

# **Circuit de reglare al nivelului apei** **dintr-un rezervor**

**Nume:** Mureșan Adina-Ștefania

**Grupa:** 2121

**Profesori îndrumători:** Prof. Dr. Ing. Pop Ovidiu, Drd. Ing. Adelina Ilieș

**Data:** 22.05.2023

## Cuprins

1. Cerințe proiect.....	3
2. Schema bloc.....	4
3. Schema electrică .....	5
3.1. Sursa de curent.....	5
3.2. Repetor de tensiune .....	5
3.3. Convertorul de domeniu .....	6
3.4. Comparator cu histerezis.....	6
3.5. Ansamblul pompă-releu .....	7
3.6. Sursa de alimentare.....	7
4. Dimensionarea circuitului.....	8
4.1. Sursa de curent.....	8
4.2. Convertor de domeniu .....	8
4.3. Comparatorul cu histerezis.....	10
4.4. Ansamblul pompă-releu .....	10
5. Modelarea led-ului.....	13
6. Analize .....	17
6.1. Analiza DC Sweep pentru variația tensiunii pe senzor .....	17
6.2. Analiza DC Sweep pentru extinderea domeniului de variație.....	18
6.3. Analiza DC Sweep pentru a observa pragurile comparatorului .....	18
6.4. Analiza DC Sweep pentru a vedea tensiunea pe releu.....	19
6.5. Analiza Monte Carlo pentru variația pe senzor .....	19
6.6. Analiza Worst-Case pentru extinderea domeniului de variație .....	21
7. Bibliografie/webografie .....	23

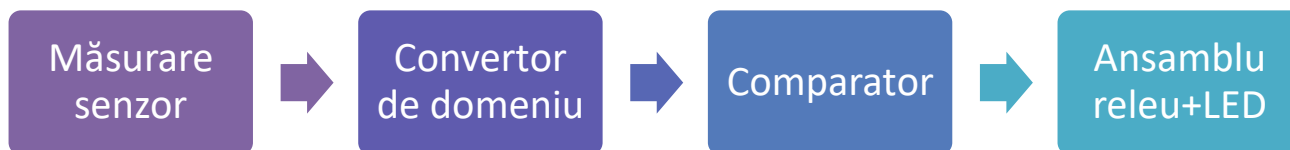
## 1. Cerințe proiect

Să se proiecteze un sistem de control al nivelului de apă dintr-un rezervor. Știind că senzorul de nivel folosit poate să măsoare nivelul de lichid liniar, valoarea maximă fiind specificată în tabel coloana E, sistemul se va proiecta astfel încât nivelul din rezervor să se mențină în intervalul specificat în coloana F. Senzorul de nivel se va polariza în curent. Variația liniară a rezistenței electrice a senzorului cu nivelul de lichid este specificată în coloana G și trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul  $[0 - (V_{cc}-2V)]$ . În rezervor, nivelul de apă este menținut 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.

<b>E</b> Nivel maxim de măsură	<b>F</b> Domeniul nivelului de lichid din rezervor [cm]	<b>G</b> Rezistența senzorului [ $\Omega$ ]	<b>H</b> VCC [V]	<b>I</b> Culoare LED de semnalizare
470	70-400	50k-60k	12	roșu

*Tabel 1 – Specificații de proiectare*

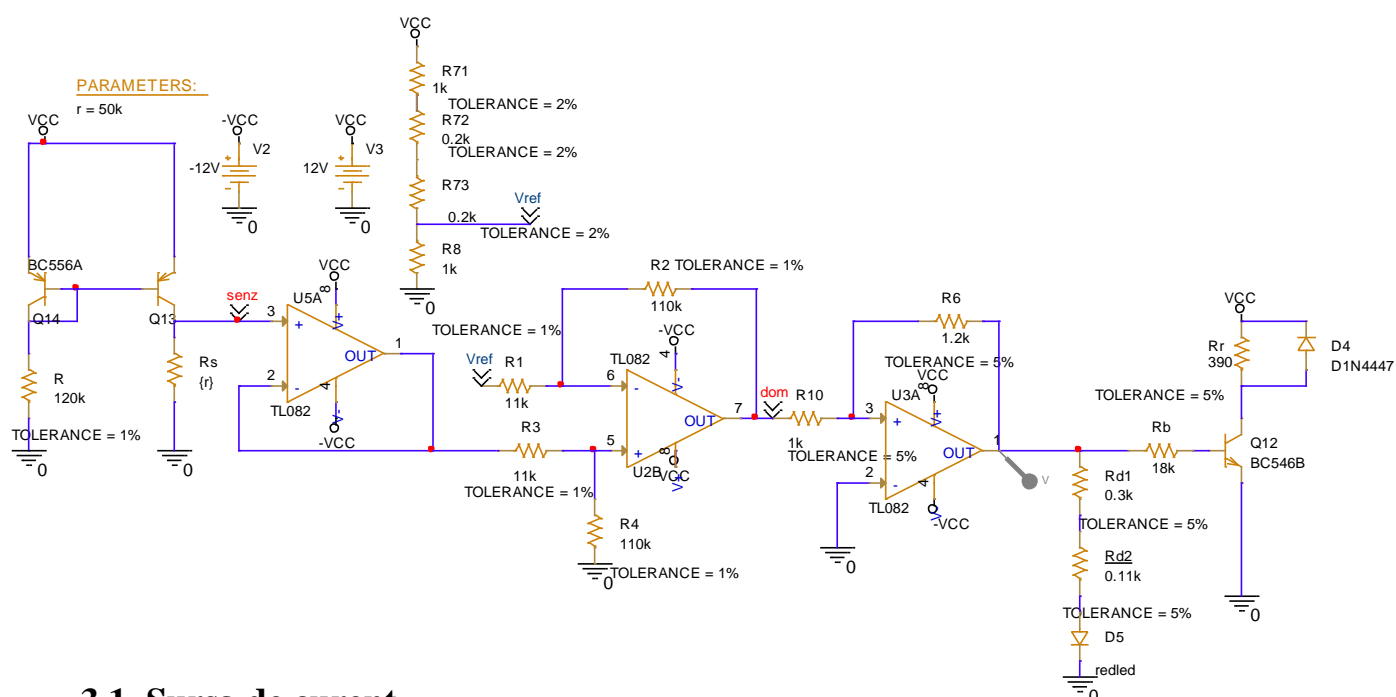
## 2. Schema bloc



*Figură 1 - schema bloc*

Circuitul de reglare al nivelului apei dintr-un rezervor este alcătuit dintr-o sursă de curent și o rezistență variabilă, reprezentând senzorul, un circuit repetor, un convertor de domeniu care ne extinde domeniul de variație al tensiunii pe senzor la un domeniu mai larg de tensiuni, un comparator pentru detecția pragurilor, ansamblul pompă releu care funcționează ca un întrerupător și un led roșu pentru semnalizare.

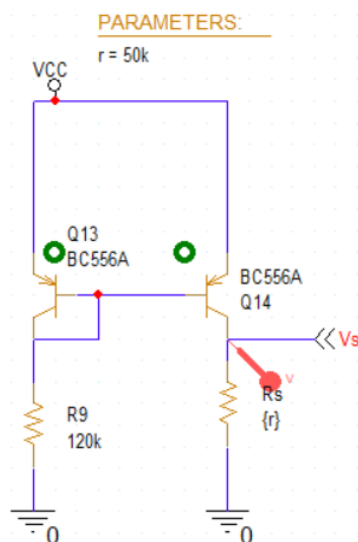
### 3. Schema electrică



#### 3.1. Sursa de curent

Pentru polarizarea în curent, am folosit o sursă de curent, pe care am proiectat-o cu două tranzistoare PNP, BC556A. Am scurtcircuitat baza cu colectorul pentru a avea  $V_{EB}=V_{EC}$ . Pentru a simula senzorul am folosit o rezistență cu parametru pentru a simboliza o rezistență variabilă.

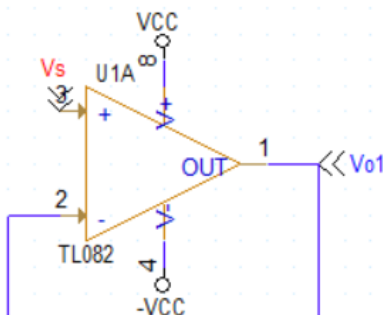
Figură 2 - sursa de curent



#### 3.2. Repetor de tensiune

Am folosit un repetor de tensiune pentru a nu exista pierderi de tensiune și pentru adaptare de impedanță. Am folosit amplificatorul operațional TL082. Am utilizat acest amplificator operațional deoarece tensiunea nominală este  $\pm 18V$ , iar eu am  $\pm 12V$ , deci mă încadrez în acest domeniu.

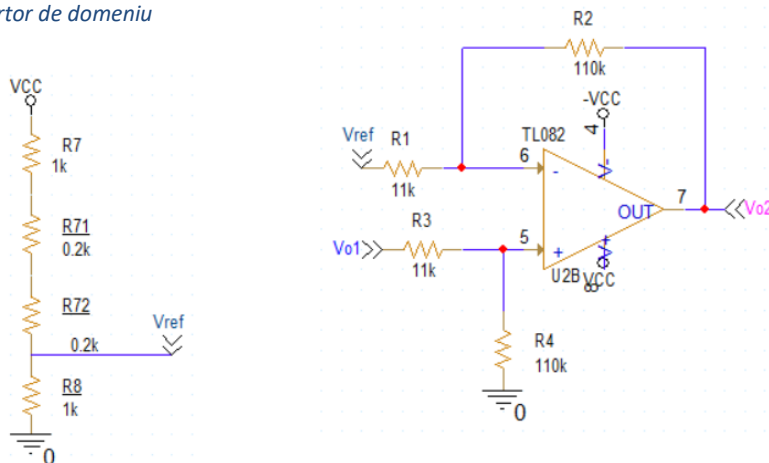
Figură 3 - circuit repetor



### 3.3. Convertorul de domeniu

Pentru extinderea domeniului am utilizat un amplificator diferențial la care am folosit amplificatorul operațional TL082. Pentru  $V_{ref}$ , am folosit un divizor de tensiune. Extinderea domeniului se face pentru a avea o precizie mai bună a tensiunilor într-un domeniu mai mare.

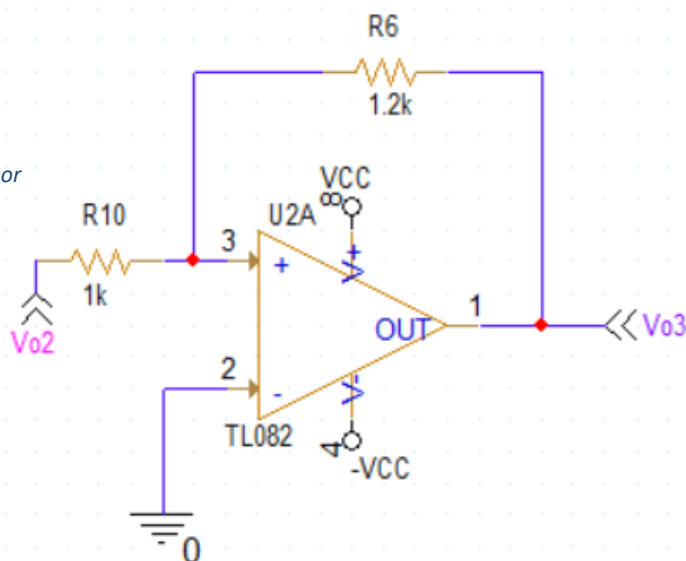
Figură 4 - convertor de domeniu



### 3.4. Comparator cu histerezis

Am adăugat un comparator neinversor cu histerezis pentru detecția pragurilor. La fel ca și pentru repetor și amplificatorul diferențial, am ales amplificatorul operațional TL082.

Figură 5 - comparator neinversor



### 3.5. Ansamblul pompă-releu

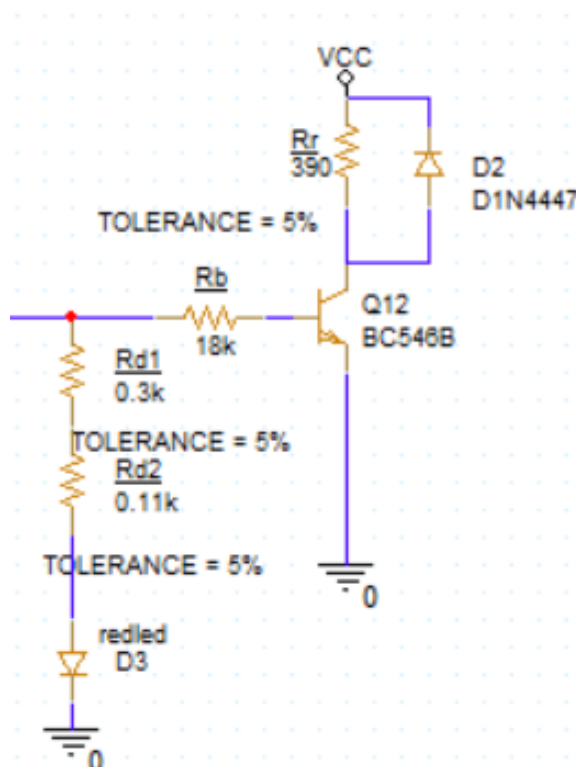
Am folosit un LED de culoare roșie pentru semnalizarea stării pompei și am adăugat în serie o rezistență cu rol de limitare al curentului.

Releul este modelat cu ajutorul rezistenței  $R_r$ , iar în paralel am adăugat o diodă supresoare care are rolul de a neutraliza curenții de autoinducție.

Când tranzistorul va fi blocat, pe releu se vor regăsi 0V, iar când tranzistorul se va deschide, pe releu vor fi 12V, în acest caz, tranzistorul funcționând ca un întrerupător.

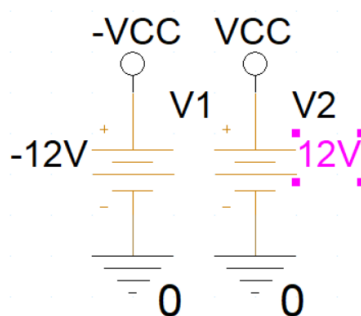
Pentru tranzistorul NPN Q12, am folosit BC546B. Acesta este introdus în circuit pentru a asigura un curent suficient pentru releu și funcționează ca un întrerupător. În baza tranzistorului, am adăugat rezistența  $R_b$  cu rol de limitare a curentului, și implicit a tensiunii.

Figură 6 - ansamblul pompă-releu



### 3.6. Sursa de alimentare

$\pm VCC$  le-am reprezentat separat pentru a nu încărca circuitul, punându-le etichete și folosindu-le doar pe acestea în cadrul circuitului.



## 4. Dimensionarea circuitului

### 4.1. Sursa de curent

Din foaia de catalog a tranzistorului,  $V_{EC}=V_{EB}=0.65V$  (am scurtcircuitat baza cu colectorul). Aleg rezistența  $R=120k\Omega$  cu toleranță de  $\pm 1\%$ .

Calculez curentul pe  $R$  deoarece acel curent se regăsește și pe rezistența de sarcină (fiind oglindă de curent).

*Ecuatie 1*

$$I_R = \frac{V_{CC} - V_{EC}}{R}$$

În urma calculelor, rezultă un curent de aproximativ  $100\mu A$ . Acest curent se regăsește și pe ramura cu rezistența senzorului, deci putem calcula tensiunile pe senzor.

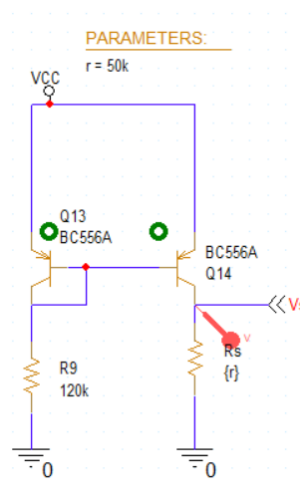
*Ecuatie 2*

$$V_{smin} = I_R \cdot R_{min} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^3 = 5V$$

*Ecuatie 3*

$$V_{smax} = I_R \cdot R_{max} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \cdot 10^3 = 6V$$

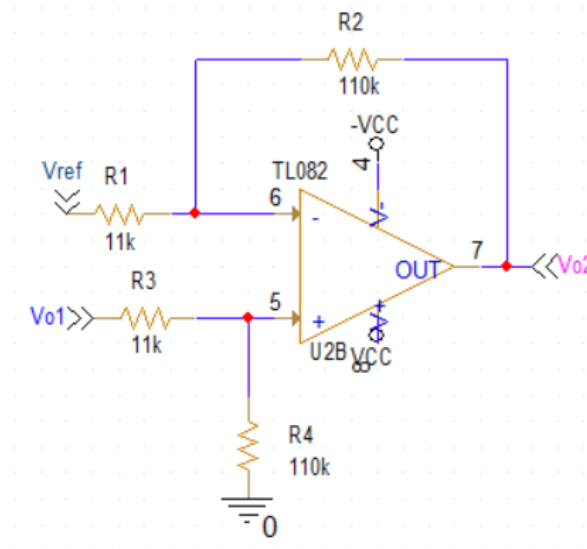
Variația tensiunii de pe senzor va fi cuprinsă între  $[5V;6V]$ .



### 4.2. Convertor de domeniu

Pentru a extinde domeniul de la  $[5V;6V]$  la  $[0;V_{CC}-2V]=[0;10V]$  avem nevoie de un amplificator diferențial. Aleg tensiunea de referință  $V_{ref}=5V$ .





Ecuatie 4

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{o1} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{ref} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_{o2}$$

Alegem  $R_1=R_3$  și  $R_2=R_4$ , atunci rezultă:

Ecuatie 5

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{o1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{ref} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{o2}$$

În urma calculelor, rezultă că  $R_2=10R_1$ . Aleg  $R_1=11k\Omega$ , atunci  $R_2=110k\Omega$ . Pentru ambele rezistențe aleg toleranța de  $\pm 1\%$ . Atunci  $R_1 \in [10.89k\Omega; 11.11k\Omega]$ , iar  $R_2=[108.9k\Omega; 111.1k\Omega]$ .

Pentru tensiunea de referință, am folosit un divizor de tensiune. Tensiunea de referință este tensiunea de pe rezistența  $R_8$ .

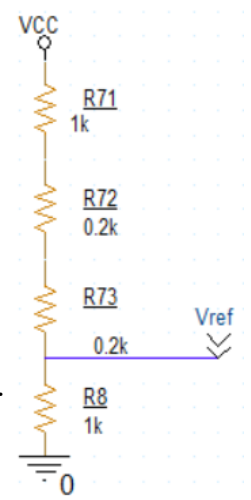
Teoretic,  $R_7$  este o singură rezistență, dar prin calcule am obținut o valoare care nu este nominală, așa că am pus trei rezistențe în serie pentru a obține rezistența calculată.

Ecuatie 6

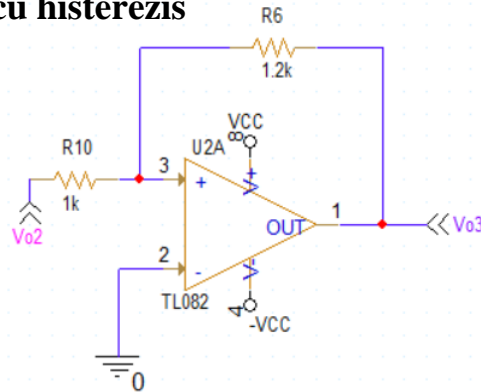
$$V_{ref} = \frac{R_8}{R_7 + R_8} \cdot V_{CC}$$

În urma calculelor rezultă că  $R_7=1.4R_8$ . Aleg  $R_8=1k\Omega \pm 2\%$  toleranță.

Teoretic,  $R_7$  este  $1.4k\Omega$ , dar nu există valoare nominală de  $1.4$ , așa că îl scriu pe  $R_7=R_{71}+R_{72}+R_{73}=1k+0.2k+0.2k$ . Pentru aceste trei rezistențe iau toleranță de  $\pm 2\%$ .



### 4.3. Comparatorul cu histerezis



Comparatorul cu histerezis, îl voi folosi pentru a detecta cele două praguri. Aleg  $V_{PJ}=0V$ , iar  $V_{PS}=10V$ .

Ecuatie 7

$$V_{o2} = -\frac{R_{10}}{R_6} \cdot V_{CC}$$

Ecuatie 8

$$V_{PJ} = -\frac{R_{10}}{R_6} \cdot V_{CC}$$

Ecuatie 9

$$V_{PS} = -\frac{R_{10}}{R_6} \cdot (-V_{CC})$$

Din ecuația 10 rezultă că  $R_6=1.2R_{10}$ . Aleg  $R_{10}=1k\Omega \pm 5\%$  toleranță și rezultă că  $R_6=1.2k\Omega \pm 5\%$  toleranță.

### 4.4. Ansamblul pompă-releu

Mai întâi am calculat rezistența înseriată cu led-ul. Aceasta este adăugată în circuit cu rol de limitare a curentului prin diodă. Am calculat-o cu legea lui Ohm.

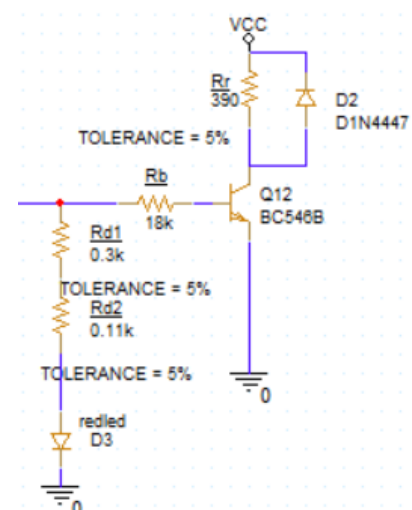
Ecuatie 10

$$R_D = \frac{V_{o3} - V_D}{I_D}$$

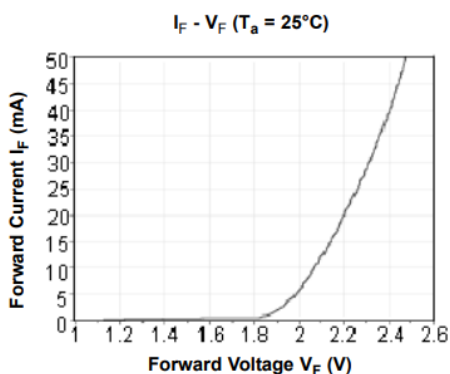
Din foaia de catalog, am luat curentul  $I_D=20mA$ .

Continuous Forward Current	20	mA
----------------------------	----	----

Figură 7



Tensiunea la care LED-ul începe să lumineze este de 1.8V după cum se poate observa în figura 8.



Figură 8

Rezultă că  $R_D = 0.41k\Omega$ , dar cum nu există o valoare standard de 0.41, o să folosim două rezistențe în serie:  $R_{d1} = 0.3k\Omega \pm 5\%$  toleranță și  $R_{d2} = 0.11k\Omega \pm 5\%$  toleranță.

Am adăugat o rezistență în baza tranzistorului pentru limitarea curentului și am aflat acea rezistență cu formula:

Ecuatie 11

$$R_B = \frac{V_{o3} - V_{BE}}{I_B}$$

Unde  $V_{BE}$  (Base-Emitter Saturation Voltage  
at  $I_B = 0.5 \text{ mA}$ )

$V_{BE}(\text{sat})$	—	0.7	—	V
----------------------	---	-----	---	---

Figură 9

Figură 10

luate din foaia de catalog a tranzistorului BC546B.

În urma calculelor, rezultă că  $R_B = 18.6k\Omega$ , dar cum nu avem o valoare standard de fix  $18.6k\Omega$ , aleg această rezistență ca având valoarea de  $18k\Omega \pm 5\%$  toleranță.

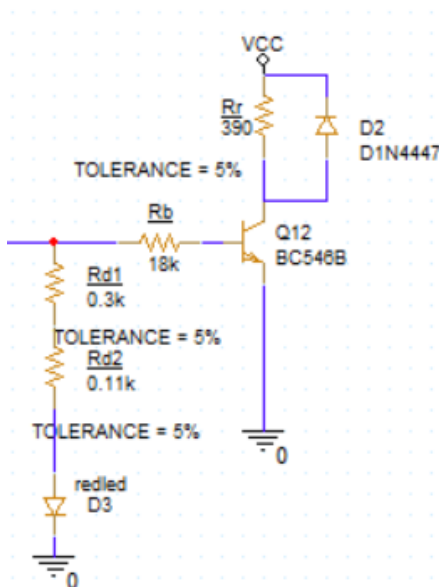
Pentru a calcula rezistența releului, aleg releul 12VDC, 10A, SPDT, LEG-12, RAYEX a cărui bobină consumă un curent de 30mA, atunci rezultă că rezistența poate fi calculată astfel:

Ecuatie 12

$$R_r = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I}$$

Unde  $V_{CE} = 0.6V$ .

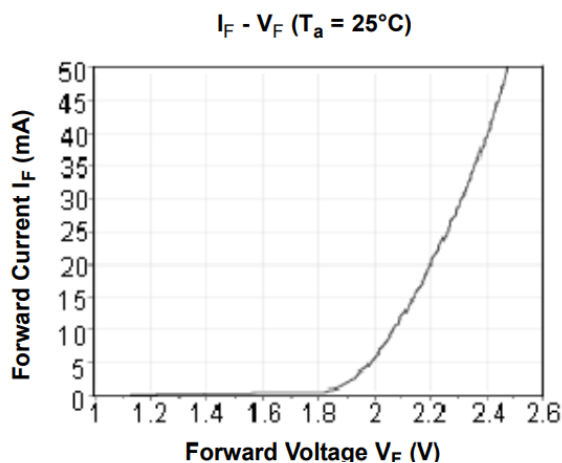
În urma calculelor rezultă că  $R_r$  este egală cu  $0.38k\Omega$ , dar nici această valoare nu este o valoare standardizată, așa că aleg ca  $R_r = 390\Omega \pm 5\%$  toleranță.



## 5. Modelarea led-ului

Led-ul roșu l-am modelat cu ajutorul PSpice Model Editor 2022. Mai întâi am deschis foaia de catalog pentru un LED roșu și am citit valorile din graficul cu Forward Voltage-Forward Current.

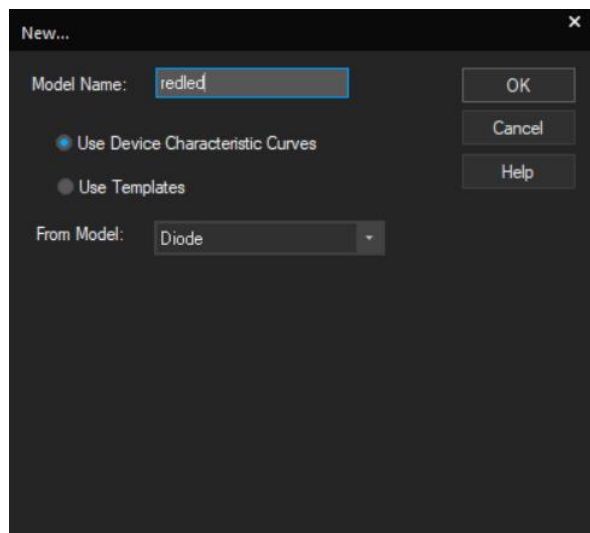
### Typical Characteristics



Figură 11

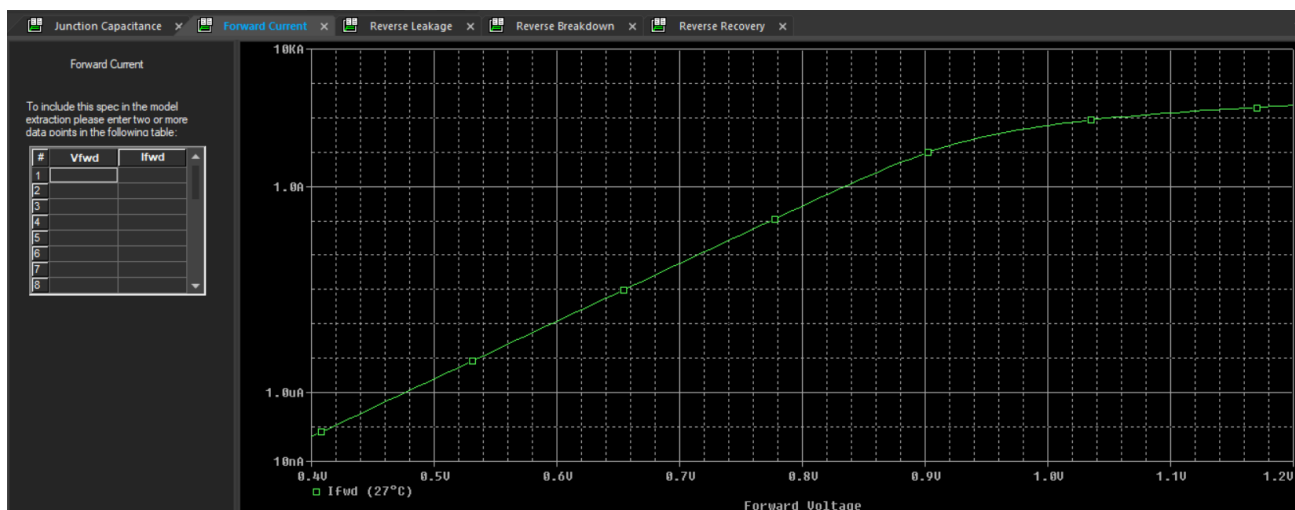
După cum se poate observa din figura 11, dioda începe să lumineze în jurul tensiunii de 1.8V. Până la aceea valoare, curentul fiind foarte mic, aproape de 0.

Pentru a modela dioda, am intrat în PSpice Model Editor și am creat un nou model de diodă.



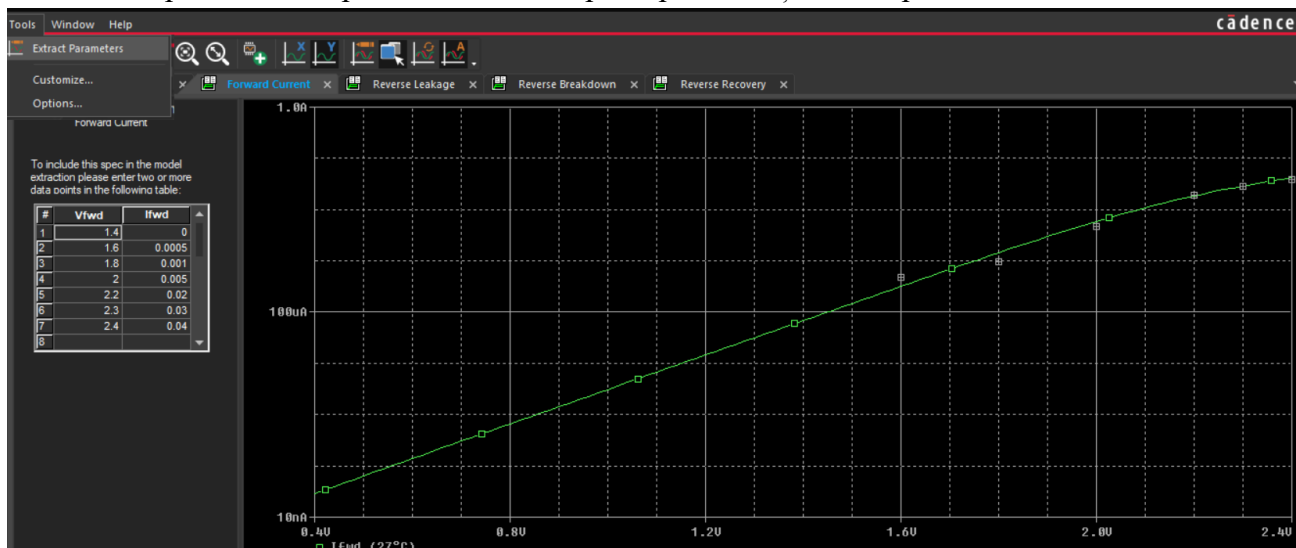
Figură 12

După ce am făcut acest pas, pe ecran îmi va apărea tabelul și graficul din figura 13. Pentru modelarea unui led trebuie completată doar categoria cu Forward Current, implicit tabelul în funcție de forward voltage și forward current din foaia de catalog a diodei, adică datele din figura 11, le voi completa în tabelul din figura 13.



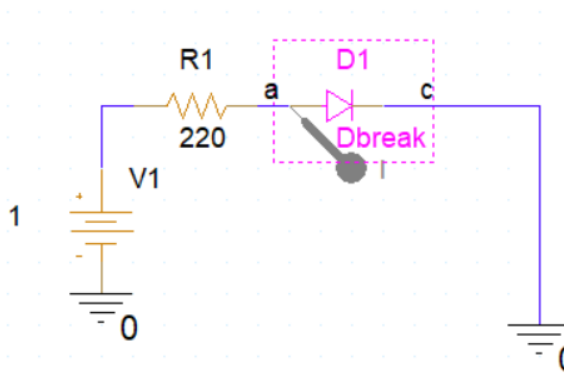
Figură 13

După ce am completat tabelul, am apăsăat pe Tools și am dat pe Extract Parameters.




Figură 14

Am salvat fișierul, apoi am testat dioda printr-un circuit simplu format dintr-o sursă de curent continuu cu valoarea de 1V, o rezistență de 220Ω și dioda. Am adăugat etichete pentru anodul și catodul diodei pentru a-mi fi mai ușor când plotez tensiunile.



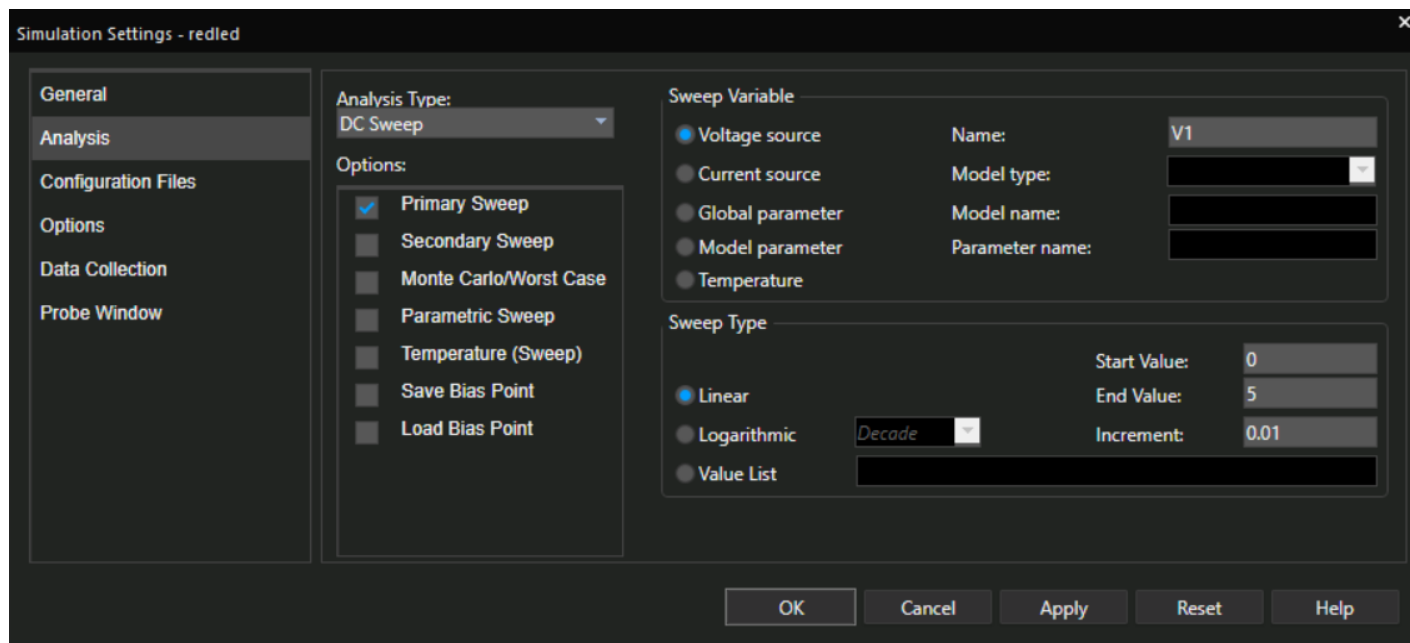
În circuit nu am adăugat o dioda normală, ci am adăugat dioda din librăria BREAKOUT. Intru în proprietățile acesteia și fac următoarele modificări:

	A
	 SCHEMATIC1 : PAGE1
AREA	
Color	Default
Designator	
Graphic	Dbreak.Normal
ID	
Implementation	redled
Implementation Path	D:\ANUL 2 2iSem 2iCAD
Implementation Type	PSpice Model
Location X-Coordinate	310
Location Y-Coordinate	200
Name	INS534
Part Reference	D1
PCB Footprint	
Power Pins Visible	<input type="checkbox"/>
Primitive	DEFAULT
PSpiceOnly	TRUE
PSpiceTemplate	D1@REFDES %1 %2 @MOD
Reference	D1
Source Library	C:\ICADENCE\SPB_22.1
Source Package	Dbreak
Source Part	Dbreak.Normal
Value	Dbreak

Figură 15

La implementation path adaug librăria creată în urma modelării diodei și îi schimb numele în numele modelului meu.

După acest pas, îmi creez o analiză de tip DC Sweep pentru a vedea dacă dioda funcționează așa cum îmi doresc. Am făcut o baieiere a sursei de tensiune V1 cu valoare de start de 0 V, valoarea de final 5V și un pas de 0.01V, după cum se poate observa în figura 16.



Figură 16

Înainte de a rula analiza, trebuie să adăugăm librăria diodei în cadrul analizei. Acest lucru îl realizez prin Configuration Files. Intru la categoria Library și adaug librăria de care am nevoie apăsând pe butonul Add to Design, după cum se observă în figura 17.

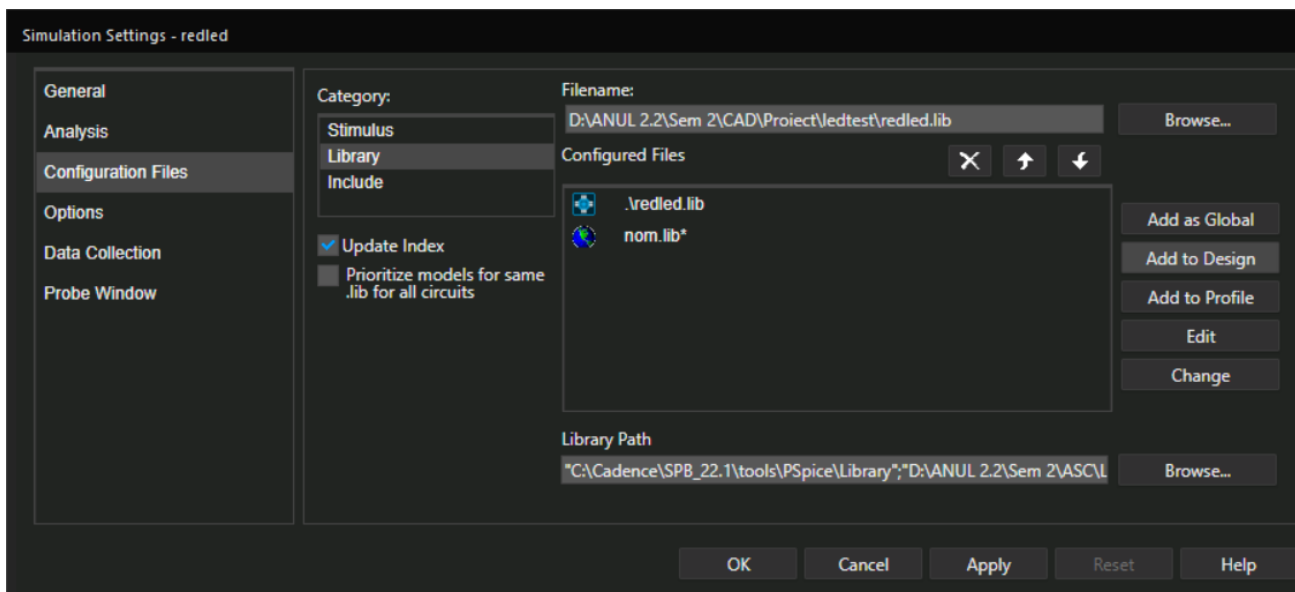
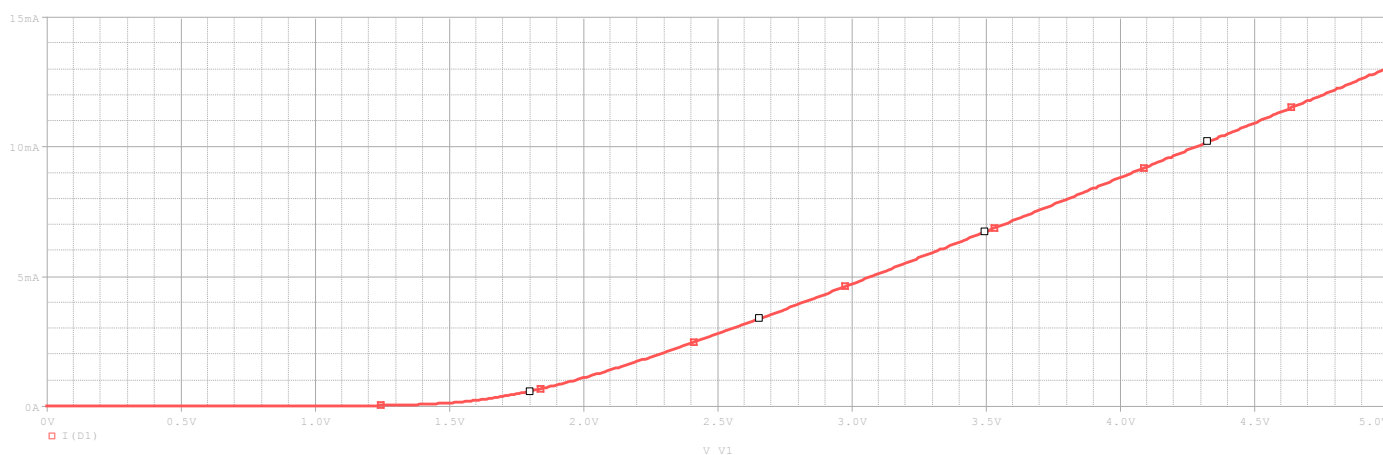


Figure 17

Adaug o sondă de curent și rulez analiza, obținând rezultatul din figura 18.



Figură 18

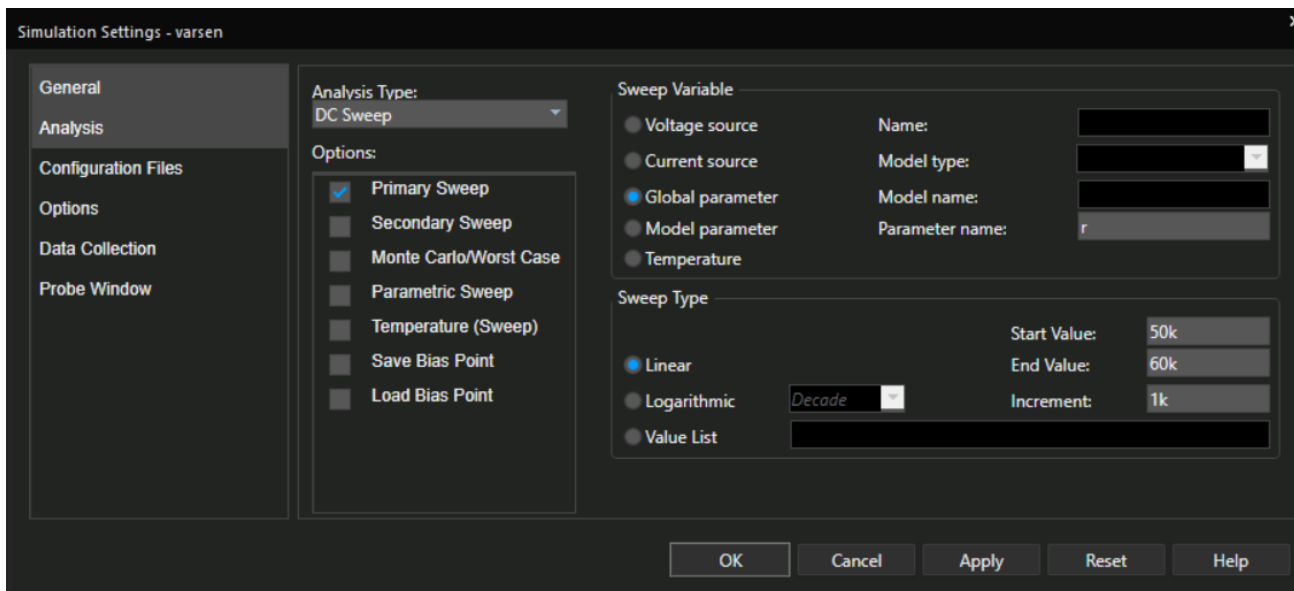
Se observă că LED-ul începe să lumineze în jurul valorii de 1.8V, deci LED-ul funcționează corect.



## 6. Analize

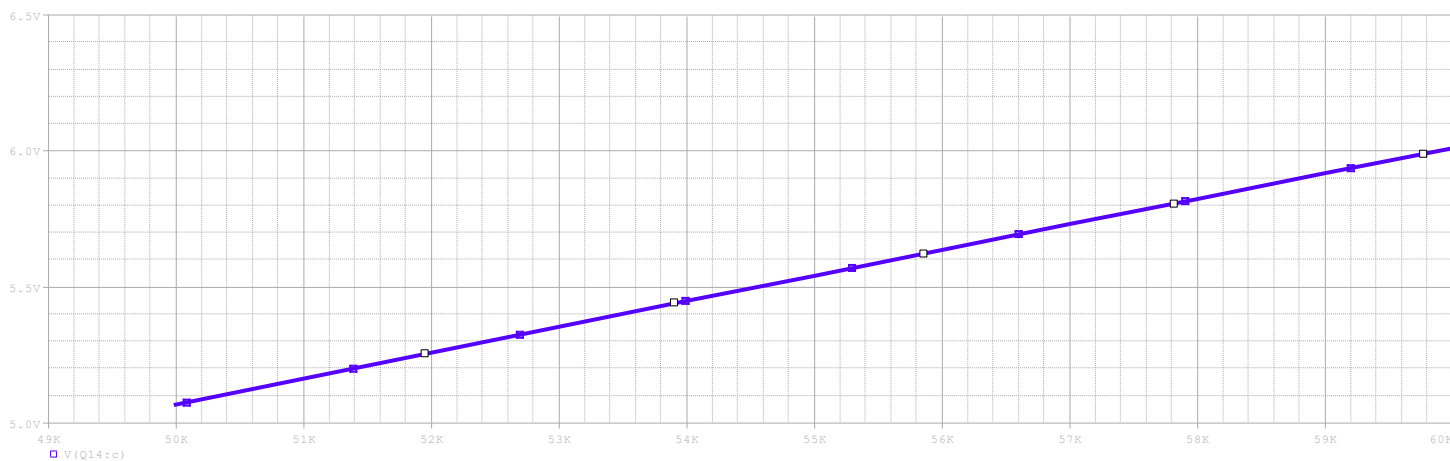
### 6.1. Analiza DC Sweep pentru variația tensiunii pe senzor

Pentru a observa variația tensiunii pe senzor, am realizat o analiză de curent continuu, DC Sweep, baleierea făcând-o în funcție de rezistența senzorului, cu ajutorul unui parametru global.



Figură 19

Rezultatele acestei analize sunt reprezentate în figura 20 în care observăm că avem o variație liniară a tensiunii de pe senzor, exact cum este precizat în cerință.

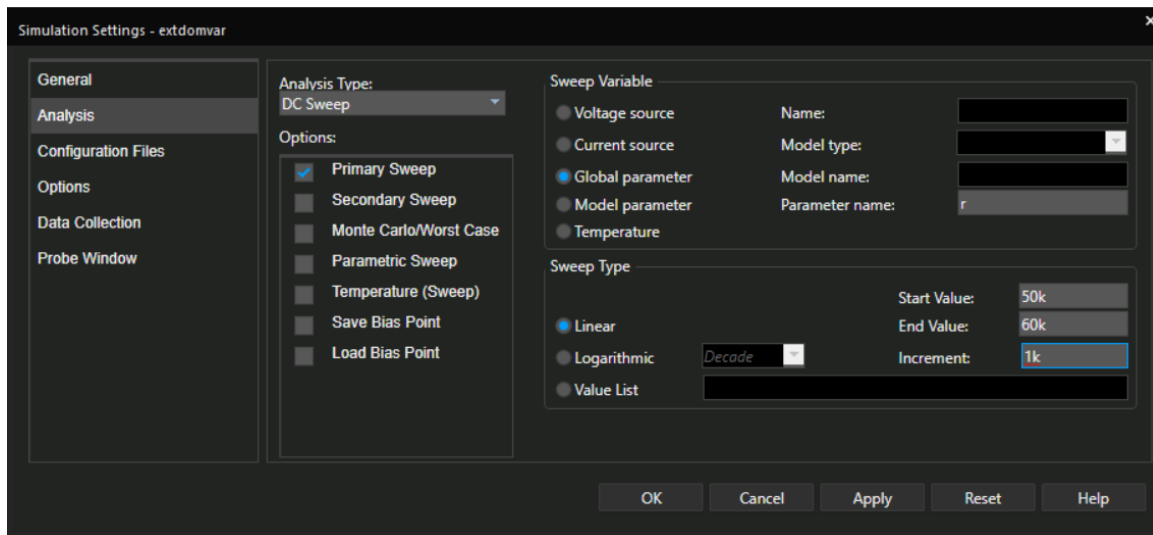


Figură 20

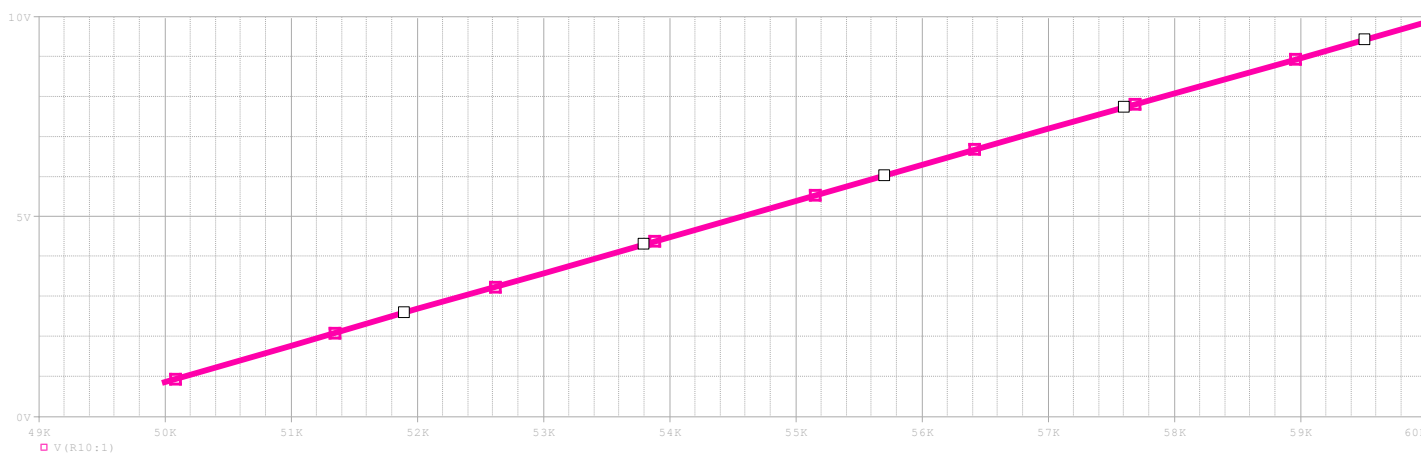
Această variație o vom regăsi și la ieșirea repetorului

## 6.2. Analiza DC Sweep pentru extinderea domeniului de variație

La fel ca și pentru tensiunea de pe senzor, am folosit o analiză DC Sweep pentru a vedea cum s-a extind domeniul de la variație de la [5V;6V] la [0;10V]. Am urmat aceiași pași în crearea analizei, cu parametru. Rezultatele acestei analize se regăsesc în figura 22.



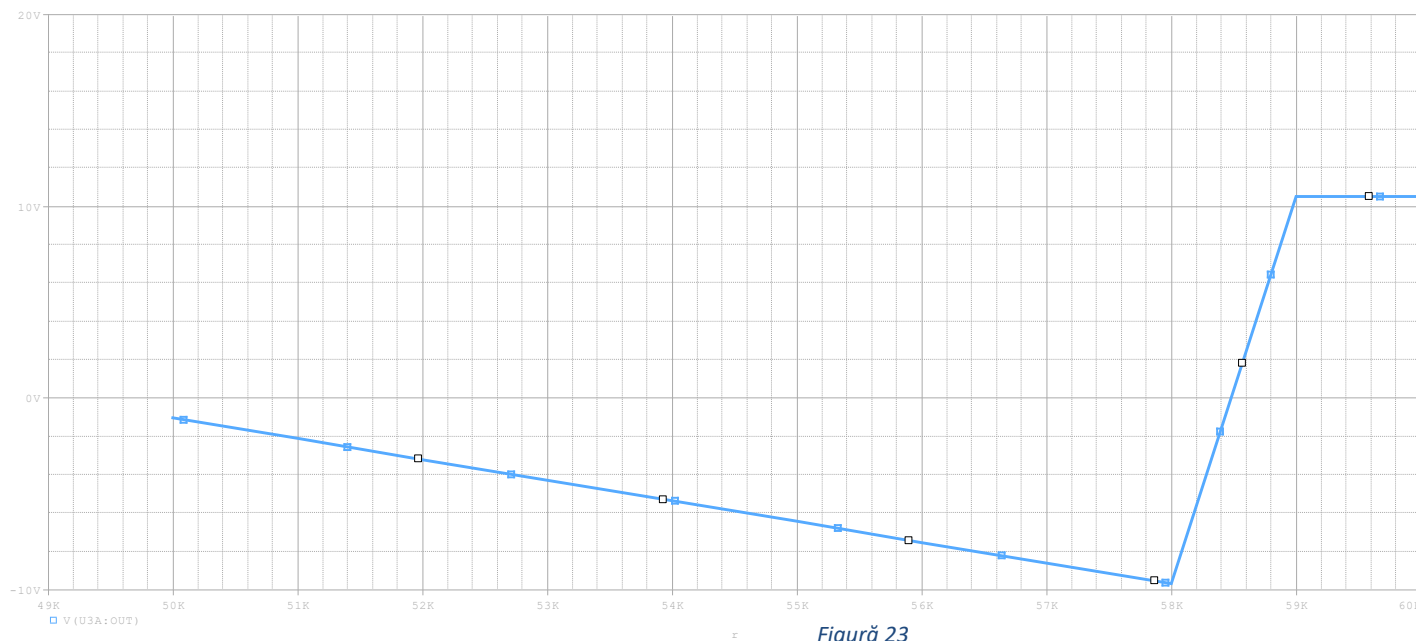
Figură 21



Figură 22

## 6.3. Analiza DC Sweep pentru a observa pragurile comparatorului

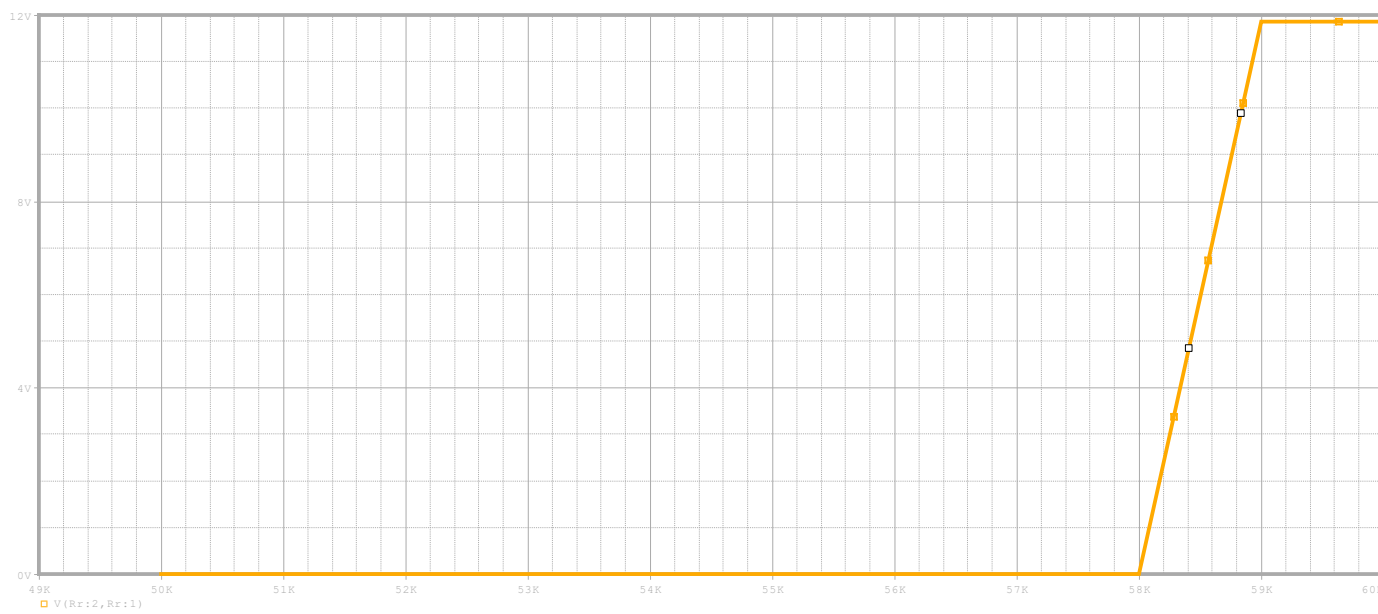
Ca și în cazurile anterioare, am făcut un DC Sweep cu parametru pentru a vedea pragurile în funcție de rezistența senzorului. Rezultatele acestei simulări se regăsesc în figura 23.



Figură 23

#### 6.4. Analiza DC Sweep pentru a vedea tensiunea pe releu

Am realizat un DC Sweep cu parametru global  $r$ , adică în funcție de variația senzorului. Pe rezultatele simulării se poate observa că până la  $58k\Omega$ , pe releu tensiunea va fi zero, apoi crește brusc până la 10V și rămâne constantă. Rezultatele simulării se regăsesc în figura 24.

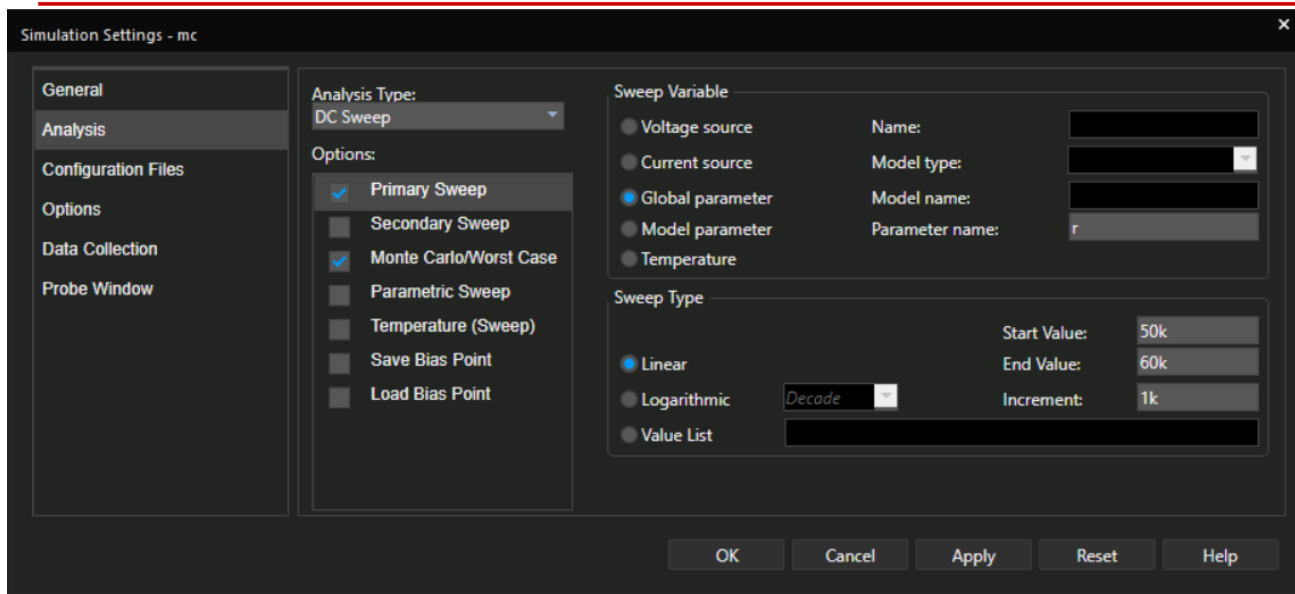


Figură 24

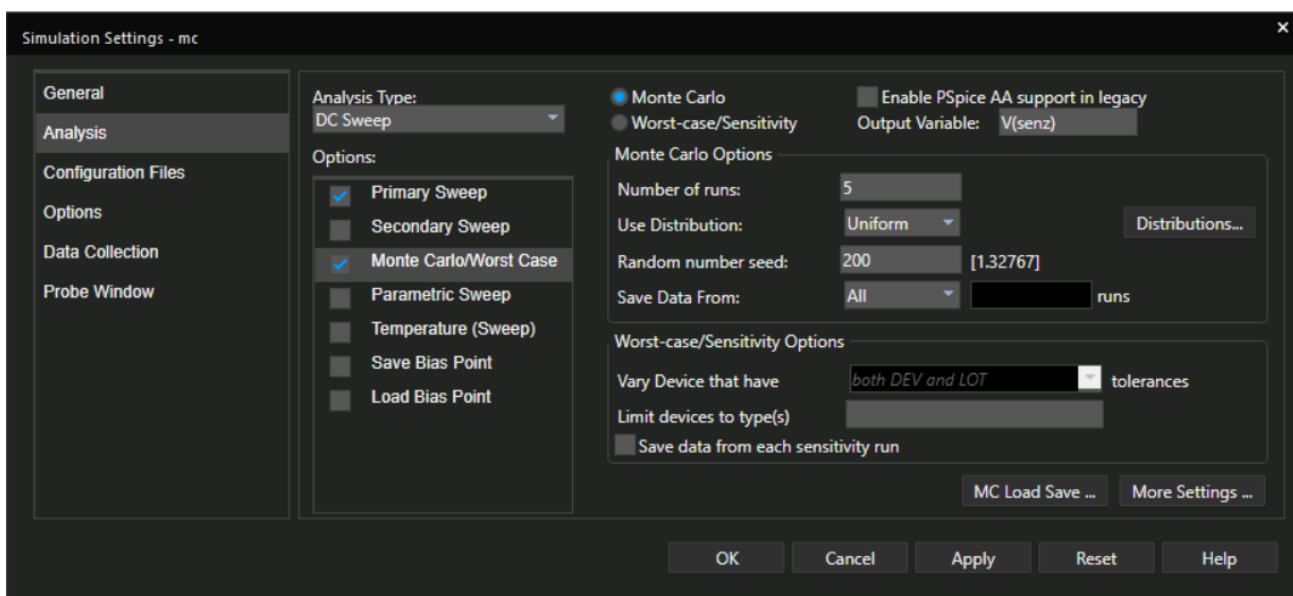
#### 6.5. Analiza Monte Carlo pentru variația pe senzor

Pentru variația pe senzor, am realizat și o analiză Monte Carlo pentru a vedea cum această variație este influențată de toleranțele rezistențelor.

Am făcut ca analiză principală un DC Sweep parametri în funcție de rezistența de pe senzor, iar analiza Monte Carlo este o analiză secundară.



Figură 25

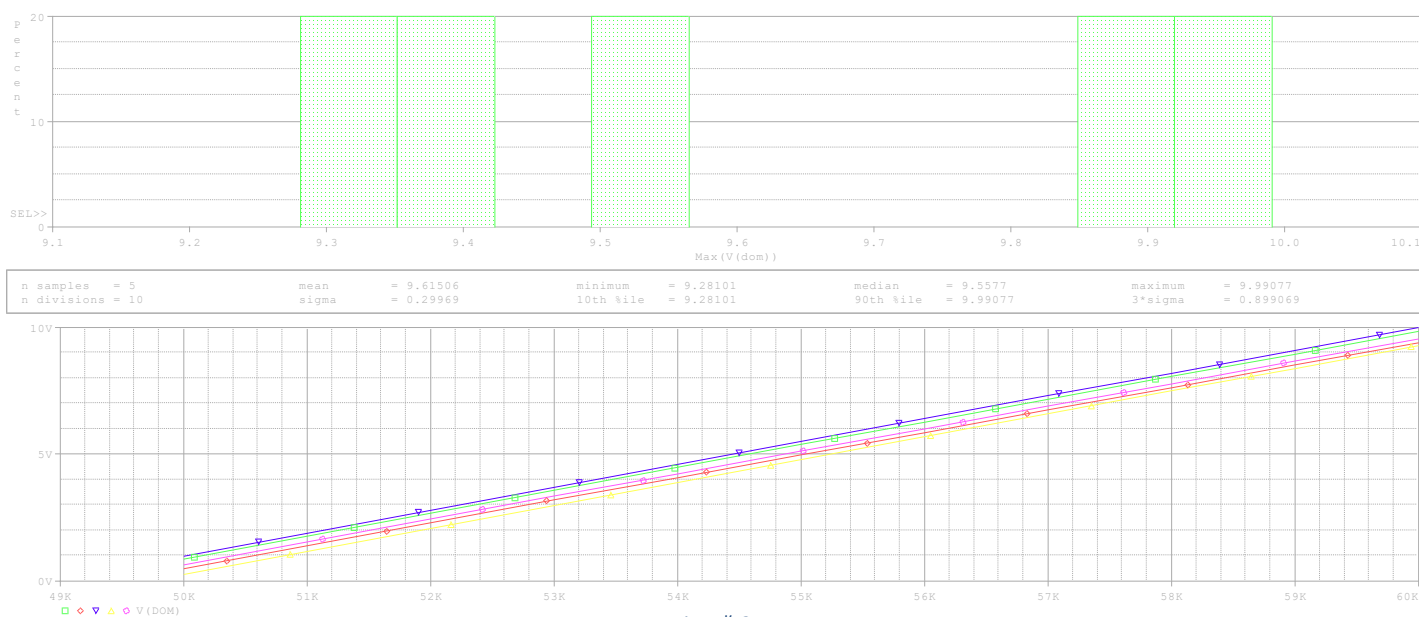


Figură 26

Pentru analizele Monte Carlo și de performanță am setat variabila de ieșire ca fiind tensiunea de pe senzor, numărul de rulări l-am ales ca fiind 5 pentru ca analiza să nu dureze foarte mult.

Pentru analiza de performanță am ales să observ cât la sută influențează toleranțele rezistențelor, maximul de la ieșirea amplificatorului diferențial.

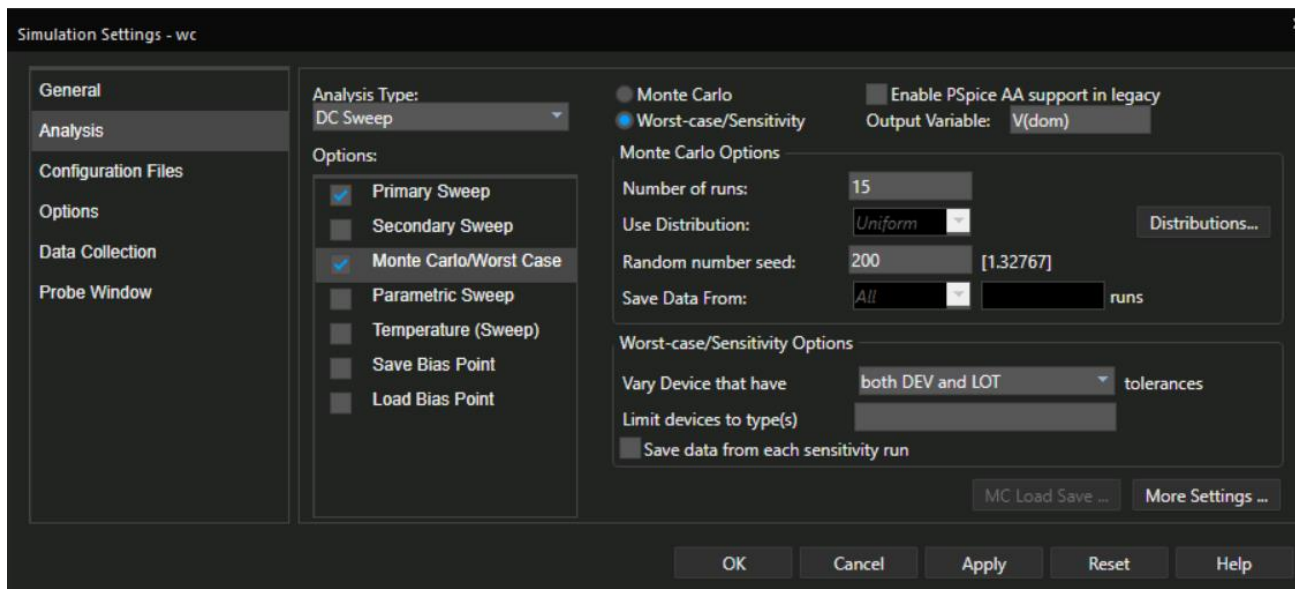
Rezultatele acestor analize se regăsesc în figura 27.



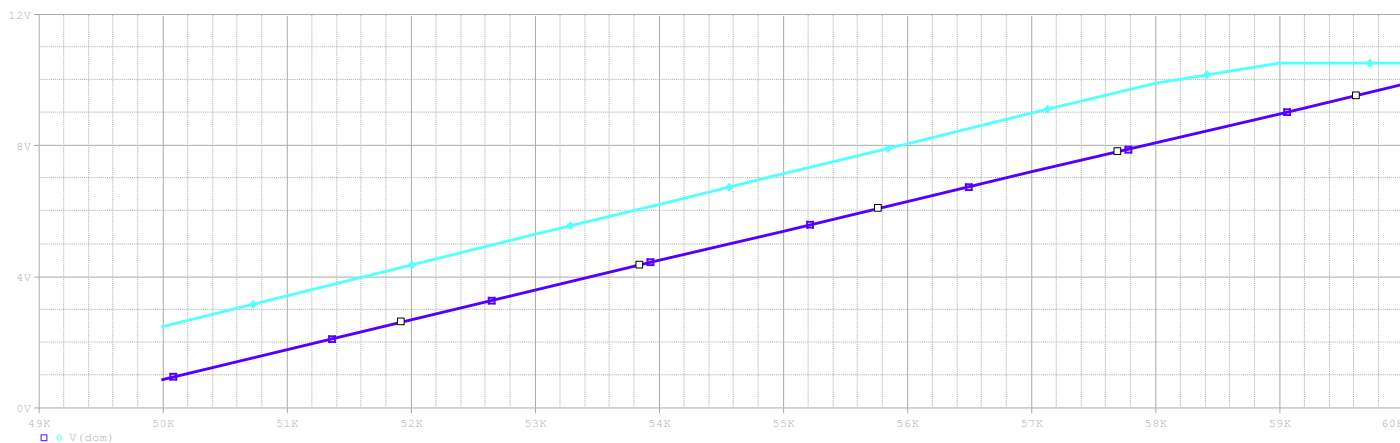
Figură 27

## 6.6. Analiza Worst-Case pentru extinderea domeniului de variație

Am folosit o analiză Worst-Case pentru a observa cum variază tensiunea în funcție de rezistență senzorului și în funcție de toleranțele de lot și de device. În figura 28, se poate observa profilul de simulare pentru analiza Worst-Case. Iar în figura 29 se regăsește rezultatul acestei analize.



Figură 28



Figură 29

De altfel, rezultatele analizei Worst-Case se regăsesc și în fișierul de ieșire, având următoarele rezultate.

```

307:
308:          WORST CASE SUMMARY
309:
310: *****
311:
312:
313:
314:
315:
316: Mean Deviation =    1.8149
317: Sigma          =      0
318:
319: RUN              MAX DEVIATION FROM NOMINAL
320:
321: WORST CASE ALL DEVICES
322:      1.8149 higher at r =    58.0000E+03
323:      ( 122.49% of Nominal)
324:
325:
326:
327:          JOB CONCLUDED
328:
329: **** 05/16/23 09:31:07 **** PSpice 22.1.0 (9 December 2022) *** ID# 0 *****
330:
331: ** Profile: "SCHEMATIC1-wc" [ d:\anul 2.2\sem 2\cad\proiect\proiectfinal-PSpiceFiles\SCHEMATIC1\wc.sim ]
332:

```

Figură 30

## 7. Bibliografie/webografie

1. Proiectare asistată de calculator, Aplicații – Ovidiu POP, Raul FIZEȘAN, Gabriel CHINDRIȘ, U.T. Press, Cluj-Napoca, 2013
2. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/16104/PHILIPS/BC556A.html>
3. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/424989/UTC/TL082.html>
4. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/2892/MOTOROLA/BC546B.html>
5. <https://www.farnell.com/datasheets/1498852.pdf>
6. <https://www.adelaida.ro/releu-12vdc-leg-12-10a-spdt.html>
7. [http://www.bertys.ro/codul\\_culorilor\\_rezistente.htm](http://www.bertys.ro/codul_culorilor_rezistente.htm)
8. Curs Amplificatoare Operaționale, Dispozitive Electronice
9. Curs Surse de curent, Circuite Electronice Fundamentale
10. PSpice Model Editor 2022