

Nume și prenume: Pop Cătălin-Ioachim

Seria A

Grupa 2123

TEHNICI CAD

PROIECT

CIRCUIT PENTRU CONTROLUL TEMPERATURII ÎNTR-O INCINTĂ

Cuprins

Date de proiectare	3
Descrierea funcționalității circuitului.....	3
Schema bloc	4
Schema circuitului.....	4
Dimensionarea circuitului	5
Oglinda de curent	5
Amplificator diferențial și repetor de tensiune.....	8
Comparator inversor cu histerezis.....	11
Modelarea LED-ului Portocaliu.....	15
Modelarea releului electromagnetic.....	16
Analiza circuitului.....	17
Analiza Parametrică	17
Analiza Monte Carlo	18
Analiza în temperatură	19
Datasheets	20
Fișă de catalog pentru LED-ul portocaliu	20
Bibliografie	23

Date de proiectare

Să se proiecteze un sistem de control al temperaturii într-o încălă. Știind că senzorul de temperatură folosit poate să măsoare temperatura liniar în domeniul $[0, +150]^\circ\text{C}$, sistemul se va proiecta astfel încât temperatura din încălă să se mențină în intervalul $[+35, +95]^\circ\text{C}$. Senzorul de temperatură se va polariza în curent. Variația liniară a rezistenței electrice a senzorului cu temperatura este $[30\text{k} - 20\text{k}] [\Omega]$ și trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul $[0 \div (V_{cc}-2V)]$. În încălă, 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 portocaliu.

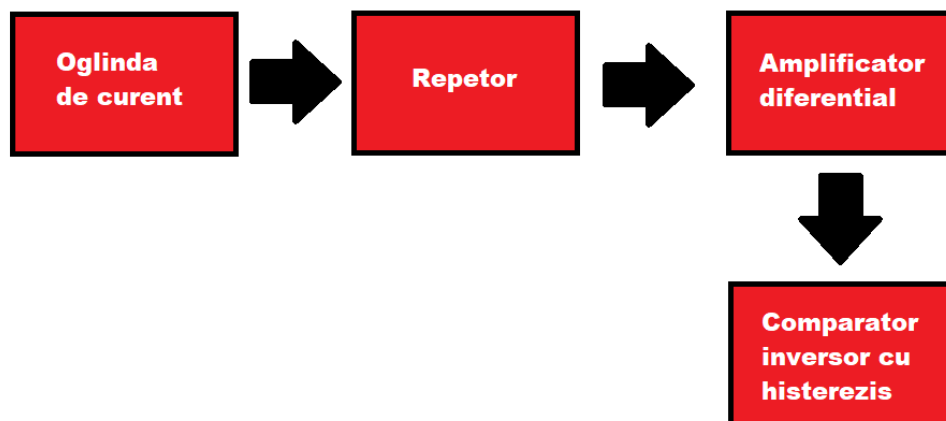
Pentru circuitul descris mai sus se va folosi o tensiune de alimentare VCC egală cu 16 V.

Descrierea funcționalității circuitului

În următorul paragraf se vor explica alegerile făcute în cadrul proiectului pentru proiectarea unui circuit de control al temperaturii care să îndeplinească cerințele de proiectare.

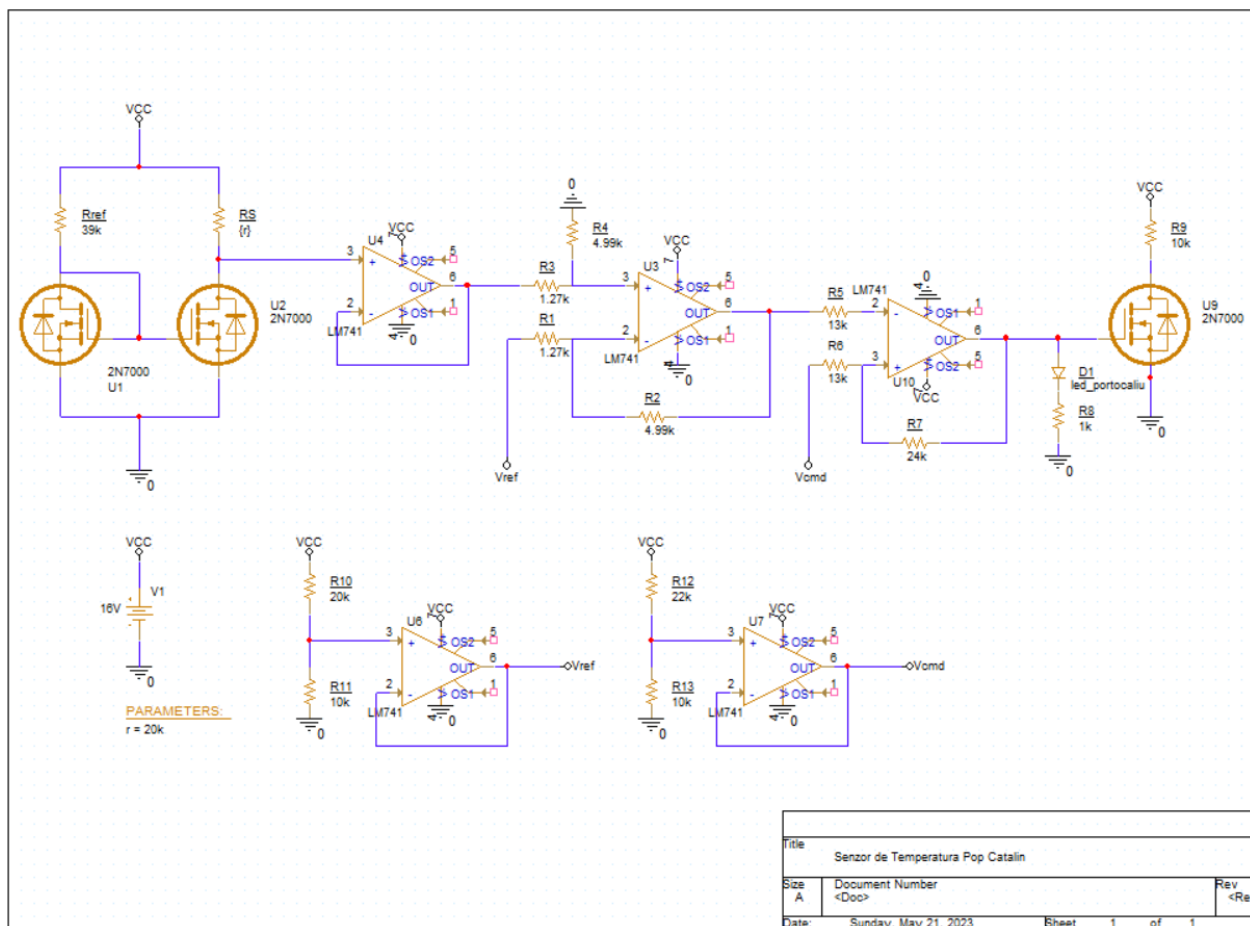
Senzorul de temperatura a fost modelat printr-o rezistență numită RS căreia i-a fost asociat un parametru variabil r , care va lua valori în intervalul $[30\text{k} - 20\text{k}] [\Omega]$. Pentru polarizarea în curent a senzorului s-a utilizat un circuit de tip oglinda de curent implementat cu tranzistori de tip NMOS, mai exact doi tranzistori 2N7000. Acest circuit va prelua un curent de referință generat de căderea de tensiune de pe rezistența R_{ref} pe care îl va oglindi prin ramura rezistenței RS, astfel încât senzorul va fi alimentat de un curent constant. Căderea de tensiune de pe tranzistorul U2 2N7000 va varia într-un interval anume care va urma să fie extins la intervalul $[0, +14][V]$ prin introducerea semnalului într-un amplificator diferențial. Între cele două circuite se va intercala un repetor de tensiune pentru a elimina perturbațiile asupra senzorului de temperatură. Pentru generarea semnalului de referință de la intrarea inversoare a amplificatorului diferențial s-a utilizat un divizor de tensiune și un repetor de tensiune, ambele preluând tensiunea de alimentare de 16V. Odată ce s-a făcut extinderea domeniului de tensiune, semnalul va fi preluat de un comparator inversor cu histerezis care va acționa releul magnetic pentru pornirea, respectiv oprirea centralei termice. Tensiunea de referință a comparatorului va fi generată de un ansamblu asemănător cu cel folosit pentru amplificatorul diferențial. Pentru toate secțiunile de circuit care utilizează un amplificator operațional s-a utilizat amplificatorul LM741. Releul electromagnetic a fost modelat printr-un tranzistor 2N7000 iar pentru semnalizarea funcționării centralei s-a utilizat un LED de culoarea portocaliu.

Schema bloc



Figură 1 Schema bloc a circuitului

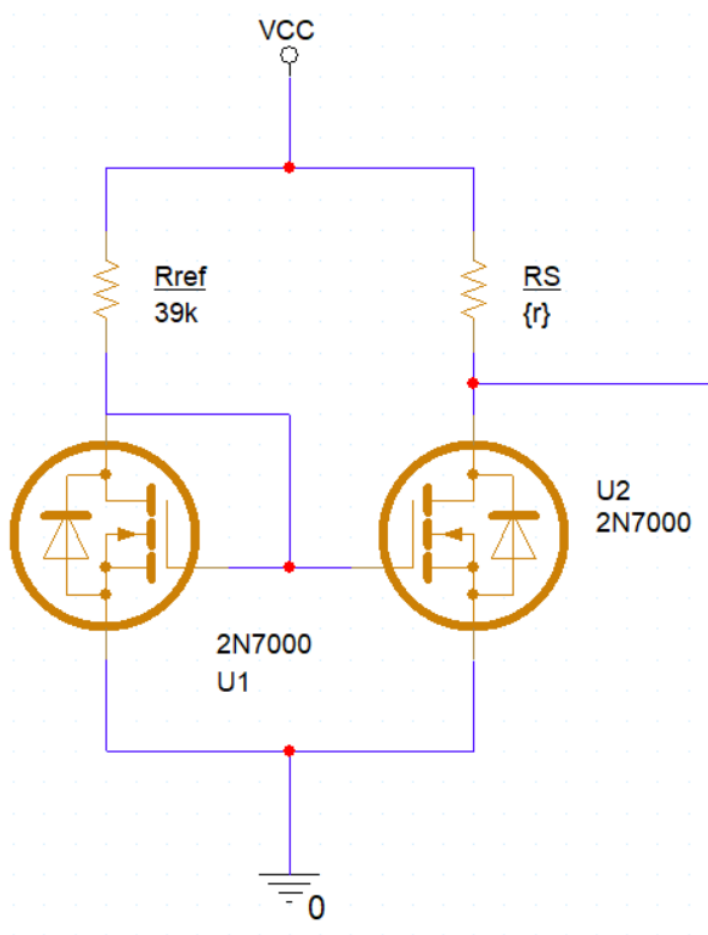
Schema circuitului



Figură 2 Schema circuitului de control al temperaturii

Dimensionarea circuitului

Oglinda de curent

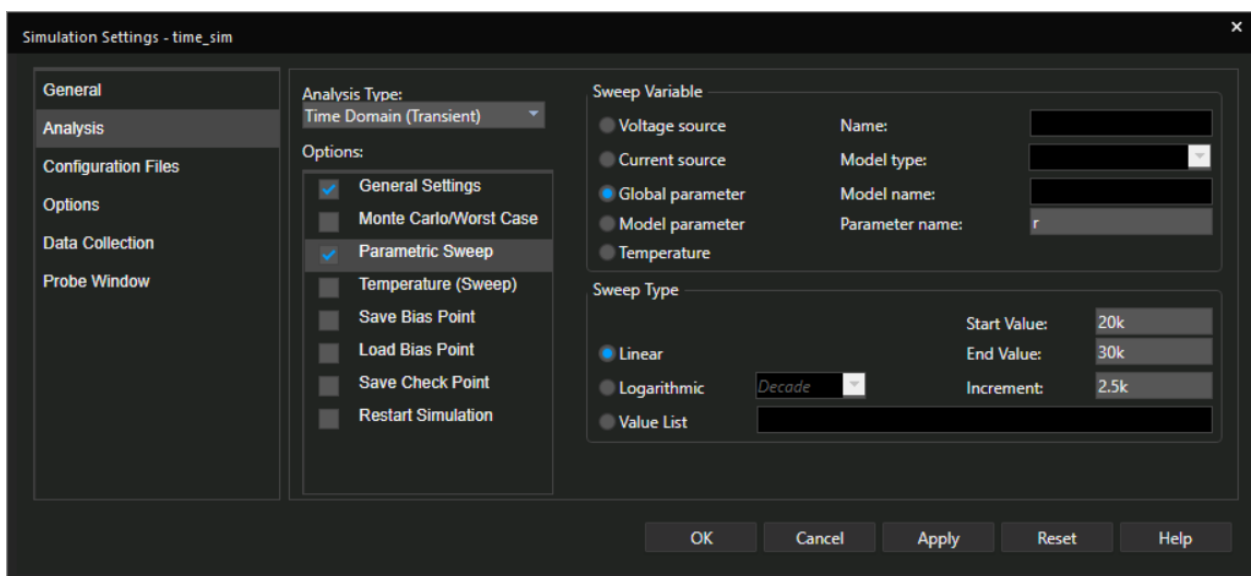


Figură 3 Schema de circuit pentru oglinda de curent

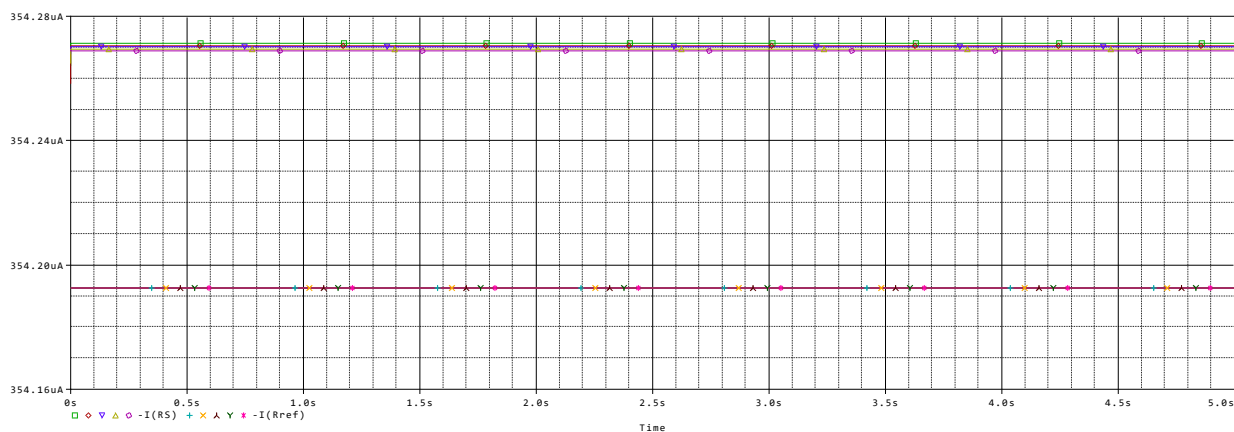
Pentru funcționarea corectă a oglinzii de curent este nevoie ca ambii tranzistori să funcționeze în regim de saturație. Relația dintre curenții de pe cele două ramuri este reprezentată în ecuația (1) unde W și L reprezintă dimensiunile fizice ale tranzistorilor. Având în vedere că cei doi tranzistori sunt identici, putem considera că geometria lor este aceeași, așadar cei doi curenți vor fi identici (2).

$$I_{RS} = \frac{\left(\frac{W}{L}\right)_2}{\left(\frac{W}{L}\right)_1} I_{Rref} \quad (1)$$

$$\frac{\left(\frac{W}{L}\right)_2}{\left(\frac{W}{L}\right)_1} = 1 \rightarrow I_{RS} = I_{Rref} \quad (2)$$

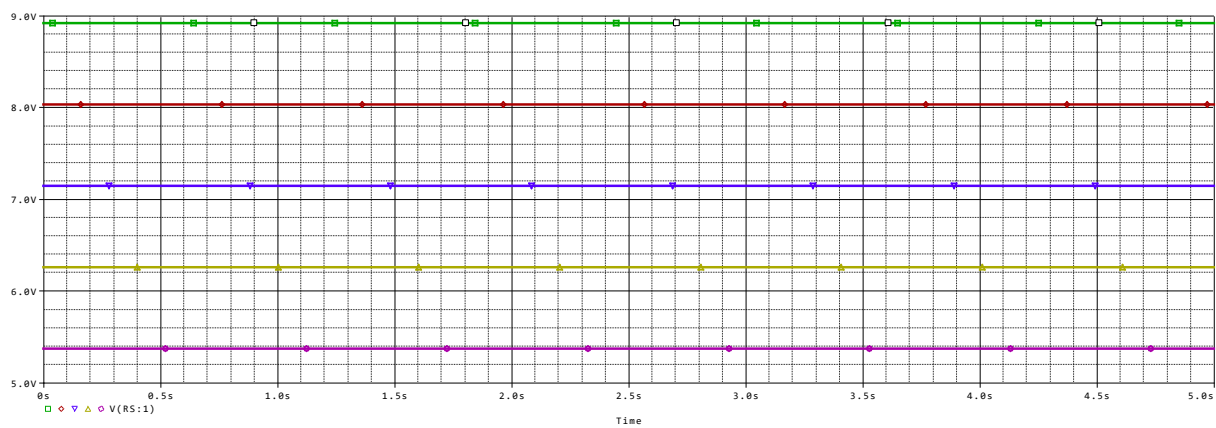


Figură 4 Fereastra cu setări a simulării parametrice



Figură 5 Reprezentarea curenților prin cele două rezistențe odată cu variația rezistenței RS

După cum se poate observa în Figura 5, curentul ce trece prin rezistența Rref va fi aproximativ egal cu cel din rezistența de senzor RS, acestea apropiindu-se de valoarea de 354,2μA.

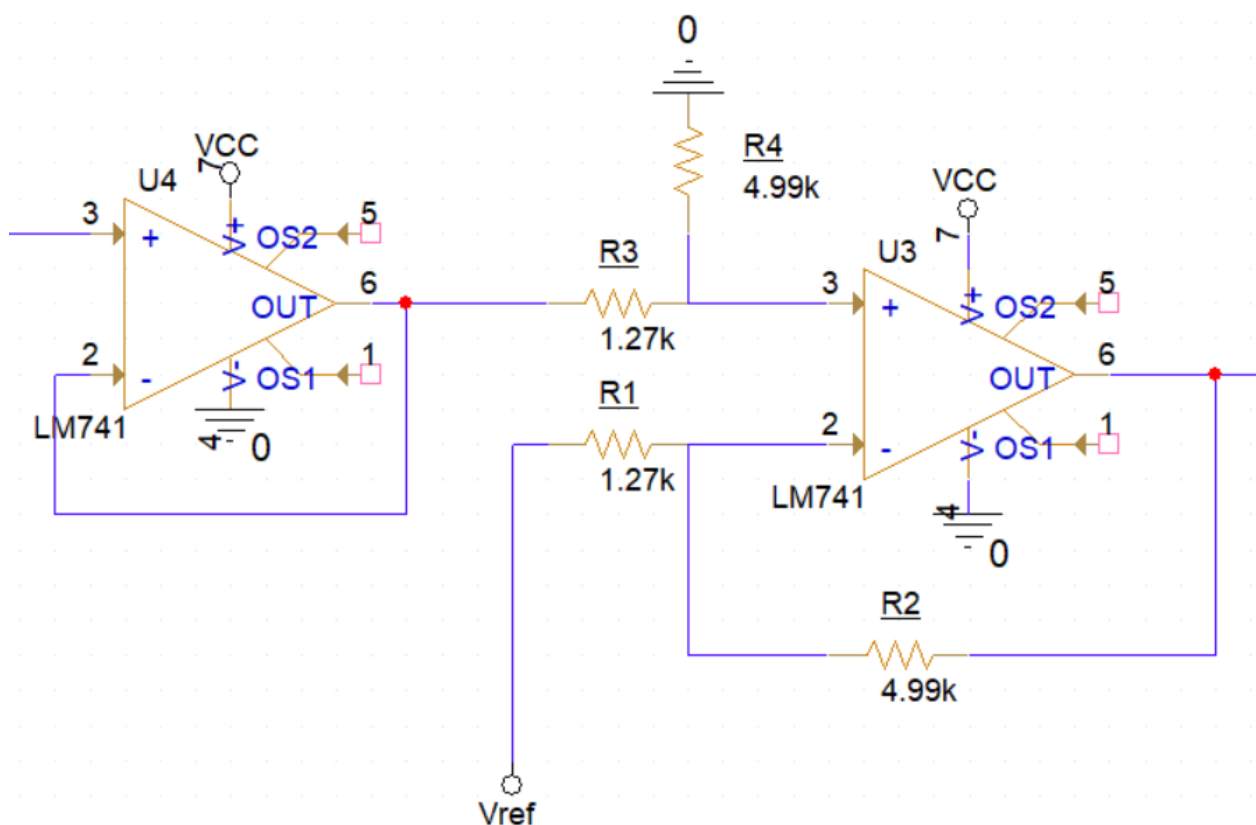


CURSOR 1,2	V(RS:1)	8.9147	8.9147	0.000	0.000	0.000	8.9147	8.9147	8.9147
	V(RS:1)	8.0289	8.0289	0.000	-885.804m	-885.804m	8.0289	8.0289	8.0289
	V(RS:1)	7.1433	7.1433	0.000	-1.7715	-1.7715	7.1433	7.1433	7.1433
	V(RS:1)	6.2576	6.2576	0.000	-2.6571	-2.6571	6.2576	6.2576	6.2576
	V(RS:1)	5.3719	5.3719	0.000	-3.5428	-3.5428	5.3719	5.3719	5.3719

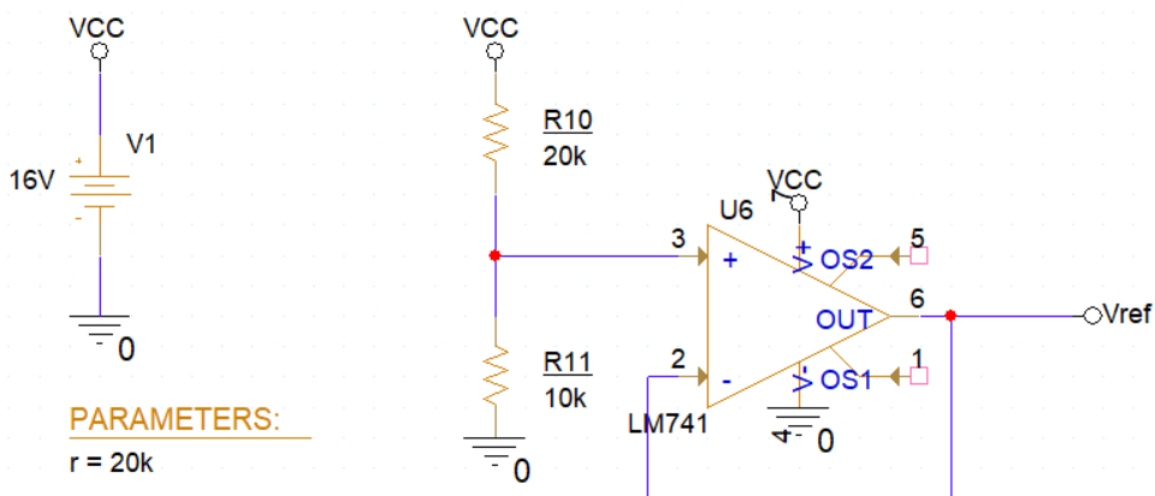
Figură 6 Reprezentarea variației tensiunii V(RS:1) odată cu modificarea valorii rezistenței RS

În Figura 6 se poate observa variația liniară a tensiunii pe senzor care se încadrează în intervalul [5.3719 , 8.9147] [V]. Folosind acest interval vom putea determina valorile rezistențelor și tensiunea de referință pentru amplificatorul diferențial.

Amplificator diferențial și repetor de tensiune



Figură 7 Schema circuitului format dintr-un repetor de tensiune și un amplificator diferențial



Figură 8 Schema circuitului care conține alimentarea (stânga), divizorul de tensiune care va da la ieșire tensiunea de referință Vref pentru amplificatorul diferențial(dreapta) și parametrul variabil r

Cunoscând valorile minime și maxime ale tensiunii pe senzor (Figura 6) vom putea determina rezistențele R_1 , R_2 , R_3 , R_4 și tensiunea de referință V_{ref} . Considerând că $R_1=R_3$ și $R_2=R_4$ vom avea următoarea relație pentru tensiunea de ieșire a amplificatorului diferențial:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (3)$$

Unde V_2 reprezintă tensiunea din domeniul variabil de tensiune al senzorului și V_1 tensiunea de referință generată de divizorul de tensiune din Figura 8.

Vom considera tensiunea de referință V_1 egală cu tensiunea minimă măsurată pe senzor, adică 5.3719 V. Pragul maxim de tensiune la care dorim să facem extinderea este de $V_{CC}-2V$ iar tensiunea maximă măsurată pe senzor este de 8.9147V. Astfel utilizând relația (3) vom determina valoarea celor două rezistențe:

$$14V = \frac{R_2}{R_1} (8.9147V - 5.3719V) \quad (4)$$

$$\frac{14V}{3.5428V} = \frac{R_2}{R_1} \rightarrow 3.9516 = \frac{R_2}{R_1} \quad (5)$$

Pentru dimensionarea rezistentelor am trecut prin valori standard ale rezistențelor astfel încât să obținem un raport cât mai apropiat de cel dorit. Pentru $R_1 = 1.27k\Omega$ și $R_2 = 4.99k\Omega$ vom obține un raport între cele două egal cu 3,9291. Rezistențele au fost alese din seria E96 având o toleranță de 1%.

Pentru determinarea tensiunii de referință vom folosi relația divizorului de tensiune (6):

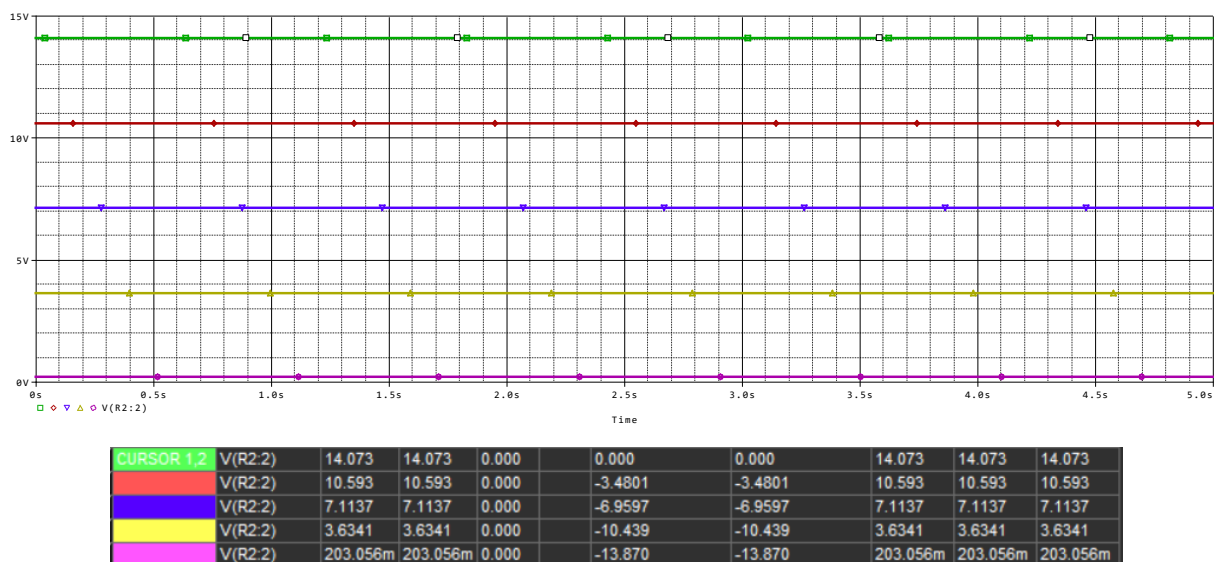
$$V_{ref} = \frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} V_{CC} \quad (6)$$

Cunoscând deja valorile $V_{ref} = 5.3719V$ și $V_{CC} = 16V$ și utilizând relația (6) vom putea determina raportul necesar pentru obținerea tensiunii de referință:

$$\frac{5.3719V}{16V} = \frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} \rightarrow 0.3357 = \frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} \quad (7)$$

Vom proceda exact ca în situația anterioară și vom alege valori standard pentru rezistențe cu scopul de a obține o valoare a raportului cât mai apropiată de valoarea dorită.

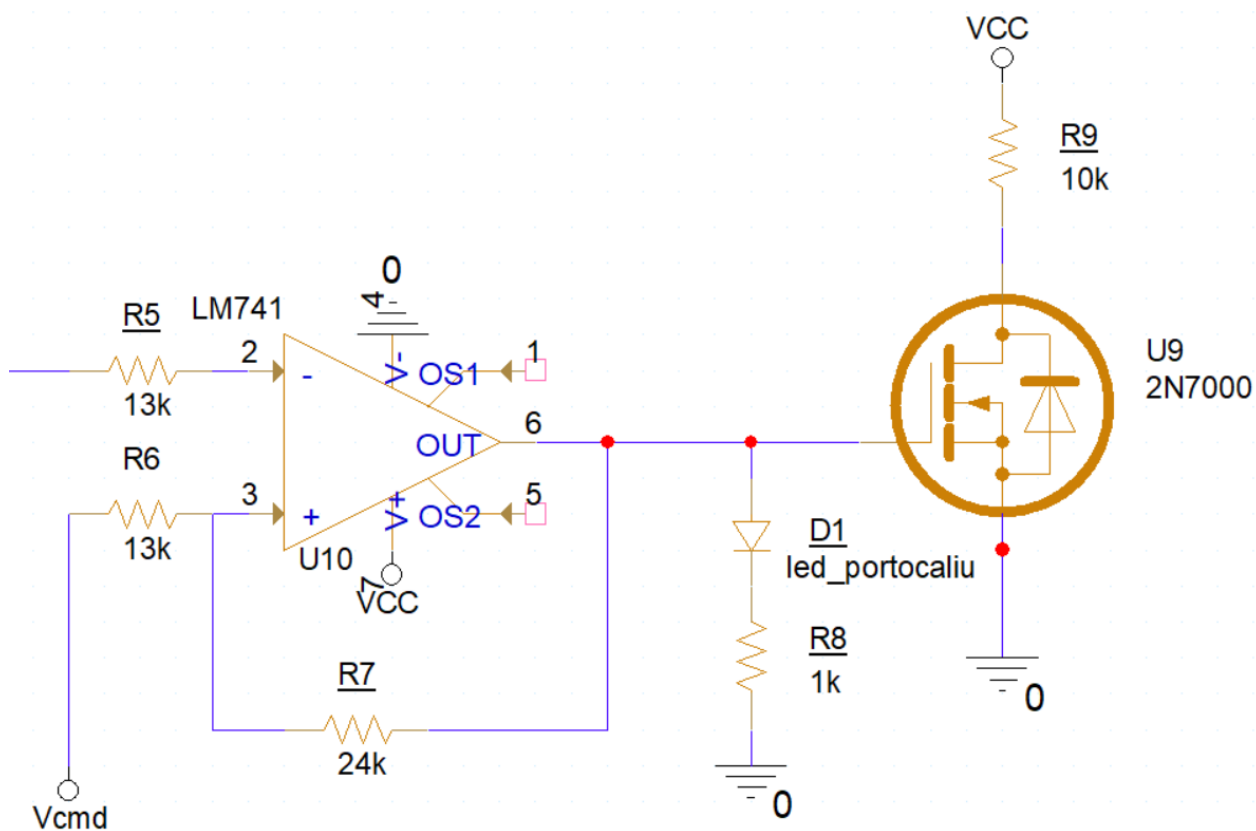
Pentru $R_{11} = 10k\Omega$ și $R_{10} = 20k\Omega$ vom obține un raport de 0.3334 între cele două rezistențe.



Figură 9 Simulare unde este vizibilă extinderea de domeniu

În Figura 9 se poate observa extinderea domeniului măsurabil de tensiune, măsurat la ieșirea amplificatorului diferențial, de la [5.3719 , 8.9147] [V] la [0.2 , 14.07] [V], apropiindu-se de domeniul cerut [0 , 14] [V].

Comparator inversor cu histerezis



Figură 10 Circuit ce conține comparatorul inversor cu histerezis, LED-ul de culoarea portocaliu și modelul pentru releul electromagnetic

Considerând că domeniul nostru de tensiune măsurat este $[0.2, 14.07]$ [V] și intervalul de temperatură măsurată al senzorului este de $[0, +150]$ °C, putem considera că pentru un grad din temperatură tensiunea noastră se va schimba cu 0.09248 V. Circuitul trebuie să mențină o temperatură între $[+35, +95]$ °C. Pentru acest interval de temperatură vom avea nevoie ca pragurile comparatorului să ia valorile:

$$V_{prag_sus} = 8,778V$$

$$V_{prag_jos} = 3,234V$$

Pentru dimensionarea pragurilor comparatorului vom folosi relațiile (8) și (9):

$$V_{prag_sus} = V_{cmd} \frac{R7}{R6 + R7} + \frac{R6}{R6 + R7} (+E)$$

(8)

$$V_{prag_jos} = V_{cmd} \frac{R7}{R6 + R7} + \frac{R6}{R6 + R7} (-E) \quad (9)$$

Considerând că tensiunea de alimentare -E este egală cu 0V putem scrie relația (10) astfel:

$$V_{prag_jos} = V_{cmd} \frac{R7}{R6 + R7} \quad (10)$$

Astfel relația (8) devine:

$$V_{prag_sus} = V_{prag_jos} + \frac{R6}{R6 + R7} (+E) \quad (11)$$

$$V_{prag_sus} - V_{prag_jos} = \frac{R6}{R6 + R7} (+E) \quad (12)$$

$$\frac{V_{prag_sus} - V_{prag_jos}}{+E} = \frac{R6}{R6 + R7} \quad (13)$$

Înlocuind valorile numerice obținem:

$$\frac{R6}{R6 + R7} = 0.3465 \quad (14)$$

Vom proceda la fel ca la dimensionarea amplificatorului diferențial și vom alege rezistențe care să aibă un raport cât mai apropiat cu cel calculat. Rezistențele alese au valorile $R6 = 1\text{ k}\Omega$ și $R7 = 24\text{ k}\Omega$ iar raportul va avea valoarea de 0.3513.

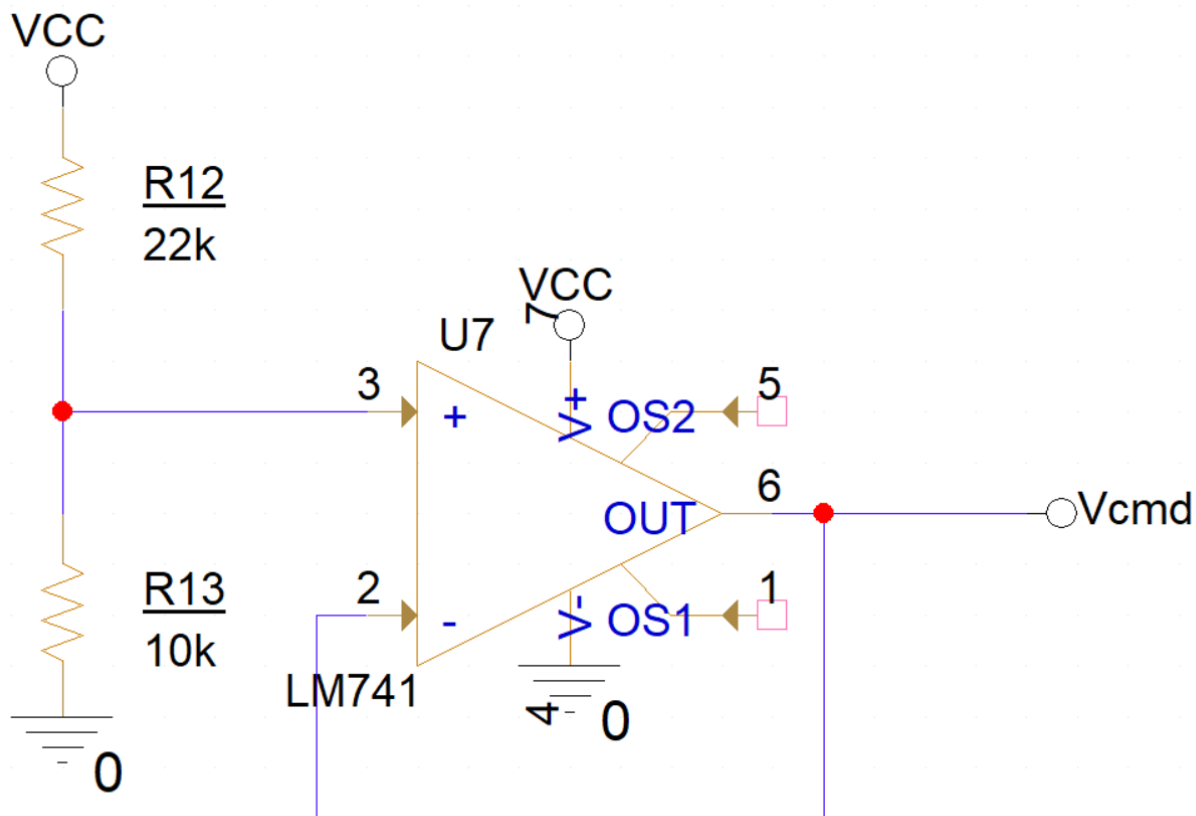
Având valorile rezistențelor putem determina tensiunea de referință V_{cmd} utilizând relația (10):

$$V_{prag_jos} = V_{cmd} \frac{R7}{R6 + R7}$$

$$\frac{V_{prag_jos}}{\frac{R7}{R6 + R7}} = V_{cmd} \quad (15)$$

$$\frac{V_{prag_jos}(R6 + R7)}{R7} = V_{cmd} \quad (16)$$

$$V_{cmd} = 4.9875$$



Figură 11 Divizorul de tensiune care generează tensiunea de referință V_{cmd}

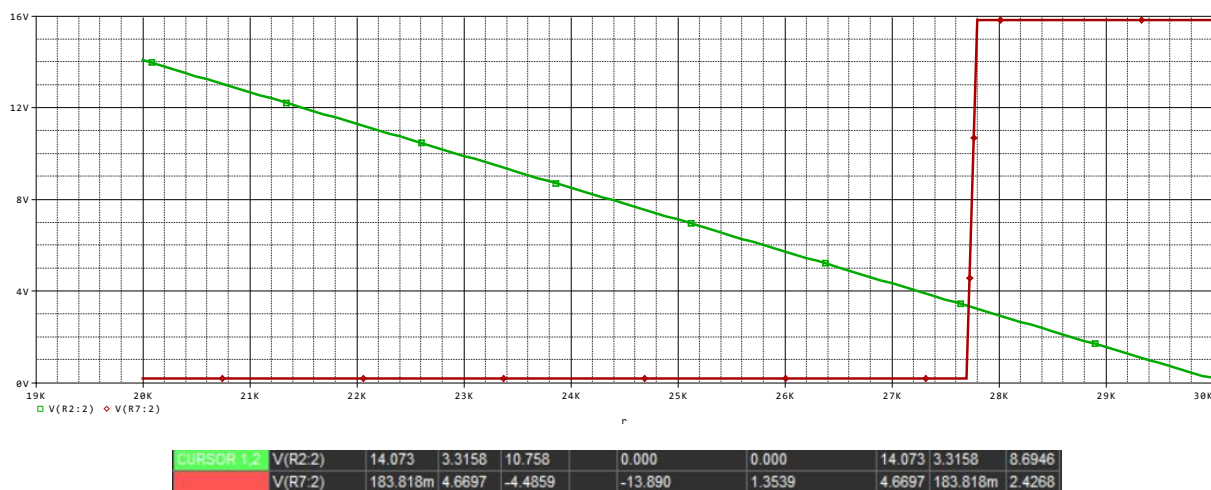
Pentru a obține valoarea tensiunii V_{cmd} ne vom folosi de un divizor de tensiune, utilizând relația (6):

$$V_{cmd} = \frac{R13}{R12 + R13} VCC$$

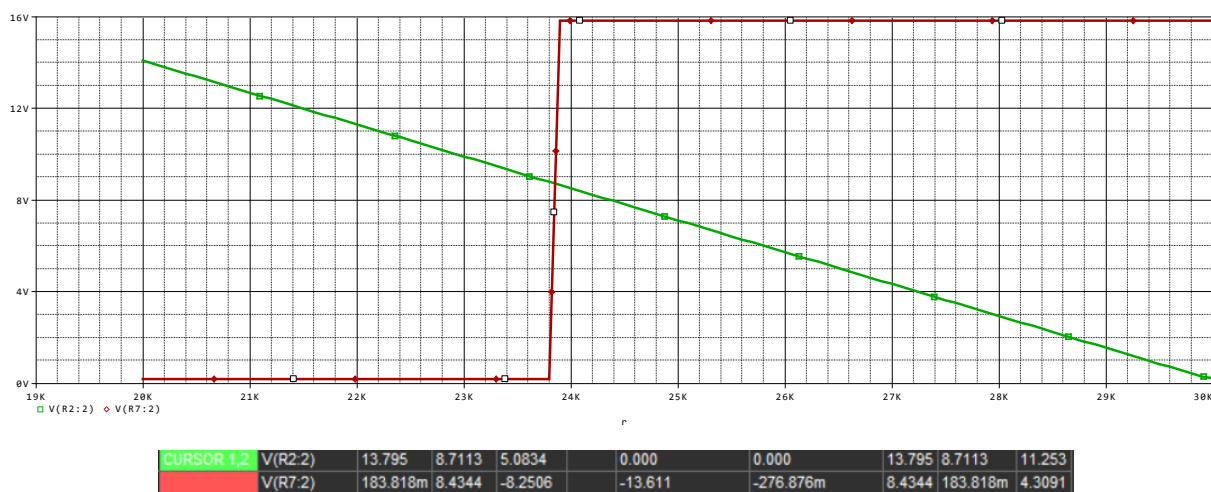
Înlocuind valorile tensiunilor vom obține:

$$\frac{R13}{R12 + R13} = 0.3192$$

Procedăm la fel ca la amplificatorul diferențial pentru dimensionarea rezistențelor și alegem valorile rezistențelor $R13 = 10k\Omega$ și $R12 = 22k\Omega$ obținând astfel raportul de 0.3125.



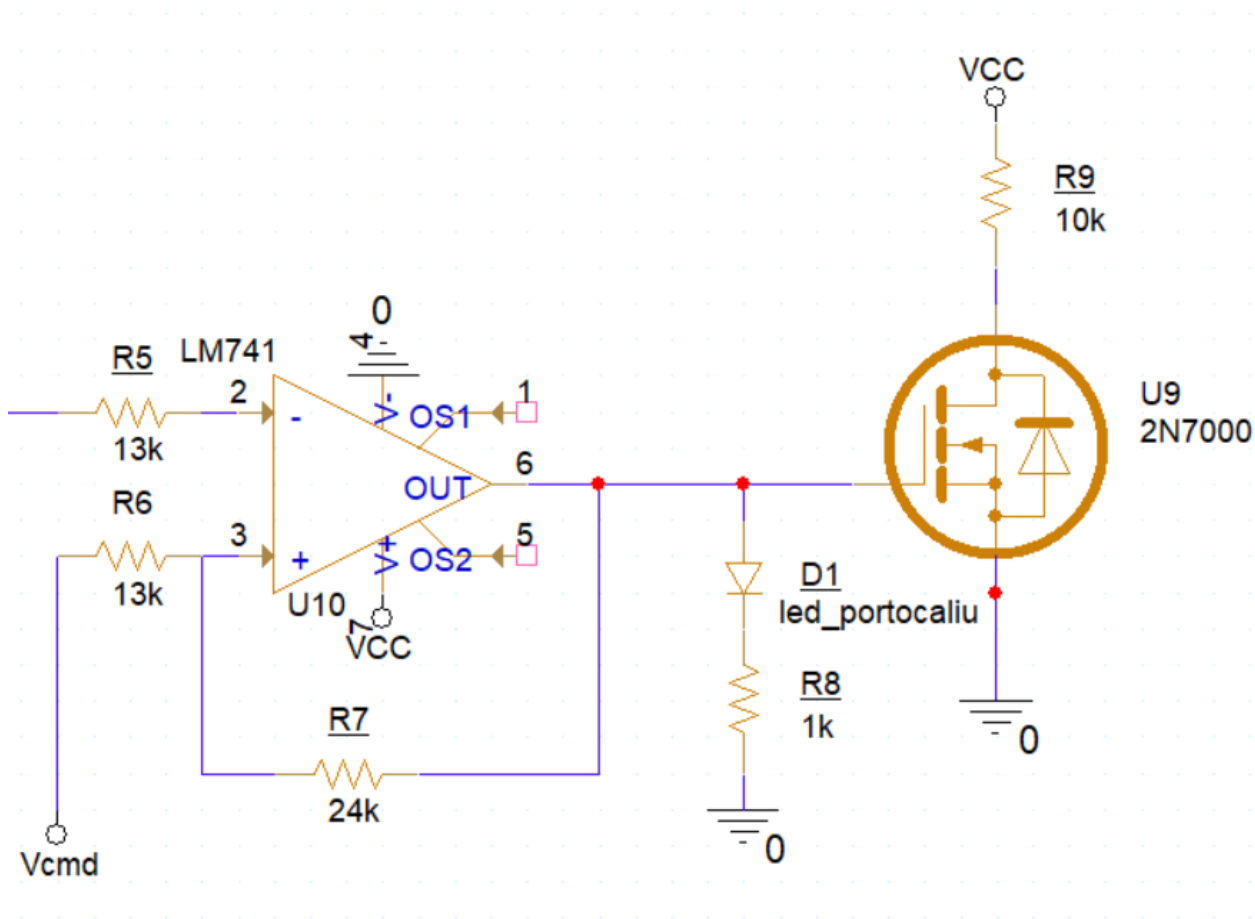
Figură 12 Pragul de jos al comparatorului reprezentat după rularea unei simulări parametrice



Figură 13 Pragul de sus al comparatorului reprezentat după rularea unei simulări parametrice

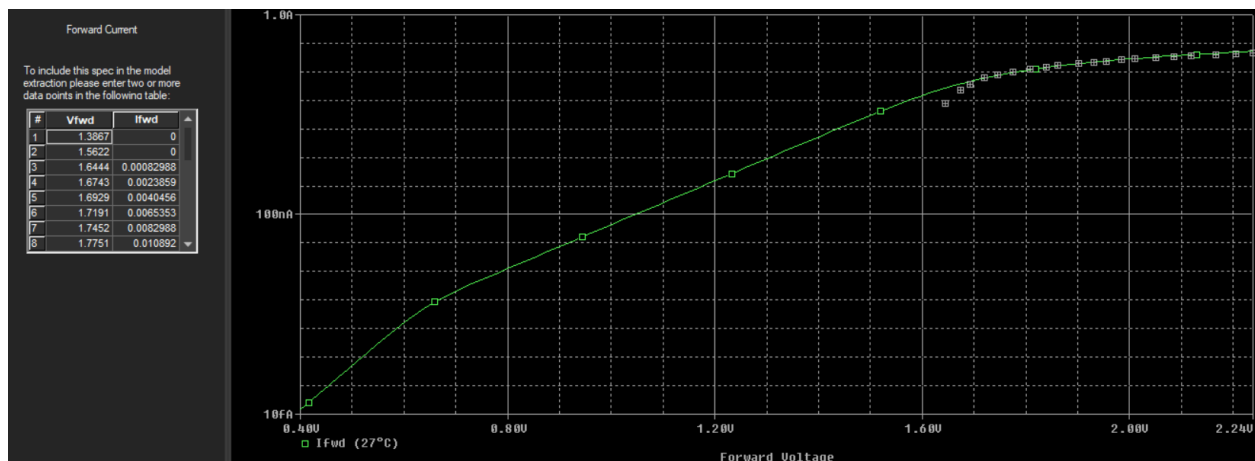
Modelarea LED-ului Portocaliu

Pentru a modela un LED portocaliu se va utiliza modelul Dbreak din librăria pSpice.



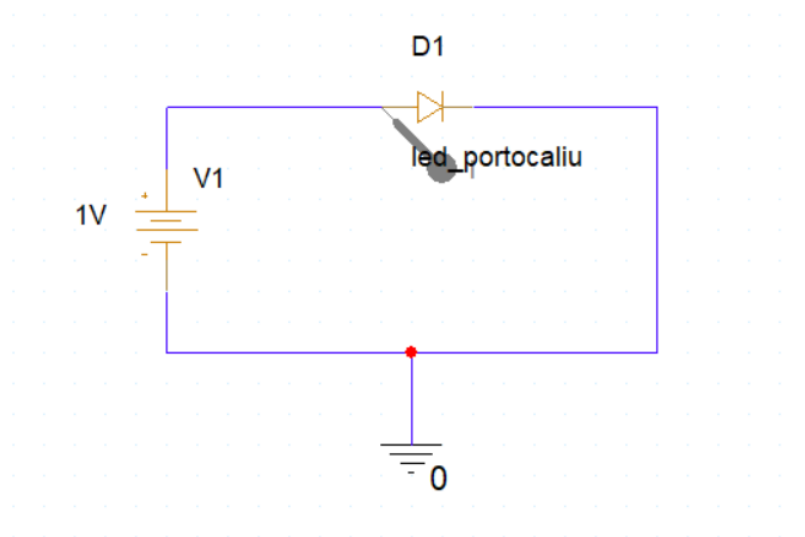
Figură 14 LED-ul Portocaliu în cadrul circuitului de control al temperaturii

Pentru a modela comportamentul unui LED portocaliu se vor folosi datele date de producător în fișa de catalog prezentă în secțiunea Datasheets. Pentru obținerea datelor se va folosi o aplicație online care va extrage datele din graficul Curent-Tensiune al diodei.



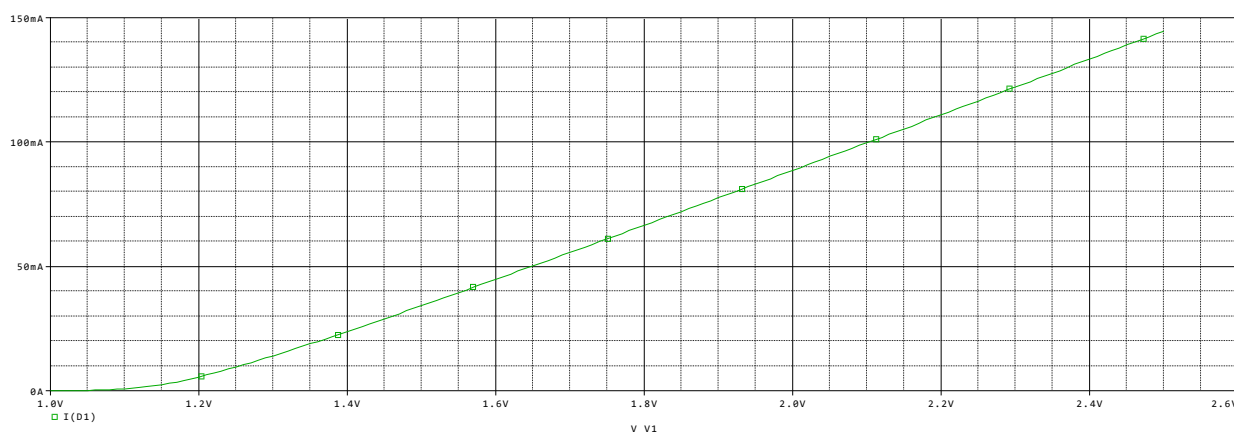
Figură 15 Fereastră care prezintă caracteristica Curent-Tensiune a LED-ului portocaliu

Pentru testarea funcționalității LED-ului se va folosi circuitul din Figura 16.



Figură 16 Schema circuitului de testare a funcționalității LED-ului portocaliu

Pentru a afișa această caracteristică se va folosi o simulare de tip DC Sweep care baleiază tensiunea oferită de sursa V1 între valorile 1V și 2.6V.



Figură 17 Caracteristica Curent-Tensiune a diodei după rularea unei simulări de tip DC Sweep

În circuit dioda va fi plasată în serie cu o rezistență R8 care va limita curentul prin aceasta și va fi acționată de tensiunea de la ieșirea comparatorului inversor.

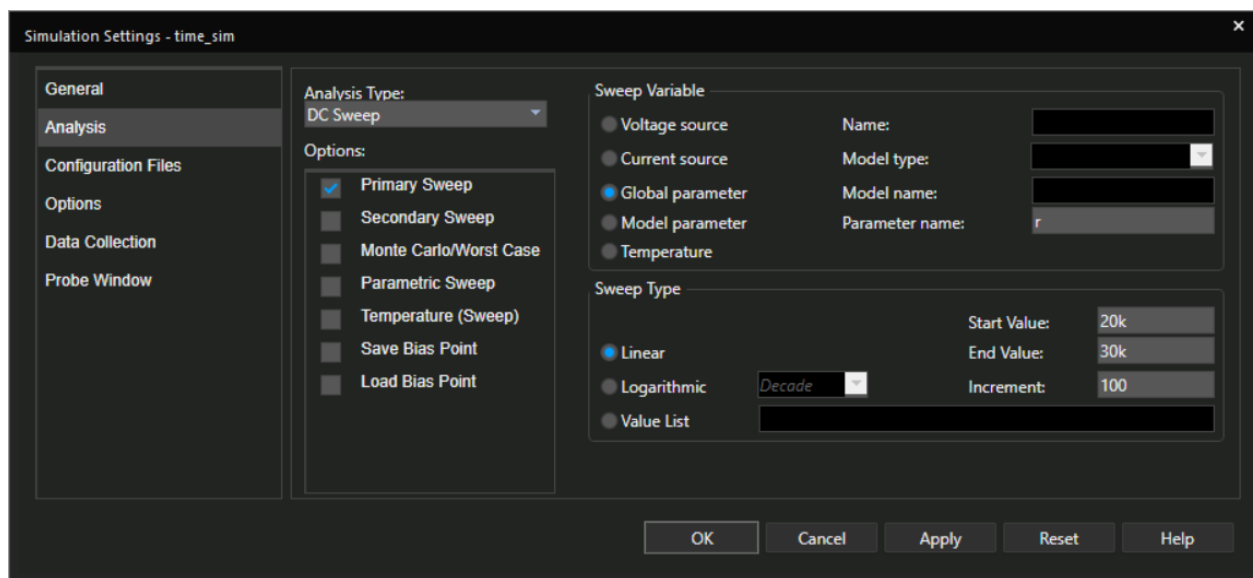
Modelarea releului electromagnetic

Pentru modelarea releului s-a folosit un tranzistor NMOS de tip 2N7000 care va permite sau nu trecerea curentului prin el în funcție de tensiunea grilă-sursă impusă asupra lui de comparatorul inversor cu histerezis.

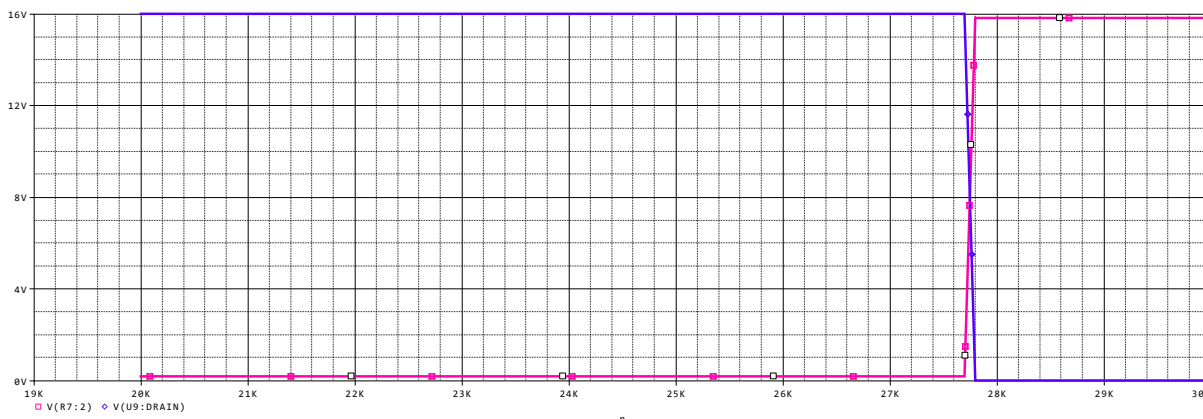
Analiza circuitului

Analiza Parametrică

Analiza parametrică realizează iterații multiple ale aceleași analize în timp ce se baleiază un parametru global, un parametru al unui model de simulare, o valoare de componentă sau temperatura de funcționare. Această analiză este echivalentă cu rularea mai multor analize standard, odată pentru fiecare valoare a parametrului. În cazul nostru o să variem parametrul global r asociat rezistenței de senzor RS care va lua valori între $[20k, 30k]$ $[\Omega]$ pentru a simula variația rezistenței unui senzor de temperatură.



Figură 18 Fereastra unde sunt prezentate setările analizei parametrice

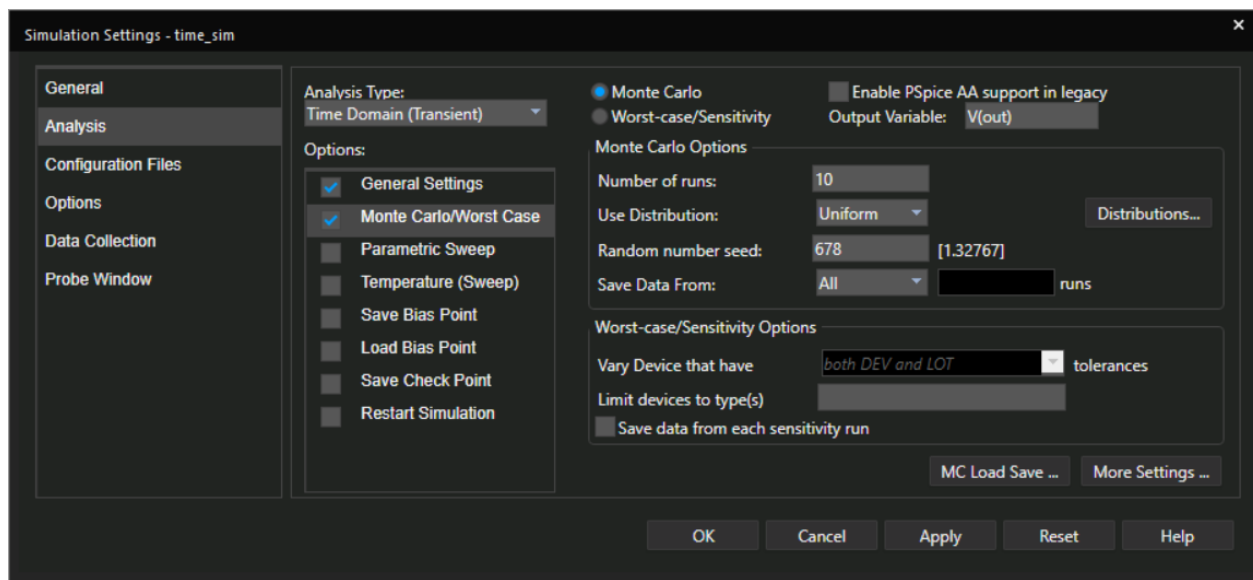


Figură 19 Graficul ce afișează tensiunea de la ieșirea comparatorului ($V(R7:2)$) și tensiunea drenă-sursă a tranzistorului ($V(U9:DRAIN)$)

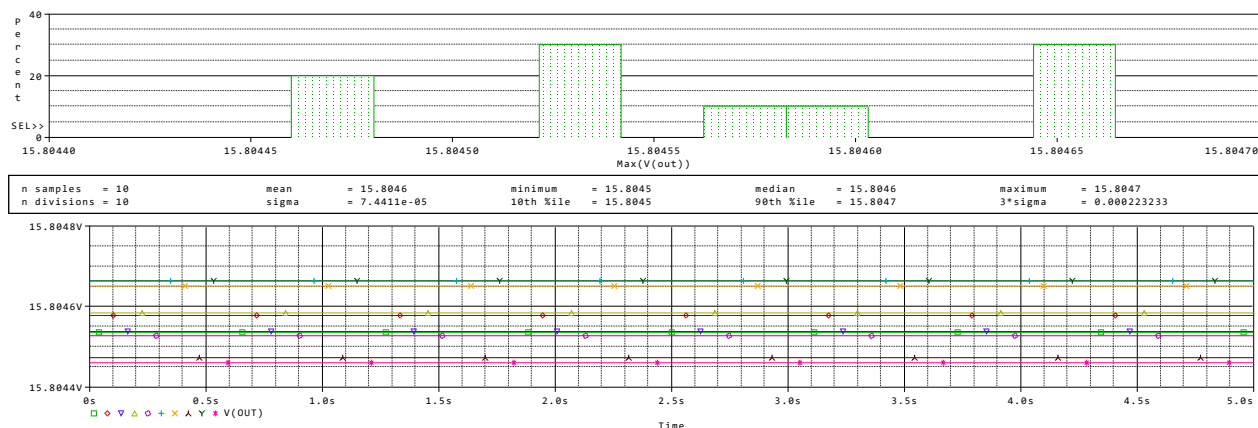
În Figura 19 se poate observa că odată ce tensiunea din grila tranzistorului devine 14V, acesta va permite trecerea curentului prin el iar centrala termică modelată prin rezistența R9 se va porni. În același timp căderea de tensiune de la ieșirea comparatorului va acționa LED-ul portocaliu.

Analiza Monte Carlo

Analiza Monte Carlo este cel mai bun mod de analiza a unui circuit din punct de vedere statistic, de a vedea cum se comporta acel circuit la variații ale valorilor componentelor. Analiza Monte Carlo determina, statistic, comportarea circuitului atunci când valorile componentelor sunt modificate in domeniul lor de toleranta.



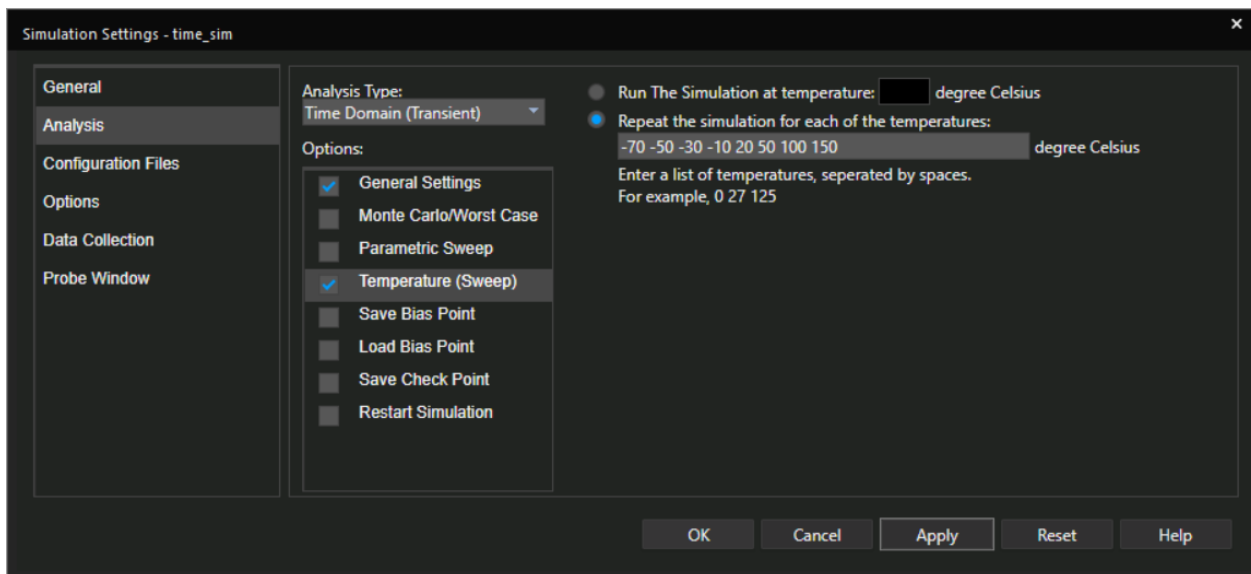
Figură 20 Fereastra unde sunt prezentate setările analizei Monte Carlo



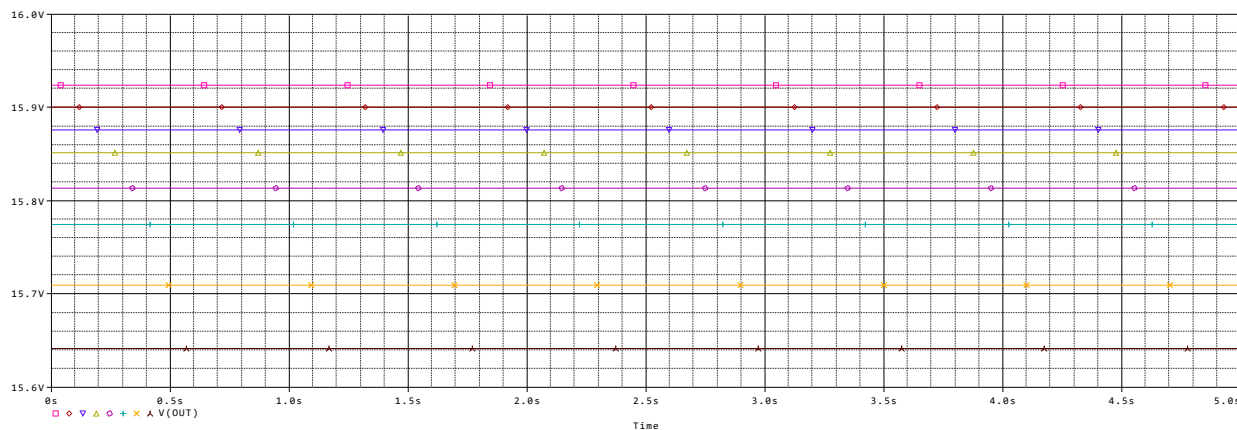
Figură 21 Grafic unde este reprezentată variația tensiunii în urma rulării analizei Monte Carlo

Analiza în temperatură

Această analiză este utilizată pentru verificarea comportamentului a circuitului la diferite temperaturi posibile.



Figură 22 Fereastra unde sunt prezentate setările analizei în temperatură



Figură 23 Grafic ce reprezintă variația tensiunii la ieșirea circuitului în funcție de temperatură

Datasheets

Fișă de catalog pentru LED-ul portocaliu

LED Orange, 5mm

multicomp



Features:

- Built-in IC chip, flashes lamp on and off to attract attention
- Operating voltage range : 3V to 10V DC
- 1/4 duty cycle
- Blinking frequency : 2.4Hz ($V_{dd} = 5V$)
- Frequency tolerance : 20%

Specifications:

Dice material	: GaAsP on GaP
Emitted colour	: Orange Red
Lens colour	: Orange Diffused
Peak wavelength	: 635nm
Viewing angle	: 45°
Luminous intensity (IV)	: 9.8mcd

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	

Electrical/Optical Characteristics at $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Test
Luminous Intensity	I_v	-	9.8	-	mcd	$I_f = 20\text{mA}$
Peak Emission Wavelength	λ_P	-	635	-	nm	Measurement at Peak
Dominant Wavelength	λ_D	-	625	-		$I_f = 20\text{mA}$
Operating Voltage	V_{dd}	3	5	10	V	-
Blinking Frequency	F_{blk}	2	2.4	2.8	Hz	-
Reverse Current	I_R	-	-	100	μA	$V_R = 5V$

www.element14.com
www.farnell.com
www.newark.com

multicomp

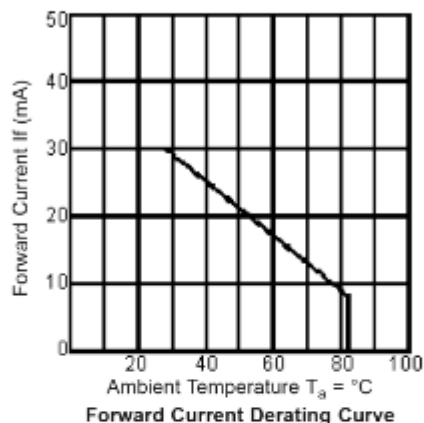
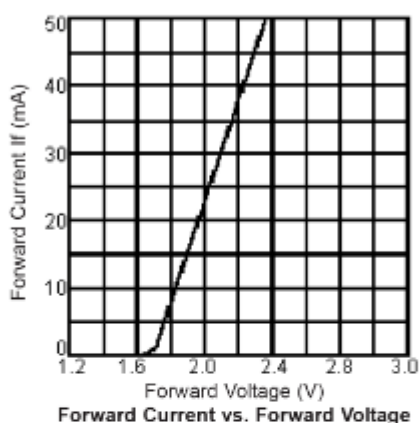
Page <1>

26/09/12 V1.0

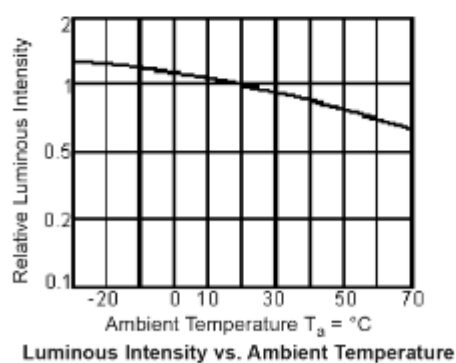
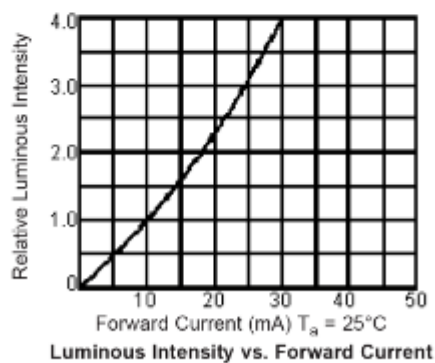
LED Orange, 5mm



Orange (GaAsP/CaP $\lambda_P = 635\text{nm}$)



Orange (GaAsP/CaP $\lambda_P = 635\text{nm}$)



Bibliografie

- [1] Cursuri Tehnici CAD, Prof. dr. ing. Ovidiu Pop
- [2] Cursuri DE, Prof. dr. ing. Ovidiu Pop
- [3] Cursuri CEF, Prof. dr. ing. Ovidiu Pop
- [4] All About Electronics, <https://www.allaboutelectronics.org/>
- [5] All About Circuits, <https://www.allaboutcircuits.com/>