

## Lucrarea nr. 3

# CIRCUITE COMPLEXE DE PRELUCRARE A IMPULSURILOR COMPARATOARE DE TENSIUNE

### Cuprins

- I. [Scopul lucrării](#)
- II. [Noțiuni teoretice](#)
- III. [Desfășurarea lucrării](#)
- IV. [Temă de casă](#)

## I. Scopul lucrării

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

## Cuprins

## II. Noțiuni teoretice

Circuitul basculant Schmitt (trigger Schmitt) este un circuit basculant de tipul bistabil asimetric cu cuplaj prin emitoare la care stările stabile sunt dependente de valoarea tensiunii de intrare. Schema de principiu este desenată în fig.3.1, iar în fig.3.2 sunt reprezentate formele de undă la intrare și la ieșire, tensiunea de intrare având o evoluție oarecare în timp.

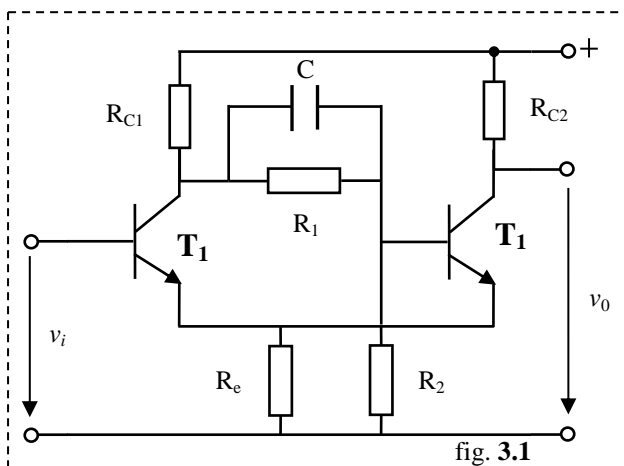


fig. 3.1

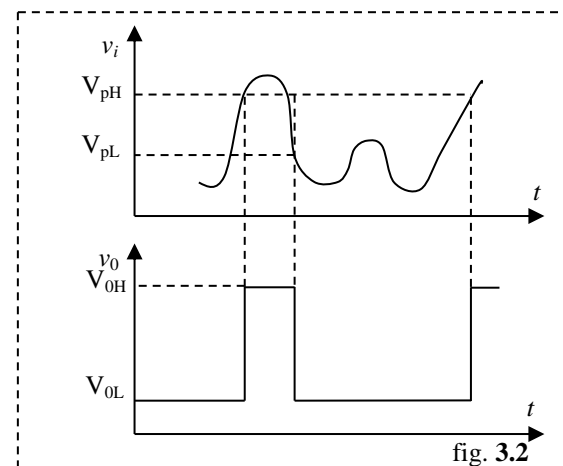


fig. 3.2

Caracteristica de transfer a circuitului este reprezentată în fig.3.3. 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 emitorul 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 sunt în regiunea activă normală, starea circuitului se schimbă, tranzistorul  $T_2$  fiind blocat și tranzistorul  $T_1$  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  $T_2$  în conducție și cu tranzistorul  $T_1$  blocat.

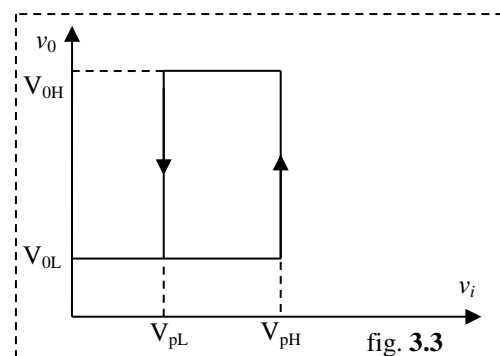


fig. 3.3

Se constată existența unui histerzis 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:  $\gamma - \frac{V_{BE}}{V_{CC}} > \frac{R_e}{R_e + R_{c2}}$  (3.1) se obține pragul superior sub forma:

$$V_{pH} = \frac{V_{CC} \left[ g_{1-c1} + g_{c2} \left( \frac{\alpha_1 \gamma_1}{\alpha_2} - \frac{1}{\beta_2} \right) \right] + V_{BE} \left[ \alpha_1 \gamma_1 g_e + g_{c2} \left( \frac{\alpha_1 \gamma_1}{\alpha_2} - \frac{1}{\beta_2} \right) \right]}{g_{1-c1} + g_2 + \alpha_1 \gamma_1 g_e + g_{c2} \left( \frac{\alpha_1 \gamma_1}{\alpha_2} - \frac{1}{\beta_2} \right)} \quad (3.2), \text{ iar pentru}$$

tranzistorul  $T_2$  funcționând în regiunea activă normală, se obține, pentru aceeași mărime, relația:  $V_{pH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_{c1}} V_{CC}$  (3.3).

$$\text{Pragul inferior este dat de relația: } V_{pL} = \frac{g_{1-c1} V_{CC} + \alpha_1 \gamma_1 g_e V_{BE}}{g_{1-c1} + g_2 + \alpha_1 \gamma_1 g_e} \quad (3.4).$$

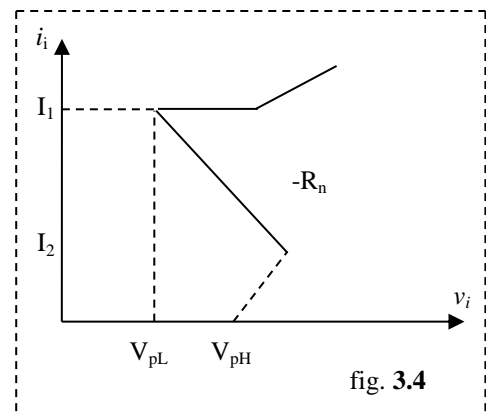
În aceste relații, s-au folosit notațiile:  $\gamma = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_{c1}}$  (3.5),  $\alpha_1$  și  $\alpha_2$  sunt factorii de curent în conexiunea bază comună, iar  $\beta_1$  și  $\beta_2$ , factorii de curent în conexiunea emitor comun:  $\gamma_1 = \frac{R_{c1}}{R_1 + R_{c1}}$ ;  $g_{1-c1} = \frac{1}{R_1 + R_{c1}}$ ;  $g_{c2} = \frac{1}{R_{c2}}$ ;  $g_e = \frac{1}{R_e}$ ;  $g_2 = \frac{1}{R_2}$ .

$$\text{Mărimea histerezisului va fi: } \Delta V_H = V_{pH} - V_{pL} \quad (3.5)$$

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.

Pentru caracterizarea completă a circuitului basculant Schmitt, se folosește caracteristica de intrare reprezentată în fig.4. În cazul în care tranzistoarele funcționează și în saturație, se obține o caracteristică de intrare ce poate fi aproximată prin cinci segmente de dreaptă. Se remarcă existența unei zone de rezistență negativă (când ambele tranzistoare sunt în regiunea activă normală și se închide bucla de reacție pozitivă), a cărei valoare se poate

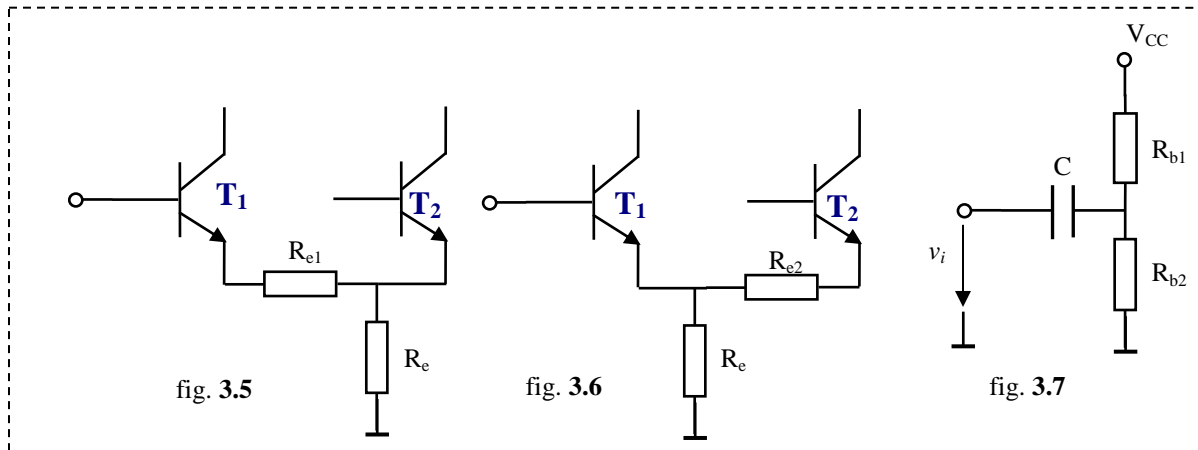
$$\text{calcula cu relația: } R_n = - \frac{\gamma_1 \beta_1 - \frac{\beta_1 + 1}{\beta_2 + 1}}{g_{1-c1} + g_2 + \frac{g_e}{\beta_2 + 1}} \quad (3.6).$$



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

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 sunt în conducție. În fig.3.5, cu rezistența  $R_{e1}$  se modifică pragul  $V_{pL}$  iar cu rezistența  $R_{e2}$  din fig.3.6, 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.3.7; în acest caz, caracteristica de intrare se va deplasa spre stânga cu valoarea aproximativă  $\frac{V_{CC} \cdot R_{b2}}{R_{b1}R_{b2}}$ , ceea ce înseamnă și modificarea pragurilor cu aceeași mărime.



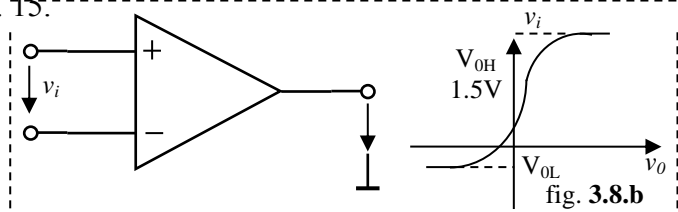
Acest circuit poate să funcționeze ca formator de impulsuri sau ca detector de nivel numai cuplat prin capacitate cu sursa de semnal (pentru ca rezistența internă a generatorului de semnal să nu afecteze divizorul de tensiune de la intrarea circuitului).

Capacitatea  $C_1$  din schema din fig.3.1 are rol de accelerare a comutării tranzistorului  $T_2$  și va fi principalul element care limitează funcționarea circuitului la frecvențe înalte, întrucât la blocarea tranzistorului  $T_1$  constanta de timp corespunzătoare acestei capacități va fi aproximativ  $C_1(R_{c1} + R_c \parallel R_{c2})$ .

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

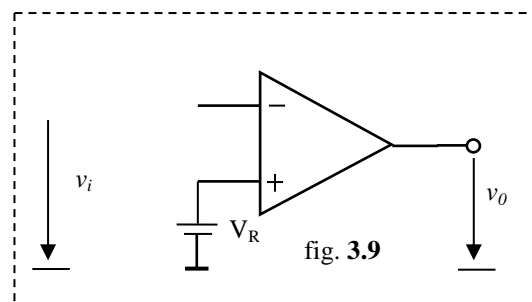
Comparatoare de tensiune cu sau fără histerezis se poate realiza cu amplificatoare operaționale în buclă deschisă sau cu reacție pozitivă. Experimentări cu aceste tipuri de circuite s-au realizat în cadrul lucrării nr. 15.

Comparatoare de tensiune se realizează și sub formă de circuite integrate specializate, ca de exemplu CLB 2711. Acest circuit ce conține, de fapt, două comparatoare identice, cu ieșirile legate împreună, realizând,



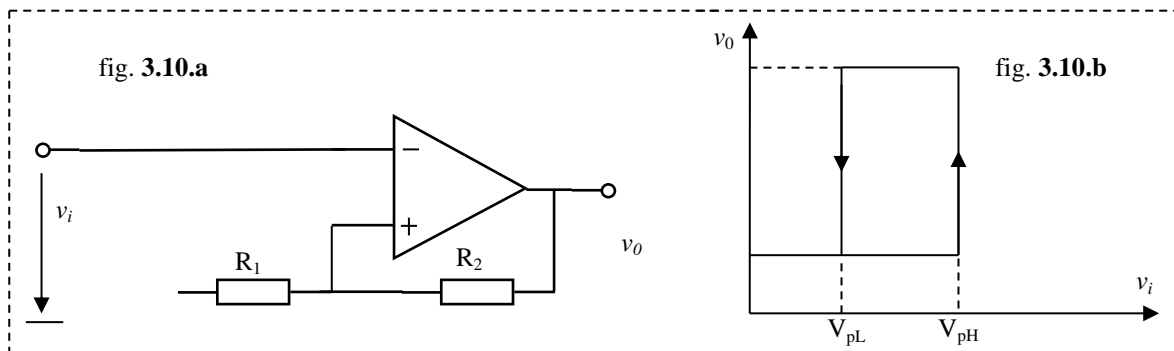
logic funcția SAU cablat, este caracterizat printr-o amplificare de tensiune relativ mare și asigură nivele de tensiune la ieșire compatibile cu nivele logice pentru porți TTL în funcție de tensiunea aplicată între intrările comparatorului (fereastra comparatorului fiind mai mică de 5 mV). Caracteristica de transfer este desenată în fig.3.8.b, nivelele de tensiune de la ieșire sunt dependente de sarcină.

Din caracteristica de transfer se constată că circuitul poate funcționa ca detector de nul, adică sesizează trecerea prin zero a tensiunii de intrare (conectând una din intrări la masă) sau poate realiza funcția de comparare a tensiunii de intrare cu o valoare dată, ca în fig.3.9. De asemeni, compararea de tensiuni se poate face cu o caracteristica de transfer cu histerezis, așa cum se vede în fig.3.10.a și b.



Cele două praguri se pot determina cu relațiile:  $V_{pH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{0H}$  (21.7),

$$V_{pL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{0L} \quad (21.8)$$



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

Răspunsul tranzitoriu al circuitului depinde de structura lui internă și de natura sarcinii. Astfel, pentru o sarcină capacitivă (fig.3.11.a), se obține un răspuns la un impuls de comandă ca în fig.3.11.b, cu un front crescător relativ mic, dar cu un front descrescător mare, dependent de capacitatea de sarcină.

9. Cu un comparator de tensiune se poate realiza un generator de impulsuri conform schemei din fig.3.12.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:  $T_1 = CR \ln \frac{V_{0H} - V_{pL}}{V_{0H} - V_{pH}}$  (21.9),  $T_2 = CR \ln \frac{V_{pH} - V_{0L}}{V_{pL} - V_{0L}}$  (21.10)

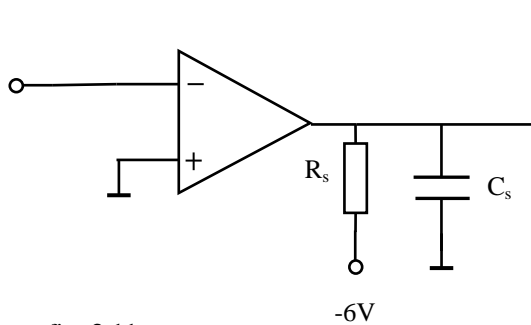


fig. 3.11.a

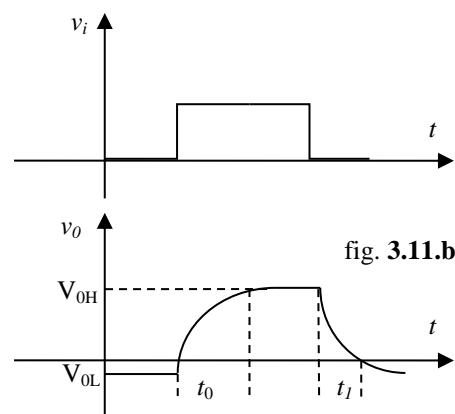


fig. 3.11.b

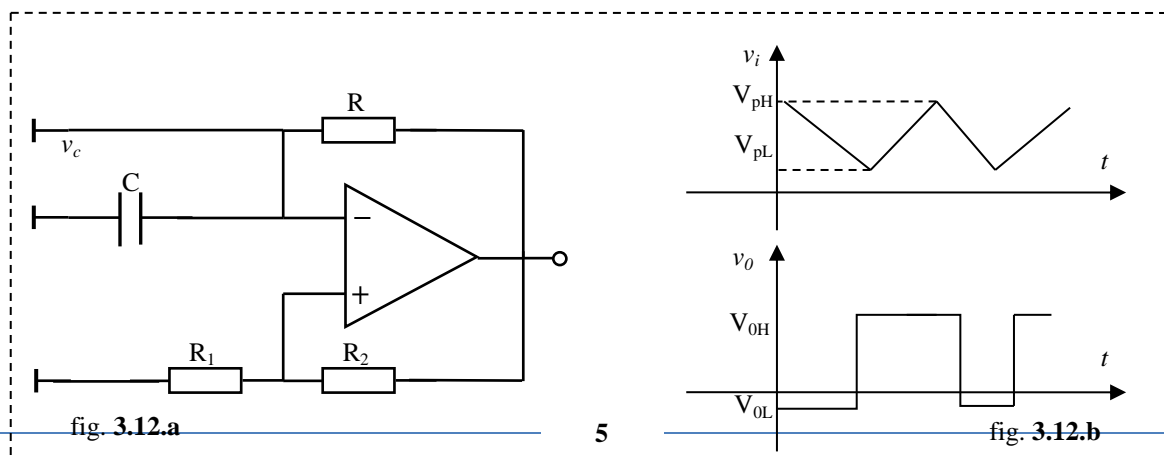


fig. 3.12.a

fig. 3.12.b

### III. Desfășurarea lucrării

#### 1. Identificarea montajului

Se identifică circuitul din fig.3.13 cu ajutorul căruia se experimentează circuitul basculant Schmitt. Se alimentează circuitul cu  $V_{CC} = 10\text{ V}$ . Pentru obținerea unui curent reglabil, se folosește un generator de curent realizat cu tranzistorul  $T_3$ .

#### Aplicație simulată de laborator:

--în fișierul deschis prin link-ul de mai jos să se realizeze schema din fig. 3.13;

**Atenție:** după terminarea laboratorului se va șterge conținutul fișierului deschis prin link-ul de mai jos.

[Link Aplicație Simulată](#)

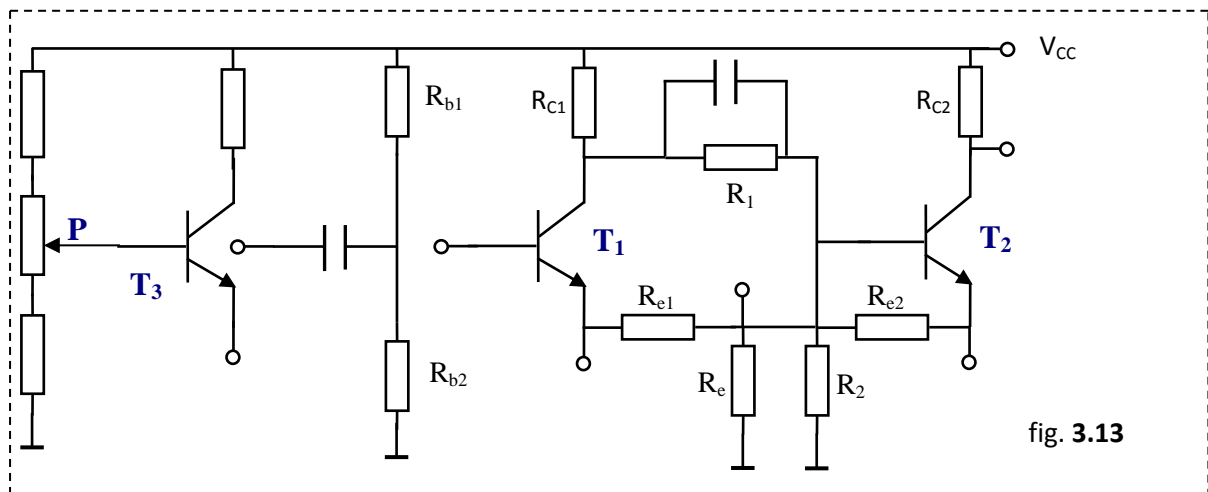


fig. 3.13

#### 2. Caracteristica de transfer pentru circuit

Cu schema de măsură din fig.3.14 se trasează caracteristica de transfer pentru circuitul din fig.3.1 (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.

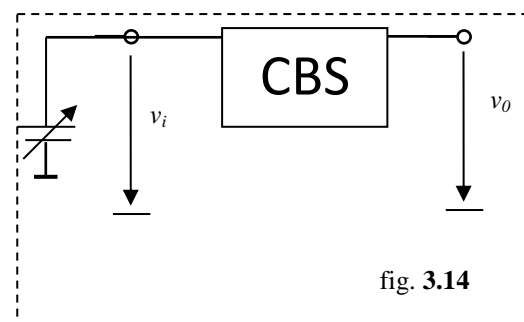


fig. 3.14

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.

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  $T_2$ ).

Se introduce în circuit rezistența  $R_{e1}$  și se măsoară cu circuitul din fig.3.14 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.3.7 și se aplică semnal sinusoidal la intrare. Se vizualizează formele de undă și se interpretează modificările față de cazul fără divizor la intrare.

### 3. Caracteristica de intrare a circuitului

Se trasează caracteristica de intrare a circuitului cu schema de măsură din fig.3.16. 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.3.4) 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 (3.6).

### 4. Identificarea montajului

Se identifică circuitul din fig.3.15. Circuitul se alimentează cu  $V_{CC}=12V$  și  $V_{EE}=-6V$ . 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 divizorului, astfel că se obține  $v_i = 0,01 V_1$ .

#### **Aplicație simulată de laborator:**

--în fișierul deschis prin link-ul de mai jos să se realizeze schema din fig. 3.15;

**Atenție:** după terminarea laboratorului se va șterge conținutul fișierului deschis prin link-ul de mai jos.

[Link Aplicație Simulată](#)

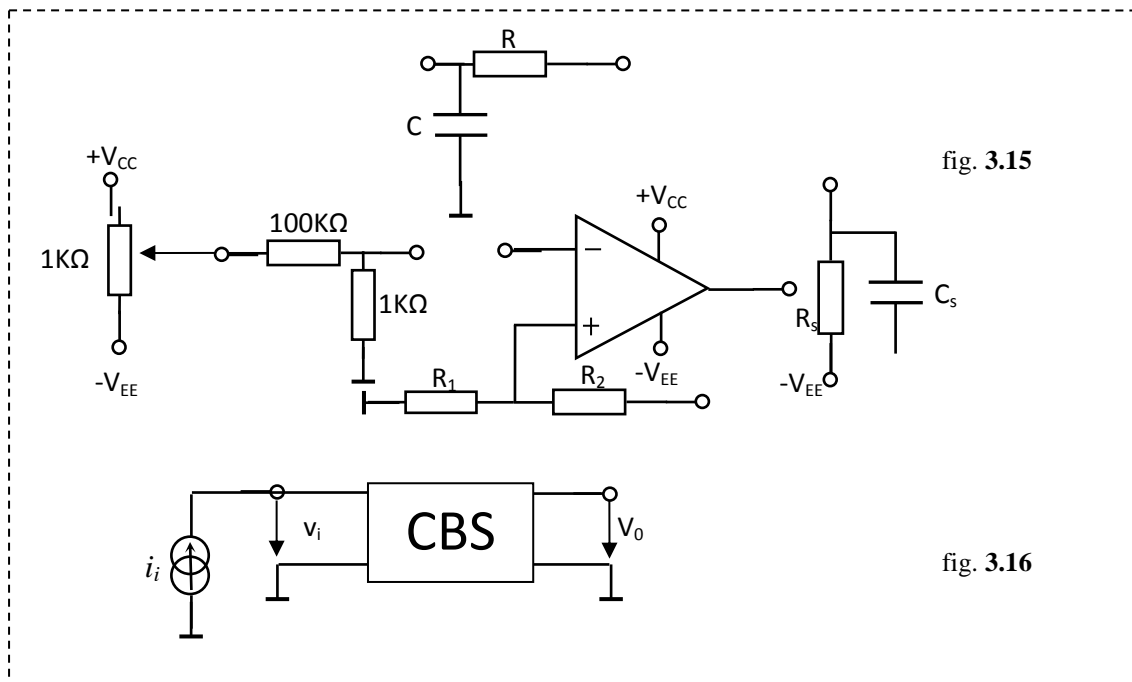


fig. 3.15

fig. 3.16

### 5. Caracteristica de transfer a circuitului

Se trasează caracteristica de transfer a circuitului conectând divizorul de tensiune la intrarea inversoare a comparatorului, cealaltă intrare fiind conectată la masă. Se măsoară tensiunile  $V_1$  și  $v_0$  și se trasează graficul  $v_0(v_i)$ , punând în evidență nivelele de tensiuni de ieșire,  $V_{0L}$  și  $V_{0H}$ .

Se conectează rezistența  $R_2$  la tensiunea negativă  $-V_{EE}$ ; se măsoară tensiunea de prag de pe borna neinversoare 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 (3.7) și (3.8).

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

Se realizează circuitul generator de impulsuri din fig.3.12. 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 (3.9) și (3.10).