

Proiect Tehnici CAD

Temă: Senzor pentru controlul concentrației de gaz dintr-o incinta

Studentă: Bondric Nicoleta

Grupa: 2124

Titularul activităților de laborator:

Ing. Elena Ștețco

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. Polarizarea senzorului și măsurarea tensiunii pe senzor	5
3.2. Amplificatorul diferențial	7
3.3. Comparator inversor cu reacție.	9
3.4. Comandarea ventilatorului	13
4. Analiza Monte Carlo.....	17
5. Analiza Worst Case	18
6. Bibliografie.....	20

1. Specificații de proiectare

Să se proiecteze un sistem care utilizează senzori rezistivi de gaz pentru a menține într-o încălț concentrația de metan între limitele specificate în coloana E. În încălț există o sursă care generează în continuu gaz metan. În momentul în care concentrația a ajuns la limita superioară (coloana E) sistemul va porni ventilatorul care va introduce aer curat. Când concentrația de metan ajunge la limita inferioară (coloana E) sistemul va da comanda de oprire a ventilatorului. Din foaia de catalog a senzorului se știe că la o variație a concentrației de gaz specificată 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. Ventilatorul este comandat de un comparator cu histereză prin intermediul unui releu care este modelat cu un rezistor. Starea ventilatorului (pornit/oprit) este semnalizată de un LED de culoare specificată în coloana I.

Tabelul 1 Specificații

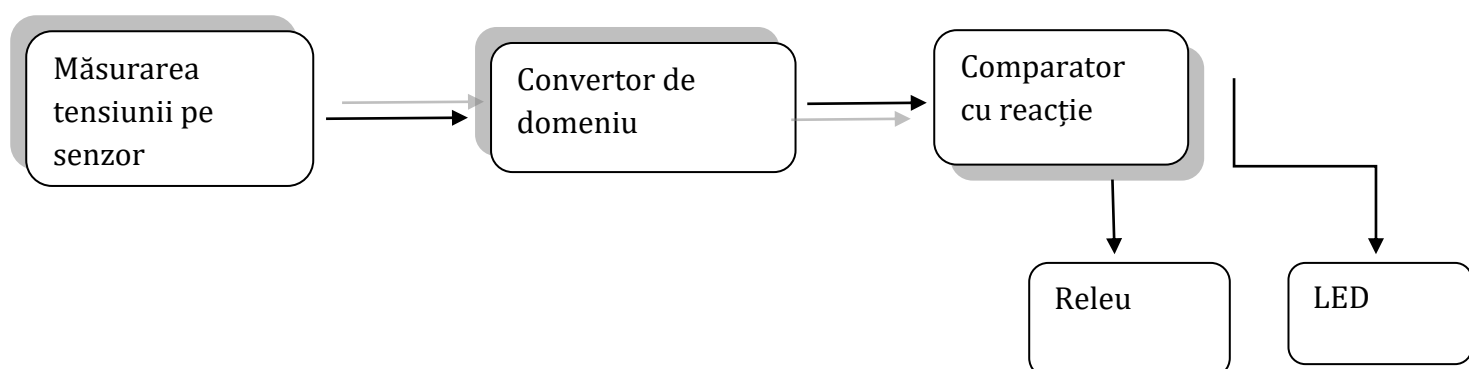
E	F	G	H	I
concentrația de metan în încălț [ppm]	domeniul de măsură a senzorului [ppm]	Rezistența senzorului [k Ω]	VCC [V]	Culoare LED
400 .. 8000	50 ... 10000	90k - 30k	14	PORTOCALIU

2. Schema circuitului

2.1 Schema bloc a circuitului

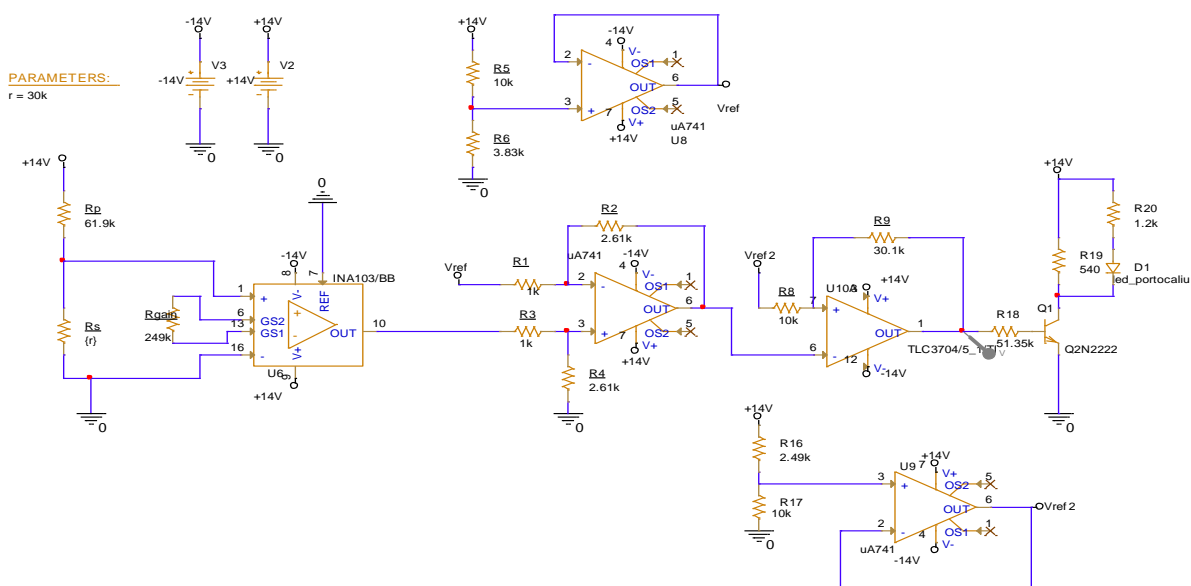
Schema bloc a circuitului este ilustrată în Figura 1.

Figura 1 Schema bloc



2.2 Schema electrică a circuitului

Figura 2 Schema electrică



3. Proiectarea circuitului

3.1 Polarizarea senzorului și măsurarea tensiunii pe senzor

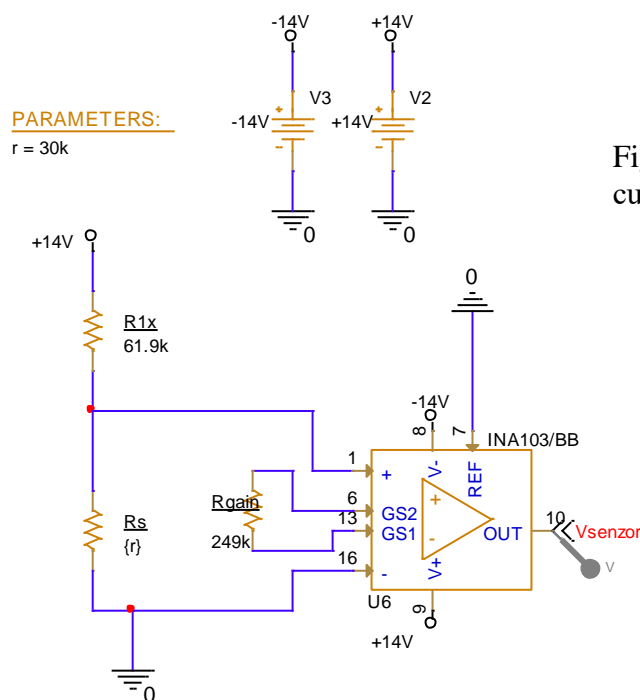


Figura 3 Măsurarea tensiunii pe R_s cu amplificator de instrumentație

Pentru a măsura tensiunea pe senzorul R_s , se va polariza mai întâi rezistența cu o altă rezistență aleasă. Se va folosi amplificatorul de instrumentație INA103, la ieșirile senzorului pentru a măsura și liniariza tensiunea, V_{senzor} .

În continuare se va demonstra acest lucru.
Conform fișei de catalog a circuitului INA103 se observă:

$$V_0 = G \cdot V_{in} \quad (1)$$

$$G = 1 + \frac{6k\Omega}{R_{gain}} \quad (2)$$

Se va alege R_{gain} de valoare cât mai mare astfel încât câștigul să fie unitar, iar ca la ieșirea amplificatorului să se măsoare tensiunea pe senzorul R_s . Totodată obținându-se și o liniarizare a tensiunii în funcție de rezistența senzorului.

$$G = 1 + \frac{6k\Omega}{R_{gain}} = 1 + \frac{6k\Omega}{249k\Omega} \approx 1$$

Se va calcula valoarea tensiunii minime, respectiv maxime de la bornele senzorului folosind formula divizorului de tensiune:

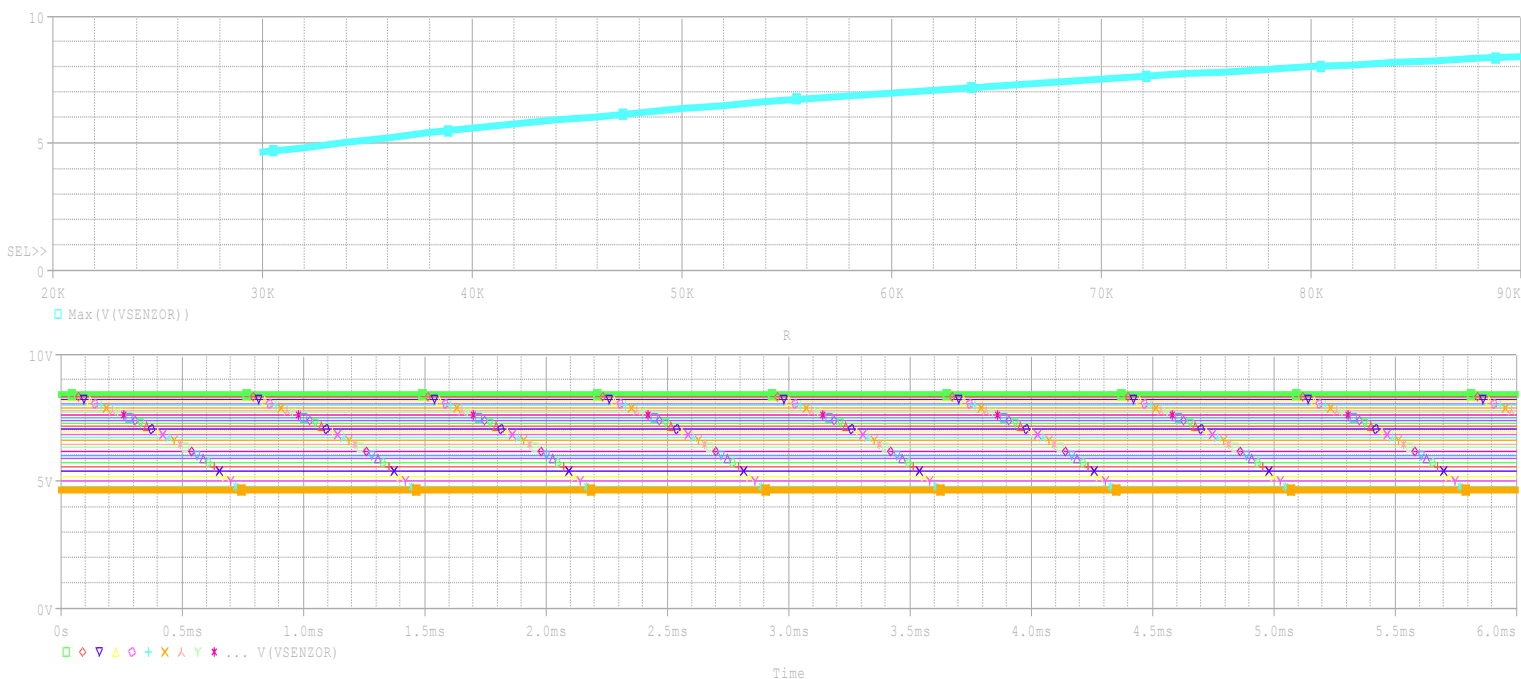
$$V_{senzor} = \frac{R_s}{R_s + R_p} \cdot V_{cc} \quad (3)$$

$$\text{Pentru: } R_s = 30k\Omega \Rightarrow V_{senzor_{min}} = \frac{30k\Omega}{30k\Omega + 61.9k\Omega} \cdot 14V \Rightarrow V_{senzor_{min}} = 4.57V$$

$$\text{Pentru: } R_s = 90k\Omega \Rightarrow V_{senzor_{max}} = \frac{90k\Omega}{90k\Omega + 61.9k\Omega} \cdot 14V \Rightarrow V_{senzor_{max}} = 8.29V$$

Din următoarele grafice se poate observa liniarizarea tensiunii de la ieșirea senzorului, respectiv tensiunea minima si maxima de la ieșirea acestuia. Micile diferențe dintre valorile calculate și cele măsurate provin de la impuritățile și toleranțele componentelor.

Figura 4 Liniaritatea rezistenței senzorului
în funcție de tensiunea de la ieșire



Valori măsurate:

Pentru $R_s = 30k\Omega \Rightarrow V_{senzor} = 4.62V$

Pentru $R_s = 90k\Omega \Rightarrow V_{senzor} = 8.39V$

3.2 Amplificator diferențial pentru conversia de domeniu

Senzorul de gaz măsoară concentrația de metan și convertește această valoare într-o tensiune.

Acest amplificator are rolul de a converti tensiunea dată de senzor în domeniul din specificațiile de proiectare:

$V_{cc} = 14V$;

$(2[V] \div V_{cc} - 2[V]) \rightarrow (2[V] \div 12[V])$

$$V_{conversie} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V_{senzor} - \frac{R_2}{R_1} \cdot V_{ref} \quad (4)$$

Alegem $R_1 = R_3 = 1k\Omega$

și $R_2 = R_4$

$$V_{conversie} = \frac{R_2}{R_1} (V_{senzor} - V_{ref}) \quad (5)$$

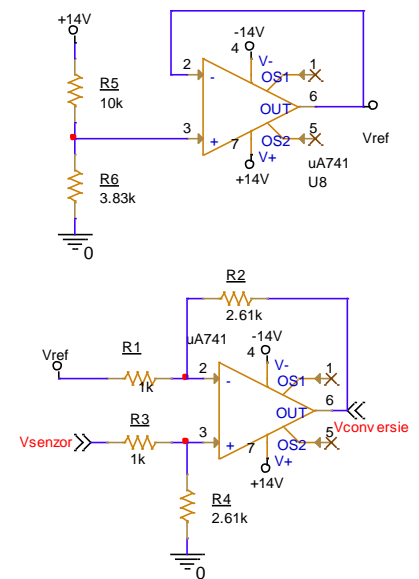


Figura 6 Amplificator diferențial însoțit de o tensiune de referință pentru convertirea

$$\begin{cases} 2V = \frac{R_2}{1k\Omega} \cdot (4.62V - V_{ref}) \\ 12V = \frac{R_2}{1k\Omega} \cdot (8.39V - V_{ref}) \end{cases} \Rightarrow 2 \cdot (8.39V - V_{ref}) = 12 \cdot (4.62V - V_{ref})$$

$$16.78V - 2 \cdot V_{ref} = 55.44V - 12 \cdot V_{ref}$$

$$-2 \cdot V_{ref} + 12 \cdot V_{ref} = 55.44V - 16.78V$$

$$10 \cdot V_{ref} = 38.66V$$

$$V_{ref} \approx 3.87V$$

Acum se vor afla valorile rezistentelor care configurează Vref:

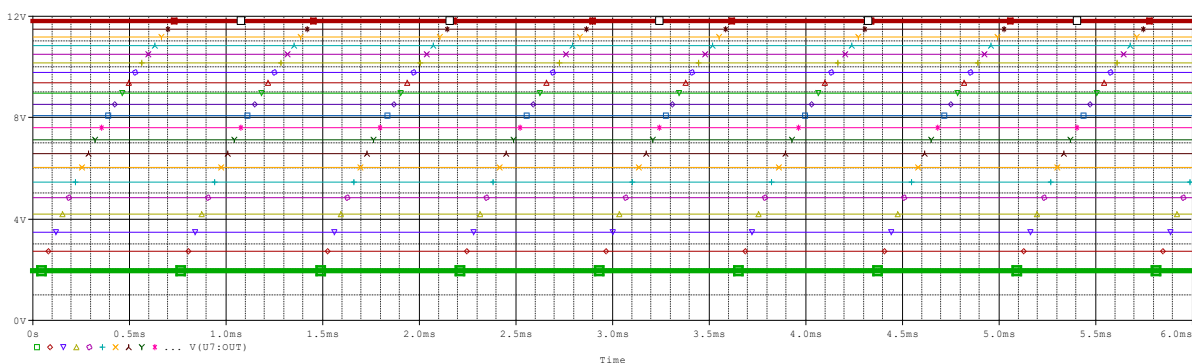
$$\left. \begin{aligned} V_{ref} &= \frac{R_6}{R_5 + R_6} \cdot V_{CC} \\ \text{Alegem } R_5 &= 10k\Omega \end{aligned} \right\} \Rightarrow 3.87V = \frac{R_6}{10k\Omega + R_6} \cdot 14V \Rightarrow R_6 = 2.82 k\Omega \xrightarrow{E_{48}} R_6 = 2.83 k\Omega$$

$$\text{Din (6)} \Rightarrow V_{conversie_{max}} = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_{senzor_{max}} - V_{ref}) \Rightarrow 12 = \frac{R_2}{1k\Omega} \cdot (4.62V - 3.86V)$$

$$\Rightarrow R_2 = 2.64 k\Omega \xrightarrow{E_{48}} R_2 = 2.61 k\Omega \Rightarrow R_4 = 2.61 k\Omega$$

Se vor măsura tensiunile de la ieșirea amplificatorului pentru a verifica dacă conversia se face în mod corespunzător

Figura 7 Demonstrarea conversiei de domeniu



Valori măsurate:

$$\text{Pentru } R_s = 30k\Omega \Rightarrow V_{conversie} = 1.96 V$$

$$\text{Pentru } R_s = 90k\Omega \Rightarrow V_{conversie} = 11.79 V$$

3.3 Comparator inversor cu reacție

Comparatorul verifică dacă tensiunea de la senzor depășește limitele prestabilite (superioară și inferioară).

Vref se folosește pentru deplasarea caracteristicii de histerezis

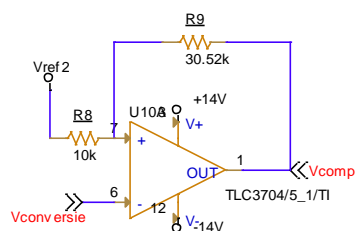
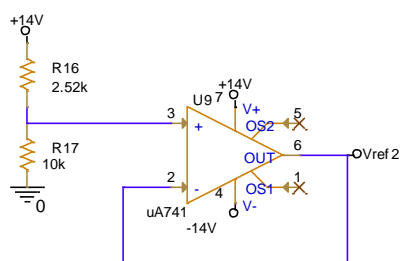


Figura 10 Comparator inversor
+ tensiune de referință



Vom începe cu ecuația dreptei pentru a determina rezistențele limita ale senzorului la concentrațiile $8000 \div 400$ [ppm], folosindu-ne de concentrația la care rezista senzorul.

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (6)$$

$$\frac{y - 90k\Omega}{x - 50} = \frac{30k\Omega - 90k\Omega}{10000 - 50}$$

$$9950 \cdot (y - 90k\Omega) = -60k\Omega \cdot (x - 50)$$

$$x : 400 \Rightarrow 9950 \cdot (y - 90k\Omega) = -60k\Omega \cdot (400 - 50) \Rightarrow y_3 = 87.88k\Omega$$

$$x : 8000 \Rightarrow 9950 \cdot (y - 90k\Omega) = -60k\Omega \cdot (8000 - 50) \Rightarrow y_4 = 42.06k\Omega$$

Mai jos se vor calcula prin formula divizorului de tensiune tensiunile pe rezistența senzorului la concentrațiile 400, respectiv 8000 [ppm]

$$R_{smin} = 42.06k\Omega \Rightarrow V_{smin} = \frac{42.06k\Omega}{42.06k\Omega + 61.9k\Omega} \cdot 14V = 5.66V$$

$$R_{smax} = 87.88k\Omega \Rightarrow V_{smax} = \frac{87.88k\Omega}{87.88k\Omega + 61.9k\Omega} \cdot 14V = 8.21V$$

Valori măsurate:

Pentru $R_s = 42.06k\Omega \Rightarrow V_s = 5.73V$

Pentru $R_s = 87.88k\Omega \Rightarrow V_s = 8.31V$

În continuare se va dimensiona circuitul:

$$V_{odif} = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_{ref} - V_s)$$

$$V_{odif} = 2.61 \cdot (5.73V - 3.87V) = 4.85V \rightarrow V_{PJ}$$

$$V_{odif} = 2.61 \cdot (8.31V - 3.87V) = 11.58V \rightarrow V_{PS}$$

Pentru a testa funcționarea corectă a comparatorului cu conectarea la ieșirea inversoare o sursă de tensiune sinusoidală, se observă variația tensiunii de la ieșirea comparatorului.

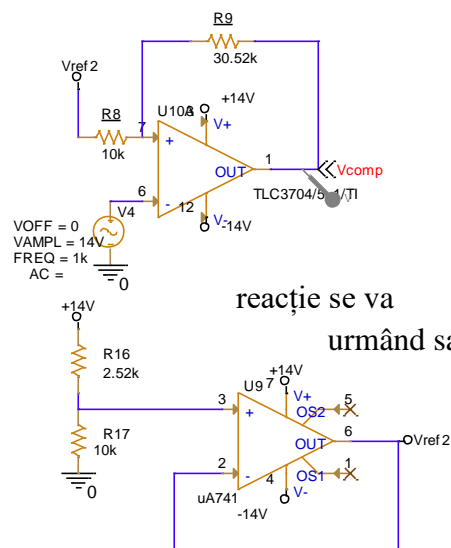


Figura 11 Comparator conectat la o sursă de tensiune sinusoidală

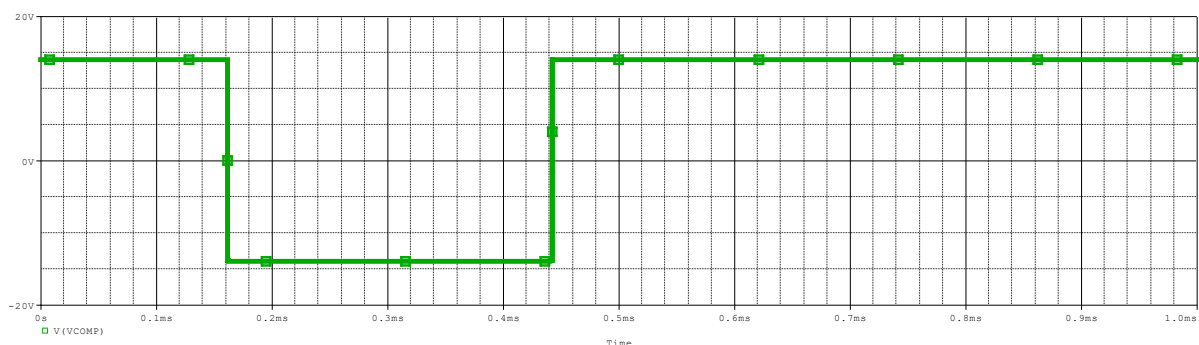


Figura 12 Variația tensiunii de la ieșirea comparatorului

Pentru a testa și valorile pragurilor se vor deschide setările acestei simulări \Rightarrow X Axis \Rightarrow Axis Variable \Rightarrow Trace Expression: , aici completând cu numele sursei de tensiune sinusoidală, $V(V4:+) .$

Rezultatele acestei setări se pot observa în următorul grafic:

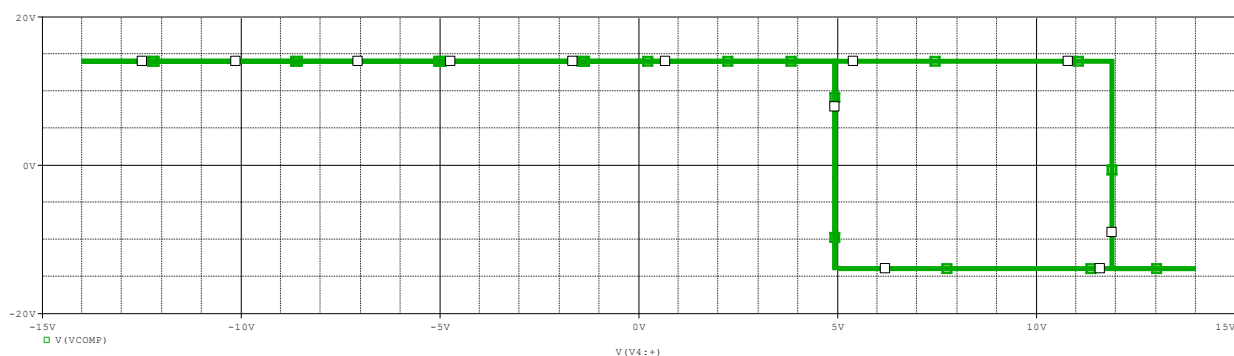


Figura 13 Caracteristica de histerezis

Valori măsurate:

$$V_{PJ} = 4.95 \text{ V}$$

$$V_{PS} = 11.88 \text{ V}$$

În continuare se va dimensiona circuitul cu ajutorul formulelor comparatorului inversor:

În momentul comutației :

$$\left\{ \begin{array}{l} v^- = v_{conversie} \\ v^+ = \frac{\frac{V_{ref}}{R_8} + \frac{v_{comp}}{R_9}}{\frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_9}} \Rightarrow \frac{V_{ref}}{R_8} + \frac{v_{comp}}{R_9} = v_{conversie} \cdot \left(\frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_9} \right) \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\Rightarrow V_{PS} = V_{ref} \cdot \frac{R_9}{R_9 + R_8} + \frac{R_8}{R_9 + R_8} \cdot (V_{CC}) \quad (8)$$

$$\Rightarrow V_{PJ} = V_{ref} \cdot \frac{R_p}{R_p + R_1} + \frac{R_1}{R_p + R_1} \cdot (-V_{CC}) \quad (9)$$

Dacă se vor scădea cele două tensiuni de prag se vor obține valorile rezistențelor comparatorului:

$$11.88 - 4.95 = 2 \cdot \frac{10k\Omega}{10k\Omega + R_9} \cdot V_{CC} \left\{ \Rightarrow R_9 = 30.4k\Omega \xrightarrow{E_{48}} R_9 = 30.1k\Omega \right. \\ \left. \text{Fie } R_8 = 10k\Omega \right.$$

Dacă se vor aduna cele două tensiuni de prag va rezulta valoarea tensiunii de referință necesară.

$$11.88V + 4.95V = 2 \cdot \frac{30.1k\Omega}{30.1k\Omega + 10k\Omega} \cdot V_{ref2} \Rightarrow V_{ref2} = 11.21V$$

Din această tensiune de referință vor rezulta rezistențele divizorului de tensiune:

$$V_{ref} = V_{CC} \cdot \frac{R_{17}}{R_{17} + R_{16}}$$

$$\text{Se alege } R_{17} = 10k\Omega \Rightarrow R_{16} = 2.48k\Omega \xrightarrow{E_{48}} R_{16} = 2.49k\Omega$$

3.4 Comandarea ventilatorului

Pentru deschiderea/închiderea ventilatorului se va folosi un releu și pentru realizarea acestuia se va folosi tranzistorul Q2N2222 care să funcționeze în regim de comutație, împreună cu rezistența R_{19}

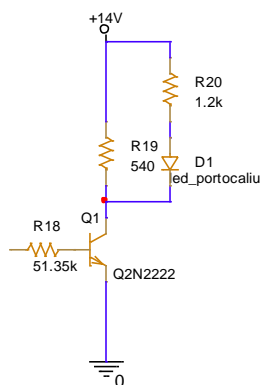


Figura 14 Circuitul pentru comanda ventilatorului

$$\text{Condiție de saturație: } I_c \ll \beta \cdot I_B \quad (10)$$

$$I_{csat} = \frac{V_{cc}}{R_{19}} = \frac{14}{540} = 25.9mA \quad (11)$$

$$\left. \begin{array}{l} I_c = \beta \cdot I_B \\ \beta = 100 \end{array} \right\} \Rightarrow I_B = \frac{I_c}{\beta} = 259 \mu A \quad (12)$$

$$V_{cc} = R \cdot I_c + V_{ce} \Rightarrow V_{ce} = V_{cc} - R_{19} \cdot I_c = \frac{V_{in} - V_{BE}}{R_B} \rightarrow R_B = 51.35k\Omega$$

Conform fișei de catalog, tensiunea de prag a diodei LED de culoare portocaliu este de 2V, iar curentul 10mA.

$$R_{LED} = \frac{V_{cc} - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{14V - 2V}{10mA} \quad (13)$$

Figura 15

Tensiune pe LED atunci când la ieșirea comparatorului avem 14 V, prag de jos, concentrație mare de metan

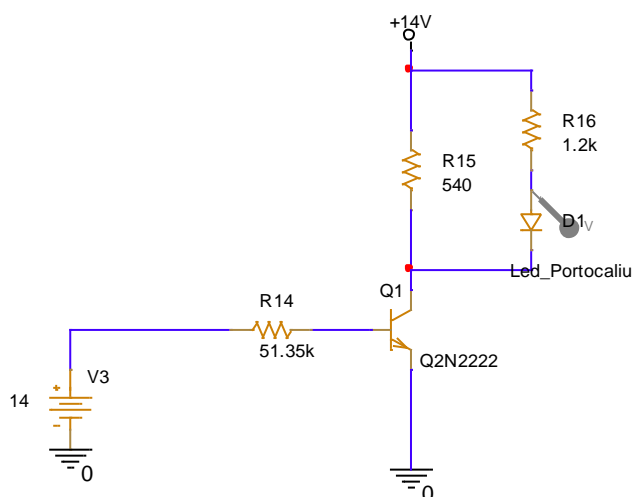
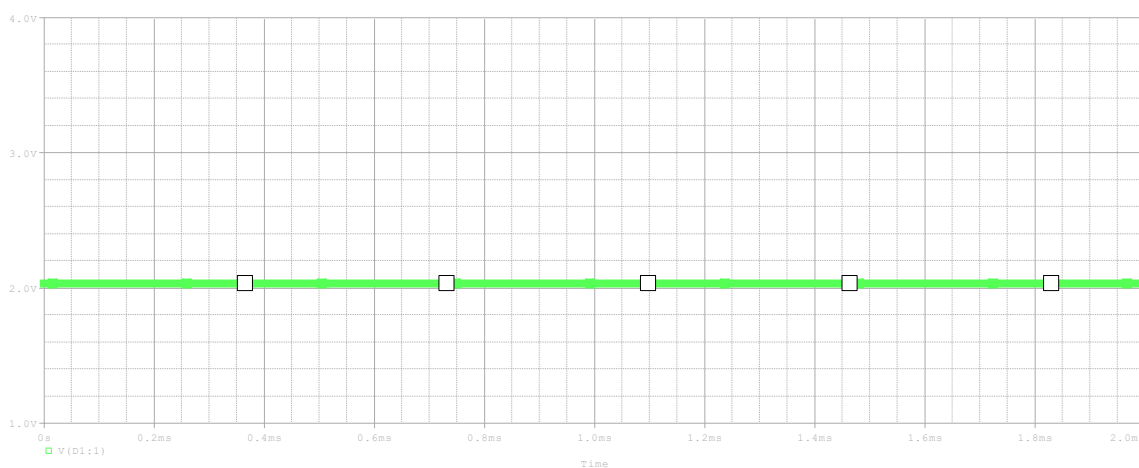
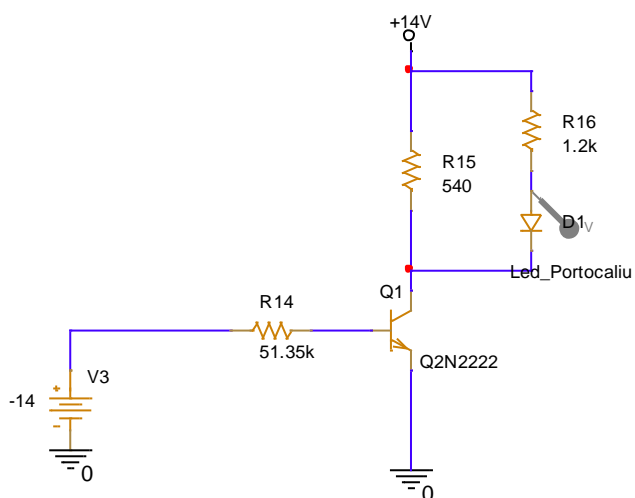
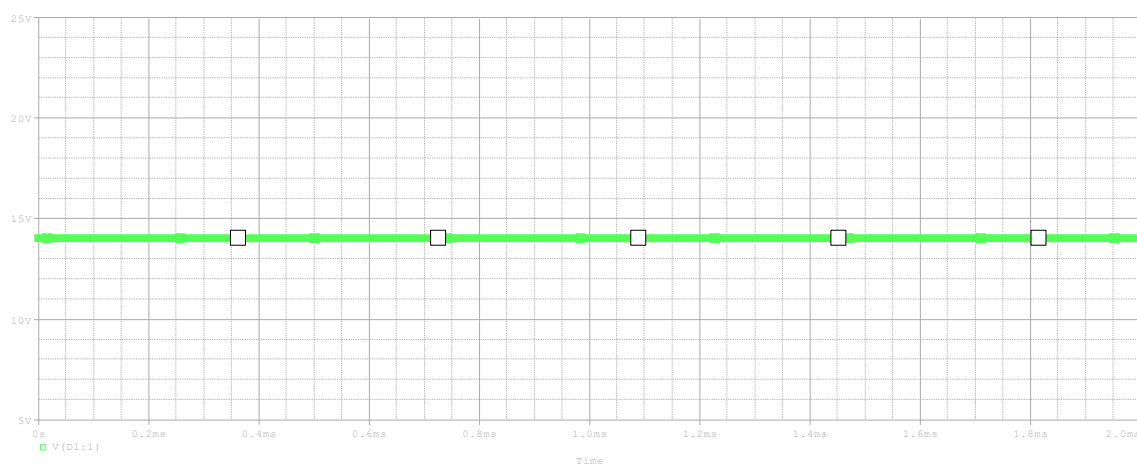


Figura 17 Verificarea circuitului pentru o concentrație mica, pragul de sus al comparatorului, tensiune de ieșire de -14V



Întrucât tranzistorul pentru aceasta tensiune este blocat, pe led vom măsura fix tensiunea de alimentare

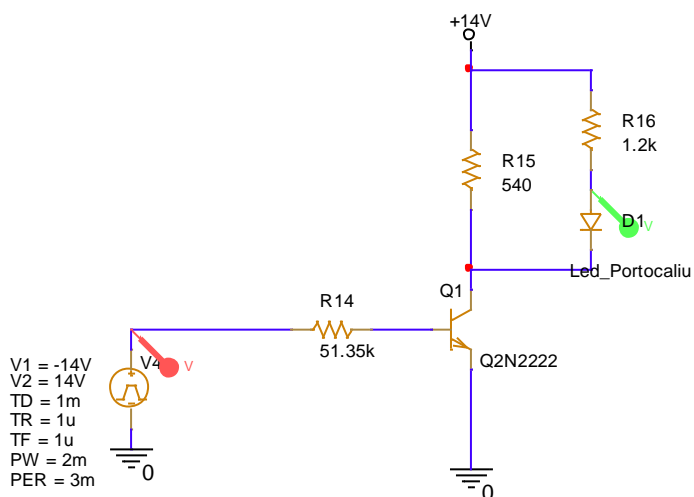
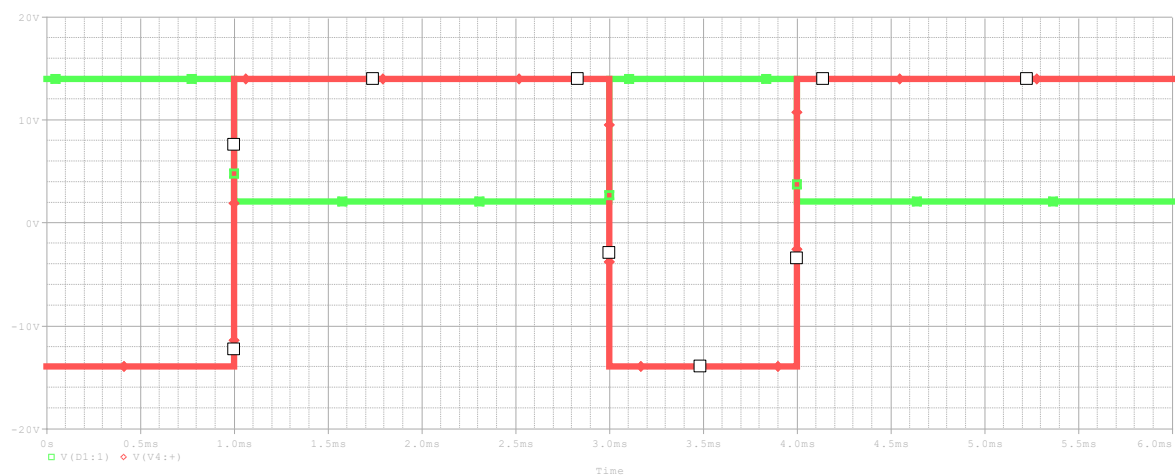
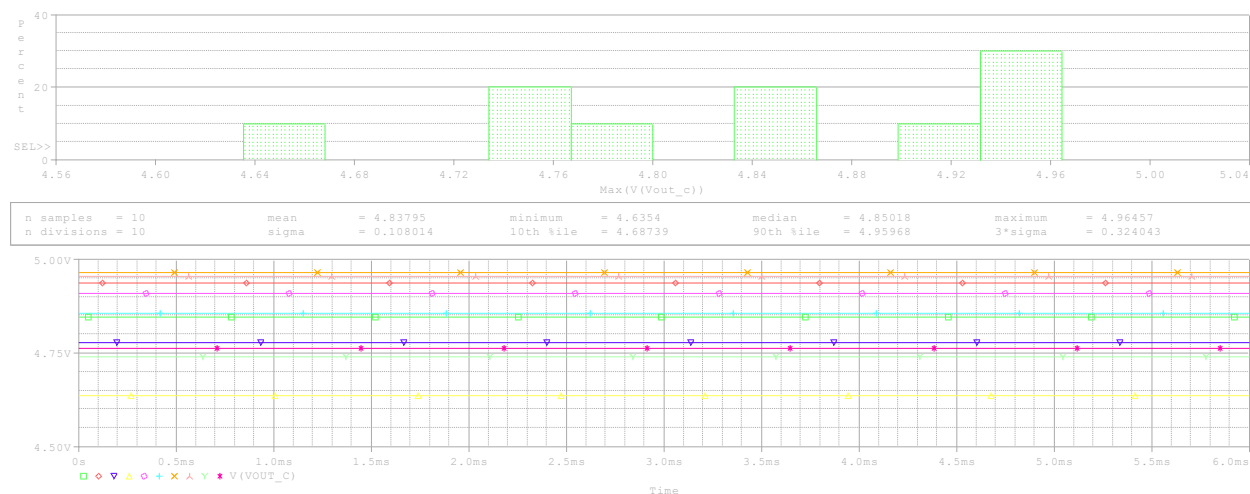


Figura 19 Analiza tensiunii diodei la momentele de comutație ale comparatorului



4. Analiza Monte Carlo pe convertor pentru a verifica daca se ajunge la pragurile impuse

Figura 20 Primul test pentru prag de sus



Conform rezultatului există o șansă de 30% ca tesiuena să se afle la toleranțe ale rezistentelor de $\pm 2\%$ aproape de pragul calculat de 4.95. Restul procentelor de pana 100% reprezintă variații mai mari sau mai mici ale tensiunii de prag.

Figura 21 Test pentru prag de jos

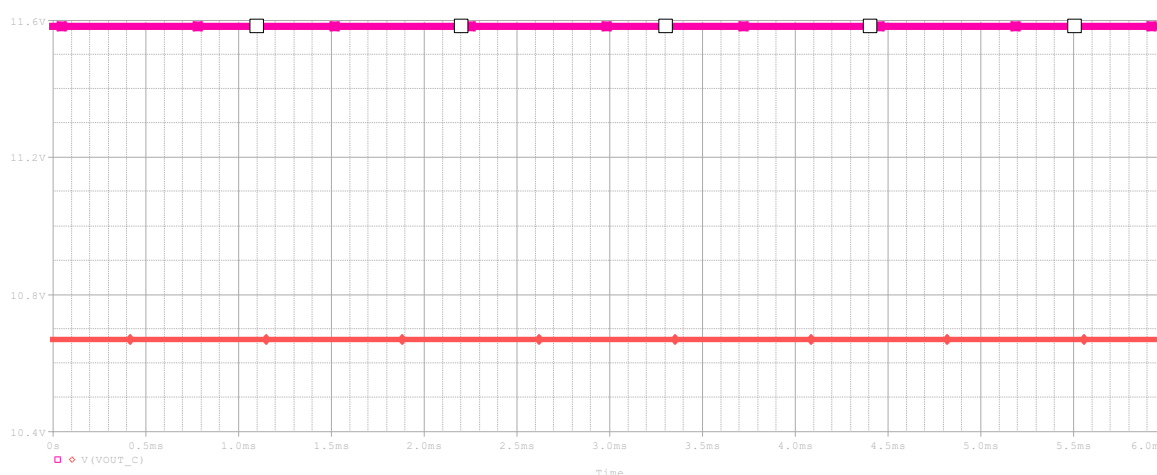


Conform rezultatului exista o șansă de 20% ca tensiunea să se afle la toleranțe ale rezistențelor de $\pm 2\%$ aproape de pragul măsurat. Restul procentelor de pana 100% reprezintă variații mai mari sau mai mici ale tensiunii de prag.

5 Analiza Worst Case

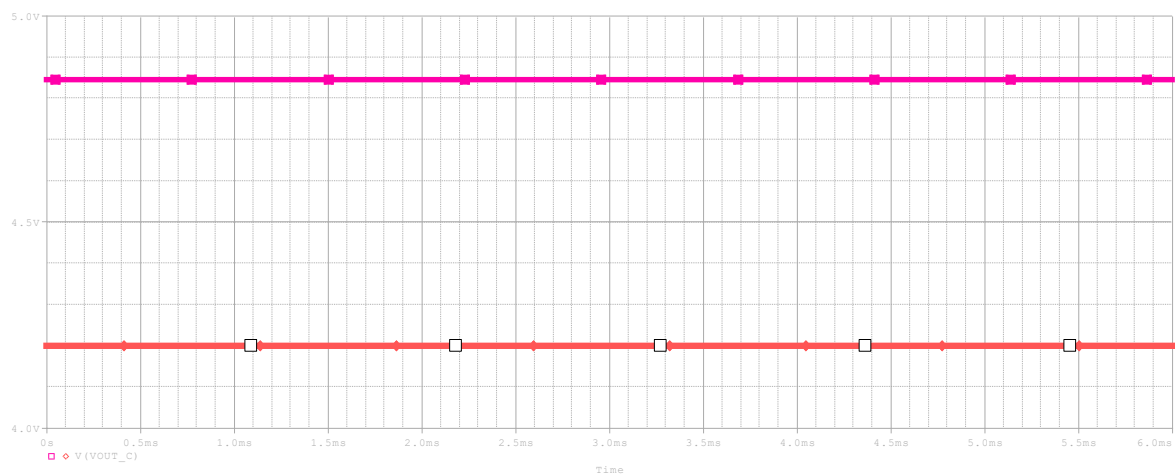
Se realizează o analiza principala tranzitorie urmată de analiza statistica Worst Case, aceasta realizează mai întâi calculul sensibilității fiecărei componente și determină cazul cel mai defavorabil.

Figura 22 Pragul de jos



Forma de undă mov reprezintă valoarea nominală a pragului de jos, iar unda roșie cel mai defavorabil caz – o valoare a tensiunii diferită de cea calculată pentru comutația comparatorului și închiderea ventilatorului pentru concentrații mici de gaz.

Figura 23 Pragul de sus



Forma de unda mov reprezintă valoarea nominală a pragului de jos, iar unda roșie cel mai defavorabil caz – o valoare a tensiunii diferită de cea calculată pentru comutația comparatorului și deschiderea ventilatorului pentru concentrații mari de gaz.

Bibliografie

<https://sites.google.com/site/bazeleelectronicii/home/diode-si-redresoare/8-led>

<https://datasheetspdf.com/datasheet/Q2N2222.html>

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/64743/HP/INA10386.html>

https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc3704.pdf?ts=1717154871821&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F