

TEHNICI CAD PROIECT

Circuit de reglare al nivelului apei dintr-un rezervor

Facultatea: Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației (ETTI UTCN)

Nume student: Lupu Miruna

Grupa și seria: 2121 A

Îndrumători: Prof. Dr. Ing. Pop Ovidiu Aurel și Drd. Ing. Ilieș Adelina Ioana

CUPRINS

1. Date de proiectare.....	pag. 3
2. Schema bloc a circuitului.....	pag. 4
3. Schema electrică a circuitului.....	pag. 5
4. Dimensionarea componentelor.....	pag. 6
4.1. Senzorul de nivel – Oglinda de curent.....	pag. 6
4.2. Repetorul de tensiune.....	pag. 8
4.3. A.O. Diferențial.....	pag. 9
4.3.1. Divizorul de tensiune A.O.....	pag. 11
4.4. Comparatorul inversor.....	pag. 12
4.4.1 Divizorul de tensiune C.....	pag. 14
4.5. LED-UL.....	pag. 15
4.6. Releul.....	pag. 17
5. Simulări.....	pag. 18
5.1. Senzorul de nivel – Oglinda de curent.....	pag. 18
5.2. Repetorul de tensiune.....	pag. 20
5.3. A.O. Diferențial	pag. 21
5.3.1. Divizorul de tensiune A.O.....	pag. 22
5.4. Comparatorul inversor.....	pag. 23
5.4.1 Divizorul de tensiune C.....	pag. 25
5.5. LED-UL.....	pag. 26
6. Analize statice.....	pag. 27
6.1. Analiza Monte-Carlo.....	pag. 27
6.2. Analiza Worst-Case.....	pag. 30
7. Notițe	pag. 32
8. Bibliografie.....	pag. 33

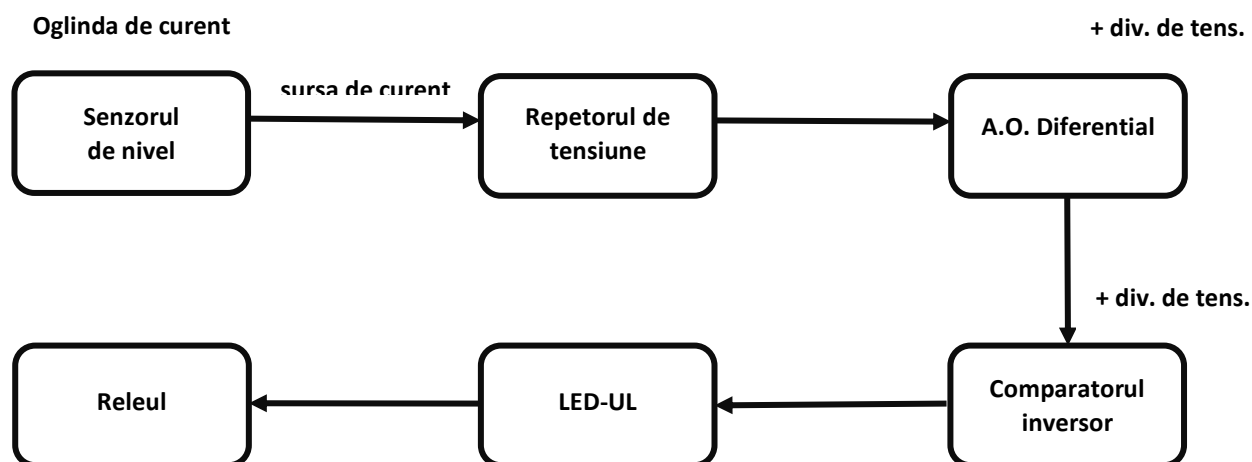
1. Date de proiectare

Circuit de reglare al nivelului apei dintr-un rezervor

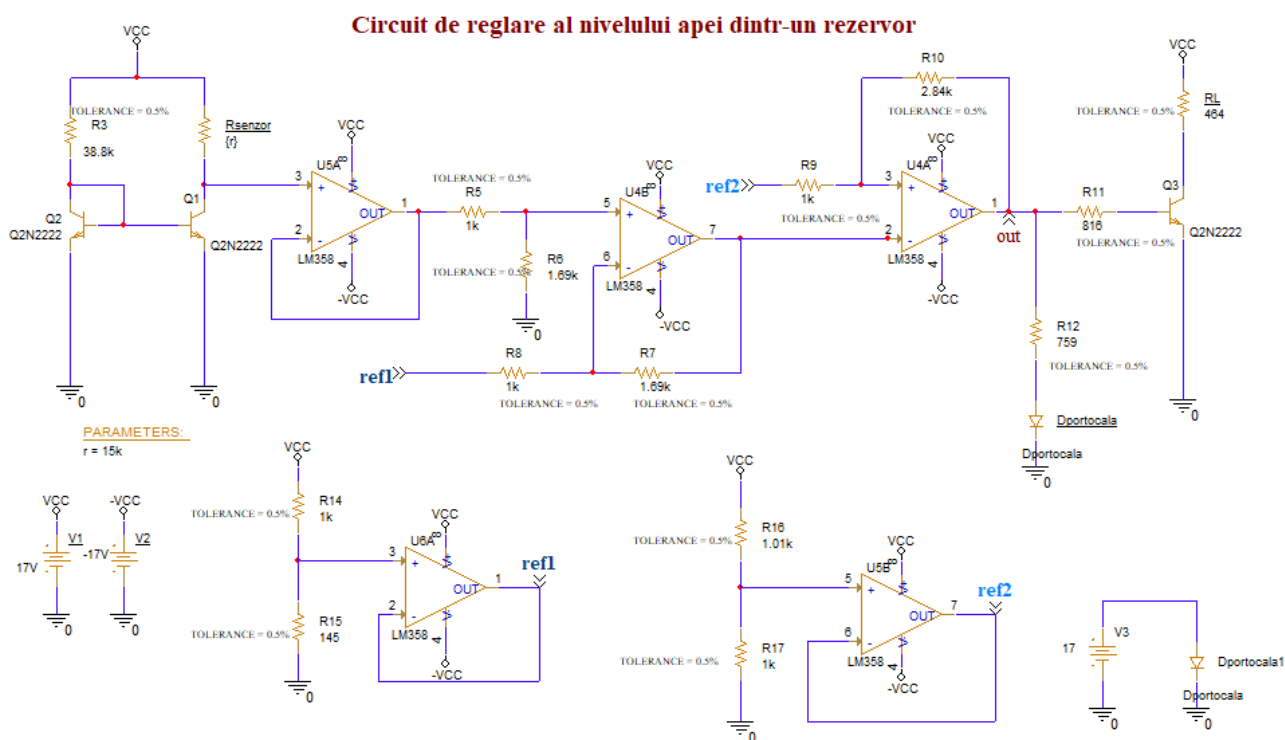
Să se proiecteze un sistem de control al nivelului de apă dintr-un rezervor. Știind că senzorul de nivel folosit poate să măsoare nivelul de lichid liniar, valoarea maximă fiind specificată în tabel coloana E, sistemul se va proiecta astfel încât nivelul din rezervor să se mențină în intervalul specificat 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 relee electromagnetic. Ansamblul pompă – relee se va modela cu ajutorul unui rezistor. Starea pompei (pornit/oprit) este semnalizată de un LED având culoarea specificată în tabel.

Specificatii proiectare	Nivel maxim de măsură [cm]	Domeniul nivelului de lichid din rezervor [cm]	Rezistența senzorului [Ω]	VCC [V]	Culoare LED de semnalizare
11 Lupu Miruna	500	100-400	35k - 15k	17	portocaliu

2. Schema bloc a circuitului



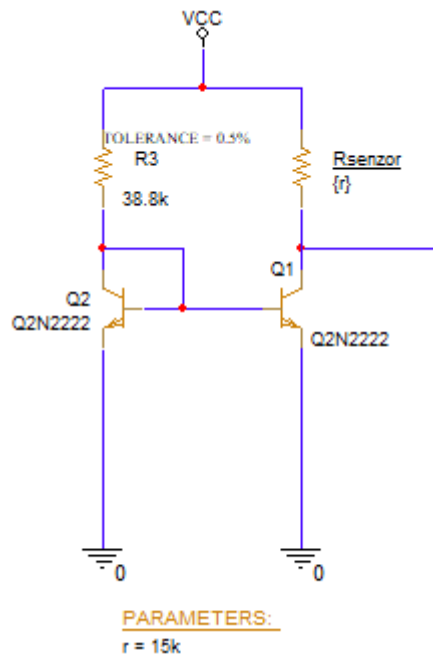
3. Schema electrică a circuitului



Title		
Circuit de reglare al nivelului apei dintr-un rezervor		
Size	Document Number	Rev
A		
Date:	Wednesday, April 13, 2023	Sheet 1 of 1

4. Date de proiectare

4.1. Senzorul de nivel – Oglinda de curent



O oglindă de curent este un element esențial în circuitul de reglare al nivelului apei dintr-un rezervor. Aceasta are rolul de a menține un curent constant prin intermediul unui senzor de nivel și a unui comparator. Totodată, oglinda de curent permite menținerea unui curent constant, independent de variațiile în alimentarea circuitului sau în condițiile externe. Acest lucru este important pentru a obține măsurători precise și pentru a asigura o reglare constantă a nivelului apei.

Tensiunea V_{ce} de aproximativ 2-3V este în general un prag adecvat pentru a asigura funcționarea tranzistoarelor în regiunea activă. În ecuația (1) vom determina curentul maxim ce trece prin oglindă:

$$I_{max} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_{senzor-max}} = \frac{V_{CC} - 2V}{R_{senzor-max}} = \frac{17V - 2V}{35k\Omega} = \frac{15V}{35k\Omega} = 0.42mA \quad (1.1)$$

$$V_{CC} = V_{R3} + V_{BE} = 17V \quad (1.2)$$

Astfel, vom afla rezistența în ecuația (1.3):

$$R_3 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{max}} = \frac{17V - 0,7V}{0,42mA} = \frac{16,3V}{0,42mA} = 38,8k\Omega \quad (1.3)$$

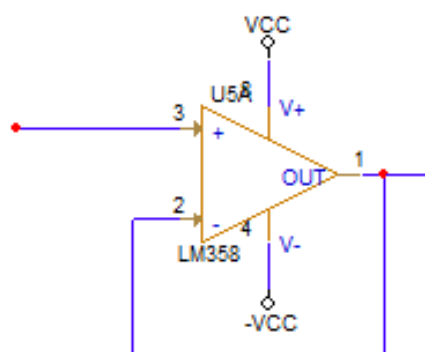
În ecuațiile (1.4) și (1.5) vom determina intervalul tensiunii de ieșire V_{out1} :

$$V_{out1-max} = V_{CC} - I_{max} \cdot R_{senzor-min} = 17V - 0,42mA \cdot 15k\Omega = 17V - 6,3V = 10,7V \quad (1.4)$$

$$V_{out1-min} = V_{CC} - I_{max} \cdot R_{senzor-max} = 17V - 0,42mA \cdot 35k\Omega = 17V - 14,7V = 2,3V \quad (1.5)$$

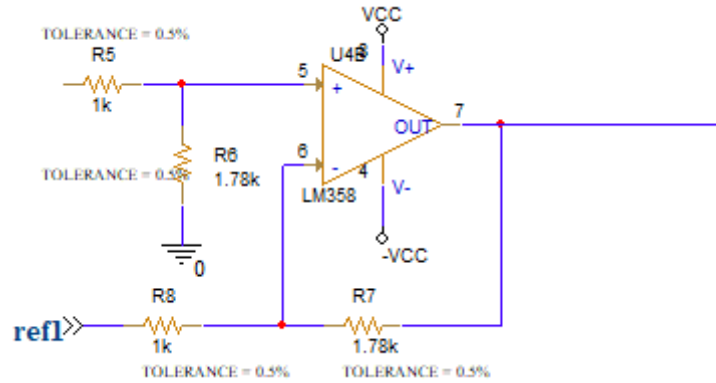
$$\Rightarrow V_{out1} \in [2,3V ; 10,7V]$$

4.2. Repetorul de tensiune



În ansamblu, repetorul de tensiune are rolul de a amplifica, compara, controla și menține stabilitatea circuitului de reglare al nivelului apei într-un rezervor. Prin intermediul acestui component, se realizează măsurarea, reglarea și controlul nivelului apei pentru a asigura un funcționament eficient și sigur al sistemului.

4.3. A.O. Diferențial



A.O. diferențial amplifică diferența de tensiune dintre semnalele provenite de la senzorul de nivel al apei. Prin amplificarea diferențială, acesta permite o măsurare mai precisă și sensibilă a variației nivelului apei în rezervor. De obicei, semnalul de ieșire al senzorului de nivel este de amplitudine mică, iar A.O. diferențial amplifică această diferență de tensiune pentru a fi utilizată în etapele ulterioare ale circuitului.

Totodată, poate fi utilizat pentru a compara diferența de tensiune amplificată cu o valoare de referință prestabilită. Aceasta permite detectarea și cuantificarea diferenței dintre nivelul actual al apei și nivelul dorit. Pe baza acestei diferențe, se pot iniția acțiuni de reglare pentru a menține nivelul apei în intervalul dorit.

În primul rând, după cum ne spune cerința, trebuie să extindem domeniul la $0 - (V_{cc}-2V)$:

$$V_{out1} \in [2,3V ; 10,7V] \rightarrow \text{extindem } V_{out2} \in [0V ; 15V] \quad (2.1)$$

$$V_{out2} = V_{out1} + V_{ref} = \frac{R6}{R6 + R5} \cdot \left(1 + \frac{R7}{R8}\right) \cdot V_{out1} - \frac{R7}{R8} \cdot V_{ref} \quad (2.2)$$

$$\text{alegem: } \begin{matrix} R_5 = R_8 \\ R_6 = R_7 \end{matrix} \quad (2.3)$$

$$\text{Din relația (2.3)} \Rightarrow V_{out2} = \frac{R7}{R8} \cdot (V_{out1} - V_{ref}) \quad (2.4)$$

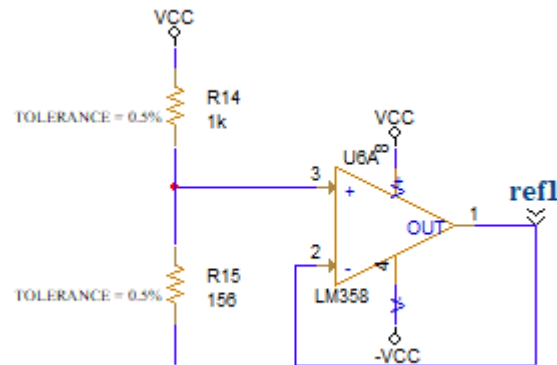
$$\begin{matrix} V_{out1-min} \\ V_{out2-min} \end{matrix} = \begin{matrix} 2,3V \\ 0V \end{matrix} \Rightarrow \text{din (2.4): } V_{out1} - V_{ref} = 0V \Rightarrow V_{ref} = 2,3V \quad (2.5)$$

$$\text{alegem: } R_5 = R_8 = 1k\Omega \quad (2.6)$$

$$\Rightarrow \frac{R7}{R8} = \frac{V_{out2-max}}{V_{out1-max} - V_{ref}} = \frac{15V}{10,7V - 2,3V} = \frac{15V}{8,4V} = 1,78 \quad (2.7)$$

$$\text{din relația (2.6) și (2.7) } \Rightarrow R_7 = R_8 \cdot 1,78 \Rightarrow R7 = 1,78k\Omega = R6 \quad (2.8)$$

4.3.1. Divizorul de tensiune A.O.



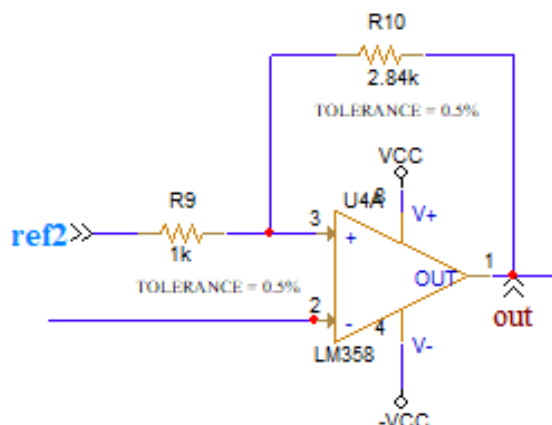
$$V_{ref} = \frac{R_{14}}{R_{14} + R_{15}} \cdot V_{CC} = 2,3V$$

$$\frac{R_{14}}{R_{14} + R_{15}} = \frac{V_{ref}}{V_{CC}} = \frac{2,3V}{17V} = 0,135 \quad (3.1)$$

$$\text{din relația (3.1)} \Rightarrow \begin{matrix} R_{14} = 1k\Omega \\ R_{15} = 156\Omega \end{matrix}$$

Prin urmare, divizorul de tensiune joacă un rol esențial în circuitul de reglare al nivelului apei, furnizând un nivel de referință adecvat și adaptând semnalul de intrare la intervalul de tensiune dorit pentru amplificatorul operațional diferențial. Aceasta ajută la obținerea unei funcționări corecte și precise a sistemului de reglare al nivelului apei din rezervor.

4.4. Comparatorul inversor



Comparatorul inversor are un rol important într-un circuit de reglare al nivelului apei dintr-un rezervor. Acesta îndeplinește următoarele funcții:

- *Compararea nivelului apei:* Comparatorul inversor compară nivelul apei măsurat cu o valoare de referință prestabilită. Semnalul de intrare provine de obicei de la un senzor de nivel al apei, iar valoarea de referință poate fi stabilită pentru a indica nivelul dorit sau pragul de alarmă.
- *Generarea semnalului de control:* Comparatorul inversor generează un semnal de control pe baza rezultatului comparației. Dacă nivelul apei este mai mare decât valoarea de referință, semnalul de control va indica oprirea sau reducerea unei pompe sau a unui sistem de alimentare cu apă. În caz contrar, semnalul de control va declanșa pornirea sau creșterea fluxului de apă pentru a menține nivelul dorit în rezervor.
- *Protecția împotriva depășirii nivelului:* Comparatorul inversor poate fi utilizat pentru a monitoriza nivelul maxim al apei din rezervor. Atunci când nivelul apei atinge sau depășește această valoare, semnalul de control generat de comparator poate declanșa oprirea completă a alimentării cu apă sau poate activa un sistem de evacuare a apei pentru a preveni supraumplerea sau scurgerile.

În concluzie, comparatorul inversor este esențial în circuitul de reglare al nivelului apei, furnizând comparația și semnalul de control necesare pentru a menține nivelul dorit în rezervor. Prin intermediul acestuia, se poate realiza un control precis și eficient al fluxului de apă și se poate asigura funcționarea optimă a sistemului de reglare al nivelului apei.

În primul rând, vom calcula pragurile comparatorului, folosind regula de trei simplă:

$$100\text{ cm} \dots\dots\dots V_{PJ} \quad (4.1)$$

$$500\text{ cm} \dots\dots\dots V_{CC} - 2V$$

$$\text{din (4.1)} \Rightarrow V_{PJ} = \frac{(V_{CC} - 2V) \cdot 100\text{cm}}{500\text{cm}} = \frac{15V}{5} = 3V \quad (4.2)$$

$$400\text{ cm} \dots\dots\dots V_{PS} \quad (4.3)$$

$$500\text{ cm} \dots\dots\dots V_{CC} - 2V$$

$$\text{din (4.3)} \Rightarrow V_{PS} = \frac{(V_{CC} - 2V) \cdot 400\text{cm}}{500\text{cm}} = \frac{4 \cdot 15V}{5} = 12V \quad (4.4)$$

$$V_{PJ} = \frac{R_9}{R_9 + R_{10}} \cdot (-V_{CC}) + \frac{R_{10}}{R_9 + R_{10}} \cdot V_{ref} \quad (4.5)$$

$$V_{PS} = \frac{R_9}{R_9 + R_{10}} \cdot (+V_{CC}) + \frac{R_{10}}{R_9 + R_{10}} \cdot V_{ref} \quad (4.6)$$

Dacă scădem relațiile (4.6) și (4.5), vom obține:

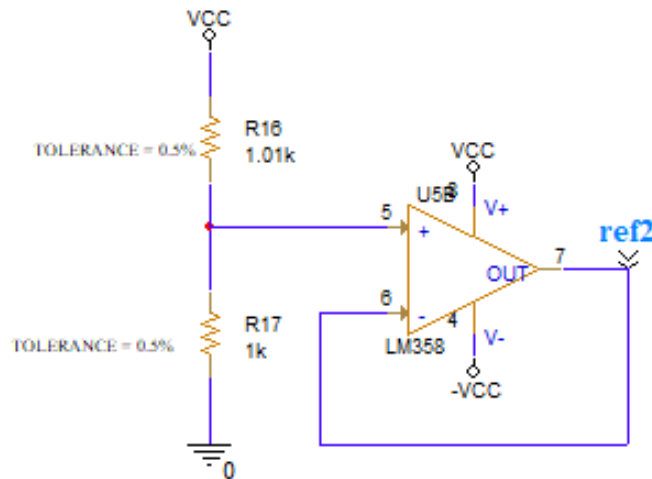
$$V_{PS} - V_{PJ} = \frac{2 \cdot R_9}{R_9 + R_{10}} \cdot V_{CC} \quad (4.7)$$

$$\Rightarrow 12V - 3V = \frac{2 \cdot R_9}{R_9 + R_{10}} \cdot 17V$$

$$\Rightarrow \frac{R_9}{R_9 + R_{10}} = \frac{9V}{2 \cdot 17V} = \frac{9V}{34V} = 0,26 \quad (4.8)$$

Alegem $R_9 = 1k\Omega \Rightarrow R_{10} = 2,84k\Omega$

4.4.1 Divizorul de tensiune C.



Furnizează un nivel de referință adecvat, adaptând intervalul de tensiune și ajustând sensibilitatea comparatorului. Aceasta contribuie la asigurarea unui control precis și eficient al nivelului apei în rezervor și la funcționarea corectă a întregului sistem de reglare.

Dacă adunăm relațiile (4.6) și (4.5), vom obține tensiunea de referință:

$$V_{PS} + V_{PJ} = \frac{2 \cdot R_{10}}{R_9 + R_{10}} \cdot V_{ref} \quad (5.1)$$

$$\Rightarrow V_{ref} = \frac{V_{PS} + V_{PJ}}{2 \cdot \frac{R_{10}}{R_9 + R_{10}}} = \frac{12V + 3V}{2 \cdot \frac{2,84k\Omega}{3,84k\Omega}} = \frac{15V}{1,47} = 10,2V \quad (5.2)$$

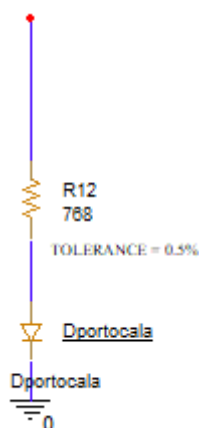
Acum urmează să calculăm rezistențele divizorului de tensiune, astfel:

$$V_{ref} = \frac{R_{17}}{R_{17} + R_{16}} \cdot V_{CC} \Rightarrow \frac{R_{17}}{R_{17} + R_{16}} = \frac{V_{ref}}{V_{CC}} = \frac{10,2V}{17V} = 0,6 \quad (5.3)$$

$$\text{alegem } R_{17} = 1k\Omega \Rightarrow R_{16} = 666,67\Omega \quad (5.4)$$

$$\text{Din cauza erorilor de simulare, vom alege: } R_{16} = 1.01k\Omega \quad (5.5)$$

4.5. LED-UL



LED-ul are un rol multifuncțional într-un circuit de reglare al nivelului apei dintr-un rezervor, asigurând indicarea vizuală a nivelului apei, semnalizarea alarmelor, verificarea funcționării circuitului și economisirea energiei. Prin intermediul LED-urilor, se poate asigura monitorizarea eficientă și intuitivă a nivelului apei și se poate contribui la funcționarea corectă și sigură a sistemului de reglare.

Calcularea rezistenței:

$$R_{12} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_{LED}} \quad (6.1)$$

Pentru determinarea tensiunii și a curentului din LED, ne vom folosi de fișa de catalog a LED-ului portocaliu de la Multicomp [5]:

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Test
Luminous Intensity	I _v	-	9.8	-	mcd	I _f = 20mA
Peak Emission Wavelength	λ _P	-	635	-	nm	Measurement at Peak
Dominant Wavelength	λ _D	-	625	-		I _f = 20mA-
Operating Voltage	V _{dd}	3	5	10	V	-
Blinking Frequency	F _{blk}	2	2.4	2.8	Hz	-
Reverse Current	I _r	-	-	100	μA	V _R = 5V

Figura 1. Electrical/Optical Characteristics at T_a = 25°C

Din Figura 1. reiese că I_{LED} = 20mA, iar din Figura 2. că V_{LED} = 1,65V

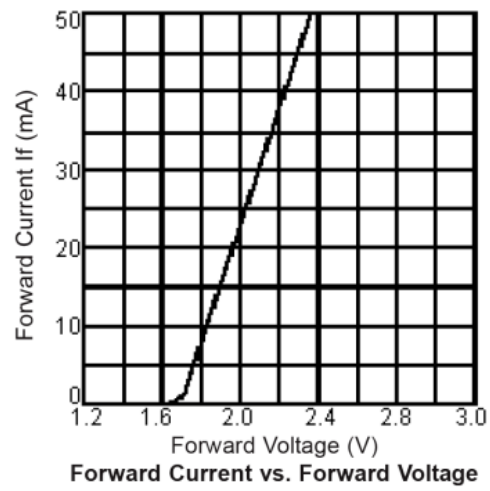
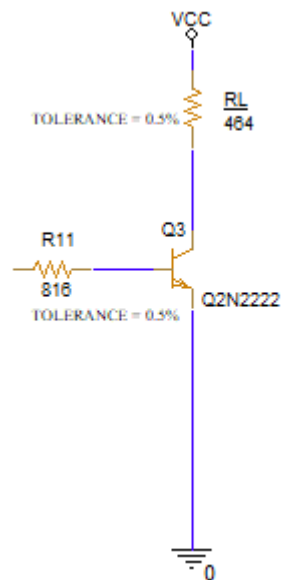


Figura 2. Orange (GaAsP/CaP $\lambda_P = 635\text{nm}$)

$$\begin{aligned}
 \text{Astfel, din (6.1)} \Rightarrow R_{12} &= \frac{17V - 1,65V}{20mA} = \frac{15,35V}{20mA} \\
 &= 767,5\Omega \sim 768\Omega \text{ (valoare standardizată)} \quad (6.2)
 \end{aligned}$$

4.6. Releul



Releul poate fi utilizat pentru a controla funcționarea pompei care adaugă sau elimină apă în rezervor. Atunci când nivelul apei scade sub un prag minim sau depășește un prag maxim, releul poate comanda pornirea sau oprirea pompei în funcție de necesități. Acest lucru asigură menținerea nivelului optim al apei în rezervor și evitarea unor probleme cum ar fi supraîncărcarea sau golirea rezervorului.

Rezistența R11 are un rol de protecție și se calculează astfel:

$$R_{11} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{LED}} = \frac{17V - 0,7V}{20mA} = \frac{16,3V}{20mA} = 815\Omega \sim 816\Omega \text{ (valoare standardizată)} \quad (7.1)$$

Pentru valoarea rezistenței a releului, am căutat un releu electromagnetic ce poate îngloba 17V (V_{CC} -ul). Astfel, am găsit un releu electromagnetic de 24V cu o rezistență a bobinei de 465 de ohmi. [6]

5. Simulari

5.1. Senzorul de nivel – Oglinda de curent

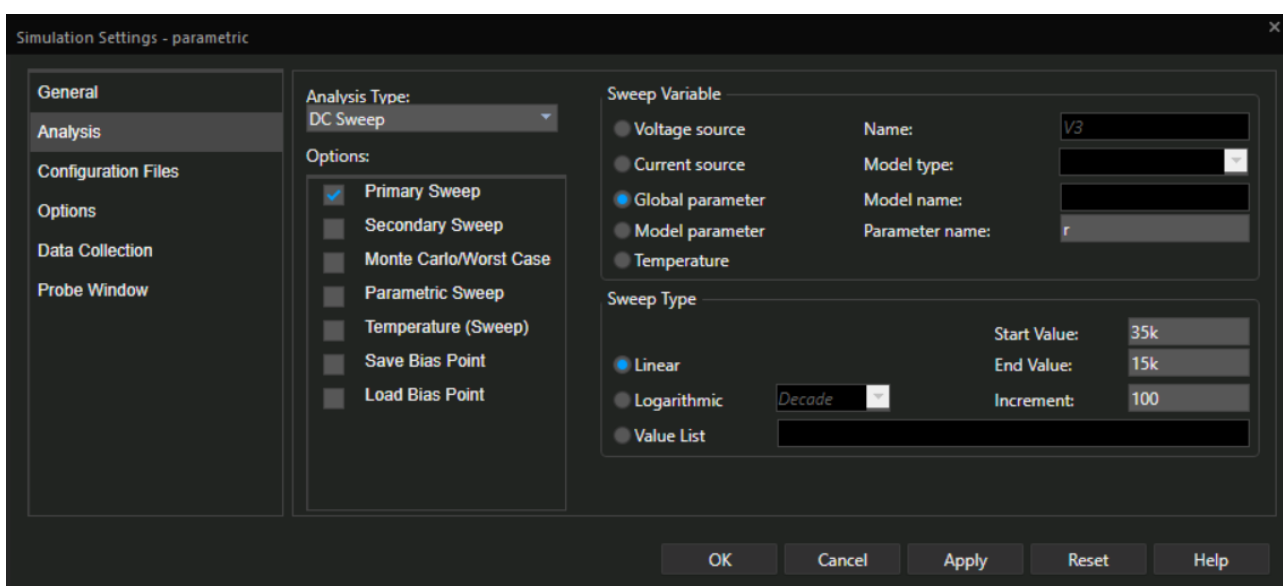
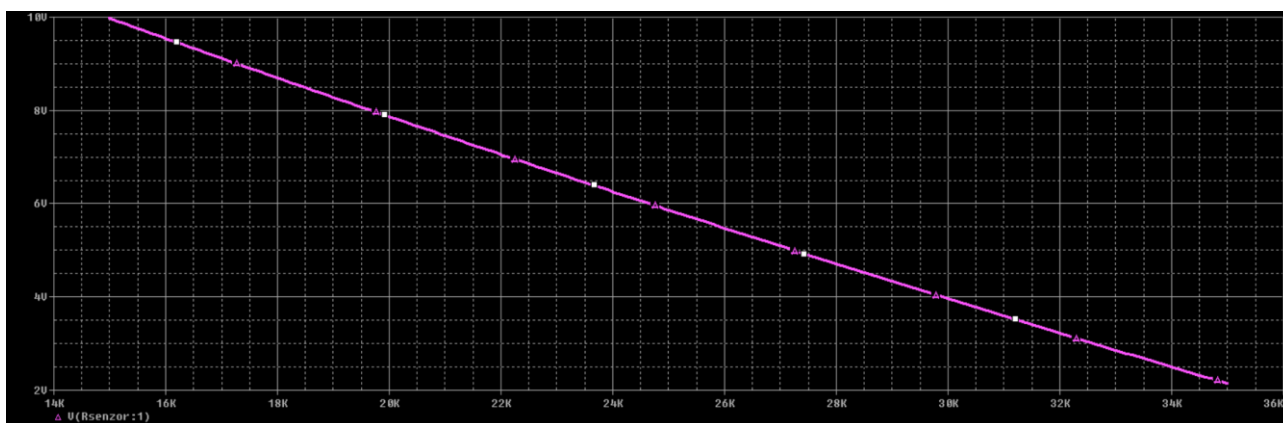


Figura 3. Setarea simulării



	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2		Y1(Cursor1) - Y2(Cursor2)	-7.7070			
		X Values	34.900K	15.200K	19.700K		Y1 - Y1(Cursor1)	Y2 - Y2(Cursor2)	Max Y	Min Y	Avg Y
	CURSOR 1,2	V(Rsenzor:1)	2.1804	9.887	-7.7070		0.000	0.000	9.887	2.1804	6.0339

Figura 4. Variația liniară a tensiunii în funcție de parametrul global “r”

$$V_{out1} \in [2,3 V ; 10,7 V] \text{ de la punctele (1.4), (1.5)}$$

5.2. Repetorul de tensiune

Vom folosi aceeași analiză parametrică și vom obține următoarea simulare:

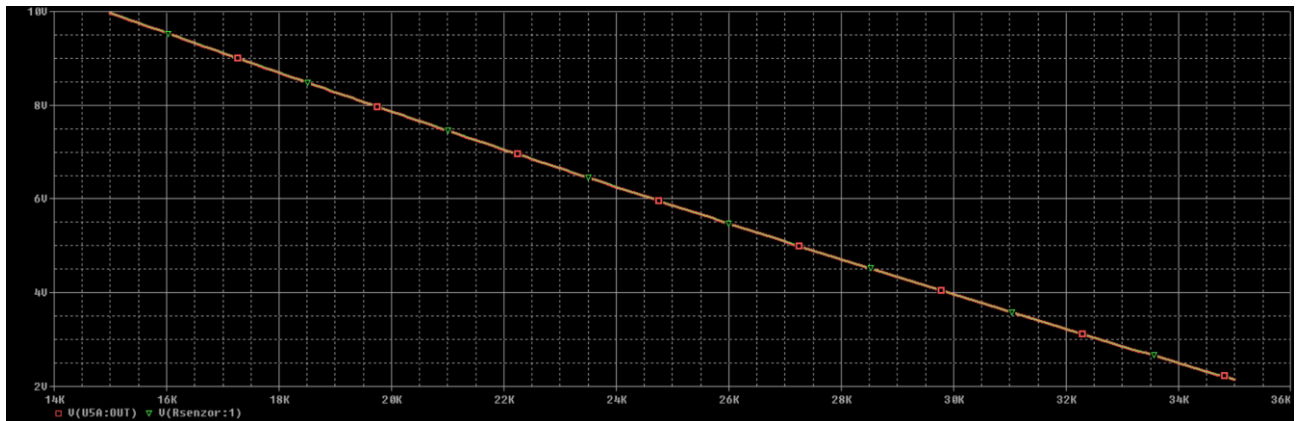


Figura 5. Variația tensiunii în repetor

Putem observa că tensiunea care va intra în repetor va fi aceeași cu cea care iese din acesta.

5.3. A.O. Diferențial

Vom folosi aceeași analiză parametrică și vom obține următoarea simulare:

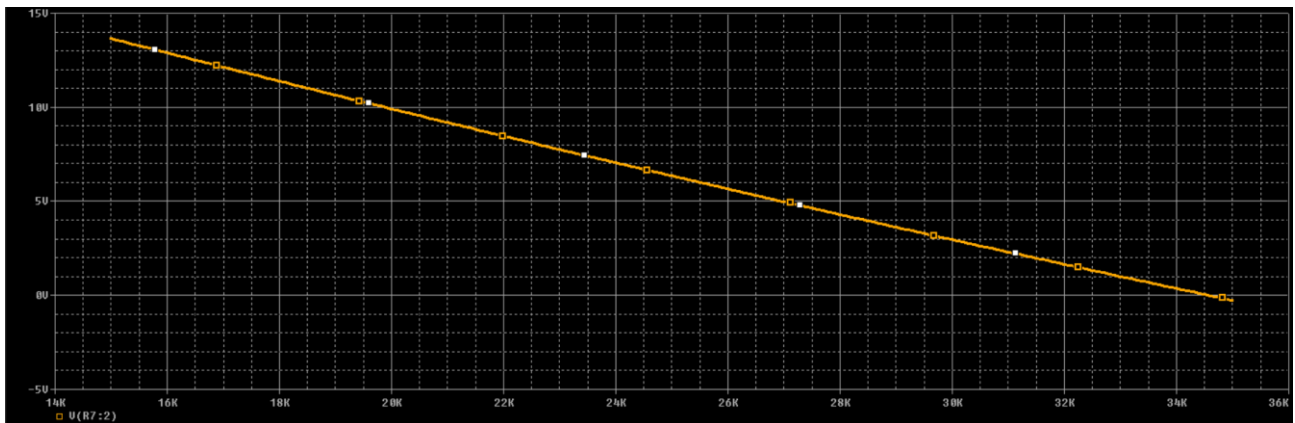


Figura 6. Variația tensiunii V_{out2} (a domeniului extins $[0—V_{CC}-2V]$)

Conform $V_{out1} \in [2,3V ; 10,7V] \rightarrow extindem V_{out2} \in [0V ; 15V]$ (2.1)

5.3.1. Divizorul de tensiune A.O.

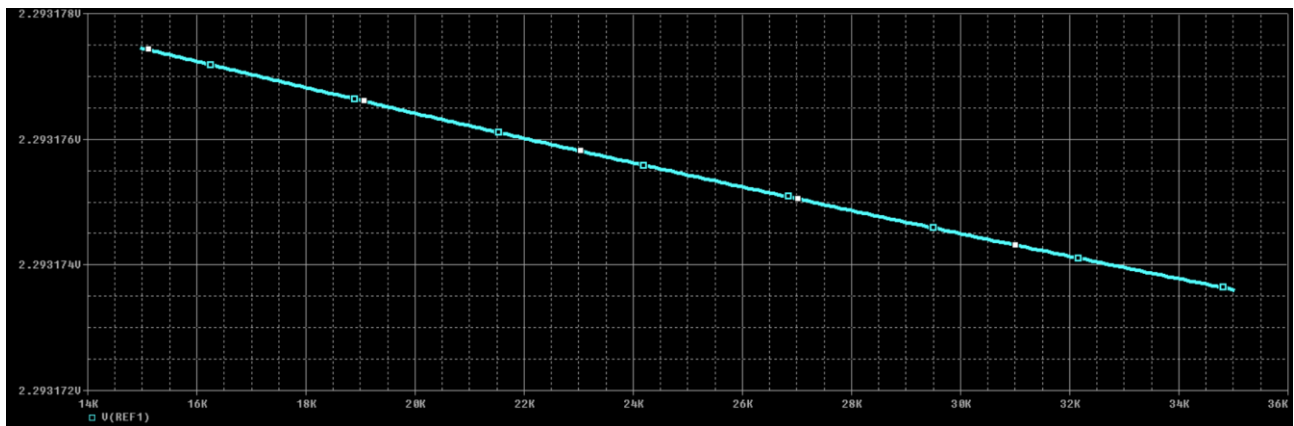
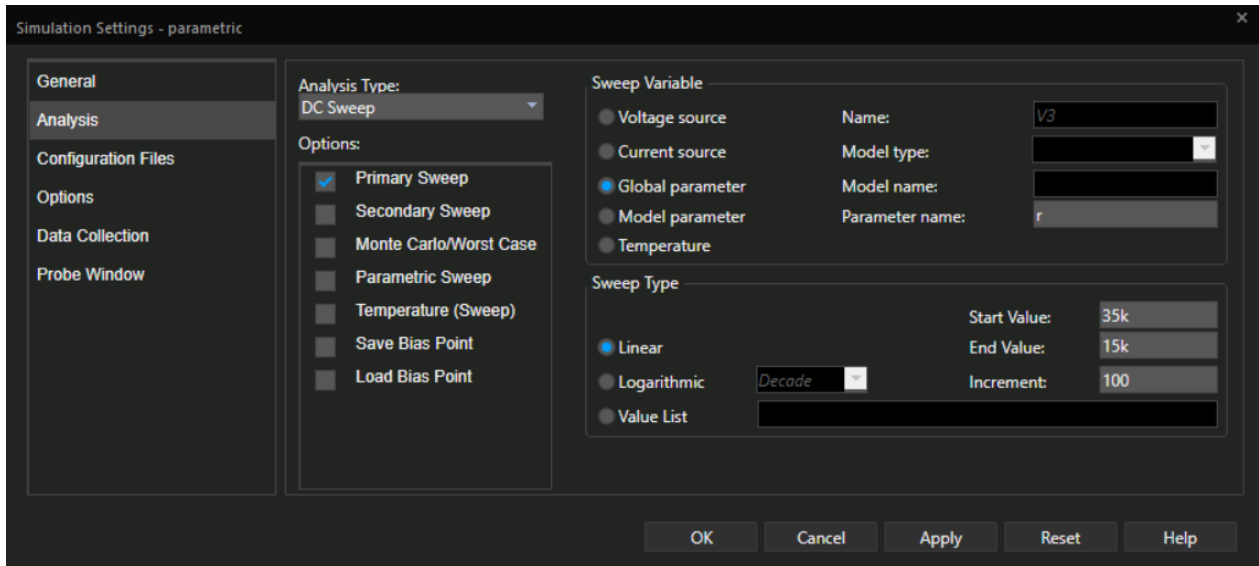


Figura 7. Tensiunea de referință de la ieșirea divizorului de tensiune

Amintim: $V_{ref} = \frac{R_{14}}{R_{14} + R_{15}} \cdot V_{CC} = 2,3V$

5.4. Comparatorul inversor

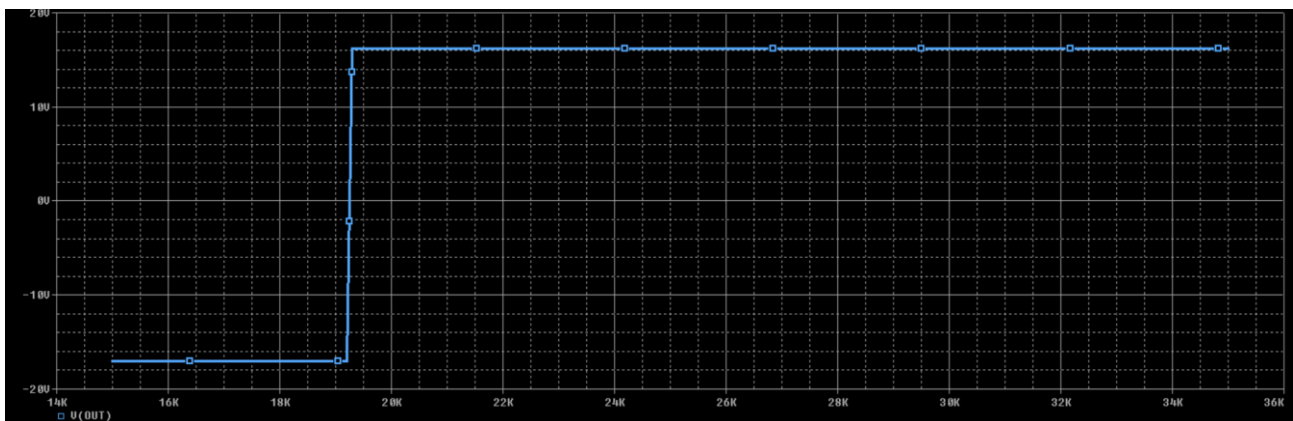
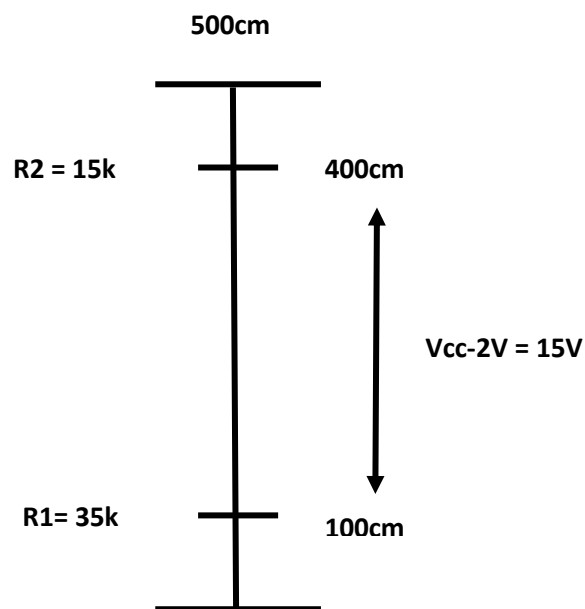


Figura 8. Bascuarea de la -VCC la +VCC la valoarea rezistenței R_{shigh}

Verificare:



$$1cm = \frac{35k - 15k}{500 \cdot 10^{-2}} = \frac{20k}{5} = 4k \quad (8.1)$$

$$R_{shigh} = 35k\Omega - 4k \cdot 400cm = 19k\Omega \sim 19.172k\Omega \text{ (simulare)} \quad (8.2)$$

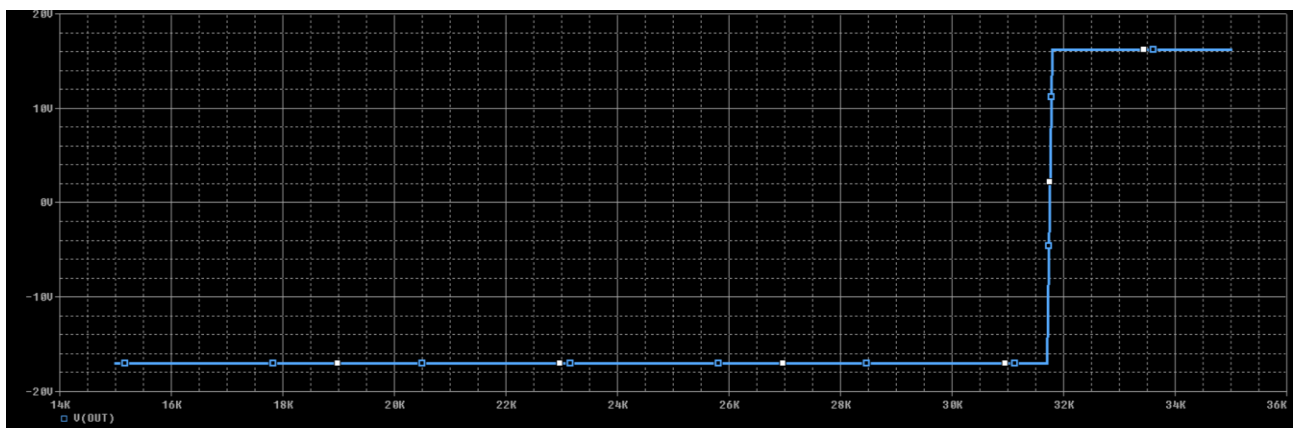
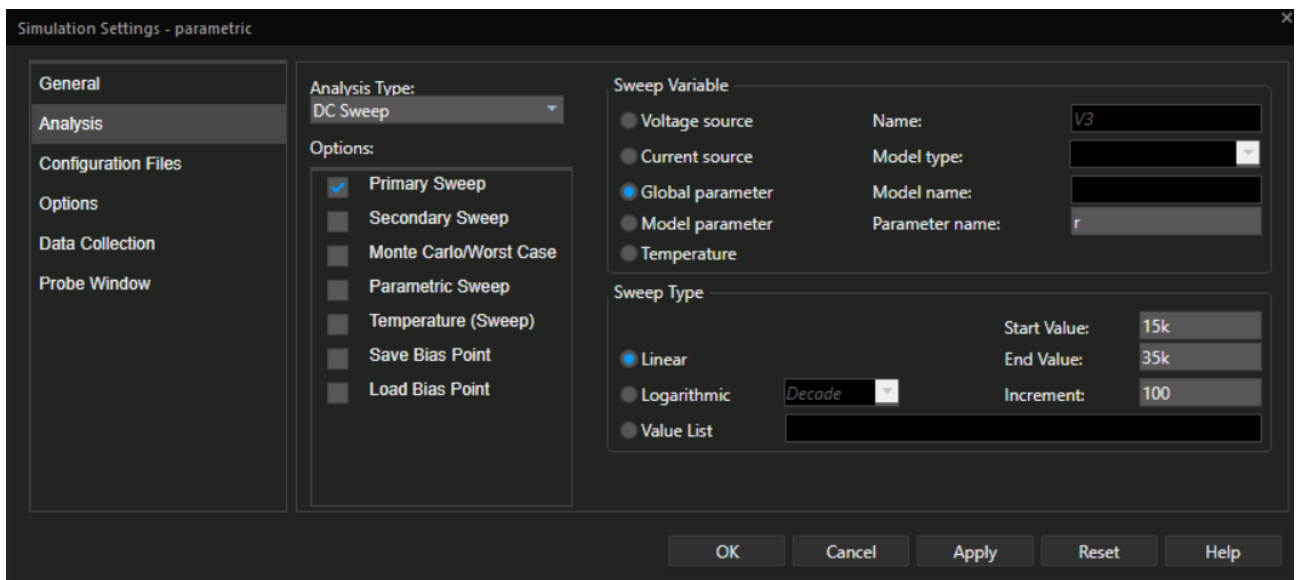


Figura 9. Bascularea de la $-V_{CC}$ la $+V_{CC}$ la valoarea rezistenței R_{slow}

Verificare:

$$R_{slow} = 35k\Omega - 4k \cdot 100cm = 31k\Omega \sim 31.75k\Omega (simulare) \quad (8.3)$$

5.4.1 Divizorul de tensiune C.

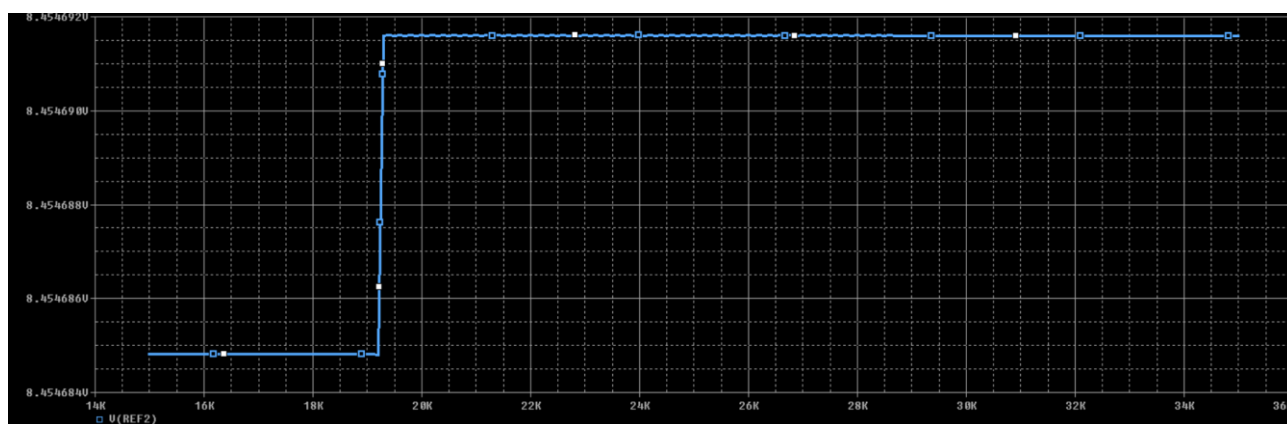


Figura 10. Tensiunea de referință de la ieșirea divizorului de tensiune

Datorită faptului că am modificat rezistența R_{16} cu una mai mare, tensiunea de referință va fi modificată și ea și nu va ajunge până la 10,2V.

4.5. LED-UL

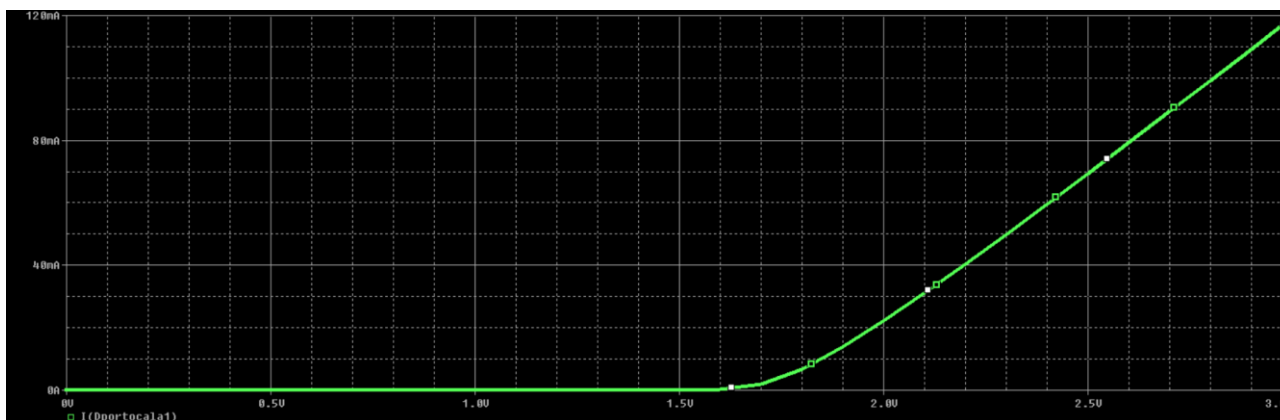
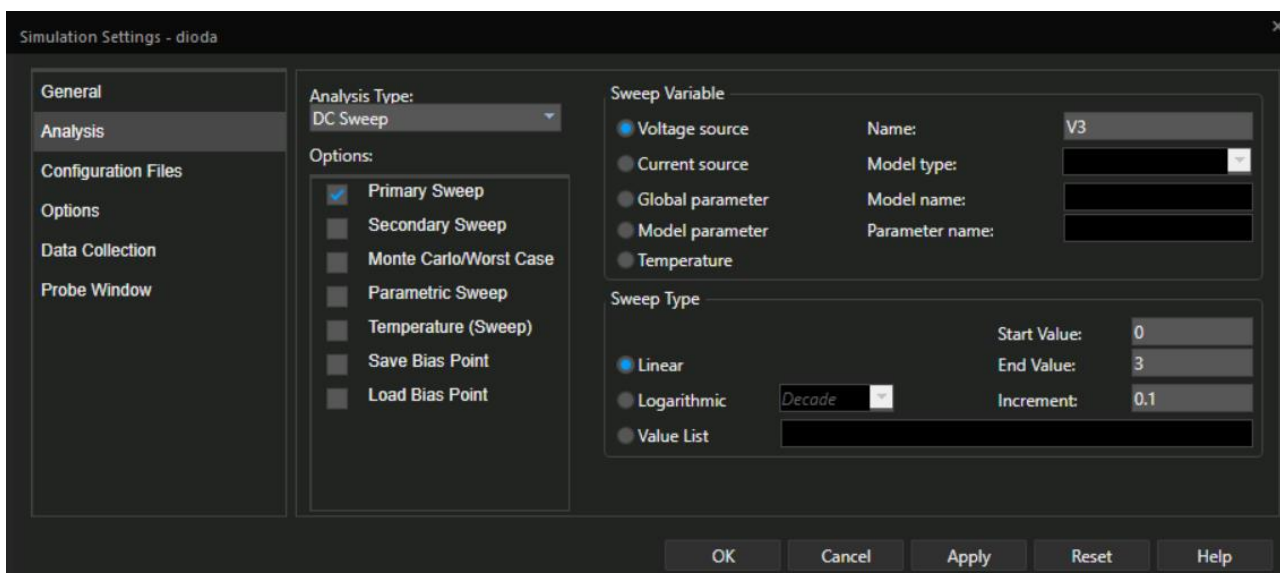


Figura 11. Variația curentului în funcție de tensiunea aplicată diodei.

6. Analyze static

6.1. Analiza Monte-Carlo

Simulation Settings - montecarlo

General
Analysis
Configuration Files
Options
Data Collection
Probe Window

Analysis Type:
DC Sweep

Options:

- ☒ Primary Sweep
- ☐ Secondary Sweep
- ☒ Monte Carlo/Worst Case
- ☐ Parametric Sweep
- ☐ Temperature (Sweep)
- ☐ Save Bias Point
- ☐ Load Bias Point

Sweep Variable

☐ Voltage source
☐ Current source
☒ Global parameter
☐ Model parameter
☐ Temperature

Name:
Model type:
Model name:
Parameter name:

Sweep Type

☒ Linear
☐ Logarithmic
☐ Value List

Start Value:
End Value:
Increment:

OK Cancel Apply Reset Help

Simulation Settings - montecarlo

General
Analysis
Configuration Files
Options
Data Collection
Probe Window

Analysis Type:
DC Sweep

Options:

- ☒ Primary Sweep
- ☐ Secondary Sweep
- ☒ Monte Carlo/Worst Case
- ☐ Parametric Sweep
- ☐ Temperature (Sweep)
- ☐ Save Bias Point
- ☐ Load Bias Point

Monte Carlo

☒ Monte Carlo
☐ Worst-case/Sensitivity

Enable PSpice AA support in legacy
Output Variable:

Monte Carlo Options

Number of runs:
Use Distribution:
Random number seed: [1.32767]
Save Data From: runs

Worst-case/Sensitivity Options

Vary Device that have tolerances
Limit devices to type(s)
☐ Save data from each sensitivity run

MC Load Save ... More Settings ...

OK Cancel Apply Reset Help

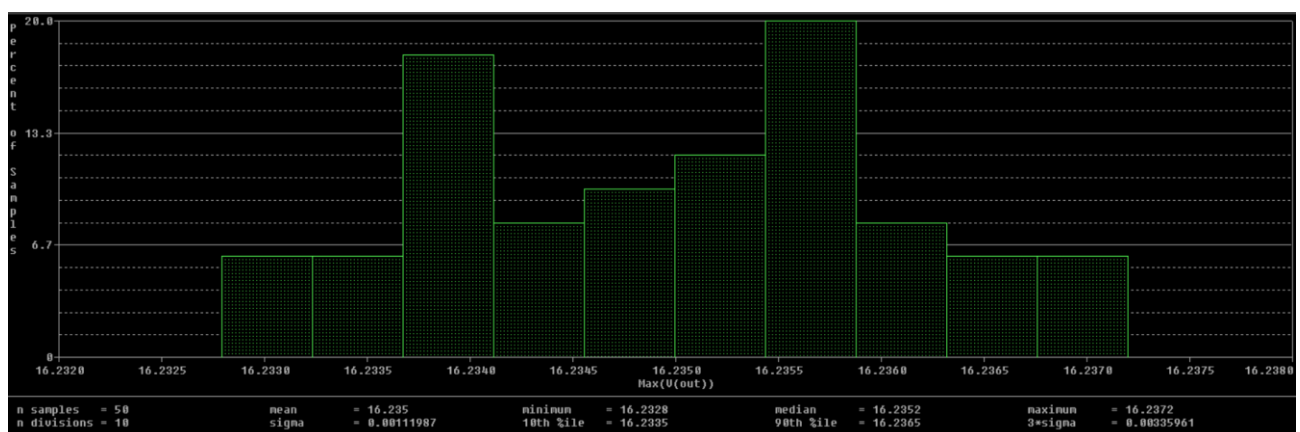
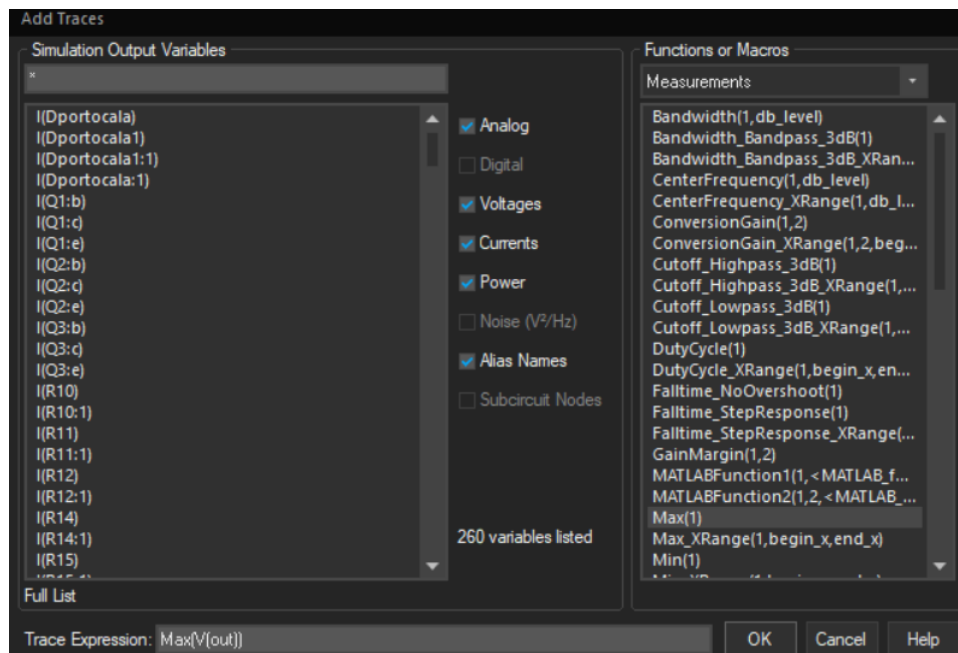
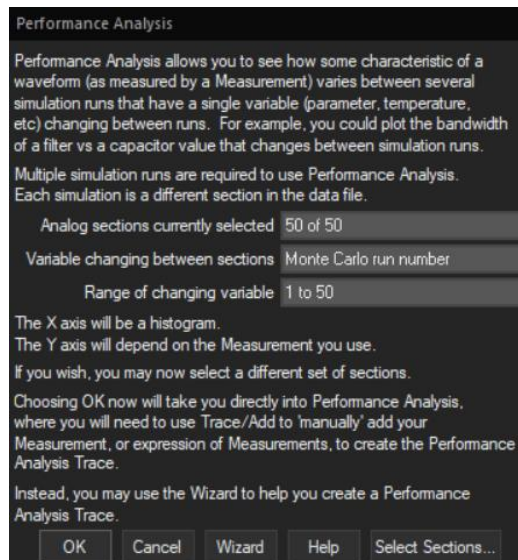
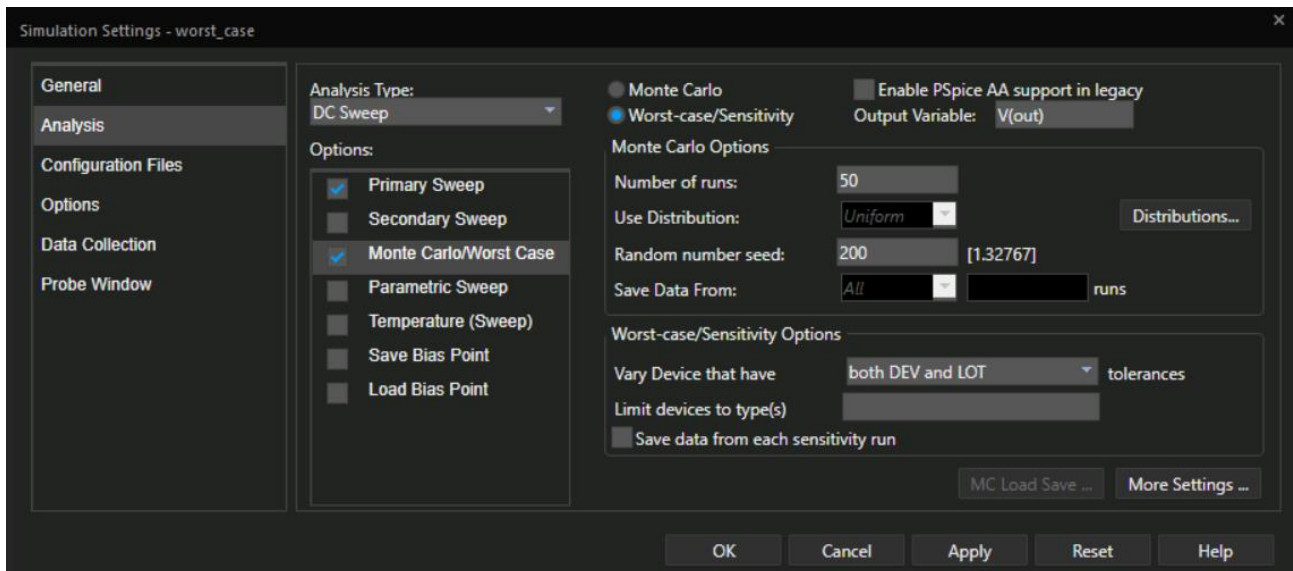


Figura 12. Analiza Monte Carlo

În analiza Monte Carlo ar trebui să observăm variabilitatea rezultatelor în funcție de variația parametrilor, distribuția rezultatelor și sensibilitatea circuitului la aceste variații.

6.2. Analiza Worst-Case



WORST CASE ALL DEVICES

Device	MODEL	PARAMETER	NEW VALUE
R_R3	R_R3	R	.995 (Decreased)
R_R5	R_R5	R	1.005 (Increased)
R_R6	R_R6	R	.995 (Decreased)
R_R7	R_R7	R	.995 (Decreased)
R_R8	R_R8	R	1.005 (Increased)
R_R9	R_R9	R	1.005 (Increased)
R_R10	R_R10	R	.995 (Decreased)
R_R11	R_R11	R	1.005 (Increased)
R_R12	R_R12	R	1.005 (Increased)
R_RL	R_RL	R	.995 (Decreased)
R_R14	R_R14	R	.995 (Decreased)
R_R15	R_R15	R	1.005 (Increased)
R_R16	R_R16	R	.995 (Decreased)
R_R17	R_R17	R	1.005 (Increased)

**** 05/21/23 22:12:20 **** PSpice 22.1.0 [9 December 2022] **** ID# 0 ****

** Profile: "SCHEMATIC1-Worst_Case" [C:\Miuna\PROJECT_ORCAD\project-pspicefiles\schematic1\worst_case.sim]

**** SORTED DEVIATIONS OF V(OUT) TEMPERATURE = 27.000 DEG C

WORST CASE SUMMARY

Figura 13. Analiza Worst-Case

Analiza Worst-Casel este importantă pentru a ne asigura că sistemul sau algoritmul nostru poate face față tuturor scenariilor posibile și nu va întâmpina probleme majore în condiții extreme.

De asemenea, ne permite să identificăm și să îmbunătățim punctele slabe ale sistemului pentru a asigura o funcționare mai eficientă și fiabilă.

7. Notițe

- Am folosit tranzistorul Q2N2222 deoarece este un tranzistor bipolar de tip NPN, unul dintre cele mai populare și larg disponibile tranzistoare pe piață, are specificații tehnice bune, cum ar fi curentul maxim de colector, curentul de bază, tensiunea maximă colector-emitor și frecvența maximă de tranziție, și are un preț accesibil și este disponibil în variantele standard;
- Am folosit A.O. LM358 deoarece conține două amplificatoare operaționale într-un singur cip, ceea ce îl face ideal pentru aplicații cu mai multe amplificatoare, este alimentat de obicei cu tensiuni de alimentare simetrice ($\pm V_{cc}$), deși poate funcționa și cu o singură tensiune de alimentare pozitivă (V_{cc}) (tensiunea de alimentare tipică variază între 3V și 32V) și oferă o gamă largă de caracteristici de performanță, inclusiv o bandă de trecere mare, un produs de câștig în curent ridicat, o gamă mare de tensiuni de intrare și o impedanță de intrare ridicată.
- Toate rezistențele au o toleranță de 0.5%, conform E192 [4].

8. Bibliografie

- [1] Chindris, G., & Rusu, A. (2001). Proiectare asistată de calculator a circuitelor electronice. Aplicații. Cluj-Napoca: Editura Casa Cărții de Știință.
- [2] Dispozitive Electronice curs 6: COMPARATOARE CU A.O. CU REACȚIE POZITIVĂ
http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/de/DE_Curs6.pdf
- [3] Dispozitive Electronice curs 8: AMPLIFICATOR DIFERENȚIAL ȘI AMPLIFICATOR SUMATOR CU A.O.
http://www.bel.utcluj.ro/dce/didactic/de/DE_Curs8.pdf
- [4] Seria standardizată a rezistențelor:
<http://www.el-component.com/standard-resistor-values-e192>
- [5] Foaie de catalog LED: <https://www.farnell.com/datasheets/1660998.pdf>
- [6] Foaie de catalog releu:
<https://www.tme.eu/ro/details/he24-1a69-03/relee-electromagnetice-reed/meder/>
- [7] Alte asocieri: <https://www.analog.com/en/index.html>

