

PROIECT TEHNICI CAD

Temă proiect:

Circuit pentru controlul greutății unui container

Studentă: Petca Ioana Denisa

Grupa: 2122

Titular activității de laborator:

Drd. ing. Elena-Mirela Ștețco

Cuprins

1. Specificații de proiectare	3
2. Schema circuitului	4
2.1. Schema bloc a circuitului	4
2.2. Schema electrică a circuitului.....	4
3. Proiectarea circuitului.....	5
3.1 Oglinda de curent	5
3.2 Amplificatorul diferențial	6
3.2.1. Tensiunea de referință.....	7
3.3. Comparatorul cu histereză.....	8
3. 3.1. Tensiunea de referință.....	9
3.4. Circuitul de semnalizare	9
3.4.1. Modelarea LED-ului.....	10
3.5. Releul.....	10
4. Simularea circuitului	12
4.1. Analiza tranzitorie	12
4.1.1. Simularea oglinzii de curent	12
4.1.2. Simularea în timp a comparatorului	13
4.2 Analiza parametrică	13
4.2.1. Variația tensiunii la ieșirea din oglinda de curent.....	14
4.2.2. Variația tensiunii după convertirea domeniului	14
4.3. Analiza DC	15
4.3.1. Variația tensiunii la ieșirea din oglinda de curent.....	15
4.3.2. Variația tensiunii după convertirea domeniului	16
4.3.3. Variația tensiunii la ieșirea din comparator	16
4.3.4. Simularea LED-ului.....	17
4.3.5. Starea benzii rulante	17
4.4. Analiza Monte Carlo.....	18
5. Bibliografie.....	20

1. Specificații de proiectare

Să se proiecteze un sistem de control al greutății unui container dedicat depozitării bucăților de piatră folosite în construcții. Bucățile de piatră au diferite dimensiuni și sunt transportate cu ajutorul unei benzi rulante, urmând ca apoi să fie depozitate în container. Știind că senzorul de greutate folosit poate să măsoare greutatea liniară în domeniul specificat în tabel, sistemul se va proiecta astfel încât greutatea containerului să se mențină în intervalul specificat. Variația liniară a rezistenței electrice a senzorului cu greutatea este specificată în tabel și trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul $[0 \div (V_{cc} - 2V)]$. Greutatea containerului este menținută în domeniul specificat cu ajutorul unui comparator și a unui releu electromagnetic care comandă banda rulantă. Ansamblul bandă-releu se va modela cu ajutorul unui rezistor. Starea benzii (pornită/oprită) este semnalizată de un LED, având culoarea specificată în tabel.

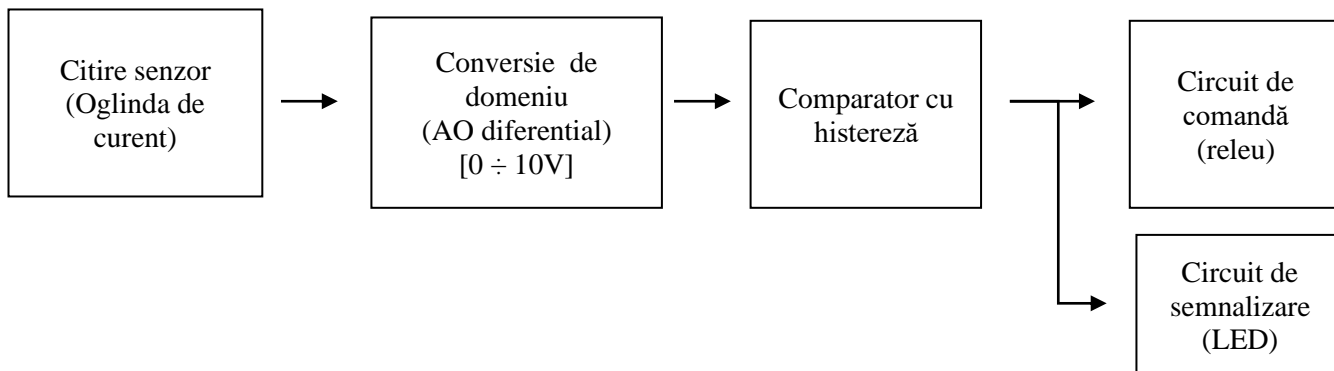
Tabelul 1. Specificații de proiectare

Domeniul de greutate măsurabil [kg]	Greutatea containerului [kg]	Rezistența senzorului [kΩ]	VCC [V]	Culoare LED
5 ... 155	37 ... 140	3k ... 20k	12	GALBEN

2. Schema circuitului

2.1. Schema bloc a circuitului

Figura 1. Schema bloc a circuitului



2.2. Schema electrică a circuitului

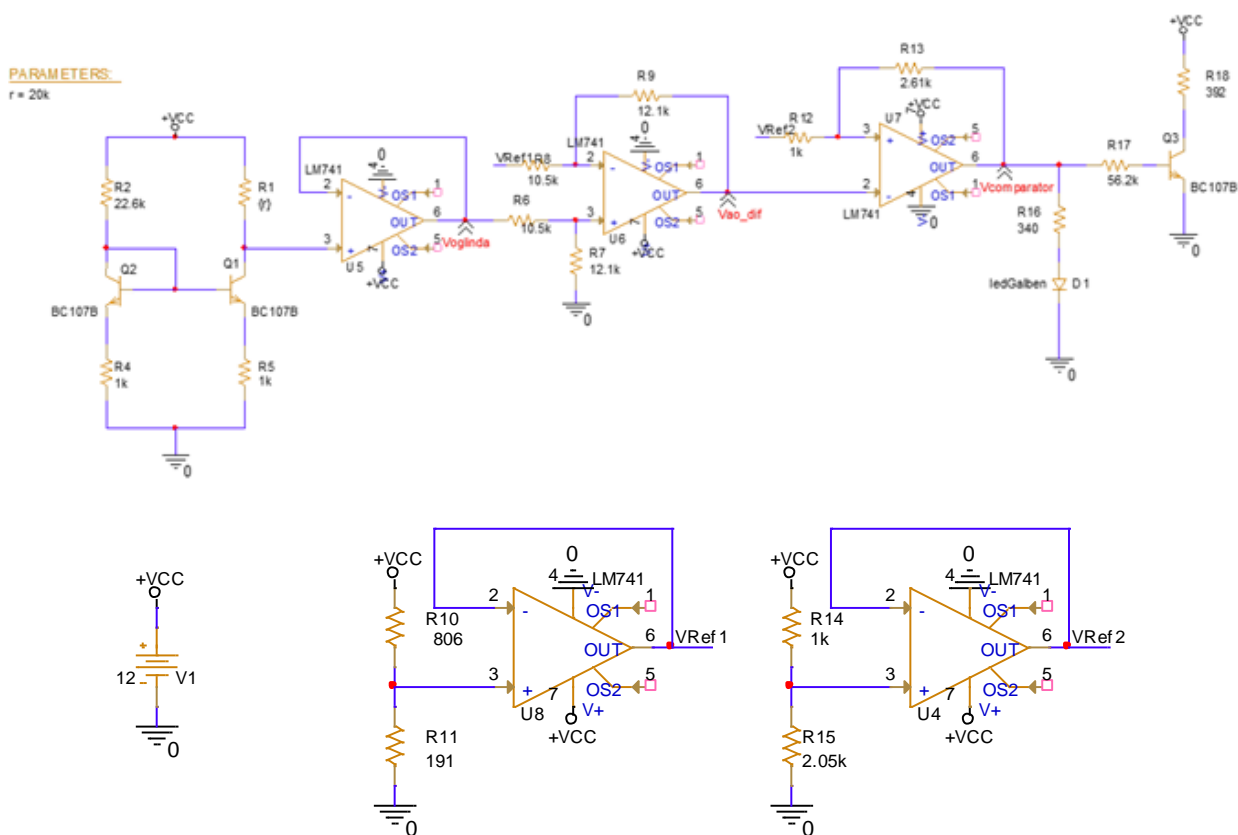


Figura 2. Schema electrică a circuitului

3. Proiectarea circuitului

3.1 Oglinda de curent

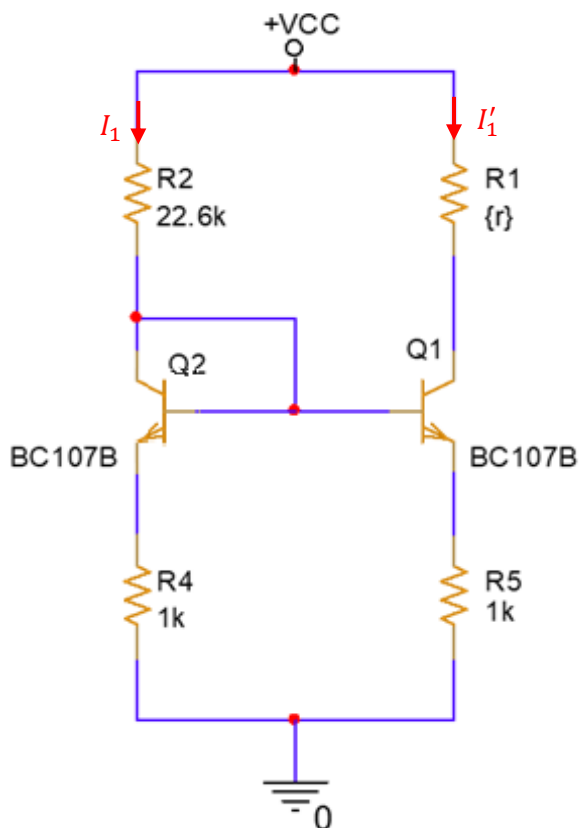


Figura 3. Oglinda de curent

În Figura 3 este reprezentată oglinda de curent folosită pentru citirea senzorului.

Pentru oglinda de curent am ales tranzistoarele BC107B, ce au tensiunea baza-emitor (V_{BE}) egală cu 0.65V. Pentru a calcula curentul ce trece prin rezistențe, aleg valoarea minimă a tensiunii de ieșire $V_{senzorMin} = 2V$. Din formula (1) rezultă căderea de tensiune pe R_{1Max} , $V_{R1Max} = 10V$.

$$V_{senzorMin} = V_{cc} - V_{R1Max} \quad (1)$$

După determinarea căderii de tensiune pe R_1 , putem determina curentul I_1 cu ajutorul formulei (2), de unde rezultă valoarea curentului.

$$I_1 = \frac{V_{R1Max}}{R_{1Max}} = \frac{10V}{20k\Omega} = 0.5mA \quad (2)$$

Valoarea rezistenței R_2 reiese din formula (3). Pentru rezistență aleg o valoare apropiată de rezultatul calculului din seria E96 cu toleranță de 1%, $R_2 = 22.6k\Omega$.

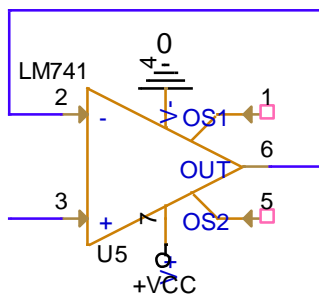
$$I_1 = I'_1 = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{I_1} = \frac{11.35V}{0.5mA} = 22.7k\Omega \quad (3)$$

Rezistențele R_3 și R_4 au rolul de a crește precizia oglinzii de curent, fapt ce se poate observa în formula (4). Am ales valoarea acestora, una comună, din seria E96, $1k\Omega$ cu toleranță de 1%.

$$I'_1 = \frac{R_4}{R_5} I_1 \Rightarrow \frac{I'_1}{I_1} = \frac{R_4}{R_5} \quad (4)$$

La ieșirea din oglinda de curent am adăugat un repetor de tensiune, Figura 4, pentru a realiza adaptarea de impedanță.

Figura 4. Repetor de tensiune



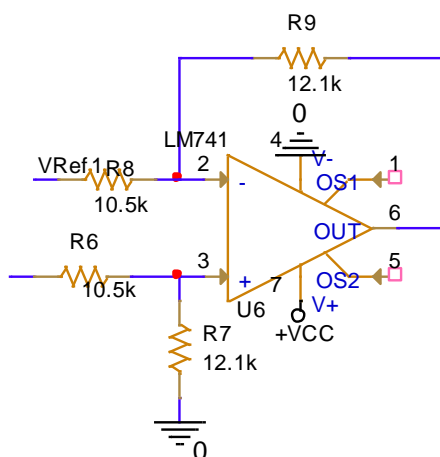
Tensiunea de ieșire din senzor variază, conform formulei (5), între $[2V \div 10.5V]$.

$$\begin{cases} V_{outSenzorMax} = V_{cc} - V_{R1Max} = 10.5V \\ V_{outSenzorMin} = V_{cc} - V_{R1Min} = 2V \end{cases} \quad (5)$$

3.2 Amplificatorul diferențial

Pentru a realiza conversia de domeniu $[0 \div V_{CC} - 2]$, am utilizat un amplificator diferențial, ilustrat în Figura 5., care face diferența dintre tensiunea de la ieșirea din senzor și o tensiune de referință pentru a extinde domeniul.

Figura 5. Amplificator diferențial



Am utilizat amplificatorul operațional LM741, ce are o tensiune maximă de alimentare de $\pm 22V$, ce este mai mult decât suficientă pentru tensiunea de alimentare de ± 12 pe care am utilizat-o.

Pentru a dimensiona rezistențele și pentru a afla tensiunea de referință necesară am pornit de la relația (6).

$$v_+ = v_- \quad (6)$$

iar utilizând teorema lui Millman și teorema divizorului de tensiune putem deduce relațiile (7).

$$v_+ = \frac{R_7}{R_7 + R_6} V_{outSenzor}$$

$$v_- = \frac{(V_{ref1} R_9 + V_{outAD} R_8)}{R_8 + R_9}$$

Considerând rezistențele $R_8 = R_6$ și $R_9 = R_7$ și relația (6), putem determina următoarea relație (8):

$$V_{outAD} = \frac{R_9}{R_8} (V_{outSenzor} - V_{ref1}) \quad (8)$$

Datorită variației tensiunii de la ieșirea senzorului rezultă două ecuații, relația (9):

$$\begin{cases} V_{outADmax} = \frac{R_9}{R_8} (V_{outSenzorMax} - V_{ref1}) \\ V_{outADmin} = \frac{R_9}{R_8} (V_{outSenzorMin} - V_{ref1}) \end{cases} \quad (9)$$

Știind că tensiunea de ieșire din amplificatorul diferențial trebuie să varieze între $[0 \div 10V]$, putem afla, din scăderea ecuațiilor, raportul (10) dintre R_9 și R_8 , iar, după dimensionarea rezistențelor, utilizând doar una dintre ecuații (11) putem afla tensiunea de referință necesară.

$$\frac{R_9}{R_8} = \frac{V_{outADmax} - V_{outADmin}}{V_{outSenzorMax} - V_{outSenzorMin}} = 1.12 \quad (10)$$

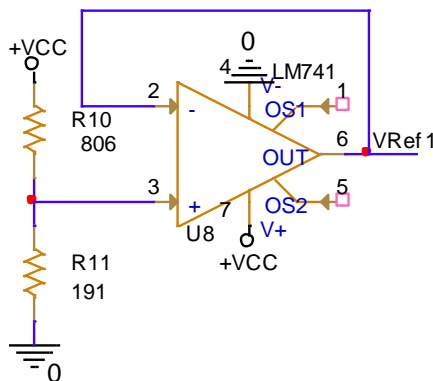
Considerând rezultatul raportului dintre rezistențe, aleg rezistențele $R_9 = 12.1k\Omega$ și $R_8 = 10.5k\Omega$, din seria E96, toleranță 1%.

$$V_{outADmax} = \frac{R_9}{R_8} (V_{outSenzorMax} - V_{ref1}) \Rightarrow V_{ref1} = 2.2V \quad (11)$$

3.2.1. Tensiunea de referință

Pentru a obține tensiunea de referință determinată anterior am utilizat un divizor de tensiune alimentat la sursa V_{cc} , Figura 6, de 12V, iar utilizând teorema divizorului de tensiune (12) am putut deduce raportul pentru dimensionarea rezistențelor (13).

Figura 6. Divizor de tensiune (V_{ref1})



$$\frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} V_{cc} = V_{ref1} \quad (12)$$

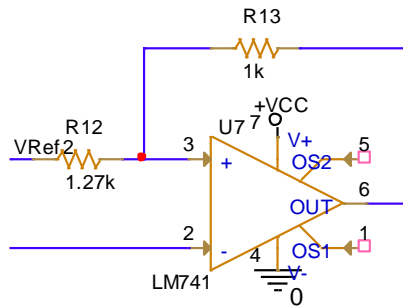
$$\frac{R_{11}}{R_{10}} = 0.21 \quad (13)$$

În urma determinării rezultatului raportului aleg rezistențele $R_{11} = 191\Omega$ și $R_{10} = 806\Omega$, din seria E96, toleranță 1%. Pentru adaptarea de impedanță am adăugat și un repetor de tensiune.

3.3. Comparatorul cu histereză

Pentru controlul benzii rulante voi utiliza un comparator inversor cu histereză, Figura 7, pentru a comuta între starea de oprit/pornit.

Figura 7. Comparator inversor cu histereză



Domeniul de greutate măsurabil se află între 5kg și 155kg, dar domeniul trebuie să fie menținut între 37kg și 140kg, ținând cont de aceste limitări putem determina tensiunile de prag ale comparatorului utilizând regula de trei simplă (14).

$$\begin{cases} V_{pragJos} = \frac{37kg \cdot 10V}{155kg} = 2.4V \\ V_{pragSus} = \frac{140kg \cdot 10V}{155kg} = 9.03V \end{cases} \quad (14)$$

Pentru dimensionarea rezistențelor și determinarea tensiunii de referință a comparatorului voi utiliza relațiile (15), determinate cu ajutorul teoremei lui Millman și tensiunilor de prag.

$$\begin{cases} V_{pragSus} = \frac{R_{12}}{R_{12} + R_{13}} \cdot (+V_{cc}) + \frac{R_{13}}{R_{12} + R_{13}} V_{ref2} \\ V_{pragJos} = \frac{R_{12}}{R_{12} + R_{13}} \cdot 0 + \frac{R_{13}}{R_{12} + R_{13}} V_{ref2} \end{cases} \quad (15)$$

Cunoscând tensiunile de prag putem afla prin scăderea ecuațiilor raportul (16) dintre R_{12} și R_{13} , iar, după dimensionarea rezistențelor, utilizând una dintre ecuații (17) putem afla tensiunea de referință necesară.

$$\frac{R_{12}}{R_{12} + R_{13}} = \frac{V_{pragSus} - V_{pragJos}}{V_{cc}} \Rightarrow \frac{R_{12}}{R_{13}} = 1.27 \quad (16)$$

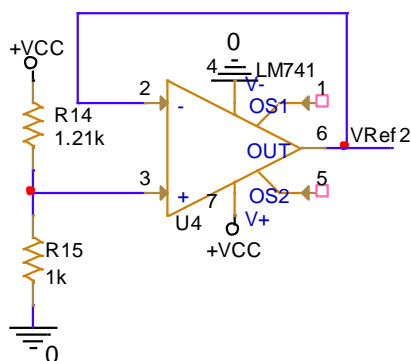
Considerând rezultatul raportului dintre rezistențe, aleg rezistențele $R_{12} = 1.27k\Omega$ și $R_{13} = 1k\Omega$, din seria E96, toleranță 1%.

$$V_{pragJos} = \frac{R_{13}}{R_{12} + R_{13}} V_{ref2} \Rightarrow V_{ref2} = 5.45V \quad (17)$$

3.3.1. Tensiunea de referință

Pentru a obține tensiunea de referință determinată anterior am utilizat un divizor de tensiune alimentat la sursa V_{cc} , Figura 8, de 12V, iar utilizând teorema divizorului de tensiune (18) am putut deduce raportul pentru dimensionarea rezistențelor (19).

Figura 8. Divizor de tensiune (Vref2)



$$\frac{R_{15}}{R_{15} + R_{14}} V_{cc} = V_{ref2} \quad (18)$$

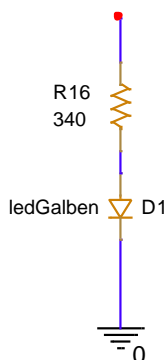
$$\frac{R_{14}}{R_{15}} = 1.22 \quad (19)$$

În urma determinării rezultatului raportului aleg rezistențele $R_{15} = 1k\Omega$ și $R_{14} = 1.21k\Omega$, din seria E96, toleranță 1%. Pentru adaptarea de impedanță am adăugat și un repetor de tensiune.

3.4. Circuitul de semnalizare

Pentru circuitul de semnalizare am utilizat un LED de culoare galbenă, conform specificațiilor de proiectare, și o rezistență pentru limitarea curentului (Figura 9). Pentru tensiunea maximă de la ieșirea comparatorului LED-ul este pornit, semnalizând faptul că banda rulantă este în funcțiune.

Figura 9. LED Galben



Din foaia de catalog, curentul ce trece prin LED, I_{LED} , ca fiind egal cu 30mA și tensiunea de prag, $V_{pragLED}$, egală cu 1.8V, putem dimensiona rezistența utilizând formula (20).

$$R_{16} = \frac{V_{outComparator} - V_{PragLED}}{I_{LED}} = 333.33\Omega \quad (20)$$

Aleg din seria E96, $R_{16} = 340\Omega$, cu toleranță 1%.

3.4.1. Modelarea LED-ului

Am modelat led-ul, în Pspice Model Editor (Figura 11), conform foi de catalog, urmărind caracteristica curent-tensiune (Figura 10).

Figura 10. Model LED Galben

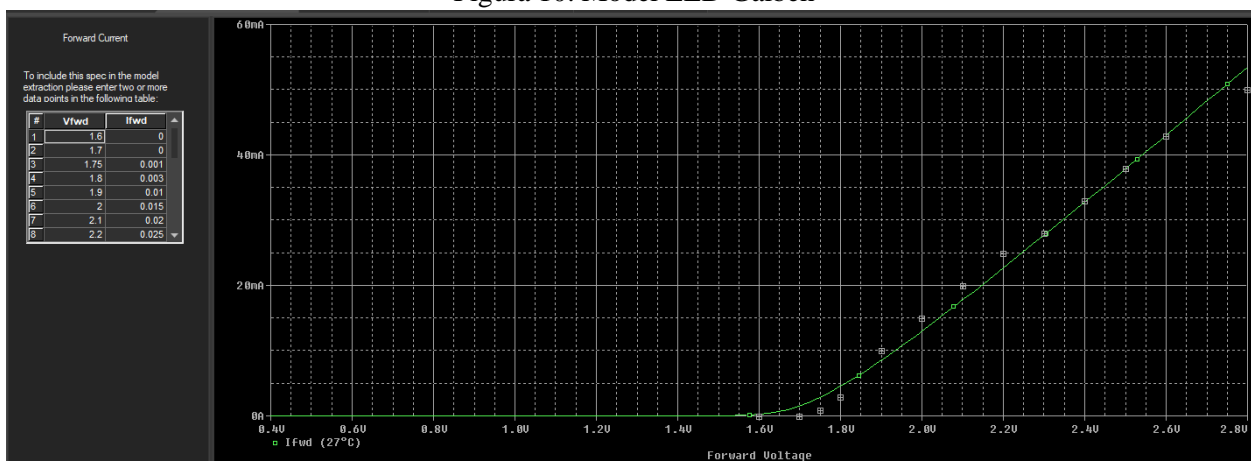
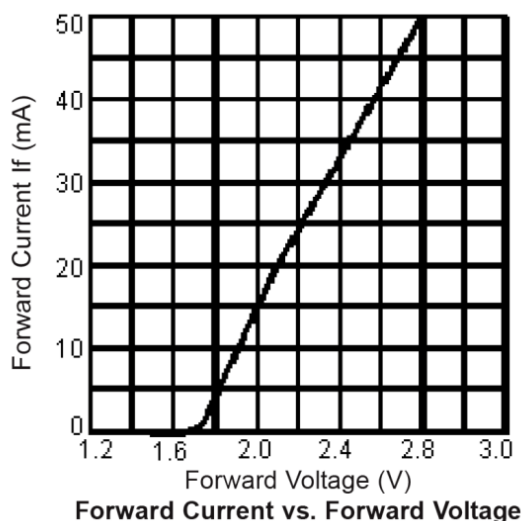


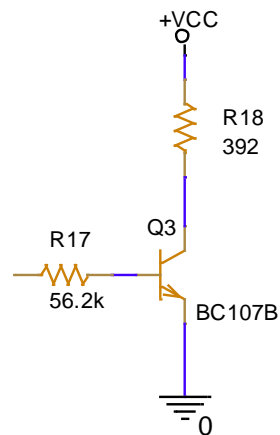
Figura 11. Caracteristica curent-tensiune din foaia de catalog



3.5. Releul

Ansamblul bandă-releu (Figura 12) este modelat cu ajutorul unei rezistențe, R_{18} . Pentru valoarea maximă a tensiunii de la ieșirea comparatorului, tranzistorul este deschis, iar banda rulantă este în funcțiune și pentru tensiunea minimă, tranzistorul este blocat, iar banda este oprită.

Figura 12. Releu



Considerând curentul prin colector, I_c , egal cu 30mA, putem dimensiona rezistența din colector conform formulei (21).

$$R_{18} = \frac{V_{cc}}{I_c} = 392\Omega \quad (21)$$

Știind factorul de amplificare în curent al tranzistorului, din foaia de catalog, $h_{FE} = 150$, și valoare tensiunii baza-emitor, $V_{BE} = 0.65V$, putem determina curentul prin baza tranzistorului, relația (22) și valoarea rezistenței R_{17} , relația (23).

$$I_b = \frac{I_c}{h_{FE}} = 0.2mA \quad (22)$$

$$R_{17} = \frac{V_{outComparator} - V_{BE}}{I_b} = 56.75k\Omega \quad (23)$$

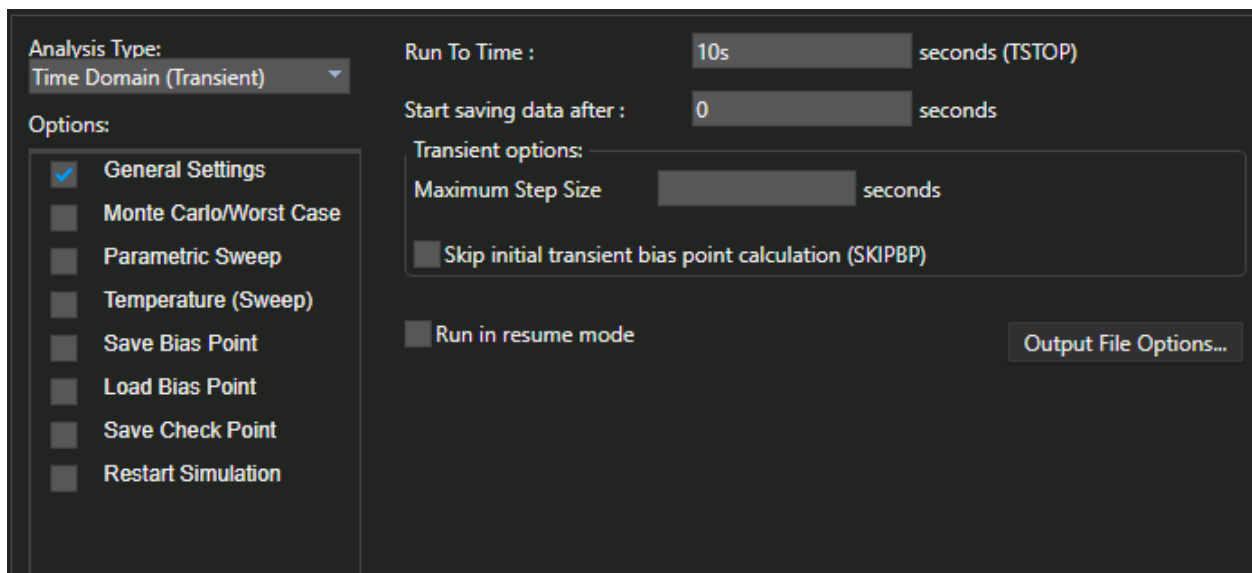
Pentru R_{17} , aleg valoare de 56.2kΩ, din seria E96, cu toleranță 1%.

4. Simularea circuitului

4.1. Analiza tranzitorie

Pentru a vedea comportarea în timp a circuitului am realizat un profil de simulare pentru analiza tranzitorie cu o perioadă de 10 secunde (Figura 12).

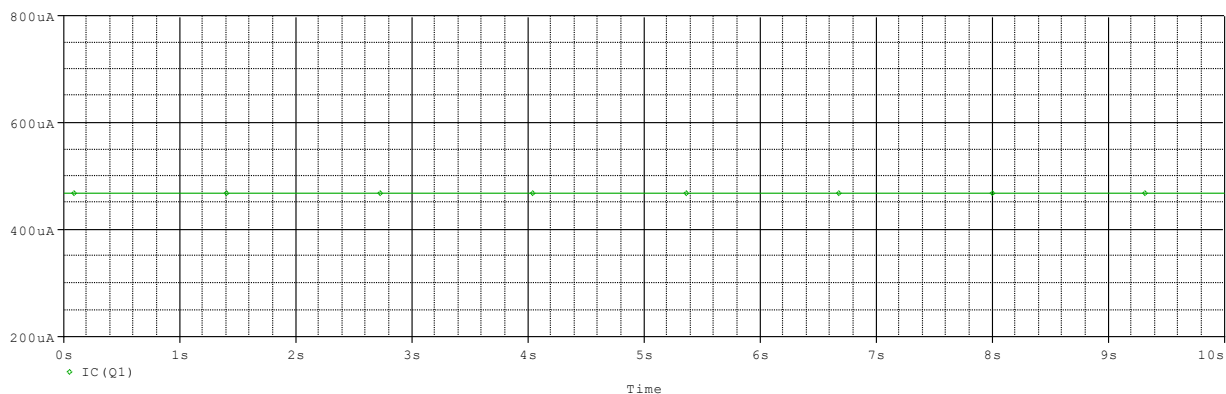
Figura 12. Profilul de simulare pentru analiza tranzitorie



4.1.1. Simularea oglinzii de curent

Pentru a demonstra că curentul ce parcurge oglinda de curent este constant în timp am rulat analiza tranzitorie, iar rezultatele sunt reprezentate în Figura 13.

Figura 13. Simularea tranzitorie pentru oglinda de curent

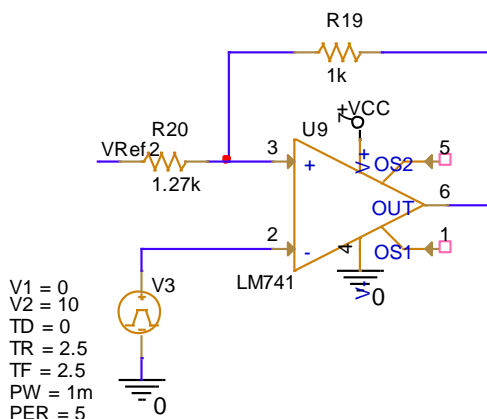


Din simulare se poate vedea că curentul este constant în timp și valoarea acestuia de 0.47mA este una apropiată de valoarea calculată de 0.5mA.

4.1.2. Simularea în timp a comparatorului

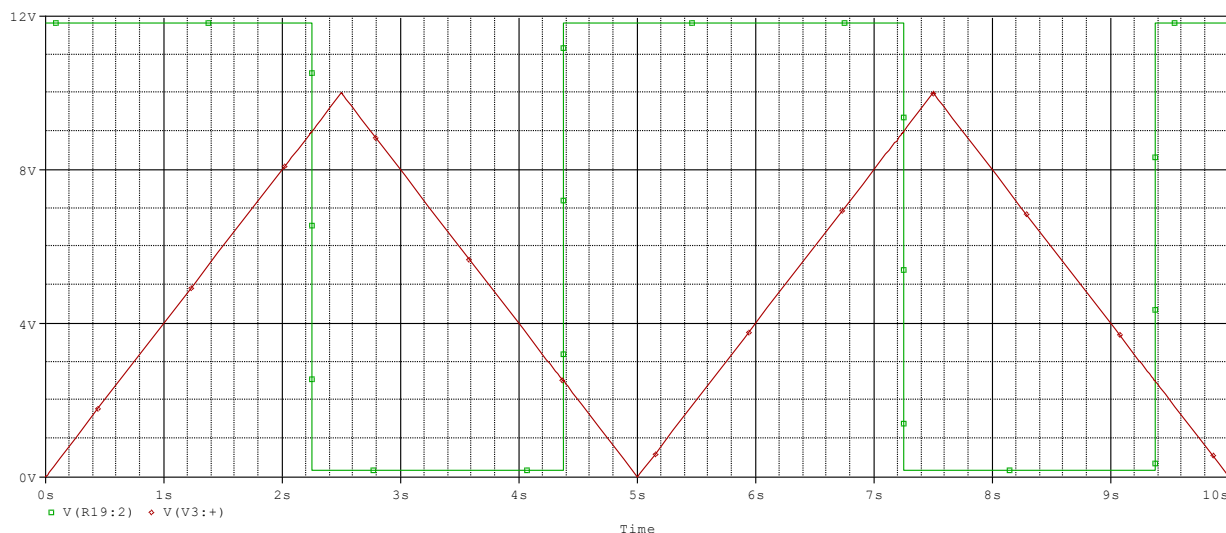
Pentru a verifica tensiunile de prag ale comparatorului am realizat o analiza tranzitorie asupra unui circuit separat compus din comparator și o sursă de semnal triunghiular, ce are rolul de a imita o variație a tensiunii de la ieșire amplificatorului diferențial (Figura 14).

Figura 14. Comparatorul cu sursă de semnal triunghiular



După realizarea simulării (Figura 15), se poate observa că pragurile demonstrate prin simulare, $[2.51 \text{ V} \div 8.99 \text{ V}]$, sunt aproape identice cu cele rezultate din calcul $[2.4 \text{ V} \div 9.1 \text{ V}]$.

Figura 15. Simularea pentru comparator



4.2 Analiza parametrică

Pe baza analizei tranzitorii, utilizând opțiunea de analiză parametrică, prin varierea dimensiunii rezistenței R_1 (parametrul r), conform specificațiilor de proiectare, între $3 \text{ k}\Omega$ și $20 \text{ k}\Omega$, cu un increment de $2 \text{ k}\Omega$ (Figura 16).

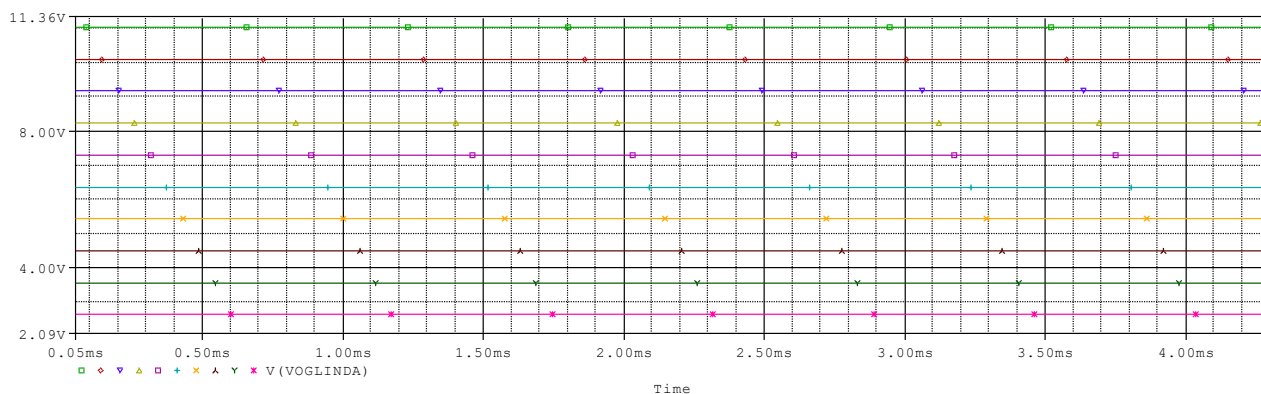
Figura 16. Profilul de simulare pentru analiza parametrică

The screenshot shows the simulation software interface for a parametric sweep analysis. The 'Analysis Type' is set to 'Time Domain (Transient)'. Under 'Options', 'General Settings' and 'Parametric Sweep' are checked. The 'Sweep Variable' is set to 'Global parameter' with 'Name' as 'r'. The 'Sweep Type' is 'Linear' with a 'Decade' dropdown and a 'Value List' of '3k 20k'. The 'Start Value' is '3k', 'End Value' is '20k', and 'Increment' is '2k'.

4.2.1. Variația tensiunii la ieșirea din oglinda de curent

În Figura 17 sunt reprezentate diverse valori ale tensiunii în funcție de valoarea rezistenței sensorului R_1 , unde putem observa domeniul de variație al tensiunii, ce este cuprins între valorile de 3.1V și 10.6V.

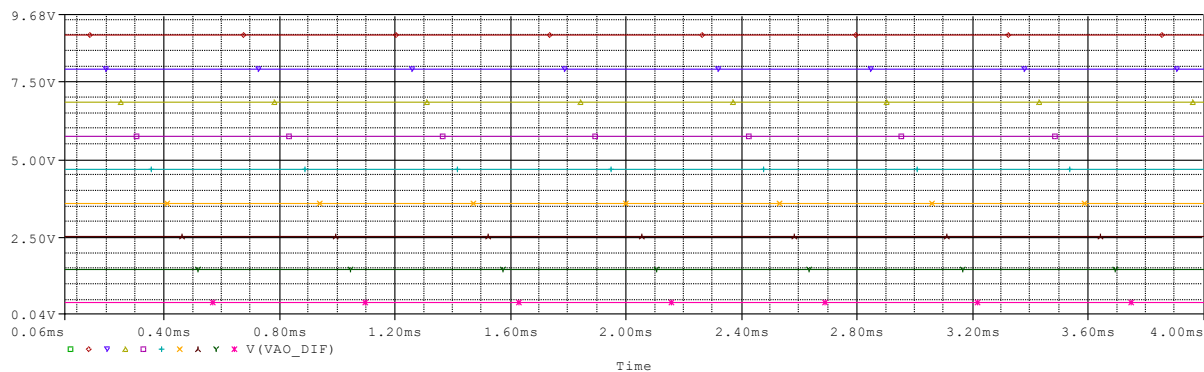
Figura 17. Simularea parametrică a tensiunii de la ieșirea oglinzii de curent



4.2.2. Variația tensiunii după convertirea domeniului

În Figura 18 sunt reprezentate valorile variației tensiunii în noul domeniu, deasemenea din figură se poate observa și valoarea minimă, respectiv maximă a domeniului, 0.3V și 9.55V.

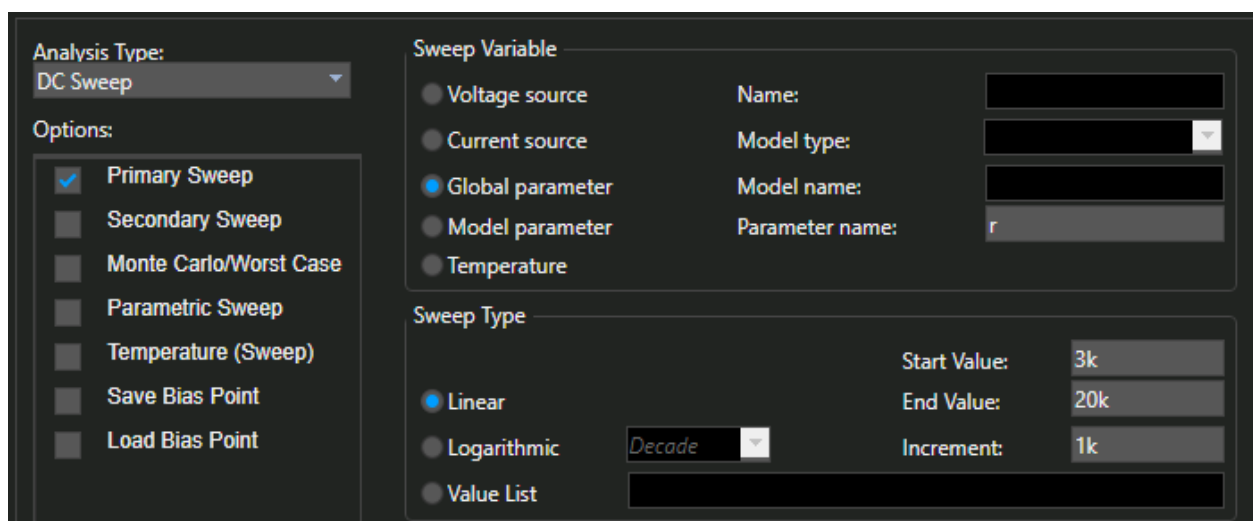
Figura 18. Simularea parametrică a tensiunii de la ieșirea amplificatorului diferențial



4.3. Analiza DC

Determinarea comportării circuitului în curent continuu am realizat-o printr-o analiză de tip DC Sweep (Figura 19), în care am utilizat variația unui parametru global r , rezistența senzorului, pentru a vedea reacția circuitului la diverse valori ale rezistenței, conform specificațiilor de proiectare.

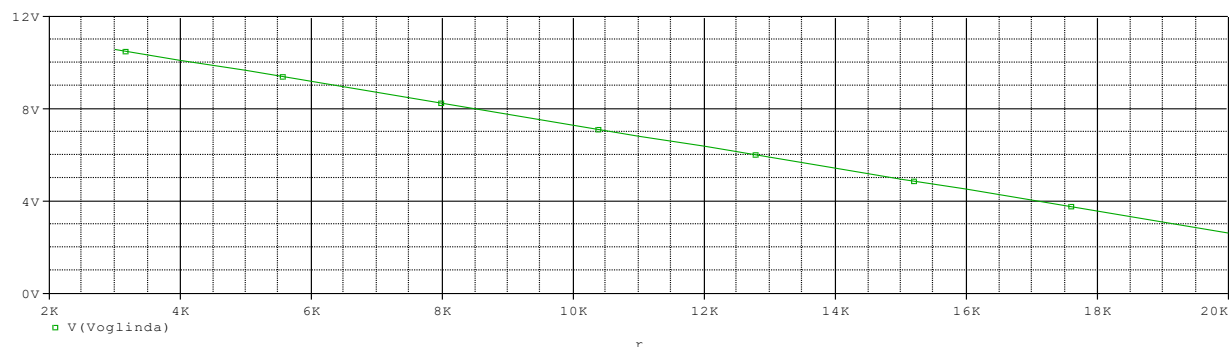
Figura 19. Profilul de simulare pentru analiza în curent continuu



4.3.1. Variația tensiunii la ieșirea din oglinda de curent

Variația tensiunii la ieșirea din oglinda de curent este una liniară, ce depinde de valoarea rezistenței senzorului, ilustrată în figura 20.

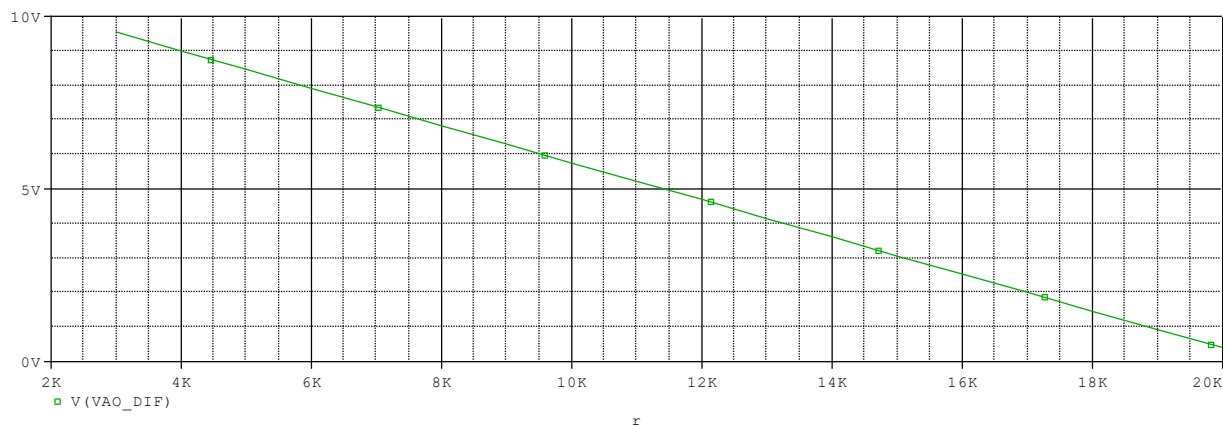
Figura 20. Variația tensiunii în funcție de valoarea rezistenței



4.3.2. Variația tensiunii după convertirea domeniului

După extinderea domeniului la 0 și $V_{CC} - 2V$ variația tensiunii în funcție de rezistență rămâne liniară, singura schimbare este doar domeniul obținut $[0.3V \div 9.55]$, asta se poate observa în figura 21.

Figura 21. Variația tensiunii în funcție de rezistență după convertirea domeniului



4.3.3. Variația tensiunii la ieșirea din comparator

Dacă variem rezistența senzorului crescător se poate observa pragul de sus la care comparatorul comută (figura 22), iar dacă variația rezistenței este descrescătoare, atunci se poate remarca pragul de jos al comparatorului (figura 23).

Figura 22. Pragul de sus al comparatorului

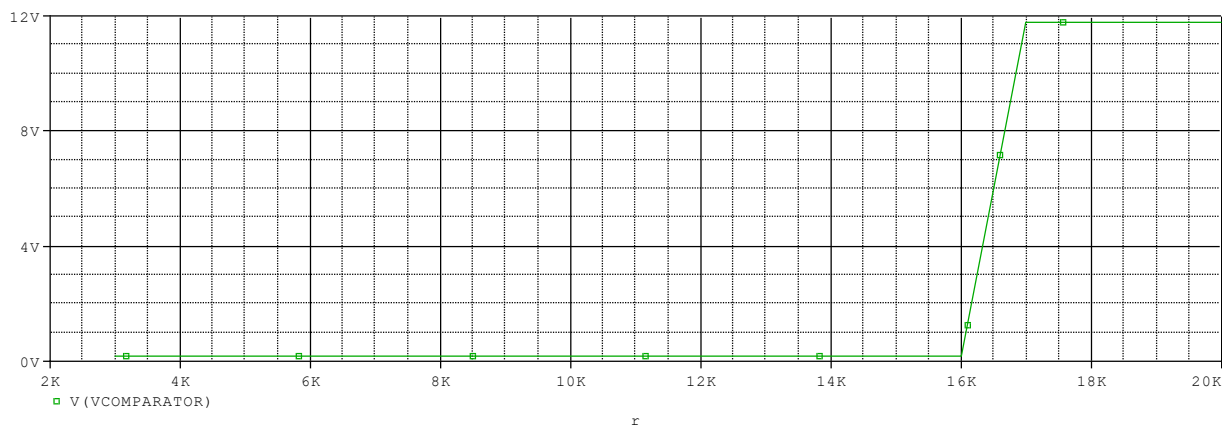
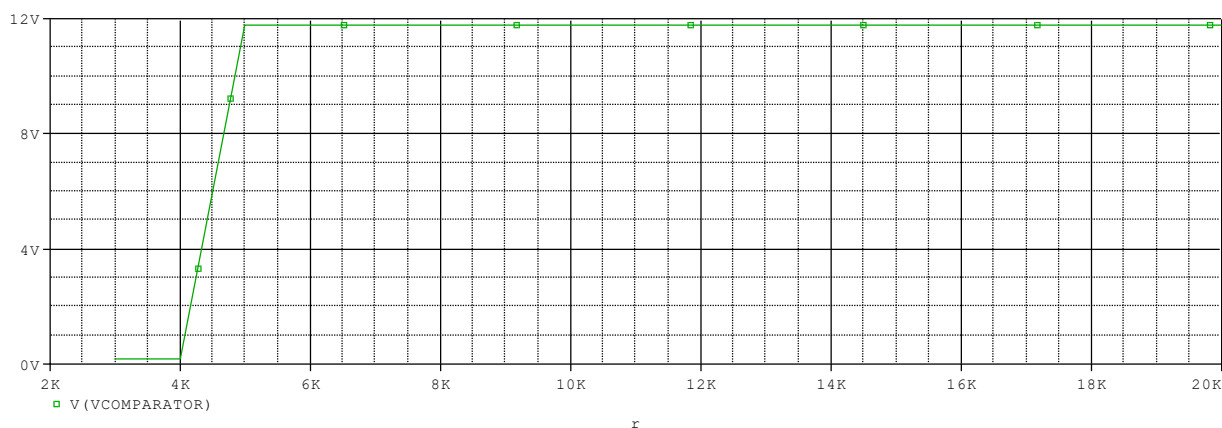


Figura 23. Pragul de jos al comparatorului



4.3.4. Simularea LED-ului

Pentru a vedea dacă LED-ul modelat anterior funcționează conform specificațiilor din foaia de catalog, am utilizat analiza de curent continuu, unde într-un circuit separat (Figura 24), am variat tensiunea aplicată unui LED (Figura 25), pentru a putea vedea caracteristica curent-tensiune (Figura 26).

Figura 24. Circuitul pentru testarea LED-ului

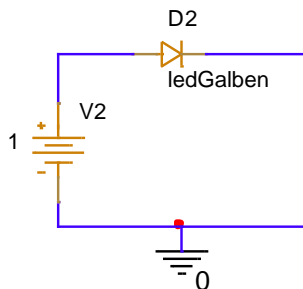


Figura 25. Simularea pentru testarea LED-ului

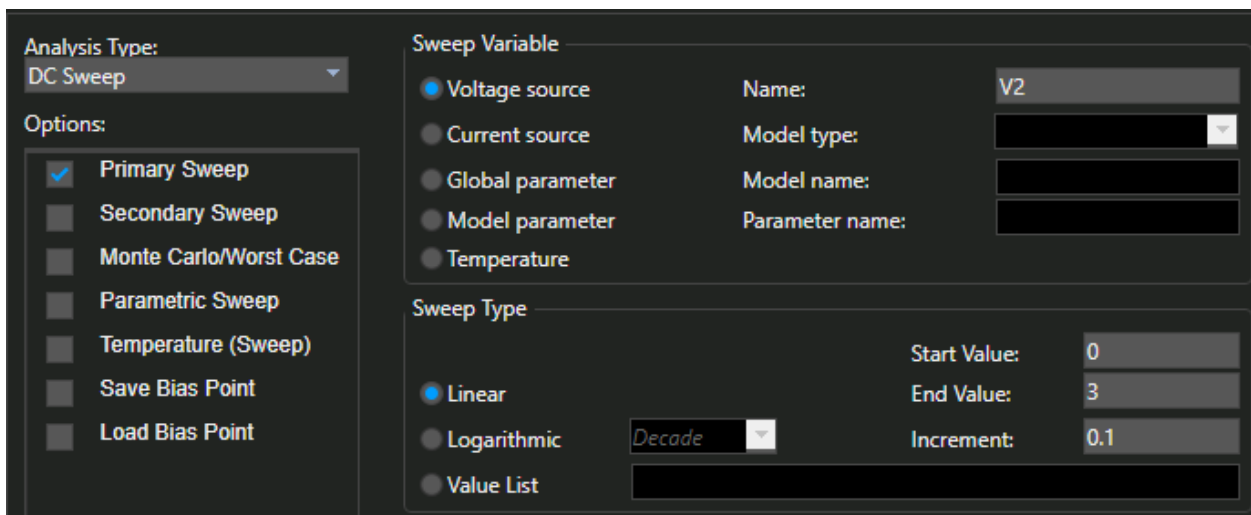
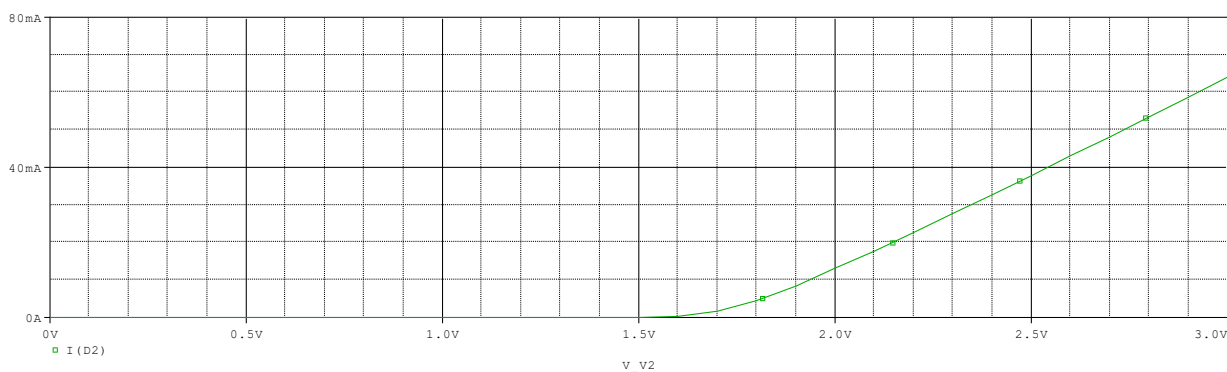


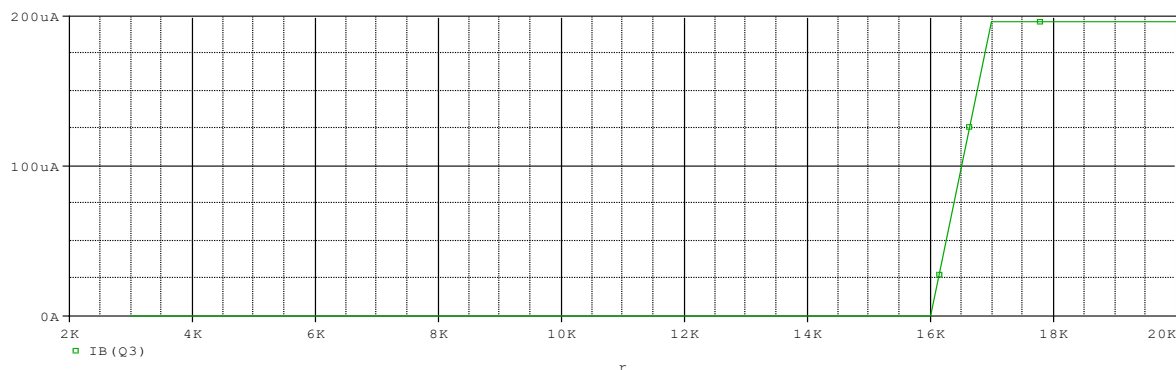
Figura 26. Caracteristica curent-tensiune a LED-ului



4.3.5. Starea benzii rulante

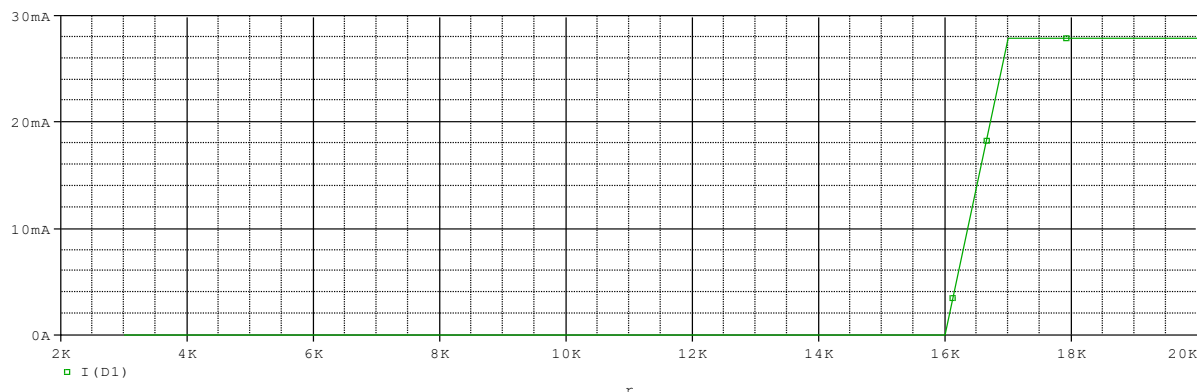
Odată cu comutarea comparatorului, banda rulantă intră în funcțiune, fapt semnalizat de apariția unui curent în baza tranzistorului, ce servește ca parte din releu (Figura 27).

Figura 27. Curentul din baza tranzistorului.



Starea benzii este, de asemenea, semnalizată și de aprinderea LED-ului galben, pentru a observa dacă LED-ul este în funcțiune sau nu, putem utiliza analiza în curent continuu pentru a vedea dacă apare, sau nu un curent prin diodă, iar din figura 28 se poate sublinia faptul că odată cu comutarea comparatorului, LED-ul se aprinde.

Figura 28. Curentul ce trece prin LED



4.4. Analiza Monte Carlo

Pentru a determina comportamentul circuitului din punct de vedere statistic, pentru variația valorilor rezistențelor în funcție de toleranță, am efectuat o analiză Monte Carlo (Figura 29). În Figura 30 sunt prezentate rezultatele analizei, pentru tensiunea de la ieșirea amplificatorului diferențial.

Figura 29. Profilul de simulare pentru analiza Monte Carlo

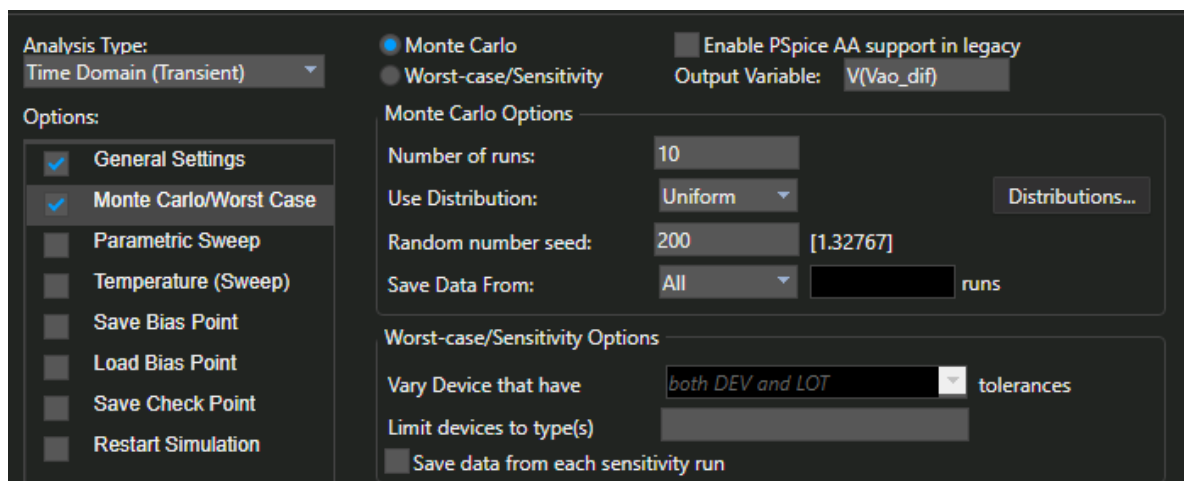
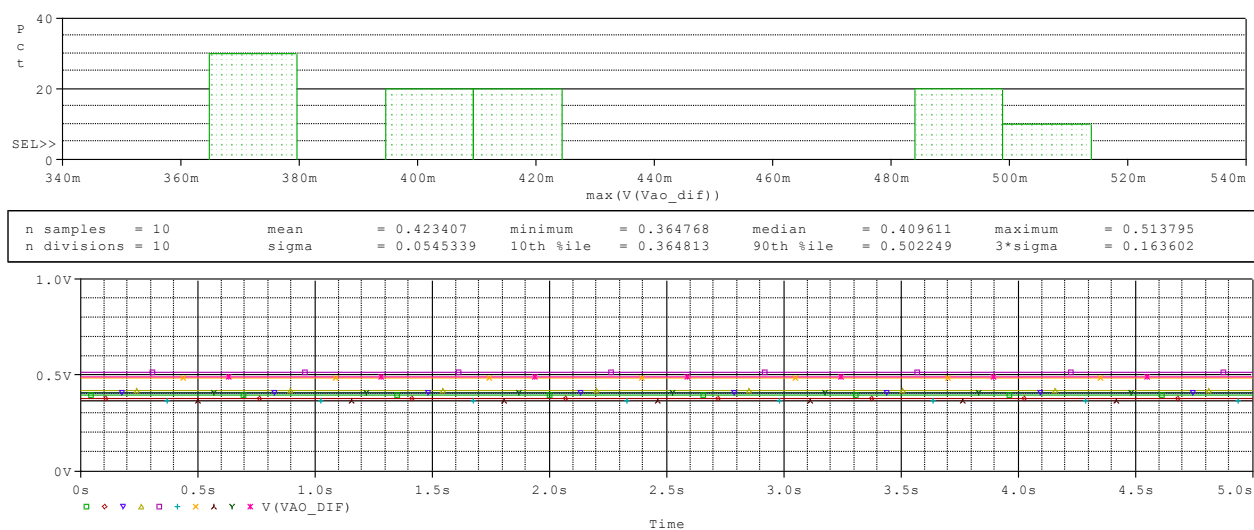


Figura 30. Rezultatul analizei Monte Carlo



5. Bibliografie

- “Proiectare Asistată de Calculator” – Ovidiu Pop, Raul Fizesan, Gabriel Chindris
- Foi de catalog: tranzistor bipolar [BC107](#), amplificator operațional [LM741](#), [LED galben](#).
- Cursuri: Dispozitive Electronice, Circuite electronice fundamentale.