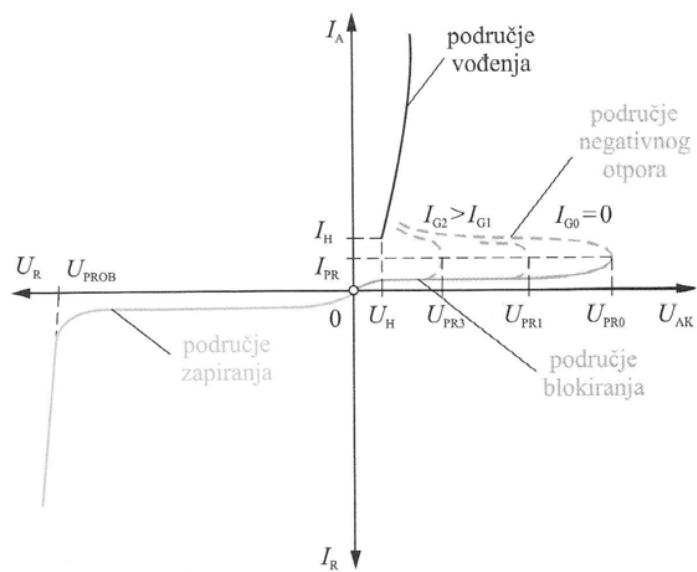


TIRISTORI



Statička karakteristika tiristora

6. TIRISTORI

6.1. OSOBINE I PODJELA

Zajednička svojstva/osobine svih tiristora su:

- imaju dva stabilna stanja - vodljivo i nevodljivo,
- mogu držati blokirni napon.

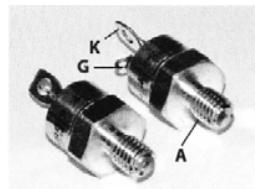
Tiristori koji imaju samo dvije elektrode, anodu i katodu, promjenu stanja postižu promjenom priključenog napona napajanja. Tiristori koji imaju tri elektrode, anodu, katodu i upravljačku elektrodu, promjenom struje upravljačke elektrode prebacuju se iz nevodljivog u vodljivo stanje.

Prema smjeru vođenja struje tiristore dijelimo na:

- istosmjerne i
- dvosmjerne.

Prema načelu rada, razlikujemo sljedeće tiristore:

- jednosmjerni diodni tiristor,
- jednosmjerni upravljeni triodni tiristor (SCR),
- dvosmjerni diodni tiristor (DIAC) i
- dvosmjerni upravljeni triodni tiristor (TRIAC).



Slika 6.1. Kućišta tiristora

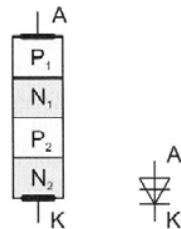
Tiristori se koriste kao prekidačke komponente (elektronički ventili) i kao ispravljači, pretežno u energetskoj elektronici. Imaju sposobnost upravljanja signalima velikih snaga uz istovremeno malu potrošnju,

odnosno malu snagu za upravljanje radom tiristora. Izrađuju se tiristori koji mogu voditi anodnu struju od nekoliko stotina mA kao i oni za struju od nekoliko hiljada A, koji mogu držati zaporni i blokirni napon od nekoliko desetaka V do nekoliko kV.

Oblik kućišta tiristora zavisi o snazi. Slika 6.1 prikazuje jedno kućišta za tiristore sa dva i tri izvoda.

6.2 JEDNOSMJERNI DIODNI TIRISTOR

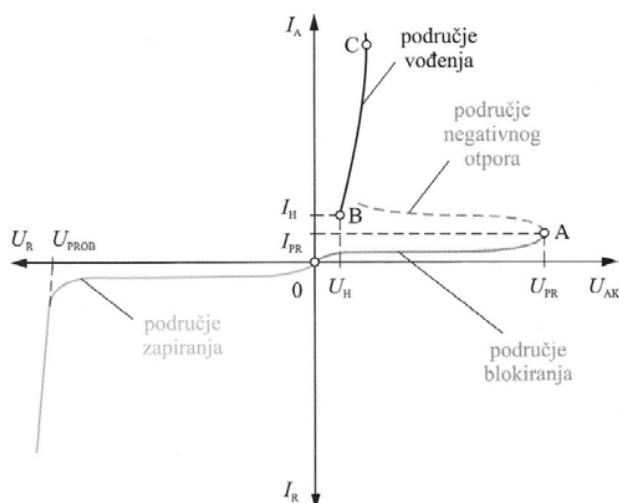
Jednosmjerni diodni tiristor zasniva se na tiristorskoj PNPN strukturi unutar monokristala silicija s dvije elektrode koje se nazivaju anoda (A) i katoda (K). Od katode prema anodi izmjenjuju se N- i P-slojevi (slika 6.2), tako da dioda ima tri PN-prelaza.



Slika 6.2. Struktura i simbol jednosmjernog diodnog tiristora

Jednosmjerni diodni tiristor može se uklopiti (uključiti) samo pri pozitivnom naponu između anode i katode, prekoračenjem tzv. napona prekretanja. Vodljivi tiristor se isklapa (isključuje) prirodnim prolaskom struje kroz nulu.

Slika 6.3 pokazuje strujno-naponsku karakteristiku jednosmjernog diodnog tiristora.



Slika 6.3. Strujno-naponska karakteristika jednosmjernog diodnog tiristora

Na karakteristici zapažamo tri područja rada:

- u I. kvadrantu područje vođenja i područje blokiranja,
- u III. kvadrantu područje zapiranja.

Područje blokiranja: Na anodu je priključen pozitivni, a na katodu negativni pol izvora napona (anoda je pozitivnija od katode), a napon je manji od napona na prekretanja U_{PR} : $0 < U_{AK} < U_{PR}$. Vanjski PN-prelazi su propusna polarizirani, a srednji je napropusno polariziran. Diodni tiristor je u stanju blokiranja i teče zanemariva napropusna struja pa se nalazi u stanju visokog otpora.

Vrijednost napona prekretanja U_{PR} zavisi o tipu tiristora i može varirati u granicama 20-2000V. Radna tačka nalazi se u dijelu OA karakteristike.

Područje vođenja: Jednosmjerni diodni tiristor provede struju kad priključeni napon dostigne vrijednost veću od napona prekretanja U_{PR} - anoda je pozitivnija od katode. Kad provede struju, struja naglo poraste i napon između anode i katode poprimi malu vrijednost (oko 0,6-2V, ovisno o tipu), te ima vrlo mali otpor. Prelaz iz stanja blokiranja u stanje vođenja odvija se brzim prolaskom kroz područje negativnog otpora. U stanju vođenja sva tri PN-prelaza propusno su polarizirana. Radna tačka nalazi se u dijelu BC karakteristike.

Vodljivi jednosmjerni diodni tiristor prestaje voditi struju kad struja padne ispod određene vrijednosti struje držanja I_H kad anodni napon padne ispod napona držanja U_H ili promjenom polariteta napona, tj. uz $U_{AK} < 0$.

Područje zapiranja/proboja: Na anodu je priključen negativni, a na katodu pozitivni pol izvora napona (anoda je negativnija od katode): $U_{PROB} < U_{AK} < 0$.

Vanjski PN-prelazi su napropusno polarizirani, a srednji PN-prelaz je propusno polariziran. Diodni tiristor ne vodi struju te se nalazi u stanju visokog otpora. Teče vrlo mala napropusna struja.

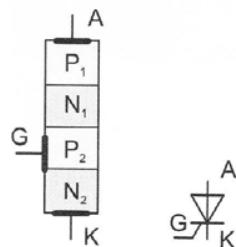
Porastom napona inverzne polarizacije kod probognog napona U_{PROB} nastupa proboj.

U napropusnom području karakteristika je slična karakteristici diode. Jednosmjerni diodni tiristor koristi se za okidanje tiristora.

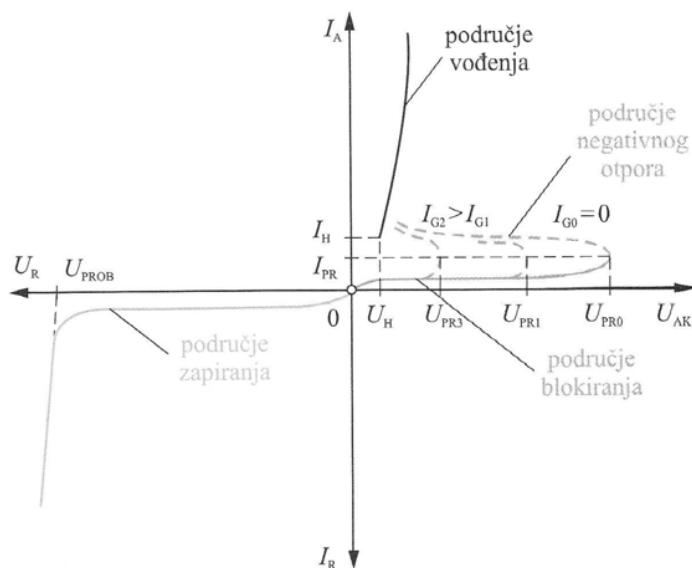
6.3 JEDNOSMJERNI TRIODNI TIRISTOR

Jednosmjerni triodni tiristor je poluvodička komponenta s tri elektrode koja može voditi struju samo u jednom smjeru, a zasniva se na tiristorskoj PNPN strukturi.

Triodni tiristor se od diodnog tiristora razlikuje po tome što pored anode (A) i katode (K) ima izvedenu upravljačku elektrodu G (gate) iz područja P₂ slika 6.4. Često se naziva silicijeva upravljavačica - SCR (engl. silicon controlled rectifier) ili samo tiristor.



Slika 6.4. Struktura i simbol jednosmjernog triodnog tiristora



Slika 6.5. Strujno naponska karakteristika jednosmjernog triodnog tiristora

Kad je potencijal anode manji od potencijala katode, tiristor ne vodi struju. Kad je potencijal anode veći od potencijala katode, tiristor drži blokirni napon manjim od napona prekretanja ukoliko na upravljačkoj elektrodi nije priključen pozitivni impuls. Dovodenjem pozitivnog impulsa na upravljačku elektrodu, tiristor provede struju, nakon čega je na njemu mali pad napona (tipično 1-3V). Kad tiristor provede struju, nije potreban impuls na upravljačkoj elektrodi. Tiristor prestaje voditi prirodnim prolaskom struje kroz nulu.

Slika 6.5 prikazuje strujno-naponsku karakteristiku jednosmjernog triodnog tiristora.

Kao i diodni tiristor, triodni tiristor se može nalaziti u:

- stanju blokiranja,
- stanju vođenja i
- stanju zapiranja.

Područje blokiranja: Triodni tiristor nalazi se u području blokiranja ako je između anode i katode priključen pozitivni napon manji od napona prekretanja: $0 < U_{AK} < U_{PRO}$ a na upravljačkoj elektrodi nije priključen napon. Kroz tiristor teče vrlo mala inverzna struja.

Područje vođenja: Kada napon U_{AK} postane veći od napona blokiranja, tiristor prelazi u stanje vođenja. Struja poraste do vrijednosti koju određuje vanjski otpor serijski spojen s tiristrom i vanjskim izvorom napona. Napon na tiristoru poprimi malu vrijednost. Kad je struja upravljačke priključnice nula ($I_G=0$), a napon jednak naponu preklapanja, tiristor se ponaša kod diodni tiristor.

Preklapanje tiristora u vodljivo stanje obično se izvodi preko upravljačke elektrode, na koji se dovodi pozitivni napon, odnosno struja određene jakosti I_G . Ako priključimo napon na tiristor tako da je anoda pozitivnija od katode ($U_{AK}>0$), ali napon manji od napona prekretanja, tiristor provede dovođenjem napona na upravljačku elektrodu. Tiristor prelazi u stanje vođenja te napon između anode i katode poprimi malu vrijednost. Što je struja upravljačke priključnice veća, to će tiristor provesti struju kod manjeg napona. Kad provede struju, nije mu više potreban napon na upravljačkoj elektrodi.

Vodljivi diodni tiristor prestaje voditi kad struja padne ispod određene vrijednosti struje držanja I_H kad anodni napon padne ispod napona držanja U_H ili pak promjenom polariteta napona $U_{AK}<0$.

Područje zapiranja/proboja: Tiristor se nalazi u području zapiranja uz priključeni negativni napon $U_{AK}<0$. Tiristor ne vodi, a kroz njega teče zanemariva inverzna struja zasićenja koja ne zavisi o priključenom naponu. Za napone veće od probognog napona nastupa proboj i porast struje. Prekoračenjem dopuštenog maksimalnog inverznog napona zbog zagrijavanja može doći do uništenja tiristora.

Kod jednosmjernog diodnog tiristora postoji ograničena dozvoljena vrijednost brzine porasta napona propusne polarizacije između anode i katode. Prekoračenjem dozvoljene brzine tiristor može provesti struju i bez

upravljačkog impulsa, zbog parazitnih kapacitivnosti unutar tiristora. U strujnim krugovima tiristor se određenim spojevima štiti od naglog porasta napona i struje.

U praksi se najviše upotrebljava upravo jednosmjerni diodni (SCR) tiristor, za regulaciju brzine vrtnje istosmjernih motora, za regulaciju rasvjete, u izmjenjivačima i ispravljačima, dakle uglavnom u uređajima energetske elektronike.

6.3.1. Iskoplovi tiristor - GTO tiristor

Za iskoplovi tiristor koristi se naziv GTO tiristor, što je kratica od engleskog naziva gate turn-off thyristor.

Iskoplovi tiristor ili GTO pripada potpuno upravlјivim sklopama. Iskoplovi tiristor može voditi struju u jednom smjeru, a držati napon blokiranja oba polariteta.

Poput klasičnog tiristora, i GTO se iz stanja blokiranja dovodi u stanje vođenja kratkim pozitivnim impulsom struje upravljačke elektrode i ostaje u stanju vođenja, ali je za vrijeme vođenja potrebna i dalje struja upravljačke elektrode (nekoliko A, ovisno o tipu).

Međutim, za razliku od klasičnog tiristora, GTO se može iskoploti pomoću kratkotrajnog, ali snažnog negativnog impulsa struje upravljačke elektrode. Amplituda negativnog strujnog impulsa tipično iznosi 1/3 struje koja se isklapa.

Ne koristi se isklapanje prolaskom struje kroz nulu. Slika 6.6 prikazuje simbol iskopivog tiristora.



Slika 6.6. Simbol iskopivog (GTO) tiristora

6.3.2. Regulacija struje jednosmjernim triodnim tiristorom

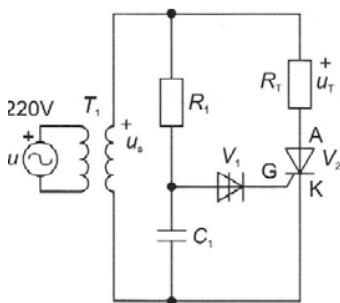
Tiristori su pogodni za regulaciju struje u izmjeničnim strujnim krugovima. Regulacija ukupne snage postiže se mijenjanjem vremena vodenja tiristora.

Pri analizi strujnih krugova s tiristorom potrebno je definirati ugao upravljanja α .

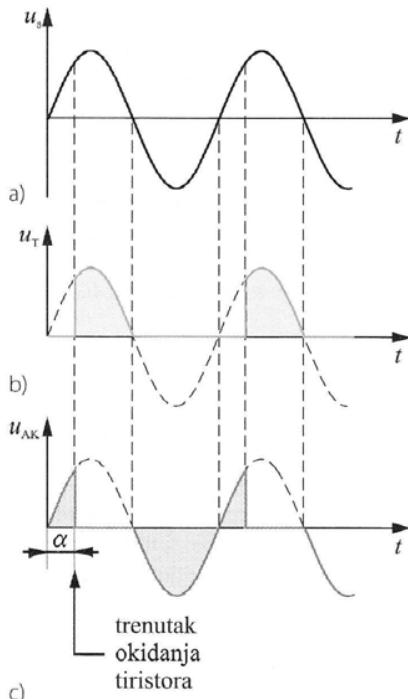
Ugao upravljanja α je ugao pri kojem se na tiristor dovodi okidni strujni impuls koji prebacuje tiristor iz stanja blokiranja u stanje vođenja. Pritom je ugao vođenja tiristora $\beta=180^\circ-\alpha$.

Slika 6.7 prikazuje strujni krug s regulacijom snage pomoću jednosmjernog triodnog tiristora, a slika 6.8 dijagrame napona na potrošaču, tiristoru i struju upravljačke elektrode.

Tiristor se napaja iz izmjeničnog izvora napona. Radom tiristora upravlja se strujnim impulsom na upravljačkoj elektrodi pomoću jednosmjernog diodnog tiristora.



Slika 6.7. Regulacija struje jednosmjernim tiristorom



Slika 6.8. Vremenski dijagrami napona
a) na izvoru, b) na potrošaču, c) na tiristoru

Kad jednosmjerni triodni tiristor ne vodi struju, na njemu je napon izvora, a na potrošaču je napon nula. Kad napon na kondenzatoru postigne vrijednost napona prekretanja jednosmjernog diodnog tiristora, on provede struju, a na upravljačku elektrodu triodnog tiristora dođe strujni impuls. Jednosmjerni tiristor provede struju i na njemu je mali pad napona (1-3V), a potrošač dobiva napon izvora.

Ugao upravljanja triodnog tiristora podešava se promjenjivim otpornikom, a može biti između 0° i 180° .

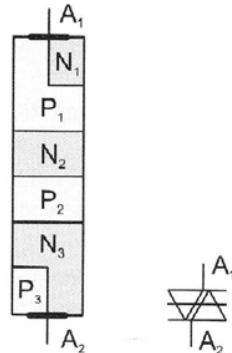
Prolaskom sinusnog napona kroz nulu triodni tiristor prestaje voditi struju, napon na potrošaču je ponovno nula, a napon izvora vlada na tiristoru. Ugao vođenja tiristora može biti od 0° do 180° .

Što je veći ugao vođenja triodnog tiristora, to je veća snaga predana potrošaču. Upravljački impulsi za

okidanje triodnog tiristora mogu se dobiti iz posebnih sklopova čiji se rad mora sinhronizirati s izmjeničnim naponom.

6.4 DIJAK - DVOSMJERNI DIODNI TIRISTOR

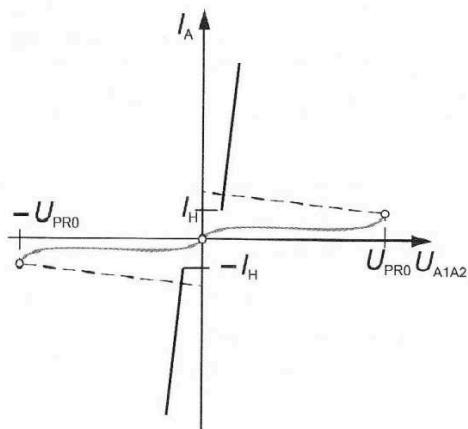
Naziv dijak dolazi od engleskog naziva DIAC (diode for alternating current). Simbol i strukturu dijaka prikazuje slika 6.9. Dijak je petoslojna NPNPN struktura s dvije elektrode koje se nazivaju anoda A_1 i A_2 .



Slika 6.9. Struktura i simbol dijaka

Razlikuje se od jednosmjernog diodnog tiristora po tome što vodi struju u oba smjera. Dijak je simetrična komponenta, pa naponi prekretanja u oba smjera imaju jednaku vrijednost, a suprotni polaritet.

Slika 6.10 prikazuje strujno-naponsku karakteristiku dijaka. Karakteristika je u prvom kvadrantu identična karakteristici jednosmjernog diodnog tiristora, a u trećem kvadrantu je istog oblika, ali za negativne vrijednosti napona i struje.



Slika 6.10. Strujno-naponska karakteristika dijaka

Prvi kvadrant je područje u kojem je elektroda A_1 pozitivnija od elektrode A_2 . Obrnuto vrijedi za treći kvadrant; elektroda A_2 je pozitivnija od elektrode A_1 .

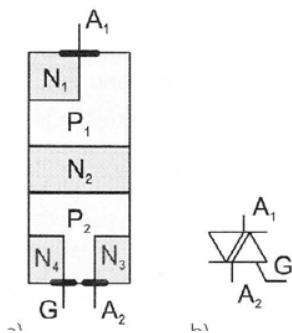
Dvosmjerni diodni tiristor koristi se za okidanje tiristora i trijaka.

6.5. TRIAC - DVOSMJERNI TRIODNI TIRISTOR

Dvosmjerni triodni tiristor je poluvodička komponenta s tri elektrode koja može voditi struju u oba smjera.

Za dvosmjerni triodni tiristor koristi se naziv trijak (engl. TRIAC - triode for alternating current).

Dvosmjerni triodni tiristor ima dvije elektrode koje se nazivaju anoda A_1 i A_2 , te treću upravljačku elektrodu G . Slika 6.11 prikazuje simbol i strukturu trijaka.

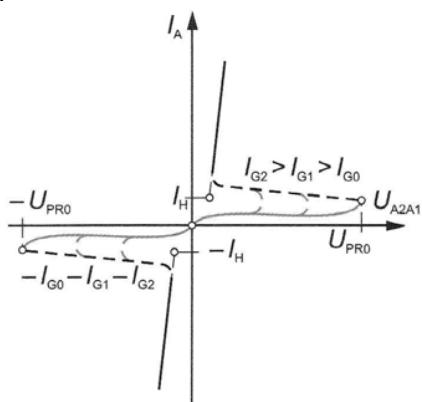


Slika 6.11. Struktura i simbol Triac

Struktura trijaka zasniva se na PNPN tiristorskoj strukturi, ali je područje oko upravljačke elektrode nešto složenije.

Dovođenjem upravljačkog impulsa na upravljačku elektrodu trijak može provesti struju i za jedan i za drugi polaritet napona. Struja upravljačke priključnice može biti pozitivna ili negativna. Kad jednom provede struju, impuls na upravljačkoj elektrodi nije više potreban. Tiristor prestaje voditi struju smanjenjem struje ispod minimalne struje držanja ili prolaskom napona kroz nulu.

Slika 6.12 prikazuje strujno-naponsku karakteristiku trijaka.



Slika 6.12. Strujno-naponska karakteristika Triac

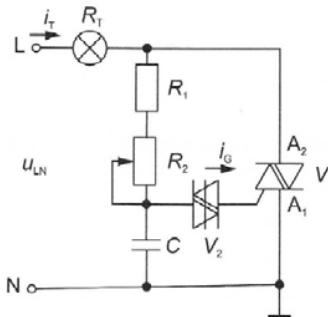
Karakteristika je u prvom kvadrantu identična karakteristici jednosmjernog triodnog tiristora, a u trećem kvadrantu je istog oblika, ali za negativne

vrijednosti napona i struje. Prvi kvadrant je područje u kojem je elektroda A_2 pozitivnija od elektrode A_1 . Obrnuto vrijedi za treći kvadrant, elektroda A_1 je pozitivnija od elektrode A_2 .

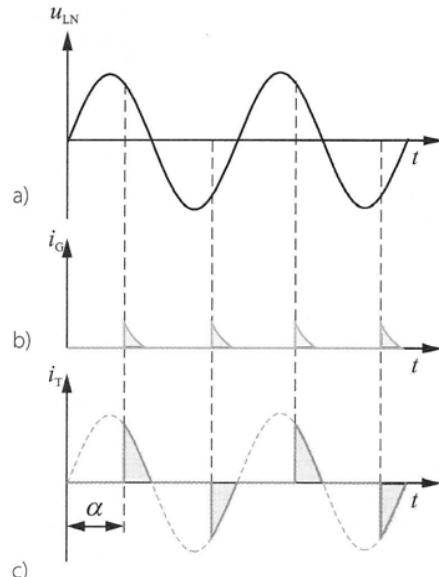
Trijak se koristi za regulaciju snage u izmjeničnim strujnim krugovima, npr. za upravljanje strujom grijачa, žarulja, motora, itd.

6.5.1. Regulacija struje trijakom

Slika 6.13 prikazuje strujni krug s regulacijom snage pomoću trijaka, a slika 6.14 dijagrame napona na potrošaču, tiristoru i struju upravljačke elektrode.



Slika 6.13. Strujni krug sa regulacijom pomoću trijaka



Slika 6.14. Vremenski dijagrami napona
a) na izvoru, b) na potrošaču, c) na trijaku

Dvosmjerni tiristor (dijak) se napaja iz izvora izmjeničnog napona. Radom trijaka upravlja se strujnim impulsom na upravljačkoj elektrodi preko dijaka. Potrošač je spojeno u anodnom krugu tiristora.

Kad trijak ne vodi struju, na njemu je napon izvora, a na potrošaču napon nula.

Kad za vrijeme pozitivnog poluvala napon izvora, tj. napon na kondenzatoru postigne vrijednost napona prekretanja dijaka, on provede struju i na upravljačku

elektrodu trijaka dođe strujni impuls. Trijak provede struju i na njemu je mali pad napon (1-3V), a potrošač dobiva napon izvora. Prolaskom sinusnog napona kroz nulu trijak prestaje voditi struju.

Za vrijeme negativnog poluvala napona izvora, trijak ponovno provede kad napon na kondenzatoru dostigne vrijednost napona prekretanja dijaka.

Ugao vođenja trijaka može biti od 0° do 180° u svakom poluvalu sinusnog napona. Što je veći ugao vođenja tiristora, to je veća snaga predana potrošaču.

U usporedbi s jednosmjernim triodnim tiristorom, s trijakom se može dobiti dvostruko veća snaga.

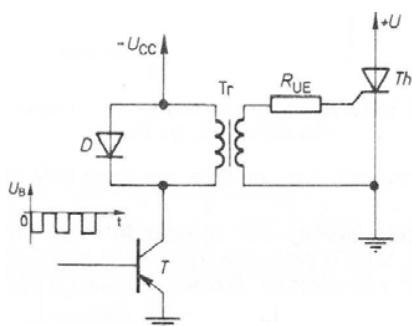
Trijak se koristi za manje snage.

6.6. UKLJUČENJE I ISKLJUČENJE TIRISTORA

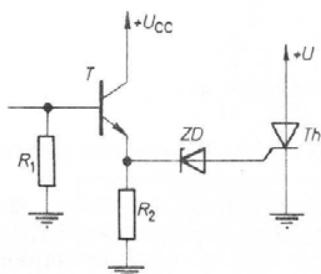
6.6.1. Sklopovi za uključenje tiristora

Za praksu su najprihvativiji sklopovi koji proizvode impulse za uključenje tiristora, jer se impulsnim upravljanjem točno određuje trenutak uključenja.

Ovisno o vrsti aktivnih elemenata koji se upotrebljavaju u sklopovima, razlikujemo tranzistorske, tiristorske, optoelektroničke i druge uobičajivače strujnih impulsa.



Slika 6.15. Sklop za uključenje tiristora sa galvanski odvojenim ulazom



Slika 6.16. Sklop za uključenje tiristora sa Zener diodom koja određuje prag uključenja

Na slici 6.15 i 6.16 prikazani su tranzistorski sklopovi za oblikovanje impulsa.

Takvi se sklopovi obično upotrebljavaju za dobivanje impulsnih struja do 5A trajanje koje nije kraće od $100\mu s$. Njihova je prednost u visokoj pouzdanosti i u velikoj brzini rada tranzistora.

6.6.2. Isključenje tiristora

Prekidanje struje koja teče kroz propusno polarizirani tiristor može se ostvariti na različite načine. Kada je NPNP-struktura u propusnom stanju, sva su tri PN-prelaza polarizirana propusno. Stoga obje baze, a u nekim slučajevima jedno ili oba emitera područja, sadrže višak sporednih i glavnih nositelja naboja, koji raste povećanjem propusne struje. Da bi tiristor bio preveden u nepropusno stanje, nagomilani višak naboja, određen razlikom između pokretnoga naboja u elementu polariziranom propusno i naboja prisutnoga u elementu polariziranom nepropusno, nužno ga je eliminirati električnim poljem ili rekombinacijom.

Kada se tiristor napaja iz izvora istosmjernoga napona, njegovo isključenje nije toliko jednostavno kao u slučaju napajanja izmjeničnim naponom. Naime, u izmjeničnom strujnom krugu napon u svakoj poluperiodi prolazi kroz nulu, pa se isključenje postize uklanjanjem impulsa s upravljačke elektrode, odnosno blokiranjem upravljačkog sistema. U istosmjernome strujnom krugu isključenje se može ostvariti samo uvođenjem odgovarajućega protunapona kojim se istosmjerna struja svodi na nulu.

Osim dovođenja struje na nulu, tiristoru je potrebno osigurati dovoljno vremena za njegov oporavak.

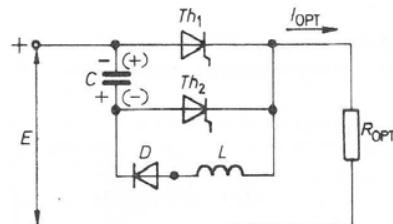
6.6.3. Sklopovi za isključenje

U praktičnoj primjeni tiristora postoji nekoliko različitih načina prisilne komutacije:

- pomoću oscilacijskoga kruga,
- pomoću prethodno nabijenog kondenzatora i
- pomoću vanjskoga izvora.

Ipak, najčešće se susreću sklopovi za isključenje tiristora s prethodno nabijenim kondenzatorom koji se uključuje pomoćnim tiristorom.

Na slici 6.17 prikazan je sklop za isključenje s pomoćnim tiristorom.



Slika 6.17. Sklop za isključenje glavnog tiristora Th1 sa pomoćnim tiristorom Th2

U početnome trenutku tiristori Th_1 i Th_2 nisu uključeni i kondenzator C je prazan. Za početak rada pretvarača

nužno je da upravljački sistem da pozitivan upravljački impuls na upravljačku elektrodu pomoćnog tiristora Th_2 .

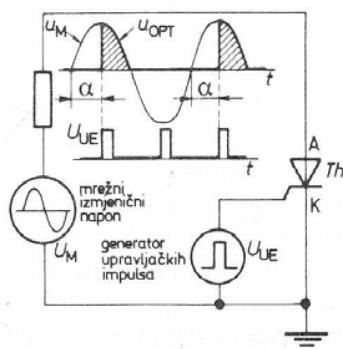
Kada se tiristor Th_2 uključi, kormutacijski se kondenzator C počinje nabijati iz izvora istosmjernoga napona E. Na kraju procesa nabijanja kondenzator dosegne napon U_E , približno jednak naponu izvora E s polaritetom označenim u zagradama. Nakon nabijanja kondenzatora sklop je pripremljen za rad.

U trenutku kada na upravljačku elektrodu tiristora Th_1 dovedemo upravljački impuls, tiristor provede. Opteretna struja postupno raste. Istodobno nastaje proces rezonantnoga oscilovanja i ponovnog nabijanja komutacijskog kondenzatora preko induktiviteta L i diode D. Taj proces traje u toku polovice perioda vlastitih oscilacija kruga i blokira se diodom D

Da bi tiristor uključen u istosmjerni srujni krug bio isključen, struja koja kroz njega teče mora postati manja od struje držanja. To se postiže energijom izbijanja kondenzatora, jer nabijeni je kondenzator izvor napropusnog napona zanemarivo maloga unutrašnjeg otpora pa kroz njega može protjecati dovoljno velika inverzna struja. Stoga, kada na upravljačku elektrodu tiristora Th_2 primijenimo upravljački impuls, on provede i njegova struja praktično trenutno postane jednaka opteretnoj struci, dok struja što prolazi kroz tiristor Th_1 postane jednaka nuli. Istodobno kao rezultat započeta procesa izbijanja komutacijskog kondenzatora C, na tiristoru Th_1 vlada zaporni napon koji ubrzava uspostavljanje blokirnih svojstava tiristora,

6.7. PRIMJENA TIRISTORA

Tiristori se kao sklopni beskontaktni elementi široko primjenjuju. Jedna takva primjena prikazana je na slici 6.18.



Slika 6.18. Regulacija srednje vrijednosti ispravljene struje tiristorom

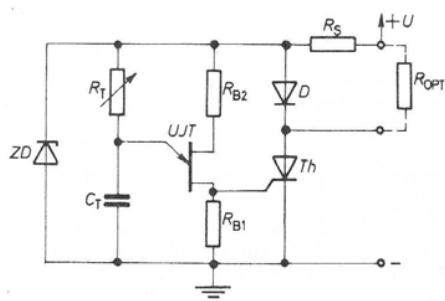
Prema slici 6.18 tiristor se napaja iz izvora izmjeničnoga napona (npr. električne mreže).

Radom tiristora upravlja se iz generatora upravljačkih impulsa. Ovisno o uglu upravljanja α , na potrošaču R_{OPT}

pojavljivat će se različite srednje vrijednosti istosmjernoga napona, odnosno istosmrjene struje. Većem uglu α odgovara manja, a manjem uglu α veća srednja vrijednost izlazne veličine na opterećenju R_{OPT} .

6.7.1. Sklop za uključenje tiristora s UJT

Sklop s jednoprelaznim tranzistorom (UJT) za uključenje tiristora prikazan je na slici 6.19.



Slika 6.19. Uključivanja tiristora jednospojnim tranzistorom

Pri niskim emiterškim naponima kroz jednoprelazni tranzistor teće samo slaba napropusna struja. Ako je emiterški napon dovoljno visok, prelaz E-B₁ postaje polariziran propusno, odnosno njegov se otpor smanji. Emiterška struja ograničena je samo otporom R_{B1} .

Napon napajanja sklopa održava se na stalnoj vrijednosti s pomoću Zenerove diode ZD. Kapacitet C_T nabija se preko promjenjivog otpora R_T . Kada napon U_C na kondenzatoru dostigne vrijednost napona prebacivanja U_{BO} jednoprelaznog tranzistora, koji je određen naponom napajanja U i otporima R_{B1} i R_{B2} , prelaz E-B₁ polariziran je propusno, pa se kapacitet C_T izbjiga preko upravljačkog kruga E-B₁ i otpora R_{B1} . Otpor R_{B1} reda nekoliko desetaka Ω , prenosi impuls za uključenje iz kruga jednoprelaznog tranzistora u upravljački krug tiristora.

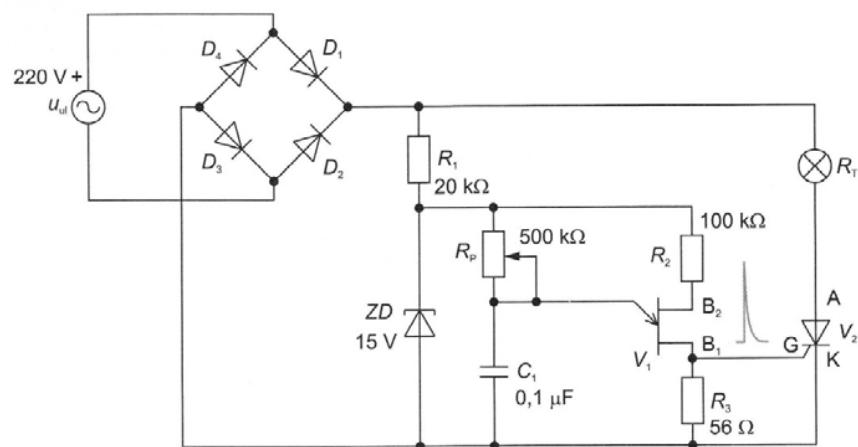
Preko otpora R_S i diode D postavlja se struja držanja tiristora, što rezultira neosjetljivošću sklopa na opterećenje.

6.8. LABORATORIJSKE VJEŽBE IZ TIRISTORA

Planirane su slijedeće laboratorijske vježbe, za koje će pripreme biti distribuirane u vrijeme izvođenja vježbi:

1. Snimanje karakteristika tiristora,
2. Fazna regulacija sa dijakom i trijakom,
3. Ispravljač sa tiristorom,
4. Okidanje tiristora sa UJT tranzistorom.

UJT - JEDNOSPOJNI TRANZISTOR

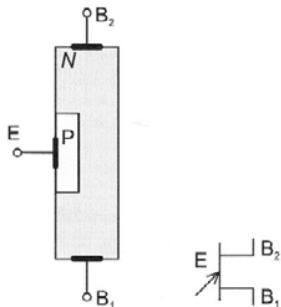


Okidanje tiristora UJT tranzistorom

7. JEDNOSPOJNI TRANZISTOR

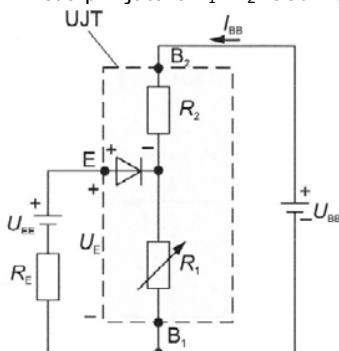
Jednospojni tranzistor (UJT) sastoji se od N-tipa poluvodiča, koji čini bazu tranzistora i na krajevima ima dva priključka (B_1 i B_2), te od P-tipa poluvodiča na kojem je priključak emitera E.

Slika 7.1 prikazuje konstrukciju i simbol tranzistora. UJT se naziva i dvobazna dioda jer je po konstrukciji to dioda s dva priključka na bazi.



Slika 7.1. Struktura i simbol jednospojnog tranzistora

Baza je napravljena od visokoomskog materijala te je zato otpor između priključaka B_1 i B_2 relativno velik.

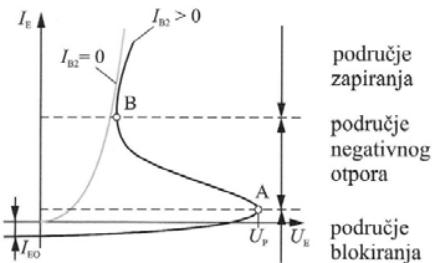


Slika 7.2. Polarizacija jednospojnog tranzistora

Slika 7.2 prikazuje polarizaciju jednospojnog tranzistora. Tranzistor je prikazan ekvivalentnom šemom, gdje je emiterski spoj predstavljen diodom, a otpor od katode diode do prve baze promjenjivim otporom R_{B1} i od katode diode do druge baze stalnim otporom R_{B2} . Između baza je priključen napon U_{BB} , a u emiterskom krugu U_{EE} .

Jednospojni tranzistor radi na načelu mijenjanja otpora zbog gomilanja nosilaca naboja pri protjecanju struje kroz PN-spoj. Pri protjecanju struje između emitera E i baze B_1 nagomilavaju se šupljine u bazi. U istom broju nagomilavaju se i elektroni kako bi se održala ravnoteža naboja. Između emitera i prve baze B_1 smanjuje se otpor R_{B1} s povećanjem struje emitera I_E .

Princip rada jednospojnog tranzistora možemo najbolje opisati pomoću strujno-naponske karakteristike (slika 7.3), i to za: $U_{BB}=0$ i $U_{BB}>0$.



Slika 7.3. Ulazna karakteristika UJT tranzistora

- Uz napon $U_{BB}=0$, struja $I_{B2} = 0$. Ulazna karakteristika je karakteristika emiterske diode koja se razlikuje od obične diode po tome što ima veći otpor.
- Kada je na UJT priključen napon $U_{BB}>0$, pri malom emiterskom naponu U_E , emiterska dioda je napropusno polarizirana i kroz nju teče samo mala inverzna struja I_{E0} od približno $10\mu A$. Tada tranzistor predstavlja otpor reda vrijednosti desetak $k\Omega$. Na dijelu otpora R_{B1} postoji pad naponu U_{R1} koji stvara struju I_{B2} , te tranzistor ne vodi sve dok je $U_E < U_{R1}$. Uz $I_E=0$, napon na otporniku R_{B1} računamo prema izrazu:

$$U_{R1} = U_{BB} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \eta U_{BB}$$

Faktor η naziva se unutarnji omjer (engl. intrinsic stand-off ratio) i ovisno o tipu tranzistora ima vrijednost od 0,5 do 0,8.

Vodljivost tranzistora mijenja se promjenom napona na emiteru. Porastom napona U_E iznad ηU_{BB} , dioda postaje propusno polarizirana te struja I_E postaje pozitivna. Ona je i dalje mala, i to sve dok napon ne poprimi napon vrha ili napon prekretanja U_P (tačka A na slici 7.3). Za napone manje od napona prekretanja tranzistor je u stanju blokiranja (od 0 do tačke A).

Od tog napona struja I_E počinje naglo rasti, a napon U_E se počinje naglo smanjivati. Razlog tome je emiterska struja koja injektira nosioce naboja u područje između emitera i baze B_1 i na taj način smanjuje otpor R_{B1} tj. povećava se vodljivost. U području između tačke A i B tranzistor se ponaša kao negativni otpor jer se porastom struje I_E smanjuje napon U_E .

Daljnjim porastom struje emitera tranzistor prelazi u područje zasićenja, a napon U_E vrlo malo raste. Kako je struja emitera I_E puno veća od struje I_{B2} , struju I_{B2} možemo zanemariti, te krivulja vrlo malo odstupa od krivulje pri struci $I_{B2}=0$.

Napon prekretanja zavisi o priključenom naponu U_{BB} i dan je izrazom:

$$U_{R1} = \eta U_{BB} + U_D \approx \eta U_{BB}$$

Napon napajanja obično ima vrijednost do 35V, a struja emitera tipično 50A.

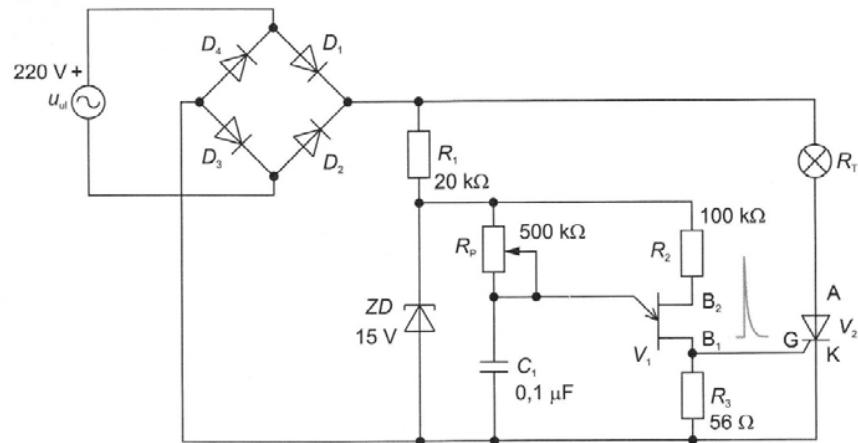
Jednospojni tranzistor koristi se za generiranje impulsa i za pobudu tiristora.

U sklopu prema slici 7.4 (pogledaj sliku 2.19) jednospojni tranzistor služi za dobivanje kratkotrajanog impulsa koji se dovodi na upravljačku elektrodu tiristora kao okidni impuls. Promjenjivim otpornikom R_p regulira

se ugao upravljanja tiristora u odnosu na sinusni punovalni ispravljeni napon.

UJT provede kad je napon na kondenzatoru veći od njegovog napona prekretanja, što daje impuls na bazi B_1 odnosno na upravljačkoj elektrodi tiristora.

Prolaskom ispravljenog napona kroz nulu tiristor prestaje voditi struju, a ponovno provede dolaskom novog impulsa.



Slika 7.4. Okidanje tiristora jednospojnim tranzistorom