



Sl. 15. Detaljni urbanistički plan revitalizacije povijesnog središta Nina iz 1987. godine

svojestven detaljnom urbanističkom planu i nije ga potrebno uvijek izraditi.

U detaljnom urbanističkom planu mogu se primijeniti i posebna pravila uređenja prostora i načina gradnje za svrhom da pojedine ulice, trgovi ili drugi prostori dobiju željeni izgled (sl. 14) i obilježja. Pritom je važno voditi računa o hijerarhiji elemenata regulacije. Teško je, npr., detaljno regulirati način uređivanja čestice (npr. predvrtova prema ulici). Ako je to potrebno, onda je bolje parcelaciju tako provesti da se građevni pravac poklopi s regulacijskom linijom, a prostor ispred kuća tretira kao javni zeleni pojas. Važno je i načelo da vlasnik više čestica koje se dodiruju ne može te čestice spajati u jednu da bi na njima gradio jedinstvenu zgradu, kao što ne može veću česticu dijeliti na više manjih. Da bi takve radnje mogao provesti, mora zatražiti promjenu detaljnog urbanističkog plana. Postoji međutim i takav oblik gradnje u kojemu investitor, u skladu s urbanističkim planom, gradi na velikoj čestici čitavo naselje. Kupci pojedinih zgrada ili stanova tada su suvlasnici idealnog dijela čestice po načelu etažnog vlasništva (kondominij). Unutrašnja se potparcelacija tada provodi na temelju kupoprodajnih ugovora o suvlasništvu, kojima se ugovara i način upotrebe i uređenja površina.

Posebna vrsta detaljnog urbanističkog plana jest urbanistički plan za povijesnu gradsku cjelinu (sl. 15).

LIT.: R. Auzelle, *Technique de l'urbanisme*. Presses Universitaires de France, Paris 1953. – R. Auzelle, 323 citations sur l'urbanisme. Vincent, Fréal et Cie, Paris 1964 – P. Lavedan, *Histoire de l'urbanisme*, I–IV. H. Laurens, Paris 1927–1966. – *Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung*, I–III. Jänecke Vlg, Hannover 1970. – A. Whittick, *Encyclopedia of Urban Planning*. McGraw-Hill, New York–London–Paris 1974. – G. Bardet, *L'urbanisme*. P.U.F., Paris 1975. – M. Robert, *An Introduction to Town Planning Techniques*. Hutchinson, London 1975. – A. Marinović-Uzelac, *Socijalni prostor grada*. Liber, Zagreb 1978. – A. Marinović-Uzelac, *Naselja, gradovi, prostori*. Tehnička knjiga, Zagreb 1986. – D. Prinz, *Städtebau, Städtebauliche Gestalten*. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart 1987. – A. Marinović-Uzelac, *Teorija namjene površina u urbanizmu*. Tehnička knjiga, Zagreb, 1989. – M. Vresk, *Grad u urbanom i regionalnom planiranju*. Školska knjiga, Zagreb, 1990. – W. E. Huxhold, *An Introduction to Urban Geographic Information Systems*. Oxford University Press, Oxford 1991. – L. Worrall, ed., *Spatial Analysis and Spatial Policy using Geographic Information Systems*. Belhaven Press, London 1991. – B. Milić, *Razvoj grada kroz stoljeća*, I–II. Školska knjiga, Zagreb 1994–1995.

A. Marinović-Uzelac

**USMJERIVAČ, ELEKTRONIČKI**, reverzibilni električni energetski pretvarač komutiran izmjeničnom (pojnom) električnom mrežom koji služi za povezivanje te izmjenične električne mreže (izmjenični električni energetski sustav) s električnom mrežom u kojoj istosmjerna struja uvijek teče u istom smjeru (istosmjerni električni energetski sustav).

*Elektronički energetski pretvarač* jest operativna cjelina za električnu energetsku pretvorbu koja nužno sadrži jednu ili više električnih ventilskih komponenta, a može sadržavati transformatore, bitnu sklopnu opremu i druge pomoćne komponente i sklopove. *Reverzibilni pretvarač* omogućuje mijenjanje smjera toka energije. *Elektronička energetska pretvorba* promjena je jedne ili više karakteristika nekog električnog energetskog sustava (npr. frekvencije, uključujući i frekvenciju nula, napona, broja faza, jalove snage, kvalitete električne energije) pomoću električnih ventilskih komponenta. Pritom je bitno da nema većeg gubitka snage.

*Komutacija* je prijelaz struje s jedne grane pretvaračkog sklopa na drugu. *Komutacija pojnom mrežom* jest vanjska komutacija, pri kojoj komutacijski napon daje izmjenična mreža. Pod *izmjeničnom (pojnom) električnom mrežom* u ovom se članku razumije električni energetski sustav koji tvore izmjenični izvori napona (v. *Električne mreže, jakostrujne*, TE 4, str. 20). *Vanjska komutacija* je ona pri kojoj komutacijski napon, tj. napon koji uzrokuje komutaciju, potječe od izvora izvan pretvaračkog oklopa. *Elektronička ventilska komponenta* (tzv. električni ventil) jest nedjeljiva komponenta koja sadrži jedan ili više neupravljivih ili bistabilno upravljivih jednosmjerno vodljivih putova.

Riječ *usmjerivač* uveo je prof. Zlatko Plenković, oko 1945. godine, na tadašnjem zagrebačkom Tehničkom fakultetu, kao prijevod njemačke riječi *Stromrichter*, uvedene u njemački jezik 1932. godine. U to su doba bitne električne ventilske komponente bile vakuumske i ionski ventili (tiratroni i živini ventili), te selenski ventili i ventili na bazi bakrenog(I) oksida. Tehnički su bili ostvarivi pojnom mrežom komutirani ispravljači, pojnom mrežom komutirani izmjenjivači i pretvarači frekvencije za napajanje trošila iz pojne mreže naponom stalne frekvencije različite od frekvencije pojne mreže. Pojavom poluvodičkih ventilskih komponenta na osnovi germanija i silicija, nakon pojave komercijalnih učinkovitih tiristora 1962. godine, postali su praktički ostvarivi i sklopovi za električnu energetsku pretvorbu koji zahtijevaju električne ventilske komponente dobrih dinamičkih karakteristika (sklopovi komutirani kondenzatorima). Cjelovita skupina sklopova za električnu energetsku pretvorbu nazvana je tada *elektroničkim energetskim pretvaračima*, dok je naziv *usmjerivač* ostao za sklopove komutirane pojnom mrežom koji na svojoj istosmjernoj strani daju struju samo jednog smjera. Tako se dogodilo da riječ za pojam usmjerivač postoji samo u hrvatskom jeziku, pa u međunarodnom elektrotehničkom rječniku nema posebne riječi za taj pojam.

Tehnička rješenja usmjerivača bitno su ovisila, a i danas ovisi, o raspoloživim komponentama, posebice o električnim ventilskim komponentama u usmjerivačkim sklopovima i o električnim komponentama u upravljačkim krugovima. Međutim, projektiranje usmjerivačkih sklopova počiva na poznavanju naponsko-strujnih odnosa, te je proučavanje starijih teorijskih radova i danas poučno. Do pojave poluvodičkih ventila bitni električni ventili bili su živini ventili i tiratroni, kojima su tehnički prihvatljive karakteristike ostvarene tek poslije 1930. godine. Fizikalne osnove živinih i drugih ionskih ventila te vakuumskih ventila otkrivane su krajem XIX. stoljeća: Jemin i Maevrier ustanovili su ispravljačka svojstva električnog luka između živine i grafitne elektrode (1882), T. A. Edison je zapazio da između žarne niti i pozitivno nabijene elektrode struja može teći samo u jednom smjeru (tzv. Edisonov efekt, 1883), J. A. Fleming je istraživao ispravljačka svojstva električnog luka u zraku (1889), Sahulka je provodio identična istraživanja u zraku između elektroda od žive i željeza te između grafitnih elektroda (1894–1898), Arons je konstruirao svjetiljku punjenu živinim parama (1890–1892), a J. J. Thomson je objasnio da iz užarene katode izlaze elektroni koje privlači pozitivno nabijena anoda (1899). Prvi živin ispravljač demonstrirala je 1902. tvrtka »Cooper-Hewitt Electric Company«, proizvođač svjetiljki punjenih živinim parama. Fizikalne osnove poluvodičkih ventila otkrivane su u XIX. i u prvoj polovici XX. stoljeća: M. Faraday je otkrio da vodljivost srebrnog sulfida raste s povećanjem temperature (1833), W. Smith je 1873. primijetio da vodljivost selena ovisi o osvjetljenju, a F. Braun je ustanovio ispravljačko svojstvo kontakta metalne žice i olovnog sulfida (1874). U razdoblju 1900–1935. slijede radovi niza fizičara na području kvantne mehanike i fizike čvrstog stanja koji su prethodili otkriću tranzistora (M. Planck, A. Einstein, R. W. Pohl, W. C. Röntgen, E. Schrödinger, C. T. R. Wilson, N. F. Mott, Y. T. Frenkel, A. S. Davydov, W. Schottky), W. H. Brattain i J. A. Becker objasnili su ispravljačko djelovanje ventila na osnovi bakrenog(I) oksida (oko 1930), J. H. Scaff i H. C. Theurer dobili su na ingotu prvi PN prijelaz (oko 1940), pod vodstvom K. Lark-Horovitz na Purdue University izradili su PN prijelaz probnog napona 150 V (1942). Prvi tranzistor izradili su J. Bardeen i W. H. Brattain pod vodstvom W. Shockleya 23. prosinca 1947. godine (v. *Poluvodiči*, TE 10, str. 638).

U Hrvatskoj su razvoj i proizvodnja električnih ventila i električnih energetskih pretvarača započeli u tvornici »Rade Končar« u Zagrebu. U razdoblju 1946–1947. istraživali su se selenski ventili. Međutim, direktivom Glavne direkcije Savezne elektroindustrije istraživanje je prebačeno u tvornicu »Iskra« (Slovenija). Od 1947. popravljaju se živini ventili za potrebe električne vuče i elektrolize aluminija. Godine 1949, pod vodstvom prof. Z. Plenkovića, započeo je razvoj živinih ventila, koji je rezultirao jednoanodnim eksitronima (111 A, 3600 V i 350 A, 1200 V, godine 1965, te 30 A, 600 V, godine 1966) i šesteroanodnim eksitronom (600 A, 800 V, godine 1961). Jednoanodnih eksitrona opteretivosti 111 A proizvedeno je više od 150 komada: za ispravljače elektrovnih podstanica (pruga Za-

greb–Rijeka, 1965; pruga Zagreb–Ljubljana, 1967) i za ispravljače valjačkih elektromotornih pogona (Željezara Štore, Slovenija, 1969); šesteroanodnih eksitrona proizvedeno je oko 30 komada: za ispravljače tramvajskih i trolejbusnih podstanica (Osijek, 1961; Zagreb, 1964; Beograd, 1966) i za ispravljače valjačkih elektromotornih pogona (Željezara Ravne, 1966). Godine 1967/68. izrađeni su pokusni primjerci tzv. sendviča (silicijska pločica sa PN prijelazom obostrano zalemljena na pločice za ojačanje strukture) PIN učinske diode opteretivosti 200 A i 1400 V postupkom legiranja (Z. Benčić, Elektrotehnički institut »Rade Končar« i Institut »Ruder Bošković«). Od 1969. proizvode se tiristorski usmjerivači, kao što je usmjerivač za regulaciju motora egalizirnog stana snage 1800 kW (Željezara Sisak, 1971) i usmjerivač snage 2700 kW za regulaciju uzbude generatora (HE Đerdap, »Končar–INEM«, projektant V. Fresl, 1971). Oko 1970. naziv *usmjerivačka tehnika* zamijenjen je nazivom *energetska elektronika*.

## PRETVARAČI, USMJERIVAČI I ENERGETSKA ELEKTRONIKA

**Energetska elektronika** jest dio elektronike koji se bavi energetsom tehnikom (v. *Elektronika*, TE4, str. 448). Energetska elektronika je interdisciplinarna tehnologija, na što je prvi upozorio W. E. Newell iz tvrtke Westinghouse 1973. godine.

**Elektronički energetske pretvarači.** Elektroničkom energetsom pretvorbom karakteristika električnog sustava pomoću pretvarača usklađuju se izvori električne energije s trošilima. Upravljanjem tokom električne energije pomoću pretvarača često se upravlja neelektričnim veličinama, primjerice: brzinom vrtnje motora, temperaturom peći, brzinom elektrokemijskog procesa, svjetlosnom jakosti. Elektronički energetske pretvarač načelno se sastoji od dva dijela (sl. 1). *Energetski dio* obavlja elektroničku energetske pretvorbu i omogućuje upravljanje tokom električne energije između sustava A i sustava B, a *informacijski dio* upravlja energetske dijelom, tj. uklapa i isklapa elektroničke ventilne komponente, na osnovi informacija o potrebnim izlaznim veličinama pretvarača, vodeći računa o stanju sustava A (npr. izvora električne energije), sustava B (npr. trošila) i samog energetske dijela. Bitno je obilježje elektroničke energetske pretvorbe velika korisnost (obično >85%). Pretvarači obvezatno sadrže ventilne komponente, ali osnovne karakteristike pretvarača (u sklopnom režimu rada) ne ovise o vrsti primijenjenih ventilskih komponenta.

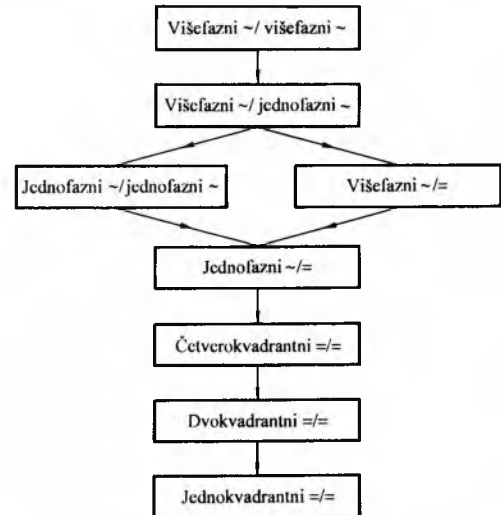


Sl. 1. Struktura elektroničkog energetske pretvarača

**Mjesto usmjerivača u hijerarhiji i podjeli elektroničkih energetske pretvarača.** U strogom smislu postoji samo jedan tip elektroničke energetske pretvorbe, a to je pretvorba višefaznog sustava jednih karakteristika u višefazni sustav drugih karakteristika. Ako je poznat pretvarač složenije funkcije, tada sigurno postoji i pretvarač za sve jednostavnije funkcije (sl. 2).

Podjela pretvarača osniva se na njihovoj funkciji glede elektroničke energetske pretvorbe karakteristika električnih energetske sustava. Tradicionalno se električni energetske sustavi dijele na izmjenične i istosmjerne. Pod izmjeničnim električnim sustavom u ovom se članku razumije električna mreža u kojoj nužno postoje ili izmjenični izvori napona ili teku izmjenične struje; pod istosmjernim električnim sustavom razumije se električna mreža u kojoj nužno postoje ili istosmjerni izvori napona ili teku istosmjerne struje. Četiri su moguće osnovne energetske pretvorbe između izmjeničnih i istosmjernih električnih energetske sustava. To su ispravljanje, izmjenjivanje, istosmjerna pretvorba i izmjenična pretvorba, pa se pretvarači dijele na *ispravljače* (izmjenični električni sustav predaje energiju istosmjernom), *izmjenjivače* (istosmjerni električni sustav predaje energiju izmjeničnom), *istosmjerne pretvarače* (istosmjerni električni sustav pre-

daje energiju drugom istosmjernom sustavu) i *izmjenične pretvarače* (izmjenični električni sustav predaje energiju drugom izmjeničnom sustavu).



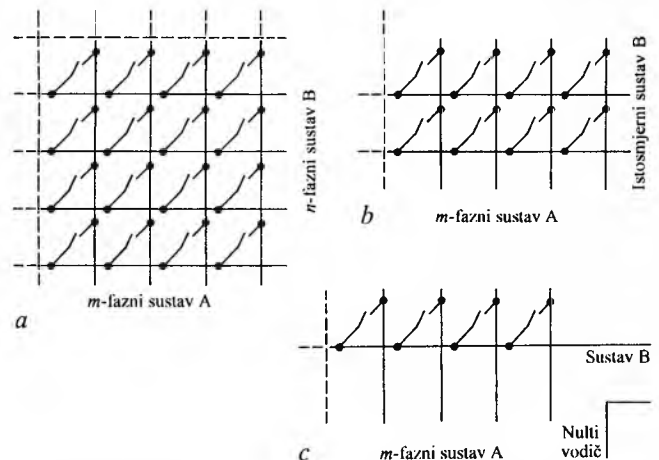
Sl. 2. Hijerarhija elektroničkih energetske pretvarača

Usmjerivači mogu obavljati i funkciju ispravljanja i funkciju izmjenjivanja. Međutim, svi pretvarači koji mogu obavljati funkciju ispravljanja i izmjenjivanja nisu usmjerivači. Posebnost je usmjerivača u tome što su komutirani pojnom mrežom i što je na nju sinkroniziran generator upravljačkih impulsa.

**Mjesto usmjerivača u energetske elektronički ogleda se u njihovoj primjeni.** Važnija su područja primjene istosmjerni i izmjenični elektromotorni pogon, napajanje istosmjernim i izmjeničnim naponom, električna vuča, istosmjerni veleprijenos, kompenzacija jalove snage, induksijsko zagrijavanje i taljenje, električno zavarivanje, elektroliza i galvanizacija, grijanje i rasvjeta. U svim nabrojenim područjima usmjerivači se upotrebljavaju bilo kao sklopovi, bilo kao uređaji.

## USMJERIVAČKI SKLOPOVI

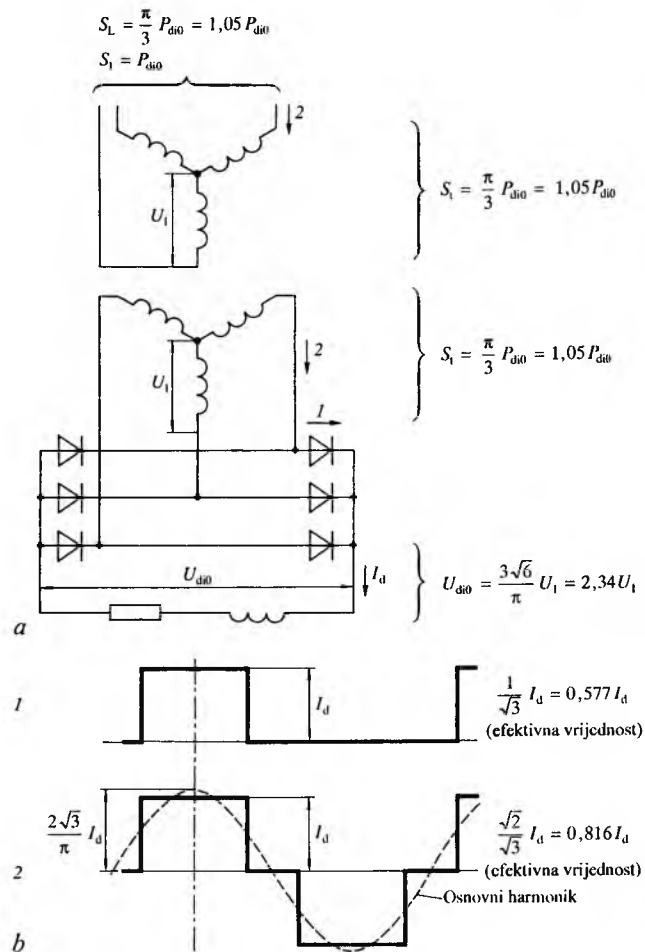
**Topologija pretvaračkih usmjerivačkih sklopova.** Sklopna matrica prikazuje najjednostavniju topologiju *općeg pretvaračkog sklopa* (pretvarački sklop izravnog izmjeničnog pretvarača) za pretvorbu  $m$ -faznog sustava A u  $n$ -fazni sustav B (sl. 3 a). Bilo koja faza sustava A može se u bilo kojem trenutku spojiti s bilo kojom fazom sustava B. Sklopke se periodično zatvaraju i otvaraju i obavljaju potreban proces pretvorbe. Može se uzeti, bez gubljenja općenitosti, da se sustav A sastoji od naponskih izvora, a sustav B od strujnih izvora. Sklopke spojene jednim krajem na pojedine faze sustava B ne smiju biti zatvorene istodobno,



Sl. 3. Sklopna matrica najjednostavnijeg pretvaračkog sklopa za pretvorbu višefaznog sustava A u višefazni sustav B i obratno (a), višefaznog sustava A u istosmjerni sustav B i obratno (b), višefaznog sustava A s nulnom točkom u istosmjerni sustav B i obratno (c)

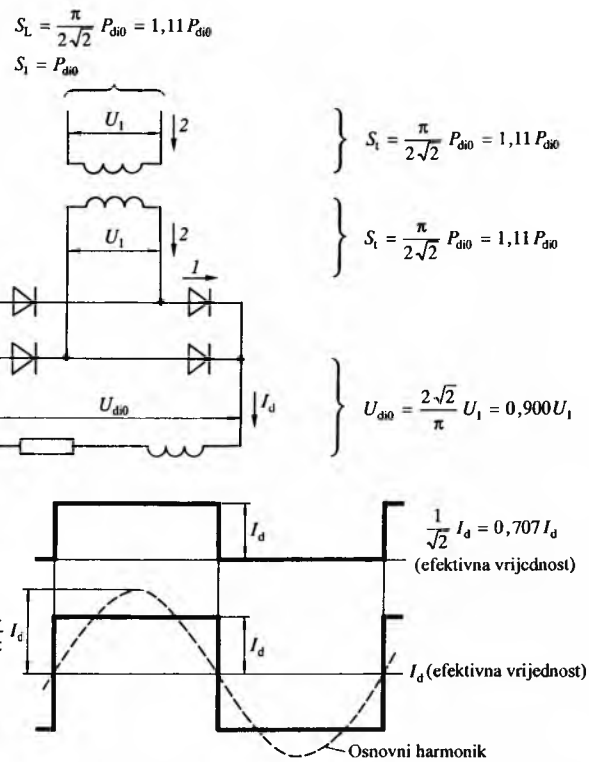
jer bi inače nastao kratki spoj naponskih izvora (narušavanje Kirchhoffova zakona napona). Od sklopki spojenih jednim krajem na pojedine faze sustava A barem dvije moraju biti zatvorene istodobno, jer bi inače nastao prazni hod strujnih izvora (narušavanje Kirchhoffova zakona struja). Naponi faza sustava B sastavljeni su od niza odsječaka napona faza sustava A. Struje faza sustava A sastavljene su od niza odsječaka struja faza sustava B. Tok energije može biti od sustava A prema sustavu B ili obratno. Opći pretvarački sklop ima funkcije pretvorbe napona i struje (tj. impedancije), te pretvorbe frekvencije i kuta faznog pomaka.

U usmjerivačima se sustav A (pojna mreža) sastoji od jednako fazno pomaknutih sinusnih naponskih izvora, a sustav B se reducira na jedan istosmjerni strujni izvor. Sklopna matrica dobije se degeneracijom sklopne matrice općeg pretvaračkog sklopa (sl. 3 b); sklopke vode struju samo jednog smjera, blokiraju napon obaju smjerova, uklapaju na vanjski poticaj, a isklapaju djelovanjem izmjenične pojne mreže. Dobivena sklopna matrica predložuje *višefazne mosne spojeve usmjerivačkih sklopova*. Tok energije moguć je u oba smjera. Svi su spojevi između sustava A i sustava B ostvareni preko dviju sklopki. Ako je pojna mreža trofazna, radi se o *trofaznom mosnom spoju* (sl. 4), a ako je jedno-



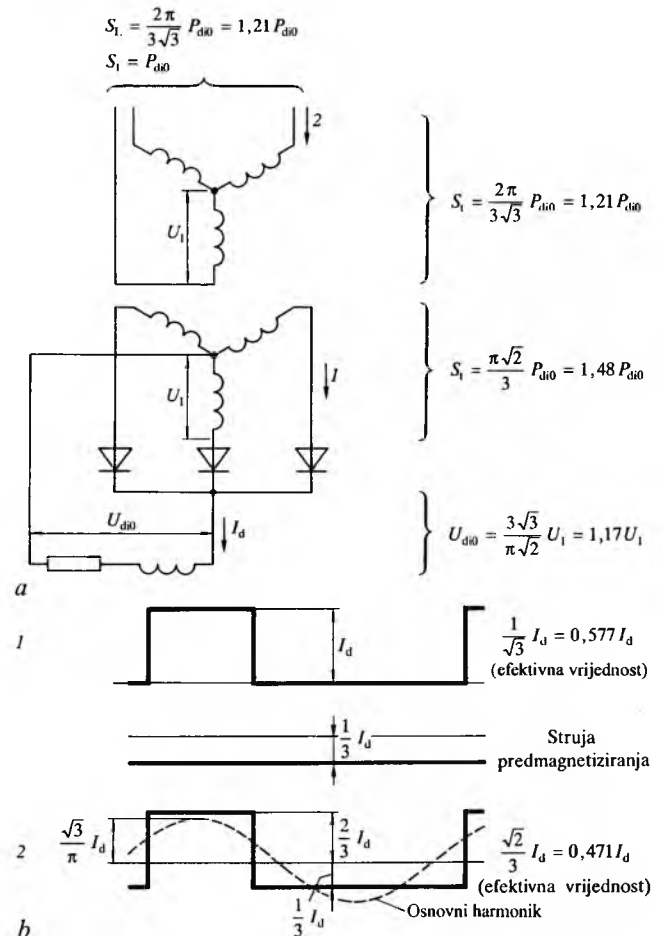
Sl. 4. Trofazni mosni spoj. a shema, b grafički prikaz struje na pojedinim mjestima.  $I_d$  konstantna nevalovita struja istosmjernog sustava,  $P_{dio}$  snaga istosmjernog sustava ( $U_{dio} I_d$ ),  $S_L$  prividna snaga opterećenja izmjenične mreže (umnožak efektivne vrijednosti napona i efektivne vrijednosti struje),  $S_1$  prividna snaga primara, odnosno sekundara transformatora (zbroj umnožaka efektivne vrijednosti napona i efektivne vrijednosti struje svih namota primara, odnosno sekundara),  $S_L$  prividna snaga opterećenja izmjenične mreže zbog osnovnog harmonika struje (umnožak efektivne vrijednosti napona i efektivne vrijednosti osnovnog harmonika struje),  $U_{dio}$  napon istosmjernog sustava idealnog ispravljača pri kutu upravljanja  $\alpha=0$  (zanemareni su svi induktivni i djelatni padovi napona),  $U_1$  efektivna vrijednost napona primarnog namota transformatora

fazna, o *jednofaznom mosnom spoju* (sl. 5). Ako višefazni sustav A ima nultu točku, sklopna se matrica dalje degenerira (sl. 3 c). Dobivena sklopna matrica predložuje *višefazne spojeve sa srednjom točkom usmjerivačkih sklopova*. Ako je pojna mreža tro-

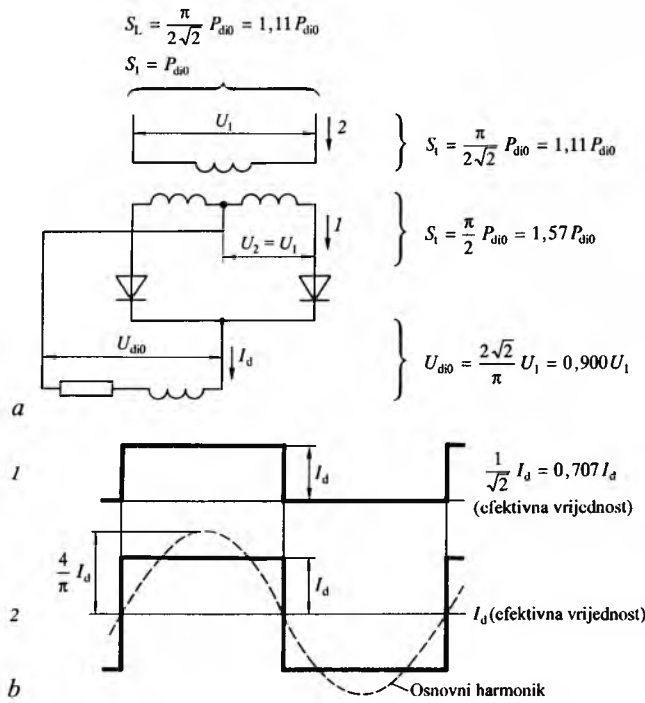


Sl. 5. Jednofazni mosni spoj. a shema, b grafički prikaz struje na pojedinim mjestima (oznake kao na sl. 4)

fazna, radi se o *trofaznom spoju sa srednjom točkom*, (sl. 6), a naziva se i *tropulsnim spojem sa srednjom točkom*, a ako je pojna

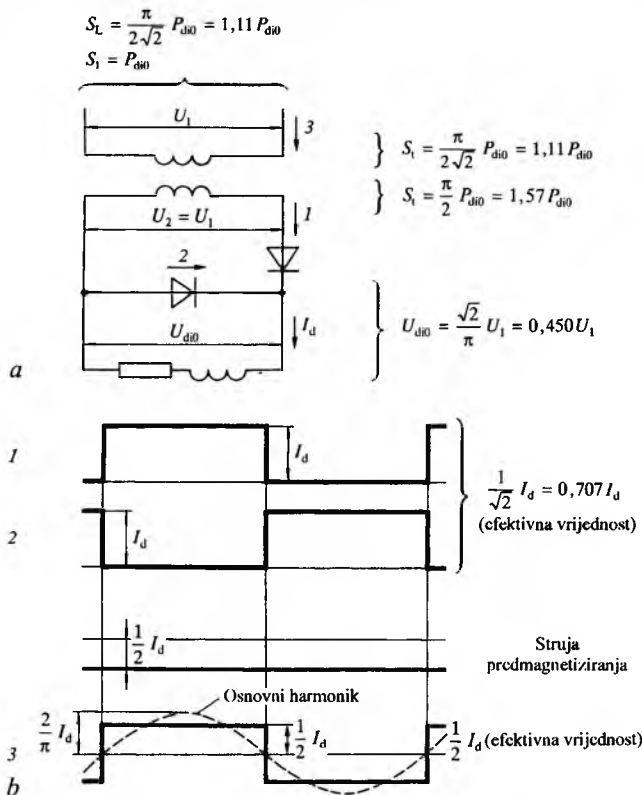


Sl. 6. Trofazni spoj sa srednjom točkom. a shema, b grafički prikaz struje na pojedinim mjestima (oznake kao na sl. 4)



Sl. 7. Dvofazni spoj sa srednjom točkom. a shema, b grafički prikaz struje na pojedinim mjestima;  $U_2$  efektivna vrijednost napona sekundarnog namota transformatora (oznake kao na sl. 4)

mreža dvofazna, radi se o *dvofaznom spoju sa srednjom točkom*, koji se češće naziva *dvopulsnim spojem sa srednjom točkom* (sl. 7). Daljom degeneracijom dobiva se *jednofazni spoj s usporednom diodom* (sl. 8).



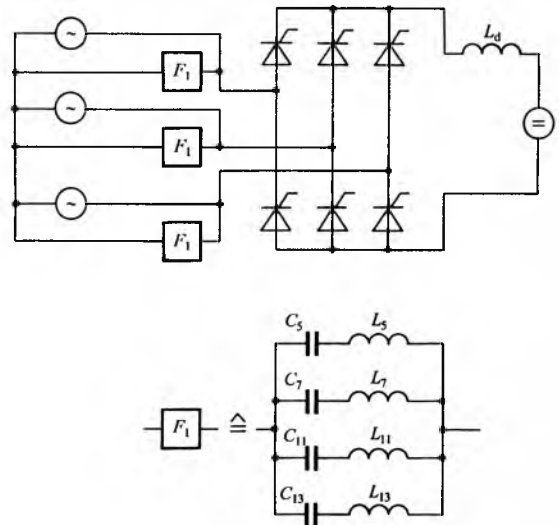
Sl. 8. Jednofazni spoj. a shema, b grafički prikaz struje na pojedinim mjestima;  $U_2$  efektivna vrijednost napona sekundarnog namota transformatora (oznake kao na sl. 4)

Serijskim i paralelnim kombinacijama mosnih spojeva i spojeva sa srednjom točkom dobiju se svi složeniji spojevi, primjeric *dvanaesteropulsni spoj* serijskim spajanjem dvaju trofaznih

punoupravljivih mosnih spojeva (sve su grane upravljive), međusobno fazno pomaknutih za  $60^\circ$ , *šesteropulsni spoj* paralelnim spajanjem dvaju trofaznih spojeva sa srednjom točkom, međusobno fazno pomaknutih za  $60^\circ$  (češće se naziva trofaznim spojem s međufaznim transformatorom). Antiparalelnim spajanjem dobije se spoj četverokvadrantnog pretvarača (može dati oba polariteta napona i oba polariteta struje istosmjernog sustava), no to više nije usmjerivački spoj.

**Neki posebni nazivi spojeva usmjerivačkih sklopova.** *Poluvalni spoj* je spoj u kojem struja kroz svaki od faznih priključaka izmjeničnog sustava teče u jednom smjeru (npr. trofazni spoj sa srednjom točkom). *Punovalni spoj* je spoj u kojem struja kroz svaki od faznih priključaka teče u oba smjera (npr. trofazni mosni spoj). *Neupravljivi spoj* ima sve glavne grane neupravljive, *poluupravljivi spoj* ima polovicu glavnih grana upravljivih, *punoupravljivi spoj* ima sve glavne grane upravljive, *homogeni spoj* ima sve glavne grane ili upravljive ili neupravljive, a *heterogeni spoj* ima i upravljive i neupravljive glavne grane.

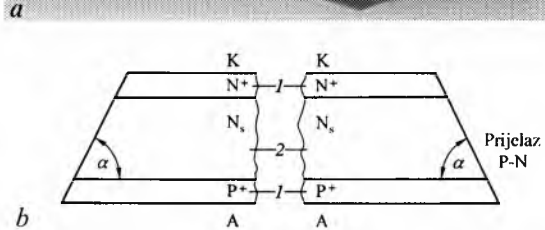
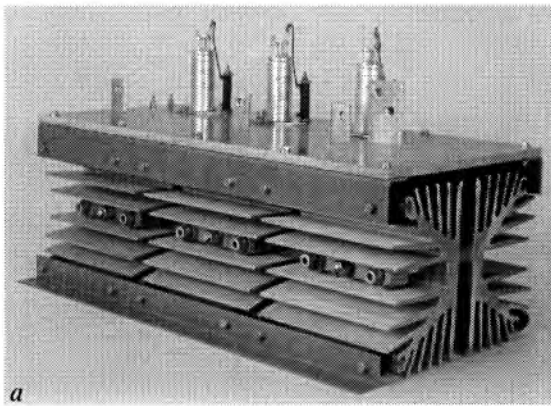
**Opće karakteristike usmjerivačkih sklopova.** Na temelju razmatranja topologije općeg pretvaračkog sklopa može se zaključiti o nekim zajedničkim značajkama usmjerivačkih sklopova: napon je istosmjernog sustava valovit, struja izmjeničnog sustava, uz osnovni harmonik (osnovni harmonički član), sadrži i više harmoničke članove, osnovni harmonik struje izmjeničnog sustava kasni za naponom, jer se upravlja samo trenutkom uklaapanja sklopki, tj. usmjerivački sklop opterećuje izmjenični sustav jalovom snagom. Neželjeni harmonici napona istosmjernog sustava i neželjeni harmonici struje izmjeničnog sustava potiskuju se filterima (sl. 9). Ako je vremenska konstanta istosmjernog filtra velika u usporedbi s periodom mreže, istosmjerna je struja približno konstantna. Međutim, struja je mreže, umjesto sinusnog, pravokutnog valnog oblika. Serijski titrajni krugovi  $L_5 - C_5$ ,  $L_7 - C_7$  i  $L_{11} - C_{11}$  kratko spajaju treći, sedmi i jedanaesti harmonik, a niskopropusni filter,  $L_{13} - C_{13}$ , potiskuje trinaesti i sve više harmonike. Važno je uočiti da odabir filtera ovisi o parametrima izmjeničnog i istosmjernog sustava.



Sl. 9. Potiskivanje viših harmonika struje u izmjeničnom sustavu pomoću rezonantnih filtera, a u istosmjernom sustavu pomoću niskopropusnog filtra

**Poluvodičke ventilske komponente u usmjerivačkim sklopovima.** Učinske poluvodičke ventilske komponente u usmjerivačkim sklopovima trebaju voditi struju samo u jednom smjeru, blokirati napon barem u jednom smjeru, uklapati na vanjski poticaj i isklapati djelovanjem izmjenične pojne mreže. Takve su komponente diode i klasični tiristori. Dioda uklapaju promjenom polariteta napona, a klasični tiristori pojavom pozitivnog impulsa na upravljačkoj elektrodi. I diode i klasični tiristori isklapaju smanjenjem struje do nule djelovanjem vanjskog napona, i to nakon vremena odmaranja.

*Učinske diode.* Bitan dio učinske diode (sl. 10 a) jest silicijska monokristalna pločica (sl. 10 b) (v. *Elektronika, sastavni dijelovi*,



Sl. 10. Učinska dioda. a slog dioda sa zaštitnim RC-članovima, b struktura silicijske pločice; 1 područje male otpornosti, 2 područje velike otpornosti, K katodna strana, A anodna strana

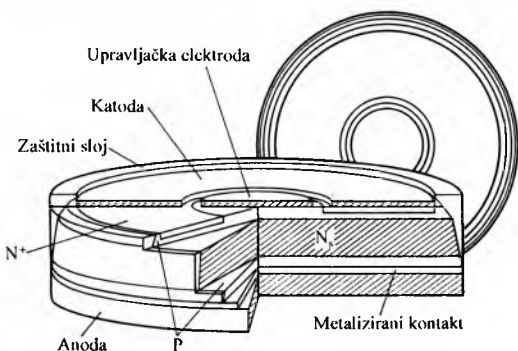
TE 4, str. 476). Između jako dotiranih područja P<sup>+</sup> i N<sup>+</sup> nalazi se slabo dotirano područje tipa N ili P. Metalni kontakt koji se nadovezuje na područje N<sup>+</sup> jest anoda, a drugi je metalni kontakt katoda.

Diode s troslojnom strukturom P<sup>+</sup>-N<sub>s</sub>-N<sup>+</sup> ili P-P<sub>s</sub>-N<sup>+</sup> odlikuju se malenim padom napona u propusnom smjeru (do 1,5 V), vrlo malenom zapornom strujom (nekoliko miliampera), velikom dopuštenom gustoćom struje u propusnom smjeru (do 1 A/mm<sup>2</sup>) i visokim probojnim naponom (do 6 kV). Skošenje ruba silicijske pločice smanjuje jakost električnog polja na rubu. Diode sa skošenim rubom nazivaju se *diode s prinudnim lavinskim probijem* (engl. *avalanche diode*).

Glede naponsko-strujne karakteristike te su diode kvalitativno identične PN prijelazu (v. *Elektronika, sastavni dijelovi*, TE 4, str. 473). Naponski su opteretive kao asimetrični PN prijelaz, a strujno opteretive znatno više od bilo kojeg PN prijelaza. Velika strujna opteretivost zasniva se na stvaranju stanja sličnog plazmi u području I.

Razvila su se dva tipa učinkih dioda: mrežne i frekventijske. *Mrežne učinske diode* imaju, zbog visokog probojnog napona, široko područje I (do 400 μm), a duljinu difuzije nosilaca naboja (elektroni i šupljine) u tom području reda širine tog područja (zbog malog pada napona u stanju vođenja). Zato imaju slabe frekventijske karakteristike. Poglavitno se upotrebljavaju u pretvaračkim sklopovima, kojima je radna frekvencija upravo frekvencija mreže.

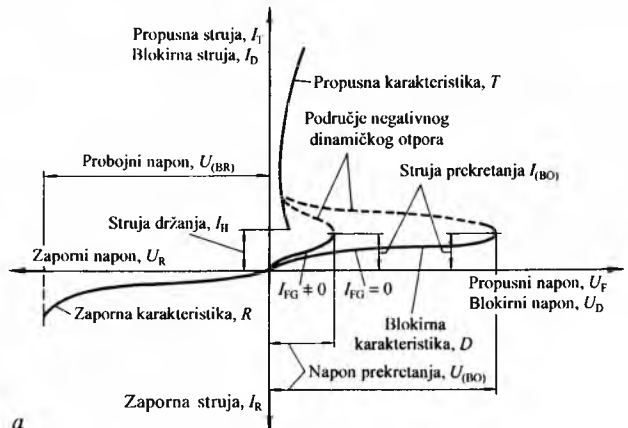
*Klasični učinski tiristori*. Glavni je dio tiristora (sl. 11) četveroslojna struktura P-N-P-N unutar monokristala silicija. Slojevi P i N međusobno su paralelni i izmjenjuju se (v. *Elektronika, sastavni dijelovi*, TE 4, str. 484). Oba su vanjska sloja



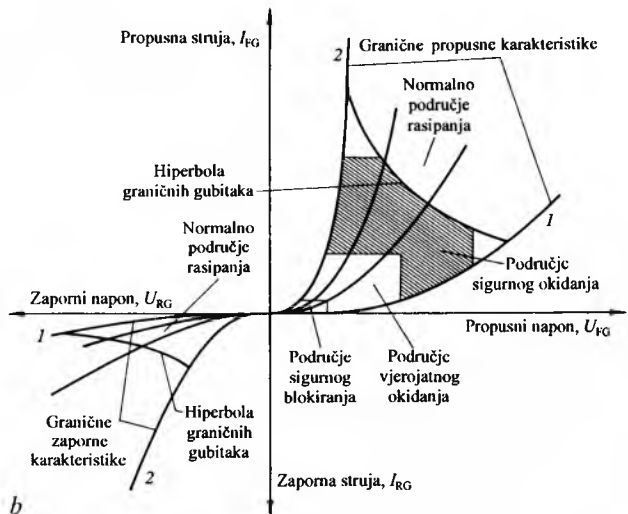
Sl. 11. Učinski tiristor, konstrukcija i struktura silicijske pločice (AEG)

razmjerno jako dotirana i zato obiluju nosiocima naboja. Unutarnji su slojevi slabo dotirani, pa imaju malo nosilaca naboja.

Osnovno je svojstvo tiristorске strukture P-N-P-N da sprečava tok struje u oba smjera pri velikim naponima i omogućuje provođenje struje od krajnjeg područja P<sup>+</sup> (anoda) prema krajnjem području N<sup>+</sup> (katoda) injektiranjem nosilaca naboja u jedno od središnjih područja (bistabilna karakteristika). U klasičnom učinskom tiristoru to je područje P (*upravljačka elektroda, geit*). Injekcija nosilaca naboja postiže se strujnim ili svjetlosnim impulsom. Za održavanje stanja vođenja nije potrebna struja upravljačke elektrode. Od krajnjeg područja N<sup>+</sup> prema krajnjem području P<sup>+</sup> struktura ni u kojem slučaju ne može voditi struju. Statičke naponsko-strujne karakteristike glavnog i upravljačkog kruga prikazuje slika 12.



a



b

Sl. 12. Nazivi i oznake naponsko-strujne karakteristike: glavnog (a) i upravljačkog kruga tiristora (b)

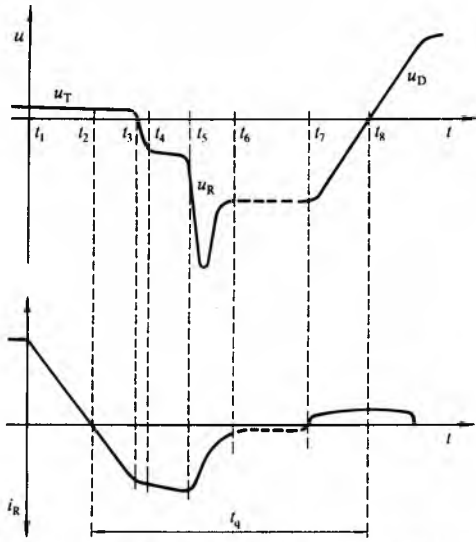
Prebacivanje tiristora u stanje vođenja impulsom struje na upravljačkoj elektrodi naziva se *okidanje*. Za to je dovoljan impuls struje amplitude do 1 A i trajanja ~30 ms. U stanju vođenja tiristor je jednak učinskoj diodi. Središnja područja N<sub>s</sub> i P preplavljena su nosiocima naboja, a zbog toga što je koncentracija nosilaca naboja bitno veća od koncentracije primjesa, nevažno je kojeg su tipa vodljivosti.

Tiristor se može prebaciti u stanje vođenja i povišenjem blokirnog napona iznad *napona prekratanja* i prekoračenjem *kritične brzine porasta blokirnog napona* (tzv. *efekt di/dt*). Oba tipa prekratanja nisu valjana i mogu trajno oštetiti tiristor.

I prebrzo povećanje struje tijekom uklapanja, *veće od kritične brzine porasta propusne struje*, uništava tiristor (tzv. *efekt di/dt*). Uzrok je koncentracija gubitaka uklapanja oko upravljačke elektrode. Gubici uklapanja smanjuju se spajanjem prigušnice u seriju s tiristorom.



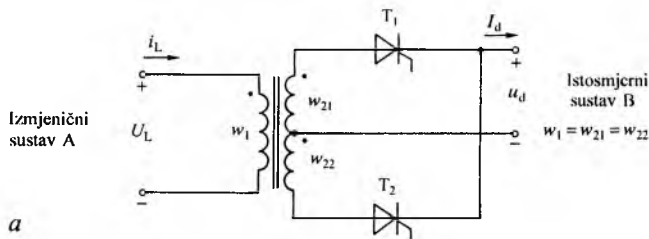
Tiristor se u stanje blokiranja može prebaciti jedino smanjenjem struje na nulu i čekanjem da protekne određeno vrijeme, tzv. *vrijeme odmaranja*, do pojave blokirnog napona (sl. 13). Tijekom opadanja struje oporavljanja javljaju se prenaponi, koji se prigušuju spajanjem tzv. RC-člana paralelno s tiristorom.



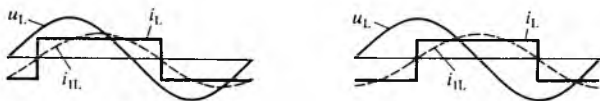
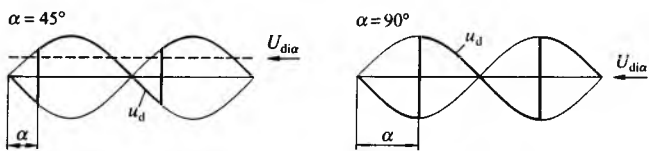
Sl. 13. Naponsko-strujni odnosi tijekom oporavljanja tiristora

Razvila su se dva tipa učinkovitih tiristora: *mrežni* i *frekvencijski*, a razlozi za to isti su kao i za učinkite diode. Današnji mrežni tiristori naponski su opteretivi do 6kV, strujno do 4kA, a vrijeme oporavljanja je 50...400μs.

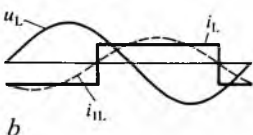
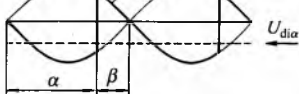
**Temeljni spojevi usmjerivačkih sklopova.** Način rada temeljnih usmjerivačkih sklopova objašnjava se naponsko-strujnim odnosima (sl. 14 i 15). Na slikama je pretpostavljeno da su tiristori idealni ventili, da je transformator idealan, da su otpor-



a



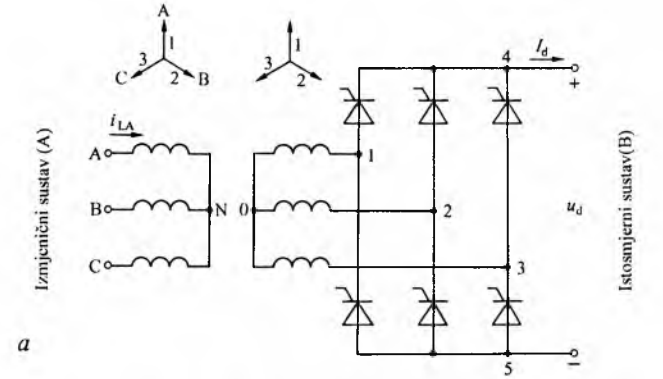
$i_{IL}$ - osnovni harmonički član izmjeničnog sustava



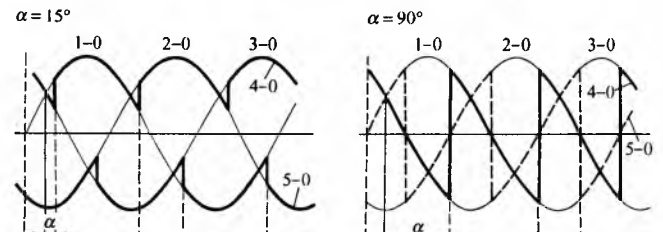
b

Sl. 14. Dvopulsni spoj sa srednjom točkom. a shema spoja, b strujno-naponski odnosi

nosti i induktivnosti ožičenja zanemarivi i da je istosmjerna struja nevalovita.

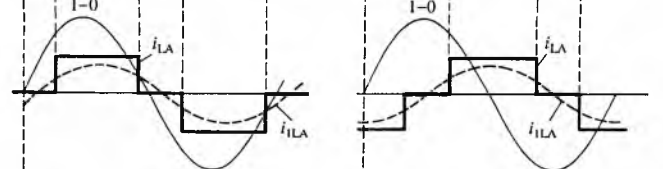


a

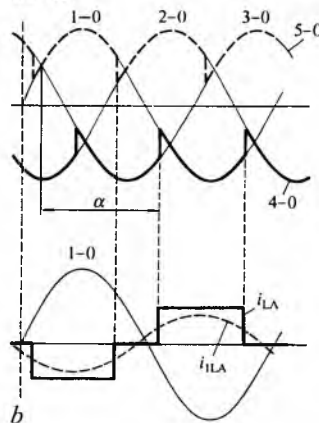


$\alpha = 15^\circ$

$\alpha = 90^\circ$



$i_{IL}$ - osnovni harmonik



b

Sl. 15. Trofazni mosni spoj. a shema spoja, b strujno-naponski odnosi

U području kuta upravljanja  $0 \leq \alpha < 90^\circ$  (*ispravljački režim rada*) izmjenični sustav predaje energiju istosmjernom. U području kuta upravljanja  $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$  (*izmjenjivački režim rada*) je obratno, pa zato u istosmjernom sustavu mora postojati izvor energije. Trenutni smjer toka energije ovisi o polaritetu napona istosmjernog sustava (napon na istosmjernim priključcima usmjerivača).

Srednja vrijednost napona istosmjernog sustava u svim je temeljnim usmjerivačkim spojevima proporcionalna kosinusu kuta upravljanja. Primjerice, za tropulsni spoj sa srednjom točkom srednja vrijednost napona tzv. idealnog ispravljača (zanemareni su svi djelatni i induktivni otpori električnih ventila, sabirnica, transformatora i pojne mreže) određena je izrazom

$$U_{dia} = \frac{3}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{3} + \alpha}^{\frac{\pi}{3} + \alpha} \sqrt{2} U_2 \cos(\omega t) d(\omega t), \quad (1a)$$

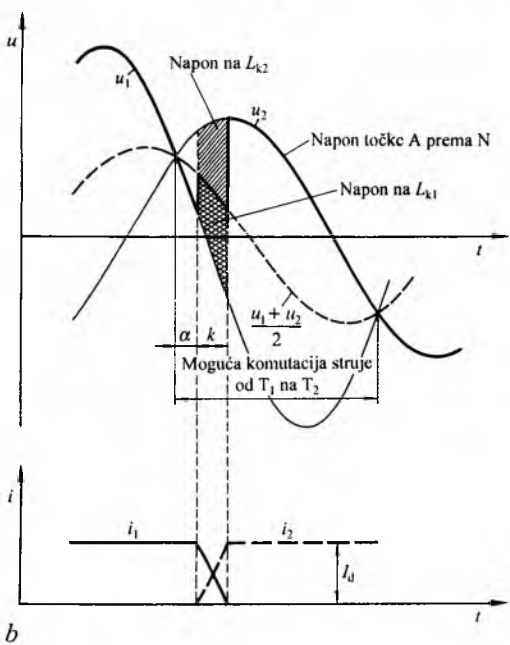
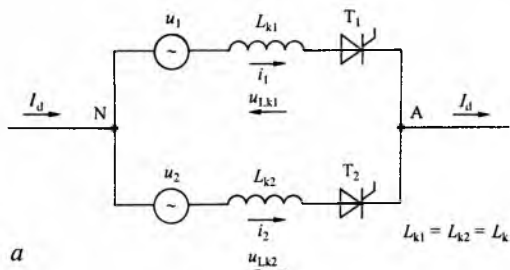
$$U_{d\alpha} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} U_2 \cos \alpha, \quad (1b)$$

gdje je  $U_2$  efektivna vrijednost faznog napona sekundara transformatora,  $\omega$  kružna frekvencija napona pojne mreže,  $\alpha$  kut upravljanja, a  $t$  vrijeme. Ta analiza pokazuje da je usmjerivački sklop regulacijski nelinearni član s mrtvim vremenom.

**Komutacija ventila u usmjerivačkim sklopovima.** Objasnjenje se komutacije (sl. 16) temelji na zakonitosti:

$$\Delta i = \frac{1}{L} \int u dt, \quad (2)$$

koja pokazuje da je promjena struje  $i$  kroz prigušnicu jednaka omjeru vremenskog integrala napona na prigušnici i induktivnosti  $L$ . Trajanje komutacije  $k$  to je dulje, što je veća struja istosmjernog sustava  $I_d$  i induktivnost komutacijskog kruga  $L_{k1} + L_{k2}$ , a to je kraće što je veći napon u komutacijskom krugu  $u_2 - u_1$ .



Sl. 16. Komutacija pojnom mrežom. a shema, b strujno-naponski odnosi

Napon  $u_{AN}$  čvorišta A prema čvorištu N, ako su komutacijske induktivnosti jednake,  $L_{k1} = L_{k2} = L_k$ , slijedi srednju vrijednost napona koji uzrokuju komutaciju,  $(u_1 + u_2)/2$ . Dakle, komutacija smanjuje srednju vrijednost napona istosmjernog sustava, a to smanjenje ovisi o ploštini  $A$ . Pod pretpostavkom da je struja  $I_d$  nevalovita i konstantna, ploština je  $A = (L_{k1} + L_{k2}) I_d$ . Tako, npr., smanjenje srednje vrijednosti napona istosmjernog sustava zbog komutacije u trofaznom usmjerivaču sa srednjom točkom, ako su komutacijske induktivnosti jednake, iznosi  $3fL_k I_d$ , gdje je  $f$  frekvencija. Faktorom 3 uzimaju se u račun tri komutacije tijekom jedne periode pojne mreže. Za taj realniji usmjerivač srednja vrijednost napona istosmjernog sustava iznosi

$$U_{d\alpha} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} \cos \alpha - 3fL_k I_d. \quad (3)$$

U usmjerivačkim sklopovima komutacija mora završiti prije nego što napon komutacije promijeni polaritet; nakon pada struje na nulu, tiristori mogu preuzeti blokirni napon tek nakon tzv. vremena odmaranja. Inače komutacija ne uspijeva i struja se vraća na tiristor koji je trebao prestati voditi struju. Zato je najveći mogući kut upravljanja  $\alpha_{max}$  manji od  $180^\circ$  (obično je  $\sim 150^\circ$ ). Posljedica je neuspjele komutacije tzv. *prekretanje usmjerivača*.

Trajanje komutacije  $k$  (ili izraženo kutom: kut komutacije) računava se polazeći od diferencijalne jednadžbe komutacijskog kruga:

$$2L_k \frac{di_k}{dt} = u_k. \quad (4)$$

Pretpostavi li se da je struja istosmjernog sustava konstantna, dobiva se

$$\int_0^{I_d} di = \frac{1}{2\omega L_k} \int_{\alpha}^{\alpha+k} \sqrt{2} U_k \sin(\omega t) d(\omega t), \quad (5)$$

gdje je  $U_k$  efektivna vrijednost napona komutacijskog kruga. Slijedi

$$\cos(\alpha + k) = \cos \alpha - \frac{\sqrt{2} \omega L_k I_d}{U_k}. \quad (6)$$

Ako grana pretvaračkog sklopa prestane voditi struju bez komutacije, onda je to *utrnuće*.

### ENERGETSKI SUSTAVI I PRETVORBA

**Izmjenični energetski sustav.** Za usmjerivače je izmjenični električni sustav izmjenična pojna električna mreža. Općenito, *djelatna snaga* neke mreže, uređaja ili sl. zbroj je djelatnih snaga istorednih harmonika; *djelatna snaga* jednaka je umnošku efektivne vrijednosti napona, efektivne vrijednosti struje i kosinusa kuta između njih. *Prividna snaga* umnožak je efektivne vrijednosti napona i efektivne vrijednosti struje. *Faktor snage* omjer je djelatne i prividne snage osnovnog harmonika. *Snaga osnovnog harmonika* djelatna je snaga određena osnovnim harmonicima napona i struje. *Sadržaj harmonika* je veličina dobivena oduzimanjem osnovnog harmonika od izmjenične veličine. *Relativni sadržaj harmonika* (harmonička distorzija) omjer je efektivne vrijednosti sadržaja harmonika i efektivne vrijednosti izmjenične veličine. *Relativni sadržaj osnovnog harmonika* omjer je efektivne vrijednosti osnovnog harmonika i efektivne vrijednosti izmjenične veličine.

Njemačka norma VDE 0160/Teil 2. postavlja zahtjeve za valni oblik napona izmjenične mreže za napajanje elektroničkih energetskih uređaja, i to za efektivnu vrijednost osnovnog harmonika napona izmjenične mreže, efektivnu vrijednost viših harmonika i odstupanje trenutne vrijednosti od vršne vrijednosti osnovnog harmonika. Međunarodna norma IEC 146-1-1 postavlja zahtjeve za karakteristike izmjenične mreže za napajanje elektroničkih energetskih pretvarača, i to za valni oblik, nesimetriju trofaznog sustava napona, te odstupanja napona i frekvencije.

**Istosmjerni energetski sustav.** Za usmjerivače je istosmjerni energetski sustav istosmjerna električna mreža koju tvore istosmjerni izvor napona, te pasivne komponente (otpornici, prigušnice, kondenzatori) i aktivne komponente (diode, tiristori, tranzistori). *Istosmjerna snaga* umnožak je srednje vrijednosti istosmjernog napona i srednje vrijednosti istosmjerne struje. *Istosmjerni faktor oblika* omjer je efektivne i srednje vrijednosti periodičke veličine koja ima istosmjernu komponentu. *Napon valovitosti* izmjenična je komponenta napona istosmjernog sustava. *Faktor valovitosti istosmjerne struje* omjer je polovice razlike između maksimalne i minimalne vrijednosti i srednje vrijednosti pulsirajuće istosmjerne struje. *Broj pulsacija* broj je nestodobnih simetričnih izravnih ili neizravnih komutacija za vrijeme jedne osnovne periode.

**Elektronička energetska pretvorba.** *Korisnost* je omjer djelatne snage na izlazu i na ulazu. *Korisnost procesa pretvorbe* je omjer djelatne snage na željenoj frekvenciji na izlazu i djelatne snage na ulazu.

## KARAKTERISTIKE USMJERIVAČA

**Izmjenične karakteristike.** Bitne veličine koje karakteriziraju usmjerivač kao trošilo jesu djelatna, jalova i prividna snaga, te faktor snage i faktor faznog pomaka kojima usmjerivač opterećuje pojnu mrežu, a s tim u svezi distorzija napona pojne mreže na mjestu priključka usmjerivača i distorzija struje pojne mreže.

Djelatna snaga koju prima neka mreža, kojoj na priključcima vladaju nesinusni naponi i teku nesinusne struje, iznosi

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt. \quad (7)$$

Rastavljanjem napona  $u$  i struje  $i$  u Fourierov red i integriranjem preko zajedničke periode  $T$  proizlazi da djelatnoj snazi pridonose samo istoredni harmonici (komponente napona  $u$  i struje su ortogonalne).

Djelatna snaga kojom usmjerivač opterećuje jednu fazu pojne mreže iznosi

$$P = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_h I_h \cos \varphi_h + \dots, \quad (8)$$

gdje je  $U_h$  efektivna vrijednost  $h$ -tog harmonika faznog napona,  $I_h$  efektivna vrijednost  $h$ -tog harmonika fazne struje, a  $\varphi_h$  kut faznog pomaka između  $h$ -tih harmonika struje i napona. Ako je napon sinusni, djelatnoj snazi pridonosi samo prvi harmonik struje:

$$P = P_1 = U I_1 \cos \varphi_1, \quad (9)$$

a ostali harmonici struje ne pridonose djelatnoj snazi, jer nemaju svog istorednog para u naponu.

Jalova snaga kojom usmjerivač opterećuje jednu fazu pojne mreže iznosi

$$Q = U_1 I_1 \sin \varphi_1 + U_2 I_2 \sin \varphi_2 + \dots + U_h I_h \sin \varphi_h + \dots. \quad (10)$$

Uz sinusni napon jalovoj snazi pridonosi samo prvi harmonik struje:

$$Q = Q_1 = U I_1 \sin \varphi_1. \quad (11)$$

Prividna snaga s kojom usmjerivač opterećuje jednu fazu pojne mreže jednaka je umnošku efektivnog faznog napona i efektivne fazne struje:

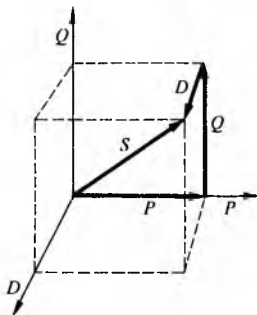
$$S = \sqrt{(U_1^2 + U_2^2 + \dots)} \sqrt{(I_1^2 + I_2^2 + \dots)}. \quad (12)$$

Snaga izobličenja jedne faze pojne mreže jednaka je umnošku efektivnog faznog napona i efektivne vrijednosti svih viših harmonika struje (odatle i naziv, jer je u svezi s distorzijom struje):

$$D = U \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}. \quad (13)$$

Dakle, prividna snaga ima tri komponente (sl. 17):

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2. \quad (14)$$



Sl. 17. Odnosi između prividne, djelatne i jalove snage, te snage izobličenja

**Faktor snage.** Svi usmjerivači, općenito, opterećuju izmjeničnu pojnu mrežu višim harmonicima struje, fazno pomaknutim prema istorednim harmonicima napona. Posljedica je toga da pojava mreža treba imati nazivnu prividnu snagu veću od nazivne snage trošila usmjerivača, tj. mreža može napajati djelatno trošilo snage veće od snage trošila usmjerivača. Učinkovitost uporabe

raspoložive snage izmjenične pojne mreže izražava se faktorom snage:

$$\lambda = \frac{P}{S}, \quad (15)$$

koji je za sinusni napon pojne mreže jednak umnošku faktora relativnog sadržaja osnovnog harmonika struje i faktora faznog pomaka:

$$\lambda = \frac{I_1}{I} \cos \varphi_1. \quad (16)$$

**Tipna snaga usmjerivačkog transformatora.** Kao što izmjenična pojna mreža treba imati nazivnu prividnu snagu veću od nazivne snage trošila usmjerivača, tako i usmjerivački transformator treba imati tipnu snagu veću od nazivne snage trošila usmjerivača. Tipna snaga usmjerivačkog transformatora određena je izrazom

$$P_{tr} = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^m U_m I_m, \quad (17)$$

gdje je  $U_m$  efektivna vrijednost napona namota,  $I_m$  efektivna vrijednost struje namota, a  $m$  broj namota transformatora.

**Harmonici fazne struje.** Za usmjerivačke spojeve kojima je zbroj amperzavoja u svakom stupu transformatora jednak nuli, zbroj faznih struja pojne mreže u svakom trenutku jednak nuli i svi karakteristični intervali rada jednaki, vrijedi da su amplitude harmonika obrnuto proporcionalne rednom broju harmonika, te da postoje samo harmonici reda  $n+1$  i  $n-1$  (gdje je  $n$  prirodni broj, a  $p$  broj identičnih intervala rada u periodu).

Ovisnost djelatne i jalove snage o kutu upravljanja  $\alpha$  idealnog usmjerivača, pretpostavljajući konstantnost i nevalovitost struje istosmjernog sustava, te sinusnost izmjeničnog napona pojne mreže, slijedi iz jednadžbi

$$P = P_1 = U_{dio} I_d \cos \alpha, \quad (18)$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = \sqrt{(U_{dio} I_d)^2 - (U_{dio} I_d \cos \alpha)^2} = U_{dio} I_d \sin \alpha. \quad (19)$$

Stoga je veza između jalove i djelatne snage

$$\left( \frac{Q_1}{U_{dio} I_d} \right)^2 + \left( \frac{P_1}{U_{dio} I_d} \right)^2 = 1, \quad (20)$$

odnosno

$$\left( \frac{Q_1}{U_{dio} I_d} \right)^2 + \left( \frac{U_{dio} \alpha}{U_{dio}} \right)^2 = 1. \quad (21)$$

To je parametarska jednadžba kružnice i u usmjerivačkoj se tehnici naziva *kružni dijagram*. Komutacijske induktivnosti povećavaju jalovu snagu, te usmjerivač uzima iz pojne mreže jalovu snagu i kad je kut upravljanja  $\alpha=0$ .

**Istosmjerne karakteristike.** Ovisnost  $U_{d\alpha} = f(\alpha)$  uz parametar  $I_d$  naziva se *upravljačka karakteristika usmjerivača*, a ovisnost  $U_{d\alpha} = f(I_d)$  uz parametar  $\alpha$  naziva se *(izlazna) karakteristika usmjerivača*.

**Idealni istosmjerni napon praznog hoda  $U_{dio}$**  dobije se, po definiciji, za  $\alpha=0$  i  $I_d=0$ . On ovisi samo o spoju transformatora i o spoju usmjerivačkog sklopa.

**Harmonici napona istosmjernog sustava.** Napon je istosmjernog sustava  $u_d$  valovit, a ako ima oblik krivulje kao na slici 18 (trenutačna komutacija, simetrični sinusni trofazni sustav napona pojne mreže), amplitude harmonika iznose

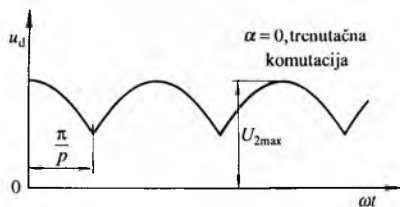
$$U_{d/hmax} = U_{2max} \frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} \cdot \frac{2}{h^2 - 1} \left[ -\cos \frac{h\pi}{p} \right], \quad (22)$$

gdje je  $h$  redni broj harmonika veći od 1 i višekratnik broja pulsacija  $p$  ( $p$  je prirodni broj) u naponu istosmjernog sustava. Faktor u uglatoj zagradi iznosi +1 za  $h/p=1, 3, 5, \dots$ , a -1 za  $h/p=2, 4, 6, \dots$ . Prema tome, faktor  $2/(h^2-1)$  omjer je amplitude pojedinog harmonika i veličine  $U_{dio}$ . Taj omjer ne ovisi o broju pulsacija, pa



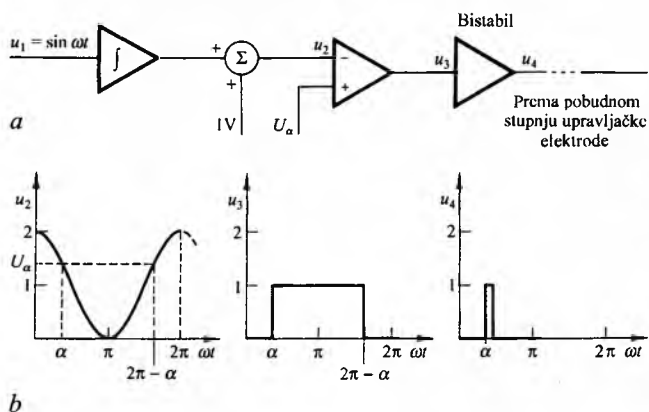
je udio istorednih harmonika jednak u svim spojevima koji imaju napon istosmjernog sustava predočen krivuljom na slici 18.

Amplituda harmonika povećava se s povećanjem kuta upravljanja  $\alpha$ , ali je to manja što su komutacijske induktivnosti veće, a smanjuje se i dodavanjem tzv. poredne diode trošilu.



Sl. 18. Napon istosmjernog sustava nekih usmjerivača (uz pretpostavku da je struja istosmjernog sustava konstantna i nevalovita, da je komutacija trenutačna i da se komutacije ne događaju istodobno)

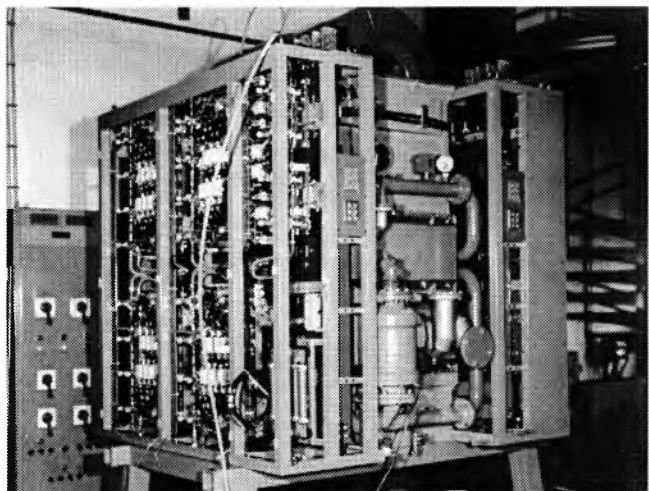
**Upravljačke karakteristike.** Problem je nelinearnosti upravljačke karakteristike usmjerivača  $U_{d\alpha} = f(\alpha)$  u tome što pojačanje u radnoj točki  $dU_{d\alpha}/d\alpha$  teži prema nuli ako napon istosmjernog sustava  $U_{d\alpha}$ , već prema usmjerivačkom sklopu, teži prema maksimalnoj vrijednosti ili prema nuli. Slika 19 ilustrira uobičajen način linearizacije upravljačke karakteristike usmjerivača u poluupravljaljivom mosnom spoju, tj. dobivanje konstantnog pojačanja u cijelom radnom području napona istosmjernog sustava  $U_{d\alpha}$ .



Sl. 19. Principna shema generatora impulsa za upravljanje tiristorima u usmjerivačima kojim se postiže linearna ovisnost napona istosmjernog sustava  $U_{d\alpha}$  o upravljačkom naponu. a) blok-shema, b) grafički prikaz napona

**PRIMJERI UPORABE USMJERIVAČA**

**Istosmjerni elektromotorni pogon.** Istosmjerni motori napajani iz usmjerivača primjenjuju se za pogon radnih mehanizama kojima je potrebno mijenjati veličine po volji ili po nekom programu ili ih održavati stalnim, kao što su brzina vrtnje, ubrzanje, usporenje, zakretni moment, vučna sila, snaga i druge veličine koje su funkcija navedenih veličina (npr. dobava crpke, tlak, protok materijala). Za područje snaga elektromotornih pogona većih

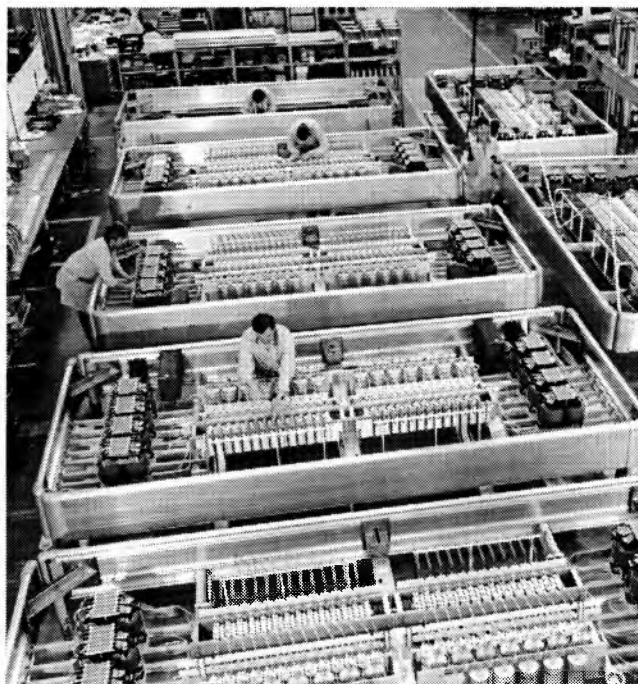


Sl. 20. Ispravljači s izmjenjivačem topline za regulaciju brzine vrtnje dvaju vučnih motora tiristorске lokomotive (proizvođač »Končar-INEM«, Zagreb)

od 10kW najčešće se rabe usmjerivači u trofaznom punoupravljaljivom mosnom spoju (primjena: glavni i pomoćni pogoni valjalonica, centrifuge, dizalice, dizala, bageri, papirni strojevi) i usmjerivači u trofaznom poluupravljaljivom mosnom spoju (primjena: crpke, ventilatori, miješalice, ekstruderi, kalanderi, valjački stanovi, papirni strojevi, pogon brodova, ispitni uređaji). Paralelnim spajanjem usmjerivača ostvareni su elektromotorni pogoni snage već od 20 MW. Ispravljači u jednofaznom mosnom spoju, u megavatnom području, rabe se samo u električnoj vuči, za regulaciju brzine vrtnje vučnih motora (sl. 20).

**Punjenje akumulatorskih baterija.** Punjači mogu biti samostalni ili sastavni dio postrojenja za neprekidno napajanje istosmjernim (npr. postrojenja za napajanje telefonskih i telegrafskih uređaja) ili izmjeničnim naponom (npr. stabilizatori napona i frekvencije za neprekidno napajanje). Za područje snaga punjača do 5kW najčešće se rabe ispravljači u jednofaznom mosnom spoju, a za veće snage ispravljači u trofaznom mosnom spoju. Najveći punjači, prema zahtjevima akumulatorskih baterija, grade se za struje od nekoliko tisuća ampera.

**Istosmjerni veleprejnos električne energije.** Na početku dalekovoda ili kabela izmjenična se struja pretvara ispravljačem u istosmjernu, a na kraju dalekovoda ili kabela istosmjerna se struja ponovno izmjenjivačem pretvara u izmjeničnu. Vodovi dalekovoda ili kabela na simetričnim su potencijalima prema tlu. Usmjerivači se sastoje od više serijski spojenih sklopova u trofaznom mosnom spoju, a svaka grana sklopa od nekoliko stotina serijski spojenih tiristora (sl. 21).



Sl. 21. Proizvodnja tiristorских slogova za istosmjernu veleprejnosu u tvrtki »Siemens«, Erlangen, Njemačka

**Filtriranje dimnih plinova.** Istosmjerni napon diodnog ispravljača regulira se antiparalelnim tiristorima u primaru transformatora. Normirani su nazivni istosmjerni naponi 78kV i 110kV, a područje je normiranih nazivnih istosmjernih struja 0,375 mA do 2,5 A.

LIT.: Th. Wasserrab, Schaltungslehre der Stromrichtertechnik. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1962. - J. Schaefer, Rectifier Circuit. John Wiley and Sons, New York-London-Sydney, 1965. - Z. Benčić, Z. Plenković, Energetska elektronika I - Poluvodički ventili. Školska knjiga, Zagreb 1978. - P. Wood, Switching Power Converters. Van Nostrand Reinhold Co., London-Toronto-Melbourne 1981. (reprint: Robert E. Krieger Publishing Company, 1984) - W. Leonhard, Control of Electrical Drives. Springer-Verlag, Heidelberg 1985. - K. Heumann, Basic Principles of Power Electronics. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 1986. - N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins, Power Electronics, Converters, Applications and Design. John Wiley and Sons, New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore 1989.