

UNIVERSITATEA TEHNICĂ CLUJ-NAPOCA

Aparat pentru măsurarea temperaturii

MOȚ ANA-MARIA

ETTI

Grupa 2123

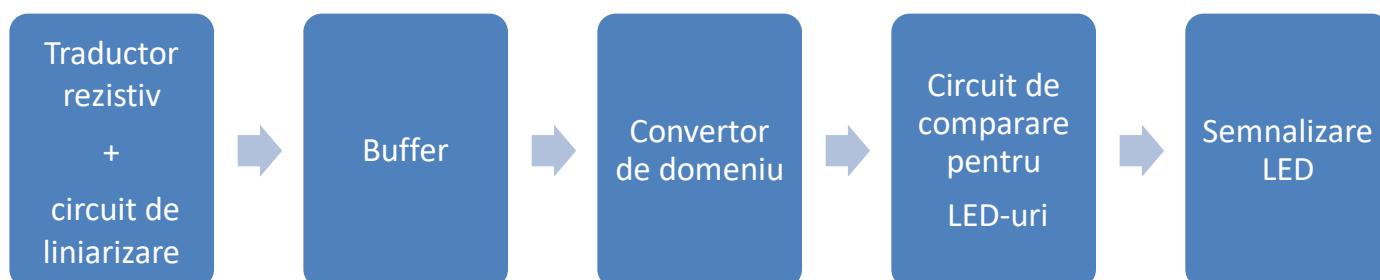
CUPRINS

I.	Specificații de proiectare.....	pag3
II.	Schema bloc.....	pag3
III.	Schema electrică.....	pag4
IV.	Dimensionarea circuitului.....	pag5
V.	Simulări.....	pag13

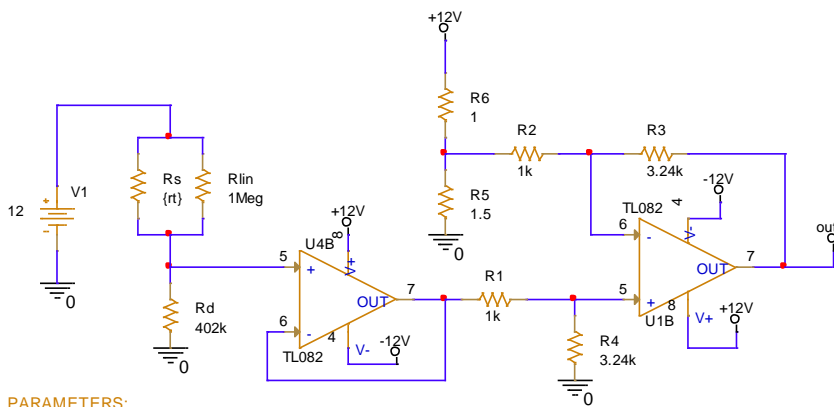
I. Cerințe de proiectare

Să se proiecteze un aparat pentru măsurarea temperaturii în domeniul de temperatură $-50^{\circ}\text{C} \dots +150^{\circ}\text{C}$. Circuitul este prevăzut cu 5 indicatoare luminoase (LED) care semnalizează depășirea pragurilor (mai mic decât -25°C , între -25°C și $+25^{\circ}\text{C}$, între 25°C și 50°C , între 50°C și 100°C , și mai mare decât 100°C). Circuitul este alimentat de la tensiunea de $\pm 12\text{V}$. LED-urile sunt de culori diferite pentru fiecare domeniu specificat. Rezistența electrică a traductorului de temperatură variază neliniar cu temperatura între 47k - 270k , iar în acest sens se va proiecta un circuit de liniarizare pentru aceasta. Circuitul este prevăzut cu extinderea domeniului de măsură, luând în calcul valoarea maximă a tensiunii de alimentare. Modul de semnalizare este de tip coloană (fiecare LED este aprins și rămâne aprins cu depășirea domeniului).

II. Schema Bloc

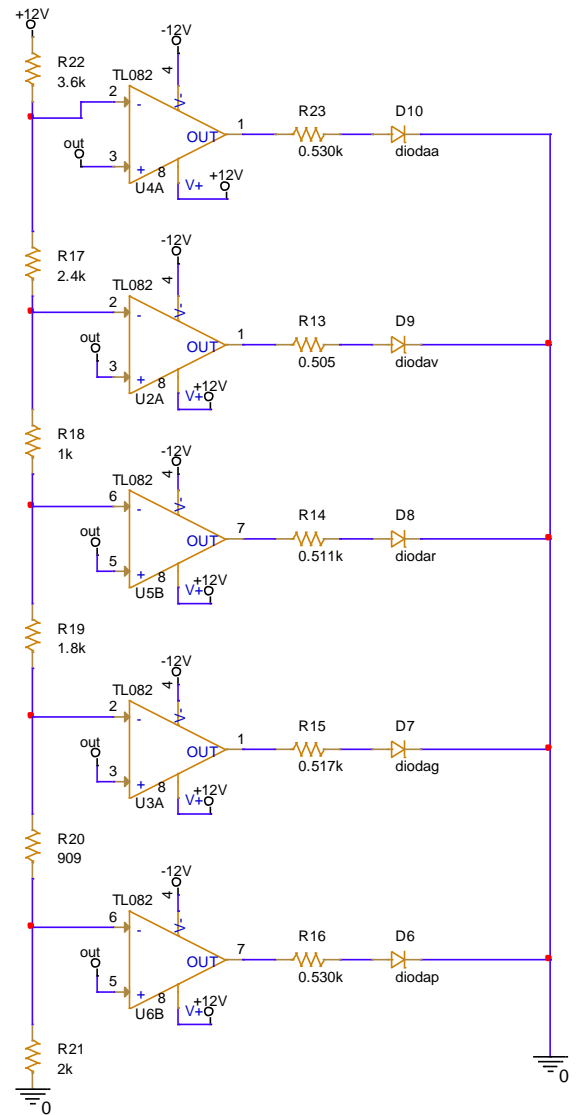
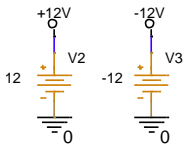


III. Circuit



PARAMETERS:

$r_t = 270k$



IV. Dimensionare

- **Traductor rezistiv + circuit de liniarizare**

Pentru partea de senzor vom folosi un traductor rezistiv, adică o rezistență cu care o să formăm un divizor de tensiune în scopul de a măsura căderea de tensiune pe senzor. De asemenea, rezistența variind neliniar cu temperatura, va fi necesar să o conectăm în paralel cu o altă rezistență de valoare mult mai mare în scopul de a liniariza caracteristica.

În acest sens, în urma unei analize repetate de performanță, am ales ca valoarea rezistenței de liniarizare să fie de $1\text{M}\Omega$ (E48, toleranța $\pm 2\%$) și rezistența din divizor de valoare $402\text{k}\Omega$ (E48, toleranța $\pm 2\%$).

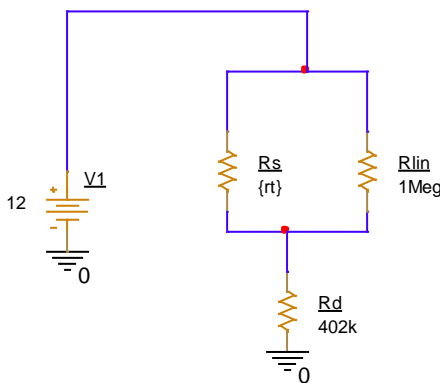


Figura 1: Senzorul

Pentru rezistența senzorului vom folosi funcția Param și vom varia valoarea acestuia conform domeniului indicat în cerințe. Așadar, la ieșirea senzorului o să avem o tensiune minimă și una maximă.

Valoare maximă:

$$R_s \parallel R_{lin} = \frac{47 \times 10^3 \times 1 \times 10^6}{(47 + 1000) \times 10^3} = 44,89 \text{ k}\Omega = R_{min}$$

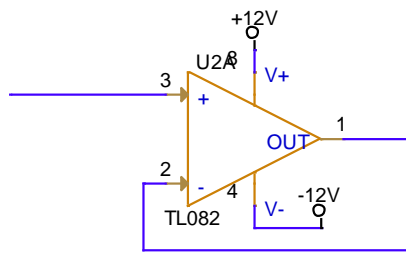
$$V_{out_min} = \frac{R_d}{R_{min} + R_d} \times V1 = \frac{402k}{(44,89 + 402)k} \times 12V = 10,79V$$

Valoare minimă:

$$R_s \parallel R_{lin} = \frac{270 \times 10^3 \times 1 \times 10^6}{(270 + 1000) \times 10^3} = 212,6 \text{ k}\Omega = R_{max}$$

$$V_{out_max} = \frac{R_d}{R_{max} + R_d} \times V1 = \frac{402k}{(212,6 + 402)k} \times 12V = 7,85V$$

• Buffer

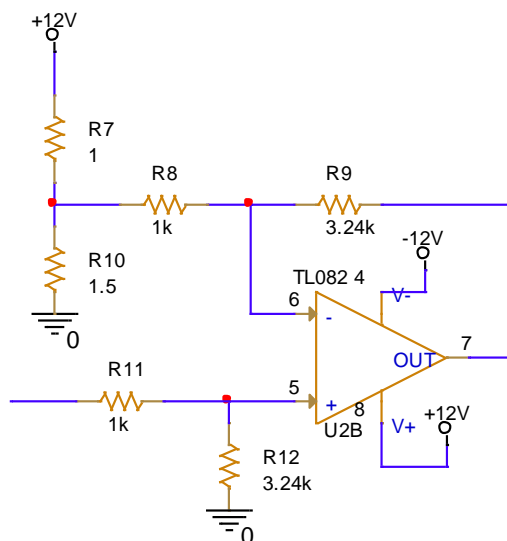


Repetorul de tensiune cu AO este folosit ca adaptor de impedanță pentru transfer maxim în tensiune. Pentru realizarea lui am folosit amplificatorul operațional TL082 care are:

- Tensiunea de alimentare: $\pm 18V$
- Interval de temperatură de funcționare: $0-70^{\circ}C$
- Slew Rate: $13V/\mu s$
- Gain Bandwidth: $4MHz$
- Curent maxim: $5,6mA$

Tensiunea de la ieșirea repetorului va varia între $V_{out_min}=7,87V$ și $V_{out_max}=10,50V$.

• Convertor de domeniu



În realizarea amplificatorului diferențial am folosit același amplificator operațional TL082 ca la repetorul de tensiune.

Tensiunea la ieșirea din repetor variază între $7,87V$ și $10,50V$, dar vrem să varieze între $2V$ și $10,50V$, implicit avem nevoie de o amplificare pe care o vom realiza cu ajutorul acestui tip de amplificator.

Deci între $7,87-10,50$ avem $2,63$, iar între variația dorită $8,5$. De aici rezultă:

$$2,63 \times A_v = 8,5$$

$$A_v = 3,23$$

În mod normal am avea nevoie de o sursă de tensiune pe intrarea inversoare a amplificatorului

$$\Rightarrow (V_{out_max} - V_{ref}) \times A_v = V_{out_max}$$

$$\Rightarrow 33,91 - 3,23 V_{ref} = 10,5$$

$$\Rightarrow V_{ref} = 7,25V$$

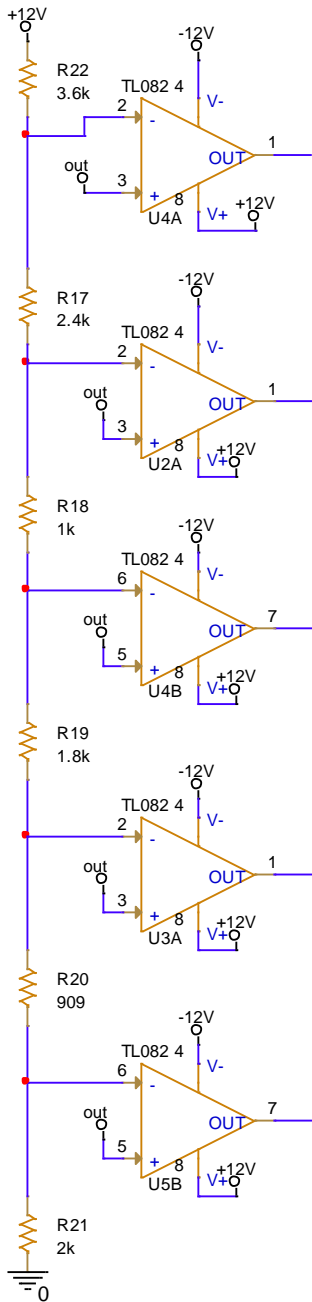
Dar nu vom folosi o altă sursă de tensiune, ci doar cea de la intrarea circuitului, deci o să avem nevoie de o divizare a tensiunii de intrare pentru a ajunge la 7,25V.

$$7,25 = \frac{R_5}{R_5 + R_6} \times V_1 \Rightarrow R_6 = 1\Omega \text{ (E24, toleranța } \pm 5\%) \text{ și } R_5 = 1,5\Omega \text{ (E24, toleranța } \pm 5\%).$$

Pentru a avea un amplificator diferențial va trebui să alegem $R_1 = R_2$ și $R_3 = R_4$.

- $\frac{R_3}{R_2} = 3,23$
- $R_3 = R_4 = 3,23k\Omega$, dar aleg $3,24k\Omega$ (E96, toleranța $\pm 1\%$).
- $R_1 = R_2 = 1k\Omega$ (E48, toleranța $\pm 1\%$).

• Detector de praguri



În specificațiile de proiectare ni se spune că va trebui să avem praguri pentru intervalul mai mic decât -25°C , între -25°C și $+25^{\circ}\text{C}$, între 25°C și 50°C , între 50°C și 100°C , și mai mare decât 100°C , deci o să avem 5 praguri de comparare. Dacă ne uităm la graficul rezultat din măsurarea și liniarizarea rezistenței de calcul, vom observa că este o linie dreaptă. În acest fel putem face o analogie între temperatură și rezistență și să scriem faptul că rezistența reprezintă ecuația unei drepte, a unei funcții de gradul I.

$$R=aT+b$$

Încercăm să simulăm comportarea unui termistor NTC în realizarea proiectului, iar de aici rezultă și ecuațiile noastre necesare pentru detectarea

pragurilor fiindcă știm că la termistorul NTC cu cât temperatura este mai mică, rezistența va fi mai mare. Având datele necesare putem construi un sistem de ecuații:

$$47 = a150 + b$$

$$270 = a(-55) + b$$

Din rezolvarea sistemului rezultă $a = -1,09$ și $b = 210,05$

În acest moment putem calcula rezistențele și pentru celelalte praguri de care avem nevoie:

Următorul prag este la -25°C

$$R = -1,09 \times (-25) + 210,05 = 237,3 \Rightarrow \text{alegem } 237\text{k}\Omega \text{ (E96, toleranța } \pm 1\%)$$

Următorul prag este la 25°C

$$R = -1,09 \times 25 + 210,05 = 182,8 \Rightarrow \text{alegem } 182\text{k}\Omega \text{ (E96, toleranța } \pm 1\%)$$

Următorul prag este la 50°C

$$R = -1,09 \times 50 + 210,05 = 155,55 \Rightarrow \text{alegem } 154\text{k}\Omega \text{ (E48, toleranța } \pm 2\%)$$

Următorul prag este la 100°C

$$R = -1,09 \times 100 + 210,05 = 101,05 \Rightarrow \text{alegem } 101\text{k}\Omega \text{ (E192, toleranța } \pm 0,5\%)$$

Acum că avem rezistențele pentru fiecare temperatură la care se schimbă pragul, putem calcula și valoarea tensiunii care vine aplicată pe intrarea neinvertoare a comparatoarelor. Aici o să avem nevoie să parcurgem din nou pașii urmați anterior și să calculăm ieșirea de după repetorul de tensiune și de după amplificatorul diferențial, utilizând formula:

$$V_{out} = -\frac{R_3}{R_2} \times (V_2 - V_1)$$
 , unde V_2 este deja calculat anterior în pasul de dimensionare a amplificatorului și este egală cu $7,2\text{V}$, iar V_1 va fi tensiunea de după repetorul de tensiune și este egală cu cea calculată pentru divizor.

Luăm din nou toate cazurile:

În cazul în care temperatura este mai mică decât -25°C

V_1 a fost calculată anterior în primul pas de dimensionare $\Rightarrow V_1 = 7,85\text{V}$

$$V_{out} = -3,24 \times (7,2 - 7,85) = 2,016\text{V}$$

În cazul în care temperatura este -25°C

$$R_p \parallel R_{lin} = \frac{237 \times 10^3 \times 1 \times 10^6}{(237 + 1000) \times 10^3} = 191,6 \text{ k}\Omega = R$$

$$V_1 = \frac{R_d}{R + R_d} \times 12 = \frac{402\text{k}}{593,6\text{k}} \times 12\text{V} = 8,13\text{V}$$

$$V_{out} = -3,24 \times (7,2 - 8,13) = 3\text{V}$$

În cazul în care temperatura este 25°C

$$R_p \parallel R_{lin} = \frac{182 \times 10^3 \times 1 \times 10^6}{(182 + 1000) \times 10^3} = 153,98\text{k}\Omega = R$$

$$V_1 = \frac{R_d}{R + R_d} \times 12 = \frac{402\text{k}}{555,98\text{k}} \times 12\text{V} = 8,68\text{V}$$

$$V_{out} = -3,24 \times (7,2 - 8,68) = 4,8\text{V}$$

În cazul în care temperatura este 50°C

$$R_p || R_{lin} = \frac{154 \times 10^3 \times 1 \times 10^6}{(154 + 1000) \times 10^3} = 133,45 \text{ k}\Omega = R$$

$$V_1 = \frac{R_d}{R + R_d} \times 12 = \frac{402 \text{ k}}{535,45 \text{ k}} \times 12 \text{ V} = 9 \text{ V}$$

$$V_{out} = -3,24 \times (7,2 - 9) = 5,8 \text{ V}$$

În cazul în care temperatura atinge 100°C

$$R_p || R_{lin} = \frac{101 \times 10^3 \times 1 \times 10^6}{(101 + 1000) \times 10^3} = 91,73 \text{ k}\Omega = R$$

$$V_1 = \frac{R_d}{R + R_d} \times 12 = \frac{402 \text{ k}}{493,73 \text{ k}} \times 12 \text{ V} = 9,77 \text{ V}$$

$$V_{out} = -3,24 \times (7,2 - 9,77) = 8,3 \text{ V}$$

Va trebui să calculăm și rezistențele de la comparatoare folosind tot un divizor de tensiune:

$$\frac{R_{21}}{R_{21} + R_{20} + R_{19} + R_{18} + R_{17} + R_{22}} \times V_{alimentare} = V_{p1}$$

$$\frac{R_{21}}{R_{21} + R_{20} + R_{19} + R_{18} + R_{17} + R_{22}} \times 12 = 2,1$$

- Aleg $R_{21} = 2,1 \text{ k} \Rightarrow 2 \text{ k}\Omega$ (E24, toleranța $\pm 5\%$)

$$\frac{R_{21} + R_{20}}{R_{21} + R_{20} + R_{19} + R_{18} + R_{17} + R_{22}} \times 12 = 3$$

- Aleg $R_{21} + R_{20} = 3 \Rightarrow R_{20} = 909 \Omega$ (E48, toleranța $\pm 2\%$)

$$\frac{R_{21} + R_{20} + R_{19}}{R_{21} + R_{20} + R_{19} + R_{18} + R_{17} + R_{22}} \times 12 = 4,8$$

- Aleg $R_{21} + R_{20} + R_{19} = 4,8 \Rightarrow R_{19} = 1,8 \text{ k}\Omega$ (E24, toleranța $\pm 5\%$)

$$\frac{R_{21} + R_{20} + R_{19} + R_{18}}{R_{21} + R_{20} + R_{19} + R_{18} + R_{17} + R_{22}} \times 12 = 5,8$$

- Aleg $R_{21} + R_{20} + R_{19} + R_{18} = 5,8 \Rightarrow R_{18} = 1 \text{ k}\Omega$ (E24, toleranța $\pm 5\%$)

$$\frac{R_{21} + R_{20} + R_{19} + R_{18} + R_{17}}{R_{21} + R_{20} + R_{19} + R_{18} + R_{17} + R_{22}} \times 12 = 8,3$$

- Aleg $R_{21} + R_{20} + R_{19} + R_{18} + R_{17} = 8,3 \Rightarrow R_{17} = 2,4 \text{ k}\Omega$ (E24, toleranța $\pm 5\%$)

$$R_{21} + R_{20} + R_{19} + R_{18} + R_{17} + R_{22} = 12$$

- $R_{22} = 3,6 \text{ k}\Omega$ (E24, toleranța $\pm 5\%$)

- **Semnalizare LED**

Pentru semnalizarea LED vom folosi diode luminescente de diferite culori. Pe acestea le vom modela în Model Editor, vom crea o librărie pentru fiecare diodă și le vom asocia pe circuit cu librăria corespunzătoare. De asemenea, avem nevoie să limităm curentul care va intra în fiecare diodă, așadar, o să folosim o rezistență pentru fiecare și va fi calculată după formula:

$$R_{led} = \frac{V_{alimentare} - V_f}{I_f}$$

V_f - Forward Voltage

I_f - Forward Current

O să luăm pe rând fiecare led.

LED portocaliu:

$$R_{16} = \frac{12 - 1,5}{20 \times 10^{-3}} = 0,530k \Rightarrow \text{Aleg } 0,530k\Omega \text{ (E96, toleranța } \pm 1\%)$$

#	Vfwd	Ifwd
1	1	0
2	1.2	0
3	1.5	0.001
4	1.7	0.005
5	2	0.015
6	2.5	0.04
7	3	0.06
8	3.2	0.07

Valorile din Model Editor

LED albastru:

$$R_{23} = \frac{12 - 3,4}{20 \times 10^{-3}} = 0,43k \Rightarrow \text{Aleg } 0,43k\Omega \text{ (E96, toleranța } \pm 1\%)$$

#	Vfwd	Ifwd
1	1	0
2	2	0
3	3	0
4	3.4	0.002
5	3.6	0.005
6	3.8	0.02
7	3.9	0.03
8	4	0.045

Valorile din Model Editor

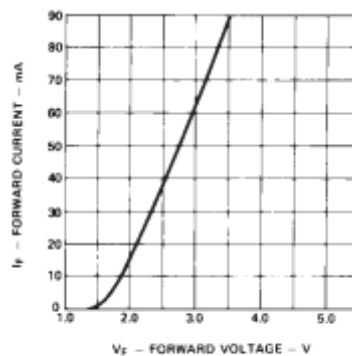
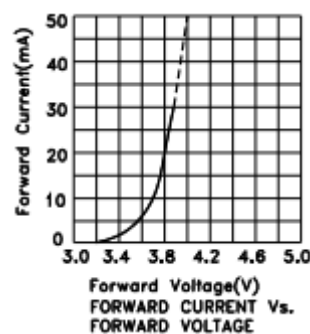


Figure 2. Forward current vs. forward voltage characteristics

Graficul din foaia de catalog



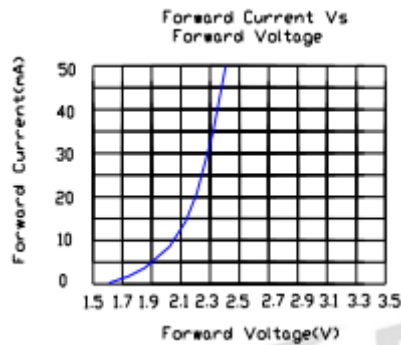
Graficul din foaia de catalog

LED galben:

$$R_{15} = \frac{12-1,7}{20 \times 10^{-3}} = 0,515k \Rightarrow \text{Aleg } 0,517k\Omega \text{ (E192, toleranța } \pm 0,5\%)$$

#	Vfwd	Ifwd
1	1	0
2	1.5	0
3	1.7	0.001
4	1.9	0.005
5	2.1	0.012
6	2.2	0.02
7	2.3	0.03
8	2.4	0.05

Valorile din Model Editor



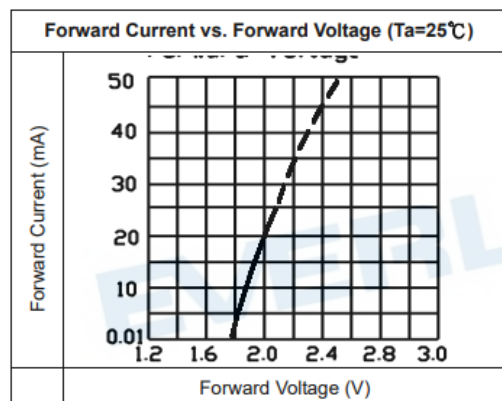
Graficul din foaia de catalog

LED roșu:

$$R_{14} = \frac{12-1,8}{20 \times 10^{-3}} = 0,51k \Rightarrow \text{Aleg } 0,511k\Omega \text{ (E48, toleranța } \pm 2\%)$$

#	Vfwd	Ifwd
1	1	0
2	1.2	0
3	1.4	0
4	1.6	0
5	1.8	0.001
6	1.9	0.01
7	2	0.02
8	2.2	0.035

Valorile din Model Editor



Graficul din foaia de catalog

LED verde:

$$R_{13} = \frac{12-1,5}{20 \times 10^{-3}} = 0,505k \Rightarrow \text{Aleg } 0,505k\Omega \text{ (E192, toleranța } \pm 0,5\%)$$

#	Vfwd	Ifwd
1	1	0
2	1.2	0
3	1.5	0
4	1.9	0.001
5	2	0.007
6	2.4	0.02
7	2.5	0.03
8	3	0.06

Valorile din Model Editor

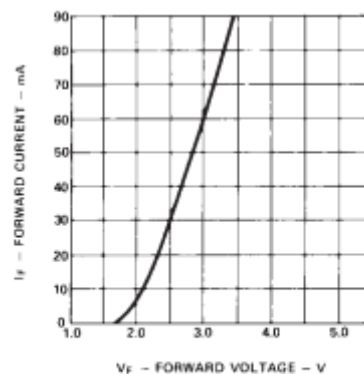


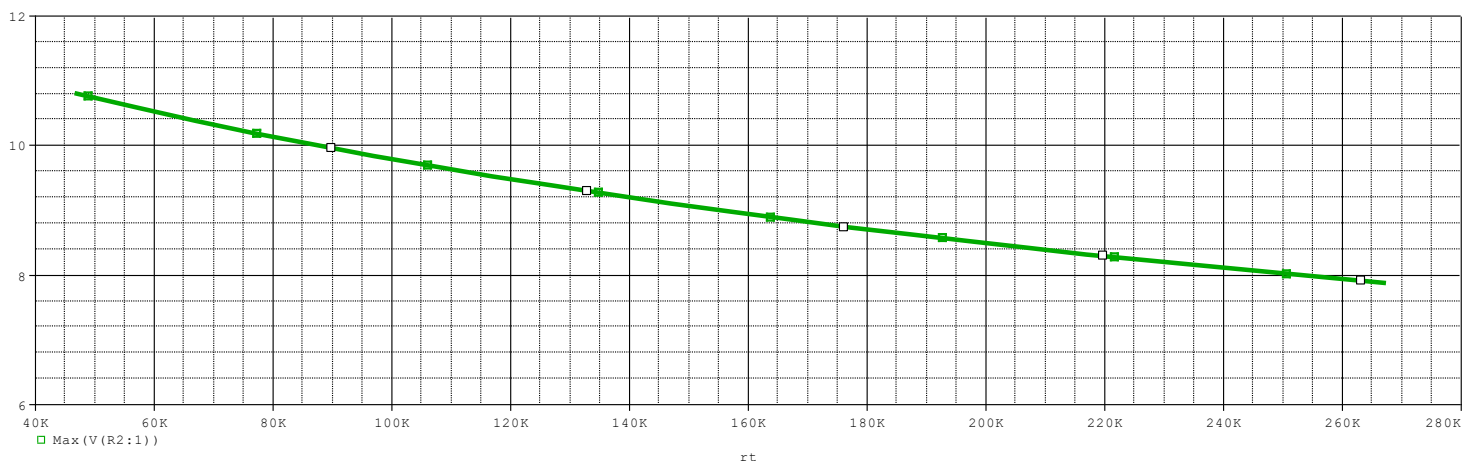
Figure 12. Forward current vs. forward voltage characteristics

Graficul din foaia de catalog

V. Analize

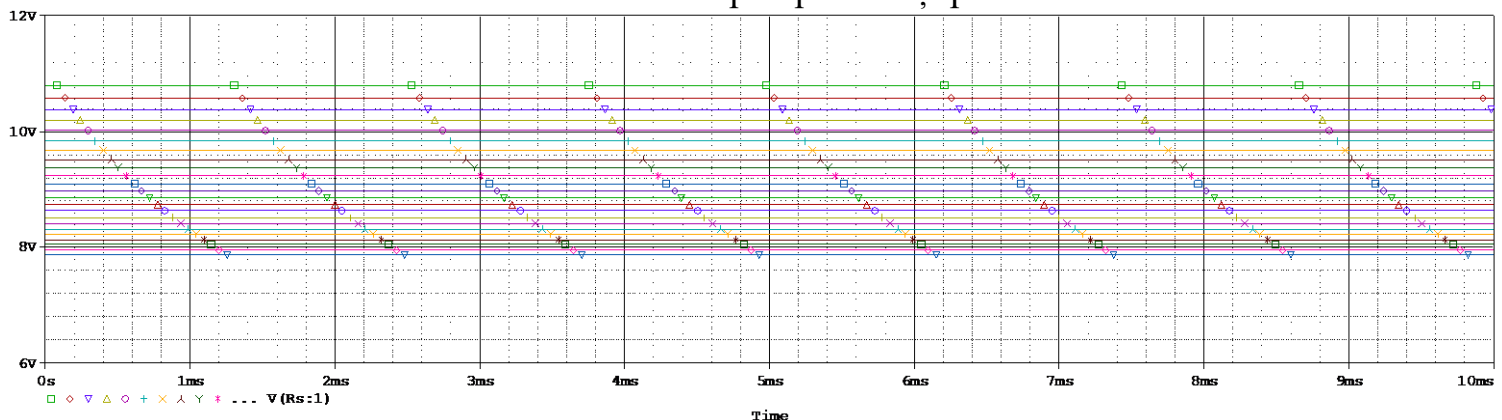
În acest capitol vor fi prezentate toate simulările care s-au efectuat în scopul de a măsura anumite valori sau a reprezenta caracteristici în ordinea în care s-au efectuat în proiectarea circuitului.

Astfel, la nivel de senzor am utilizat o analiză DC Sweep de performanță după un parametru global, adică după rezistența pe care o variem.



În graficul de mai sus avem caracteristica de liniarizare a rezistenței senzorului din care se poate observa cum rezistența crește în timp ce tensiunea scade în mod liniar exact așa cum ne așteptam atunci când vorbim despre simularea unui termistor NTC.

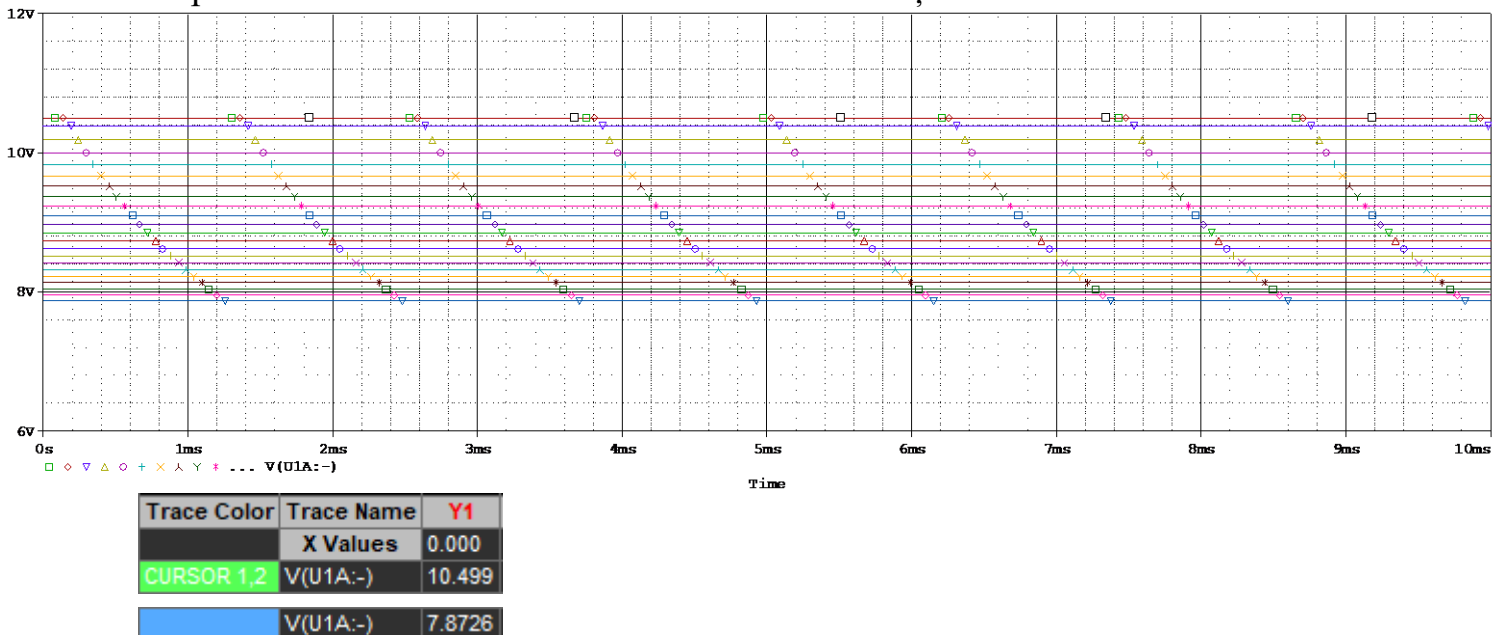
Ulterior am făcut o analiză în timp după același parametru



Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	0.000	0.000	0.000
CURSOR 1,2	V(Rs:1)	10.795	10.795	0.000
	V(Rs:1)	7.8729	7.8729	0.000

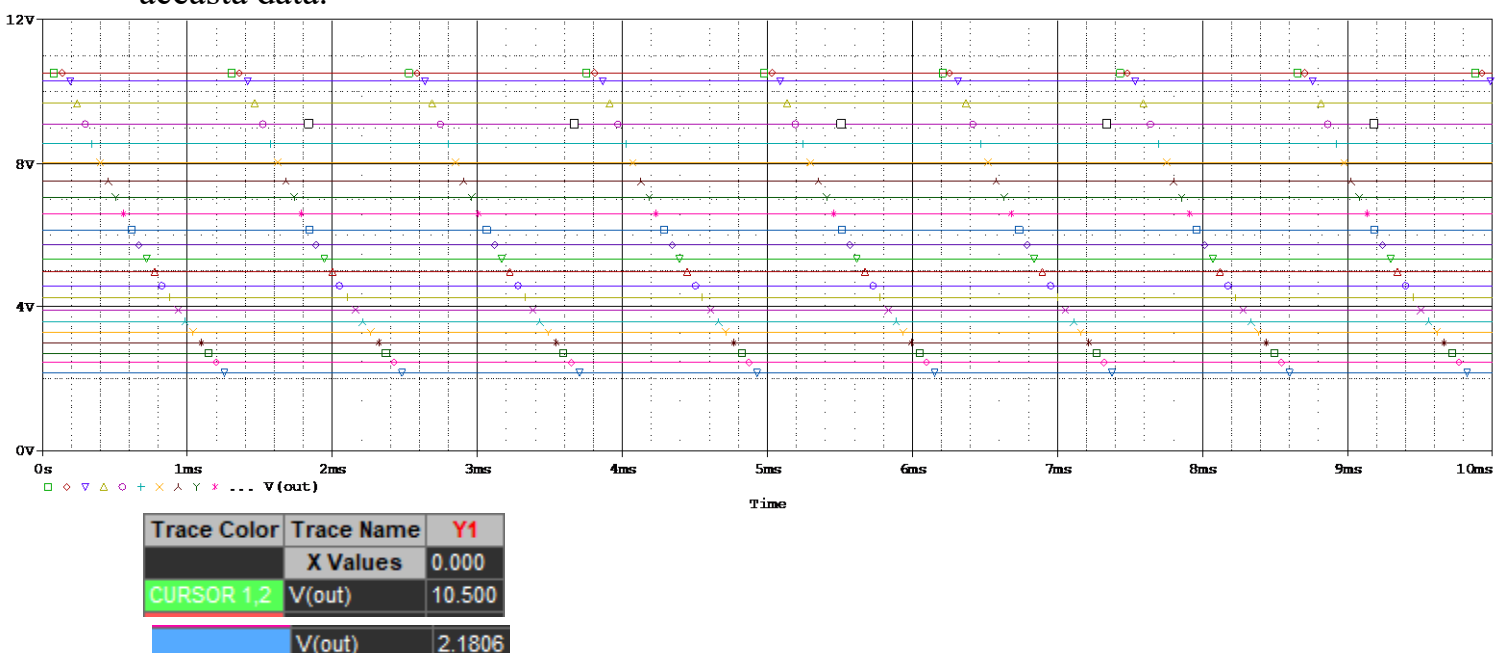
Atunci când punem și cursoarele putem observa că valoarea calculată inițial pentru valoarea minimă și maximă de la ieșirea din senzor este aceeași cu cea de pe grafic.

Apoi am trecut la partea de buffer unde am realizat aceeași analiză ca mai sus pentru a vedea dacă valorile se modifică substanțial.



Dacă punem din nou cursoarele se vede că tensiunea nu s-a schimbat mult și că variază între aproximativ 7,87-10,50. Rezultatul este bun fiindcă știm că un repetor de tensiune ideal păstrează aceeași tensiune de la intrare și la ieșire, iar la noi variază foarte puțin deoarece avem unul real proiectat.

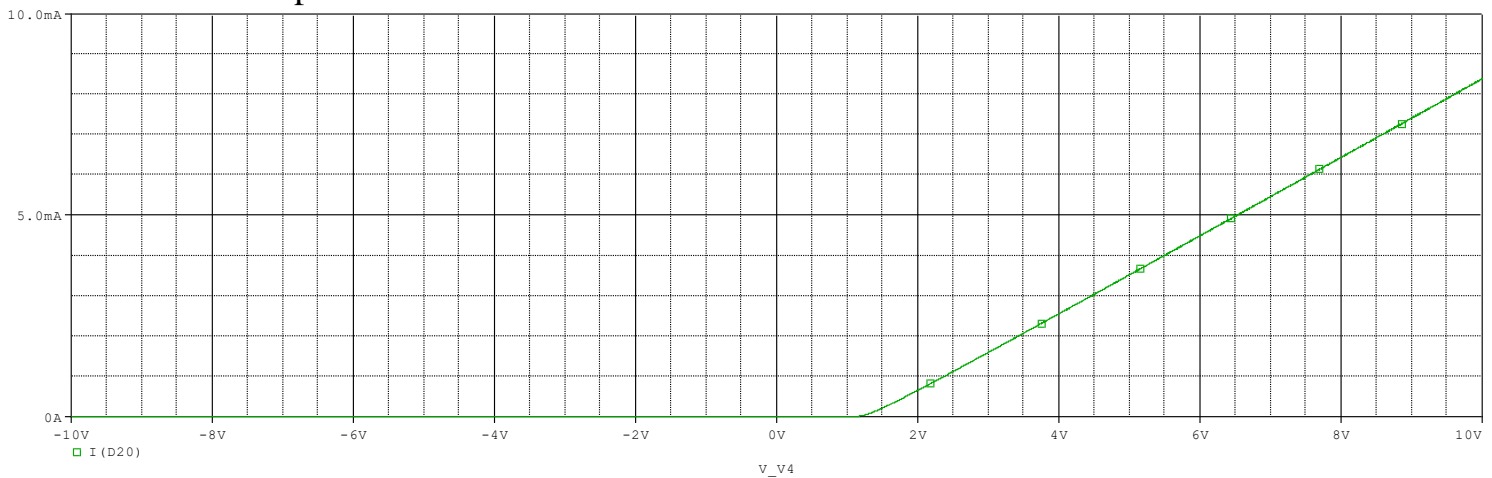
Având tensiunea care variază între domeniul de mai sus, așa cum am spus în partea de proiectare, avem nevoie de un convertor de domeniu pentru a ne aduce tensiunea în intervalul 2-10,50. Am realizat aceeași simulare în timp și de această dată.



Din grafic și cursoare observăm că amplificatorul diferențial a făcut ce ne doream și ne-a extins domeniul între 2,1-10,50 , exact cum a reieșit și din calcule.

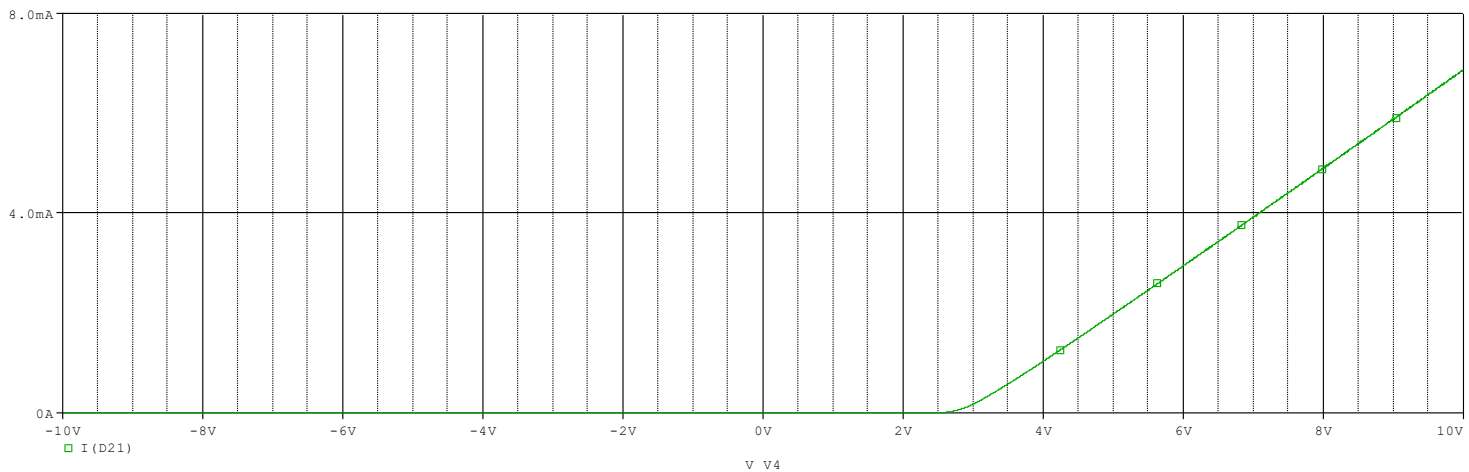
Mai apoi am modelat LED-urile și le-am testat pe rând pe fiecare să văd dacă se deschid la tensiunea care reiese din graficul din foaia de catalog. În acest caz am folosit o analiză DC Sweep.

Led portocaliu:



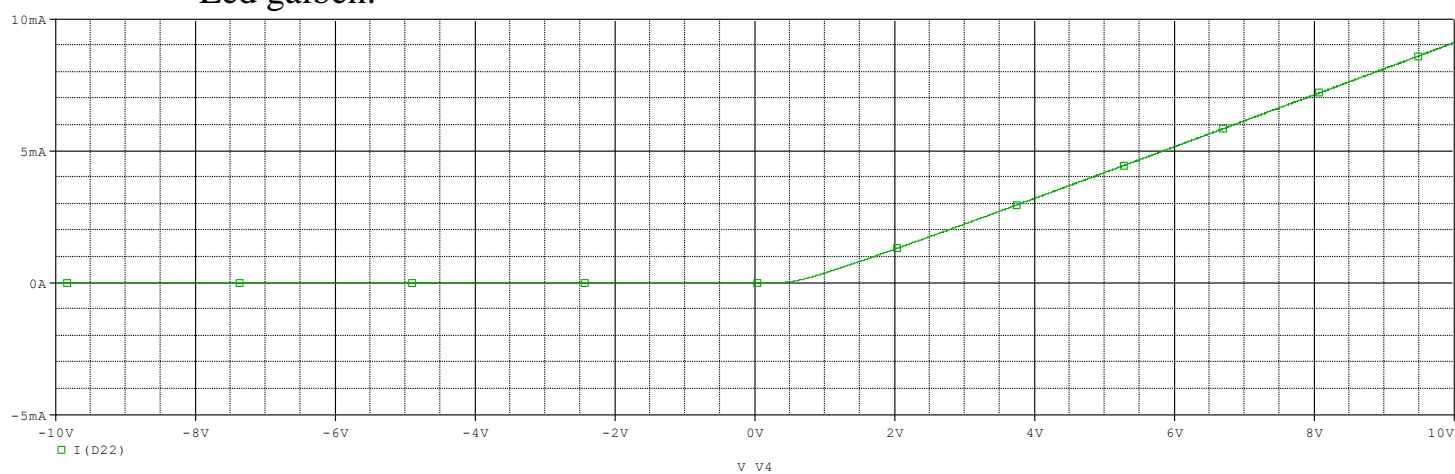
În grafic putem observa că dioda se deschide la aproximativ 1,5V, așa cum scrie și în foaia de catalog

Led albastru:



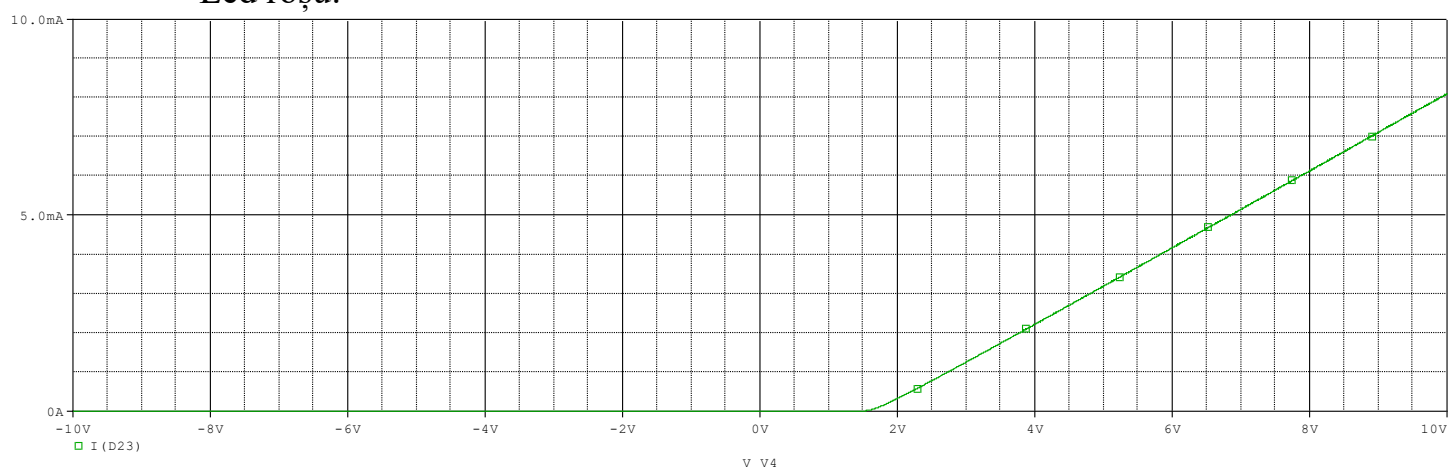
În grafic putem observa că dioda se deschide la aproximativ 3,4V, așa cum scrie și în foaia de catalog.

Led galben:



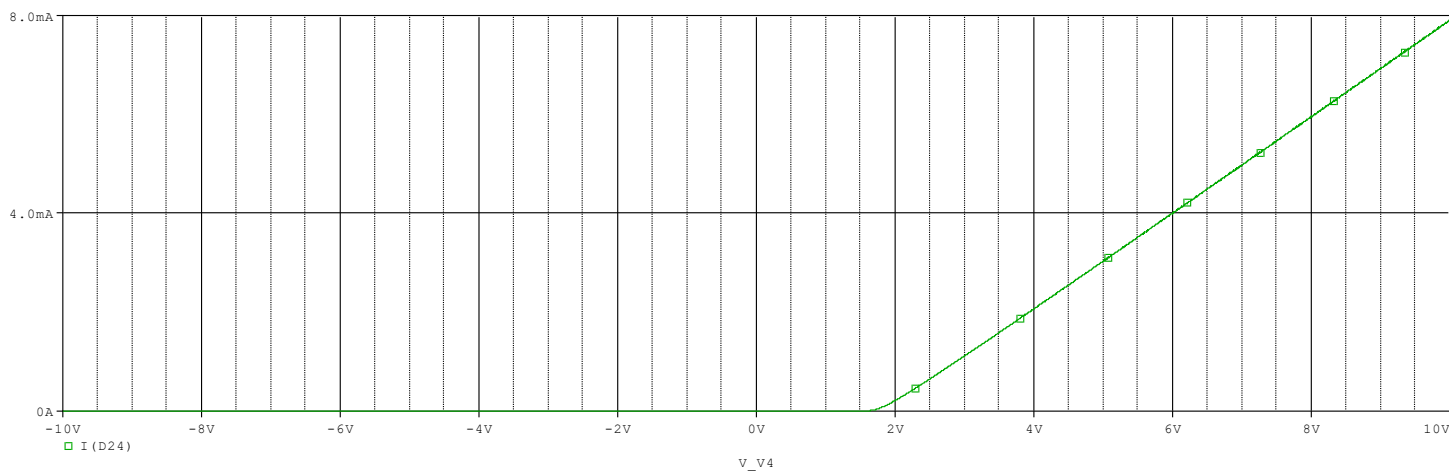
În grafic putem observa că dioda se deschide la aproximativ 1,7V, așa cum scrie și în foaia de catalog.

Led roșu:

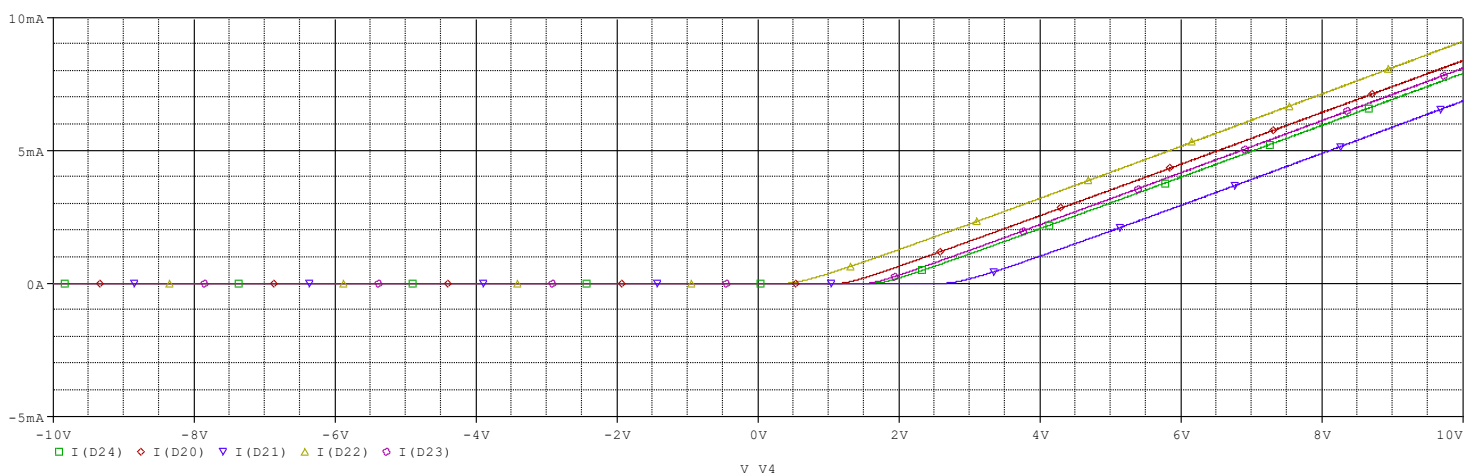


În grafic putem observa că dioda se deschide la aproximativ 1,8V, așa cum scrie și în foaia de catalog.

Led verde:



În grafic putem observa că dioda se deschide la aproximativ 1,9V, așa cum scrie și în foaia de catalog.

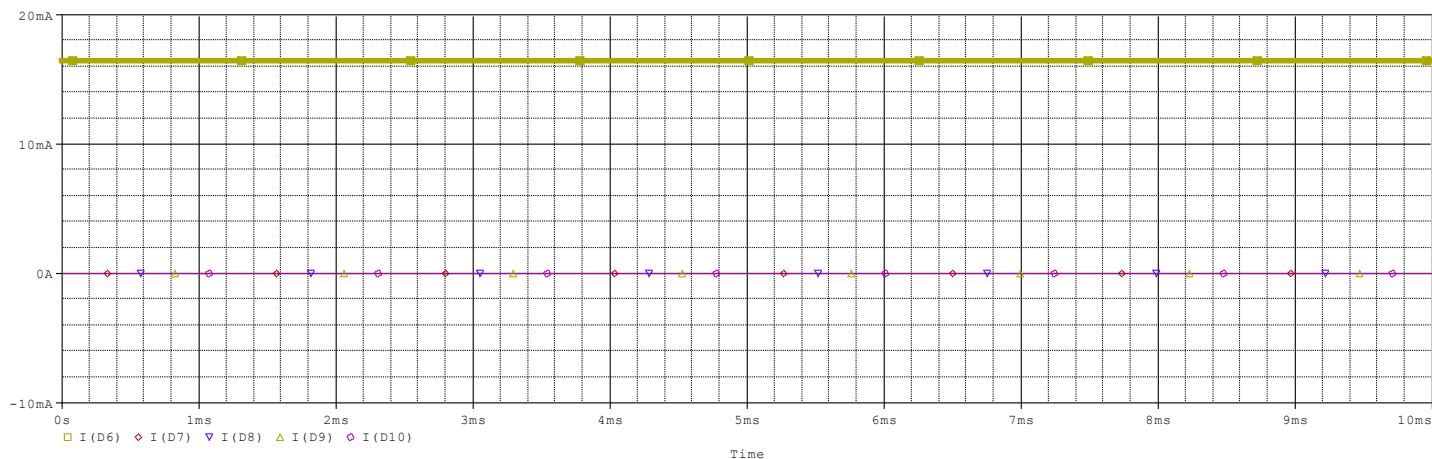


În graficul de mai sus avem toate diodele în aceeași analiză.

Testarea întregului circuit:

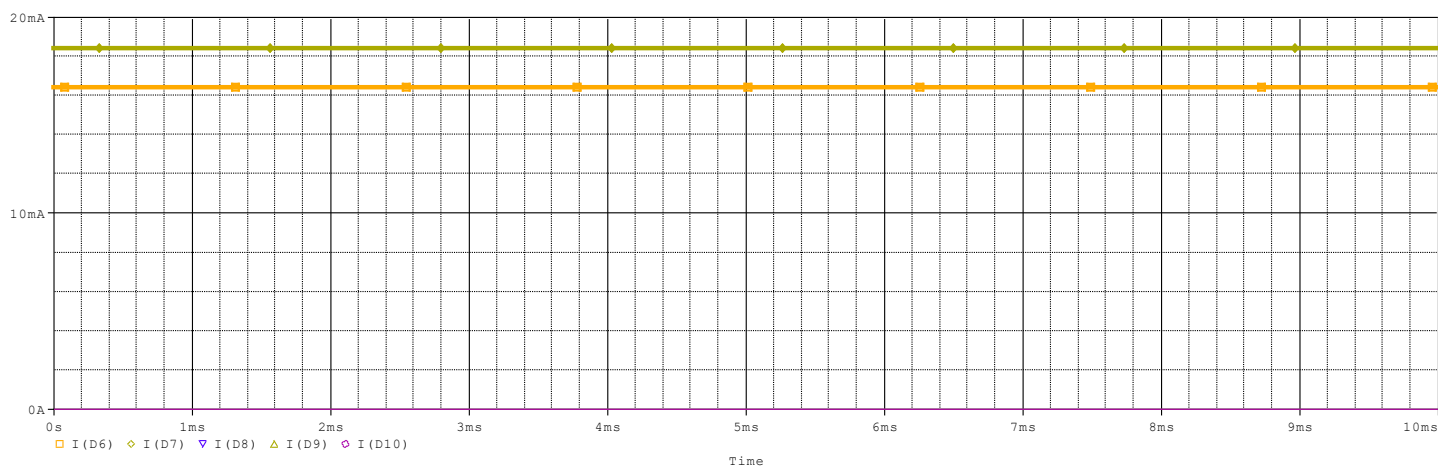
Vom varia rezistența senzorului după cum am calculat în partea de proiectare și ne așteptăm ca pe măsură ce trecem peste fiecare prag să rămână toate led-urile de dinaintea lui aprinse. Am folosit o analiză în timp după parametru pentru a observa acest lucru.

O să începem cu primul prag care este la temperatura mai mică decât -25°C



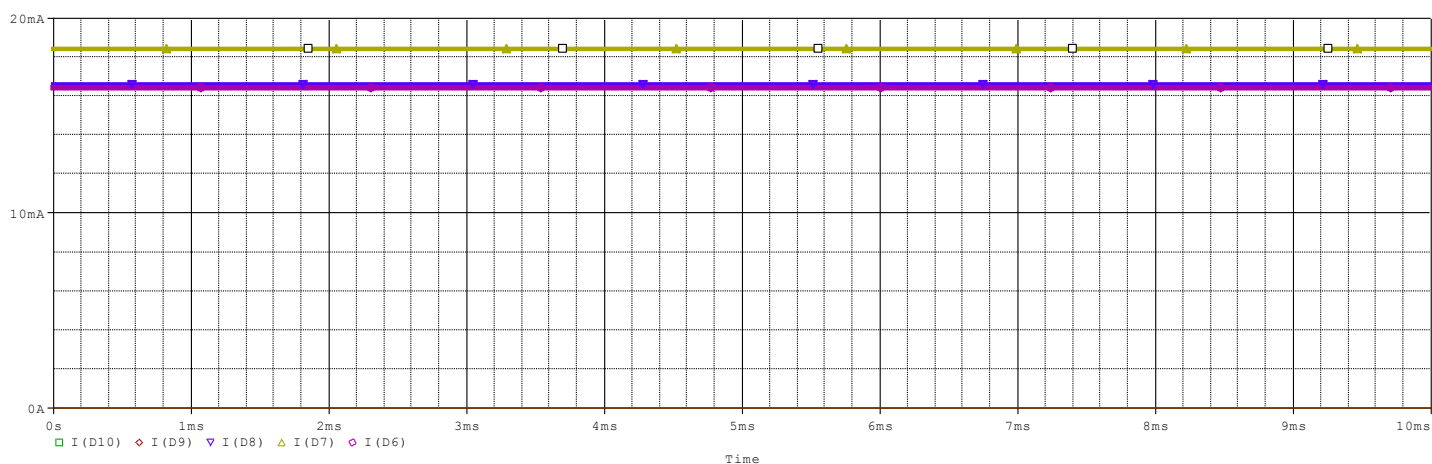
După cum putem observa, doar primul led este aprins, celelalte sunt stinse.

Trecem la pragul al doilea de -25°C :



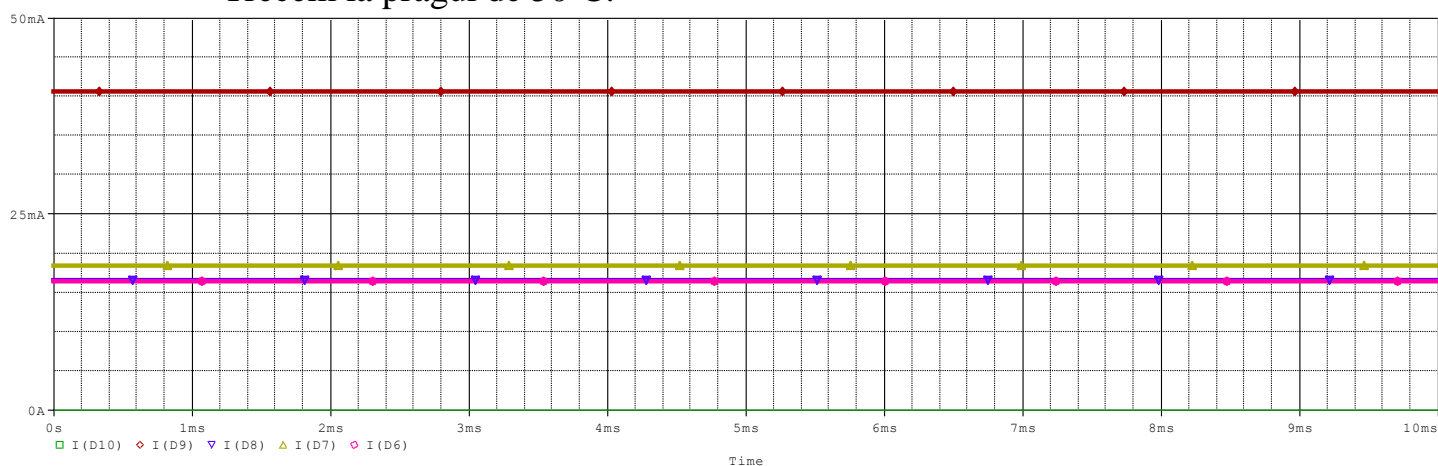
Se observă de mai sus că trece la următorul prag și rămâne aprins si primul.

Trecem la al treilea prag de 25°C :



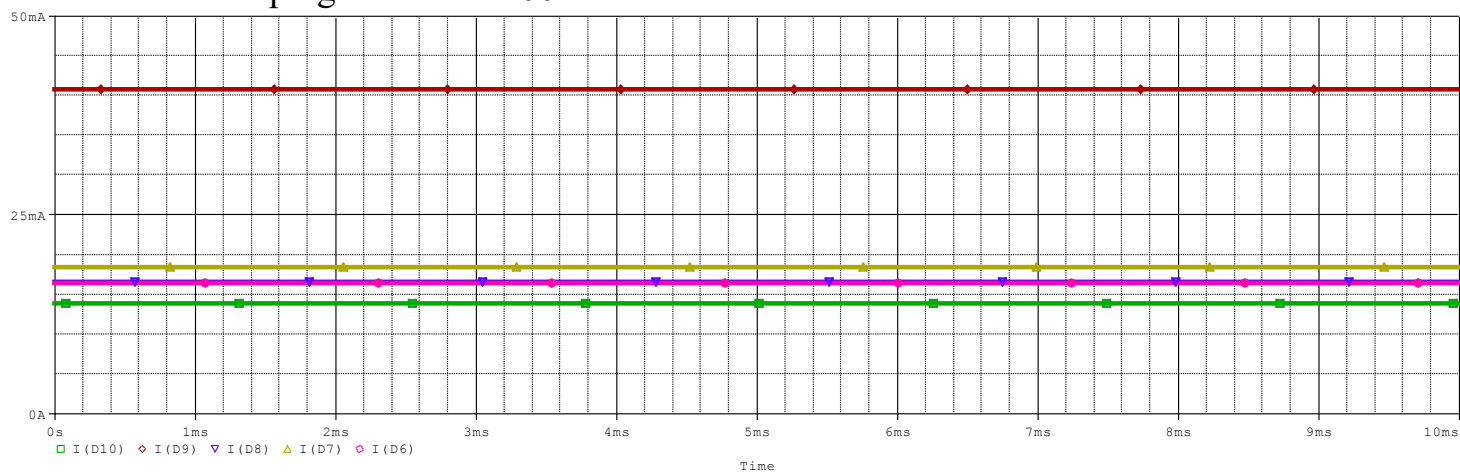
Și aici se observă faptul că trece la următorul prag, celelalte led-uri rămânând aprinse, doar ca am ales valori prea apropiate pentru tensiunea de deschidere a led-urilor.

Trecem la prag de 50°C:



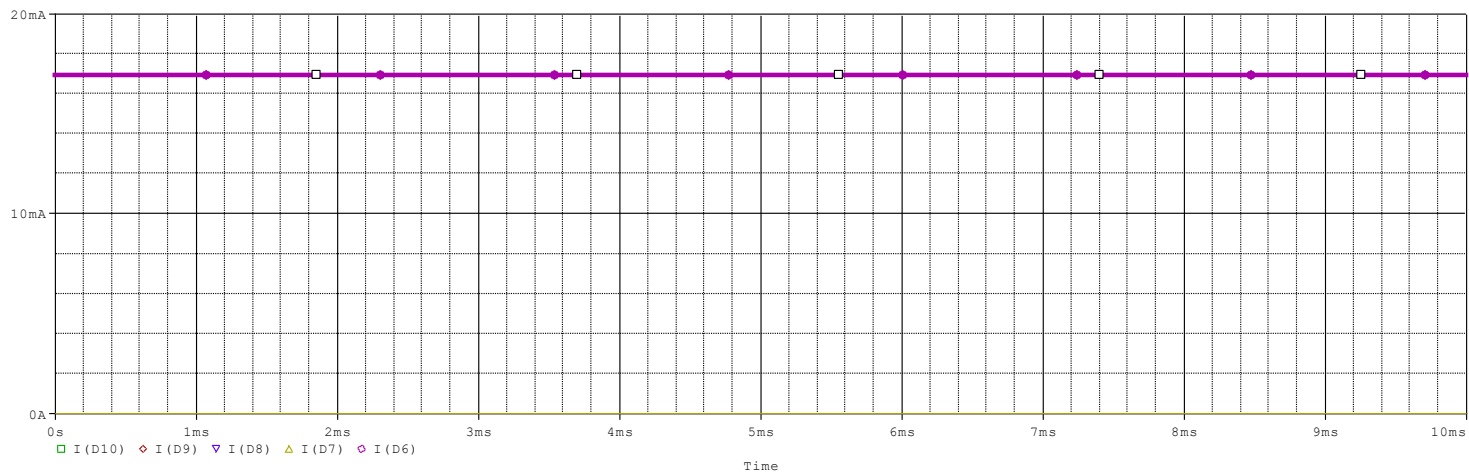
A trecut si la următorul prag, doar ultimul led rămânând închis.

Atunci când pragul trece de 100°C:

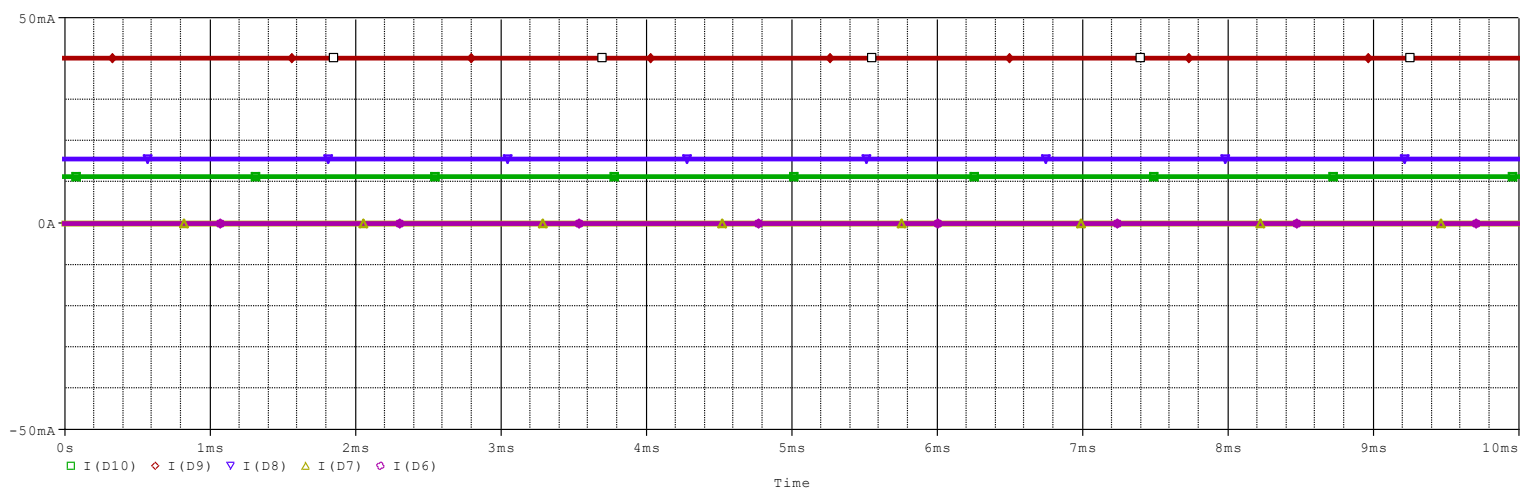


Se poate observa cum toate led-urile sunt acum prinse.

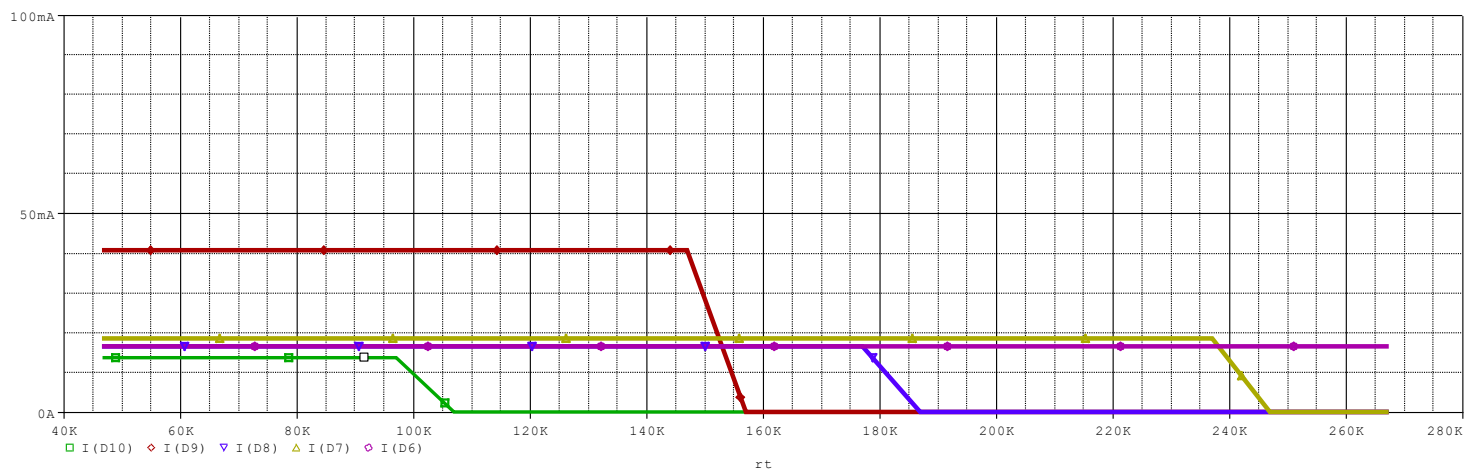
Am mai rulat o analiză de temperatură pentru a ne asigura că circuitul va funcționa și la temperaturi extreme.



În cazul acesta am ales să ruleze pentru o temperatură de -100°C și încă funcționează conform.



Dar și în cazul în care punem o temperatură de 200°C va funcționa perfect.



Am făcut și o analiză DC Sweep pentru a observa și mai bine funcționalitatea. În cazul de față avem doar primul led aprins, urmând să se aprindă toate în ordine.

Bibliografie

Online:

- <https://www.tme.eu/Document/4a3d9c7f836ef6b3cd1a2b9a4c4a6b57/HLMP-D401.pdf>
- <https://www.tme.eu/Document/f42671d9934cb67eb6342a1365893ba3/HLMP-3507.pdf>
- <https://www.tme.eu/Document/f3872eef9fb3bbe7862b3681fdc36699/333-2SDRD-S530-A3.pdf>
- <https://www.tme.eu/Document/c7968a613eee16445eae bd7373906708/FYL-5013YD1C.pdf>
- <https://www.tme.eu/Document/22699c8098952fa9a0864450e473db71/L-53MBDL.pdf>
- https://koaha.org/wiki/Valori_standard_resistenze
- <https://riverglennapts.com/ro/amplifier/17-differential-amplifier.html>

Cărți:

- Proiectare Asistată de Calculator Aplicații, O. Pop, R. Fizeșan, G. Chindriș