

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

Proiect la disciplina „Tehnici CAD”

Student: Aniței Gabriela

2023-2024

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

Circuit pentru controlul concentrației de gaz metan într-o incintă

Student: Aniței Gabriela

2023-2024

CURPINS

- 1. Specificații de proiectare**
- 2. Schema bloc**
- 3. Schema electrică**
 - 3.1. Etaj citire senzor**
 - 3.2. Etaj de conversie a domeniului tensiunii de iesire**
 - 3.3. Etaj de comparare(praguri)**
 - 3.4 Releu/LED**
- 4. Simularea finală**
- 5. Referințe**

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 a tabelului 1.

Tabel 1. Specificații de proiectare

E	F	G	H	I
Concentrația de metan în incintă[ppm]	Domeniul de măsură a senzorului[ppm]	Rezistența senzorului[Ω]	V_{cc}[V]	Culoare LED
500 ... 4.000	200 ... 5.000	50k – 25k	10	Portocaliu

2. Schema bloc

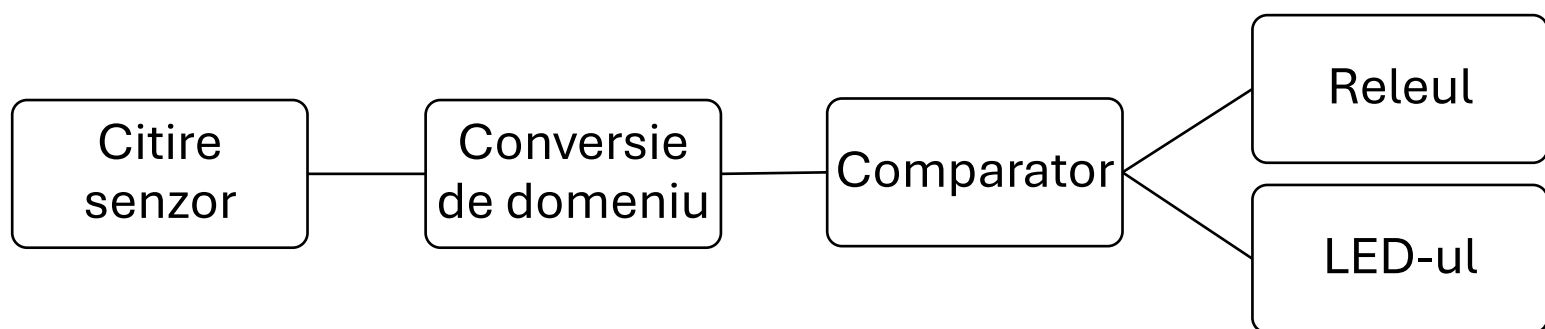


Figura 1. Schema bloc a circuitului

3. Schema electrică

3.1. Etajul de citire a senzorului

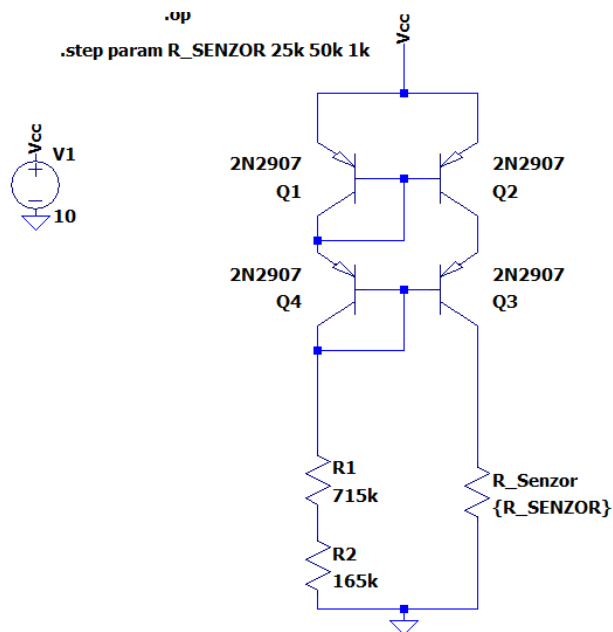


Figura 2. Etajul pentru citirea senzorului

În acest etaj am proiectat o sursă de curent(oglină de curent) cu tranzistoare bipolare. Rezistențele R1 și R2 le-am folosit pentru referința de curent.

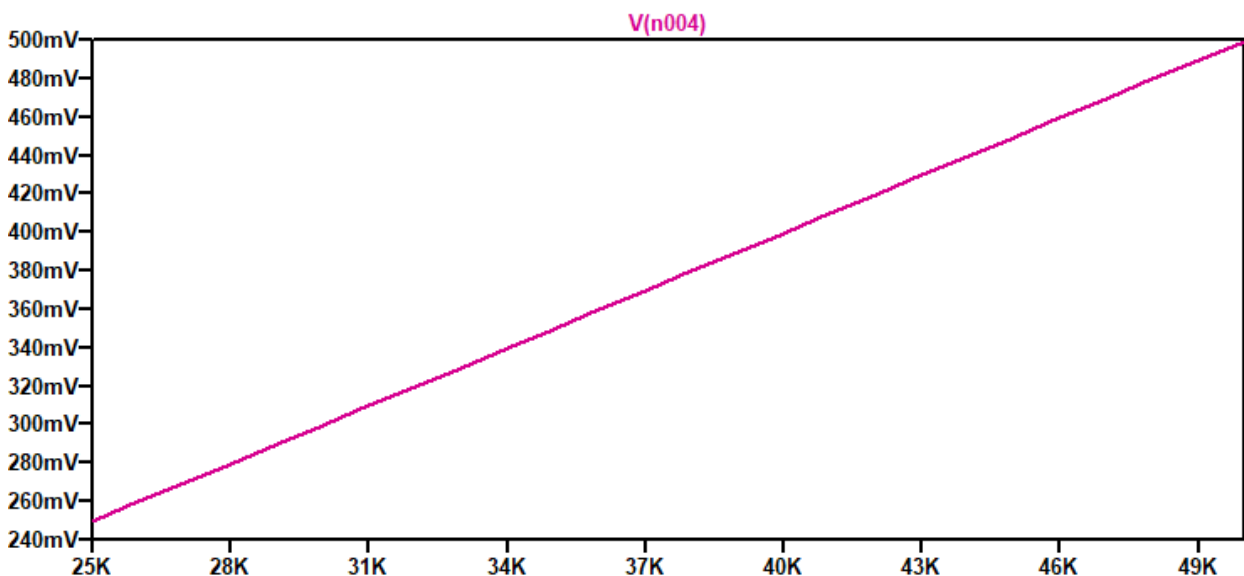


Figura 3. Variația căderii de tensiunii pe senzor în funcție de rezistența senzorului

Am ales o valoare arbitrară pentru curentul din senzor $I_{senzor} = 10\mu A$.

Apoi am calculat tensiunea minimă și maximă pe senzor folosim legea Ohm

$$V = I \times R \quad (1)$$

$$V_{senzor_minim} = 10\mu A \times 25k\Omega = 10 \times 10^{-6} \times 25 \times 10^3 = 250mV \quad (1.1)$$

$$V_{senzor_maxim} = 10\mu A \times 50k\Omega = 10 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^3 = 500mV \quad (1.2)$$

Pentru alegerea rezistenței echivalente pentru curent am folosit formula

$$I_{senzor} = \frac{V_{cc} - 2 \times V_{BE}}{R} \quad (2)$$

$$(2) \rightarrow R = \frac{V_{cc} - 2 \times V_{BE}}{I_{senzor}} = \frac{10V - 2 \times 0.6V}{10\mu A} = 880k\Omega \quad (2.1)$$

Din cauza faptului că nu avem rezistență de $880k\Omega$ am ales $R_I = 715k\Omega$ și în urma calculelor a rezultat $R_2 = 165k\Omega$.

$$R = R_1 + R_2 \quad (3)$$

3.2. Etaj de conversie a domeniului tensiunii de iesire

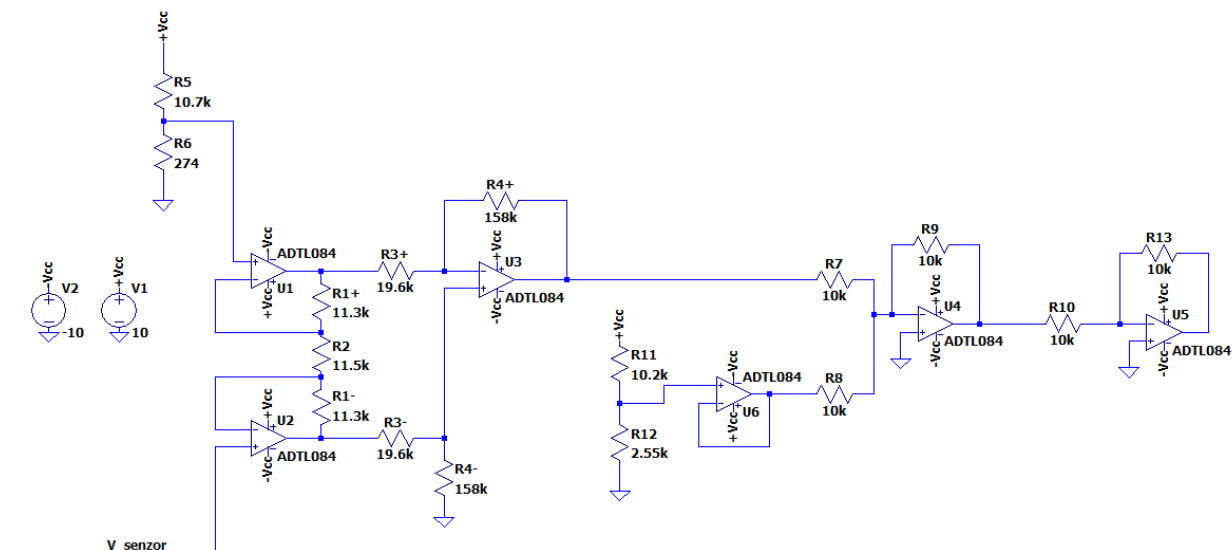


Figura 4. Etajul pentru conversia de domeniu

Variația tensiunii pe senzor se află în intervalul $[250mV - 500mV]$. Conform specificațiilor de proiectare aceasta trebuie adusă în intervalul $[2V - 8V]$, iar pentru a realiza asta am folosit un amplificator de intrusmentatie și un sumator. Această operație este descrisă mai jos:

$$V_{conversie} = (V_{sensor} - 250mV) \times 24 + 2V \quad (4)$$

Câștigul amplificatorului de instrumentație este exprimat în relație (5), folosind notațiile:

$$R_{1+} = R_{1-} = R_1, R_{3+} = R_{3-} = R_3, R_{4+} = R_{4-} = R_4.$$

$$\frac{R_4}{R_3}(1 + 2 \times \frac{R_1}{R_2}) = 24 \quad (5)$$

Pentru obținerea valorilor rezistențelor, valoarea parantezei din relația (5) a fost aleasă arbitrar ca fiind 3, alegând $R_1 = 11.3k\Omega$ și $R_2 = 11.5k\Omega$. Astfel primul raport al relației ia valoarea 8. R_3 a fost ales arbitrar cu valoarea de $19.6k\Omega$, iar R_4 cu valoarea de aproximativ 8 ori mai mare ($\approx 158k\Omega$).

Amplificatorul de instrumentație deplasează și scalează aceasta variație în intervalul $[0V - 6V]$. Circuitul de însumare adaugă încă 2V pentru a transla domeniul de variație între $[2V - 8V]$. Deoarece ieșirea este inversată am folosit un amplificator inversor cu amplificare -1. Tensiunea de referință de 2V pentru circuitul de însumare este obținută cu un divizor de tensiune. Adaptarea de impedanță între divizorul de tensiune și intrarea circuitului sumator este necesară deoarece curentul absorbit la intrarea AO este comparabil cu curentul care trece prin divizorul de tensiune.

Am folosit ecuația drepte:

$$\frac{X - X_a}{X_b - X_a} = \frac{Y - Y_a}{Y_b - Y_a} \quad (6)$$

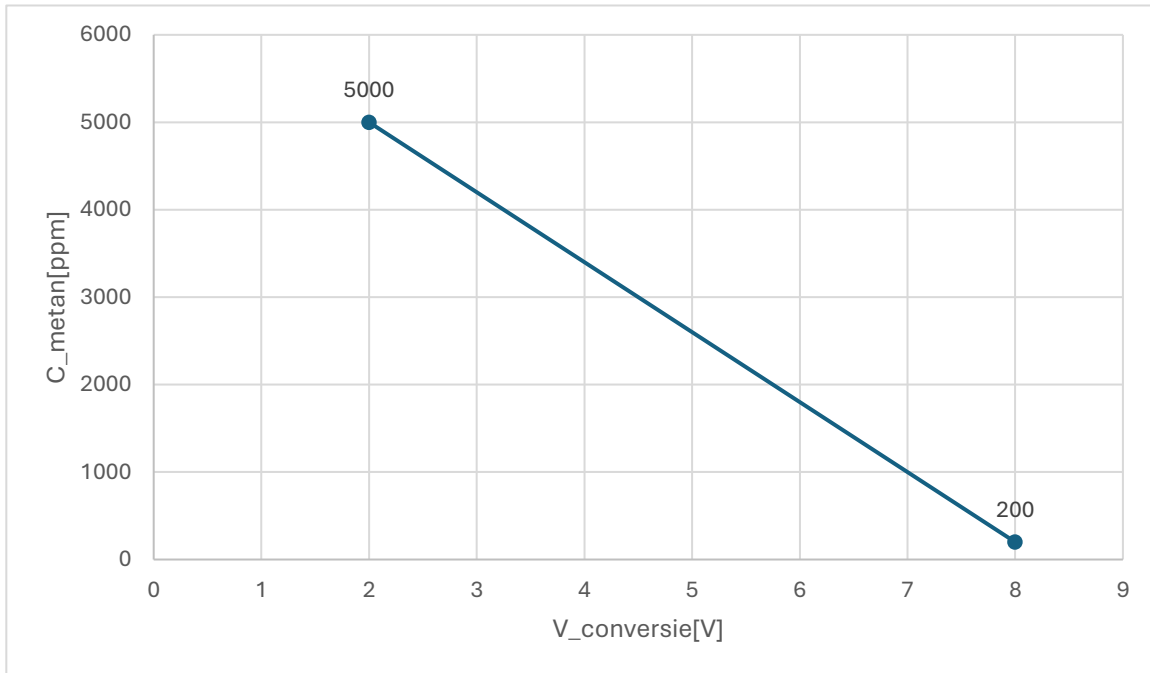


Figura 5. Variația concentrației de metan în funcție de tensiunea de conversie

Din ecuația (6): $\frac{V_{conversie} - 8V}{2V - 8V} = \frac{C_{metan} - 200ppm}{5000ppm - 200ppm} \quad (7)$

Din ecuația (7): $V_{conversie} = \frac{(200ppm - C_{metan}) \times 6V}{4800ppm} + 8V \quad (8)$

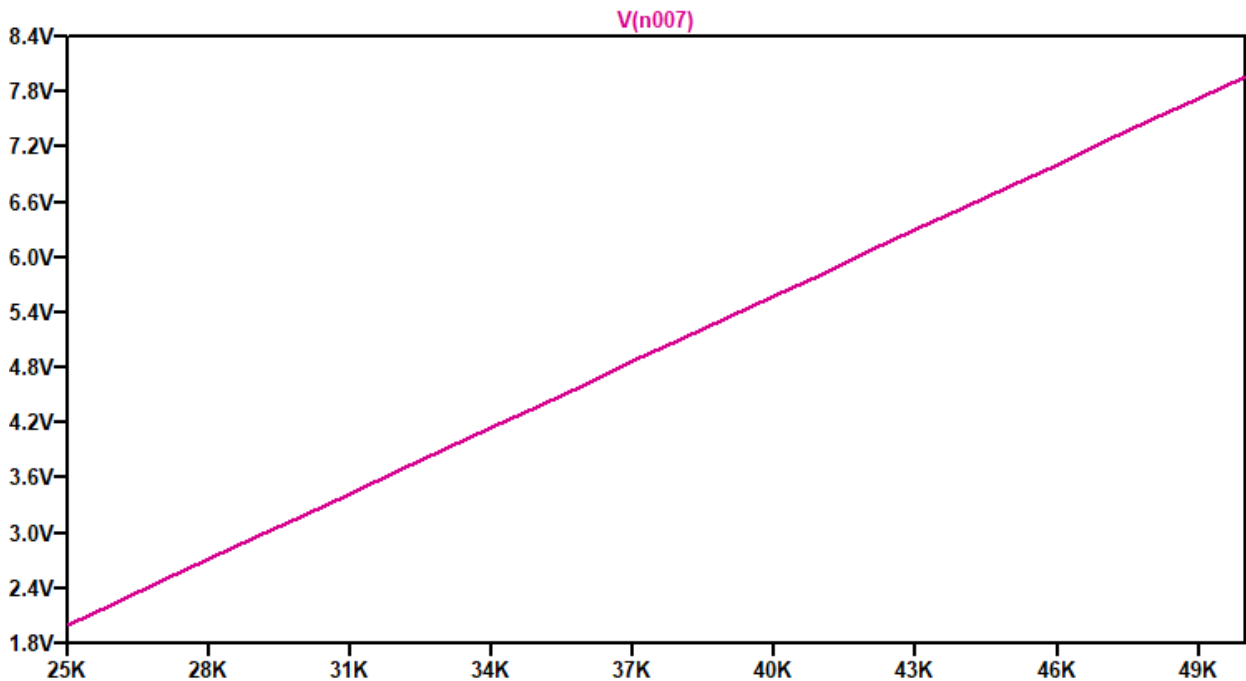


Figura 6. Conversia de domeniu

3.3. Etajul de comparare

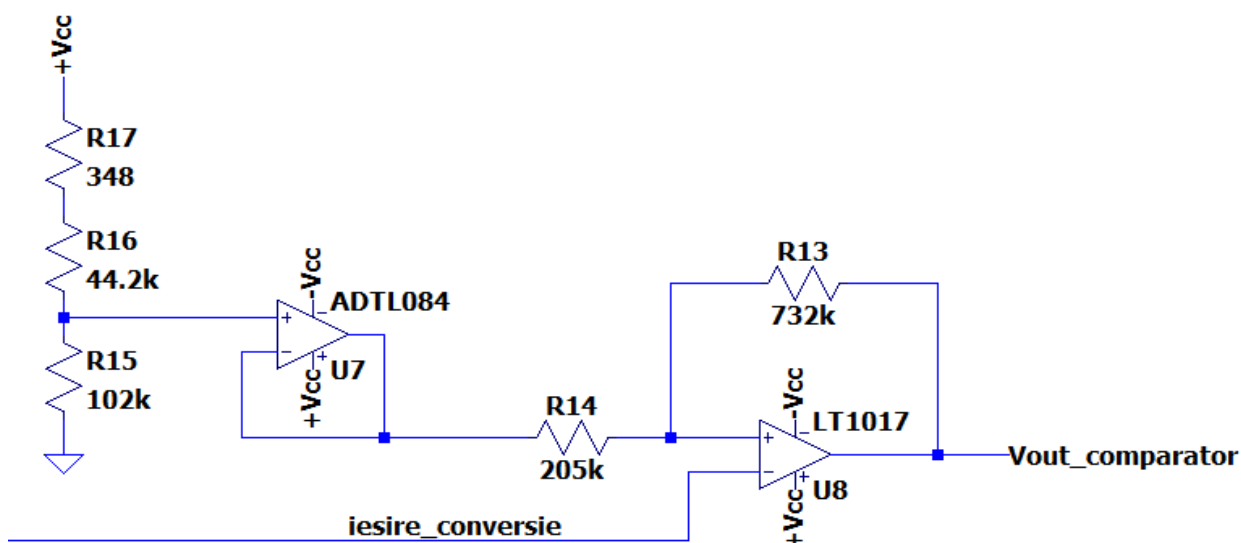


Figura 7. Comparator

Din ecuația (6): $R_{senzor} = \frac{(5000ppm - C_{metan}) \times 25k\Omega}{4800ppm} + 25k\Omega$ (9)

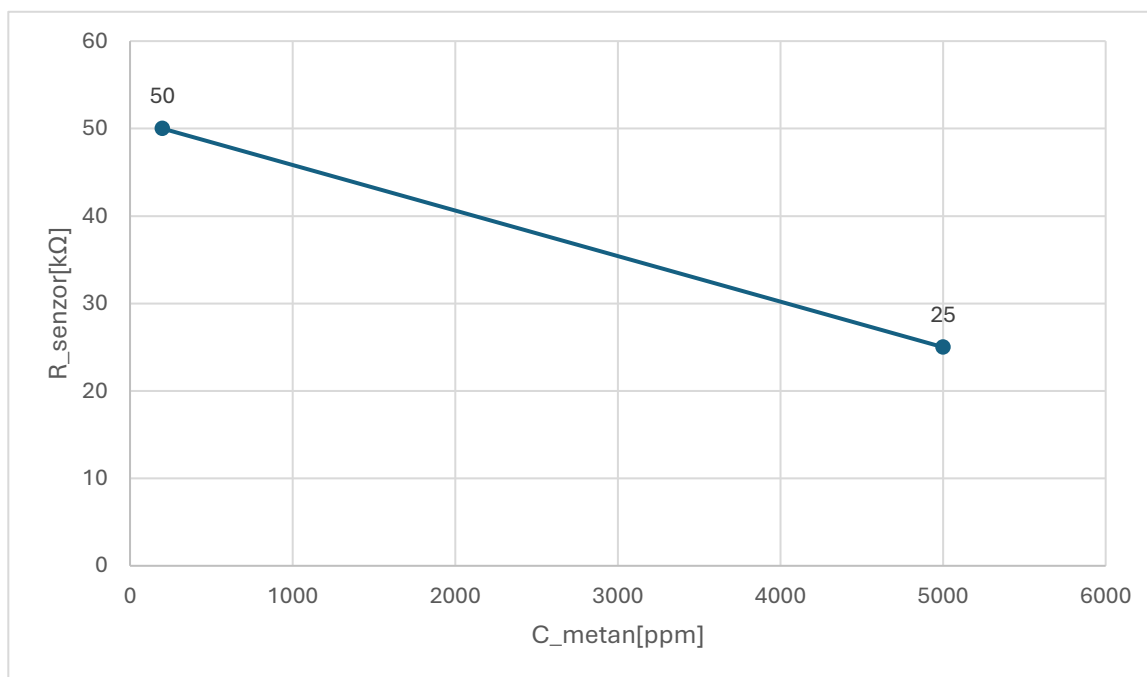


Figura 8. Rezistența senzorului în funcție de concentrația de gaz

Înlocuind C_{metan} cu 4.000 și apoi cu 500 în ecuația (9) am obținut valorile rezistenței senzorului pentru care ventilatorul pornește sau se oprește:

$$R_{senzor_on} = 30.20833k\Omega \quad (9.1)$$

$$R_{senzor_off} = 48.4375k\Omega \quad (9.2)$$

Înlocuind C_{metan} cu 4.000 și apoi cu 500 în ecuația (8) am obținut valorile tensiunilor de prag pentru care ventilatorul pornește sau se oprește:

$$V_{pj} = 3.25V \quad (8.1)$$

$$V_{ps} = 7.625V \quad (8.2)$$

Conform teoriei de funcționare a comparatorului inversor cu reacție și tensiune de referință avem următoarele ecuații:

$$V_{pj} = V_{ref} \times \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{14}} + \frac{R_{14}}{R_{14} + R_{13}} \times (-V_{CC}) \quad (10)$$

$$V_{ps} = V_{ref} \times \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{14}} + \frac{R_{14}}{R_{14} + R_{13}} \times V_{CC} \quad (11)$$

Rezistențele R_{13} și R_{14} reies din următoarele relații:

$$\frac{R_{14}}{R_{14} + R_{13}} \times V_{CC} = \frac{V_{ps} - V_{pj}}{2} \quad (12)$$

$$\frac{R_{14}}{R_{14} + R_{13}} = \frac{V_{ps} - V_{pj}}{2V_{CC}} \rightarrow R_{13} \approx 3.57 \times R_{14} \quad (13)$$

Tensiunea de referință pentru comparator este obținută dintr-un divizor de tensiune și un repetor pentru adaptare de impedanță. $V_{ref} \approx 6.96V$

3.4. Releul și LED-ul

.MODEL LedPortocaliu D(Is=2.8717e-18 Rs=3.16955 N=2.04448)

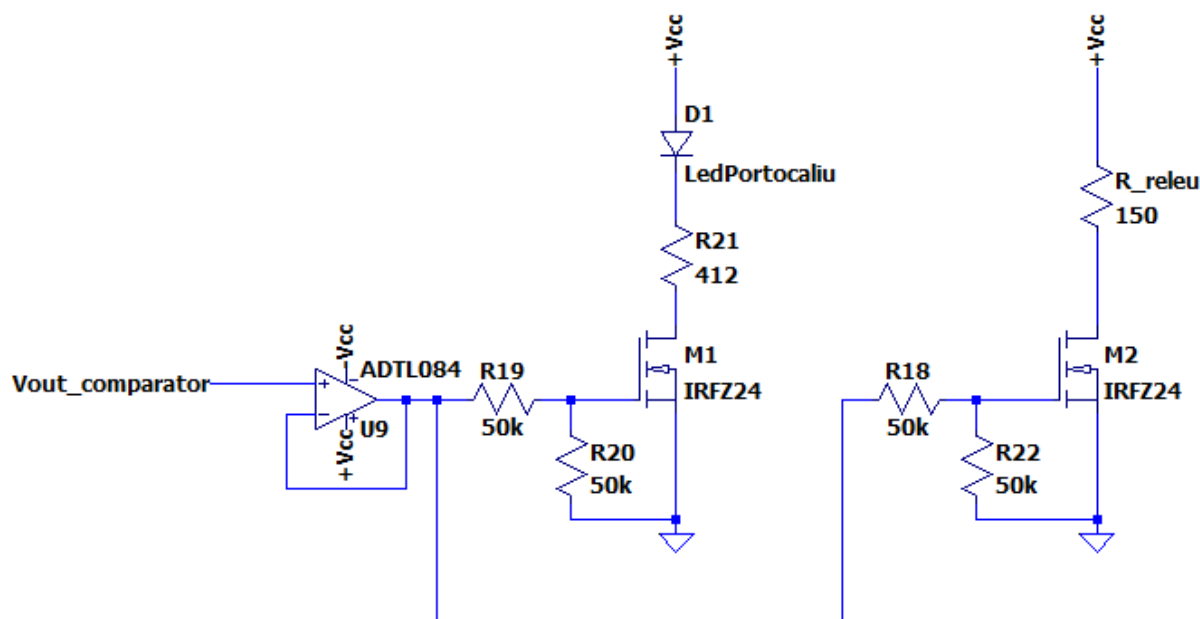


Figura 9. Schema etajului de comutație pentru releu și LED (+ modelul SPICE pentru LED)

Pentru comandarea activării releului și a LED-ului prin tensiunea de ieșire a comparatorului am utilizat două tranzistoare MOSFET IRFZ24, unul pentru LED, iar celălalt pentru releu.

3.4.1. Releul

Releul utilizat este produs de compania *TE Connectivity* și are codul 6-1393806-4. Conform foii de catalog, bobina are rezistența de 150Ω la tensiunea nominală de 10V.

3.4.2. LED-ul

Conform specificațiilor de proiectare, starea ventilatorului este semnalizată de un LED de culoare portocalie. LED-ul utilizat este produs de compania *Vishay* și are codul TLHF42U1V2-35.

Led-ul funcționează pe baza ecuației lui Shockley:

$$I_D = I_S \times \left(e^{\frac{V_D}{n \times V_T}} - 1 \right) \quad (14)$$

Pentru a crea modelul SPICE al LED-ului, este necesară cunoașterea curentului de saturație (I_S), coeficientului de emisie n și a rezistenței parazite R_S . logaritmând ecuația (14) și înlocuind R_S , se obține ecuația:

$$V_D - R_S \times I_D = n \times V_T \times \ln\left(\frac{I_D}{I_S} - 1\right) \quad (15)$$

Digitalizând caracteristica I-V în polarizare directă (din foaia de catalog) utilizând *PlotDigitizer*, pentru a obține un set de valori pentru I_D și V_D care pot fi utilizate într-o analiza de registre împreună cu ecuația (15) pentru a determina parametrii de model ai LED-ului. Pentru această analiză am folosit *DESMOS*. Parametrii sunt enumerați în tabelul 2.

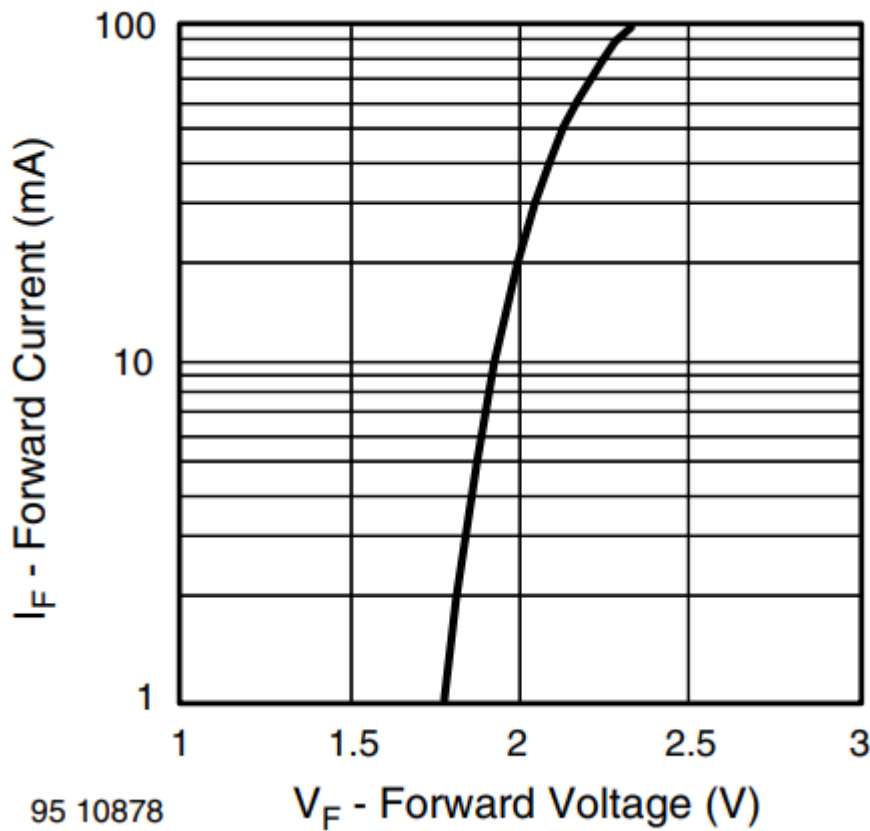


Figura 10. Caracteristica curent tensiune a LED-ului

Tabelul 2. Parametrii de model SPICE ai LED-ului utilizat

$I_S[A]$	$R_S[\Omega]$	n
2.8717×10^{-18}	3.16955	2.04448

Conform foii de catalog, LED-ul luminează optim atunci când este parcurs de un curent de 19.76mA. Acest curent corespunde unei căderi de tensiune 1.98V pe LED. Valoarea rezistenței conectată în serie cu LED-ul este dimensionată astfel(alegând cea mai apropiată valoare din seria E96; am considerat rezistența tranzistorului M1 neglijabilă):

$$R_{21} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{10V - 1.98V}{19.76mA} = 405\Omega \quad (16)$$

4. Simulări

4.1. Simularea senzorului de gaz, a sursei de curent și a convertorului de domeniu

Pentru simularea sursei de curent, a senzorului de gaz și a convertorului de domeniu am folosit analiza principală a punctului static de funcționare (.op) împreună cu o analiză parametrică pentru variația rezistenței senzorului de gaz în domeniul specificat în cerința de proiectare.

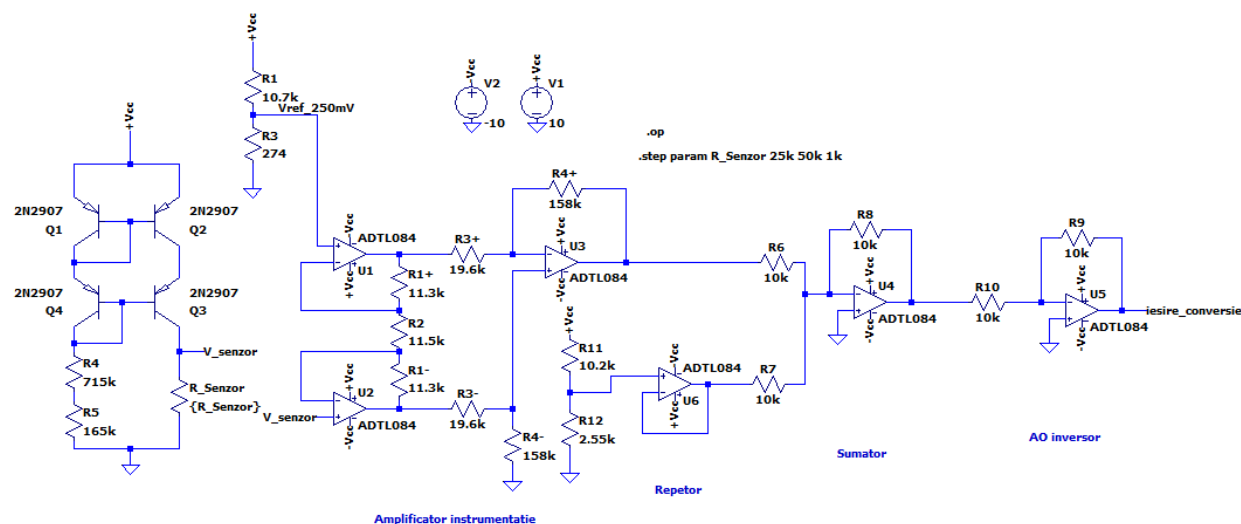
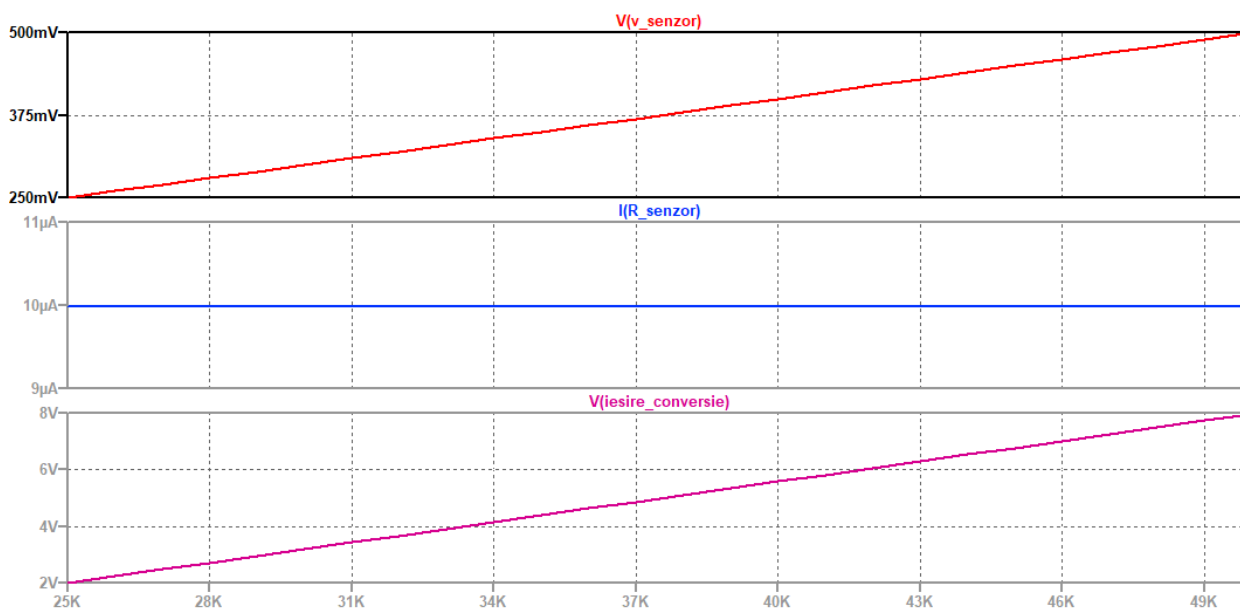


Figura 11. Schema folosită la simularea senzorului, sursei de curent și a convertorului de domeniu

În figura 12 se poate observa o variație liniară a tensiunii pe senzor, cuprinsă între 250mV și 500mV. Tensiunea la ieșirea convertorului de domeniu variază liniar, între 2V și 8V, conform specificațiilor de proiectare. Curentul injectat în senzor este constant și ales arbitrar, având valoarea de 10μA.



4.2. Simularea comparatorului și a etajului de comutație

Pentru simularea comparatorului și a etajului de comutație am folosit o analiza tranztorie, la intrarea comparatorului am folosit ieșirea de la etajul de conversie. În figura 14 poate fi observată activarea ventilatorului atunci când tensiunea de la ieșirea convertorului scade sub pragul de 3.25V și dezactivarea acestuia atunci când ieșirea convertorului crește peste 7.625V (conform tesniunilor obținute în proiectare). Când ventilatorul este activat, LED-ul e aprinde, fiind parcurs de un curent de 19.76mA, iar releul este cuplat, bobina acestuia fiind străbătută de un curent de 66.66mA (conform foii de date a releului, pentru bobina cu tesniunea nominală de 10V).

Sursa de tensiune *conc_gaz* este un artificiu pe care l-am folosit pentru a simula variația în timp a concentrației de gaz, și am aplicat-o pe senzor folosind formula (17), în care Ltspice consideră doar modulul tesniunii:

$$R_{\text{senzor}} = 1000 \times \frac{9800 - V(\text{conc_gaz})}{192} \quad (17)$$

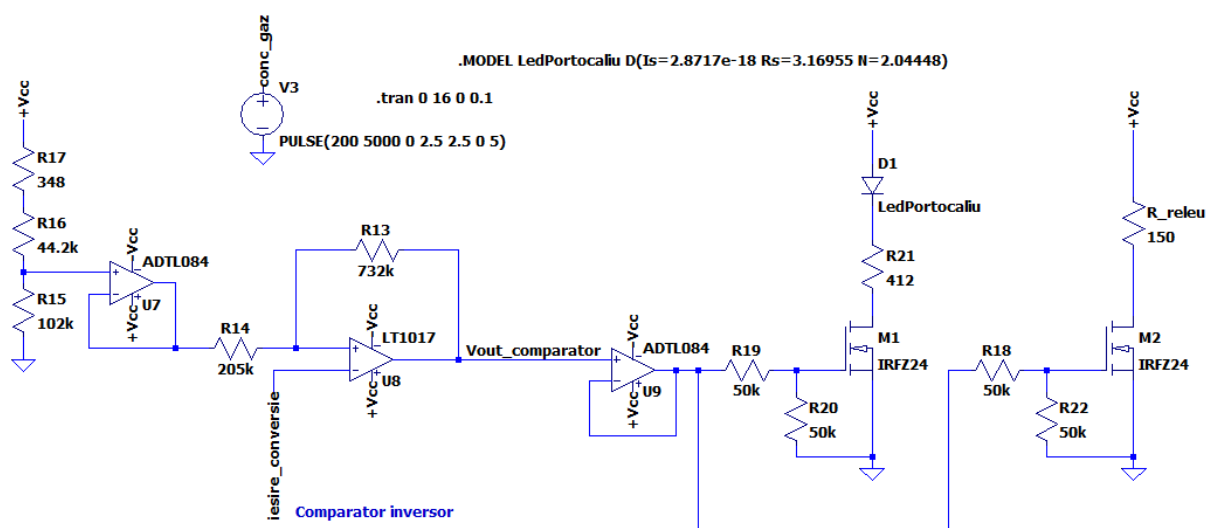


Figura 13. Schema folosită la simularea comparatorului și a etajului de comutație

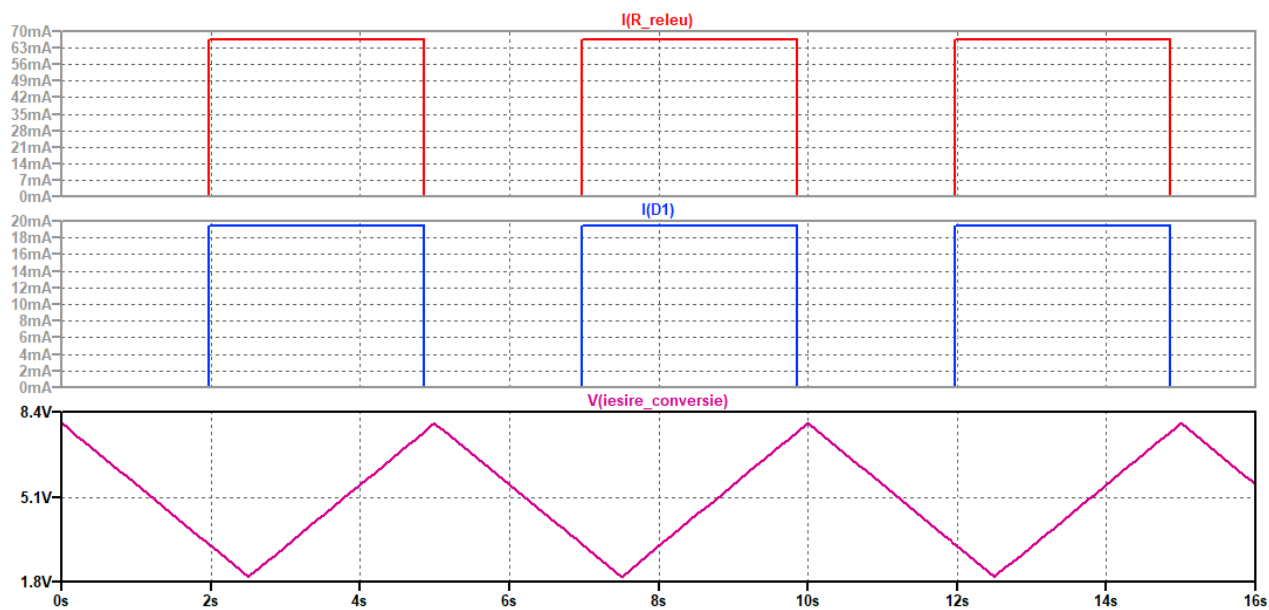


Figura 14. Rezultatul simulării comparatorului și a etajului de comutație

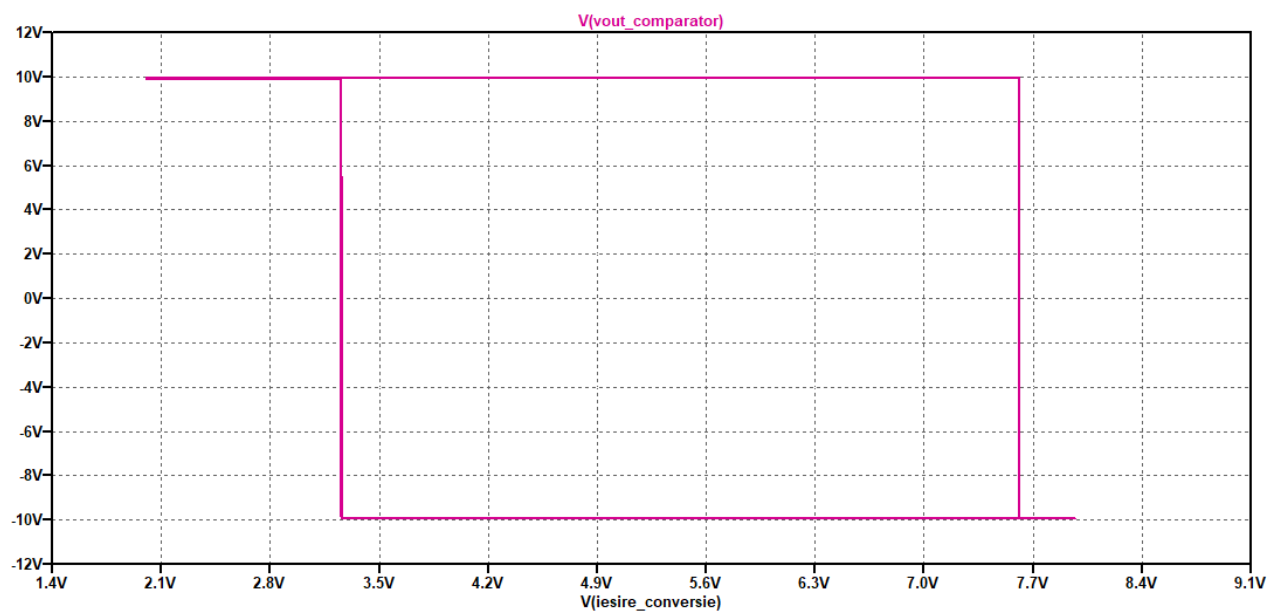


Figura 15. Histereza comparatorului

4.3. simularea întregului circuit

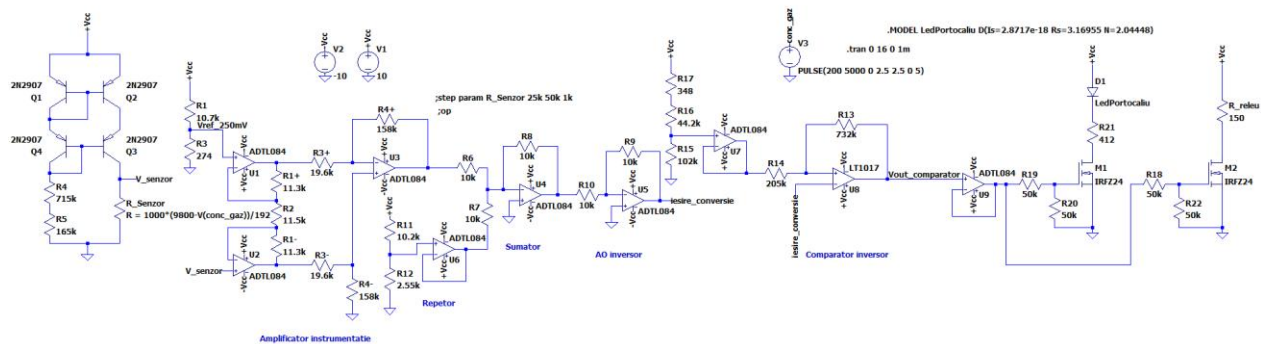


Figura 16. Întreg circuitul

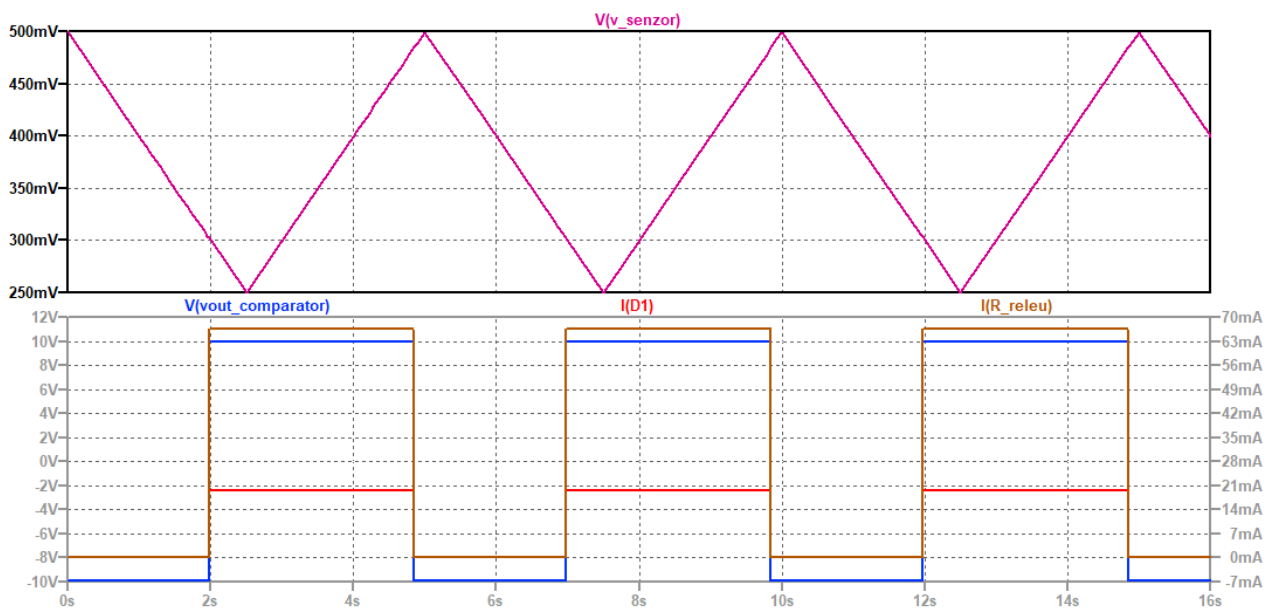


Figura 17. Simularea întregului circuit

Ventilatorul este pornit atunci când rezistența senzorului se află sub pragul inferior și LED-ul este aprins (concentrația de gaz metan este mare), se oprește atunci când rezistența se află peste pragul superior, LED-ul este stins (concentrația de gaz este mică).

5. Referințe

1. Notițele proprii de la cursul de CIA
2. Notițele proprii de la cursul de DE
3. Notițele proprii de la cursul de CEF
4. Releul: <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=108-98012&DocType=SS&DocLang=EN>
5. LED-ul: <https://ro.mouser.com/ProductDetail/Vishay-Semiconductors/TLHF42U1V2-35?qs=5csRq1wdUj5UIDx1wbQmnw%3D%3D>
6. Pentru digitalizarea graficului I-V a LED-ului: <https://plotdigitizer.com/>
7. Pentru aflarea parametrilor pentru model SPICE de la LED: <https://www.desmos.com/>
8. Pentru modelarea LED-ului: <https://codeinsecurity.wordpress.com/2024/01/15/turning-diode-and-led-datasheet-iv-plots-into-spice-models/>
9. Rezistențele sunt din seria standardizată E96 cu toleranță de 10% <https://www.rfcafe.com/references/electrical/resistor-values.htm>
10. Altele: <https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators.html>