 

**Proiect Tehnici CAD**

**Circuit pentru controlul concentrației de monoxid de carbon într-o incintă**

**Profesori îndrumători:**

**Prof. Dr. Ing. Ovidiu Aurel Pop**

**Asist. Drd. Ing. Ana-Cristina Davidaș**

**Studentă:**

**Golgoțiu Andreea-Florina**

**Grupa 2126**

**Seria B**

**CUPRINS**

**1. Specificații de proiectare**

**2. Schema Bloc**

**3. Schema Electrică**

**3.1 Etajul sursei de curent**

**3.2 Etajul de conversie a domeniului tensiunii de ieșire**

**3.3 Etajul de comparare**

**3.4 Releu**

**4. Simulări**

## 4.1. Oglinda de curent standard

## 4.2. Caracteristica LED-ului

## 4.3. Simularea circuitului propus

**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 monoxid de carbon între limitele 300…10000 [ppm]. În incintă există o sursă care generează în continuu monoxid de carbon. În momentul în care concentrația a ajuns la limita superioară 10000 [ppm], sistemul va porni ventilatorul care va introduce aer curat. Când concentrația de monoxid de carbon ajunge la limita inferioară 300 [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 100…12000 [ppm], rezistența electrică a senzorului variază liniar în domeniul 90K- 45K. Variația rezistenței electrice a senzorului trebuie convertită într-o variație de tensiune în domeniul [2÷(Vcc-2V)]. Vcc are valoarea 18V. 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 roșu.

**2. Schema Bloc**

Pe baza specificațiilor s-a generat schema bloc din Figura 1 care implementează funcționalitatea.

Ventilator și LED

Sursă de curent

Sursă de alimentare

Comanda LED și releu

Comparator cu histerezis

Convertor de domeniu de tensiune

Senzor

Figura 1. Schema bloc a circuitului

**3. Schema Electrică**



**3.1 Etajul sursei de curent standard**

****

Tot ansamblul este alimentat de la o sursă de tensiune dublă ±18Vcc, VCC\_ARROW fiind denumirea aleasă în OrCAD pentru cea pozitivă, respectiv negativă pentru VCC\_WAVE.

Senzorul fiind o rezistență variabilă, trebuie practic să măsurăm câți ohmi are. Pentru a transforma variația de rezistență în variație de tensiune, utilizăm legea lui Ohm, ce se observă în ecuția (1). Astfel, dacă avem un curent constant prin senzor, vom avea la bornele lui o tensiune proporțională cu rezistența sa:

(1)

Un curent constant îl putem obține cu ajutorul unei surse de curent, implementată cu A.O. sau cu tranzistoare, cum este în acest caz. Cele două tranzistoare Q2N2907 sunt bipolare de tip PNP. Rezistențele R1 și R2 sunt egale, ceea ce înseamnă că avem oglindă de curent. Rezistența de referință, Rref este rezistența R3 din circuitul proiectat în OrCAD. Rezistențele fac parte din seria exponențială 192, având toleranța 0,5%. Curentul senzorului este notat cu Is.

R1 = R2 = 1KΩ; Is = I1

I1 =

R3 = Rref = – R1 = 107 KΩ

**3.2 Etajul de conversie a domeniului tensiunii de ieșire**

****

Pentru a expanda domeniul de tensiune parcurs de senzor în cazul plajei de concentrații de CO, se va utiliza un convertor de domeniu de tensiune implementat cu un A.O. de tip TL082, tensiunea de la senzor fiind aplicată pe intrarea neinversoare „+”. Va trebui să calculăm bucla de reacție negativă și tensiunea de deplasament aplicată pe intrarea inversoare „-”.

Concentrația de CO:

100 ppm ……. 90K ….. 16V

12000 ppm …..45K ….. 2V

VCC=18V

Din Legea lui Ohm (1) se va calcula curentul senzorului, Is.

Is = = = 0,1(7) mA

Alegem Is = 160 µA.

100 ppm ……. 90K ….. U = Is × R = 14,4V

12000 ppm …..45K ….. U = 7,2V

Rr

R1

U1

Uin

Uies

R2

Figura 2. Schema convertorul de domeniu

În Figura 2 se reliefează schema convertorul de domeniu de la care am pornit.

În Figura 3 am evidențiat caracteristica statică de transfer în tensiune, Uies fiind tensiunea de ieșire, iar Uin tensiunea de intrare. Graficul reprezintă un translator de nivel.

14,4

7,2

-20

Uies[V]

Uin[V]

16

Figura 3. Caracteristica statică de transfer în tensiune Uies(Uin)

2

1

θ

Uin = [7,2 … 14,4]V

Uies = [2 … 16]V

Uies, max, respectiv Uies, min este tensiunea de ieșire maximă, respectiv minimă. Uin, max și Uin, min sunt tensiunile de intrare maximă și minimă. Rr reprezintă notația rezistorului de reacție.

Uies, max = - U1 + Uin, max ( 1+

Uies, min = - U1 + Uin, min ( 1+

Scăzând cele două ecuații se obține:

Uies, max - Uies, min = (Uin, max - Uin, min) ( 1+

A ur+ este notația pentru amplificarea in tensiune cu tensiune neinversoare (+), iar Aur- pentru amplificarea in tensiune cu tensiune inversoare (-).

A ur+ = 1+

A ur+ = = = = 1,94(4) >1

A ur- =

A ur- = 0,9(4)

Dacă Rr=10,5KΩ, rezistență ce face parte din seria exponențială E192 cu toleranță 0,5%, rezistența R1 va fi egală cu 11,117647 KΩ.

Se înlocuiește numeric în Uies, max = - U1 + Uin, max ( 1+

=> 16 = - ×U1 + 14,4×( 1+

16 = - ×U1 +27,999999

0,9444444494×U1 = 11,999999

U1 = 12,70588 V

U1=

(2)

Ecuația (2) semnifică un divizor de tensiune pentru calcularea lui R1 care este paralel cu R1’ și R1".

R1 = R1’ || R1" =

=> 1+ = = 1,4166667

R1’ = 0,41666667 R1"

11,117647 =

11,117647 = 0,2941176425×R1"

R1" = 37,799999587 KΩ 37 KΩ (E192; toleranță 0,5%)

R1’ = 15,74999995 KΩ 13,8 KΩ

R2 = R1 || Rr = =

R2 = 5,3999999 KΩ 5,36 KΩ (E192; toleranță 0,5%)

15,8K

R1’

Rr=10,5KΩ

+VCC

U1

37,8K

R1” \

-VCC

R2

5,36K

Figura 4. Convertor de domeniu de tensiune

În Figura 4 este reprezentat convertorul de domeniu de tensiune. În proiectarea OrCAD am renunțat la R2 pentru egalizare, dacă AO nu este de calitate și pentru polarizarea curenților astfel încât să nu existe erori. Prin urmare, R1’ în OrCAD este R4, R1" este R5, iar Rr este R6.

Rs[Ω]

12000

100

2

*C* [ppm]

90K

Figura 5. Caracteristica statică de transfer în tensiune a senzorului în funcție de concentrație și rezistența la ieșire

45K

1

Funcția între Rs și concentrație este o dreaptă.

Dreapta: =

=

-11900×Rs + 5,355× = - 540

-11900×Rs =

Rs = -3,78151 + 9,037815

Rs = -3,78151 + 90378,15

Pragurile sunt notate cu Pj, pragul de jos și Ps, pragul de sus. Rsj, respectiv Rss sunt notațiile rezistenței senzorului jos și sus.

Pj = 300ppm => Rsj = 89243,7Ω / 14,279V

Ps = 10000ppm => Rss = 52563Ω / 8,41V

**3.3 Etajul de comparare**



R1

RL

U2

Ucom

Ucomp

R2

Rr

Figura 6. Comparator cu histerezis

Am notat cu Rr rezistorul de reacție al comparatorului, Ucom tensiunea de comandă și Ucomp tensiunea comparatorului. Pentru mărirea preciziei la ieșirea AO TL082 am folosit două diode Zener D02CZ16 să limiteze la 2 mA, deoarece la 10 mA se ard. Tensiunea de ieșire pozitivă, Uemp este +16,7V pentru ”1” logic, iar tensiunea de ieșire negativă Uemn este -16,7V pentru ”0” logic.

Va trebui să transformăm concentrațiile limită în niveluri de tensiune, iar aceste mărimi să le considerăm pragurile unui comparator cu histerezis. Trebuie să dimensionăm bucla de reacție pozitivă a acestuia, și obținerea tensiunii fixe cu care se face comparația.

Comparatorul este unul cu histerezis, având două tensiuni de prag ce previn comutările nedorite datorate zgomotului. U’comp reprezintă tensiunea de prag superioară VPH, High Threshold Voltage, iar U”comp tensiunea de prag inferioară VPL, Low Threshold Voltage. În Figura 7. Se poate observa caracteristica statică de transfer în tensiune Ucom(Ucomp).

U’comp = Rsj × Is = 15,7647V

U”comp = Rss × Is = 4,35278V

U’comp = U2 × – Uemn ×

U”comp = U2 × – Uemp ×

Scădem cele două ecuații și se obține:

U’comp - U”comp= - (Uemp - Uemn)

= 0,3416743

Alegem Rr=10KΩ (standard) și R2=3,4KΩ (seria E96, toleranță 1%).

*Ucom*[V]

Figura 7. Caracteristica statică de transfer în tensiune *vO*(*vI*), respectiv Ucom(Ucomp)

U’com

U”com

Ucomp[V]

+16,7

-16,7

0

10,0867

U2 × =10,0867V

15,7647= U2 × + 16,7 ×

U2= 7,52739V

R1= R2 || Rr = = 2,537 KΩ

Din teorema lui Thevenin se obține tensiunea U2.

U2 =

R1= R1’ || R1” =

7,52739 =

2,537K =

= 1,391267 => R1’ = 1,391267 × R1"

2,537K =

R1" = 4,36 KΩ → 4,37 KΩ

R1’ = 6,06664 KΩ → 6,04 KΩ (E192; 0,5%)

Ue,max = Vcc -1V= 18V- 1V= 17V

Ie = = 2 mA

RL = = = 150 Ω

Ie reprezintă curentul la ieșirea comparatorului. Ue, max este tensiunea de ieșire maximă. Astfel, în proiectarea OrCAD a comparatorului cu histerezis vom avea R1’= R7 = 6,04 KΩ, R1"=R8= 4,37KΩ, Rr = R11=10 KΩ, R2 = R10 = 3,4 KΩ, RL =R9 = 150 Ω.

**3.4 Releu și LED**

****

La ieșirea comparatorului se va cupla un amplificator cu tranzistoare, care va comanda cu curentul necesar bobina releului (poate fi modelată printr-o rezistență), precum și un LED roșu ce indică faptul că ventilatorul cuplat pe contactul N. I. (normal închis) al releului este oprit.

Am folosit circuit Darlington cu doi tranzistori bipolari de tip NPN, pentru comandă ușoară cu curent mic. Am utilizat carcateristicile LED-ului roșu cu tensiunea de cădere directă VD=1,7V la curentul nominal ID=10mA. Rezistența bobinei, R15 este 500 Ω.

RLED= = 1,63 KΩ → 1,6 K (E24; 5%)

IC = ID + IREL = 46mA ≈ 50mA

Ecuația (3) reprezintă calculul curentului ce trece prin colector, IC fiind egal cu produsul dintre factorul de amplificare directă în curent β, care are valoarea 100 și curentul prin bază, IB.

IC = β× IB

(3)

IB = = 50 µA

IdivB = 10 × IB = 10 × 50 µA = 500 µA

RB1 = = 30,6 KΩ 30 KΩ

RB2 = = 2857 KΩ 3 KΩ

VBE,on este tensiunea de prag a joncțiunii bază- emitor pentru un tranzistor bipolar și este aproximativ 0,7 V. IdivB este curentul divizorului de bază. RLED reprezintă rezistența LED-ului, reprezentată în OrCAD ca R14 de 1,6 KΩ. RB1 de 30 KΩ și RB2 de 3 KΩ sunt rezistențele din baza tranzistorului BC547A, reprezentate în OrCAD ca R12, respectiv R13. IREL este curentul ce trece prin releu.

**4. Simulări**

Verificarea proiectării precum și demonstrarea funcționării corecte se va face prin intermediul simulărilor realizate cu pachetul Orcad X Professional Plus. Se folosesc modulele Capture CIS, pentru introducerea schemei, și PSpice, pentru rularea simulărilor.

## 4.1. Oglinda de curent standard

S-a realizat o simulare pentru a verifica funcționarea sursei de curent ce va alimenta rezistența sensibilă la gaz a senzorului.

A diagram of a circuit

Description automatically generated

Figura 8. Oglinda de curent

Se începe cu o simulare de punct static de funcționare (.OP).

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Figura 9. Parametrii de simulare pentru aflarea punctului static de funcționare

Rezultatele vor fi afișare direct pe schemă, ne interesează valoarea curentului prin ramura de circuit ce îl conține pe R4 să fie conformă cu valoarea calculată de *160μA*.

Apoi se configurează un parametru {Rp} care va lua valori în domeniul 45kΩ → 90kΩ, pentru a verifica faptul că vom obține o valoare de tensiune proporțională direct cu rezistența, iar curentul se va menține constant indiferent de valoarea rezistenței senzorului (funcționează ca o sursă de curent constant).

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Figura 10. Configurarea simulării parametrice

Se face o simulare de tip DC unde se va face o variație a rezistenței cu pas de 5kΩ între valorile din cerință 45 kΩ și 90 kΩ. Practic vor rula câte o simulare pentru fiecare pas.

A graph with lines and numbers

Description automatically generated

Figura 11. Rezultatele grafice ale simulării parametrice

Vom obține un grafic unde pe axa Ox vom avea valoarea rezistenței (parametrul) și pe Oy mărimea de interes. Se observă că tensiunea crește liniar, graficul fiind o dreaptă cu panta determinată de Is și curentul se menține aproximativ constant (cu foarte mici erori) la valoarea impusă.

## 4.2. Caracteristica LED-ului

Pentru a verifica tensiunea de deschidere a LED-ului dacă este conform cu cea dată în foaia de catalog și totodată a confirma funcționarea circuitul său cu rezistor de limitare, se efectuează o simulare simplă și cu acesta.

A diagram of a circuit

Description automatically generated

Figura 12. Circuitul aferent LED-ului

Se va face o analiză tot de tip DC cu variația sursei V1 liniar între 0 și 30V cu pas de 0.5V.

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Figura 13. Analiza dc pentru caracteristica LED-ului

Astfel se va atinge și valoarea de 18V, la cât se alimentează circuitul, precum și pornind de la 0 se va surprinde tensiunea de deschidere (cotul caracteristicii).

A graph with lines and a red line

Description automatically generated

Figura 14. Caracteristica LED-ului roșu (verificare model spice)

Tensiunea raportată de deschidere este de 1,8V și se confirmă că este bine implementată în modelul spice utilizat.

A graph with lines and a red line

Description automatically generated

Figura 15. Curentul prin LED în funcție de tensiunea de alimentare

Dacă se lasă pe axa Ox tensiunea de alimentare V1, atunci se poate observa că utilizând rezistorul de *1,6* KΩ, curentul prin LED este de 10mA, cât am dorit în partea de alimentare.

## 4.3. Simularea circuitului propus

Întreg circuitul proiectat a fost implementat în simulator, în vederea verificării funcționării acestuia. Releul s-a modelat prin rezistorul R15 și s-a cuplat și dioda de protecție împotriva supratensiunii generate de bobina acestuia la comutarea tranzistorului de putere.

A diagram of a circuit

Description automatically generated

Figura 16. Circuitul complet

Schema urmărește blocurile funcționale din diagrama prezentată inițial.

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Figura 17. Configurarea simulării parametrice

Prima simulare este una parametrică, panta fiind crescătoare, trebuind să se activeze pragul superior al comparatorului.

A graph with lines and numbers

Description automatically generated

Figura 18. Funcționarea convertorului de domeniu de tensiune

Se observă că tensiunea la ieșirea A.O. corespunde domeniului cerut.

A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Figura 19. Funcționarea circuitului la scăderea concentrației de CO

La scăderea concentrației de CO rezistența senzorului crește, parametrul nostru fiind implementat crescător. Când se atinge pragul, comparatorul comută, se va aprinde LED-ul roșu, iar releul va decupla alimentarea ventilatorului.

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Figura 20. Configurarea pentru scăderea parametrului

Pentru a emula creșterea concentrației de gaz, se inversează limitele, iar pasul devine negativ.

A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Figura 21. Funcționarea circuitului la creșterea concentrației de CO

Se observă că cu scăderea rezistenței, se atinge pragul inferior și releul este declanșat să pornească ventilatorul, LED-ul fiind, în același timp, stins.

Deoarece parametrii pieselor reale variază cu temperatura, s-a introdus o nouă baleiere, aceasta cu temperatura.

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Figura 22. Simularea cu temperatura

Se introduce un interval de -40 → +80°C, similar cu cel utilizat în echipamentele auto.

A graph with lines and numbers

Description automatically generated

Figura 23. Rezultatele simulării cu temperatura, pentru scăderea concentrației

Se observă că la temperatura extremă de +80°C nu mai există comutația releului, ceea ce poate constitui o problemă. În rest variază pragul de comparație în limite sesizabile.

A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Figura 24. Rezultatele simulării cu temperatura, pentru creșterea concentrației

Același lucru este valabil și la creșterea concentrației. Aici se observă clar indecizia de comandă a releului și a LED-ului.

Petru a studia influența toleranțelor asupra funcționării corecte s-a configurat și o simulare Monte Carlo pentru o distribuție normală (Gauss) a variației din cauza toleranțelor. Pentru toate rezistoarele s-a introdus toleranța de 0.5%, acestea considerându-se de bună calitate.

A screenshot of a computer

Description automatically generated

Figura 25. Configurarea simulărilor Monte Carlo

Se vor face 100 de rulări ale simulării utilizând toleranțe aleatoare în limitele de 0.5%. Cea mai importantă mărime este tensiunea de la ieșire, deoarece aceasta determină starea ventilatorului prin intermediul releului.

A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Figura 26. Rezultatele simulărilor Monte Carlo, pentru scăderea concentrației de CO

Se observă că pentru o combinație nefastă de sensuri de variație a dispersiei valorilor, se poate întâmpla ca releul să nu fie comandat. De asemenea, toleranțele au o influență destul de pregnantă asupra pragului de comparație.

A graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

Figura 27. Rezultatele simulărilor Monte Carlo, pentru creșterea concentrației de CO

Și în cazul creșterii concentrației de CO și scăderii rezistenței senzorului se observă variația vizibilă a pragului.

Se recomandă deci utilizarea unor piese de bună calitate, rezistoare cu peliculă metalică de exemplu. De asemenea, piesele ale căror valori intervin în formulele de proiectare ce stabilesc nivelurile de tensiune, ar fi bine să fie selectate prin măsurători. Se recomandă și menținerea echipamentului la o temperatură constantă și evitarea condițiilor extreme.

**5. Referințe**

[1] L. Feștilă, „Circuite integrate analogice,” Casa Cărții de Știință, Cluj, 1999

[2] L. Jurcă, M. Ciugudean, „Circuite integrate analogice,” Ed. Politehnica, Timișoara, 2014

[3] A. Manolescu, A. Manolescu, I. Mihuț, T. Mureșan, L. Turic, „Circuite integrate liniare,” Ed. Didactică și pedagogică, București, 1983

[4] A. Vladimirescu, “The Spice Book,” J. Wiley & Sons, New York, 1994