

CAPITOLUL 9**CIRCUITE DE COMANDĂ PENTRU
DISPOZITIVE DE PUTERE**

Un circuit de comandă a unui dispozitiv electronic de putere (CCD) furnizează acestuia, în cazul cel mai general, un semnal pentru aprindere, menținere în starea aprins un interval dorit, stingere și menținere în starea stins. El reprezintă partea finală a blocului de comandă și partea de intrare din circuitul de forță a unui sistem de putere (figura 9.1). Tot aici intră și circuitele de izolare (figura 9.6). Se poate spune că circuitul de comandă a unui dispozitiv electronic, denumit în engleză *driver* reprezintă interfața dintre blocul de comandă și partea de forță a unui sistem de putere.

Un CCD de calitate produce o comutație sigură în cele mai defavorabile situații, asigură timpi cât mai mici de tranziție, menține ferm dispozitivul în starea dorită pentru fiecare interval de timp și provoacă pierderi minime atât în tranziții cât și în intervalele aprins sau stins, toate acestea la un preț minim și o siguranță maximă de funcționare.

Două interogații au implicațiile cele mai importante asupra alegerii unui anumit CCD și anume:

- Este sau nu necesară o izolare galvanică între circuitul de comandă și circuitul de forță?
- Este necesar un semnal de comandă unipolar (doar pozitiv sau doar negativ) sau un semnal de comandă bipolar?

Cel mai utilizat semnal de comandă este semnalul periodic dreptunghiular, unipolar sau bipolar cum s-a amintit, dar sunt necesare în multe situații variante mai complexe.

9.1. Clasificarea CCD

CCD se clasifică după numeroase criterii care sunt enumerate în continuare, împreună cu categoriile corespunzătoare acestor criterii. Sunt date și precizări suplimentare iar pentru asta se consideră obișnuit că semnalul de comandă este un semnal de tensiune, de formă dreptunghiulară, cu factor de umplere oarecare.

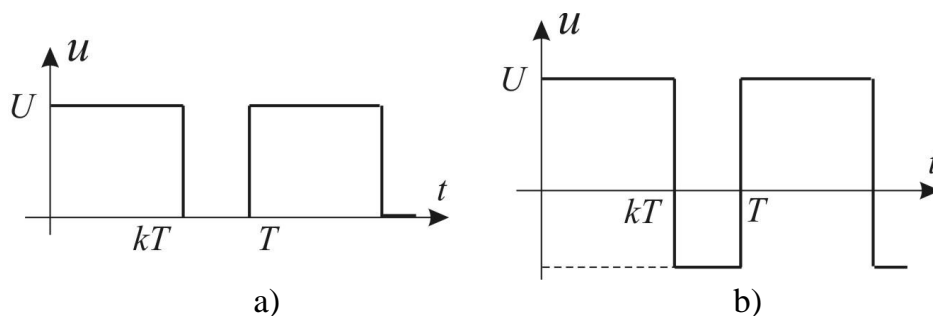


Fig. 9.1. CCD cu semnal unipolar (a) și bipolar (b).

9.1.1. Polaritatea semnalului de comandă

Cele mai multe ventile pot fi comandate cu impulsuri de o singură polaritate, GTO fiind una dintre excepții. Cu toate acestea multe dintre ele au performanțe mai bune dacă sunt comandate cu semnale de o polaritate pentru aprindere și de alta pentru stingere și atunci CCD se împart în (figura 9.1):

- unipolare
- bipolare

9.1.2. Izolare galvanică

Dacă circuitul de comandă este sau nu izolat, CCD se împart în (figura 9.2):

- fără izolare galvanică
- cu izolare galvanică, care poate fi:
 - prin transformator (figura 9.2a);
 - prin cuplaj optic, cu sau fără transmitere la distanță cu fibră optică (figura 9.2b);
 - cu amplificator cu izolare (figura 9.2c).

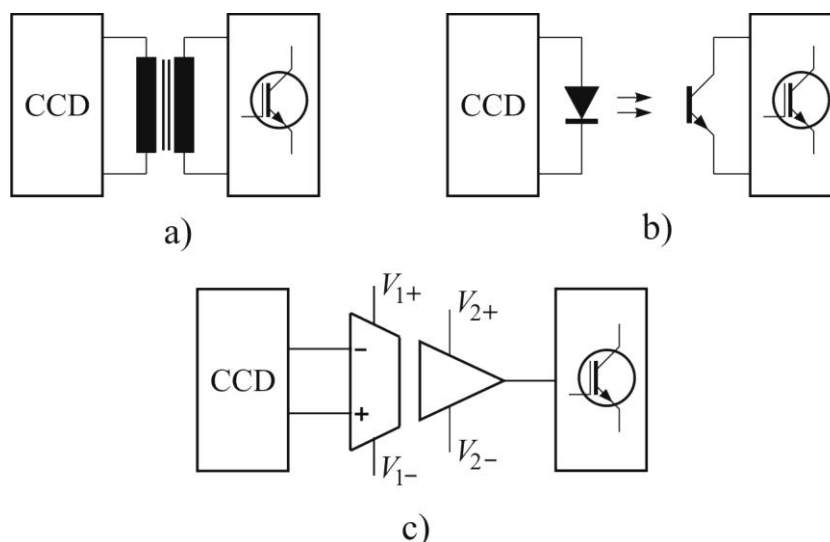


Fig. 9.2. CCD cu izolare prin: transformator (a); cuplaj optic (b); amplificator cu izolare (c).

Pentru CCD fără izolare galvanică punctele de masă ale circuitelor de forță și de comanda sunt aceleași sau sunt conectate prin elemente de circuit dipolare.

Pentru CCD cu izolare galvanică circuitele de comanda au masa flotantă.

Aici se mai face o altă separare importantă. Partea dinspre dispozitiv a circuitului poate să fie simplă (ca de exemplu în figura 9.7) sau să fie însoțită și de una sau mai multe surse de alimentare suplimentare ca în figura 9.8. În acest caz și sursele de alimentare trebuie să fie izolate față de circuitul de comandă, izolare ce se face prin transformatorul de rețea care aici este obligatoriu și are de obicei și un ecran între primar și secundar.

Dacă izolarea se face prin cuplaj optic sunt rare cazurile în care nu exista și cel puțin o sursă suplimentară care trebuie să alimenteze fototranzistorul (figura 9.3).

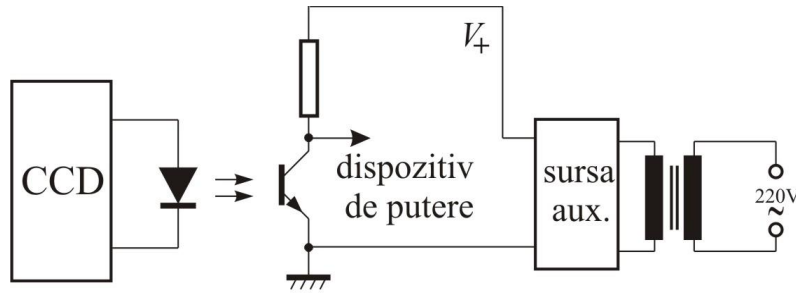


Fig. 9.3. CCD cu cuplaj optic și sursă auxiliara izolată.

CCD cu izolare au câteva dezavantaje:

- reprezintă o soluție scumpă;
- sunt adeseori cauza apariției unor aprinderi nedorite a dispozitivelor prin transmisia unor variații rapide de tensiune prin capacitatea parazită dintre înfășurările transformatoarelor de izolare, fie ele de semnal sau de rețea

9.1.3. Tipul dispozitivului de putere

CCD se împart aici întâi funcție de modul specific de comandă al dispozitivelor și apoi pe dispozitive:

- pentru dispozitive semicomandate:
 - tiristor
 - triac
- pentru dispozitive comandate:
 - GTO
 - tranzistor bipolar
 - MOSFET
 - IGBT

9.1.4. Forma semnalului de comandă

CCD sunt cu semnal :

- dreptunghiular (figura 9.1)
- dreptunghiular cu timp mort (figura 9.4a)
- tren de impulsuri (figura 9.4b)
- de formă complexă

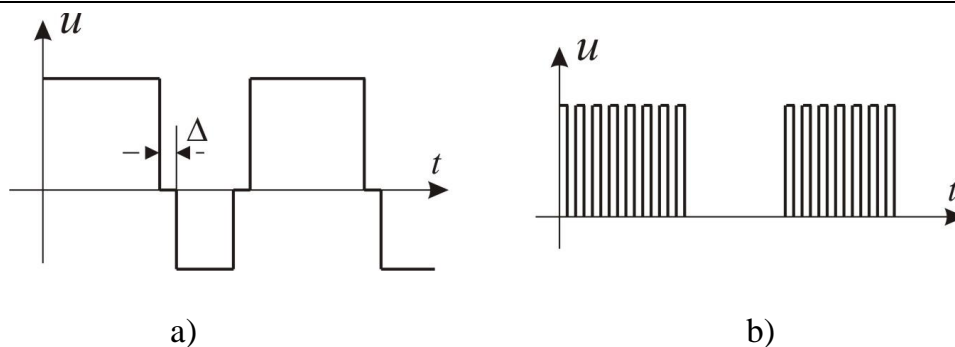


Fig. 9.4. CCD cu impulsuri cu timp mort (a) și cu tren de impulsuri (b)

9.1.5. Elementele componente

CCD sunt, după elementele care le compun:

- cu elemente discrete de circuit;
- cu circuite integrate specializate;
- hibride.

9.1.6. Poziția sarcinii

CCD sunt (figura 9.5) diferite pentru dispozitive cu sarcina :

- la masă
- la sursă

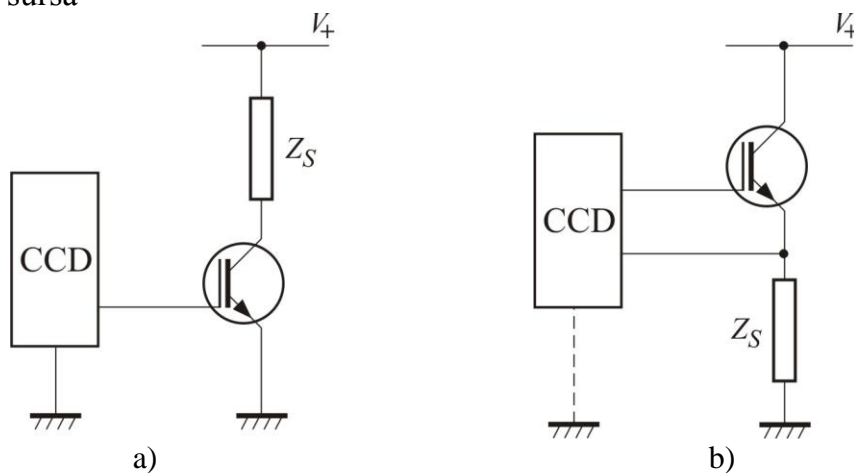


Fig. 9.5. CCD pentru dispozitive cu sarcina la masă (a) sau la sursă (b).

9.1.7. Numărul dispozitivelor comandate

CCD sunt (figura 9.6):

- individuale;
- pentru dispozitivele unui brat de punte sau semipunte.

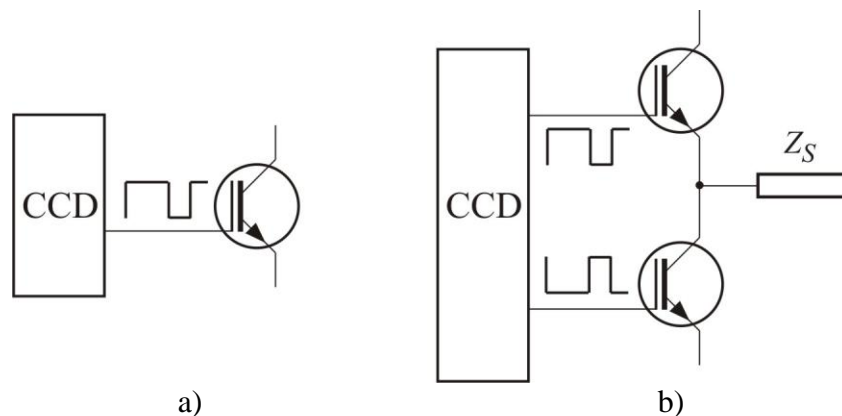


Fig. 9.6. CCD individual (a) sau pentru dispozitive ale unui braț semipunte (b)

9.1.8. Metoda realizării sursei flotante

Pentru dispozitivele cu sarcina la sursă (emitor) sau cele „sus” dintr-un brat semipunte CCD trebuie să îndeplinească doua cerințe importante:

1. Potentialul la electrodul de comandă trebuie să fie cu 10-15V mai mare ca potențialul bornei pozitive a sursei de c.c. de putere, adică cel mai mare din circuitul de putere. Este nevoie de această diferență pentru că atunci când dispozitivul, presupunem IGBT, este în conducție și tensiunea principală este pe el este mică (volți) tensiunea de comandă pe grilă, U_{GE} trebuie să fie mai mare de 10V (figura 9.7) și deci să depășească nivelul V_+
2. Impulsul de comandă, care vine dintr-un circuit de prelucrare (discret, logic, procesor) cu conectare la masă (borna negativă a sursei de c.c. de putere) trebuie să suporte o deplasare de nivel în c.c.

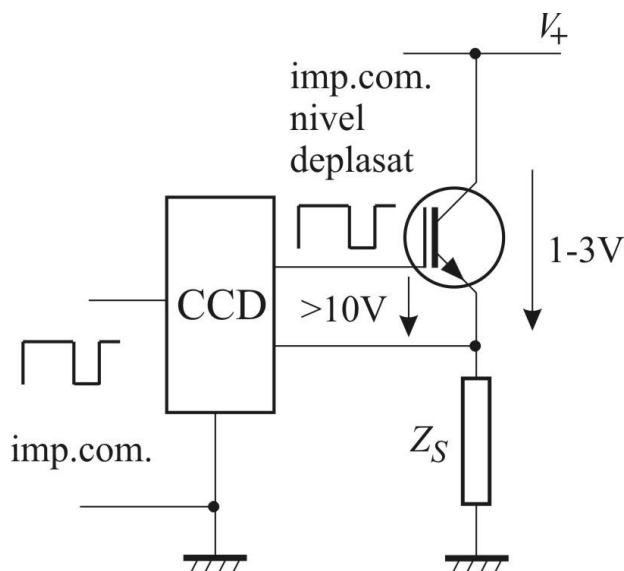


Fig. 9.7. Cerințe CCD „sus”

Diferite metode sunt folosite pentru a realiza aceste caracteristici principale, variantele de CCD fiind:

- cu transformator de impulsuri
- cu sursă flotantă
- bootstrap
- cu pompa de sarcină
- cu oscilator-redresor

CCD cu transformator de impulsuri

Circuitul este prezentat în figura 9.8 el are următoarele caracteristici:

- simplu și ieftin dar limitat în multe privințe;
- funcționarea la timpi mai mari ai impulsurilor cere tehnici complexe;
- mărimea transformtorului crește semnificativ când frecvența scade;
- produce impulsuri parazite semnificative.

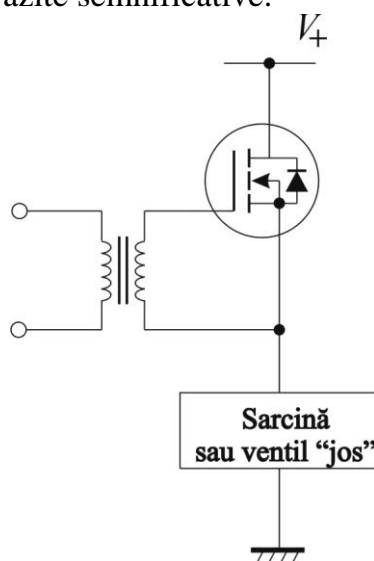


Fig. 9.8. CCD cu transformator de impulsuri.

CCD cu sursă flotantă

Circuitul este prezentat în figura 9.9 și are următoarele caracteristici:

- asigură comandă peioade de timp oricât de lungi;
- soluție scumpă, este nevoie de câte o sursă sau doua, separate, flotante, pentru fiecare dispozitiv;
- optocuplajul poate fi relativ scump la performante ridicate privind viteza și lărgimea de bandă.

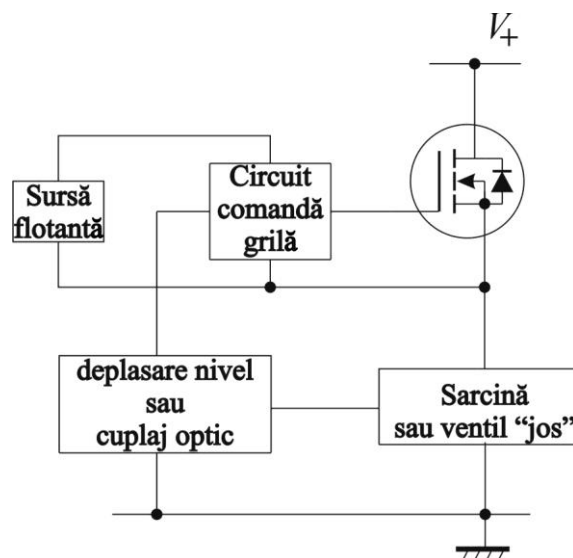


Fig. 9.9. CCD cu sursă flotantă.

CCD cu condensator bootstrap

Circuitul este prezentat în figura 9.10 și are următoarele caracteristici:

- simplu și ieftin;
- când condensatorul bootstrap este încărcat de la un circuit de putere mare pierderea de putere poate fi semnificativă;
- condensatorul trebuie reîncărcat și nu se pot realiza timpi lungi ai impulsurilor de comandă.

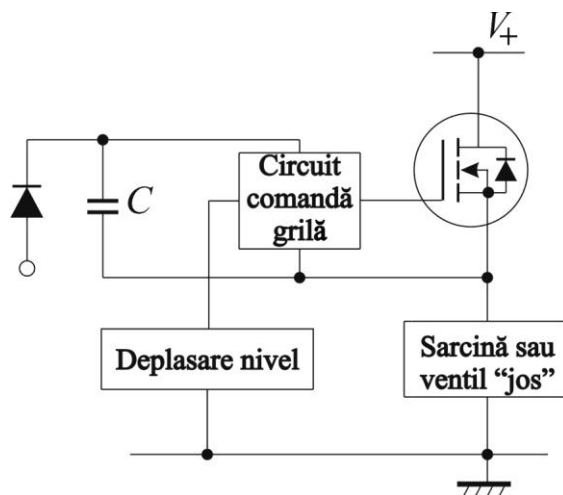


Fig. 9.10. CCD cu condensator bootstrap

CCD cu pompă de sarcină

Circuitul este prezentat în figura 9.11 și are următoarele caracteristici:

- poate fi folosit la generarea unei supra-tensiuni peste V_+ controlată de circuitul de deplasare a nivelului impulsurilor;
- timpii de pornire tind a fi prea lungi;
- poate fi ținută pornită pentru o perioadă de timp indefinită;
- circuitul de multiplicare poate cere mai mult de două etape de pompare.

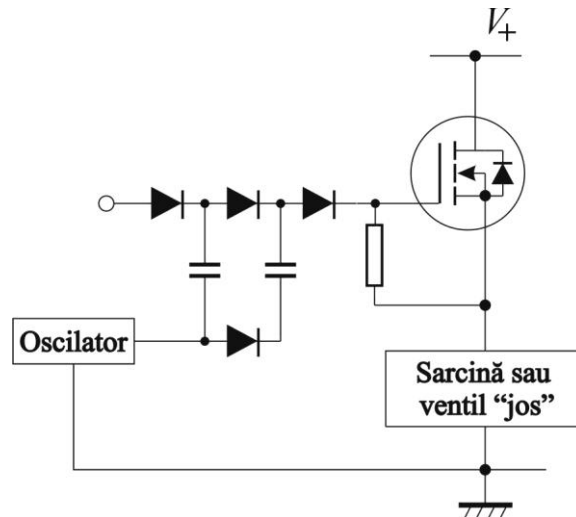


Fig. 9.11. CCD cu pompă de sarcină.

CCD cu purtătoare

Circuitul este prezentat în figura 9.12 și are următoarele caracteristici:

- asigură impuls pentru o perioadă de timp indefinită
- limitat în performanțe de prezența transformatorului

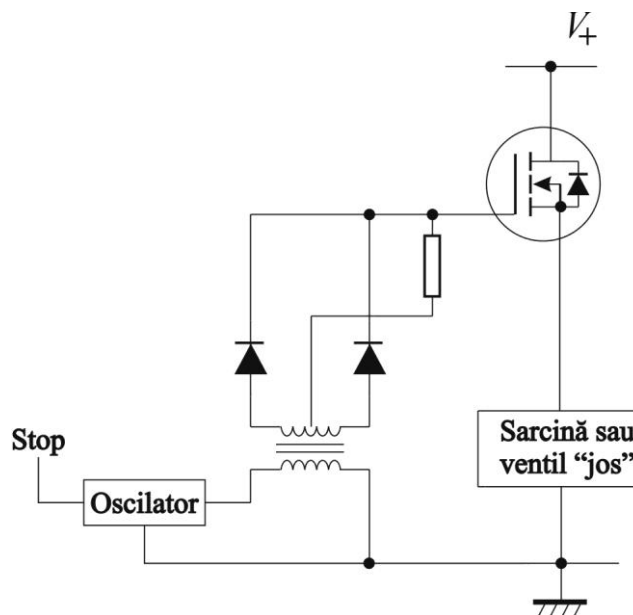


Fig. 9.12. CCD cu purtătoare.

9.1.9. Natura semnalului de comandă

Pentru dispozitivele MOS sau cu control MOS al comenzii dispozitivului (IGBT, IGCT) comanda se face în tensiune, nivelul de curent în regim continuu de comandă fiind extrem de redus, pe când celelalte ventile au nevoie de curenți semnificativi iar în unele cazuri (GTO) mari sau foarte mari.

Pentru primele nivelul curentului este însă mare în tranziții pentru că e nevoie de încărcarea sau descărcarea capacităților asociate cu spațiul de comandă sau cu efectul Miller

CCD sunt, din acest punct de vedere cu semnal :

- de tensiune
- de curent

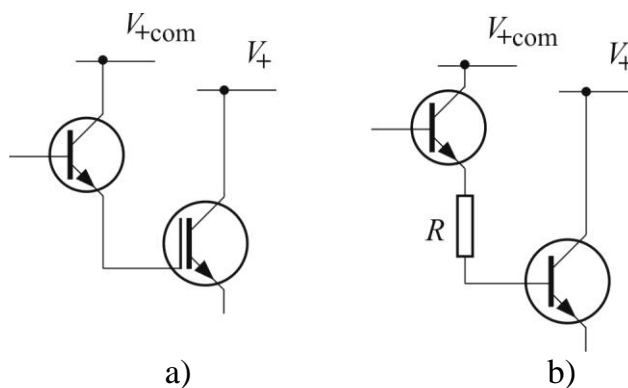


Fig. 9.13. CCD de tensiune (a) sau de curent (b).

Comanda în tensiune presupune că ultimul dispozitiv care transmite impulsul electrodului de comandă să fie direct conectat între acesta și bornele surselor de c.c. care alimentează CCD (figura 9.13a).

Comanda în curent presupune, în cazul cel mai simplu (figura 9.13 b), ca ultimul dispozitiv care transmite impulsul electrodului de comandă să fie conectat între acesta și bornele surselor de c.c. care alimentează CCD printr-o rezistență (rezistența poate însă fi prezenta și la controlul în tensiune, ea mai are rolul, în ambele cazuri, de limitare a curentului instantaneu). Pentru situații pretențioase circuitul conține generatoare de curent controlate în variante mai simple sau mai elaborate.

9.2. CDD pentru tiristoare

Schema tipică pentru comanda unui tiristor prin transformator de izolare este prezentată în figura 9.14.

Impulsul pozitiv de comandă deschide tranzistorul T_1 , pe primarul transformatorului tensiunea este egală cu tensiunea sursei, cu semnul + la borna marcată iar curentul prin tranzistor crește. Elementele și durata impulsului (scurt, de ordinul microsecunde-zeci de microsecunde) sunt alese astfel încât transformatorul să nu ajungă la saturație.

Pe înfășurarea secundară tensiunea este cu semnul plus la borna marcată și prin dioda D polarizată direct se transmite grilei tiristorului T care se aprinde

Când impulsul revine la valoarea zero tranzistorul se blochează, curentul scade și tensiunea pe primarul transformatorului își schimbă semnul (și poate ajunge, în lipsa diodelor conectate în paralel, la valori mari) astfel că pe colectorul tranzistorului se însumează tensiunea pe primar cu tensiunea sursei. Grupul de diode D și D_Z limitează supracreșterea aceasta la aproximativ valoarea tensiunii diodei Zener, constituind un element de protecție.

Pe înfășurarea secundară tensiunea schimbă la rândul ei semnul dar dioda D polarizată invers protejează spațiul grila-catod al tiristorului fiind și ea un element de protecție. În fine și rezistența R are tot un rol de protecție și anume, prin micșorarea rezistenței spațiului grila-catod micșorează nivelul eventualelor tensiuni parazite care pot aprinde accidental tiristorul T.

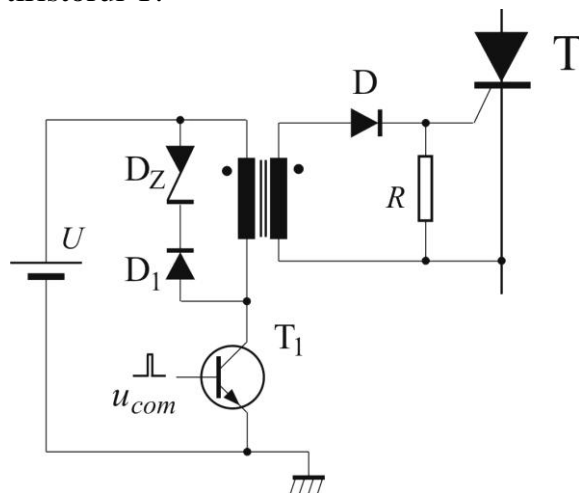


Fig. 9.14. Comanda unui tiristor prin transformator de izolare.

Impulsurile de aprindere pentru tiristoare sunt de cele mai multe ori dreptunghiulare dar atunci când se dorește micșorarea timpului de amorsare impulsul ideal, de curent, are forma prezentată în figura 9.2. El are o supracreștere importantă în prima parte și o viteză de creștere mare (fără a depăși o limita prescrisă de foile de catalog) iar apoi urmează un palier de valoare mai mică.

Un circuit care realizează un impuls de formă cvasi-ideală este prezentat în figura 9.15.

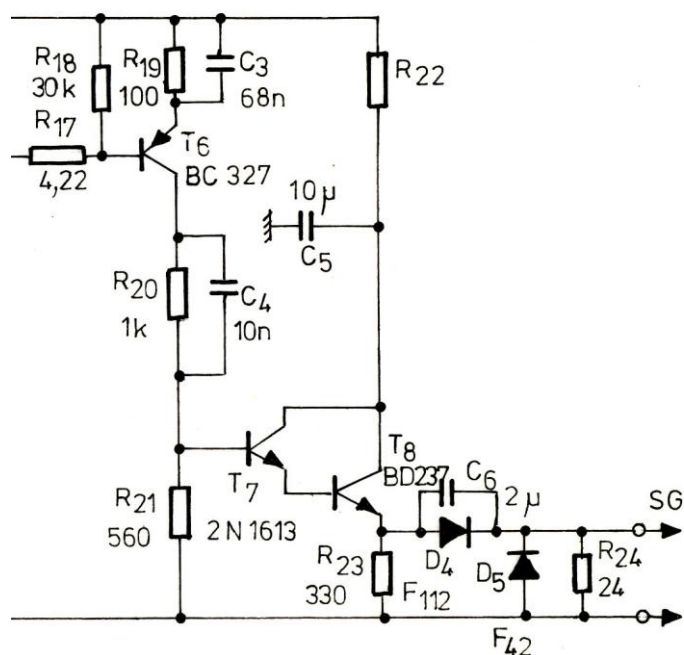


Fig. 9.16. Circuit generator de impulsuri cvasi-ideale.

Impulsul de comandă dreptunghiular de durată 20 μsec . comandă T_6 care împreună cu R_{20} , R_{21} și C_4 formează un impuls cu front sub 0,5 μsec . și amplitudine mare pe intervalul a 3 μsec . urmat de un palier de trei ori mai mic până la sfârșitul impulsului. T_7 și T_8 măresc nivelul curentului la 0,5A pe palier. Diodele D_4 și D_5 protejează poarta la tensiuni inverse iar R_{22} limitează curentul porții la 1A în cazul unei defecțiuni.

9.3. CDD pentru tranzistoare bipolare

Două probleme sunt importante atunci când un tranzistor bipolar de putere este în regim de comutație.

Una este micșorarea timpului de comutație directă care presupune, ca și la tiristor, o supracomandă la momentul inițial și care în varianta simplă și foarte utilizată folosește un condensator de accelerare (figura 9.16).

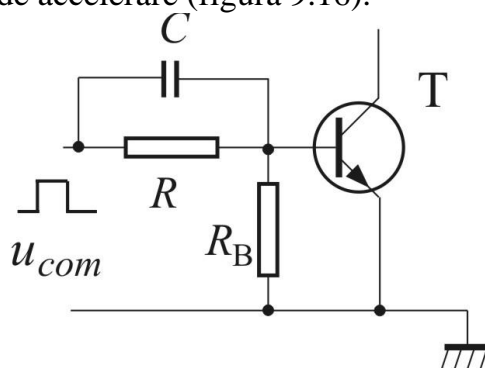


Fig. 9.16. Micșorarea timpului de comutație printr-un condensator de accelerare.

A doua este micșorarea timpului de comutație inversă. O primă metodă este asigurarea polarizării inverse a bazei la momentul blocării care va scădea atât timpul de stocare cât și cel de descreștere. Tensiunea de polarizare inversă nu poate fi marită prea mult fiindcă joncțiunea bază-emitor are obisnuit tensiune de străpungere mică.

Pentru a micșora timpul de stocare se apelează fie la elemente cum este dioda Schottky care poate limita saturarea adâncă a unui tranzistor fie la o metodă de comanda care să controleze nivelul saturației funcție de evoluția sarcinii.

9.4. CDD pentru MOSFET și IGBT

În mod normal nici tranzistorul de putere MOS și nici IGBT nu au nevoie de o polarizare negativă a grilei (bazei) pentru zona de blocare, fixarea tensiunii la zero fiind suficientă având în vedere ca acest nivel este sub nivelul pragului de deschidere a dispozitivelor. Cu toate acestea în anumite cazuri este utilizată polarizarea negativă și anume:

- dacă producătorul specifică în foile de catalog acest mod de comandă;
- când zgomotul este mare și există pericolul deschiderii accidentale nedorite a dispozitivului;
- când se urmărește atingerea limitelor maxime posibile în ce privește viteza de comutație inversă a dispozitivului.

Un circuit care realizează și polarizarea negativă este prezentat în figura 9.17.

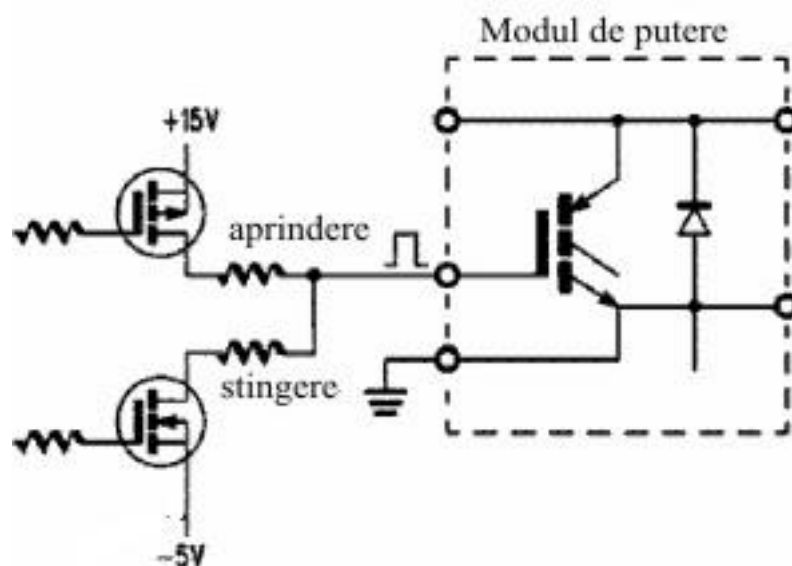


Fig. 9.17. Circuit de comanda ce realizeaza polarizarea negativa.

Un altul, care utilizează și un circuit integrat specializat este prezentat în figura 9.18.

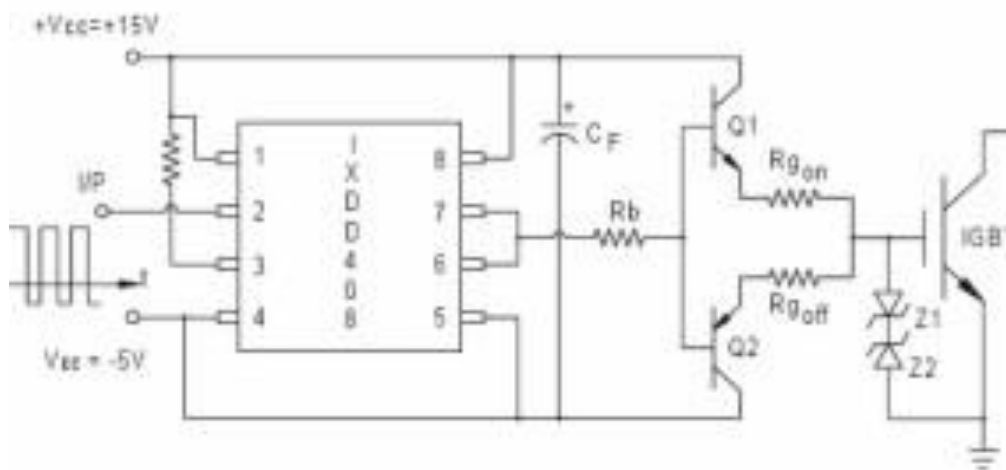


Fig. 9.18. Circuit de comanda specializat.