

**STAN PETRE-FLORIN**

**SERIA A, GRUPA 2122**

**PROIECT**  
**Tehnici CAD**

**CIRCUIT PENTRU CONTROLUL PRESIUNII  
ÎNTR-O CAMERĂ HIPERBARĂ**

**FACULTATEA DE ELECTRONICĂ, TELECOMUNICAȚII  
ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI  
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA**

**Prof. Curs: Prof. Dr. Ing. Ovidiu POP**

**Prof. Laborator: drd. ing. Elena-Mirela Ștețco**

## CUPRINS

<b>1 Cerința de proiectare.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Scheme de proiectare.....</b>	<b>4</b>
2.1 Schema bloc a circuitului .....	4
2.2 Schema electrică a circuitului.....	4
<b>3 Determinarea componentelor .....</b>	<b>5</b>
3.1 Oglinda de curent.....	5
3.2 Repetor de tensiune .....	7
3.3 Amplificator diferential cu AO.....	8
3.4 Comparator inversor .....	11
3.5 Releu cu LED portocaliu .....	15
<b>4 Analiza performanțelor circuitului.....</b>	<b>21</b>
4.1 Analiza Monte Carlo .....	21
4.2 Analiza Worst Case .....	21
<b>5 Bibliografie .....</b>	<b>23</b>

## 1 Cerința de proiectare

Să se proiecteze un sistem de control al presiunii într-o cameră hiperbară. Știind că senzorul de presiune folosit poate să măsoare presiunea liniar în domeniul  $[1230 - 1690][\text{mBar}]$ , sistemul se va proiecta astfel încât presiunea din camera hiperbară să se mențină în intervalul  $[1300 - 1600][\text{mBr}]$ . Senzorul de presiune se va polariza în curent. Variația liniară a rezistenței electrice a senzorului cu presiunea este  $[22\text{k} - 32\text{k}][\Omega]$  și trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul  $[0 - (VCC - 2V)]$ , unde VCC are valoarea de 12V. În camera hiperbară, presiunea este menținută 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 portocaliu.

## 2 Scheme de proiectare

### 2.1 Schema bloc a circuitului

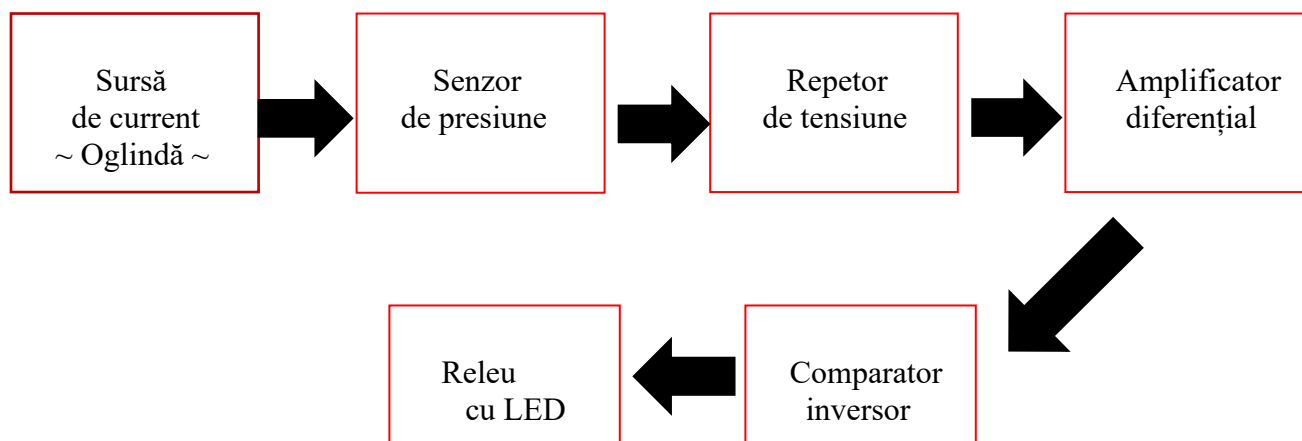


Figura 1. Schema bloc a circuitului

### 2.2 Schema electrică a circuitului

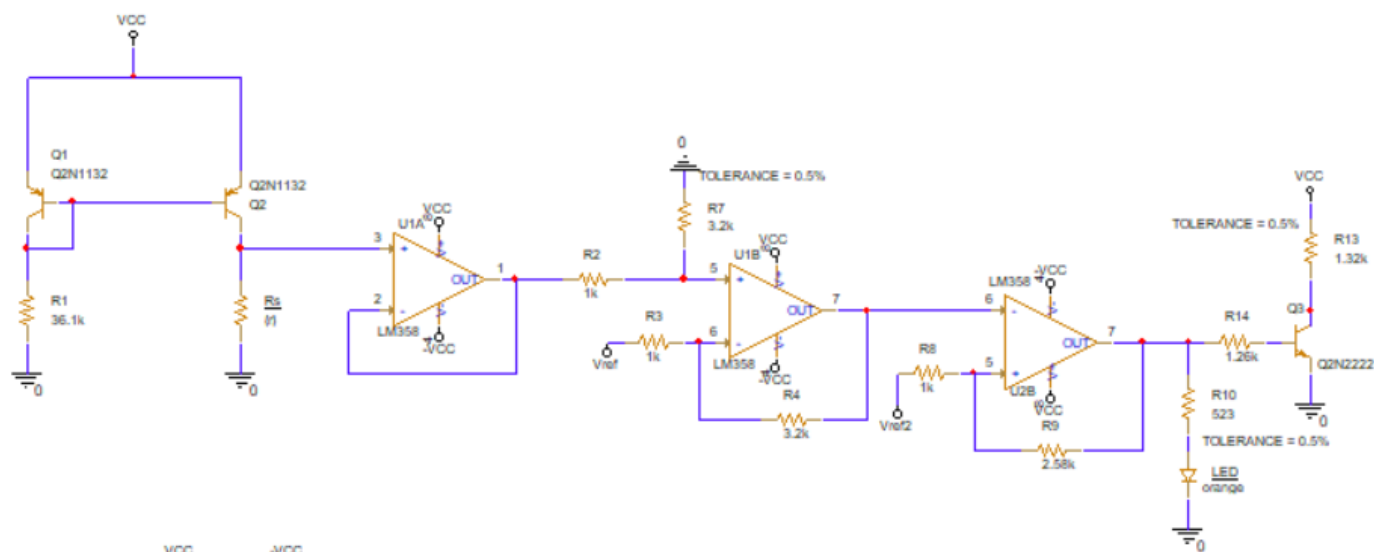


Figura 2. Schema electrică a circuitului

### 3 Determinarea componentelor

#### 3.1 Oglinda de curent

Pentru generarea sursei de curent am contruit o oglindă de curent pentru polarizare cu două tranzistoare pnp, prin care este parcurs curentul la rezistența de sarcină.

Prin utilizarea oglindei de curent cu tranzistoare PNP, se asigură o precizie a curentului de referință, ceea ce este important în aplicațiile de control al presiunii, unde este necesară stabilitatea și precizia măsurătorilor.

Curentul maxim din oglindă rezultă din formula:

$$I_{MAX} = \frac{V_{CC}-2}{R_{s\ MAX}} \quad (1)$$

Unde  $V_{CC}=12V$  și  $R_{s\ MAX}= 32\ k\Omega$  :

$$I_{MAX} = \frac{10}{32k} \quad (2)$$

$$I_{MAX} = 312,5\ \mu A \quad (3)$$

Din relația (3) rezultă valoarea curentului maxim prin oglindă.  
Deci rezistența  $R_1$  este:

$$R_1 = \frac{V_{CC}-V_{BE}}{I_{MAX}} \quad (4)$$

$$R_1 = \frac{12-0.6}{312\mu} = 36.1k \quad (5)$$

Pentru determinarea tuturor rezistențelor am folosit tabelul valorilor nominale de rezistență, conform seriei E192, cu toleranțe de 0.5%.

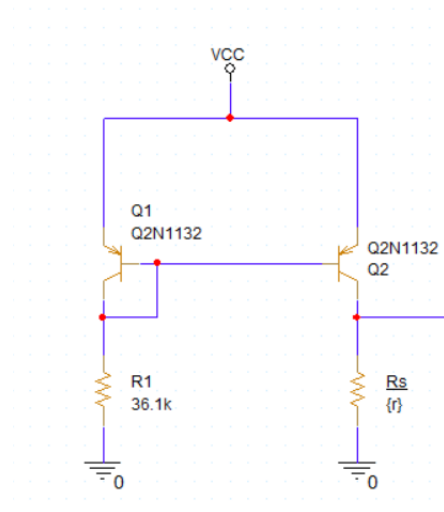


Figura 3. Schema electrică a oglinzii de curent

Tranzistoarele pnp din oglinda de curent au rol în amplificarea și stabilizarea curentului, dar și în simetria și egalitatea curentului între cel de intrare și ieșire. Pentru aceasta am ales tranzistoarele de tip Q2N1132, deoarece respectă limitele maxime admise ale circuitului realizat. Acest model are un curent maxim de colector de 600mA, tensiunea maximă colector-emitor de aproximativ 40V, puterea maximă de disipare de aproximativ 600 mW:

Datorită variației rezistenței de sarcină  $[22k - 32k][\Omega]$ , variația tensiunii de la ieșirea oglinzii se calculează conform relațiilor:

$$V_{MAX} = R_{S\ MAX} - I_{MAX} = 32 * 10^3 * 312,5 * 10^{-6} = 10\ V \quad (6)$$

$$V_{MIN} = R_{S\ MIN} - I_{MAX} = 22 * 10^3 * 312,5 * 10^{-6} = 6,88\ V \quad (7)$$

Din relațiile (6) și (7) rezultă  $V_{OUT}$  oglindă:  $[6,88 - 10]\ V$ .

Pentru verificarea calculelor am lansat o simulare la ieșirea din oglindă.

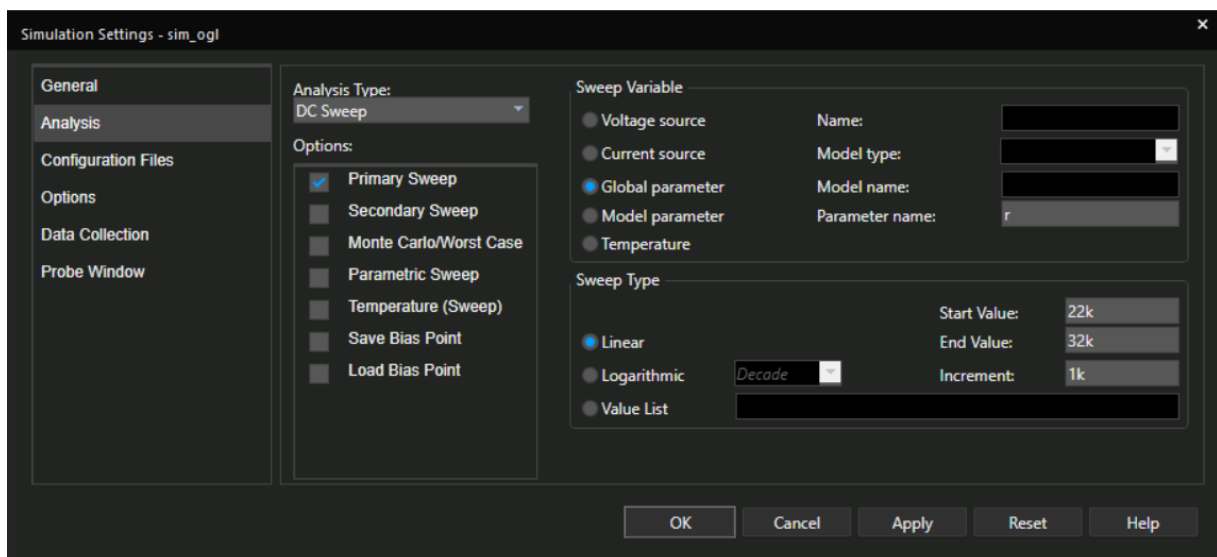


Figura 4. Fereastra de setare a analizei oglinzii de curent

Caracteristica de tensiune la ieșirea oglinzii se poate urmări în graficul de mai jos:

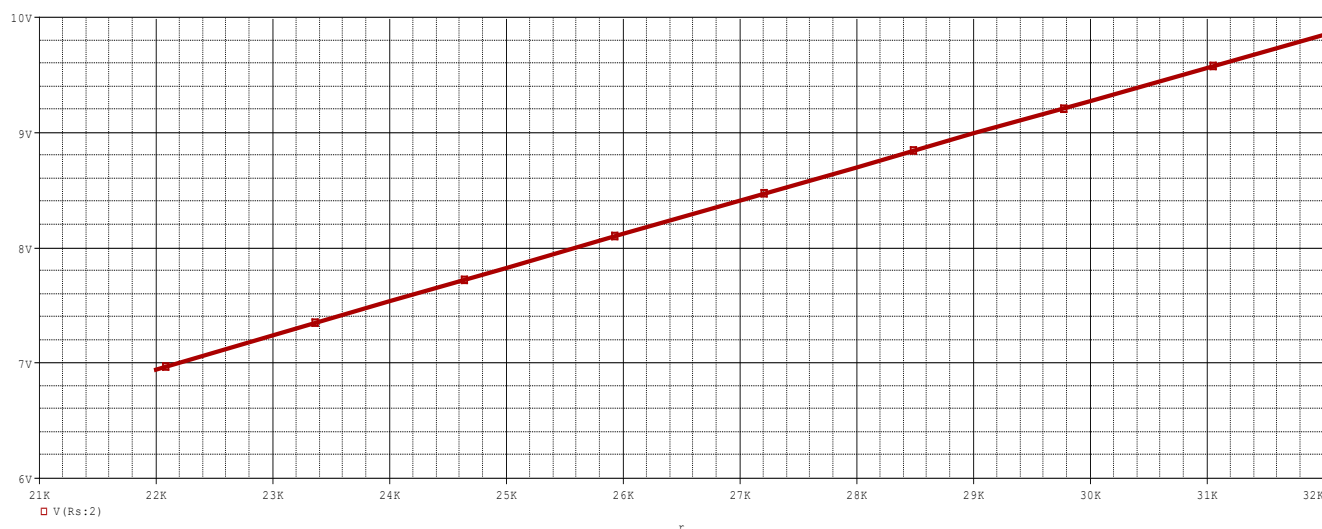


Figura 5. Caracteristica tensiunii la ieșirea din oglinda de curent

### 3.2 Repetorul de tensiune

Avantajul repetorului de tensiune este că poate fi utilizat atunci când adaptarea impedanței sau izolarea circuitului este mai importantă decât amplificarea deoarece el menține tensiunea semnalului.

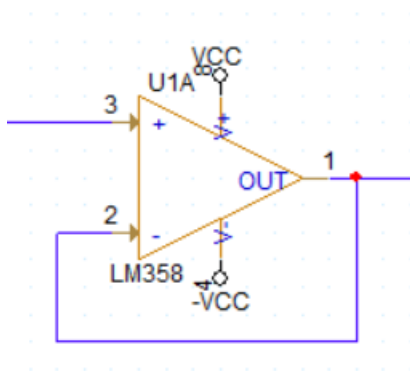


Figura 6. Schema electrică a repetorului de tensiune

În această configurație de circuit neinversor, impedanța de intrare  $R_{IN}$  a crescut la infinit și impedanța de feedback  $R_f$  s-a redus la zero. Ieșirea este conectată înapoi direct la intrarea inversoare negativă astfel că feedback-ul este 100% și rezultă  $V_{OUT}$  oglindă este egal cu  $V_{OUT}$  din repetor, dând un câștig fix de 1 sau unitate.

Pentru amplificatoarele operaționale din circuit am folosit LM358 deoarece este foarte versatil și oferă performanțe bune pentru aplicații, în special pentru circuitul cu camera hiperbară, deoarece are

un curent de repaus foarte mic (de ordinul nanoamperilor), ceea ce îl face potrivit pentru aplicații cu sensibilitate la curent. Tensiunea de alimentare poate varia între 3V și 32V.

### ■ Features

- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation

### ■ Absolute Maximum Ratings $T_a = 25^\circ\text{C}$

$V_{EE}/\text{Gnd}$

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Power Supply Voltages			
Single Supply	$V_{CC}$	32	Vdc
Split Supplies	$V_{CC}, V_{EE}$	$\pm 16$	
Input Differential Voltage Range *1	$V_{IDR}$	$\pm 32$	Vdc
Input Common Mode Voltage Range *2	$V_{ICR}$	-0.3 to 32	Vdc
Output Short Circuit Duration	$t_{SC}$	Continuous	
Junction Temperature	$T_J$	150	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Air	$R_{\theta JA}$	238	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55 to +125	$^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	$T_A$	0 to +70	$^\circ\text{C}$

Figura 7. Specificații LM358

## 3.3 Amplificatorul diferențial

Amplificatorul diferențial amplifică diferența dintre două tensiuni care fac acest tip de circuit A.O. un scăzător.

În circuitul dorit acesta este folosit pentru a amplifica diferența de tensiune dintre senzorul de presiune și tensiunea de referință. Acest amplificator diferențial ajută la obținerea unei măsurători mai precise și la creșterea sensibilității sistemului.



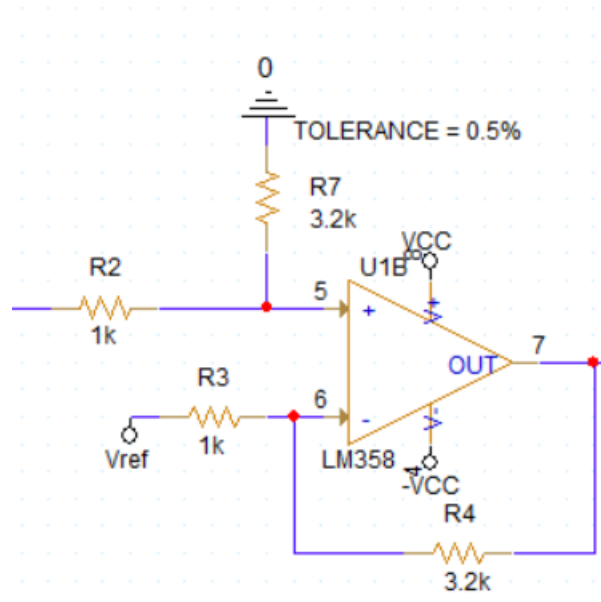


Figura 8. Schema electrică a amplificatorului diferențial

Pornind de la relația:  $V^+ = V^-$ , unde:

$$V^+ = \frac{R_7}{R_2 + R_7} * V_{IN} \quad (8)$$

$$V^- = \frac{\frac{V_{REF} * V_O}{R_3 * R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \quad (9)$$

$$V^- = V^+ : \frac{\frac{V_{REF} * V_O}{R_3 * R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{R_7}{R_2 + R_7} * V_{IN} \quad (10)$$

Pentru calcule aleg  $R_2 = R_3$  și  $R_4 = R_7$ :

$$V_{O1} = \frac{R_4}{R_2} * (V_{IN} - V_{REF}) \quad (11)$$

Știind că  $V_{O1} : [0 - (VCC - 2)] [V]$ , unde  $VCC = 12V$  și  $V_{IN} : [6,88 - 10] [V]$ , rezultă:

Pentru  $V_{O1} = 6,88 V$ :

$$0 = \frac{R_4}{R_2} * (6,88 - V_{REF}) \quad (12)$$

$$0 = 6,88 - V_{REF} \quad (13)$$

$$V_{REF} = 6,88 V \quad (14)$$

Pentru  $V_{O1} = 10 V$ :

$$10 = \frac{R_4}{R_2} * (10 - 6,88) \quad (15)$$

$$\frac{R_4}{R_2} = \frac{10}{3,12} \quad (16)$$

$$R_2 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega \quad (17)$$

$$R_4 = R_7 = 3,1 \text{ k}\Omega \quad (18)$$

Pentru intrarea  $V_{REF}$  am realizat un divizor de tensiune:

$$\frac{R_6}{R_6 + R_5} * VCC = V_{REF} \quad (19)$$

$$\frac{R_6}{R_6 + R_5} = \frac{6,88}{12} = 0,57 \quad (20)$$

$$R_6 = 1,32 \text{ k}\Omega \quad (21)$$

$$R_5 = 1 \text{ k}\Omega \quad (22)$$

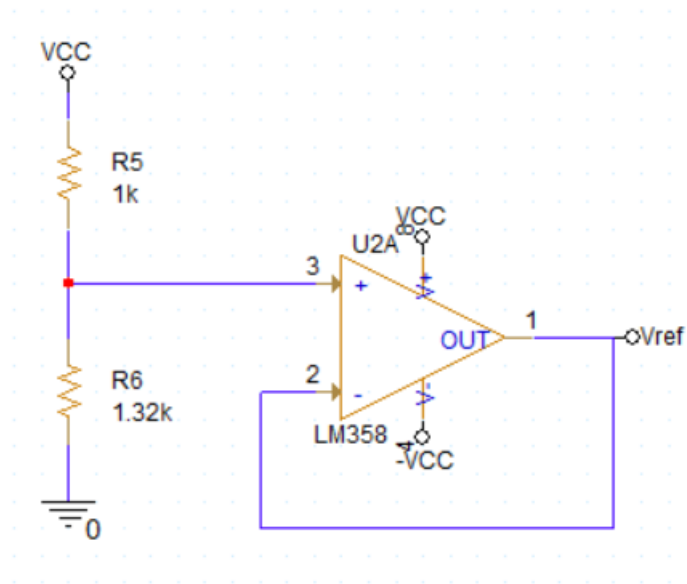


Figura 9. Schema electrică a tensiunii  $V_{REF}$

Pentru verificarea calculelor am lansat o simulare la ieșirea diferențialului:

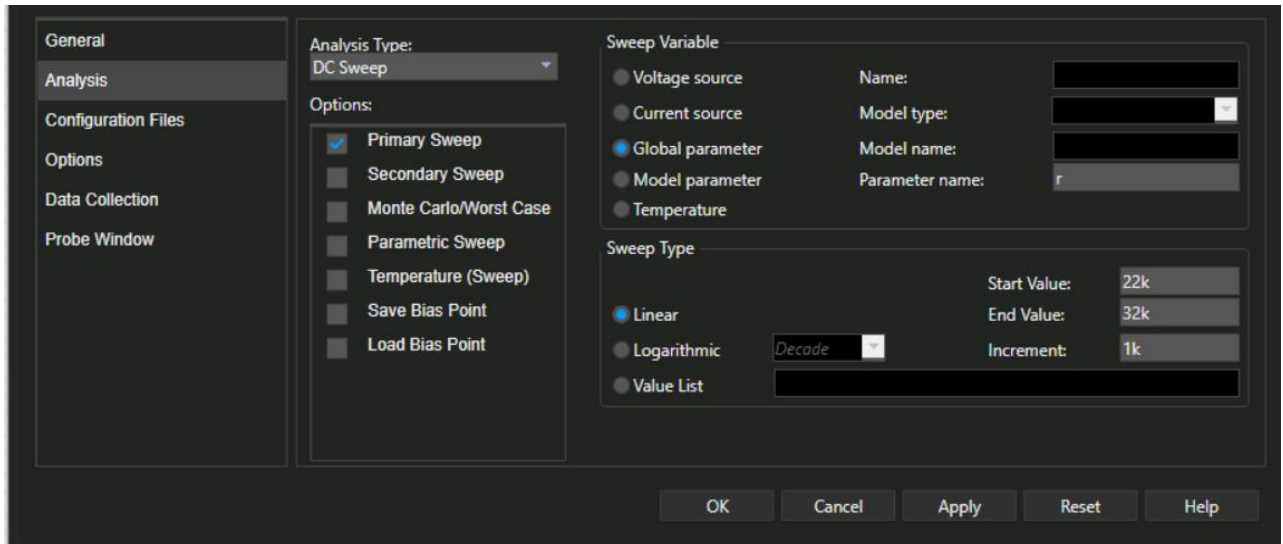


Figura 10. Fereastra de setare a analizei amplificatorului diferențial

Caracteristica de tensiune la ieșirea diferențialului se poate urmări în graficul de mai jos:

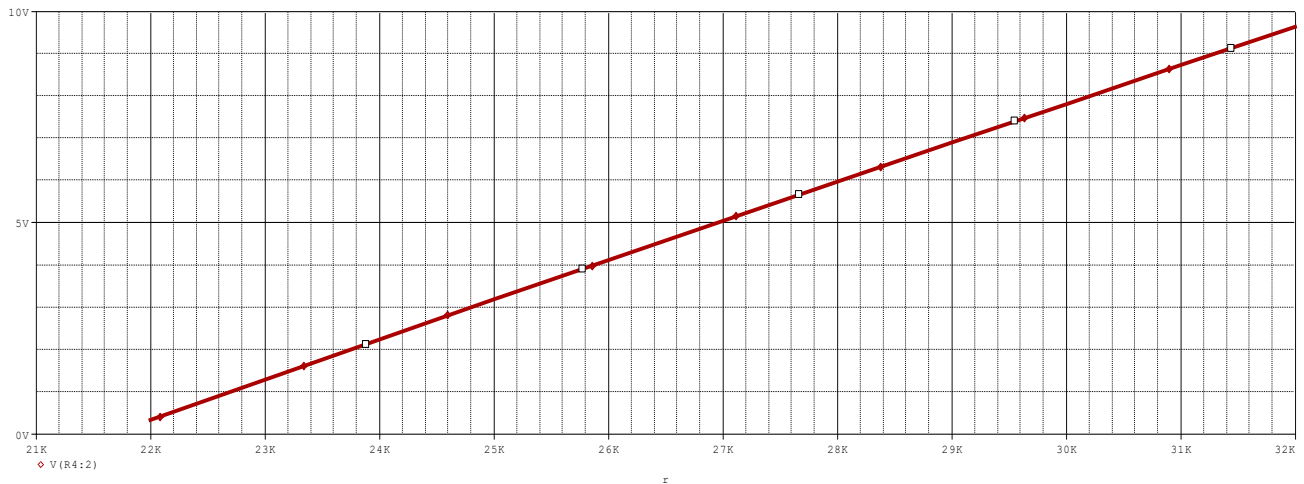


Figura 11. Caracteristica tensiunii la ieșirea din amplificatorul operațional

### 3.4 Comparator inversor

Funcția principală a unui comparator inversor constă în comparația a două tensiuni de intrare și generarea unui semnal de ieșire. Într-un circuit pentru controlul presiunii într-o cameră hiperbară, aceasta poate fi realizată prin conectarea senzorului de presiune la intrarea comparatorului inversor.

Senzorul va genera o tensiune proporțională cu nivelul de presiune din cameră, iar această tensiune va fi comparată cu o tensiune de referință setată, deci se poate asigura menținerea nivelului dorit al presiunii în camera hiperbară.

Pornind de la relația:  $V^+ = V^-$ , unde:

$$V^- = \frac{\frac{V_{REF2} * V_{O2}}{R_8 * R_9}}{\frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_9}} \quad (23)$$

$$V^- = V_{IN} = V_{O1} \quad (24)$$

$$V^- = V^+ : \frac{\frac{V_{REF2} * V_{O2}}{R_8 * R_9}}{\frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_9}} = V_{O1} \quad (25)$$

$$V_{PRAG} = V_{REF2} * \frac{R_9}{R_9 + R_8} + V_{O1} * \frac{R_8}{R_9 + R_8} \quad (26)$$

$$V_{PRAG-sus} = V_{REF2} * \frac{R_9}{R_9 + R_8} + \frac{R_8}{R_9 + R_8} * VCC \quad (27)$$

$$V_{PRAG-jos} = V_{REF2} * \frac{R_9}{R_9 + R_8} + \frac{R_8}{R_9 + R_8} * (-VCC) \quad (28)$$

Știind că domeniul măsurabil al senzorului de presiune folosit este: [1230 – 1690][mBar], iar sistemul se va proiecta astfel încât presiunea din camera hiperbară să se mențină în intervalul [1300 – 1600][mBr], pornind de la schema:

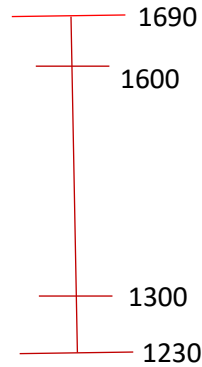


Figura 12. Schema intervalelor de presiune

$$1 \text{ Bar} = \frac{VCC - 2}{1690 - 1230} = 0,021 \quad (29)$$

$$V_{PRAG-sus} = (1600 - 1230) * 0,021 = 7,77 \text{ V} \quad (30)$$

$$V_{PRAG-jos} = (1300 - 1230) * 0,021 = 1,47 \text{ V} \quad (31)$$

Din relațiile (27) și (28) rezultă:

$$7,77 = V_{REF2} * \frac{R_9}{R_9 + R_8} + \frac{R_8}{R_9 + R_8} * 12 \quad (32)$$

$$1,47 = V_{REF2} * \frac{R_9}{R_9 + R_8} + \frac{R_8}{R_9 + R_8} * (-12) \quad (33)$$

Scăzând relația (27) la relația (28) se obține:

$$6,3 = 2 * \frac{R_8}{R_9 + R_8} * 12 \quad (34)$$

$$0,26 = \frac{R_8}{R_9 + R_8} \quad (35)$$

$$R_9 = 2,57 \text{ k}\Omega \quad (36)$$

$$R_8 = 1 \text{ k}\Omega \quad (37)$$

Adunând relația (27) la relația (28) se obține:

$$9,24 = V_{REF2} * 2 * \frac{R_8}{R_9 + R_8} \quad (38)$$

$$9,24 = V_{REF2} * 2 * \frac{2,57k}{3,57k} \quad (39)$$

$$9,24 = V_{REF2} * 1,43 \quad (40)$$

$$V_{REF2} = 6,46 \text{ V} \quad (41)$$

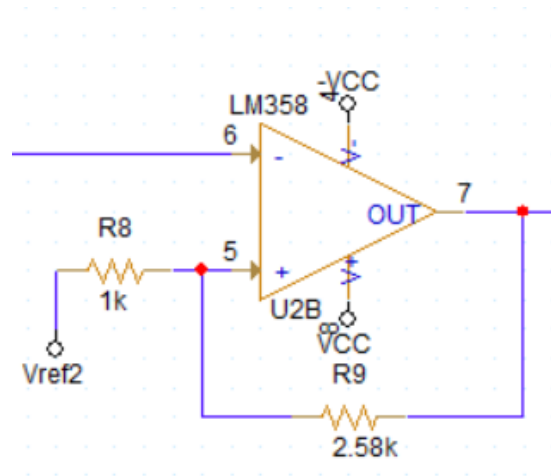


Figura 13. Schema electrică a comparatorului inversor

Pentru  $V_{REF2}$  am realizat un divizor de tensiune:

$$\frac{R_{12}}{R_{12}+R_{11}} * VCC = V_{REF2} \quad (42)$$

$$\frac{R_{12}}{R_{12}+R_{11}} = \frac{6,46}{12} = 0,53 \quad (43)$$

$$R_{12} = 1,12 \text{ k}\Omega \quad (44)$$

$$R_{11} = 1 \text{ k}\Omega \quad (45)$$

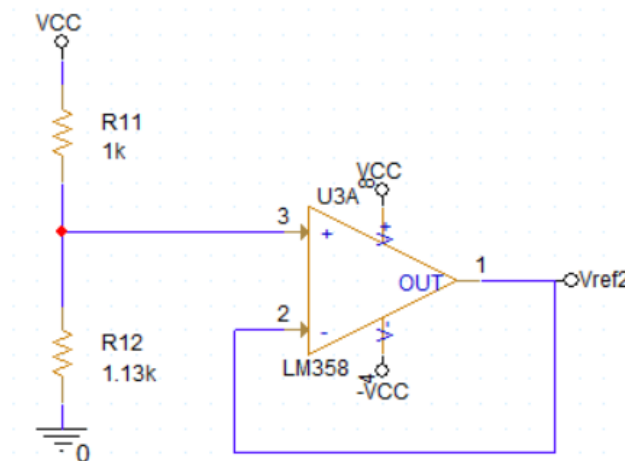


Figura 14. Schema electrică a tensiunii  $V_{REF2}$

Pentru verificarea calculelor am lansat o simulare la ieșirea comparatorului inversor:

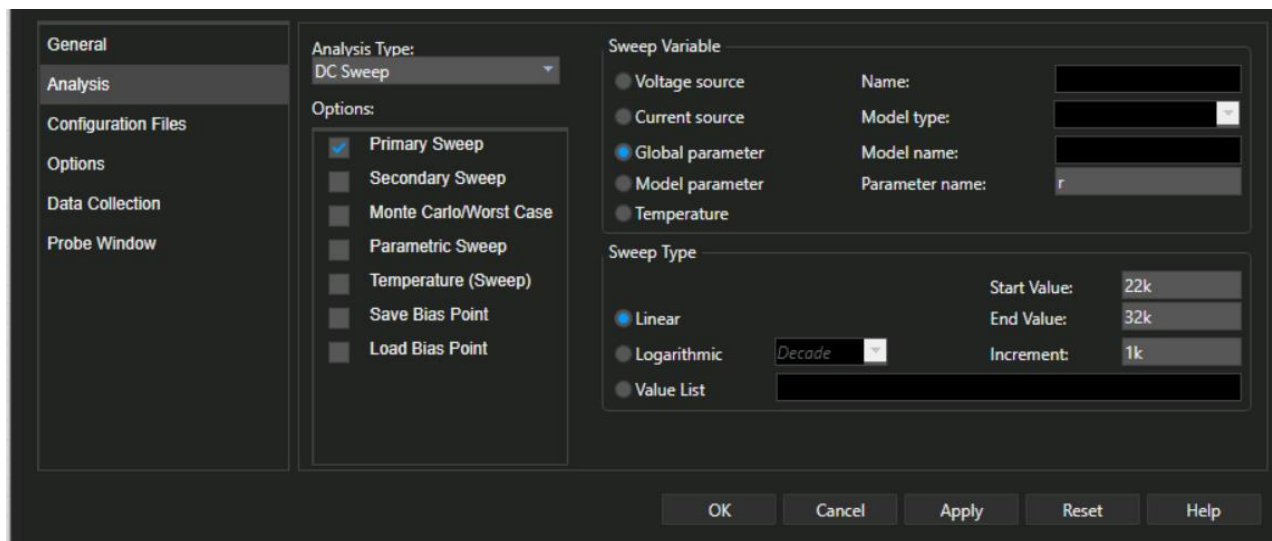


Figura 15. Fereastra de setare a analizei amplificatorului diferențial

Caracteristica de tensiune la iesirea comparatorului inversor se poate urmări în graficul de mai jos:

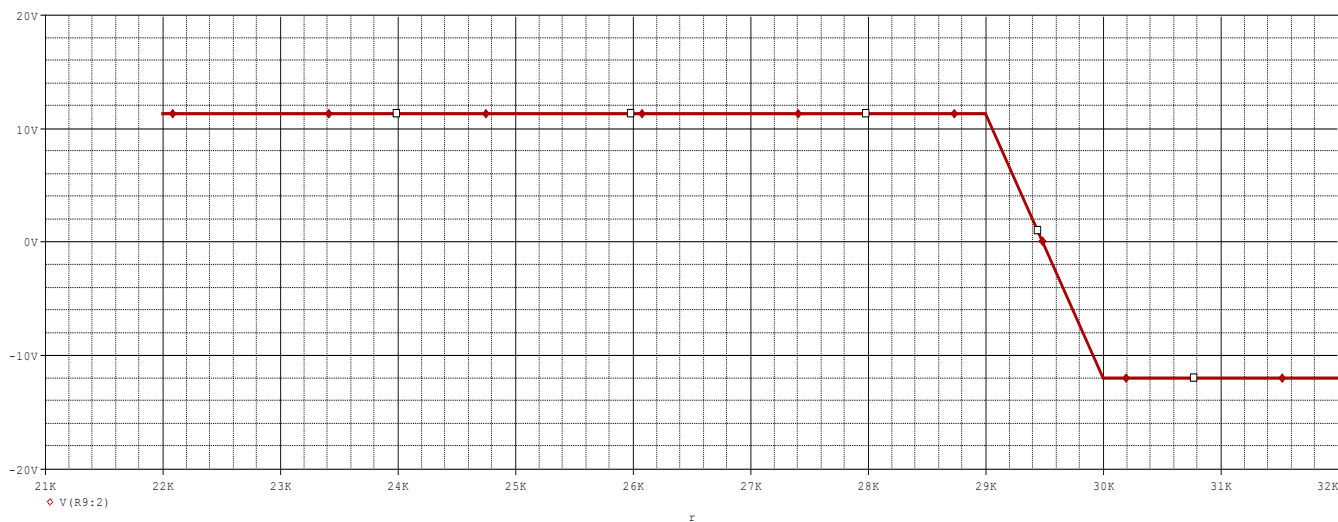


Figura 16. Caracteristica tensiunii la ieșirea amplificatorului diferențial

### 3.5 Releu cu LED portocaliu

În circuit LED-ul este folosit pentru a semnaliza starea pompei. Astfel atunci când pompa este pornită, LED-ul va semnaliza printr-o emisie luminoasă de culoare portocalie, iar când pompa este oprită, LED-ul este de asemenea stins. Acesta prezintă următoarele caracteristici în foaia de catalog:



### Features:

- Built-in IC chip, flashes lamp on and off to attract attention
- Operating voltage range : 3V to 10V DC
- 1/4 duty cycle
- Blinking frequency : 2.4Hz ( $V_{dd} = 5V$ )
- Frequency tolerance : 20%

### Specifications:

Dice material	: GaAsP on GaP
Emitted colour	: Orange Red
Lens colour	: Orange Diffused
Peak wavelength	: 635nm
Viewing angle	: 45°
Luminous intensity (IV)	: 9.8mcd

### Absolute Maximum Ratings ( $T_a = 25^\circ C$ )

Parameter	Maximum	Unit
Continuous Forward Current	30	mA
Derating Linear From 50°C	0.4	mA/°C
Reverse Voltage	5	V
Operating Temperature Range	-40°C to +80°C	
Storage Temperature Range		
Lead Soldering Temperature [4mm (0.157 inch) from body]	260°C for 5 Seconds	

### Electrical/Optical Characteristics at $T_a = 25^\circ C$

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Test
Luminous Intensity	$I_v$	-	9.8	-	mcd	$I_f = 20mA$
Peak Emission Wavelength	$\lambda_P$	-	635	-	nm	Measurement at Peak
Dominant Wavelength	$\lambda_D$	-	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	$\mu A$	$V_R = 5V$

Figura 17. Specificații LED portocaliu



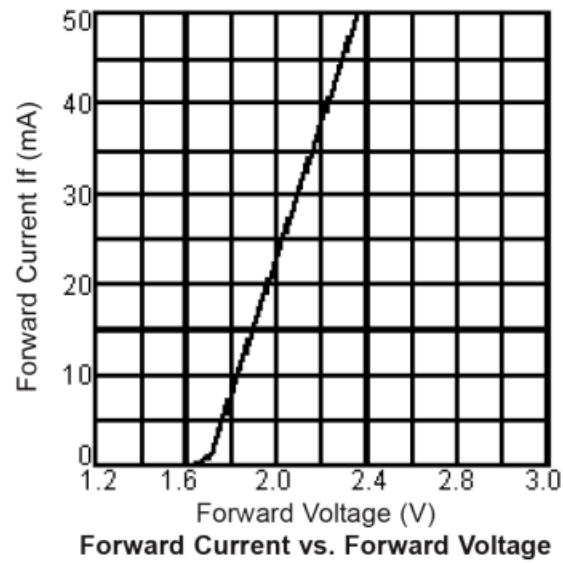


Figura 18. Specificații Caracteristica de curent – tensiune al LED-ului portocaliu

Pentru proiectarea acestuia l-am modelat conform graficului cu caracteristica de curent – tensiune:

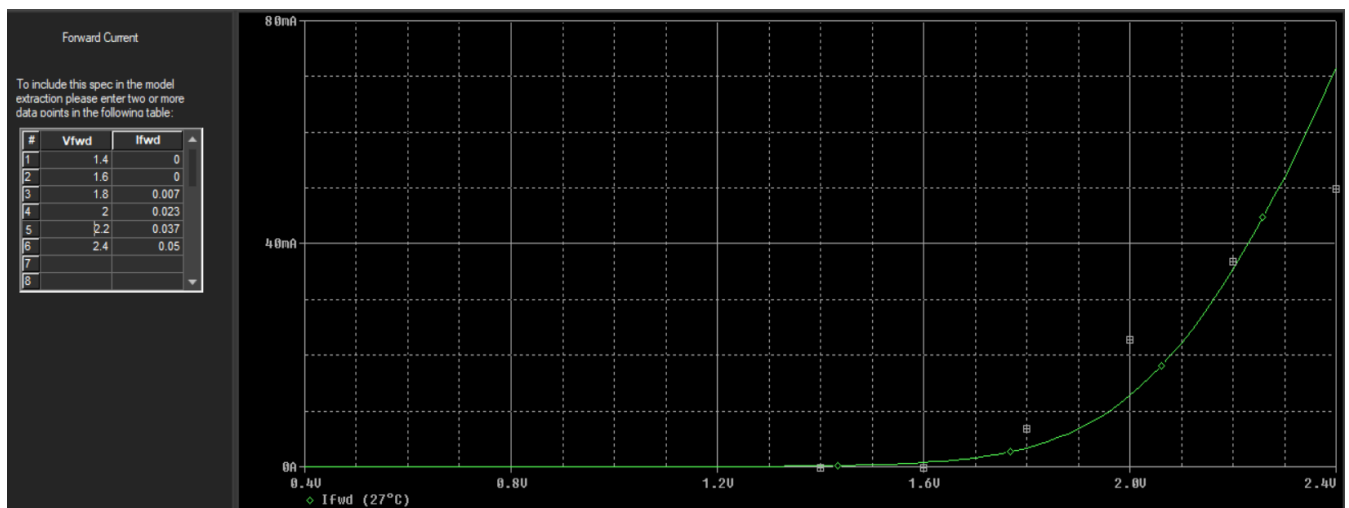


Figura 19. Fereastră pentru modelarea LED-ului portocaliu

Pentru verificarea modelării am lansat o simulare:

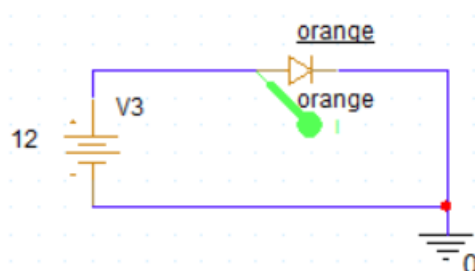


Figura 20. Schema electrică pentru simularea LED-ului

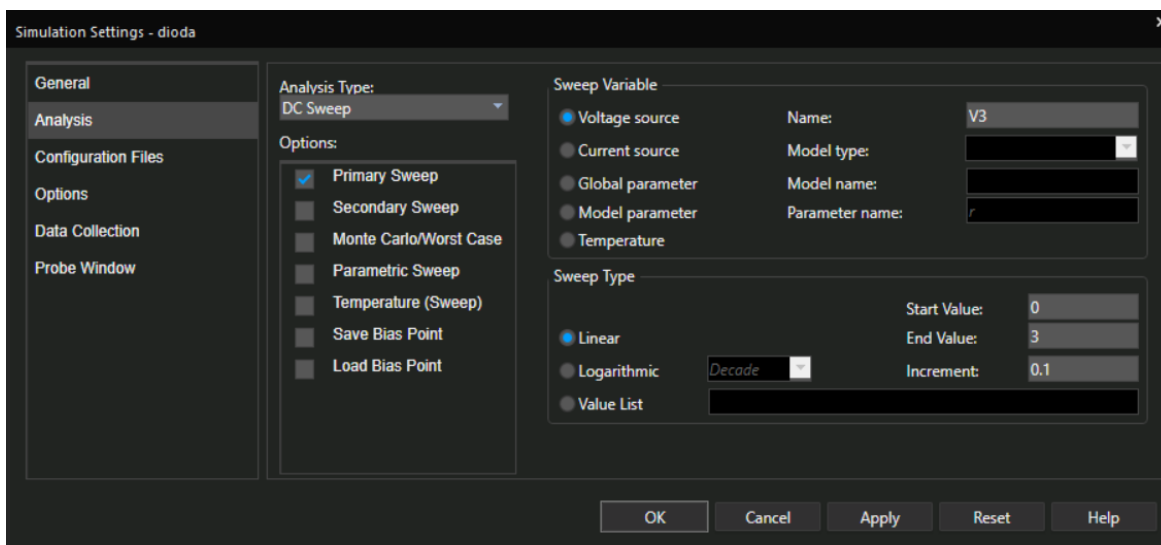


Figura 21. Fereastră pentru analiza LED-ului portocaliu

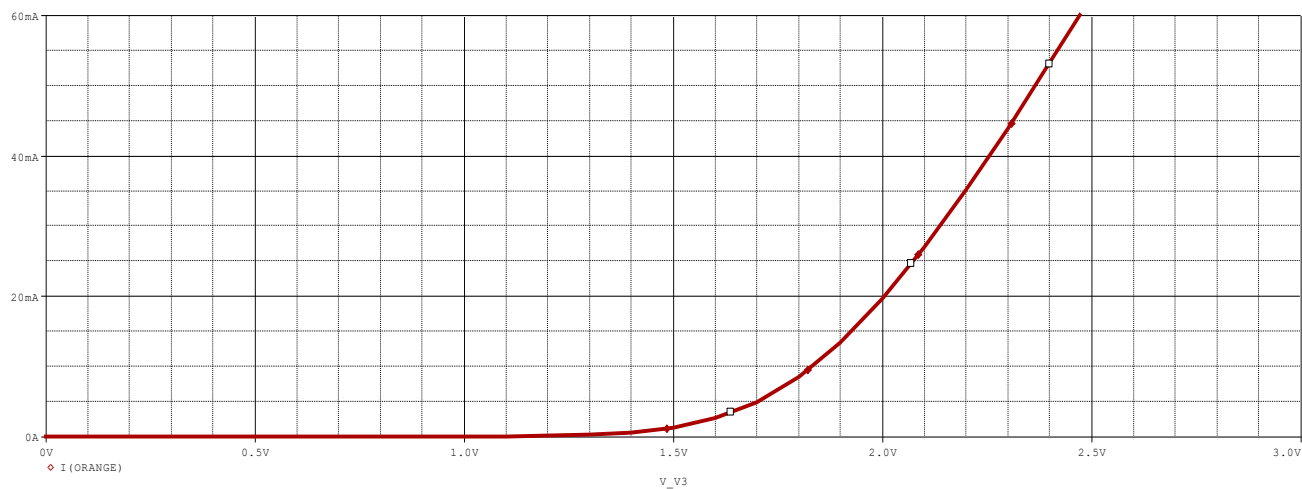


Figura 22. Rezultatul simulării LED-ului portocaliu

Rezistența în serie cu LED-ul,  $R_{10}$  se calculează astfel:

Î

$$R_{10} = \frac{V_{CC} - V_D}{I_D} = \frac{12 - 1,6}{20m} = \frac{10,4}{20m} \quad (46)$$

$$R_{10} = 520\Omega = 523\Omega \text{ (E192)} \quad (47)$$

În circuit, releul este folosit pentru a comuta pompa, în funcție de semnalul de intare de la senzorul de presiune.

Pentru acesta am ales modelul G6K-2F-RF-S-12DC de la Omron cu valoarea  $R_L = 1,32k\Omega$  pentru tensiunea VCC de 12 V, curentul nominal de bobină: 9,1 mA , timp de acționare de 3ms.

Pentru a calcula rezistența R14, cu rol în polarizarea tranzistorului și stabilitatea circuitului am folosit relația:

$$R_{14} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{R_L}} = \frac{12 - 0,6}{9,1m} = \frac{11,4}{9,1m} \quad (48)$$

$$R_{14} = 1,26k\Omega \text{ (E192)} \quad (49)$$

Tranzistorul joacă un rol esențial în amplificarea și controlul semnalului releului, izolarea semnalului și protejarea circuitului. Pentru acest bloc de circuit am ales tranzistorul NPN Q2N2222 deoarece respectă limitele maxime admise: curent maxim de colector de 600mA, tensiunea maximă colector-emitor de aproximativ 40V, puterea maximă de disipare de aproximativ 500 mW.

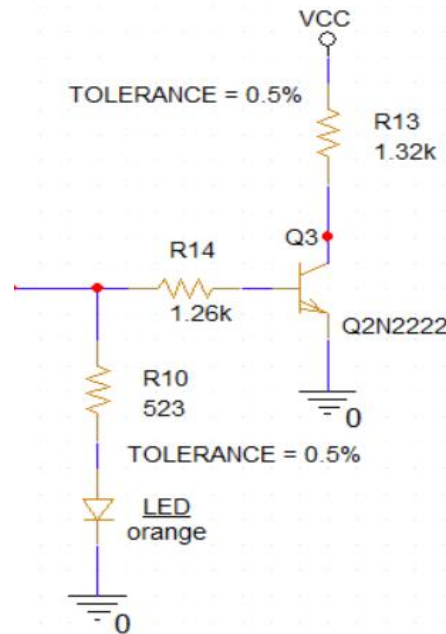


Figura 23. Blocul Releu-LED

## Amplifier Transistors NPN Silicon

### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	40	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	75	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	6.0	Vdc
Collector Current — Continuous	$I_C$	600	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.5 12	Watts mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	$-55$ to $+150$	$^\circ\text{C}$

### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C/W}$

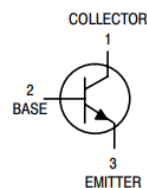
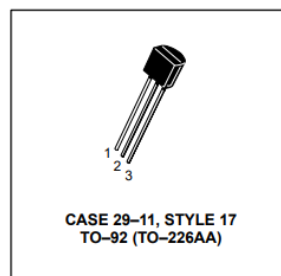


Figura 24. Specificații Q2N222

## 4 Analiza performanțelor circuitului

### 4.1 Analiza Monte Carlo

Analiza Monte Carlo constituie cel mai bun mod de analiză a unui circuit din punct de vedere static, de a vedea cum se comportă acel circuit la variații ale comportamentelor.

Pentru circuitul realizat am lansat analiza distribuției valorilor maxime obținute pentru tensiunea de ieșire. Această informație poate fi utilă pentru a asigura că circuitul este proiectat pentru a avea o tensiune de ieșire suficient de mare în cele mai critice situații, luând în considerare variația valorilor componentelor sau a condițiilor de operare. Rezultatul analizei se poate urmări mai jos:

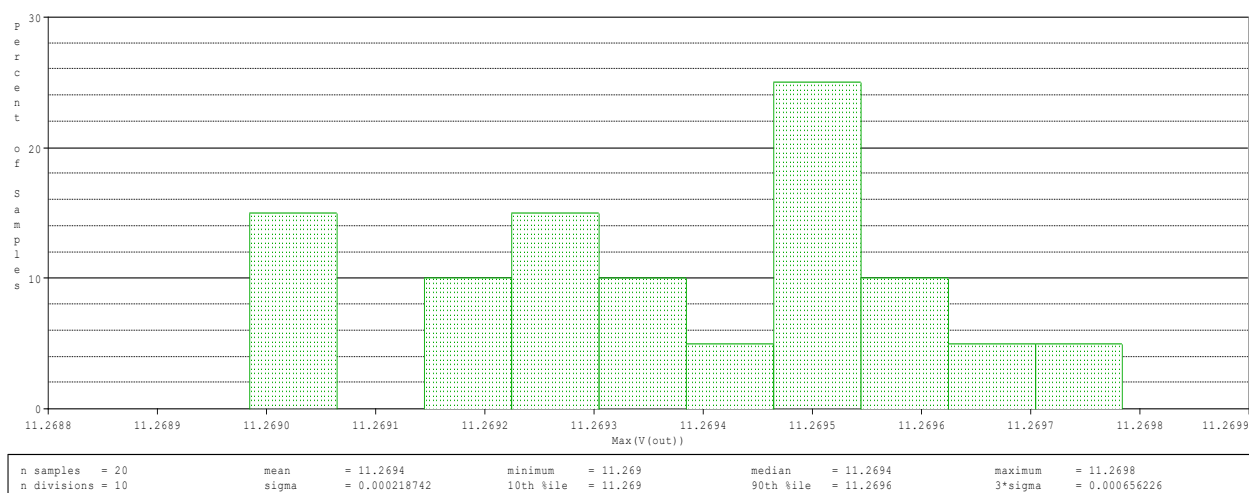


Figura 25. Rezultatul analizei Monte Carlo

### 4.2 Analiza Worst Case

Analiza Worst Case se concentrează exclusiv pe condițiile extreme și nu ia în considerare variația naturală a valorilor componentelor sau a altor parametrii. Prin urmare, rezultatele analizei Worst Case pot fi conservatoare și pot oferi o rezervă de siguranță în proiectarea circuitului. Analiza propusă se referă la determinarea valorii maxime posibile pentru tensiunea de ieșire ( $V(out)$ ) în circuit:

```
11
12      WORST CASE SUMMARY
13
14      *****
15
16
17
18
19
20      Mean Deviation = 627.5200E-06
21      Sigma      = 0
22
23      RUN          MAX DEVIATION FROM NOMINAL
24
25      WORST CASE ALL DEVICES
26          627.5200E-06 higher at r = 26.0000E+03
27          ( 100.01% of Nominal)
28
29
30      JOB CONCLUDED
31
32
```

Figura 26. Rezultatul analizei Worst Case

## 5 Bibliografie

- [5] Platforma Microsoft Teams, Prof. Dr. Ing. Ovidiu POP, cursuri: “Dispozitive electronice”, “Circuite electronice fundamentale”, “Tehnici CAD”.  
“G6K-2F-RF-S-12DC OMROM OCB specificații” tme.eu/ro.  
“E192 Series of standards resistor values” el-component.com.
- [6] “LM358 data sheet,” KEXIN [Guangdong Kexin Industrial Co.,Ltd].  
“Q2N2222, Q2N1132 data sheet,” LSZH Flame Rating.  
“Orange LED data sheet,” Multicomp, RoHS Compliant.
- [9] Schematic Capture Software, OrCAD | PCB Design Software and Schematic Editor.