

# Proiect Tehnici CAD

Circuit pentru controlul concentrației de gaz metan dintr-o incintă

NUME: COSTEA ADINA-IOANA

SERIA: A

GRUPA: 2124

## 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 Sursă de tensiune.....	5
3.2 Divizor de tensiune.....	6
3.3 Conversia de domeniu.....	7
3.4 Comparator cu histereză.....	7
3.5 Releu electromagnetic.....	16
3.6 LED.....	18
4. Bibliografie.....	19

## 1. Specificații de proiectare

Să se proiecteze un sistem care utilizează senzori rezistivi de gaz pentru a menține într-o incintă concentrația de metan între limitele specificate în coloana E. În incintă 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. Tabel specificații

E	F	G	H	I
concentrația de metan în incintă [ppm]	domeniul de măsură al senzorului [ppm]	rezistența senzorului	$V_{cc}[V]$	culoare LED
200 ... 5.000	50 ... 7.000	85k - 45k	11	ROSU

Pentru realizarea circuitului s-a ales seria standardizată E48 cu toleranță de  $\pm 2\%$ .

Tabelul 2. Seria standardizată E48.

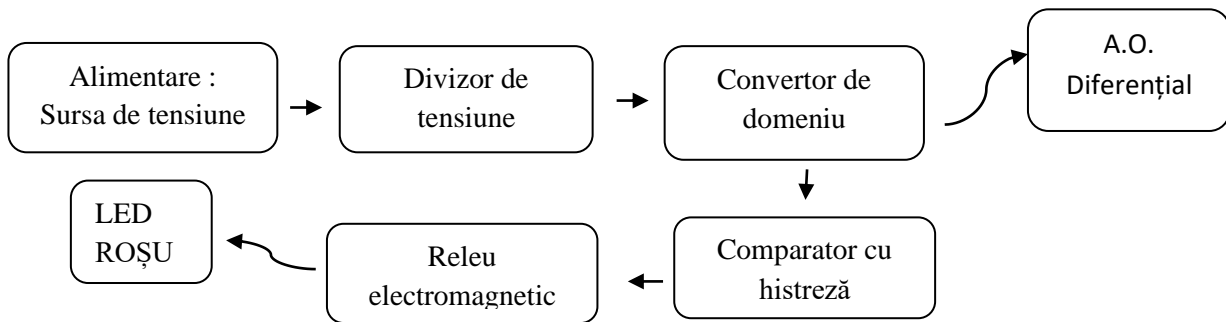
E48 Series at $\pm 2\%$ Tolerance – Resistor values in $\Omega$					
1.0	1.05	1.1	1.15	1.21	1.27
1.33	1.4	1.47	1.54	1.62	1.69
1.78	1.87	1.96	2.05	2.15	2.26
2.37	2.49	2.61	2.74	2.87	3.01
3.16	3.32	3.48	3.65	3.83	4.02
4.22	4.42	4.64	4.87	5.11	5.36
5.62	5.9	6.19	6.49	6.81	7.15
7.5	7.87	8.25	8.66	9.09	9.53

## 2. Schema circuitului

### 2.1 Schema bloc a circuitului

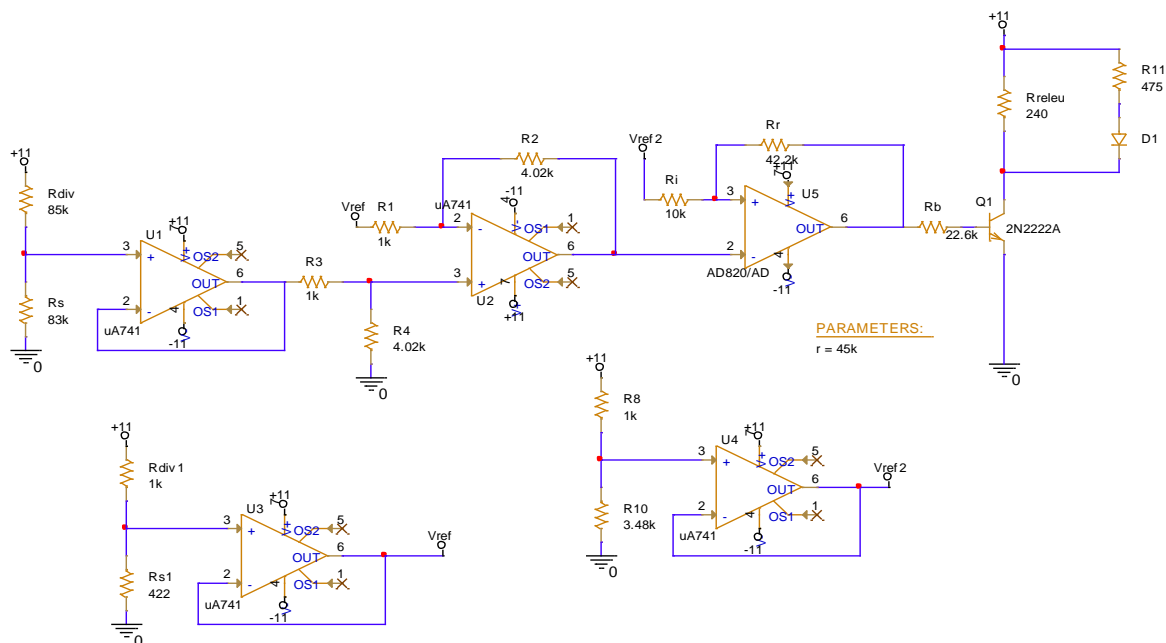
Schema bloc a circuitului este ilustrată în Figura 1.

Figura 1.Schema bloc.



## 2.2 Schema electrică a circuitului

În Figura 2 este reprezentată schema electrică a circuitului.

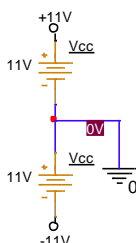


### 3. Proiectarea circuitului

### 3.1 Sursă de tensiune

În Figura 3 este reprezentată sursa de tensiune folosită pentru alimentarea circuitului.

Figura 3. Sursă de tensiune



A fost realizată o alimentare diferențială pentru a alimenta amplificatoarele operaționale folosite la realizarea circuitului.

### 3.2 Divizor de tensiune

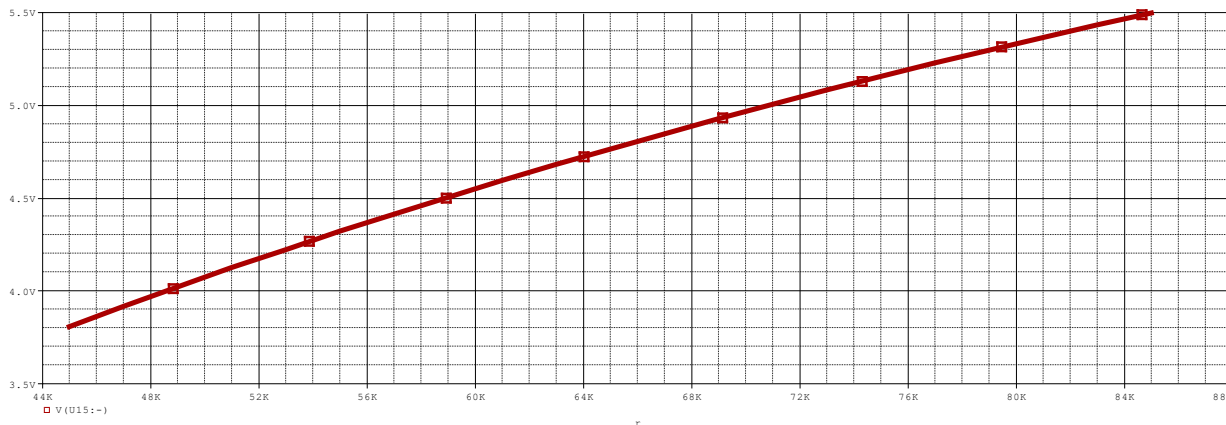
În Figura 4 se poate observa că a fost folosită o rezistență de limitare pentru a polariza rezistența electrică a senzorului.

Figura 4. Divizor de tensiune



Prin adăugarea unei rezistențe în serie cu rezistorul, se realizează un divizor de tensiune utilizat pentru a măsura tensiunea de pe senzor în funcție de variația concentrației de gaz metan din incintă. Pentru rezistența  $R_{div}$  s-a ales valoarea de  $85k\Omega$  pentru a liniariza cât mai mult variația tensiunii în divizor, așa cum se poate observa în Figura 5.

Figura 5. Variația tensiunii în divizorul de tensiune



Tensiunea de pe senzor se va calcula după formulele (1.1) și (1.2). Se vor determina valorile tensiunii în divizor pentru cele 2 capete ale rezistenței, știind că  $R_s$  variază între  $R_{s\_max} = 85k\Omega$  și  $R_{s\_min} = 45k\Omega$ .

$$V_{s\_max} = \frac{R_{s\_max}}{R_{s\_max} + R_{div}} * V_{cc} \quad (1.1)$$

$$V_{s\_min} = \frac{R_{s\_min}}{R_{s\_min} + R_{div}} * V_{cc} \quad (1.2)$$

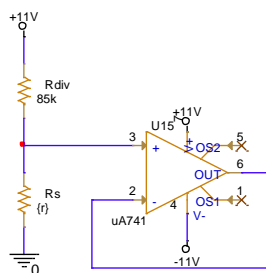
În urma calculelor s-a obținut domeniul de variație al tensiunii pe senzor.

$$V_{s\_max} = \frac{R_{s\_max}}{R_{s\_max} + R_{div}} * V_{cc} = 5.5V$$

$$V_{s\_min} = \frac{R_{s\_min}}{R_{s\_min} + R_{div}} * V_{cc} = 3.8V$$

În Figura 6 se poate observa că a fost adăugat un repetor de tensiune pentru adaptarea de impedanță.

Figura 6. Repetor de tensiune

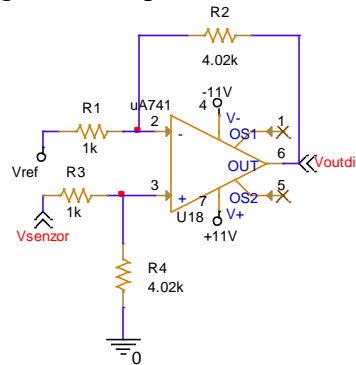


Repetorul este un dispozitiv electronic folosit pentru transmiterea semnalelor electrice, având capacitatea de a adapta impedanța de intrare pentru a se potrivi cu impedanța semnalului de ieșire, astfel se asigură transmiterea eficientă a semnalului.

### 3.3 Conversia de domeniu

Conversia de domeniu a fost realizată cu un amplificator diferențial, așa cum se poate observa în Figura 7.

Figura 7. Amplificator diferențial



Pentru amplificatorul diferențial s-a utilizat amplificatorul operațional uA741, deoarece această componentă îndeplinește perfect cerințele circuitului. uA741 este un amplificator de înaltă performanță, frecvent utilizat în aplicații care implică amplificatoare diferențiale.

Pentru conversia de domeniu s-au realizat următoarele calcule:

$$\left\{ \begin{array}{l} v^+ = \frac{\frac{V_{ref}}{R_3} + \frac{0}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \\ v^- = \frac{\frac{V_{senzor}}{R_1} + \frac{V_{outdif}}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \end{array} \right. \quad (1.3)$$

$$\text{Se stabilește că } R_1 = R_3 \text{ și } R_2 = R_4 \Rightarrow V_{outdif} = \frac{R_2}{R_1} * (V_{senzor} - V_{ref}) \quad (1.4)$$

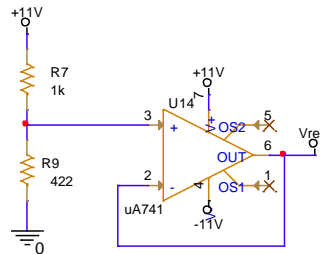
Se va înlocui  $V_{outdif}$  cu valorile capetelor domeniului de conversie care trebuie obținut.

$$\begin{cases} 2 = \frac{R_2}{R_1} * (V_{s\_min} - V_{ref}) \\ 9 = \frac{R_2}{R_1} * (V_{s\_max} - V_{ref}) \end{cases} \Rightarrow 9 * (V_{s\_min} - V_{ref}) = 2 * (V_{s\_max} - V_{ref})$$

De aici rezultă  $V_{ref} = 3.31V$ . Deoarece amplificatorul diferențial realizează diferența dintre 2 tensiunii de intrare,  $V_{ref}$  reprezintă o tensiune care se va scădea din  $V_{senzor}$  pentru obținerea domeniului de conversie dorit.

Pentru a obține  $V_{ref}$  s-a realizat divizorul de tensiune din Figura 8.

Figura 8. Divizor de tensiune pentru  $V_{ref}$ .



$V_{ref}$  se calculează după formula (1.5)

$$V_{ref} = \frac{R_9}{R_9 + R_7} * V_{cc} \quad (1.5)$$

Se alege rezistența  $R_7=1k$  și rezultă că  $R_9= 428.57\Omega$  – valoarea corespunzătoare seriei standardizate E48 este de  $422\Omega$ .

Se măsoară tensiunea de referință la ieșirea repetorului (cu rol de adaptare de impedanță) și se obțin  $3.26 V$ .

După calculul tensiunii de referință se vor determina rezistențele aferente amplificatorului diferențial.

$$\begin{cases} 2 = \frac{R_2}{R_1} * (V_{s\_min} - V_{ref}) \\ 9 = \frac{R_2}{R_1} * (V_{s\_max} - V_{ref}) \end{cases}$$

$$11 = \frac{R_2}{R_1} * (V_{s\_max} - V_{ref}) + \frac{R_2}{R_1} * (V_{s\_min} - V_{ref}) \Rightarrow \text{raportul că rezistențelor este } \frac{R_2}{R_1} = 4.02 .$$



Se alege  $R_1 = 1k\Omega \Rightarrow R_2 = 4.02k\Omega$ .

Astfel se va obține domeniul de converșie  $(2 \div 9)[V]$ . (Figura 9)

Figura 9. Analiză parametrică.

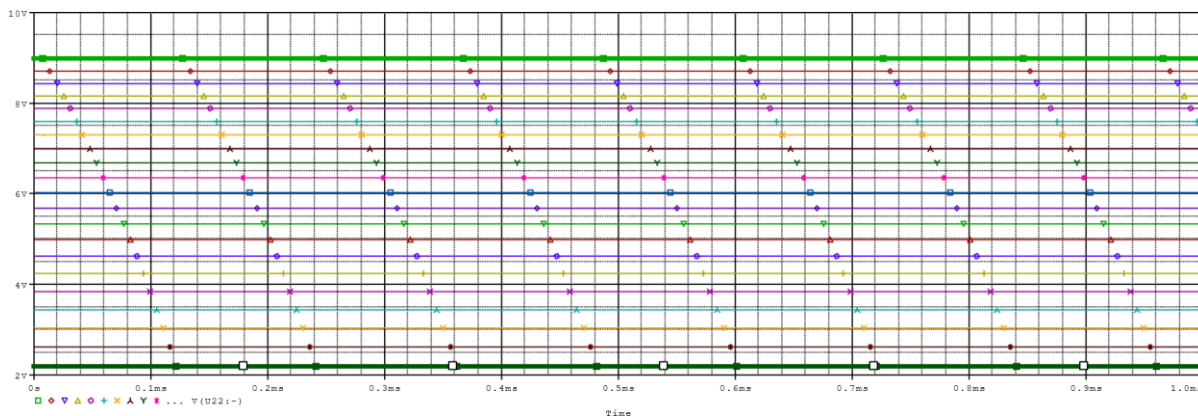
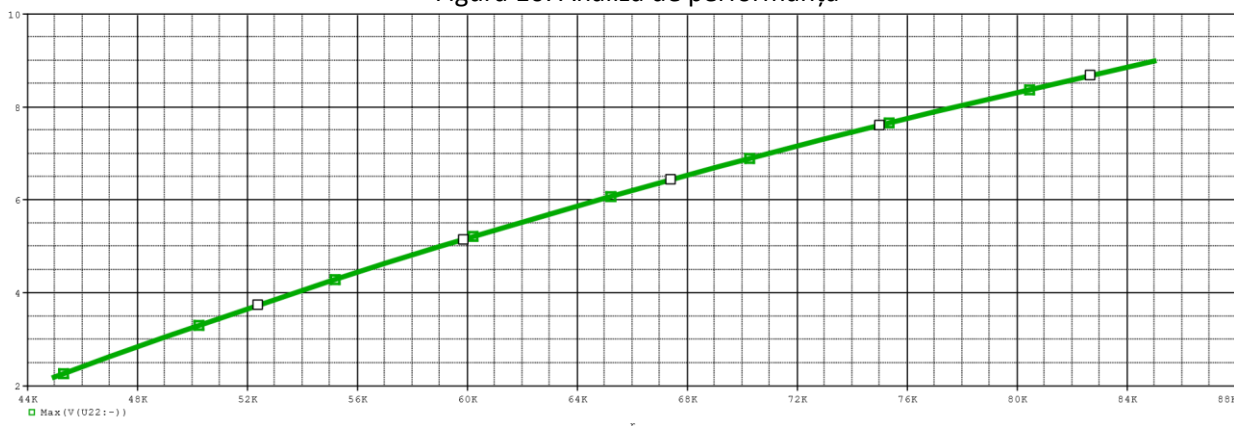


Figura 10. Analiză de performanță



### 3.4 Comparatorul cu histereză

Pentru realizarea comparatorului se vor determina pragurile la care acesta trebuie să comute.

Primul pas constă în determinarea valorilor rezistenței senzorului la concentrația minimă de gaz metan din incintă, 200 [ppm], când ventilatorul este închis și rezistența senzorului este mare, și la concentrație maximă, 5000 [ppm], când ventilatorul este deschis și rezistența senzorului este mică.

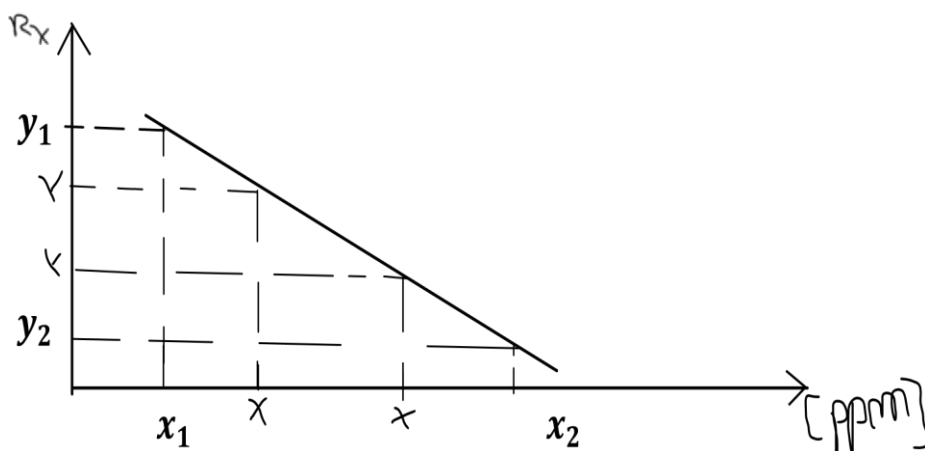


Figura 11. Grafic-Variația rezistenței senzorului în funcție de concentrația de gaz metan

S-a utilizat ecuația dreptei (1.6) pentru determinarea rezistenței la concentrația din incintă.

S-a utilizat ecuația dreptei (1.6) pentru determinarea rezistenței la concentrația din incintă.

$$\frac{y-y_1}{x-x_1} = \frac{y_2-y_1}{x_2-x_1} \quad (1.6)$$

$$y_1 = 85k\Omega$$

$$y_2 = 45k\Omega$$

$$x_1 = 50[ppm]$$

$$x_2 = 7000[ppm]$$

Concentrația de gaz metan din incintă variază între 200...5000 [ppm] .

$$x = 200 \Rightarrow R_{x1} = 56.51k\Omega$$

$$x = 5000 \Rightarrow R_{x2} = 84.13k\Omega$$

Se determină tensiunile de prag ale comparatorului folosind formulele divizorului de tensiune (1.1) și (1.2).

$$V_{pj} = \frac{R_{x1}}{R_{x1} + R_{div}} * V_{cc} = 4.39V \quad (1.1)$$

$$V_{ps} = \frac{R_{x2}}{R_{x2} + R_{div}} * V_{cc} = 5.47V \quad (1.2)$$

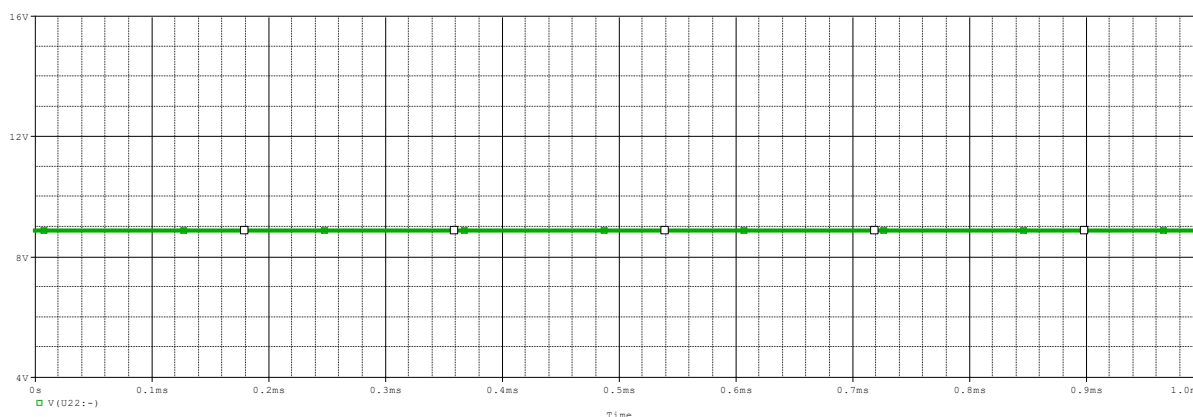
Se realizează conversia de domeniu a pragurilor folosind formula (1.4).

$$V_{outdif} = \frac{R_2}{R_1} * (V_{pj} - V_{ref}) = 4.94V$$

$$V_{outdif} = \frac{R_2}{R_1} * (V_{ps} - V_{ref}) = 8.88V$$

S-a realizat o analiza tranzitorie pentru a verifica dacă pragurile au fost corect calculate.(Figura 12 și Figura 13).

Figura 12. Pragul de sus



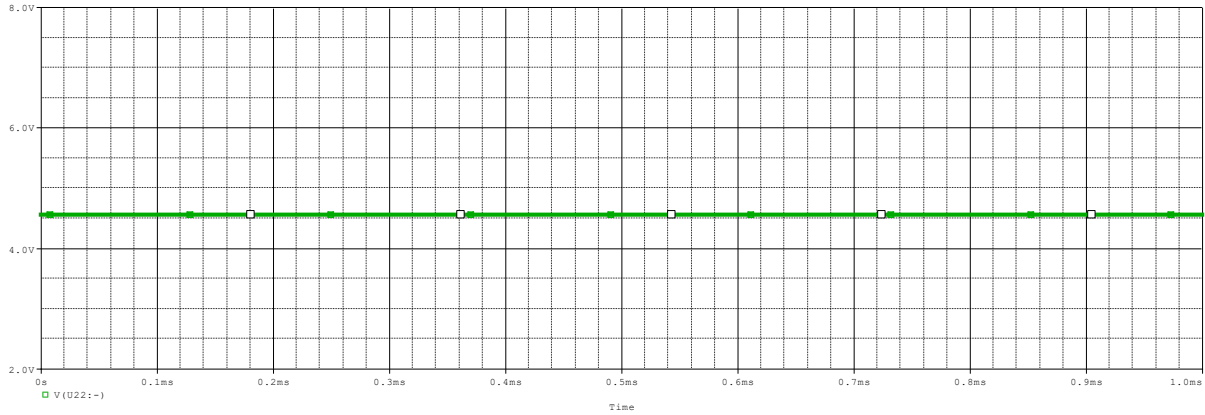
Valoarea măsurată a pragului de sus este: 8.85 V.

Se observă că pentru o concentrație mică de gaz metan avem o rezistență mare, ceea ce înseamnă că avem și o tensiune mare pe senzor.

Valoarea măsurată a pragului de jos este: 4.56 V.

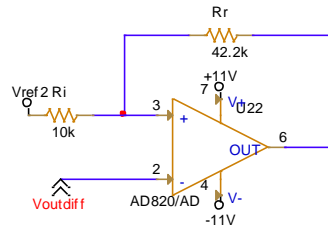
Se observă că pentru o concentrație mare de gaz metan avem o rezistență mică, ceea ce înseamnă că avem și o tensiune mică pe senzor.

Figura 13. Pragul de jos



Datorită acestui fapt s-a ales un comparator inversor (Figura 14) pentru a obține la ieșire  $-V_{cc}$  când tensiunea pe senzor este la pragul de sus și  $+V_{cc}$  când tensiunea pe senzor este la pragul de jos, astfel ventilatorul va rămâne închis la concentrație mică de gaz metan și se va deschide la concentrație mare.

Figura 14. Comparator inversor



Deoarece ambele praguri sunt pozitive este necesară folosirea unei tensiunii de referință,  $V_{ref2}$ , pentru a deplasa histereza comparatorului.

$$\begin{cases} v^+ = \frac{V_{ref2} + V_{out}}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_r}} \\ v^- = V_{outdif} \end{cases} \quad (1.7)$$

$$\begin{cases} V_{ps} = \frac{R_r}{R_i + R_r} * V_{ref2} + \frac{R_i}{R_i + R_r} * V_{cc} \\ V_{pj} = \frac{R_r}{R_i + R_r} * V_{ref2} - \frac{R_i}{R_i + R_r} * V_{cc} \end{cases} \quad (1.8)$$

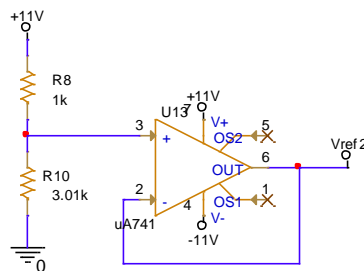
$$\Rightarrow V_{ps} - V_{pj} = 2 * \frac{R_i}{R_i + R_r} * V_{cc} \quad (1.9)$$

Se alege rezistența  $R_i = 10k\Omega$ .  $\Rightarrow R_r = 41.28k\Omega$  – valoarea din seria standardizată folosită este  $42.2k\Omega$ .

$$\Rightarrow V_{ps} + V_{pj} = 2 * \frac{R_r}{R_r + R_i} * V_{ref2} \Rightarrow V_{ref2} = 8.52V$$

Se obține  $V_{ref2}$  dintr-un divizor de tensiune.

Figura 15. Divizor de tensiune  $-V_{ref2}$



$$V_{ref2} = \frac{R_{10}}{R_{10} + R_8} * V_{cc} \quad (2.0)$$

Se alege  $R_8 = 1k\Omega \Rightarrow R_{10} = 3.43k\Omega$  – valoarea din seria standardizată folosită este  $3.48k\Omega$

Pentru realizarea comparatorului inversor s-a folosit amplificatorul operațional AD820, deoarece acesta este un amplificator operațional de performanță care suportă 11V pentru alimentare.

Pentru a demonstra funcționalitatea comparatorului s-a realizat o simulare tranzitorie cu următorii parametrii: -Run to time: 1ms

-Maximum step size: 1μs

Și a fost introdusă o sursă VSIN cu parametrii: VOFF=0, VAMPL=11, FREQ=1kHz, pentru a putea observa ambele praguri și a ridica histerza.

Figura 16. VSIN

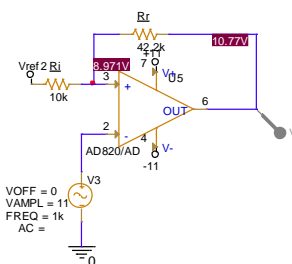
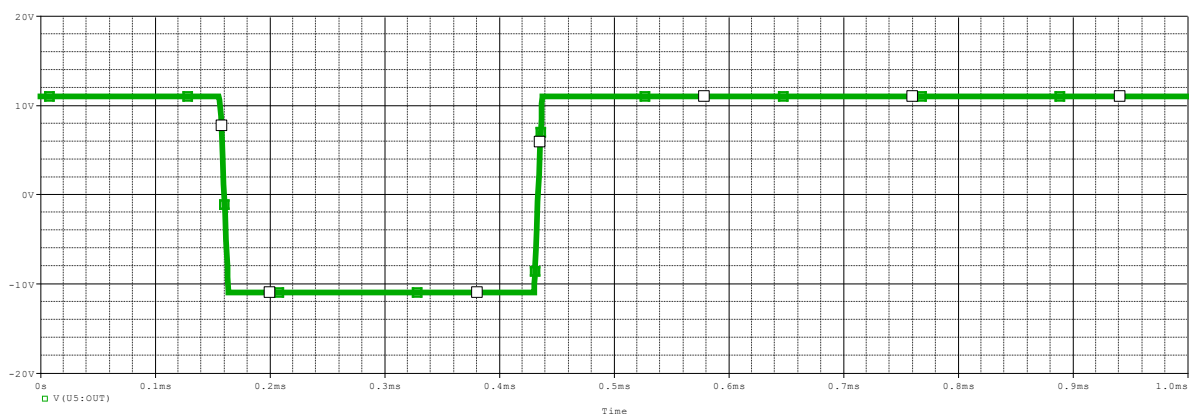
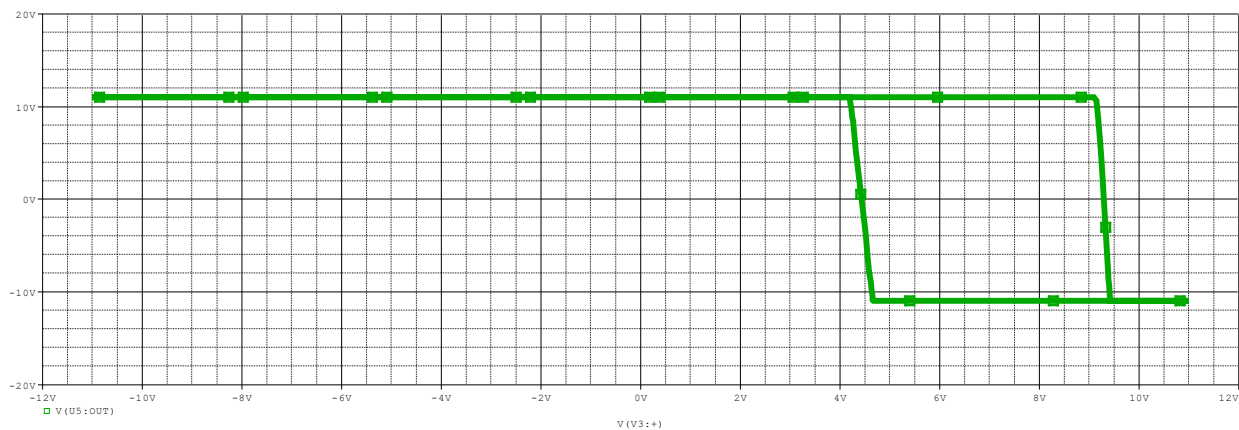


Figura 17. Analiză tranzitorie-comparator



Pentru a ridica histereza este necesară o schimbare de variabilă. A fost schimbată variabila timp în tensiunea VSIN.

Figura 18. Histereza



După conectarea comparatorului la circuit a fost realizată o nouă analiză tranzitorie pentru a verifica dacă comparatorul comută la pragurile determinate anterior.

Figura 19. Tensiunea de iesire a comparatorului- pragul de sus

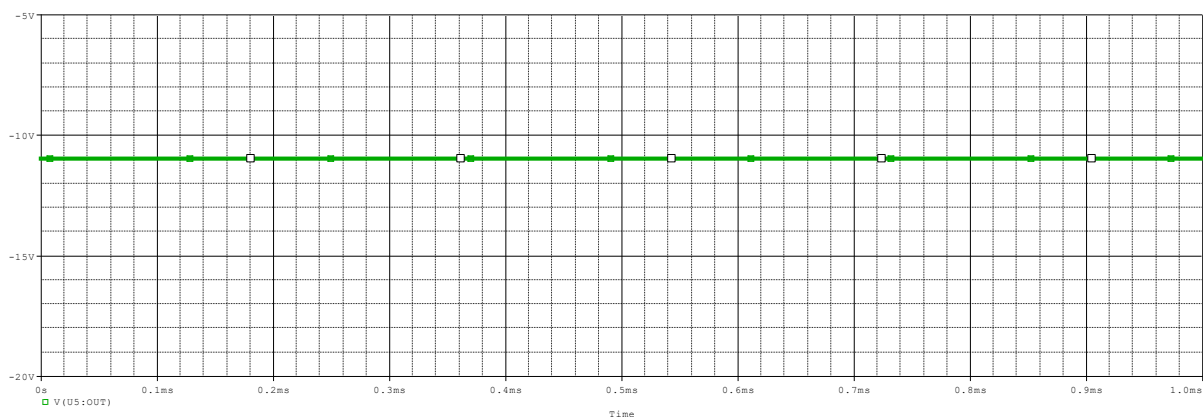
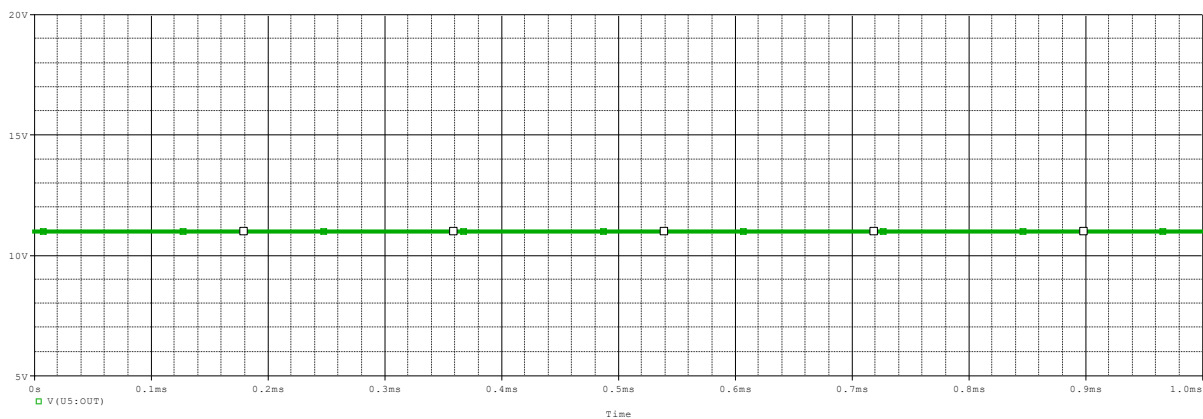


Figura 20. Tensiunea de iesire a comparatorului- pragul de jos



Se poate observa că la pragul de jos la ieșirea comparatorului este măsurată tensiunea de +11 V și că la pragul de sus este măsurată tensiunea de -11 V.

### 3.5 Releu electromagnetic

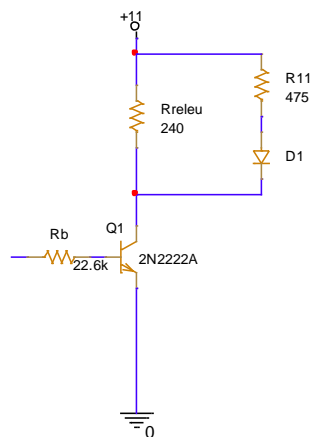
Circuitul are nevoie de un releu electromagnetic pentru a realiza închiderea și deschiderea ventilatorului.

Pentru realizarea acestui bloc funcțional a fost aleasă o rezistență de  $240 \Omega$  care corespunde releului SRA-12VDC-CL la alimentarea de 11V.

Ațiunea de comutație este realizată de un tranzistor bipolar npn (2N2222A). Acesta trebuie să funcționeze în regim de comutație.

$$I_c < \beta * I_b \quad (2.1) \text{ -condiție de comutație}$$

Figura 21. Releu electromagnetic



LED-ul are rol de a compensa dioda de fugă a tranzistorului (dioda parazită dintre colector și emitor)

Pentru calculul rezistenței din baza tranzistorului s-au utilizat următoarele formule:

$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{cc}}{R_{releu}} = 45.8 \text{ mA} \quad (2.2)$$

$$I_c = \beta * I_b \quad (2.3)$$

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} = 0.458 \text{ mA} \quad (2.4)$$

$$\beta = 100 \quad (2.5)$$

$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_b} \quad (2.6)$$

$\Rightarrow R_b = 22.48 \Omega$  -valoarea standardizată este  $22.6 \Omega$ .



S-a realizat o analiză tranzitorie pentru a testa daca releul funcționează.

Figura 22. Răspunsul circuitului la concentrație mică de gaz metan

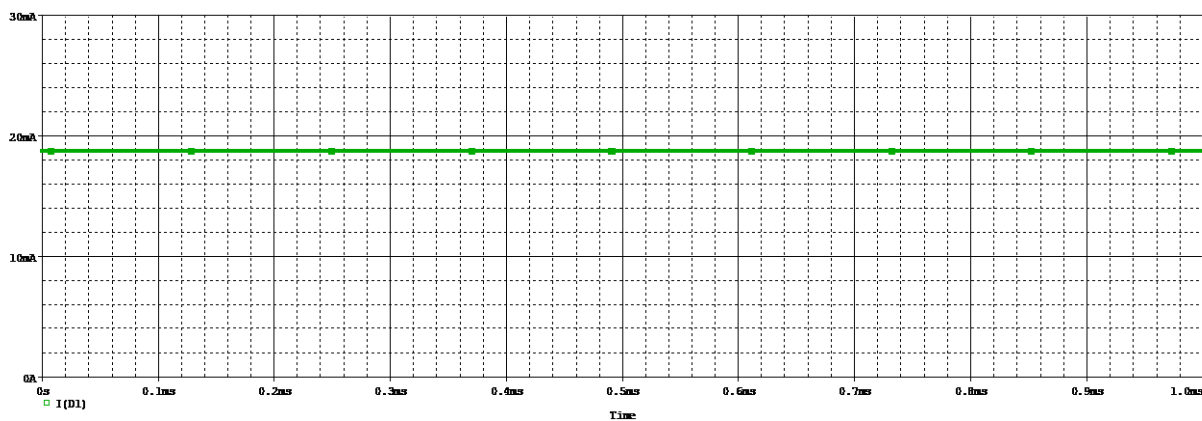
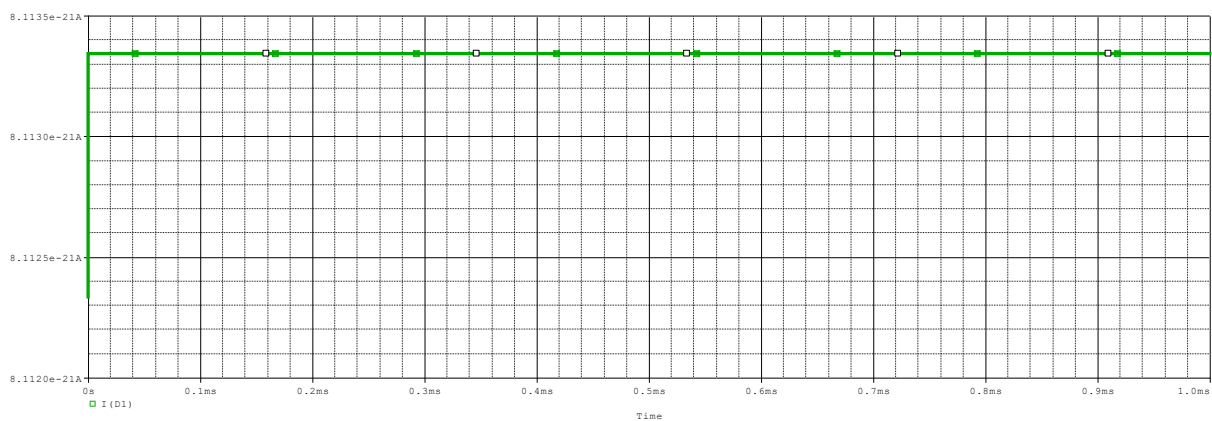


Figura 23. Răspunsul circuitului la concentrație mare de gaz metan



### 3.6 LED ROȘU

S-a realizat o analiză DC Sweep pentru testarea LED-ului.

Figura 24.LED

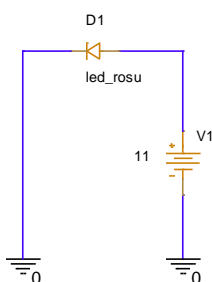
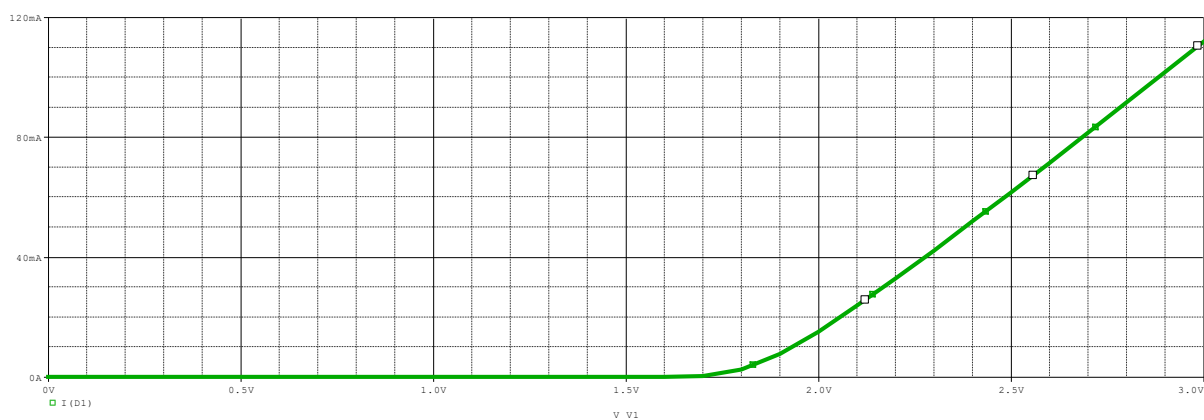


Figura 25.Caracteristică LED



Se va calcula rezistența LED-ului folosind următoarele formule:

$$I_{led} = 20mA$$

$$V_{prag} = 1.8V$$

$$R_{led} = \frac{V_{cc} - V_{prag}}{I_{led}} = 475 \, \Omega \quad (2.7)$$

## Bibliografie

- [1] Electronic Devices, *Laser Assisted Microtechnology*, 9th, Thomas L. Floyd, Ed. Pearson, Boston, 2011.
- [2] <https://www.ti.com/product/UA741>
- [3] Standard Resistor Values - Electronics Tutorials (electronics-tutorials.ws)
- [4] <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=2n2222>
- [5] <https://www.analog.com/en/products/ad802.html>