



Proiect Tehnici CAD

Circuit pentru reglarea apei într-un rezervor

Nume: Blidar Alexandra

Grupa: 2121

Profesor Coordonator: Drd. Ing. Adelina Ilieș

Cuprins:

- 1. Proiectare**
- 2. Fundamentare teoretică**
 - 2.1 Schema bloc**
 - 2.2 Schema electrică a circuitului**
 - 2.3 Sursă de curent (Oglindă de curent)**
 - 2.4 Convertor de domeniu de tensiune**
 - 2.5 Comparator**
 - 2.6 Modelarea LED-ului**
 - 2.7 Rezistență LED/tranzistor/releu electromagnetic**
- 3. Rezultate calcule**
- 4. Rezultate simulărilor**
- 5. Bibliografie**

1.PROIECTARE (Cerință)

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.

Tabelul 1.1 Specificații

Nivel maxim de măsură [cm]	Domeniul nivelului de lichid din rezervor [cm]	Rezistența senzorului $[\Omega]$	VCC [V]	Culoare LED de semnalizare
460	60 - 350	35k - 25k	10	albastru

2.FUNDAMENTARE TEORETICĂ

2.1. Schema bloc

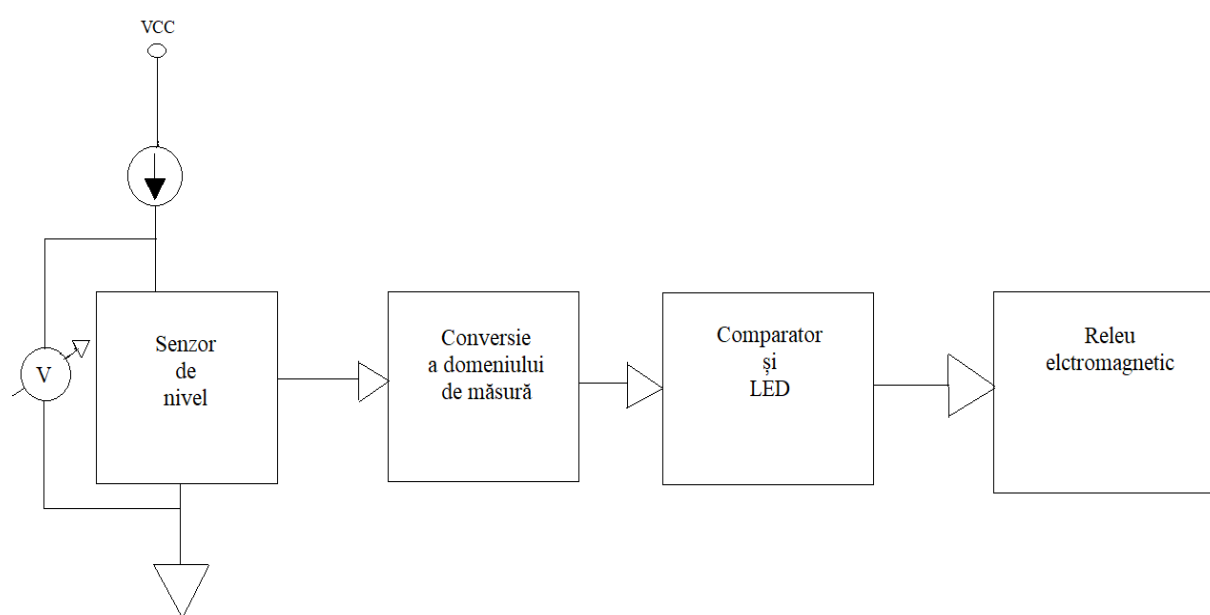


Figura 2.1. Schema bloc

2.2. Schema electrică a circuitului

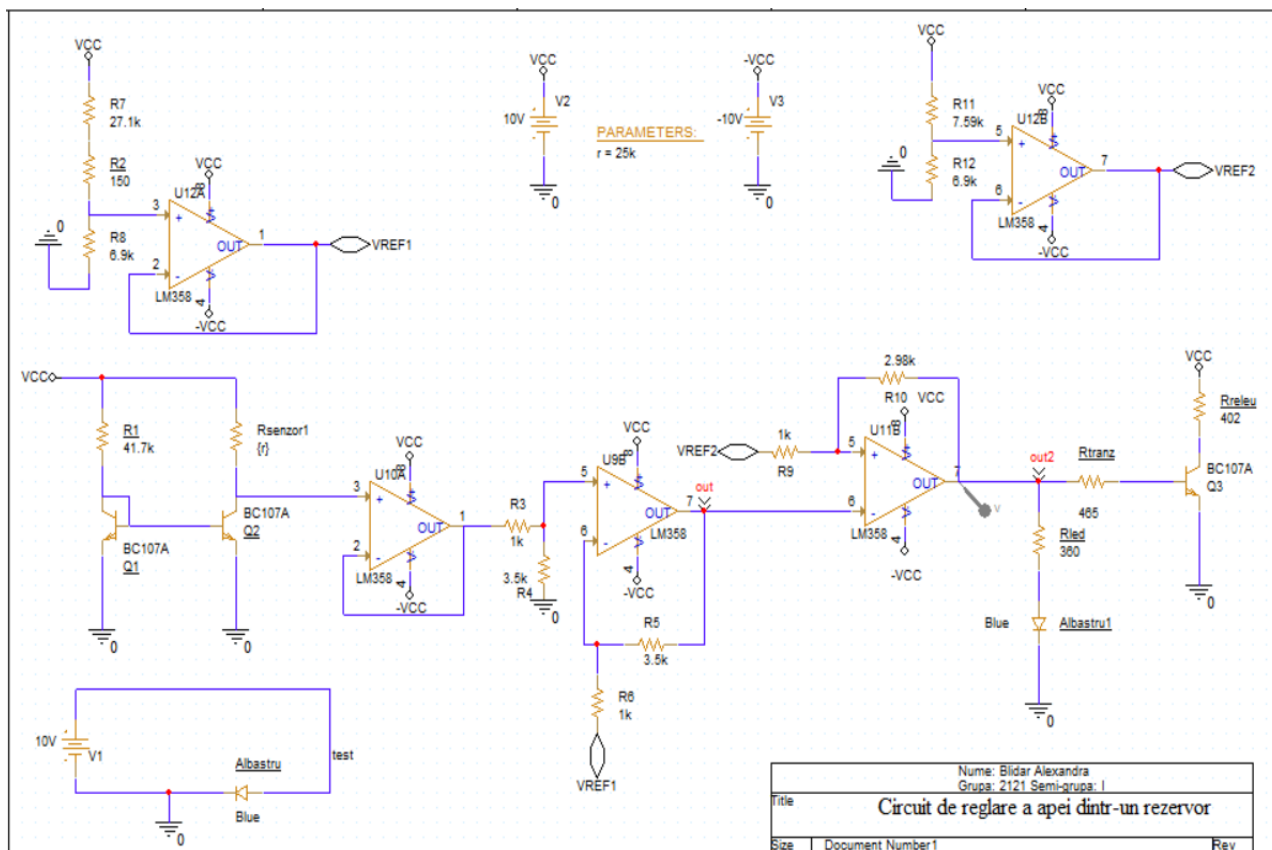


Figura 2.2. Schema electrică a circuitului

2.3. Sursa de curent (Oglindă de curent)

Sursa de curent a fost creată pentru a alimenta cu un curent constant senzorul de nivel. Această sursă este alimentată de la tensiunea continuă VCC de 10V, așa cum se specifică în datele de proiectare.

Sursa este realizată dintr-o oglindă de curent creată din două tranzistoare identice BC107A, cu tensiunea baza-emitor de 0.7V. Va rezulta un curent de ieșire egal cu cel de intrare datorită tranzistoarelor identice, iar valoarea sa este dată de formula:

$$I_{max} = \frac{VCC - 2}{R_{smax}} [1]$$

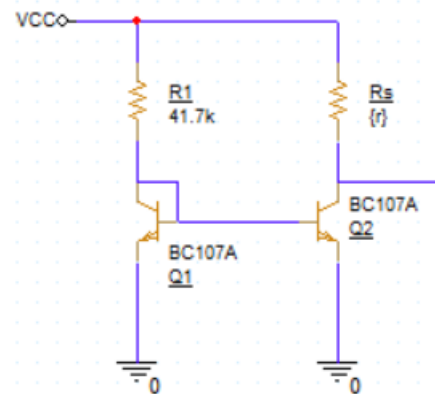


Figura 2.3. Oglindă de curent

Ca urmare, după calculul lui I_{max} , putem determina $R1$ cu ajutorul formulei:

$$VCC = I_{max} * R1 + VBE \Rightarrow R1 = \frac{VCC + VBE}{I_{max}} \quad [2]$$

Domeniul de tensiune de la ieșirea sursei de curent o calculăm cu formula:

$$V_{out1} = VCC - VRs = VCE = 2 \quad [3]$$

Pentru min și max avem (folosind Legea lui Ohm pentru VRs):

$$V_{out1min} = VCC - R_{smax} * I_{max} \quad [4]$$

$$V_{out1max} = VCC - R_{smin} * I_{max} \quad [5]$$

2.4. Convertorul de domeniu de tensiune

Circuitul repetor construit cu un amplificator LM358, alimentat de la VCC și $-VCC$ (± 10), are rolul de a evita pierderile de tensiune, iar de la ieșire lui vom prelua V_{in} .

Convertorul din **Figura 2.4.** modifică domeniul de tensiune de la $[2,02V ; 4,3V]$ la $[0V ; 8V]$.

Pentru convertirea domeniului vom folosi următoarele formule:

$$0 = \frac{R4}{R3} * (V_{out1min} - V_{ref1}) \quad [6]$$

$$\Rightarrow V_{ref1} = V_{out1min} \quad [7]$$

$$8 = \frac{R4}{R3} * (V_{out1max} - V_{ref1}) \quad [8]$$

$$\Rightarrow \frac{R4}{R3} = \frac{VCC - 2}{V_{out1max} - V_{ref1}} \quad [9]$$

Dacă $R5=R4$ și $R3=R6$, alegem valori ale unor rezistențe existente pentru $R4$ și $R5$ (am ales $R4=R5=3,5k\Omega$).

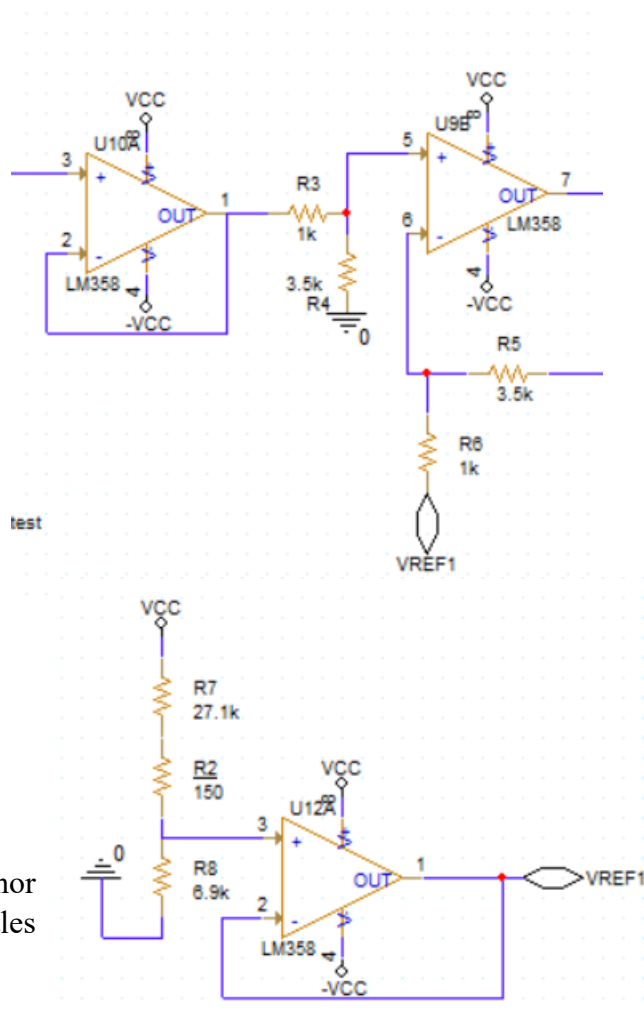


Figura 2.4. Convertor de domeniu de tensiune

Tensiunea de referință cu care este alimentat amplificatorul operațional la borna negativă constă în tensiunea de alimentare VCC divizată cu ajutorul unui divizor de tensiune. Formula folosită pentru determinarea rezistențelor R7 și R8 este :

$$V_{ref1} = \frac{R8}{R8+R7} * VCC \quad [10]$$

Ca să calculăm rezistențele R7 și R8 alegem o valoare reală pentru una dintre ele (am ales R8=6,9kΩ).

2.5. Comparatorul

Comparatorul, alcătuit dintr-un amplificator inversor cu reacție pozitivă (Figura 2.5.1.), are rolul de a menține nivelul apei din rezervor în intervalul [60-350]. Pentru a determina tensiunile pragurilor, V_{pj} și V_{ps}, ne folosim de faptul că, pentru VCC-2 nivelul maxim este 460:

$$V_{pj} = \frac{60 * 8}{460} = 1,04V$$

$$V_{ps} = \frac{350 * 8}{460} = 6,08V$$

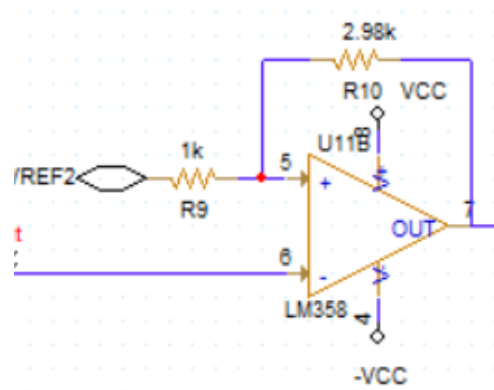


Figura 2.5.1. Schema comparator

În continuare, ca dimensionarea comparatorului să fie completă, trebuie să calculăm rezistențele R9 și R10, folosind tensiunile de prag (alegem R9=1kΩ).

$$\frac{R9}{R9+R10} = \frac{V_{ps}-V_{pj}}{2*VCC} \quad [11]$$

La borna neinvertoare a comparatorului este legată tensiunea de referință Vref2, care constă într-un divizor de tensiune și la care am legat sursa VCC. Pentru a calcula Vref2, ne folosim din nou de tensiunile de prag ale comparatorului în formula:

$$V_{ps} + V_{pj} = 2 * \frac{R10}{R9+R10} * V_{ref2} \quad [12]$$

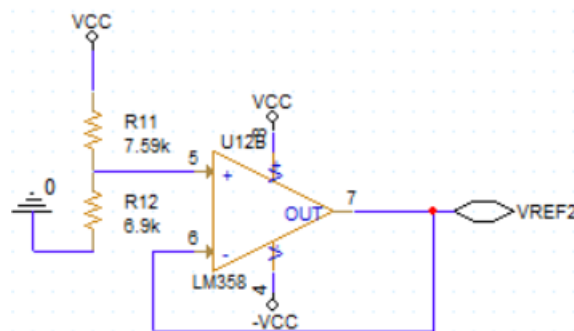


Figura 2.5.2. Schema divizor de tensiune

Cu ajutorul formulei $V_{ref2} = \frac{R_{12}}{R_{12}+R_{11}}$ [13], determinăm raportul rezistențelor, dăm o valoare lui R12 (R12=6,9kΩ) și calculăm R11.

2.6. Modelarea LED-ului

Pentru modelarea LED-ului (albastru) am folosit o foaie de catalog găsită pe internet pentru a folosi caracteristica curent-tensiune a diodei. Cu ajutorul caracteristicii am modelat LED-ul în programul Pspice Model Editor, după cum se vede și în Figura 2.6.3.

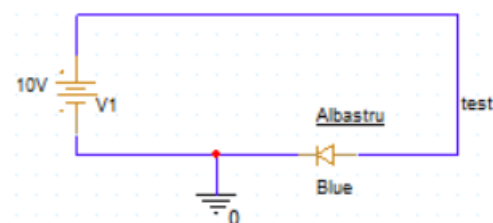
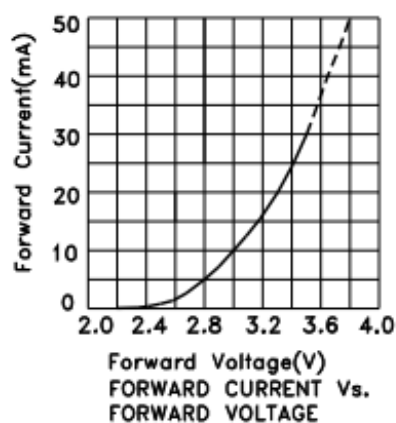


Figura 2.6.2. Circuit de testare a LED-ului

Figura 2.6.1. Caracteristică curent-tensiune

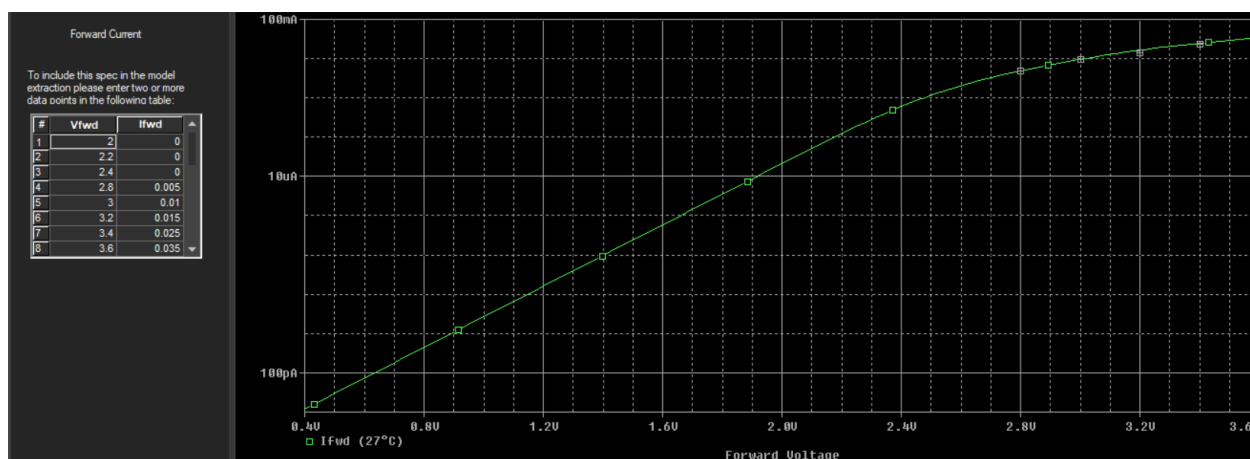


Figura 2.6.3. Modelarea LED-ului în Pspice Model Editor

Pentru testarea LED-ului am folosit un circuit test (Figura 2.6.2), la care am legat o sursă de tensiune V1=10V și o diodă Blue, mai apoi cu un profil de simulare DC Sweep am văzut unde se deschide dioda (la 2,8V).

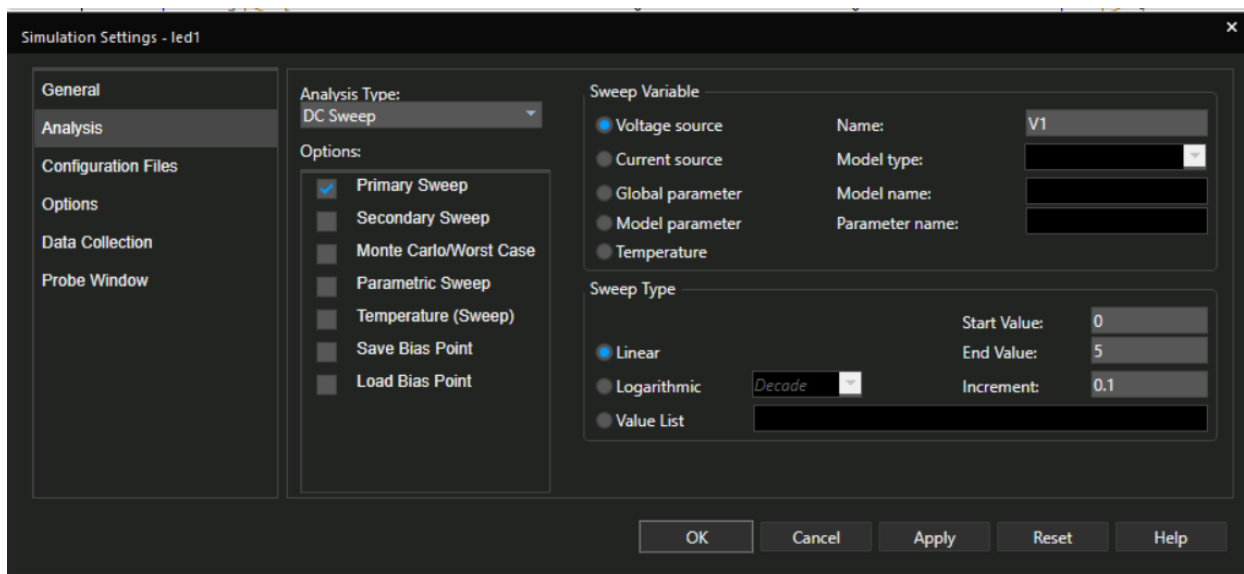


Figura 2.6.4. Profilul de simulare

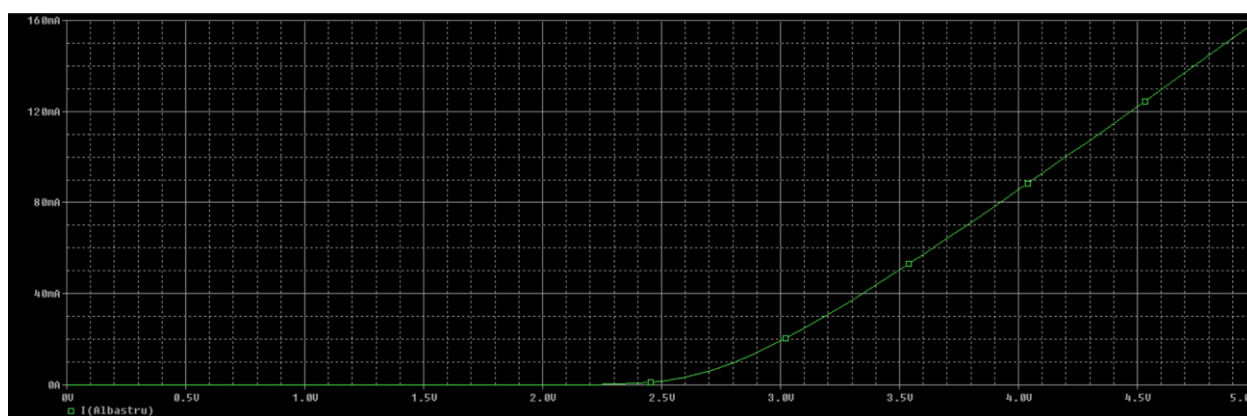


Figura 2.6.5. Caracteristica de deschidere a diodei

2.7. Rezistență LED/transistor/releu electromagnetic

Pentru rezistența LED-ului vom folosi formula:

$$R_{led} = \frac{V_{CC} - V_{led}}{I_{descled}} \quad [14]$$

Pentru rezistența tranzistorului folosim:

$$R_{tranz} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{20m} \quad [15]$$

Rezistența releului electromagnetic am luat-o ca **$R_{releu} = 402\Omega$** din foaia de catalog a unui releu de 12V (NU AM GĂSIT, sau NU EXISTĂ releu de 10V).

3. Rezultate calcule

1. Sursă de curent

Luăm parametru $r=25k\Omega$.

$$I_{max} = \frac{8}{35 * 10^3} = 0,228 * 10^{-3} \Rightarrow I_{max} = 228\mu A$$

$$R1 = \frac{10 - 0,7}{228\mu} \Rightarrow R1 = 40,7k\Omega$$

Luăm $R1=41,7k\Omega$ (valoarea unei rezistențe existente).

$$V_{out1} = 2$$

$$V_{out1min} = 10 - 35k * 228\mu = 10 - 7,98 = 2,02V \quad (1)$$

$$V_{out1max} = 10 - 25k * 228\mu = 10 - 5,7 = 4,3V \quad (2)$$

$$(1) \text{ și } (2) \Rightarrow V_{out1} \in [2,02V ; 4,3V]$$

2. Convertor de domeniu de tensiune

$V_{inogl}=V_{outogl}=V_{out1}$ (nu se pierde tensiune la intrarea în amplificator)

Trebuie să ajungem de la $[2,02V ; 4,3V]$ la domeniul $[0V ; 8V]$. Dimensionăm amplificatorul pentru a obține acest interval.

$$V_{ref1} = V_{out1min} \Rightarrow V_{ref1} = 2,02V$$

$$\frac{R4}{R3} = \frac{8V}{2,28V} = 3,5 \quad (1)$$

$$\text{Pentru } R4=R5=3,5k\Omega \quad (2)$$

$$(1) \text{ și } (2) \Rightarrow R3 = \frac{3,5k}{3,5} = 1k\Omega$$

$$R3 = R6 \Rightarrow R6 = 1k\Omega$$

$$\text{Din formula [10]} \Rightarrow \frac{R8}{R8+R7} = \frac{V_{ref1}}{V_{CC}} \Rightarrow \frac{R8}{R8+R7} = \frac{2,02}{10} \Rightarrow \frac{R8}{R8+R7} = 0,202$$

Alegem $R8=6,9k\Omega$.

$$\Leftrightarrow \frac{6,9k}{6,9k + R7} = 0,202 \Rightarrow R7 = \frac{6,9k}{0,202} - 6,9k \Rightarrow R7 = 27,25k\Omega$$

Luăm $R7 = 27,1k\Omega$ (valoare reală) și adăugăm o rezistență $R2=150\Omega$.

3. Comparator

$V_{pj}=1,04V$ și $V_{ps}=6,08V$

$$\text{Din [11]} \Rightarrow \frac{R9}{R9+R10} = \frac{5,04}{20} = 0,252$$

$$\text{Alegem } R9=1k\Omega \Rightarrow \frac{1k}{1k+R10} = 0,252\Omega \Leftrightarrow R10 = \frac{1k}{0,252} - 1k = 2,96k\Omega$$

Luăm $R10=2,98k\Omega$ (valoarea unei rezistențe reale).

Determinarea lui V_{ref2} ne folosim de tensiunile de prag:

$$V_{ref2} * \frac{R10}{R10+R9} = V_{ps} + V_{pj} \Rightarrow V_{ref2} * \frac{2,98}{3,98} * 2 = 7,12 \Rightarrow V_{ref2} = \frac{7,12}{1,497}$$

$$\Rightarrow V_{ref2} = 4,756V$$

$$\text{Din [13]} \Rightarrow \frac{R12}{R12+R11} = \frac{4,756}{10} \Rightarrow \frac{R12}{R12+R11} = 0,475$$

Alegem $R12=6,9k\Omega$.

$$\Rightarrow \frac{6,9k}{6,9k+R11} = 0,475 \Rightarrow R11 = \frac{6,9k}{0,475} - 6,9 \Rightarrow R11 = 7,62k\Omega$$

4. Rezistență LED și rezistență tranzistor

$$I_{descled} \approx 20mA$$

$$R_{led} = \frac{10-2,8}{20m} = 0,360k\Omega = 360\Omega \Rightarrow R_{led} = 361\Omega \text{ (valoare reală)}$$

$$R_{tranz} = \frac{10-0,7}{20m} = 0,465k\Omega = 465\Omega \Rightarrow R_{tranz} = 464\Omega \text{ (valoare reală)}$$

4. Rezultate simulări

Cu ajutorul simulărilor Pspice am analizat circuitul de reglare a nivelului de apă dintr-un rezervor.

Cu ajutorul analizei DC Sweep cu parametru global r , care variază între 35k și 25k, putem să observăm caracteristicile de ieșire ale circuitului împărțit pe bucăți.

Profilul de simulare este:

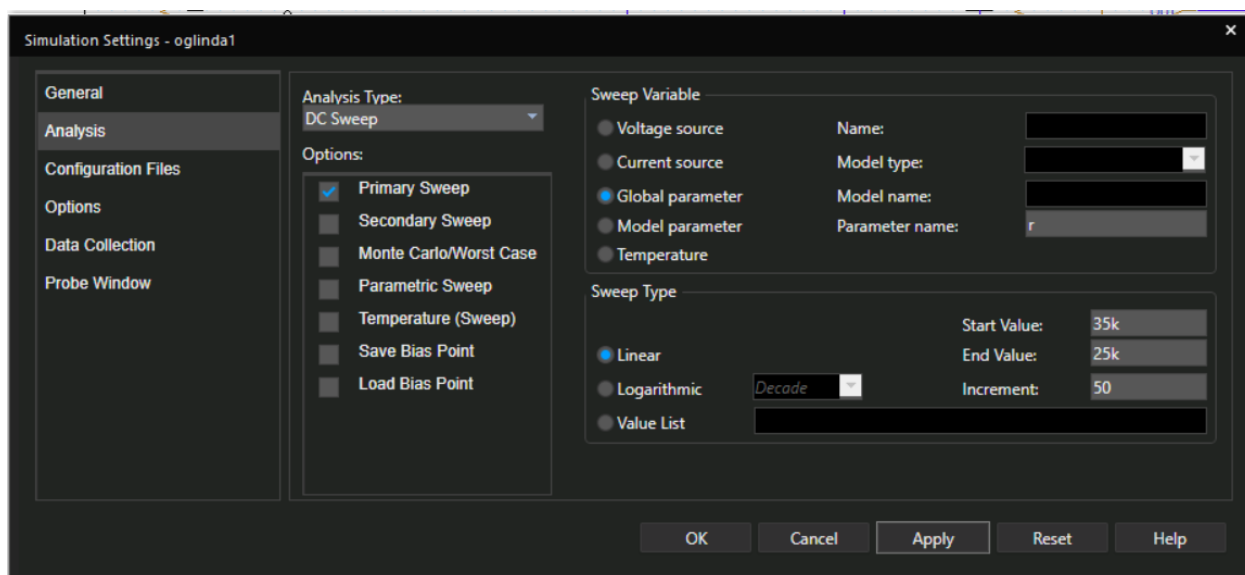


Figura 4.1. Profilul simulării DC Sweep pentru afișarea tensiunilor cu parametru r

Tensiunea la ieșirea sursei de curent:

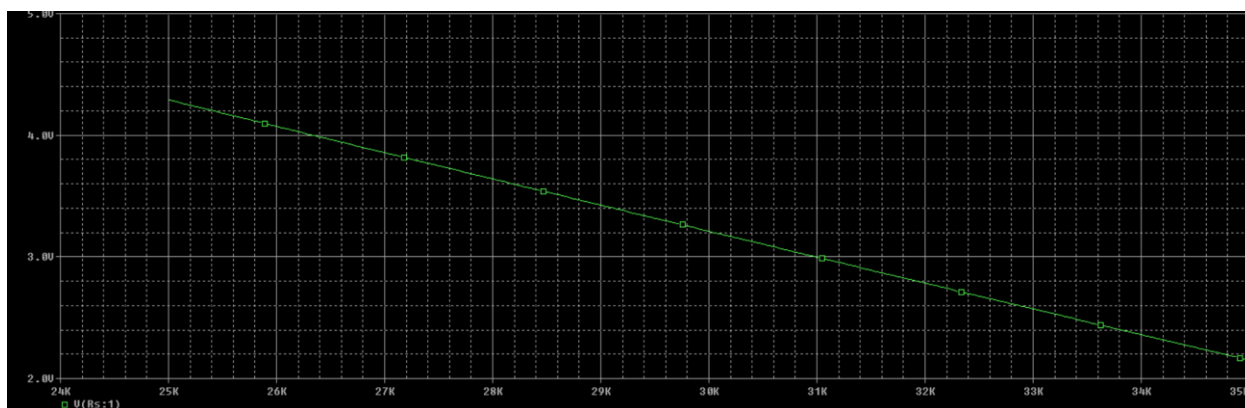


Figura 4.2. Tensiunea la ieșirea sursei de curent

Tensiunea la ieșirea convertorului de domeniu de tensiune:

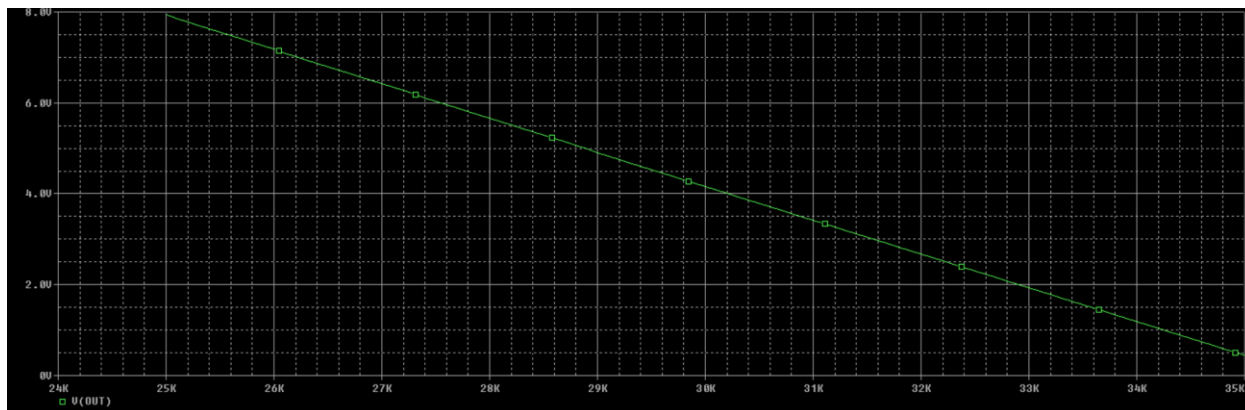


Figura 4.3. Tensiunea la ieșirea convertorului

Pentru verificarea pragurilor comparatorului baleiem parametrul r : o data crescător de la $25k\Omega$ la $35k\Omega$ pentru a vedea tensiunea V_{pj} , respectiv descrescător de la $35k\Omega$ la $25k\Omega$ pentru a vedea tensiunea V_{ps} . Astfel, în urma celor fiecărei simulări (pentru V_{pj} și V_{ps}) vom observa câte o jumătate din histereză.

V_{pj} :

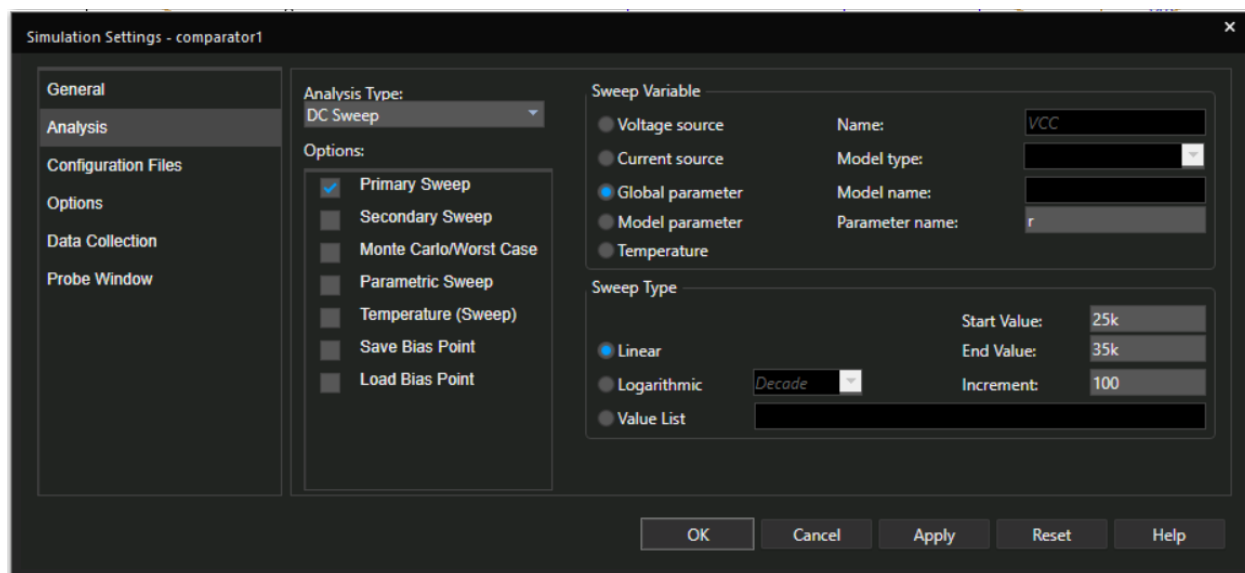


Figura 4.4. Profil de simulare pentru verificare V_{pj}

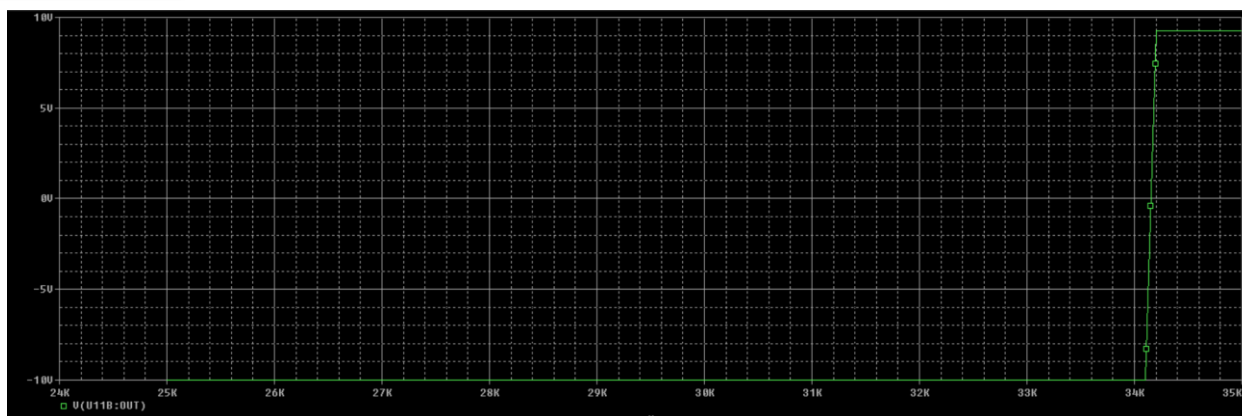


Figura 4.5. Tensiunea V_{pj}

V_{ps} :

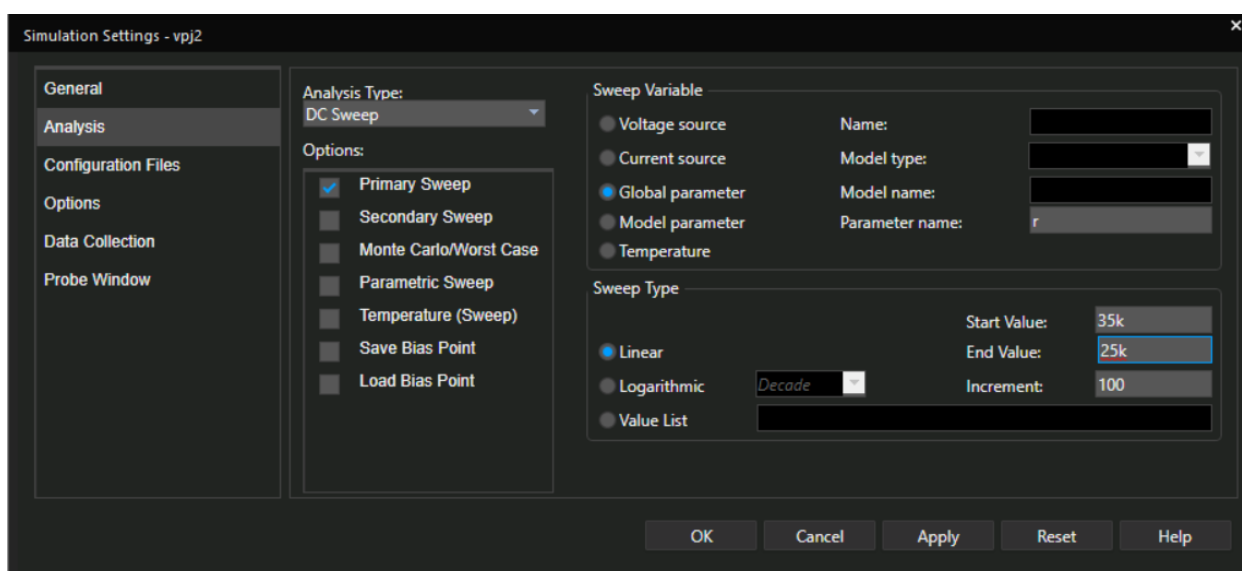


Figura 4.6. Profil de simulare pentru verificare V_{ps}

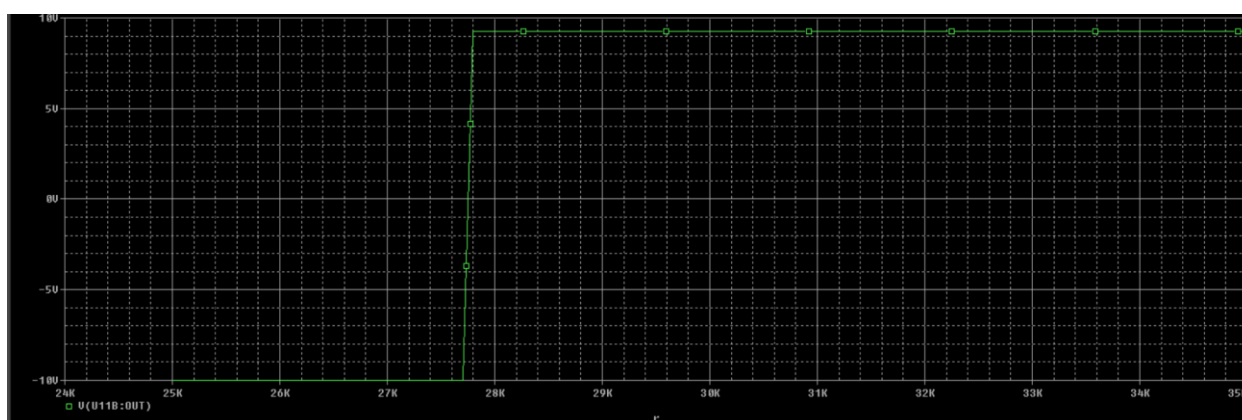


Figura 4.7. Tensiunea V_{ps}

Pentru a vizualiza unde se află pragurile adăugăm simulării și tensiunea de la ieșirea amplificatorului opțional:

V_{pj} :

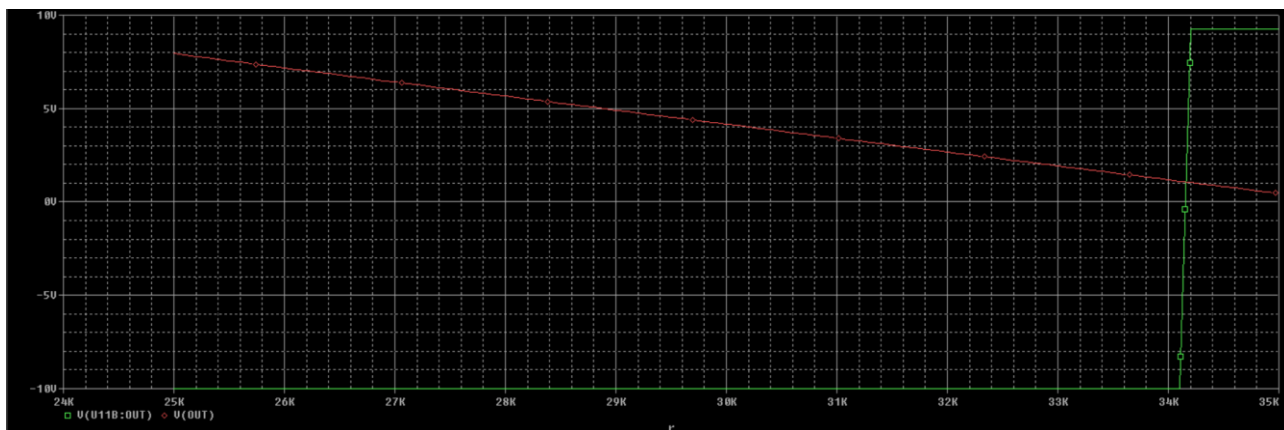


Figura 4.8. Tensiunea V_{pj} + tensiunea de la ieșirea AO

V_{ps} :

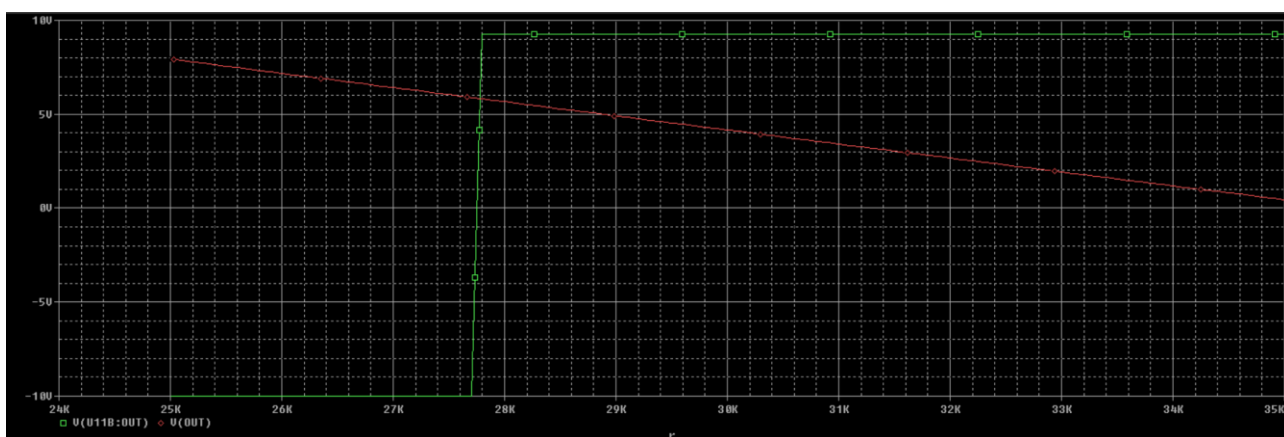


Figura 4.9. Tensiunea V_{ps} + tensiunea la ieșirea AO

Pentru a vizualiza tensiunea pe LED-ul albastru am folosit o analiză parametrică în timp:

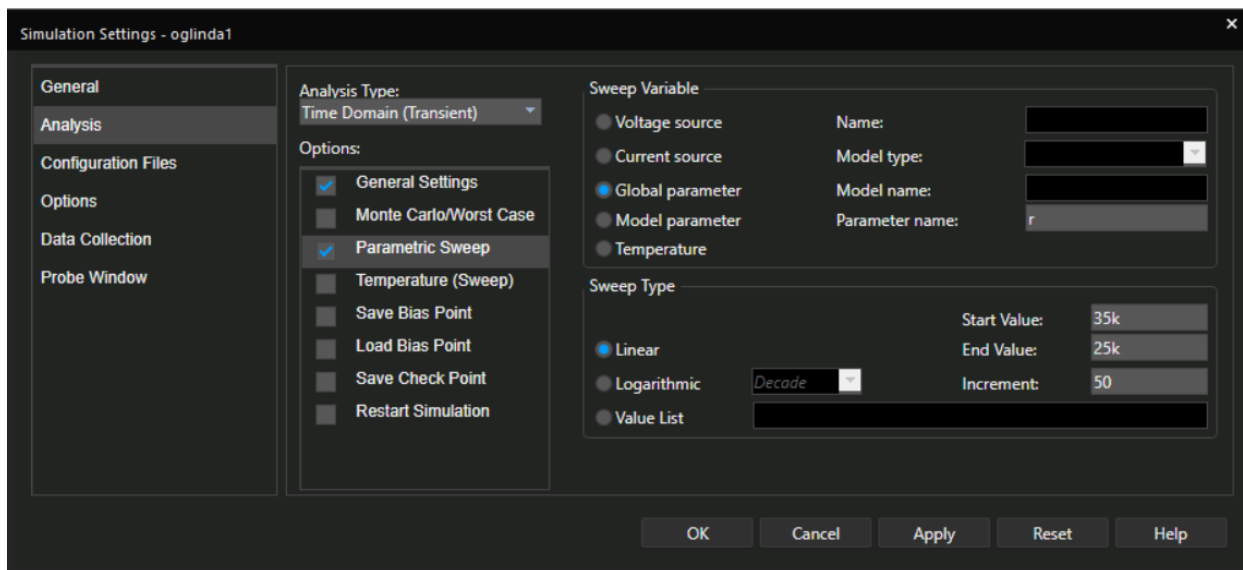


Figura 4.10. Profil de simulare parametrică în timp pentru diodă

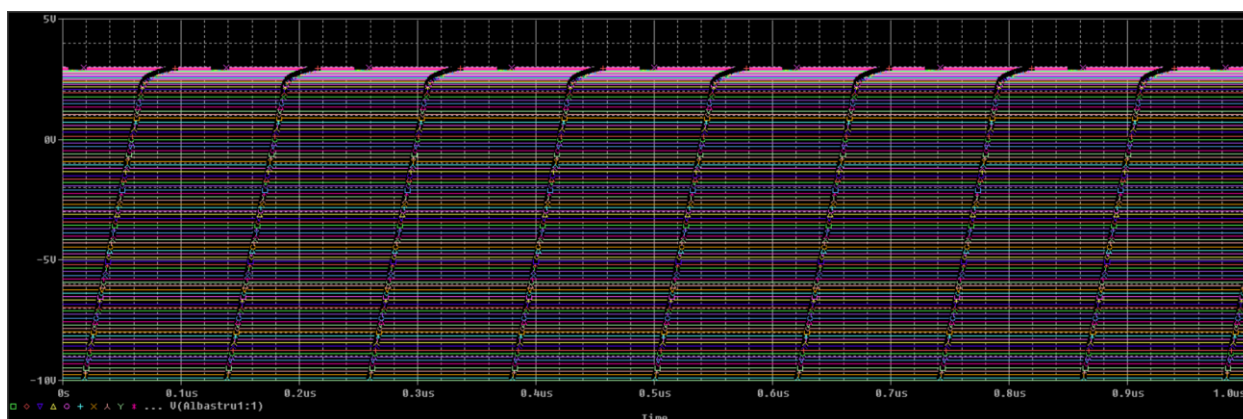


Figura 4.11. Tensiunile pe diodă în funcție de valoarea parametrului r

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. Rezultatele analizei se regăsesc în Figura 4.13.

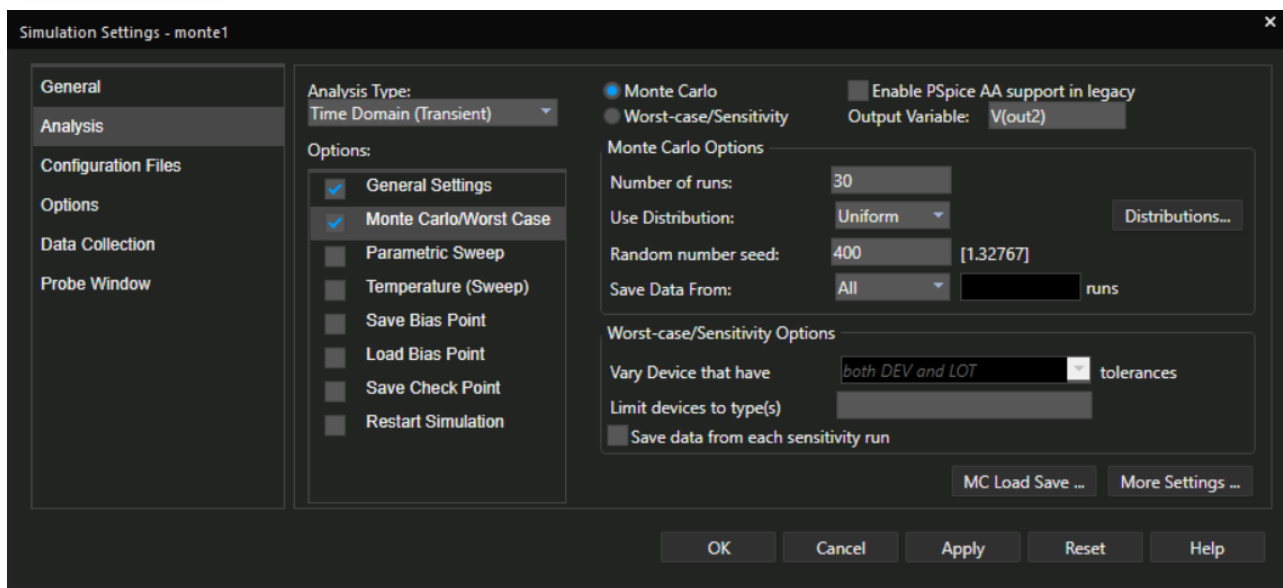


Figura 4.12. Profilul de simulare al analizei MonteCarlo



Figura 4.13. Rezultatele analizei MonteCarlo

Worst Case variază doar un parametru într-o rulare. După ce se cunosc toate sensibilitățile, simularea este rulată încă o dată variind toți parametrii pentru a determina cazul cel mai defavorabil.

În Figura 4.14 este prezentat profilul simulării, iar în Figura 4.15, formele de undă de la ieșire. Forma de undă care are culoarea roșie este cel mai defavorabil caz, iar cel cu verde reprezintă cazul nominal.

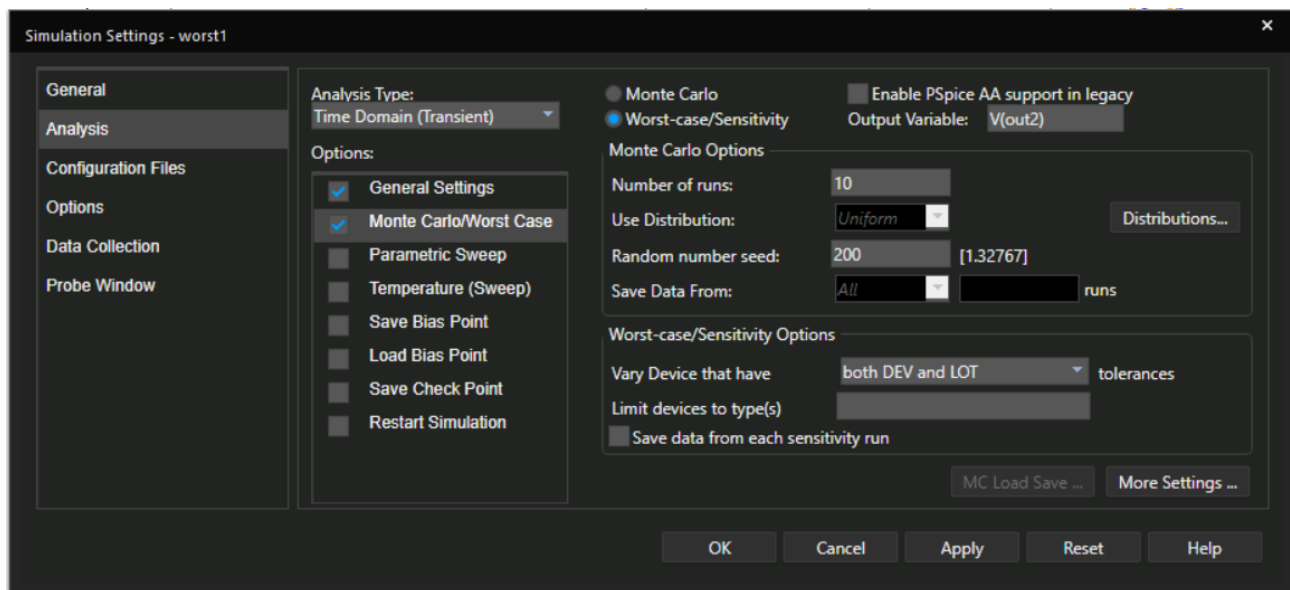


Figura 4.14. Profilul de simulare al analizei Worst Case

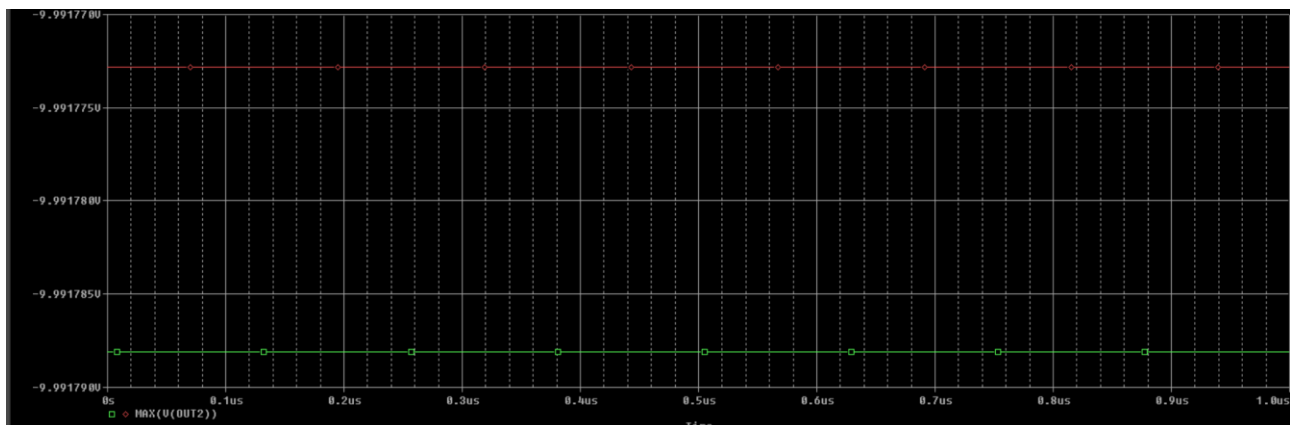


Figura 4.15. Formele de ieșire la analizei WorstCase

```

2973
2974
2975
2976
2977
2978
2979
2980 Device    MODEL    PARAMETER  NEW VALUE
2981 R_R12      R_R12    R           1 (Unchanged)
2982 R_R9       R_R9     R          .995 (Decreased)
2983 R_R10      R_R10    R          .995 (Decreased)
2984 R_Rled     R_Rled   R           1 (Unchanged)
2985 R_R4       R_R4     R           1 (Unchanged)
2986 R_R5       R_R5     R           1 (Unchanged)
2987 R_R7       R_R7     R           1 (Unchanged)
2988 R_R8       R_R8     R           1 (Unchanged)
2989 R_R11      R_R11    R          .995 (Decreased)
2990 R_R6       R_R6     R           1 (Unchanged)
2991 R_R3       R_R3     R           1 (Unchanged)
2992 R_Rreleu   R_Rreleu R           1 (Unchanged)
2993 R_R1       R_R1     R           1 (Unchanged)
2994 R_Rtranz   R_Rtranz R           1 (Unchanged)
2995 R_R2       R_R2     R           1 (Unchanged)
2996
2997
2998 *** 07/02/23 09:59:20 *** PSpice 22.1.0 (6 October 2022) *** ID# 0
  
```

Figura 4.16. Fișierul de ieșire al analizei WorstCase

5. Bibliografie

- [1] Blue LED Data sheet website, <https://www.farnell.com/datasheets/1519875.pdf>
- [2] Bel UTCluj website, http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/de/DE_Curs6.pdf
- [3] Bel UTCluj website,
http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/de/10.CompAO_reactie.pdf
- [4] Standard resistor website, <http://www.el-component.com/standard-resistor-values-e192>