



**UNIVERSITATEA  
TEHNICĂ  
DIN CLUJ-NAPOCA**

# **CIRCUIT PENTRU CONTROLUL CONCENTRAȚIEI DE GAZ DINTR-O ÎNCINTĂ**

**Coordonatori,**

**Prof. Dr. Ing. Ovidiu-Aurel POP**

**Drd. Ing. Elena-Mirela ȘTEȚCO**

**Student,**

**Ancuța-Georgiana PELIN**

## CUPRINS

1. Specificații proiectare .....	1
2. Schemă bloc .....	2
3. Circuitul electronic (proiectare și simulare) .....	3
3.1. Etajul de citire senzor .....	5
3.2. Etajul conversiei de domeniu .....	11
3.2.1. Circuit de scădere .....	12
3.2.2. Circuit de multiplicare .....	16
3.3. Etajul de comparare .....	20
3.3.1. Domeniul de variație al rezistenței senzorului .....	21
3.3.2. Configurarea comparatorului .....	24
3.4. Pompă/ Afișaj .....	35
4. Bibliografie .....	44

# 1. SPECIFICAȚII DE PROIECTARE

Proiectul presupune realizarea unui sistem care utilizează senzori rezistivi de gaz pentru a menține într-o încălț concentrația de metan între limitele specificate [800 ... 18.000] exprimate în ppm (părți pe milion). În încălț există o sursă care generează în continuu gaz metan. În momentul în care concentrația a ajuns la limita superioară, 18.000 ppm, sistemul va porni ventilatorul care va introduce aer curat. Când concentrația de metan ajunge la limita inferioară, 800 ppm, 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 [500 ... 22.000] rezistența electrică a senzorului variază liniar în domeniul [36k - 18k].

Variația rezistenței electrice a senzorului trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul  $[2 \div (V_{cc}-2V)]$ .  $V_{cc}$  având valoarea 12V.

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.

## 2. SCHEMĂ BLOC

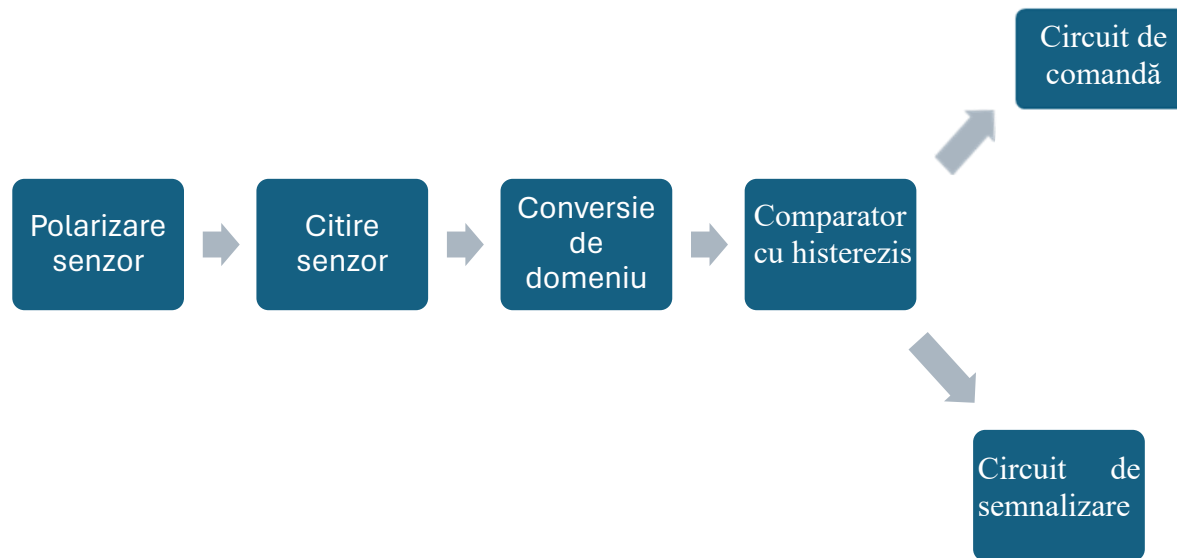


Figura 2. Schema bloc a circuitului electric

Aceste componente ale schemei bloc vor fi integrate într-un circuit electric și fiecare bloc al acestui circuit va fi explicat în cele ce urmează.

### 3. CIRCUITUL ELECTRONIC (PROIECTARE ȘI SIMULARE)

Anterior s-a desenat schema bloc a circuitului. Pe baza acesteia s-a realizat schema electrică a circuitului și aceasta este:

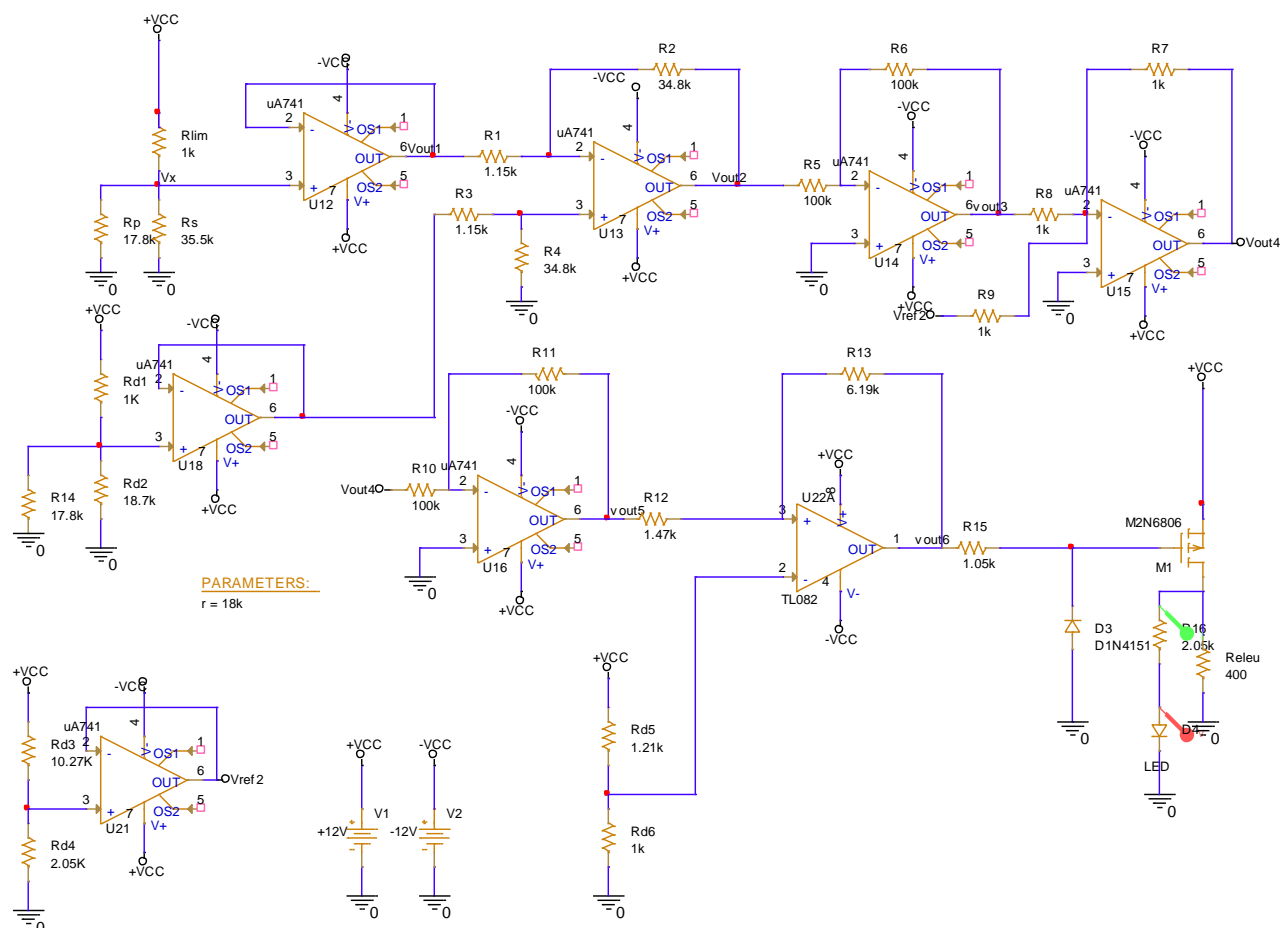


Figura 3. Circuitul electric al senzorului de gaz

Acest circuit electric este format din 4 blocuri: primul realizează citirea tensiunii de pe senzor, al doilea – conversia de domeniu în tensiune, al treilea – etajul de comparare și al patrulea – afișarea și comandarea releului/

Pentru toate aceste blocuri s-au folosit rezistențe din seria standardizată E48 care prezintă o toleranță de  $\pm 2\%$ .

Amplificatorul operațional(AO) folosit în circuit este  $\mu A741$ . Acest amplificator prezintă o tensiune de alimentare de minim  $-18V$  și maxim  $+18V$ , cum alimentarea circuitului în cauză se realizează la  $\pm 12V$  se observă că acest AO este potrivit. De asemenea pentru  $\mu A741$ , valoarea maximă a curenților de polarizare este de  $300\text{ nA}$  și rezistența minimă la intrare are o valoare de  $0.3\text{ M}\Omega$ .

Singurul bloc care conține un alt tip de amplificator este blocul de comparare, pentru circuitul care realizează această funcție s-a folosit un TL082. Tensiunea de alimentare a acestuia este de  $\pm 18\text{V}$  și are un slew rate (viteză de variație a tensiunii de ieșire în timp) ridicat  $13\text{V}/\mu\text{s}$ . Trebuie precizat că foaia de catalog a AO-ului specifică faptul că la o tensiune de  $\pm 15\text{V}$ , AO-ul prezintă o excursie a semnalului de ieșire de până la  $\pm 13.5\text{V}$ . Acest lucru trebuie luat în calcul întrucât la tensiunea de alimentare de  $\pm 12\text{V}$  folosită în circuitul prezentat anterior, excursia semnalului de ieșire va ajunge la  $\pm 10.5\text{V}$ .

Tranzistorul folosit este M2N6806, este un tranzistor cu canal P, are o tensiune de prag  $V_{\text{GTH}}$  minimă de  $-2\text{V}$ , o tensiune maximă grilă-sursă  $\pm 20\text{V}$  și un curent maxim drenă-sursă  $\pm 6.5\text{A}$ .

Dioda folosită pentru stabilizarea tensiunii din grila tranzistorului este 1N4151 și are o tensiune directă de maxim  $1\text{V}$  pentru un curent de  $50\text{mA}$ .

Releul a fost modelat cu o rezistență a înfășurărilor de  $400\Omega$  conform foii de catalog pentru JQC-21FF și o tensiune de  $12\text{V}$ .

Repetoarele folosite în cadrul circuitului au rolul de a realiza adaptare de impedanță între blocurile circuitului pentru a nu exista pierderi de tensiune din cauza neidealităților pe care le prezintă amplificatoarele operaționale folosite.

### 3.1. ETAJUL DE CITIRE SENZOR

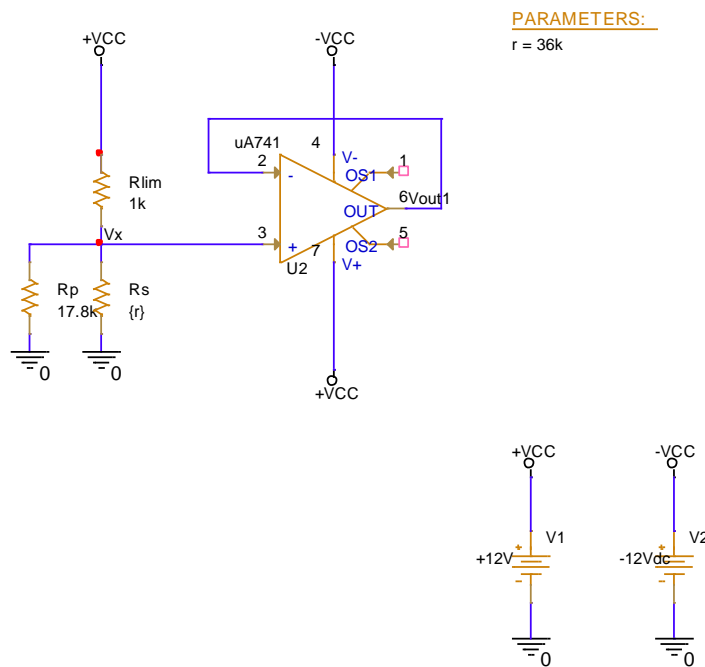


Figura 2.1 Blocul 1 al circuitului-citirea tensiunii de pe senzor

Acest bloc realizează polarizarea senzorului în tensiune folosind o sursă de tensiune de +12V. Se pune în serie cu rezistența senzorului o rezistență de limitare a curentului  $R_{lim}$ , în paralel cu senzorul se pune o rezistență  $R_p$ , folosită pentru a liniariza tensiunea citită pe senzor. Blocul mai conține un repetor folosit pentru citirea tensiunii de pe senzor și pentru adaptarea de impedanță.

Vom realiza o comparație între forma tensiunii pe senzor când  $R_p$  lipsește și când  $R_p$  se află în paralel cu rezistența senzorului.

Circuitul fără  $R_p$  arată astfel:

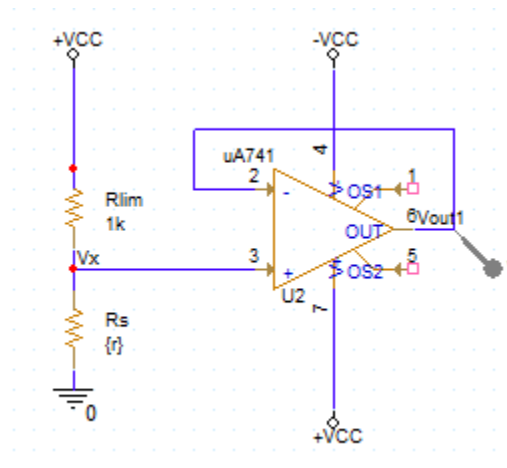


Figura 3.1.1. Circuitul fără rezistența în paralel

Pentru această configurație a circuitului, tensiunea de pe senzor are această formă:

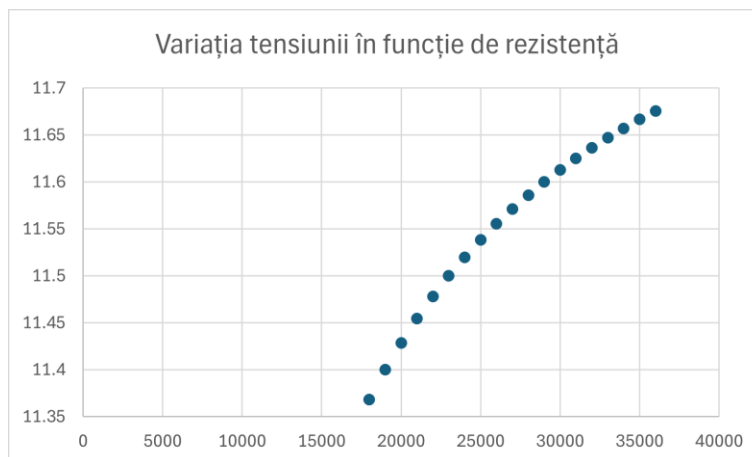


Figura 3.1.2. Variația neliniară a tensiunii rezistenței senzorului.

Forma tensiunii citite este neliniară deoarece ecuația acesteia reprezintă relația unui divizor de tensiune aplicat pe rezistența senzorului. Ecuație care nu este liniară. De asemenea, analizând graficul, se observă că la variații mari ale rezistenței, variația tensiunii este mică. Pentru două pătrățele de pe grafic, situate pe axa ordonatelor între 20.000-30.000Ω, diferența de tensiune este de 0.175 (valorile identificate pe grafic sunt 11.425V și 11.6V).

Dacă revenim la configurația cu  $R_p$  în paralel, forma tensiunii va fi aceasta:

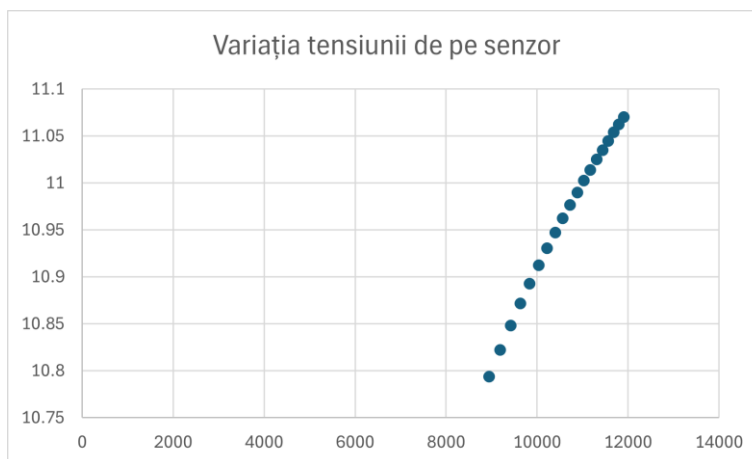


Figura 3.1.3. Variația liniară a tensiunii rezistenței senzorului.

Punând două rezistențe în paralel, curentul se divide, iar rezistența echivalentă va avea o valoare mai mică, în consecință valoarea tensiunii va fi mai mică. Deși rezistența senzorului are aceeași valoare ca în cazul anterior, tensiunea citită va fi mai mică. Urmărind graficul întocmai cum s-a făcut în cazul anterior, se observă că pentru o variație a tensiunii de 0.175V, variația rezistenței este mult mai mică, de 2.000Ω, fapt care duce la liniarizarea caracteristicii.



Anterior s-a desenat schema primului bloc de circuit care conține  $R_{lim}$ ,  $R_s$  și  $R_p$  împreună cu un repetor cu scopul de a realiza adaptarea de impedanță. Tensiunea de la ieșirea repetorului va reprezenta tensiunea citită pe senzor.

Pentru verificarea corectitudinii rezultatelor obținute se vor realiza mai întâi calculele, iar apoi se vor identifica de pe grafic valorile.

$$v^+ = v^- \quad (3.1.1)$$

$$v^+ = V_x = \frac{R_e}{R_e + R_{lim}} \times V_{cc} \quad (3.1.2)$$

Unde  $R_e$  este calculat astfel:

$$R_e = \frac{R_p \times R_s}{R_p + R_s} \quad (3.1.3)$$

Pentru  $R_s = 36 \text{ K}\Omega$ :

$$R_e = \frac{36k \times 17.8k}{36k + 17.8k} = 11.91 \text{ K}\Omega \Rightarrow V_x = \frac{11.91k}{11.91k + 1k} \times 12V = 11.07 \text{ V}$$

Pentru  $R_s = 17.8 \text{ K}\Omega$ :

$$R_e = \frac{18k \times 17.8k}{18k + 17.8k} = 8.95 \text{ K}\Omega \Rightarrow V_x = \frac{8.95k}{8.95k + 1k} \times 12V = 10.79 \text{ V}$$

$$v^- = v_{out} \quad (3.1.4)$$

Din ecuațiile (3.1.1), (3.1.2) și (3.1.4)  $\Rightarrow v_{out} = V_x$ . Adică la ieșirea repetorului ar trebui să se obțină valorile calculate.

În acest punct se poate seta analiza tranzitorie, analiza parametrică, și analiza de performanță, iar apoi se poate rula simularea.

În urma analizei tranzitorii ne așteptăm ca tensiunile să fie constante în timp, deci pentru orice moment tensiunea la o anumită valoare a rezistenței este aceeași. Motiv pentru care se poate alege orice valoare pentru parametrii simulării, întrucât aceștia nu influențează rezultatul. Se selectează din meniul Analysis Type opțiunea Time Domain (Transient), se setează Run To Time 1ms și maximum step size 0.1 ms. Ceea ce înseamnă că formele de undă vor fi reprezentate până la momentul 1ms, iar pasul va fi de 0.1 ms. Analiza parametrică are scopul de a varia valoarea rezistenței în domeniul specificat [18k $\Omega$ , 36k $\Omega$ ]. Pentru setarea acestui tip de analiză se adaugă o componentă PARAM din meniul Part, parametrul pe care vrem să-l variem îl declarăm între {} făcând dublu click pe componentă, din Property Editor se selectează New Property unde se introduce {r}, se apasă opțiunea Display-display name and value și pe circuit, lângă componentă, va apărea această notație. Din meniul Simulation Settings se bifează Parametric Sweep, Global parameter, iar la Parameter name se introduce r. Se setează start value la 18k, end value 36k și increment 1k. Conform acestei setări a analizei se vor afișa 19 valori de tensiuni pentru cele 19 valori de rezistență.

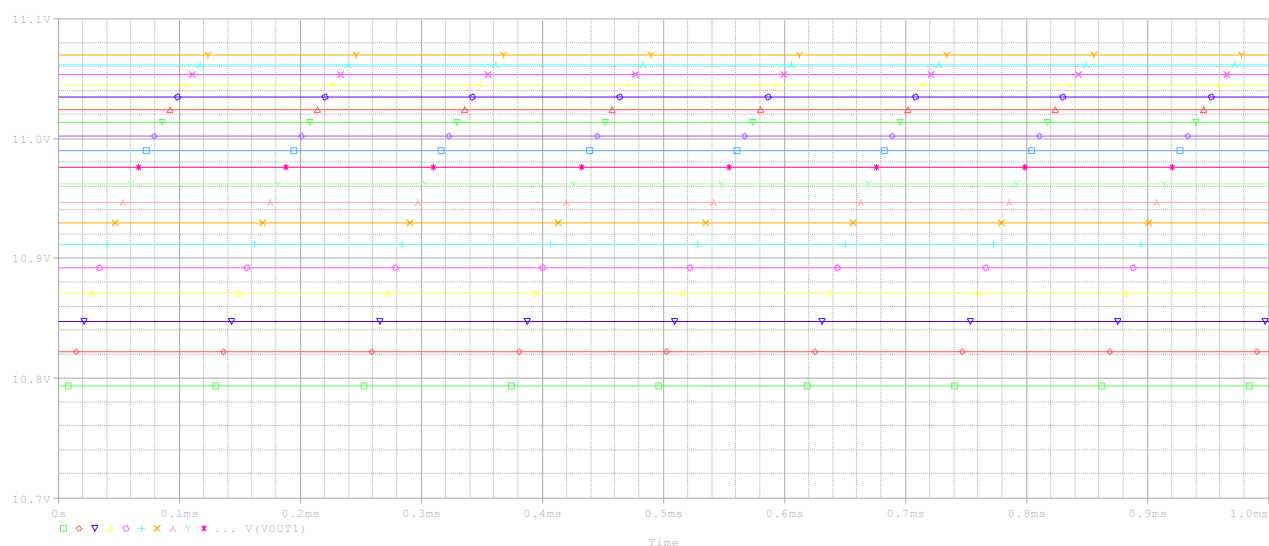


Figura 3.1.2. Rezultatul simulării primul bloc de circuit.

Prin folosirea comenzii zoom se pot indentifica pe acest grafic valorile tensiunilor când rezistența senzorului are o valoare minimă  $R_s = 18\text{ K}\Omega$  și când aceasta are o valoare maximă  $R_s = 36\text{ K}\Omega$ .

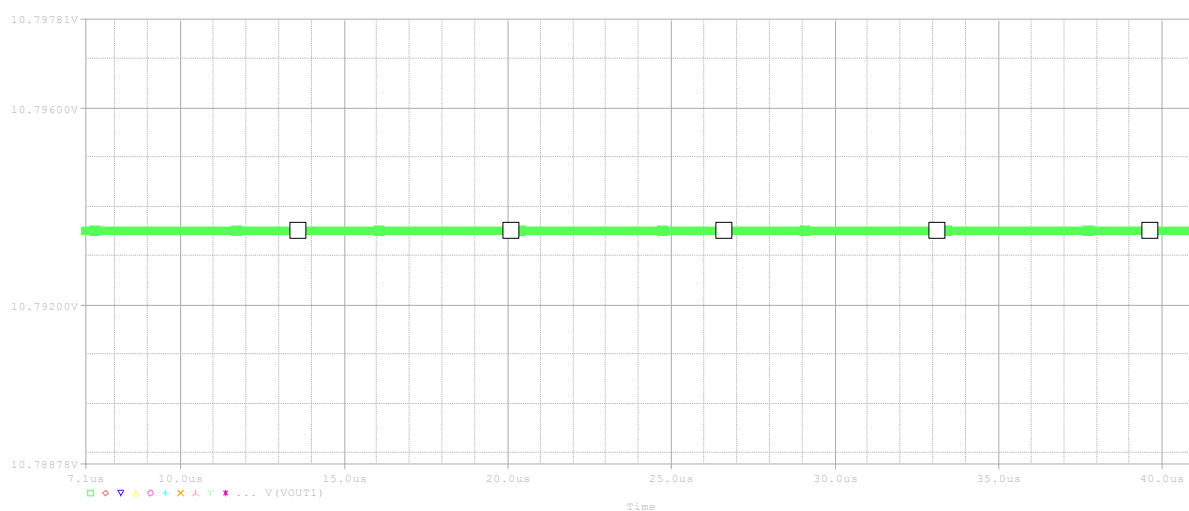


Figura 3.1.3. Valoarea minimă a tensiunii de pe senzor.

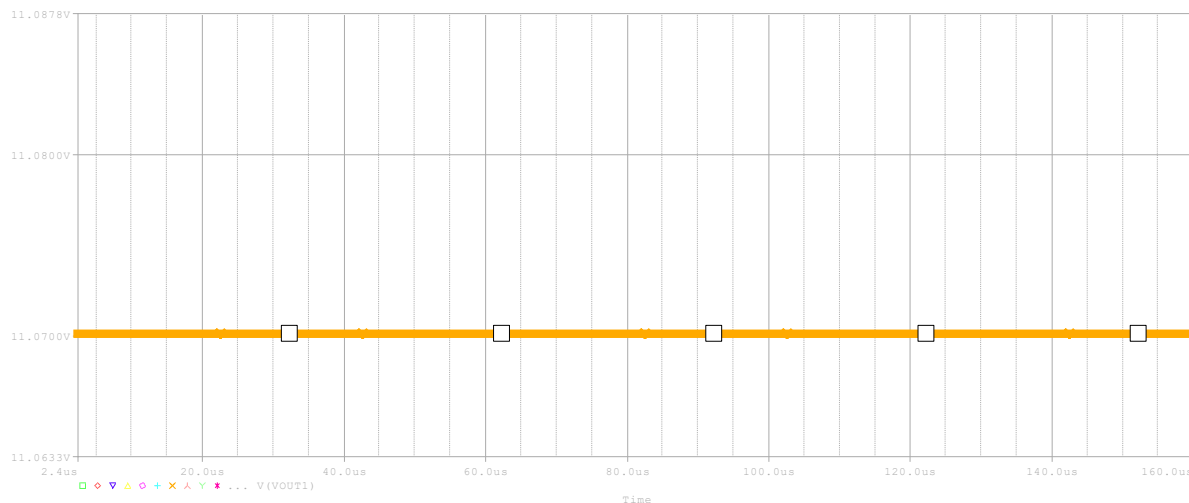


Figura 3.1.4. Valoarea maxima a tensiunii de pe senzor.

O altă modalitate de vizualizare a domeniului de variație al tensiunii în funcție de rezistența de pe senzor este rularea unei analize de performanță. Cu ajutorul acesteia se va putea vizualiza atât domeniul în care variază rezistența cât și domeniul de variație al tensiunii. Acest lucru este foarte util pentru a compara domeniul tensiunii obținut acum, cu cel obținut în urma conversiei de domeniu. Din Probe se selectează Trace-Performance Analysis și folosind funcționalitatea Wizard se selectează o funcție obiectiv de maxim aplicată asupra tensiunii de la ieșirea repetorului întrucât ce ne dorim este să obținem tensiunea maximă pentru diferite valori ale rezistenței. Rezultatul simulării este:

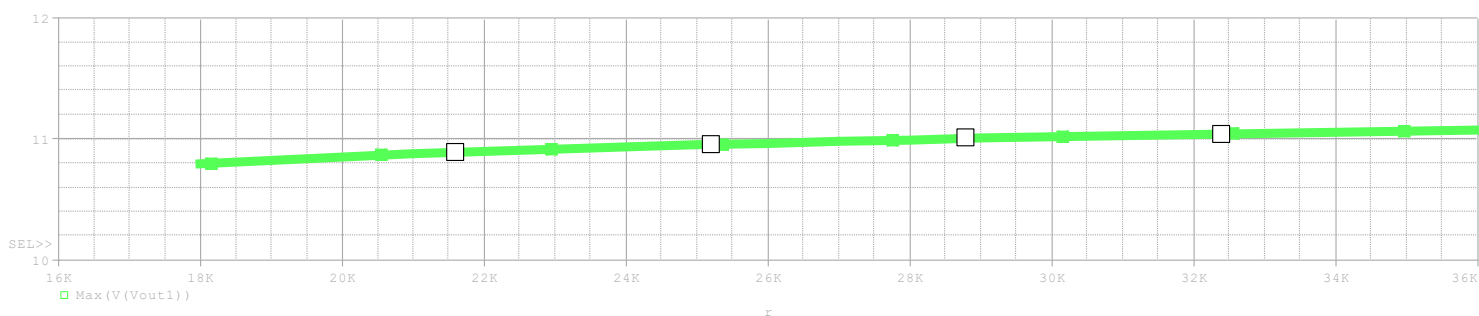


Figura 3.1.5. Rezultatul analizei de performanță

Conform acestui rezultat pentru un domeniu de variație al rezistenței senzorului între [18k, 36k], tensiunea citită pe acest senzor este de [10.8V, 11.07V]. Deci rezultatele obținute în urma calculului corespund cu cele obținute în urma simulării.

Cum rezistențele prezintă toleranțe de  $\pm 2\%$  dorim să vedem cum influențează din punct de vedere statistic această toleranță funcționarea circuitului, motiv pentru care vom realiza o analiză Monte Carlo și o analiză Worst Case.

Pentru setarea analizei Monte Carlo se editează modelele pentru aceste componente, adăugând toleranța rezistențelor. Apoi din Simulation Settings se configurează parametrii: Output variable v(out1), Number of runs = 10, Use distribution – Uniform, Random number of seed – 200 (coeficientul polinomului de generarea de numere aleatoare). Din meniul Probe se selectează Prob, Axis Settings și din acest meniu se bifează Performance Analysis. Din add Trace se selectează o funcție obiectiv de maxim aplicată asupra tensiunii de ieșire de la repetor. Precizare: s-a ales o valoare petru rezistența senzorului de 36k.

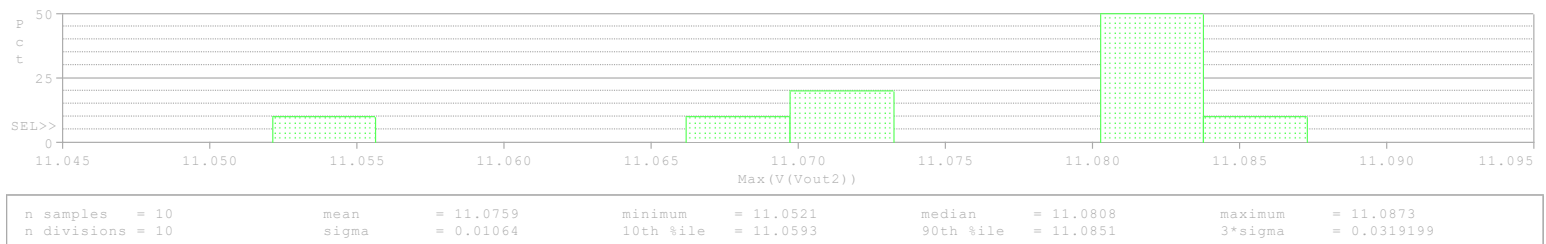


Figura 3.1.6. Rezultatul analizei Monte-Carlo

Conform acestui rezultat există o probabilitate de 50% ca tensiunea de la ieșirea senzorului să aibă valoarea cuprinsă între [11.081, 11.084]. Dacă se compară acest rezultat cu cel obținut în urma calculului se poate stabili faptul că datorită toleranțelor rezistențelor sunt șanse de 50% ca tensiunea citită să fie mai mare decât cea calculată și șanse de 10% să fie mai mică, restul de 40% de procente se află foarte aproape de valoarea calculată. Faptul că tensiunea citită de pe senzor este influențată de toleranțe se va dovedi a fi un lucru foarte important când se va discuta despre pragurile de comutație ale comparatorului în subcapitolul 3.3.

Pentru configurarea analizei Worst Case se selectează din meniul Simulation Settings – Monte Carlo/Worst Case, se bifează Worst Case, pentru output variable se introduce V(Vout1), se selectează opțiunea More Settings → Find → the greatest difference from nominal run (YMAX), iar la Worst Case direction se selectează low. Rezultatul acestei analize este :

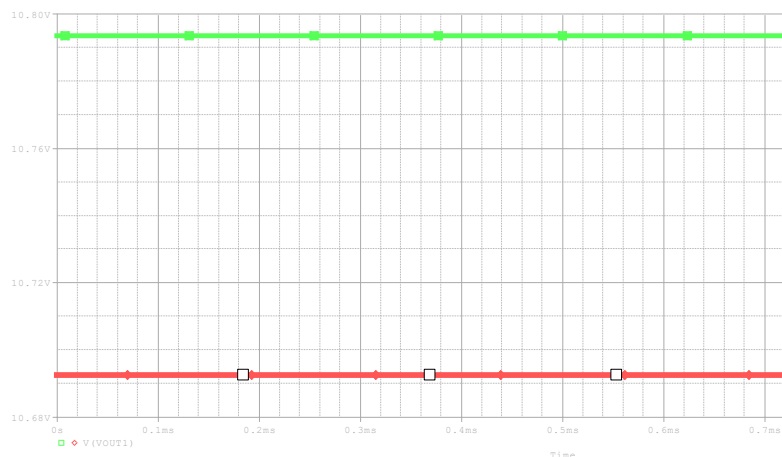


Figura 3.1.7. Reultatul analizei Monte-Worst Case

Pe grafic este marcată cu verde tensiunea nominală citită de pe senzor și cu roșu cazul cel mai defavorabil, se observă o diferență de 0.12V între cele doua. Dacă se va întâmpina o situație similară când se va discuta despre pragurile comparatorului, acest lucru ar putea duce la neatingerea valorii la care este necesară comutația comparatorului și în consecință ventilatorul nu se va deschide atunci când va fi necesar acest lucru (la o valoare mare a concentrației de gaz).

### 3.2. Etajul conversiei de domeniu

În specificațiile de proiectare este menționat faptul că tensiunea citită de pe senzor trebuie convertită în domeniul [2V, 10V]. Pentru realizarea acestui lucru s-a folosit circuitul următor:

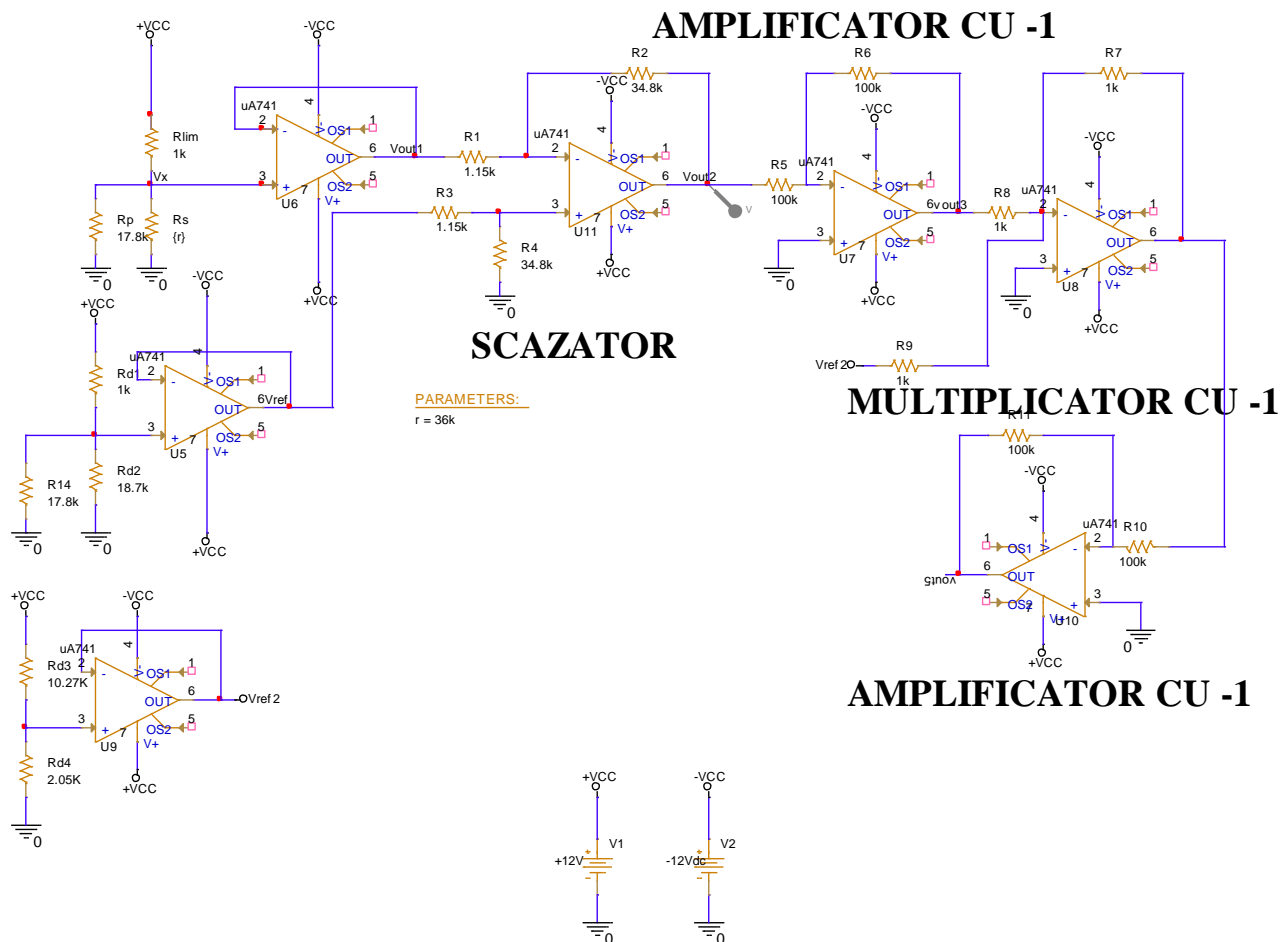


Figura 3.2. Circuit de conversie al tensiunii.

Circuitul din figură are scopul de a aduce domeniul [10.79V, 11.07V] la [2V, 10V]. Pentru realizarea acestui proces se va folosi un circuit de scădere (se folosește și denumirea de circuit diferențial) pentru a obține intervalul [0V, 8V], la acest interval se vor aduna 2V cu ajutorul unui circuit de multiplicare și se va obține domeniul de tensiune dorit.

Conversia tensiunii citite de pe senzor în domeniul dorit necesită mai mulți pași, în consecință, mai multe componente. Se va discuta despre fiecare în parte și se vor realiza aceleași tipuri de analize ca la pasul anterior, analiza de performanță având scopul de a marca schimbarea domeniului de variație al tensiunii.

### 3.2.1. Circuit de scădere

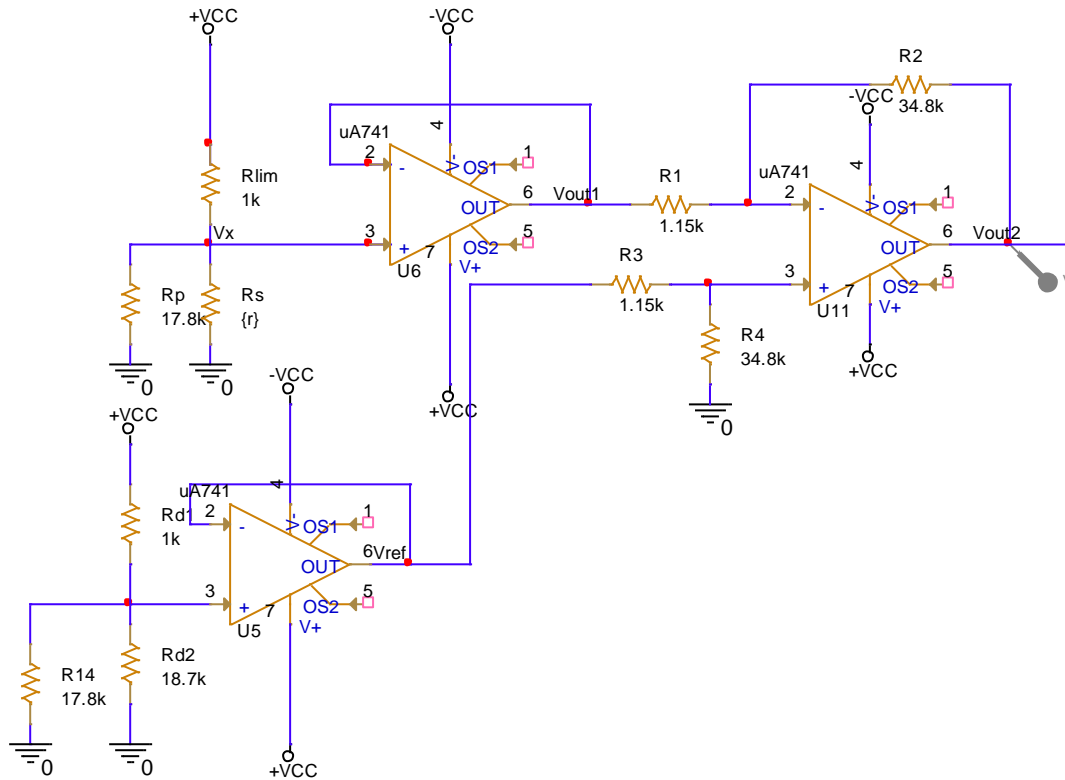


Figura 3.2.1.1. Circuit de scădere

Domeniul tensiunii citite de pe senzor conform explicației de la blocul 1 de circuit este  $[10.79\text{V}, 11.07\text{V}]$ , folosind circuitul de scădere se va transforma acest domeniu în domeniul  $[0\text{V}, 8\text{V}]$ . Acest proces presupune mai întâi o diferență de tensiune în urma căreia se va obține intervalul  $[0\text{V}, 0.28\text{V}]$ , iar mai apoi amplificarea acestui domeniu.

Se va demonstra mai întâi la general expresia tensiunii de ieșire a unui scăzător, iar mai apoi se va explica cum se aplică toate acestea circuitului dat.

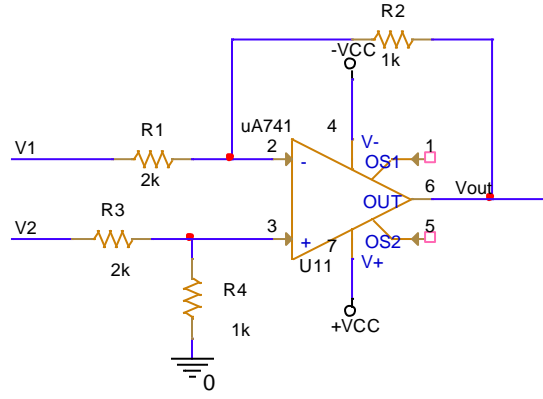


Figura 3.2.1.2. Circuitul de scădere

$$v^+ = v^-$$

$$v^+ = \frac{\frac{V_2}{R_3}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{R_4}{R_4 + R_3} V_2 \quad (3.2.1.1)$$

$$v^- = \frac{\frac{V_{out}}{R_2} + \frac{V_1}{R_1}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}} = \frac{\frac{V_{out}}{R_2} + \frac{V_1}{R_1}}{\frac{R_2 + R_1}{R_2 R_1}} \quad (3.2.1.2)$$

Din relațiile (3.2.1.1) și (3.2.1.2) =>

$$\frac{V_{out}}{R_2} + \frac{V_1}{R_1} = \frac{R_2 + R_1}{R_2 R_1} \frac{R_4}{R_4 + R_3} V_2 \Rightarrow$$

$$R_1 V_{out} + R_2 V_1 = (R_2 + R_1) \frac{R_4}{R_4 + R_3} V_2 \Rightarrow$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out} = \frac{R_4}{R_4 + R_3} V_2 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 \Rightarrow$$

$$V_{out} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} \frac{R_4}{R_4 + R_3} V_2 - \frac{R_2}{R_1} V_1 \quad (3.2.1.3)$$

Dacă  $R_1 = R_3$  și  $R_2 = R_4$  relația (3.2.1.3) devine:

$$V_{out} = \frac{R2}{R1} (V2 - V1) \quad (3.2.1.4)$$

În schema circuitului desenată anterior  $V_2$  reprezintă  $V_{ref}$ ,  $V_1 - V_{out1}$  și  $V_{out} - V_{out2}$ , deci relația (3.2.1.4) se transformă în:

$$V_{out2} = \frac{R2}{R1} (V_{ref} - V_{out1}) \text{ sau} \quad V_{out2} = -\frac{R2}{R1} (V_{out1} - V_{ref}) \quad (3.2.1.5)$$

Se observă că se va scădea din tensiunea citită de pe senzor o tensiune de referință (în cazul de față  $V_{ref} = 10.79 \text{ V}$  pentru a obține intervalul dorit) și se va amplifica rezultatul cu  $R2/R1$ .

Pentru a obține tensiunea  $V_{ref} = 10.79 \text{ V}$  se va diviza alimentarea cu valori apropiate ale rezistențelor cu cele folosite în obținerea tensiunii inițiale de  $10.79 \text{ V}$  (atunci când se realiza citirea tensiunii de pe senzor). Folosind o rezistență de  $18.7 \text{ k}$  care să înlocuiască senzorul și lăsându-le pe restul neschimbate se va obține  $V_{ref} = 10.81 \text{ V}$ .

Intervalul de tensiune care se obține efectuând acești pași este  $[-0.02, 0.26]$ , deci se va dori amplificarea acestuia.

Pentru a obține valoarea amplificării de care este nevoie se vor realiza următoarele calcule:

$$\begin{array}{ccc} [0, 0.26] & \rightarrow & [0, 8] \\ \boxed{\phantom{0.26}} & & \boxed{\phantom{8}} \\ 0.26 & & 8 \end{array}$$

Relația care descrie funcționarea unui amplificator operațional este:

$$V_o = A_d (v^+ - v^-)$$

Cum pentru acest circuit  $v^-$  are două valori vom obține un sistem de 2 ecuații:

$$\begin{cases} A(V_{ref} - V_{out1}') = V_{out2}' \\ A(V_{ref} - V_{out1}'') = V_{out2}'' \end{cases}$$

“\_”

$$AV_{ref} - AV_{out1}' - AV_{ref} + AV_{out1}'' = V_{out2}' - V_{out2}''$$

$$-A(V_{out1}' - V_{out1}'') = V_{out2}' - V_{out2}'' \Rightarrow -A = \frac{V_{out2}' - V_{out2}''}{V_{out1}' - V_{out1}''} = \frac{8}{0.26} = 30.77$$

\*De menționat că s-a considerat  $V_{out2}' = 8$ ,  $V_{out2}'' = 0$ ,  $V_{out1}' = 0.26$ ,  $V_{out1}'' = 0$ .

Așadar, raportul cu  $R2/R1$  trebuie să fie egal cu  $30.77$ . Raportul folosit în circuit are valoarea de  $30.26$ .

Folosind relația (3.2.15) tensiunea de la ieșire va avea valoarea:



$$V_{\text{out}} = -30.26(10.79 - 10.81) \cong 0.6\text{V} \text{ sau } V_{\text{out}} = -30.26(11.07 - 10.81) \cong -7.9\text{V}$$

Prin rularea simulării se va obține:

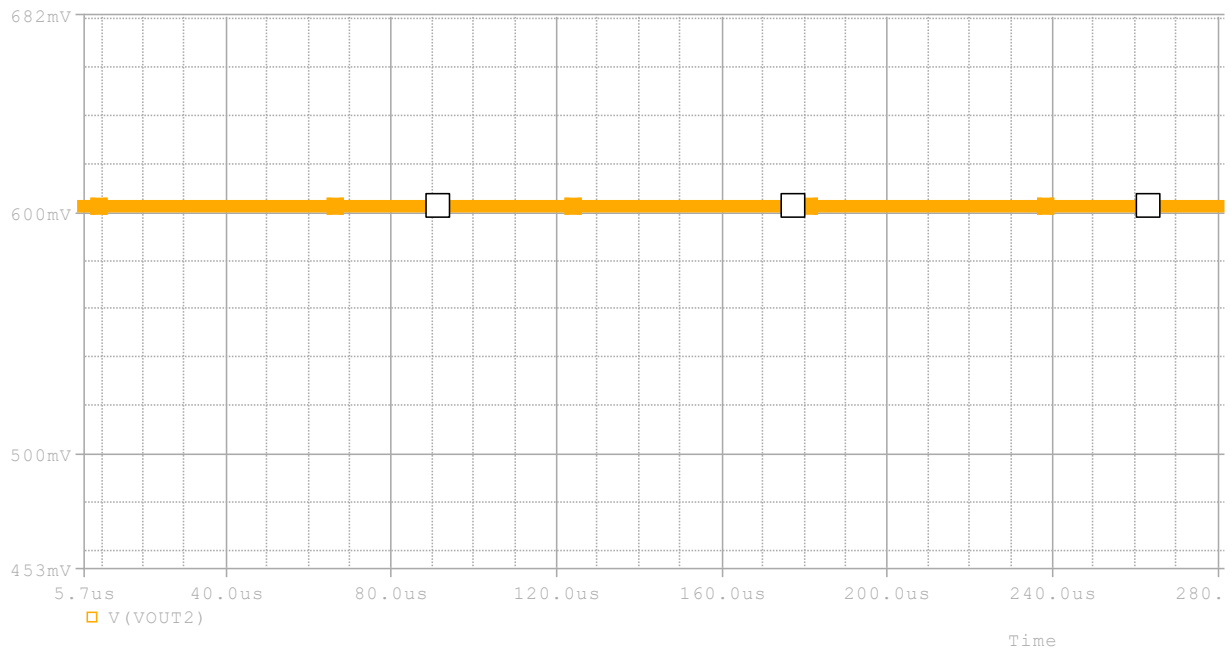


Figura 3.2.1.3. Tensiunea de la ieșirea circuitului diferențial pentru  $R_s = 18\text{k}$ .

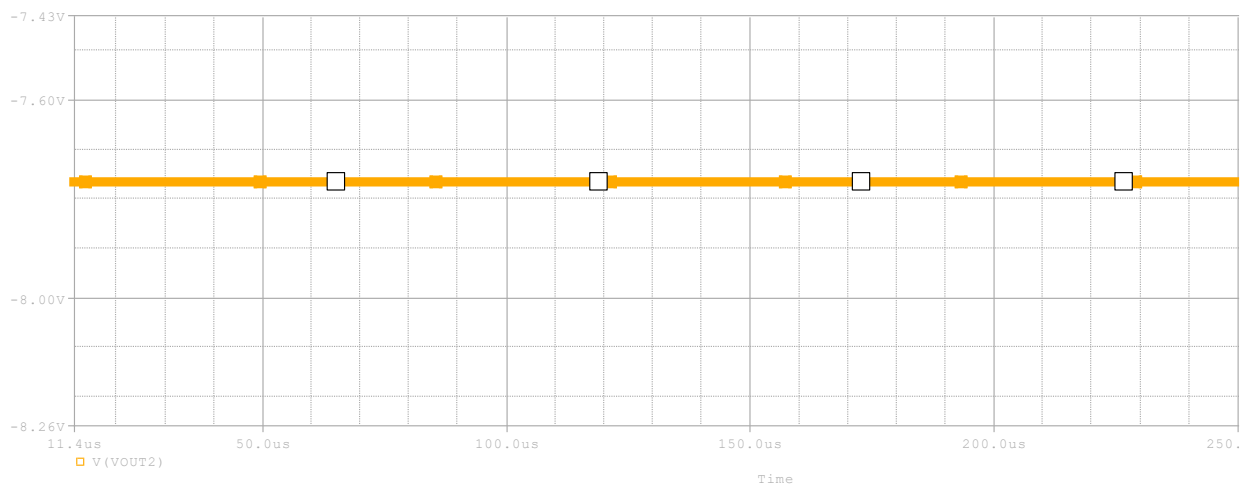


Figura 3.2.1.4. Tensiunea de la ieșirea circuitului diferențial pentru  $R_s = 36\text{k}$ .

Întrucât se obțin tensiuni negative, pentru a inversa semnul se folosește un amplificator inversor cu amplificarea -1.

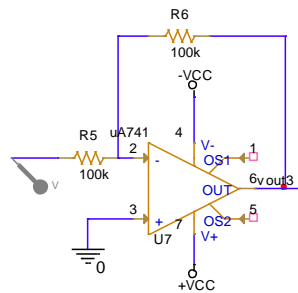


Figura 3.2.1.5. Amplificator inversor

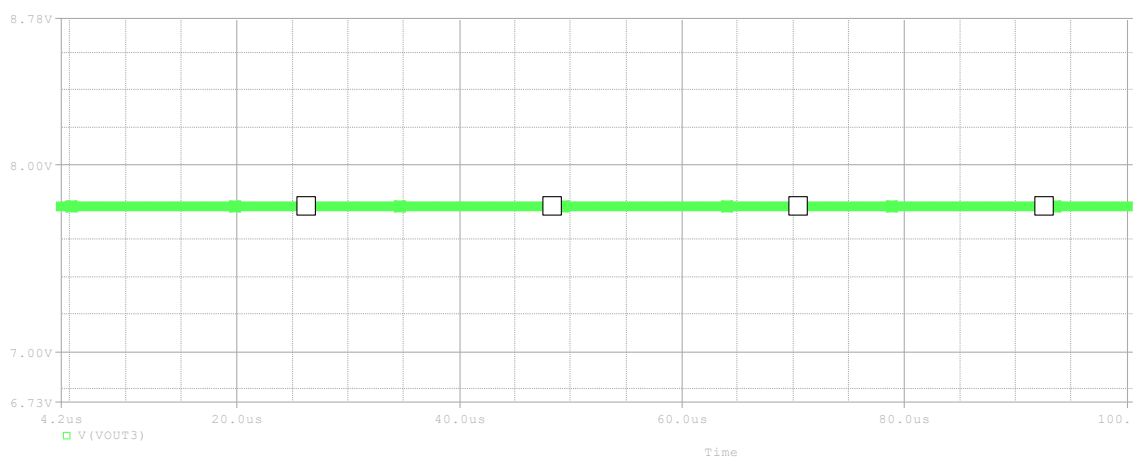
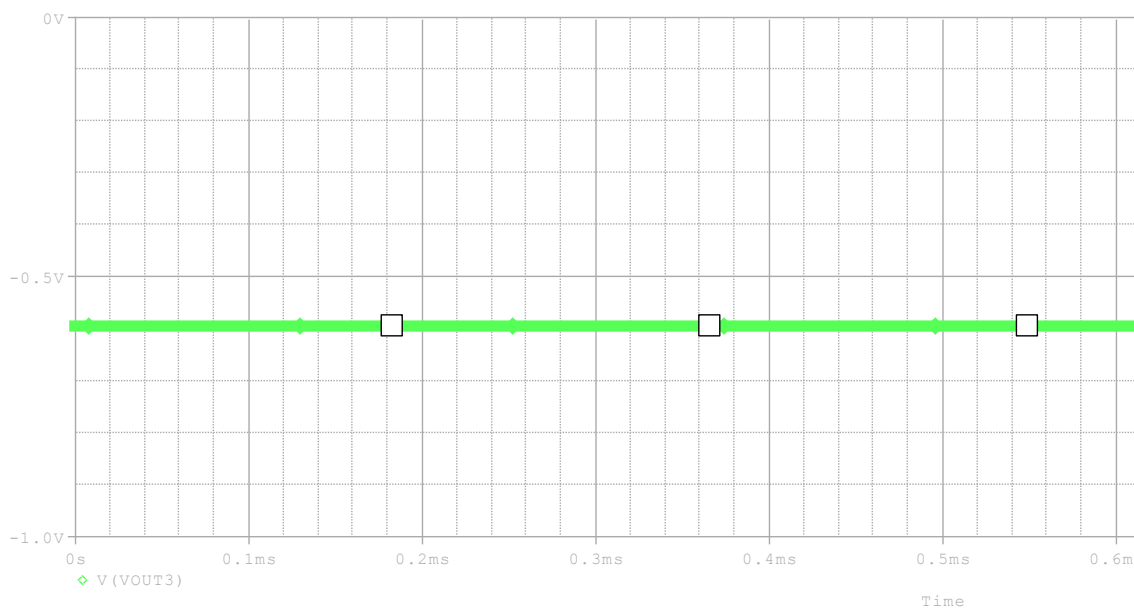


Figura 3.2.1.6. și Figura 3.2.1.7. Tensiunile inversate la valori ale rezistențelor de 18k și 36k

### 3.2.2. Circuit de multiplicare

Ideea de început a fost să se aducă tensiunea citită de pe senzor în domeniul [2V, 10V]. Prin pașii efectuați până acum s-a obținut domeniul [0.6V, 7.9V]. Cu ajutorul circuitului de multiplicare se va aduce acest interval de variație al tensiunii la intervalul dorit.

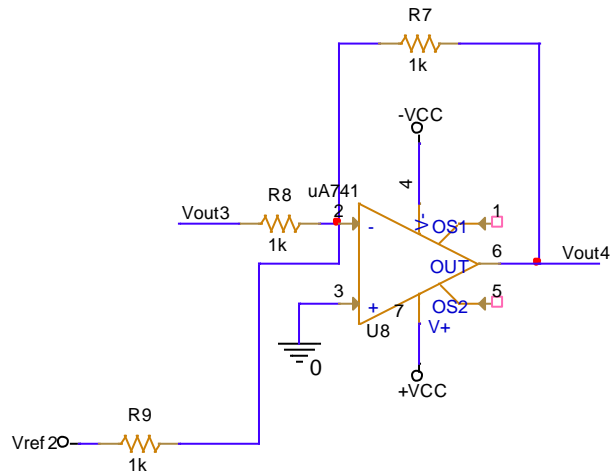


Figura 3.2.2.1. Multiplicator cu -1

Se va calcula în cele ce urmează tensiunea de la ieșirea multiplicatorului.

$$v^+ = v^-$$

$$v^- = \frac{\frac{V_{out4}}{R_7} + \frac{V_{out3}}{R_8} + \frac{V_{ref2}}{R_9}}{\frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_9}} \quad (3.2.2.1)$$

$$v^- = 0 \quad (3.2.2.2)$$

Din (3.2.21) și (3.2.22) =>

$$\frac{V_{out4}}{R_7} = - \left( \frac{V_{out3}}{R_8} + \frac{V_{ref2}}{R_9} \right)$$

Pentru  $R_7 = R_8 = R_9 \Rightarrow V_{out4} = - (V_{out3} + V_{ref2})$

Pentru a se obține din  $[0V, 8V] \rightarrow [2V, 10V]$  este nevoie ca  $V_{ref2} = 2V$ .

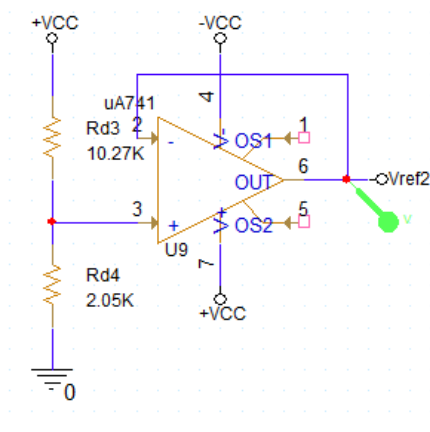


Figura 3.2.2.2. Divizor de tensiune pentru obținerea unei tensiuni de referință egală cu 2V.

Prin dimensionarea rezistențelor ca în figură se va obține o tensiune de referință egală cu 1.99V.

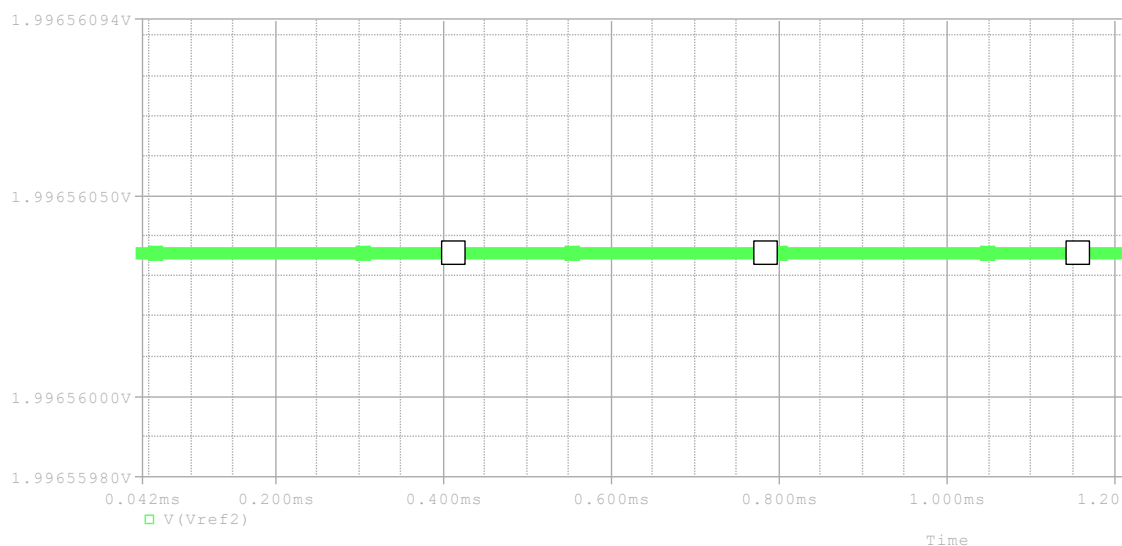


Figura 3.2.2.3. Tensiunea de la ieșirea divizorului.

În acest moment în urma rulării simulării ar trebui să obținem intervalul dorit, dar cu tensiuni negative din cauza multiplicării cu -1. Pentru că se dorește vizualizarea tensiunilor pozitive se va folosi iarăși un amplificator inversor cu amplificare -1. Rezultatele de la ieșirea acestuia sunt:

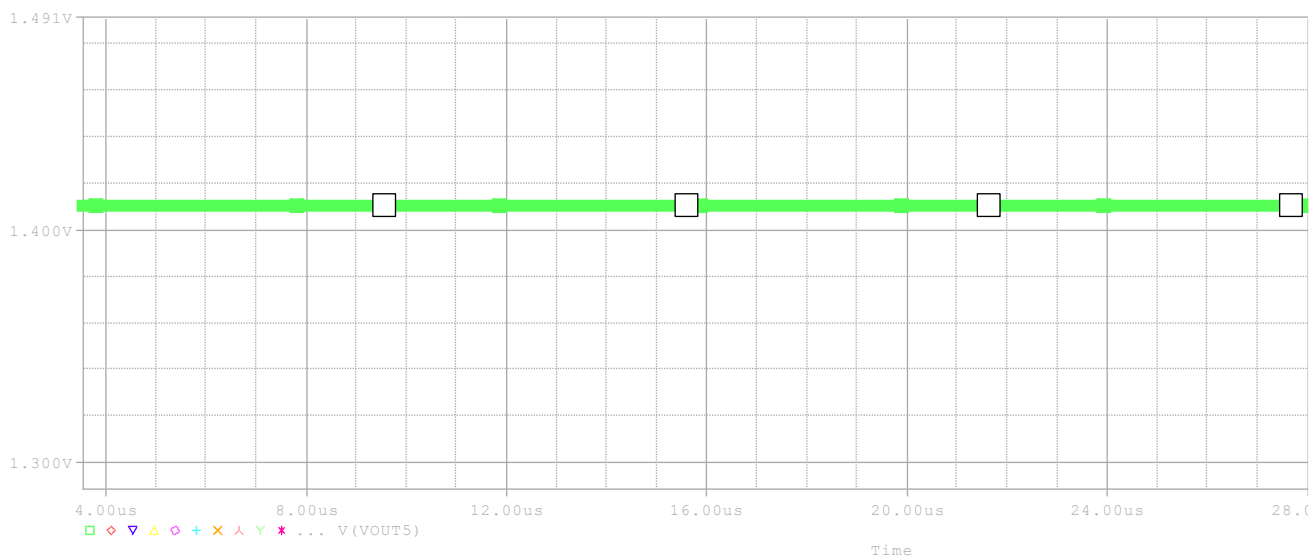


Figura 3.2.2.4. Limita inferioară a intervalului în care trebuie convertită tensiunea citită de pe senzor.

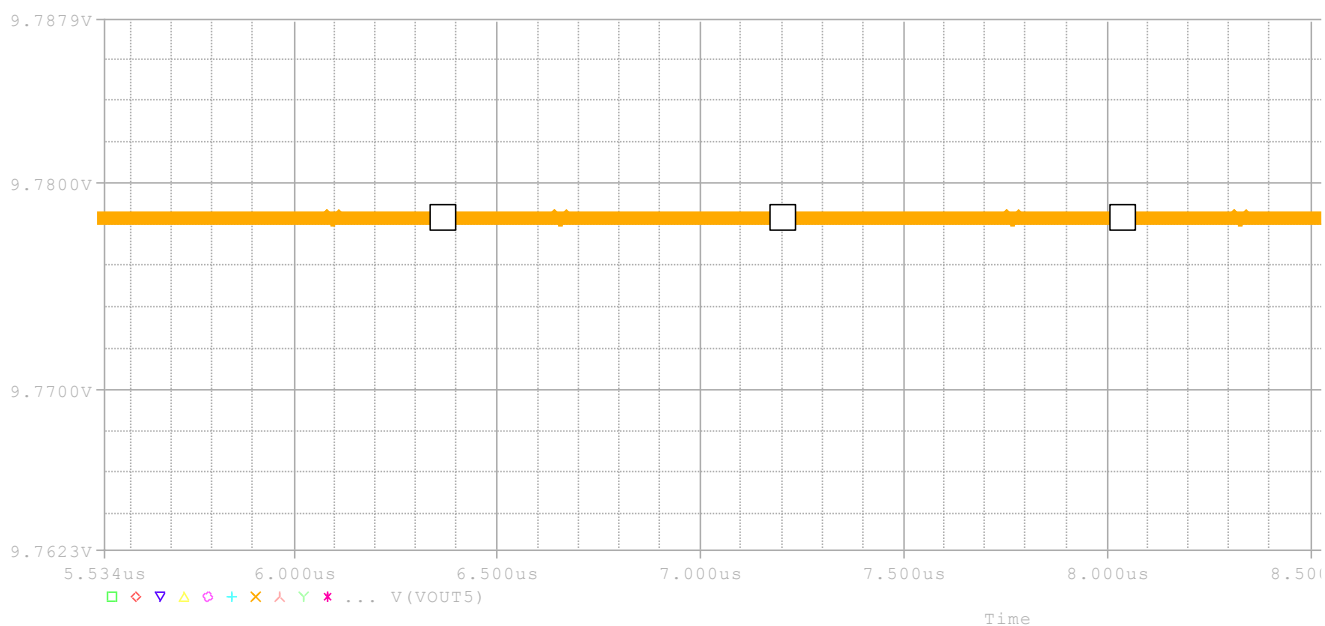


Figura 3.2.2.5. Limita superioară a intervalului în care trebuie convertită tensiunea citită de pe senzor.

În acest moment cu ajutorul analizei de performanță se poate evidenția modificarea domeniului tensiunii. S-a menționat anterior faptul că la acest bloc de circuit se vor rula aceleași tipuri de analize ca la blocul citirii tensiunii de pe senzor. Parametrii analizelor sunt configurați în același mod.

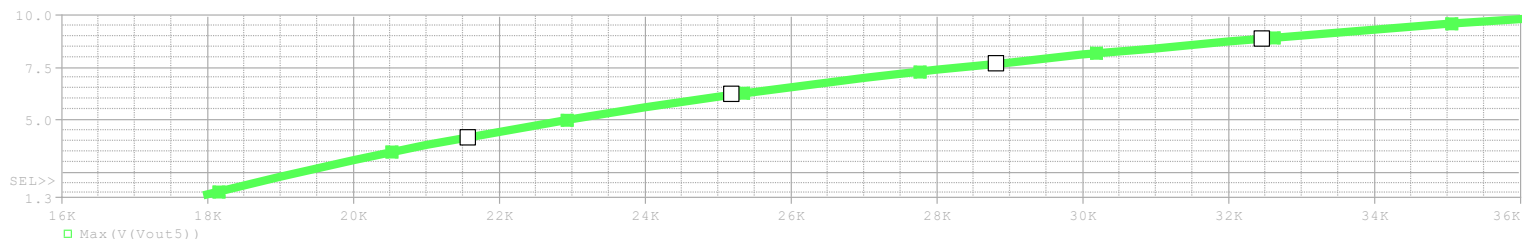


Figura 3.2.2.6. Domeniul de variație al tensiunii în urma convertorului.

În urma acestui rezultat al analizei de performanță se ajunge la concluzia că s-a reușit convertirea domeniului [10.79V, 11.07V] în [1.4V, 9.7V]. Trebuie menționat faptul că și la nivelul acestui bloc se va face o analiză Monte Carlo, întrucât tensiunea de la acest convertor este tensiunea de la intrarea comparatorului care va stabili pragurile. Totuși această analiză se va realiza când se va discuta în mod explicit despre praguri pentru că se dorește vizualizarea influenței toleranțelor asupra punctelor de basculare ale comparatorului.

### 3.3. Etajul de comparare

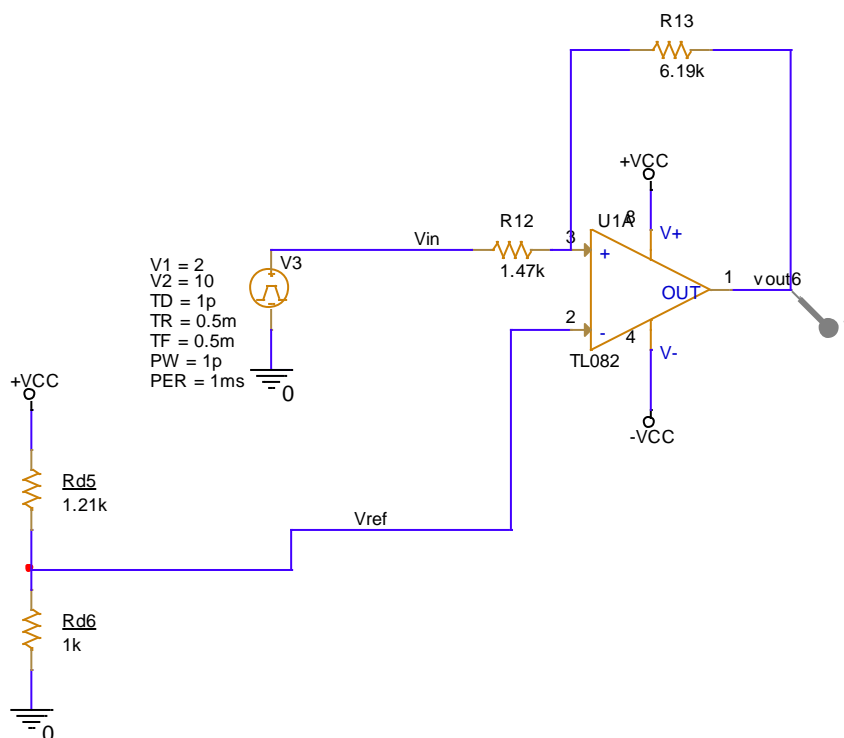


Figura 3.3.1. Comparatorul

Pentru realizarea circuitului comparatorului s-au folosit rezistențe din seria E48 cu toleranță de  $\pm 2\%$ , un amplificator operațional TL082 – acest amplificator suportă o tensiune de alimentare de  $\pm 18V$  conform foii de catalog, totuși parametrul voltage swing (definește cât de aproape poate ajunge ieșirea amplificatorului operațional de valoarea rail to rail – adică de maximumul tensiunii negative și maximumul tensiunii pozitive) este dat în foaia de catalog ca având valoarea minimă  $\pm 12V$  și tipică  $\pm 13.5V$ , ceea ce înseamnă că poate varia cu 1.5V față de alimentare. În circuitul prezentat valoarea de la ieșirea comparatorului ajunge la  $\pm 10.5V$ . S-a folosit în circuit o sursă Vpulse necesară analizei

tranzitorii și reprezentării curbei de histerezis. Cum la intrarea comparatorului se află un convertor de tensiune cu domeniul de [2V, 10V] se vor seta parametrii întocmai ca în imagine, V1 reprezintă tensiunea inițială, V2 – tensiunea maximă,  $t_d$  – timpul de întârziere,  $t_r$  – timpul de creștere,  $t_f$  – timpul de atenuare, pw – lățimea pulsului, per – perioada semnalului.

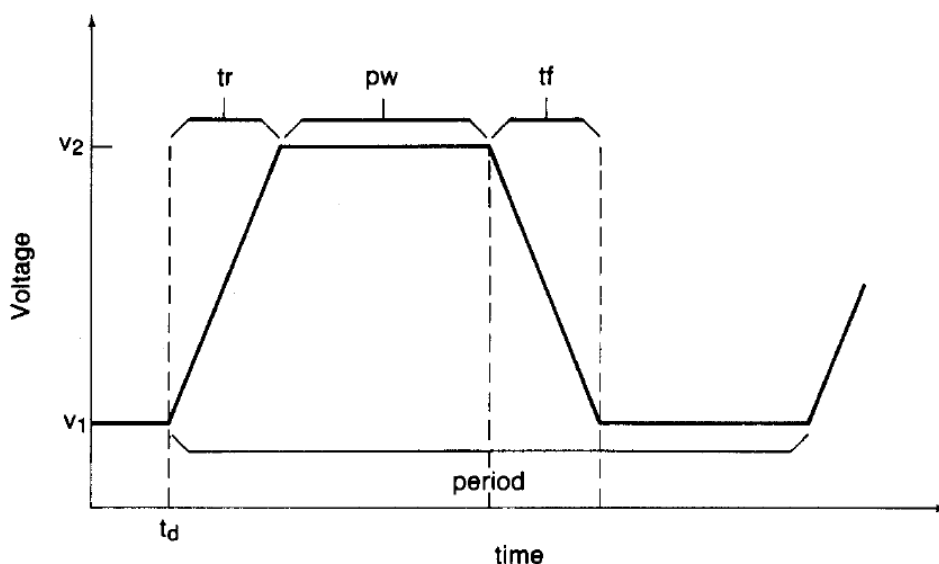


Figura 3.3.2. Parametrii sursei de semnal Vpulse

### 3.3.1. Domeniul de variație al rezistenței senzorului

Se știe că ventilatorul este acționat de un comparator cu histerezis, iar când concentrația de gaz din incintă atinge limita superioară, ventilatorul este pornit. Pentru o concentrație de gaz mare vom avea o rezistență a senzorului mică, deci o tensiune de prag minimă pentru comparator din domeniul de variație al acesteia, iar la o concentrație de gaz mică fenomenul se desfășoară în paralel, concentrația mică de gaz determină o valoare mare a rezistenței senzorului și pragul de sus al comparatorului.

Vrem să vedem cum variază rezistența senzorului la o concentrație de gaz aflată în domeniul [800, 18000] ppm.

Tabelul 1. Domenii de măsură

concentrația de metan în incintă [ppm]	domeniul de măsură a senzorului [ppm]	Rezistența senzorului [ $\Omega$ ]
800 ... 18.000	500 ... 22.000	36k - 18k

În urma identificării domeniului de măsură a senzorului și a rezistenței acestuia s-a realizat o reprezentare grafică a variației rezistenței în funcție de concentrația de gaz, dorindu-se să se afle domeniul de variație al rezistenței senzorului de gaz pentru concentrația specificată.

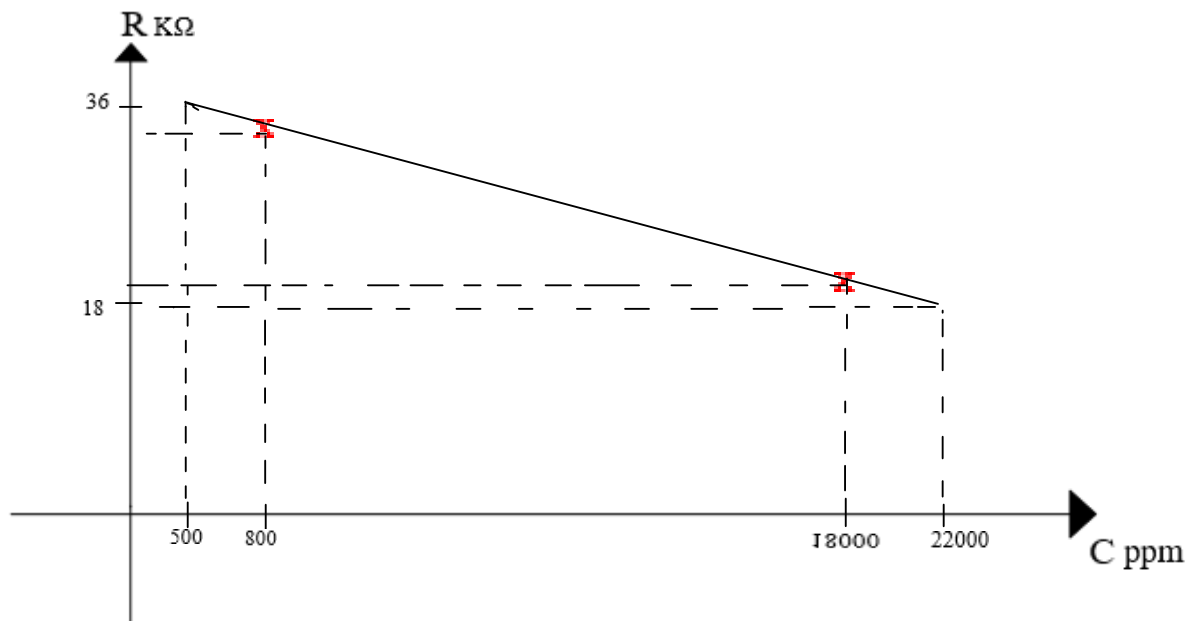


Figura 3.3.1.1 Variația liniară a rezistenței senzorului în funcție de concentrația de gaz

Pentru calcularea punctelor marcate pe grafic se va folosi ecuația dreptei.

Se indentifică punctul  $P_1$  (500 ppm, 36 KΩ) și punctul  $P_2$  (2200 ppm, 18 KΩ) =>

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \quad (3.3.1.1)$$

Înlocuim cu valorile de pe grafic:

$$\frac{x - 500}{22000 - 500} = \frac{y - 36K}{18K - 36K} \Rightarrow \frac{x - 500}{21500} = \frac{y - 36K}{-18K} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -18K (x - 500) = 21500 (y - 36k) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{-18 \times 10^3}{21500} (x - 500) = y - 36 \times 10^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = \frac{-36}{43}x + \frac{1566000}{43}$$



În acest caz pentru a determina limita superioară, respectiv limita inferioară a senzorului, y va fi rezistența de aflat, iar x – concentrația de gaz.

Pentru o valoare a concentrației de gaz de 800 ppm rezistența senzorului va fi:

$$\Rightarrow R_s = \frac{-36}{43} \times 800 + \frac{1566000}{43} \Rightarrow R_s = 35748.8372 \Omega$$

Pentru o valoare a concentrației de gaz de 18000 ppm rezistența senzorului va fi:

$$\Rightarrow R_i = \frac{-36}{43} \times 18000 + \frac{1566000}{43} \Rightarrow R_i = 21348.8372 \Omega$$

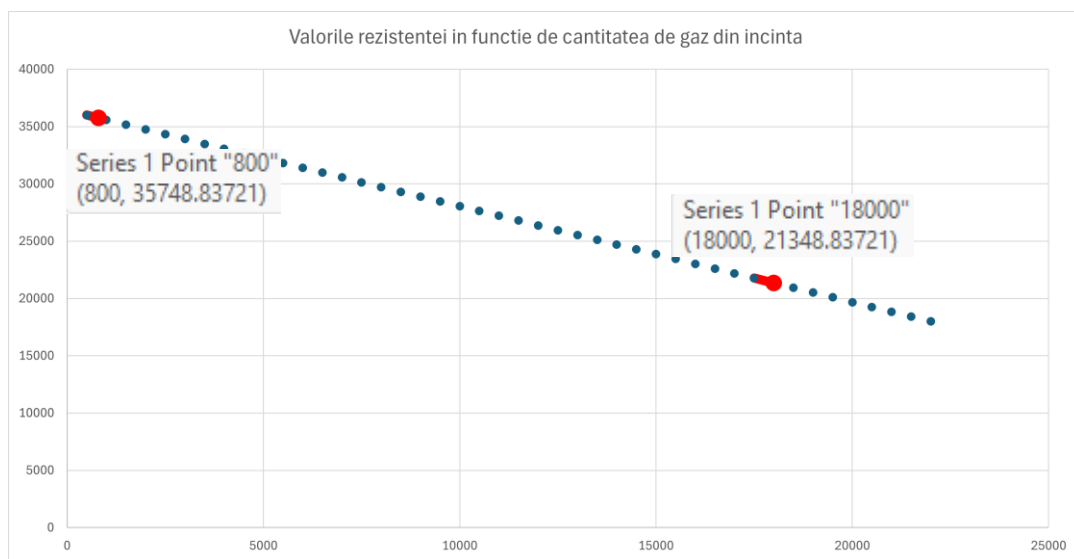


Figura 3.3.1.2. Graficul variației rezistenței senzorului în funcție de cantitatea de gaz specificată.

Aționarea ventilatorului se realizează când sunt atinse capetele de variație ale concentrației de gaz. Deci ce se dorește este comandarea comparatorului la valori ale tensiunii corespunzătoare concentrației de gaz inferioare și superioare. Aceste tensiuni sunt obținute la ieșirea convertorului de tensiune întrucât acesta se află la intrarea comparatorului, deci acestea vor fi pragurile la care se va realiza comutația.

Pentru a afla tensiunea de la ieșirea convertorului pentru valorile rezistențelor specificate se vor efectua aceeași pași ca în capitolul 3.2.

Se află tensiunea de pe senzor la o valoare a rezistenței de 21.35 kΩ și la o valoare de 35.75 kΩ.

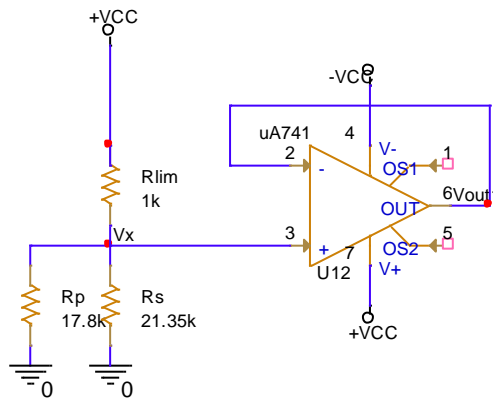


Figura 3.3.1.3. Circuit pentru citirea tensiunii de pe sensor

Se va folosi formula de la ecuația (3.1.2) și se va obține:

$$\text{Pentru } R_s = 35.74883 \text{ K}\Omega \Rightarrow V_x = \frac{11.88k}{11.88k+1k} \times 12V = 11.068V$$

$$\text{Pentru } R_s = 21.34883 \text{ K}\Omega \Rightarrow V_x = \frac{9.7067823k}{9.7067823k+1k} \times 12V = 10.87V$$

Următorul bloc de circuit este convertorul de tensiune. Aplicându-se relațiile de la capitolul 3.2. pentru  $R_s = 21.34883 \text{ K}\Omega$  la ieșirea convertorului se va obține o valoare a tensiunii de 4V, iar pentru  $R_s = 35.74883 \text{ K}\Omega$ , tensiunea de la ieșirea convertorului va fi 9.7V. Cum aceste tensiuni se află la intrarea comparatorului, ele vor reprezenta totodată și **tensiunile de prag**.

### 3.3.2. Configurarea comparatorului

În acest punct se cunosc pragurile comparatorului, trebuie aflate rezistențele acestuia și tensiunea de referință. Se va folosi o tensiune de referință pentru deplasarea domeniului de tensiune al pragurilor. La un comparator pentru care  $v^-$  este conectat la masă pragul de jos are o valoare negativă. Cum pragul de jos calculat anterior este pozitiv se dorește folosirea acestui proces.

Se vor demonstra formulele atât pentru pragul de jos cât și pentru pragul de sus, iar din acestea se vor afla necunoscutele.

$$v^+ = \frac{\frac{v_{out6}}{R_{13}} + \frac{v_{in}}{R_{12}}}{\frac{1}{R_{13}} + \frac{1}{R_{12}}} \quad (3.3.2.1)$$

$$v^- = v_{ref} \quad (3.3.2.2)$$

Din (3.3.21) și (3.3.22) =>

$$V_{in} = \frac{R_{12} + R_{13}}{R_{13}} V_{ref} - \frac{R_{12}}{R_{13}} V_{out6}$$

Și cum tensiunea de intrare reprezintă tensiunea de prag pentru care are loc comutația comparatorului =>

$$V_{psus} = \frac{R_{12} + R_{13}}{R_{13}} V_{ref} - \frac{R_{12}}{R_{13}} (-V_{CC})$$

$$V_{pjos} = \frac{R_{12} + R_{13}}{R_{13}} V_{ref} - \frac{R_{12}}{R_{13}} V_{CC}$$

Se cunosc pragurile, necunoscutele sunt rezistențele și tensiunea de referință.

$$V_{pjos} = \left( \frac{R_{12}}{R_{13}} + 1 \right) V_{ref} - \frac{R_{12}}{R_{13}} V_{CC}$$

$$V_{psus} = \left( \frac{R_{12}}{R_{13}} + 1 \right) V_{ref} + \frac{R_{12}}{R_{13}} V_{CC}$$

---


$$\Rightarrow V_{pjos} - V_{psus} = -2 \frac{R_{12}}{R_{13}} V_{CC} \Rightarrow 5.718 = 2 \frac{R_{12}}{R_{13}} 12 \Rightarrow \frac{R_{12}}{R_{13}} = 0.2416$$

Se aleg  $R_{12} = 1.47 \text{ k}\Omega$  și  $R_{13} = 6.19 \text{ k}\Omega$ .

$$V_{pjos} = \left( \frac{R_{12}}{R_{13}} + 1 \right) V_{ref} - \frac{R_{12}}{R_{13}} V_{CC}$$

$$V_{psus} = \left( \frac{R_{12}}{R_{13}} + 1 \right) V_{ref} + \frac{R_{12}}{R_{13}} V_{CC}$$

---


$$\Rightarrow 2 \left( \frac{R_{12}}{R_{13}} + 1 \right) V_{ref} = 1$$

Înlocuind cu valoarea raportului dintre rezistențe obținem  $V_{ref} = 5,49 \text{ V}$ .

Pentru a obține această tensiune de referință s-a folosit o rezistență  $R_{d1} = 1.21 \text{ k}\Omega$  și  $R_{d2} = 1 \text{ k}\Omega$ .

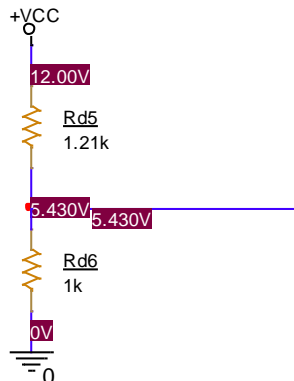


Figura 3.3.2.1. Tensiunea de referință de la intrarea comparatorului

În continuare dorim să vizualizăm curba de histerezis pentru a verifica funcționarea comparatorului.

În acest scop se va realiza o analiză tranzitorie. Se selectează din meniul Analysis Type opțiunea Time Domain (Transient), se setează run to time 2ms și maximum step size 2 $\mu$ s. Ceea ce înseamnă că vom vizualiza două perioade ale semnalului dreptunghiular de la ieșirea comparatorului, iar pasul va fi de 2 $\mu$ s.

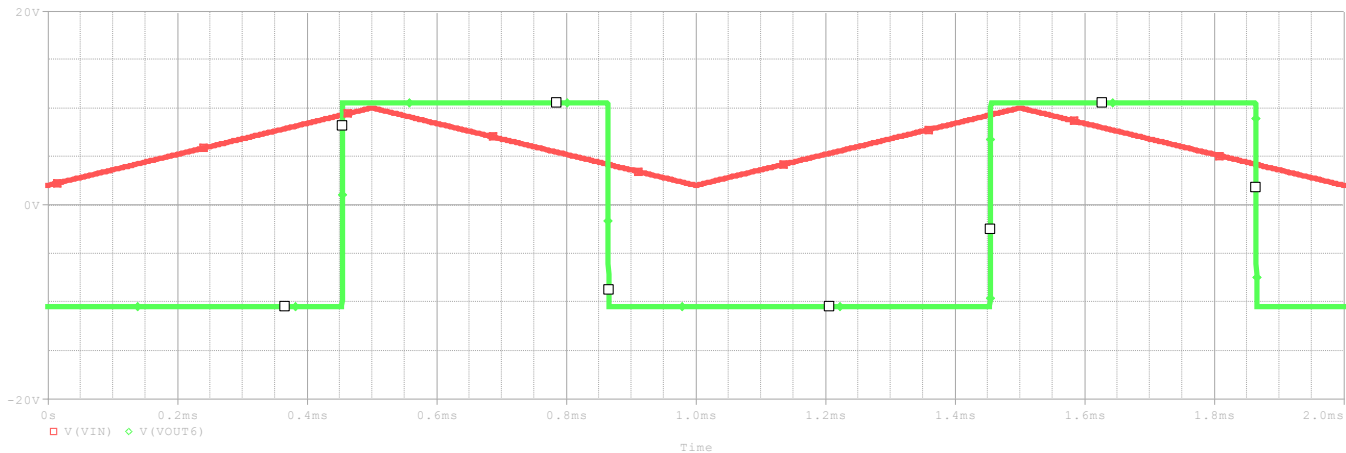


Figura 3.3.2.2. Tensiunea de la ieșirea comparatorului și tensiunea de la intrarea acestuia reprezentate pe același grafic.

Se remarcă faptul că semnalul dreptunghiular comută la anumite tensiuni de intrare. Conform graficului, când tensiunea de intrare este la 9.7 V (pragul de sus al comparatorului) semnalul dreptunghiular se îndreaptă spre 10.5V (datorati parametrului voltage swing despre care s-a discutat anterior), iar la 4.1V semnalul dreptunghiular comută spre -10.5V.

Pentru a vizualiza mai bine pragurile se va realiza o curbă de histerezis. În acest sens, după ce s-a setat analiza discutată anterior se selectează din fereastra Probe meniul Plot → Axis Settings → Axis Variable și se selectează Vin.

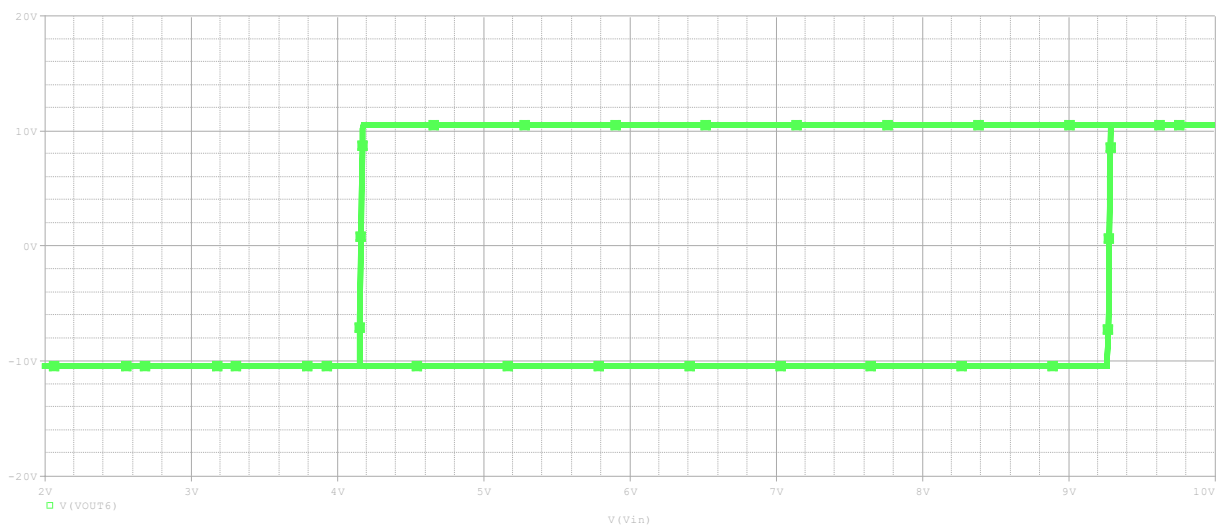


Figura 3.3.2.3. Curba de histerezis

Conform acestui grafic pragurile corespund cu cele calculate, se obține  $V_{pjos}=4.1V$  și  $V_{psus}=9.7V$ . Deci la  $4.1V$  concentrația de gaz din incintă are o valoare mare și cu ajutorul unui ventilator comandat de comparator se va introduce aer curat, când se va atinge pragul de sus, ventilatorul se va opri.

Se dorește cunoașterea domeniului rezistențelor la care circuitul detectează o cantitate de gaz mai mare decât pragul stabilit și determină pornirea ventilatorului, cât și domeniul pentru care ventilatorul este oprit. În acest sens se va seta o analiză DC SWEEP cu următorii parametri: se selectează Primary Sweep → Global Parameter →  $r$  → Start Value  $36k$  → End Value  $18k$  → increment  $-1k$ . Se precizează faptul că aceste două analize au fost realizate pe circuitul complet al senzorului.

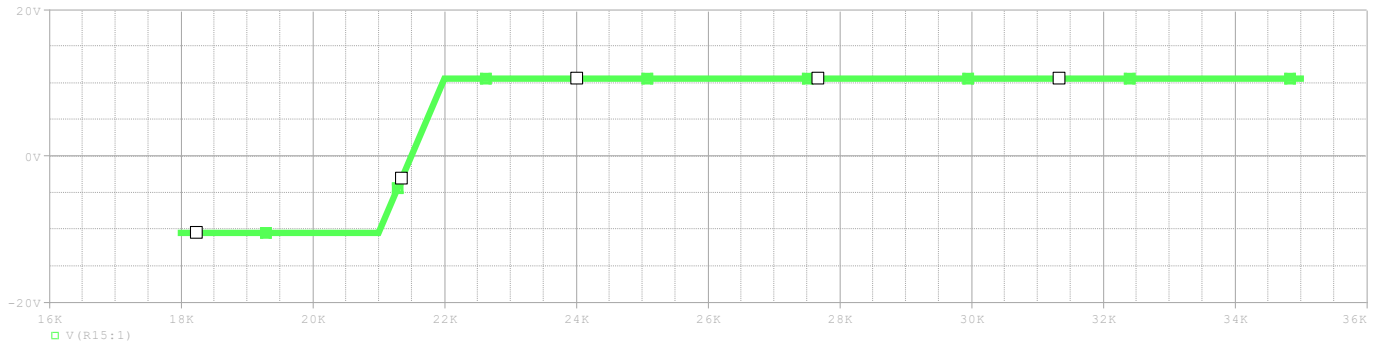


Figura 3.3.2.4. Pragul de jos al comparatorului

Conform acestui grafic concentrația de gaz crește de la dreapta la stânga și determină scăderea rezistenței senzorului. Când rezistența scade într-atât de tare până la  $21.34k$ , comparatorul indică acest fapt printr-o tensiune de ieșire de  $-10.5V$  și ventilatorul se deschide pentru a introduce aer curat.

Pentru analizarea pragului de sus se va rula aceeași analiză, diferența constă în ordinea acestor parametrii: Start Value  $18k$  → End Value  $36k$  → increment  $1k$ .

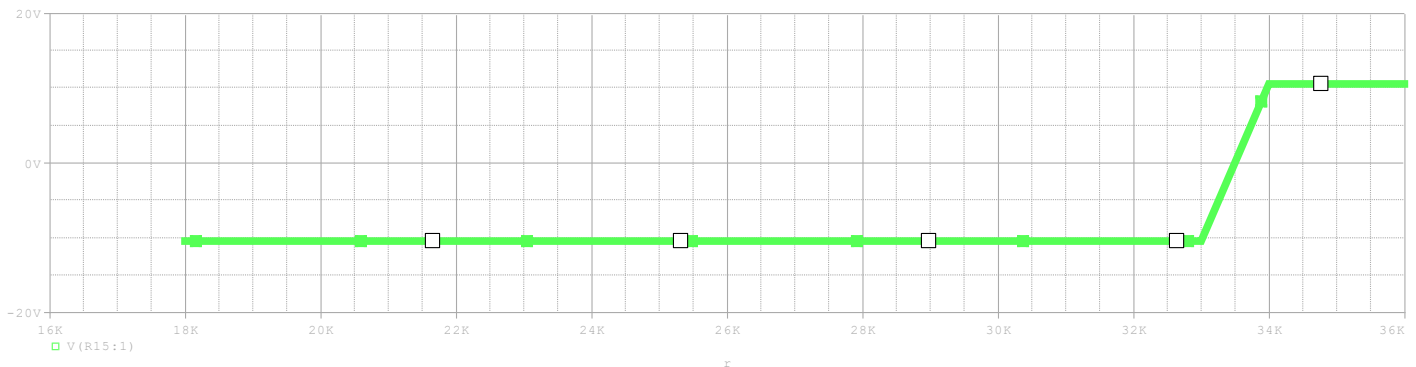


Figura 3.3.2.5. Pragul de sus al comparatorului

Concentrația de gaz scade de la stânga la dreapta, când aceasta a scăzut îndeajuns de mult încât să atingă pragul de sus al comparatorului, acesta va avea la ieșire o tensiune de  $10.5V$  și va determina oprirea ventilatorului.

Aceste praguri ar putea fi influențate de toleranțele componentelor și din acest motiv este posibil să nu mai aibă loc comutația comparatorului la valorile stabilite. Pentru a vedea cum sunt influențate tensiunile de toleranțele rezistențelor se va realiza o analiză tranzitorie însoțită de o analiză Monte Carlo, iar apoi folosind aceeași analiză principală, o analiză Worst Case. Aceste analize vor fi aplicate asupra tensiunii de la intrarea comparatorului (tensiunile de la ieșirea convertorului) considerând valorile rezistenței senzorului pentru care are loc comutația comparatorului. ( $R_s = 21.34 \text{ k}\Omega$  și  $R_s = 35.75 \text{ k}\Omega$ ).

Se selectează din meniul Analysis Type opțiunea Time Domain (Transient), se setează run to time 1ms și maximum step size  $1\mu\text{s}$ . Se selectează și analiza Monte Carlo. Pentru output variable se introduce V(Vout5), numbers of runs se setează la 10, use distribution -> uniform, random number seed 200. La rularea simulării din probe se selectează Performance Analyzis, se selectează o funcție obiectiv de maxim și se aplică asupra tensiune Vout5.

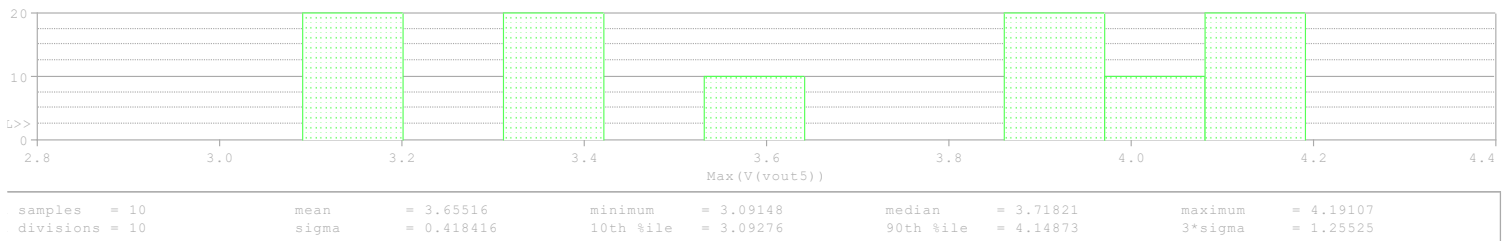


Figura 3.3.2.6. Rezultatul analizei Monte Carlo pentru  $V_{pjos}$

Conform acestei analize statistice există o probabilitate de 20% ca tensiunea de la ieșirea convertorului să se afle între 4.1V și 4.2V atunci când rezistențele prezintă o toleranță de  $\pm 2\%$ . Restul procentelor aflându-se la tensiuni considerabil mai mici decât cea de prag, pentru care acționarea ventilatorului nu mai este realizată.

Cum s-a precizat anterior se va realiza o analiză tranzitorie urmată de una Worst Case pentru a afla valoarea tensiunii de la ieșirea convertorului în cel mai defavorabil caz. Prin intermediul acestei analize mai întâi se calculează sensibilitatea semnalului de ieșire pentru fiecare parametru, iar apoi se determină cel mai defavorabil caz.

Pentru setarea analizei precizate vom avea o analiză tranzitorie principală, setată întocmai ca în cazul anterior. Pentru analiza Worst Case se selectează din meniul Simulation Settings Monte Carlo/WorstCase, se bifează Worst Case, pentru output variable se introduce V(Vout5), numbers of runs se setează la 10, random number seed 200 și din More Settings la opțiunea Find se selectează “the minimum value”, Worst Case direction  $\rightarrow$  low, pentru a vizualiza cu ce diferă parametrii calculați la valori diferite de cele nominale și cu cât ar fi influențată tensiunea de prag (dacă s-ar mai atinge această valoare pentru a avea loc comutația).

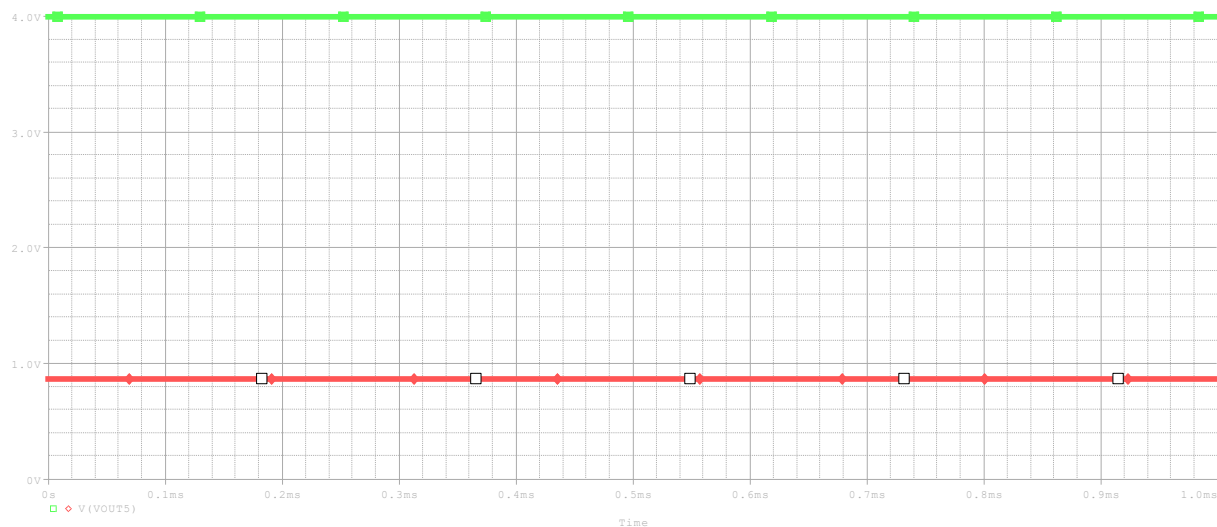


Figura 3.3.2.7. Rezultatul analizei Worst Case pentru  $V_{pjos}$

Forma de undă reprezentată cu verde indică valoarea nominală a tensiunii aflată la 4V, iar forma de undă roșie indică cel mai defavorabil caz, tensiunea de la ieșirea convertorului fiind sub 1V.

În fișierul de ieșire vor fi afișate următoarele informații:

#### SENSITIVITY NOMINAL

\*\*\*\*\*

NODE VOLTAGE    NODE VOLTAGE    NODE VOLTAGE    NODE VOLTAGE

( VX) 10.8790 ( +VCC) 12.0000 ( -VCC) -12.0000 ( VREF) 10.8140

(VOUT1) 10.8790 (VOUT2) -1.9783 (VOUT3) 1.9863 (**VOUT5**) **3.9906**

(VREF2) 1.9966 (N30774) 10.4670 (N31064) 10.4680 (N31278) 10.8140

În urma acestei analize s-a obținut modul în care este afectată funcționarea circuitului în cel mai defavorabil caz de componentele sensibile. Se poate observa că tensiunea de la ieșirea convertorului este cu puțin sub pragul calculat.

\*\*\*\* UPDATED MODEL PARAMETERS      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

# WORST CASE ALL DEVICES

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*

Device	MODEL	PARAMETER	NEW VALUE
R_R1	R_R1	R	1.02 (Increased)
R_Rd1	R_Rd1	R	.98 (Decreased)
R_R3	R_R3	R	.98 (Decreased)
R_R14	R_R14	R	1.02 (Increased)
R_Rd2	R_Rd2	R	1.02 (Increased)
R_Rlim	R_Rlim	R	1.02 (Increased)
R_Rp	R_Rp	R	.98 (Decreased)
R_R2	R_R2	R	.98 (Decreased)
R_R4	R_R4	R	1.02 (Increased)
R_R5	R_R5	R	1.02 (Increased)
R_R6	R_R6	R	.98 (Decreased)
R_R8	R_R8	R	1.02 (Increased)
R_R7	R_R7	R	.98 (Decreased)
R_R9	R_R9	R	1.02 (Increased)
R_Rd3	R_Rd3	R	1.02 (Increased)
R_Rd4	R_Rd4	R	.98 (Decreased)
R_R11	R_R11	R	.98 (Decreased)
R_R10	R_R10	R	1.02 (Increased)

Acest rezultat din fișierul de ieșire indică cum au fost influențate rezistențele de toleranțele lor.



\*\*\*\* 05/30/24 11:19:36 \*\*\*\* PSpice 23.1.0 (6 March 2024) \*\*\*\* ID# 0 \*\*\*\*

\*\* Profile: "SCHEMATIC1-simulare\_convertor" [   
D:\Ancuta\Facultate\Anul2\Sem2\Tehnici CAD\Proiect\Proiect\_v3\Versiune\_finala\_cred\bl

\*\*\*\* SORTED DEVIATIONS OF V(VOUT5) TEMPERATURE = 27.000 DEG C

#### WORST CASE SUMMARY

\*\*\*\*\*   
\*\*\*\*

RUN MINIMUM VALUE

WORST CASE ALL DEVICES

.862 at T = 0   
( 21.602% of Nominal)

Rezultatul prezentat indică modul în care se modifică tensiunea de la ieșirea convertorului (pentru  $R_s = 21.35 \text{ k}\Omega$ ) față de valoarea nominală. Se observă că există o deviație de 21.602% față de nominal.

Se vor efectua același tip de analize și pentru pragul de sus pentru a vedea cum este afectat acesta.

Rezultatul analizei Monte Carlo:

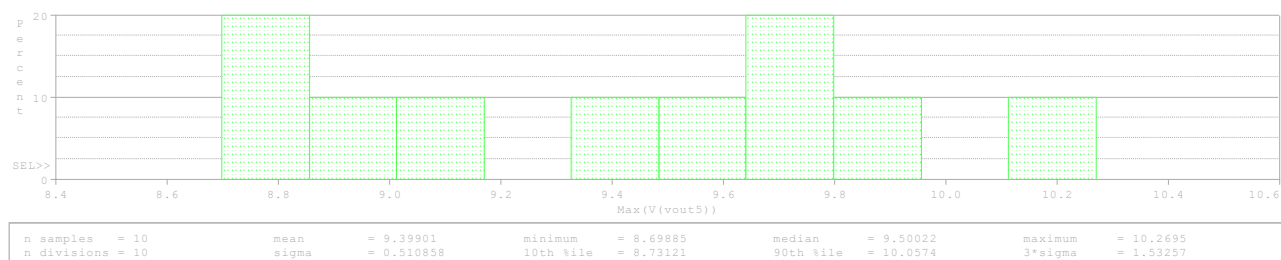


Figura 3.3.2.8. Rezultatul analizei Worst Case pentru  $V_{psus}$

Conform acestei analize tensiunea de la ieșirea convertorului pentru  $R_s = 35.75 \text{ k}\Omega$  are 20% șanse să se afle în domeniul [9.6V, 9.8V] adică aproape de tensiunea de prag sus identificată mai devreme, restul procentelor reprezentând variații mai mici sau mai mari față de valoarea necesară comutației.

Rezultatul analizei Worst Case:

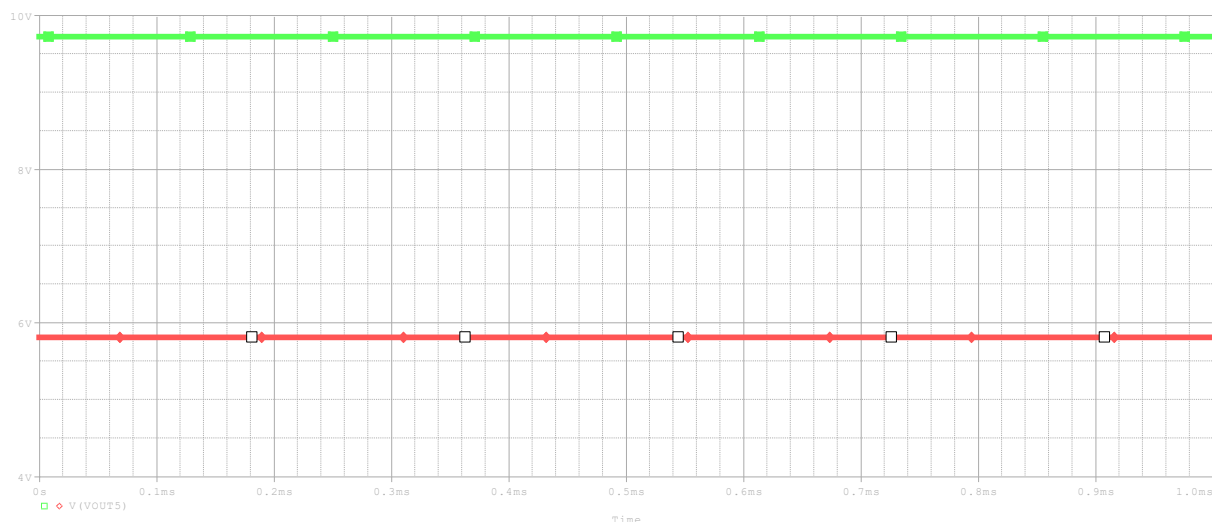


Figura 3.3.2.9. Rezultatul analizei Worst Case pentru tensiunea de la ieșirea convertorului

Valoarea nominală este reprezentată cu verde (o valoare de 9.7V), iar forma de undă reprezentată cu roșu indică cel mai defavorabil caz pentru această analiză (o valoare de aproape 6V). Conform acestui rezultat există un caz cel mai defavorabil în care tensiunea de la ieșirea convertorului este foarte departe de tensiunea de prag..

Datele din fișierul de ieșire:

\*\*\*\* INITIAL TRANSIENT SOLUTION      TEMPERATURE = 27.000 DEG C  
SENSITIVITY NOMINAL

\*\*\*\*\*

NODE VOLTAGE    NODE VOLTAGE    NODE VOLTAGE    NODE VOLTAGE

( VX) 11.0680 (+VCC) 12.0000 (-VCC) -12.0000 ( VREF) 10.8140

(VOUT1) 11.0680 (VOUT2) -7.7062 (VOUT3) 7.7141 **(VOUT5) 9.7183**

(VREF2) 1.9966 (N30774) 10.4670 (N31064) 10.4680 (N31278) 10.8140

(VREF2) 1.9966 (N30774) 10.4670 (N31064) 10.4680 (N31278) 10.8140

(N32811)-25.32E-06 (N33204) 75.36E-06 (N33210) -9.7104 (N34556) 1.9966

\*\*\*\* UPDATED MODEL PARAMETERS      TEMPERATURE = 27.000 DEG C

Pentru pragul de sus tensiunea de la ieșirea convertorului de tensiune nu este foarte afectată de componentele sensibile.

WORST CASE ALL DEVICES

\*\*\*\*\*

Device	MODEL	PARAMETER	NEW VALUE
R_R1	R_R1	R	1.02 (Increased)
R_Rd1	R_Rd1	R	.98 (Decreased)

R_R3	R_R3	R	.98	(Decreased)
R_R14	R_R14	R	1.02	(Increased)
R_Rd2	R_Rd2	R	1.02	(Increased)
R_Rlim	R_Rlim	R	1.02	(Increased)
R_Rp	R_Rp	R	.98	(Decreased)
R_R2	R_R2	R	.98	(Decreased)
R_R4	R_R4	R	1.02	(Increased)
R_R5	R_R5	R	1.02	(Increased)
R_R6	R_R6	R	.98	(Decreased)
R_R8	R_R8	R	1.02	(Increased)
R_R7	R_R7	R	.98	(Decreased)
R_R9	R_R9	R	1.02	(Increased)
R_Rd3	R_Rd3	R	1.02	(Increased)
R_Rd4	R_Rd4	R	.98	(Decreased)
R_R11	R_R11	R	.98	(Decreased)
R_R10	R_R10	R	1.02	(Increased)

\*\*\*\* 05/30/24 11:37:06 \*\*\*\* PSpice 23.1.0 (6 March 2024) \*\*\*\* ID# 0 \*\*\*\*

\*\* Profile: "SCHEMATIC1-simulare\_convertor" [ D:\Ancuta\Facultate\Anul2\Sem2\Tehnici  
CAD\Proiect\Proiect\_v3\Versiune\_finala\_cred\bl

\*\*\*\* SORTED DEVIATIONS OF V(VOUT5) TEMPERATURE = 27.000 DEG C

#### WORST CASE SUMMARY

\*\*\*\*\*

RUN MINIMUM VALUE

## WORST CASE ALL DEVICES

5.8128 at  $T = 0$

( 59.813% of Nominal)

Acest rezultat indică modul în care se modifică tensiunea de la ieșirea convertorului (pentru  $R_s = 35.75 \text{ k}\Omega$ ) față de valoarea nominală. Se observă că există o deviație de 59.813% față de nominal.

### 3.4. Pompă/Afișaj

Anterior s-a ajuns la concluzia că la o concentrație mare de gaz vom obține o tensiune mică pe senzor și totodată pragul de jos al comparatorului. Comutația la pragul de jos are drept rezultat o tensiune minimă la ieșirea comparatorului de -10.5V. Deci s-ar dori acționarea releului și aprinderea led-ului la valoarea acestei tensiuni.

Pentru realizarea pașilor descriși anterior se va folosi un tranzistor PMOS datorită faptului că acesta funcționează cu tensiuni negative în grilă. Tranzistorul ales este un M2N6806 cu următoarele specificații: tensiunea grilă sursă admisă variază între  $\pm 20\text{V}$ ,  $V_{GSth}$  minim are valoarea de -2V și maxim de -4V, iar curentul are o valoare de maxim -6.5A.

Se dorește deschiderea tranzistorului pentru o tensiune negativă la ieșirea comparatorului și închiderea acestuia la o tensiune pozitivă. Deci tranzistorul trebuie să funcționeze în comutație.

Se alege un releu care să funcționeze la o tensiune de alimentare de 12V și care are o rezistență a înfășurărilor de  $400 \Omega$  (denumirea releului este JQC-21FF) deci prin acest releu ar trebui asigurat un curent de 30 mA, motiv pentru care tranzistorul ales este potrivit.

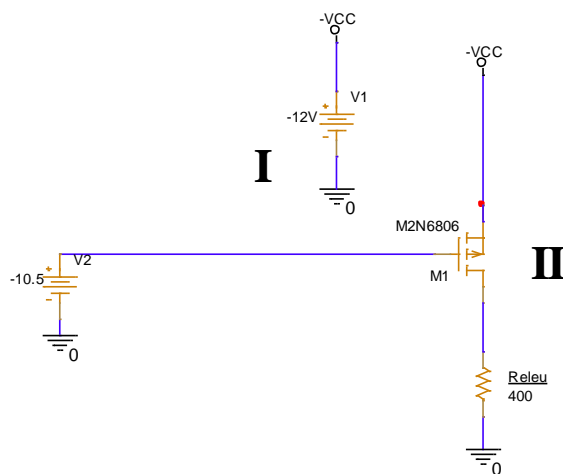


Figura 3.4.1. Circuit de afișaj format doar din releu și tranzistor.

Aplicând legea lui Kirchhoff pe ochiul I de circuit se obține:

$$V_2 + V_{SG} = V_{CC} \Rightarrow V_{SG} = V_{CC} - V_2 = 12V - (-10.5V) = 12V + 10.5V = 22.5V$$

Anterior s-a precizat faptul că tranzistorul ales poate suporta o tensiune maximă de  $\pm 20V$ , tensiunea calculată prin legea lui Kirchhoff are o valoare prea mare. O soluție ar fi folosirea unei diode puse în paralel cu tranzistorul care să limiteze tensiunea. Cum de la ieșirea amplificatorului operațional TL082 se poate extrage un curent maxim de 10mA se va folosi o diodă care să poată funcționa la acest curent. Dioda 1N4151 în foaie de catalog are pentru parametrul forward voltage o valoare maximă de 1V și o valoare tipică de 0.880V la un curent de test de 50 mA. Se va folosi o rezistență de limitare a cărei valoare a fost calculată astfel:

$$R = \frac{10.5V}{10mA} = 1.05k\Omega$$

Circuitul după aceste modificări este:

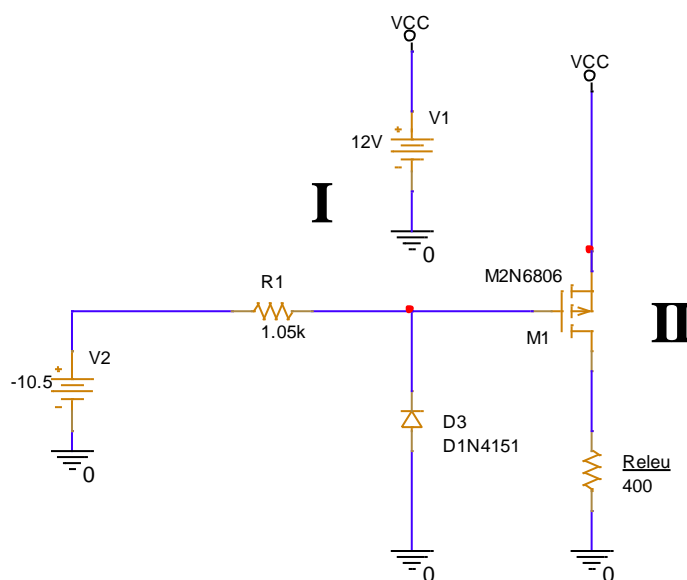


Figura 3.4.2. Polarizarea corectă a tranzistorului

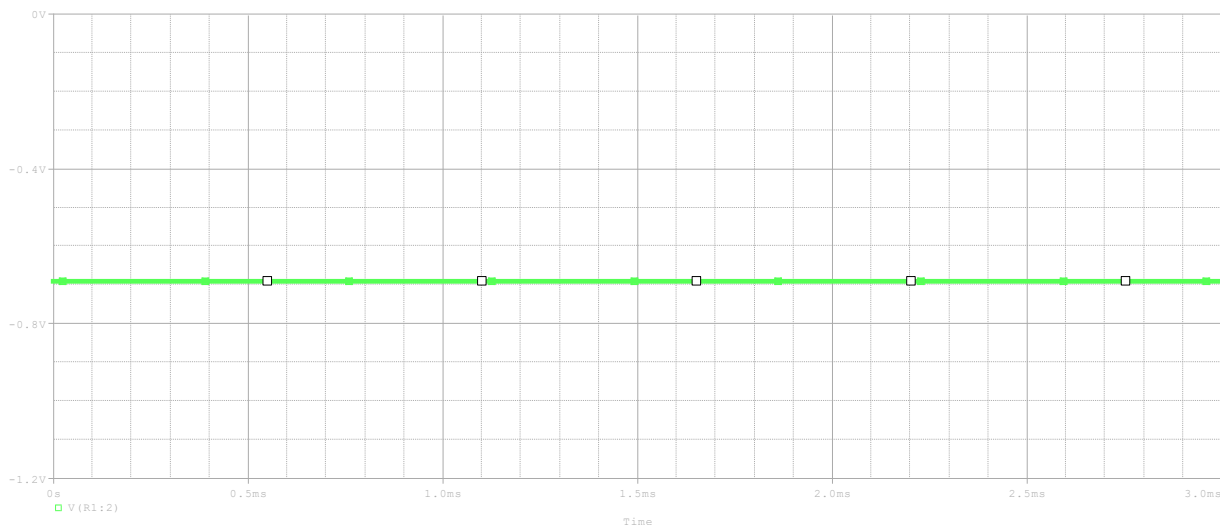


Figura 3.4.3. Valoarea tensiunii de pe diodă -0.691V

Se dorește semnalizarea creșterii concentrației de gaz metan în incintă cu ajutorul unui led galben. Acest led are o tensiune de prag de 1.6V la un curent aproape de 5mA conform foii de catalog și un curent invers de maxim 100μA la o tensiune de test inversă de 5V.

Ledul a fost modelat folosind utilitarul PSpice Model Editor conform unei fișe de catalog. Pentru modelare s-a folosit o caracteristică curent-tensiune, au fost introduse valorile pentru  $I_f$  și  $V_f$  și s-a selectat opțiunea Extract Parameters după care s-a salvat documentul. Mai apoi în Capture s-a realizat următorul circuit:

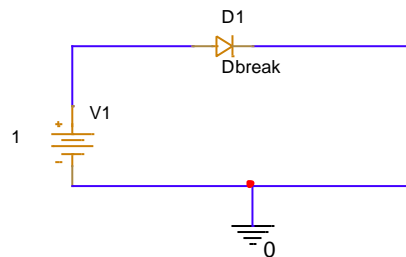


Figura 3.4.4. Circuit pentru modelarea Led-ului

Se face click pe componenta Dbreak și din Property Editor se completează Implementation Path cu calea în care s-a salvat anterior librăria. Se face click dreapta pe componentă, se selectează Associate PSpice Model, se adaugă la Model Library librăria creată, la Symbol Pins pentru 1 se selectează A (anod) și pentru 2 se selectează C (catod) și apoi se selectează UpdateAll. Din meniul Simulation Settings → Configuration Files → Library → se selectează librăria.

Se setează o analiză DC Sweep, la Voltage Source Name se introduce V1, Start Value 0, End value 5V, increment 0.1. Se rulează analiza și se afișează curentul în funcție de tensiune.

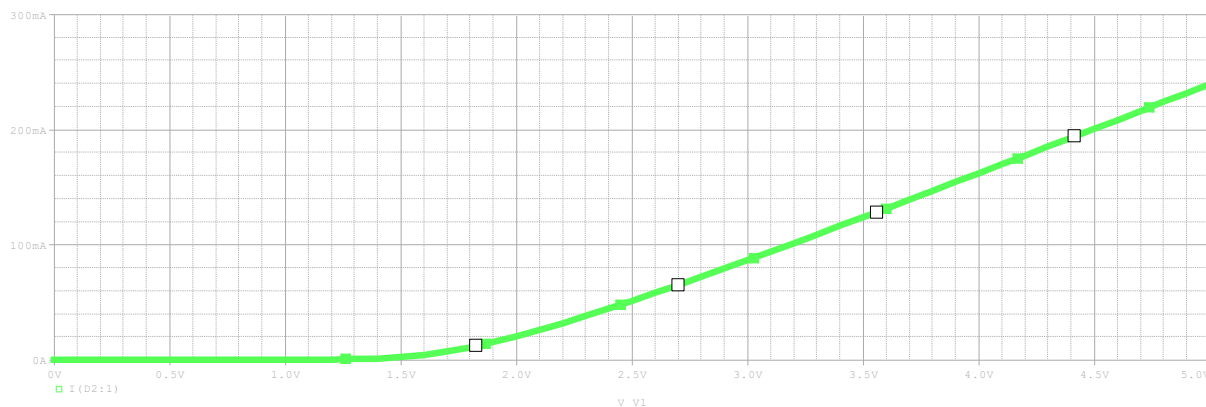


Figura 3.4.5. Caracteristica led-ului

Conform acestui grafic, ledul galben prezintă o tensiune de prag de 1.6V, egală cu valoarea tensiunii de prag identificate pe caracteristica curent-tensiune din foaia de catalog.

Pentru a semnaliza deschiderea sau închiderea switch-ului (releului) se va folosi acest led. Este necesar să i se asigure o tensiune cel puțin egală cu tensiunea de prag. Se va alege o tensiune de

1.7V pentru care curentul prin led are o valoare de 5mA. (ambele valori au fost identificate de pe caracteristică)

Aplicând legea lui Kirchhoff pe ochiul II din figura 3.4.2. se obține:

$$V_{CC} = V_{DS} + V_{Releu}$$

$$V_{DS} \cong 0V \Rightarrow V_{CC} = V_{Releu} \Rightarrow 400\Omega \times I = 12V \Rightarrow I = 30mA$$

Cum pe led avem nevoie doar de un current de 5mA se va pune o rezistență de limitare

$$R = \frac{12V - 1.7V}{5mA} = 2060 \text{ se alege o valoare standardizată din seria E48 de } 2.05k\Omega.$$

Circuitul având componentele despre care s-a discutat este:

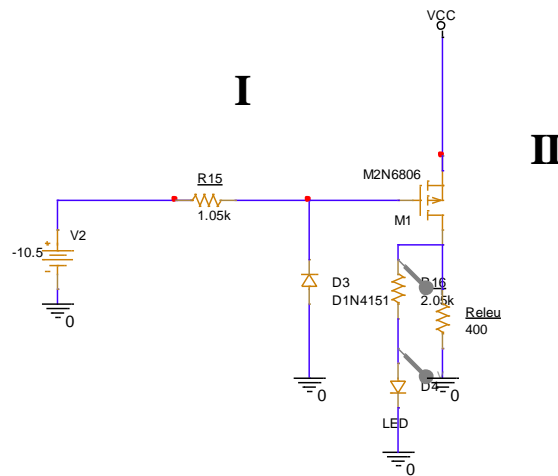


Figura 3.4.6. Circuitul pentru afișaj

Pentru a se verifica dacă valorile obținute teoretic sunt corecte și că ledul va semnaliza o valoare a concentrației de gaz metan ridicată se realizează o analiză tranzitorie din meniul Simulation Settings se setează Run To Time la 3ms și Maximum Step size la 3 μs. Se rulează simularea, iar rezultatul ei este acesta:

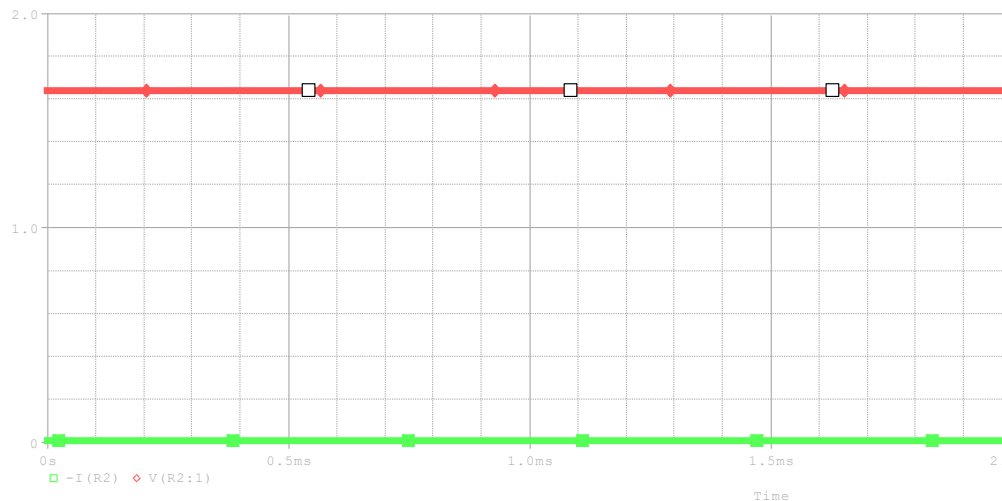


Figura 3.4.7. Tensiunea și curentul de pe led la o concentrație ridicată de gaz



Forma de undă verde indică valoare curentului  $-0.5\text{ mA}$ , iar forma de undă roșie valoarea tensiunii prin led  $-1.7\text{V}$ , valori care corespund cu cele calculate.

O altă modalitate de testare a funcționării corespunzătoare a circuitului de afișare este simularea tensiunii de la ieșirea comparatorului cu un semnal dreptunghiular aplicat pe grila tranzistorului și vizualizarea formei de undă de pe led. Se folosește o sursă de tensiune  $V_{\text{pulse}}$  cu următorii parametri  $V1 = -10.5$ ,  $V2 = 10.5$  (amplitudinea semnalului de la ieșirea comparatorului),  $TD = 2\text{m}$ ,  $TR = 1\mu$ ,  $TF = 1\mu$ ,  $PW = 1\text{m}$  (mai mic decât  $TD$  deoarece semnalul de pe comparator prezintă un front descendent mai mare decât frontul ascendent),  $PER = 3\text{ms}$ . Se va configura o analiză tranzitorie pentru care Run To Time va fi setat la  $6\text{ms}$  (se vor vizualiza 2 perioade) și Maximum Step Size  $6\mu\text{s}$ . Se vor vizualiza atât forma tensiunii de intrare cât și forma de undă pentru tensiunea de pe rezistența în serie cu led-ul și cea de pe led.

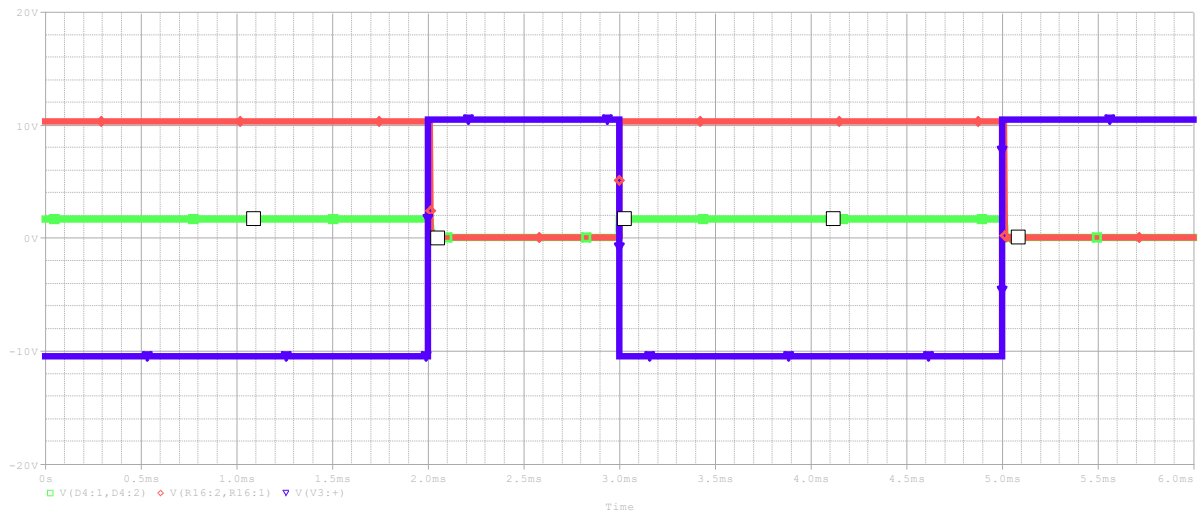


Figura 3.4.8. Tensiunea de la intrare, de pe led și de pe rezistență

Unda albastră indică tensiunea de intrare, cea roșie tensiunea de pe rezistență, iar cea verde, tensiunea de pe led. Se poate observa că pentru valori ale tensiunii de intrare de  $-10.5\text{V}$  led-ul conduce, iar pentru tensiuni pozitive, led-ul este blocat, tensiunile însumate dând valoarea 0, deci tensiunea injectată este consumată corect pe componente.

Până în acest punct blocurile de circuit au fost testate separat. Se dorește testarea întregului circuit pentru a verifica dacă ledul va semnaliza o cantitate ridicată de concentrație de gaz, respectiv o cantitate scăzută. Revenind la schema prezentată la începutul acestor capitole se va realiza o analiză tranzitorie în urma căreia se vor măsura parametrii led-ului pentru valori diferite ale rezistenței senzorului (una care să determine deschiderea pompei și alta care să determine închiderea acesteia).

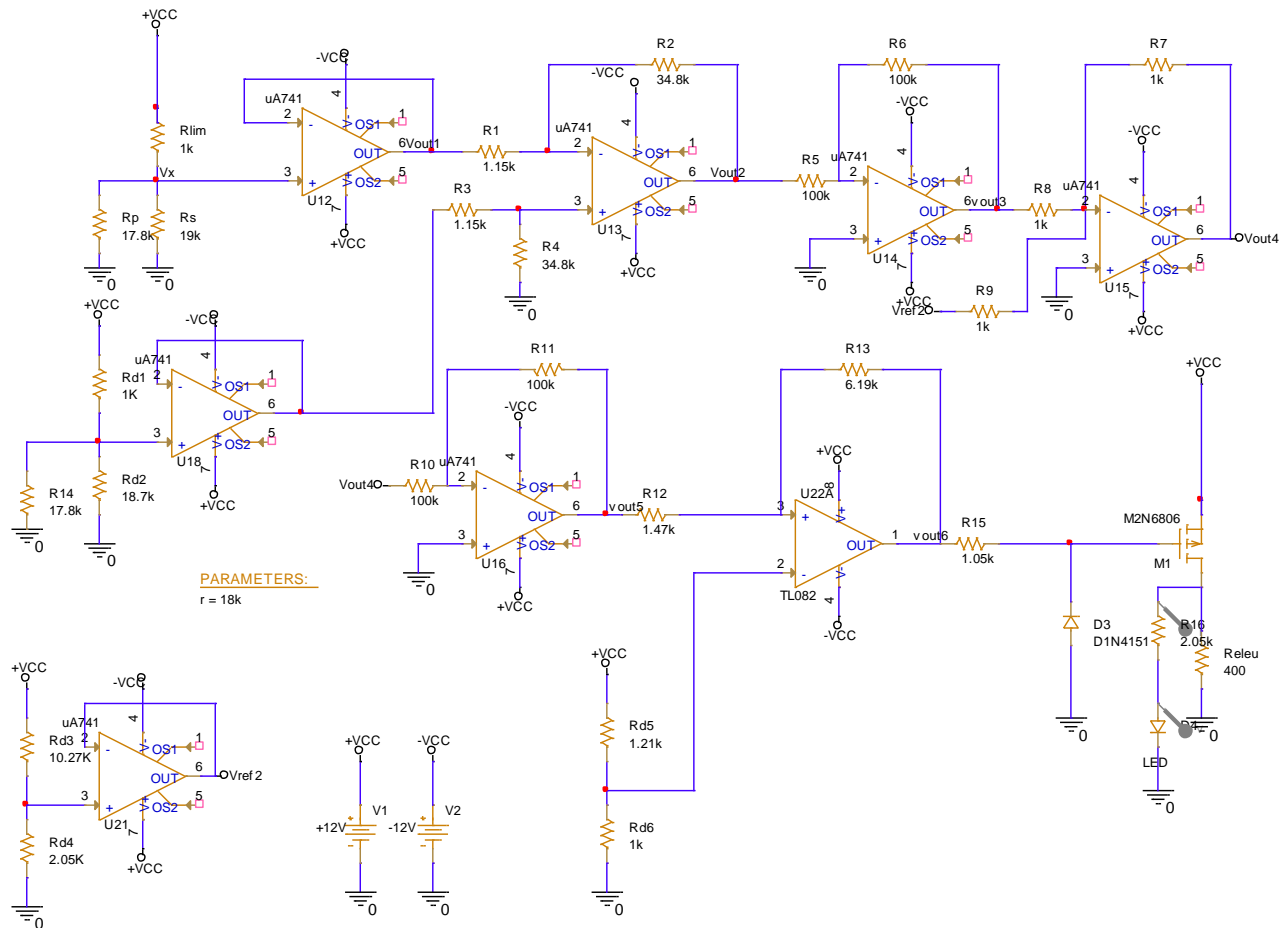


Figura 3.4.9. Circuit pentru detecția concentrației de gaz dintr-o încălț

Se va testa funcționarea circuitului pentru o rezistență a cărei valoare este de 19k, având o valoare scăzută din cauza cantității mari de concentrație de gaz, aceasta ar trebui să determine deschiderea ledului. De asemenea se va testa și transformarea tensiunii citite de pe ea în domeniul [2V, 10V].

Se setează o analiză tranzitorie din Simulation Settings → Time Domain (transient), Run to Time → 3ms și Maximum Step Size → 3 μs. Se poziționează un marker de tensiune la ieșirea convertorului pentru a verifica dacă conversia a fost bine realizată.

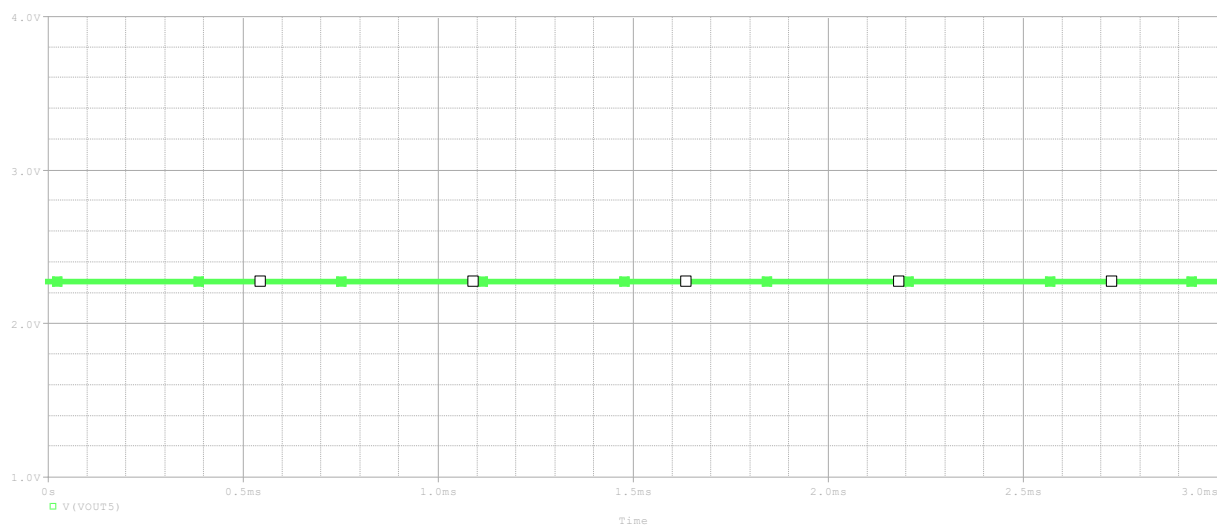


Figura 3.4.10. Valoarea tensiunii de la ieșirea convertorului

Pe grafic este marcată o tensiune de 2.27V care aparține domeniului [2V, 10V], deci s-a realizat conversia de tensiune în domeniul specificat.

Totuși funcția senzorului de gaz este îndeplinită dacă ledul semnalizează corect o concentrație mare de gaz, cum ar fi pentru o valoare a rezistenței ca cea folosită acum.

Se poziționează un marker de tensiune pe led și un marker de curent pe rezistența aflată pe aceeași latură cu ledul. Rezultatele obținute în urma acestei analize sunt:

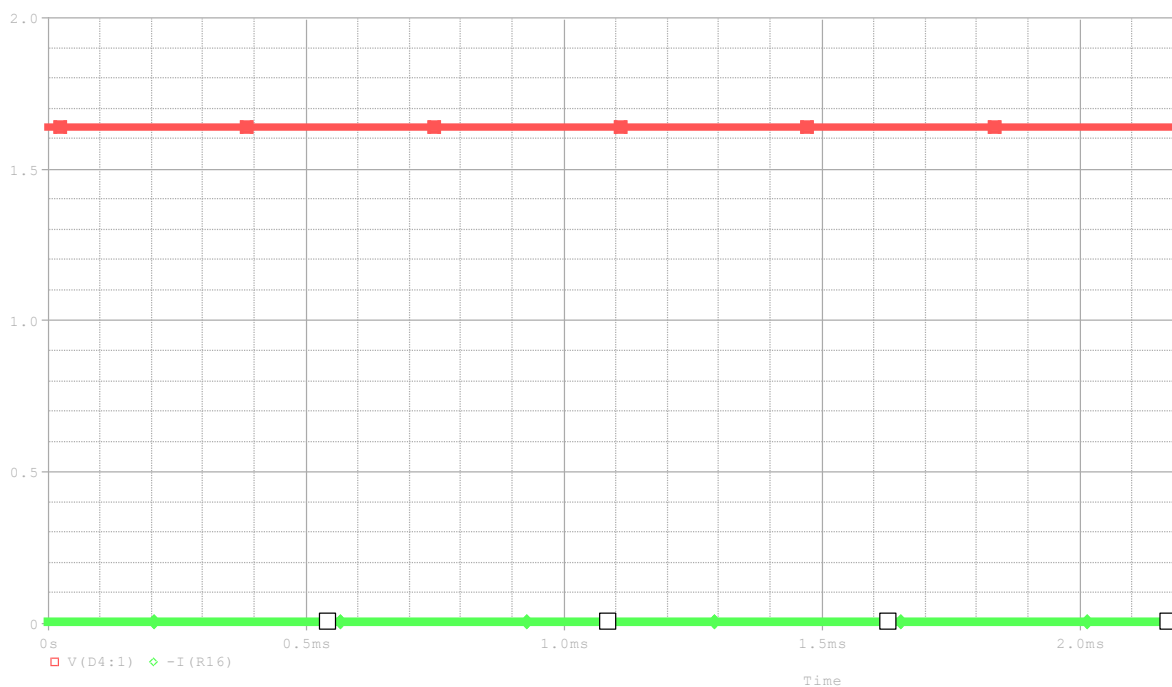


Figura 3.4.11. Afișajul led-ului pentru o concentrație mare de gaz.

Conform acestor rezultate la o concentrație mare de gaz în incintă led-ul galben va fi aprins, pompa va fi deschisă și ventilatorul va fi pornit și va introduce aer curat.

Se dorește verificarea circuitului și pentru oprirea ventilatorului în cazul unei concentrații reduse de gaz.

Se alege o rezistență de  $35.5k\Omega$  și se realizează același tip de analiză ca în cazul anterior împreună cu aceleași verificări.

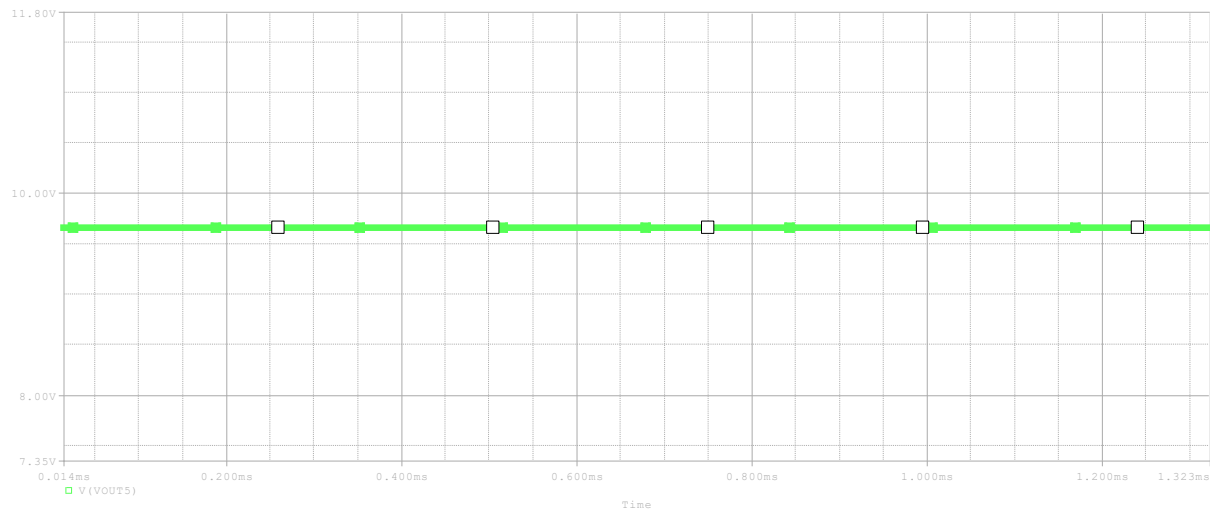


Figura 3.4.12. Valoarea tensiunii de la ieșirea convertorului = 9.66V



Figura 3.4.13. Afișajul led-ului pentru o concentrație mică de gaz.

După cum se poate observa pe grafic, pe led se măsoară o tensiune foarte mică de  $5.4 \mu\text{V}$  și un curent de  $1.1 \text{ pA}$ , reprezentând curentul invers prin diodă. În consecință ledul este oprit și este comandată oprirea ventilatorului.

## 4. Bibliografie

- [1] O. Pop, *Proiectare Asistată de calculator*, Mediamira, Cluj-Napoca, 2007.
- [2] O. Pop, R. Fizeșan și G. Chindriș, *Proiectare Asistată de Calculator – Aplicații*, U.T. Press, Cluj-Napoca, 2013.
- [3] Standard Resistors Values website [Standard Resistor Values - Electronics Tutorials \(electronics-tutorials.ws\)](http://electronics-tutorials.ws).
- [4] “ $\mu$ A741 data sheet”  [\$\mu\$ A741 General-Purpose Operational Amplifiers datasheet \(Rev. G\)](#)
- [5] “TL082 data sheet” [TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier datasheet \(Rev. C\)](#).
- [6] “1N4151 data sheet diode” [1N4151 pdf](#), [1N4151 Descripción Electrónicos](#), [1N4151 Datasheet](#), [1N4151 view :: ALLDATASHEET ::](#)
- [7] “JQC-21FF data sheet relay” [JQC-21FF pdf](#), [JQC-21FF Description](#), [JQC-21FF Datasheet](#), [JQC-21FF view :: ALLDATASHEET ::](#).
- [8] “JANTX2N6806 data sheet PMOS transistor” [JANTX2N6806 pdf](#), [JANTX2N6806 Description](#), [JANTX2N6806 Datasheet](#), [JANTX2N6806 view :: ALLDATASHEET ::](#).
- [9] OrCAD X Professional Plus Capture
- [10] PSpice Model Editor 2023
- [11] Office Excel