (V_{out1} - V_{ref}) \quad (12)$$

O să scriem în continuare și relațiile amplificării:

$$V_{out2} = A_v \cdot (v^+ - v^-) \Rightarrow V_{out2} = A_v \cdot (v^+ - V_{ref}) \quad (13)$$

Conform cerințelor de proiectare, variația liniară a rezistenței electrice a senzorului cu temperatura este $[+15...+80][k\Omega]$. Aceasta trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul $[0:(V_{CC}-2V)]$.

$$[V_{RS_{min}}; V_{RS_{max}}] = [2.44; 4.37][V] \text{ devine } [0; V_{CC}-2][V] = [0; 13][V] \quad (14)$$

Acum vom calcula amplificarea folosind relația:

$$\begin{aligned} \Delta V_1 &= 4.37 - 2.44 = 1.93V \Rightarrow A = \frac{\Delta V_2}{\Delta V_1} = \frac{13}{1.93} = 6.73 \\ \Delta V_2 &= 13 - 0 = 13V \end{aligned} \quad (15)$$

Amplificarea se definește ca raportul dintre mărimea de ieșire și mărimea de intrare.

$$\delta = \frac{0V}{6.73} = 0V \Rightarrow V_{RS_{min}} - \delta = 2.44 - 0 = 2.44V \Rightarrow V_{ref} = 2.44V \quad (16)$$

Domeniul nescalat $[2.44; 4.37][V]$ trebuie translatat cu $V_{ref}(2.44V)$ pentru a putea fi amplificat cu $A=6.73$ și să rezulte domeniul $[0; 13V][V]$.

Aleg rezistențele $R_1=R_3=1k\Omega$ și $R_4=R_2=6.8k\Omega$ (valoarea calculată fiind $6.73k\Omega$, dar am ales din valorile standardizate o rezistență de valoare $6.8k\Omega$ cu o toleranță de $\pm 5\%$, seria E24). Din formula amplificării rezulta o rezistență în funcție de cealaltă.

$$A_V = \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow 6.73 = \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow R_4 = 6.73 \times R_3 \Rightarrow R_3 = 1k\Omega$$

$$\Rightarrow R_4 = 6.7k\Omega \quad (17)$$

Pentru a realiza o adaptare de impedanță și pentru precizia calculelor, am mai adăugat la tensiunea de referință un repetor de tensiune.

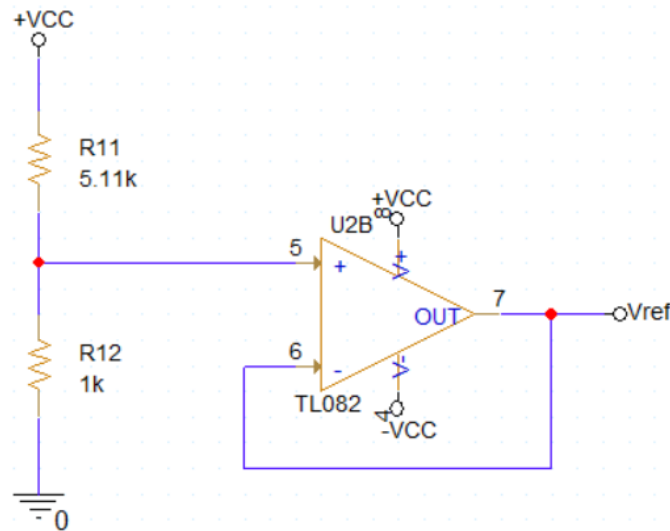


Figura 8 – Tensiunea de referință pentru amplificatorul diferențial

$$V_{ref} = \frac{R_{12}}{R_{12} + R_{11}} \times V_{CC} \quad (18)$$

$$\Rightarrow 2.44 \times R_{12} + 2.2 \times R_{11} = 15R_{12}$$

$$\Rightarrow 2.44 \times R_{11} = 12.56R_{12}$$

$$\Rightarrow R_{11} = 5.14R_{12} \Rightarrow R_{12} = 1k\Omega$$

$$\Rightarrow R_{11} = 5.14k\Omega$$

Aleg rezistența $R_{12}=1k\Omega$, iar din tabelul de valori standardizare aleg $R_{11}=5.11k\Omega$ cu o toleranță de $\pm 2\%$ din seria E48.

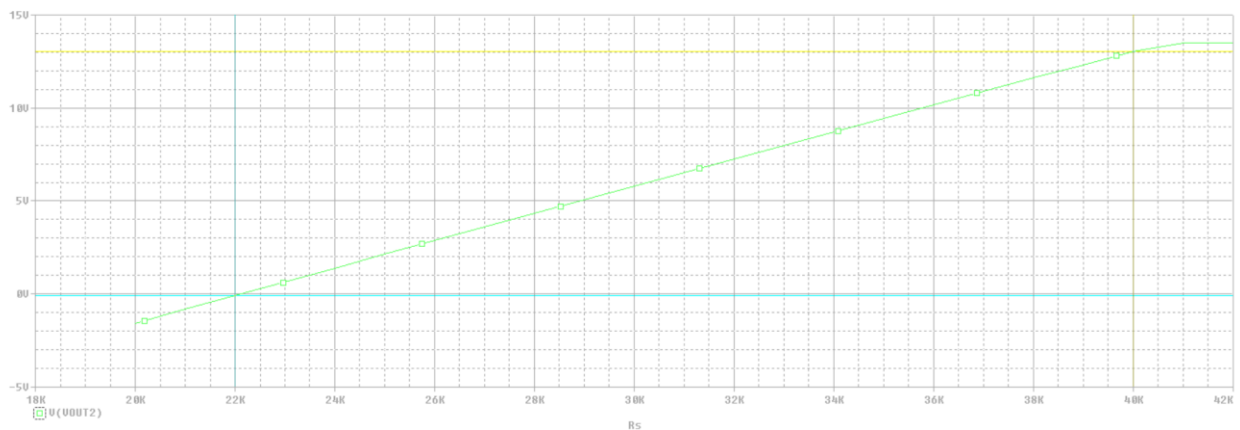
În continuare o să aplic Millman la A.O. și egalez intrările amplificatorului diferențial utilizând relația (19):

$$V_{02} = \frac{R_4}{R_3} (V_{01} - V_{ref}) \quad (19)$$

$$\Rightarrow V_{02_{min}} = \frac{6.8k}{1k} (2.44 - 2.44) = 0V$$

$$\Rightarrow V_{02_{max}} = \frac{6.8k}{1k} (4.37 - 2.44) = 6.8 \times 1.93 = 13.12V$$

Am rulat o simulare DC-Sweep în OrCad pentru a măsura variația tensiunii de la ieșirea V_{out2} a amplificatorului diferențial. Însă din cauza tensiunii de referință (V_{ref}) prea exacte, diferența dintre V_{out1} și V_{ref} ne rezultă o valoare negativă. Pentru a diminua această problemă am ales rezistența $R_{11}=5.11k\Omega$ cu o toleranță de $\pm 2\%$ din gama E48.



Grafic 2 - Variația tensiunii de la ieșirea amplificatorului diferențial

Probe Cursor										
	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2	Y1(Cursor1) - Y2(Cursor2)		-13.133		
		X Values	22.000K	40.000K	-18.000K	Y1 - Y1(Cursor1)	Y2 - Y2(Cursor2)	Max Y	Min Y	Avg Y
	CURSOR 1,2	V(VOU2)	-82.642m	13.050	-13.133	0.000	0.000	13.050	-82.642m	6.4839

Tabel 3 - Rezultatele simulării

3.4 Comparator. Calcularea pragurilor de comparare

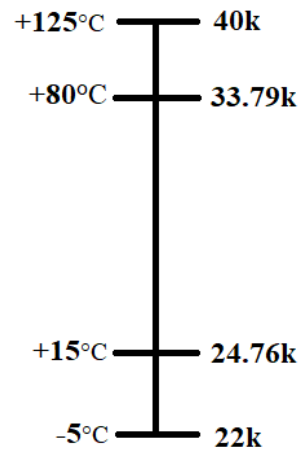


Figura 7 - Schema domeniilor de variație

Variația liniară a rezistenței electrice a senzorului cu temperature este (22-40)[kΩ]. În continuare o să determinăm variația rezistenței (20), respectiv variația temperaturii (21):

$$\Delta R = 40k - 22k = 18k\Omega \quad (20)$$

$$\Delta ^\circ C = 125^\circ + 5^\circ = 130^\circ \quad (21)$$

Vom define o mărime intermediară β pentru a afla cu câți $\Omega/^\circ C$ variază domeniul nostru (22):

$$\beta = \frac{18k}{130^\circ} = 0.138 \times 10^3 = 138 \frac{\Omega}{^\circ C} \quad (22)$$

Acum voi calcula rezistențele pentru domeniul de temperatură din incintă, respectiv (+15...+80)[°C].

$$\Rightarrow R_1 = 22k + 20^\circ C \times 138 \frac{\Omega}{^\circ C} = 22k + 2.76k = 24.76k\Omega \quad (23)$$

$$\Rightarrow R_2 = 40k - 45^\circ C \times 138 \frac{\Omega}{^\circ C} = 40k - 6.21k = 33.79k\Omega \quad (24)$$

Acum vom calcula tensiunea pe rezistențele respective:

$$V_{R1} = 24.76 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-4} = 2.476V \quad (25)$$

$$V_{R2} = 33.79 \times 10^{-1} = 3.379V \quad (26)$$

Observație: Pentru că stabilizarea curentului nu este perfectă, prin rezistența noastră trece un current de 111μA și nu cel ales de 100μA. Din această cauză, tensiunile noastre măsurate sunt:

$$V_{R1} = 2.748V \quad (27)$$

$$V_{R2} = 3.750V \quad (28)$$

Prin urmare vom folosi valorile (27) și (28), măsurate în OrCad, pentru corectitudinea calculelor.

În continuare vom determina pragurile:

$$V_{p1} = 6.73 \times (2.748 - 2.44) = 6.73 \times 0.308 = 2.07 \quad (29)$$

$$V_{p2} = 6.73 \times (3.75 - 2.44) = 6.73 \times 1.31 = 8.81 \quad (30)$$

Determin cu ajutorul divizorului de tensiune rezistențele pragurilor:

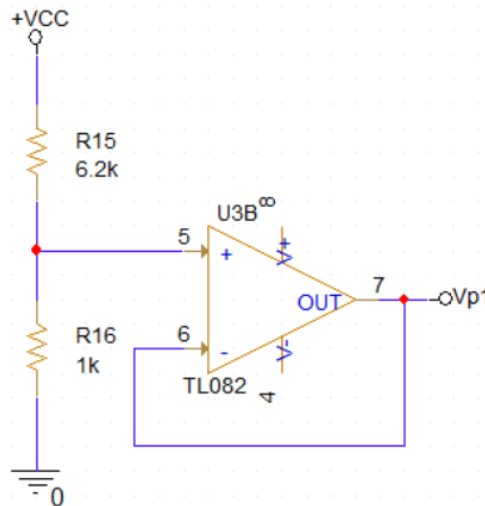


Figura 8 - Schema primului prag

O să determin rezistențele primului prag.

Folosind relația (31) vom determina rezistența R_{15} , iar rezistența R_{16} o vom alege de valoare $1k\Omega$:

$$V_{P1} = \frac{R_{16}}{R_{15} + R_{16}} \cdot V_{CC} \quad (31)$$

Astfel o să avem:

$$\Rightarrow (R_{15} + R_{16}) \cdot V_{P1} = R_{16} \cdot V_{CC} \quad (32)$$

Înlocuind în relația (32) o să rezulte:

$$\Rightarrow R_{15} = 6.24k\Omega$$

$$\Rightarrow R_{16} = 1k\Omega$$

O să alegem rezistența R_{15} de valoare $6.2k\Omega$ cu o toleranță de $\pm 5\%$, din gama E24.

În continuare o să determine rezistențele pentru al doilea prag:

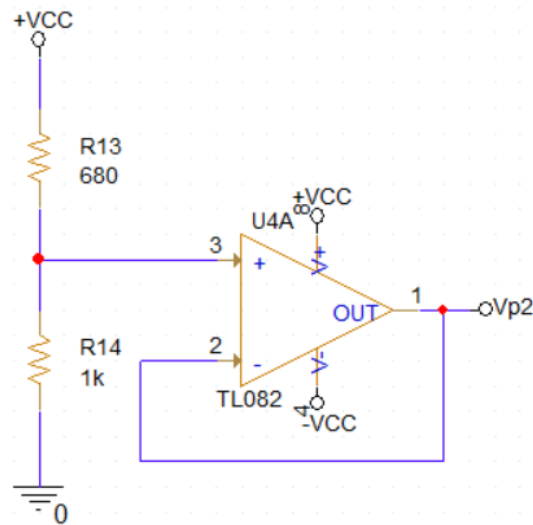


Figura 9 - Schema pragului doi

Folosind relația (33) vom determina rezistența R_{13} , iar rezistența R_{14} o vom alege de valoare $1k\Omega$:

$$V_{P2} = \frac{R_{14}}{R_{13} + R_{14}} \cdot V_{CC} \quad (33)$$

Astfel o să avem:

$$\Rightarrow (R_{13} + R_{14}) \cdot V_{P1} = R_{14} \cdot V_{CC} \quad (34)$$

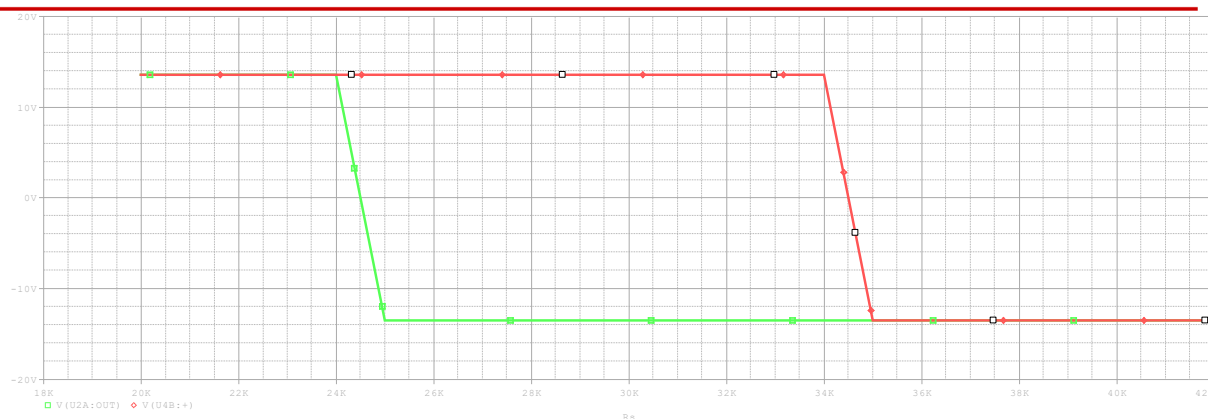
Înlocuind în relația (34) o să rezulte:

$$\Rightarrow R_{13} = 700\Omega$$

$$\Rightarrow R_{14} = 1k\Omega$$

O să alegem rezistența R_{13} de valoare 680Ω cu o toleranță de $\pm 5\%$, din gama E24.

După introducerea valorilor în program, am amplasat câte un cursor la ieșirile celor două comparatoare și am rulat o analiză de tip DC-Sweep, iar ca rezulta avem o histereză.



Grafic 3 – Măsurarea ieșirilor celor două comparatoare

3.5 LED-ul și modelarea acestuia

Conform specificațiilor de proiectare, culoarea led-ului este portocalie (orange LED).



Figura 10 – LED portocaliu

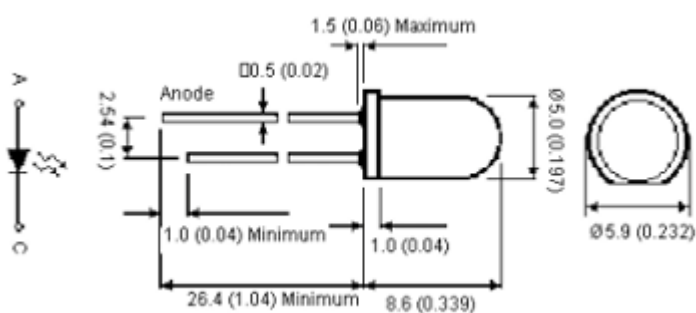
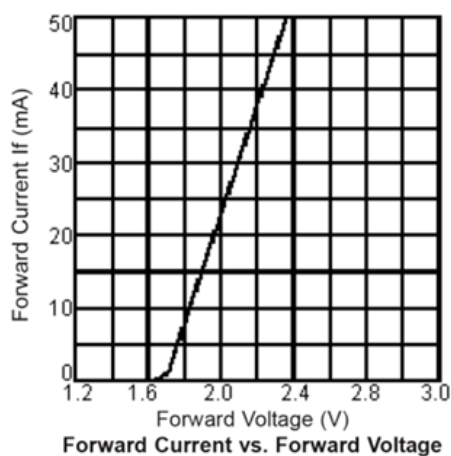


Figura 11 – Dimensiunile unui LED

Mai jos am modelat LED-ul. Am căutat pe internet datele de catalog ale led-ului portocaliu. Pentru testarea LED-ului am creat un nou proiect în care am verificat curentul prin acesta. Mai întâi m-am folosit de graficul de mai jos pentru a extrage datele și a le implementa în model editor.



Grafic 4 - Caracteristica diodei

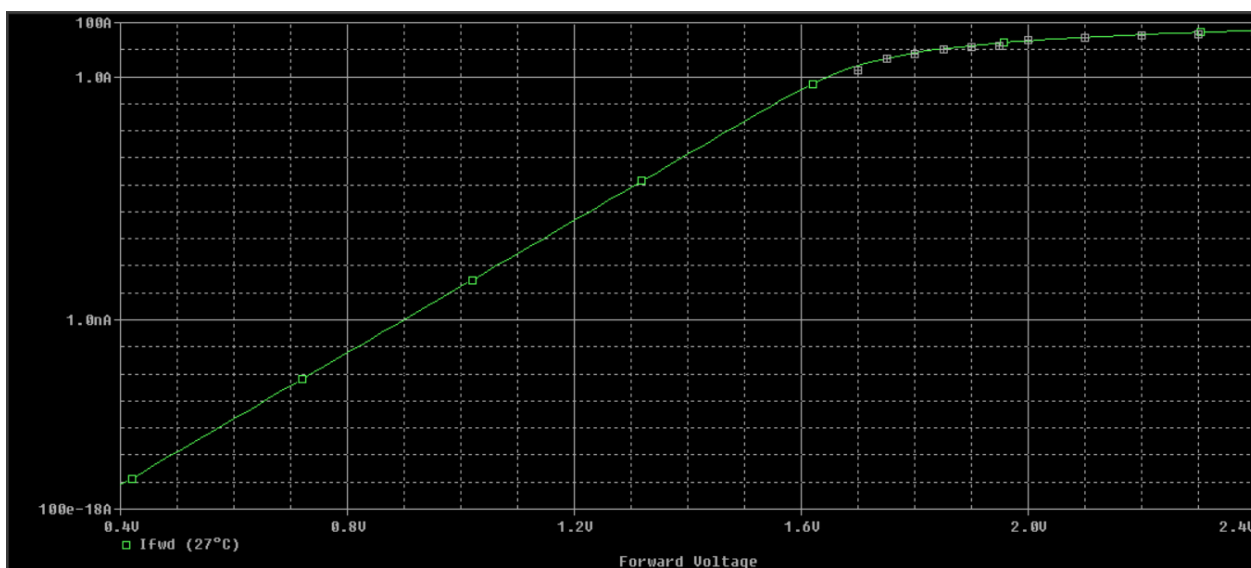
Introducem datele de pe grafic în tabelul din programul PSpice Model Editor:

#	Vfwd	Ifwd
1	1.6	0
2	1.7	2
3	1.75	5
4	1.8	7.5
5	1.85	11
6	1.9	14
7	1.95	16
8	2	24

#	Vfwd	Ifwd
5	1.85	11
6	1.9	14
7	1.95	16
8	2	24
9	2.1	30
10	2.2	37
11	2.3	43
12	2.4	50

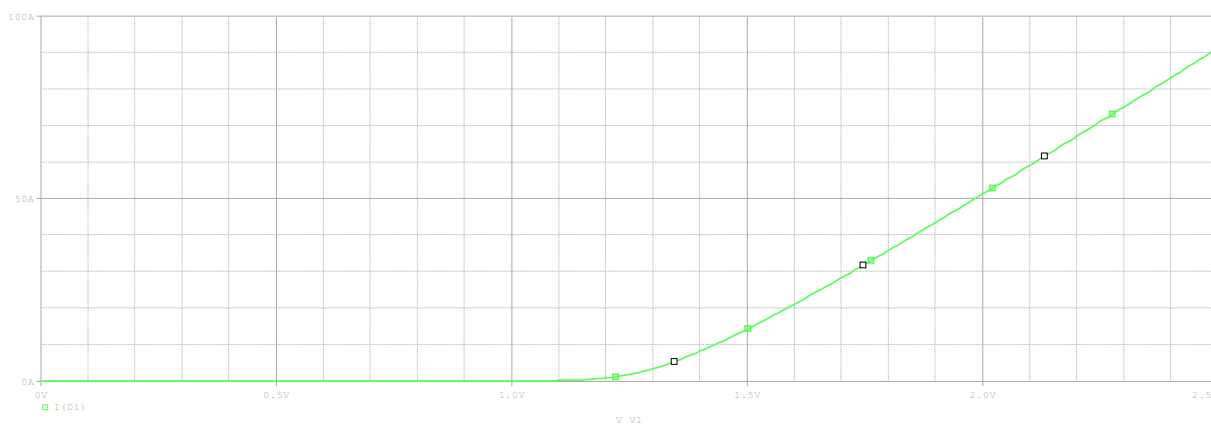
Figura 12 - Tabelul cu datele introduse ale caracteristicii diodei

După introducerea datelor în tabelul din programul Model Editor, a rezultat următorul grafic:



Grafic 5 - Caracteristica punctelor introduse în table

Pentru a vizualiza tensiunea la care dioda se deschide, am rulat o analiză DC-Sweep



Grafic 6 - Caracteristica tensiunii de prag a diodei

În continuare o să calculez valoarea rezistenței din anodul diodei. Am ales din fișa de catalog a led-ului un curent de 20mA.

$$I_D = 20mA \Rightarrow R_D = \frac{V_{03} - V_D}{I_D} = \frac{13.12 - 2}{20m} = \frac{11.12}{20} \times 10^3 = 556\Omega$$

Am ales din tabelul de valori standard, $R_D = 560\Omega$ cu o toleranță de $\pm 5\%$, din gama E24.

Absolute Maximum Ratings ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Maximum	Unit
Continuous Forward Current	30	mA
Derating Linear From 50°C	0.4	mA/°C
Reverse Voltage	5	V
Operating Temperature Range	-40°C to +80°C	
Storage Temperature Range		
Lead Soldering Temperature [4mm (0.157 inch) from body]	260°C for 5 Seconds	

Tabel 4 - Parametrii din foaia de catalog a LED-ulu

3.6 Rezistența bază tranzistor

Calculez rezistența din baza tranzistorului cu ajutorul relației (35):

$$R_B = \frac{V_{03} - V_{BE}}{I_B} \quad (35)$$

Astfel din relația (35) vom obține:

$$\Rightarrow R_B = \frac{13.12 - 0.65}{0.5m} = \frac{12.47}{0.5} \cdot 10^3 = 24.9k\Omega$$

Am ales din tabelul de valori standard, $R_B = 24k\Omega$, cu o toleranță de $\pm 5\%$, din gama E24.

3.7 Releul electromagnetic al centralei

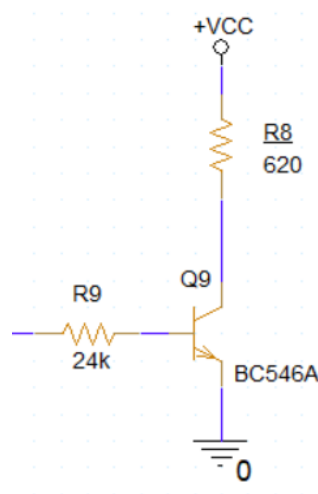


Figura 13 - Configurația releului

Presupunem că releul consumă un curent de 20mA.

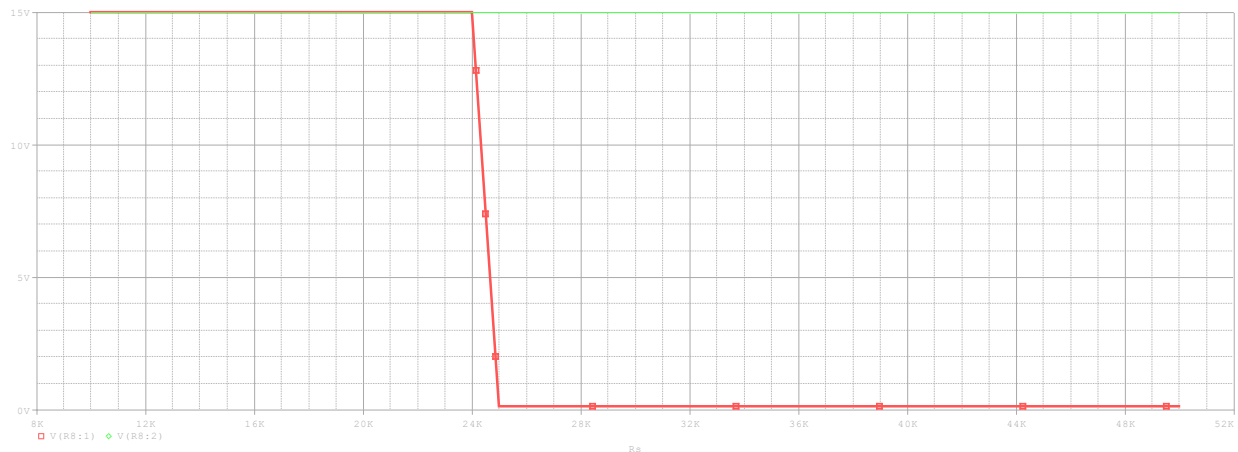
O să determinăm rezistența releului din relația (36):

$$R_{releu} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{releu}} \quad (36)$$

Astfel vom obține:

$$R_{releu} = \frac{15 - 0.65}{20m} = \frac{14.35}{20} \cdot 10^3 = 717\Omega$$

Pentru rezistența releului vom alege din tabelul de valori standard o rezistență de 750Ω , cu o toleranță de $\pm 5\%$ și din gama E24.



Grafic 7 - Caracteristica tensiunii releului

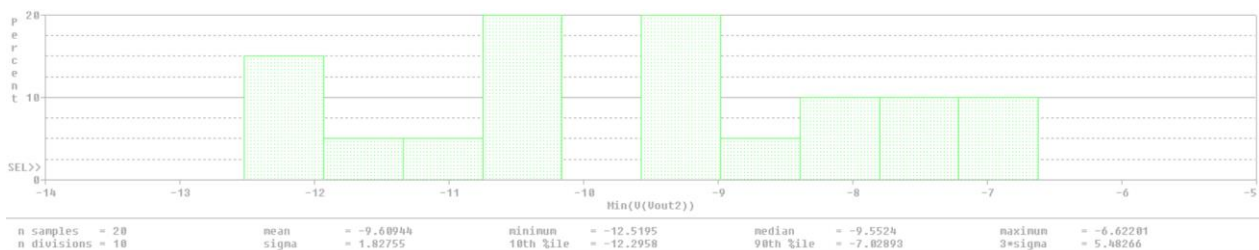
4. Analize

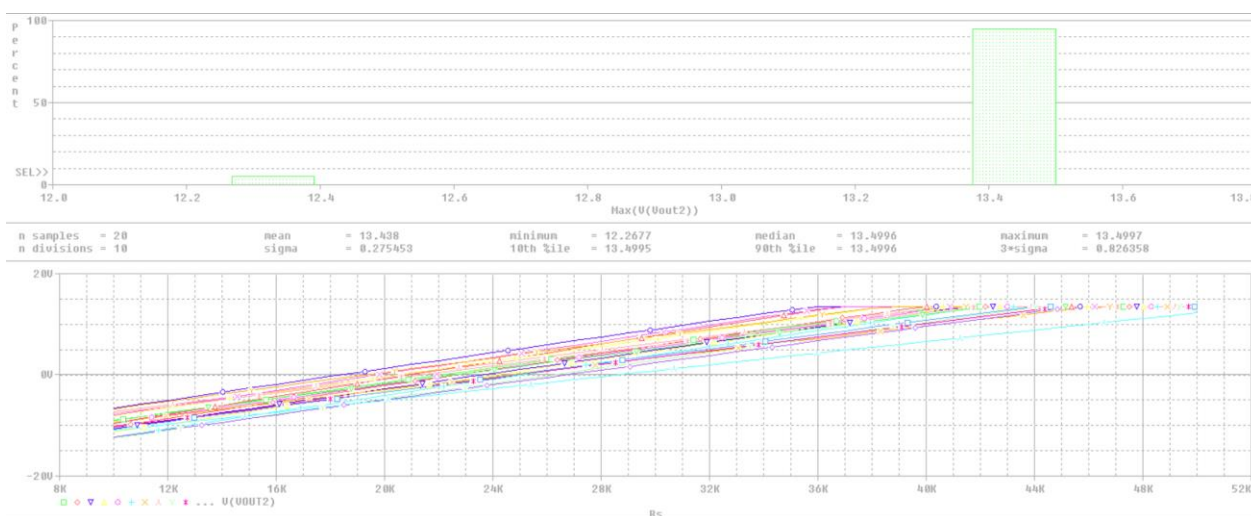
4.1 Analiza Monte-Carlo

Analiza Monte-Carlo constituie cel mai bun mod de analiză al unui circuit din punct de vedere statistic, de a observa cum se comportă circuitul respectiv la variații ale valorilor componentelor.

Analiza Monte-Carlo determină, statistic, comportarea circuitului când valorile componentelor sunt modificate în domeniul lor de toleranță.

Pentru a rula analiza Monte-Carlo, am setat mai întâi toate toleranțele rezistențelor din circuit, iar apoi am setat o analiză principală de tipul DC-Sweep la care am baleat parametrul R_s și am amplasat un cursor de tensiune la ieșirea V_{out2} . Toleranțele pe care le-am introdus rezistențelor au fost de $\pm 5\%$ și de $\pm 2\%$.





Grafic 8 - Graficele rezultate în urma simulării Monte-Carlo

Din prima histogramă se poate deduce că valoarea minimă de -12.5195V are mai multe șanse de a fi regăsită la ieșirea V_{out2} .

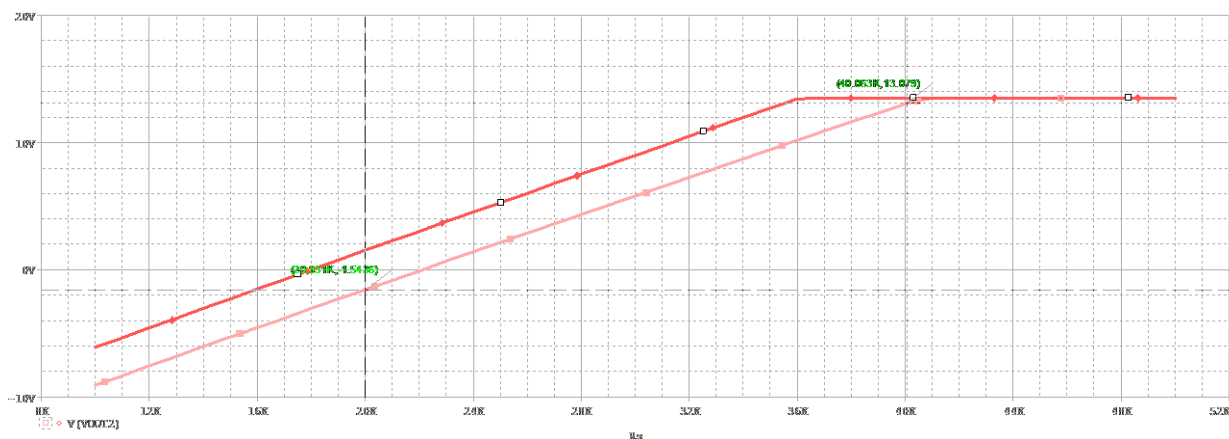
Din a doua histogramă se poate deduce că valoarea maximă de 13.4997V are mai multe șanse de a fi regăsită la ieșirea V_{out2} .

4.2 Analiza Worst-Case/Senzitivity

Senzitivity identifică care dintre parametri componentelor sunt critici pentru funcționarea circuitului. Această analiză determină în ce măsură afectează funcționarea circuitului fiecare dintre componente, mai exact dacă acestea acționează singure sau împreună cu alte componente.

Această analiză se folosește pentru a determina componentele sensibile, apoi rezultatele se exportă utilizatorului Optimizer pentru a calibra comportarea circuitului.

În cazul rulării acestei simulări am procedat asemănător ca la analiza Monte-Carlo, având aceeași analiză principală și aceeași parametrii.



Grafic 9 - Graficul rezultat în urma analizei Worst-Case/Senzitivity

WORST CASE ALL DEVICES			
Device	MODEL	PARAMETER	NEW VALUE
R_R1	R_R1	R	.95 (Decreased)
R_R3	R_R3	R	1.05 (Increased)
R_R4	R_R4	R	.95 (Decreased)
R_R7	R_R7	R	1 (Unchanged)
R_R8	R_R8	R	1.02 (Increased)
R_R9	R_R9	R	1 (Unchanged)
R_R10	R_R10	R	.95 (Decreased)
R_Rs	R_Rs	R	1.05 (Increased)
R_R11	R_R11	R	1.05 (Increased)
R_R12	R_R12	R	.95 (Decreased)
R_R13	R_R13	R	1 (Unchanged)
R_R14	R_R14	R	1 (Unchanged)
R_R15	R_R15	R	1.05 (Increased)
R_R16	R_R16	R	1.05 (Increased)

WORST CASE SUMMARY	
Mean Deviation =	3.2599
Sigma =	0
RUN	MAX DEVIATION FROM NOMINAL
WORST CASE ALL DEVICES	
3.2599 higher at Rs = 36.0000E+03	
(132.07% of Nominal)	

Figura 14 - Fișierele de ieșire ale analizei Worst-Case/Senzitivity

5. Bibliografie

- [1] Proiectare asistată de calculator. Aplicații – Ovidiu Pop, Raul Fizeșan, Gabriel Chindriș, Editura U.T.PRESS, Cluj-Napoca, 2013.
- [2] Cursuri “Dispozitive electronice” – Ovidiu Pop.
- [3] Cursuri “Tehnici CAD” – Ovidiu Pop.
- [4] Suport Laborator Tehnici CAD – Elena Ștețco
- [5] LED Datasheet
- [6] Fișier date de catalog rezistențe E24+5%/E48+2%