

2023

PROIECT CAD

*Sistem de control al presiunii într-o
cameră hiperbară*

Nume și prenume student: **Maria Chiș**
GRUPA: 2125
ETTI, ANUL 2

Profesori îndrumători:
Prof. dr. ing. **Ovidiu Pop**
SL. dr. ing. **Alexandra Fodor**

CUPRINS

1. Cerința proiectului	2
2. Schema bloc	3
3. Schema electrică a circuitului	4
4. Dimensionarea componentelor	5
4.1. Sursa de curent + Senzor	5
4.2. Repetor de tensiune	7
4.3. Amplificator de domeniu de tensiune	8
4.4. Comparator cu histereză	10
4.5. Releu electromagnetic	13
4.6. LED	14
5. Simulări	17
6. Bibliografie	24

1. Cerința proiectului

Să se proiecteze un sistem de control al presiunii într-o cameră hiperbară. Știind că senzorul de presiune folosit poate să măsoare presiunea liniar în domeniul specificat în tabel coloana E, sistemul se va proiecta astfel încât presiunea din camera hiperbară să se mențină în intervalul specificat în coloana F. Senzorul de presiune se va polariza în curent. Variația liniară a rezistenței electrice a senzorului cu presiunea este specificată în coloana G și trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul $[0 - (VCC-2V)]$. În camera hiperbară, presiunea este menținută în domeniul specificat cu ajutorul unei pompe, comandată de un comparator și un releu electromagnetic. Ansamblul pompă – releu se va modela cu ajutorul unui rezistor. Starea pompei (pornit/oprit) este semnalizată de un LED având culoarea specificată în tabel.

Grupa 2125	E	F	G	H	I
Specificații proiectare	Domeniul de presiune măsurabil [mBar]	Presiunea în camera hiperbară [mBar]	Rezistența senzorului [Ω]	VCC [V]	Culoare LED de semnalizare
Chiș Maria	1090-1540	1150-1450	15k-5k	20	galben

Tabelul 1. Specificații de proiectare

2. Schema bloc

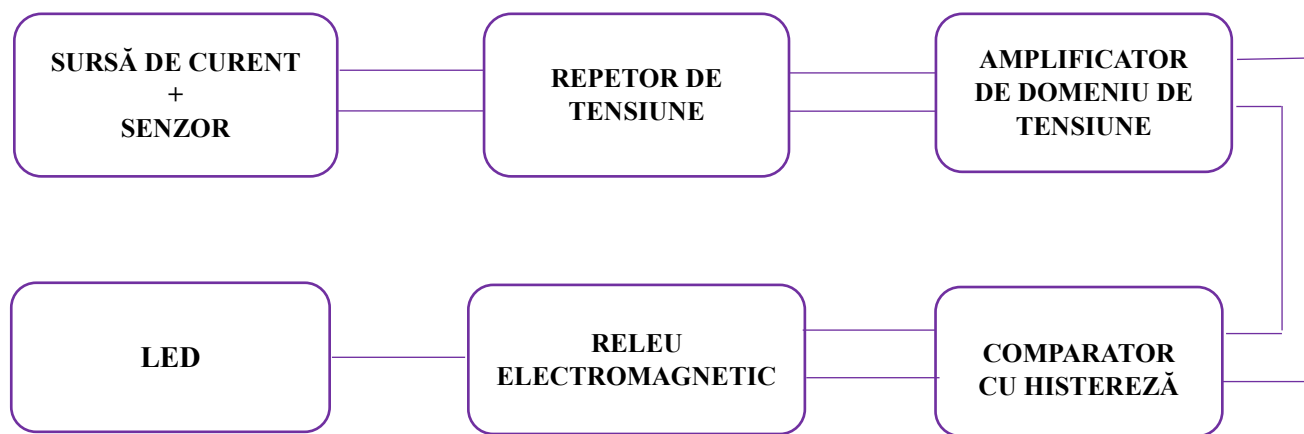
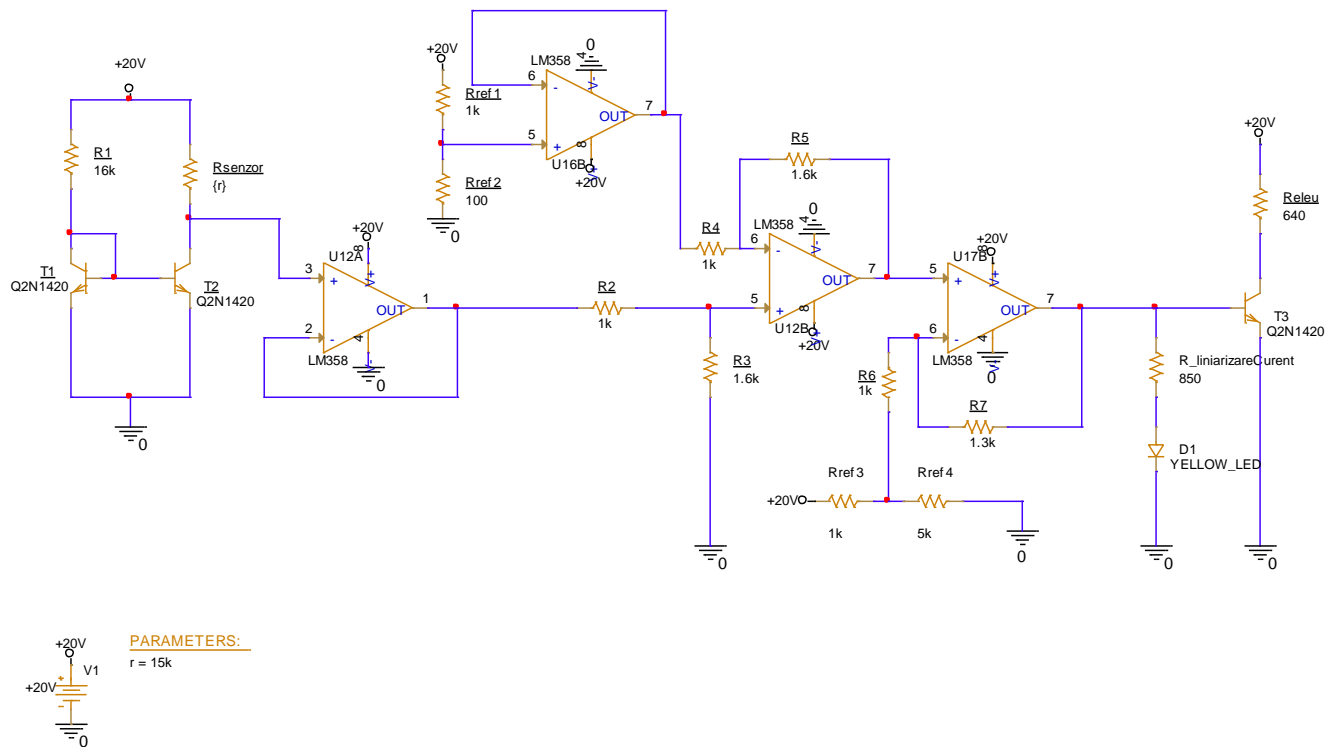


Figura 1. Schema bloc a circuitului

3. Schema electrică a circuitului



Title		
CHIS MARIA, Schema electrica a circuitului		
Size	Document Number	Rev
	<Doc>	
Date:	Tuesday, May 23, 2023	Sheet 1 of 1

Figura 2. Schema electrică a circuitului

4. Dimensionarea componentelor

4.1. Sursa de curent + Senzor

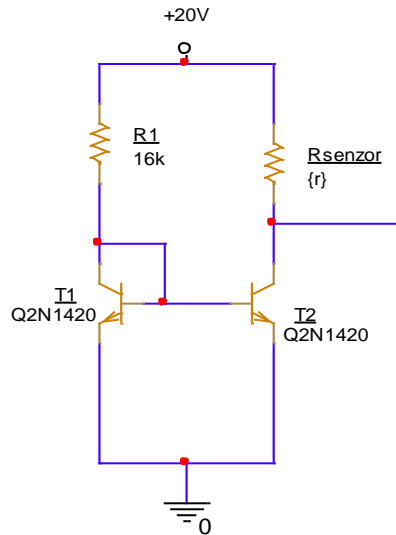


Figura 3. Sursă de curent + senzor

Senzorul de presiune al circuitului este polarizat în curent, astfel că vom folosi o sursă de curent constant pentru a-l alimenta.

Pentru început am calculat curentul minim și curentul maxim prin rezistența senzorului folosind următoarele formule:

$$(1) \quad I_{min} = \frac{V_{CC}-2}{R_{max}} = \frac{20V-2}{15k} = \frac{18V}{15k} = 1,2 \text{ mA}$$

$$(2) \quad I_{max} = \frac{V_{CC}-2}{R_{min}} = \frac{20V-2}{5k} = \frac{18V}{5k} = 3,6 \text{ mA},$$

unde valorile pentru V_{CC} , R_{min} , R_{max} se iau din Tabelul 1.

Am calculat rezistența R_1 folosind Kirchoff astfel:

$$(3) \quad V_{CC} = V_{BE} + V_{R1} \Rightarrow V_{R1} = 20V - 0,7V \Rightarrow V_{R1} = 19,3V.$$

$$(4) \quad R_1 = \frac{V_{R1}}{I_{min}} = \frac{19,3V}{1,2 \text{ mA}} = 16,03 \text{ k}\Omega \cong 16k\Omega \text{ (face parte din seria E96 și are toleranța de 0.5\%)}$$

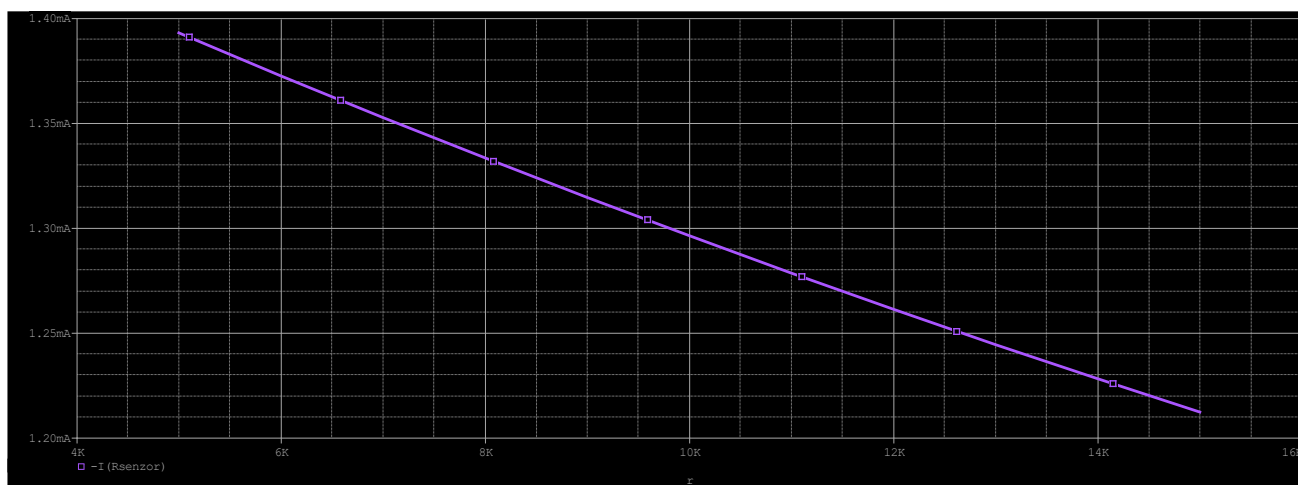


Figura 4. Curentul prin rezistența senzorului

4.2. Repetor de tensiune

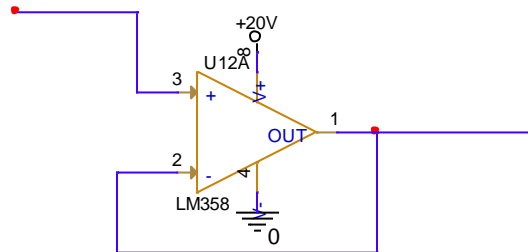


Figura 5. Repetor de tensiune

Vom conecta senzorul de presiune la un amplificator operațional, astfel încât să putem mări semnalul și să îl convertim într-un semnal de tensiune. Pentru amplificatorul operațional am folosit modelul LM358. Am ales acest model de amplificator operațional deoarece este foarte des utilizat în proiectarea electronică și suportă tensiunea de alimentare de 20V.

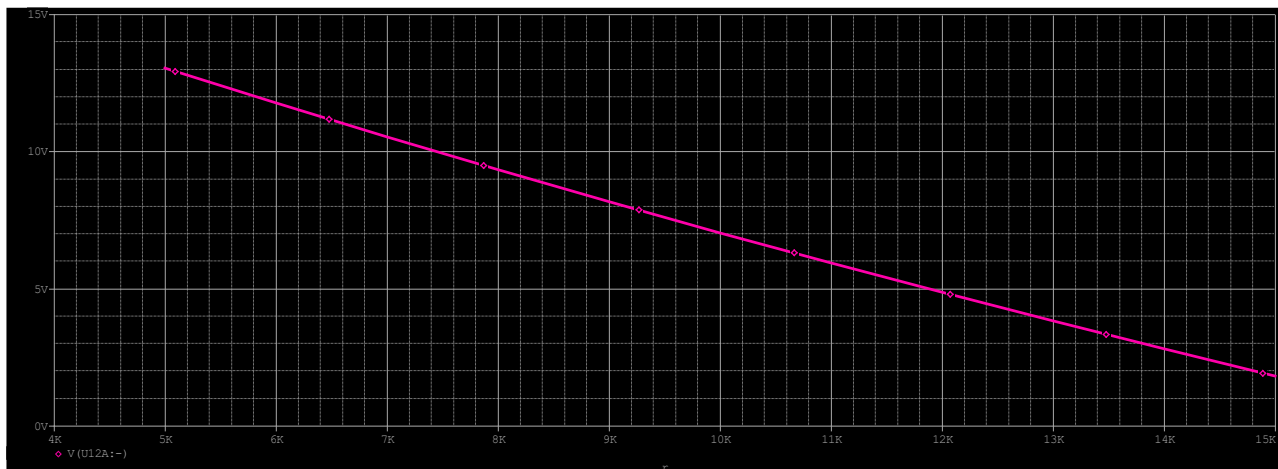


Figura 6. Grafic de tensiune

Am măsurat tensiunea minimă și maximă folosind două cursoare, observând că domeniul actual este de 11.21V conform tabelului din Figura 7., însemnând că acesta va fi domeniul pe care va trebui să îl extindem ulterior.

Astfel vom avea $V_{\min} = 1,81 \text{ V}$ și $V_{\max} = 13,03 \text{ V}$.

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	5.0000K	15.000K	-10.000K
CURSOR 1,2	V(U12A:-)	13.034	1.8193	11.214

Figura 7. Domeniul de variație

Domeniul actual este de 11.21V conform tabelului din Figura 7.

4.3. Amplificator de domeniu de tensiune

Deoarece domeniul obținut este unul destul de mic vom face o extindere de domeniu utilizând un amplificator diferențial asemenea celui din Figura 8.

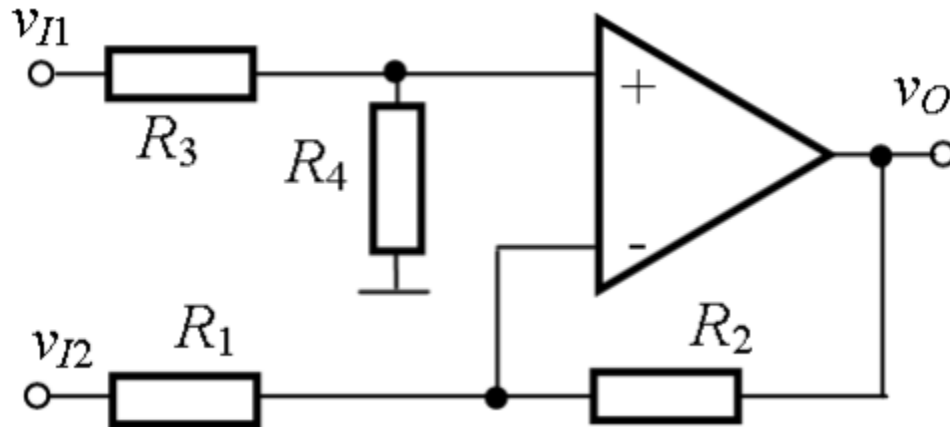


Figura 8. Amplificator diferențial

Schema electrică realizată arată în felul următor:

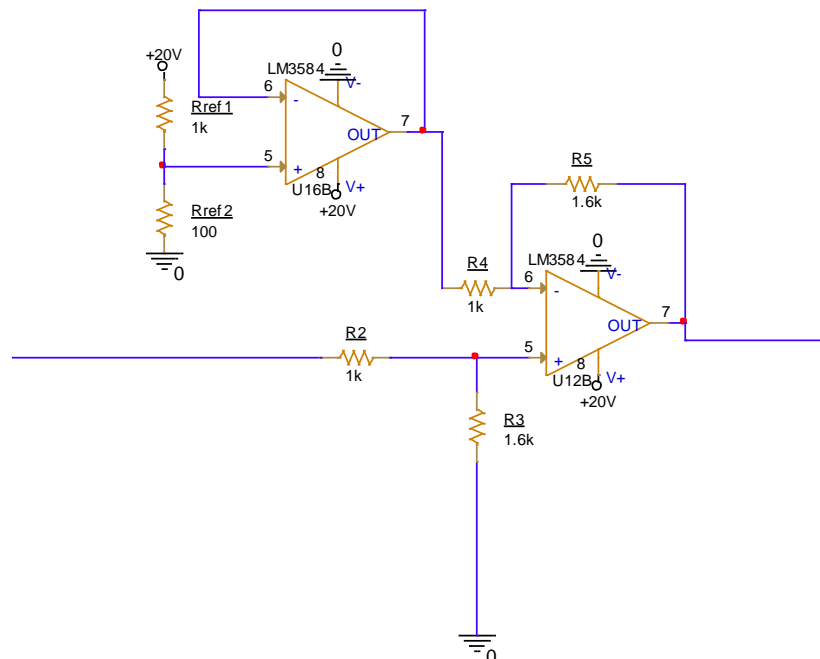


Figura 9. Schema electrică a amplificatorului diferențial

Amplificatoarele folosite sunt LM358, iar rezistențele sunt din seria E96 cu toleranță de 0.5%. Pentru dimensionarea rezistențelor am efectuat următorii pași:

- Am ales arbitrar rezistența R_{ref1} ca fiind egală cu $1k\Omega$.

- Am folosit ecuația (3) pentru a calcula R_{ref2} astfel:

$$(5) \frac{R_{ref2}}{R_{ref1} + R_{ref2}} \times V_{cc} = V_1 \Rightarrow \frac{R_{ref2}}{1k + R_{ref2}} \times 20V = 1,81V \Rightarrow 20R_{ref2} = 1,81k + 1,81R_{ref2} \Rightarrow 20R_{ref2} - 1,81R_{ref2} = 1810 \Rightarrow 18,19R_{ref2} = 1810 \Rightarrow R_{ref2} = 99,5\Omega \cong 100\Omega,$$

unde V_1 este reprezentat de tensiunea minimă $V_{min} = 1,81V$ (Figura 7.).

Folosind formula (6) vom calcula rezistențele amplificatorului diferențial, știind că domeniul neextins este de 11,21V (Figura 7.):

$$(6) V_{CC} - 2 = \frac{R_5}{R_4} (V_2 - V_1) \Rightarrow 11,21V \times \frac{R_5}{R_4} = 18V \Rightarrow \frac{R_5}{R_4} = \frac{18V}{11,21V} \Rightarrow \frac{R_5}{R_4} = 1,6$$

Alegem arbitrar $R_4 = 1k\Omega$, astfel rezistența R_5 va arăta astfel:

$$(7) \frac{R_5}{1k} = 1,6 \Rightarrow R_5 = 1,6k\Omega.$$

În acest caz vom considera $R_2 = R_4 = 1k\Omega$ și $R_3 = R_5 = 1,6k\Omega$.

Privind Figura 10. și Figura 11. observăm că se îndeplinește o variație de tensiune în domeniul de aproximativ $[0 - 18V]$ și de asemenea putem vedea clar că domeniul s-a mărit ajungând la 17,92V.

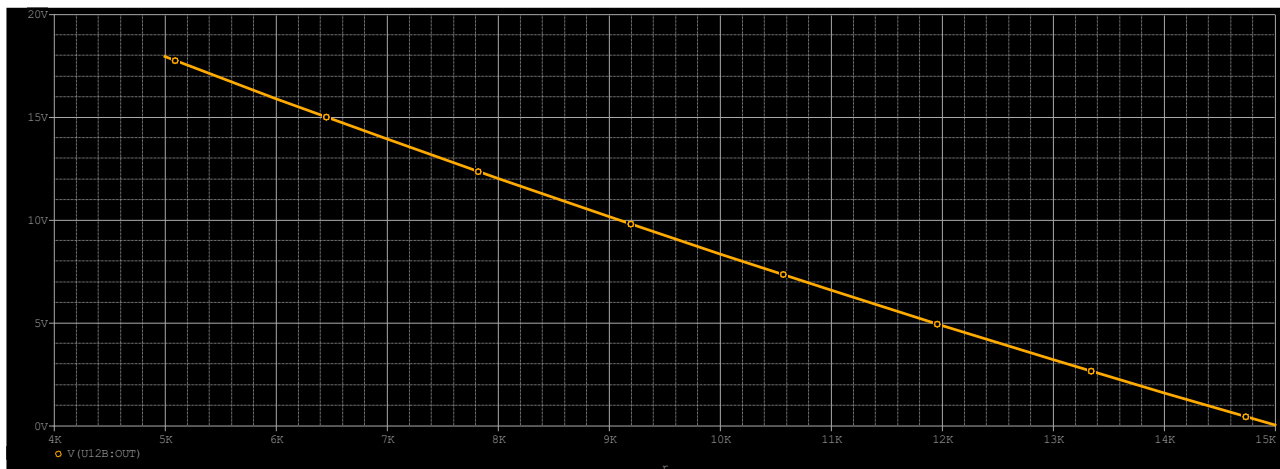


Figura 10. Variația de tensiune în domeniul $[0,019 - 17,94V]$

Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2
	X Values	5.0000K	15.000K	-10.000K
CURSOR 1,2	V(R5:2)	17.942	19.788m	17.922

Figura 11. Domeniul de tensiune extins

4.4. Comparator cu histereză

Pentru comparatorul cu histereză am folosit un comparator neinvertor cu praguri nesimetrice, reprezentat de un amplificator LM358, iar rezistențele fac parte din seria E96 cu toleranță de 0.5%. Schema electrică a acestuia este reprezentată în Figura 12.

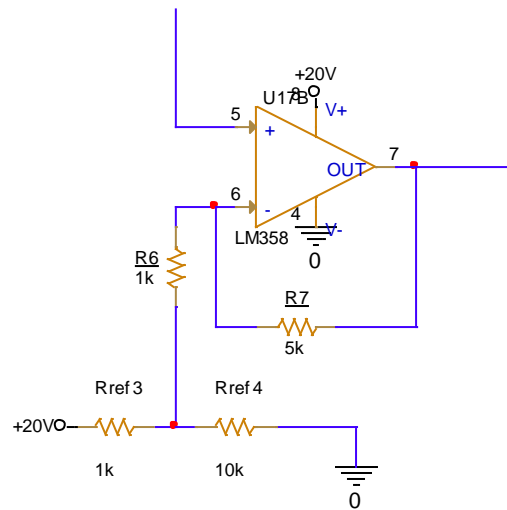


Figura 12. Comparator cu histereză

Ținând cont de domeniul de presiune măsurabil [1090-1540] și domeniul de presiune în camera hiperbară [1150-1450] vom calcula tensiunile de prag (V_{PL} și V_{PH}) ale comparatorului cu histereză ținând cont că 17,92 V este tensiunea maximă și 0,019 V este tensiunea minimă după introducerea amplificatorului diferențial:

1150 mBar	V_{PL}
1090 mBar.....	0,019V
1450 mBar	V_{PH}
1540 mBar	17,92 V

$$(8) \quad V_{PL} = \frac{0,019 \times 1150}{1090} = 0,02V$$

$$(9) \quad V_{PH} = \frac{17,92 \times 1450}{1540} = 16,87 V$$

În cele ce urmează vom dimensiona rezistențele:

$$(10) \quad \frac{R_7}{R_6 + R_7} = \frac{V_{PH} - V_{PL}}{2 \times V_{CC}} \Rightarrow \frac{R_7}{R_6 + R_7} = \frac{16,85V}{40V} \Rightarrow \frac{R_7}{R_6 + R_7} = 0,42 \Rightarrow 0,58R_6 = 0,42R_7$$

Alegem arbitrar rezistența $R_6 = 1k\Omega$, astfel ajungând la $R_7 = 1,38k\Omega \cong 1,3k\Omega$.

Pentru a calcula rezistențele divizorului de tensiune vom avea nevoie de un sistem format din ecuațiile (11) și (12):

$$(11) \quad V_{PL} = \frac{R_6}{R_6 + R_7} V_{OL} + \frac{R_7}{R_6 + R_7} V_{ref}, \text{ unde } V_{OL} = 0V.$$

$$(12) \quad V_{PH} = \frac{R_6}{R_6 + R_7} V_{OH} + \frac{R_7}{R_6 + R_7} V_{ref}, \text{ unde } V_{OH} = 20V.$$

În urma scăderii celor două ecuații ajungem la ecuația (13) în care vom considera $R_{ref3} = 1k\Omega$:

$$(13) \quad V_{PH} - V_{PL} = 20 \times \frac{R_{ref3}}{R_{ref3} + R_{ref4}} \Rightarrow 16,85 = 20 \times \frac{R_{ref3}}{R_{ref3} + R_{ref4}} \Rightarrow \frac{R_{ref3}}{R_{ref3} + R_{ref4}} = 0,84 \Rightarrow 0,16R_{ref3} = 0,84 R_{ref4} \Rightarrow R_{ref4} = 4,74k\Omega \cong 5k\Omega.$$

Pentru o vizualizare mai bună a graficului de histereză (Figura 13.) vom efectua următoarele reglaje ale simulării:

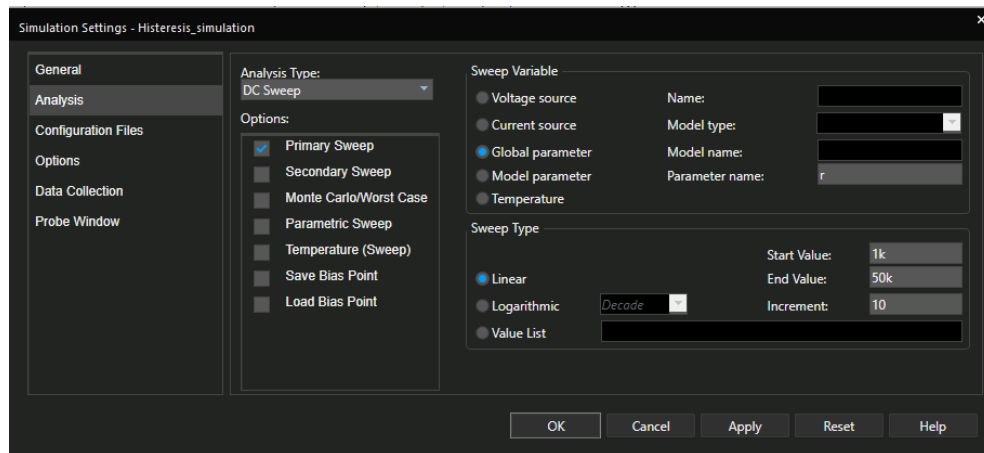


Figura 13. Simulare pentru graficul de histereză

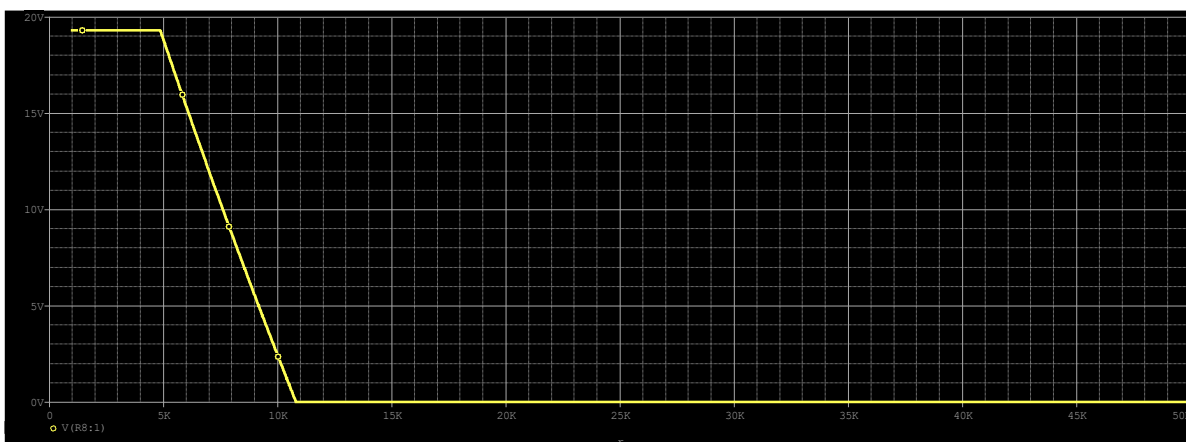


Figura 14. Graficul de histereză

4.5. Releu electromagnetic

Pentru ansamblul pompă-releu voi folosi releul din Figura 15.

NNC68A-2Z Electromagnetic Relay (JQX-13F-2Z Relay Switch)

The NNC68A-2Z electromagnetic relay (JQX-13F-2Z relay switch) can be applied to household appliances, PCB circuit board, industrial control system and automatic control system, etc.

Features

- The NNC68A-2Z electromagnetic relay (JQX-13F-2Z relay switch) provides changeover contacts that include one group of (15A), two groups of (12A), three groups of (12A), and four group of (12A).
- The device provides the PCB print installation mode, socket type installation mode and flange installation mode.



Figura 15. Releu electromagnetic

Rated voltage V	DC12V	DC24V	DC110V	DC220V
Rated current (±10%) mA	75	37.5	8	4

Tabelul 2. Tensiunea și curentul releului

Având în vedere că tensiunea de alimentare a circuitului este de 20V, voi considera tensiunea releului de 24V ceea ce duce la un curent de 37.5 mA.

Știind curentul și tensiunea releului voi modela ansamblul sub forma unui rezistor pe care îl voi dimensiona folosind legea lui Ohm:

$$(14) \text{ Releu} = \frac{V_{\text{releu}}}{I_{\text{releu}}} = \frac{24V}{37,5 \text{ mA}} = 640\Omega.$$

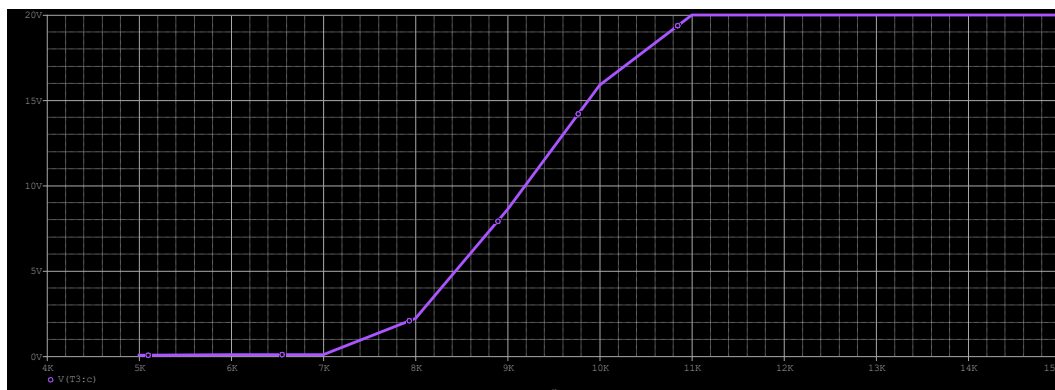


Figura 16. Simulare DC Sweep releu

4.6. Led galben 5mm

Pași pentru modelarea unui led:

- căutăm și extragem din foaia de catalog graficul FORWARD VOLTAGE / FORWARD CURRENT ilustrat în Figura 17.

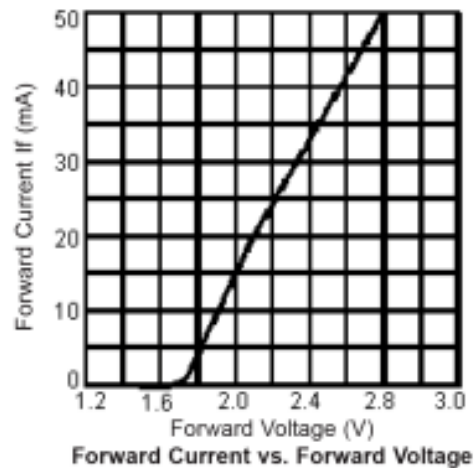


Figura 17. Grafic pentru LED

- Deschidem **PSpice Model Editor** (varianta folosită de mine este cea din Figura 18.).

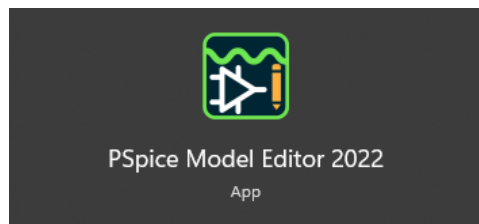


Figura 18. Model Editor

- File → New → Model → New → Introducem numele pentru LED → Bifăm *Use Device Characteristic Curves* → OK.

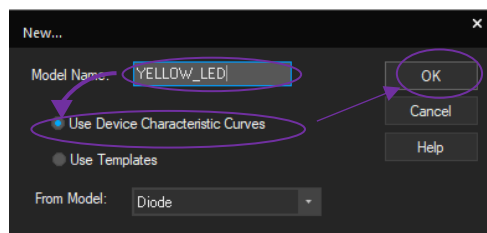


Figura 19. New Model

- Completăm tabelul care conține V_{fwd} și I_{fwd} cu datele din graficul din Figura 14. ➡ Tools ➡ Extract Parameters ➡ Save. Graficul obținut este prezentat în Figura 20.

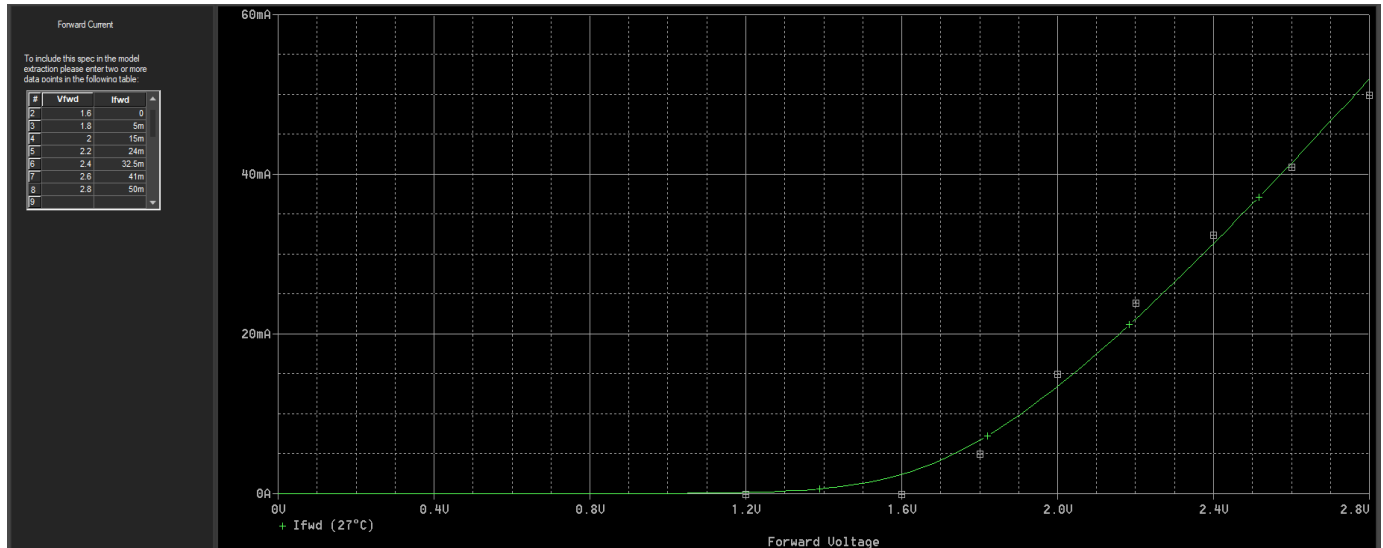


Figura 20. Grafic + Tabel

- În schema electrică a proiectului din OrCAD voi introduce o diodă **Dbreak** și cu click dreapta și click pe *Associate PSpice Model* voi asocia modelul realizat în PSpice Model Editor diodei plasată anterior pe schemă. Asociem catodul și anodul pinilor diodei după cum se observă în Figura 21.

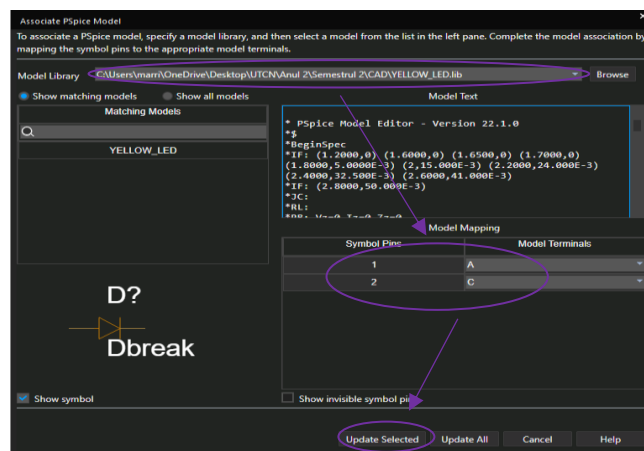


Figura 21. Associate PSpice Model

- În profilul de simulare, în secțiunea *Configuration Files* selectând Library din Category voi adăuga fișierul .lib ➡ Add to Designs ➡ Apply ➡ OK. În Figura 22. am prezentat mai explicit pașii.

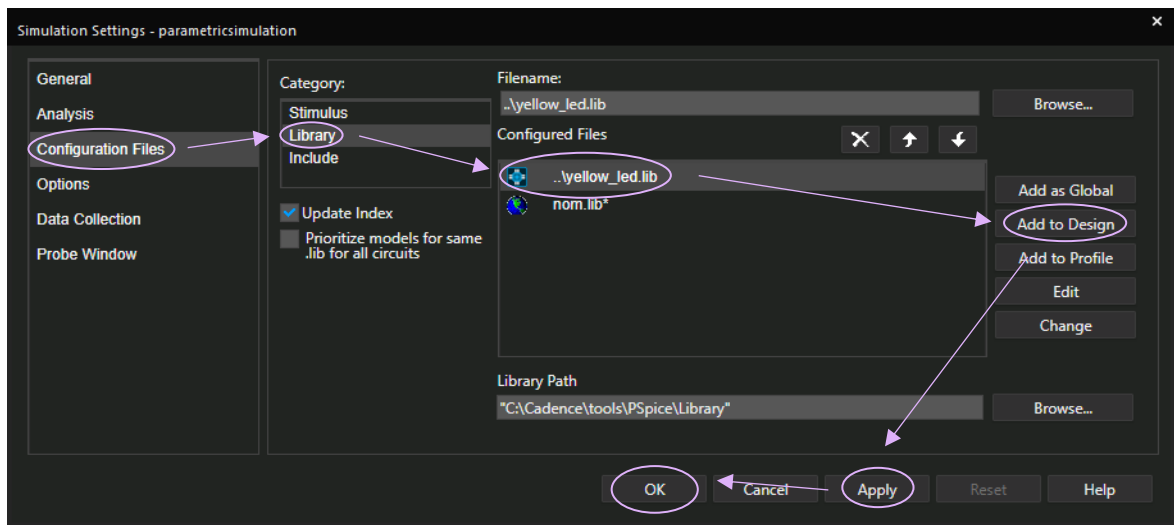


Figura 22. Configuration Files

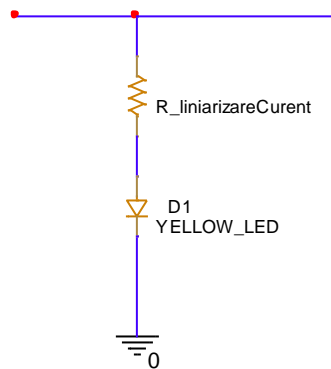


Figura 23. Led-ul în schemă

Pentru a liniariza curentul prin acest led galben vom folosi o rezistență poziționată în serie cu acesta (vezi Figura. 23). Pentru a obține o liniarizare adecvată, rezistența selectată ar trebui să fie suficient de mare pentru a asigura o cădere de tensiune semnificativă peste ea, comparativ cu căderea de tensiune pe diodă. Aceasta va permite diodei să funcționeze într-un regim în care variațiile mici ale tensiunii de intrare nu conduc la schimbări semnificative ale curentului.

Știind că tensiunea de alimentare a circuitului este de 20V și tensiunea de funcționare a led-ului galben este de 3V putem calcula căderea de tensiune pe rezistența $R_{liniarizareCurent}$ astfel:

$$(15) \quad V_{CC} - V_{LED} = V_{REZISTENȚĂ} \Rightarrow V_{REZISTENȚĂ} = 20V - 3V \Rightarrow V_{REZISTENȚĂ} = 17V.$$

Pentru curentul led-ului de 20mA putem utiliza legea lui Ohm (16) ca să calculăm valoarea rezistenței:

$$(16) \quad R_{liniarizareCurent} = \frac{V_{Rezistență}}{I_{led}} = \frac{17V}{20mA} = 0,85k\Omega = 850\Omega.$$

5. Simulări

În prima fază vom face o analiză DC Sweep în funcție de parametrul r unde vom baleea valoarea rezistenței senzorului de la 5k la 15k cu pas de 1k. În urma analizei observăm că tensiunea variază între [1.81V ; 13.03V] și curentul între [1.21 mA ; 1.39 mA].

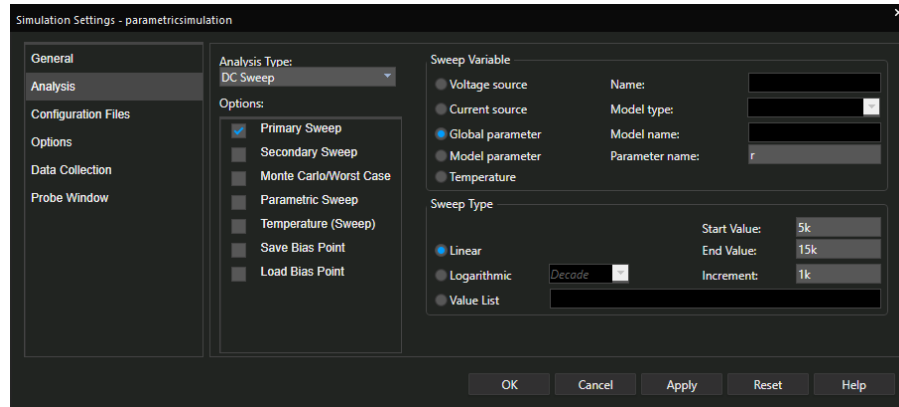


Figura 24. Setarea analizei DC Sweep

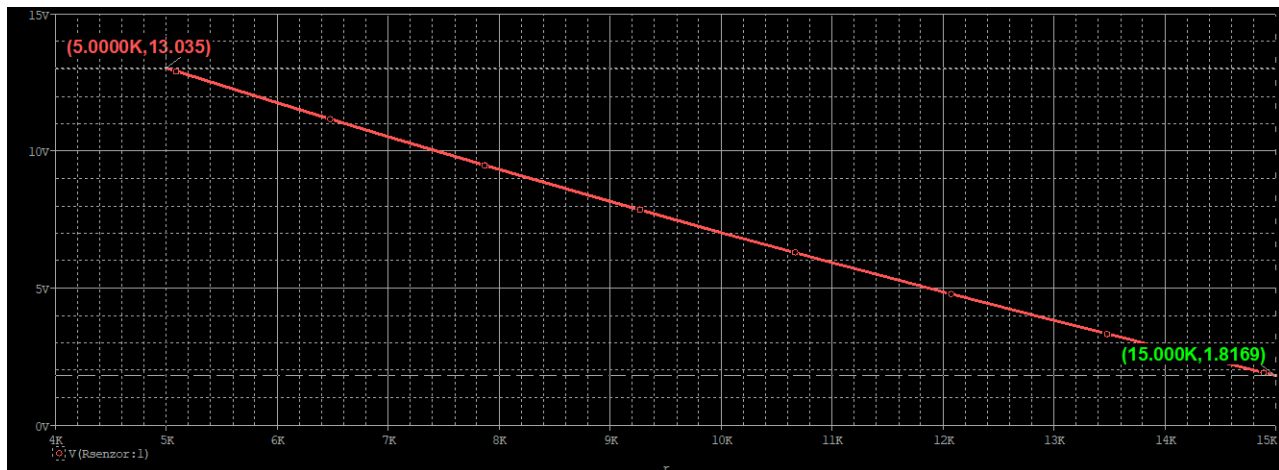


Figura 24. Variația tensiunii

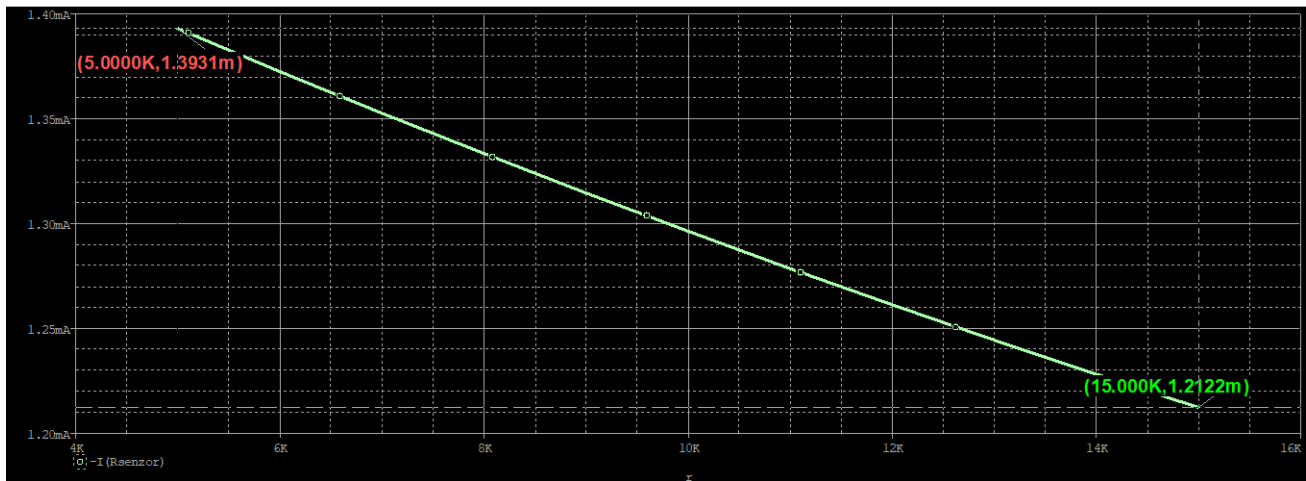


Figura 25. Variația curentului

Următorul pas este să determinăm variația tensiunii după amplificare. Vom face tot o analiza DC Sweep în funcție de parametrul r unde vom baleea valoarea rezistenței senzorului de la 5k la 15k cu pas de 1k. În urma analizei observăm că tensiunea variază între [0.019V ; 17.94V], așadar domeniul a crescut cum ne doream.

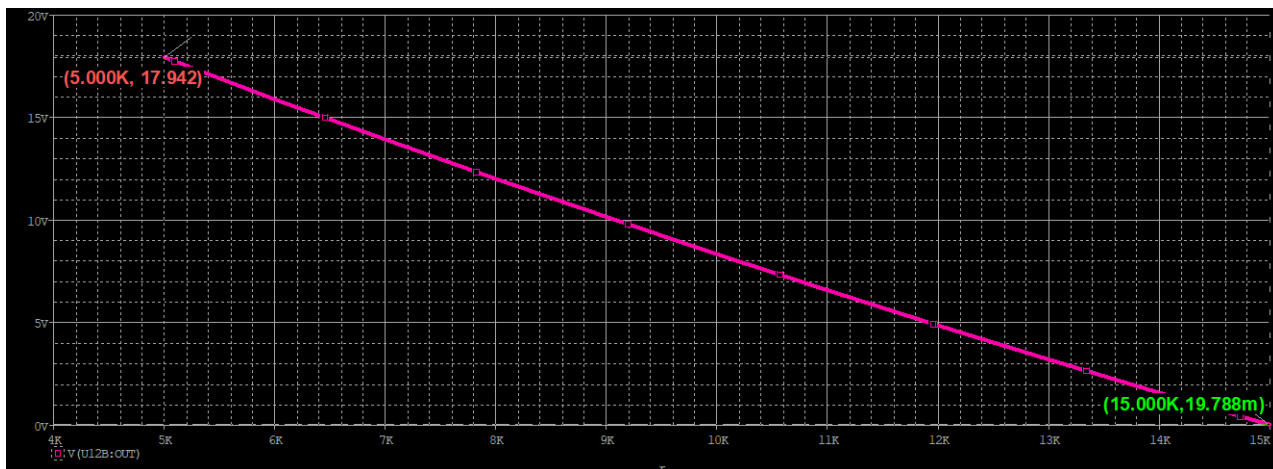


Figura 26. Variația tensiunii după amplificare

Pentru vizualizarea graficului de histereză vom face o analiza DC Sweep în funcție de parametrul r unde vom baleea valoarea rezistenței senzorului de la 1k la 50k cu pas de 10 pentru a putea vedea mai clar tensiunile de prag. Astfel observăm că V_{OH} este aproximativ 19.3V, iar $V_{OL} = 0V$.

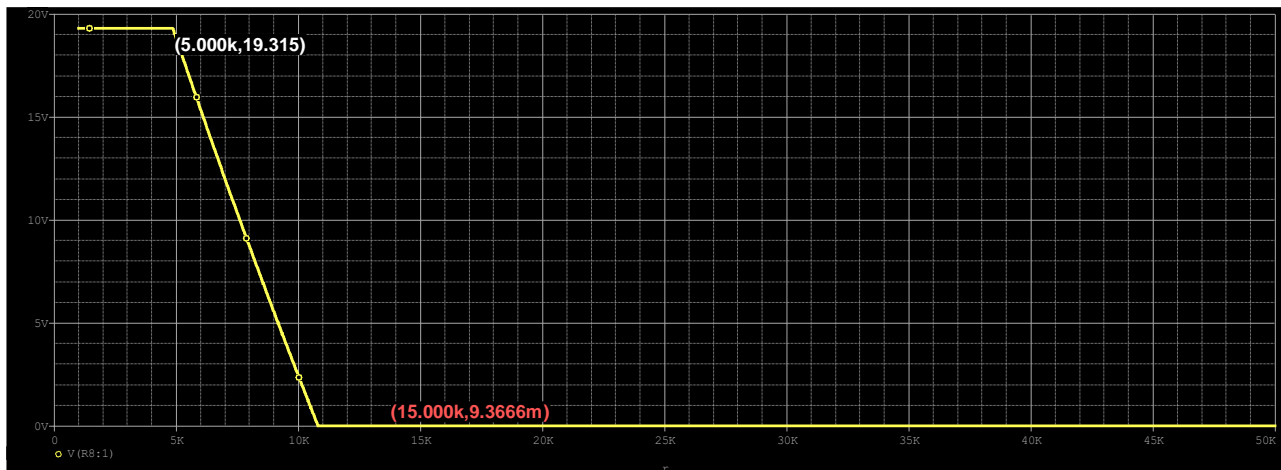


Figura 27. Graficul de histereză

Vom testa led-ul galben utilizând o analiză DC Sweep în care vom baleea tensiunea de alimentare de la 0V la 20V cu pas de 0.1V (Figura 28.).

Vom pune un marker de curent în fața diodei și vom vizualiza caracteristica (Figura 29.).

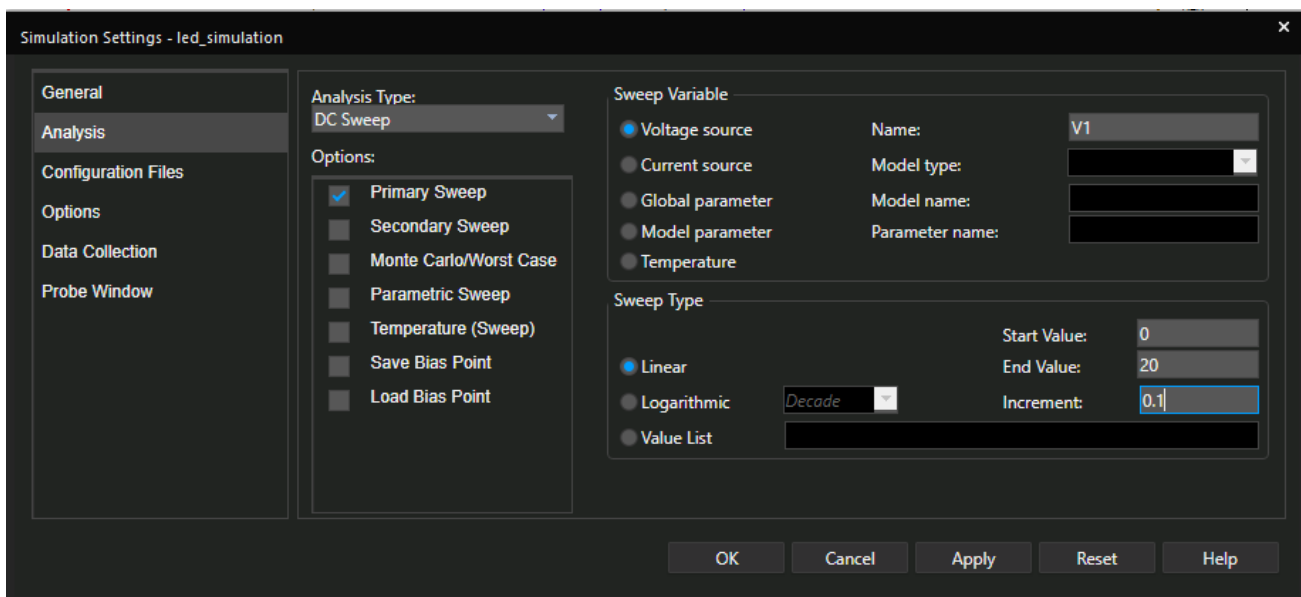


Figura 28. Setări simulare

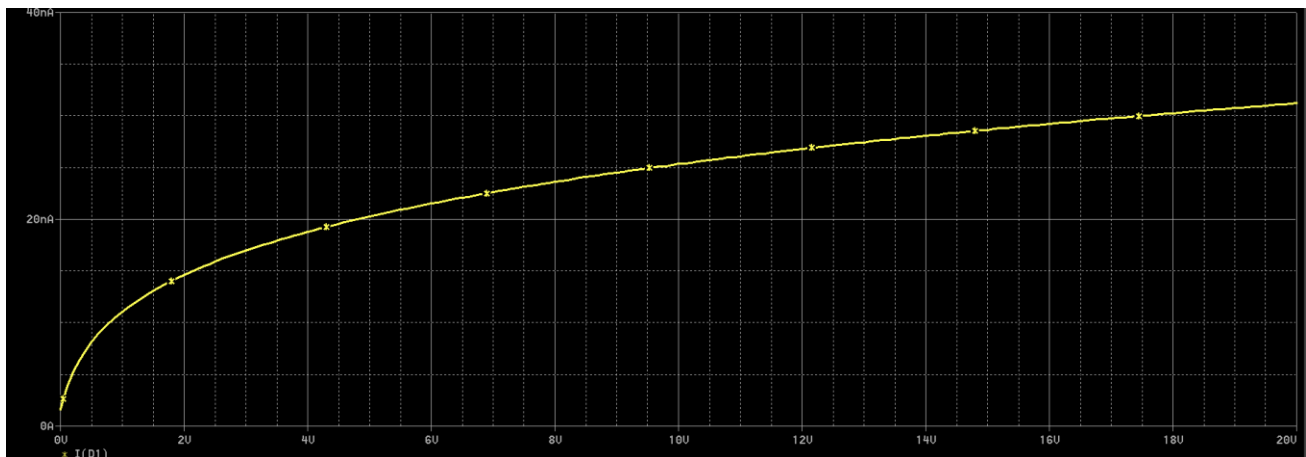


Figura 29. Simulare LED

Analiza Monte Carlo este cel mai bun mod de analiză a unui circuit din punct de vedere statistic, de a vedea cum se comportă acel circuit la variații ale valorilor componentelor. Analiza Monte Carlo determină, statistic, comportarea circuitului atunci când valorile componentelor sunt modificate în domeniul lor de toleranță. Astfel am setat toleranța rezistenței senzorului prima dată la 0.5% și după la 10% pentru a observa diferența și vom afișa variația de tensiune după amplificare.

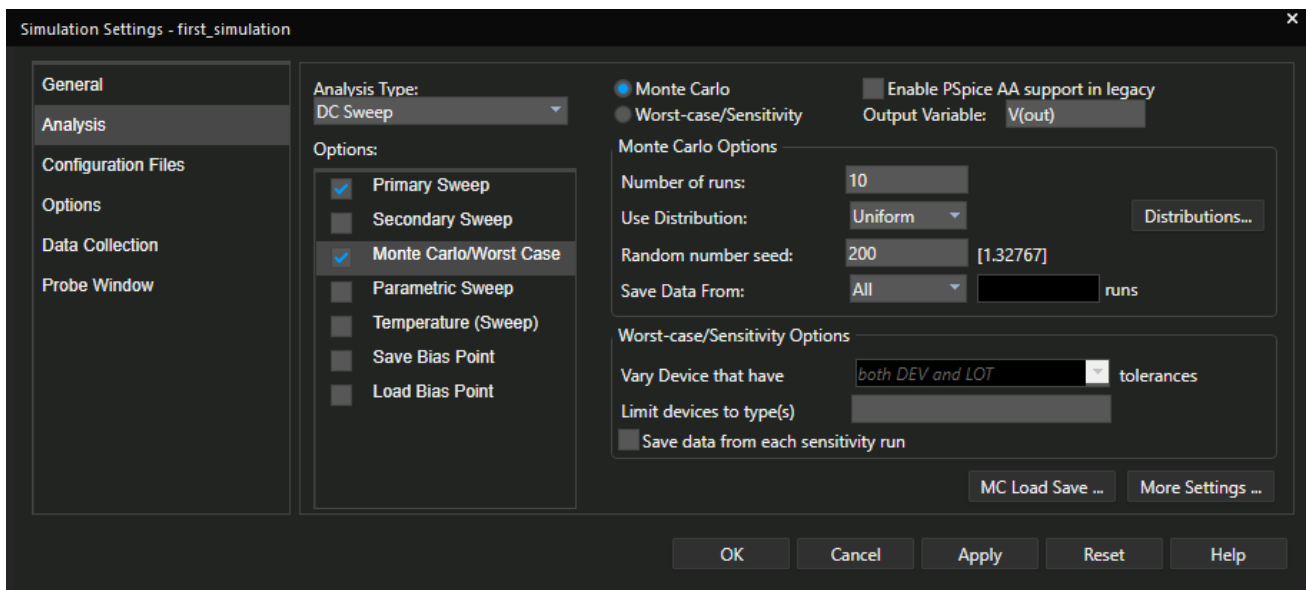


Figura 30. Setări pentru analiza Monte Carlo

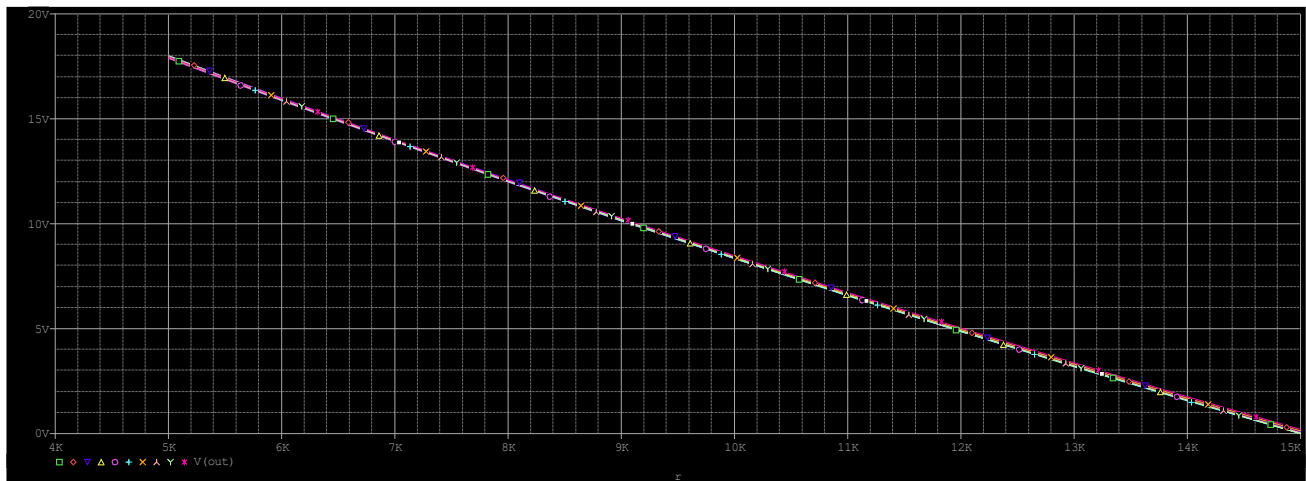


Figura 31. Toleranță 0.5%

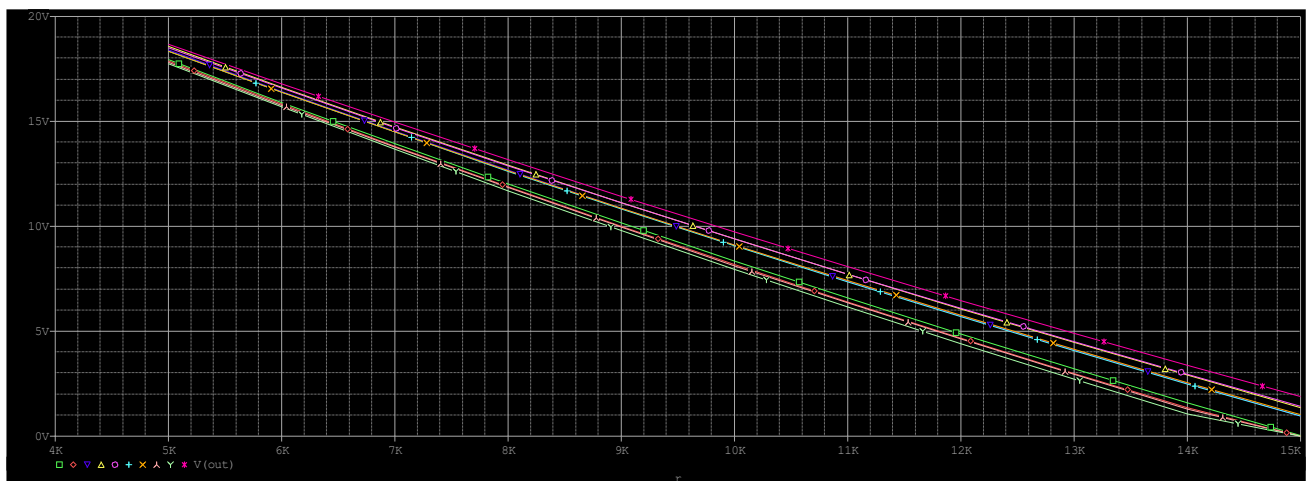


Figura 32. Toleranță 10%

Deoarece led-ul și senzorul sunt considerate componente critice în funcționarea circuitului vom realiza pentru fiecare o analiză Worst-case pentru a observa tensiunile maxime ale acestora.

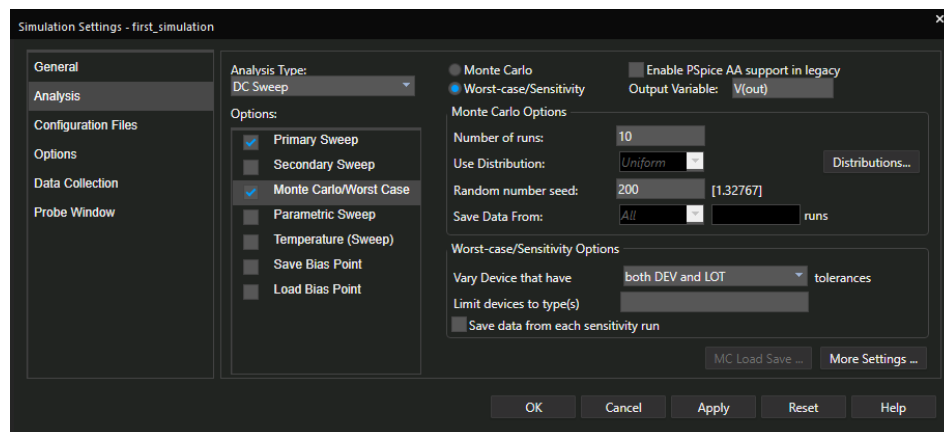


Figura 33. Setarea analizei Worst-case

Am realizat prima dată o analiză Worst- case pentru led pentru a afișa tensiunea maximă pe acesta.

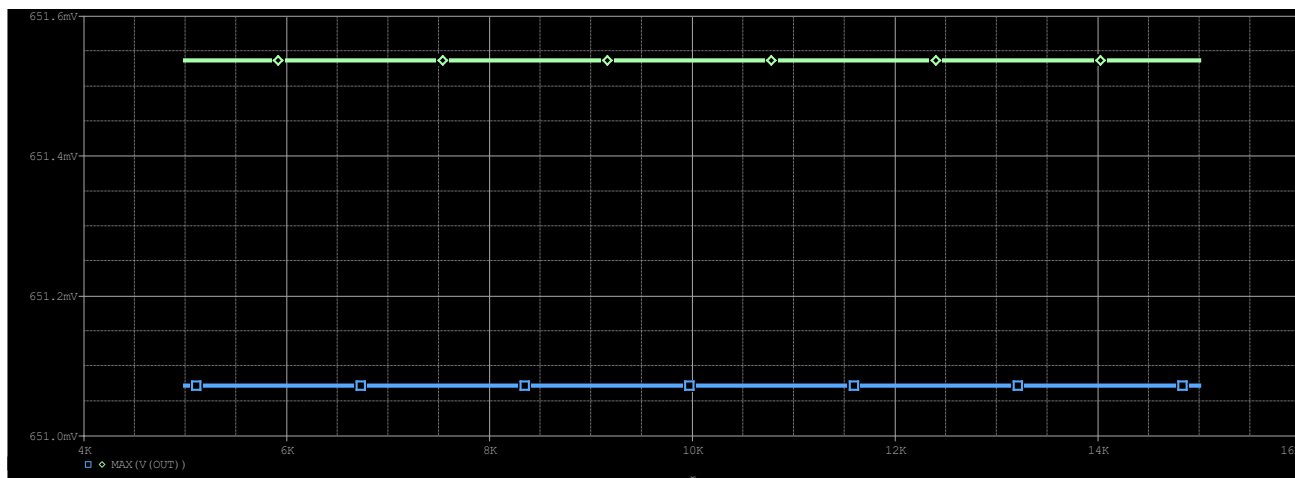


Figura 34. Analiza WORST-CASE pentru tensiunea maximă a led-ului

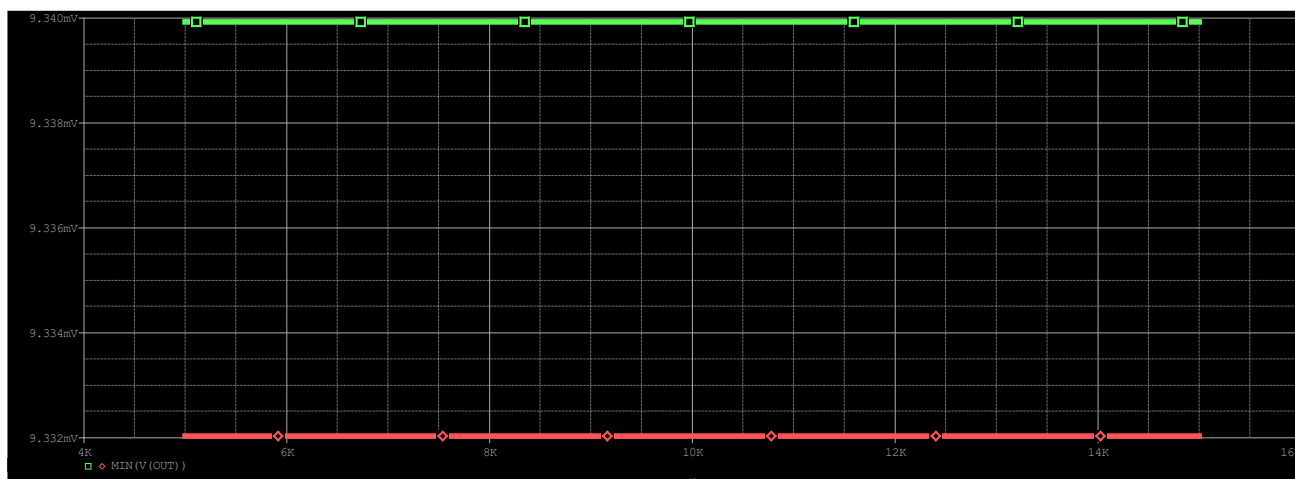


Figura 35. Analiza WORST-CASE pentru tensiunea minimă a led-ului

Considerând toleranța rezistenței senzorului ca fiind de 0.5% am realizat prima analiză Worst-case a acesteia înainte de amplificarea tensiunii (Figura 36.) și după amplificarea acesteia folosind amplificatorul diferențial (Figura 37.)

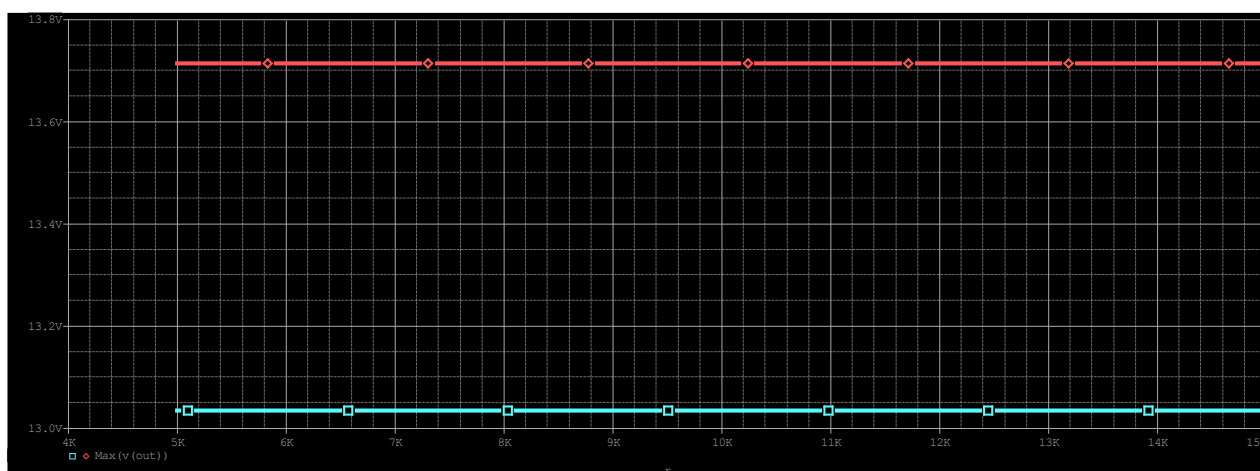


Figura 36. Analiza WORST-CASE pentru rezistența senzorului înainte de amplificarea tensiunii

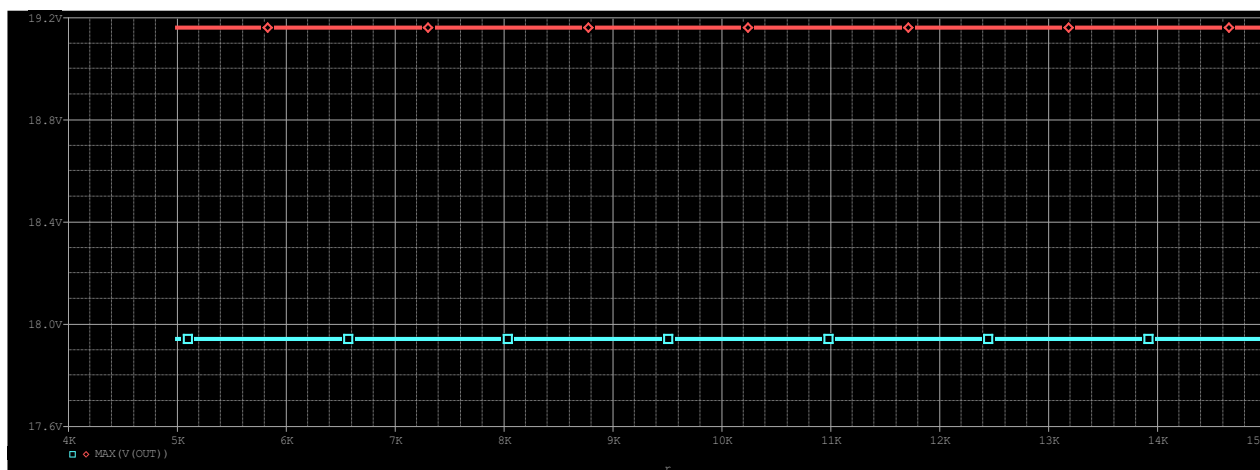


Figura 37. Analiza WORST-CASE pentru rezistența după amplificarea tensiunii

6. Bibliografie

- [5] Dispozitive Electronice, Curs 6 <http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/de/de.htm>.
- [5] Dispozitive Electronice, Curs 8 <http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/de/de.htm>.
- [6] „Yellow, 5mm data sheet”, Farnell.
- [6] “NNC68A-2Z Electromagnetic Relay”, Panda-bg.com.