

## **Proiect Tehnici CAD**

# **Circuit pentru controlul concentrației de gaz metan într-o incintă**

Pop Sebastian Radu

2124

## Cuprins

1. Date de proiectare .....	
1.1 Schemă bloc .....	
1.2 Schema electrică a circuitului .....	
2. Descrierea componentelor .....	
2.1 Divizorul de tensiune .....	
2.2 Repetor .....	
2.3 Amplificator diferențial .....	
2.4 Comparator .....	
2.5 Releul și LED .....	
2.6 Rezistențe utilizate .....	
3. Simulări .....	
3.1 Divizorul de tensiune .....	
3.2 Repetor .....	
3.3 Amplificator diferențial .....	
3.4 Comparator .....	
3.5 LED .....	
3.6 Releul .....	
3.8 Analiza Monte Carlo .....	

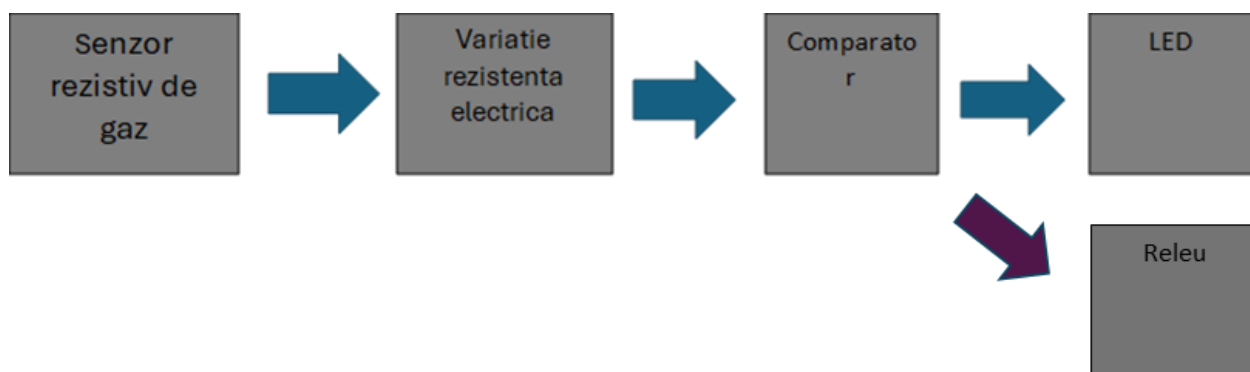
## 4. Date de proiectare

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 relee care este modelat cu un rezistor. Starea ventilatorului (pornit/oprit) este semnalizată de un LED de culoare specificată în coloana I.

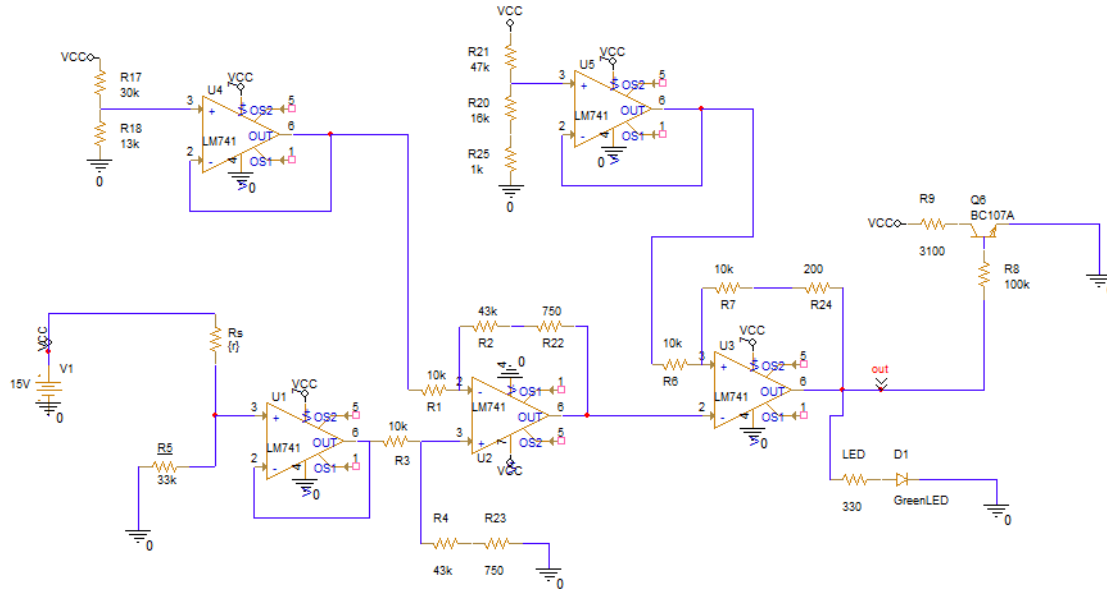
Parametrii din coloana :

- \* Concentrația de metan în incintă: între 200 și 6000 ppm
- \* Domeniul de măsură a senzorului: între 80 și 8000 ppm
- \* Rezistența senzorului: între 33k ohmi și 66k ohmi
- \* Tensiunea de alimentare ( $V_{cc}$ ): 15V
- \* Culoarea LED-ului: Verde

### 1.1 Schemă bloc



## 1.2 Schema electrică a circuitului



TME releu  
<https://www.tme.eu/ro/details/v23026a1003b201/relee-electromagnetice-miniatura/te-connectivity/1-1394774-0/>  
 [ 80-80000]  
 [200-60000]  
 [66k-33k]  
 15VDC  
 Verde

PARAMETERS:  
 r = 66k

Datasheet LED  
<https://www.fairchild.com/datasheets/1671521.pdf>

Title		
<Title>		
Size	Document Number	Rev
A	<Doc>	<RevCode>
Date:	Wednesday, May 22, 2024	Sheet 1 of 1

Fig.1.2

## 5. Descrierea componentelor

### 2.1 Divizorul de tensiune

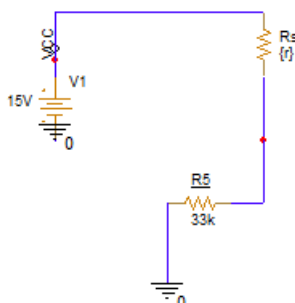


Fig. 1.3

Pentru funcționalitatea corectă a divizorului de tensiune, rezistența  $R_s$  care reprezintă senzorul de gaz este conectat într-un divizor de tensiune cu o rezistență de referință ( $R_5$ ). Senzorul este conectat la o sursă de tensiune de 15V care reprezintă alimentarea circuitului. Senzorul de metan modifică rezistența sa în funcție de concentrația de metan din incintă.  $V_{out}$ -ul acestui divizor este conectat la urmatorul bloc din circuit care reprezintă un repetor.

#### Calcule

Se calculează  $V_{out}$  al divizorului de tensiune pentru valorile senzorului de gaz. Conform datelor de proiectare domeniul de măsură al senzorului este între 80ppm și 8000ppm. Rezistența senzorului este între 33k ohmi și 66k ohmi. Se va calcula  $V_{out}$  în funcție de ambele domenii ale senzorului folosind formula divizorului de tensiune din figura 1.

$$V_{out} = V_{cc} \cdot \frac{R_5}{R_5 + R_s}$$

Fig. 1

Alegem  $R_5 = 33k\Omega$  pentru simplificarea calculele și pentru ca valoarea trebuie să se afle în domeniul de variație al senzorului.

Pentru  $R_s = 33k\Omega$  calculul arată așa:

$$V_{out} = 15V \cdot \frac{33k}{33k + 33k} = 15V \cdot \frac{33k}{66k} = 15V \cdot \frac{1}{2} = 7.5V$$

Fig. 2

Pentru  $R_s = 66k\Omega$  calculul arată așa:

$$V_{out} = 15V \cdot \frac{33k}{33k + 66k} = 15V \cdot \frac{33k}{99k} = 15V \cdot \frac{1}{3} = 5V$$

Fig. 3

Astfel tensiunea maximă ce poate să fie la ieșire pentru domeniile de 80ppm și 8000 este cuprinsă între [5V 7.5V]. Rezistența senzorului de metan variază în funcție de concentrația de metan din aer. De obicei, senzorii de gaz au o rezistență mai mare la concentrații mici de gaz și o rezistență mai mică la concentrații mari de gaz. Tensiunea de ieșire a divizorului de tensiune va varia în funcție de  $R_s$ . Pe măsură ce  $R_s$  scade (indicând o creștere a concentrației de metan),  $V_{out}$  va crește, și invers. Divizorul de tensiune este o componentă esențială în acest circuit, transformând variațiile în rezistența senzorului de metan în semnale de tensiune care pot fi utilizate de restul circuitului pentru detectarea concentrației de gaz.

## 2.2 Repetor

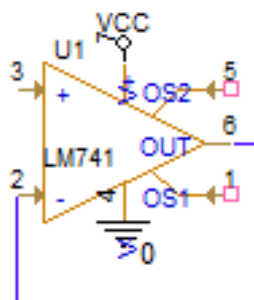


Fig 1.4

Tensiunea de la iesirea divizorului de tensiune este introdusă într-un repetor. Rolul acestuia este de a deconecta impedanța de intrare a circuitului de ieșire de impedanța circuitului de intrare. Semnalul de la ieșire va fi identic cu cel de la intrare. Scopul repetorului este de a oferi o impedanță mare la intrare și o impedanță mică la ieșire, asigurând că tensiunea de la punctul de măsurare este transferată fără amplificare. Cu alte cuvinte, amplificatorul asigură o izolare electrică între circuitele de intrare și cele de ieșire. Ca și amplificator operational, a fost ales amplificatorul LM741, deoarece poate funcționa atât cu o alimentare simetrică ( $\pm V_{cc}$ ) cât și cu o alimentare simplă ( $+V_{cc}$  și masă). Totodată, amplificatorul operational LM741 poate să funcționeze într-un interval larg de concentrație de gaz metan, ceea ce este esențial în condiții mai ridicate de gaz metan în incintă.

$$V_{out} = V_{in}$$

Fig. 4

## 2.3 Amplificator diferential

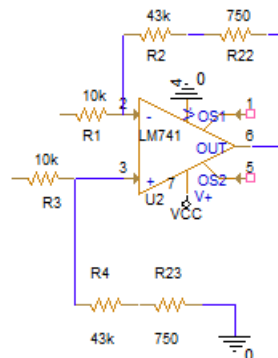


Fig. 1.5

Pentru a extinde domeniul de variație conform cerinței, este folosit un amplificator diferential. Acesta permite să compare și să amplifice diferența de tensiune între două intrări. Însă avem nevoie de o tensiune de referință care este conectată la amplificatorul diferential la  $V_-$ .

$$V_{ref1} = V_{cc} \cdot \frac{R_{18}}{R_{18} + R_{17}} = 15V \cdot \frac{13k}{13k + 30k} = 15V \cdot \frac{13k}{43k} = 4.535V$$

Fig. 5

Însă pentru că domeniul de măsură al senzorului este cuprins între 80ppm și 8000ppm și concentrația de metan din incintă este cuprinsă între 200ppm și 6000ppm trebuie să afla căderea de tensiune al senzorului și la valorile de 200ppm și 6000ppm. Rezistența senzorului la aceste valori se afla făcând diferența dintre valoarea maximă a senzorului și valoarea senzorului la acea concentrație.

$$R_s(200) = 66k\Omega - 4,166 \cdot 120 = 65,5k\Omega$$

$$R_s(6000) = 66k\Omega - 4,166 \cdot 5920 = 41,337k\Omega$$

Fig. 6

Valoarea de 4,166 a fost luată folosind raportul dintre rezistența de 33k $\Omega$  și diferența domeniului de măsură al senzorului.

Tensiunea de referință al amplificatorului diferențial trebuie să se afle în jurul tensiunii minime pentru ca variația tensiunii să înceapă cât mai aproape de zero.  $V(in)$  este aflat prin intermediul rezistenței senzorului și a concentrației de gaz din incintă care este între 200ppm și 6000ppm.



Căderea de tensiune la valorile de 200ppm și 6000ppm se calculează folosind formula divizorului de tensiune din figura 1.

$$V_{R_s}(200) = V_{cc} \cdot \frac{R_5}{R_5 + R_s(200)} = 15V \cdot \frac{33k\Omega}{33k\Omega + 65,5k\Omega} = 5.025V$$

$$V_{R_s}(6000) = V_{cc} \cdot \frac{R_5}{R_5 + R_s(6000)} = 15V \cdot \frac{33k\Omega}{33k\Omega + 41,33k\Omega} = 6.659V$$

Fig. 7

Acum putem afla tensiunea de intrare ( $V_{in}$ ) a amplificatorului diferential pentru ambele concentrații.

$$V_{in}(min) = V_{cc} - V_{R_s}(200) = 5.025V$$

$$V_{in}(max) = V_{cc} - V_{R_s}(6000) = 6.659V$$

Fig. 8

Folosind aceste valori putem afla tensiunea de iesire a amplificatorului folosind formula amplificatorului operational.

$$V_{out} = A_v(V_+ - V_-)$$

Fig. 9

Stiind ca pentru a afla amplificarea rezistențele  $R_3=R_1$ ,  $R_4 = R_2$  și  $R_{23}=R_{22}$ . Astfel amplificarea va fi urmatoarea:

$$A_v = \frac{R_2 + R_{22}}{R_1} = \frac{43000\Omega + 750\Omega}{10000\Omega} = 4.375$$

Fig. 10

Astfel, semnalul de intrare va fi amplificat de 4.375 ori la ieșirea acestui amplificator diferențial.

Noul domeniu de variație al tensiunii va fi cuprins între 2V și 13V. [2V, 13V].

Folosind formula din figura 9 putem afla tensiunea de ieșire a amplificatorului diferential, însă pentru ca avem două valori ale tensiunii  $V_{in}$  se va calcula  $V_{out}$  pentru fiecare:

$$V_{out(min)} = A_v (V_{in(min)} - V_{ref1}) = 4.375 (5.025V - 4.535V) = 2.143V$$

$$V_{out(max)} = A_v (V_{in(max)} - V_{ref1}) = 4.375 (6.659 - 4.535V) = 9.292V$$

Fig. 11

Aceste valori reprezintă tensiunile de ieșire la valorile concentrației de metan cuprinsă între 200 și 6000 ppm.

## 2.4 Comparator

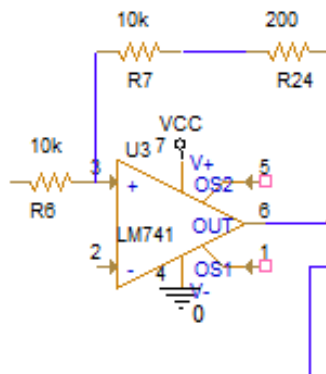


Fig. 1.6

Comparatorul de tensiune compară tensiunea de la intrarea neinversoare (+) cu tensiunea de la intrarea inversoare (-) și produce o ieșire „HIGH” sau „LOW” în funcție de care dintre cele două tensiuni este mai mare. Valorile pragurilor le putem lua ca fiind tensiunile de ieșire de la amplificatorul diferential. Inșă pentru comparator avem nevoie de o tensiune de referință  $V_{ref}$ . Aceasta se poate afla conectând la v+ un al amplificator operational LM741.

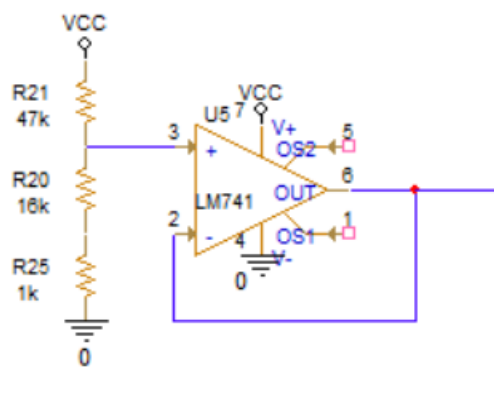


Fig. 1.7

Pentru a afla tensiunea de referință pentru amplificatorul de mai sus, o să facem un divizor de tensiune. Am ales rezistențele  $R_{21}=47k\Omega$ ,  $R_{20}=16k\Omega$  și  $R_{25}=1k\Omega$  cu valori standardizate din E192 și toleranțe mici. Alimentarea este conectată la sursa  $V_{cc}=15V$ . Astfel valoarea tensiunii de referință ( $V_{ref2}$ ).

$$V_{ref2} = V_{cc} \cdot \frac{R_{20} + R_{25}}{R_{20} + R_{25} + R_{21}} = 15V \cdot \frac{16000\Omega + 1000\Omega}{16000\Omega + 1000\Omega + 47000\Omega} = 3.984$$

Fig. 12

Astfel având tensiunea de referință putem afla raportul rezistențelor comparatorului din formula comparatorului inversor cu reacție:

$$\begin{cases} v^- = V_{in} \\ v^+ = \frac{\frac{V_{ref2}}{R_6} + \frac{V_0}{R_7 + R_{24}}}{\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7 + R_{24}}} \end{cases}$$

Fig. 13

Stiind că  $v^+ = v^-$  ecuația devine:

$$V_{prag} = \frac{R_7 + R_{24}}{R_6 + R_7 + R_{24}} \cdot V_{ref2} + \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_{24}} \cdot (\pm V_{cc})$$

Fig. 14

Stiind că comparatorul este conectat la  $V_{cc}$  și la masă, raportul rezistențelor va fi:

$$\frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_{24}} = 4.950$$

Fig. 15

Pentru a avea raportul menționat, au fost folosite rezistențe standardizate din E192 cu valorile  $10k\Omega$ ,  $200\Omega$  și toleranțe mici.

## 2.5 Releul si LED-ul

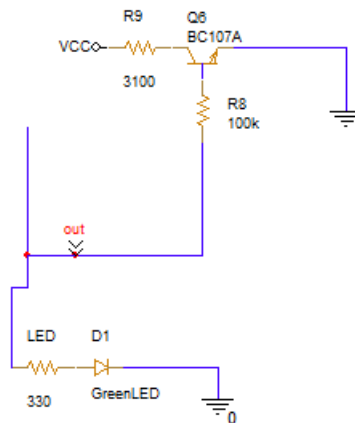


Fig. 1.8

În proiect, LED-ul se aprinde atunci când circuitul este alimentat corespunzător sau atunci când trebuie să detecteze dacă nivelul de metan depășește o anumită valoare. Un rezistor este plasat în serie cu LED-ul pentru a limita curentul care trece prin LED, prevenind astfel arderea acestuia. Valoarea rezistorului se calculează de obicei folosind legea lui Ohm.

$$R_{LED} = \frac{V_{cc}}{I_{max}}$$

Fig. 16

Potrivit graficului de mai jos curentul maxim pentru LED-ul verde este de 50mA.

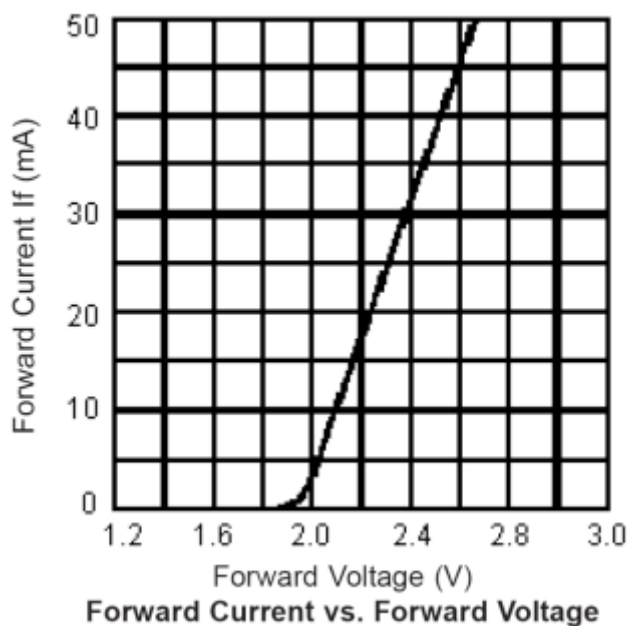


Fig. 1.9

Astfel rezistența LED-ului va fi de  $300\Omega$ . Aceasta face parte din seria de rezistențe E24 care au o toleranță de 5%. LED-ul este conectat în paralel cu următoarea ramură pentru ca acesta să fie simultan cu pornirea. Tranzistorul este folosit pe post de comutator. Rezistența R8 a fost aleasă în așa fel încât să asigure saturația tranzistorului când primește tensiunea de alimentare  $V_{cc}$  ca să activeze releul. Când nivelul de metan este peste un anumit prag, comparatorul trimite un semnal de ieșire astfel LED-ul se aprinde, iar releul se activează pornind un sistem de siguranță. Rezistența de R9 de  $3100\Omega$  a fost aleasă din foaia de catalog a releului. Am ales releul V23026A1003B201 de la TE Connectivity, deoarece este un releu proiectat pentru diverse aplicații de comutare a curenților mici.

## 2.6 Rezistențe utilizate

<i>R5</i>	33k E192 0.5%
<i>R3</i>	10k E192 0.5%
<i>R4</i>	43k E192 0.5%
<i>R23</i>	750 E24 5%
<i>R1</i>	10k E192 0.5%
<i>R2</i>	43k E192 0.5%
<i>R22</i>	750 E24 5%
<i>R17</i>	30k E192 0.5%
<i>R18</i>	13k E192 0.5%
<i>R6</i>	10k E192 0.5%
<i>R7</i>	10k E192 0.5%
<i>R24</i>	200 E24 5%
<i>R21</i>	47k E192 0.5%
<i>R20</i>	16k E192 0.5%
<i>R25</i>	1k E192 0.5%
<i>LED</i>	300 E24 5%
<i>R8</i>	100k E192 0.5%
<i>R9</i>	3100 E192 0.5%

Fig. 2.0

## 6. Simulări

### 3.1 Divizorul de tensiune

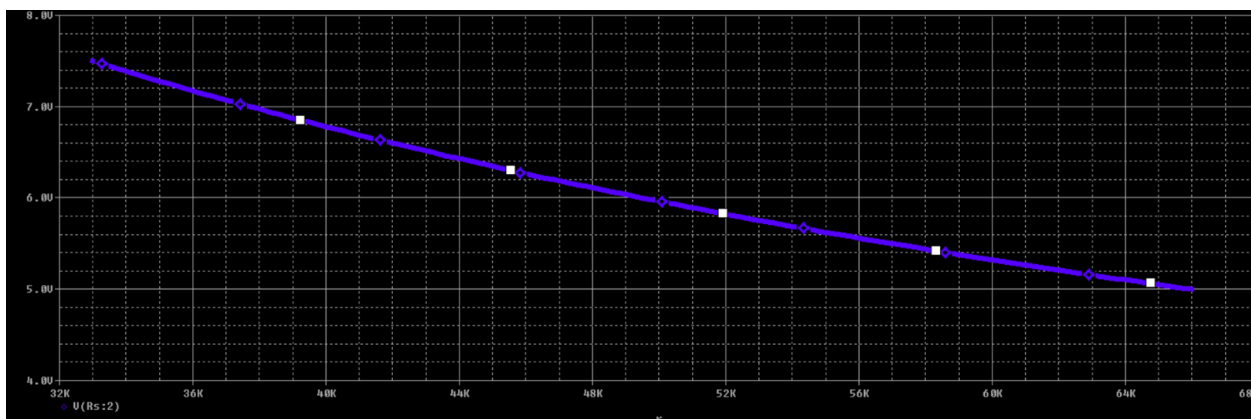


Fig. 2.1

Graficul atașat ilustrează relația dintre rezistența senzorului de metan ( $R_s$ ) și tensiunea măsurată la punctul de mijloc al divizorului de tensiune. Graficul acoperă un interval de la  $33\text{k}\Omega$  la  $66\text{k}\Omega$  pentru rezistența  $R_s$ . Acest interval corespunde domeniului de funcționare al senzorului de metan, care variază în funcție de concentrația de metan în incintă. Tensiunea măsurată scade pe măsură ce rezistența  $R_s$  crește. La valori mici ale rezistenței  $R_s$  (aproximativ  $33\text{k}\Omega$ ), tensiunea măsurată este maximă, în jurul valorii de  $7.5\text{V}$ . Pe măsură ce rezistența  $R_s$  crește spre  $66\text{k}\Omega$ , tensiunea măsurată scade treptat până la aproximativ  $5\text{V}$ .



### 3.2 Repetor

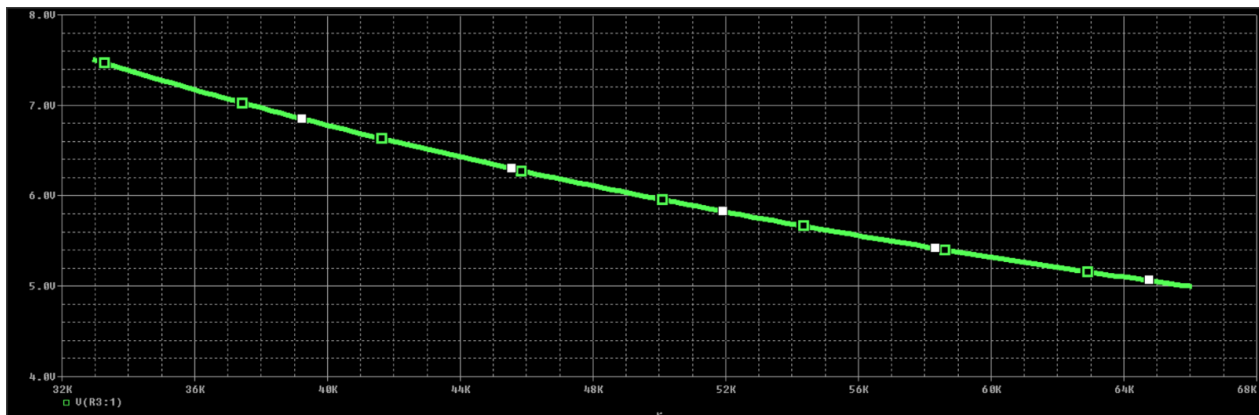


Fig. 2.2

Tensiunea de ieșire la repetor trebuie să fie egală cu cea de intrare.

### 3.3 Amplificator diferențial

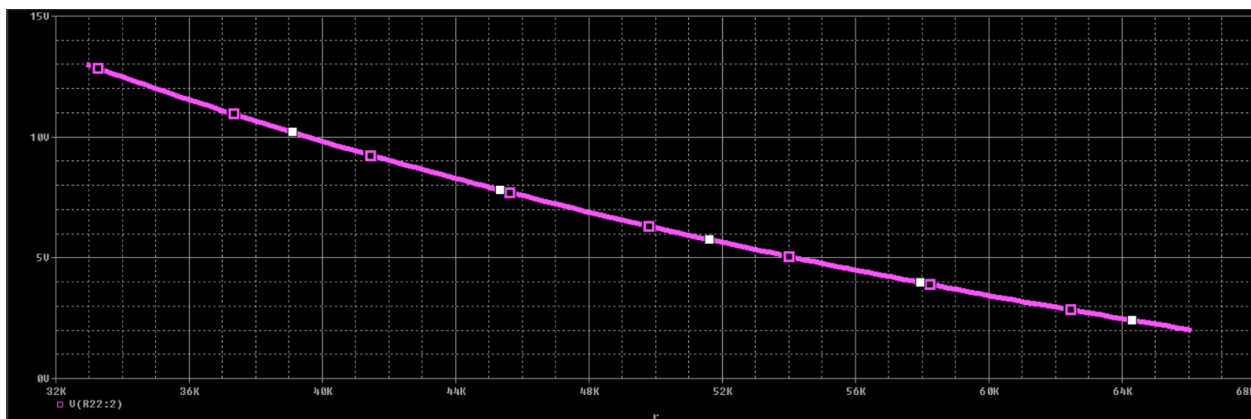


Fig. 2.3

Tensiunea măsurată la ieșirea amplificatorului diferențial scade pe măsură ce rezistența  $R_s$  crește. Scopul acestui etaj este de a amplifica diferența de tensiune dintre cele două intrări. În graficul de mai sus, se observă creșterea variației de tensiune de la 2 la  $V_{cc} - 2V$ . Astfel la o rezistență mai mică a senzorului (indicând o concentrație mai mare de metan), tensiunea de ieșire este mai mare, iar la o rezistență mai mare (indicând o concentrație mai mică de metan), tensiunea de ieșire este mai mică.

### 3.4 Comparator

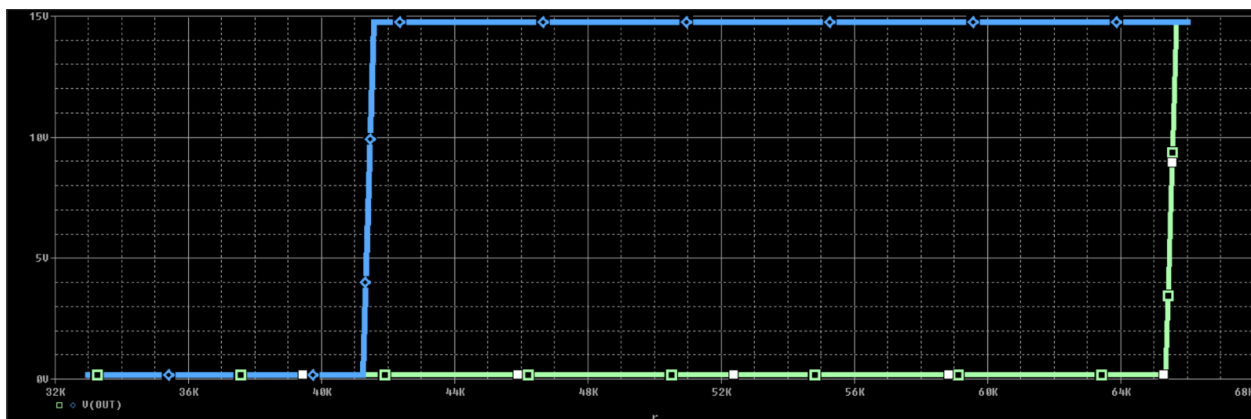


Fig 2.4

Comparatorul joacă un rol esențial în detectarea depășirii unui nivel critic de concentrație de metan. Când  $R_s$  (care variază cu concentrația de metan) depășește un anumit prag, ieșirea comparatorului se ridică, indicând depășirea nivelului sigur. Când rezistența senzorului de metan ( $R_s$ ) indică o concentrație de gaz sub nivelul critic, comparatorul menține ieșirea la 0V. Odată ce concentrația depășește pragul setat de tensiunea de referință, ieșirea comparatorului trece rapid la valoarea maximă de 15V, semnalizând o condiție de alarmă. Acest comportament de comutare bruscă este esențial pentru un răspuns rapid și fiabil în sistemele de detecție a gazului metan.

### 3.5 Semnalizare LED

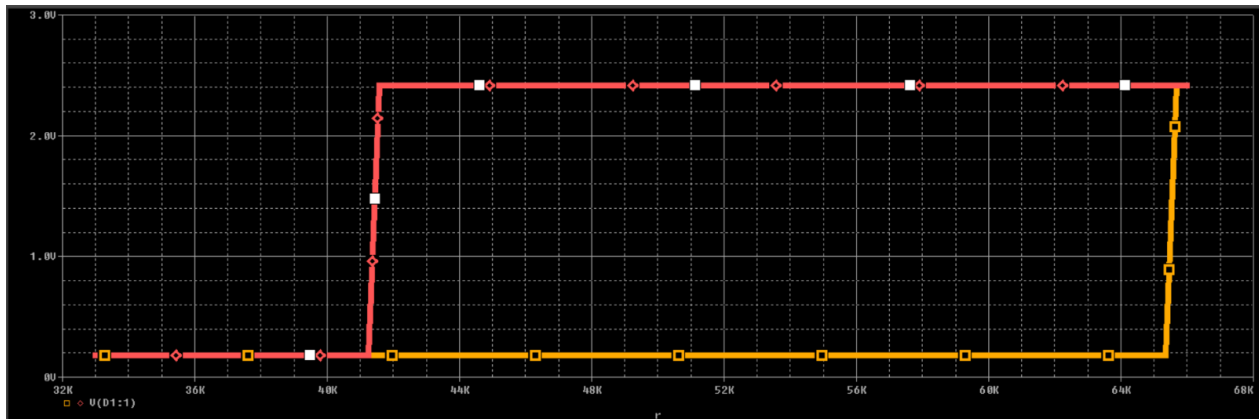


Fig. 2.5

După deschiderea diodei, tensiunea este constantă.

### 3.6 Releul

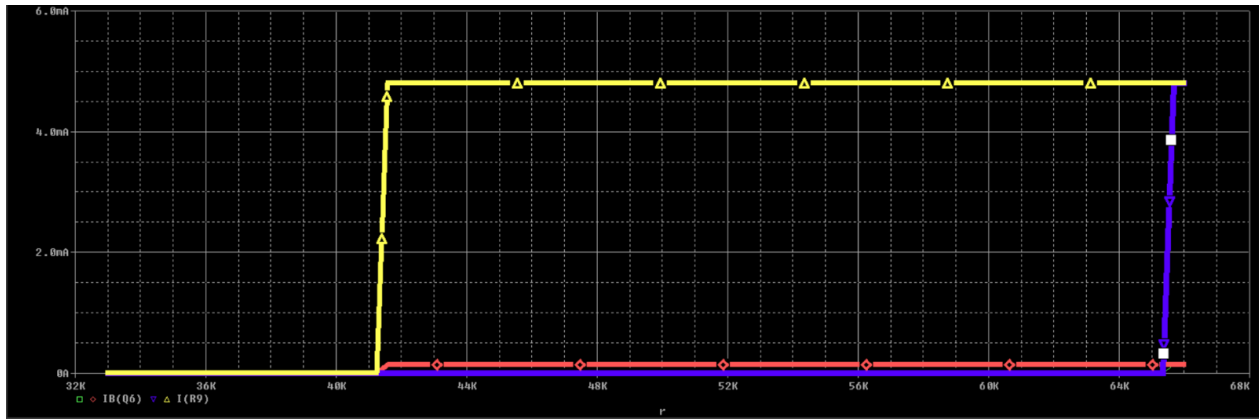


Fig. 2.6

Curentul în baza tranzistorului este de 0.25mA. Acesta este amplificat, tranzistorul este în saturație și duce la activarea releului.

### 3.7 Analiza Monte Carlo/Worst-Case

```

263
264      WORST CASE ALL DEVICES
265
266      *****
267
268
269
270 Device  MODEL  PARAMETER  NEW VALUE
271 R_R6    R_R6    R          1.005  (Increased)
272 R_R1    R_R1    R          .995   (Decreased)
273 R_R4    R_R4    R          .995   (Decreased)
274 R_R8    R_R8    R          1.005  (Increased)
275 R_R3    R_R3    R          1.005  (Increased)
276 R_R2    R_R2    R          1.005  (Increased)
277 R_R7    R_R7    R          1.005  (Increased)
278 R_R22   R_R22   R          .995   (Decreased)
279 R_R23   R_R23   R          .995   (Decreased)
280 R_R24   R_R24   R          .995   (Decreased)
281
282

```

Fig. 2.7

```

290      WORST CASE SUMMARY
291
292      *****
293
294
295
296
297
298 Mean Deviation = 14.561
299 Sigma          = 0
300
301 RUN            MAX DEVIATION FROM NOMINAL
302
303 WORST CASE ALL DEVICES
304      14.561 higher at r = 65.3400E+03
305      ( 8.0196E+03% of Nominal)
306
307
308
309      JOB CONCLUDED

```

Fig. 2.8

## Bibliografie

1. Cursuri Tehnici CAD

2. Cursuri Dispozitive Electronice

[Amplificatoare Operationale 2023\\_12.pptx](#)

3. Datasheet LED

<https://www.farnell.com/datasheets/1671521.pdf>

4. TME releu

<https://www.tme.eu/ro/details/v23026a1003b201/relee-electromagnetice-miniatura/te-connectivity/1-1393774-0/>

5. Amplificator Diferential

<https://sites.google.com/site/bazeleelectronicii/home/amplificatoare-operationale/5-amplificator-diferential>

6. Diode si redresoare

[Diode si redresoare.ppt](#)