

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

Proiect realizat de  
Butica Cristian-Viorel

## Cuprins

I. Scurtă prezentare a circuitului pentru controlul concentrației de gaz metan într-o incintă .....	3
II. Specificații de proiectare a circuitului .....	4
III. Schema bloc .....	5
IV. Circuitul electric .....	6
1.1 Etajul de citire a senzorului .....	6
1.2 Adaptarea de impedanță .....	7
1.3 Etajul de conversie a domeniului .....	8
1.3.1 Amplificator diferențial.....	8
1.3.2 Circuit de scădere (factor de amplificare unitar) .....	9
1.4 Etajul de comparare (pompa) .....	11
1.4.1 Comparator neinvertor cu reacție .....	16
1.5 Modelarea LED-ului .....	13
1.6 Releu .....	15
V. Simulări .....	17
VI. Bibliografie .....	24

## **I. Scurtă prezentare a circuitului pentru controlul concentrației de gaz metan într-o incintă**

Detectorul de gaz este un dispozitiv de siguranță esențial, conceput pentru a menține concentrația de gaz dintr-o incintă într-un interval specificat. Rolul principal al acestuia este de a detecta prezența metanului în aer, atunci când concentrația depășește sau scade sub limitele admise. Un detector de gaz este format dintr-un senzor de gaz, o unitate de procesare, o alarmă și o sursă de alimentare.

Senzorul de gaz este responsabil pentru identificarea prezenței metanului în incintă. Există diverse tipuri de senzori, inclusiv senzori electrochimici, senzori pe bază de semiconductori și senzori catalitici.

Unitatea de procesare interpretează semnalele primite de la senzorul de gaz și stabilește dacă concentrația de metan depășește un prag de siguranță prestabilit. În cazul în care nivelul de metan depășește acest prag, detectorul activează o alarmă vizuală pentru a avertiza persoanele din incintă despre pericolul iminent.

Detectoarele de gaz metan pot fi alimentate fie de la rețeaua electrică, fie cu ajutorul bateriilor. În anumite situații, aceste dispozitive pot dispune și de funcții de back-up pentru a asigura o funcționare continuă în cazul unei întreruperi de alimentare.

Importanța unui circuit pentru controlul concentrației de gaz metan constă în garantarea siguranței locuințelor și a altor clădiri, prin monitorizarea constantă a calității aerului pentru detectarea rapidă a scurgerilor de gaz. Astfel, se previne producerea incendiilor și exploziilor, reducând semnificativ riscul acestora, conform sursei [3].

## II. Specificații de proiectare a circuitului

Să se proiecteze un sistem care utilizează senzori rezistivi de gaz pentru a menține într-o încălț concentrația de metan între limitele specificate [300 – 15000ppm]. În încălț există o sursă care generează în continuu gaz metan. În momentul în care concentrația a ajuns la limita superioară de 15000 ppm sistemul va porni ventilatorul care va introduce aer curat. Când concentrația de metan ajunge la limita inferioară de 300ppm 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 intervalul [100 – 20000ppm] rezistența electrică a senzorului variază liniar în domeniul [40k – 25k].

Variația rezistenței electrice a senzorului trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul  $[2 \div (V_{cc}-2V)]$ .  $V_{cc}$  este egal cu 15V. 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 galbenă.

Pentru alimentarea circuitului s-a utilizat o sursă de tensiune, a cărei valoare a fost aleasă la 15V, din specificațiile de proiectare a circuitului.

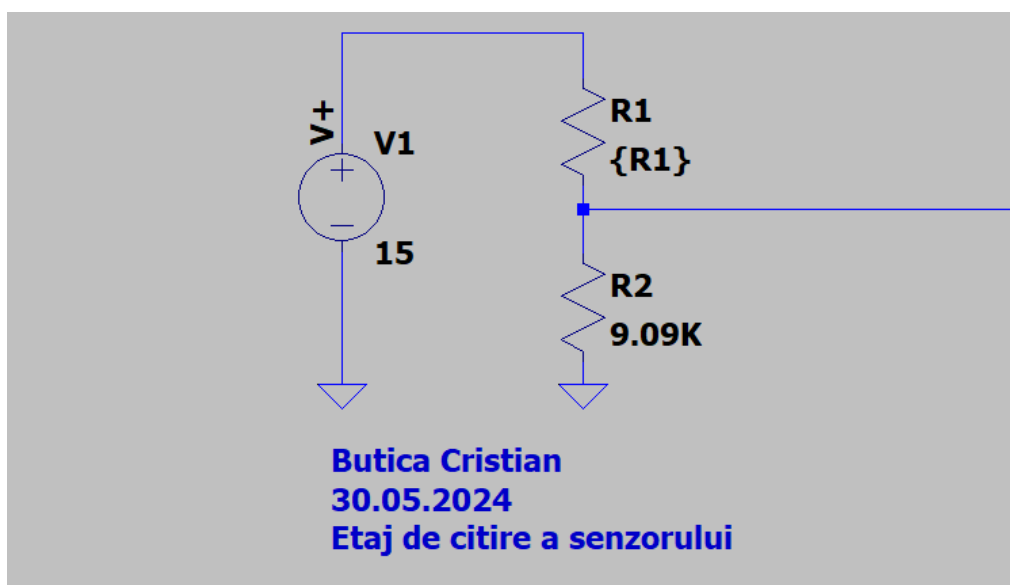
Din punct de vedere a componentelor utilizate pentru realizarea senzorului, s-a ales amplificatorul operațional UniversalOpAmp, furnizat de programul LTspice, datorită liniarității pe care acesta o are, neavând noduri interne și limitări a tensiunii de ieșire. De asemenea, s-au utilizat surse de tensiune continue, atât pentru a alimenta bornele amplificatoarelor operaționale pentru realizarea circuitelor de amplificare diferențială, scădere și deplasare a pragului comparatoarelor. Rezistențele standardizate folosite în realizarea circuitului sunt cele furnizate de către programul LTspice, aparținând standardului E96, având o toleranță de 1%.

### III. Schema bloc



## IV. Circuitul electric

### 1.1 Etajul de citire a senzorului



Tabelul 1. Denumirile și valorile componentelor utilizate pentru etajul de citire a senzorului

Denumire componentă	Valoarea componentelor exprimată conform tipului utilizat
$R_1$	$[40\text{ k}\Omega - 25\text{ k}\Omega]$
$V_1$	$15\text{ V}$
$R_2$	$9,09\text{ k}\Omega$

Pentru a putea realiza conversia rezistenței electrice  $R_1$  a senzorului la o variație a concentrației de gaz s-a introdus o sursă de tensiune  $V_1$  de 15V urmată de un divizor de tensiune format din rezistențele  $R_1$  și  $R_2$  pentru a determina variația liniară a căderii de tensiune pe rezistență în raport cu variația rezistenței electrice.

Principiul transformării dintr-o variație rezistivă a senzorului într-o variație de tensiune constă în aplicarea regulii divizorului de tensiune, pentru fiecare rezistență minimă și maximă a senzorului. Astfel, vom avea 2 tensiuni minime și maxime la ieșirea din divizor:

$$\begin{aligned} \frac{x}{40\text{ k}\Omega + x} * V_1 &= a \\ \frac{x}{25\text{ k}\Omega + x} * V_1 &= b \end{aligned} \quad (1)$$

În formulele (1),  $x$  este valoarea necunoscută a rezistenței  $R_2$ , iar  $a$  și  $b$  sunt tensiunile la ieșirea divizorului, în funcție de variația rezistenței senzorului. Mai departe, am ales mai multe valori de rezistență  $x$  astfel încât să obțin un domeniu cât mai larg de variație a tensiunii la ieșirea divizorului. Am observat că pentru o rezistență standardizată de  $9.09\text{ k}\Omega$  tensiunea minimă este de  $2.77\text{ V}$  iar tensiunea maximă este de  $3.99\text{ V}$ , urmând ca acest domeniu să fie convertit la  $2-13\text{ V}$ .

$$\frac{9.09\text{ k}\Omega}{40\text{ k}\Omega + 9.09\text{ k}\Omega} * 15\text{ V} = 2.77\text{ V}$$

$$\frac{9.09\text{ k}\Omega}{25\text{ k}\Omega + 9.09\text{ k}\Omega} * 15\text{ V} = 3.99\text{ V} \quad (2)$$

## 1.2 Adaptarea de impedanță

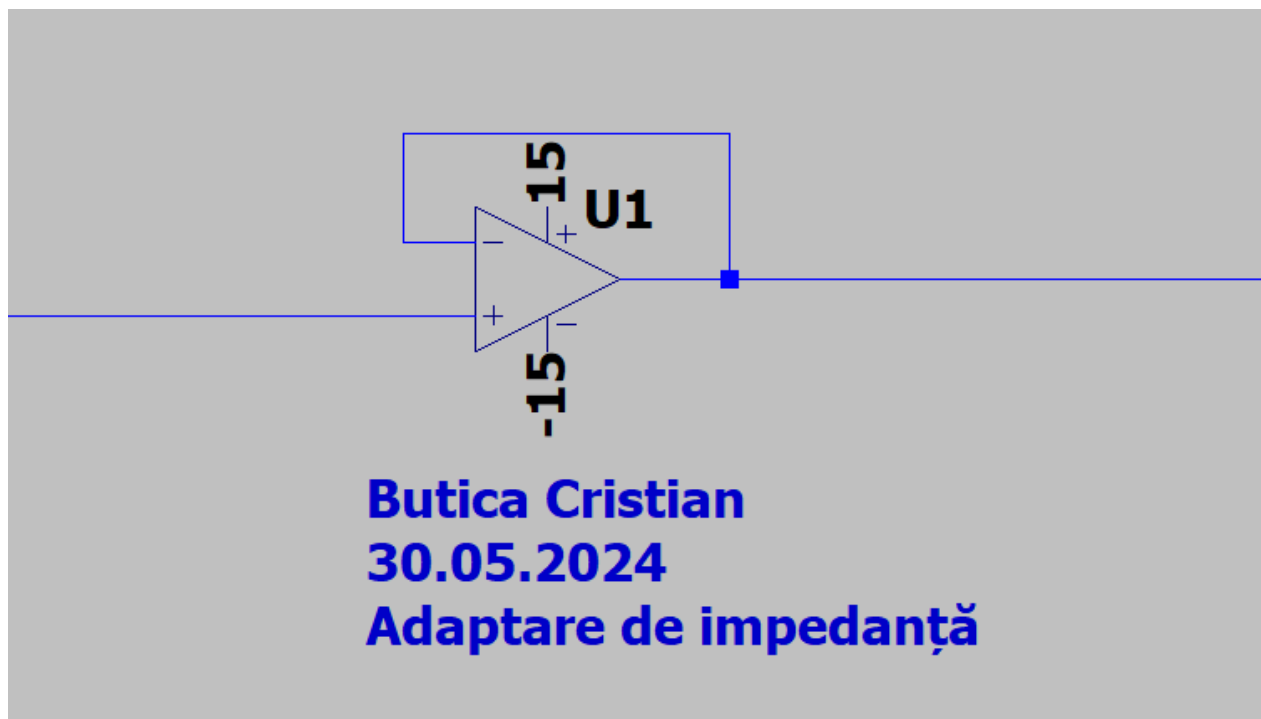


Figura 2. Repetor de tensiune

Pentru a obține tensiunile dorite conform calculelor din relațiile (2), se introduce un repetor de tensiune înainte de conversia de domeniu, imediat după divizorul rezistiv, pentru a realiza adaptarea de impedanță, conform sursei [1], [2] și [4].

### 1.3 Etajul de conversie a domeniului

#### 1.3.1 Circuit de „scădere” a tensiunii (amplificator diferențial)

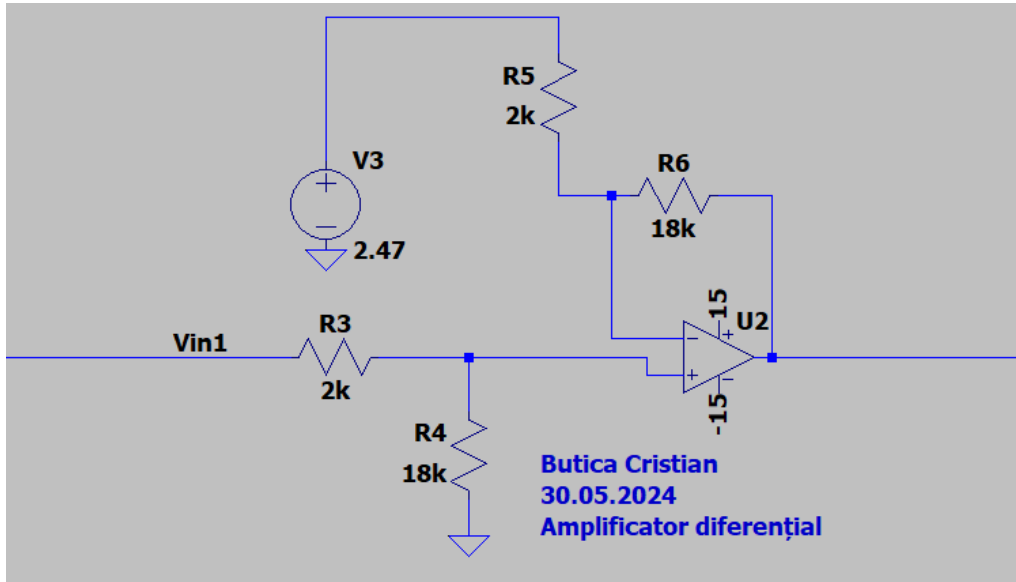


Figura 3. Amplificator diferențial

Tabelul 2. Denumirile și valorile componentelor utilizate pentru amplificatorul diferențial

Denumire componentă	Valoarea componentelor exprimată conform tipului utilizat
$R_3$	$2k\Omega$
$R_4$	$18k\Omega$
$V_{in1}$	$[2.77V - 3.99V]$
$V_{cc}$	$15V$
$V_{cc}$	$-15V$

Pentru obținerea domeniului dorit, se vor scădea 2.47V și se va amplifica cu 9 tensiunea obținută în urma procesului de conversie a rezistenței electrice în tensiune.

$$\begin{cases} v^+ = v^- \\ v^- = \frac{\frac{2.47V}{R_3} + \frac{V_{out1}}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \\ v^+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} * V_{in1} \end{cases} \quad (3)$$



Egalând astfel ecuațiile (3) vom obține:

$$\begin{aligned}
 v^+ = v^- &\Rightarrow \frac{\frac{2.47V}{R_3} + \frac{V_{out1}}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} * V_{in1} \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow \frac{2.47V * R_4 + V_{out1} * R_3}{R_3 + R_4} = V_{in1} * \frac{R_4}{R_3 + R_4} \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow \frac{R_3}{R_3 + R_4} * V_{out1} = V_{in1} * \frac{R_4}{R_3 + R_4} - 2.47V * \frac{R_3}{R_3 + R_4} \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow V_{out1} = \frac{R_3 + R_4}{R_3} * \frac{R_4}{R_3 + R_4} * V_{in1} - \frac{R_4}{R_3} * 2.47V \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow V_{out1} = \frac{R_4}{R_3} * (V_{in1} - 2.47V) \quad (4)
 \end{aligned}$$

Dacă în ecuația (4)  $R_3 = 2k\Omega$ ,  $R_4 = 18k\Omega$  atunci:

$$V_{out1} = 9 * (V_{in1} - 2.47V)$$

Pentru  $V_{in1} = V_{1min} = 2.77V \Rightarrow V_{out1} = 9 * (2.77V - 2.47V) \cong 2.76V$

Pentru  $V_{in1} = V_{1max} = 3.99V \Rightarrow V_{out1} = 9 * (3.99V - 2.47V) \cong 13.76V$

Sursele acestor formule le putem găsi conform [4] și [5] .

### 1.3.2 Circuit de scădere

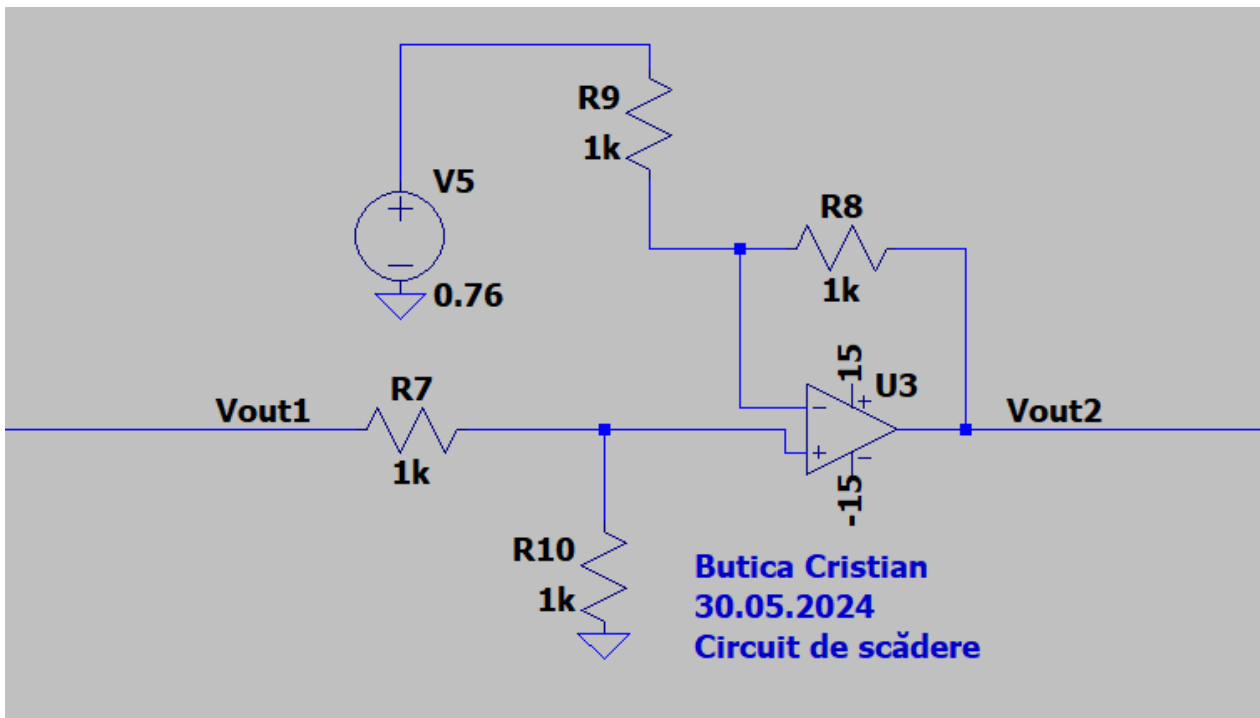


Figura 4. Circuit de scădere

Tabelul 3. Denumirile și valorile componentelor utilizate pentru circuitul de scădere

Denumire componentă	Valoarea componentelor exprimată conform tipului utilizat
$R_7$	$1k\Omega$
$R_8$	$1k\Omega$
$R_9$	$1k\Omega$
$R_{10}$	$1k\Omega$
$V_{out1}$	$[2.76V - 13.76V]$
$V_{out2}$	$[2V - 13V]$
$V_{cc}$	$15V$
$V_{cc}$	$-15V$

Pentru a ajunge la domeniul dorit de 2V - 13V, mai trebuie introdus un circuit de scădere care din tensiunea de intrare va scădea 0.76V.

Conform teoremei lui Millman putem determina tensiunea  $V_{out2}$  în funcție de  $V_{out1}$ . Pentru ușurarea calculelor vom nota toate rezistențele  $R_7, R_8, R_9, R_{10}$  cu  $R$ . Egalând  $V^+$  și  $V^-$  obținem:

$$\frac{\frac{0.76}{R} + \frac{V_{out2}}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}} = \frac{V_{out1}}{2} \Leftrightarrow \frac{V_{out1}}{R} = \frac{V_{out2} + 0.76V}{R} \quad (5)$$

Alegând  $R_7 = R_8 = R_9 = R_{10} = 1k\Omega$  în ecuația (5), vom obține:

$$V_{out2} = V_{out1} - 0.76V \quad (6)$$

Așadar, prin introducerea acestui circuit de scădere cu 0.76V, acum la ieșire vom avea o tensiune  $V_{out2}$  care variază între limitele a 2-13V:

$$\begin{aligned} \text{Pentru } V_{out1} = V_{out1min} = 2.77V &\Rightarrow V_{out2} = 2.76V - 0.76V \cong 2V \\ \text{Pentru } V_{out1} = V_{out1max} = 13.76V &\Rightarrow V_{out2} = 13.76V - 0.76V \cong 13V \end{aligned}$$

Sursele acestor formule le putem găsi conform [4] și [5] .

## 1.4 Etajul de comparare (pompa)

### 1.4.1 Comparator neinversor cu reacție

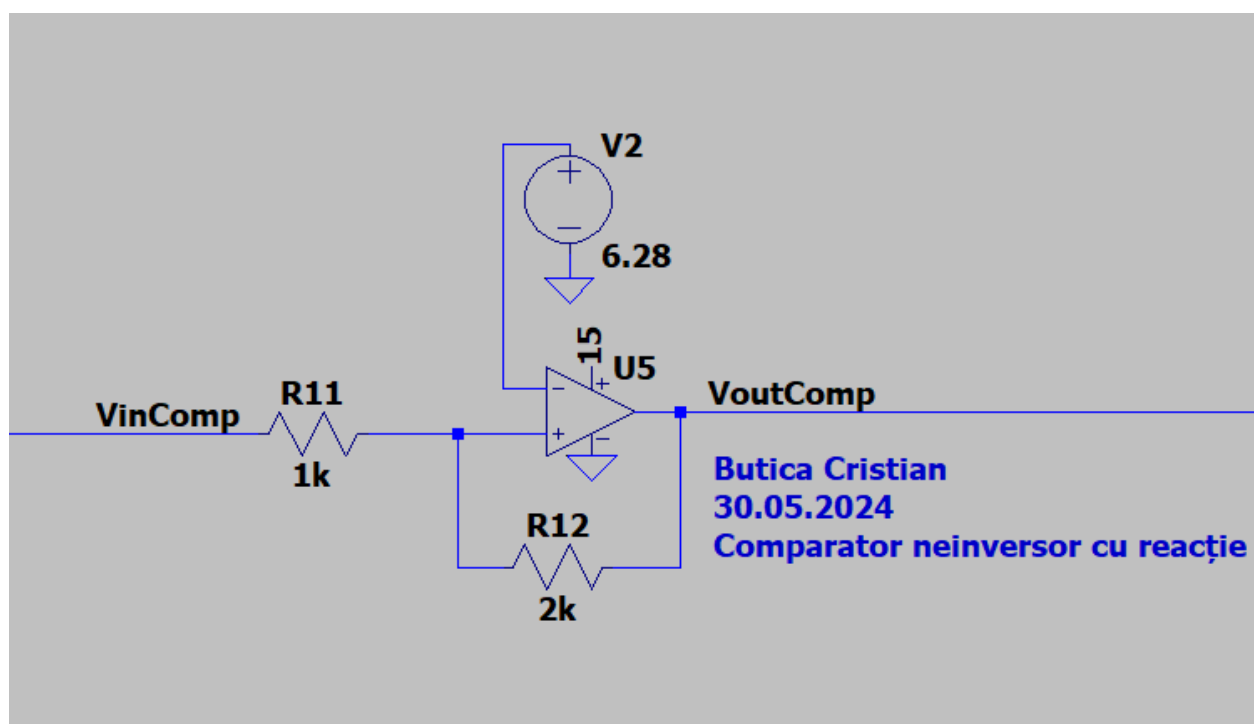


Figura 5. Comparator neinversor cu reacție

Tabelul 4. Denumirile și valorile componentelor utilizate pentru comparatorul neinversor

Denumire componentă	Valoarea componentelor exprimată conform tipului utilizat
$R_{11}$	$1k\Omega$
$R_{12}$	$2k\Omega$
$VinComp$	$[2V - 13V]$
$Vcc$	$15V$
$Vcc$	$0$

În acest subcapitol al proiectului, dorim să realizăm o analogie între concentrația de gaz metan din încăpere, domeniul de măsurare al senzorului rezistiv și variația de tensiune la

schimbarea concentrației de gaz. Dacă la o concentrație de gaz de 100ppm am avea rezistența senzorului maximă la  $40k\Omega$  ( $2V$ ), ar însemna că dacă acea concentrație crește, valoarea rezistenței ar trebui să scadă, pentru a putea avea o tensiune suficient de mare în scopul pornirii aceluia ventilator. Așadar, la o concentrație maximă de 20.000ppm, valoarea rezistenței senzorului este de  $25k\Omega$  ( $13V$ ). Având aceste informații, plus faptul că în încăperea noastră concentrația de gaz variază între 300-15000ppm, ar trebui să determinăm tensiunile de prag ale comparatorului cu reacție, care ar permite trecerea din starea de oprit în pornit a ventilatorului, în funcție de concentrația de gaz.

Tensiunea de intrare în comparator este de fapt o funcție liniară  $ax + b$ ,  $a$  fiind panta acelei drepte și  $b$  fiind punctul de origine al ordonatei, atunci când  $x = 0$ . Putem să ne imaginăm că axa absciselor este variația concentrației de gaz, iar axa ordonatelor este variația rezistenței senzorului. Astfel, putem determina punctele maxim și minim ale acestei drepte

$$\begin{cases} 40k\Omega = a * 100 + b \\ 25k\Omega = a * 20k + b \end{cases} \quad (7)$$

Vom determina panta dreptei  $a$  și punctul de origine al ordonatei  $b$ , scăzând ecuațiile (7), iar după aceea înlocuind  $a$ -ul în prima dintre ecuațiile (7) pentru a afla  $b$ -ul:

$$\begin{cases} 15k\Omega = -19900 * a \Leftrightarrow a = -0.7537 \\ 40k\Omega = -75.37 + b \Leftrightarrow b = 40\,0075.37 \end{cases} \quad (8)$$

Putem scrie aceleași ecuații (7) pentru a determina rezistențele la concentrațiile de 300 și 15000ppm de gaz, apoi să determinăm tensiunile la acele rezistențe dintr-o simulare parametrică:

$$\begin{cases} R_1 = -0.7537 * 300 + 40\,0075.37 = 39.85k\Omega \Leftrightarrow V_{prag_{jos}} = 2.08V \\ R_2 = -0.7537 * 15k + 40\,0075.37 = 28.76k\Omega \Leftrightarrow V_{prag_{sus}} = 9.42V \end{cases} \quad (9)$$

Știind pragurile comparatorului, trebuie să determinăm rezistențele  $R_{11}$  și  $R_{12}$ .

$$\begin{cases} V_{prag_{sus}} = V^- * \frac{R_{11} + R_{12}}{R_{12}} = 9.42V \\ V_{prag_{jos}} = V^- * \frac{R_{11} + R_{12}}{R_{12}} - \frac{R_{11}}{R_{12}} * 15V = 2.08V \end{cases} \quad (10)$$

Înlocuim  $V_{prag_{sus}}$  în  $V_{prag_{jos}}$  și rezultă

$$\frac{R_{11}}{R_{12}} = 0.489 \cong 0.5 \Leftrightarrow R_{11} = 1k\Omega, R_{12} = 2k\Omega \quad (11)$$

Rămâne să mai dimensionăm tensiunea  $V^-$  de pe intrarea neinvertoare a comparatorului.

$$V^- * \frac{3}{2} = 9.42 \Leftrightarrow V^- = 6.28V \quad (12)$$

## 1.5 Modelarea LED-ului

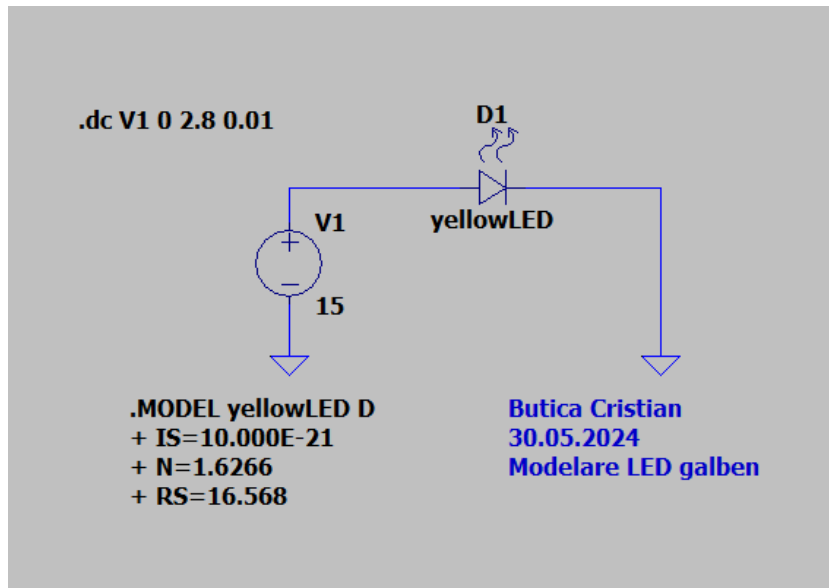


Figura 6. Modelare LED galben

Pentru a modela acest LED, am folosit o fișă tehnică de la producătorul „Multicomp”, utilizând LED-ul MCLF056YD. Ulterior, cu ajutorul programului „Pspice Model Editor”, am creat o nouă componentă, introducând puncte de pe graficul curentului în funcție de tensiunea electrică, conform datelor furnizate de producător. Sursa acestor date tehnice este [6].

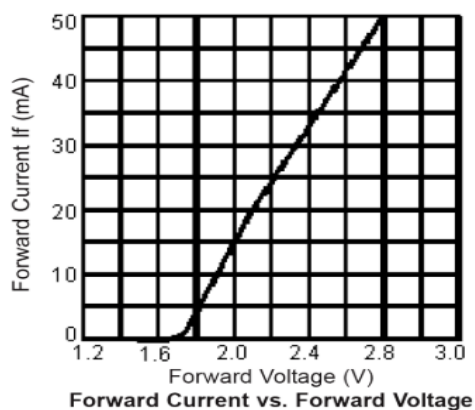


Fig 7. Caracteristica curent-tensiune

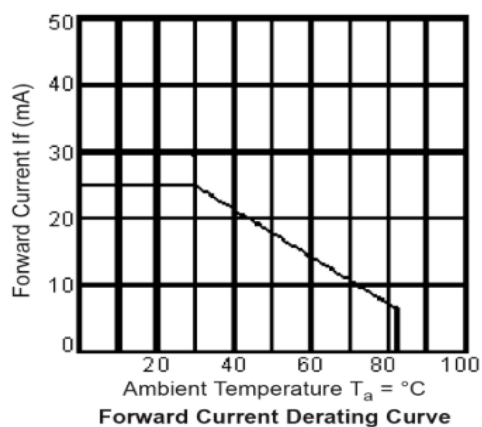


Fig 8. Caracteristica intens.lum. - curent

Atributele LED-ului din directiva spice .Model din figura (6) extrase cu ajutorul programului Pspice Model Editor vor fi următoarele:

Tabelul 5. Denumirile, valorile și simbolurile atributelor LED-ului

Denumire	Valoare	Simbol
Curent de scurgere invers	10.000E-21	IS
Coeficientul de emisie	1.6266	N
Rezistența serie	16.568	RS

## 1.6 Releul

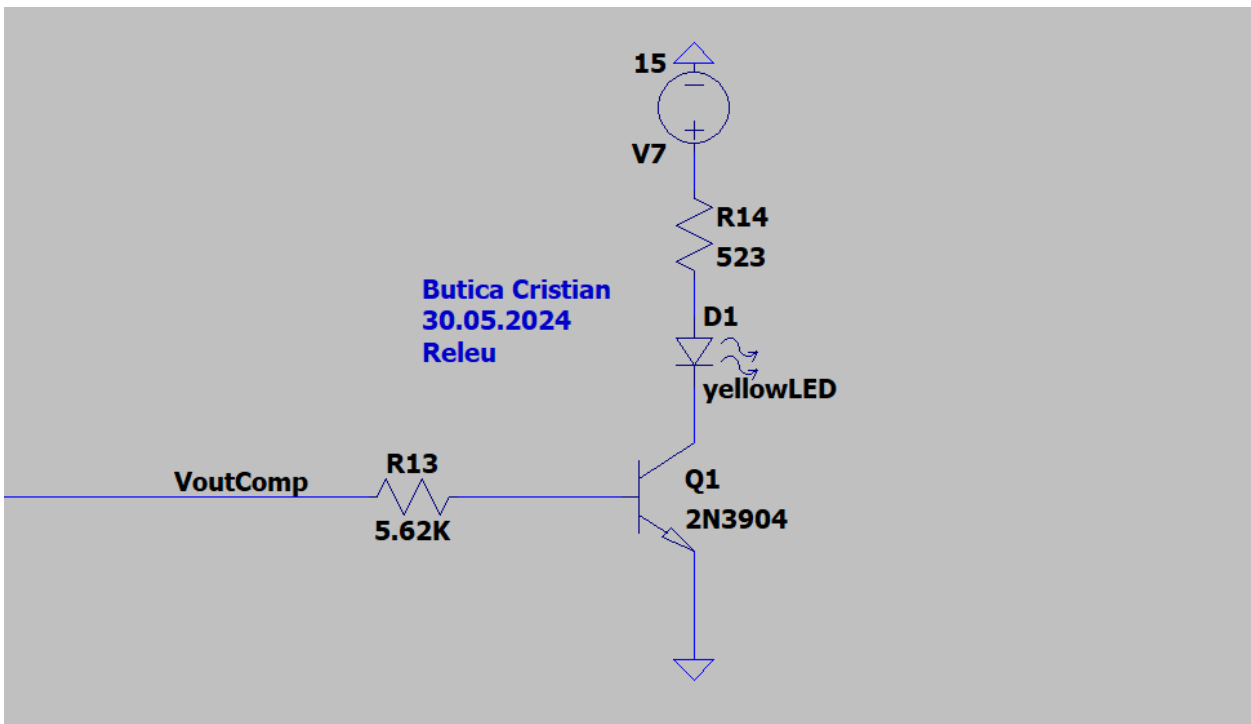


Figura 9. Modelare releu

Tabelul 6. Denumirile și valorile componentelor utilizate pentru comparatorul neinversor

Denumire componentă	Valoarea componentelor exprimată conform tipului utilizat
$R_{13}$	$5.62k\Omega$
$R_{14}$	$523\Omega$
$V_{outComp}$	$[0V - 15V]$
$V7$	$15V$
yellowLED	$V_{prag} = 1.6V$

Definiția releului, exprimată de Wikipedia și aflată la sursa [7], este că releul este o componentă electronică, un dispozitiv, care produce anumite modificări (cum ar fi închiderea și deschiderea unui circuit) pe baza unui parametru care variază (precum tensiunea electrică aplicată), permițând controlarea unui curent de intensitate mare cu ajutorul unui curent de intensitate mică. Așadar, putem folosi tranzistorul bipolar 2N30904 ca un releu, iar atunci când în baza acestuia avem tensiunea  $V_{outComp} = 0V$  acesta se va comporta ca o întrerupere, deci nu vom avea curent care trece prin LED, iar atunci când tensiunea  $V_{outComp}$  este la  $15V$ , tranzistorul se va comporta ca un scurtcircuit, permițând LED-ului să fie aprins, la un anumit curent pe care îl vom stabili noi în cele ce urmează, conform sursei [8].

Am ales acest tranzistor deoarece curentul de colector maxim este de 200mA, iar pentru circuitul acesta nu avem nevoie de o valoare mai mare 25mA. Plus, valoarea mică a tensiunii de saturație colector-emitor permite comutarea tranzistorului din starea de blocare și conducere la tensiuni mici aplicate în bază. Sursa datelor tehnice ale acestui tranzistor este [10].

Pentru a putea determina valoarea rezistențelor  $R_{13}$  și  $R_{14}$  a înfășurării releului, vom considera curentul prin LED ca fiind 50% din valoarea maximă la care poate fi deschis. Așadar, din figura 8, vom alege curentul de polarizare a LED-ului ca fiind 25mA. Tranzistorul folosit pentru această modelare a releului este 2N3904, care la saturație are factorul de amplificare  $\beta = 10$ . Astfel, expresia curentului de colector la saturație în funcție de curentul de bază la saturație este următoarea:

$$I_{CSat} = \beta * I_{BSat} = 25mA \quad (13)$$

Putem așadar scoate curentul de bază la saturație ( $I_{BSat}$ ) din ecuația (13) ca fiind 2.5mA. Mai avem nevoie să știm tensiunea bază-emitor la saturație, pentru a putea calcula valoarea rezistenței  $R_{13}$ . Din foaia de catalog a tranzistorului 2N3904 din sursa (ADAUGA SURSA), preluăm această tensiune ca fiind 0.9V. Putem înfășurăm să scriem teorema a 2-a a lui Kirchhoff între tensiunea de alimentare  $V_7$ , tensiunea bază-emitor și tensiunea care cade pe rezistența  $R_{13}$ :

$$V_7 = V_{R_{13}} + V_{BEon} \Leftrightarrow R_{13} = \frac{V_7 - V_{BEon}}{I_{BSat}} \cong 5620\Omega \quad (14)$$

Vom standardiza această rezistență din ecuația (14) la valoarea de 5620 $\Omega$ . Mai departe, pentru a putea dimensiona rezistența  $R_{14}$ , vom aplica din nou teorema a 2-a a lui Kirchhoff între tensiunea  $V_7$ , tensiunea de pe rezistența de polarizare a LED-ului, tensiunea de prag a LED-ului și tensiunea colector-emitor la saturație:

$$V_7 = V_{R_{14}} + V_{prag\_led} + V_{CESat} \Leftrightarrow R_{14} = \frac{15V - 1.6V - 0.2V}{25mA} \cong 523\Omega \quad (15)$$

Așadar, cu aceste valori ale rezistențelor, în momentul în care tensiunea din baza tranzistorului este 0, nu va trece curent prin led, deoarece acesta este blocat. În schimb dacă în bază vom avea 15V, curentul care va trece prin led va fi de 25mA, exact jumătate din valoarea maximă la care acesta operează, prelungindu-i astfel durata de viață.



## V. Simulări

Analizele 1.6.1-3 au fost realizate utilizând o analiză parametrică prin care am reușit să baleiez valoarea rezistenței senzorului între  $40\text{k}\Omega$  -  $25\text{k}\Omega$  cu un pas de  $100\Omega$  în scopul obținerii unor simulări cât mai detaliate.

### 1.6.1 Simularea etajului de citire a senzorului

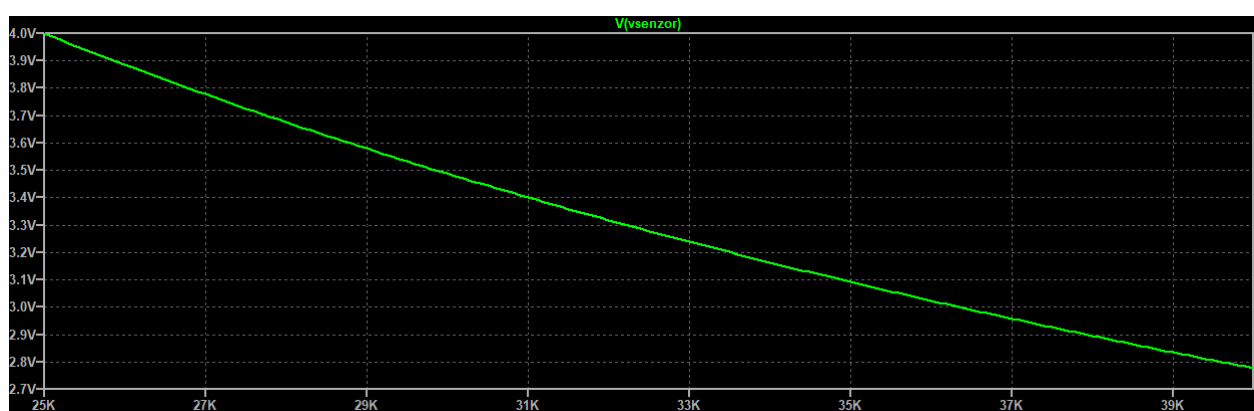


Figura 10. Variația tensiunii electrice a senzorului

Se observă pe acest grafic că variația tensiunii rezistive este între limitele a 2.77-3.99V exact după citirea senzorului. Mai departe avem nevoie de simulările pentru adaptarea domeniului.

### 1.6.2 Simularea amplificatorului diferențial

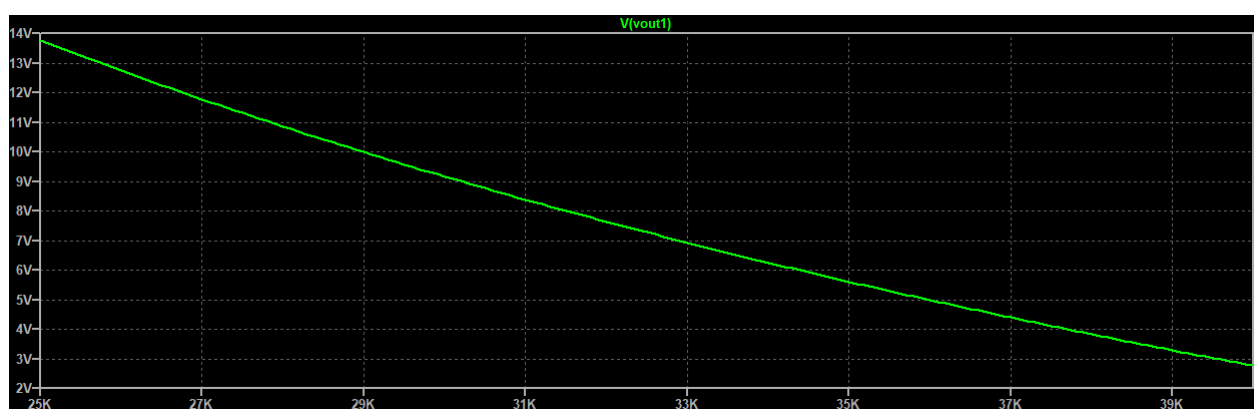


Figura 11. Variația tensiunii electrice a senzorului după folosirea amplificatorului diferențial

Se observă că mai avem nevoie de circuitul scăzător cu 0.76V pentru a putea ajunge la domeniul dorit de 2-13V.

### 1.6.3 Simularea circuitului de scădere



Figura 12. Variația tensiunii electrice a senzorului după folosirea circuitului de scădere

În sfârșit, prin utilizarea acestui circuit de scădere cu amplificarea unitară, am ajuns la domeniul dorit de 2-13V, la o variație a rezistenței senzorului de la 40k $\Omega$  - 25k $\Omega$ .

### 1.6.4 Simularea comparatorului neinvertor cu reacție

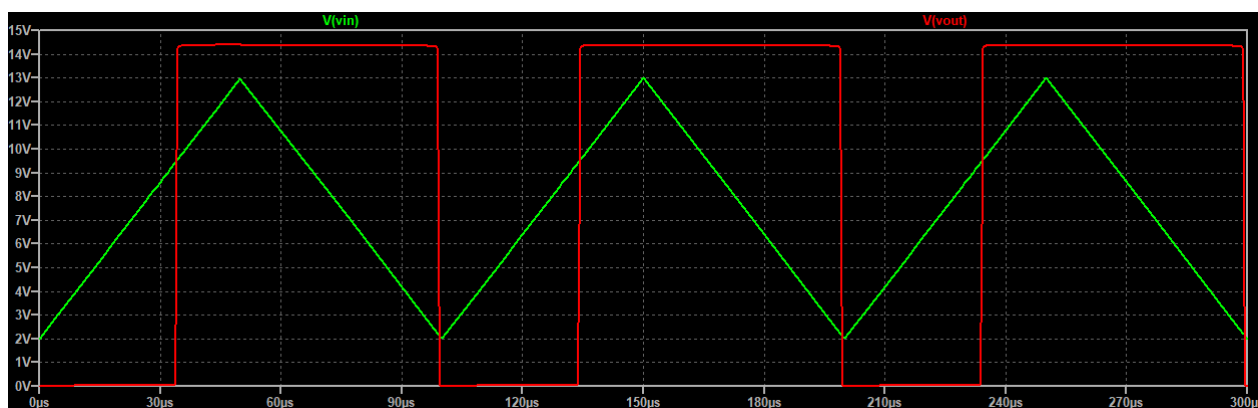


Figura 13. Variația tensiunii electrice la intrarea și ieșirea comparatorului

În această simulare, am folosit la intrare o sursă Vpulse pentru a genera un semnal triunghiular care oscilează între 2-13V cu tensiunea inițială de 2V, tensiunea maximă de 13V, timpul de întârziere de 0s, timpul de creștere și descreștere de 50 $\mu$ s, timpul în care stă în valoarea maximă de 1ns, iar perioada de 100 $\mu$ s. Am folosit o analiză tranzitorie, și amplificatorul operațional LT1215, deoarece era singurul amplificator Rail-To-Rail care imi afișa pragurile corespunzătoare calculate. Se observă că atunci când semnalul de la intrare ajunge la pragul de sus al comparatorului, acesta basculează de la 0 la 15V, iar când ajunge la pragul de jos,

basculează de la 15V la 0V. Mai exact, atunci când concentrația de gaz din încăperea ajunge la limita superioară de 16000ppm, adică rezistența senzorului ajunge la 25k $\Omega$ , unde vom avea tensiunea de prag sus, vom da comandă releului să pornească ventilatorul. Mai jos voi atașa și curba de histereză a acestui grafic, unde se pot observa pragul sus de 9.42V și pragul jos de 2.08V.

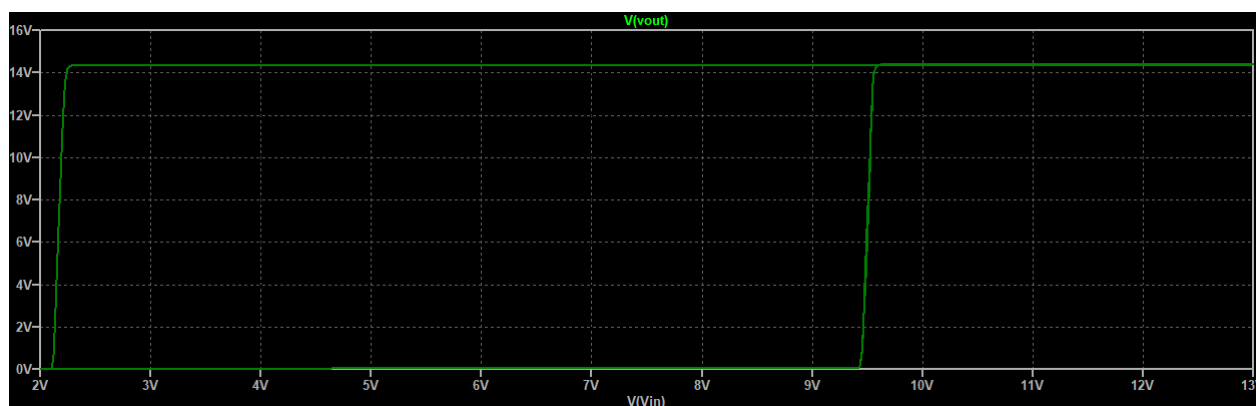


Figura 14. Curba de histereză a comparatorului

### 1.6.5 Simularea comportării LED-ului

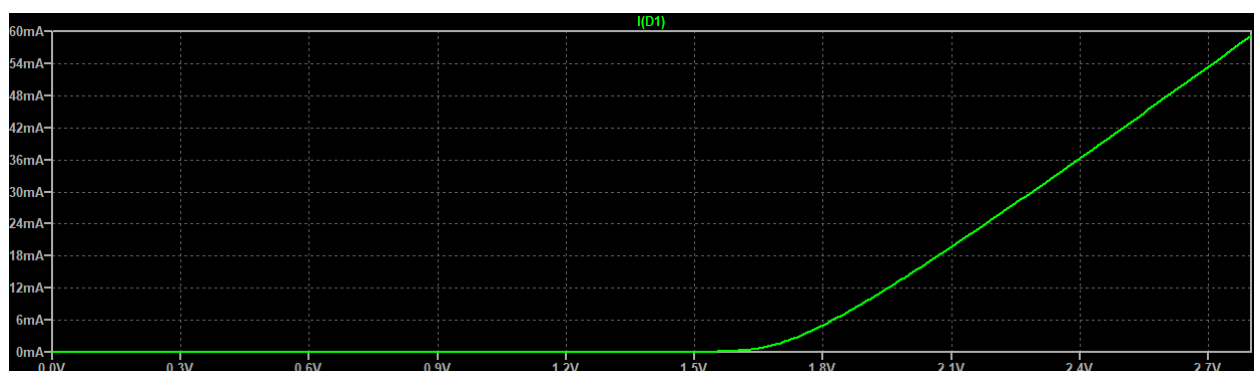


Figura 15. Caracteristica curent-tensiune a ledului galben

Se poate observa că acest grafic este foarte asemănător cu cel din figura (7), asta însemnând faptul că modelarea LED-ului a funcționat corect. Pentru această simulare am folosit o sursă de tensiunea DC, pe care cu ajutorul unei analize DC SWEEP am baleiat-o între limitele de tensiunea ale LED-ului pe care trebuie să îl implementez în circuit. Numele sursei pe care o baleiez este V1, tipul baleierii este liniară, valoarea de start este 0V, iar cea de stop este 2.8V, cu un increment de 0.1V.

Putem remarca faptul că atunci când tensiunea pe LED este la 1.6V, acesta începe să conducă, la 1.8V acesta conduce 5mA, și curentul crește exponențial, simulând comportamentul unui LED de culoare galbenă.

### 1.6.6 Simularea releului



Figura 16. Caracteristica de transfer a tranzistorului

Se poate observa că acest grafic exprimă dependența curentului de colector (de polarizare a LED-ului) în funcție de tensiunea aplicată în baza tranzistorului, care vine de la ieșirea comparatorului neinvertor. Pentru această simulare am folosit o sursă de tensiunea DC, pe care cu ajutorul unei analize DC SWEEP am baleiat-o între limitele de tensiune ale ieșirii comparatorului pe care trebuie să îl implementez în circuit. Numele sursei pe care o baleiez este V1, tipul baleierii este liniară, valoarea de start este 0V, iar cea de stop este 15V, cu un increment de 0.1V. În momentul în care în baza tranzistorului vom avea tensiunea de 0V, tranzistorul se va comporta ca o întrerupere, deci nu vom avea curent care trece prin LED. Dacă la ieșirea comparatorului tensiunea este de 15V, tranzistorul se va comporta ca un scurtcircuit și va face o cale de legătură dinspre catodul LED-ului spre masă, astfel curentul prin el va fi de 25mA, atât cât am impus să fie în subcapitolul 1.5.2.

Tabelul de mai jos conține valorile obținute în urma realizării unei analize Operating Point. Diferențele dintre rezultate calculate la subcapitolul 1.5.2 se datorează aproximărilor realizate.

Tabelul 7. Denumirile, valorile și simbolurile atributelor tranzistorului

Mărime măsurată	Simbol	Valoare măsurată
Curentul de bază la saturație	$I_{Bsat}$	2.53e-03 A
Curentul de colector la saturație	$I_{Csat}$	2.44e-02 A
Tensiunea bază-emitor la saturație	$V_{BEsat}$	8.03e-01 V
Tensiunea colector-emitor la saturație	$V_{CEsat}$	4.14e-02 V
Factor de amplificare	$\beta$	9.67

## 1.6.7 Analiza Monte Carlo

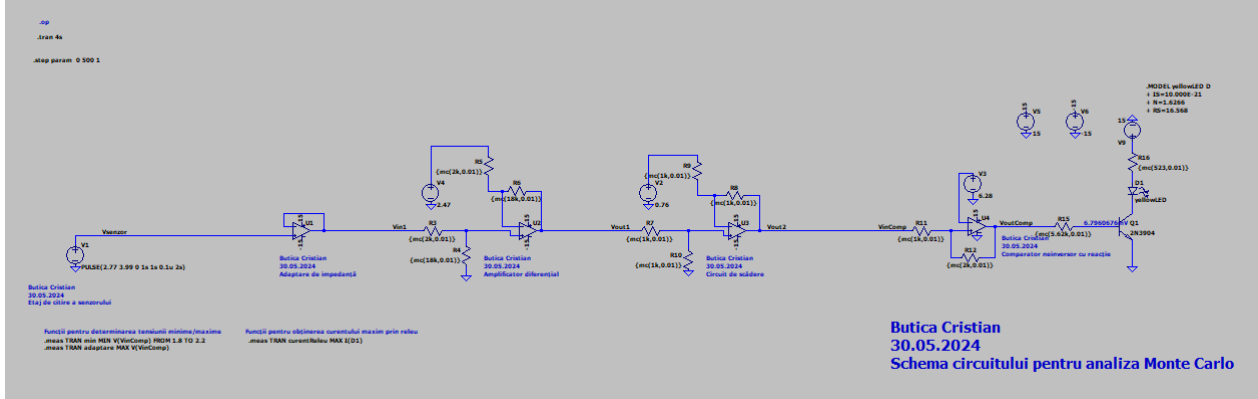


Figura 17. Schema circuitului pentru analiza Monte Carlo

Analiza Monte Carlo ne permite să studiem variația răspunsului circuitului la modificarea în valorile toleranțelor ale componentelor pasive utilizate. Toleranța tuturor rezistențelor din circuit este de 1%, deoarece am folosit standardul E96 oferit de Ltspice. Pentru a putea să variem toate rezistențele în domeniul lor de toleranță, în Ltspice putem folosi următoarea funcție pentru fiecare rezistență în parte:

$$\{mc\left(\text{valoareaRezistenței}, \frac{\text{toleranță}}{100\%}\right)\} \quad (16)$$

unde mc are semnificația tipului de analiză utilizat, valoareaRezistenței este valoarea ei exprimată în  $\Omega$ , iar raportul  $\frac{\text{toleranță}}{100\%}$  reprezintă cât de mult dorim ca rezistențele noastre să varieze în domeniul lor de toleranță. Deoarece avem o toleranță de 1%, acel raport va fi de 0.01. Sursa acestor funcții este [9].

Se va rula o analiză parametrică pentru 11 valori ale rezistențelor, deoarece dimensiunea circuitului este prea mare pentru a putea realiza analiza pentru mai multe valori. Pentru fiecare bloc de circuit, vom avea câte o simulare, la intrarea circuitului folosind o sursă Vpulse triunghiulară, ca și în simulările trecute.

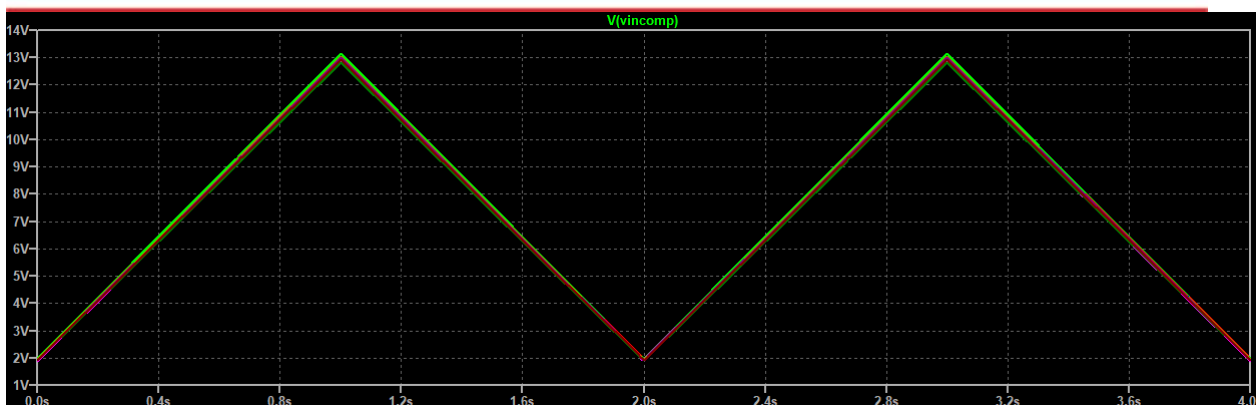


Figura 18. Variația tensiunii la intrarea în comparator, în funcție de toleranțele rezistențelor

Mai departe, dorim să aflăm tensiunile maxime și minime ale acestor grafice, prin folosirea unor funcții care ne sunt puse la dispoziție în Ltspice

$$.meas\ TRAN\ min\ MIN\ V(VinComp)\ FROM\ 1.8\ TO\ 2.2 \quad (17)$$

$$.meas\ TRAN\ adaptare\ MAX\ V(VinComp) \quad (18)$$

În relația (17), dorim să aflăm valoarea tensiunii minime, pornind de la 1.8 secunde până la 2.2 secunde, ca să fim siguri că vom putea găsi valori pentru fiecare variație a tensiunii.

În relația (18), se întâmplă același lucru, doar că pornim direct de la început, dorind să găsim valoarea tensiunii maxime.

Deschizând fișierul de ieșire, vom observa cum tensiunea minimă și maximă variază între niște valori care se pot observa în tabelele următoare:

Tabelul 8. Pasul, valorile și valoarea minimă și maximă a tensiunilor minime

Pasul analizei	Valorile	Valoarea minimă	Valoarea maximă
1	1.98089 V	1.89581 V	1.98089 V
2	1.93356 V		
3	1.96557 V		
4	1.93865 V		
5	1.89581 V		
6	1.93801 V		
7	1.91779 V		
8	1.9482 V		
9	1.94755 V		

10	1.91592 V		
11	1.9161 V		

Tabelul 9. Pasul, valorile și valoarea minimă și maximă a tensiunilor maxime

Pasul analizei	Valorile	Valoarea maximă	Valoarea minimă
1	13.1445 V	13.1445 V	12.8212 V
2	12.8839 V		
3	13.0169 V		
4	12.8564 V		
5	12.85 V		
6	12.8855 V		
7	12.8212 V		
8	13.0314 V		
9	13.052 V		
10	13.0054 V		
11	12.9306 V		

Mai putem folosi încă o funcție, care ne permite să vedem variația curentului maxim care curge prin LED-ul din releu

$$.meas TRAN \text{ curentReleu } MAX I(D1) \quad (19)$$

Tabelul 10. Pasul, valorile și valoarea minimă și maximă a curentului maxim prin LED

Pasul analizei	Valorile	Valoarea maximă	Valoarea minimă
1	0.0242541 A	0.0246576 A	0.0242541 A
2	0.0246576 A		
3	0.0243714 A		
4	0.0245471 A		
5	0.024648 A		
6	0.0243153 A		
7	0.0243704 A		
8	0.0243481 A		
9	0.0246259 A		
10	0.0244202 A		
11	0.0246425 A		

## VI. Bibliografie

- [1] Alin Grama, Ovidiu Pop și Șerban Lungu, Dispozitive Electronice – lucrări practice, Editura U.T. PRESS, Cluj-Napoca, 2011.
- [2] Ovidiu Pop, Raul Fizeșan, Gabriel Chindriș, Proiectare asistată pe calculator – aplicații, Editura U.T. PRESS, Cluj-Napoca, 2013.
- [3] Detector de gaze, [https://ro.wikipedia.org/wiki/Detector\\_de\\_gaze](https://ro.wikipedia.org/wiki/Detector_de_gaze)
- [4] Electronică pentru toți, Cap. 18 Amplificatoare Operaționale, <https://sites.google.com/site/bazeleelectronicii/home/amplificatoare-operationale>
- [5] Amplificatoare diferențiale, <http://staff.etti.tuiasi.ro/ltigaeru/dce/curs/curs12/c12deea.pdf>
- [6] „LED SPECIFICATION MCLF056YD datasheet”, LED, Flashing, 5mm, Yellow, <https://www.farnell.com/datasheets/1660999.pdf>
- [7] Releu (componentă electronică), [https://ro.wikipedia.org/wiki/Releu\\_\(component%C4%83\\_electronic%C4%83\)](https://ro.wikipedia.org/wiki/Releu_(component%C4%83_electronic%C4%83))
- [8] Relay vs Transistors: Which Is The Correct Choice?, <https://www.ultralibrarian.com/2021/02/09/relays-vs-transistors-which-is-the-correct-choice-ulc#:~:text=Relays%20are%20not%20meant%20to,beyond%20its%20absolute%20maximum%20ratings.>
- [9] How To Model Statistical Tolerance Analysis for Complex Circuits Using LTspice, <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/how-to-model-statistical-tolerance-analysis.html>
- [10] „2N3904 NPN switching transistor datasheet”, NXP Semiconductors