

LUCRAREA NR.21

COMPARATOARE DE TENSIUNE

1. Scopul lucrării constă în studierea proprietăților circuitelor comparatoare de tensiune realizate cu transistoare sau cu circuite integrate și utilizate ca discriminatoare de nivel sau ca circuite de formare.

2. Circuitul basculant Schmitt (trigger Schmitt) este un circuit basculant de tipul bistabil asimetric cu cuplaj prin emitoare la care stările stabile sînt dependente de valoarea tensiunii de intrare. Schema de principiu este desenată în fig.21.1, iar în fig. 21.2 sînt reprezentate formele de undă la intrare și la ieșire, tensiunea de intrare avînd o evoluție oarecare în timp.

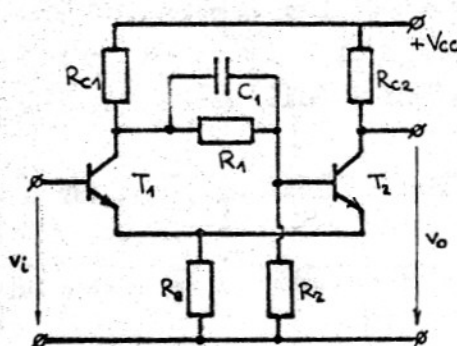


Fig. 21.1.

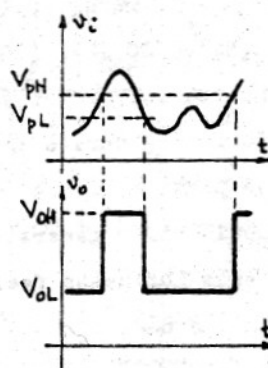


Fig. 21.2

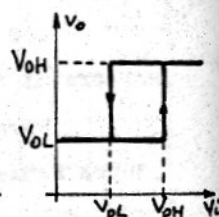


Fig. 21.3

Caracteristica de transfer a circuitului este reprezentată în fig.21.3. Se observă că, pentru o tensiune de intrare de valoare mică, tranzistorul T_2 este în conducție (eventual la saturație) ceea ce provoacă blocarea tranzistorului T_1 (tensiunea de pe emi-

torul său este mai mare decât tensiunea de pe baza sa). La creșterea tensiunii de intrare, după atingerea tensiunii de prag, V_{pH} , tranzistorul T_1 se deschide și, în urma proceselor în avalanșă, declanșate de reacția pozitivă din circuit, activă când ambele tranzistoare sînt în regiunea activă normală, starea circuitului se schimbă, tranzistorul T_2 fiind blocat și tranzistorul T_2 în conducție (eventual la saturație). La scăderea tensiunii de intrare, după atingerea noii valori a pragului, V_{pL} , stabilit de circuitul corespunzător tranzistorului T_1 , circuitul revine în starea inițială, cu tranzistorul T_1 în conducție și cu tranzistorul T_1 blocat.

Se constată existența unui histerezis în caracteristica de transfer a circuitului, determinat de prezența reacției pozitive, care permite funcționarea circuitului ca circuit basculant.

Tensiunile de prag depind de stările tranzistoarelor T_1 , respectiv T_2 , atunci când conduc. Astfel, pentru tranzistorul T_2 saturat, adică dacă este îndeplinită condiția aproximativă :

$$\gamma - \frac{V_{BE}}{V_{cc}} > \frac{R_e}{R_e + R_{o2}} \quad (21.1)$$

se obține pragul superior sub forma :

$$V_{pH} = \frac{V_{cc} \left[\varepsilon_{1-cl} + \varepsilon_{o2} \left(\frac{\alpha_1 \gamma_1}{\alpha_2} - \frac{1}{\beta_2} \right) \right] + V_{BE} \left[\alpha_1 \gamma_1 \varepsilon_e + \varepsilon_{o2} \left(\frac{\alpha_1 \gamma_1}{\alpha_2} - \frac{1}{\beta_2} \right) \right]}{\varepsilon_{1-cl} + \varepsilon_2 + \alpha_1 \gamma_1 \varepsilon_e + \varepsilon_{o2} \left(\frac{\alpha_1 \gamma_1}{\alpha_2} - \frac{1}{\beta_2} \right)} \quad (21.2)$$

iar pentru tranzistorul T_2 funcționînd în regiunea activă normală, se obține, pentru aceeași mărime, relația :

$$V_{pH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_{o1}} V_{cc} \quad (21.3)$$

Pragul inferior este dat de relația :

$$V_{pL} = \frac{\varepsilon_{1-cl} V_{cc} + \alpha_1 \gamma_1 \varepsilon_e V_{BE}}{\varepsilon_{1-cl} + \varepsilon_2 + \alpha_1 \gamma_1 \varepsilon_e} \quad (21.4)$$

În aceste relații, s-au folosit notațiile :

$$\gamma = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_{o1}} \quad (21.5)$$

α_1 și α_2 sînt factorii de curent în conexiunea bază comună, iar β_1 și β_2 , factorii de curent în conexiunea emitor comun ;

$$\gamma_1 = \frac{R_{c1}}{R_1 + R_{c1}} ; \quad \varepsilon_{1-cl} = \frac{1}{R_1 + R_{c1}} ; \quad \varepsilon_{c2} = \frac{1}{R_{c2}} ;$$

$$\varepsilon_e = \frac{1}{R_e} ; \quad \varepsilon_2 = \frac{1}{R_2} .$$

Mărimea histerezisului va fi :

$$\Delta V_H = V_{pH} - V_{pL} \quad (21.5)$$

În cazul în care tranzistoarele funcționează în regiunea activă normală, viteza de comutare dintr-o stare în alta este mai mare (nu apar timpi de stocare) iar în cazul în care tranzistoarele funcționează în saturație, se obține o stabilitate mai bună la perturbații și o utilizare mai bună a tensiunii de alimentare.

3. Pentru caracterizarea completă a circuitului basculant Schmitt, se folosește caracteristica de intrare reprezentată în fig.21.4. În cazul în care tranzistoarele funcționează și în satu-

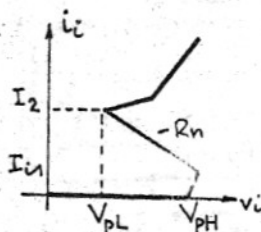


Fig. 21.4

rație, se obține o caracteristică de intrare ce poate fi aproximată prin cinci segmente de dreaptă. Se remarcă existența unei zone de rezistență negativă (cînd ambele tranzistoare sînt în regiunea activă normală și se închide bucla de reacție pozitivă), a cărei valoare se poate calcula cu relația :

$$R_n = - \frac{\gamma_1 \beta_1 - \frac{\beta_1 + 1}{\beta_2 + 1}}{\varepsilon_{1-cl} + \varepsilon_2 + \frac{\varepsilon_e}{\beta_2 + 1}} \quad (21.6)$$

Caracteristica de intrare a circuitului se poate ridica numai prin măsurarea tensiunii de intrare ce se obține la aplicarea unui curent de intrare ; acest curent se poate obține fie prin inserierea cu generatorul de tensiune reglabilă a unei rezistențe a

care să fie mai mare decât valoarea absolută a rezistenței negative, fie prin aplicarea unui generator de curent reglabil.

4. Modificarea pragurilor de basculare (și deci și a histerezisului circuitului) se poate face prin modificarea oricăror elemente ce intră în relațiile de calcul ale acestora. Când tranzistoarele funcționează în saturație, se pot introduce rezistențe în serie cu emitoarele tranzistoarelor care vor conta numai când tranzistoarele respective sînt în conducție. În fig.21.5, cu rezistența R_{e1} se modifică pragul V_{pL} iar cu rezistența R_{e2} din fig.21.6, se reglează pragul V_{pH} . Ambele praguri pot fi modificate simultan, cu păstrarea histerezisului, prin introducerea unei tensiuni de decalare în baza tranzistorului T_1 cu un divizor de tensiune, ca în fig.21.7 ; în acest caz, caracteristica de intrare se va deplasa spre stînga cu valoarea aproximativă $V_{cc} \cdot R_{b2} / (R_{b1} + R_{b2})$, ceea ce înseamnă și modificarea pragurilor cu aceeași mărime. Acest circuit poate să funcționeze ca formator de impulsuri sau ca detector de nivel numai cupla* prin capacitate cu sursa de semnal (pentru ca rezistența internă a generatorului de semnal să nu afecteze divizorul de tensiune de la intrarea circuitului).

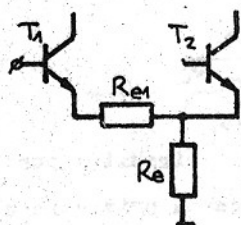


Fig. 21.5

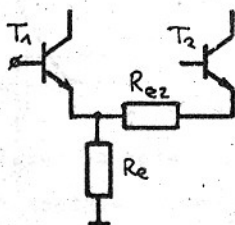


Fig. 21.6

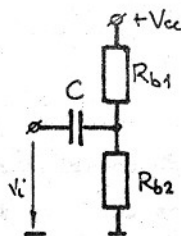


Fig. 21.7

5. Capacitatea C_1 din schema din fig.21.1 are rol de accelerare a comutării tranzistorului T_2 și va fi principalul element care limitează funcționarea circuitului la frecvențe înalte, întrucît, la blocarea tranzistorului T_1 constanta de timp corespunzătoare

acestei capacități va fi aproximativ $C_1(R_{01} + R_e \parallel R_{02})$.

Alte elemente care limitează funcționarea circuitului la frecvențe înalte sînt timpii de deschidere, respectiv de blocare ai tranzistoarelor, capacitățile parazite, etc.

6. Compararea de tensiune cu sau fără histerezis se poate realiza cu amplificatoare operaționale în buclă deschisă sau cu reacție pozitivă. Experimentări cu aceste tipuri de circuite s-au realizat în cadrul lucrării nr.15.

7. Comparatoare de tensiune se realizează și sub formă de circuite integrate specializate, ca de exemplu CLB 2711. Acest circuit conține, de fapt, două comparatoare identice, cu ieșirile legate împreună, realizînd, logic, funcția SAU cablat, este caracterizat printr-o amplificare de tensiune relativ mare și asigură nivele de tensiune la ieșire compatibile cu nivele logice pentru porți TTL în funcție de tensiunea aplicată între intrările comparatorului (fereastra comparatorului fiind mai mică de 5 mV). Caracteristica de transfer este desenată în fig.21.8.b ; nivelele de tensiune de la ieșire sînt dependente de sarcină.

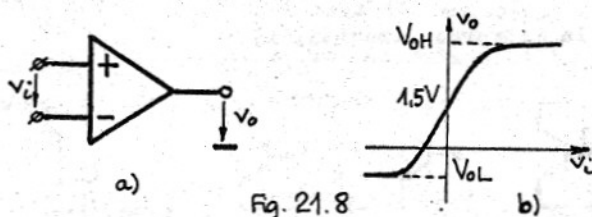


Fig. 21.8

Din caracteristica de transfer se constată că circuitul poate funcționa ca detector de nul, adică sesizează trecerea prin zero a tensiunii de intrare (conectînd una din intrări la masă) sau poate realiza funcția de comparare a tensiunii de intrare cu o valoare dată, ca în fig.21.9. De asemeni, compararea de tensiune se poate face cu o caracteristică de transfer cu histerezis, așa cum se vede în fig.21.10.a și b. Cele două praguri se pot determina cu relațiile:

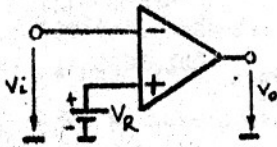


Fig. 21.9

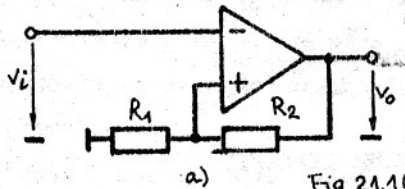
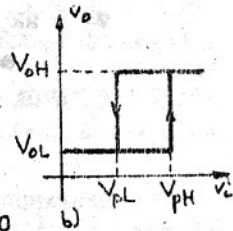


Fig. 21.10



$$V_{pH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{oH}$$

$$(21.7)$$

$$V_{pL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{oL}$$

$$(21.8)$$

Valorile tipice pentru cele două nivele ale tensiunii de ieșire sînt : $V_{oH} = 4,5 \text{ V}$ și $V_{oL} = -0,3 \text{ V}$ (în absența sarcinii).

Răspunsul tranzitoriu al circuitului depinde de structura lui internă și de natura sarcinii. Astfel, pentru o sarcină capacitivă (fig. 21.11.a), se obține un răspuns la un impuls de comandă ca în fig. 21.11.b, cu un front crescător relativ mic, dar cu un front descrescător mare, dependent de capacitatea de sarcină.

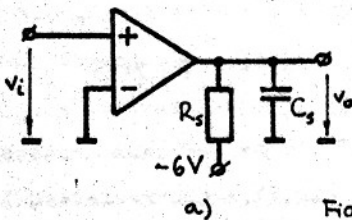


Fig. 21.11

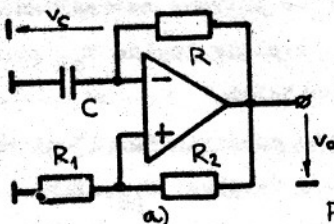
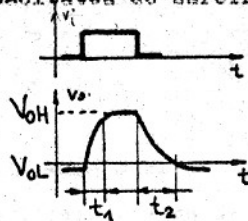
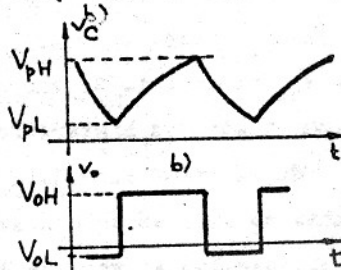


Fig. 21.12



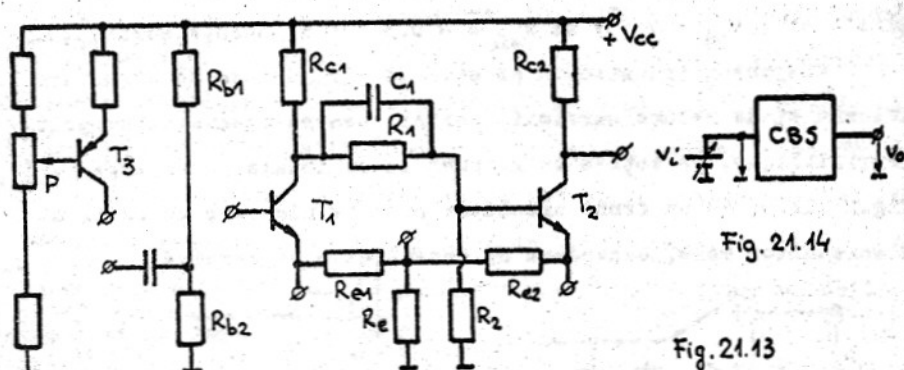
9. Cu un comparator de tensiune se poate realiza un generator de impulsuri conform schemei din fig. 21.12.a, în care pragul fixat de rezistențele R_1 și R_2 și tensiunea de ieșire a circuitului, se modifică în funcție de starea acestuia. Se obțin relațiile :

$$T_1 = CR \ln \frac{V_{OH} - V_{PL}}{V_{OH} - V_{PH}} \quad (21.9)$$

$$T_2 = CR \ln \frac{V_{PH} - V_{OL}}{V_{PL} - V_{OL}} \quad (21.10)$$

DESFASURAREA LUCRĂRII

1. Se identifică circuitul din fig.21.13 cu ajutorul căruia se experimentează circuitul basculant Schmitt. Se alimentează circuitul cu $V_{CC} = 10$ V. Pentru obținerea unui curent reglabil, se folosește un generator de curent realizat cu tranzistorul T_3 .



2. Cu schema de măsură din fig.21.14 se trasează caracteristica de transfer pentru circuitul din fig.21.1 (cu rezistențele R_{E1} și R_{E2} scurtcircuitate). Tensiunea de intrare se reglează de la 0 la V_{CC} și înapoi. Se vor determina nivelele logice V_{OL} și V_{OH} precum și mărimea histerezisului circuitului.

Se verifică dacă este îndeplinită condiția (21.1) și se alege relația cu care se calculează tensiunea de prag, V_{PH} . Parametrii tranzistoarelor se vor lua din anexă.

Se calculează tensiunile de prag, V_{PH} , cu relația (21.2) sau (21.3), după caz și V_{PL} , cu relația (21.4) și mărimea histerezisului, cu relația (21.5). și se compară cu valorile măsurate.

2.1. Se aplică semnal sinusoidal cu amplitudinea mai mare decât V_{pH} măsurat, de frecvență 1 kHz și se vizualizează formele de undă la intrare, pe emitoarele și pe colectoarele tranzistoarelor. Se interpretează rezultatele.

Se mărește frecvența tensiunii sinusoidale de la intrare și se constată modificarea formelor de undă. Se interpretează rezultatele.

Se revine la frecvența de 1 kHz și se vizualizează pe osciloscop caracteristica de transfer a circuitului (pe intrarea X a osciloscopului se aplică tensiunea de pe baza tranzistorului T_1 iar pe intrarea Y a osciloscopului se aplică tensiunea de pe colectorul tranzistorului T_2).

2.2. Se introduce în circuit rezistența R_{e1} și se măsoară, cu circuitul din fig.21.14 pragurile de basculare ; se repetă măsurătoarea cu rezistența R_{e2} în circuit, fără R_{e1} și apoi și cu R_{e1} .

Se cuplează divizorul rezistiv din fig.21.7 și se aplică semnal sinusoidal la intrare. Se vizualizează formele de undă și se interpretează modificările față de cazul fără divizor la intrare.

3. Se trasează caracteristica de intrare a circuitului cu schema de măsură din fig.21.15. Se reglează curentul și se măsoară tensiunea de intrare (se vor măsura, cu atenție, valorile V_{pH} și V_{pL}). Se trasează graficul (ca în fig.21.2.4) și se compară valorile măsurate pentru praguri cu cele măsurate direct, la punctul 2.

Se determină, din grafic, rezistența negativă și se compară cu valoarea teoretică determinată cu relația (21.6).

4. Se identifică circuitul din fig.21.16. Circuitul se alimentează cu $V_{cc} = 12$ V și $V_{EE} = -6$ V. Intrarea STROB 2 este conectată la masă pentru a bloca cel de al doilea comparator al circuitului CLB 2711, utilizat în lucrare. Tensiunea de intrare pentru ridicarea caracteristicii de transfer se aplică printr-un divizor

de tensiune 100:1 și se măsoară tensiunea V_1 aplicată divisorului, astfel că se obține $V_1 = 0,01 V_1$.

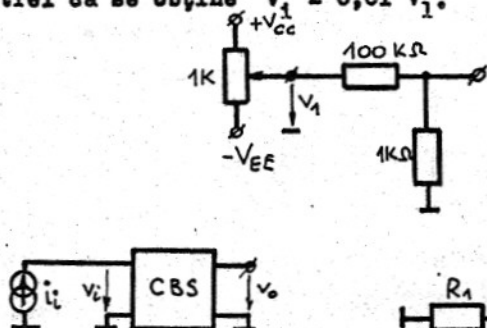


Fig. 21.15

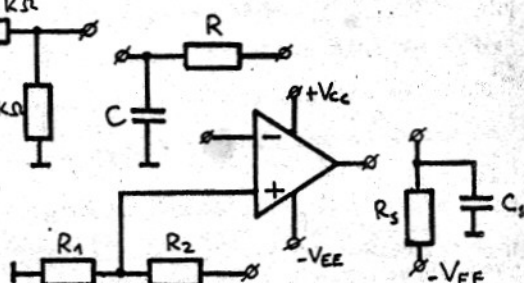


Fig. 21.16

5. Se trasează caracteristica de transfer a circuitului conectând divisorul de tensiune la intrarea de inversoare a comparatorului, cealaltă intrare fiind conectată la masă. Se măsoară tensiunile V_1 și v_o și se trasează graficul $v_o(v_1)$, punând în evidență nivelele de tensiuni la ieșire, V_{OL} și V_{OH} .

Se conectează rezistența R_2 la tensiunea negativă $-V_{EE}$; se măsoară tensiunea de prag de pe borna de inversoare a comparatorului și se trasează, din nou, caracteristica de transfer.

Se conectează rezistența R_2 la ieșirea circuitului și se repetă măsurătorile. Se determină valorile V_{PH} și V_{PL} și se compară cu valorile calculate cu relațiile (21.7) și (21.8).

6. Cu intrarea de inversoare cuplată la masă, se aplică impulsuri cu parametri convenabili la intrarea de neinversoare (prin intermediul divisorului de tensiune R_1, R_2) și se vizualizează forma de undă a tensiunii de ieșire fără sarcină capacitivă și cu sarcina capacitivă; să se interpreteze rezultatele.

7. Se realizează circuitul generator de impulsuri din fig. 21.12. Se vizualizează formele de undă de pe capacitatea C și de la ieșire, se măsoară duratele impulsurilor T_1 și T_2 și se compară cu valorile calculate cu relațiile (21.9) și (21.10).