

PRIPREMILI: BRANKO PRENTIĆ, dip. el. inženjer
GORJANA ČERANIĆ, dip. el. inženjer

PRIRUČNIK

(ZBIRKA PITANJA I PROPISA)

ZA POLAGANJE STRUČNOG ISPITA I ISPITA RADNE
OSPOBLJENOSTI RADNIKA KOJI RADE NA POSLOVIMA
TEHNIČKOG RUKOVODENJA, TEHNIČKOG NADZORA I
RUKOVANJA ODREĐENIM ENERGETSKIM
POSTROJENJIMA

NIKIĆ 1995.

OSNOVI ELEKTROENERGETIKE

OSNOVNI POJMOVI O ENERGIJI

Pojave i procesi koji se dešavaju u prirodi predstavljaju različite oblike kretanja materije i transformacije energije. Ovi oblici kretanja vezani su za odgovarajući vid energije: razlaganje materije za hemijsku energiju, kretanje molekula u tekućini za toplotnu energiju, kretanje elektrona za električnu energiju, kretanje tela za mehaničku energiju.

Energija se može prevoditi iz jednog oblika u drugi, ali se ne može uništiti ili stvoriti ni iz čega. Ovo definiše i objašnjava zakon o održanju energije poznat u obliku:

$$E = \text{const.}$$

U prirodi energija raznim procesima prelazi iz jednog oblika u drugi. Uzmimo za primer dobijanje električne energije u termoelektranama. U gorivu koje sagoreva, hemijska energija prelazi u toplotnu, da bi se u samom kotlu toplotna energija produbila sagorevanja predala vodi, tako da energija prelazi u potencijalnu energiju pare. Energija pare, koja je i dalje toplotna, u parnoj turbini transformiše se u mehaničku energiju koja pokreće rotor turbine i rotor generatora, tako da se u generatoru ta mehanička energija transformiše u električnu.

Transformacija, kao proces prelaska jednog oblika energije u drugi, može biti povratna i nepovratna (jednosmerna). Mehaničku energiju možemo lako prevesti u električnu, i električnu u mehaničku. Prevođenje hemijske u toplotnu energiju je relativno jednostavno, za razliku od obrnutog procesa koji se direktnim putem vrlo teško može izvesti.

Energija je danas vrlo značajna za život, te da bismo je pravilno i potpuno iskoristili, potrebno je da je u potpunosti upoznamo, kao i da upoznamo sve vidove njene transformacije.

Prilikom transformacije jednog oblika energije u drugi, željeni oblik dolazi do „rasipanja“ jednog dela energije tj. transformacije u neki drugi neželjeni oblik energije. Mera transformacije jednog oblika u drugi željeni oblik naziva se stepenom korisnog dejstva, koji je uvek manji od jedan.

Da bi se energija transformisala, potrebna su postrojenja i mašine koje će to izvršiti, a to je predmet proučavanja ovog udžbenika.

ZNAČAJ ENERGIJE ZA ŽIVOT I RAZVOJ DRUŠTVA

Istorijat korišćenja energetskih izvora vezan je za razvoj ljudskog društva. U prvobitnoj zajednici čovek je koristio sopstvenu energiju, energiju svojih mišića, čija je trajna snaga bila 50 do 60 W. Kasnije je počeo da koristi snagu mišića domaćih životinja, koja je iznosila 600 do 700 W.

Potrošnja uglja je vezana za dva perioda. Poznato je da se ugalj eksploatisao u Kini 1000 godina pre naše ere, a u Grčkoj i području Italije 400 godina pre naše ere.

Nafta se počela eksploatisati 6000—8000 godina pre naše ere. Voda i vazduh kao energetske izvori počeli su se eksploatisati oko hiljadu godina pre naše ere a bili su poznati i u Indiji, Egiptu i Kini. Vetroenjača se u Evropi počela koristiti u XII veku.

U XVII veku Saveni je konstruisao prvu upotrebljivu parnu mašinu za crpljenje vode iz rudarskih okana. To je bila nerentabilna mašina i nije bila nalik na današnje.

U 1769. izumio prvu parnu mašinu koja je ekonomično pretvarala toplotnu energiju u mehanički rad. Prva parna mašina prema Vatovom izumu konstruisana je 1877. godine i predstavljala je prekretnicu u razvoju čovečanstva.

Industrijska primena nafte vezana je za XVIII vek kada su izvršene prve destilacije nafte u cilju dobijanja ulja za osvetljenje. Prvo bušenje zemlje u cilju dobijanja nafte izvršeno je 1859. godine u Pensilvaniji. Od tada potrošnja nafte stalno raste, naravno sa razvojem toplinskih motora u željeznici i brodarstvu.

Pred kraj XIX veka dolazi do senzacionalnih otkrića motora sa unutrašnjim sagorjevanjem i to oto (1867) i Dizel (1892), koji su samo pospešili potrošnju nafte kao energetske izvora.

Prva elektrana koja je proizvodila električnu energiju izgrađena je u SAD 1881. godine i imala je snagu 1kW.

Da je usavršavanje je omogućilo stvaranje mlaznih motora (1930. godine F. Vajt).

U našoj zemlji početak elektrifikacije vezuje se za 1886. godinu i izgradnju prve hidroelektrane na reci Crnici kod Paraćina, a zatim izgradnju hidroelektrana „Građac“ kod Valjeva i „Đetinje“ kod Užica 1900. godine.

REZERVE ENERGIJE I POTROŠNJA

Prilikom razmatranja energetske rezervi mora se voditi računa da su podaci o njihovim rezervama relativni, jer se apsolutno tačne rezerve ne mogu utvrditi. Potrošnja se svakodnevno menja pa su relativni i podaci koji se mogu naći u stručnoj literaturi.

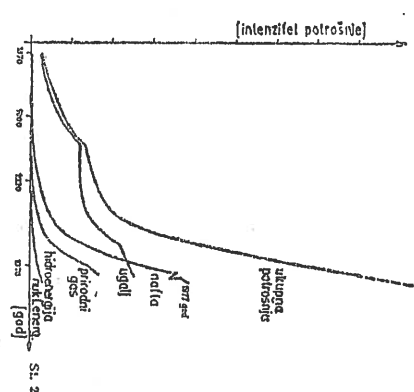
Potrošnja energije u svetu je porasla za više od 30 puta za poslednjih 100 godina. U periodu od 1960. do 1975. godine potrošnja energije je porasla oko dva puta. Pregled potrošnje pojedinih izvora energije u svetu prikazan je na slici 2.

Potrošnja nosilaca energije nije ravnomerno rasla, tako da je potrošnja čvrstog goriva porasla za 24%, a nafte preko 100%. Sa porastom potrošnje menjala se i struktura potrošnje. Oko 1880. godine ugalj je kao nosilac energije učestvovao sa 95%, nafta sa oko 5%, dok danas možemo uzeti da ugalj učestvuje kao nosilac energije sa 35%, nafta sa 43%, a ostale procenat polako osvajaju nuklearna i hidroenergija. Učešće pojedinih vrsta energetske izvora u ukupnoj svetskoj potrošnji prikazan je na slici 3.

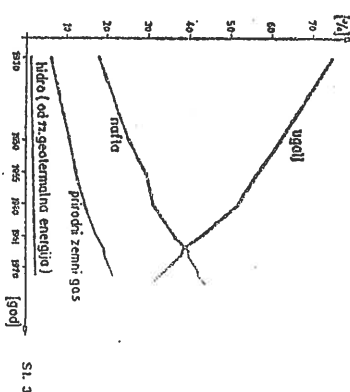
Sve izvore energije možemo svrstati u dve grupe:

- obnovljive (neiscrpe) izvore energije i
- neobnovljive (iscrpe) izvore energije.

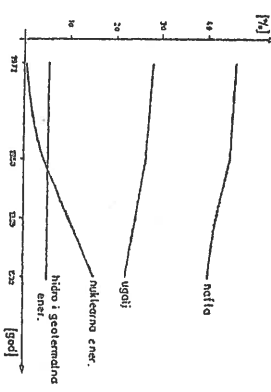
Ugalj, nafta i prirodni zemni gas predstavljaju neobnovljive ili iscrpne nosioce energije.



Slika 2



Slika 3



Slika 4

Od obnovljivih izvora energije do sada se jedino intenzivno koristi hidroenergija — energija vodenih tokova.

Veoma je interesantno proceniti vreme korišćenja nosioca energije na bazi postojećih rezervi i podataka o tekućoj potrošnji.

Nafta. — Rezerve se kreću oko 100 milijardi tona, što omogućuje potrošnju još 20 do 60 godina, s tim da će potrošnja nafte opadati zbog pojačane primene drugih izvora energije, zamene nafte ugljenom, gde god je to moguće, i povećanom racionalizacijom potrošnje nafte.

Prirodni gas. — Rezerve zemnog gasa su oko $64 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$, što omogućuje njegovu eksploataciju za narednih 20 do 50 godina.

Ugalj. — Imajući u vidu zalihne uglja od $6 \cdot 10^{15} \text{ kg}$ i trenutnu potrošnju, može se očekivati da će ga biti za narednih 200 do 1000 godina. Zanimljivo je napomenuti da se ugalj neće u budućnosti koristiti samo za sagorjevanje, već će se prevoditi u tečna i gasovita goriva i koristiti kao sirovina u hemijskoj industriji.

Treba imati u vidu da u dosadašnjoj praksi gorivi škrikljici i uljani pešcar nisu imali značajnije mesto, međutim, na pomolu energetske krize oni dobijaju značajnije mesto bilo da se direktno koriste, bilo da se prerađuju u naftu. Pretpostavlja se da bi se prerađom gorivih škripljaca i uljanih pešcara u naftu mogla dobiti oko tri puta veća količina nafte, nego što su njene današnje rezerve.

Udeo pojedinih nosilaca svetske potrošnje energije prikazan je na slici 4.

Nosioce energije u budućnosti treba tražiti u termomuklearnoj energiji sunca — solarne energiji, energiji raspada atoma u unutrašnjosti zemlje — geotermalna energija i energiji kretanja planeta — energiji plime i oseke.

Jugoslavija spada u grupu zemalja siromašnih energetske izvornosti, jer u svetskoj potrošnji energije učestvuje sa 0,4%, a u svetskim rezervama energije sa 0,1%.

DRUGI IZVORI ENERGIJE

ENERGIJA VODE

Energiju rečnih tokova, vodu snagu, zapazili su ljudi još u najstarija vremena, posmatrajući vodopade i bujice. Već u starom veku javila se misao kako iskoristiti snagu vode, kako sprečiti pustošenja, kako ukrotiti reke i isterati ih da natapaju polja i zamenjuju ljudski rad. Prvo su u zemljama Male Azije počela da se grade primitivna vodena kola — dolapi, terani vodom, kakvi se i danas mogu sresti. Kasnije, nekoliko vekova pre naše ere, počele su da se grade vodenice koje su na sličan način koristile energiju vode. Takve vodenice se još uvek koriste u našoj zemlji.

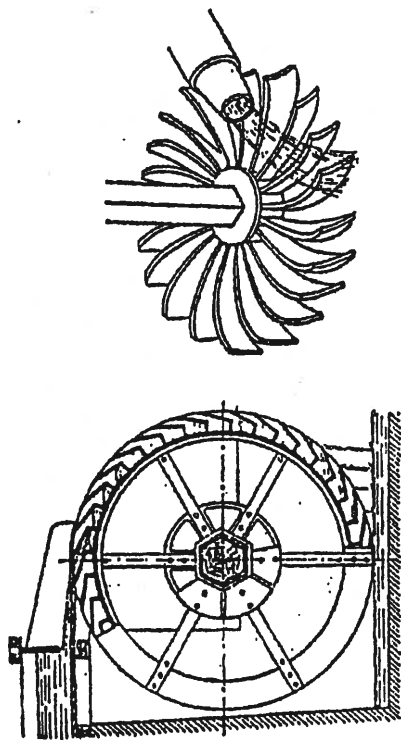
U srednjem veku gradila su se vodna kola koja su za obrtanje koristila snagu vode pri njenom padanju na manjim vodopadima, prirodnim ili veštačkim. Zbog savremenog načina korišćenja snage vode, tj. njene potencijalne energije, vodna kola su razvijala znatno veću snagu nego primitivni dolapi i pokretala su mlinove, mehaničke čepke u kovačnicama, tkalnice itd... Tek sredinom XIX veka došlo se na ideju da se položajna (potencijalna) energija vode najpre pretvori delimično u kinetičku, a delimično u energiju pritiska, pa da se tek zatim pomoću vodnog motora pretvara u mehanički rad.

Tako su se iz primitivnih vodnih motora, koji su neracionalno koristili energiju vode, razvile vodne turbine koje do krajnosti koriste raspoloživu energiju vode, čak do 90%, pa i više. Postoji nekoliko tipova različitih vodnih turbina, a svaka od njih nosi ime svog pronalazača.

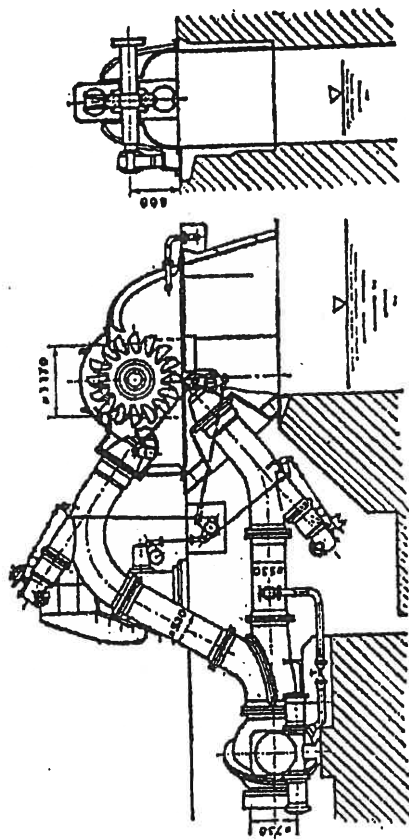
Prvu turbinu Fransisovog tipa konstruisao je Džems Fransis 1849. godine u Njujorku. Prvu Peltonovu turbinu sagradio je 1880. godine Pelton u San Francisku, a prvu propelernu turbinu sa pokretnim lopaticama izumeo je 1912. godine i sagradio 1919. u Brnu dr Kaplan. Sredinom XIX veka, kada se počelo sa primenom novog načina korišćenja energije vode, otpočeo je i nagli napredak u građenju mašina. Sastavni delovi turbina i po obliku i po kvalitetu izrade bili su zbog toga savremeniji nego delovi vodnih kola, gubici energije su postali mnogo manji, pa se i raspoloživa energija mnogo bolje iskorišćavala.

Bolje iskorišćavanje raspoložive vodne energije omogućilo je da se naglo povećaju snage turbina. Na slici 22. prikazana je srednjovekovna vodenica sa izdubljenim lopaticama kakve se i danas vide negde kod nas.

Preteča savremene Peltonove turbine — rotor davao je snagu svega nekoliko vata. Na istom principu rada sa korišćenjem energije slobodnog vodenog mlaza koji dejstvuje na izdubljene lopatice grade se i Peltonove turbine. Jedna Peltonova turbina (njen rotor) jačina 13000 kW prikazana je na slici 23.



Sl. 22



Sl. 23

Veliki napredak u tehnici građenja turbina postignut je u trećoj deceniji XX veka. Omogućeno je građenje velikih turbina na planinskim potocima ili ravnica rekama, koje koriste sasvim male ili vrlo velike vodene tokove. Savremene turbine imaju snagu od 77000 kW. Sada se gradi još nekoliko većih postrojenja jačine 2200 MW. Postoji projekat da se u Kini na reci Jang podigne ogromno hidro-postrojenje jačine oko 10000 MW.

Podizanjem velikih vodojača stvaraju se veliki rezervoari koji mogu da prime i zadrže nekoliko desetina, pa i nekoliko stotina miliona metara kubnih vode, čime se može ublažiti nadolazak vode i sprečiti katastrofalne poplave. Pored snabdevanja energijom čitavih oblasti, ovakvi rezervoari rešavaju problem navodnjavanja obalnih polja često velikih nekoliko desetina, pa i stotina hiljada kvadratnih kilometara.

Naša zemlja raspolaže velikim brojem vodenih tokova, a time i znatnim hidro-energetskim potencijalom. Najveći potencijal imaju reke Dunav, Drava, Morava,

Drina, Ibar, Lim, Neretva, Una itd. Prema najnovijim analizama, teorijski potencijal određen na bazi prosečnog dotoka voda po značajnim vodotocima iznosi, na primer, za Dunav 6870 GWh/god, Drinu 2915 GWh/god, Moravu 6250 GWh/god, Lim 1640 GWh/god. itd. Međutim, iskorišćeni hidroenergetski potencijal znatno je manji od teorijskog, naročito kod vodotoka sa manjim prirodnim potencijalom. Tako je Dunav iskorišćen skoro potpuno, a Drina sa 75%, Uvac 53%, dok je veoma malo iskorišćen Lim i njegove pritoke, svega 12%, kao i Morava sa 8%.

Izgradnjom novih hidroelektrana povećava se njihov udeo u ukupnoj proizvodnji električne energije, pa se procenjuje da će u 2000. godini one predstavljati 32% ukupnih potreba u električnoj energiji.

Nažalost, dobar deo vodotoka ne samo što se ne koristi, već je praktično i izgubljen u ove svrhe u budućnosti. Usled nagle urbanizacije i industrijalizacije rečnih dolina došlo je do smanjenja ili gubitka hidroenergetskog potencijala. Međutim, razvojem niskopadnih turbina omogućeno je ekonomično iskorišćavanje nižih vodenih tokova, čime je donekle nadoknađen gubitak nekih važnijih lokacija.

Vodni motori su vrlo stari i vrlo rasprostranjeni. Visoke brane mogu na jednom mestu da koncentrišu vrlo velike količine energije rečnih tokova, turbine velikih snaga mogu da iskoriste te velike količine energije, a dalekovi mogu da ih odvedu do udaljenih potrošača. Zahvaljujući opštem napretku nauke danas smo u mogućnosti da iskoristimo snagu svake reke, bila ona vrlo mala, ili pak velika. Polje primena vodenih motora postalo je vrlo široko i veoma raznovrsno.

ENERGIJA SUNCA

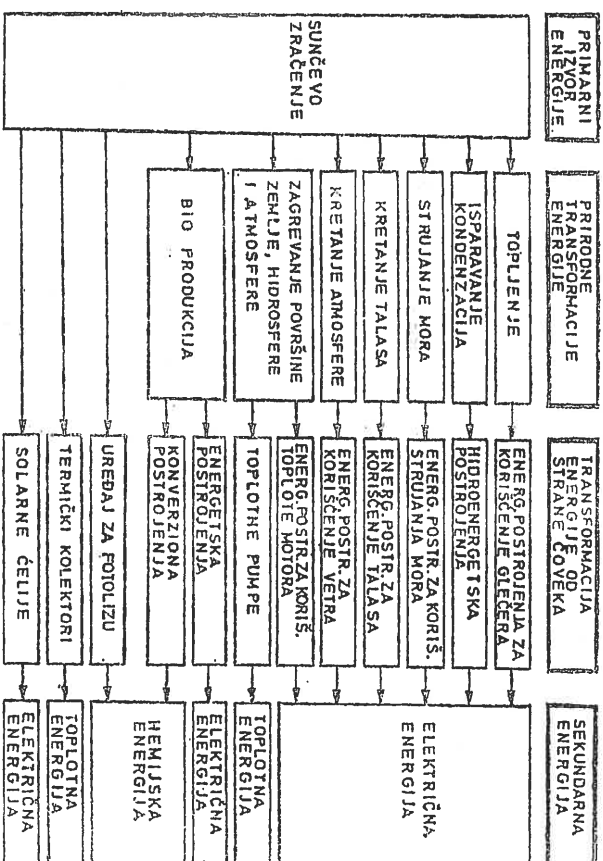
Sunce možemo smatrati proizvodom svih energija koje danas koristimo. Sva hemijska goriva koja vode poreklo od bičnih ili životinjskih organizama, nastala su kao posledica Sunčevog zračenja. Putevi transformisanja energije prikazani su na slici 24.

Pozadano se zna da Sunce današnjim intenzitetom zrači najmanje pet milijardi godina obasijavajući Zemlju koja je od njega udaljena oko 150 miliona kilometara. Zemlja prima samo mali deo tog zračenja, tek oko pola milijarditog dela, ali i ta energija premašuje preko 100.000 puta snagu svih elektrana na Zemlji.

Snaga zračenja koja na ulasku u Zemljinu atmosferu dospeva na kvadratni metar površine upravne na pravac Sunčevih zraka, naziva se solarnom konstantom i iznosi 1353 W/m².

Na Zemljinu površ dospe samo jedan deo ove energije, jer se jedan deo reflektuje (odbija) od atmosfere i vraća u prostor, a drugi se u njoj apsorbuje. Koliko će snage dospeti na Zemlju, zavisi od ugla pod kojim Sunčevi zraci prolaze kroz atmosferu kao i od meteoroloških uslova. Što je ugao između vertikalne i Sunčevih zraka veći, to je dospeća snaga zračenja na Zemlji manja, jer je put zraka duži.

Naučnici dugo nisu mogli pravilno da objasne poreklo ovako velike Sunčeve (solarne) energije. Tek 1920. godine to polazi za rukom engleskom naučniku, fizičaru i asironomu Edingtonu. On objavljuje teoriju po kojoj vodonič, koji je najlakši od svih hemijskih elemenata, predstavlja glavno nuklearno gorivo koje Suncu daje usijanje. Na njega otpada čak 50% Sunčeve mase u kojoj se atomska jezgra, protoni, neprekidno spajaju u jezgra helijuma (proces fuzije) uz istovremeno oslobađanje velikih



Sl. 24

količina toplote koja zagreva Sunce, čija je temperatura na površi 5800 stepeni kelvina, a u središtu dostiže čak 15 miliona stepeni kelvina.

Ovakvo ogromnu Sunčevu energiju, besplatnu i čistu, ljudi koriste odvajkada bilo u direktnom ili transformisanom obliku. Poznato je da su stari Grci njome palili olimpijsku vatru, da je još u V veku pre naše ere Sokrat proučavao izgradnju solarnih kuća, da je francuski naučnik Lavoazije konstruisao solarnu peć sa sočivom za topljenje metala itd.

Korišćenje Sunčeve energije postaje sve značajnije zbog smanjenih rezervi prirodnih goriva. Ovakj nepresušni izvor već se uveliko koristi za zagrevanje zgrada i vode, a poznata je i njegova primena pri napajanju pumpi za navodnjavanje, za osvetljavanje avionskih pista, za rad sunčevih peći i tako dalje, pri čemu se i dalje intenzivno radi na novim projektima iz ove oblasti.

Iskorišćavanje Sunčeve energije pored prednosti ima i nedostatke: mala količina energije po površini, zavisnost od meteoroloških uslova, ciklična promenljivost u vremenu i prostoru. To se u eksploataciji Sunčeve energije ispoljava kroz tri osnovna problema: sakupljanje, koncentrisanje (radi postizanja visokih temperatura) i čuvanje (skladištenje) energije. S obzirom da je Sunčeva energija praktično neiscrpa, besplatna, i što je posebno značajno u današnjim uslovima velike zagađenosti čovekove okoline veoma čista, navedeni nedostaci ne mogu značajno umanjiti njene vrednosti, te ona ostaje energetski izvor budućnosti.

Zasniva se na korišćenju toplotne energije unutrašnjosti Zemlje. Za sada je to značajnije korišćenje ove energije ostvareno na mestima vulkanskih aktivnosti i to kroz izvore vrele vode ili pare.

ENERGIJA IZ SOLI I SUNCA

Poznato je da se ispod hladnog površinskog sloja slane vode može nalaziti sloj vode vrlo bogat solju, koja pod dejstvom Sunčeve energije može dostići temperaturu i do 80 °C. Ovakvo zagrijana voda koristi se u različite svrhe, a zatim vraća u dubinu gde se ponovo zagreva.

Pomenimo još energiju morskih talasa, fotosintetičkih procesa, biomase i slično.

HIDROTURBINSKA POSTROJENJA

Hidraulični motori su mašine koje proizvode mehanički rad na račun potencijalne energije vode. Da bi raspoloživu energiju vode pretvorili u mehanički rad, odnosno u električnu energiju, neophodno je raspolagati nizom uređaja i objekata pored turbine i generatora kao glavnih sastavnih delova hidroturbinskog postrojenja. Elementi hidroturbinskog postrojenja izvan turbine kuće čine spoljašnji deo hidroturbinskog postrojenja (hidropostrojenja).

Svaki element hidropostrojenja ima određenu funkciju u sklopu čitavog hidroturbinskog postrojenja. Klasifikacija hidropostrojenja može se izvršiti sa različitih stanovišta.

I Prema načinu korišćenja vodene energije mogu biti:

1. protočna hidropostrojenja (grade se na rekama, npr. „Đerdap“),
2. akumulaciona hidropostrojenja (grade se na mestima gde postoji prirodna ili veštačka akumulacija — jezera, npr. Vlasina, Limske elektrane).

II Prema opterećenju mogu biti:

1. vršna hidropostrojenja (rade povremeno u periodima velike potrošnje električne energije),
2. osnovna hidropostrojenja (rade skoro neprekidno u toku godine).

Glavni deo hidroturbinskog postrojenja su hidraulične (vodne) turbine koje po konstrukcijskim rešenjima mogu biti različite. Turbine koje se danas najčešće ugrađuju u hidroturbinska postrojenja su: Peltonova turbina, Francisova turbina i Kaplanova turbina.

PELTONOVA TURBINA

Glavni delovi turbine su: sprovedno kolo (usmereno kolo ili pretkolo) i obrtno radno kolo (rotor).

ENERGIJA VETRA

Energetski potencijal vetra poznat je od davnina. Hiljadama godina, sve do pojave parne mašine, uz energiju mišića ljudi i životinja, predstavljao je jedini izvor mehaničke energije. Korišćena je prvobitno za pokretanje brodova jedrenjaka. Samo od 1880. godine do Drugog svetskog rata naročito na tlu SAD i zapadne Evrope, izgrađeno je nekoliko miliona malih vetrenjača za mlevenje žita, rezanje drvene građe, crpljenje vode i slično.

Uслед Sunčevog zračenja Zemlja se zagreva neravnomerno jer nije istovremeno cela izložena tom zračenju. Zbog toga se neravnomerno zagreva i njena atmosfera. Ogromne mase vazduha zato prelaze sa toplog izvora, osvetljene hemisfere, na hladniji izvor, tj. neosvetljenu hemisferu, te tako nastaje strujanje vazduha — vetar. Može se reći da je Zemljina atmosfera jedna velika toplotna mašina koja omogućava da se toplotna energija, posredstvom kinetičke energije vetra, pretvara u mehaničku. Što je veća razlika u temperaturi između toplog i hladnog izvora, veća je efikasnost toplotne mašine. Procenjuje se da tehnički iskoristiv potencijal kinetičke energije vetra teorijski iznosi 3×10^{13} kWh godišnje, što je nekoliko puta više od današnje proizvodnje električne energije u svetu.

Vetar predstavlja neiscrpan izvor energije, a ujedno je i vrlo čist izvor, što je u vreme velike zagađenosti čovekovog sredine značajno.

Kao i drugi izvori energije, i vetar ima nedostatke. Vazduh je fluid male zapremine mase i ima malu strujnu energiju, što iziskuje potrebu izgradnje velikih, a time i skupih naprava za njegovo korišćenje. Zatim, on je promenljivog pravca, brzine i vremena trajanja, zbog čega te naprave rade pod neujednačenim pogonskim uslovima, a time se i problem uskladištenja električne energije povećava.

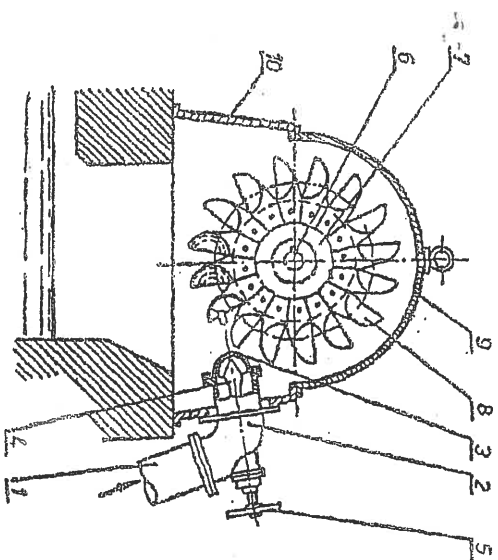
S obzirom na stalnost Sunčevog zračenja, ako posmatramo Zemlju u celini, i snaga vetra je takođe stalna. Međutim, te stalnosti nema kada su u pitanju kraći vremenski intervali, na primer, zimi ima više vetra nego ljeti (što je povoljno sa gledišta potrošnje energije), zatim periodi vetrovitih i mirnih dana, ili pak promene u prostoru, odnosno geografskoj širini. Lokalni režim vetra može jače da varira u zavisnosti od niza faktora, na primer, konfiguracije terena, blizine gradova i velikih vodenih površi, vegetacije itd. Zato se naprave za korišćenje energije vetra ne mogu podizati bilo gde. Izgradnji prethode opsežna ispitivanja, merenja i prikupljanja meteoroloških podataka.

Pojavom fosilnih goriva, pre svega nafte, energija vetra je bila zapostavljena u odnosu na jeftinu i u velikim količinama raspoloživu energiju. Međutim, smanjenjem količina fosilnog goriva, vetar je u poslednje vreme kao alternativni izvor energije postao sve aktuelniji.

Pored navedenih izvora energije postoje još neki koji se relativno malo eksploatišu, ili su još u fazi ispitivanja.

ENERGIJA PLIME I OSEKE

Zasniva se na visinskoj razlici nivoa mora u vreme plime i oseke. Prvo izgrađeno postrojenje za korišćenje ove energije je u Francuskoj, ali u današnjim razmerama proizvodnje energije ovaj vid nema značaja.



Na slici 70 je prikazan pojednostavljen presjek turbine. Voda se dovodi iz rezervoara ili vodne stanice pomoću cevi (1) u sprovedni aparat. Sprovedni aparat se sastoji iz uvodne krivine (2), završnog dela — sisika (3) i koplja (4) sa točkom (5). Ovako izgrađen sprovedni aparat pored usmeravanja mlaza radne materije služi i za regulisanje rada turbine.

Turbina prikazana na slici reguliše se ručno tako što se koplje (4) pomera ručno preko točka (5).

Ovakav način regulisanja primenjuje se kod turbina veoma malih snaga, dok se kod turbina većih snaga primenjuje automatsko regulisanje pa sprovedni aparat ima drugačiji izgled, kao što je prikazano na slici 71.

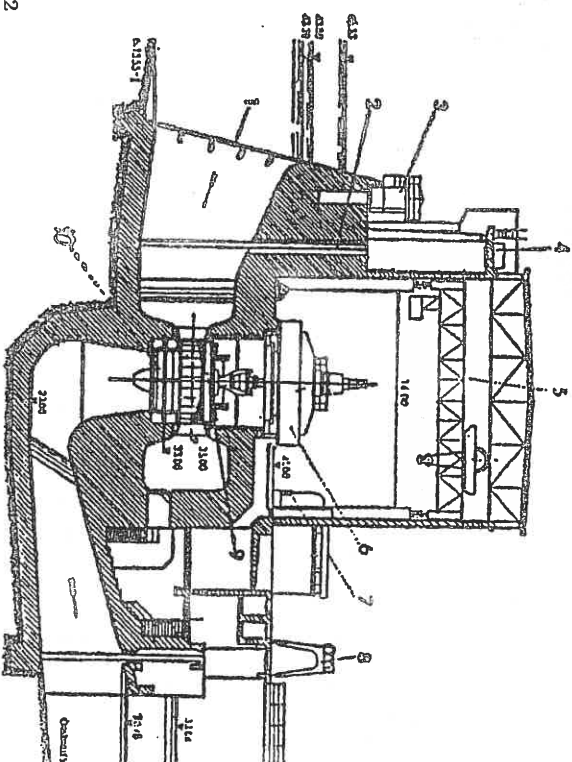
Sekač mlaza služi za brzo odvajanje mlaza od radnog kola, pa se na taj način skraćuje vreme za zaustavljanje turbine. Radno kolo (slika 70) se sastoji iz vratila (6), diska (7) i radnih lopatica (8).

1 — koplja,
2 — vodiča koplja,
3 — vrh koplja,
4 — mlaznice,
5 — skretač mlaza.

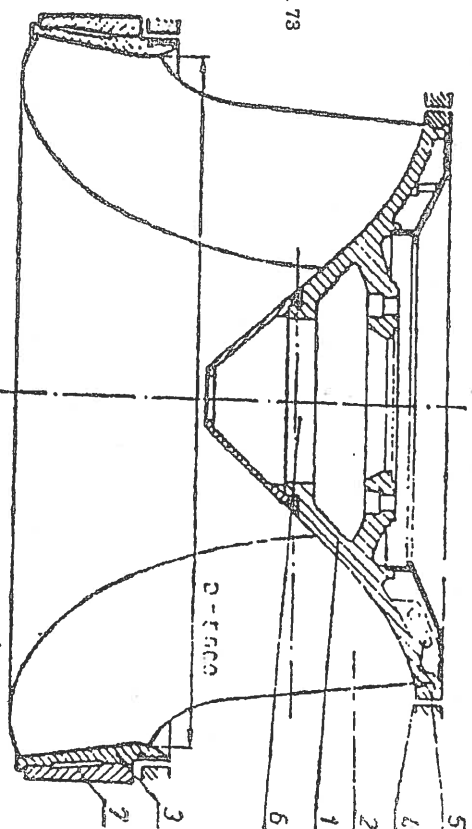
radnoj mašini koju pokreće hidraulična turbina. zaštita turbine a ujedno sprečava lirsiranje vode.

FRANSISOVA TURBINA

Glavni delovi Fransisove turbine su u osnovi isti kao i kod centrifugalne pumpe. Postrojenje sa Fransisovom turbinom prikazano je na slici 72, a izgled samog radnog kola na slici 73. Voda iz okna (1) dospeva u pretkolo (9) sa lopaticama. Pretkolo (usmereno kolo) je koncentrično postavljeno u odnosu na radno (obratno) kolo, tako da se voda dovodi radnim lopaticama (10) po čitavom obliku.



Sl. 72



Sl. 73

Dakle, Fransisova turbina je turbina sa potpunim dovodom (totalna). Lopatice pretkola obrtne su oko svojih osovinica, tako da se promenom njihovog međusobnog položaja ostvaruje regulacija i odgovarajuće usmeravanje vodenog mlaza.

Pored turbine, ovo postrojenje sačinjava generator (6) smešten u mašinsku salu, u kojoj se nalaze i komandni servo uređaji (7). Za podizanje elemenata turbine i generatora služi mostna dizalica (5). Izlazni i ulazni tunel se može zatvoriti pomoću „tablastih zatvarača“ koji se spuštaju dizalicama (4) i (8). Za čišćenje rešetaka postoje mehanizovane čistilice (3).

Radno kolo u širem smislu čine radne lopatice (2) učvršćene između gornjeg venca (1) i donjeg venca (3) i vratila (6). Na slici su prikazani vijci (4) i zaptivni prsteni (5) i (7).

Prema slici, na ulazu u pretkolo jedinica mase tečnosti raspolaže energijom (naporom ili padom) H_1 . U pretkolu se jedan deo napora H_1 ili (što je isto) jedan deo pritiskne energije P_1 pretvara (transformiše) u kinetičku energiju.

KAPLANOVA TURBINA

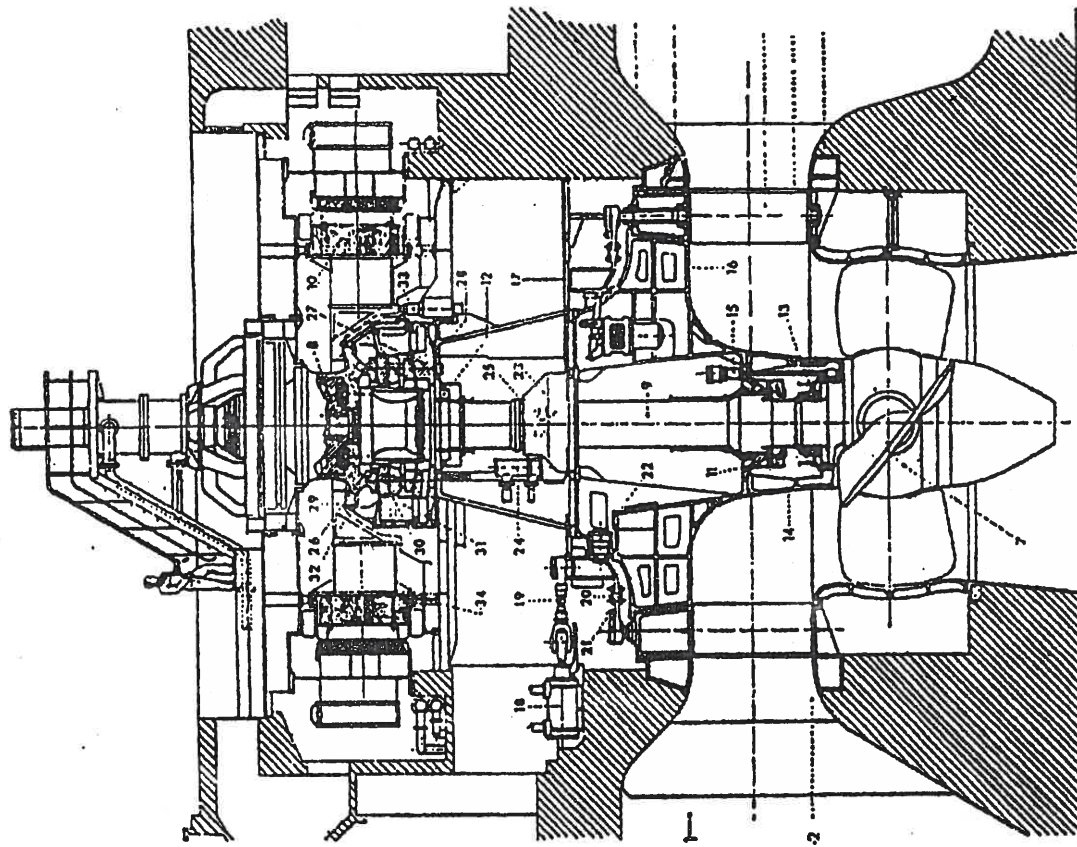
Osnovni elementi Kaplanove turbine su identični osnovnim elementima Fransisove turbine, jer je Kaplanova turbina, kao i Fransisova, reakcijska turbina. Voda po celom obimu ulazi u radno kolo iz pretkola. Kroz radno kolo voda struji u aksijalnom pravcu. Transformacija energije u kolu Kaplanove turbine je ista kao i transformacija energije u Fransisovoj turbini.

Na slici 74 prikazan je uzdužni presek postrojenja sa Kaplanovom turbinom, na kome se vide svi glavni delovi postrojenja sa pomoćnim uređajima i opremom.

Kaplanove turbine se primenjuju za specifične brojeve obrtaja $n=350-950$ i napore $H=40-12$ m, tj. primenjuju se tamo gde se ne mogu primenjivati radioaksonalne turbine Fransisovog tipa.

Pri analizi Fransisovih turbina ustanovljeno je da se sa povećanjem brzohodnosti Fransisovih turbina nameće potreba izmene oblika radnih lopatica radnog kola. Zbog umanjenja napora, pri kojima rade Fransisove turbine, uz povećanje protoka sa porastom brzohodnosti, sve više se ulazna ivica radne lopatice povlači ka glavčini, dok se donji venac sve više udaljava od vratila. Cilj je, smanjenjem srednjeg prečnika kola, održati određenu, ne malu, vrednost obimne brzine, a time obezbediti primenu kompaktnih i jeftinijih elektrogeneratora. Ovo je dovelo da radne lopatice budu kose, takoreći da zauzmu horizontalni položaj, a donji i gornji venac svedeni su na najmanju meru.

Ovo je sve moralo dovesti do oblikovanja kola u obliku propelera bez gornjeg i donjeg venca, i istovetnog ulaznog i izlaznog prečnika. Zbog povećanog protoka zahtevan je veliki protočni presek kola, a to se moglo ostvariti izrazitim smanjenjem broja radnih lopatica. Ovakvo konstruisano kolo sa pretkolom i zakolom sačinjava propelerno kolo.



Sl. 74

DIJAGRAMI OPTEREĆENJA

Električna energija se ne može čuvati, u rezervi, nego se mora proizvoditi u trenutku kada je potrošač traži. Potrebe potrošača se menjaju pa je neophodno uskladiti proizvodnju električne energije sa potrošnjom, kako bi se postigla ekonomičnost u radu.

Opterećenje elektrane (P) je trenutna vrednost snage kojom potrošačko područje opterećuje elektranu. Opterećenje se menja u toku dana, a meri se MW — pomoću instrumenata za direktno čitanje, ili pak registrujućih instrumenata koji beleže promenu opterećenja na pokretnoj traci.

Proizvodnja električne energije je mera pretvaranja raspoložive energije u elektrani, radi zadovoljenja potrošača. Proizvedena električna energija se meri u MWh. Brojna vrednost se dobija čitanjem na električnim brojlama.

Maksimalno opterećenje (P_{max}) je najveće opterećenje u toku jednog vremenskog perioda, na primer dana ili godine.

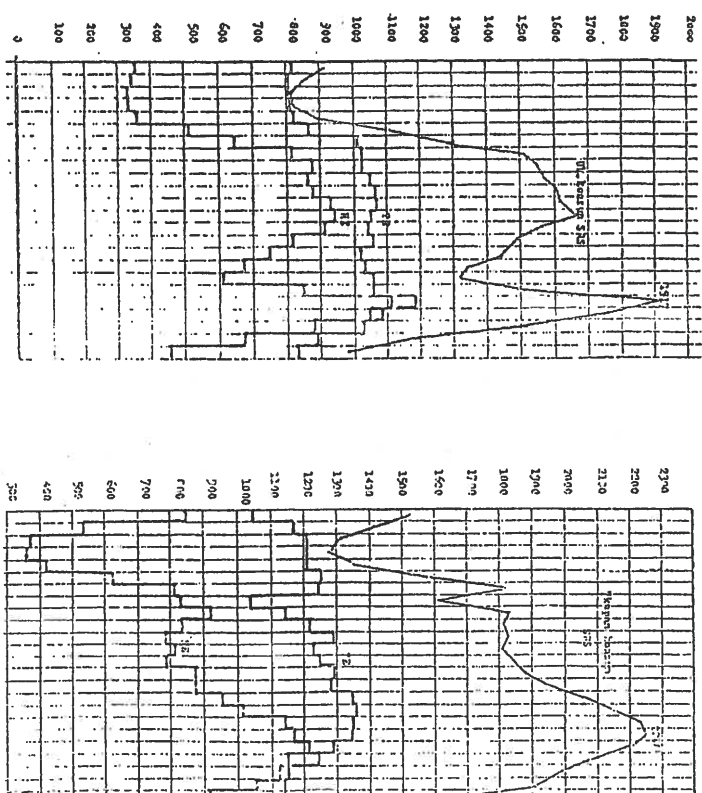
Dnevni dijagram opterećenja

Dnevni dijagram predstavlja grafički promenu opterećenja u toku 24 časa. On može biti neposredno snimljen pomoću registrujućeg voltmetra, a može se i nacrtati pomoću čitanja instrumenata. Oblik zavisi (dijagrama) od vrste potrošača, od veličine potrošačkog područja, kao i od dana u sedmici ili godini. U sedmici su karakteristični radni i praznični dani. U godini su karakteristični dijagrami letnjeg, zatim zimskog i prolećno-jesenjeg prosečnog dana.

Godišnji dijagram opterećenja

Dnevni dijagram daje sliku promene opterećenja u toku 24h. Godišnji dijagram se konstruiše tako, da pokaže koliko je koje opterećenje trajalo časova u toku godine. Tačna konstrukcija bi se mogla dobiti sabiranjem odgovarajućih podataka iz dijagrama svih 365 dana. Konstrukcija sa dovoljnom tačnošću može se dobiti na sledeći način. Odabere se jedan karakterističan dan za zimski i jedan za letnji period. Zatim se predpostavi da zimski period traje 200 dana, a letnji 165 dana u godini. Iz svakog karakterističnog dana odredi se koliko je koje opterećenje trajalo časova dnevno, zatim podatke o dnevnom trajanju množimo za zimski period sa 200, a za letnji sa 165. Kada se podaci za oba perioda saberu, dobijamo ukupno trajanje pojedinih opterećenja u toku godine. Još tačnija konstrukcija godišnjeg dijagrama se može dobiti, ako se godina podeli na tri perioda:

- zimski sa 60 prosečnih dana
- letnji sa 150 prosečnih dana
- prolećno-jesenji 155 prosečnih dana



Dijagram sistema SR Srbije za sredu 18. avgusta 1976. godine

Dijagram sistema SR Srbije za sredu 17. 11. 1976. god. — ukupan konzum

Sačinilac istovremenosti

Instalisana snaga prijemnika P_p u nekom području je zbir nominalnih snaga svih električnih prijemnika priključenih na mrežu. Ona je veća od maksimalnog opterećenja elektrane, jer svi prijemnici nisu istovremeno uključeni. Sačinilac istovremenosti (g) je odnos maksimalnog opterećenja elektrane P_{max} i instalisane snage prijemnika P_p .

$$g = \frac{P_{max}}{P_p}, \text{ i kreće se od } 0,2-0,8.$$

OPŠTI PRINCIP PROIZVODNJE, PRENOSA I DISTRIBUCIJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Danas se snabdevanje potrošača električnom energijom vrši trofaznom strujom učestanosti 50 Hz. Ostale vrste struje primenjuju se samo u izuzetnim slučajevima. Jednosmernu u električnoj vuči, železničkom i tramvajskom saobraćaju, za hemijske procese, u radio-stanicama, telekomunikacijama, industrijskim potrebama za pojedine pogone itd.

Jednofazna učestanost $16\frac{2}{3}$ Hz ima primenu u železničkom saobraćaju.

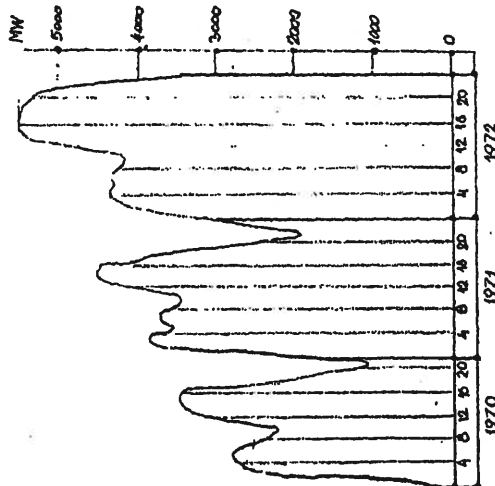
Za potrebe manjih potrošača, trofazne struje se danas razvode pod naponom 220/380 V. Napon od 380 V postoji između faznih provodnika R, S i T a napon 220 V između svakog faznog provodnika i nultog provodnika. Ovi provodnici se postavljaju kao vazdušni vodovi ili kao kablovi. To su delovi distributivnih mreža za napajanje krajnjih potrošača.

Mreža niskog napona 220/380 V ne napaja se direktno generatorom jer bi to bilo neekonomično prvo, zbog malih snaga generatora i potrebe za velikim brojem istih a drugo zbog niskog napona prenosa električne energije i ograničenih mogućnosti koje on pruža. Step en iskoriscenja ovakvih malih proizvodnih jedinica bio bi veoma rđav a cena kWh bi bila vrlo visoka. Pored toga u takvim mrežama potrebna snaga je veoma promenljiva u toku 24 časa.

Ako pogledamo dnevni dijagram na sl. 1 primetićemo da je opterećenje u toku 24 h vrlo promenljivo i da odnos max. i min. opterećenja se kreće 100 : 60%. To znači da u časovima min. opterećenja izvestan procenat proizvodnih kapaciteta mora biti u rezervi.

Međutim, mreže niskog

napona su međusobno povezane sa mrežama visokog napona koje imaju ulogu prenosa električne energije upravo do distributivnih mreža nižeg napona a ova do razvodnih mreža krajnjim potrošačima na 220/380 V. Takva povezanost prenosnih i distributivnih mreža omogućavaju proizvodnim jedinicama da budu sazidane tamo gde je najekonomičnije i da budu većih instaliranih snaga i sa većim stepenom iskoriscenja. Elektrane proizvode električnu energiju na naponu najviše 15 kV koji se transformiše u prenosne napone reda 35, 110, 220 i 300 kV. Ovako visoki naponi u prenosnim mrežama omogućavaju ekonomičan prenos električne energije i čvršću povezanost proizvodnih kapaciteta sa potrošačima.



Sl. 1

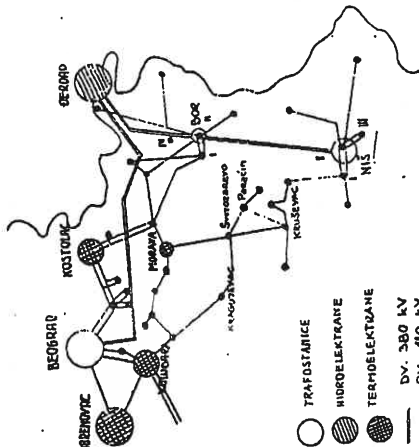
Težnja je da se energija prenosi na što višem naponu koji omogućava prenos većih količina energije na veće udaljenosti. Ako smo napon 15 kV u elektrani transformisali na 400 kV, kao na sl. 2 u HE Đerdapu i preko njega preneli proizvedenu energiju elektrane u TS Bor II 380/110 kV gde se ponovo transformiše na niži napon 110 kV i prenosi do trafostanica Majdanpeka, Zaječara, Prahova itd.

U transformatorskim stanicama 110 kV energija se transformiše na niže napone 110/35 kV; napajajući naseljena mesta, industrijske reone i veće direktne potrošače.

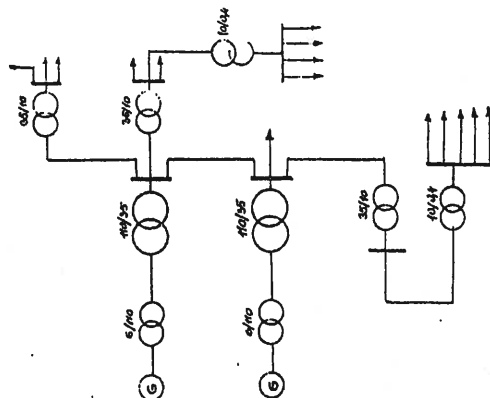
Razvodna mreža 35/10 kV; 10/0,4 kV i 35/0,4 kV doprema električnu energiju do krajnjih potrošača industrije, poljoprivrede i domaćinstva.

Ako bi pratili put jednog kWh (usvojene jedinice za merenje proizvodnje—potrošnje el. energije) od momenta njegovog nastanka u elektrani pa do utroška kod krajnjeg potrošača primetili bi da je prešao put prenosne mreže visokog napona (380, 220, 110 kV) i distributivne mreže (35, 10, 0,4 kV) transformišući prenosni napon u transformatorskim stanicama (380, 220 ili 110 kV), zatim transformišući prenosni napon u transformatorskim stanicama nastavlja put distributivnim mrežama (35; 10; 0,4 kV) do krajnjeg potrošača.

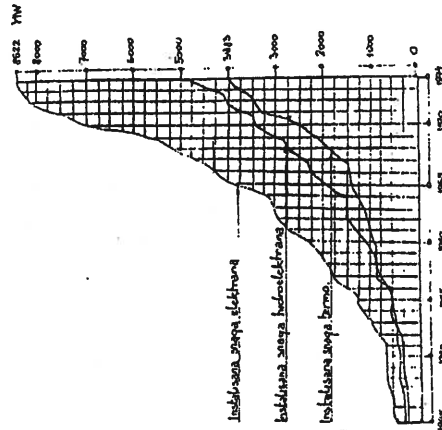
Kao što vidimo put jednog kWh od proizvodne jedinice do krajnjeg potrošača je složen a često i vrlo dug.



Sl. 2



Sl. 3



Sl. 4

1. Opšti princip prenosa električne energije

Termoelektране ili uz samo nalazište goriva uz uslov dovoljne količine vode ih bliže potrošaču ako je transport goriva ekonomski opravdan.

Proizvodne jedinice, tj. elektrane povezuje se vodovima visokog napona koji imaju ulogu prenoša električne energije. Električne mreže više raspodelu električne energije na visokom i niskom naponu do potrošača. Elektrane, prenosni vodovi i distributivne mreže sa transformatorskim stanicama i razvodnim postrojenjima čine elektroenergetski jedinstveni sistem za proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije.

Savremeni elektroenergetski sistem, koji se prostire na velikim geografskim područjima i sastoji se iz nekoliko desetina elektrana i visokonaponskih postrojenja, povezani među sobom prenosnom mrežom visokog napona, mora da ima jedno centralno mesto odakle će se neprekidno upravljati njegovim radom. Takvo centralno mesto zove se dispečerski centar. Nadležnost dispečerskog centra prostire se na mreže 110, 220 i 380 kV i na elektrane i postrojenja vezane za njih.

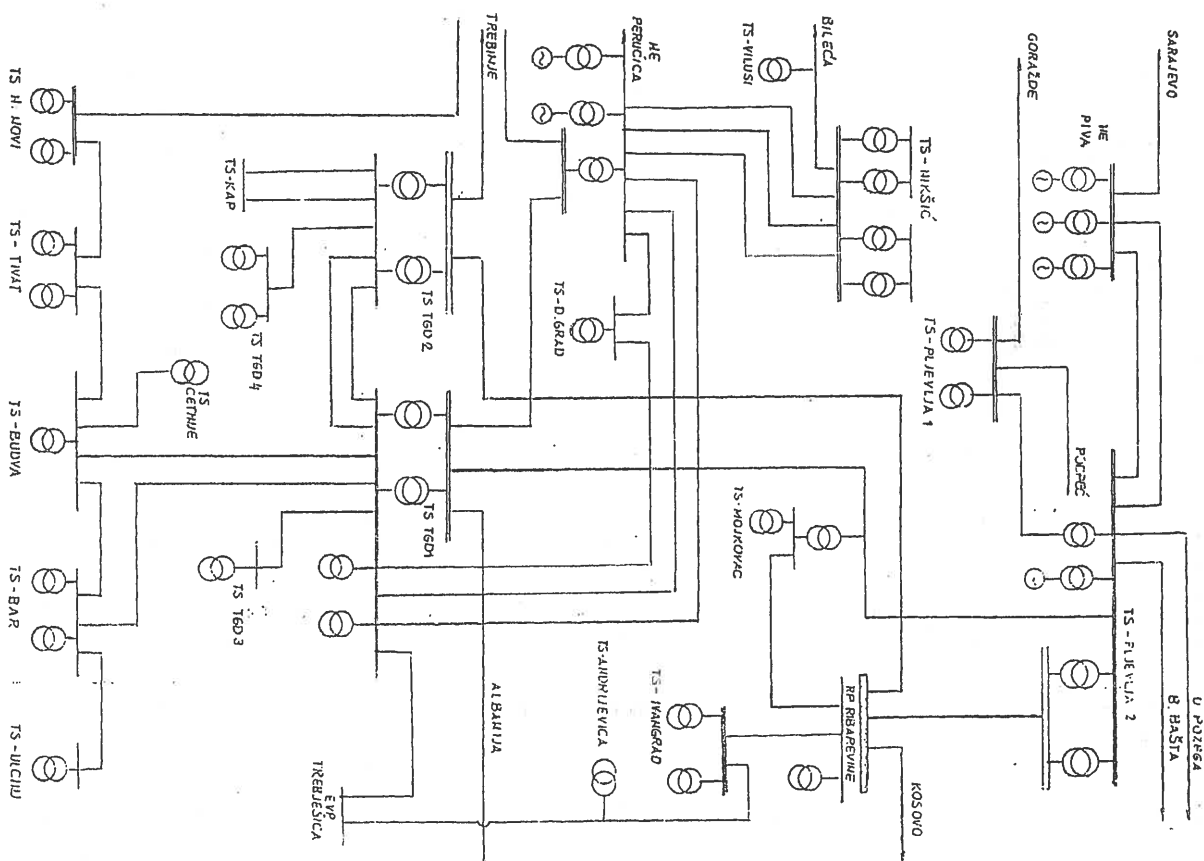
U cilju obezbeđenja kvaliteta isporučene energije, sigurnosti napajanja potrošača, pouzdanosti i ekonomičnosti pogona izvora i mreže, dispeterski centar usko sarađuje sa energetskeim i tehničkim službama preduzeća u sastavu elektroenergetskog sistema i potrošača. Aktivnost dispeterskog centra se može podeliti u četiri oblasti:

— priprema pogona, operativno upravljanje sistemom; analiza ostvarenog pogona i obračun kupovine i prodaje električne energije.

Aktivnost dispečerskog centra odnosno, upravljanje elektroenergetskim sistemom vrši se na bazi dvosmernog toka informacija. Princip je u tome da se iz raznih objekata niz podataka, iz kojih se stiče slika o svemu što se dešava u sistemu, dovodi u dispečerski centar. Na bazi tih podataka i kriterijuma upravljanja elektroenergetskim sistemom. U suprotnom smernu se šalju upravljačke naredbe prema klasičnom principu upravljanja, direktno preko automatskih uređaja ili posredstvom dispečera — operatora.

Razna tehnička sredstva, pomoću kojih se obavljaju pojedine funkcije dispečerske službe formiraju različite tehničke pod sisteme. Elementi svakog od tih pod sistema u dispečerskom centru i u raznim punktovima elektroenergetskog sistema međusobno su povezani mrežom telekomunikacionih veza. To je pored velike rasprostranjenosti druga bitna karakteristika sistema dispečerskog upravljanja na daljinu.

Osnovni tehnički podsystemi koji u principu postoje u jednom dispečerskom centru su:



57

— automatska regulacija učestanosti i snaga razmene — prenos informacija; prikupljanje, obrada i prezentiranje informacija; mreža veza — sa telefonskom automatskom i služba tačnog vremena i uređaji za sigurnosno napajanje.

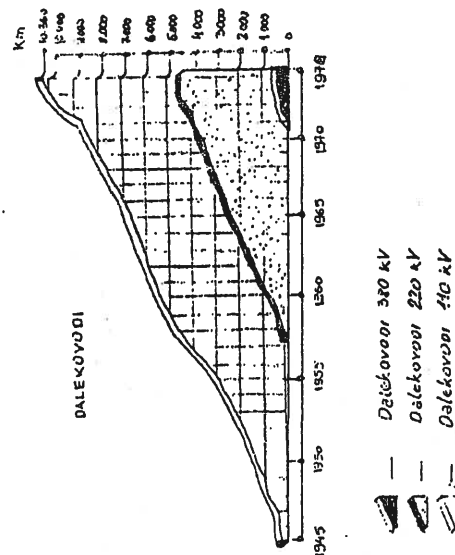
Ovde smo direktno opisali jedan deo elektroenergetskog sistema sa dispečerskim centrom koji bi odgovarao veličini jednog republičkog sistema. Ovakvi sistemi ne funkcionišu odvojeno već su povezani međurepubličkim sistemima prenosa i dispečerskim centrima sa kojima čine celinu elektroenergetskog sistema naše zemlje. Glavni dispečerski centar objedinjuje njihov rad i nalazi se u Beogradu.

Jugoslovenski elektroenergetski sistem je povezan sa sistemima susednih zemalja i sa njima u toku godine vrši aktivnu razmenu električne energije.

2. Mreže i dalekovodi i njihova uloga u sistemu prenosa i distribucije električne energije

Zahtevi potrošača diktirali su razvoj elektrana a one su neposredno uticale na razvoj električnih mreža.

Prva sijalica sa uhljenim vlaknom napravljena je 1854. god. Edison joj je dao konačnu formu i upotrebljivost 1879. godine. Generator za jednosmernu struju koji je konstruisao Siemens služio je za napajanje sijalica a napon je bio 100 V. Domet ovakvih elektrana je bio mali i služile su za napajanje većih zgrada. Povećanjem napona na 220 V, povećao se i domet. Sa 220 V moglo se napajati nekoliko okolnih zgrada. Kako su sijalice izrađivane za napon najviše 200 V, to se napon generatora nije smeo povećavati. Ubrzo je konstatovano da je prenos energije na veću daljinu jedino moguć sa visokim naponom. Prvu konstrukciju transformatora izveo je već 1886. godine Vilijam Stenli sa 500 V primarnog i 100 V sekundarnog napona. Prvi sistem naizmenične struje u kome su upotrebljavani transformatori postavio je Vestinghaus 1886. god. i služio je isključivo za napajanje sijalica. Tada nisu postojali motori za naizmeničnu struju. Ovaj problem je rešio Nikola Tesla. Pronalaskom trofaznih naizmeničnih struja i izgradnjom transformatora počine nagli razvoj mreža i dalekovoda. U periodu od 1908. do 1910. u SAD i Evropi već su bili izgrađeni dalekovodi napona 110 kV. Danas se grade dalekovodi napona i 750 kV.



Sl. 6

U jednom elektroenergetskom sistemu elektroenergetski izvori i potrošači su međusobno povezani. Pogonska sigurnost jedne takve celine unnogome zavisi od električnih mreža i vodova. Potrošnja električne energije progresivno raste a sa njom i maksimalno opterećenje koje neprekidno nameće potrebu za građenjem novih mrežnih kapaciteta za prenos električne energije. Odnos između vršnih opterećenja i kapaciteta instalisanih u postrojenjima mreže za prenos električne energije je jedan od najbitnijih faktora i u isto vreme pokazatelj stanja prenosnih kapaciteta jednog elektroenergetskog sistema. Sa povećanjem koncentracija snaga elektrana na još neiskorišćenim izvorima energije uz brzi rast broja stanovnika i specifičnog opterećenja u velikim gradovima — težinama potrošnje električne energije rastu i zahtevi za proširenje kapaciteta mreža, za kvalitetnim promenama u strukturi mreža i postrojenja koje će osigurati uredne tokove energije između tih izvora i težišta potrošnje.

Jugoslovenski sistem mreža za prenos električne energije je u neprekidnom razvoju. Na slici 6 vidimo razvoj mreža u periodu od 1945. do 1974. godine.

ENERGETIKA U SVIJETU

Energiju neophodnu za opstanak života sveta Zemlja dobija od Sunca. Ogromne količine elektromagnetske energije, pre svega u vidu toplote i svetlosti, neprestano stižu na Zemlju. Toplota na površini Zemlje održava temperaturu neophodnu životnim procesima. Svetlosni zraci daju energiju potrebnu za pretvaranje, fotosintezom, osnovnim životnim procesom u biljkama, neorganske supstance u organsku. A biljke nisu samo jedan vid života na Zemlji, već su i osnovna hrana i uslov opstanka životinjskog sveta, pa time i čovekovog. I ne samo to. Zahvaljujući sunčevoj energiji, stvaraju se na Zemlji tokovi voda, strujanja vetrova, jednom rečju — sve ono što čini našu planetu dinamičnom i živom.

Međutim, kada govorimo o energetici, o proizvodnji upotrebljive energije, ne mislimo na ovakve, ili druge prirodne tokove energije, već na korišćenje raznih energetske izvora, prvenstveno radi dobijanja toplote, svetlosti i mehaničkog rada. U stvari, razvoj civilizacije dobio je zamah onda kada je čovek naučio da koristi makar i na primitivan način, vatru, snagu vode, vetra i životinja. To je čoveku omogućilo da poboljša uslove života, da povećava proizvodnju sve različitijih dobara. Ovi, a zatim i drugi izvori energije, vremenom su do te mere postali sastavni deo svih vidova čovekove delatnosti da se uspostavila uzajamna veza između obima korišćenja energije i čovekovog materijalnog blagostanja. Danas je potrošnja energije jedno od najpouzdanijih merila stepena razvijenosti materijalne kulture.

U tablici 1 prikazani su bruto narodni dohodak i potrošnja električne energije po stanovniku u nekim zemljama (slika se ne bi bitno izmenila i da je uzeta potrošnja ukupne energije, a ne samo električne). Lako se zapaža uzajamna veza između potrošnje energije i dohotka. Iako su i narodni dohodak i potrošnja energije po stanovniku veoma različiti od zemlje do zemlje, odnos ove dve veličine menja se u uskim granicama, kako pokazuje poslednja kolona u tablici.

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE I NARODNI DOHODAK (1977)

Tablica 1.

Država	Potrošnja električne energije po stanovniku (kilovat-časova godišnje)	Godišnji narodni dohodak po stanovniku (dolara SAD)	Odnos narodn. dohotka i potroš. elek. energije (dolara SAD po kilovat-času)
Švedska	10500	5098	0,485
SAD	10500	4884	0,465
SR Nemačka	5618	4973	0,885
Australija	5616	2777	0,489
Austrija	5158	3526	0,684
SSSR	4574	2075	0,454
Japan	4273	2641	0,618
Poljska	3179	1876	0,590
Italija	2904	1398	0,481
Španija	2813	1217	0,433
Jugoslavija	2253	1180	0,524
Meksiko	839	348	0,415
Indija	150	88	0,587

¹⁾ Računato po konstantnoj vrednosti dolara SAD iz 1967. godine.

To znači da je narodni dohodak neposredno vezan s potrošnjom energije, to jest, nema dohotka bez odgovarajuće potrošnje energije.

Napredak tehnike doveo je ne samo do sve veće potrošnje energije, već i do sve efikasnijih i raznovrsnijih vidova korišćenja energetske energije. Tako je pojava toplinskih motora, parnih mašina i turbina, benzinskih i dizel motora, u prvo vreme izazvala masovnu eksploataciju uglja kao goriva, a zatim nafte i zemnog gasa. Razvoj elektrotehnike je, takođe, doveo ne samo do čistih, praktičnih i veoma udobnih načina korišćenja energije za dobijanje svetlosti, toplote, pokretanje motora i drugo, već je omogućio da se kroz jednoslovne električne vodove energija prenosi do svakog železnog mesta. I upravo ta mogućnost lakog prenošenja energije u obliku električne struje dovela je do efikasnog korišćenja i energetske energije udaljenih od mesta potrošnje. To je, pored ostalog, omogućilo intenzivnu eksploataciju hidroenergetskih potencijala, koji su ranije korišćeni samo lokalno i u malim industrijama.

Krajem prošlog i početkom ovog veka vodena energija, uglji, gas i nafta počeli su brzo da prodiru u gotovo sve vidove čovekovih delatnosti, omogućujući brzi tehnički napredak. Tako je čovek, svesno ili nesvesno, izabrao razvojni put koji ga je učinio zavisnim od energetske energije. A kako brzi napredak i porast broja stanovnika traže sve više i više energije, čovek je prinuđen da stalno traži nove energetske izvore i da prestane brinuti o zadovoljavanju svojih energetske potreba.

Eksplozivni rast

Kad god u prirodi posledica podstigne uzrok, dolazi do takozvanog eksplozivnog rasta, neke vrste geometrijske progresije. Na primer, broj stanovnika u svetu eksplozivno raste jer posledica podstigne uzrok: što je više stanovnika više je i rađanja; dokle god je smrtnost manja od rađanja, broj stanovnika će rasti, i to sve brže. I eto eksplozivnog rasta. Sta taj eksplozivni porast znači može se lako izračunati: ako bi se sadašnji priraštaj stanovništva od 2 odsto godišnje zadržao, ne bi bilo potrebno više od 600 godina pa da ljudi, stojeći jedan do drugog, prekriju čitavo kopno Zemlje.

Slično je i s porastom energetske potrošnje u svetu, iako su ovde uzroci i posledice povezani na složeniji način. Taj rast iznosi već duže vreme oko 5 odsto godišnje. Na prvi pogled tih 5 odsto ne znači mnogo. Ali, pogledajmo kuda bi samo ona 2 odsto u priraštaju stanovništva odvela čovečanstvo. S porastom od 5 odsto godišnje vreme udvajanja potrošnje energije iznosilo bi oko 14 godina. To znači da bi se u narednih 14 godina u svetu moralo razviti onoliko energetske kapaciteta koliko je stvoreno i ostalo u pogonu od pamtiveka do danas, dodajući im i sve što bi išlo iz pogona za tih 14 godina.

Ako posmatramo samo električnu energiju, povećanje potrošnje je još brže. Danas se oko četvrtina primarnih energetske izvora (uglja, gasa, nafte i vodene snage) koristi preko električne energije, ali ovaj udeo stalno raste. Potrošnja električne energije udvaja se za oko 8,5 godina. Znači da se u narednih 8,5 godina u svetu moraju izgraditi novi kapaciteti za proizvodnju električne energije jednaki ukupnim kapacitetima izgrađenim do danas. U toku 8,5 godina koje posle toga slede — dvostruko više; zatim, u toku sledećih 8,5 godina, četvorstruko, pa osmostruko itd. Nije, dakle, suviše daleko dan kada se možemo naći u položaju onog nestručnog persijskog šaha koji nije u zemlji imao dovoljno žita da zadovolji, naoko skroman, zahtev učitelja drevne igre. Jer i u tom slučaju bio je u pitanju surovi zakon eksplozivnog rasta.

Koliko se energije danas troši

Iz svega što je rečeno nameće se pitanje: da li, kako i dokle možemo zadovoljavati potrebe za energijom ako potrošnja tako brzo raste? Ovo pitanje se nameće utoliko pre što uglja, nafte i gasa ima u ograničenim količinama u zemljinoj kori, a energija vodenih padova, koja je naravno neiscrpna, ne predstavlja značajan energetske potencijal. (Kada bi se iskoristili svi hidroenergetski izvori na Zemlji ne bi mogli da pokriju više od jedne trećine ukupne sadašnje energetske potrošnje u svetu).

Da bi se odgovorilo na ovo pitanje, potrebno je najpre razmotriti sadašnju potrošnju energije u svetu, pre svega sa stanovišta količine. Da se te količine izraze valja izabrati pogodnu energetske jedinice. Navikli smo da količinu energije merimo kilovat-časom (kWh). To je energija koju potrošač snage jednog kilovata (kW) utroši za jedan čas neprekidnog rada. Za jedinicu se može usvojiti i veća količina, na primer kilovat-godina (kW_a — kilowattannus), koja je od kilovat-časa veća 8760 puta, koliko ima sati u godini. I to je često mala jedinica, pa se koristi i jedinica teravatt-godina (TW_a), energija koju će za godinu dana utrošiti potrošač snage milijardu kilovata ako radi neprekidno.

U svetu se 1975. godine trošilo oko 7,6 TWa, a danas već oko 8,5 TWa. Međutim, ni stepen privredne razvijenosti, pa prema tome ni energetska potrošnja, nisu ravnomerno raspoređeni, već se veoma menjaju od zemlje do zemlje, pa i od oblasti do oblasti u okviru iste zemlje. Ako se energetska potrošnja posmatra u okviru teritorija koje se u celini mogu smatrati razvijenim, odnosno nerazvijenim, dobija se slika koju prikazuje tablica 2. Vidi se da na razvijena područja, u koja su uračunati cela Evropa sa azijskim delom SSSR-a, Severna Amerika i Japan, a gde živi manji deo čovečanstva (oko 30 odsto) otpada najveći deo svetske energetske potrošnje — oko 80 odsto.

RASPODELA POTROŠNJE ENERGIJE U SVETU (1975)				
Tablica 2				
	Stanovništvo	Godišnja potrošnja energije		
	(odsto)	(TWa)	(odsto)	Po stan. (kW/a)
Severna Amerika, Evropa i Japan	30	6,1	80	5
(Od toga SAD)	(6)	(2,6)	(35)	(11)
Ostale zemlje	70	1,5	20	0,5
Svet	100	7,6	100	- 2

Ostali, uglavnom nerazvijeni svet, dakle više od dve trećine troši samo 20 odsto energije — 10 puta manje po stanovniku no razvijeni svet. U stvari, idući od zemlje do zemlje, ovaj raskorak je i mnogo veći i dostiže u najnerazvijenijim zemljama i pedesetostruko manju potrošnju energije nego u najrazvijenijim.

Prikazana raspodela energetske potrošnje predstavlja i pravu sliku raspodele bogatstva na Zemlji. Kada bi sav svet bio na nivou razvijenih područja, ukupna energetska potrošnja bi bila gotovo utrostručena: kada bi bila na nivou SAD, čak i ušestostručena. To bi predstavljalo strahovit pritisak na sadašnje energetske izvore i pitanje je da li bi oni lako mogli da zadovolje energetske potrebe i danas, a pogotovu u neposrednoj budućnosti.

Primat nafte

Koji se energetske izvor danas najviše koristi za zadovoljavanje osnovnih energetskih potreba? Tablica 3 prikazuje primer Jugoslavije, SAD i sveta. Vidi se da hidroenergija (kao nuklearna energija) pokriva samo mali deo ukupne energetske potrošnje, a da preovlađuju fosilna goriva (ugalj, nafta, zemni gas). U stvari danas se iz nafte i zemnog gasa dobija više od dvostruko energije nego iz svih ostalih izvora uzetih zajedno. Samo nafta pokriva gotovo 50 odsto svih današnjih potreba za energijom.

STRUKTURA BRUTO POTROŠNJE ENERGIJE (odsto)				
Tablica 3.				
	Ugalj	Nafta	Zemni gas	Hidro + nuklearn.
Jugoslavija	44	43	5,5	7,4
SAD	18	46	31	5
Svet	24	50	20	6

Nafta se danas najviše koristi za transport, zatim kao izvor toplote u industriji i za grejanje prostorija, dok se manji deo koristi za dobijanje električne energije. Zemni gas se najviše koristi kao izvor toplote, a samo manjim delom za dobijanje električne energije. Veći deo uglja koristi se za dobijanje električne energije. Zatim kao izvor toplote za grejanje i u industrijske svrhe. Hidroenergija, kao i nuklearna energija, gotovo isključivo se koriste za proizvodnju električne energije. Tablica 4 pokazuje koliko pojedini energetske izvori učestvuju u proizvodnji električne energije u Jugoslaviji i SAD.

STRUKTURA IZVORA ENERGIJE U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE (odsto)				
Tablica 4.				
	Ugalj	Nafta	Gas	Hidro Nuklearn.
Jugoslavija	44	6	—	50
SAD	45	17	20	14

Kada je reč o snabdevanju pojedinih područja energetskim sirovinama može se reći da se ugljem, a donekle i gasom, sva područja snabdevaju uglavnom iz sopstvenih izvora. Transfera naravno ima među pojedinim zemljama, ali malo između područja. Međutim, kada je reč o nafti, više od polovine svoje potrošnje razvijeni obezbeđuju iz područja u kojima žive nerazvijeni. Na primer SAD, nekada najveći proizvođač nafte, ne samo da su izgubile primat u proizvodnji, već uvoze oko polovinu svojih potreba za naftom. Od razvijenih zemalja jedino je SSSR izvoznik nafte. Mnoge razvijene zemlje, međutim, moraju da uvoze svoju naftu koju troše. S druge strane, nerazvijene zemlje troše samo 20 odsto nafte proizvedene na svom području, a ostatak izvoze u razvijena područja. Ali i među nerazvijenim zemljama nafta je veoma neravnomerno raspoređena, pa je mnoge moraju uvoziti.

Kada je reč o neravnomernosti raspodele energetskih izvora, treba naglasiti da je i uglj, u ovom trenutku nepravedno zanemaren kao energetska sirovina, takođe veoma neravnomerno raspoređen. Ta neravnomernost je, međutim, na štetu nerazvijenih zemalja. U SAD, SSSR i Kini nalazi se 90 odsto uglja. U Evropi daljih 5 odsto, a u čitavom ostalom, uglavnom nerazvijenom svetu, samo oko 5 odsto.

Nafta je tek nedavno postala osnovna energetska sirovina sveta. U tablici 5 ovo je prikazano na primeru Jugoslavije i SR Nemačke. Udeo potrošnje uglja u toku protekle četvrtine veka opao je u Nemačkoj sa 81 odsto na samo 29 odsto, ali se zato udeo potrošnje nafte u energetske svrhe povećao sa 6 na 56 odsto. A ta zemlja nema

nafta, dok istovremeno poseduje polovinu ukupnih rezervi uglja u Evropi. Ni u Jugoslaviji stanje u tom pogledu nije mnogo bolje.

UČEŠĆE NAFTE I UGLJA U PROIZVODNJI ENERGIJE (odsto)
Tablica 5.

	Jugoslavija		SR Nemačka	
	1960.	1977.	1950.	1975.
Uglj	82,6	44,0	81	29
Nafta	11	43	6	56

U nedostatku dugoročne energetske politike, kao i zbog trke za što nižim troškovima proizvodnje energije, prirodno je što je došlo do nagle ekspanzije potrošnje nafte. Troškovi proizvodnje nafte su relativno niski (bušenje tla i eksploatacija bušotina — obavljaju se s površine zemlje), transport je jednostavan i jeftin (tankeri, naftovodi), skladištenje takođe, a i korišćenje nafte kao izvora toplote krajnje je jednostavno. Nafta je sve više poliskivrala uglj, čija je eksploatacija znatno složenija, a transport i korišćenje neporedivo nepraktičniji. Danas je jasno da je to bila linija manjeg otpora u energetskom razvoju. Jer, nafta ima znatno manje nego uglja, a osim toga je kao sirovina nezamenljiva za druge svrhe, koje se ne svedu na njeno spaljivanje (petrolenija, na primer). Nagla ekspanzija korišćenja nafte, zavisnost mnogih zemalja od uvoza ove sirovine i težnja zemalja izvoznika nafte da zaštite svoje, često jedino bogatstvo, dovela je do poznatih ekonomskih i političkih kriza početkom sedamdesetih godina. Po svojoj prirodi, korišćenje ove sirovine dovodi do daljih potresa čiji je ishod teško predvideti.

Šta dalje?

Ovo je bio kratak pregled sadašnjeg stanja u energetici. Da bi se mogao planirati dalji razvoj, potrebno je što bolje sagledati energetiku budućnosti. To je neophodno, jer postoje jasni znaci da će se svet susretati sa sve složenijim problemima u zadovoljenju energetske potrebe. Sagledavanje budućnosti energetike je, međutim, veoma teško i zavisi od mnogih okolnosti, kao što su: porast broja stanovnika Zemlje, — tok društvenog razvoja upotrebe, a posebno u razvijenim i nerazvijenim područjima,

— mogućnost da se predviđive energetske potrebe zadovolje iz uobičajenih izvora energije,

— perspektive za razvoj novih energetske izvora itd.

Na ova i druga pitanja, od kojih u velikoj meri zavisi budućnost sveta, može se odgovoriti, uglavnom, kroz subjektivna viđenja. Zbog toga su i rezultati analiza o budućem razvoju energetike često različiti, mada, mora se priznati, u poslednje vreme sve sigurniji.

Demografska eksplozija?

Nedavno je Zemlja dobila svog 4-milijardnog stanovnika. Ne tako davno, oko 1980. godine, na Zemlji je živela samo polovina tog broja ljudi. Sadašnji priraštaj stanovništva iznosi oko 2 odsto godišnje. Prema ovome se može oceniti da će do 2000. godine broj stanovnika porasti na 6 do 7 milijardi. Ako bi se taj priraštaj zadržao i dalje, 2025. godine stanovništvo bi se povećalo na 11 milijardi, 2050. na 18 i tako dalje sve dok ljudi ne bi zagušili jedni druge, kao što je to pokazano na primeru ekspanzioniznog rasta. Takav porast, prikazan tačkastom linijom na dijagramu slike 1, predstavljalo bi zaista pravu demografsku eksploziju. Jasno je zato da će priraštaj stanovništva morati vremenom da opada. Pitanje je samo kada i koliko. Raznim putevima zaključivanja došlo se do široko prihvaćenog mišljenja da će već posle 2000. godine brzina rasta broja stanovnika početi da opada. Tako će 2025. godine broj stanovnika na Zemlji iznositi 9, a ne 11 milijardi, zatim će još sporije rasti i stabilizovati se, verovatno, na oko 12 do 13 milijardi ljudi, kako pokazuje puna linija na dijagramu slike 1. Dakle, neće biti demografske eksplozije!

Ovo deluje ohrabrujuće, jer će toliko broj stanovnika (oko tri puta veći no što je sadašnji) Zemlja još moći da podnese. Ono što kvartu sliku, međutim, jeste činjenica da danas u svetu ne samo što ima više stanovnika u nerazvijenim područjima nego u razvijenim, već je tamo i priraštaj stanovnika najveći. Tako se očekuje da će 2000. godine u sada nerazvijenim područjima broj stanovnika porasti sa sadašnje 2,8 na 5,15 milijardi (tablica 6), dok će se stanovništvo u razvijenim područjima povećati samo za 12 do 13 odsto.

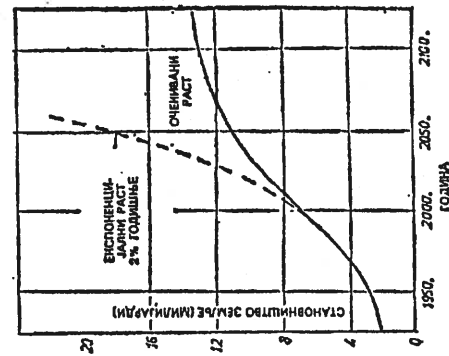
STANOVNIŠTVO U SVETU (u milijardama)

	Razvijene zemlje	Zemlje u razvoju	Svet
1975.	1,2	2,8	4
2000.	1,35	5,15	6,5
2025.	1,4	7,6	9

Ekonomski rast i potrebe za energijom

Prognoze ekonomskog rasta sveta međusobno se dosta razlikuju. To dolazi otuda što rezultat analize, između ostalog, zavisi i od predviđene brzine ekonomskog rasta nerazvijenih zemalja. Drugim rečima, zavisi od razvoja društveno-političkih odnosa u svetu. Jedino što se može smatrati sigurnim, jeste da siromašni neće hteti da i dalje ostanu siromašni i da će težiti da se približe razvijenima.

Ni najoptimističnije prognoze Ujedinjenih nacija, međutim, ne predviđaju za nerazvijene stope rasta narodnog dohotka veću od 7 odsto, a za razvijene manju od 4,3 odsto. Iako će, po ovoj prognozi, do 2000. godine ekonomska snaga nerazvijenih porasti bezmalo za šest puta, a razvijenih samo tri puta, to neće mnogo smanjiti jaz između bogatih i siromašnih, između ostalog i zbog brzog povećavanja broja stanovnika nerazvijenog sveta.



Uz znatne društveno-političke promene, međutim, mogao bi se zamisliti sporiji rast razvijenih u korist rasta nerazvijenih. To je, ipak, teško ostvarljivo, jer i kod razvijenih postoje razlike u stepenu razvijenosti između područja, država i oblasti, a svi manje razvijeni teže da stignu razvijenije. Ali, to ne bi bitno promenilo situaciju sa stanovništvom opšteg porasta potrošnje energije u svetu: povećanje dohotka je nerazdvojno vezano s povećanjem energetske potrošnje, bez obzira da li je reč o razvijenima ili nerazvijenima.

Iako će, umesto sadašnjih 20 odsto nerazvijeni svet trošiti u 2000. godini 33 odsto energije po stanovniku će potrošnja energije porasti tek nešto malo više no kod razvijenih.

Prvih decenija narednog veka, pod pretpostavkama koje su već navedene, potrošnja energije bi morala dostići 70 TWa godišnje ili, pod uslovom racionalne potrošnje, ne manje od 50 TWa godišnje. U ovom drugom slučaju svetski prosek potrošnje energije po stanovniku iznosio bi 2025. godine oko 5 kWa godišnje, dakle, približno koliko sada iznosi prosečna potrošnja po stanovniku u razvijenim područjima sveta.

Kada se predviđena energetska potrošnja sabere iz godine u godinu, dobija se da je potrebno obezbediti sledeće kumulativne količine energije:

- do 2000. godine: 400 TWa, ili najmanje 300 TWa,
- do 2025. godine: 1400 TWa, ili, najmanje 1000 TWa.

Ekonomski rast kakav je prognozirao u Ujedinjenim nacijama zahtevao bi u periodu oko 2000. godine potrošnju energije veću od preko 26 TWa godišnje, pod pretpostavkom da današnji odnos dohotka i potrošnje energije ostanu nepromenjeni (ali ne manje od 18 TWa godišnje ako bi potrošnja energije rasla po stopi od 3,5 odsto). To bi predstavljalo više nego tri puta veću potrošnju u svetu od današnje. Kako bi u tom slučaju izgledala raspodela između razvijenih i nerazvijenih pokazuje tablica 7, koju treba uporediti s podacima iz tablice 2, gde je prikazano sadašnje stanje.

PROGNOZIRANA RASPODELA POTROŠNJE ENERGIJE U SVETU U 2000. GODINI				Tablica 7.	
	Stanovništvo		Energetska potrošnja (TWa)	Energetska potrošnja / po stan.	
	(odsto)	(TWa)		(odsto)	(kWa)
Severna Amerika, Evropa i Japan	21	17,5	67	15	
Ostale zemlje	79	8,5	33	1,6	
Svet	100	26	100	4,0	

Ekonomski osnovi električne energetike

Podavno je ljudima jasno da je za svaki novi korak u sveukupnom razvoju čovečanstva potrebno sve više energije. Ta uzajamna veza postoji i kada je reč o privrednom usponu i životnom standardu. Zbog toga, potrošnja energije sve brže raste, utoliko brže ukoliko je viši stepen ekonomske razvijenosti društva. Dok su izvori prirodne energije i goriva bili, na izgled, neiscrpn i njihova prerada u za čoveka upotrebljive oblike bila jeftina, ili, po ceni, prihvatljiva, čovečanstvo se nije suviše bavilo pitanjem: kolike su njihove rezerve na našoj planeti? Ipak, bez obzira na veličinu Zemlje i na njena ogromna bogatstva, sve postojeće prirodne rezerve su ograničene.

Ono što je pre nekoliko godina dobilo naziv „energetske krize“ — kada je cena nafte, sve važnijeg prirodnog izvora energije, počela da raste — postavilo je na dnevni red i to pitanje ograničenosti rezervi kojima raspolažemo. Nafta, razume se, još ima, ali se ne može očekivati da će se još mnogo puta, u nekim neistraženim delovima zemaljske kugle, otkrivati nova basnoslovna nalazišta. Takvi su izgledi, štaviše, sve manji. Uz to, nafta i prirodni gas su dragocene i, bar zasad, nezamenjive sirovine za izradu mnogih proizvoda hemijske industrije, i to upravo u njenim najmodernijim granama — bez njih, na primer nema plastičnih i sintetičkih materijala.

Na putu izvlačenja iz zaostalosti, naša zemlja se isto tako susreće sa sve većim potrebama za energijom. Ekstrakcija njenih prirodnih oblika i proizvodnja upotrebljive energije razvijali su se i razvijaju se veoma brzo. Ali, i pored toga, u poslednjih šest godina, u dva maha je došlo do ozbiljne nestašice električne energije, do ograničavanja potrošnje i do svih teških posledica koje je to moralo izazvati. Reč je, očigledno, o neskladu između dosadašnjih mogućnosti proizvodnje i zakašnjenja u usvajanju i sprovođenju odgovarajućih planova razvoja energije i, s druge strane, veoma brzog povećavanja potrošnje.

Kao i svet u celini, moramo se suočiti s veoma ozbiljnim problemom kako povećanja proizvodnje energije na osnovu postojećih prirodnih izvora i traženja novih mogućnosti, tako, kao i svi drugi, pronalaženja načina njenog racionalnijeg korišćenja i štednje.

Pronalaženje novih energetskih izvora i korišćenje dosadašnjih, na koje smo već navikli, postaju sve skuplji. Ne bi, zbog toga, bilo ništa čudno ako čovečanstvo bude prinuđeno da sasvim drugačije priđe ovom problemu, koji može, kao i problem sirovina i svih prirodnih izvora uopšte, postati određujući u izvesnom smislu, ograničavajući činilac u povećavanju društvenog bogatstva.

Naime, niska cena energetskih i drugih sirovina olakšavala je brz razvoj najrazvijenijih delova sveta koji je, visokim cenama svojih gotovih proizvoda, kočio razvoj onih zemalja i naroda koji su zaostali u istorijskoj trci. Taj novi prilaz, između ostalog, značio bi i nov odnos svetskih cena i drugačiju preraspodelu svetskih bogatstava i, možda, usporavanje razvoja najrazvijenijih, pošto logika dosadašnje istorije ne dopušta mogućnost njegovog zaustavljanja da bi se „sačekali“ oni s dna lestvice siromaštva.

Obezbeđivanje dovoljnih količina energije, pronalaženje novih izvora, njeno racionalno korišćenje — postaju, dakle, u sve većoj meri, pitanja opstanka čovečanstva, ne samo njegovog razvoja. Uz to, kako se čovečanstvo nije razvijalo na osnovu nekakvog plana, ono sve više dovodi u pitanje i sopstveni biološki opstanak na Zemlji, zagađivanjem okoline koje je dobilo zastrašujuće razmere. Postoje već

ozbiljni proračuni i predviđanja naučnika da nekontrolisan razvoj, podstaknut samo trenutnim ili parcijalnim ekonomskim interesima, počinje ozbiljno menjati našu prirodnu sredinu, na način koji može izazvati i nepopravljive štete. U ime sopstvenog bogatstva, čovek je sada već u stanju da ugrozi i prirodne uslove bez kojih se ne bi mogao održati čak ni kao biološka vrsta...

GUBICI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Distribucija električne energije, kao i svaki fizikalno-tehnički proces, prate gubici. Procentualni inos gubitaka električne energije u elektrodistributivnim mrežama Crne Gore je već godinama vrlo visok i kreće se oko 17%. Apsolutni iznos tih gubitaka u distributivnoj mreži u 1990. godini iznosi 221.500.000 kWh što odgovara godišnjoj proizvodnji jedne TE instalisane snage 40 MW. Procentualni gubici snage, koji se, statistički ne može odrediti jer je zavisen od kvadrata promjenjivog trenutnog opterećenja, a najveći je u vremenu višnog opterećenja u mreži, veći je od prosječnog godišnjeg gubitka energije, za 4 do 5 procenata, iz čega slijedi da je u danu višnog opterećenja u 1990. godini podniren snagom od oko 56,0 MW ili 6,35% instalisane snage crnogorskih elektrana.

Navedeni primjeri dovoljno jasno nam govore da gubici energije i snage u elektrodistributivnoj mreži Crne Gore predstavljaju veliki trošak u punom smislu tog pojma. Zato utvrđivanje uzroka gubitaka i njihovo lociranje i svodjenje na tehnički objektivne vrijednosti predstavlja vrlo značajan zadatak cjelokupnog kadra u Elek-tro-distribuciji Crne Gore.

Vrsta i uzroci ovih značajnih činilaca za ekonomično poslovanje Elektroprivrednog preduzeća su različiti i dijele ih na:

- I — tehničke gubitke i
- II — komercijalne gubitke.

I. Tehnički gubici prema uzroku i mjestu nastajanja dijele se na:

1. *Stične gubitke* — *gubitke praznog hoda*

- a) Gubici magnetiziranja i
- b) Gubici u odvodu (nesavršena i oštećena izolacija)

2. *Promenljivi gubici* — *gubici zavisni od opterećenja*:

— Tehnički gubici nastali usljed zagrijavanja provodnika pri proticanju struje u vodovima i namotajima.

Tehnički gubici mogu biti objektivni i subjektivni. Objektivni tehnički gubici su nastali kod optimalno dimenzionisanih racionalno korišćenih i lociranih elek-tričnih mreža i postrojenja u:

— gvozdnu i namotajima transformatora snage i mjernih transformatora i namotaja mjernih i zaštitnih uređaja,

— opterećenim vazdušnim i kablovskim vodovima,

— dielektrični gubici u kablovskim vodovima,

— gubici od voda na izolatorima i vazd. vodovima,

— gubici korone kod VN vodova.

Subjektivni tehnički gubici po mjestu nastaju isto gdje i objektivni ali je njihov iznos znatno veći a što je posljedica netačnog — nekorrektnog dimenzionisanja elemenata postrojenja i mreža (transformatora snage, mjernih transformatora, mjer-nih i zaštitnih uređaja, presjeka vodova i sl.) pogrešnog lociranja transformatorskih postrojenja i loše konfiguracije mreže, neracionalnog opterećenja postrojenja i vodo-va, pogrešnog paralelnog rada transformatora snage, neblagovremenog otklanjanja kvara na izolaciji vodova i drugo.

Dok se na smanjenje objektivnih tehničkih gubitaka ne može uticati, dotle se racionalnim oprećivanjem postrojenja, određivanjem optimalnih snaga transfor-matora, preraspodjelom opterećenja, rekonstrukcijom vodova i kompenzacijom pre-komjerne reaktivne energije subjektivni tehnički gubici mogu znatno smanjiti. Zato treba posvetiti nužnu pažnju njihovom utvrđivanju i otklanjanju.

Iz izloženog nije teško utvrditi da je za smanjenje tehničkih gubitaka u posto-jećoj elektrodistributivnoj mreži Crne Gore potrebno i vrijeme i investiciona sredstva. S druge strane, upoređujući ostravene gubitke zadnjih godina u distributivnoj mreži Crne Gore, sa gubicima u distributivnim mrežama ostalih republika u Jugoslaviji kao i nekim zemljama Evrope (prilog tabela 1, 2 i 3) nije teško ustanoviti da tehnički gubici u našoj distributivnoj mreži mogu biti u granicama između 10—13%.

Prema tome, razlika između ostravrenih gubitaka od 17,65% i objektiviziranih gubitaka od 13% (17,65 — 13 = 4,65%) u iznosu od 4,65% predstavlja komercijalne gubitke.

Pod pojmom komercijalnih gubitaka električne energije podrazumijevaju se gubici koji predstavljaju razliku između evidentiranih vrijednosti preuzete i predate električne energije, a to je:

- neregistrovana potrošnja el. energije
- razlika između stvarnih i registrovanih predatih količina el. energije zbog greški mjernih uređaja

— potrošnja električne energije pri kvarovima na postrojenjima i vodovima.

Neregistrovana potrošnja električne energije nastaje isključivo u mreži napona 0,4 kV, kao posljedica neovlaštene potrošnje od strane potrošača koji je na elektrodi-stributivnu mrežu priključen regularno ili pak neregularno (bez dozvole). U ovu grupu treba ubrojati i potrošače koji neredovno plaćaju utrošenu energiju koristeći povoljnosti načina naplate (promjena sezone, nenaplaćivanje kamata i sl.).

Razlika između registrovanih i stvarno predatih količina električne energije nastala usljed greški mjernih uređaja u pravilu se kompenzira jer su greške kod ispravnih mjernih uređaja pozitivne i negativne. No, ukoliko se ne poklapanja nužne pažnja održavanju mjernih uređaja — podešavanja (baždarenje) i ovjeravanje brojila i mjernih transformatora i ovi gubici mogu biti znatnih vrijednosti.

Pri različitim pogonskim događajima kao što su kratki spojevi i zemljospojevi utroši se određena količina električne energije. Količina ove energije zavisna je od učestalosti navedenih kvara, kao i vremena napajanja mjesta kvara.

Iz izloženog može se zaključiti da su komercijalni gubici u pravilu subjektivni gubici. Veličina ovih gubitaka vrlo je promjenljiva i računskim putem ih je nemoguće odrediti.

Tačan iznos komercijalnih gubitaka dobija se (kako je na početku napomenuto) kao razlika između ostvarenih gubitaka i stvarnih tehničkih gubitaka.

U našoj mreži ukupni komercijalni gubici za 1990. god. kreću se iznad 4% ili u apsolutnim količinama 50.180.000 kWh. Ova količina veća je ili jednaka od energije koju su u toku 1990. godine realizovale distributivne sekcije pojedinačno: Kolašin, Rožaje, Tivat, B. Polje, Budva, Ivangrad, Ulcinj, Mojkovac i Žabljak ili zajedno: Kolašin, Rožaje, Mojkovac i Žabljak odnosno Tivat i Kolašin, odnosno vrijednost ove energije sa prosječnom prodajnom cijenom u 1990. godini od 1,216 din/kWh iznosi 61.018.890 dinara.

Ovaj iznos nedvosmisleno ukazuje da je neophodno hitno uložiti sve napore na smanjenju odnosno odstranjivanju komercijalnih gubitaka.

Da bi ostvarili ovaj zadatak neophodno je preduzeti sljedeće

Mjere za smanjenje gubitaka

1. Potpuna evidencija svih potrošača priključenih na elektro-distributivnu mrežu.
2. Kontrola ispravnosti mjernog mjesta sa svim karakteristikama istih (formirati kartoteku).
 - Vrsta priključaka: monofazni ili trofazni.
 - Tip i klasa brojila, jednotarifno ili dvotarifno sa ili bez pokazivača maksimalnog opterećenja.
 - Tip i broj kontakata uklopnog časovnika (da li ima kontakte za dnevnu i nedeljnu tarifu i kontakte za 15-minutno pokazivanje maksimalnog opterećenja).
 - Postojanje relea za signalizaciju promjena tarifa.
 - Tip, snaga i klasa tačnosti (sprega strujnih i naponskih mjernih transformatora i da li su dobro dimenzionirani).
 - Da li postoji i je li valjan (kada je postavljen) žig kontrole mjera na svim mjernim uređajima (brojilima, ukl. časovniku, mjernom transformatoru i dr.).
 - Ispravnost položaja brojila el. energije (obavezan vertikalni položaj).
 - Da li postoji brojilo za registrovanje utroška reaktivne električne energije.
 - Ispravnost veza elemenata mjernog sloga.
 - Provjera fazne usaglašenosti strujnih i naponskih vodova na brojilima el. energije.
 - Plombiranje svih mjernih elemenata (poklopac priključne kutije brojila, pokazivači vršnog opterećenja, osigurači naponskog kola, rednih stezaljki u mjernom ormaru, mjernu celiju ili na mjernom stalku — regalu, uklopnog časovnika i dr.).
3. Formiranje knjiga za obračun i naplatu električne energije (inkaso knjiga) po trafo reonima bez obzira na način naplate isporučene el. energije potrošaču, a u cilju lakšeg utvrđivanja lokacije nastanka neopravdanih gubitaka energije.
4. U svim trafostanicama 10/0,4 kV na sekundarnoj strani transformatora (NN strani) evidentirati količine isporučene električne energije konzumnog područja tog transformatora. Sve trafostanice 10/0,4 kV projektuju se i izvode sa

ugrađenim mjerenjem el. energije i snage koja se isporučuje preko transformatora, pa ako su demontirane ugraditi — nove.

5. U svim trafostanicama 35/10 kV preko kojih sekcija preuzima električnu energiju na 10 kV strani transformatora ugraditi mjernu uređaje za registrovanje isporučenih količina aktivne i reaktivne energije po tarifama i 15-minutnog vršnog opterećenja.

6. Evidentirati utrošak električne energije preko kućnog transformatora za potrebe opsluživanja postrojenja — trafostanice. Ukoliko se sa kućnog transformatora trafostanice napajaju i druge poslovne prostorije (kancelarije ili radionice) tu energiju preko posebnog el. brojila registrovati i evidentirati u troškove poslovanja a ne kućne potrošnje postrojenja.

7. Vršiti redovnu ovjeru mjernih uređaja u zakonom propisanim rokovima i poslije pojava prenaponskih udara na mjernom mjestu.

Rokovi ovjere su:

- Za brojila klase 2 (domaćinstva i ostala potrošnja) 12 god.
- Za brojila klase 1 (indirektna brojila) 6 god.
- Za uklopne časovnike: 12 godina samo za energiju
6 godina za mjerenje energije i snage
- Za mjerne transformatore klase
0,1; 0,2 i 0,5 12 godina

8. Vršiti redovnu kontrolu ispravnosti dielektrika (izolacije i izolatora) radi sprečavanja odvoda el. energije na mjestima oslabljene izolovanosti.

9. Optimizirati vrijeme otklanjanja kvarova (kratkog spoja i zemljospoja) na vodovima u cilju smanjenja utroška nekorisne energije.

10. Redovno — svakog mjeseca vršiti kontrolu stepena očitanoosti brojila potrošača na osnovu izvršene potpune evidencije potrošača i broja očitanih.

11. Blagovremeno a najdalje do 15-og u mjesecu dostaviti Sektoru distribucije (Službi mjerenja i zaštite) izvještaj o realizaciji električne energije.

Realizaciju el. energije evidentirati po kategorijama potrošača:

- potrošnja na 35 kV
- potrošnja na 10 kV
- potrošnja domaćinstva
- ostala potrošnja na 0,4 kV
- potrošnja Javna rasvjeta
i po tarifama (veća i manja dnevna tarifa)

Evidentirati i obračunsku snagu (vršno opterećenje) po kategorijama potrošnje.

12. Provjeriti ispravnost paralelnog rada transformatora 35/10 kV u trafostanicama 35/10 kV, potrebno vrijeme za njihov paralelan i pojedinačan rad

13. Evidentirati maksimalna opterećenja transformatora 10/0,4 kV u gradskom i seoskom području, te na osnovu toga utvrditi optimalnost njihovog dimenzionisanja (izbora snage) kao i potrebe za promjenom istih.

14. Analizirati i uspostaviti sinetriju opterećenja faznih vodova kod niskonaponskih trofaznih mreža. Preopterećena faza neopravdano povećava gubitke u mreži.

15. Kod potrošača koji imaju veću prekomjernu potrošnju reaktivne električne energije zahtijevati ugradnju kompezacionih baterija koje se u pravilu ugrađuju na niskonaponskoj strani transformatora, odnosno na istom naponskom nivou na kojem je i obračunsko mjerenje.

AKTIVNI I REAKTIVNI ELEKTROENERGETSKI BILANSI

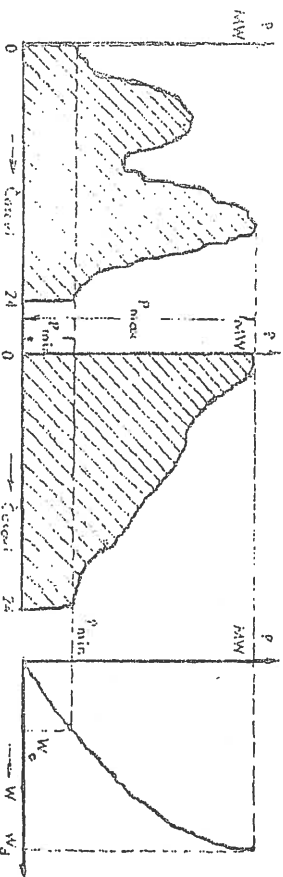
AKTIVNI ELEKTROENERGETSKI BILANSI

Opašta razmatranja

Osnovni cilj izrade plana rada elektrana u jednom elektroenergetskom sistemu odnosno izrade elektroenergetskih bilansa, sastoji se u ostvarenju optimalne raspodele snage i energije među pojedinim elektroenergetskim izvorima, kao i njihovog vremenskog rasporeda u toku godine a u cilju podizanja potreba potrošača u energiji i snazi, pri određenom naponu i učestanosti. Ovde ćemo razmatrati samo bilanse aktivne snage i energije dok će bilans reaktivne snage biti obuhvaćen u posebnom odeljku.

U slučaju da se u sistemu pored termoelektrana, nalaze i hidroelektrane, potrebno je pri izradi bilansa po klasičnim metodama rada uključiti karakteristične hidrološke godine, obično srednju, sušnu i vlažnu godinu.

Bilansi aktivne energije i snage obično se izrađuju u okviru dnevnog, nedeljnog, mesečnog i godišnjeg intervala. Radi uprošćenja izlaganja uzećemo kao osnovni dnevni interval, pri čemu su odgovarajući dijagrami koji se razmatraju pri izradi elektroenergetskih bilansa prikazani na sl. 141. Konstrukcija ovih dijagrama biće objašnjena u daljem tekstu.



Sl. 141 — Vrstje dijagrama koje se upotrebljavaju pri izradi elektroenergetskih bilansa snage i energije u dnevnom intervalu

Za sastavljanje elektroenergetskih bilansa potrebno je poznavati:

- odgovarajući dijagram opterećenja potrošača;
- raspoloživu energiju i snagu elektrana;
- podatke o troškovima proizvodnje pojedinih elektrana;
- zahtev u pogledu razmene energije i snage sa susednim elektroenergetskim sistemima;
- stanje mreže (transformatori, dalekovodi, sinhroni kompenzatori i drugi objekti koji treba da se nalaze van pogona radi održavanja i popravki);
- plan remonta proizvodnih agregata;
- tehničke uslove pogona sistema (rezultati i tipske šeme ispitivanja pogona na mrežnim analizatorima ili računskim mašinama) i
- podatke o gubicima snage pri raznom učešću elektrana.

Osnovna načela za raspodelu aktivnih snaga među hidroelektranama i termoelektranama u sistemu

Ova raspodela može se podeliti na dva dela koji se i u praksi, u stvarnom pogonu, odvojeno razmatraju.

U prvom delu tretira se optimalna raspodela aktivne snage i energije među pojedinim elektranama, odnosno grupama elektrana u sistemu, pri čemu se svaka elektrana ili grupa elektrana razmatra kao jedna energetska celina. Na slici 142 predstavljen je takav jedan sistem.

Značenja pojedinih veličina na sl. 142 su sledeća:

P_{gi} = odata aktivna snaga elektrane;

P_{pi} = preuzeta aktivna snaga potrošača;

ΔP_i = gubici aktivne snage u dalekovodima.

U drugom delu, razmatra se na osnovu podataka o opterećenjima pojedinih elektrana iz prvog dela, optimalna raspodela datog ukupnog opterećenja pojedinačne elektrane na energetske elemente unutar same elektrane, kao što je, na primer, za slučaj jedne termoelektrane predstavljeno na sl. 143. Za sliku 143 važe sledeće oznake:

K_i = kotao;

T_{ti} = turbina;

G_i = generator;

D_i = dovedena snaga uglja;

P_i = opterećenje kotlova;

T_i = dovedena snaga turboagregata;

N_i = opterećenje na krajevima generatora;

P_g = ukupna snaga termoelektrane.

Isto ovo važi i ako se umesto jedne elektrane radi o jednoj grupi elektrana, pri čemu se tada zadato opterećenje grupe raspodeljuje na pojedine elektrane unutar grupe.

Ova podela nije samo formalna. U stvari, pri izradi programa proizvodnje elektrana za tekući pogon odnosno pri planiranju budućeg razvoja sistema, ne može

— smanjuje proizvodnju u manje ekonomičnim termoelekttranama i

— smanjuje učešće u tehničkom minimumu termoelekttrana.

U opštem slučaju, hidroelekttrane mogu imati takav pogon da podmiruju osnovno ili konstantno opterećenje sistema, vršno ili varijabilno opterećenje, ili, najzad, i osnovno i vršno opterećenje.

U protočnim hidroelekttranama, protok reke mora se iskoristiti odmah kako dotiče, tako da će takve elekttrane normalno podmirivati osnovno opterećenje sistema.

Međutim, u našim uslovima u periodima kada je doticaj manji od instalisanog proticaja, mogu se i protočne hidroelekttrane delimično koristiti kao akumulacione u zavisnosti od veličine sopstvene akumulacije koju skoro sve takve naše hidroelekttrane poseduju.

Akumulacione hidroelekttrane radiće tako da podmiruju bilo osnovno bilo vršno opterećenje, ili i jedno i drugo, što zavisi od toga na koji način se raspoloživa voda može najbolje iskoristiti.

U daljem izlaganju, razmotrićemo izvesne karakteristične slučajeve raspodele opterećenja među elekttranama u sistemima u kojima se nalaze i hidroelekttrane i termoelekttrane.

REAKTIVNI ELEKTROENERGETSKI BILANSI

Opšta razmatranja

Izvori reaktivne snage u sistemu treba svojom proizvodnjom da podmiri, s jedne strane, one potrošače koji pored aktivne zahtevaju i reaktivnu snagu, i s druge strane, gubitke reaktivne snage u električnoj mreži. Ova reaktivna snaga je, kao i aktivna snaga, promenljiva tokom vremena tj. u toku dana odnosno tokom godine s obzirom na razlike u potrebama potrošača i zbog različitih tokova aktivnih i reaktivnih snaga u električnoj mreži.

Proizvodnja i prenos reaktivne snage od velikog su značaja za ekonomičnost i ispravan pogon elektroenergetskog sistema, s obzirom da ova snaga neposredno utiče na prenosnu moć dalekovoda odnosno transformatora u pogledu aktivne snage, na gubitke aktivne i reaktivne snage i na naponske prilike i stabilnost u električnoj mreži.

Zbog povećanja kapaciteta prenosa za reaktivnu snagu pri smanjenju faktora snage prenosa, znatno se smanjuje raspoloživi kapacitet za aktivnu snagu. Međutim, pri povećanju reaktivne snage koja se prenosi kroz mrežu, do izražaja naročito dolaze aktivni i reaktivni gubici prenosa i gubici napona, koji se veoma brzo povećavaju sa smanjenjem faktora snage prenosa kao što se vidi na sl. 154. Posebno u slučaju dalekovoda visokog napona, induktivni otpor i odgovarajući pad napona usled reaktivne snage su nekoliko puta veći od onskog otpora i pada napona usled aktivne snage. Pad napona prouzrokovan prenosom reaktivne snage brzo dostiže nedozvoljene vrednosti ako je reaktivna snaga velika što ukazuje na potrebu izbegavanja prenosa reaktivne snage, sem ako se radi o kratkim vodovima (nekoliko desetina kilometara).

147

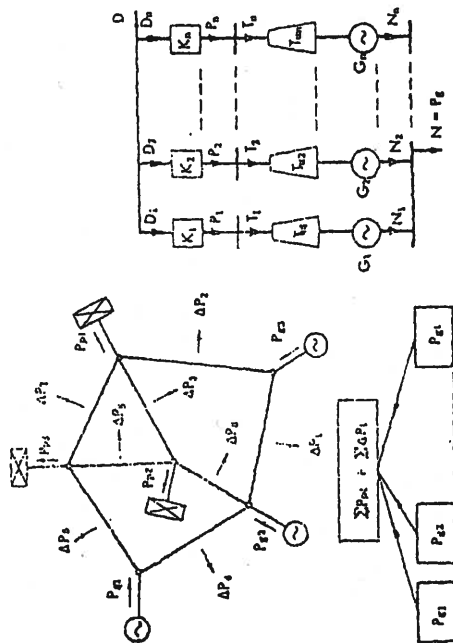
se u početnoj fazi rada ulazi u detalje pogona unutar pojedinih elektrana već se one moraju razmatrati kao jedinstvene energetske celine.

Sada pređimo na razmatranje zajedničkog rada hidroelekttrana i termoelekttrana u elektroenergetskim sistemima.

Kada se u jednom sistemu nalaze i hidroelekttrane i termoelekttrane, u podmirivanju potreba mogu, u opštem slučaju, učestvovati obe vrste ovih elektrana pa se u takvom slučaju postavlja pitanje određivanja ekonomične raspodele opterećenja među elekttranama.

U vezi sa razmatranjem ovog problema, navedimo, najpre, da povećanje proizvodnje u hidroelekttranama, u slučaju raspoložive vode, praktično neće zahtevati dopunske troškove, pošto ne postoje troškovi za gorivo.

Međutim, povećanje proizvodnje u slučaju termoelekttrana, prouzrokuje i veće troškove, s obzirom na troškove dopunskog goriva. Prema tome, u jednom sistemu, u čijem pogonu učestvuju i hidroelekttrane i termoelekttrane, nedovoljno iskorišćenje raspoložive vode ima za posledicu povećanje ukupnih troškova proizvodnje u sistemu.



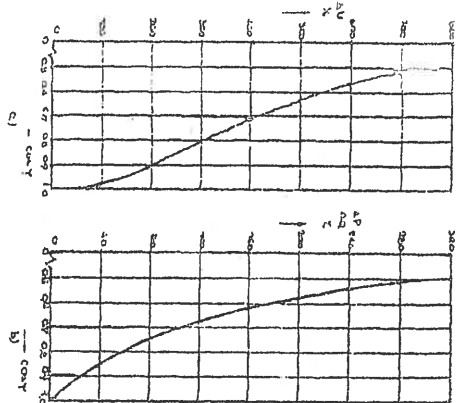
Sl. 142 — Raspodela opterećenja (neposredni potrošači i gubici u mreži) na elektrane u jednom elektroenergetskom sistemu

Potrebno je, međutim, naglasiti da optimalno iskorišćenje raspoložive vode nužno ne podrazumeva najpovoljniji pogon hidroelekttrana posmatranih za sebe već takvo njihovo korišćenje koje će dati najniže ukupne proizvodne troškove sistema kao celine.

Takvo optimalno iskorišćenje moguće električne energije i snage hidroelekttrana biće ostvareno ako se, za dati režim pogona sistema, postigne što manja potrebna električna energija iz termoelekttrana. Pored toga, ako se radi o manjku varijabilne energije (objašnjenje za pojam varijabilne električne energije dato je u daljem izlaganju) treba težiti da se potrebna energija proizvede uz angažovanje što manje njihove snage, jer odgovarajuća mala snaga termoelekttrana:

146

ELEKTRIČNE MAŠINE

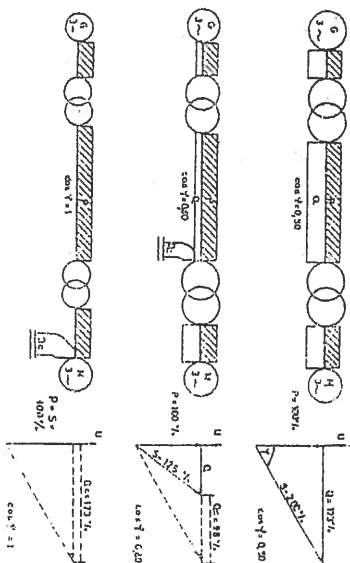


Uticaj prenosa reaktivne snage na veličinu uređaja za proizvodnju, prenos i transformaciju električne energije kao i na gubitke aktivne snage u mreži predstavljen je na sl. 155 za slučaj jednog uprošćenog sistema za prenos.

a) Pad napona (ΔU) prouzrokovao prenosom reaktivne snage, izražen u procentima od pada napona izazvanog prenosom aktivne snage za razne faktore snage ($\cos \phi$) i za odnos $X/R = 4,1$.

b) Aktivni odnosno reaktivni gubici prouzrokovani prenosom reaktivne snage ($\Delta P, \Delta Q$) u procentima od gubitaka usled prenosa aktivne snage za razne faktore snage ($\cos \phi$).

Sl. 154 — Grafički prikaz uticaja dva faktora koji iz tehnčko-ekonomskih razloga sprečavaju prenos reaktivnih snaga na veličine udaljenosti u mrežama



$\cos \phi$	0,5	0,8	1
Aktivna snaga P	100%	100%	100%
Reaktivna snaga Q	173%	75%	0%
Prividna snaga S	200%	125%	100%
Aktivni gubici pre-nosa ΔP	400%	156%	100%

Sl. 155 — Prikaz uticaja reaktivne snage na instalisanu snagu uređaja za proizvodnju, prenos i transformaciju električne energije i na gubitke aktivne snage u mreži (1223)

TRANSFORMATORI

Princip rada — Zadatak transformatora (sl. 7.1) jeste da primljenu električnu energiju pod jednom vrednošću napona transformiše u električnu energiju druge vrednosti napona i prenese je dalje u električnu mrežu. Tokom ove transformacije napona u transformatoru dolazi do gubitaka malog dela primljene energije, i ona se pretvara u toplotnu energiju.

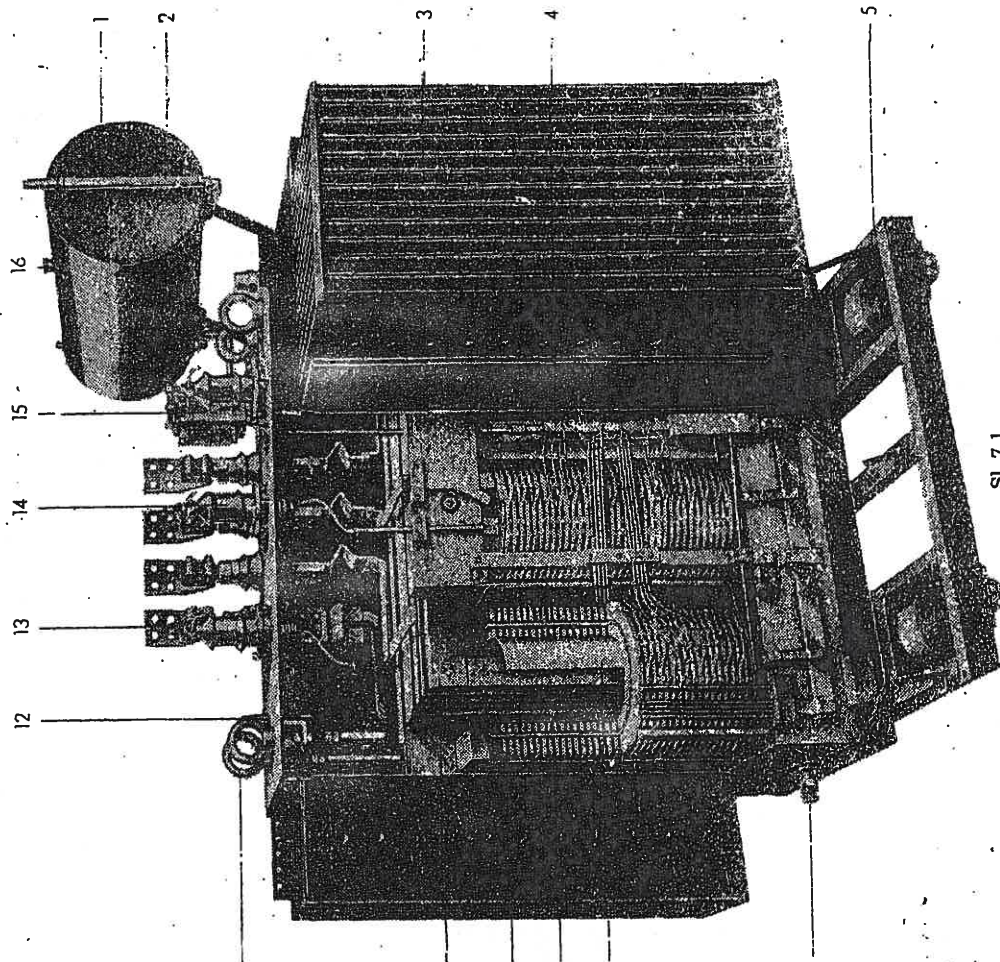
Osnovni delovi transformatora, pomoću kojih se obezbeđuje promena napona od jedne vrednosti na mestu prijema električne energije na drugu vrednost na mestu predaje energije u mrežu, jesu: magnetno kolo, navoj primara i navoj sekundara. namotani oko magnetnog kola transformatora (sl. 7.2). Kada se na primarni navoj transformatora, koji ima N' navoja, dovodnim vodom dovede napon primara i poteče primarna I' struja, ona će, pri neopreterćenom sekundarnom navoju proizvesti magnetni fluks Φ kroz magnetno kolo transformatora, prema Kap-Hopkinsonovom zakonu, $\Phi = \frac{N'I}{\Theta_m}$.

Ovaj magnetni fluks Φ , kao i struja primara koja ga je izazvala I' , zaostaju vremenski, tj. fazno iza napona primara U' zbog velike induktivnosti primarnog navoja (i to za 90 električnih stepeni). Ovaj magnetni fluks Φ prolazi i kroz primarni i kroz sekundarni navoj transformatora, i to malo umanjene vrednosti, jer se jedan njegov deo raspe. Rasipanje nastaje zato što se neke magnetske linije sile zatvore kraćim putem kroz vazduh, a ne kao većina kroz sve namotaje navoja. Magnetni fluks je nazimnjenčan kao i struja koja ga stvara. Promenljivi magnetni fluks Φ , koji prođe kroz primarni navoj, indukuje u svakom od njegovih navoja istu električnu silu $e_1 = \frac{d\Phi}{dt}$ (efektivne vrednosti E_1) koja zaostaje vremenski, tj. fazno iza fluksa (za 90 električnih stepeni). Ukupna efektivna vrednost ove električne sile u navoju primara, koji ima N' navoja, jeste $E' = N'E_1$. Ona je u opoziciji sa dovedenim naponom na primarni navoj U' (tj. za njim zaostaje za ukupno 180 električnih stepeni), što objašnjava Lencov zakon indukcije. Po njemu, ova električna sila se suprotstavlja primarnom naponu kao uzroku svog postanka: to je kontraelektromotorna sila. Ona znatno više ograničava jačinu primarne struje nego otpori primarnog navoja.

Isti promenljivi magnetni fluks prolazi i kroz sekundarni navoj, pa i u svakom njegovom navoju indukuje istu vrednost električne sile

$$e_1 = \frac{d\Phi}{dt}, \text{ efektivne vrednosti } E_1.$$

Ako je broj navoja sekundarnog navoja N'' , onda će ukupna efektivna vrednost indukovane električne sile sekundara biti $E'' = N''E_1$. Ova električna sila E'' u sekundaru neće biti kontraelektromotorna, jer se u sekundaru nije direktno uveo nikakav napon; dakle ona će biti elektromotorna i kao takva predaje se dalje iz transformatora u vod i dovodi do prijemnika.



Sl. 7.1.

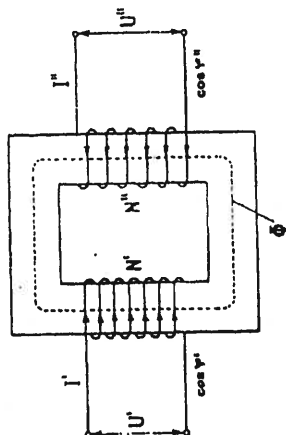
Ako se na sekundarni napon transformatora U'' priključi neki prijemnik, struja prijemnika I'' teći će kroz zatvoreno kolo sekundara.

Prenosni odnos transformatora m predstavlja odnos po kome se kroz transformator menja vrednost primljenog primarnog napona u onaj odat sekundaru, tj.

$$m = \frac{U''}{U'} = \frac{E''}{E'} = \frac{N'' E_1}{N' E_1} = \frac{N''}{N'}$$

Iz ove relacije se može zaključiti da se promena napona odnosno prenosni odnos nalazi u istoj srazmeri kao broj navoja od kojih su izrađeni navoji. To znači da je prenosni odnos napona u istoj srazmeri kao broj navoja sekundara prema broju navoja primara. Na osnovu ovog principa izrađuju se transformatori odnosno brojevi navoja njihovog primarnog i sekundarnog navoja.

Ako se uzme da je snaga (prividna) koju transformator primi u primar približno jednaka onoj koju oda iz sekundara transformatora (tj. da su gubici u transformatoru zanemarljivi), može se napisati $U'I' = U''I''$, tj. $\frac{U''}{U'} = \frac{I'}{I''} = \frac{N''}{N'}$.

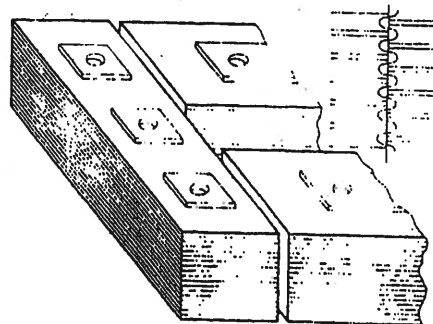


Sl. 7.2.

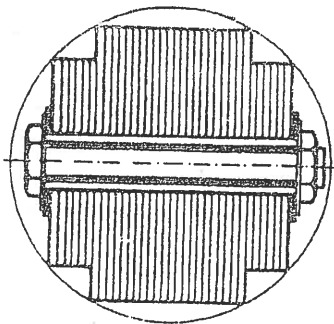
Zaključuje se da se u navojima transformatora struja menja obrnuto prenosnom odnosu napona u navojima, odnosno obrnuto odnosu navoja sekundara i primara. Iz ovog zaključka sledi da presek (debljina) provodnika navoja sekundara i primara nije jednak, već je veći kod navoja sa manjim brojem navoja, koji je pod manjim naponom a sa većom strujom.

Konstruktivni sastav transformatora. — Naizmenični magnetni fluks, na isti način kao u navojima primara i sekundara, indukuje električne sile i struje i u provodnom materijalu gvozdenog magnetnog jezgra. Ove tzv. viborne struje pri prolasku kroz gvozdeni materijal magnetnog kola, koji ima svoj električni otpor, proizvode po Džulovom zakonu toplotne gubitke. Da bi se smanjili toplotni gubici usled vihornih struja, treba presecati tok vihornih struja u magnetnom kolu i na taj način umanjiti ove struje i njihove gubitke. Ovo se postiže izgradnjom magnetnog kola od limova koji su međusobno izolovani lakom, hartijom ili vodenim staklom. Limovi imaju u svom sastavu silicijuma — radi povećanja električnog otpora koji smanjuje jačinu vihornih struja.

Magnetno kolo savremenog jednofaznog transformatora ima dva uspravna stuba, izrađena od magnetnih limova, a nazivaju se jezgra ili stubovi transformatora; magnetno



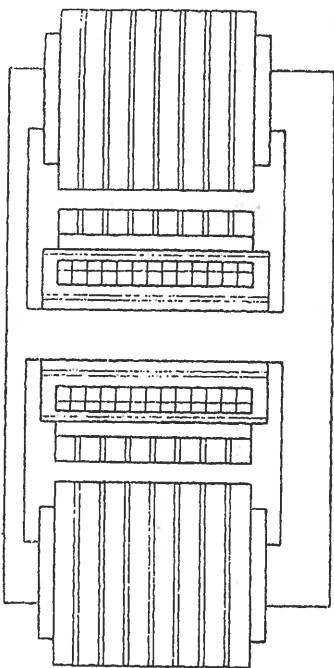
Sl. 7.3.



Sl. 7.4

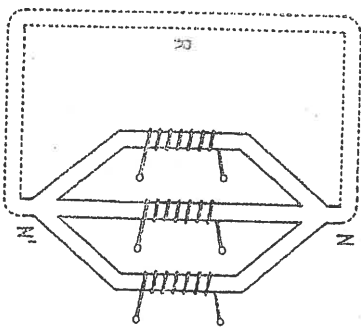
kolo ima, osim toga, i dva horizontalna dela, sagrađena isto tako od limova, kojima se zatvara magnetno kolo, a nazivaju se jarmovi. Limovi se slažu u jezgra i jaram na posebne načine, koji obezbeđuju najbolju magnetnu provodljivost, i istovremeno su pogodni za brzo sklapanje i rasklapanje. Na slici 7.3. prikazan je način sastavljanja jezgra i jarmova u krštanjem limova. Oblik preseka jezgra prilagođen je obliku navoja, koji su, najčešće, kružni (slika 7.4).

Kod trofaznih transformatora se magnetno kolo pravi sa tri jezgra i sa navojima svake faze na po jednom



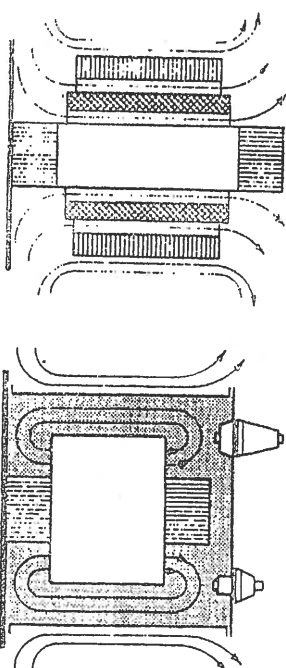
Sl. 7.5

jezgru (sl. 7.5). Da bi se objasnio tok magnetnog fluksa kod trofaznog transformatora, najlakše je posmatrati trenutak kada je struja u jednoj fazi maksimalne jačine u jednom smeru, a u druge dve je upola manje jačine suprotnog smera. Tada je takav tok magnetnog fluksa i u tri jezgra magnetnog kola transformatora, pošto struje pojedinih faza stvaraju odgovarajuće fluksve u svojim jezgrima. Prema tome, nije potrebno nikakvo posebno jezgro za povratno zatvaranje magnetnog kola (sl. 7.6).



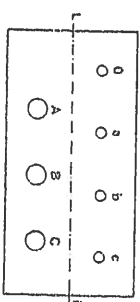
Sl. 7.6

Hlađenje transformatora se predviđa da bi se toplotni gubici transformatora pogodnim sredstvima preneli u okolni prostor i da bi se sprečilo njegovo pregrevanje. Način hlađenja transformatora mogu se podeliti u dve grupe: hlađenje vazduhom i hlađenje uljem. Pri hlađenju vazduhom uglavnom se koristi prirodno strujanje vazduha, koje se sastoji u tome da zagrejan vazduh okolne transformatora, kao ređi, teži da se penje i da ustupa mesto hladnijem (sl. 7.7). Hlađenje uljem sastoji se u tome da se transformatorsko magnetno kolo sa navojima stavi u transformatorski sud u kome se ulje zagreva i cirkuliše slično vazduhu (sl. 7.8). Spojni vazduh na isti ovakav način prirodno struji sa spoljne strane suda transformatora i raznosi toplotu u okolni prostor. Primenuje se i prisilno hlađenje velikih transformatora, kod kojih se zagrejana ulje pumpama uvodi kroz cevi u bazen sa hladnom vodom, odakle se ohlađeno vraća u transformatorski sud.

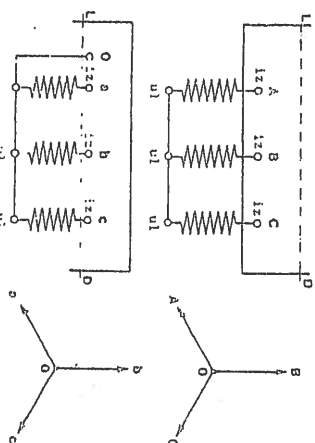


Sl. 7.7

Sl. 7.8



Sl. 7.9

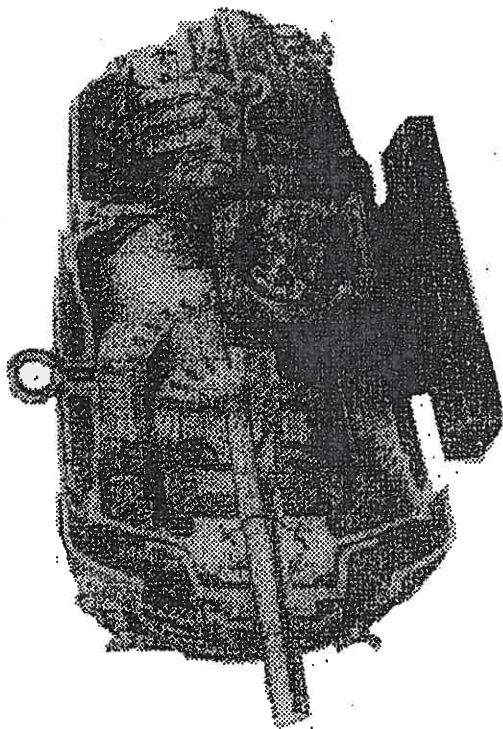


Vrsta transformatora. — Transformator ima jednofaznih i trofaznih. U trofaznim transformatorima primarni odnosno sekundarni navoji mogu biti vezani u zvezdu ili u trougao, a ima i drugih mogućnosti vezivanja. Kod trofaznih transformatora obeležavaju se ulazi u navoje pojedinih faza sa X, Y, Z (za visokonaponske navoje) i sa x, y, z (za niskonaponske), a izlazi navoja transformatora sa A, B, C (za visokonaponske navoje) i a, b, c (za niskonaponske). Na slikama 7.9. šematski su prikazane neke veze navoja trofaznih transformatora.

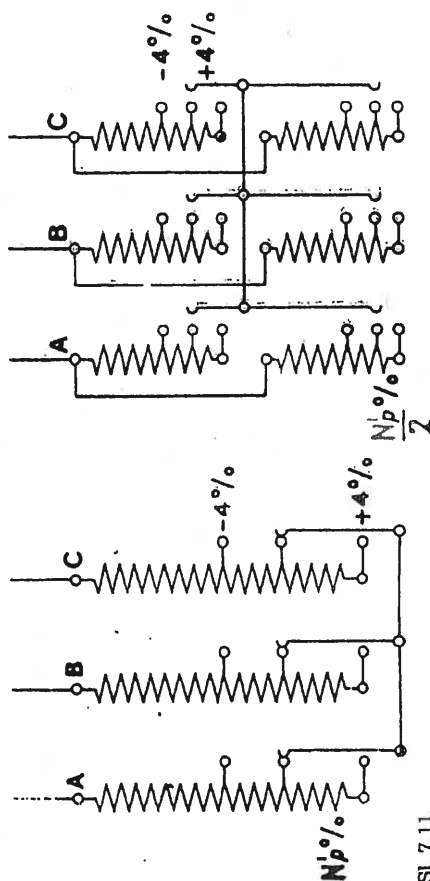
U električnom merenju se upotrebljavaju mernejednofazni i trofazni transformatori koji se

KONSTRUKTIVNI SASTAV I VRSTE

Asinhroni motor (sl. 7.13) sastoji se iz dva dela: statora (3) i rotora (4). Stator je u vidu gvozdenog šupljeg valjka, na čijem su unutrašnjem omotaču žlebovi, a u njima su postavljeni navoji (2) od izolovanih bakarnih provodnika koji se priključuju na dovod sa električne mreže (1,2). Rotor, u vidu gvozdenog valjka (4), smešten je u šupljinu statora, a sa svojim vratilom (17) oslanja se u dva nepokretna ležišta (13), postavljena u prednjem i zadnjem poklopcu (14) i (6). U žlebovima rotora (5), koji su postavljani duž rotorovog omotača, nalaze se navoji rotora (20), izrađeni od izolovanih bakarnih provodnika, čiji se krajevi dovode do tri međusobno izolovana mesingana prstena (9) na rotoru, koji „nose“ ugljene dirke (8). Umesto ovih navoja, u žlebove se smeštaju i provodni štapovi, koji se kratko spajaju metalnim obručima sa obe strane. Prema izgledu navoja rotora, asinhroni motori se stoga dele na one sa namotanin rotorom (ili sa prstenovima) i na one sa kratko spojenim rotorom (bez prstenova). Ožlebljeni delovi asinhronog motora, kako statora tako i rotora, izrađeni su od izlebljenih limova, međusobno izolovanih, koji su s jedne strane oslonjeni na venac (23) ili ogrlicu (19), a s prednje strane stegnuti su prstenom (14). Na vratilu rotora odnosno na oklopu statora limovi su pričvršćeni navlačenjem na vođice (18). Motor je smešten u oklopu (1) od livenog gvožđa, a spolja ima rebra radi povećanja površine hlađenja; ovaj oklop služi i kao držač dva poklopca (14 i 16) od livenog gvožđa, u kojima su ležišta rotora (13). Oklop nosi sa donje strane stope (27) pomoću kojih se motor učvršćuje na postolje. Na gornjem delu oklopa je prsten (28) kojim se motor prenosi. U oklopu je ventilator (16), utvrđen na vratilu, koji pomoću svojih peraja izaziva strujanje vazduha i tako odnosi toplotu sa površine motora.



• SL 7.13



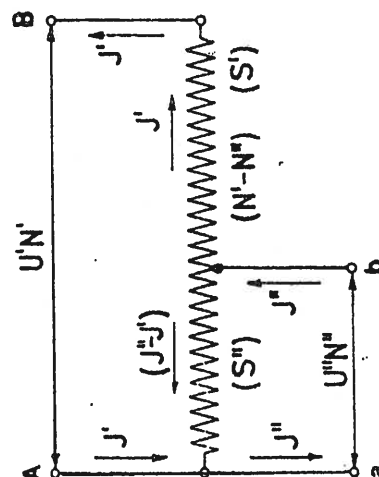
SL 7.11

primenjuju u merenju struje, napona, snage, energije itd., a poznati su pod nazivom strujni i naponski merni transformatori.

Regulacioni transformatori se upotrebljavaju u električnim postrojenjima i elektranama, a imaju izhode sa pojedinih delova navoja pomoću kojih može da se podešava vrednost napona (sl. 7.11).

Autotransformatori imaju na magnetnom jezgri samo jedan navoj (sl. 7.12): to je, u stvari, primar, sa primarnim brojem navoja N' , na koji se dovodi primarni napon U' . Jedan deo ovog navoja, sa N'' navojima, predstavlja sekundar, sa kojeg se odvodi sekundarni napon U'' . I ovde važi odnos transformacije $\frac{U'}{U''} = \frac{N'}{N''}$. Pošto je

sekundarna struja I'' uvek suprotnog smera od primarne I' , u zajedničkom delu navoja teče razlika ove dve struje ($I'' - I'$) u smeru struje I'' . Presek provodnika u zajedničkom delu navoja određuje se prema ovoj razlici struje, tj. presek je relativno mali, pa i gubici snage u ovim navojima. To znači: sa istim magnetnim kolom autotransformator ima veću snagu nego obični transformator. Nezgoda je što su navoji niskog i visokog napona u električnoj vezi, pa postoji opasnost da se visoki napon javi i u sekundaru. Upotrebljava se samo onda kada se primarni i sekundarni napon mnogo ne razlikuju, odnosno za fino podešavanje napona.



SL 7.12

Na oklopnu motora se nalazi čelična pločica sa osnovnim podacima o motoru, a to su: priključni napon, učestanost dovoda mreže, nominalna snaga motora (tj. njegova mehanička snaga), nominalna struja na dovodu, nominalna brzina obrtanja motora.

Zatvoreni motori upotrebljavaju se u prostorijama gde ima prašine i gasova, koji mogu da ošteće izolaciju. Motori otvorene izrade koriste se gde nema vlage, prašine i gasova. Poluotvoreni motori grade se sa takvim oklopom i poklopcima da voda koja kaplje ne može da uđe u motor.

PRINCIP RADA

Ako motor ima jedan par polova ($p = 1$), obrtni magnetni fluks (tj. polje) učini ceo krug za vreme jedne periode nazimenične struje. Ako motor ima dva para polova ($p = 2$), obrtno polje učini $1/2$ kruga za vreme jedne periode, a ako ima p pari polova, učini $1/p$ kruga za vreme jedne periode. Ako u jednoj sekundi nazimenična struja ima f perioda, onda će obrtno magnetno polje učiniti u jednoj sekundi $n_1 = \frac{f}{p}$ obrtaja, dok će broj obrtaja magnetnog polja u jednoj minuti biti $n' = 60 \frac{f}{p}$. Ova brzina obrtanja obrtnog magnetnog polja je stalna i naziva se sinhrona brzina. Za našu mrežu učestanosti ($f = 50$ Hz, ona iznosi kod dvopolne mašine $n' = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000$ obrtaja u minuti, kod četvoropolne $n' = 1500$ o/min, kod šestopolne $n' = 1000$ o/min, itd.

Obrtni magnetni fluks amplitude Φ_s menjaće se u jednom navoju statora tokom vremena t po harmoničnoj funkciji i u njemu će indukovati električnu silu $e' = - \frac{\Delta \Phi_s}{\Delta t} N$, koja vremenski zaostaje za fluksom, a isto tako je harmonična funkcija vremena. Indukovana električna sila može se grafički predstaviti sinusnom funkcijom vremena, e' . Prema Lencovom zakonu, indukovana električna sila u navoju primara je kontraelektromotorna, tj. suprotna po smeru od napona dovedenog primaru U' , i predstavlja glavno ograničenje protoku prekomerne struje kroz bakarni namotaj primara; njena efektivna vrednost je E' .

S obzirom na to što je kontraelektromotorna sila nešto manje vrednosti od napona mreže, u navoju primara pojavice se statorska struja I' .

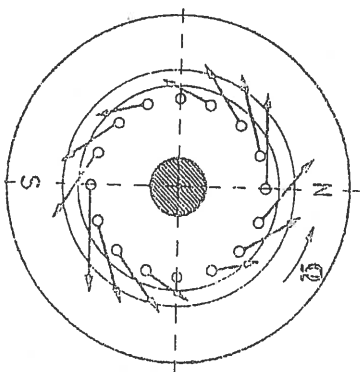
Pod dejstvom obrtnog magnetnog fluksa Φ_s i u navoju rotora indukovaće se električna sila E'' iz istog razloga kao u navoju statora, samo što ona nije kontraelektromotorna nego je jedna električna sila u rotoru, tj. ona je elektromotorna. Pod njenim dejstvom u rotoru se javlja rotorska struja I'' . Pošto se provodnici rotora sa strujom I'' nalaze u magnetnom polju B_s fluksa Φ_s , na njima se javlja dejstvo elektromagnetnih sila $F'' = B_s I'' l$, čiji se smer određuje pravilom tri prsta desne ruke (sl. 7.17). One su uzrok obrtanja rotora asinhronog motora ugaonom brzinom Ω u smeru obrtanja obrtnog magnetnog polja. Ako bi brzina obrtanja rotora Ω bila jednaka brzini obrtanja magnetnog polja Ω' , magnetno obrtno polje ne bi bilo presecało provodnik rotora. Tada se ne bi indukovala električna sila u provodnicima rotora E'' , te se ne bi pojavila ni struja rotora I'' . Stoga ne bi bilo ni elektromagnetne sile rotora $F'' = B_s I'' l$, pa ni obrtanja rotora. Dakle, brzina obrtanja rotora Ω mora da je

manja od brzine obrtanja magnetnog polja Ω' , a razlika ove dve brzine naziva se klizanje: $\Omega' = \Omega - \Omega$, pa je $\frac{2\pi n'}{60} = \frac{2\pi n}{60} - \frac{2\pi n}{60}$, tj. $n'' = n' - n$. Klizanje se obično izražava u procentima u odnosu na brzinu obrtanja obrtnog magnetnog polja: $s = \frac{n' - n}{n'}$, 100, i u praksi iznosi $4 \div 9\%$, tj. $0,04 \div 0,09$. Klizanje je najveće kad motor polazi, jer je tada $n = 0$, tj. $s = 1$.

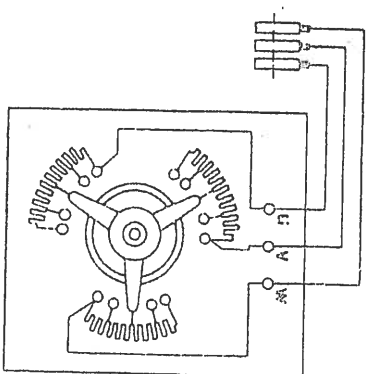
PUŠTANJE U RAD

Učestanost indukovane električne sile rotora E'' biće, prema izloženom, $f'' = \frac{pn''}{60} = \frac{p(\Omega' - n)}{60} = \frac{psn'}{60}$, $s = f''/f$, odnosno $f'' = sf'$. Može se zaključiti da je učestanost električne sile i struje rotora vrlo mala pri normalnom radu, jer je mala učestanost u rotoru. Učestanost rotora jednaka je učestanosti statora pri polasku motora, jer tada klizanje iznosi 1, pa je $f'' = f'$.

Pošto indukovana električna sila u navoju rotora nastaje iz istog razloga kao i indukovana električna sila u navoju statora, to je i priključ te električne sile isti kao kod statora: $I'' = N'' \Delta \Phi_s / \Delta t$. Pri polasku asinhronog motora, kada je učestanost električne sile najveća, odnosno jednaka statosvoj, $f'' = f'$, pa je klizanje s najveće ($s = 1$), indukovana električna sila navoja rotora je najveća E_0'' . Ona direktno zavisi od klizanja. Stoga se može napisati $E'' = s E_0''$. Dakle, pri normalnom radu indukovana električna sila rotora je s puta manja od one pri puštanju, tj. iznosi $0,04 \div 0,09$ vrednosti električne sile pri normalnom radu. Ovo znači da i struja rotora I'' pri radu iznosi $0,04 \div 0,09$ vrednosti struje rotora koja se javlja pri puštanju u rad motora. Prema tome, potrebno je ograničiti polaznu struju rotora koja je nekoliko puta veća od normalne radne struje rotora. Ova velika polazna struja rotora može se ograničiti ili smanjenjem vrednosti indukovane električne sile rotora E_0'' u trenutku puštanja ili vezivanjem otpora u kolo rotora R'' pri istoj vrednosti f'' .



Sl. 7.17



Sl. 7.18

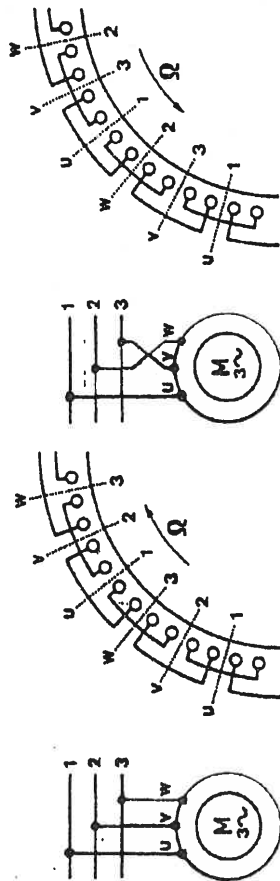
Puštanje u rad asinhronog motora sa namotanom rotorom i rotorskim prstenovima, do kojih su dovedeni krajevi rotorskog navoja tri faze, moguće je rotorskim otpornikom (sl. 7.18). To je trofazni otpornik vezan u zvezdu, sa izvodima i obrtnim pipcima za odabiranje delova odnosno izvoda otpornika. Ovakav otpornik vezuje se preko odgovarajućih priključnih zavrtnjeva na rotorske prstenove koji nose klizne četkice. Pri puštanju u rad motora, u kolo rotora se uključuju najveća vrednost rotorskog otpornika, pa se pri povećanju brzine rotora, odnosno pri smanjenju klizanja, smanjuje vrednost otpora onako kako se smanjuje indukovana električna sila u navoju rotora.

Smanjenje indukovane električne sile rotora E'' u trenucima puštanja motora u rad primenjuje se kod kratkospojnih asinhronih motora gde nije moguće vezivanje otpornika za puštanje u rad, u kolu rotora.

Mogućnost smanjenja indukovane električne sile u navoju rotora zasnovana je na tzv. transformatorskom ponašanju asinhronog motora. Obrtni magnetni fluks Φ_{ob} indukuje u satorovom navoju indukovanu električnu silu $E' = k' f' N' \Phi_{ob}$, a u navoju rotora pri njegovom polasku (ili kad je ukočen) električnu silu $E_0'' = k'' f' N'' \Phi_{ob}$.

Među ovim električnim silama postoji stalan odnos $m_e = \frac{E_0''}{E'} = \frac{k'' N''}{k' N'}$, koji odgovara odnosu broja navoja rotora N'' i statora N' (korigovan za odnos koeficijenta k''). Dakle, odnos električnih sila približno odgovara odnosu broja navoja rotora i statora, što je slično prenosnom odnosu transformatora. S druge strane, ovo znači da se promena napona satorovog navoja E' odražava u istom iznosu i na promenu vrednosti indukovane električne sile u rotoru.

Ako je potrebno da se pri polasku motora smanji vrednost struje rotora I'' smanjenjem indukovane električne sile rotora E_0'' , onda se, na osnovu transformatorskog ponašanja asinhronog motora, to postiže smanjenjem napona svakog faznog navoja statora ($E' = U$). U praksi, kod trofaznih navoja statora, vezanih pri normalnom radu u trougao, ovo se postiže njihovom vezom odnosno prevezivanjem u zvezdu u vreme polaska. Tada se na krajevima svakog faznog navoja smanjuje napon za $\sqrt{3}$ puta. Ovo puštanje se vrši prebacivačem zvezda — trougao.



Sl. 7.19

PROMENA SMERA OBRRTANJA

Promena smera obrtanja asinhronog motora postiže se izmenom veze dva statorska navoja sa dovodom električnog napona. Na slici 7.19a prikazani su fazni navoji označeni sa U, V, W, U, V, W, a faze trofaznog električnog izvora su označene prirodnim redom brojeva 1, 2, 3, 1, 2, 3. Kada su navoji U u spoju sa dovodom faze 1 (sl. 7.19a), navoji V sa 2, navoji W sa 3, amplituda obrtnog polja pomerena se iz ose u osu navoja u smeru 1, 2, 3, koji je na slici obeležen strelicom sa oznakom Ω . Ako se ukrste veze dva fazna navoja sa električnim dovodom (sl. 7.19b), tako što navoj V dođe u vezu sa dovodom faze 3, a navoj W sa fazom 2, amplituda obrtnog polja biće najpre kod faze U, zatim kod faze W, pa kod V. Polje će se obrtati u suprotnom smeru (1, 2, 3), označenom strelicom kod Ω (sl. 7.19b).

MOMENT MOTORA — UPOTREBA

Primljena električna snaga elektromotora $P_e = \sqrt{3} UI \cos \varphi$ najvećim delom se prenosi na rotor posredstvom obrtnog magnetnog polja brzine Ω' i momenta električnih sila M . Ta snaga je $P_{ob} = M\Omega'$. U elektromotoru postoje i gubici dovedene električne snage, i to: u gvožđu P_{Fe} u vidu gubitaka usled pojave vihornih struja i usled magnetnog histerezisa, i u bakarnom provodniku navoja P_{Cu} , prema Džulovom zakonu.

Gubici u gvožđu su $P_{Fe} = \eta f B^2$ i nezavisni od struje opterećenja. Pošto je učestanost rotora vrlo mala pri radu motora, glavni gubici energije u gvožđu javljaju se u statoru.

Preneta snaga obrtnim poljem na rotor je $P_{ob} = M\Omega'$, dok je mehanička snaga rotora koji se obrće brzinom Ω nešto manja i iznosi $P = M\Omega$. Razlika ove dve snage je $P'' = P_{ob} - P = M\Omega' - M\Omega = M(\Omega' - \Omega) = Ms\Omega' = sP_{ob}$, tj. $P'' = sP_{ob}$. Pošto su gubici u gvožđu rotora vrlo mali, ova razlika prenete snage na rotor i rotorove mehaničke snage koja se odaje može biti jednaka jedino gubicima u bakarnim provodnicima navoja rotora $P_{Cu} = 3R'' I''^2$. Dakle, biće $P'' = sM\Omega' = 3R'' I''^2$, odakle se nalazi

$$M = \frac{3 R'' I''^2}{s \Omega'}$$

REGULACIJA BROJA OBRRTAJA

Regulacija broja obrtaja asinhronog motora sa namotanom rotorom može se izvesti otpornikom R koji se veže u kolo rotorovih navoja, a vrednost njegovog otpora se reguliše. Ako je vratilo motora mehanički opterećeno momentom M , motor uzima iz mreže određenu struju, pri čemu je struja rotorovog kola I'' . Iz zavisnosti za moment $M = \frac{3 R'' I''^2}{s \Omega'}$, zaključujemo da se otporom kola rotora može menjati klizanje s za

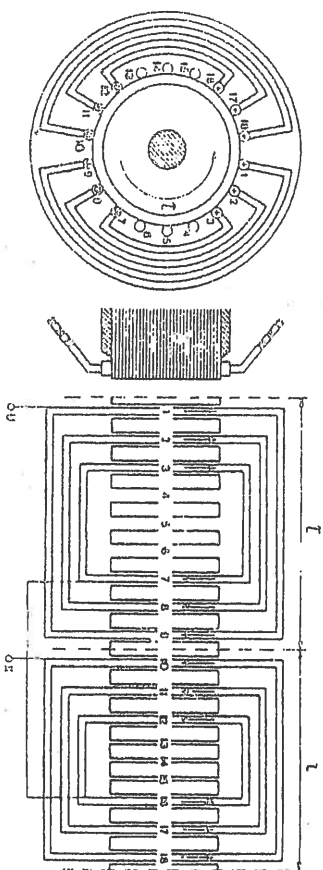
određene vrednosti vučnog momenta M i struje rotora I'' . Ako se poveća otpor kola rotora R'' , toliko isto se povećava klizanje s odnosno smanjuje broj obrtaja rotora n .

Dakle, promenom otpora kola rotora asinhronog motora srazmerno se menja broj obrtaja rotora.

Upotreba asinhronih motora proizlazi iz njegovih radnih karakteristika i odlika: kratkospojni asinhroni motor ima navoje samo na statoru, a rotor je jednostavne konstrukcije, bez navoja, bez kolektora i četkica. Prema tome, konstrukcija mu je jednostavna i lako se održava. Stoga se kratkospojni asinhroni motor masovno upotrebljava, i to naročito kod mašina i uređaja gde nema veće automatike i regulacije. Asinhroni motor sa namotanom rotorom ima veće mogućnosti za regulaciju brzine, pa se koristi za kransku i dizalicu vuču, i sl.

JEDNOFAZNI ASINHRONI MOTOR

Stator jednofaznog asinhronog motora ima jednofazni navoj, a rotor trofazni navoj kod većih motora, odnosno kratkospojni kod manjih motora. Jednofazni navoj statora izrađuje se na isti način kao i trofazni. Na slici 7.20. predstavljen je jednofazni dvopolni navoj sa 18 zlebova, od kojih je iskorišćeno 12, odnosno $2/3$ ukupnog broja zlebova. Magneto polje B_m , koje stvara struja I_m prolazeći kroz navoj statora, nije obrtno već je statičko i pulzirajuće: ono duž ose menja jačinu i smer tokom vremena. Naučnik Leblan je dokazao svoju teoriju, po kojoj ovakvo pulzirajuće magneto polje može da se raslaži na dve, upola manje jačine, $\frac{B_m}{2}$, koja se obrće sinhronom brzinom raznim smerovima: njihov zbir u svakom trenutku daje vrednost pulzirajućeg magnetnog polja.



Sl. 7.20

Pulzirajući magnetni fluks Φ_m indukuje u navojima rotora električnu silu koja u kolu rotora stvara struju i'' . Magneto polje koje se obrće u jednom smeru stvara elektromagnetnu silu $F = \frac{B_m}{2} l i''$ u jednom smeru. Magneto polje koje se obrće u suprotnom smeru stvara elektromagnetnu silu takođe suprotnog smera. Posledica je da rotor motora stoji. Ako se rotoru, spoljnom mehaničkom silom, pomogne da krene u smeru jednog obrtnog polja, nastaviće da se obrće kao motor koji ima jedno obrtno polje i svoju indukovanu električnu silu rotora E'' , učestanosti $f'' = sf$. Tada će drugo obrtno polje koje se obrće suprotnim smerom indukovati u navojima istog rotora

drugu električnu silu E''_{in} (tzv. inverznu), vrlo velike učestanosti $f''_{in} = (2 - s)f'$, jer je klizanje veliko i iznosi $2 - s$. Ova električna sila E''_{in} kasni za 90 električnih stepeni iza ovog drugog obrtnog polja. Pošto je induktivni otpor $X''_{in} = \omega'' L = 2\pi f''_{in} L = 2\pi(2 - s)f' L$ vrlo velik zbog velike učestanosti f''_{in} , struja I''_{in} , koja potiče od ovog drugog obrtnog polja, zaostaje za sledećih 90 električnih stepeni. To znači da će struja I''_{in} zaostajati za 180 električnih stepeni od drugog obrtnog polja. Magneto polje koje stvori struja I''_{in} takođe će biti u opoziciji onom drugom obrtnom polju, pa će ga skoro i poništiti. Stoga se praktično oseća dejstvo samo prvog obrtnog polja: motor se ponaša kao da postoji samo ovo polje, pa će stoga da se okreće samo tim smerom, proizvodeći moment koji je malo umanjen dejstvom drugog polja.

Jednofazni asinhroni motori obično se izrađuju kao mali i sitni motori za uređaje koji se priključuju za jednofazne instalacije. Ovde spadaju i motori za neke uređaje u domaćinstvu.

SINHRONE MAŠINE

KONSTRUKTIVNI SASTAV

Sinhronne mašine imaju stator i rotor. Stator je po konstrukciji sličan statoru asinhronne mašine. On ima šuplji valjkast oklop u koji su utisnuti statorski limovi, koji sa svoje unutrašnje strane grade zlebove. U njima su smešteni trofazni navoji, izrađeni po istim principima kao kod asinhronih motora. Postoje dve osnovne konstrukcije rotora sinhronih mašina: sa isturenim i sa neisturenim polovima. Rotori sa isturenim polovima izrađeni su od punog gvoždenog materijala u vidu šupljeg valjka, kroz koji je provučeno i pričvršćeno vratilo. Po spoljnom omotaču valjka pričvršćeni su istureni gvožđeni magnetni polovi sa magnetnim nastavcima, napravljeni od svežnja limova. Namotaj im je koncentrisan i nalazi se oko polova. Rotor sa neisturenim polovima izrađen je od limova, koji su navučeni i pričvršćeni za vratilo. Oni grade zlebove na spoljnjem omotaču rotorskog valjka u koje se postavlja navoj, koji (kao i kod jednofaznih asinhronih motora) zaprema $2/3$ zlebova valjka i namotava se na isti način. Sporobodne sinhronne mašine imaju rotore sa isturenim polovima (sl. 7.22) i primenjuju se kao alternatori za hidroturbine; brzobodne sinhronne mašine imaju rotore sa neisturenim magnetnim polovima, a primenjuju se kao turbogeneratori uz parne turbine.

Sinhronne mašine su inverzne mašine, tj. mogu da se upotrebe i kao sinhroni generatori za pretvaranje mehaničke energije u električnu, a mogu da se koriste i kao sinhroni motori za pretvaranje primljene električne energije naznačene struje u mehaničku energiju. Upotrebljene kao sinhroni generatori, one mogu da imaju ili horizontalno vratilo (najčešće kod turbogeneratorskih ili vertikalno postavljeno vratilo, (najčešće kod alternatora za hidroturbine).

PRINCIP RADA

Sinhrona mašina, s obzirom na rad, predstavlja poseban slučaj asinhronne mašine. Rotor asinhronne mašine zaostaje brzinom obrtanja iza sinhronne brzine obrtnog magnetnog polja, a frekvencija indukovane električne sile rotora ima utoliko veću frekvenciju ukoliko je razlika ove dve brzine manja. Ako se razlika ovih brzina

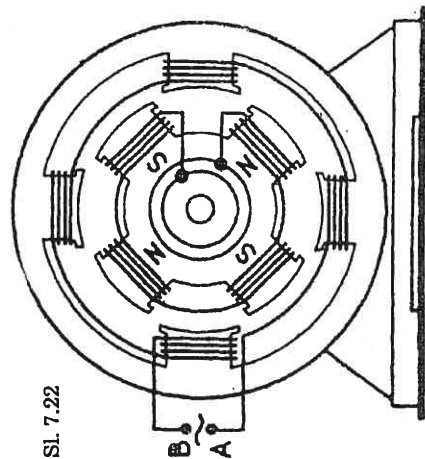
svede na nulu, pa se rotor obrće sinhronom brzinom, struja u navoju rotora imaće frekvenciju jednaku nuli, tj. struja je jednosmerna. Trofazna struja navoja statora formira obrtno magnetno polje, a rotor sa navojem kroz koji teče jednosmerna struja stvara stojeće magnetno polje, a rotor sa navojem kroz koji teče jednosmerna struja stvara stojeće magnetno polje. Međutim, obrtno polje proizvodi se obrtanjem rotora odnosno stojećeg magnetnog polja, pa se na taj način mehanički stvara obrtno magnetno polje rotora.

Rotor sinhronog generatora čiji su polovi napajani jednosmernom strujom pokreće turbina ili dizel-motor. Ovakvo obrtno polje indukuje u trofaznim navojima statora električnu silu kao kod asinhronih motora, $E' = f'kN\Phi_1$. Frekvencija u statoru je stalna, $f' = \frac{pn'}{60}$, i u našoj mreži iznosi 50 Hz, jer pogonska mašina obrće rotor istom sinhronom brzinom n' . Stator sinhronog generatora odaje struju pod dejstvom indukovane električne sile E' , a ona zavisi od prirode prijemnika priključenih na priključke navoja statora. Pošto u navoju statora nastaje induktivni i omski pad napona, na izlaznim priključcima statorovog navoja postoji napon U nešto manji od indukovane električne sile statorovih namotaja E' . Struja koju uzimaju prijemnici u fazi je sa ovim naponom kada su priključeni termički prijemnici. Ona nešto fazno zaostaje za ovim naponom kada su priključeni motori, jer oni, osim aktivne komponente struje, uzimaju i reaktivnu komponentu. Jasno je da će takva struja fazno da zaostaje iza indukovane električne sile.

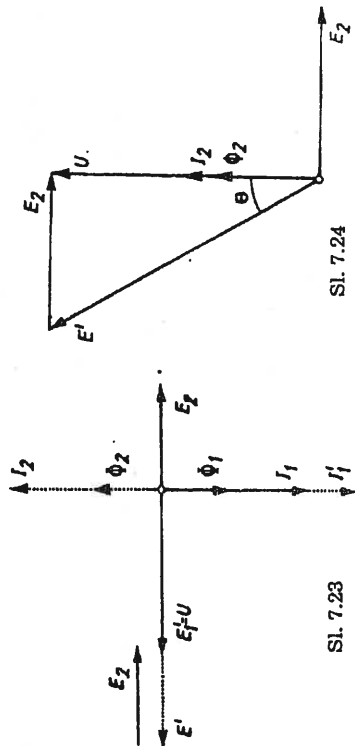
KARAKTERISTIKE GENERATORA

Induktivna struja opterećenja I_2 koja teče kroz navoj statora (sl. 7.23) proizvodi svoj obrtni magnetni fluks Φ_2 , koji dejstvuje, prema Lencovom zakonu, nasuprot magnetnog fluksa koji stvaraju obrtni magnetni polovi rotora Φ_1 . Magnetni fluks Φ_2 , koji stvara struja opterećenja statora I_2 , indukuje u navoju statora električnu silu E_2 , koja — po Lencovom zakonu — dejstvuje u smislu smanjenja električne sile E' , indukovane magnetnim poljem obrtnih polova rotora (sl. 7.23). Posledica ovoga je da se smanjuje napon na priključcima krajeva navoja na statoru, $U = E' - E_2$. Kapacitivna struja opterećenja navoja statora, suprotno induktivnoj, prouzrokuje povećanje napona na priključnim krajevima navoja na statoru.

Aktivna struja I_2 , koju uzimaju termički prijemnici, u fazi je sa naponom U na priključcima navoja statora (sl. 7.24). Pri praznom hodu, kada je struja $I_2 = 0$, napon U na priključcima navoja statora jednak je samoj indukovanoj električnoj sili E' , koju u



Sl. 7.22



Sl. 7.23

Sl. 7.24

Ako generator radi paralelno sa mrežom stabilnog napona U , ovaj napon mreže teško će moći da se menja pri raznim opterećenjima. Pošto se pri opterećivanju generatora nije menjala jednosmerna struja navoja polova rotora, nije se menjala ni indukovana električna sila E' u navoju statora. Međutim, pojavila se indukovana kontraelektromotorna sila u navoju statora E_2 , proizvedena magnetnim fluksom Φ_2 aktivne struje I_2 opterećenja statora. Pri nepromenjenoj vrednosti stabilnog napona mreže U i nepromenjenoj električnoj sili E' , indukovanoj magnetnim fluksom obrtnih polova rotora, indukovana kontraelektromotorna sila E_2 može da utiče samo na promenu faznosti θ električne sile E' , u odnosu na stabilan napon U generatora i mreže (sl. 7.24). Znači, u procesu indukovanja obrtnim magnetnim polovima, koji se obrću stalnom sinhronom brzinom, moraće da dođe do vremenskog prednjačenja ove električne sile. Ovo je moguće samo onda ako pogonska mašina, dodatnim, energijskim punjenjem (na primer, turbina vodom ili parom), ubrza u intervalu vremena t pokretanje obrtnih magnetnih polova rotora za ugao θ . Zatim rotor nastavlja da se okreće sinhronom brzinom. Pojava ugla zakretanja rotora θ je merilo aktivne električne snage koju odaje generator u mrežu.

Sinhroni generatori sa istaknutim polovima ili sa navojima pobude smeštenim u žlebovima jesu glavne mašine u elektranama pomoću kojih se iz mehaničke energije turbine (vođe ili pare) dobija električna energija u obliku naizmenične struje.

KARAKTERISTIKE SINHRONOG MOTORA

Ako sinhroni generator, pokretan nekom pogonskom mašinom npr. turbinom radi paralelno sa drugim generatorima, ugao zakretanja θ njegovog rotora je merilo odavanja aktivne struje i snage prijemnicima priključenim na mrežu. Kada se generator rastereti odavanja aktivne struje, i snage u mrežu, smanjuje se ugao zakretanja (tj. prednjačenja) rotora θ , a indukovana električna sila u navoju statora

E' , koja je nastala obrtanjem magnetnih polova rotora, podudarice se, odnosno bide u fazi sa naponom mreže U . Ako se potpuno isključi pogonska mašina za pokretanje sinhronne mašine, energija potrebna za savlađivanje trenja kretanja rotora dobijaće se iz mreže. Rotor zaostane za ugao θ u suprotnom smeru od onog kada je mašina radila kao sinhroni generator. Indukovana električna sila E' u navoji statora takođe će zaostati za naponom mreže. Taj ugao θ je merio mehaničkog opterećenja rotora ove sinhronne mašine koja radi kao motor. Ako se rotor sinhronog motora više mehanički optereći, zaostaje prema sinhronom broju obrtaja za nešto veći ugao θ .

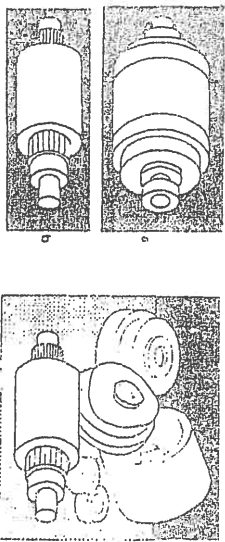
Iz ovog razmatranja rada sinhronne mašine kao motora vidi se da je potrebno da rotor motora dostigne sinhroni broj obrtaja pre nego što se mehanički optereći i počne da radi kao motor. Stoga se sinhrona mašina pušta u rad posredstvom neke druge mašine koja treba da ubrza rotor sa magnetnim polovima do sinhronne brzine. Tada indukovana električna sila E' u navojima statora dostiže vrednost napona mreže U , kao i njegovu frekvenciju, pa se onda može priključiti na napon mreže U . Statori nekih sinhronih motora mogu odmah da se uključe na napon mreže, čime se omogućuje stvaranje obrtnog magnetnog polja statora. Ovi motori imaju na rotoru još i kratkospojne spроводнике u obliku „veveričnog kaveza“ kao kod kratkospojnog asinhronog motora. Stoga ovaj motor kreće kao asinhroni motor sa kratkospojnim rotorom. Kada rotor dostigne približno sinhroni broj obrtaja, puši se jednosmerna struja u navoje magnetnih polova rotora, i od tog trenutka motor nastavlja rad kao sinhroni.

Sinhroni motori najčešće se upotrebljavaju za pokretanje mašina i uređaja koje treba okretati istom brzinom pri raznim opterećenjima (npr., kompresori, pumpe, itd.).

GENERATORI JEDNOSMERNE STRUJE

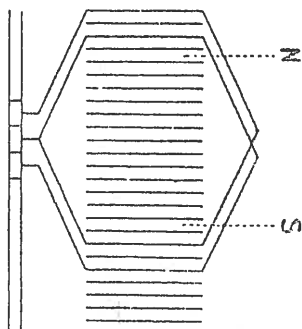
KONSTRUKTIVNI SASTAV

Generatori i motori jednosmerne struje (sl. 7.25) imaju, u suštini, isti konstruktivni sastav. To su reverzibilne mašine, tj. generatori jednosmerne struje mogu se upotrebiti kao motori, i obratno. Mašine jednosmerne struje imaju na statoru magnetno kolo od gvožđa u obliku šupljeg valjka. Na magnetnom kolu su pričvršćeni magnetni polovi, izrađeni od punog gvožđa, a na njihovim krajevima su nastanci polova, napravljeni od snopova magnetnih limova. Oko polova su navoji sa N navojaka kroz koje se propušta jednosmerna struja J . Ovi amper-navoji NJ zavise od magnetnog otpora θ_m , stvaraju, prema Kap-Hopkinsonovom zakonu, magnet-



Sl. 7.25

kinsonovom zakonu, magnet-



Sl. 7.26

sast navoj (sl. 7.27) izrađuje se tako što se na red vežu navoji delovi koji se nalaze na istim mestima svih parova polova mašine, pa zatim na svim ostalim uzastopno susjednim mestima. Svaki navojni deo vezan je sa po jednim delom (lamelom) kolektora.

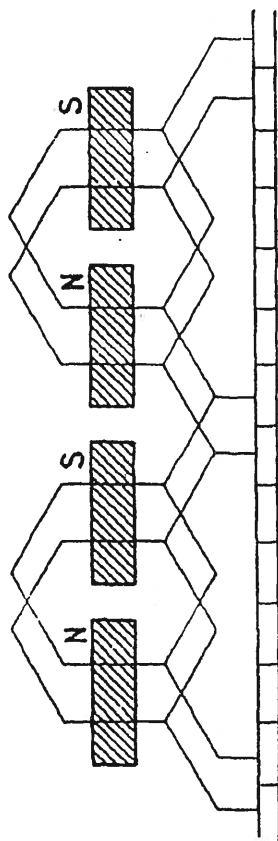
Kolektor je šuplj valjkast deo, izrađen od mesinganih delova (lamela), uglaavljen na posebno izrađen valjkast gvozdeni deo koji je pričvršćen na vratilo motora. Svaka lamela je izolovana od susjednih provodnih delova, kao i od susjednih lamela.

PRINCIP RADA

Princip rada kolektora mašine za jednosmernu struju, kao i same mašine, može vrlo lako da se objasni na jednoj vrsti dvopolne mašine, čiji su navoji rotora namotani na prstenu rotora koji ima oblik šupljeg valjka (sl. 7.28). Ako se rotor okreće brzinom u naznačenim smerom između polova N — S , odnosno u magnetnom polju B prikažanom na slici, u provodnicima navojaka, dužine l , indukovace se električna sila $e = l\omega B$ čiji je smer određen pravilom tri prsta leve ruke. Može se zaključiti da će električne sile svih provodnika koji se nalaze pod jednim polom imati isti smer, a pod drugim — smer suprotan prvom. Isto tako, vidi se da se sve električne sile istog smera pod jednim polom sabiraju. Njihova zbirna vrednost može se utvrditi na tzv. četkicama (izrađenim od grafitne posebene vrste) koje naležu na lamelu kolektora, a označene su sa $+$ i $-$. Ova električna sila imaće najveću vrednost ako su četkice postavljene na srednjoj liniji između dva pola, u tzv. neutralnoj osi. Zbirna vrednost električne sile indukovane u delu navoja pod jednim polom imaće jedan smer, a pod drugim polom drugi smer. Stoga će zbir ukupne električne sile jedne i druge polovine navoja pod parom polova biti jednak nuli unutar tog navoja kao celine. Međutim, te dve električne sile indukovane u dve polovine navoja pod parom polova stoje u opoziciji u odnosu na četkice. Ovo znači da te dve električne sile deluju paralelno u odnosu na neki prijemnik koji se veže paralelno na četkice. Može se zaključiti da se struja, koju uzima neki prijemnik vezan za napon četkica, deli pod parom polova mašina u dva dela, koji teku u dve paralelne grane navoja mašine.

ni fluks $\Phi = \frac{NI}{\theta_m}$. Rotor se sastoji iz snopova

magnetnih limova koji su sa unutrašnje strane pričvršćeni na njegovu osovinu, a sa spoljne su izlebljeni. U žlebovima rotora, koji su paralelni njegovom vratilu, smešteni su navoji mašine za jednosmernu struju. Širina jednog navojaka približno je jednaka delu obima rotora koji je izložen dejstvu jednog pola statora, tj. širina navojka približno ima širinu polnog koraka rotora. Rotorski navojni delovi međusobno se vezuju na dva osnovna načina, gradeći omčast ili talasast navoj. Omčast navoj (sl. 7.26) pravi se tako što se na red povežu navojni delovi koji se nalaze na uzastopno susjednim mestima jednog para polova, pa zatim sledećeg para. Talasast navoj (sl. 7.27) pravi se tako što se na red povežu navojni delovi koji se nalaze na uzastopno susjednim mestima jednog para polova, pa zatim sledećeg para. Talasast navoj (sl. 7.27) pravi se tako što se na red povežu navojni delovi koji se nalaze na uzastopno susjednim mestima jednog para polova, pa zatim sledećeg para. Talasast navoj (sl. 7.27) pravi se tako što se na red povežu navojni delovi koji se nalaze na uzastopno susjednim mestima jednog para polova, pa zatim sledećeg para.



Sl. 7.27

U navojku koji se nalazi u neutralnoj osi magnetni fluks ima najveću vrednost pa je, prema Lencovom zakonu, indukovana električna sila u njemu jednaka nuli. Međutim, u navojku koji se nalazi ispod sredine pola magnetni fluks je jednak nuli, pa je stoga, po Lencovom zakonu, indukovana električna sila maksimalne vrednosti. Ako se posmatra kretanje jednog istog navoja od trenutka kad se nalazi u neutralnoj zoni, pa dok ponovo ne dođe u neutralnu zonu posle prolaska ispod ose pola, vidi se da se vrednost električne sile indukovane u njemu menja, počevši od nule pa preko maksimalne vrednosti ponovo do nule. Dakle, indukovana električna sila i struja u navojima mašine za jednosmernu struju su naizmenične prirode. Upravo kolektor struje su naizmenične prirode. Izvede u spoljno električno kolo prijemnika jednosmerne struje izvede u spoljno električno kolo prijemnika jednosmerni napon i struju.

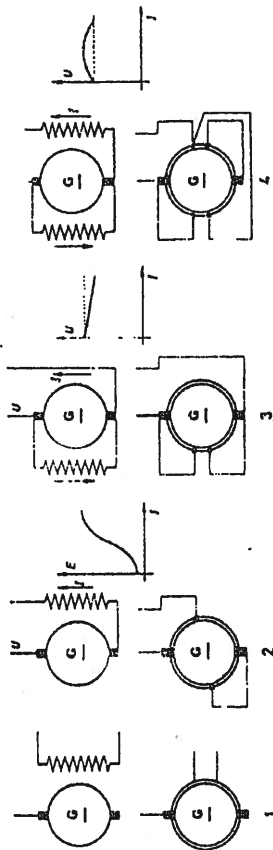
Ovo se postiže i tako što se četkice na kolektoru stalno drže na istom položaju u neutralnoj osi. One uvek primaju najveću vrednost zbirne električne sile navoja koji se u datom trenutku okretanja rotora nalazi ispod pola. Ako se kod generatora jednosmerne struje zakrenu četkice u smeru obrtanja rotora, u polovini navoja mašine koja daje četkicama zbirnu vrednost električne sile nalaze se i navojci koji su pod drugim magnetnim polom, pa imaju električne sile suprotnog smera. Stoga se smanjuje zbirna vrednost električne sile polovine navoja. Ako se četkice mašine ne pričvrste na određeno mesto u odnosu na kolektor, već se električki vežu za dva određena mesta na navoju rotora, one se tada obrću sa njim. Naležuci na dva mesingana prstena, dobro izolovana od gvozdena mase, među prstenovima se dobija naizmenična jednofazna električna sila, tj. mašina postaje jednofazni generator naizmenične struje.

Pošto je brzina rotora u proporcionalna broju okretanja n , a jačina magnetnog polja B magnetnom fluksu Φ , indukovana električna sila koja se oseća na četkicama mašine ($e = lwB$), može se prikazati kao $E = k n \Phi$, gde je k — konstanta zavisna od

konstruktivnih podataka mašine. Pošto je napon U , koji generator ođaje u mrežu preko četkica, približno jednak indukovanoj električnoj sili, njegova vrednost je zavisna od broja obrtaja i od magnetnog fluksa polova. Kod generatora jednosmerne struje opterećenog strujom prijemnika I napon se razlikuje od indukovane električne sile za vrednost pada napona pri prolasku struje I kroz otpor navoja rotora R , tj. $U = E - RI$.

VRSTE I KARAKTERISTIKE GENERATORA JEDNOSMERNE STRUJE

Prema načinu stvaranja magnetnog fluksa Φ u polovina statora, generatori jednosmerne struje dele se na četiri vrste. Pri tome se uglavnom ima u vidu način dobijanja struje kroz navoje smeštene oko polova statora, odnosno način dobijanja tzv. pobudne struje J (sl. 7.29).



Sl. 7.29

Generatori sa nezavisnom pobudom dobijaju pobudnu struju J iz nezavisnog izvora jednosmerne struje (sl. 7.29.1). Generatori sa paralelnom, ili otočnom pobudom imaju paralelno vezane pobudne navoje sa četkicama rotora (3), tj. sa navojem rotora odnosno sa naponom generatora U . Pobudna struja zavisi od napona U i vrednosti otpora R' u kolu pobude. Navoji su tanki i imaju velik broj navoja, da bi otpor navoja pobude bio veći, te da bi mogao da se veže za veće vrednosti napona U . Otpornikom R' u kolu pobudnog navoja statora može da se smanjuje pobudna struja J , pa sa njom i magnetni fluks Φ . Na taj način se, prema jednačini $U = E - EI = kn\Phi - RI$, menja izlazni napon U na četkicama.

Ako pokretačka mašina (na primer, dizel-motor) pokreće rotor otočnog generatora stalnim brojem obrtaja n , a pobudna struja J održava se na istoj vrednosti, pa sa njome i fluks Φ , indukovana električna sila u navoju rotora E ima stalnu vrednost. Napon na četkicama rotora $U = E - RI$ imaće sve manju vrednost ukoliko je veća jačina struje opterećenja I koju uzimaju prijemnici. Zavisnost $U = f(I)$, koja se naziva karakteristika opterećenja, prikazana je na slici 7.29.3. Ovi generatori se često primenjuju kao veći izvori jednosmerne struje, a upotrebljavaju se i kao izvori jednosmerne struje na vozilima (dinamo).

Generatori sa rednom pobudom (sl. 7.29.2) imaju navoj polova redno vezan sa navojem rotora. Pošto kroz ovakve navoje polova prolazi cela struja opterećenja prijemnika I , oni se izražavaju od debljih provodnika. Tada je, prema Kap-Hopkinsovom zakonu $\Phi = \frac{NI}{\Theta_m}$, za stvaranje potrebnog magnetnog fluksa Φ dovoljan mali broj

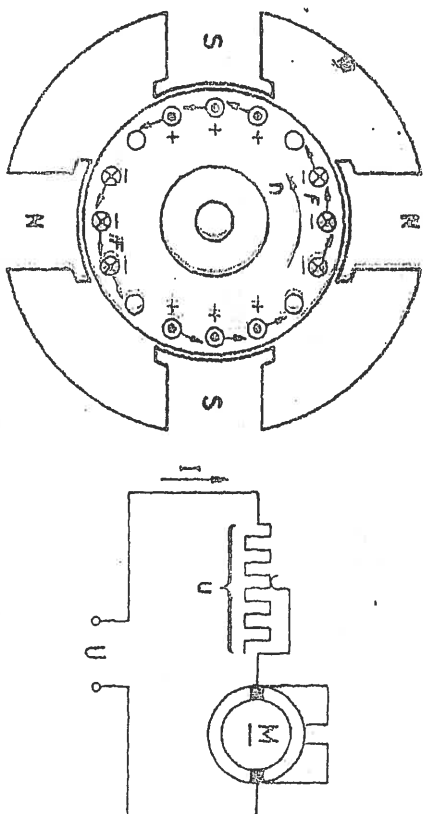
navojaka N . Kada generator pokreće pogonska mašina stalnim brojem obrtaja n , indukovanj električna sila $E = kn \Phi$ u navojima rotora nema pri svim strujama opterećenja I istu vrednost. Razlog ovome je što fluks ovakve mašine zavisi od struje opterećenja I , koja ovde ima ulogu i pobudne struje, tj. $I = J$. Kada je mašina neopterećena ($I = 0$), fluks Φ je vrlo mali, jer ima vrednost zaostalog magnetizma u gvozdu. Ukoliko je struja opterećenja I veća, utoliko je veći i magnetni fluks Φ , pa i indukovanj električna sila. Porast električne sile usled struje opterećenja I , pa prema tome i promena karakteristike $U = f(E)$, odvija se po zakonitosti zasićenja gvozda, tj. po funkciji magnetčenja I . Pošto je napon ovog generatora vrlo promenljiv pri promeni struje opterećenja I , a prijemnici se izražuju za jedan određen napon mreže, ovakav generator je skoro neupotrebljiv u praksi.

Generator sa složenom pobudom (sl. 7.27.4) ima oko magnetnih polova dve vrste navoja: veći broj tanjih navoja, vezanih paralelno sa navojem rotora (obložna pobuda) i manji broj debljih navoja, vezanih redno sa navojem rotora (redna pobuda). Smer struje opterećenja I kroz redno vezane navoje podesi se tako da ona pojačava magnetni fluks polova Φ , pa i indukovanj električnu silu E . Ovakav način podešavanja je struje radnih navoja polova značajan je kada se povećava struja opterećenja I , kada dođe do tendencije porasta pada napona $R I$ u navojima rotora. Iz zavisnosti $U = E - R I$ vidi se da povećanje vrednosti električne sile E i pada napona obezbeđuje da se napon na četkicama U skoro ne promeni. Karakteristika $U = f(I)$ generatora složene pobude prikazana je na slici 7.29.4. Ovi generatori se u praksi vrlo često upotrebljavaju.

MOTORI JEDNOSMERNE STRUJE

PRINCIP RADA

Motori jednosmerne struje imaju istu konstrukciju kao generatori jednosmerne struje: motor i generator jednosmerne struje su reverzibilne mašine, tj. ista mašina se može upotrebiti i kao motor i kao generator. Motor jednosmerne struje mora da se priključi na izvor struje potrebnog napona U , koji obično daje neka električna mreža odnosno instalacija jednosmerne struje. Jednosmerna struja prolazi kroz navoje rotora motora, to je struja opterećenja I . Isto tako, prolazi i jednosmerna struja pobude J , koja napaja navoje polova statora motora i stvara magnetni fluks Φ polova. Kada provodnicima navoja rotora l prolazi struja opterećenja I , a oni se nalaze u magnetnom polju jačine B , na provodnike deluje elektromagnetna sila $F = B I l$, čiji se smer određuje pravilom tri prsta desne ruke. Prema smerovima struje I i magnetnog polja B na slici 7.30, smer sile je određen i označen onako kako je prikazano na pomenutoj slici. Može se konstatovati da elektromagnetne sile F na provodnicima rotora ispod jednog pola, gde struja ima jedan smer, elektromagnetne sile F imaju



Sl. 7.30

Sl. 7.31

smer suprotan od onog prvog. Svaki par sila na provodnicima, na odstojanju a , gradi obrtni moment motora čija je ukupna vrednost $M = Fa$ (gde je $F = \Sigma F_i$). Obrtni moment motora $M = Fa = B I l a$ može se prikazati kao $M = C \Phi I$, s obzirom na to što je jačina magnetnog polja B proporcionalna magnetnom fluksu ($\Phi = B S_p$), pri čemu je C konstanta motora koja zavisi od konstrukcije motora (dužine navoja, površine polova, itd.). Pod dejstvom obrtnog momenta, rotor motora se okreće brzinom obrtaja n , savlađujući mehaničko opterećenje na svom vratilu.

Kada se motor okreće brojem obrtaja n u smeru obrtnog momenta M , u provodnicima navoja rotora l , koji se okreću istom takvom brzinom u magnetnom polju jačine B , indukuje se kao kod generatora električne sile $E = l v B$ odnosno $E = k n \Phi$. Njen smer se određuje pravilom tri prsta leve ruke, označen oznakama + i - van kružica na slici 7.30. Vidi se da indukovanj električna sila u svakoj polovini navoja rotora ima smer suprotan smeru struje opterećenja, prikazanom unutar kružica koji označavaju provodnike rotora. Dakle, indukovanj električna sila je kontraelektromotorna i suprotstavljena se naponu mreže U , ali do te mere koja omogućava prolazak struje opterećenja I kroz navoje rotora otporom R . Stoga će naponska jednačina za rotorsko kolo biti: $U = E + R I$ odnosno $U = k n \Phi + R I$.

Ako se iz druge zavisnosti nađe n , dobije se izraz $n = \frac{U - R I}{k \Phi}$. Ovaj izraz, kao i izraz za moment motora $M = C \Phi I$, daje objašnjenje karakteristike rada motora jednosmerne struje: za određeno mehaničko opterećenje na rotoru motora M koje motor treba da savlada, iz zavisnosti za vučni moment motora $M = c \Phi I$, proizlazi da će motor uzimati određenu struju opterećenja I (pri određenom magnetnom fluksu Φ). Iz zavisnosti $n = \frac{U - R I}{k \Phi}$ sledi da za određeno opterećenje I (odnosno M) i određeni magnetni fluks Φ , broj obrtaja n zavisi upravo od napona U , i to tako da će se pri manjoj vrednosti dovedenog napona dobiti manji broj obrtaja motora.

Regulacija brzine motora za jednosmernu struju može se obaviti na osnovu sledećeg razmišljanja:

Jedan od načina da se smanji dovedeni napon na motor, a sa njim i broj obrtaja, jeste da se pri određenom opterećenju I stavi ispred motora predotpor R_0 (sl. 7.32). Kad struja I , koja kod motora zavisi jedino od mehaničkog opterećenja rotora M , prođe kroz predotpor R_0 , izaziva pad napona kroz predotpor u , te na priključke navoja stigne za toliko umanjen napon mreže. Ovo prouzrokuje smanjenje brzine motora. Iz zavisnosti brzine $n = \frac{U - RI}{k\Phi}$ vidi se da se za određeno opterećenje I (odnosno mehaničko opterećenje M na vratilu motora) i za određen napon mreže U broj obrtaja n može povećati i smanjenjem vrednosti magnetnog fluksa Φ , odnosno smanjenjem pobudne struje J . Pošto se upravo prema načinu dobijanja pobudne struje J motori dele na razne vrste, promena brzine motora promenom pobudne struje vrši se na razne načine, prema vrsti motora.

VRSTE MOTORA I NJIHOVE KARAKTERISTIKE

Kao i generatori jednosmerne struje, tako se i motori jednosmerne struje dele prema načinu stvaranja struje kroz pobudne navoje polova motora: na motore sa nezavisnom, otočnom, rednom i složenom pobudom. Motori sa nezavisnom pobudom dobijaju pobudnu struju iz nezavisnog izvora, pa je stoga tokom rada bez regulacije brzina njihov magnetni fluks nepromenljiv ($\Phi = \text{const.}$). Povećanjem momenta opterećenja, motor uzima veću struju opterećenja ($M = C\Phi I = C_0 I$). Povećanjem struje opterećenja malo se smanjuje broj obrtaja motora n zbog pada napona kroz navoje rotora RI , tj. tada je $n = \frac{U - RI}{k\Phi}$. Ove karakteristike motora sa nezavisnom pobudom prikazane su na slici 7.32.a.

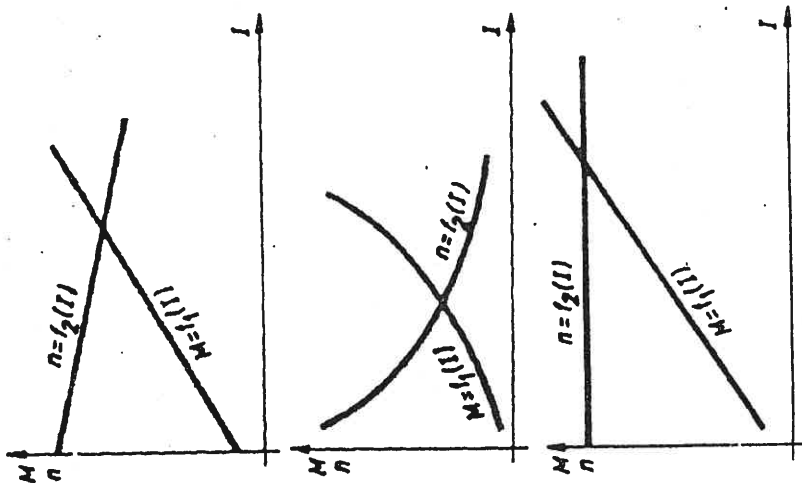
Motori sa otočnom pobudom dobijaju pobudnu struju navoja polova J iz mreže, pošto je njihov pobudni navoj polova paralelno vezan za napon mreže U , kao i navoj rotora. Pošto se pobudna struja vrlo malo menja pri raznim strujama opterećenja I , tj. pošto je $\Phi = \text{const.}$, zavisnost struje opterećenja I od momenta opterećenja $M = f_1(I)$, kao i zavisnost brzine od struje opterećenja $n = f_2(I)$ kod ovog motora su skoro iste kao kod motora sa nezavisnom pobudom (sl. 7.32.a). Kod ovih motora se brzina lako reguliše promenom magnetnog fluksa, tj. pobudne struje J , pa se upotrebljava u industriji kod savremenih mašina, gde se zahteva regulacija brzine tokom rada.

Motori sa rednom pobudom imaju struju pobude navoja polova J jednaku struji opterećenja I , jer se navoj pobude polova redno vezuje sa navojem rotora kroz koji teče struja opterećenja. Stoga kod ovog motora magnetni fluks zavisi od struje opterećenja I , tj. $\Phi = dI$. Zavisnost struje opterećenja od momenta mehaničkog opterećenja je $M = C\Phi I = CdI^2$, gde je k_0 — konstanta mašine koja zavisi od konstruktivnih podataka motora (sl. 7.32.b). Zavisnost brzine od struje opterećenja je:

$$n = \frac{U - RI}{k\Phi} = \frac{U}{k\Phi} - \frac{RI}{k\Phi} = \frac{U}{k_1 I} - \frac{R}{k_1} \quad \text{Zavisnost } n = f_2(I), \text{ je hiperbolična, odnosno broj obrtaja opada za veće vrednosti struje opterećenja } I. \text{ Kod ovih motora zavisnost brzine sa opterećenjem } n = f_2(I), \text{ tj. } n = f_2(M) \text{ onakva je kakvu zahteva električna železnička i tramvajska vuča, pa se ovi motori upotrebljavaju u}$$

električnoj vuči. Osim toga, iz zavisnosti $M = k_0 I^2$ zaključuje se da pri dvostrukoj vrednosti potrebnog mehaničkog momenta vuče struja opterećenja treba da je veća samo za $\sqrt{2} = 1,41$ puta. Ovo je pogodno za vuču, jer se za velike promene vučnog momenta zahteva relativno malo povećanje strujnog opterećenja električne mreže. Ovi motori se primenjuju i na vozilima koji imaju motore sa unutrašnjim sagorevanjem, i to kao elektropokretači (anlaseri za automobile).

Motori sa složenom pobudom imaju osnovni pobudni navoj kao otočni motori, paralelno vezan sa navojem rotora i sa mrežnim naponom U , a ova pobudna struja malo se menja sa opterećenjem I . Redni navoj pobude je redno vezan sa navojem rotora, i to najčešće tako da struja opterećenja I kroz redni navoj pobude polova smanjuje fluks (motori sa diferencijalnom pobudom), jer deluje suprotno od otočnih navoja pobude. Usled ovakvog smanjenja fluksa Φ sa opterećenjem I , doći će, prema zavisnosti $n = \frac{U - RI}{k\Phi}$, do povećanja broja obrtaja, koji kod otočnog motora teži da se smanjuju sa povećanjem struje opterećenja I . Dakle, može se postići približna stalnost broja obrtaja za sve vrednosti struje opterećenja I , tj. za sve vrednosti mehaničkog opterećenja (sl. 7.32.b). Ako je redni navoj pobude redno vezan sa navojem rotora, ali tako da struja opterećenja I kroz redni navoj pobude polova povećava fluks (motori sa aditivnom pobudom), onda redni navoj pobude deluju saglasno otočnim navojima pobude. Usled ovakvog povećanja fluksa Φ sa opterećenjem I doći će, prema zavisnosti $n = \frac{U - RI}{k\Phi}$, do još većeg smanjenja broja obrtaja nego kod otočnog motora kad mu se povećavalo opterećenje I . Zavisnosti $M = f_1(I)$ i $n = f_2(I)$ slične su kao kod motora sa rednom pobudom (sl. 7.32.b). Motori sa složenom pobudom imaju široku primenu kod savremenih radnih mašina sa većim stepenom regulacije i automatizacije, jer mogu da imaju odlike motora redne, otočne i složene pobude.



Sl. 7.32

povećanjem struje opterećenja I . Dakle, može se postići približna stalnost broja obrtaja za sve vrednosti struje opterećenja I , tj. za sve vrednosti mehaničkog opterećenja (sl. 7.32.b). Ako je redni navoj pobude redno vezan sa navojem rotora, ali tako da struja opterećenja I kroz redni navoj pobude polova povećava fluks (motori sa aditivnom pobudom), onda redni navoj pobude deluju saglasno otočnim navojima pobude. Usled ovakvog povećanja fluksa Φ sa opterećenjem I doći će, prema zavisnosti $n = \frac{U - RI}{k\Phi}$, do još većeg smanjenja broja obrtaja nego kod otočnog motora kad mu se povećavalo opterećenje I . Zavisnosti $M = f_1(I)$ i $n = f_2(I)$ slične su kao kod motora sa rednom pobudom (sl. 7.32.b). Motori sa složenom pobudom imaju široku primenu kod savremenih radnih mašina sa većim stepenom regulacije i automatizacije, jer mogu da imaju odlike motora redne, otočne i složene pobude.

PUŠTANJE U RAD MOTORA

Puštanje u rad motora jednosmerne struje najčešće se viši rotorskim predotporom. Pri određenom vučnom momentu $M = C \Phi I$, tj. pri određenoj struji opterećenja I , motor jednosmerne struje vezan za određen napon U , pripolasku ($n = 0$) ne razvija u rotoru nikakvu kontraelektričnu silu, $E' = kn \Phi = 0$. Tada jednačina naponskog stanja $U = E' + RI$ ima oblik $U = RI$, tj. struju $I = U/R$ određuje samo otpor kola rotora R . Da bi struja opterećenja rotora I imala potrebnu vrednost, ona se podešava rotorskim predotporom R . Dejstvom vučnog momenta M raste broj obrtaja n , kao i indukovana kontraelektromotorna sila $E' = kn \Phi$, pa se može postupno smanjivati vrednost otpora kola rotora R . Ovo se vidi iz jednačine naponskog stanja kola rotora: $U = E' + RI = kn \Phi + RI$. Dakle, motor jednosmerne struje pušta se u rad regulacionim otpornikom u kolu rotora.

