

CAPITOLUL 4

CIRCUITE BASCULANTE CU TRANZISTOARE

4.1. Chestiuni generale

4.1.1. Modelul general al circuitelor basculante

Un circuit basculant este format din doua amplificatoare conectate in cascada cu o reactie pozitiva puternica de la iesire la intrare conform schemei din figura 4.1a.. Elementele de cuplaj sunt impedantele Z_1 si Z_2 care pot fi si de alta natura decat rezistiva. Schema se deseneaza obisnuit ca in figura 4.1b pentru a pune in evidenta simetria schemei. Exista in cele mai multe situatii o simetrie completa care apare si in valoarea elementelor schemei, elementele simetrice pe schema sunt egale, dar nu este intotdeauna asa.

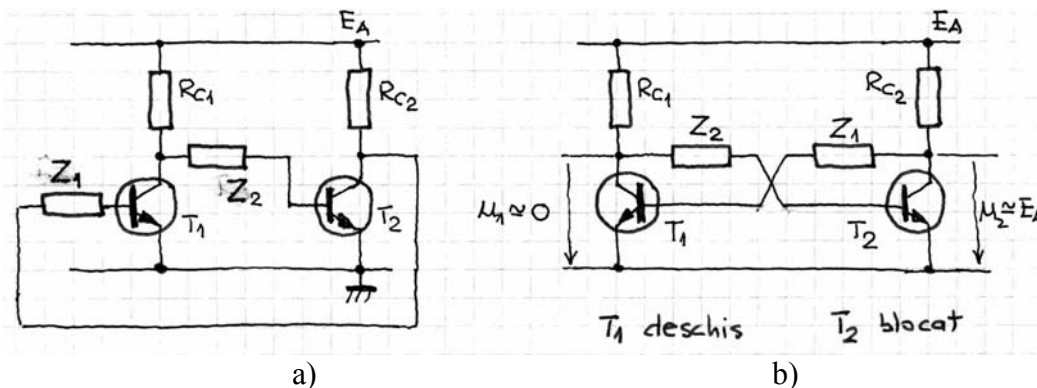


Fig. 4.1. Circuit basculant desenat in varianta nesimetrica (a) si simetrica (b)

In cazul cel mai general circuitele basculante au doua iesiri, O_1 si O_2 intre masa si cele doua colectoare ale tranzistoarelor si doua intrari, I_1 si I_2 , in majoritatea cazurilor intre bazele tranzistoarelor si masa (figura 4.2.a). O reprezentare simplificata uzuala prezinta circuitul basculant ca un dreptunghi cu doua sectiuni marcate distinct prin hasurare, cifre sau nuante diferite (cazul de aici) cu iesirile in partea superioara si intrarile in partea inferioara (figura 4.2.b).

Tensiunile de iesire sunt aici u_1 si u_2 .

Din cauza reactiei pozitive puternice tranzistoarele sunt in zonele limită ale caracteristicilor de transfer si anume unul este in zona de saturatie iar al doilea in zona de blocare. Cele doua tensiuni de iesire sunt prin urmare, una aproximativ zero, corespunzatoare tranzistorului in saturatie, a doua ridicata, aproape de valoarea tensiunii de alimentare, conform valorilor din figura 3.14.

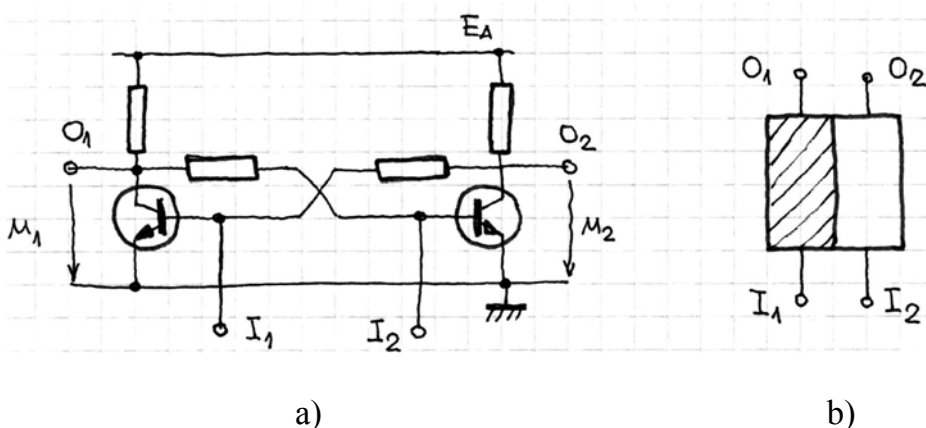


Fig. 4.2. Circuit basculant: intrari, iesiri (a) si reprezentare simplificata (b).

Exista doua stari:

S_1 cu $u_1=0$ tranzistorul T_1 deschis la saturatie
 $u_2=E_A$ tranzistorul T_2 blocat

S_2 cu $u_1=E_A$ tranzistorul T_1 blocat
 $u_2=0$ tranzistorul T_2 deschis la saturatie

Cele doua stari sunt complementare.

Circuitul poate trece, fie singur in unele situatii, fie fortat de o comanda exterioara in altele, in starea complementara. Trecerea se face intotdeauna intr-un timp scurt, care se neglijeaza de cele mai multe ori si se numeste **basculare**. Desi tehnic este posibil ca ambele tranzistoare sa fie aduse in aceeaasi stare, cele doua stari trebuie sa fie permanent complementare, astfel ca intotdeauna tensiunile de iesire fie in opozitie (figura 4.2). In orice moment de timp, neglijand tranzitiile, una din iesiri e la nivel ridicat si a doua la nivel coborat.

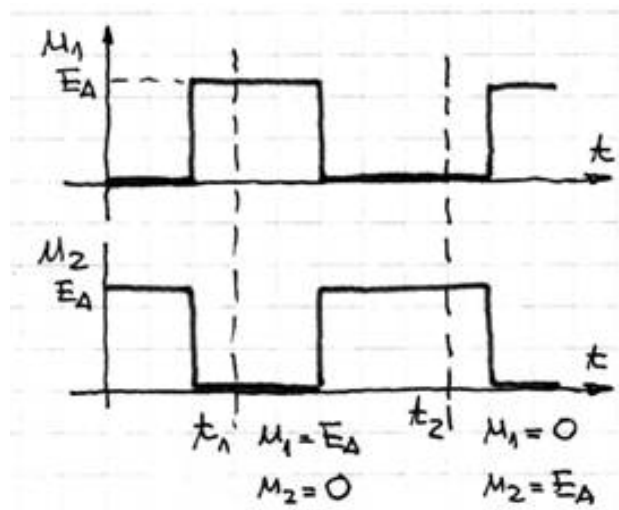


Fig. 4.2. Tensiunile de iesire la un circuit basculant

4.1.2. Clasificarea circuitelor basculante

Un circuit basculant are intotdeauna doua stari distincte, S1 si S2.

Cele doua stari pot fi la randul lor de doua feluri:

- stabila;
- cvasi-stabila.

Stare stabila este atunci cand circuitul basculant nu poate trece in starea complementara (nu poate bascula) decat in urma unei interventii exterioare, care este obisnuit un impuls de comanda pe una din intrarile circuitului. De fapt prin comanda trebuie scos unul dintre cele doua tranzistoare din starea sa. Din acest moment, datorita reactiei pozitive puternice se produce bascularea. In lipsa comenzii starea nu se schimba, iesirile raman nemodificate un timp indefinit.

Stare cvasi-stabila este atunci cand circuitul basculant va trece trece in starea complementara (basculaeaza) fara interventie exterioara, dupa trecerea unui interval de timp care depinde de elementele circuitului.

In functie de natura celor doua stari S1, S2 circuitele basculante se impart in trei mari categorii:

Circuit basculant **bistabil**, **CBB**, (**flip-flop** în engleză) au ambele stari stabile, circuitul este intr-una din stari si trece in starea complementare doar in urma unei comenzi potrivite; pentru aceste circuite Z1 si Z2 sunt rezistente.

Circuit basculant **monostabil** sau monovibrator, **CBM**, au o stare stabila, si una cvasi-stabila. Circuitul este normal in starea stabila, trece in starea complementara, cvasistabila doar in urma unei comenzi potrivite dar revine singur, dupa un timp, la starea stabila; pentru aceste circuite Z1 si Z2 sunt una rezistenta, a doua condensator

Circuit basculant **astabil** sau multivibrator, **CBA**, au ambele stari cvasi-stabile, circuitul trece in starea complementare fara comanda si dupa un timp revine, tot fara comanda, la prima stare apoi din nou trece in starea complementara s.a.m.d.; pentru aceste circuite Z1 si Z2 sunt condensatoare.

Exista un al patrulea circuit basculant important, este un circuit din familia circuitelor basculante bistabile: circuit **basculant Schmitt**, **CBS**.

4.2. Circuite basculante bistabile, CBB

4.2.1. Mecanismul de basculare

Un circuit basculant bistabil in cea mai simpla varianta are schema din figura 4.3 si este de obicei perfect simetric, tranzistoarele sunt identice, rezistentele din colectoare egale, $R_{C1}=R_{C2}$, la fel rezistentele din bazele tranzistoarelor, $R_{B1}=R_{B2}$.

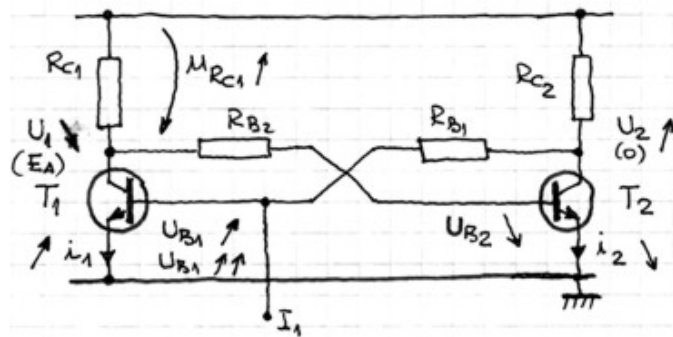
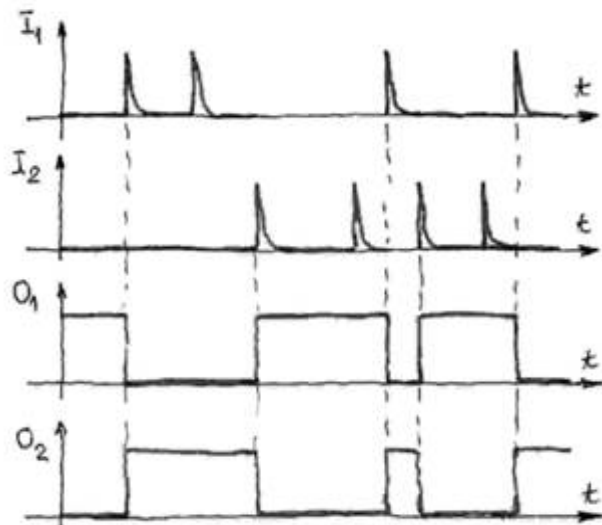


Fig. 4.3. Mecanismul de basculare

Mecanismul de basculare in urma unei comenzi potrivite poate fi urmarit pe aceeași figura 4.3.

Presupunem T1 blocat, $I_1=0$, $U_1=E_A$, T2 deschis, $U_2=0$, $I_2= E_A /R_c$.

O comanda potrivita trebuie sa scoata unul dintre tranzistoare din starea sa. Daca se face comanda pentru T1, este nevoie de un impuls pozitiv care creste U_{B1} . T1 se deschide si I_1 incepe sa creasca. Tensiunea pe R_{C1} creste si concomitent U_1 scade (suma celor doua e constanta, $U_1 + U_{R_{C1}}=E_A$). Scaderea se transmite prin R_{B2} si tensiunea U_{B2} scade. T2 incepe sa se blocheze. I_2 scade, $U_{R_{C2}}$ scade si U_2 creste. Cresterea se transmite prin R_{B1} la baza T1, deci U_{B1} unde incepuse ciclul, creste mai accentuat, T1 se deschide mai mult, T2 se blocheaza mai mult s.a.m.d. pana cand se atinge starea 2.



4.4. Diagrame pentru comandă separată

4.2.2. Moduri de comanda

Comanda separată

O data ajuns în starea 2, o comanda de același fel, care să deschidă T_1 nu mai provoacă bascularea, T_1 fiind acum deschis. Pentru basculare este nevoie fie de o comanda care să blocheze T_1 , adică un impuls negativ, fie un impuls pozitiv pe a doua intrare. Aceasta varianta, cu impulsuri la fel, aplicate pe rând când la unul când la altul dintre tranzistoare este varianta utilizată obișnuit. Modul acesta de comanda se mai numește și **comanda separata** și poate fi urmărit pe diagramele din figura 4.4. Se vede că CBB basculează în acest mod de comanda doar atunci când impulsurile de comanda alternează de la o intrare la alta.

Comanda comună

Un alt mod de comanda al CBB este **comanda comună** iar circuitul este prezentat simplificat în figura 4.5 a. Impulsurile sosesc la o singură intrare de unde sunt dirijate printr-un circuit de comanda comună la bazele tranzistoarelor. Circuitul propriu-zis de comanda este mai complicat și este reprezentat printr-un bloc. Acest mod de comanda asigură bascularea CBB la fiecare impuls și diagrama mărimilor principale se poate vedea în figura 4.5.b.

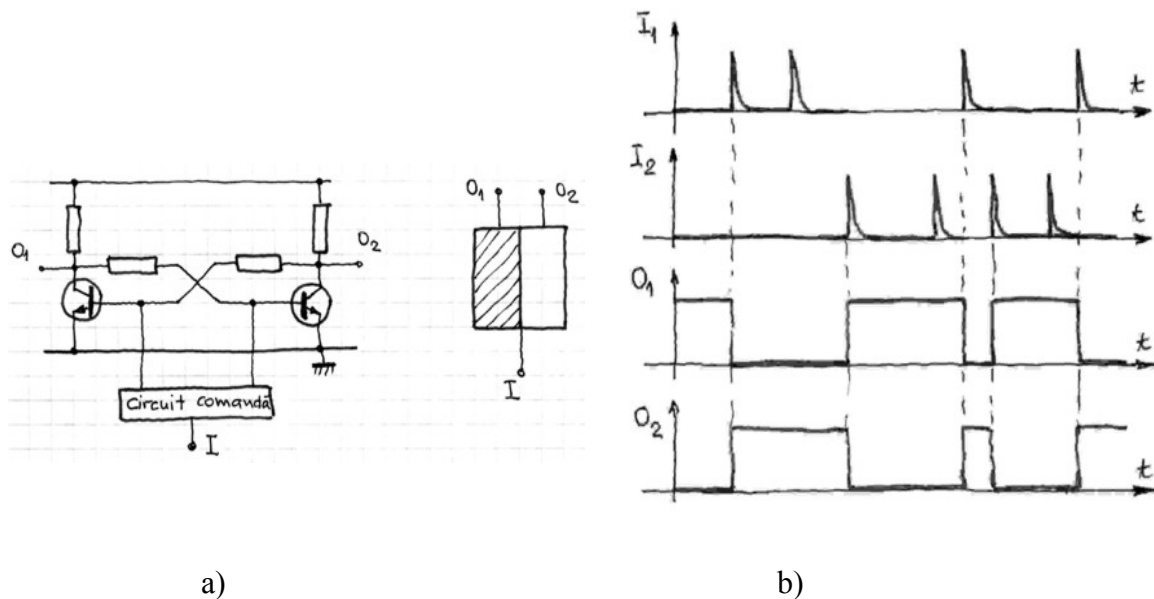


Fig. 4.5. CBB cu comanda comună : schema simplificata (a); forma mărimilor (b)

4.2.3. Utilizarea CBB

CBB are multiple utilizari, dar doua dintre ele sunt cele mai importante. CBB, sub forme diferite, sunt componentele principale în circuitele de bază ale calculatoarelor digitale, circuitele de memorare și cele de calcul.

Utilizarea ca memorie binara

Existenta a doua stari stabile face ca CBB sa fie utilizat ca celula de memorie binara. Pentru una din stari se aloca valoarea 0, pentru a doua valoarea 1 (figura 4.6.a). Cu un CBB se poate memora o singura cifra binara, care nu poate fi decat 0 sau 1.

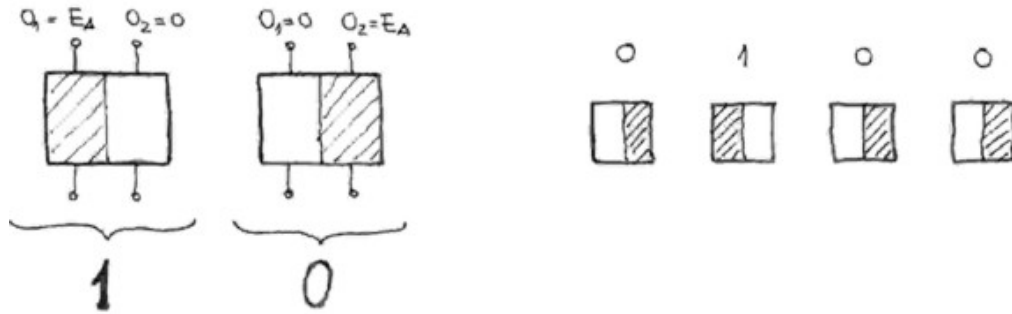


Fig. 4.6. CBB ca celula de memorie (a) și registru cu 4 celule binare (b)

Daca se utilizeaza siruri de CBB care se numesc registre, se pot memora numere mai mari. De exemplu in figura 4.6.b un registru de 4 celule poate memora cifre binare de la 0000 la 1111, adica de la 0 la 15 zecimal (in figura este cifra 4).

Utilizarea ca divizor de frecventa (numaratoare)

Atunci cand este utilizat in comanda comuna, CBB realizeaza o divizare cu 2 a impulsurilor de comanda. Daca privim schema simplificata si diagramele din figura 4.7. se poate vedea ca daca avem la intrare o succesiune de impulsuri de o frecventa f , dupa ce impulsurile de iesire sunt trecute printr-un circuit de derivare si limitare care pastreaza impulsuri scurte doar pentru fronturile crescatoare se obtine la intrarea CBB_2 o succesiune de impulsuri de 2 ori mai rare. Frecventa a scazut de 2 ori. Sau altfel, la 2 impulsuri de intrare am obtinut unul la iesire. Acesta este un numarator cu 2.

Daca se pun doua CBB se face o divizare cu 4 (numara 4 impulsuri), pentru trei o divizare cu 8 s.a.m.d. De fapt prin utilizarea unor scheme doar cu puțin mai complicate se poate face divizare (numarator) cu orice numar.

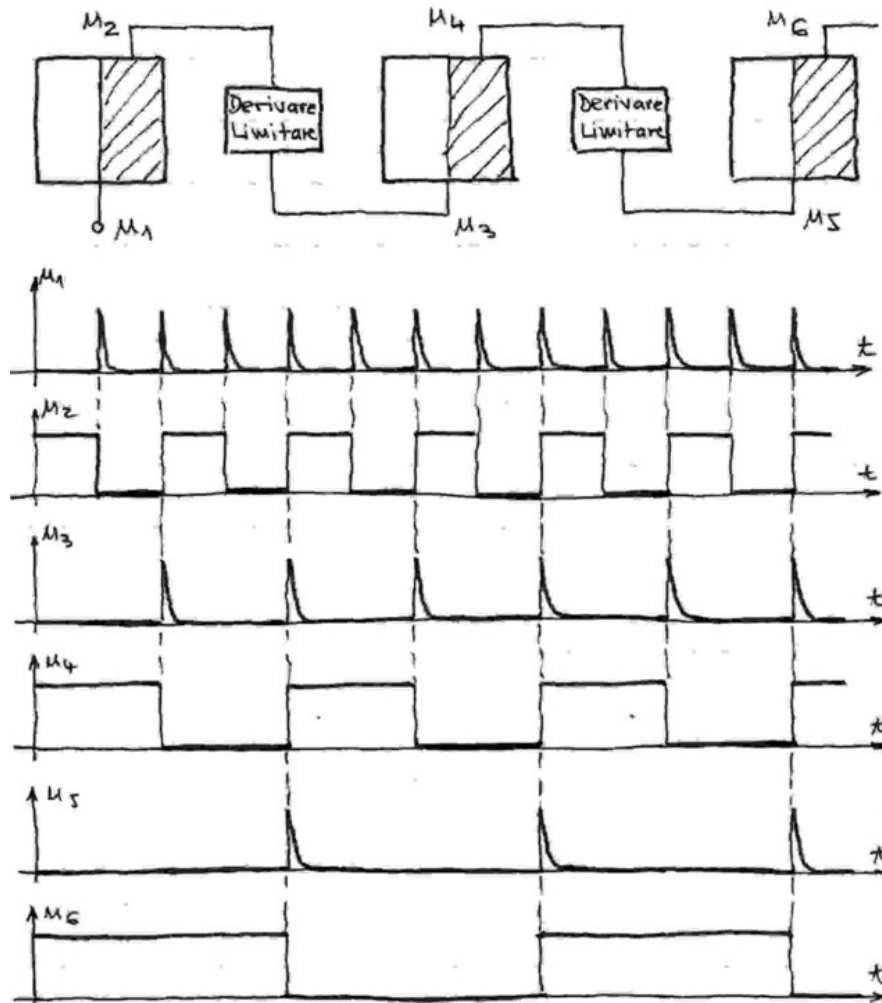


Fig. 4.7. Forma tensiunilor la un divizor de frecventa cu trei CBB

4.2.4. Circuite de comandă pentru CBB

Circuite cu comandă separată

Impulsurile de comandă sunt obținute obișnuit cu circuite de derivare și apoi sunt selectate cele de polaritatea dorită. Impulsul de comandă doar inițiază procesul de basculare care se desavârșește prin mecanismul de reacție pozitivă descris mai înainte.

Comanda CBB se poate face în diferite moduri. Impulsurile de comandă pot fi aplicate atât pe baza cât și pe colectorul tranzistoarelor, pot fi atât pozitive cât și negative. Comanda pe bază este mai sensibilă decât cea pe colector.

Impulsurile de comandă pot deschide un tranzistor aflat în zona de blocare sau pot bloca un tranzistor care este în conducție, la saturație sau uneori în zona activă.

Comanda cu impulsuri care blochează un tranzistor aflat în conducție are două avantaje:

- sensibilitatea la comandă a CBB este mai mare;
- energia necesară pentru a produce bascularea este mai mică.

Astfel, pentru un CBB realizat cu tranzistoare npn bascularea se face în condiții optime dacă se aplică un impuls negativ pe baza tranzistorului în conducție.

Un astfel de circuit este prezentat în figura 4.8.

Pentru comanda pe colector circuitul de comandă este similar, punctul de comandă fiind deplasat de pe bazele tranzistoarelor pe colectoarele acestora.

Circuite cu comandă comună

Un circuit de comandă comună produce basculare la fiecare front de o anumită polaritate. El creează impulsuri de comandă dar mai trebuie să le dirijeze alternativ spre cele două tranzistoare.

Circuit cu comandă comună pe baze

Un astfel de circuit este prezentat în figura 4.9. Modul de funcționare este prezentat în continuare.

Fie circuitul în starea:

T1-saturat

T2-blocat

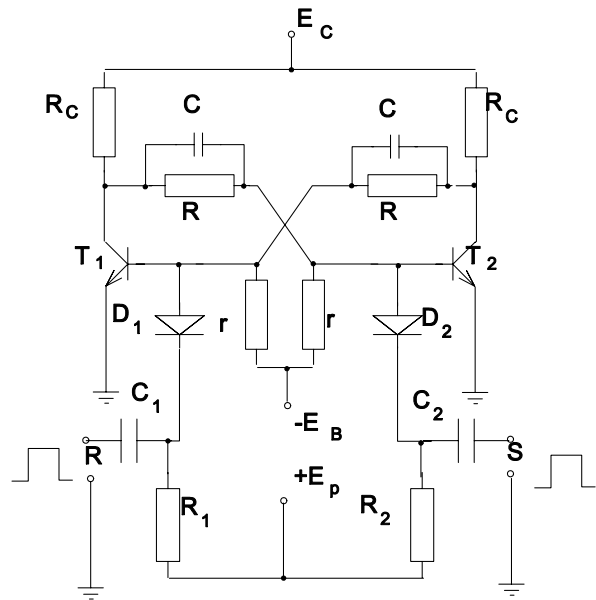


Fig. 4.8. CBB cu circuit de comandă separată pe baze

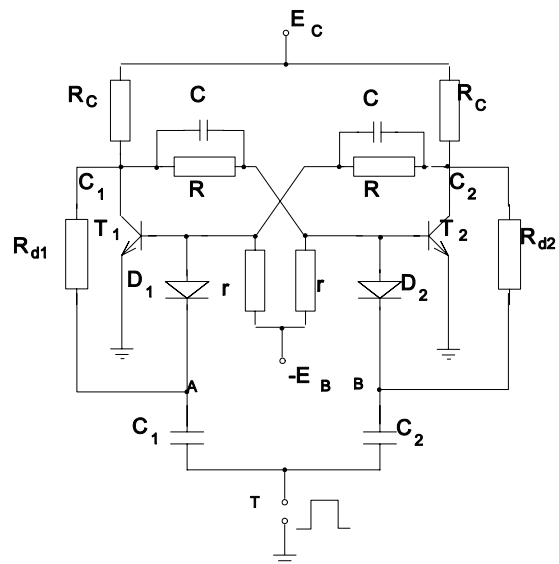


Fig. 4.9. CBB cu circuit de comandă comună

Tensiunile în diferite puncte ale schemei au următoarele valori tipice (pentru tranzistoarele cu siliciu) :

$$U_{C1}=+0,1V;$$

$$U_{B1}=+0,7V;$$

$$U_{C2}=+E_C;$$

$$U_{B2}=-0,1V$$

Dioda D_1 are pe anod potențialul $+0,7\text{ V}$ corespunzător celui al bazei tranzistorului în saturație iar pe catod, prin R_{d1} are potențialul $+0,1\text{ V}$ și deci este polarizată direct cu tensiunea aproximativ $0,6\text{ V}$ fiind la limita de intrare în conducție. Dioda D_2 are pe anod potențialul $+0,1\text{ V}$ corespunzător, prin rezistența R celui al colectorului tranzistorului în saturație iar pe catod, prin R_{d2} are potențialul $+E_C$ și deci este polarizată invers cu o tensiunea aproximativ egală cu E_C fiind deci blocată cu o tensiune mare. Impulsul de declanșare T este diferențiat de grupurile R_{d1} , C_1 și R_{d2} , C_2 . Impulsurile pozitive rezultate prin diferențiere vor fi eliminate de diodele D_1 și D_2 . Dintre cele două impulsuri negative rezultate prin diferențiere, va fi favorizat cel care se aplică în catodul diodei în conducție, D_1 . În acest fel fiecare front negativ determină comutarea circuitului, deoarece un impuls negativ este aplicat pe baza tranzistorului conductor.