

PETRI DIANA
SERIA B, GRUPA 2125

PROIECT
TEHNICI CAD
CIRCUIT PENTRU CONTROLUL NIVELULUI DE
UMIDITATE AL SOLULUI PENTRU PLANTE

Prof. Curs: Prof. Dr. Ing. Ovidiu Pop

Prof. Laborator: Ing. Adelina Ilies

Cuprins

1. Specificatii de proiectare	3
2.Schema bloc.....	4
3.Circuitul electric.....	5
3.1. Schema electrică a circuitului	5
3.2. Etajul de citire al senzorului	5
3.2.1. Oglinda de curent	5
3.2.2. Repetorul de tensiune	6
3.3. Etajul de conversie al domeniului	7
3.3.1. Amplificator diferențial	7
3.3.2. Divizor de tensiune	8
3.4. Etajul de comparare – Pompa	9
3.4.1. Determinarea pragurilor	9
3.4.2. Comparator	10
3.4.3. Divizor de tensiune	11
3.5. Etajul de semnalizare.....	12
3.5.1. Releu cu LED verde	12
3.5.2. Modelarea diodei	14
4.Simulare.....	16
4.1. Simularea etajului cu senzor- Oglinda de curent	16
4.2. Simularea etajului de conversie- Amplificator diferential.....	17
4.3. Simularea etajului de comparare	18
4.4. Analiza de performanta- Monte Carlo	19

1. Specificatii de proiectare

Să se proiecteze un sistem de irigare care utilizează senzori rezistivi de umiditate pentru a menține un anumit nivel al umidității relative a solului pentru o plantă (limitele nivelului de umiditate sunt specificate în coloana E). În momentul în care nivelul de umiditate al solului a ajuns la limita inferioară (din coloana E), sistemul va porni irigarea plantei. Când nivelul de umiditate ajunge la limita superioară (din coloana E) sistemul va da comanda de oprire a irigării plantei. Din foaia de catalog a senzorului se știe că la o variație a nivelului de umiditate menționat în coloana F, rezistența electrică a senzorului variază liniar în domeniul specificat în coloana G. Variația rezistenței electrice a senzorului trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul $[2 \div (V_{cc} - 2V)]$. V_{cc} este specificat în coloana H. Pompa de irigare este comandată de un comparator cu histereză prin intermediul unui releu care este modelat cu un rezistor. Starea pompei (pornită/oprită) este semnalizată de un LED de culoare specificată în coloana I. Specificațiile de proiectare se regăsesc în tabelul 1.

E	F	G	H	I
Nivel de umiditate de mentinut[%]	Interval maxim de umiditate[%]	Rezistența senzorului[Ω]	V_{cc} [V]	Culoare Led
10-25	0-95	670k-15k	11	VERDE

Tabel 1: Specificatii de proiectare

2.Schema bloc

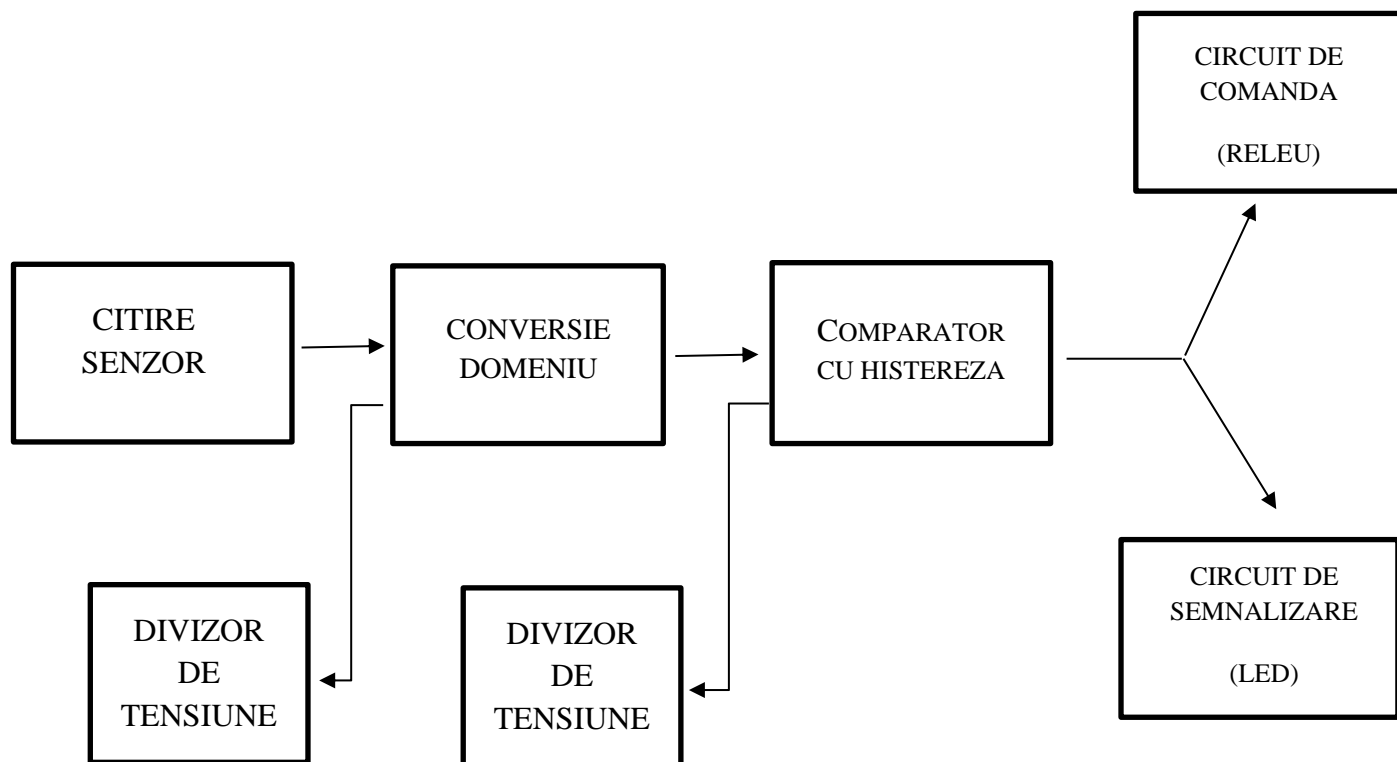
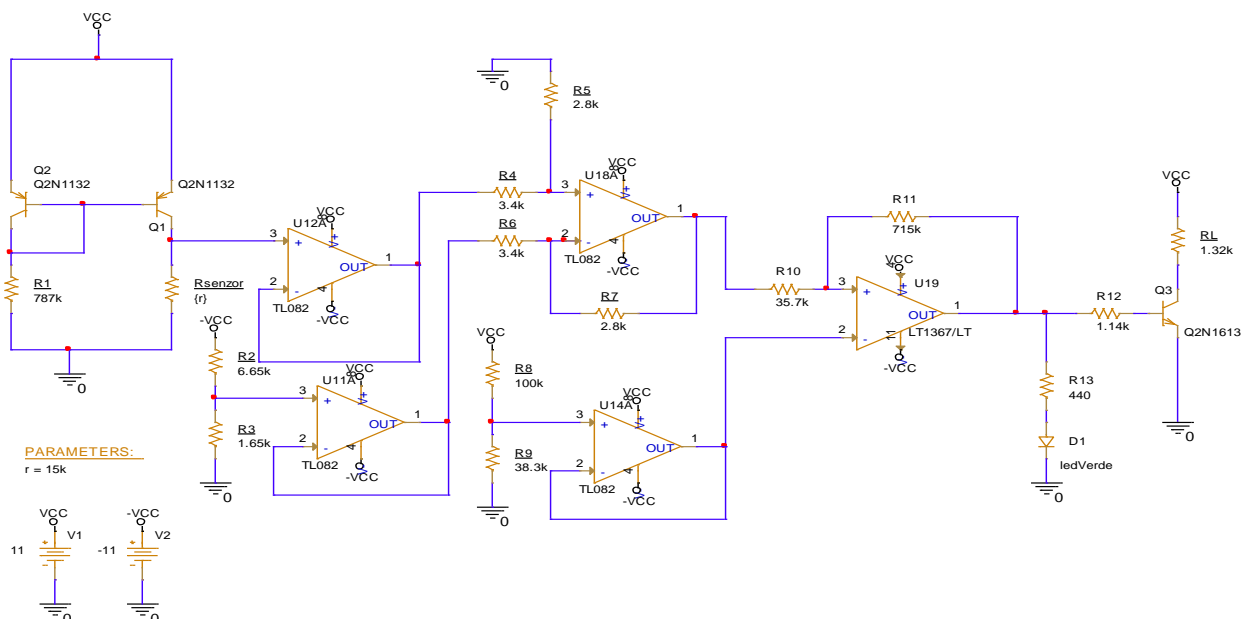


Figura 1: Schema bloc

3. Circuitul electric

3.1. Schema electrică a circuitului



3.2. Etajul de citire al senzorului

3.2.1. Oglinda de curent

Pentru a polariza în curent senzorul de umiditate, am folosit oglinda de curent din Figura 3. În proiectarea acesteia, am utilizat tranzistoare PNP Q2N1132 care asigură acuratețea curentului, ceea ce favorizează corectitudinea măsurărilor. Deoarece curentul electric este același de la o ramură la alta, acesta rămâne constant prin senzorul de umiditate.

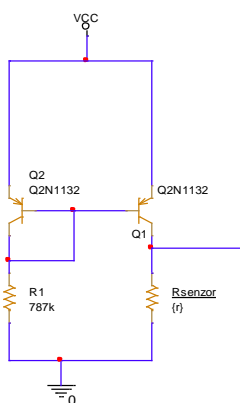


Figura 3: Oglinda de curent

Am calculat variația curentului maxim din oglinda folosind formula (1), unde am înlocuit $V_{cc}=11V$ și $R_{SenzorMax}=670k\Omega$. Astfel, am obținut $I_{Max}=13\mu A$.

$$I_{Max} = \frac{V_{cc}-2}{R_{SenzorMax}} \quad (1)$$

Pentru a calcula R_1 am folosit formula (2), din care am obținut $R_1=800k\Omega$. Am utilizat rezistențe de tip E96 cu toleranța 1% din tabelul valorilor nominale, pentru o funcționalitate reală, astfel rezistența va lua valoarea finală $R_1=787k\Omega$.

$$R_1 = \frac{V_{cc}-V_{BE}}{I_{Max}} = \frac{11-0.6}{13\mu} = 787k\Omega \quad (2)$$

De asemenea, am calculat variația tensiunii la ieșirea din oglindă cu ajutorul formulelor (3) și (4), astfel rezultând $V_{outSenzor}=[0.195V; 8.7V]$.

$$V_{senzorMax} = R_{senzorMax} \cdot I_{Max} = 670k \cdot 13\mu = 8.7V \quad (3)$$

$$V_{senzorMin} = R_{senzorMin} \cdot I_{Max} = 15k \cdot 13\mu = 0.195V \quad (4)$$

3.2.2. Repetorul de tensiune

La ieșirea oglinzii de curent am adăugat un repetor ilustrat în Figura 4, pentru a realiza adaptarea de impedanță. De asemenea, acesta îmbunătățește stabilitatea și flexibilitatea circuitului prin asigurarea unei ieșiri constante.

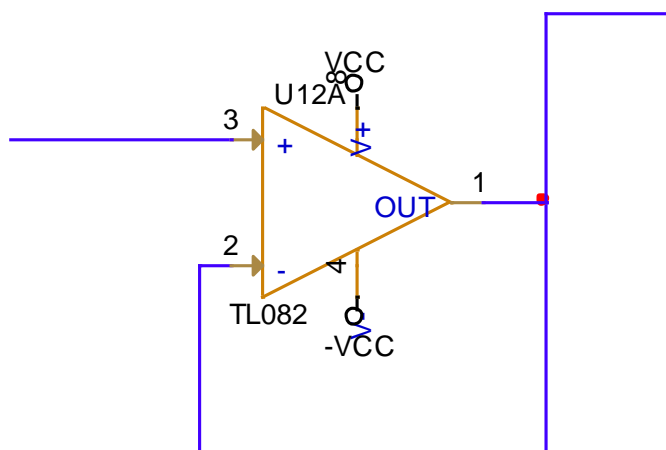


Figura 4: Repetor de tensiune

3.3. Etajul de conversie al domeniului

3.3.1. Amplificator diferențial

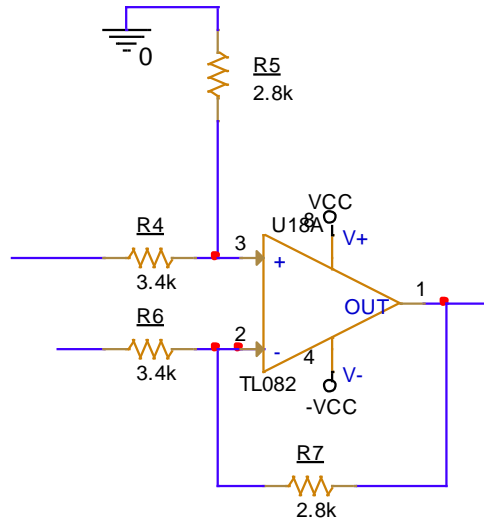


Figura 5: Amplificator diferențial

În figura 4 este reprezentat un amplificator diferențial neinversor pe care l-am folosit în scopul conversiei de domeniu. Utilizarea acestui amplificator oferă o precizie bună în calcule și măsurări, detectând diferența de tensiune dintre două puncte și apoi convertind-o în alt domeniu. Am folosit un amplificator de tip TL082 pentru o bună precizie în măsurătorile umidității solului.

Tensiunea de ieșire din senzor se încadrează în domeniul [0.195V; 8.7V]. În vederea convertirii liniare a rezistenței senzorului de la domeniul [670kΩ; 15kΩ] la o variație de tensiune în domeniul [2V; Vcc-2V], care, în acest caz, este [2V; 9V], am realizat dimensionări specifice amplificatorului diferențial neinversor.

Pășivizând pe rând $V_{outSenzor}$, respectiv V_{Ref} , am obținut relațiile (5) și (6).

$$V_{o1} = -\frac{R7}{R6} \cdot V_{Ref1} \quad (5)$$

$$V_{o2} = \frac{R5}{R4+R5} \left(1 + \frac{R7}{R6}\right) V_{outSenzor} \quad (6)$$

Prin Teorema suprapunerii efectelor, tensiunea de la iesirea amplificatorului se determina după relația (7), care trebuie să se încadreze în domeniul [2; 9V].

$$V_{out} = \frac{R5}{R4+R5} \left(1 + \frac{R7}{R6}\right) V_{outSenzor} - \frac{R7}{R6} \cdot V_{Ref1} \quad (7)$$

Pentru cazuri practice utilizăm $R4 = R6$ și $R7 = R5$, ceea ce simplifică formula pentru V_o în relația (8), mult mai accesibilă în calcule.

$$V_o = \frac{R7}{R6} (V_{outSenzor} - V_{Ref1}) \quad (8)$$

În continuare, am realizat următoarele calcule:

$$\begin{cases} V_{oMax} = \frac{R7}{R6} (V_{senzorMax} - V_{Ref1}) \\ V_{oMin} = \frac{R7}{R6} (V_{senzorMin} - V_{Ref1}) \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} 9 = \frac{R7}{R6} (8.7 - V_{Ref1}) \\ 2 = \frac{R7}{R6} (0.195 - V_{Ref1}) \end{cases} \quad (10)$$

$$7 = 8.5 \frac{R7}{R6} \quad (11)$$

Din operațiile efectuate (9) și (10), am obținut:

$$\frac{R7}{R6} = 0.82 \quad (12)$$

Am ales $R6 = R4 = 3,40k\Omega$ și am obținut $R7 = R5 = 2,80k\Omega$, luând în considerare toleranța de 1%. În continuare, pentru a calcula V_{Ref1} , am înlocuit în a doua relație din sistemul (10), în urma căreia a rezultat calculul de mai jos.

$$2 = 0.82 \cdot 0.195 - 0.82V_{Ref1} \quad (13)$$

Astfel, am aflat $V_{Ref1} = -2.25V$.

3.3.2. Divizor de tensiune

Pentru utilizarea tensiunii V_{Ref1} , am folosit un divizor de tensiune reprezentat în Figura 6. Având în vedere că valoarea calculată este negativă, am alimentat divizorul cu $-V_{cc} = -11V$, pentru a favoriza dimensionarea rezistențelor.

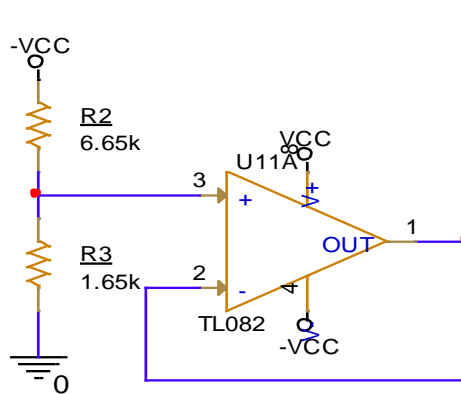


Figura 6: Divizor de tensiune

Am utilizat formula specifică divizorului de tensiune și am dimensionat $R_3=1.65k\Omega$ și $R_2=6.65k\Omega$, rezistențe E96 cu toleranță de 1%.

$$V_{Ref1} = \frac{R_3}{R_2+R_3} \cdot (-V_{CC}) \quad (14)$$

$$-2.25 = \frac{R_3}{R_2+R_3} (-11) \quad (15)$$

$$\frac{R_3}{R_2+R_3} = 0.20 \quad (16)$$

$$\frac{R_7}{R_6} = 0.25 \quad (17)$$

De asemenea, pentru adaptarea de impedanță, am adăugat un repetor de tensiune între divizor și amplificator. Acesta asigură stabilitate în circuit și previne divizarea curentului.

3.4. Etajul de comparare – Pompa

3.4.1. Determinarea pragurilor

În vederea determinării pragurilor care vor fi folosite la comparator, am folosit elemente de logică matematică, și anume ecuația dreptei. În graficul din Figura 7 este reprezentată o variație a tensiunii, în raport cu procente dorite. În acest caz, intervalul maxim de umiditate [0%; 95%] se încadrează în domeniul de tensiune [2V; 9V], iar intervalul la care se cere menținerea umidității solului [10%; 25%] ajută la determinarea pragurilor comparatorului.

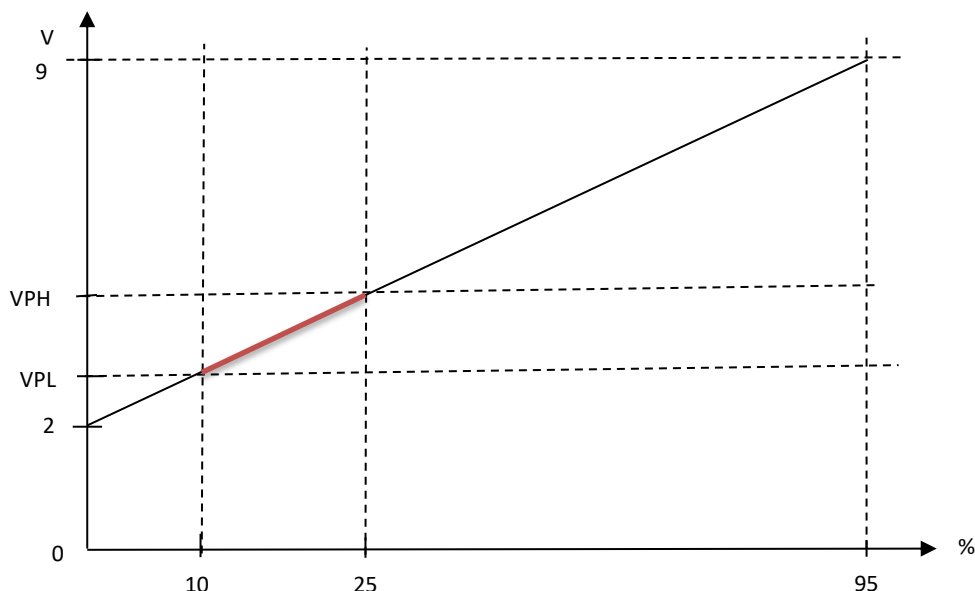


Figura 7: Grafic

Ecuția dreptei este reprezentată în formula (18), iar parametrul m se calculează cu relația (19).

$$y = mx + b \quad (18)$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{2 - 9}{0 - 95} = 0.07368 \quad (19)$$

În acest fel, pentru $y_1=2$ și $x_1=0$, obținem egalitatea (20) care se verifică și pentru $y_2 = 9$ și $x_2= 95$.

$$b = y - mx = 2 - 0.07368 \cdot 0 = 2 \quad (20)$$

Pentru pragul VPL și VPH am calculat (21) și (22).

$$V_{PL} = 0.0736 \cdot 10 + 2 = 2.73V \quad (21)$$

$$V_{PH} = 0.07368 \cdot 25 + 2 = 3.84V \quad (22)$$

3.4.2. Comparator

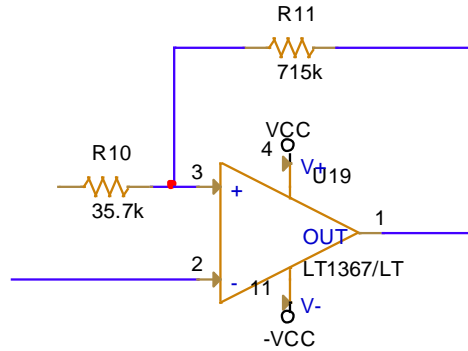


Figura 8: Comparator neinversor

Pentru a reprezenta pompa sistemului de irigare, am folosit comparatorul inversor cu reacție pozitivă din Figura 5. Acesta facilitează controlul pompei, menținând umiditatea în intervalul [10%;25%]. Din pragurile determinate anterior, am dimensionat întreaga structură, folosind rezistențe E96 cu toleranță de 1%. Calculele următoare realizează determinarea rezistențelor R10 și R11, dar și a VRef2, Vo reprezentând domeniul [2; 9]V.

$$v_D = v^+ - v^- = \frac{R_{10}}{R_{10}+R_{11}} V_o + \frac{R_{11}}{R_{10}+R_{11}} V_{ref2} \quad (23)$$

Din relația (23) am obținut formulele pentru praguri, afișate în sistemul (24).

$$\begin{cases} V_{PH} = \frac{R_{10}}{R_{11}} V_{CC} + (1 + \frac{R_{10}}{R_{11}}) V_{Ref2} \\ V_{PL} = -\frac{R_{10}}{R_{11}} V_{CC} + (1 + \frac{R_{10}}{R_{11}}) V_{Ref2} \end{cases} \quad (24)$$

Prin scăderea (25), iar apoi adunarea (28) celor două relații am obținut rezistențele $R_{10}=35.7k\Omega$ și $R_{11}=715k\Omega$, respectiv $V_{Ref2}=3.12V$.

$$V_{PH} - V_{PL} = 2 \frac{R_{10}}{R_{11}} V_{CC} \quad (25)$$

$$1.11 = 2 \frac{R_{10}}{R_{11}} \cdot 11 \quad (26)$$

$$\frac{R_{10}}{R_{11}} = 0.05 \quad (27)$$

$$V_{PH} + V_{PL} = 2(1 + \frac{R_{10}}{R_{11}}) \cdot V_{Ref2} \quad (28)$$

$$3.2 = 1.05 \cdot V_{Ref2} \quad (29)$$

$$V_{Ref2} = 3.12V \quad (30)$$

3.4.3. Divizor de tensiune

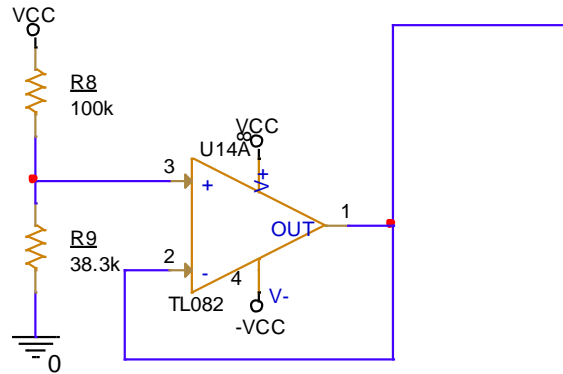


Figura 9: Divizor de tensiune

Asemenea metodei abordate la amplificatorul diferențial, am folosit un divizor de tensiune și pentru comparator. Divizorul reprezentat în Figura 9 are rolul de a dimensiona tensiunea de referință V_{Ref2} , iar repetorul păstrează liniaritatea circuitului și realizează o adaptare de impedanță.

Din formula (31) am scos relația (32), de unde am dimensionat rezistențele R_9 și R_{10} .

$$V_{Ref2} = \frac{R_9}{R_9 + R_8} V_{CC} \quad (31)$$

$$\frac{R_9}{R_8} = 0.38 \quad (32)$$

Astfel, am obținut $R_9=38.8k\Omega$ și $R_8=100k\Omega$, rezistente E96.

3.5. Etajul de semnalizare

3.5.1. Releu cu LED verde

În scopul de a semnaliza funcționalitatea circuitului, am utilizat un LED care va emite lumină de culoare verde atunci când solul nu se află în intervalul de umiditate care trebuie menținut, atenționând că se va porni pompa. Pentru a comuta pompa, am utilizat un releu de tipul G6k-2F-S-12DC, care are rezistența pe bobină $R_L = 1.32k\Omega$, curentul $I_L = 9.1mA$ și timpul de acționare de 3ms.

Tranzistorul utilizat favorizează controlul circuitului. Atunci când este blocat, pompa pornește, iar atunci când conduce, pompa se oprește. Starea de blocare/conducere este determinată de pragurile comparatorului. Când se atinge pragul Low, solul devine prea uscat, ledul va semnaliza iar pompa va porni. Secvența de circuit Releu+LED este reprezentată în Figura 10.

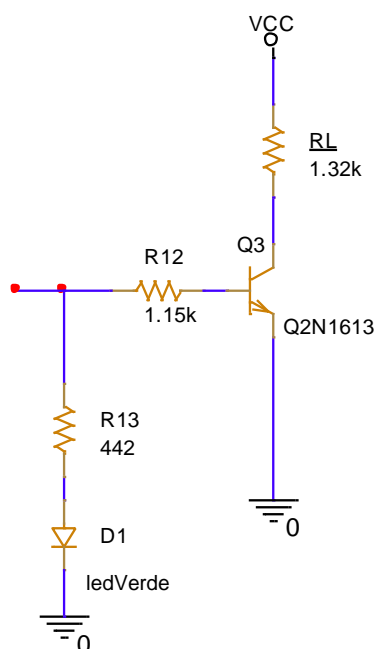


Figura 10: Releu+LED

Pentru a calcula rezistența în serie cu LED-ul, am preluat mai întâi valorile pentru tensiunea prin diodă $V_D = 2.1V$ și curentul $I_D = 20mA$. Acești parametri sunt extrași din foaia de catalog a LED-ului verde atașată în Figura 11.



Specifications:

Dice material	: GaP
Emitted colour	: Green
Lens colour	: Green Transparent
Peak wavelength	: 568nm
Viewing angle	: 16°
Luminous intensity (IV)	: 45mcd

Absolute Maximum Ratings ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Reverse Voltage	5V
Reverse Current	10 μ A ($V_R = 5V$)
Operating Temperature Range	-40°C to 85°C
Storage Temperature Range	-40°C to 100°C
Lead Soldering Temperature Range 1.6mm (1/16 inch) from body	260°C for 5 Seconds

Electrical/Optical Characteristics at $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Test
Luminous Intensity	IV	20	45	65	mcd	IF = 20mA
Viewing Angle	2 θ 1/2	-	16	-	degrees	
Peak Emission Wavelength	λ_P	-	568	-	nm	-
Dominant Wavelength	λ_D	-	570	-		-
Spectral Line Half-Width	$\Delta\lambda$	-	30	-		-
Forward Voltage	V _F	1.7	2.1	2.6	V	IF = 20mA
Power Dissipation	P _d	-	-	85	-	-
Peak Forward Current (Duty 1/10 at 1KHz)	IF (Peak)	-	-	100	-	-
Recommended Operating Current	IF (Rec)	-	20	-	mA	-

Figura 11: Foaie de catalog

Așadar, în calculul R13 am utilizat formula (33) și am determinat $R13=440k=442k\Omega(E96)$.

$$R13 = \frac{V_{CC}-V_D}{I_D} = \frac{11-2.1}{20m} = 440k\Omega \quad (33)$$

În continuare, am calculat R12 după relația (34) și am obținut $R12=1,15k\Omega$.

$$R12 = \frac{V_{CC}-V_{BE}}{I_L} = \frac{11-0.6}{9.1m} = 1.15k\Omega \quad (34)$$

3.5.2. Modelarea diodei

Pentru modelarea LED-ului în vederea obținerii culorii dorite, am folosit graficul ce cuprinde caracteristica de curent-tensiune a acestuia, ce se regăsește tot în foaia de catalog și este reprezentat în Figura 12.

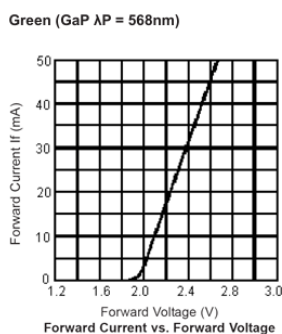


Figura 12: Caracteristica curent-tensiune

În Figura 13 am completat tabelul din Model Editor citind graficul de mai sus, apoi am testat modelarea prin construirea unui nou circuit care se poate observa în Figura 14.

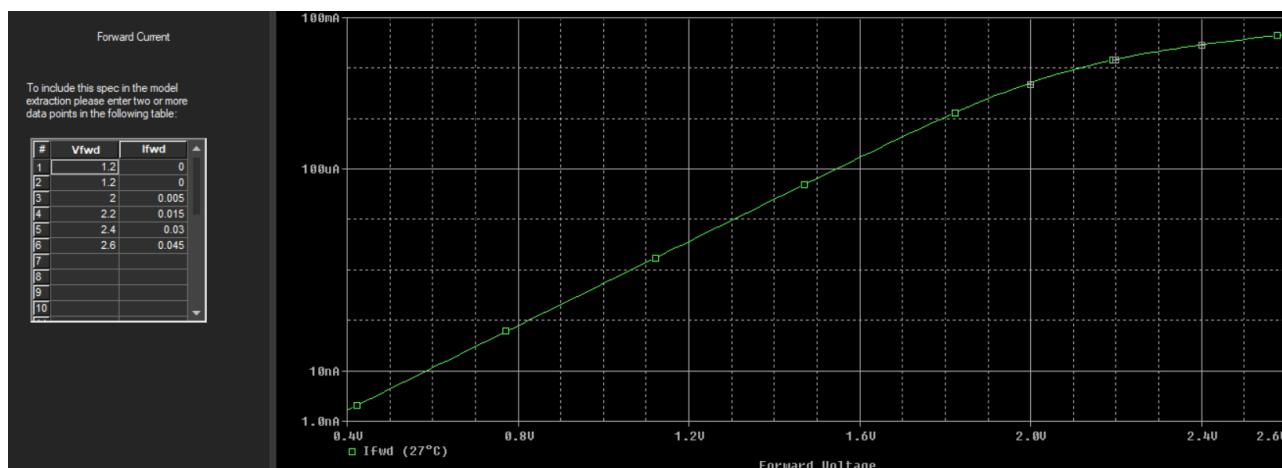


Figura 13: Modelarea diodei

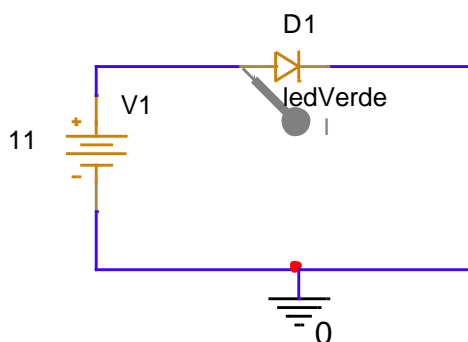


Figura 14: Circuit pentru testare

Profilul de simulare pe care l-am creat se poate observa în Figura 15, iar simularea este afișată în Figura 16.

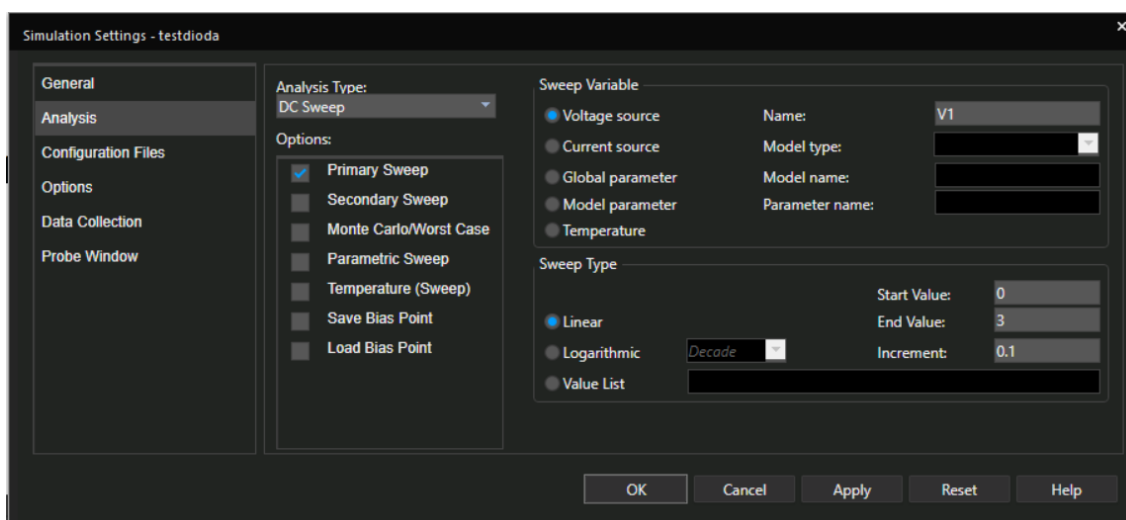


Figura 15: Profil de simulare LED

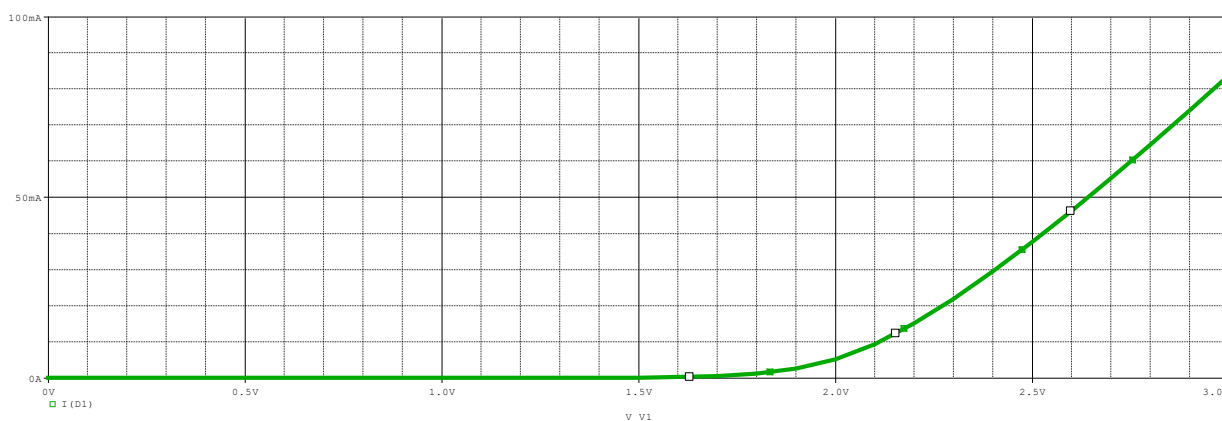


Figura 16: Simulare LED

4. Simulare

4.1. Simularea etajului cu senzor- Oglinda de curent

Pentru a realiza o verificare a calculelor în ceea ce privește oglinda de curent, am realizat o simulare de tip DC Sweep a secvenței de circuit, cu profilul de simulare din Figura 17 și cu variația parametrului r .

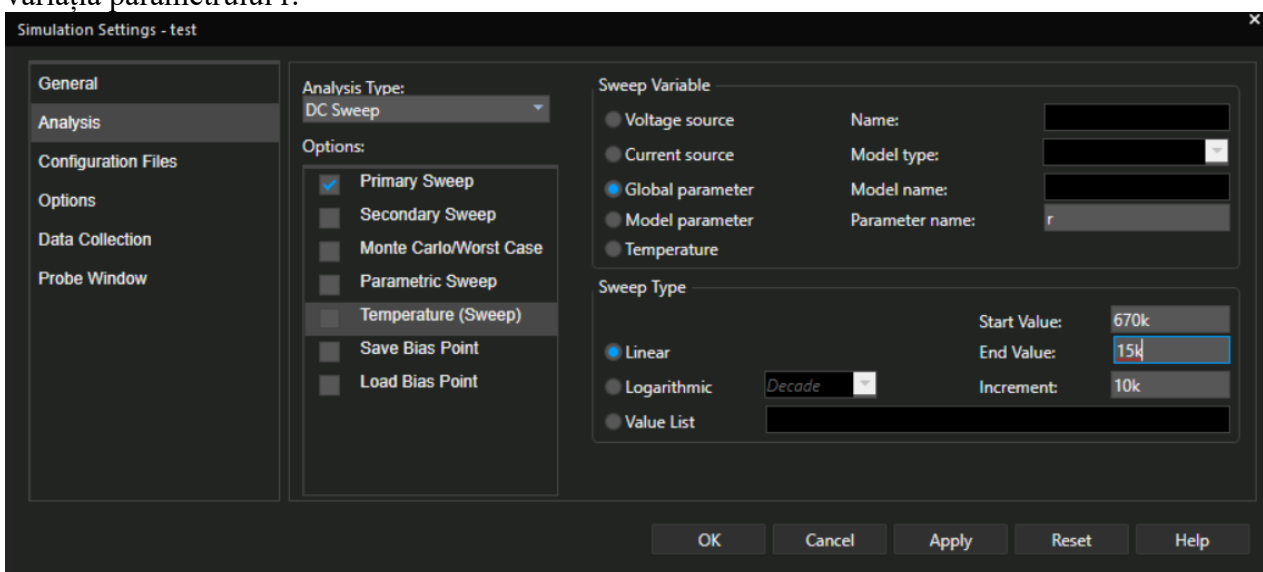


Figura 17: Profil simulare oglinda

La rularea analizei în Figura 18, se evidențiază domeniul de variație liniar al rezistenței senzorului, într-o tensiune ce respectă domeniul calculat $[0.195; 8.7]V$.

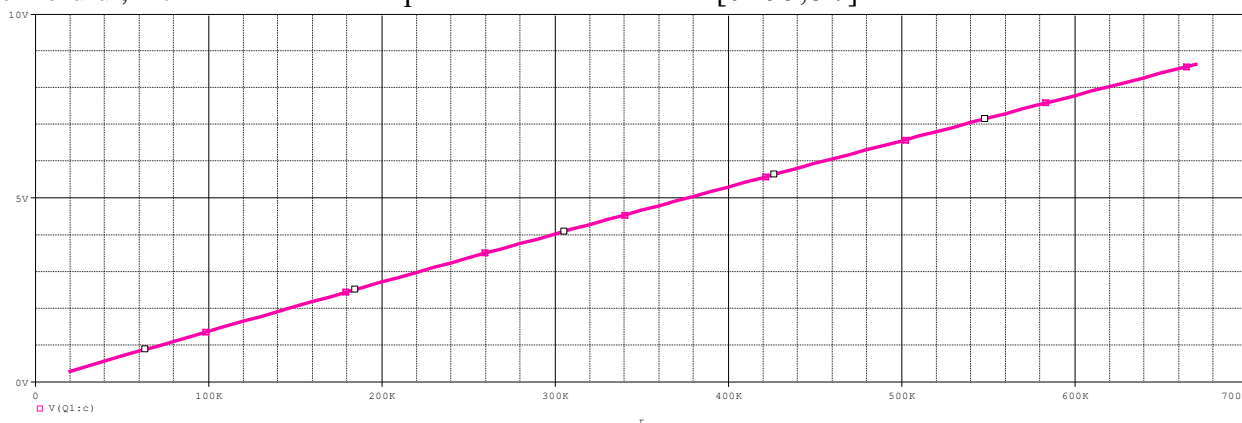


Figura 18: Caracteristica tensiunii

4.2. Simularea etajului de conversie- Amplificator diferential

Pentru simularea acestui etaj, vom folosi același profil de simulare utilizat precedent, atașat în Figura 19. În Figura 20 se poate observa că rezistența variază în continuare liniar, însă domeniul de tensiune a fost convertit la [2;9]V, conform cerințelor de proiectare.

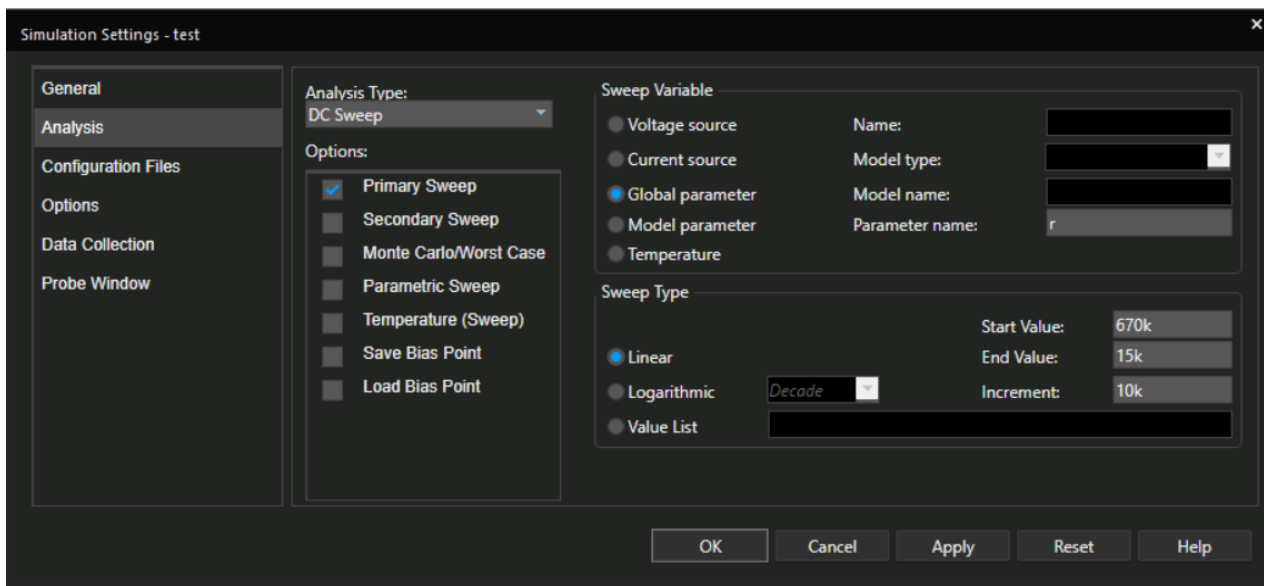


Figura 19: Profil de simulare

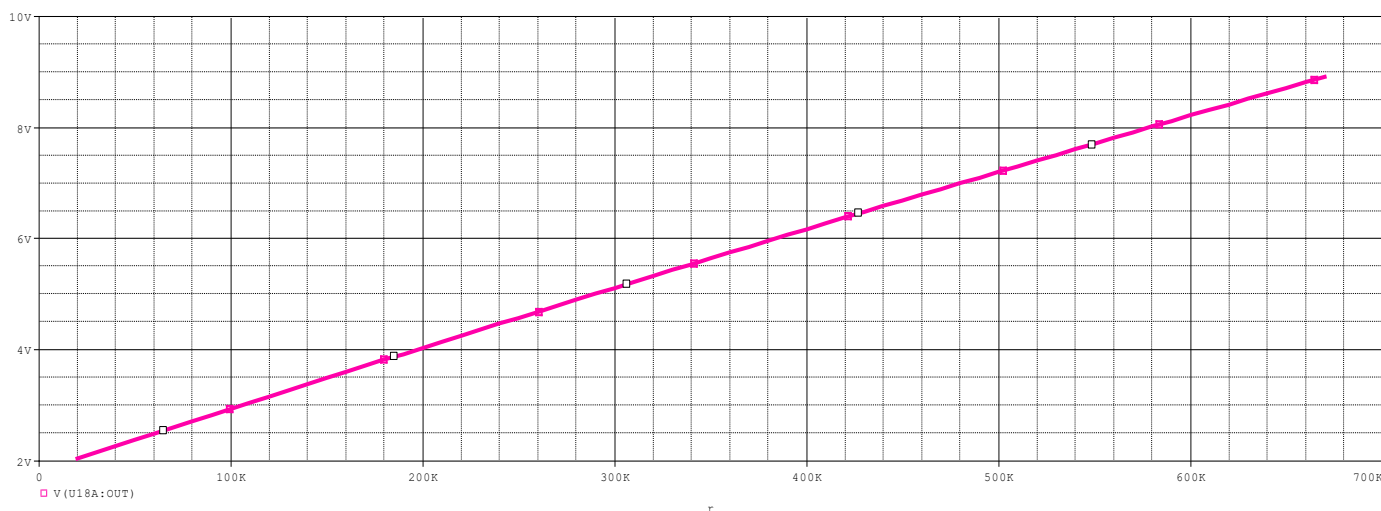


Figura 20: Caracteristica de tensiune

4.3. Simularea etajului de comparare

Pentru a obține o reprezentare grafică a histerezei comparatorului, am utilizat același profil de simulare DC Sweep. Pentru a obține pragurile, am variat valorile rezistențelor senzorului crescător, respectiv descrescător. Am obținut reprezentările din Figura 21 și Figura 22.

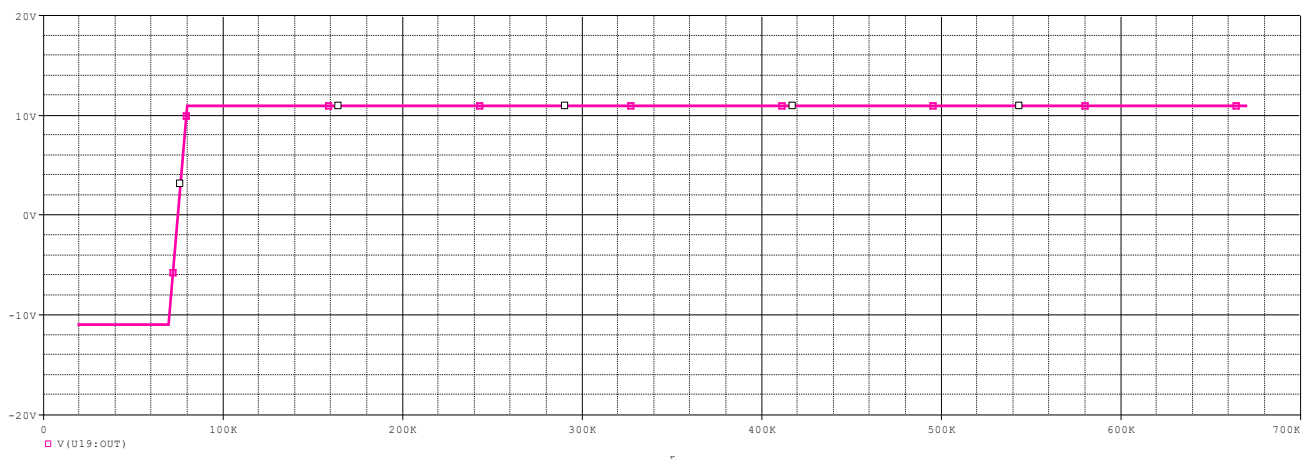


Figura 21: Pragul de jos

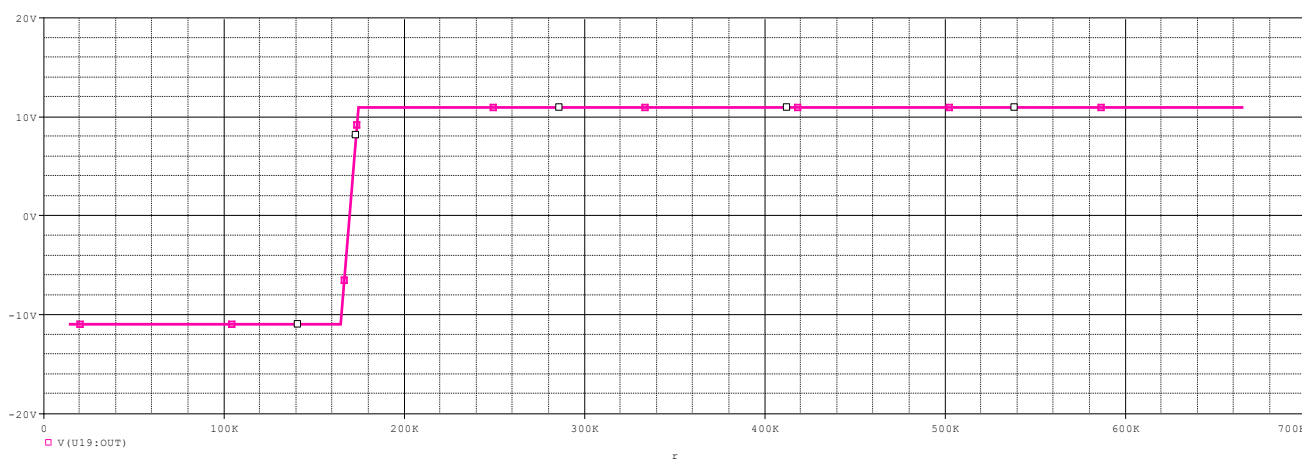


Figura 22: Pragul de sus

Prin urmare, am obținut histereza comparatorului, ilustrată în Figura 23.

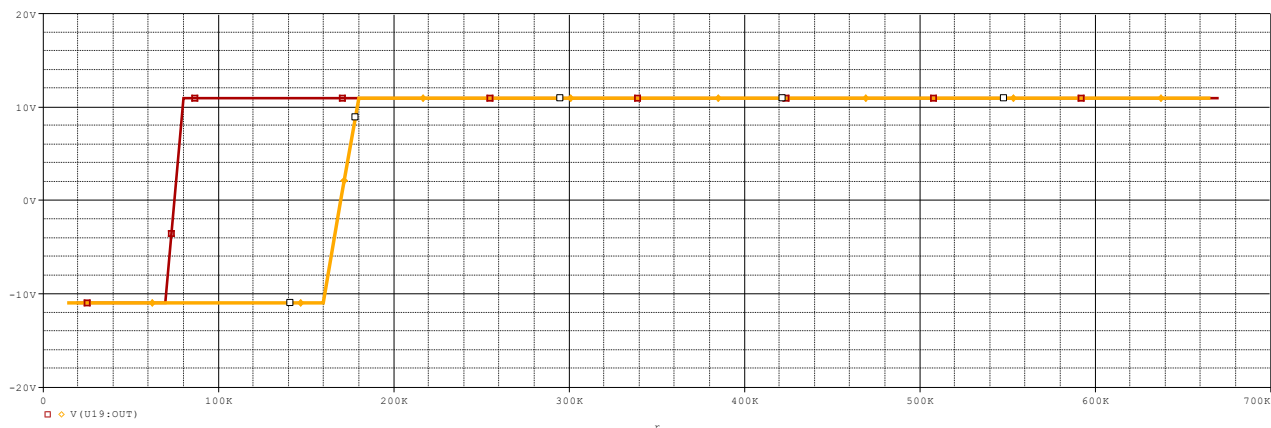


Figura 23: Grafic comparator

4.4. Analiza de performanta- Monte Carlo

Analiza Monte Carlo este o metodă excelentă pentru a înțelege modul în care un circuit se comportă în fața variațiilor aleatorii ale componentelor sale. Această analiză ne oferă o imagine mai realistă a funcționării circuitului în diverse condiții și ne ajută să identificăm sensibilitățile și punctele slabe ale acestuia. Prin simulări repetate, în care valorile componentelor sunt alese aleatoriu, putem obține o idee mai bună despre cum se va comporta circuitul în practică. Este utilă în proiectarea și optimizarea circuitelor pentru a ne asigura că vor funcționa corect în condiții variate, cum ar fi toleranțele.

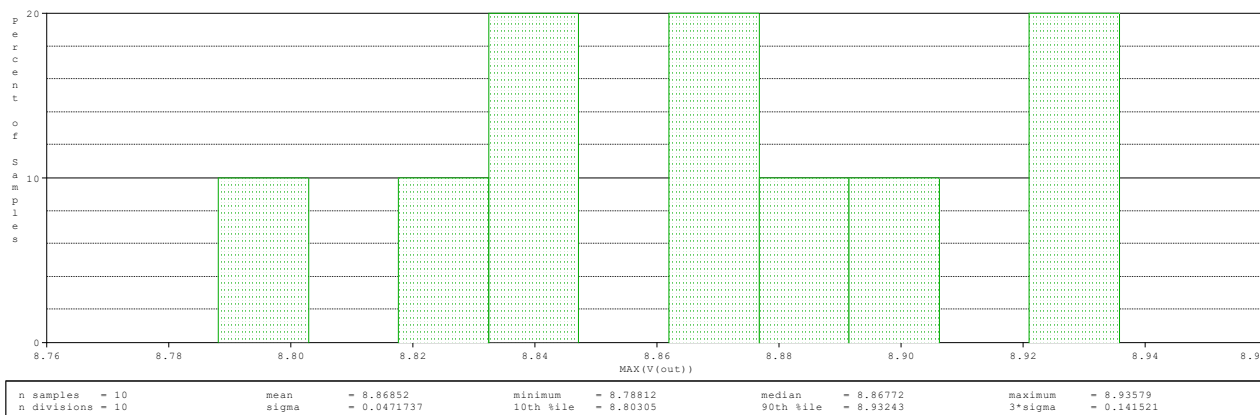


Figura 24: Analiza Monte Carlo

BIBLIOGRAFIE

[1] “Ovidiu Pop, Raul Fizesan, Gabriel Chindris, “Proiectare asistata de calculator. Aplicatii”, U.T.PRESS, Cluj-Napoca, 2013

[5]”Cursuri Dispozitive Electronice”- Prof. Emilia Sipos

[6]”Datasheet GREEN LED”, [2861534.pdf \(farnell.com\)](#)

[6]” Standard resistor series values”, [Resistor Series Values-E3, E6, E12, E24, E48 & E96 \(electricalvolt.com\)](#)