

Proiect Tehnici CAD

Controlul nivelului de monoxid de carbon

Student: Solcan Lazăr

Grupa: 2126

Titularul activităților de laborator:

Ing. Ana Cristina Davidaș

Cuprins

1. Specificații de proiectare	3
2. Schema circuitului.....	4
2.1. Schema bloc a circuitului.....	4
2.2. Schema electrică a circuitului	4
3. Proiectarea circuitului.....	5
3.1. Senzorul rezistiv	5
3.2. Convertorul de domeniu.	6
3.2.1. Amplificatorul diferențial.....	6
3.2.2. Divizorul de tensiune	7
3.3. Comparatorul	8
3.4. Ansamblul releu-ventilator	9
4. Simulări	11
4.1. Modelare LED.....	11
4.2. Simulare LED.....	12
4.3. Simulare Senzor rezistiv	14
4.4. Simulare convertor domeniu.	15
4.5. Simulări praguri.....	17
4.6. Stare ventilatorului	19
4.7. Analiză Monte-Carlo	20
4.8. Analiză Worst-case/Sensitivity.....	20
5. Bibliografie	22

1. Specificații de proiectare

Să se proiecteze un sistem care utilizează senzori rezistivi de gaz pentru a menține într-o încălț concentrația de monoxid de carbon între limitele specificate în coloana E. În încălț există o sursă care generează încontinuu monoxid de carbon. În momentul în care concentrația a ajuns la limita superioară (coloana E) sistemul va porni ventilatorul care va introduce aer curat. Când concentrația de monoxid de carbon ajunge la limita inferioară (coloana E) sistemul va da comanda de oprire a ventilatorului. Din foaia de catalog a senzorului se știe că la o variație a concentrației de gaz specificată în coloana F rezistența electrică a senzorului variază liniar în domeniul specificat în coloana G. Variația rezistenței electrice a senzorului trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul $[2 \div (V_{cc} - 2V)]$. V_{cc} este specificat în coloana H. Ventilatorul este comandat de un comparator cu histereză prin intermediul unui releu care este modelat cu un rezistor. Starea ventilatorului (pornit/oprit) este semnalizată de un LED de culoare specificată în coloana I.

Tabelul 1 Specificații

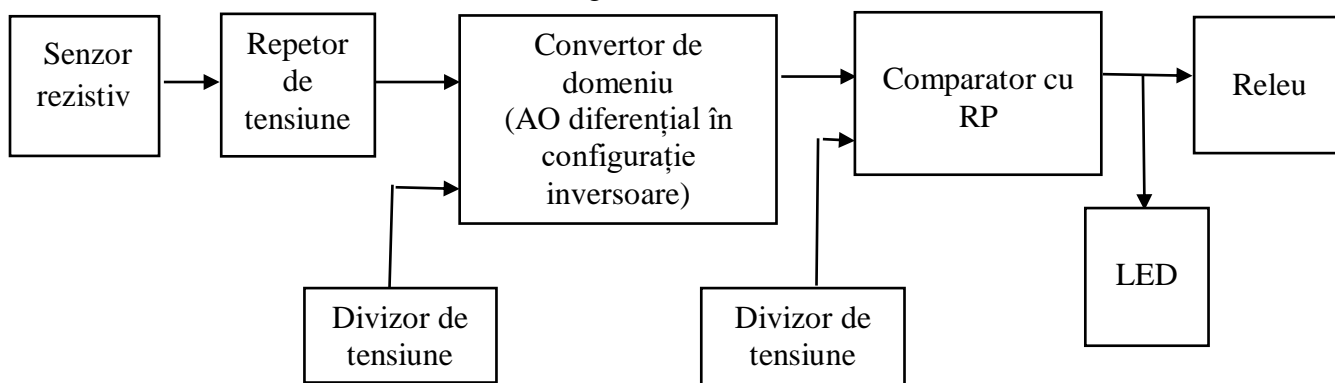
E	F	G	H	I
Concentrația de monoxid de carbon în încălț [ppm]	Domeniul de măsură a senzorului [ppm]	Rezistența senzorului [kΩ]	VCC [V]	Culoare LED
200 .. 4000	50 .. 5000	79k - 35k	15	GALBEN

2. Schema circuitului

2.1 Schema bloc a circuitului

Schema bloc a circuitului este ilustrată în Figura 1.

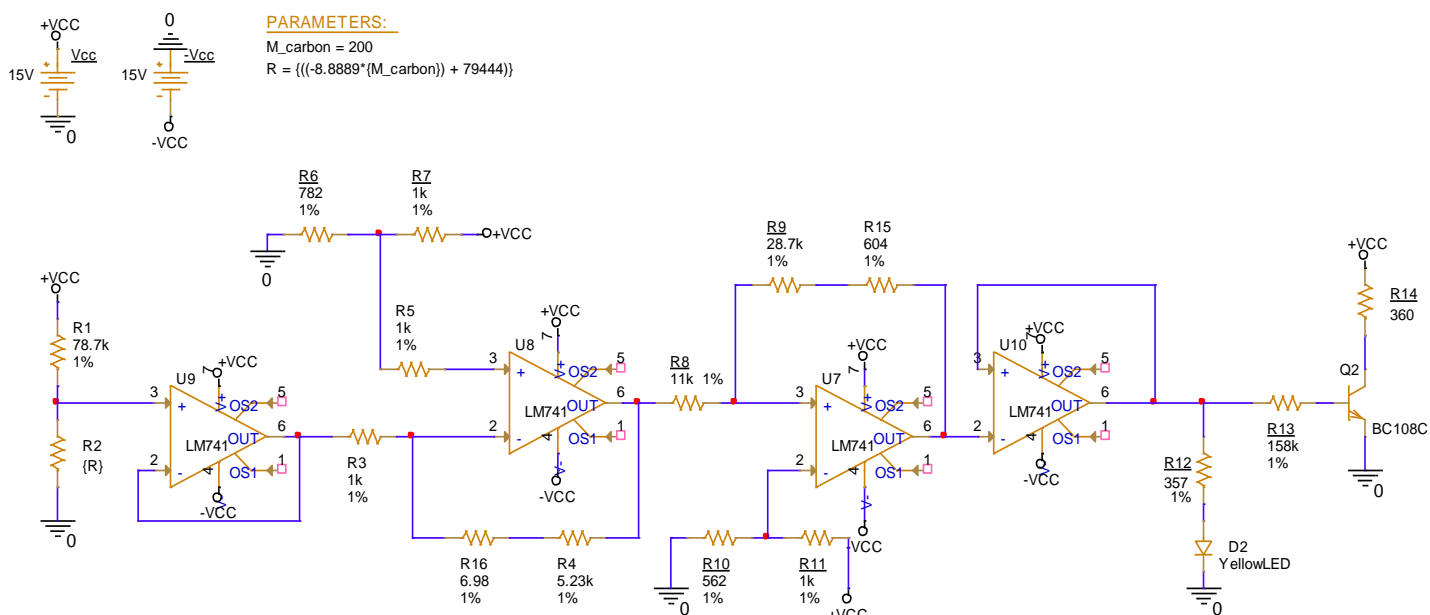
Figura 1 Schema bloc



2.2 Schema electrică a circuitului

În Figura 2 este reprezentată schema electrică a circuitului.

Figura 2 Schema electrică

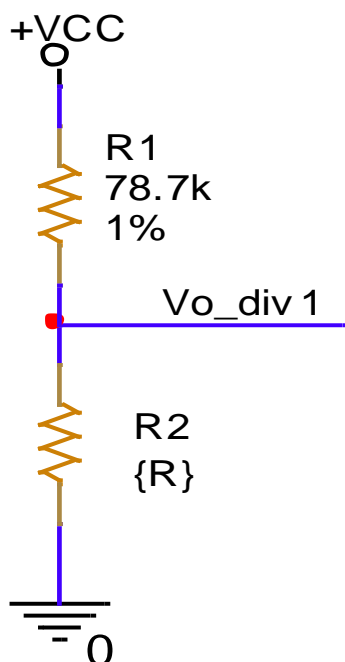


3. Proiectarea circuitului

3.1 Senzorul rezistiv

În Figura 3 am realizat un senzor rezistiv cu o rezistență fixă ($R1 = 78.7 \text{ k}\Omega$, din seria standard E96, cu o toleranță de 1%) și o rezistență variabilă $R2$.

Figura 3 Senzorul rezistiv



Știm din specificațiile de proiectare că rezistența senzorului variază liniar în domeniul 50 – 5000, astfel, la o variație de monoxid de carbon de 50, avem rezistența electrică a senzorului de $79 \text{ k}\Omega$, iar pentru o variație de 5000 avem rezistența electrică a senzorului de $35 \text{ k}\Omega$. Am introdus aceste date într-un program de calcul din care am extras ecuația dreptei (1), x fiind valoarea concentrație de monoxid de carbon.

Domeniul pe care dorim să calculăm rezistența senzorului este 200 – 4000, astfel, utilizând formula (2), am calculat $R2$ pentru pragurile de 200 și 4000 ale concentrației de monoxid de carbon, în intervalul tensiunii de ieșire de Vo_div1 : $[5.37\text{V}; 7.45\text{V}]$. Pentru o concentrație a monoxidului de carbon de 200, am obținut valoarea pentru $R2 = 75.6 \text{ k}\Omega$, iar pentru o concentrație a monoxidului de carbon de 4000, am obținut valoarea pentru $R2 = 42.36 \text{ k}\Omega$. Am utilizat un repetor pentru că impedența mare de intrare și cea mică de ieșire permite acestuia să conducă sarcini mai mari fără a degrada calitatea semnalului.

$$R2 = \frac{-8.8889x + 79444}{1000} \quad (1)$$

$$\frac{R2}{R2+R1} \times V_{CC} = V_{o_div1} \quad (2)$$

După senzorul rezistiv am adăugat un repetor de tensiune pentru adaptarea de impedanță. Am utilizat un repetor pentru că impedanța mare de intrare și cea mică de ieșire permite acestuia să conducă sarcini mai mari fără a degrada calitatea semnalului.

3.2 Convertorul de domeniu

3.2.1 Amplificatorul diferențial

Pentru a converti domeniul de tensiune de la ieșirea senzorului V_{o_div1} : [5.37V;7.45V] în domeniul specificat în datele de proiectare $V_{o_conv_dorit}$: [2V;13V], am utilizat un convertor de domeniu reprezentat în figura 5, format dintr-un AO diferențial în configurație inversoare. Pentru a calcula valoarea rezistențelor $R4$ și $R3$, am utilizat formula (3) din care rezultă ca $R4 = 5.3 \text{ k}\Omega$, iar $R3 = 1 \text{ k}\Omega$. Pentru a forma rezistența $R4 = 5.3 \text{ k}\Omega$, am pus o rezistență $R16 = 6.98 \Omega$ cu toleranță 1% serie cu o rezistență $R4 = 5.23 \text{ k}\Omega$, cu toleranță 1%, ambele făcând parte din seria E96.

Pentru tensiunea de referință V_{ref1} , am utilizat formula (4), din care rezultă ca $V_{ref1} = 6.57 \text{ V}$. Această tensiune am obținut-o la intrarea neinversoare a amplificatorului utilizând un divizor de tensiune.

Astfel, tensiunea obținută la ieșirea convertorului pentru pragul de 200, respectiv 4000 al monoxidului de carbon este V_{o_conv} : [2.05V;12.95V], valori obținute cu ajutorul formulei (5), respectiv (6).

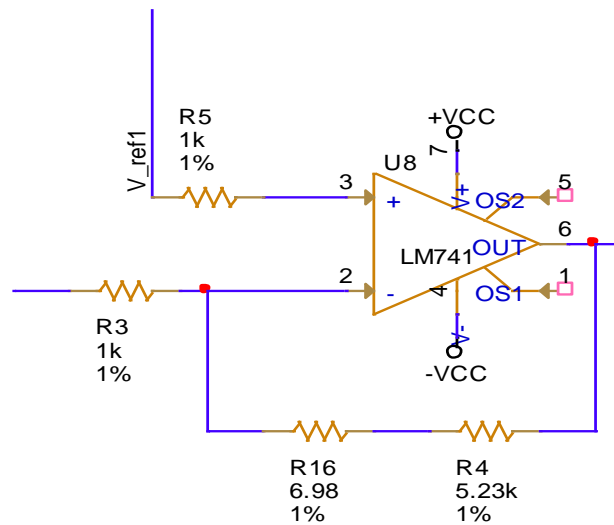
$$\frac{R4}{R3} = \frac{V_{o_conv_dorit_max} - V_{o_conv_dorit_min}}{V_{o_div1_max} - V_{o_div1_min}} = \frac{5.28 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} \quad (3)$$

$$V_{ref1} = \frac{V_{o_conv_dorit_min} + \frac{R4 \times V_{o_div1_max}}{R3}}{1 + \frac{R4}{R3}} \cong 6.5 \text{ V} \quad (4)$$

$$V_{o_conv_max} = -\frac{R4}{R3} \times V_{o_div1_min} + \left(1 + \frac{R4}{R3}\right) \times V_{ref1} = 12.95 \text{ V} \quad (5)$$

$$V_{o_conv_min} = -\frac{R4}{R3} \times V_{o_div1_max} + \left(1 + \frac{R4}{R3}\right) \times V_{ref1} = 2.05 \text{ V} \quad (6)$$

Figura 4 Amplificator diferențial

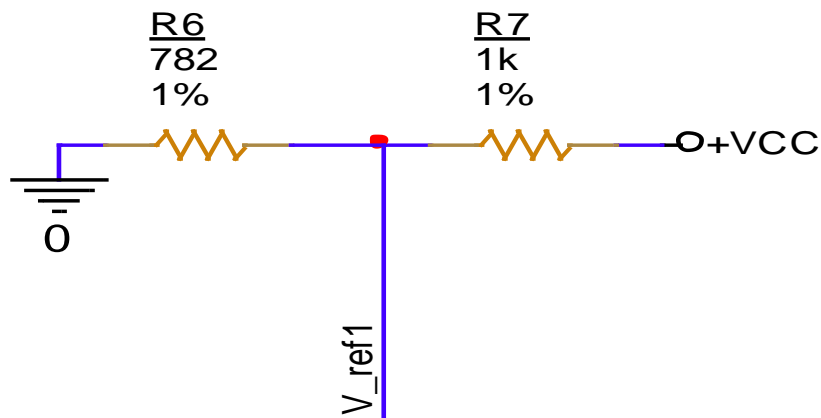


3.2.2 Divizorul de tensiune

Pentru a obține tensiunea de referință $V_{ref1}=6.57\text{ V}$ pentru AO, am folosit un divizor de tensiune, reprezentat în Figura 5. Am utilizat 2 rezistențe $R_6 = 782\ \Omega$, cu toleranță 1% și $R_7 = 1\text{ k}\Omega$ și toleranță 1% (ambele din seria E96), astfel încât formula (7) este adevărată.

$$\frac{R_6}{R_6 + R_7} \times V_{CC} = V_{ref1} \quad (7)$$

Figura 5 Divizor de tensiune



3.3 Comparatorul

Pentru a controla funcționarea ventilatorului astfel încât concentrația să fie menținută în intervalul [200 ppm , 4000 ppm], am adăugat un comparator neinvertor cu reacție pozitivă, reprezentat în Figura 6. Am utilizat ca și tensiuni de prag, tensiunile de la ieșirea convertorului de domeniu, astfel $V_{ph} = 12.95V$ și $V_{pl} = 2.05V$. Acestea le-am înlocuit în formula (8) și am determinat valoarea rezistențelor $R8 = 11\text{ k}\Omega$, cu toleranță 1%, iar $R9 = 29.3\text{ k}\Omega$, formată din două rezistențe puse în serie, $R9 = 28.7\text{ k}\Omega$, cu toleranță și $R15 = 604\Omega$, cu toleranță 1% (din seria E96).

$$V_{ph} - V_{pl} = \frac{R8}{R9} (+V_{cc} + (-V_{cc})) = \frac{11}{29.3} \quad (8)$$

Pentru calculul V_{ref2} , am utilizat formula (9) din care rezultă că $V_{ref2} \cong 5.4V$. Pentru a ajunge la această valoare am construit un divizor de tensiune, reprezentat în Figura 7, cu 2 rezistențe din seria E96, $R10 = 562\Omega$, cu toleranță 1%, respectiv $R11 = 1\text{ k}\Omega$, cu toleranță 1%. Calcul realizat cu ajutorul relației (10).

$$V_{ph} = -\frac{R8}{R9} \times (-V_{cc}) + \left(1 + \frac{R8}{R9}\right) \times V_{ref2} \quad (9)$$

Figura 6 Comparator neinvertor cu reacție pozitivă

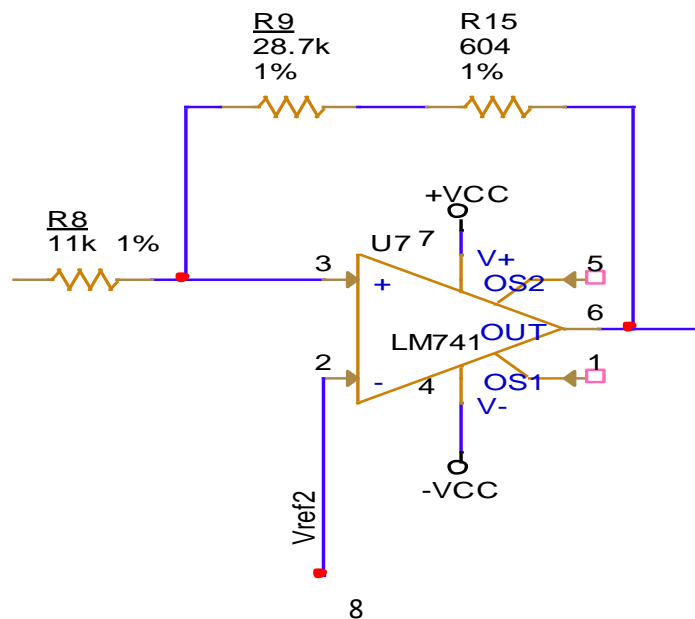
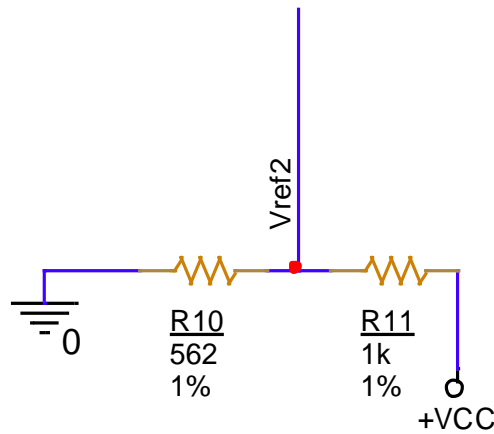


Figura 7 Divizor de tensiune



3.4 Ansamblul releu-ventilator

Ansamblul releu-ventilator, reprezentat în Figura 8, l-am modelat cu ajutorul unei rezistențe $R14 = 360 \Omega$. Când ieșirea comparatorului se află la valoarea high, tranzistorul este deschis, iar ventilatorul pornit. Când ieșirea comparatorului se află la valoarea low, tranzistorul este blocat și ventilatorul oprit. Starea ventilatorului (pornit/oprit) este indicată de un LED de culoare galbenă.

Releu pe care l-am ales este un releu electromagnetic de 12VDC, cu rezistența bobinei $R14 = 360\Omega$, iar curentul $I_c = 40 \text{ mA}$, calculat cu formula (10).

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R14} \quad (10)$$

Pentru acest curent, câștigul în curent al tranzistorului (β) este 500, iar $V_{be,on} = 0.7V$. Având acești parametrii, am calculat rezistența din baza tranzistorului (adică $R13$) cu formula (11).

$$R13 = \frac{V_{o_{comp}} - V_{be,on}}{I_b} \quad (11)$$

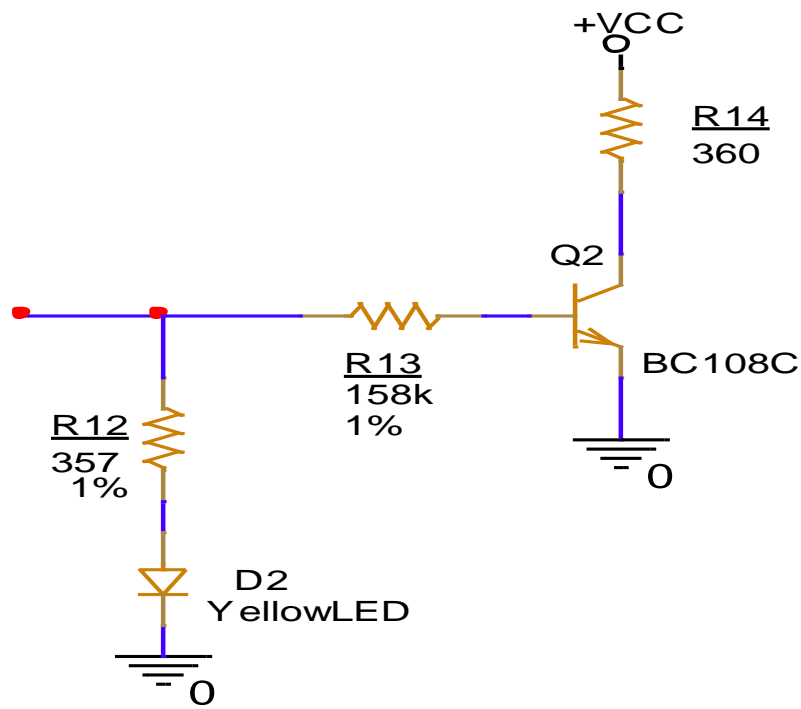
Curentul I_b l-am calculat cu formula (12), acesta având valoarea $I_b = 0.08 \text{ mA}$. Astfel, înlocuind în formula (11), rezultă $R13 = 178 \text{ k}\Omega$, cu toleranță 1%.

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} \quad (12)$$

De asemenea, pentru a calcula rezistența $R12$, cunoaștem din datasheet-ul LED-ului că curentul ce trece prin el este de 35 mA, iar cădere de tensiune pe LED este $V_{led} = 2.6V$, astfel, folosind formula (13) am determinat valoarea rezistenței $R12$.

$$R12 = \frac{V_{cc} - V_{led}}{I_{led}} = 357 \Omega, \text{ cu toleranță } 1\%. \quad (13)$$

Figura 9. Ansamblu releu-ventilator



4. Simulări

4.1 Modelare LED

Am folosit caracteristica $I_f=f(V_f)$ din datasheet-ul LED-ului galben (Figura 10) pentru a crea modelul LED-ului în Pspice Model Editor (Figura 11).

Figura 10 Forward Current vs Forward Voltage

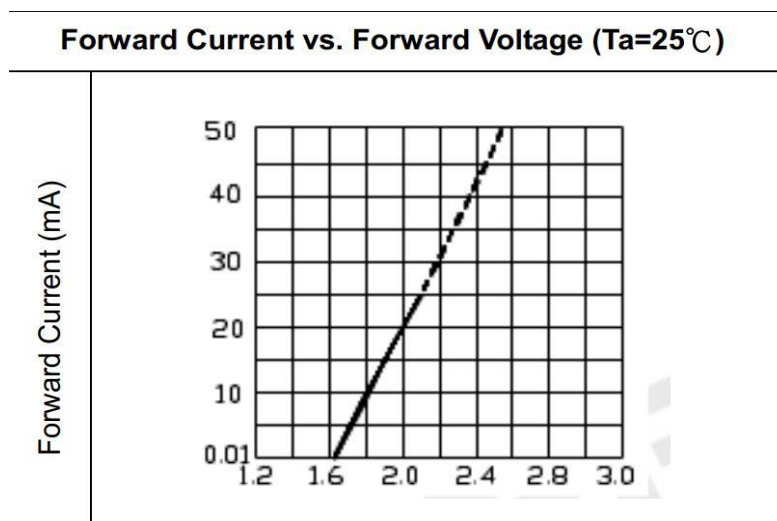
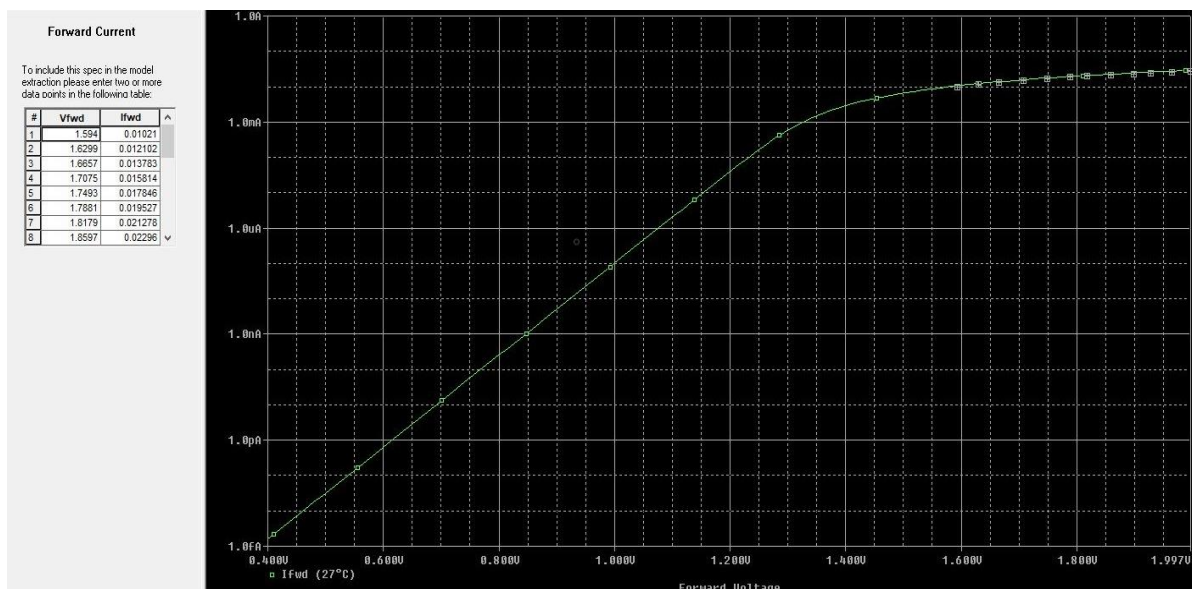


Figura 11 Model LED galben

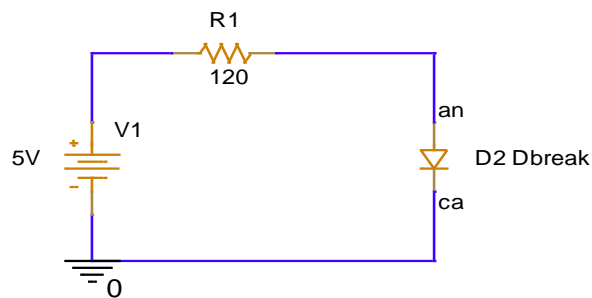


Pentru a adăuga componenta în circuit, am folosit o componentă Dbreak, căreia i-am adăugat la Implementation Path, librăria modelului creat mai sus.

4.2 Simulare LED

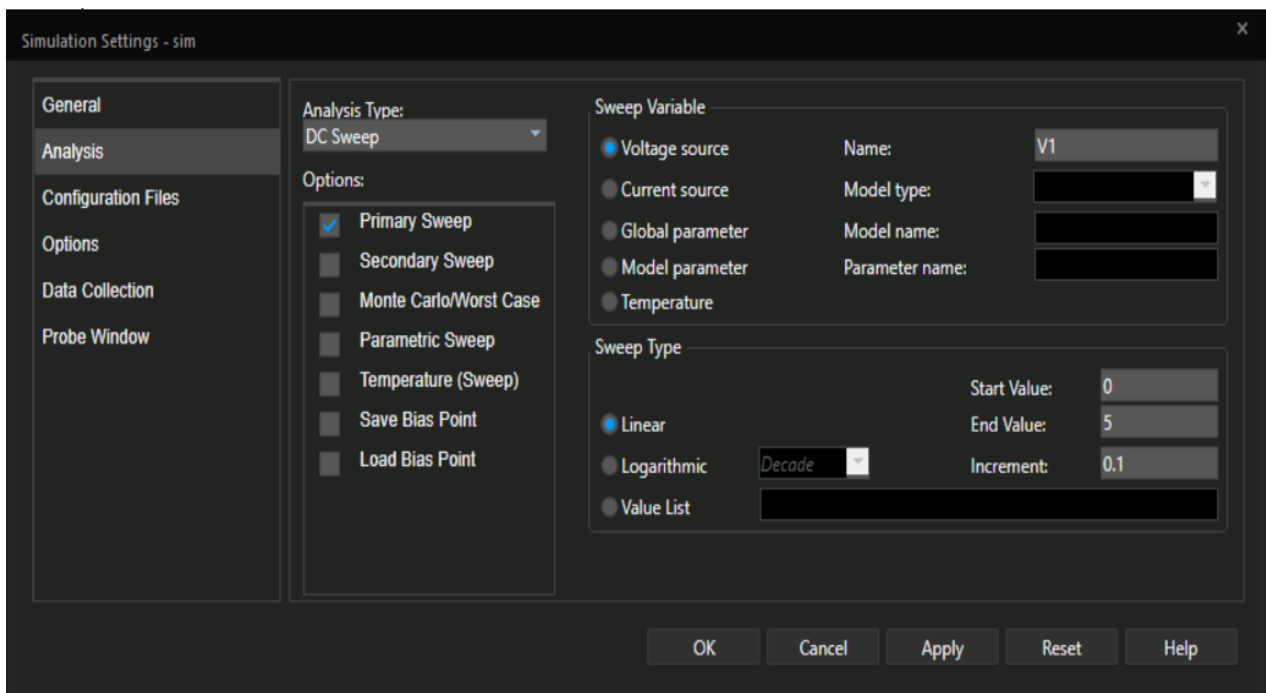
Pentru a putea simula comportamentul LED-ului, am creat un circuit separat, reprezentat în Figura 12.

Figura 12 Circuit pentru simularea LED-ului



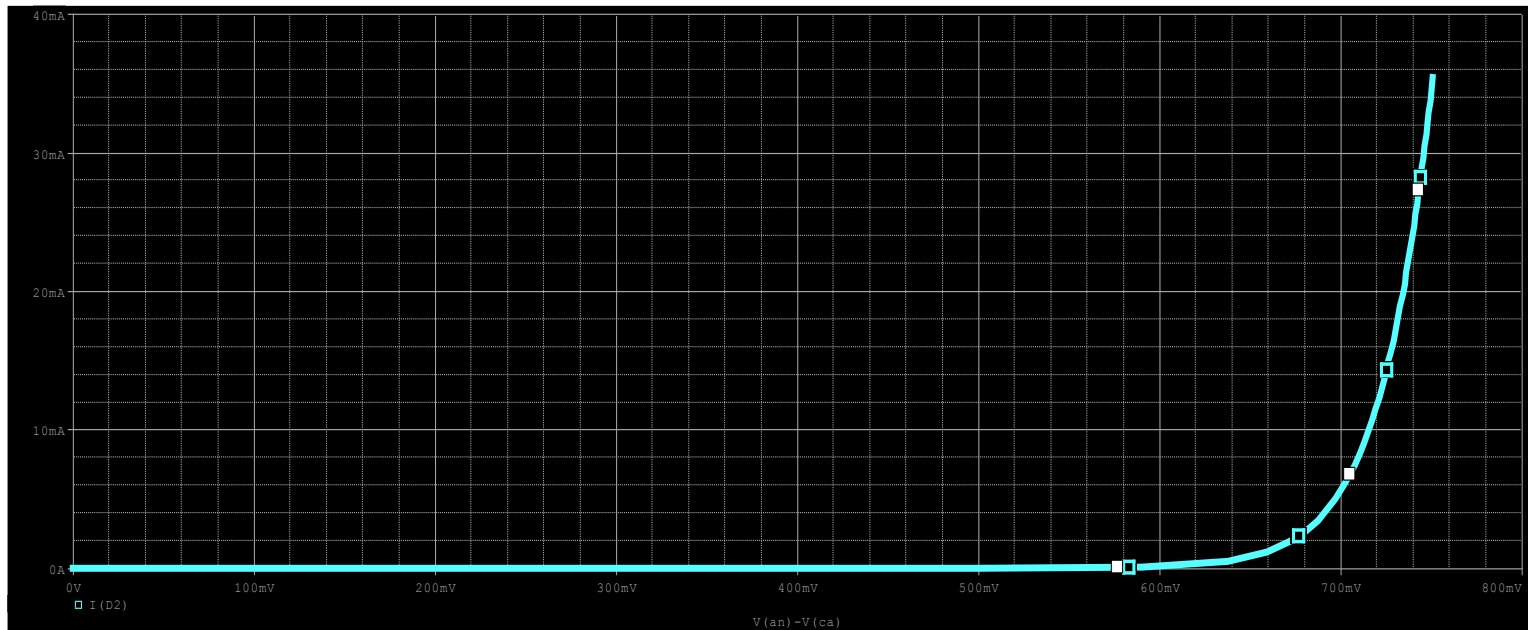
Apoi, am creat un profil de simulare DC Sweep (Figura 13), în care am variat sursa de tensiune V1 pentru a putea obține valorile curentului care circulă prin diodă în dependență de tensiunea care i se aplică.

Figura 13 Simulare DC Sweep LED



Rezultatele simulării pot fi vizualizate în Figura 14. Se observă că caracteristica obținută e similară cu cea din datasheet.

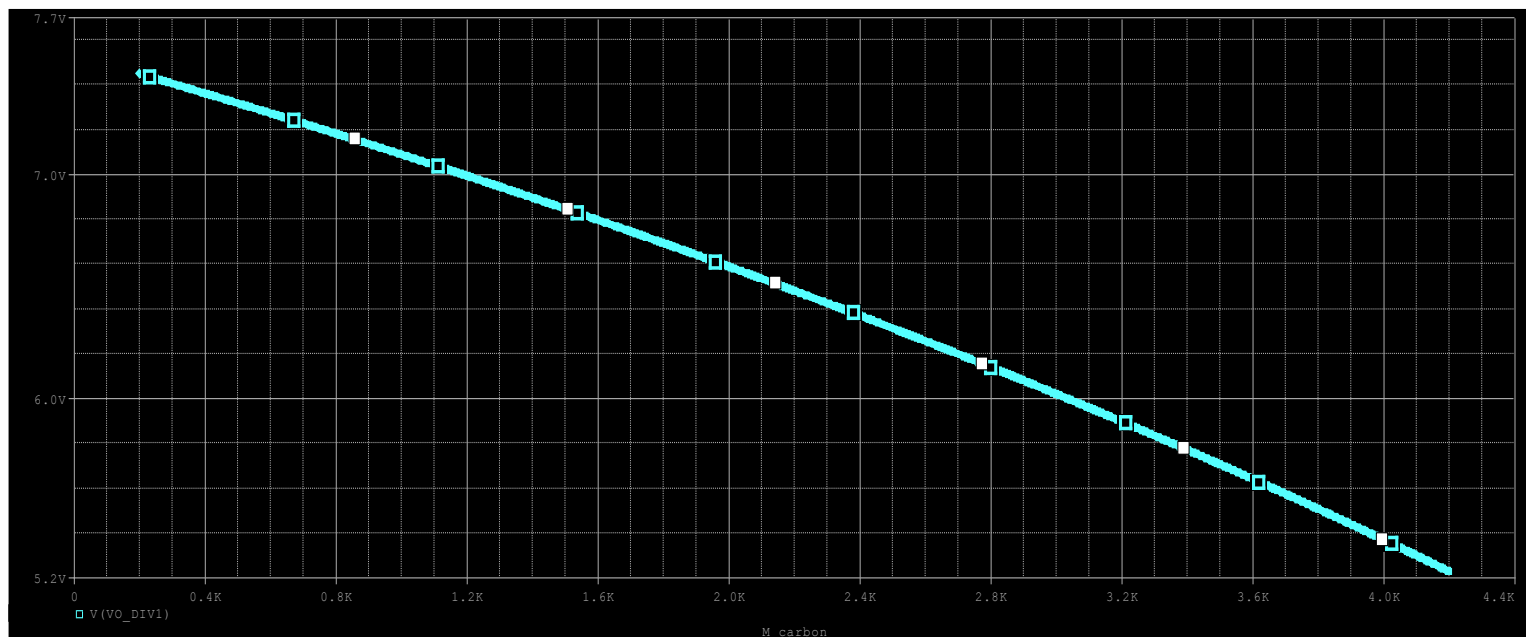
Figura 14 Forward Current vs Forward Voltage



4.3 Simulări senzor rezistiv

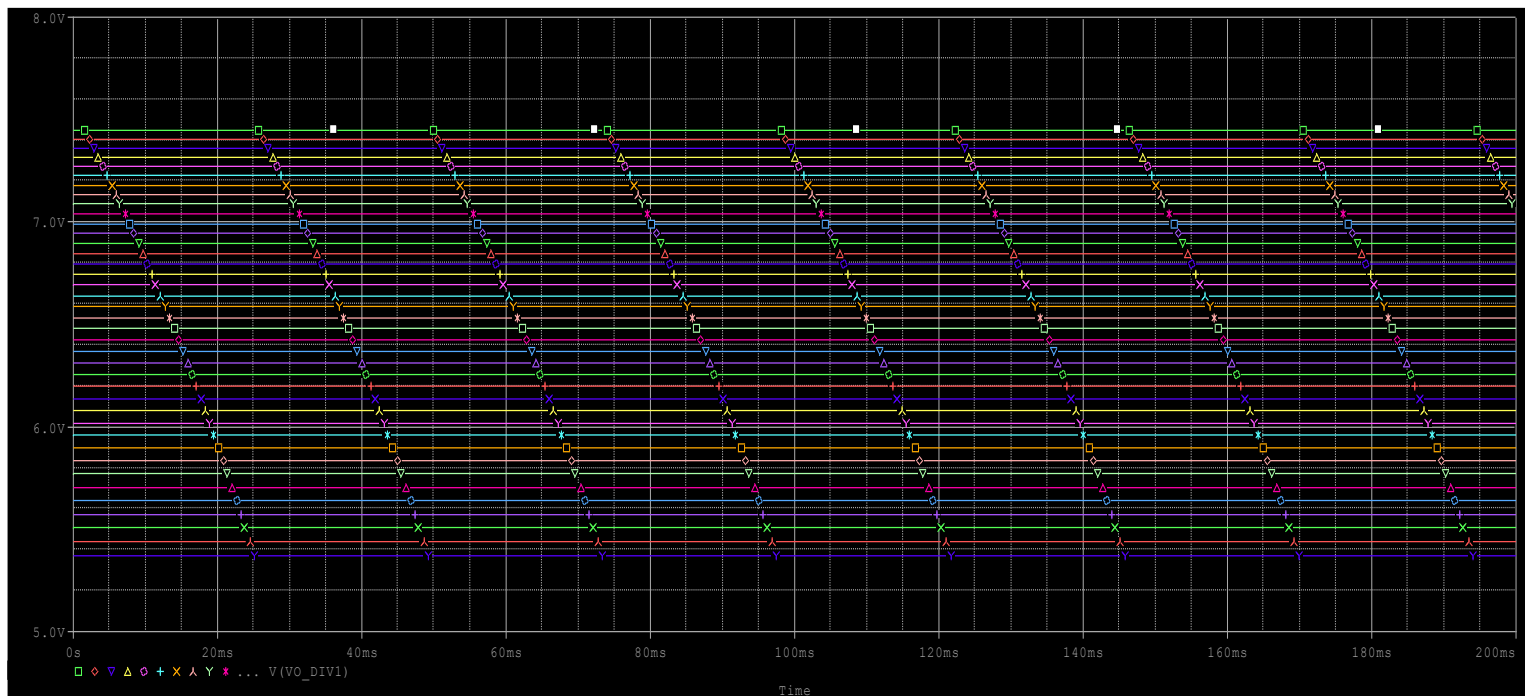
Rezultatul simulării e reprezentat în Figura 15. Pentru a determina domeniul de variație al tensiunii la ieșirea din senzorul rezistiv, am creat o simulare DC Sweep în care am variat concentrația monoxidului de carbon între 200 și 4200, cu increment 1. Rezultatele simulării sunt reprezentate în Figura 15.

Figura 15 Simulare DC Sweep Senzor rezistiv



Pentru a demonstra că tensiunea este constantă, indiferent dacă variază concentrația, implicit valoarea rezistenței electrice, am creat o analiză parametrică, în care am variat concentrația monoxidului de carbon a senzorului între 200 ppm și 4200 ppm cu increment de 1. Rezultatul simulării e reprezentat în Figura 16. Se observă că tensiunea este constantă pentru fiecare valoare.

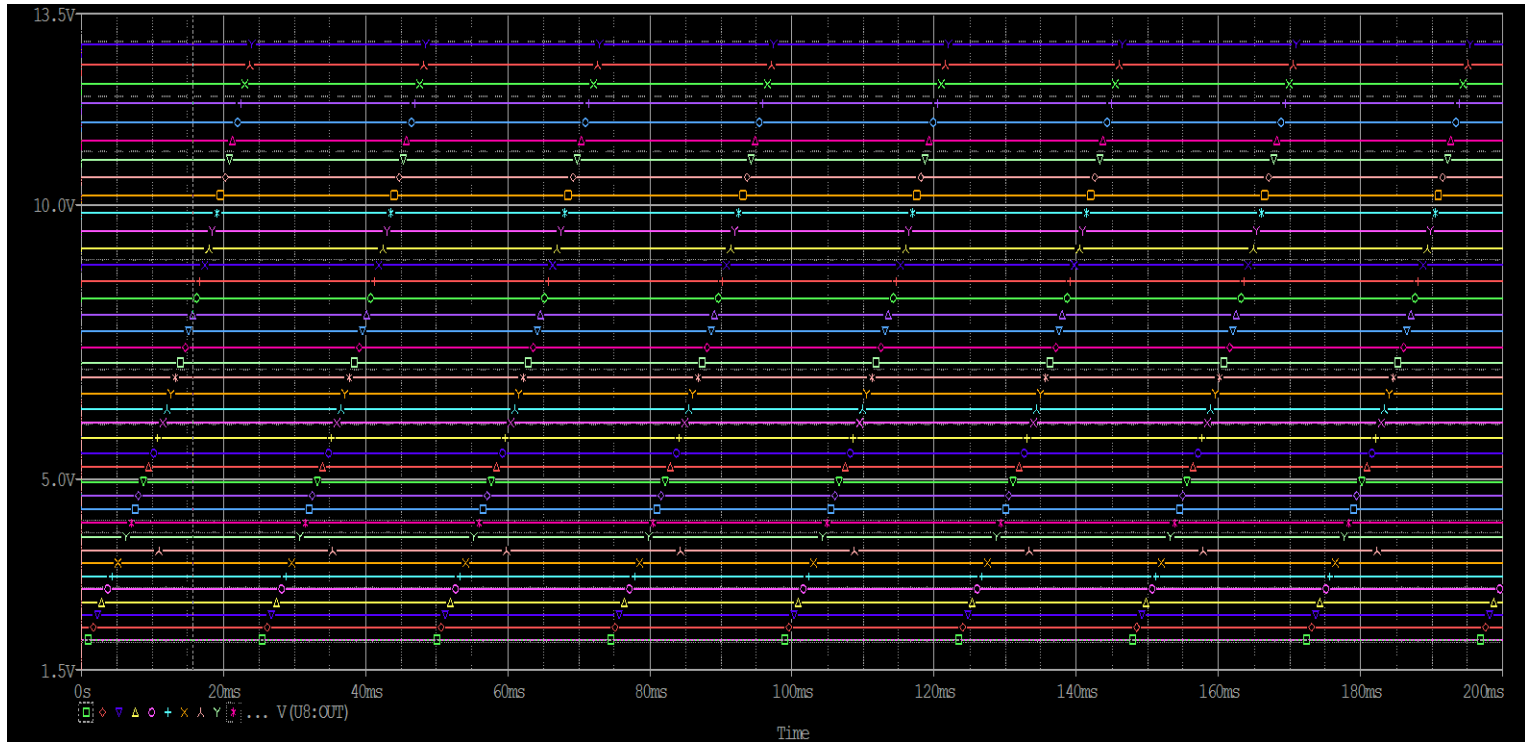
Figura 16 Analiză tranzitorie + Parametric Sweep senzor rezistiv



4.4 Simulare convertor domeniu

Am creat o simulare parametrică pentru a observa domeniul de variație al tensiunii după ce aceasta a fost convertită în domeniul dorit. Din rezultatul simulării (Figura 17) se observă că aceasta corespunde specificațiilor [2V;13V].

Figura 17 Parametric Sweep Converter domeniu



Domeniul de variație pe care l-am obținut este V_{o_conv} : [2.05V;12.96V].

4.5 Simulări praguri

Pentru a evidenția pragurile la care comută comparatorul, am creat două analize DC Sweep, în care variez concentrația monoxidului de carbon crescător și apoi descrescător. În Figura 18 este ilustrat pragul de sus, iar în Figura 19, pragul de jos. Conform calculelor, comparatorul trebuie să comute când Concentrația ajunge la 4000 [ppm] (pragul de sus) și la 200

Figura 18 Pragul de sus

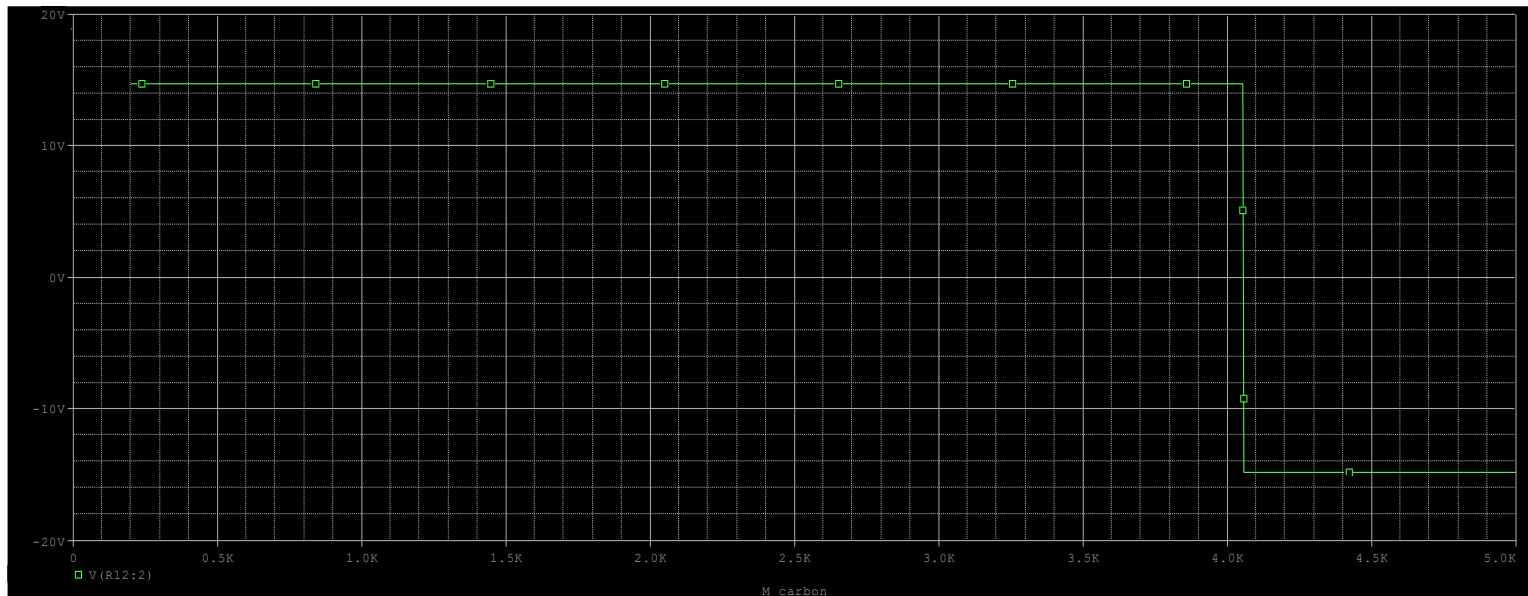
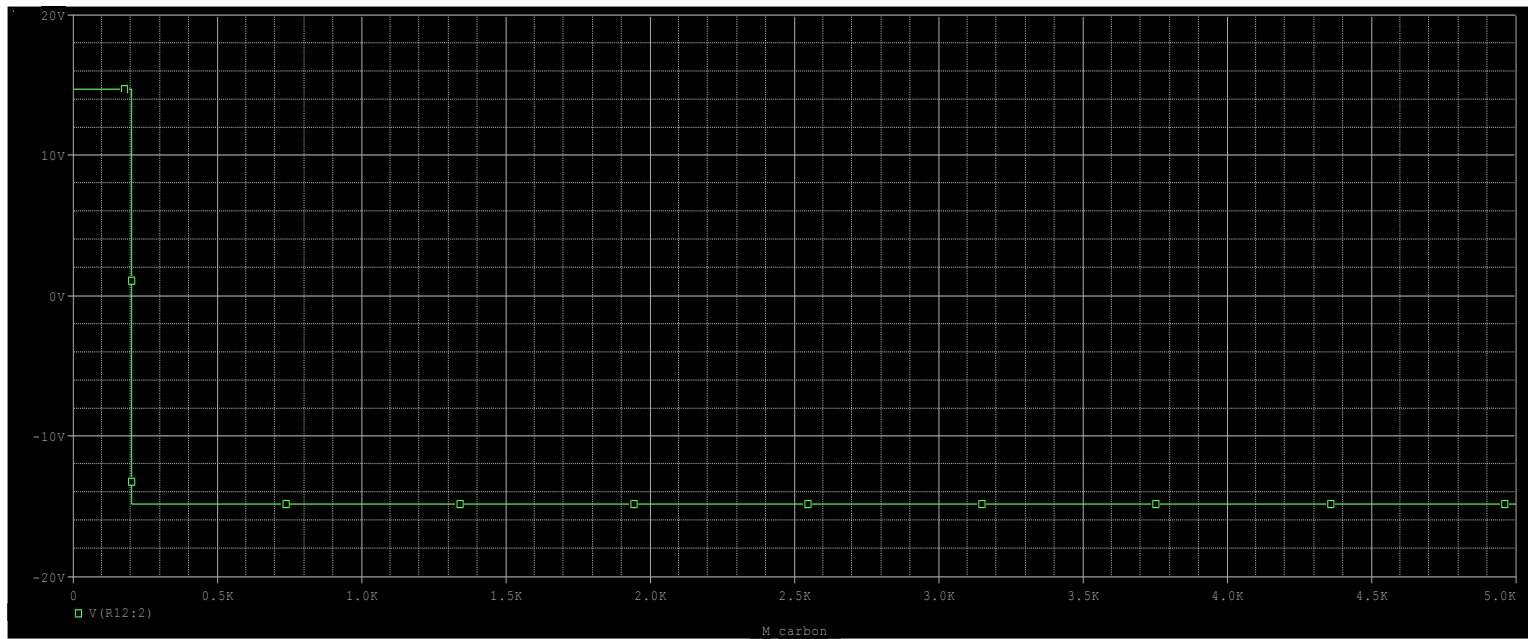


Figura 19 Pragul de jos



4.6 Starea ventilatorului

Starea ventilatorului este semnalizată de LED. Dacă LED-ul luminează (este polarizat direct, deci parcurs de un curent de 35 mA), ventilatorul este pornit. Dacă LED-ul nu luminează (este polarizat invers), ventilatorul este oprit. LED-ul este polarizat direct când ieșirea comparatorului este la valoarea high și este polarizat invers când la ieșire este la valoarea low.

Figura 20 Analiză tranzitorie diodă polarizată invers

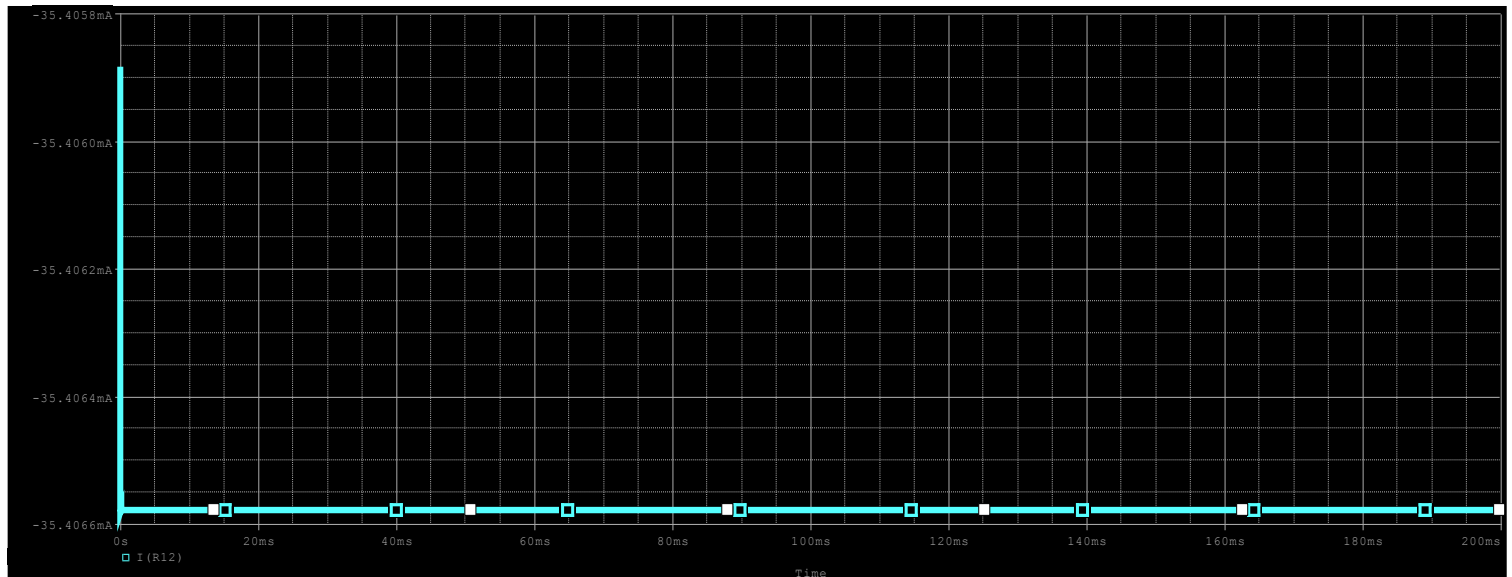
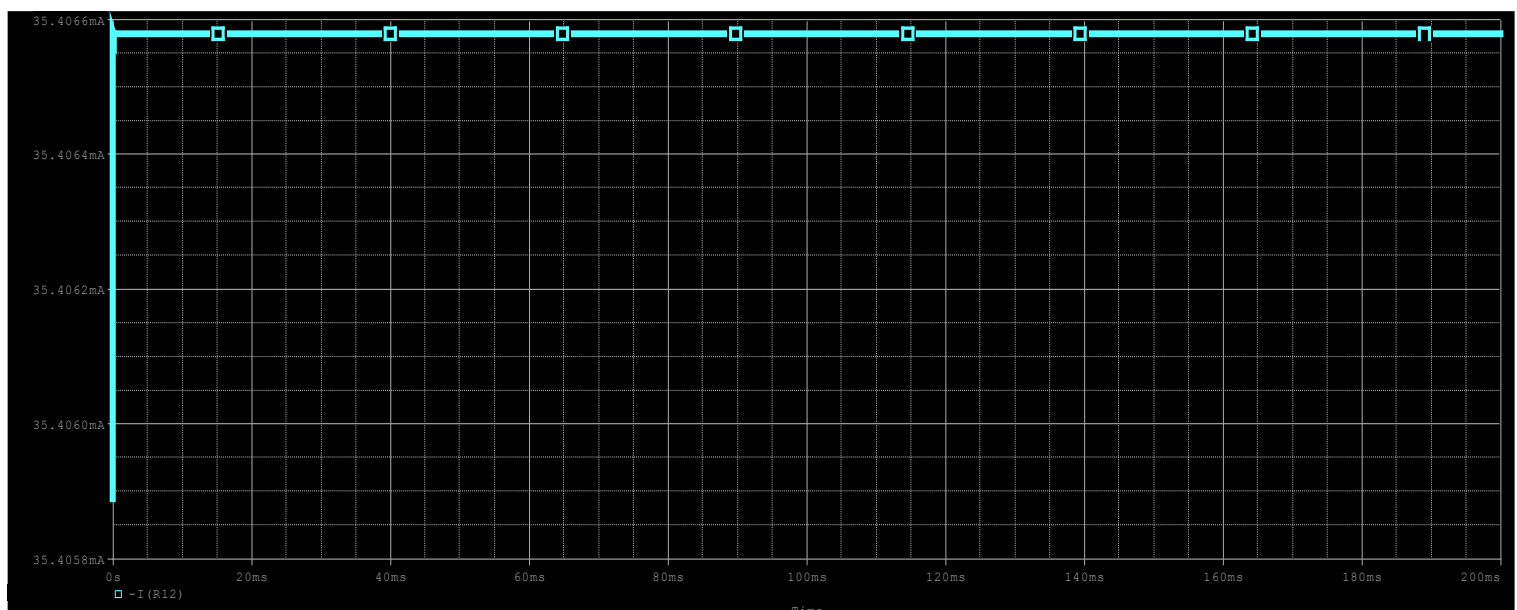


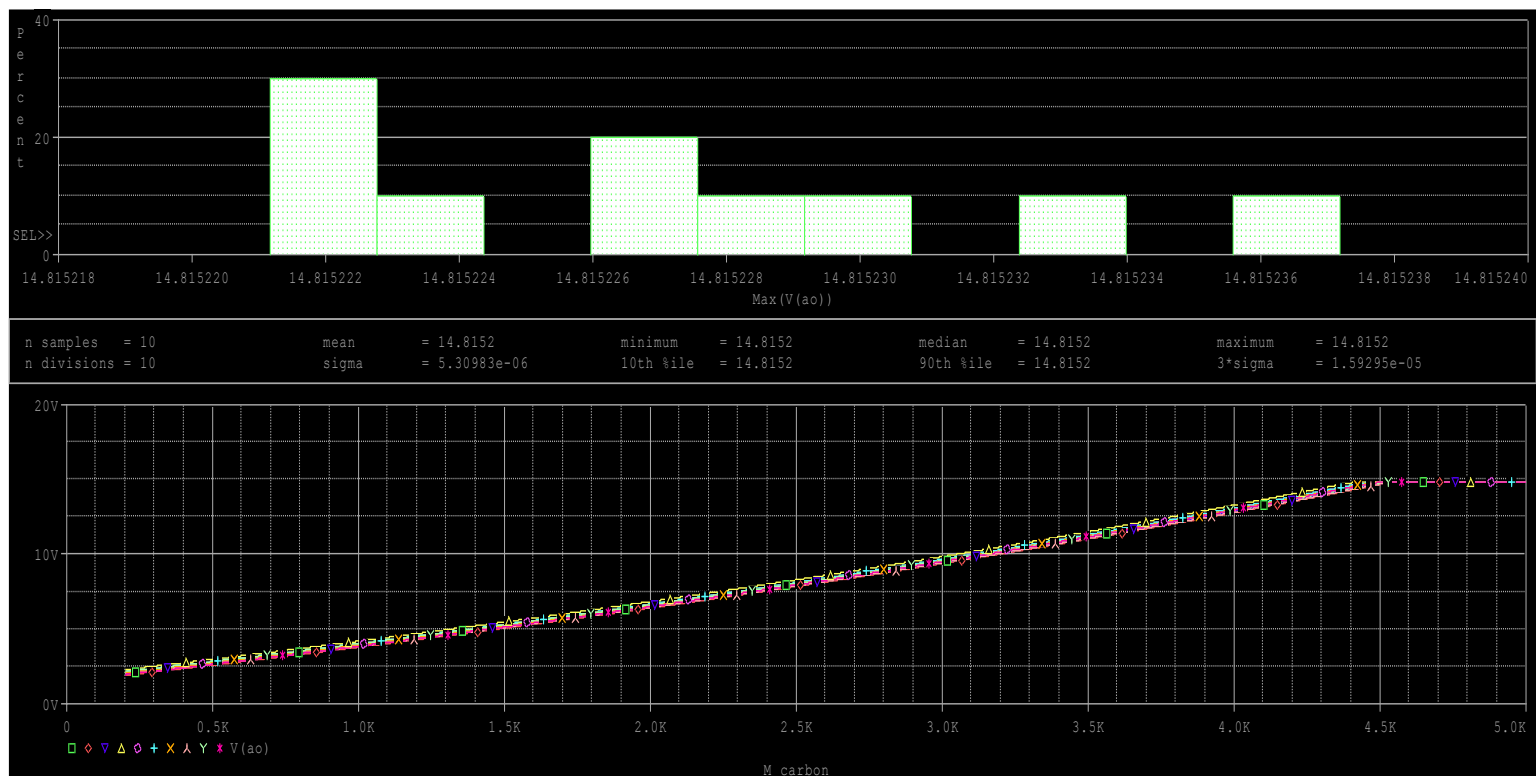
Figura 21 Analiză tranzitorie diodă polarizată direct



4.7 Analiză Monte-Carlo

Pentru a determina, statistic, comportarea circuitului când valorile rezistențelor sunt modificate în domeniul lor de toleranță (1%), am creat o analiză Monte-Carlo, care oferă o imagine reală a funcționării circuitului. În Figura 22 sunt reprezentate rezultatele analizei Monte-Carlo, semnalul de ieșire fiind tensiunea de la ieșirea convertorului de domeniu. Se observă comportarea circuitului, când valorile rezistențelor sunt modificate în domeniul lor de toleranță, senzorul rezistiv se menține în domeniu de valori, rezultând că semnalul ce intră în comparator se menține în domeniul de variație convertit, iar releul electromagnetic comandă pornirea/oprirea ventilatorului. În Figura 23, sunt rezultatele unei analize Worst-case/Sensitivity, în care observăm că variația componentelor în condiții extreme se află relativ aproape de domeniul de monoxid măsurabil, cu o mică neidealitate, scopul analizei fiind de a demonstra cum variațiile extreme ale parametrilor componentelor pot afecta performanța circuitului.

Figura 22 Analiză Monte-Carlo

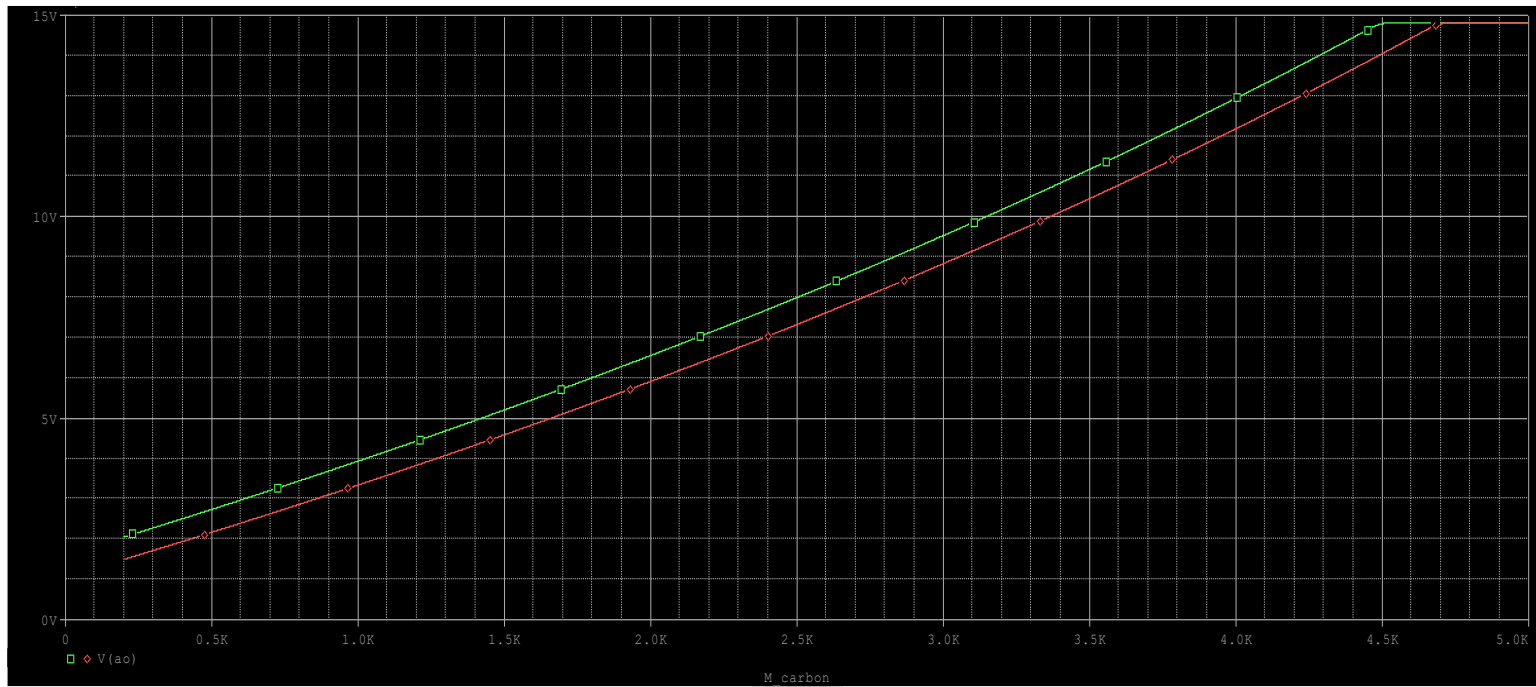


4.8 Analiza Worst-case/Sensitivity

În Figura 23, sunt rezultatele unei analize Worst-case/Sensitivity, în care observăm că variația componentelor în condiții extreme se află relativ aproape de domeniul de monoxid măsurabil, cu o mică neidealitate, scopul analizei

fiind de a demonstra cum variațiile extreme ale parametrilor componentelor pot afecta performanța circuitului.

Figura 23. Analiza worst-case scenario



5. Bibliografie

Emilia Șipoș, Laura Ivanciu, *Dispozitive electronice. Probleme rezolvate*,
U.T.PRESS, Cluj-Napoca, 2016

“<https://plotdigitizer.com/>”

“[https:// electronicsplanet.ch/](https://electronicsplanet.ch/)”

“<https://electroniclight.ro/>”

“<https://farnell.com/>”