



UNIVERSITATEA TEHNICĂ

DIN CLUJ-NAPOCA

Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia informației

Proiect – Tehnici CAD

Aparat pentru măsurarea temperaturii

Student: Ilisei Vasilica-Adina

Seria: A

Grupa: 2123/1

Coordonator: Prof. Dr. Ing. Ovidiu Pop

CUPRINS:

CUPRINS:	2
CERINȚĂ:	3
DESCRIEREA TEORETICĂ FUNCȚIONĂRII CIRCUITULUI:	3
SCHEMA BLOC A CIRCUITULUI:	4
SCHEMA ELECTRICĂ:	4
PROIECTAREA SENZORULUI:	5
ADAPTAREA DE IMPEDANȚĂ:	10
CIRCUITUL DE EXTINDERE AL DOMENIULUI:	11
MODELAREA LED-URILOR:	16
CALCULUL REZISTENȚEI SENZORULUI ÎN FUNCȚIE DE TEMPERATURĂ:	23
CALCULUL TENSIUNILOR DE LA IEȘIREA AMPLIFICATORULUI DIFERENȚIAL ÎN FUNCȚIE DE VARIAȚIA SENZORULUI:	24
DIMENSIONAREA REZISTENȚELOR CARE LIMITEAZĂ CURENTUL PRIN LED-URI:	24
FUNCȚIONALITATEA SEMNALIZĂRII INDIVIDUALE:	26
ANALIZA DC SWEEP:	31
ANALIZA ÎN TEMPERATURĂ:	31
ANALIZA WORST-CASE:	33
ANALIZA MONTE-CARLO:	34
BIBLIOGRAFIE:	37

CERINȚĂ:

Să se proiecteze un circuit electronic pentru măsurarea temperaturii în domeniul specificat. Circuitul este prevăzut cu 4 sau mai multe indicatoare luminoase (LED) care semnalizează depășirea pragurilor. Circuitul este alimentat de la tensiunea $\pm V_{CC}$. LED-urile trebuie să fie de culori diferite pentru fiecare domeniu specificat. Rezistența electrică a traductorului de temperatură variază neliniar cu temperatura - se va proiecta un circuit de liniarizare pentru aceasta. Suplimentar, circuitul trebuie prevăzut cu extinderea domeniului de măsură, luând în calcul valoarea maximă a tensiunii de alimentare. Modul de aprindere al LED-urilor este specificat în coloana "Mod semnalizare" și poate fi de tip coloană (fiecare LED este aprins și rămâne aprins cu depășirea domeniului) sau individual (fiecare LED se aprinde doar în domeniul pe care îl semnalizează).

Domeniul de temperatură: $-10 \dots +75$

Domeniul de variație al rezistenței senzorului (R_{senzor}): 100k - 330k

Tensiunea de alimentare($\pm V_{CC}$) [V]: 15

Semnalizări: < 0 , 0 -10, 10-50, > 50

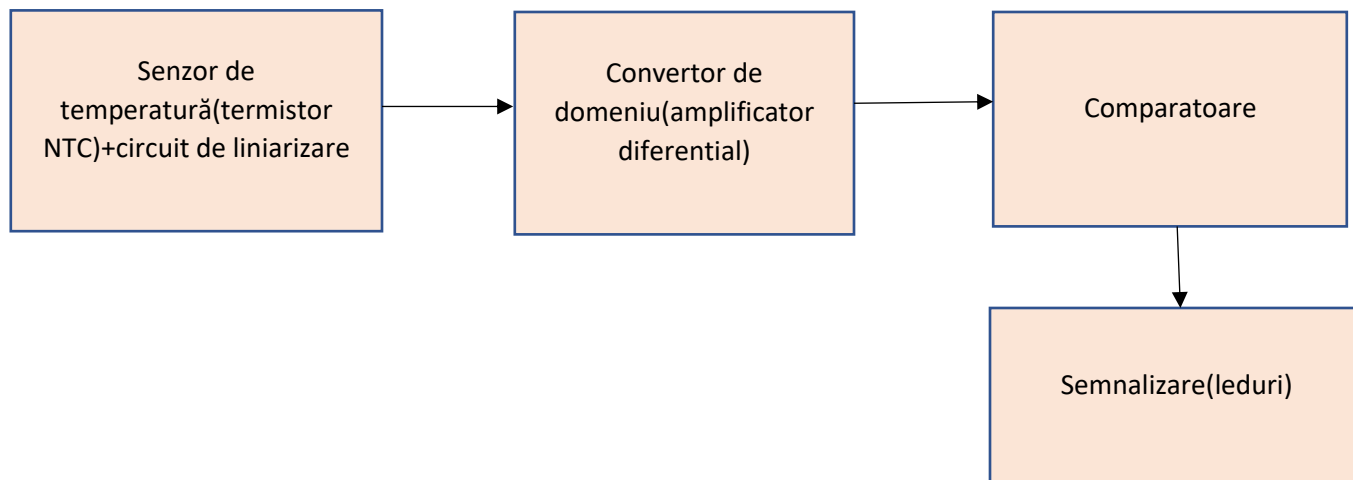
Mod semnalizare: Individual

DESCRIEREA TEORETICĂ FUNCȚIONĂRII CIRCUITULUI:

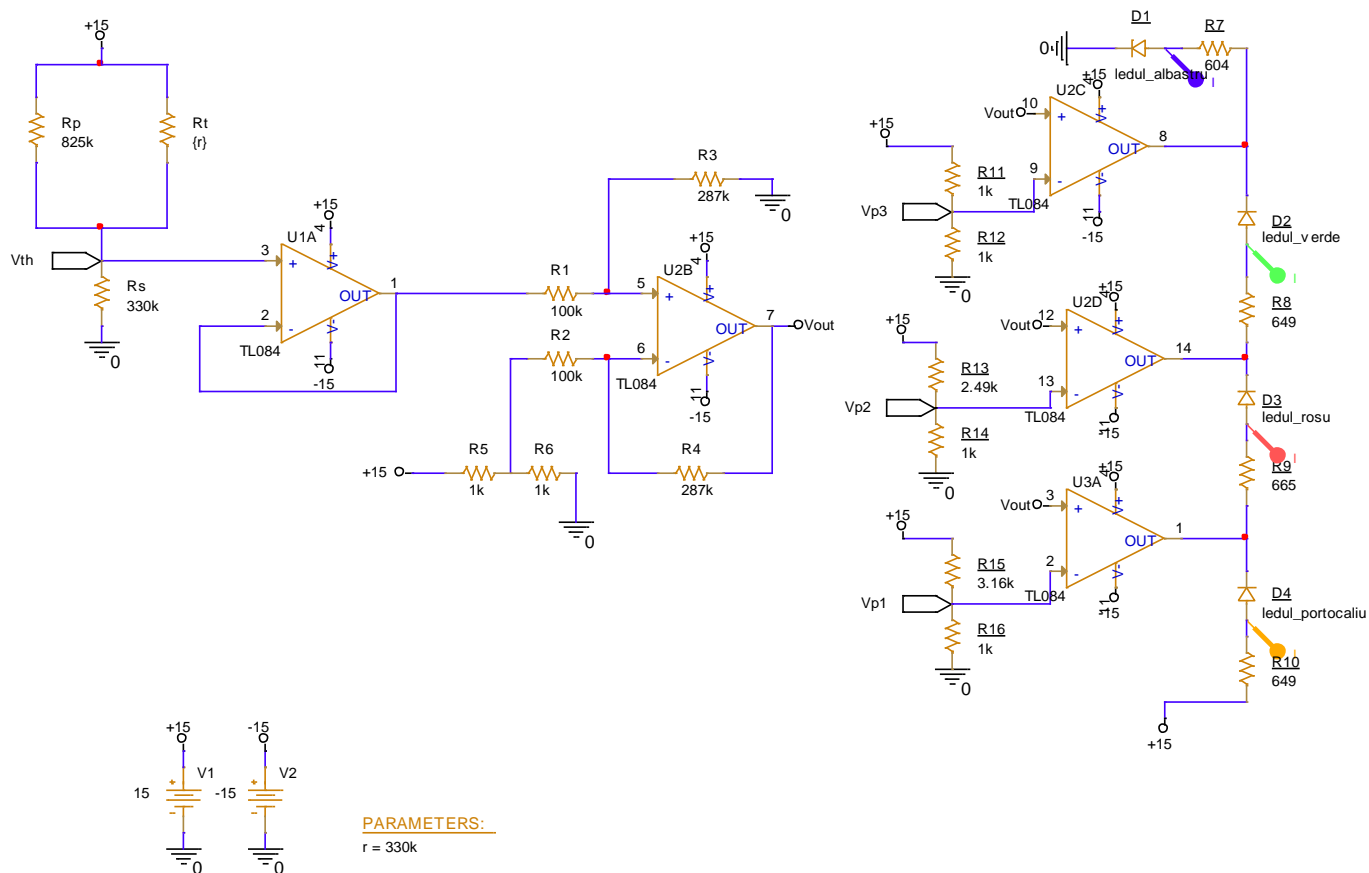
În proiectul meu am considerat senzorul de temperatură ca fiind o rezistență ce își schimbă valoarea în funcție de temperatură. Pe măsură ce temperatura crește rezistența va scădea. Circuitul va fi alimentat la 15V. Deci, circuitul va conține:

- Senzorul de temperatură cu circuitul de liniarizare
- Amplificator diferențial pentru extinderea domeniului
- 3 comparatoare pentru semnalizări
- 4 led-uri care vor lumina în funcție de intervalele de temperatură date

SCHEMA BLOC A CIRCUITULUI:



SCHEMA ELECTRICA:



PROIECTAREA SENZORULUI:

Cel mai mare dezavantaj al termistorului NTC este că, caracteristica temperatură-rezistență este neliniară.

Pentru a corecta acest lucru vom avea nevoie de un circuit de liniarizare, astfel, am ales să folosesc un divizor de tensiune. Am pus valoarea de 825k rezistenței R_p (valoarea rezistenței R_p trebuie să fie mai mare decât valoarea senzorului) și valoarea de 330k rezistenței R_s . Aceste valori au fost alese prin simulări repetate.

Rezistență de 330k (toleranță de $\pm 1\%$, seria E96):

<https://www.tme.eu/ro/details/m0.6w-330k/rezistente-metalizate-tht-0-6w/royal-ohm/mf006ff3303a50/>

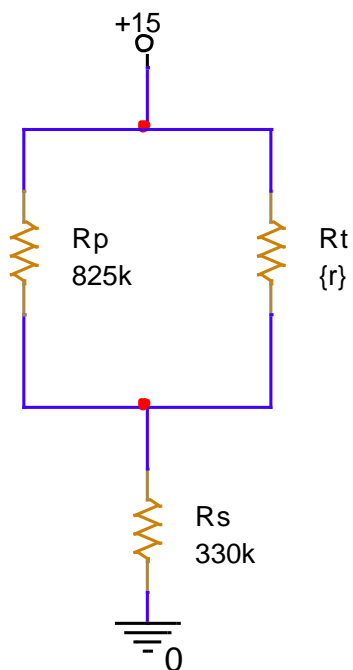
Rezistență de 825k (toleranță de $\pm 1\%$, seria E96):

<https://www.tme.eu/ro/details/mrs25000c8253fct00/rezistente-metalizate-tht-0-6w/vishay/>

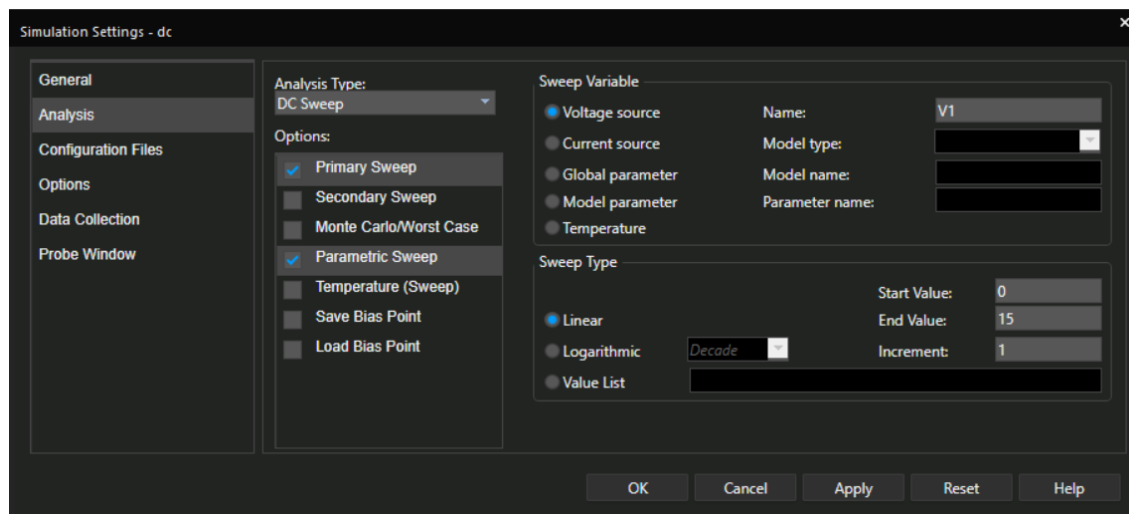
Pentru a observa variația rezistenței R_t în funcție de temperatură vom folosi parametrul global “r” care variază între 100k și 330k.

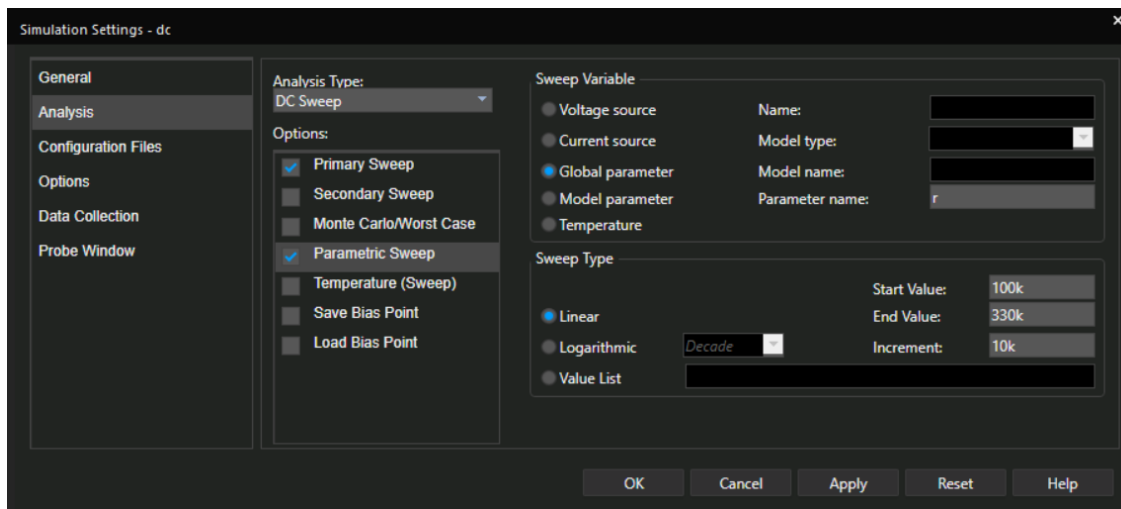
PARAMETERS:

r = 100k



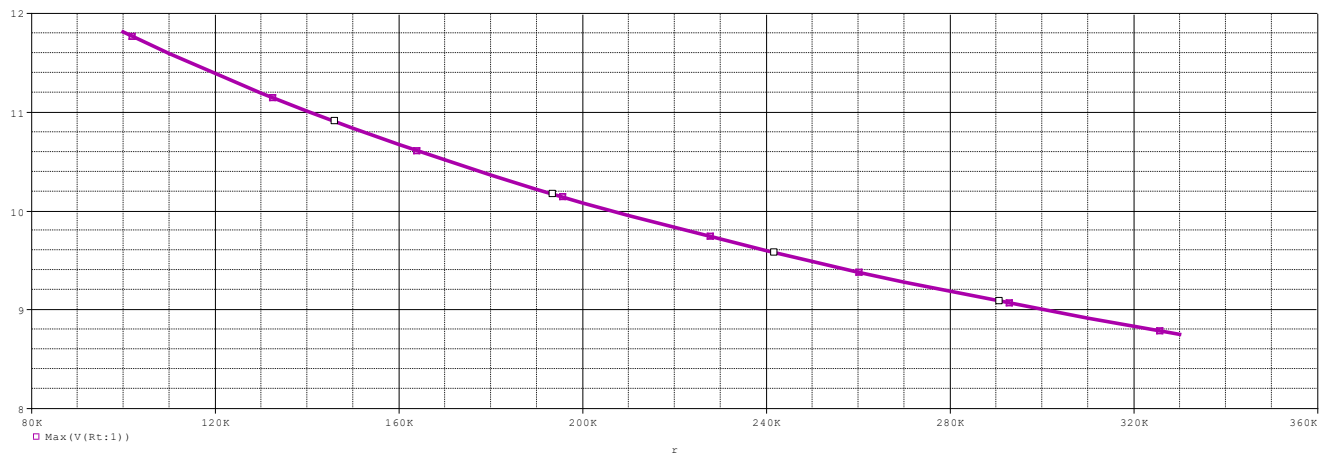
Apoi am realizat o analiză de performanță, astfel:

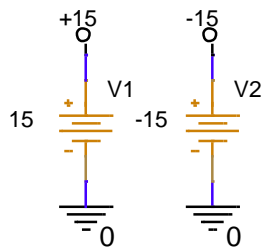




Trace Expression:

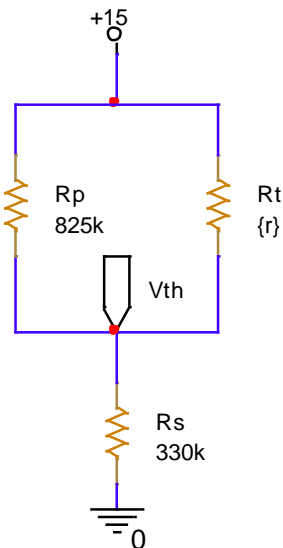
Am ales funcția obiectiv Max (arată valoarea maximă).





PARAMETERS:

$r = 100k$



În pasul următor am calculat tensiunea V_{th} astfel:

$$V_{th} = \frac{R_s}{R_s + (R_t \parallel R_p)} \cdot 15$$

$$R_t \parallel R_p = \frac{R_t \cdot R_p}{R_t + R_p} = 100k$$

$$R_p = 825k$$

$$R_t \parallel R_p = \frac{825k \cdot 100k}{825k + 100k} = 89.189k$$

$$V_{th-max} = \frac{330k}{330k + 89.189k} \cdot 15 = 11.808V$$

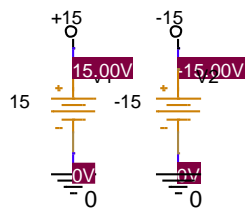
$$2. R_t = 330k$$

$$R_p = 825k$$

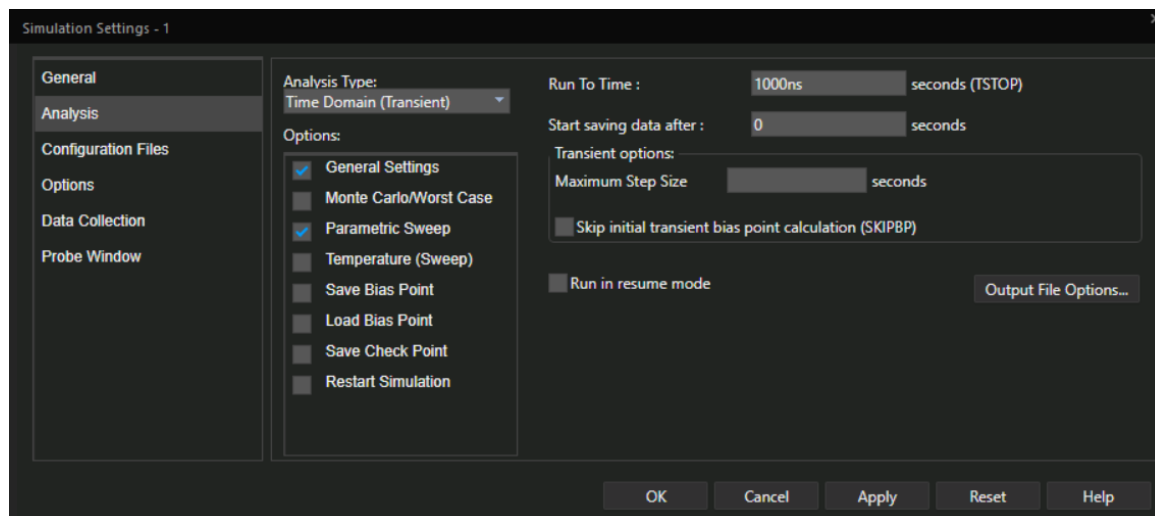
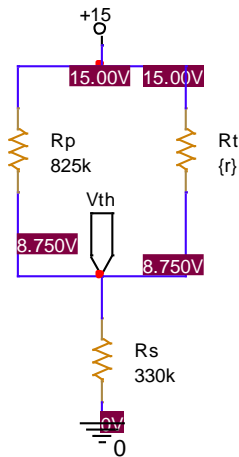
$$R_t \parallel R_p = \frac{825k \cdot 330k}{825k + 330k} = 235.714k$$

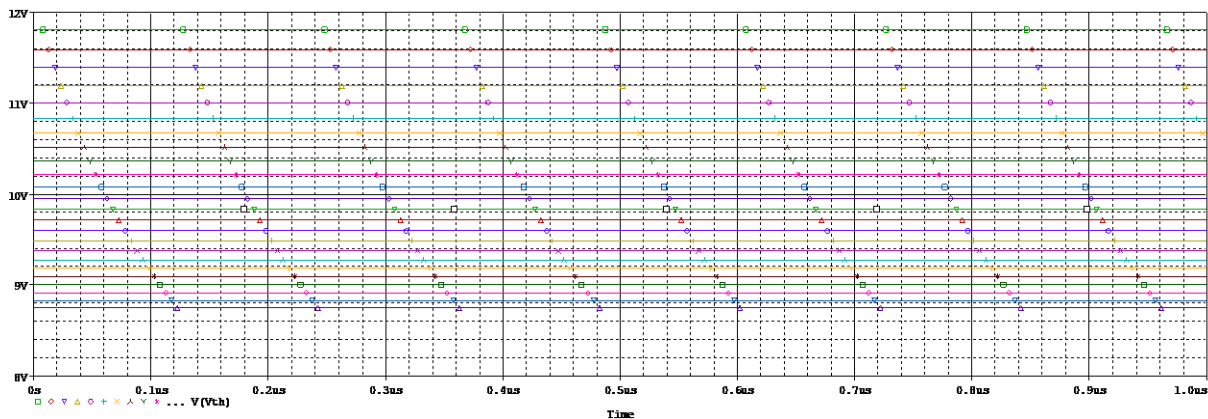
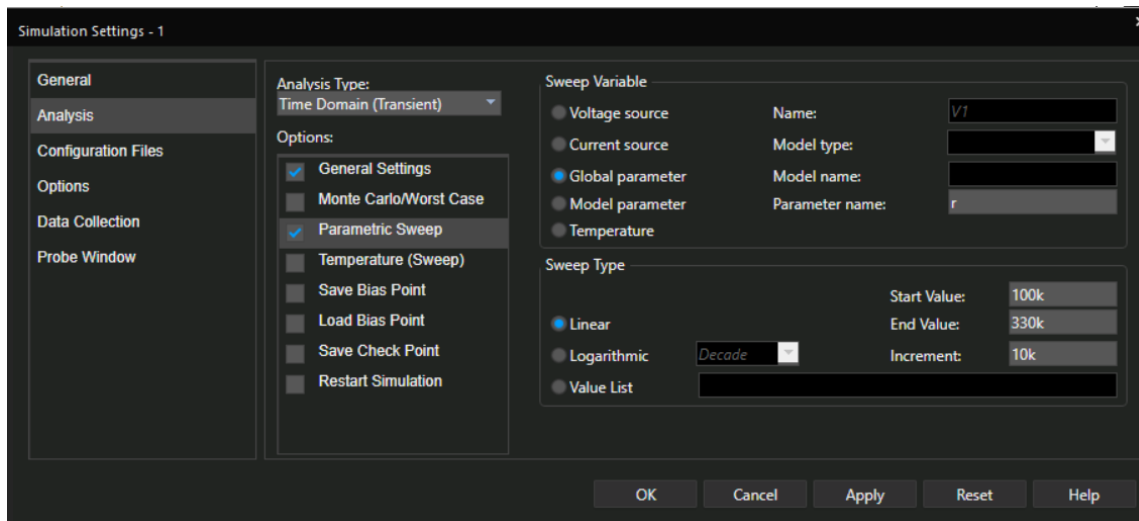
$$V_{th-min} = \frac{330k}{330k + 235.714k} = 8.75V$$

Am verificat calculele și în simulator făcând o analiză tranzitorie în felul următor:



PARAMETERS:
 $r = 100k$



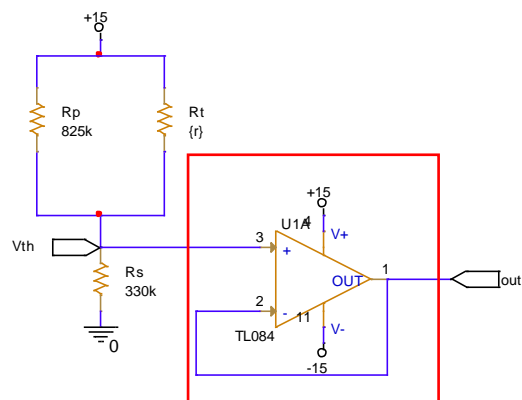


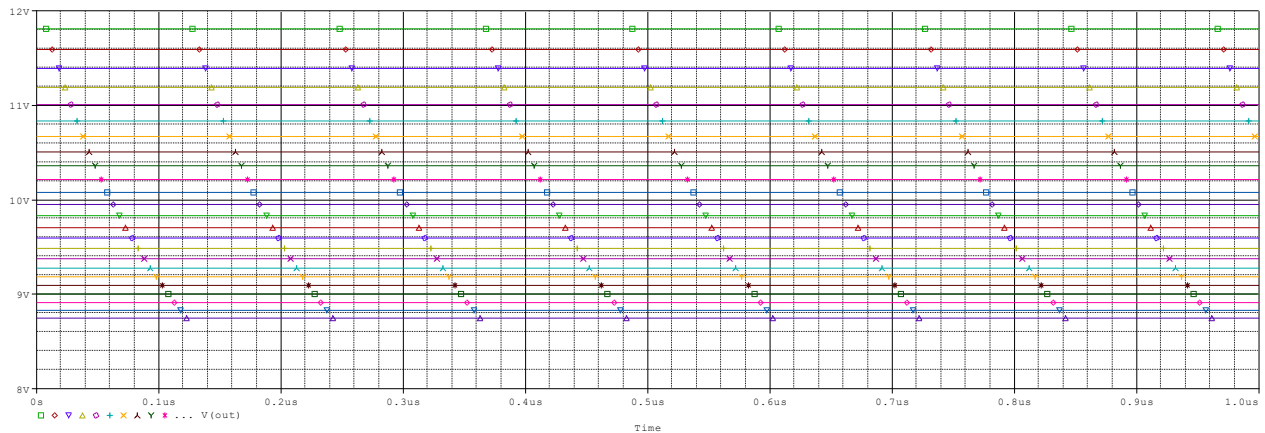
V(Vth) 11.809 în simulator $V_{th-max} = 11.809V$ iar calculat $V_{th-max} = 11.808V$

V(Vth) 8.7500 în simulator $V_{th-min} = 8.75V$ iar calculat $V_{th-min} = 8.75V$

ADAPTAREA DE IMPEDANȚĂ:

Pentru adaptarea de impedanță urmează să punem în contiuare în schemă un repetor de tensiune (la ieșire vom regăsi tot tensiunea Vth calculată anterior) :





V(out) 11.808

V(out) 8.7497

Am ales să folosesc amplificatorul TL084 deoarece se potrivește tensiunii mele de alimentare de 15V.

TL084: <https://www.tme.eu/ro/details/tl084acd/amplificatori-operationali-smd/texas-instruments/>

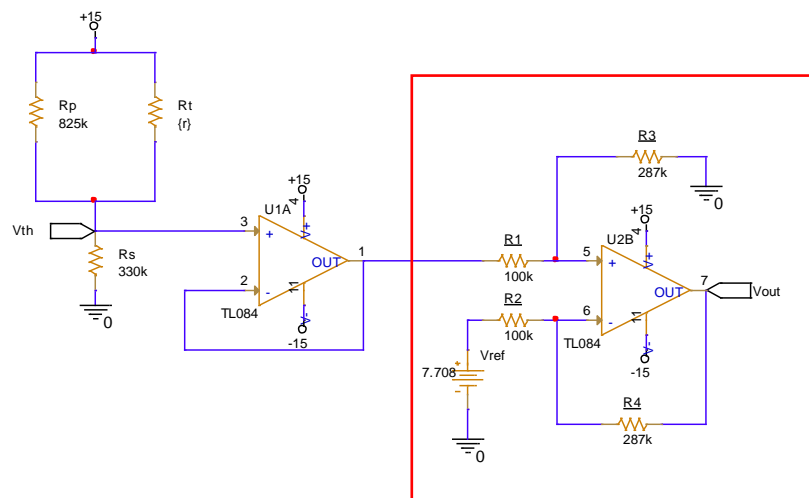
Bandă de transmisie: 3MHz

Viteză creștere tensiune: 13V/μs

Temperatura de lucru: 0...70°C

Domeniu tensiuni de alimentare: ±5...15V

CIRCUITUL DE EXTINDERE AL DOMENIULUI:



Amplificator diferențial este un dispozitiv care este utilizat pentru a amplifica diferența dintre tensiunile aplicate la intrările sale.

Amplificatorul operațional îl considerăm ideal $\Rightarrow v^+ = v^-$

$$V^+ = \frac{\frac{V_{th} + 0}{R_1 + R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3}}$$

$$V^- = \frac{\frac{V_{ref} + V_{out}}{R_2 + R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}}$$

$$\Rightarrow \frac{\frac{V_{th} + 0}{R_1 + R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3}} = \frac{\frac{V_{ref} + V_{out}}{R_2 + R_4}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}}$$

$$\Rightarrow V_{out} = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \cdot \frac{R_2 + R_4}{R_2} \cdot V_{th} - \frac{R_4}{R_2} \cdot V_{ref}$$

$$\Rightarrow \text{Dacă } R_1 = R_2 \text{ și } R_3 = R_4 \Rightarrow V_{out} = \frac{R_4}{R_2} \cdot (V_{th} - V_{ref})$$

Am observat că tensiunea V_{th} variază între 11.808V și 8.75V dar tensiunea noastră de alimentare este de 15V. Adăugând amplificatorul diferențial pentru extinderea domeniului ne dorim să aducem tensiunea de 8.75V la 3V și să păstrez tensiunea de 11.808V.

Am realizat acest lucru prin următoarele calcule:

$$V_{th-min} = 8.75V$$

$$V_{th-max} = 11.809V$$

$$\text{Diferența dintre cele două tensiuni } V_{th-min} - V_{th-max} = 3.058$$

$$\text{Tensiunea minimă dorită este de 3V} \Rightarrow V_{th-max} - V_{min} = 11.809 - 3 = 8.808$$

$$\text{Deci, } 3.058 \cdot A = 8.808 \text{ (A-amplificarea)} \Rightarrow A = 2.88$$

Din formula demonstrată anterior pentru amplificatorul diferențial, rezultă următoarele calcule:

$$V_{out} = \frac{R_4}{R_2} \cdot (V_{th} - V_{ref}) \text{ știm că } A = 2.88, \text{ unde } A = \frac{R_4}{R_2} \Rightarrow \frac{R_4}{R_2} = 2.88 \Rightarrow$$

$$R_4 = 2.88 \cdot R_2 \text{ aleg } R_2 = 100k \text{ și } R_4 = 288k$$

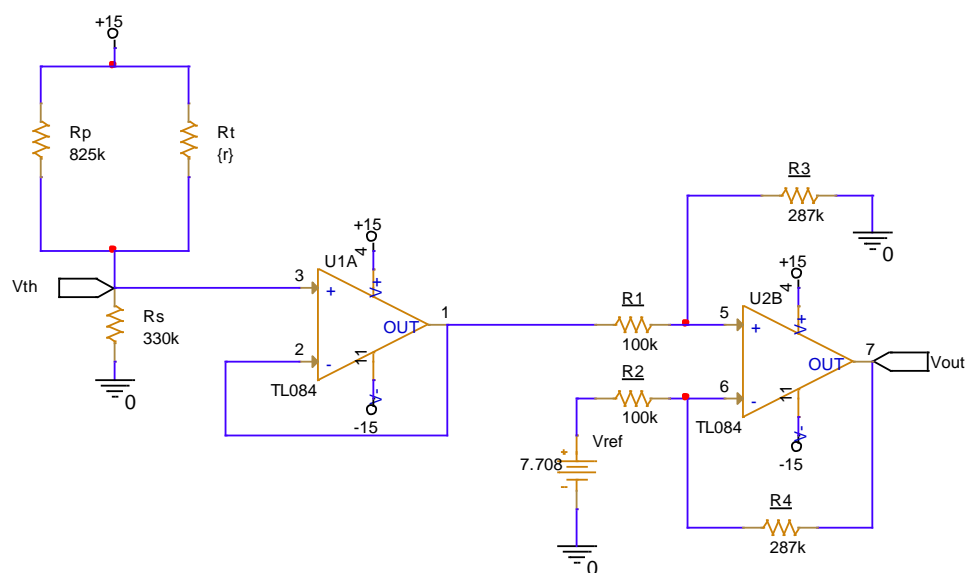
$$(11.808 - V_{ref}) \cdot 2.88 = 11.808 \Rightarrow V_{ref} = 7.708V$$

Rezistență de 100k (toleranță $\pm 1\%$, seria E96):

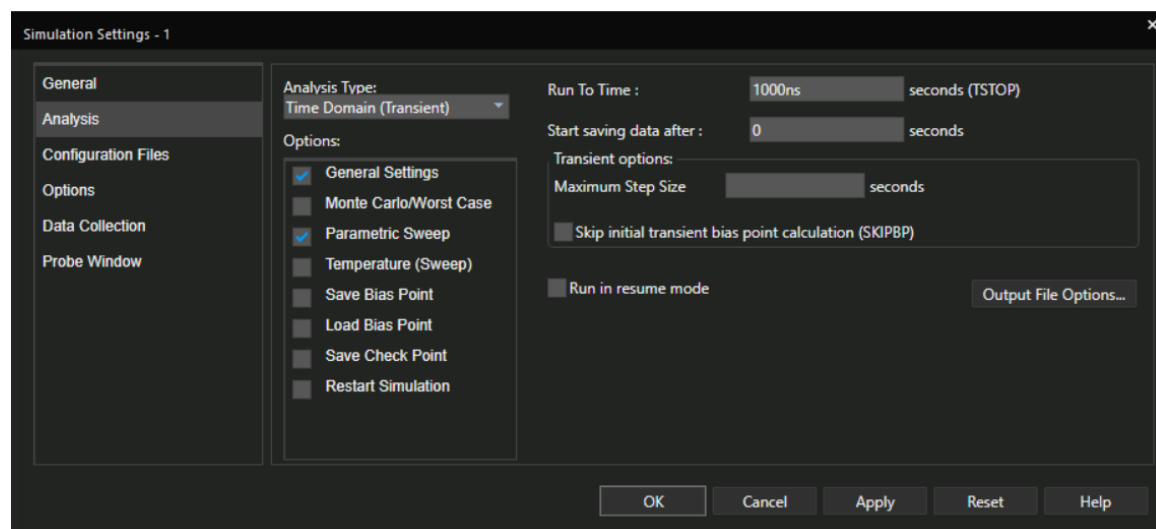
<https://www.tme.eu/ro/details/mbb02070c1003fct00/rezistente-metalizate-tht-0-6w/vishay/>

Rezistență de 288k nu există așa că am ales o rezistență de 287k (toleranță $\pm 1\%$, seria E96):

<https://www.tme.eu/ro/details/mrs25000c2873fct00/rezistente-metalizate-tht-0-6w/vishay/>



Pentru a verifica calculele precedente în simulator am realizat o analiză tranzitorie astfel:



Simulation Settings - 1

General

Analysis

Configuration Files

Options

Data Collection

Probe Window

Analysis Type:
Time Domain (Transient)

Options:

☒ General Settings
 ☐ Monte Carlo/Worst Case
 ☒ Parametric Sweep
 ☐ Temperature (Sweep)
 ☐ Save Bias Point
 ☐ Load Bias Point
 ☐ Save Check Point
 ☐ Restart Simulation

Sweep Variable

☐ Voltage source
 ☐ Current source
 ☒ Global parameter
 ☐ Model parameter
 ☐ Temperature

Name:
 Model type:
 Model name:
 Parameter name:

Sweep Type

☒ Linear
 ☐ Logarithmic
 ☐ Value List

Start Value:
 End Value:
 Increment:

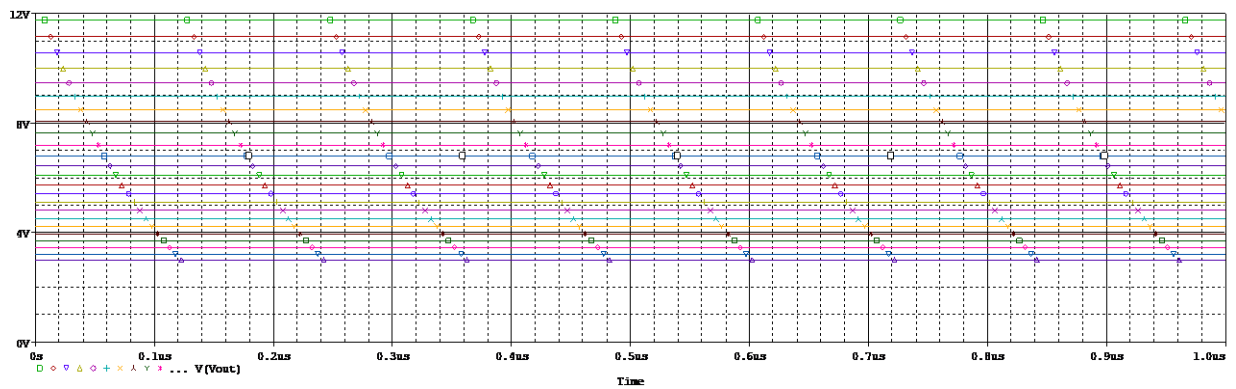
OK

Cancel

Apply

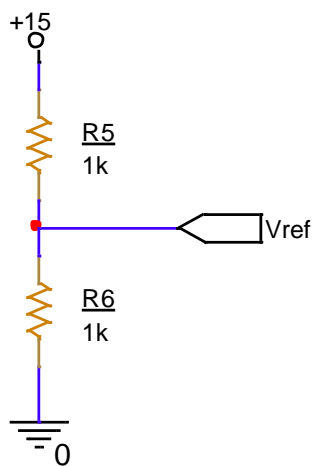
Reset

Help



Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	0.000
CURSOR 1,2	V(Vout)	11.766
	V(Vout)	11.141
	V(Vout)	10.552
	V(Vout)	9.995
	V(Vout)	9.4674
	V(Vout)	8.9673
	V(Vout)	8.4925
	V(Vout)	8.0410
	V(Vout)	7.6113
	V(Vout)	7.2018
	V(Vout)	6.8111
	V(Vout)	6.4379
	V(Vout)	6.0811
	V(Vout)	5.7396
	V(Vout)	5.4124
	V(Vout)	5.0988
	V(Vout)	4.7978
	V(Vout)	4.5087
	V(Vout)	4.2308
	V(Vout)	3.9634
	V(Vout)	3.7061
	V(Vout)	3.4582
	V(Vout)	3.2192
	V(Vout)	2.9887

Având în vedere că nu este recomandat să folosim mai multe surse de tensiune (costuri suplimentare) va trebui să renunțăm la sursa de tensiune Vref. Așa că vom realiza un divizor de tensiune alimentat la tensiunea mea de 15V.



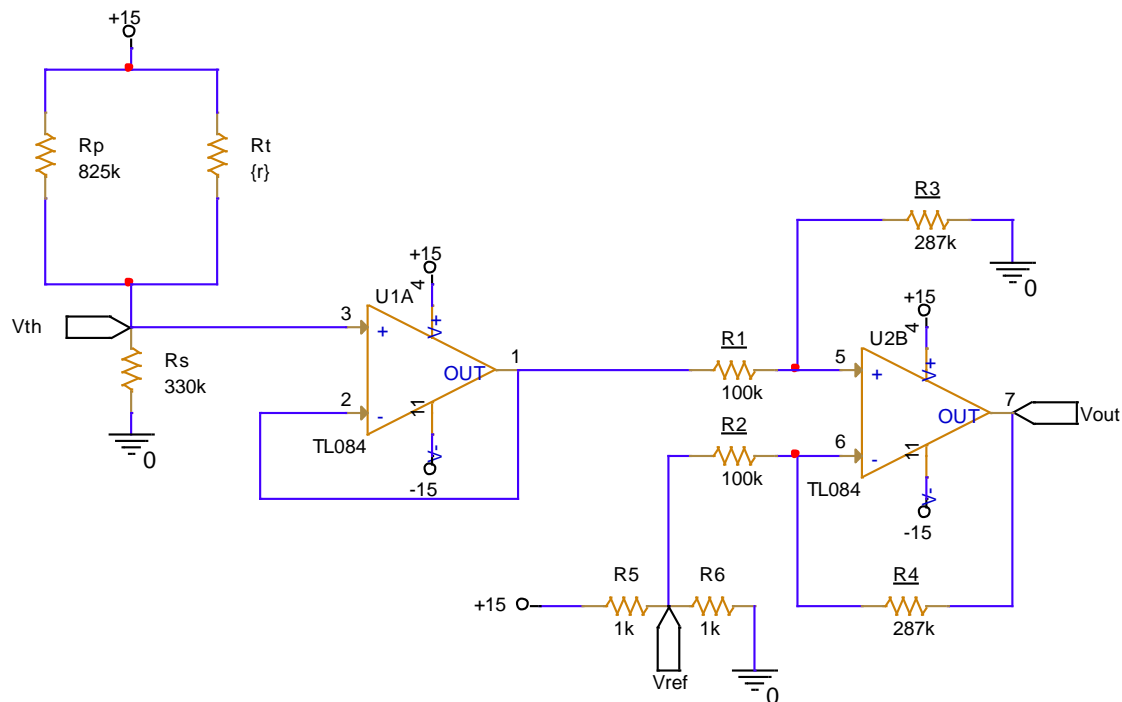
$$V_{ref} = \frac{R_6}{R_6 + R_5} \cdot 15 \Rightarrow \frac{R_6}{R_6 + R_5} = \frac{V_{ref}}{15} = \frac{7.708}{15} = 0.51$$

$$\Rightarrow R_6 = 0.51 \cdot (R_6 + R_5) \Rightarrow 0.5 \cdot R_6 = 0.5 \cdot R_5$$

$$\text{Aleg } R_5 = 1K \Rightarrow R_6 = 1k$$

Rezistență de 1k (toleranță $\pm 1\%$, seria E96):

<https://www.tme.eu/ro/details/mbb02070c1001fct00/rezistente-metalizate-tht-0-6w/vishay/>



În urma analizei tranzitorii după ce am pus și divizorul de tensiune am obținut:

- ✓ Vref:

V(Vref)	7.5063
---------	--------
- ✓ Tensiunea minimă la ieșirea amplificatorului diferențial :

V(Vout)	3.6001
---------	--------
- ✓ Tensiunea maximă la ieșirea amplificatorului diferențial :

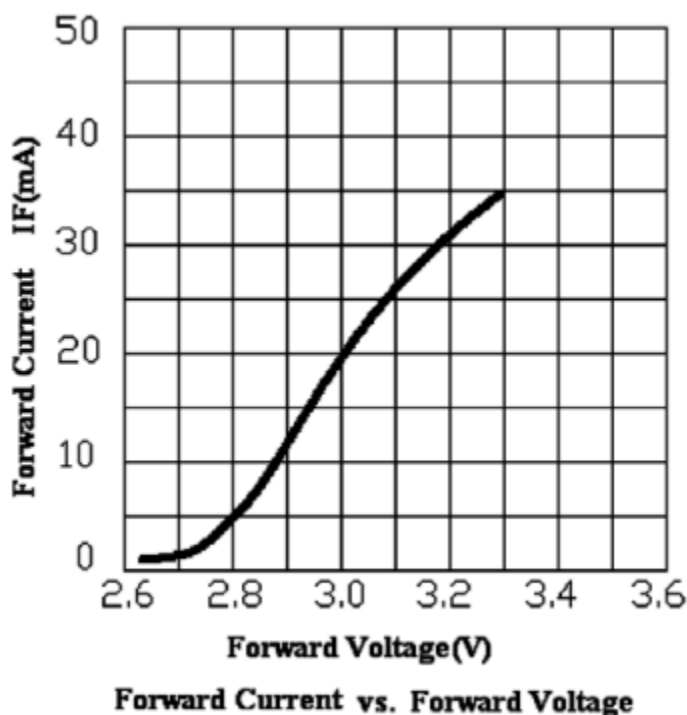
V(Vout)	12.345
---------	--------

MODELAREA LED-URILOR:

1. LED-UL ALBASTRU:

Pentru a modela led-ul albastru am folosit foaia de catalog de unde am preluat caracteristica Forward Current/Forward Voltage:

<https://www.farnell.com/datasheets/2828093.pdf>



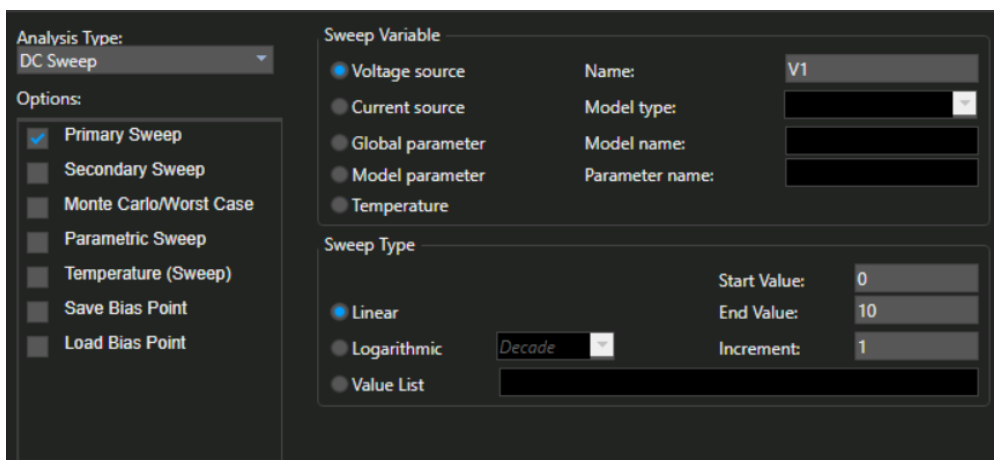
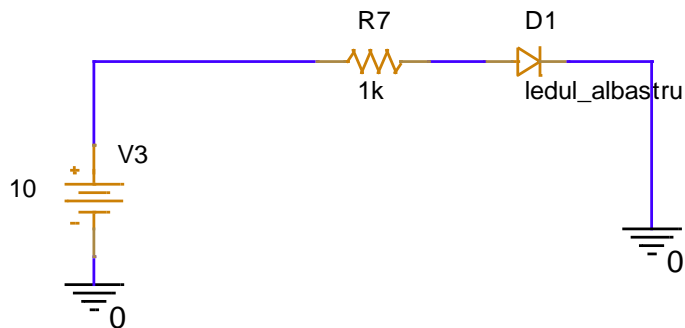
Apoi, în model editor am introdus valorile corespunzătoare graficului de mai sus:

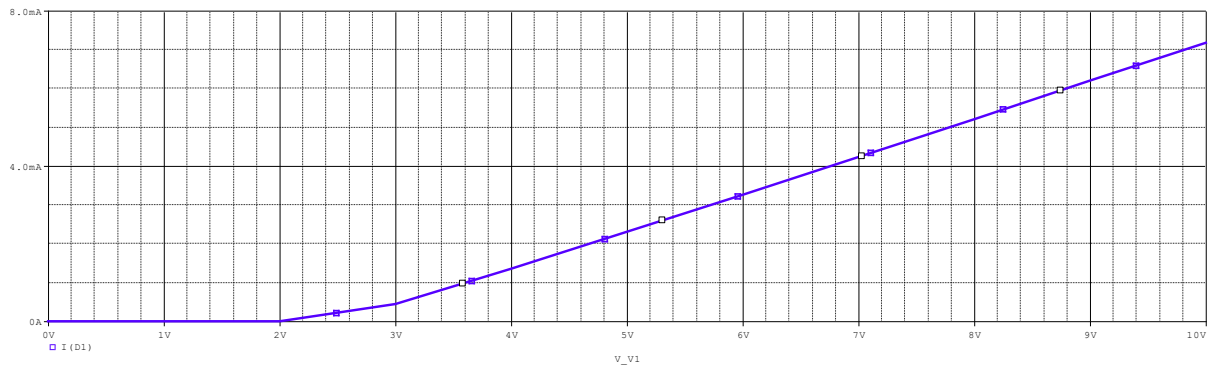
Forward Current

To include this spec in the model extraction please enter two or more data points in the following table:

#	Vfwd	Ifwd
1	2.6	0
2	2.8	0.005
3	2.9	0.01
4	3	0.02
5	3.1	0.025
6	3.2	0.03
7	3.3	0.035
8		

După ce am asociat modelul creat, pentru a testa funcționalitatea led-ului am realizat următorul circuit:

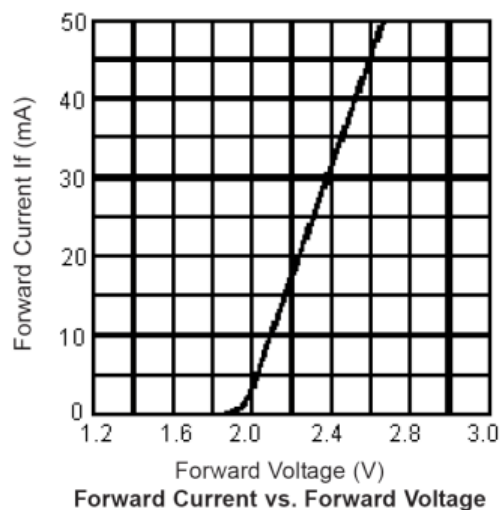




2. LED-UL VERDE:

Pentru a modela led-ul verde am folosit foaia de catalog de unde am preluat caracteristica Forward Current/Forward Voltage:

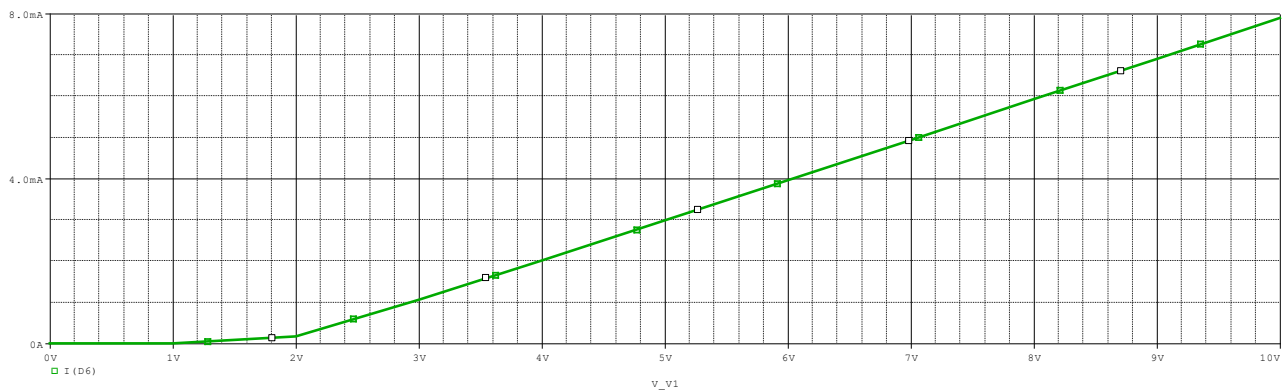
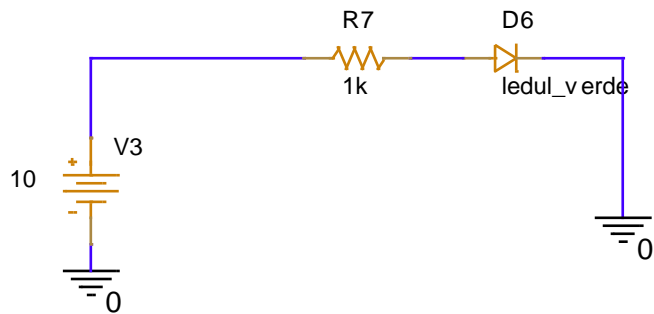
<https://www.farnell.com/datasheets/2861527.pdf>



Apoi, în model editor am introdus valorile corespunzătoare graficului de mai sus:

#	Vfwd	Ifwd
1	1.8	0
2	2	0.002
3	2.2	0.015
4	2.4	0.03
5	2.6	0.045
6		
7		
8		

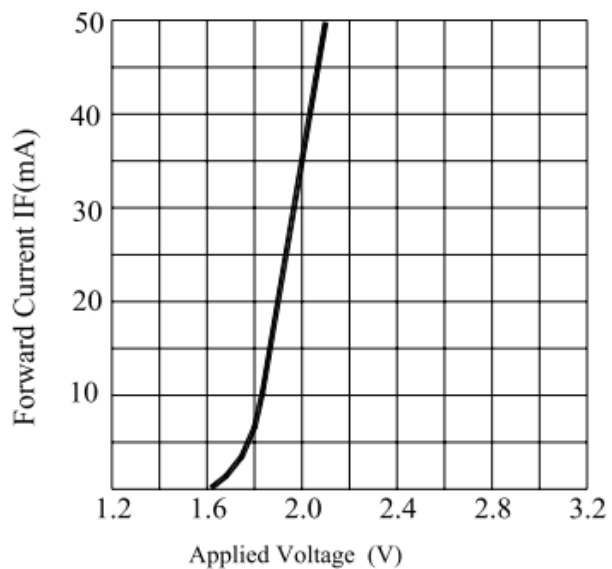
După ce am asociat modelul creat, pentru a testa funcționalitatea led-ului am realizat următorul circuit:



3. LED-UL ROȘU:

Pentru a modela led-ul verde am folosit foaia de catalog de unde am preluat caracteristica Forward Current/Forward Voltage:

<https://www.farnell.com/datasheets/2863874.pdf>

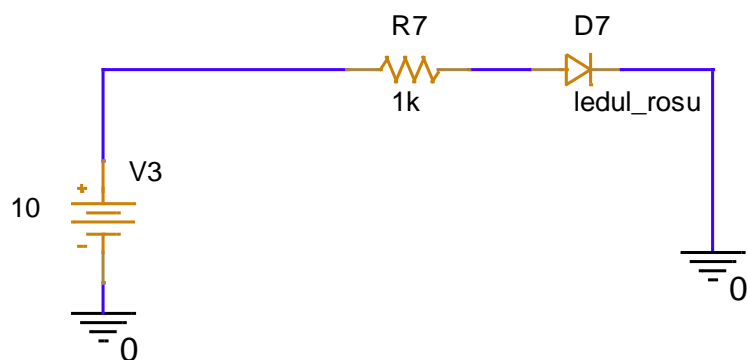


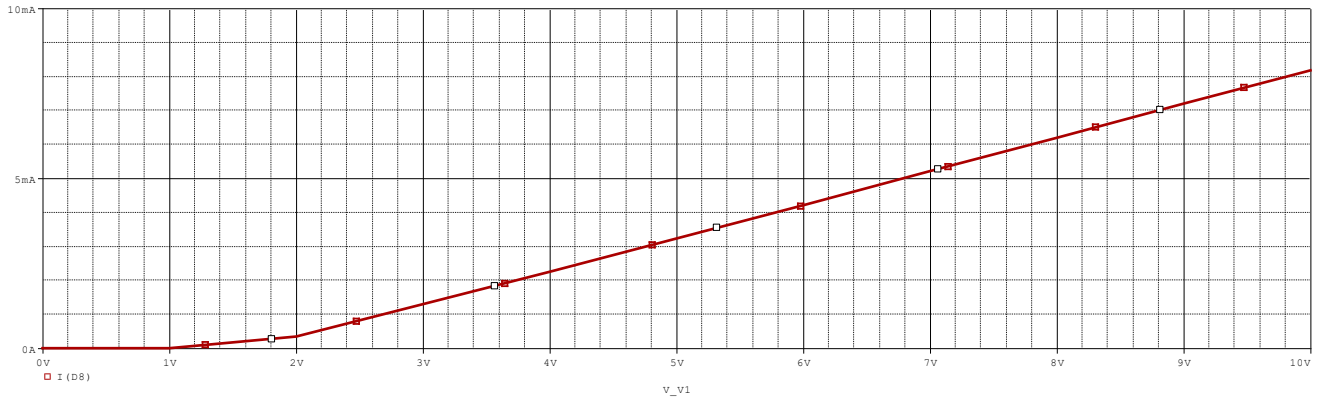
FORWARD CURRENT VS.APPLIED VOLTAGE

Apoi, în model editor am introdus valorile corespunzătoare graficului de mai sus:

#	Vfwd	Ifwd
1	1.6	0
2	1.8	0.005
3	1.9	0.02
4	2	0.03
5	2.1	0.05
6		
7		
8		

După ce am asociat modelul creat, pentru a testa funcționalitatea led-ului am realizat următorul circuit:

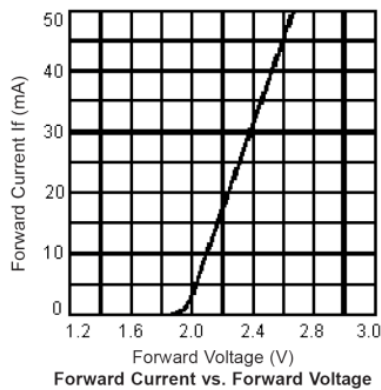




4. LED-UL PORTOCALIU:

Pentru a modela led-ul verde am folosit foaia de catalog de unde am preluat caracteristica Forward Current/Forward Voltage:

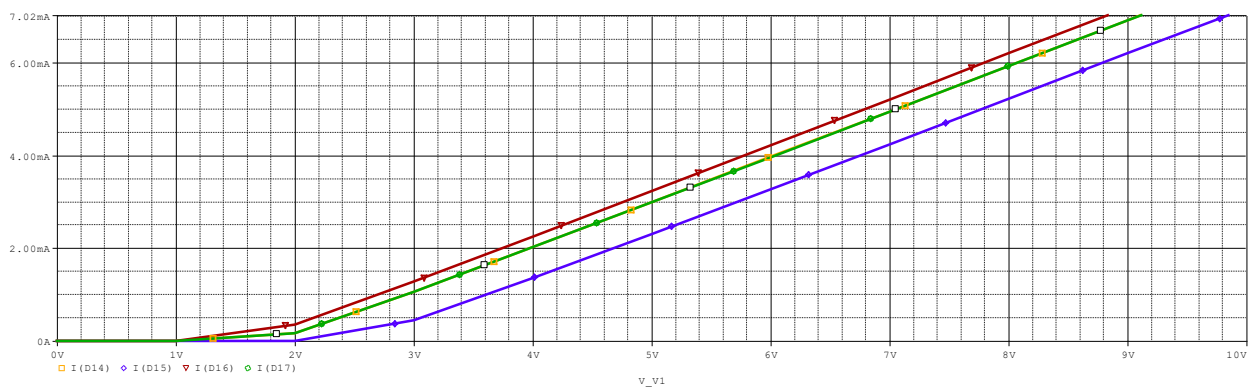
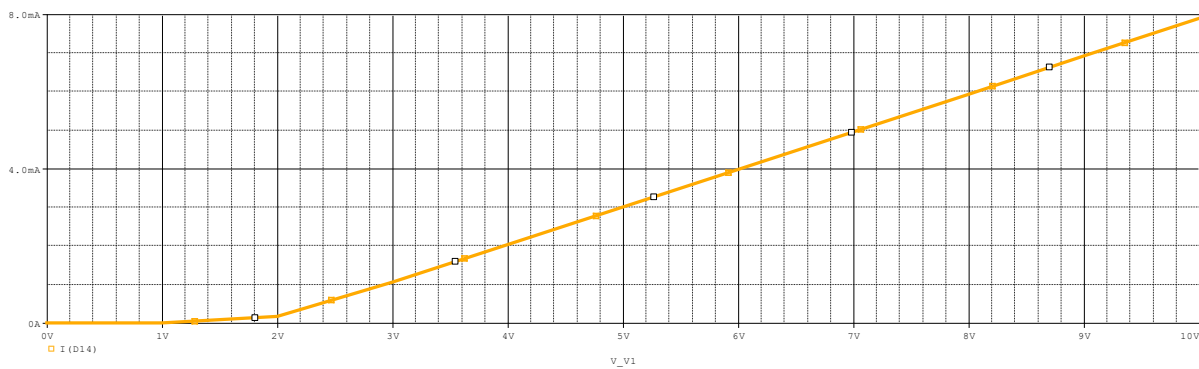
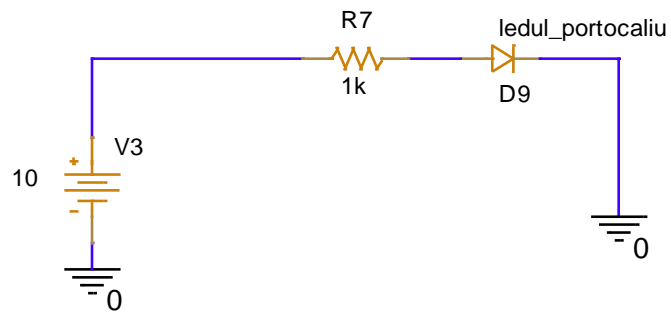
<https://www.farnell.com/datasheets/2861530.pdf>



Apoi, în model editor am introdus valorile corespunzătoare graficului de mai sus:

#	Vfwd	Ifwd
1	1.8	0
2	2	0.002
3	2.2	0.015
4	2.4	0.03
5	2.6	0.045
6	2.7	0.05
7		
8		

După ce am asociat modelul creat, pentru a testa funcționalitatea led-ului am realizat următorul circuit:



CALCULUL REZISTENȚEI SENZORULUI ÎN FUNCȚIE DE TEMPERATURĂ:

Așa cum am arătat mai sus în documentație variația rezistenței în funcție de temperatură este liniară.

Pe măsură ce temperatura crește rezistența va scădea, așadar, această variație este asemănătoare cu o dreaptă. După cum știm, ecuația unei drepte este egală cu $y=a \cdot x+b$. Pentru a calcula rezistența senzorului în domeniul specificat în cerință (100k, 330k) în funcție de intervalul de temperaturi (-10°, 75°) am folosit ecuația drepte de mai sus, astfel: $R_t=a \cdot T+b$ (unde T este temperatura). Pasul următor este să aflăm valorile lui a și b printr-un sistem:

$$\begin{cases} 330 = -10 \cdot a + b \\ 100 = 75 \cdot a + b \end{cases}$$

Din rezolvarea acestui sistem rezultă că $a = -2.705$ și $b = 302.875$, deci \Rightarrow

$$R_t = -2.705 \cdot T + 302.875$$

Acum voi calcula valoarea rezistenței R_t corespunzătoare fiecărei semnalizări:

❖ **La -10°:** $R_t = 330k$

❖ **La 0°:** $R_t = -2.705 \cdot 0 + 302.875 \Rightarrow R_t = 302.875k$

❖ **La 10°:** $R_t = -2.705 \cdot 10 + 302.875 \Rightarrow R_t = 275.825k$

❖ **La 50°:** $R_t = -2.705 \cdot 50 + 302.875 \Rightarrow R_t = 167.625k$

❖ **La 75°:** $R_t = 100k$

CALCULUL TENSIUNILOR DE LA IEȘIREA AMPLIFICATORULUI DIFERENTIAL ÎN FUNCȚIE DE VARIAȚIA SENZORULUI:

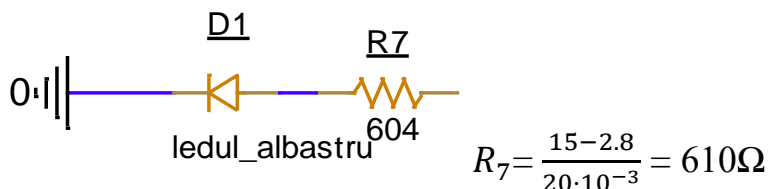
Voi folosi următoarea formulă $V_{out} = 2.88 \cdot (V_{th} - 7.506)$

- ❖ **La -10°:** Știm deja valoarea lui $V_{out} = 3.60V$
- ❖ **La 0°:** $R_t = 302.875k$, $V_{ref} = 7.506V$, $V_{Th} = 8.97V \Rightarrow V_{out} = 4.24V$
- ❖ **La 10°:** $R_t = 275.825k$, $V_{ref} = 7.506V$, $V_{Th} = 9.22V \Rightarrow V_{out} = 4.95V$
- ❖ **La 50°:** $R_t = 167.625k$, $V_{ref} = 7.506V$, $V_{Th} = 10.54V \Rightarrow V_{out} = 8.73V$
- ❖ **La 75°:** Știm deja valoarea lui $V_{out} = 12.345V$

DIMENSIONAREA REZISTENȚELOR CARE LIMITEAZĂ CURENTUL PRIN LED-URI:

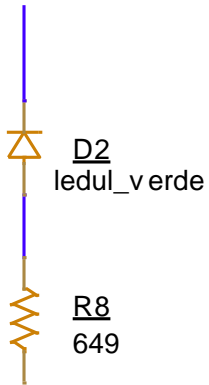
Pentru a calcula valorile rezistențelor voi folosi următoarea formulă: $R = \frac{V - V_f}{I_f}$,

unde $V = 15$ (tensiunea de alimentare), V_f = tensiunea la care ledul se va deschide și I_f = curentul prin led.



Nu există rezistență de $610\Omega \Rightarrow$ aleg o rezistență de 604Ω (toleranță $\pm 1\%$, seria E96)

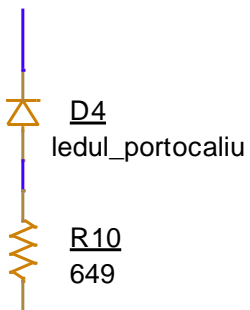
<https://www.tme.eu/ro/details/mrs25000c6040fct00/rezistente-metalizate-tht-0-6w/vishay/>



$$R_8 = \frac{15-2}{20 \cdot 10^{-3}} = 650\Omega$$

Nu există rezistență de $650\Omega \Rightarrow$ aleg o rezistență de 649Ω (toleranță $\pm 1\%$, seria E96)

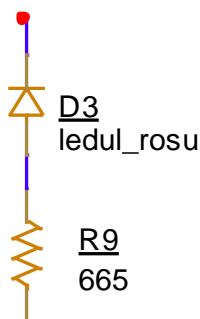
<https://www.tme.eu/ro/details/mrs25000c6490fct00/rezistente-metalizate-tht-0-6w/vishay/>



$$R_9 = \frac{15-2}{20 \cdot 10^{-3}} = 650\Omega$$

Nu există rezistență de $650\Omega \Rightarrow$ aleg o rezistență de 649Ω (toleranță $\pm 1\%$, seria E96)

<https://www.tme.eu/ro/details/mrs25000c6490fct00/rezistente-metalizate-tht-0-6w/vishay/>



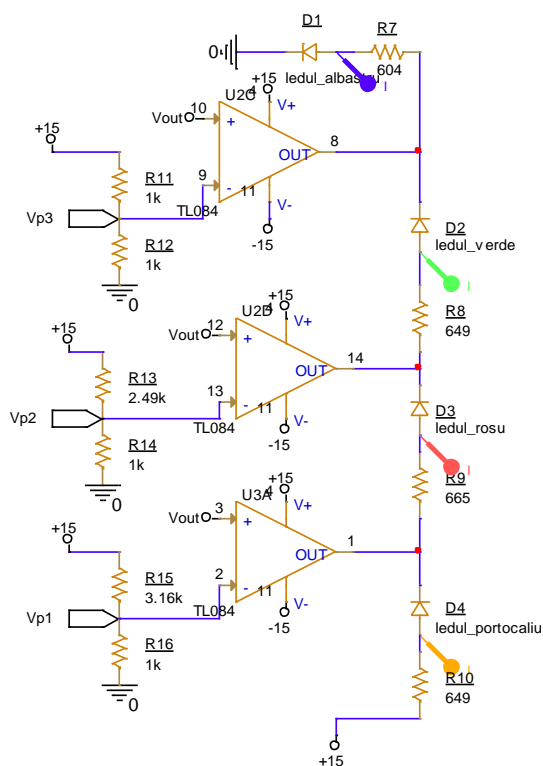
$$R_{10} = \frac{15 - 1.8}{20 \cdot 10^{-3}} = 660 \Omega$$

Nu există rezistență de $660 \Omega \Rightarrow$ aleg o rezistență de 665Ω (toleranță $\pm 1\%$, seria)

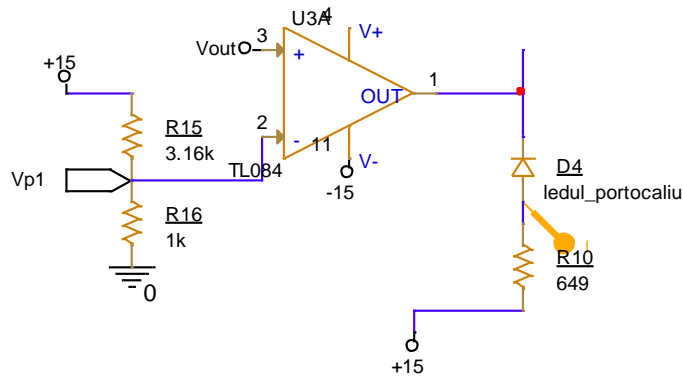
<https://www.tme.eu/ro/details/mf0207fte-665r/rezistente-metalizate-tht-0-6w/yageo/mf0207fte52-665r/>

FUNCȚIONALITATEA SEMNALIZĂRII INDIVIDUALE:

Pentru fiecare semnalizare am folosit comparatoare neinversoare fără reacție.



❖ **Prima semnalizare <0°:** Am văzut mai sus la ca temperaturi mai mici de 0 grade rezistența senzorului este de 330k și tensiunea de la ieșirea de la amplificatorului diferențial este de 3.60V.



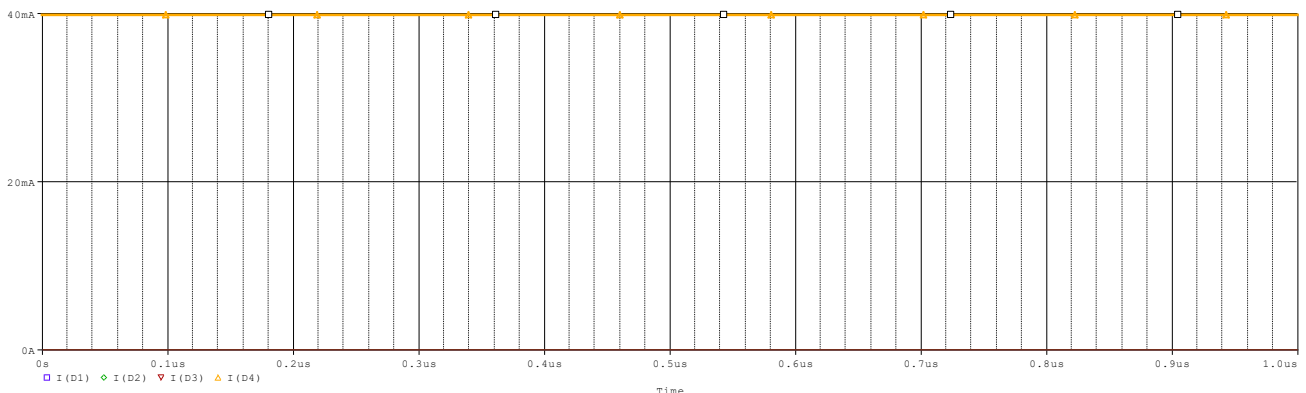
Pentru ca ledul portocaliu să se aprindă tensiunea din anodul diodei trebuie să fie mai mare decât tensiunea din catodul acesteia. Având în vedere că la borna neînversoare a comparatorului am tensiunea de 3.60V am ales ca la borna înversoare să fac un divizor de tensiune, astfel încât să am și la borna neînversoare tot 3.60V. În acest moment tensiunea din anod va fi mai mare decât cea din catod deci ledul va lumina. La fel am procedat și pentru celelalte leduri.

$$V_{p1} = \frac{R_{16}}{R_{15} + R_{16}} \cdot 15 \Rightarrow 3.60 = \frac{R_{16}}{R_{15} + R_{16}} \cdot 15 \text{ aleg } R_{16} = 1k \Rightarrow R_{15} = \frac{15}{3.60} - 1 = 3.16k$$

Rezistență de 3.16k (toleranță ±1%, seria E96):

<https://www.tme.eu/ro/details/mf0207fte-3k16/rezistente-metalizate-tht-0-6w/yageo/mf0207fte52-3k16/>

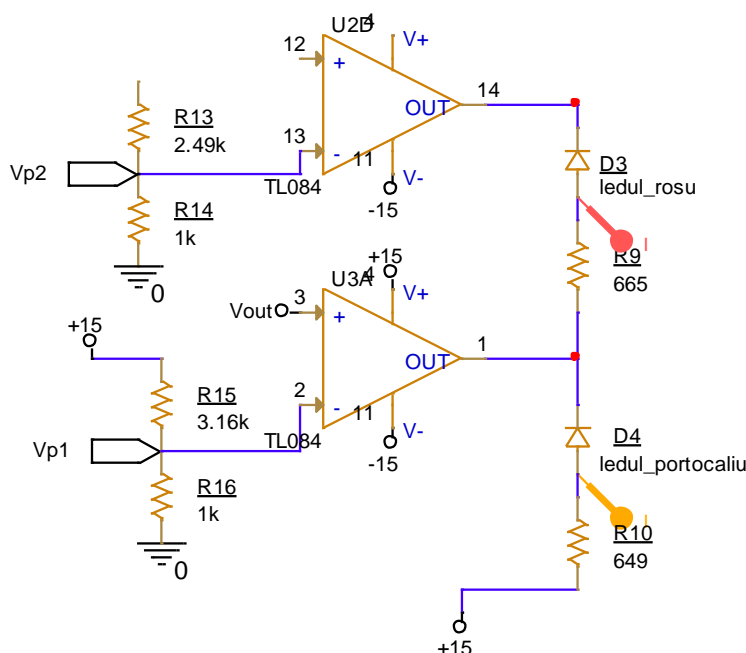
Pentru a simula acest lucru am făcut o analiză **tranzitorie**.



Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	0.000
CURSOR 1,2	I(D1)	-13.501p
	I(D2)	1.268E-18
	I(D3)	104.261f
	I(D4)	39.830m

După cum observăm singurul led prin care trece curent este cel portocaliu, restul fiind închise.

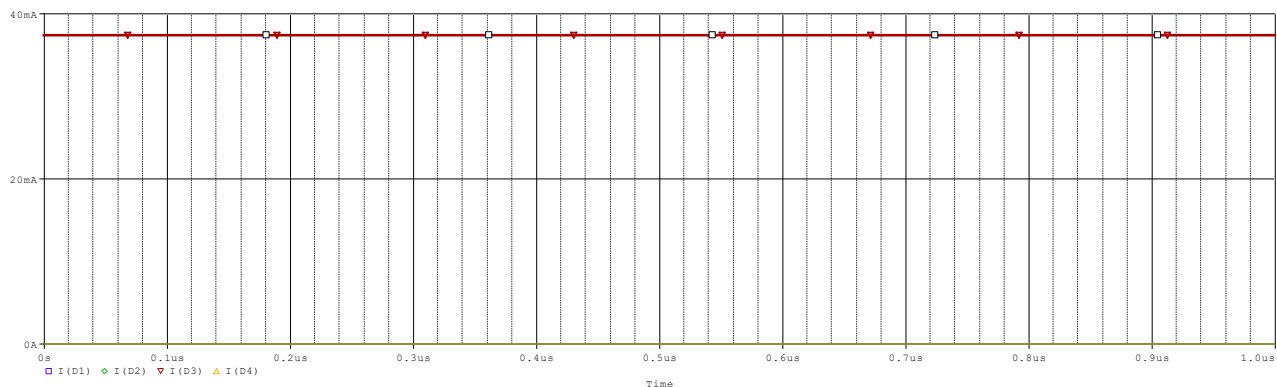
❖ **A doua semnalizare 0°-10°:** La această semnalizare am ales valoarea rezistenței senzorului de 302.875k, astfel tensiunea de la ieșirea amplificatorului diferențial este de 4.24V.



$$V_{p2} = \frac{R_{14}}{R_{14} + R_{13}} \cdot 15 \Rightarrow 4.24 = \frac{R_{14}}{R_{14} + R_{13}} \cdot 15 \text{ aleg } R_{14} = 1k \Rightarrow R_{13} = \frac{15}{4.24} - 1 = 2.53k$$

Aleg o rezistență de 2.49k (toleranță $\pm 1\%$, seria E96):

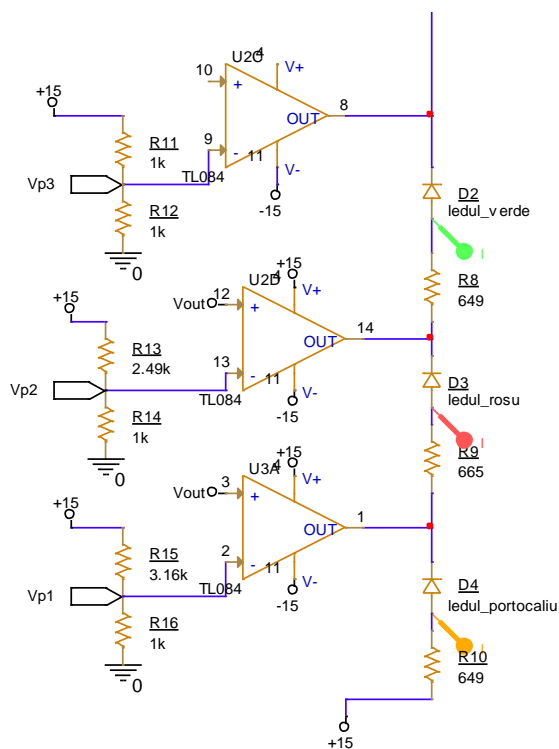
<https://www.tme.eu/ro/details/mrs25000c2941fct00/rezistente-metalizate-tht-0-6w/vishay/>



Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	0.000
CURSOR 1,2	I(D1)	-13.501p
	I(D2)	65.346f
	I(D3)	37.356m
	I(D4)	727.401n

După cum observăm singurul led prin care trece curent este cel roșu, restul fiind închise.

❖ **A treia semnalizare 10°-50°:** La această semnalizare am ales valoarea rezistenței senzorului de 275.825k, astfel tensiunea de la ieșirea amplificatorului diferențial este de 4.95V.

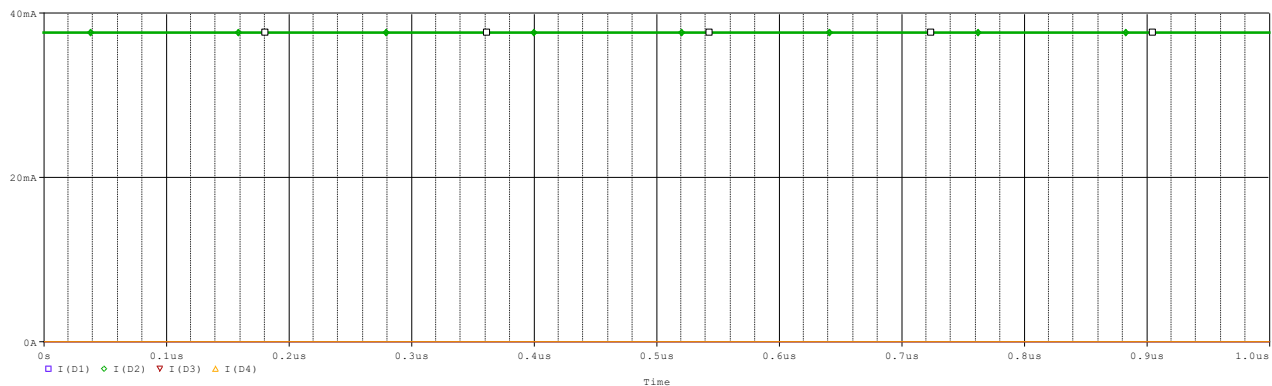


Pentru ca led-ul verde sa lumineze calculez rezistențele divizorului de tensiune cu tensiunea de prag 8.73V. Dacă calculam pentru 4.95V atunci ledul verde nu ar mai fi luminat deoarece tensiunea din anod nu e mai mare decat tensiunea din catod.

$$V_{p3} = \frac{R_{12}}{R_{12} + R_{11}} \cdot 15 \Rightarrow 8.73 = \frac{R_{12}}{R_{12} + R_{11}} \cdot 15 \text{ aleg } R_{12} = 1k \Rightarrow R_{11} = \frac{15}{8.73} - 1 = 0,71k$$

Aleg o rezistență de 1k pentru ca și led-ul albastru să poată lumina la următoarea semnalizare (toleranță $\pm 1\%$, seria E96):

<https://www.tme.eu/ro/details/mrs25000c7150fct00/rezistente-metalizate-tht-0-6w/vishay/>

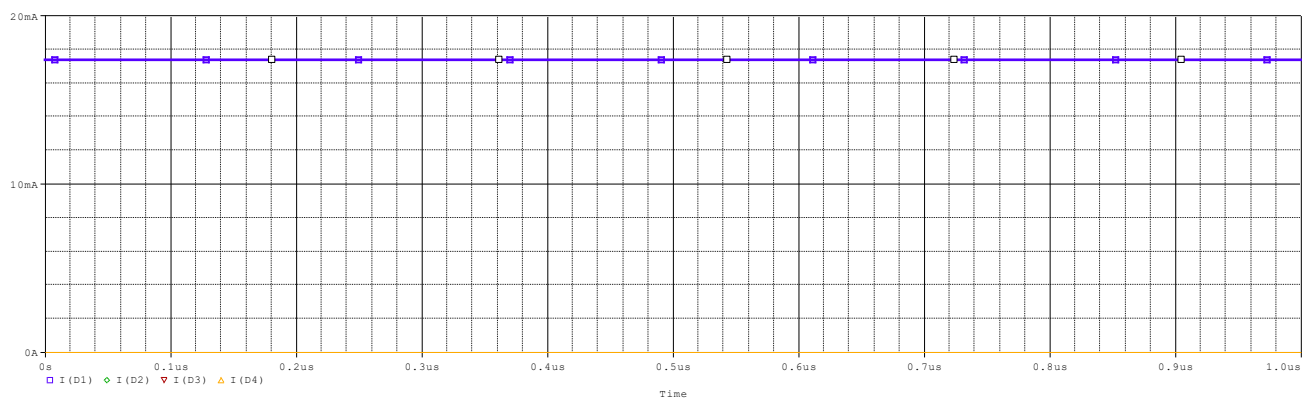


Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	0.000
CURSOR 1,2	I(D1)	-13.434p
	I(D2)	37.547m
	I(D3)	66.411f
	I(D4)	194.927n

După cum observăm singurul led prin care trece curent este cel verde, restul fiind închise.

❖ A treia semnalizare >50°:

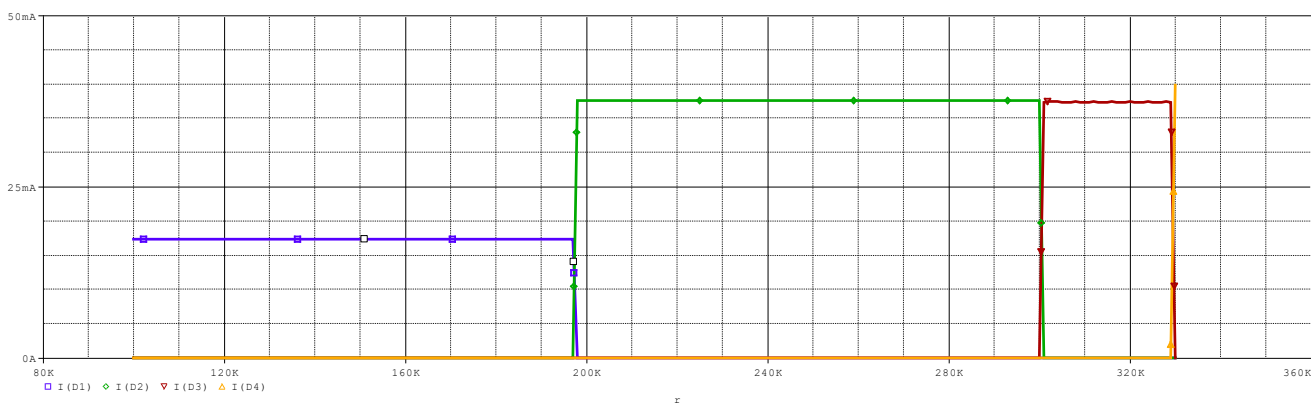
La această semnalizare am ales valoarea rezistenței senzorului de 167.625k, astfel tensiunea de la ieșirea amplificatorului diferențial este de 8.73V.



Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	0.000
CURSOR 1,2	I(D1)	17.346m
	I(D2)	14.396f
	I(D3)	124.1E-21
	I(D4)	194.926n

După cum observăm singurul led prin care trece curent este cel albastru, restul fiind închise.

ANALIZA DC SWEEP:



Observăm cum fiecare led se aprinde și se stinge în funcție de ce valoare ia rezistența senzorului.

ANALIZA ÎN TEMPERATURĂ:

Am făcut o analiză în temperatură pentru fiecare valoare a rezistenței senzorului pentru a observa cum se comportă circuitul din diferite condiții de temperatură.

Analysis Type:
Time Domain (Transient) ▼

Options:

- ☒ General Settings
- ☐ Monte Carlo/Worst Case
- ☐ Parametric Sweep
- ☒ Temperature (Sweep)

☐ Run The Simulation at temperature: degree Celsius
☒ Repeat the simulation for each of the temperatures:
 degree Celsius
 Enter a list of temperatures, seperated by spaces.
 For example, 0 27 125

❖ Pentru $R_t=100k$

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	0.000
CURSOR 1,2	V(U2B:OUT)	12.345
	V(U2B:OUT)	12.345
	V(U2B:OUT)	12.346
	V(U2B:OUT)	12.685

❖ Pentru $R_t=167.625k$

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	0.000
CURSOR 1,2	V(U2B:OUT)	8.7385
	V(U2B:OUT)	8.7385
	V(U2B:OUT)	8.7400
	V(U2B:OUT)	9.2134

❖ Pentru $R_t=275.825k$

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	0.000
CURSOR 1,2	V(U2B:OUT)	4.9518
	V(U2B:OUT)	4.9518
	V(U2B:OUT)	4.9537
	V(U2B:OUT)	5.5684

❖ Pentru $R_t=302.875k$

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	0.000
CURSOR 1,2	V(U2B:OUT)	4.2428
	V(U2B:OUT)	4.2428
	V(U2B:OUT)	4.2448
	V(U2B:OUT)	4.8860

❖ Pentru $R_t=330k$

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	0.000
CURSOR 1,2	V(U2B:OUT)	3.6000
	V(U2B:OUT)	3.6000
	V(U2B:OUT)	3.6021
	V(U2B:OUT)	4.2672

După cum putem observa temperatura nu influențează foarte mult tensiunea de la ieșirea amplificatorului diferențial.

ANALIZA WORST-CASE:

Analiza Worst-case identifică care parametri sunt critici pentru funcționarea circuitului și modifică toate valorile pentru a simula cel mai nefavorabil caz.

Am rulat analiza în raport cu parametrul global r.

CURSOR 1,2	MAX(V(out))	12.345
	MAX(V(out))	4.1262

Putem observa ca la ieșirea amplificatorului putem avea maxim 12.345V sau 4.126V.

WORST CASE ALL DEVICES			
Device	MODEL	PARAMETER	NEW VALUE
R_R3	R_R3	R	1.01 (Increased)
R_Rp	R_Rp	R	.99 (Decreased)
R_R1	R_R1	R	.99 (Decreased)
R_R2	R_R2	R	1.01 (Increased)
R_R6	R_R6	R	.99 (Decreased)
R_R5	R_R5	R	1.01 (Increased)
R_R4	R_R4	R	.99 (Decreased)
R_Rs	R_Rs	R	1.01 (Increased)
R_R8	R_R8	R	1 (Unchanged)
R_R9	R_R9	R	1 (Unchanged)
R_R10	R_R10	R	1 (Unchanged)
R_R7	R_R7	R	1 (Unchanged)
R_R11	R_R11	R	1 (Unchanged)
R_R12	R_R12	R	1 (Unchanged)
R_R13	R_R13	R	1 (Unchanged)
R_R14	R_R14	R	1 (Unchanged)
R_R15	R_R15	R	1 (Unchanged)
R_R16	R_R16	R	1 (Unchanged)

ANALIZA MONTE-CARLO:

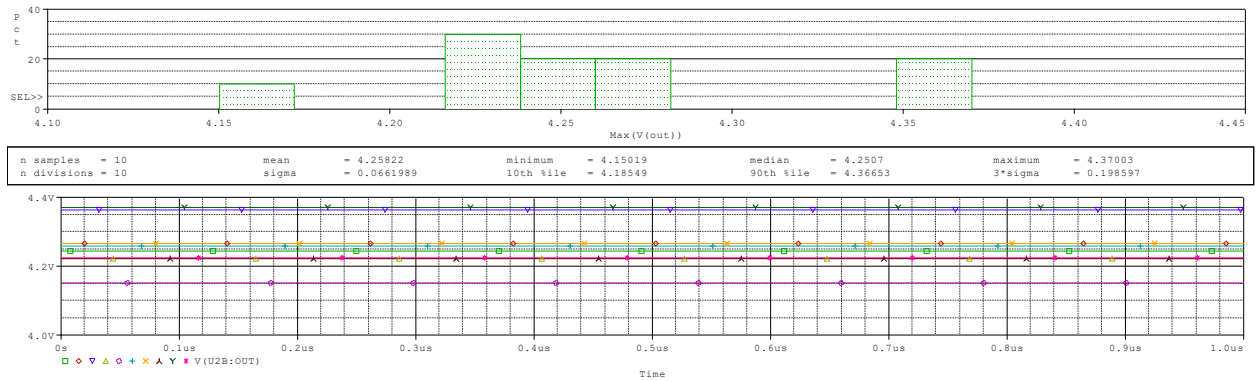
Analiza Monte-Carlo determină comportarea circuitului cand valorile componentelor sunt modificate în domeniul lor de toleranță.

❖ La temperaturi mai mici de 0°:



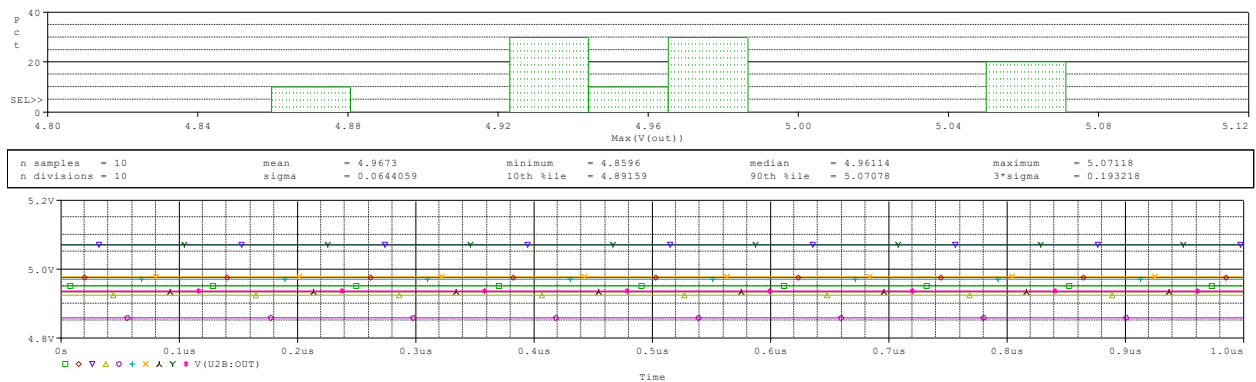
Din histograma de mai sus putem observa variația tensiunii de la ieșirea amplificatorului diferențial la temperaturi mai mici de 0°.

❖ La temperaturi între 0° și 10°:



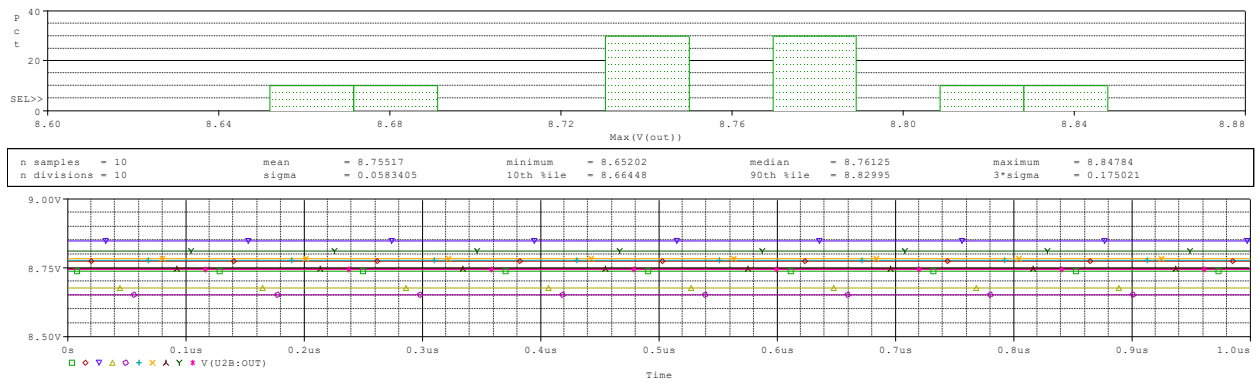
Din histograma de mai sus putem observa variația tensiunii de la ieșirea amplificatorului diferențial la temperaturi între 0° și 10° .

❖ La temperaturi între 10° și 50°:



Din histograma de mai sus putem observa variația tensiunii de la ieșirea amplificatorului diferențial la temperaturi între 10° și 50°.

❖ La temperaturi mai mari de 50°:



Din histograma de mai sus putem observa variația tensiunii de la ieșirea amplificatorului diferențial la temperaturi mai mari de 50°.

BIBLIOGRAFIE:

- Cursuri Tehnici CAD
- <https://www.tme.eu/ro/>
- <http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/fec/>
- http://www.bertys.ro/codul_culorilor_rezistente.htm
- Cursuri Dispozitive Electronice