

Lucrarea 10

APLICAȚII ALE COMPARATOARELOR

1. Considerații tehnologice și de proiectare

Datorită facilităților prezentate în Lucrarea 7 comparatoarele sunt o familie de circuite liniare deosebit de versatilă, ușor de folosit, fiind utilizate într-o gamă largă de aplicații. Dintre acestea, domeniul automatizărilor industriale este un domeniu prioritar. Comparatoarele sunt deosebit de utile în realizarea traductoarelor și a întrefețelor între diverse familii logice sau categorii de semnale.

În lucrarea de față se vor studia mai multe tipuri de traductoare, circuite de interfață și circuite logice în care elementul activ principal este comparatorul.

Este util de reținut câteva considerente legate de utilizarea practică a comparatoarelor în circuitele proiectate.

În general comparatoarele sunt caracterizate de amplificarea mare în buclă deschisă și de bandă largă de frecvențe în care pot lucra. Aceste avantaje evidente pot deveni impedimente în cazul în care nu se acordă atenția cuvenită asigurării condițiilor de stabilitate, atât în proiectarea electrică a schemelor cât și în proiectarea tehnologică (proiectarea cablajelor imprimate, a traseelor arborilor de conectare, etc).

Datorită timpilor mici de comutare semnalele de ieșire ale comparatoarelor sunt deosebit de bogate în armonici superioare, aceasta ducând cu ușurință la apariția de reacții capacitive nedorite ce pot determina oscilații care perturbă funcționarea montajului în sine sau a altor montaje.

O măsură de protecție obligatorie împotriva perturbării altor blocuri din schemă este decuplarea terminalelor de alimentare în imediata apropiere a circuitului. Pentru decuplare se vor folosi condensatoare electrolitice neinductive (cu tantal) având capacități de ordinul 0,1... 3 F sau condensatoare ceramice de 0,1... 0,47 F. Acolo unde este posibil se vor folosi trasee de masă separate pentru circuitele de semnal față de masa de alimentare.

Decuplarea alimentării nu înlătură întotdeauna pericolul apariției de oscilații la etajul în cauză, fiind necesară realizarea cablajului imprimat în așa fel încât să se micșoreze capacitățile parazite între ieșire și intrări.

Sensibilitatea circuitului la cuplaje parazite scade simțitor atunci când se reduce rezistența de intrare sub valoarea de 10... 15 k Ω .

Fenomenele oscilante apar cu precădere pe fronturile de tranziție și de aceea ori de câte ori este posibil se va utiliza o reacție pozitivă (histerezis) cu lățimea de ordinul a 5... 10 mV, aceasta stabilizând fronturile și eliminând oscilațiile din intrarea comparatorului prin introducerea supracreșterii. Această măsură duce și la micșorarea timpilor de basculare a circuitului.

Trebuie reținut că sensibilitatea la oscilații este mai mare în cazul semnalelor cu fronturi lente.

Frontul de cădere al semnalului de ieșire al comparatoarelor este foarte bun dar, datorită etajului de ieșire *open collector* nu întotdeauna și frontul de creștere este rapid. Pentru a asigura un front de creștere cât mai rapid este necesar a se micșora pe cât posibil încărcarea capacitivă a ieșirii.

Cele mai utilizate comparatoare sunt încapsulate câte două sau patru în același circuit integrat. Dacă dintr-o capsulă nu se folosesc toate comparatoarele, intrările și ieșirile comparatoarelor neutilizate trebuie legate la masă.

2. Senzor de temperatură

Senzorii și traductoarele sunt ansambluri electronice cu rolul de a furniza informații electrice despre mărimi, în general, de natură neelectrică.

În compunerea unui traductor intră unul sau mai multe elemente sensibile și un bloc de prelucrare a semnalului generat de acestea. De multe ori nu este important a se cunoaște exact valoarea mărimii neelectrice în cauză dar trebuie știut în ce relație se află aceasta față de una sau mai multe referințe stabilite.

Circuitele care permit determinarea cantitativă a mărimii parametrului neelectric se numesc traductoare iar pentru cele care oferă doar informații calitative (relative față de mărimile de referință) se utilizează denumirea de senzori.

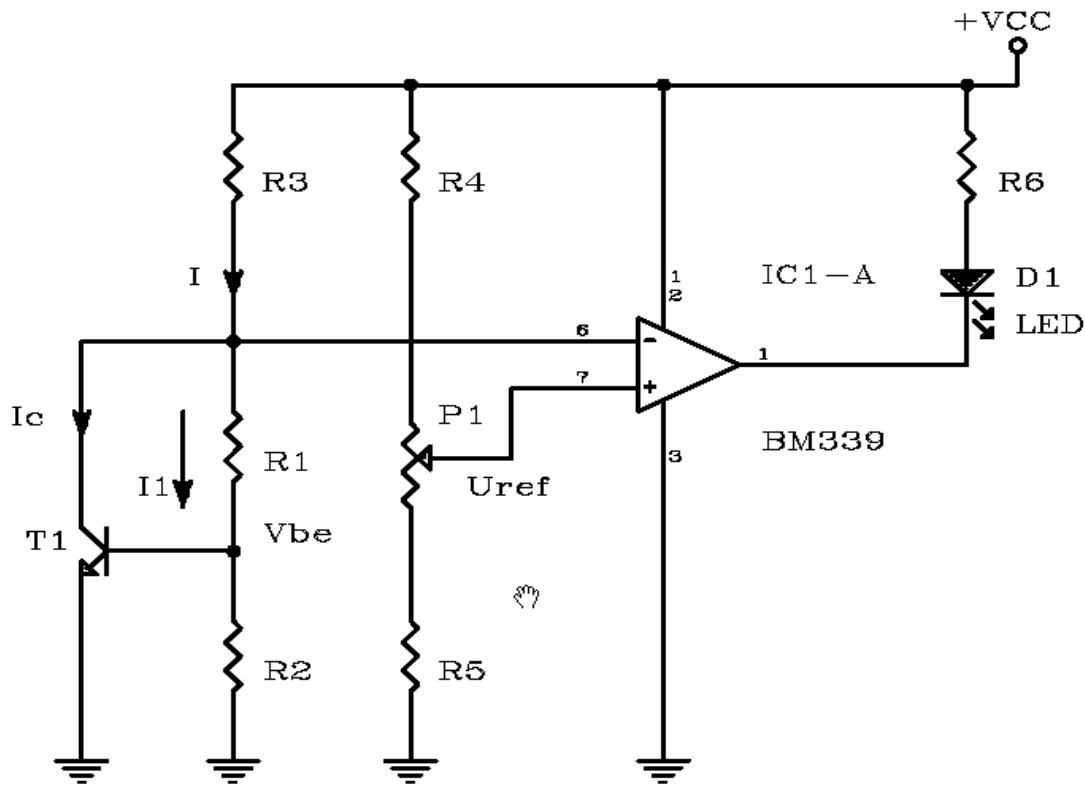


Fig. 1

În Figura 1 este prezentată schema unui senzor de temperatură cu răspuns binar.

Informația de ieșire a acestui senzor arată dacă temperatura elementului sensibil este mai mare sau mai mică față de o valoare dată, reglabilă.

Funcționarea schemei

Elementul sensibil la variațiile de temperatură este tranzistorul T_1 , prin tensiunea V_{BE} . Acesta este montat într-o schemă denumită multiplicator de V_{BE} , cu rolul de a-i mări sensibilitatea, cu alte cuvinte pentru a obține o variație mai mare a tensiunii de ieșire pentru aceeași variație de temperatură.

Vom presupune că putem neglija curentul de bază al tranzistorului T_1 în raport cu curentul I , că tensiunea de lucru a joncțiunii B-E în conducție a tranzistorului T_1 este $0,6V$ la $22^\circ C$ și că această tensiune are un gradient termic $\frac{\partial V_{BEon}}{\partial T}$ de $-2mV/^\circ C$. Se poate scrie ecuația divizorului de tensiune pentru R_1 și R_2 :

$$V_{BE} = V_{CE} \frac{R_2}{R_1 + R_2};$$

$$I_C = I_S \exp \frac{V_{BE}}{V_T} = I_S \exp \frac{V_{CE} * R_2}{V_T (R_1 + R_2)};$$

Pentru $I_C \gg I_1$ se poate aproxima:

$$I \approx I_S \exp \frac{V_{CE} * R_2}{V_T (R_1 + R_2)}, \text{ din care se obține:}$$

$$V_{CE} = V_T \frac{R_1 + R_2}{R_2} \ln \frac{I}{I_S} = 1 + \frac{R_1}{R_2} V_{BE}.$$

Relația de mai sus arată că tensiunea C-E a tranzistorului T_1 multiplică de $1 + \frac{R_1}{R_2}$ ori tensiunea V_{BE} , care la rândul său variază cu temperatura.

Rezistorul R_3 are rolul de sarcină în colectorul tranzistorului T, în cazul aplicațiilor care necesită o precizie sau o liniaritate mai bună acesta poate fi înlocuit cu un generator de curent constant.

R_4 împreună cu R_5 și P_1 formează un divizor reglabil de tensiune, potențialul cules din cursorul lui P_1 fiind aplicat pe intrarea neinversoare a comparatorului IC1-A și îndeplinind funcția de tensiune de referință.

R_6 limitează curentul direct prin L.E.D.-ul D_1 , atunci când tranzistorul de ieșire al comparatorului este saturat la valoarea de lucru:

$$I_F = \frac{V_{CC} (U_F + U_{CEsat})}{R_6}.$$

Să presupunem că temperatura tranzistorului T_1 este sub temperatura de referință, simulată prin reglajul lui P_1 . Tensiunea V_{CE} este mai mare decât tensiunea de referință și ca urmare ieșirea comparatorului este saturată iar L.E.D.-ul D_1 este aprins indicând "temperatură sub limita minimă admisă".

La creșterea temperaturii V_{BE} scade, V_{CE} scade și el și atunci când $V_{CE} > U_{ref}$ tranzistorul din ieșirea comparatorului se blochează și L.E.D.-ul se stinge.

3. Traductor magnetic

Traductoarele magnetice pot fi folosite pentru a detecta variațiile de câmp magnetic, pentru citirea cu ajutorul unui cap magnetic a informației

memorată digital pe un suport magnetic (de exemplu cartelele acces la metrou), ca detectoare de poziție sau pentru determinarea turației sau referinței de fază pentru dispozitive aflate în mișcare de rotație, pe care s-a montat un magnet permanent.

În unele aplicații magnetul permanent nu este montat pe obiectul aflat în mișcare de rotație, el fiind amplasat lângă elementul sensibil, variația de câmp magnetic fiind generată de neuniformitățile obiectului aflat în mișcare, dacă acesta este realizat din material feromagnetic (de exemplu pentru determinarea turației unei roți dințate prin determinarea numărului de dinți ce trec prin fața traductorului într-un interval de timp dat).

În Fig. 2 este prezentată schema electrică a unui traductor magnetic.

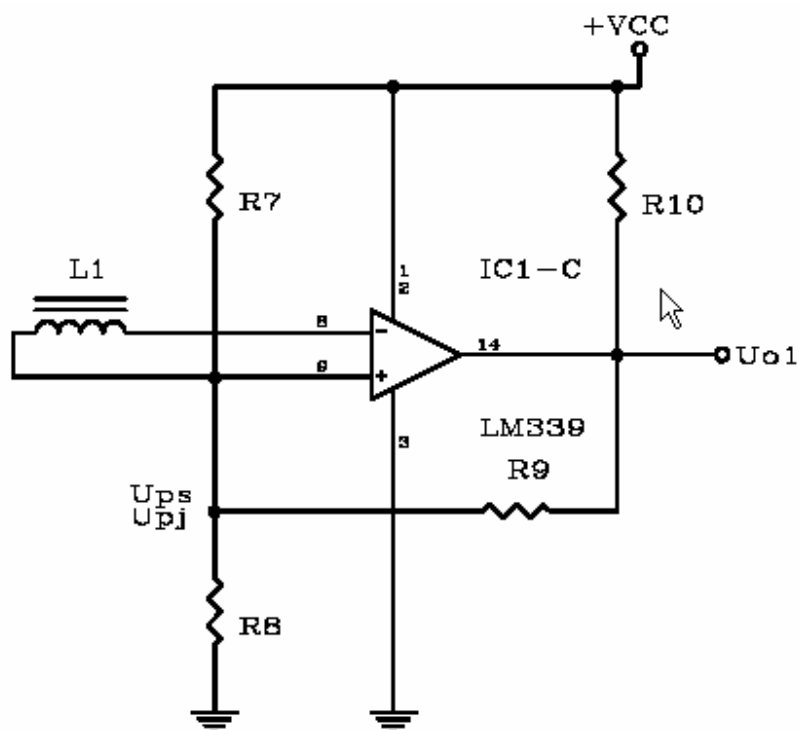


Fig. 2

Elementul sensibil este bobina cu miez magnetic L_1 .

IC1-C lucrează într-o schemă de comparator inversor cu histerezis, reacția pozitivă fiind asigurată de R_9 , care determină valoarea histerezisului pentru R_7 , R_8 , R_{10} și V_{CC} date.

Deoarece această categorie de montaje lucrează cu valori foarte mici ale histerezisului, de ordinul mV, este îndeplinită condiția $R_9 \gg R_{10}$, deci în calcule se poate neglija R_{10} .

De obicei rezistențele R_7 și R_8 au valori egale pentru a se lucra cu praguri simetrice față de jumătatea tensiunii de alimentare. Notăm această valoare cu R . Se pune problema deducerii unei relații de calcul pentru R_9 astfel încât să obținem valoarea dorită a histerezisului în condițiile de mai sus.

$$U_{pj} = V_{CC} \frac{R^2 + R * R_9}{R^2 + 2R * R_9};$$

$$U_{ps} = V_{CC} \frac{R * R_9}{R^2 + 2R * R_9};$$

$$\Delta H = U_{pj} - U_{ps} = V_{CC} \frac{R^2}{R^2 + 2R * R_9}; \text{ de unde,}$$

$$R_9 = R \frac{V_{CC} \Delta H}{\Delta H}.$$

Tensiunea de intrare este aplicată pe intrarea inversoare având drept referință tensiunea curentă de prag (U_{pj} dacă $U_{o1} = V_{CC}$ și U_{ps} dacă $U_o = GND$).

Acest mod de conectare asigură o protecție suplimentară la semnale parazite, prin adăugarea peste semnalul util a unei supracreșteri pozitive la bascularea "L-H" și negative la bascularea "H-L". Semnalele parazite trebuie să aibă o amplitudine mai mică decât pentru a putea fi rejectate.

Mărirea exagerată a histerezisului poate duce la insensibilizarea montajului față de semnalul util dacă nu se îndeplinește condiția $\frac{1}{2}e \geq \Delta H$ unde e este valoarea vârf la vârf a tensiunii electromotoare generată în L_1 de câmpul magnetic util.

Putem rezuma că pentru funcționarea corectă a montajului trebuie îndeplinită simultan dubla inegalitate de mai jos:

$$\frac{1}{2}e \geq \Delta H \geq u_v, \text{ unde } u_v = \max(amp_{par}, amp_{par})$$

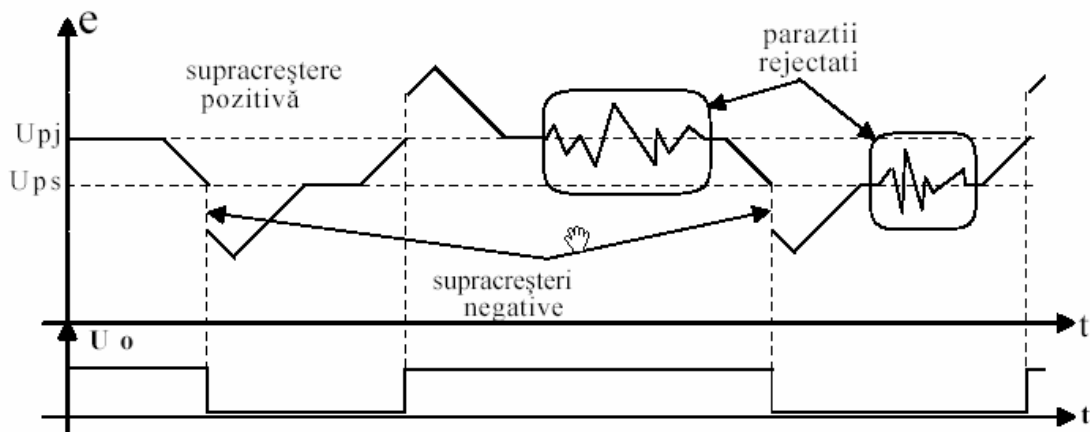


Fig. 3

În Fig. 3 este prezentat grafic un exemplu de rejectare a unor semnale parazite.

4. Traductor optic

Traductoarele optice sunt folosite în instalații de automatizare ori de câte ori informația este prezentă sub forma intensității fluxului luminos. Ca exemple de utilizare se pot enumera lectorul optic de bandă sau cartele perforate, aprinderea automată a luminii, în locuri periculoase, la lăsarea întunericului, receptoare de cablu cu fibre optice, numărarea obiectelor care se deplasează pe o bandă rulantă, traductoare de turație sau referință de fază pentru dispozitive aflate în mișcare de rotație, etc.

În Fig. 4 este prezentată schema electrică a unui traductor optic.

Funcționarea schemei

Elementul sensibil este fototranzistorul FT_1 a cărui sarcină în colector este formată de grupul R_{11}, P_2 .

Curentul de colector al fototranzistorului este direct proporțional cu intensitatea fluxului luminos incident pe joncțiunea B-E a acestuia. Ca urmare tensiunea din colectorul lui FT_1 va fi invers proporțională cu fluxul luminos.

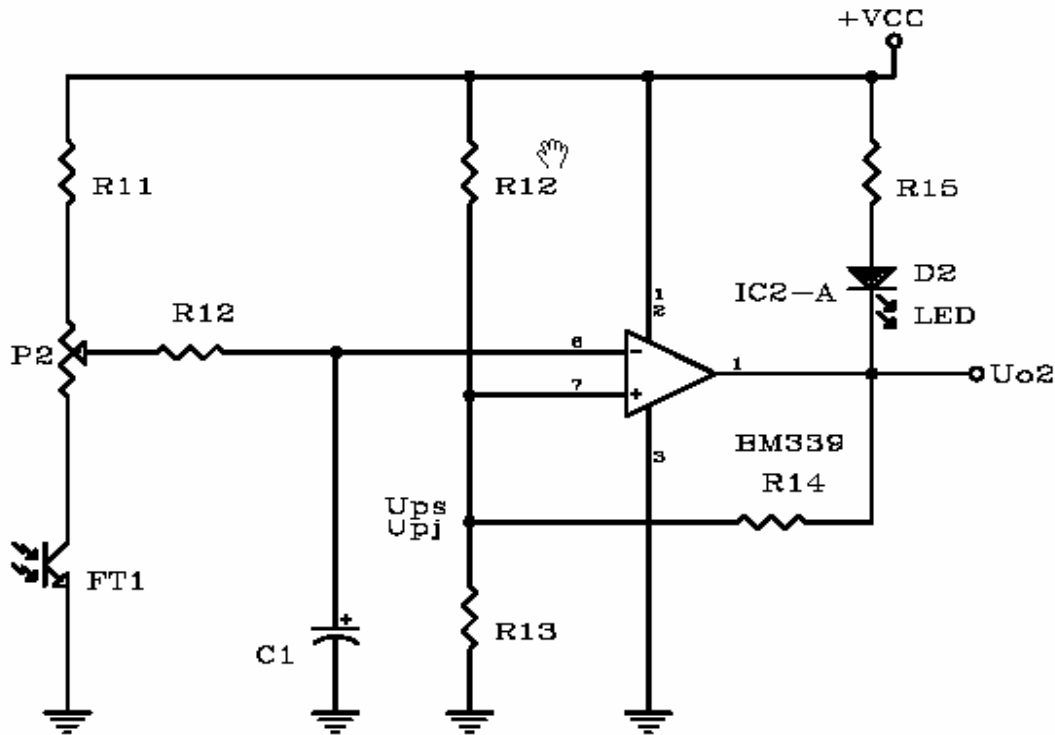


Fig. 4

Relațiile de proiectare pentru această schemă sunt aceleași ca și pentru cea din Fig. 2, cu excepția faptului că pentru acest tip de aplicații se utilizează o valoare pentru histerezis de ordinul zecimilor de volți până la 1,5...2V, în funcție de sensibilitatea fototranzistorului folosit. Acest lucru se datorează pe de o parte variațiilor mult mai mari de tensiune de la ieșirea dispozitivului optosensibil (față de traductorul magnetic), pe de altă parte datorită posibilelor modificări de iluminare în perioada apusului sau răsăritului datorate factorilor meteorologici, care ar duce la stingeri și aprinderi repetate ale dispozitivelor comandate.

Tensiunea de intrare este aplicată din colectorul fototranzistorului pe intrarea inversoare a comparatorului prin intermediul rezistorului R_{12} .

În anumite aplicații un răspuns rapid al traductorului poate fi deranjant (de exemplu trecerea unei păsări prin fața traductorului poate determina aprinderea luminii). Pentru a elimina această categorie de situații se poate introduce condensatorul C_1 (conectat cu linie punctată în Fig. 4), care împreună cu rezistorul R_{12} formează o celulă de integrare micșorând viteza de răspuns a traductorului.

La ieșirea comparatorului se află conectat grupul R_{15} , D_2 cu rol de sarcină pentru tranzistorul final al comparatorului (ieșire open collector), L.E.D.-ul D_2 afișând și informația cu privire la starea comparatorului.

Să presupunem iluminarea ambiantă corespunzătoare stării "stins" pentru dispozitivele de iluminare, deci flux luminos incident mare ceea ce corespunde unei tensiuni scăzute în colectorul lui FT_1 , sub U_{pj} . În această situație ieșirea comparatorului este blocată și deci D_2 stins. La scăderea intensității fluxului luminos tensiunea din colectorul lui FT_1 crește, la un moment dat devenind mai mare decât U_{pj} . În această situație ieșirea comparatorului basculează, tensiunea de ieșire fiind egală cu U_{CEsat} . Aceasta duce la aprinderea L.E.D.-ului D_2 și comanda aprinderii dispozitivelor de iluminat.

În cazul folosirii unui fototranzistor sensibil la radiația infraroșie schema poate fi folosită ca receptor de telecomandă. Pentru mărirea sensibilității între R_{12} și intrarea inversoare a comparatorului se poate introduce un amplificator de curent alternativ a cărui ieșire trebuie axată pe o componentă continuă cu valoarea $\frac{V_{CC}}{2}$.

5. Modul de lucru

1. Se identifică realizarea practică a montajului din Fig. 1 și se notează pe schemă valorile componentelor folosite; Se alimentează montajul cu tensiunea de +15V de la o sursă stabilizată.
2. Se reglează U_{ref} în imediata apropiere a punctului de basculare al comparatorului în așa fel încât ieșirea acestuia să fie saturată (D_1 aprins).
3. Se încălzește tranzistorul T_1 punând mâna pe capsula sa urmărind indicația L.E.D.-ului.
4. Proiectați o schemă, cu modificări minime față de schema din Fig. 1 pentru cazul în care se dorește indicația inversă, anume L.E.D. aprins = "temperatură peste limita maximă admisă".
5. Explicați modul de funcționare al regulatorului de temperatură din figura de mai jos; Ce rol au potențiometrii P_1 și P_2 ?
6. Se identifică pe placa de circuit imprimat montajul din Fig. 2 și se notează pe schemă valorile componentelor folosite.

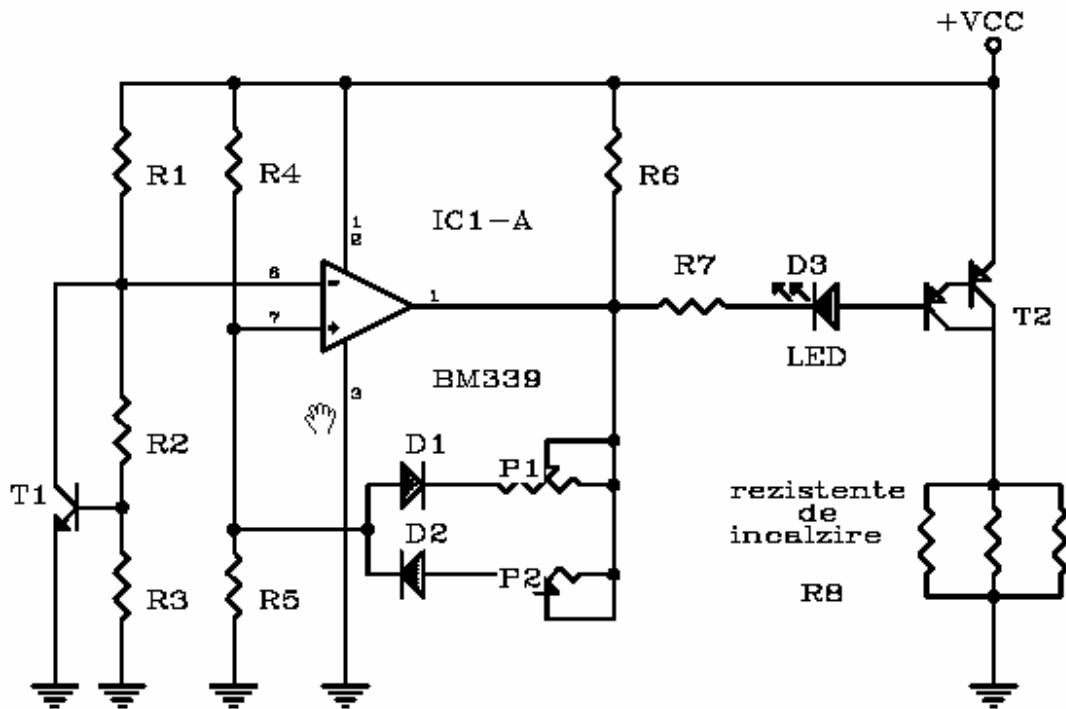


Fig. 5

7. Cu ajutorul unui magnet permanent se induce în L_1 o tensiune electromotoare și se vizualizează pe osciloscop semnalul generat la ieșire.
8. Se măsoară tensiunile U_{pi} și U_{ps} pe intrarea neinversoare a lui IC1-C (ieșirea comparatorului trebuie să fie "sus" pentru U_{pi} și "jos" pentru U_{ps}).
9. Se calculează R_9 pentru valorile R , V_{CC} din montaj și măsurat la punctul 5. folosind formula (1) și se compară rezultatul obținut cu valoarea din montaj.
10. Se identifică pe placa de circuit imprimat montajul din Fig. 4 și se notează pe schemă valorile componentelor folosite.
11. Se orientează placa astfel ca fototranzistorul FT_1 să fie iluminat direct și se reglează potențiometrul P_2 astfel încât comparatorul să fie la limita de basculare, ieșirea fiind încă blocată; Se umbrește FT_1 și se observă cu ajutorul lui D_2 bascularea ieșirii.
12. Se produce o variație rapidă și repetată a iluminării observând răspunsul circuitului.

13. Se conectează C_1 în circuit și se repetă punctul 12.

14. Proiectați un circuit de ieșire printru schema din Fig. 4. cu ajutorul căruia să se poată aprinde un bec de 100W/220V, utilizând un tiristor T10N4 cu următorii parametri de proiectare:

Tensiunea de amorsare pe poartă: 3V

Tensiunea de neamorsare pe poartă: 0,2V

Curentul de amorsare pe poartă: 100mA

C. Realizarea practică

În figura următoare este prezentat montajul după care s-a realizat cablajul. Acesta este alimentat de la o sursă stabilizată de +15V.

Nomenclatorul pieselor utilizate:

- R_1 de 680 Ω ;
- R_2 de 330 Ω ;
- R_3 de 1k Ω ;
- R_4 de 1,5k Ω ;
- R_5 de 470 Ω ;
- R_6 de 1k Ω ;
- Potențiometrul P_1 de 10k;
- Tranzistorul T_1 , BC 107;
- D_1 un LED;
- Un comparator, $\beta M 339$.

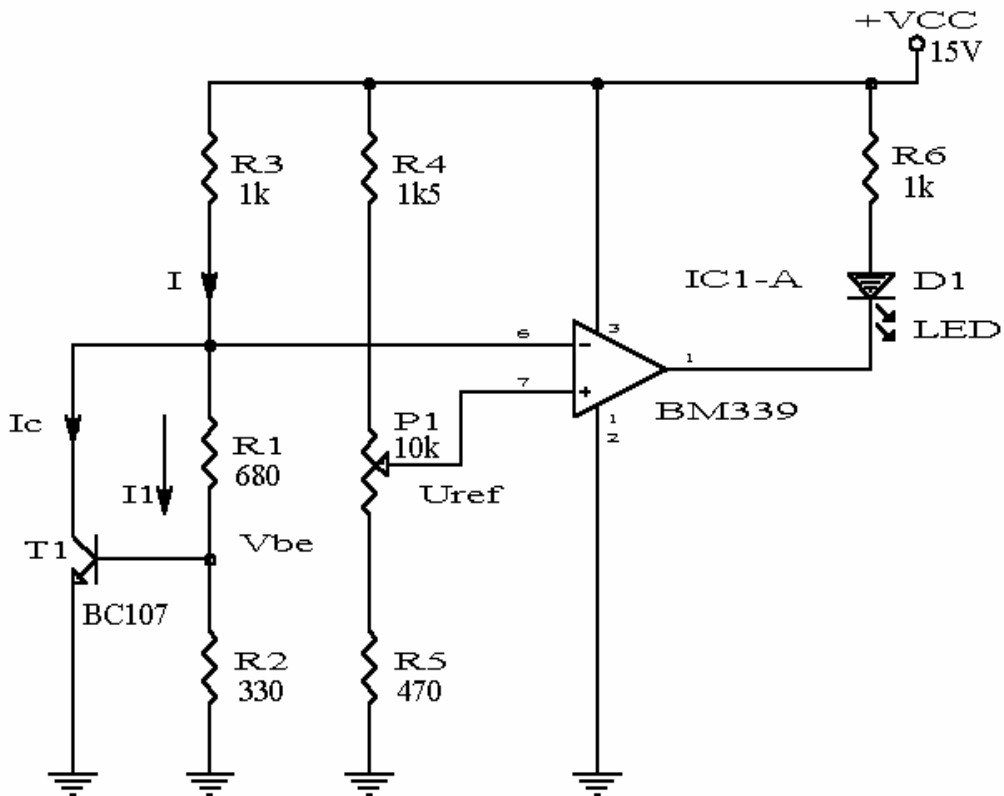
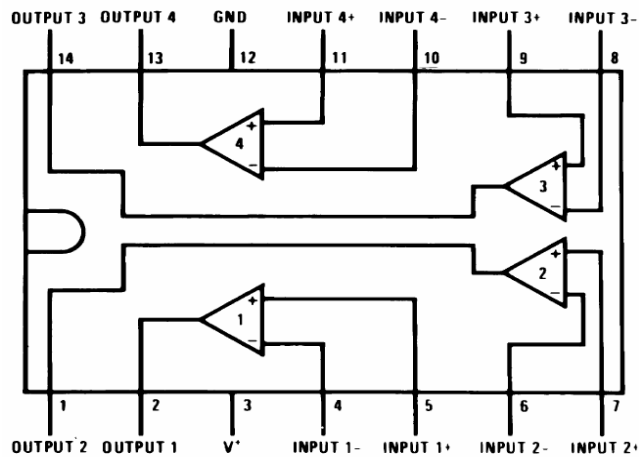
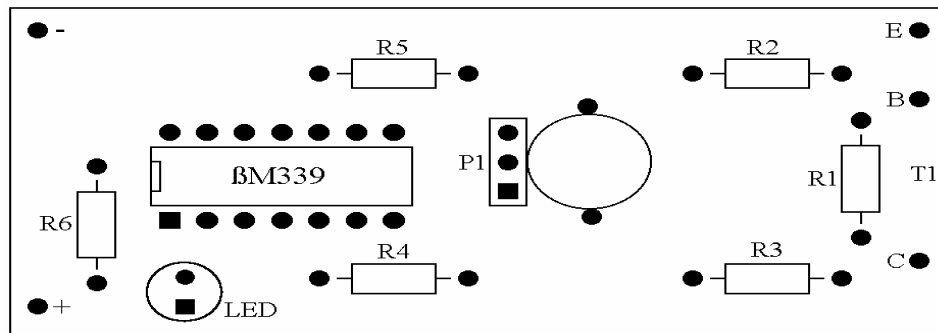


Figura 6. Montajul unui senzor de temperatură cu răspuns binar.

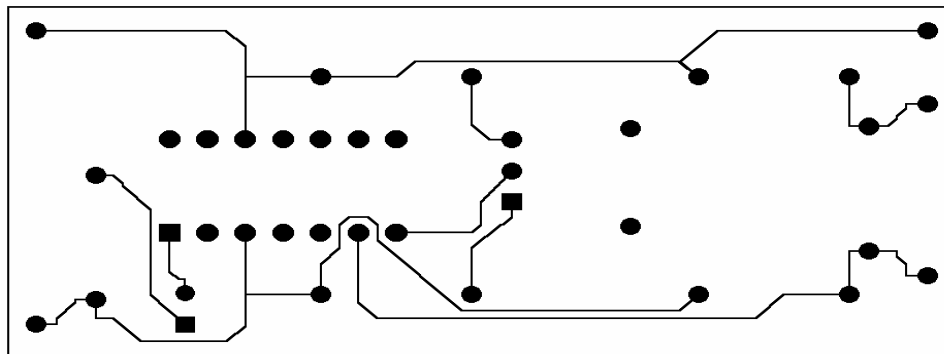
Capsula circuitului integrat $\beta M339$ care conține 4 amplificatoare operaționale independente este reprezentată în cele ce urmează.



Montajul din Fig.6 se v-a realiza practic pe o plăcuță de cablaj imprimat cu dimensiunile de $7,8 \times 4$, ca în Fig.7 la scara 1:1.



a)



b)

Figura 7 :

- a) *Vederea de sus a componentelor plantate*
- b) *Vederea de sus a plăcii cablate*

C. Simulare

În cele ce urmează s-a realizat schema de simulare a comparatorului în programul **Multisim 2001 Demo**. Au fost conectate multimetre pe intrările și ieșirea comparatorului. În simularea din Figura 8 potențiometrul P_1 este la 67% din valoare, și aduce pe intrarea neinversoare o tensiune mai mare decât tensiunea V_{BE} de pe intrarea inversoare. Comparatorul are ieșirea comutată la tensiunea de alimentare. LED-ul indicator este stins.

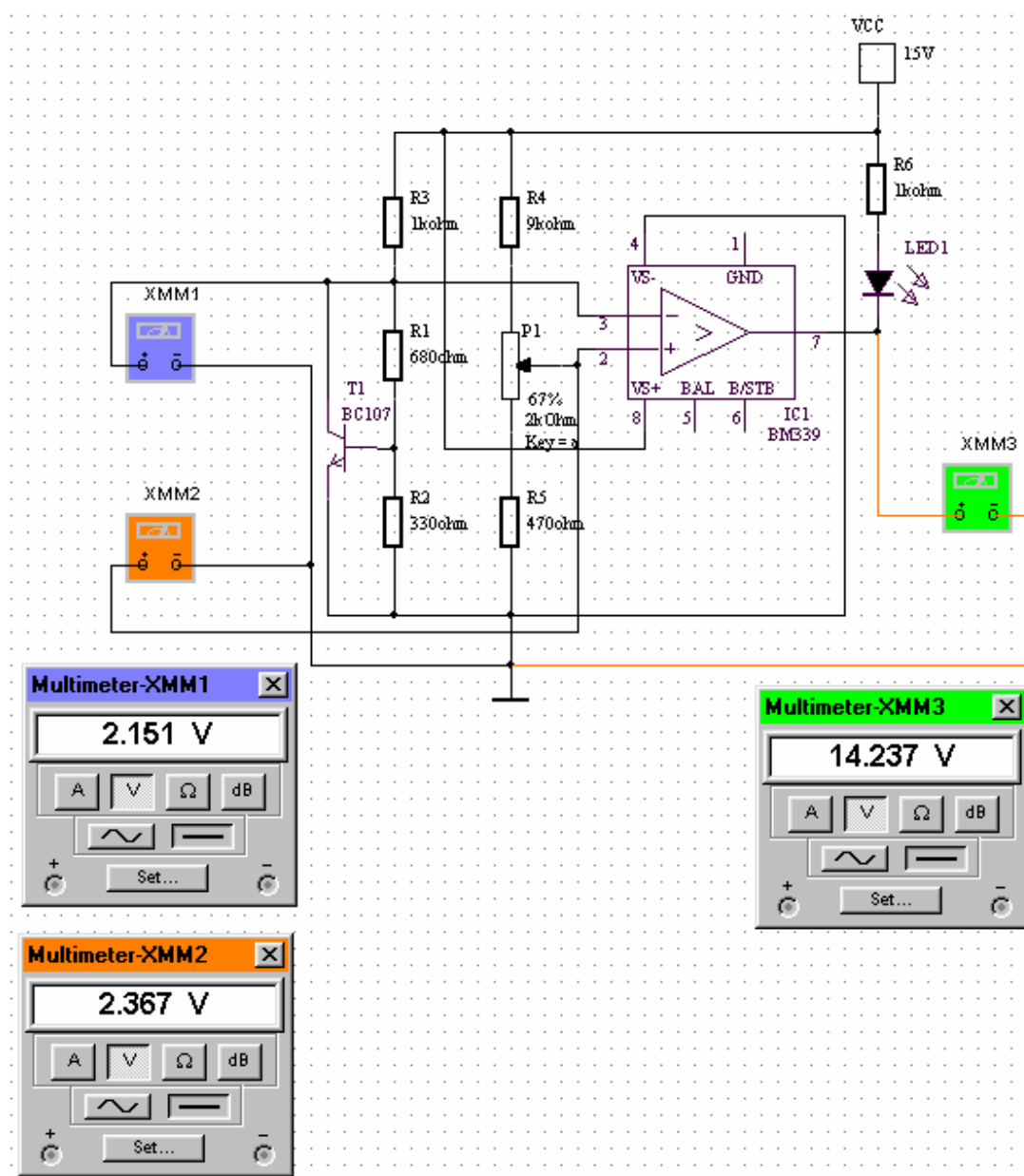


Figura 8

În Figura 9 potențiometrul P1 este la 53% din valoare și aduce pe intrarea neinversoare o tensiune mai mică decât tensiune V_{BE} de pe intrarea inversoare. În aceste condiții comparatorul comută ieșirea la nivelul de masă.
LED-ul indicator este aprins.

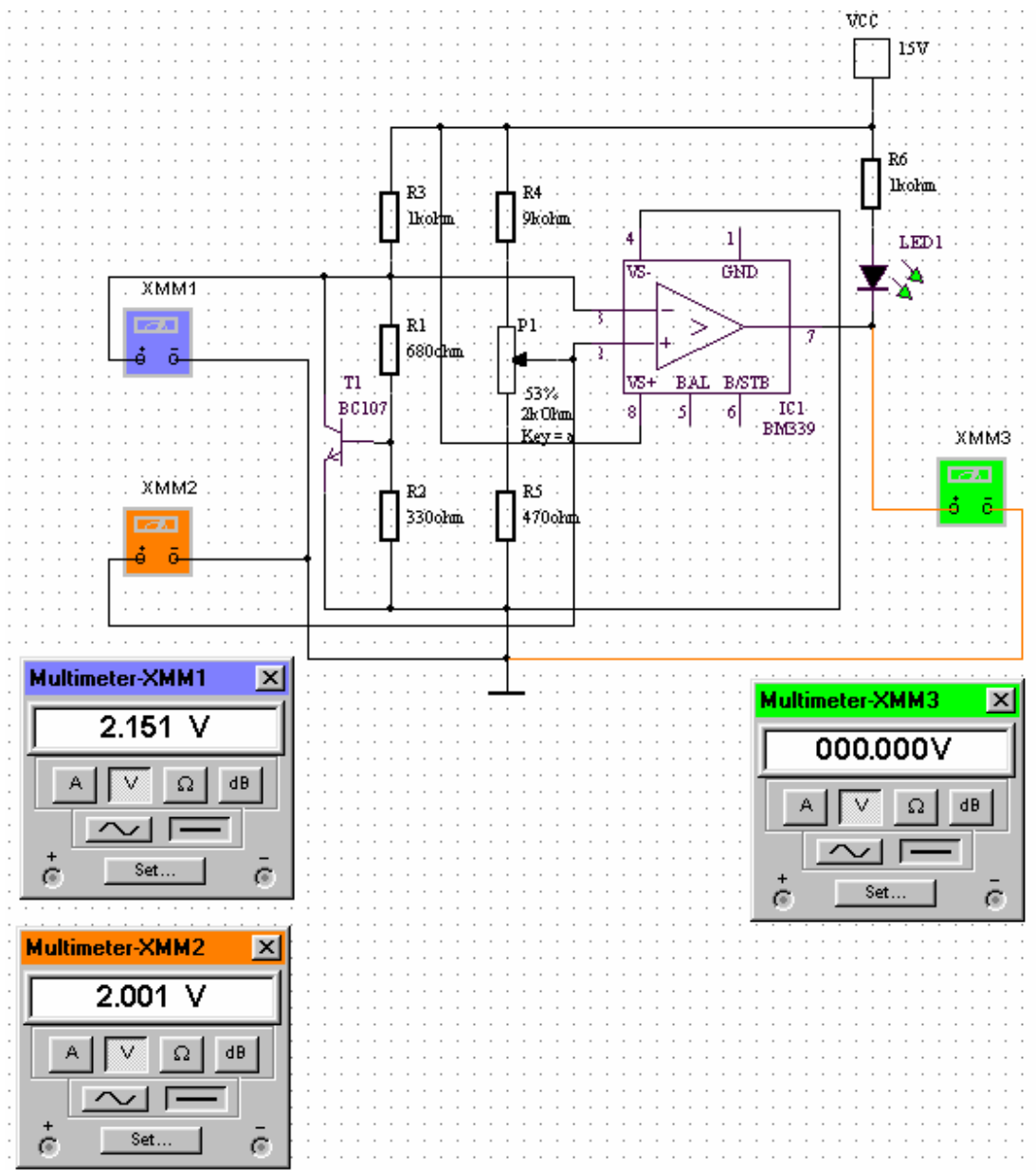


Figura 9

