

## UVOD

### RAZVOJ ELEKTRIFIKACIJE

Prva javna elektrana je izgrađena u Njujorku 1882. godine i ta godina se smatra početkom elektrifikacije. Tada se koristila klipna parna mašina koja je pokretala generator jednosmerne struje i on je napajao strujom sijalice sa ugljenom niti a kasnije i motore jednosmerne struje. Taj sistem proizvodnje el. energije se uglavnom sastojao od nekoliko elektrana koje su bile međusobno izolovane i nepovezane i bio je prepun nedostataka. Do preokreta u elektrifikaciji je došlo izumom transformatora, trofazne struje i asinhronog motora 1887. godine pa je tada došlo do velikog napretka u ovoj oblasti. Kada su se javili zahtevi za većim snagama el. energije, došlo je do međusobnog povezivanja elektrana i do stvaranja velikih elektroenergetskih sistema.

U Srbiji je prva termoelektrana izgrađena 1893. godine u Beogradu.

### PROIZVODNJA I PRENOS EL. ENERGIJE

Osnovna uloga elektroenergetskog sistema je da proizvodi el. energiju tamo gde je najekonomičnije i da je na najekonomičniji način prenese do potrošača gde će biti potrošena. Elektroenergetski sistem sastoji se od:

1. podсистema proizvodnje,
2. podсистema prenosa,
3. podсистema distribucije i
4. podсистema potrošnje.

Podsystem proizvodnje sastoji se od velikog broja elektrana za proizvodnju el. energije. U savremenim elektroenergetskim sistemima najviše su zastupljene termoelektrane i hidroelektrane a postoje i druge (nuklearne, aero, solarne i sl.). Nominalni naponi generatora u elektranama su relativno niski (najčešće 15kV ili 20kV).

Proizvedena el. energija se od elektrana do potrošačkih čvorova prenosi preko prenosne mreže i to je podsystem prenosa. Elektrane se na prenosnu mrežu priključuju preko energetskih transformatora podizača napona, čime se vrši prenos el. energije na velike udaljenosti uz minimalne gubitke i padove napona. Nominalni naponi (efektivna vrednost međufaznog napona) prenosnih mreža u Srbiji su: 110kV, 220kV i 380kV a u svetu i 500kV, 750kV i 1150kV.

Dalje se el. energija od potrošačkih čvorova do potrošača prenosi preko distributivne mreže i to je podsystem distribucije. Potrošački čvorovi se na distributivnu mrežu prključuju preko energetskih transformatora spuštača napona. Poseban slučaj distributivnih mreža su industrijske mreže koje el. energijom snabdevaju velike industrijske potrošče. Nominalni naponi (efektivna vrednost međufaznog napona) distributivnih mreža u Srbiji su: 0.4kV, 3kV i 6kV (za industrijske mreže) i 10kV, 20kV i 35kV.

### ULOGA TRANSFORMATORSKIH I RAZVODNIH POSTROJENJA U PRENOSU EL. ENERGIJE

Prenosne i distributivne mreže se sastoje od čvorova i grana (vodovi). U čvorovima se grade razvodna postrojenja. Ova postrojenja mogu biti sa transformacijom napona ili bez nje. Njihova osnovna uloga je da:

1. omogućе spajanje vodova istog naponskog nivoa koji se stiču u čvoru,
2. preko energetskih transformatora povežu mreže različitih naponskih nivoa i
3. omogućе priključak izvora (elektrane) i potrošača na mrežu.

S obzirom na namenu, razvodna postrojenja se mogu podeliti na razdelne i transformatorske stanice. Razdelna stanica je svako postrojenje u kojem se stiču vodovi istog naponskog nivoa i namena mu je da obezbedi raspodelu el. energije na priključene vodove. Transformatorska stanica još i vrši transformaciju el.

energije sa jednog naponskog nivoa na drugi pa se pomoću nje povezuju mreže različitih naponskih nivoa. U transformatorskoj stanici koja se nalazi u blizini elektrane ugrađuje se i odgovarajuća oprema koja omogućava prekidanje, odnosno isključenje pojedinih delova mreže ili dalekovoda, omogućava merenje ili štiti drugu opremu od raznih kvarova ili prenapona.

Prema prostornom smeštaju postrojenja mogu biti za unutrašnju i spoljašnju montažu, otvorenog ili oklopljenog tipa. Postrojenja za unutrašnju montažu smeštena su u zgradama koje se u tu svrhu grade pa su aparati i uređaji koji se upotrebljavaju kod ove vrste postrojenja zaštićeni od atmosferskih uticaja (vlaga, prašina i sl.) i zato su jednostavnije konstrukcije. To su postrojenja za napone do 38kV (postrojenja za srednji napon) i mogu biti otvorenog ili oklopljenog tipa. U postrojenja otvorenog tipa spadaju postrojenja koja imaju pregrade, barijere i sl. ili su bez njih. Postrojenja visokog napona (110kV i više) se rade napolju, na otvorenom.

Glavni delovi razvodnih postrojenja su: sabirnice, transformatori, prekidači, rastavljači, uređaji za merenje i zaštitu, signalizaciju, upravljanje i automatiku.

## POTROŠAČI EL. ENERGIJE

Potrošači el. energije se grupišu na sektore i kategorije potrošnje. Sektori potrošnje su:

1. domaćinstva;
2. komercijalna potrošnja;
3. industrija i
4. ostala potrošnja.

Kategorije potrošnje se dobijaju tako što se razdvajaju srodni potrošači u pojedinim sektorima i to su:

1. domaćinstva (celokupna potrošnja el. energije u individualnim stambenim objektima, stanovima, zgradama i poljoprivrednim domaćinstvima);
2. industrija, zanatstvo, trgovina (celokupna komercijalna potrošnja);
3. poljoprivreda (potrošnja poljoprivrednih preduzeća i irigacionih sistema);
4. komunalna potrošnja (potrošnja javnog osvetljenja, vodovoda, kanalizacije i gradskog el. saobraćaja (tramvaji, trolejbusi);
5. saobraćaj (potrošnja el. lokomotiva u javnom železničkom saobraćaju);
6. ostala potrošnja.

S obzirom na to kako se određuje struja kratkog spoja, potrošači električne energije se dele na:

1. aktivne (asinhroni i sinhroni motori) i
2. pasivni potrošači (omski otpori, sijalice i sl.).

## ELEKTRANE

### PODELA ELEKTRANA

Uloga elektrana je da u svakom trenutku zadovolje potrošnju elektroenergetskog sistema. Pod potrošnjom se podrazumevaju neto potrebe potrošača i gubici u prenosnim i distributivnim mrežama. Takođe elektrane treba da obezbede i:

- regulacionu rezervu (za pokrivanje iznenadnih promena opterećenja);
- havarijsku rotirajuću rezervu (za pokrivanje ispada generatora najveće snage);
- remontnu rezervu (za pokrivanje generatora u remontu);
- hladnu rezervu (za pokrivanje ostalih dužih neplaniranih ispada generatora).

Dva osnovna tipa elektrana su:

1. termoelektrane (TE) (TE na fosilna goriva (ugalj, gas) i nuklearne elektrane) i
2. hidroelektrane (HE) (klasične i reverzibilne).

TE spadaju u elektrane sa neobnovljivim izvorom el. energije a elektrane sa obnovljivim izvorom el. energije su: hidroelektrane, aeroelektrane, elektrane koje koriste energiju morskih talasa, plime i oseke, geotermalnu energiju i sl. Danas se sve veća pažnja poklanja mikro (snage do 100kW) i mini (snage do 1000kW) hidroelektranama.

Osnovna karakteristika svake elektrane je njena instalisana snaga ili naznačena snaga elektrane  $S_{Ei}$  ili  $P_{Ei}$  koja se dobija kao aritmetički zbir naznačenih prividnih snaga generatora  $S_{gn}$ , odnosno  $S_{Ei} = \sum_{k=1}^n S_{gn,k}$  gde je  $n$  broj generatora u elektrani.

Maksimalna snaga elektrane  $P_{Emah} \leq P_{Ei}$  je najveća snaga koju elektrana može dati ako su svi delovi elektrane u pogonu.

Raspoloživa snaga elektrane se računa iz izraza  $P_{rasp} = P_{Ei} - P_{sp} - P_{rem} - \Delta P_{op}$  gde su:  $P_{sp}$  - snaga sopstvene potrošnje elektrane;  $P_{rem}$  - snaga generatora u remontu;  $\Delta P_{op}$  - smanjenje snage elektrane iz nekih posebnih razloga (kvar na nekom od uređaja, nedovoljan dotok vode i sl.)

## TERMOELEKTRANE

Termoelektrane su postrojenja u kojima se hemijska energija goriva pretvara u električnu energiju. To pretvaranje energije nije direktno već se obavlja u nekoliko koraka:

- prvo se hemijska energija goriva sagorevanjem pretvara u toplotnu energiju u ložištima parnih kotlova sa visokim stepenom iskorišćenja;
- zatim se toplotna energija pretvara u mehaničku u sistemu parni kotao – turbina sa niskim stepenom iskorišćenja;
- i na kraju se mehanička energija pretvara u električnu u sinhronoj mašini sa visokim stepenom iskorišćenja.

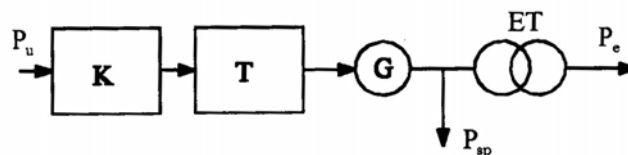
Zavisno od toga koja pogonska mašina pokreće sinhroni generator, postoje tri osnovna tipa TE:

1. TE na paru sa fosilnim gorivima koja mogu biti čvrsta (kameni ugalj, mrki ugalj, lignit), tečna (mazut i nafta) i gasovita (prirodni zemni gas, gas iz visokih peći, gas iz koksnih peći) ili sa fisionim gorivima (nuklearne elektrane). Kod njih je pogonski motor parna turbina.;
  2. gasno-turbinske TE sa tečnim i gasovitim fosilnim gorivima. Kod njih je pogonski motor gasna turbina.;
  3. TE čije generatore pokreću motori sa unutrašnjim sagorevanjem;
- a postoje i:
4. TE sa kombinovanim ciklusom i
  5. termoelektrane-toplane.

Turbine su mašine u kojima se toplotna energija radnog fluida pretvara u mehaničku energiju pri čemu se toplotna energija niti dovodi niti odvodi iz turbine.

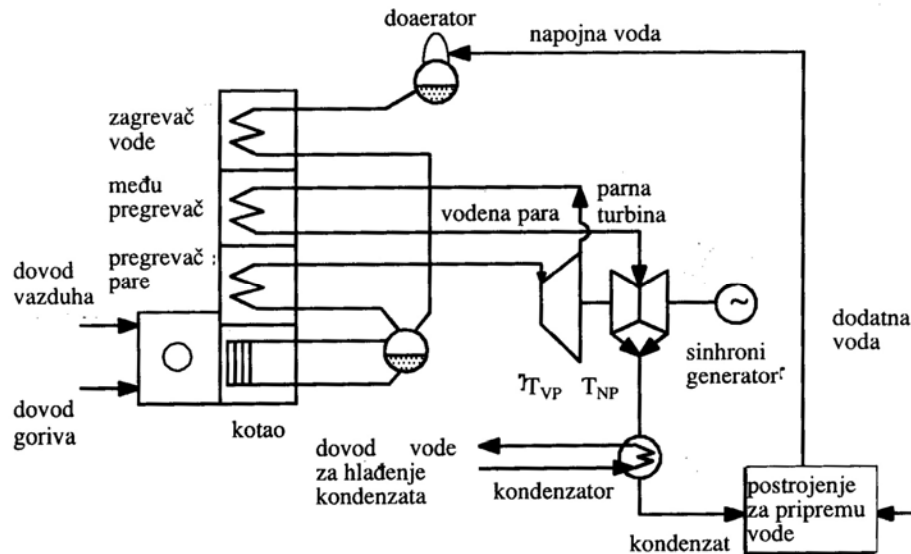
### Termoelektrane na čvrsta goriva

Ove TE se sastoje od blokova gde svaki blok predstavlja nezavisnu celinu, odnosno svaki blok je nezavisna TE. Jedan blok čine kotao-turbina-generator i transformator.



$P_u$  je ulazna snaga goriva,  $P_{sp}$  je snaga sopstvene potrošnje elektrane i  $P_e$  je korisna snaga elektrane (snaga na pragu elektrane).

## Tipična konfiguracija TE na paru je



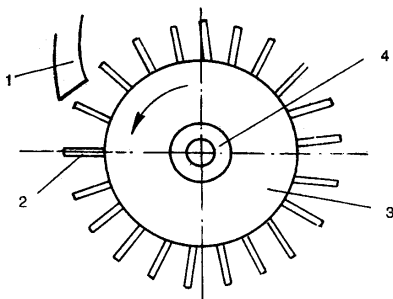
Ugalj se do TE doprema na dva načina. Ako je TE blizu rudnika uglja, on se doprema pokretnim trakama do skladišta u elektrani a ako je dalje, uglj se doprema železnicom. Da bi se obezbedio neprekidan rad TE, potrebne su izvesne rezerve koje se nalaze u bunkerima i treba da obezbede jednomesečni rad TE u slučaju prekida dopreme uglja iz rudnika. U savremenim TE, uglj se pre ubacivanja u ložište melje i pretvara u ugljenu prašinu i ona se meša sa vazduhom i tako lakše sagoreva. Mlevenje, sušenje i mešanje uglja sa vazduhom se vrši u ventilatorskim mlinovima.

Za sagorevanje uglja u ložištu potreban je vazduh. Cirkulacija vazduha kroz kotao može biti prirodna i veštačka. Prirodna je moguća samo kod malih TE pomoću visokih dimnjaka a kod savremenih velikih TE koristi se prinudna cirkulacija pomoću ventilatora za svež vazduh (ubacuje ga u kotao) i ventilatora za dimne gasove (izbacuje ih iz kotla u dimnjak).

Uređaji za prečišćavanje dimnih gasova mogu biti:

1. za izdvajanje čvrstih čestica (ciklonski otprašivači, mokri otprašivači, elektrofiltri),
2. za izdvajanje oksida sumpora koji kada se ispuste u atmosferu stvaraju kisele kiše koje uništavaju šume (u kotao se mogu ubaciti aditivi koji vezuju okside sumpora ili uređaji za hemijsko prečišćavanje dimnih gasova). Oba postupka su veoma skupa.

Parni kotao predstavlja sistem za pretvaranje hemijske energije goriva u toplotnu energiju vodene pare. Parni kotao se sastoji od sledećih elemenata: ložišta, zagrevača vode, isparivača (generatora pare), pregrevača pare, međupregrevača, zagrevača vazduha, cevovoda, ventila i sl. Prema načinu strujanja vode i pare kroz isparivač, kotlovi mogu biti sa prirodnom ili prinudnom cirkulacijom (voda isparava u više prolaza kroz cevi isparivača) ili protočni kotlovi (voda isparava u jednom prolazu). Vodena para na izlasku iz kotla sadrži određeni procenat vlage i to je vlažna para. Kada se ova para uvede u pregrevač ona se dodatno zagreva, eliminiše se vlaga i dobija se suva para.



1. Dovodni kanal (mlaznici)
2. Radne lopatice
3. Disk
4. Osovina turbine

Parne turbine su osnovne pogonske mašine sinhronih generatora u TE. U njima se unutrašnja potencijalna energija vodene pare pretvara u mehaničku energiju. Parna turbina se sastoji od:

sprovodnog aparata (mlaznika) (može biti jedan ili više), lopatica obrtnog kola, diska obrtnog kola i vratila. Turbine kod kojih je izlazni pritisak niži od atmosferskog nazivaju se kondenzacione a kod kojih je veći protivpritisne. Turbine predviđene za rad sa stalnom snagom se zovu bazne a sa promenljivom snagom su regulacione. U turbini postoje dva dela: deo sa visokim pritiskom ( $T_{VP}$ ) i deo sa niskim pritiskom ( $T_{NP}$ ). Para koja izlazi iz dela

turbine sa visokim pritiskom dodatno se zagreva u međupregrevaču pare, da bi joj se smanjila vlažnost, a zatim se dovodi u deo sa niskim pritiskom. Vodena para struji kroz mlaznike i velikom brzinom udara u lopatice rotora turbine i rotor turbine se okreće a pošto su osovine rotora turbine i rotora generatora mehanički spojene okreće se i rotor generatora na čijim krajevima se dobija električna energija.

Izrađena para koja napušta turbinu se kondenzuje u kondenzatoru tako što joj se odvodi toplota pomoću rashladne vode.

Voda koja se koristi u parnim kotlovima mora biti potpuno čista i ona se prečišćava u postrojenju za pripremu vode.

U deaeratoru se iz vode odstranjuju rastvoreni gasovi (kiseonik i ugljen-dioksid) koji izazivaju koroziju cevi i ventila.

Za normalan rad TE potrebna je velika količina vode. Oko 93% vode koristi se za hlađenje pare u kondenzatoru a samo 7% za ostale svrhe. Sistemi vodosnabdevanja mogu biti otvoreni i zatvoreni. Otvoreni sistem se primenjuje kada je TE smeštena pored neke veće reke a zatvoreni mora imati hladnjak za vodu a kao hladnjaci se koriste rashladne kule ili tornjevi visine do 100m.

Karakteristični radni režimi TE su:

1. režim startovanja,
2. režim normalnog opterećenja,
3. režim obustave rada i
4. rad u rezervi.

Režim startovanja se sastoji iz sledećih faza:

1. priprema startovanja (provera svih sistema koji su bitni za rad kotla, turbine i generatora,
2. startovanje (potpala) kotla (pomoću mazuta). TE može da startuje iz hladnog (temperatura u kotlu manja od 150°C), neohlađenog (temperatura u kotlu oko 150°C) i toplog stanja (temperatura u kotlu je približna radnoj temperaturi pare). Postoje dva načina startovanja:
  - a) start sa konstantnim pritiskom (prvo se postigne potreban pritisak pare pa se onda pušta turbina u rad),
  - b) start sa promenljivim pritiskom (turbina se pušta u rad i pre nego što se postigne potreban pritisak pare). Tako se štedi vreme pri startu.

Obustava bloka može biti neplanska i planska i može biti normalna i prinudna (obavlja se brzo) ali hlađenje svih elemenata u bilo kom slučaju mora biti postepeno.

TE može biti u hladnoj rezervi (obustava rada i potpuno hlađenje) i toploj rezervi (kotlovi se lože mazutom i rade sa smanjenom snagom a turbine rade u praznom hodu).

Stepen iskorišćenja ove TE se kreće u opsegu (0.28-0.33).

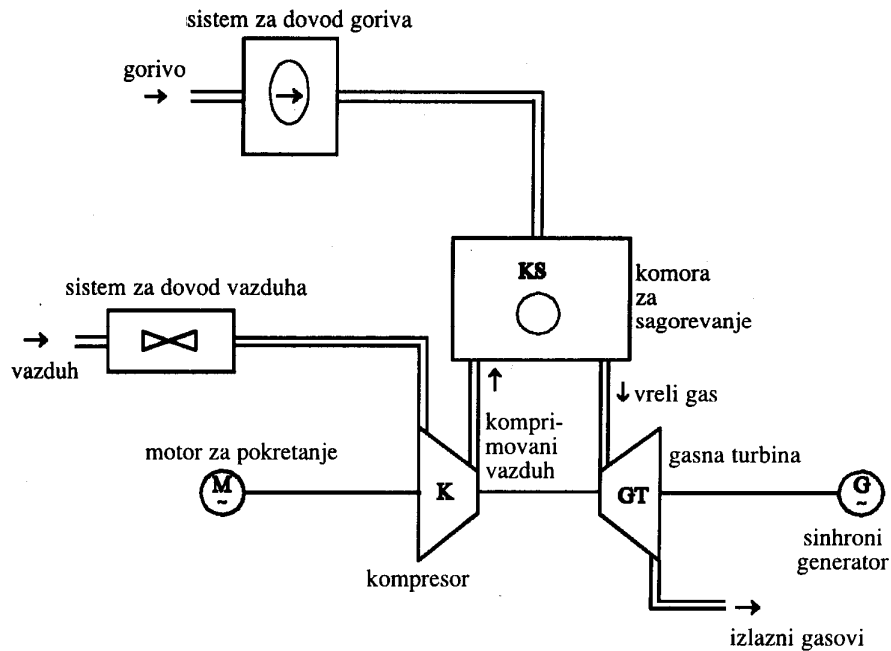
## **Termoelektrane na tečna goriva**

To su TE sa gasnim turbinama. Malo ih ima jer koriste skupa tečna ili gasovita goriva (mazut, naftu ili prirodni gas) i gasne turbine imaju niži stepen iskorišćenja od parnih turbina. Ove TE se sastoje od komore za sagorevanje, gasne turbine, kompresora vazduha i električnog generatora. Radni fluid kod njih je vreli gas koji se dobija sagorevanjem goriva pomešanog sa vazduhom. Kompresor vazduha usisava vazduh iz atmosfere, sabija ga i predaje komori za sagorevanje. Gorivo se takođe uvodi u komoru za sagorevanje kao tečno ili gasovito. Topli sagoreli gasovi dovode se u gasnu turbinu, tu se šire i pokreću lopatice rotora turbine. Za pokretanje ovog postrojenja potreban je asinhroni motor za kompresor vazduha jer se samo pomoću njega može postići visok pritisak vazduha potreban za rad ove TE. Ovaj motor je na istoj osovinu sa generatorom, turbinom i kompresorom.

I ove TE se sastoje iz nezavisnih blokova. One mogu biti:

1. sa zatvorenim ciklusom (koriste teška tečna goriva (mazut) a radni fluid im je vazduh i vrlo su retke),
2. sa otvorenim ciklusom (koriste naftu i gas a radni fluid im je vazduh).

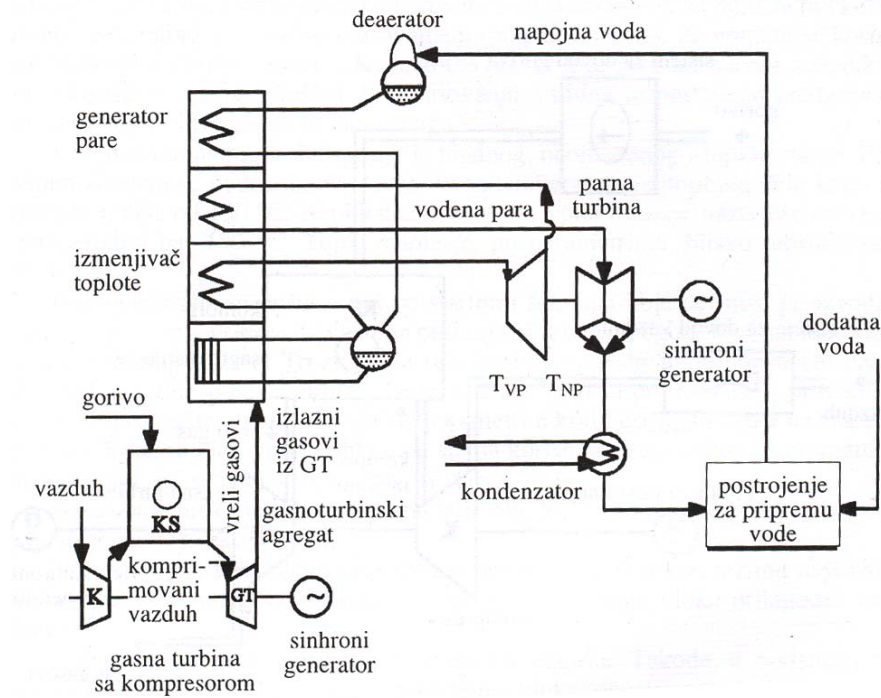
Tipična konfiguracija TE sa gasnom turbinom sa otvorenim ciklusom je



### Termoelektrane sa kombinovanim ciklusom

To su TE koje koriste i gasne i parne turbine. Toplotna energija vazduha koja se ne može iskoristiti u gasnoj turbini se koristi za proizvodnju vodene pare u rekuperacionom generatoru pare.

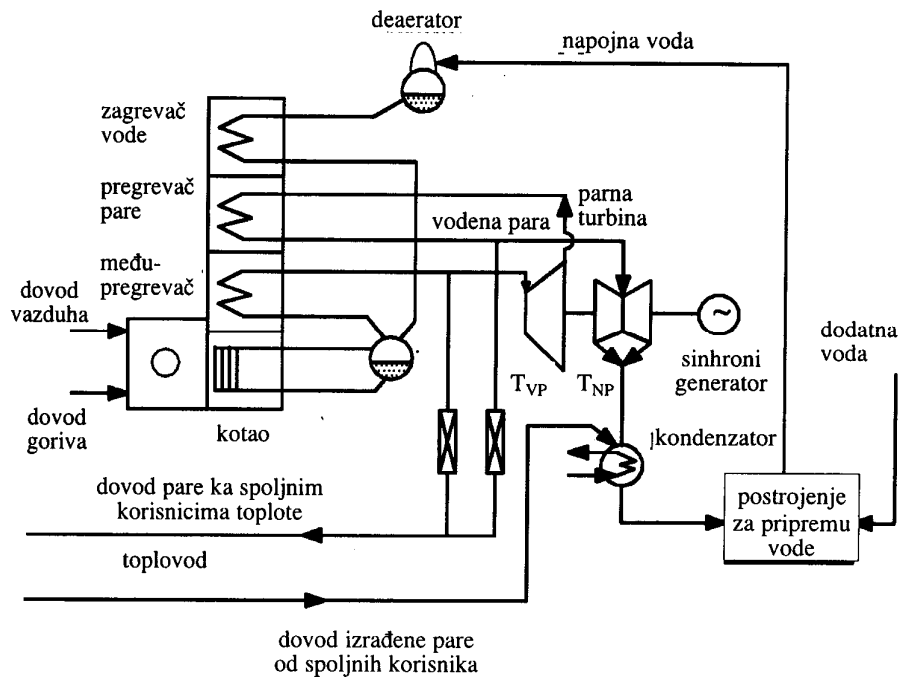
Tipična konfiguracija TE sa kombinovanim ciklusom je



## Termoelektrane – toplane

One služe za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije. Električna energija se dobija pomoću sinhronih generatora koje pokreću gasne ili parne turbine. Toplota se dobija iz niskotemperaturne vodene pare ili tople vode pod pritiskom koja se toplovodima šalje do korisnika.

Tipična konfiguracija TE-toplane sa oduzimanjem toplote sa parne turbine je



U TE-toplanama iskorišćava se otpadna toplota koja bi inače bila izgubljena.

## Nuklearne elektrane

Nuklearne elektrane su u suštini parne TE u kojima se toplotna energija dobija iz fisionih nuklearnih reaktora koji imaju ulogu kotla. Postoje dva tipa nuklearnih reaktora:

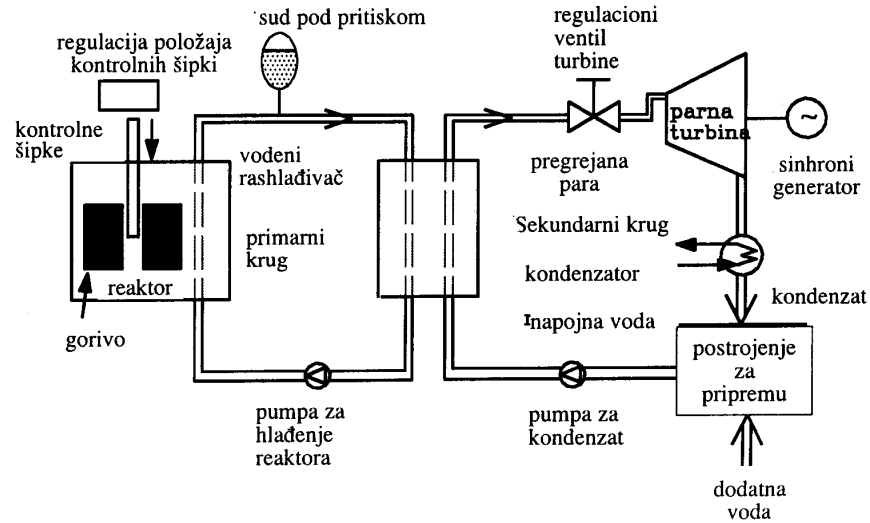
1. reaktori sa sporim termičkim neutronima,
2. reaktori sa brzim neutronima.

Kao nuklearno gorivo koristi se uranijum. Uranijum se raspada usled bombardovanja neutronima i pri tome se oslobodaju novi neutroni i nastaje lančana reakcija. Neutroni dobijeni nuklearnom reakcijom (sekundarni neutroni) imaju veliku energiju i brzinu kretanja pa je mala verovatnoća da će pogoditi neki atom uranijuma pa ih treba usporiti i tako usporeni neutroni se zovu termički neutroni. Za usporavanje neutrona koriste se materije sa lakim atomima (voda, teška voda, grafit i sl.) i zovu se moderatori. Za odvođenje toplote iz reaktora najčešće se koristi veoma čista voda jer čestice u vodi mogu da postanu radioaktivne ili gas ugljen-dioksid koji ne postaje radioaktivan i ne izaziva koroziju.

Osnovni tipovi reaktora su:

1. reaktor sa vodom pod pritiskom (moderator i rashladni fluid je voda a radni fluid je voda),
2. reaktor sa ključalom vodom (moderator i rashladni fluid je voda a radni fluid je voda),
3. reaktor hlađen gasom (moderator je grafit, rashladni fluid je ugljen-dioksid a radni fluid je voda).

Tipična konfiguracija nuklearne elektrane sa reaktorom sa vodom pod pritiskom je



Glavni problem pri radu nuklearnih elektrana je zaštita osoblja i okoline od radioaktivnosti.

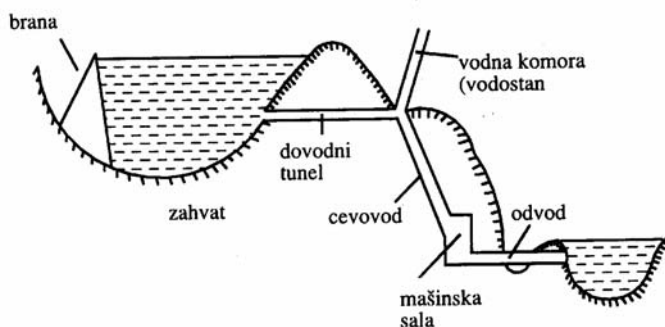
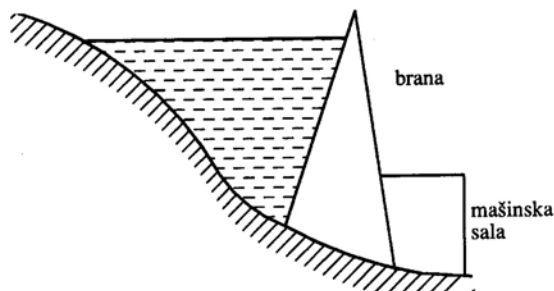
## HIDROELEKTRANE

Hidroelektrane su postrojenja u kojima se potencijalna energija vode pretvara u mehaničku energiju preko hidrauličnih turbina a zatim u električnu energiju pomoću sinhronih generatora. Hidroelektrane mogu biti konvencionalne i reverzibilne.

### Konvencionalne hidroelektrane

Konvencionalne hidroelektrane imaju smer kretanja vode od akumulacionog jezera ka turbini pa imaju samo turbinski pogon. Zavisno od smeštaja mašinske zgrade, mogu biti pribranske i derivacione.

Kod pribranskih HE mašinska zgrada, sa turbinama, generatorima i sl., je smeštena u podnožje brane, neposredno iza akumulacionog jezera. Uglavnom se grade na dovoljno širokim rekama sa strmim obalama.



Kod derivacionih HE mašinska zgrada je, manje ili više, udaljena od akumulacionog jezera pa se voda do turbina mora dovesti kanalima, tunelima i cevovodima čija dužina može biti i po nekoliko kilometara.



Konvencionalne HE, zavisno od veličine akumulacije, odnosno od vremena pražnjenja akumulacije, mogu biti protočne i akumulacione HE. Akumulacione HE se dele na HE sa dnevnom, nedeljom, sezonskom i godišnjom akumulacijom. Vreme pražnjenja akumulacije je ono vreme za koje se isprazni akumulacija ako nema dotoka vode i gubitaka vode usled poniranja, isparavanja i preliivanja. Ako to vreme iznosi do 2 sata HE je protočna, od 2 do 400 sata HE je sa dnevnom ili sedmičnom akumulacijom a više od 400 sati HE je sa sezonskom ili godišnjom akumulacijom.

Osnovni delovi HE su: brana, zahvat, dovodni tunel, vodostan (vodna komora), cevovod pod pritiskom, odvod vode, hidraulične turbine i generatori.

Brana ima ulogu da obezbedi dobar zahvat, odnosno da skrene vodu sa prirodnog toka prema zahvatu i dovodu vode i da omogući veći pad vode. Može biti mala (ako je visoka do 12m) i velika (viša od 12m). Može biti betonska ili nasuta. Betonske mogu biti: gravitacione (stabilne su zbog svoje težine), lučne (stabilne su zbog lučnog oblika), lučno-gravitacione (kombinacija prethodnih) i olakšane (sa posebnom konstrukcijom i smanjenom težinom i uštedom u materijalu). Nasute brane imaju jezgro od zemlje ili nekog sličnog materijala koji obezbeđuje nepropustnost brane. Brana može biti gluva (nepropusna) i vodopropusna (sa površinskim i unutrašnjim otvorima za preliv vode).

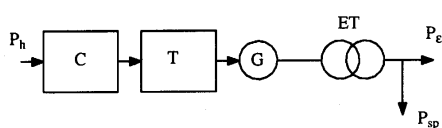
Zahvat ima ulogu da zaustavljenju vodu uputi od brane kroz dovod vode ka turbinama. Zahvat može biti na površini (kod niskih brana kada je nivo vode iza brane stalan) i ispod površine vode (kada se nivo vode iza brane bitno menja u toku godine).

Dovodni tunel služi za dovod vode od zahvata do vodostana. Može biti gravitacioni (voda ne ispunjava ceo tunel) ili pod pritiskom (voda ispunjava ceo tunel).

Vodostan se ugrađuje na kraju dovoda vode, ispred turbine. Ima ulogu rezervoara u slučaju naglih promena opterećenja pri naglom zatvaranju turbina.

Hidraulična turbina se sastoji od: dovoda vode obrtnom kolu, obrtnog kola (rotora) i odvoda vode iz obrtnog kola. Može biti akciona (sa slobodnim mlazom vode koji udara u lopatice rotora i skreće za 180°; Peltonova turbina) i reakciona (voda u rotoru se i skreće i ubrzava pa se menja pritisak vode; Francisova, Kaplanova, dijagonalna i cevna turbina).

Blok dijagram HE je



C-cevovod

T-turbina

G-generator

ET-energetski transformator

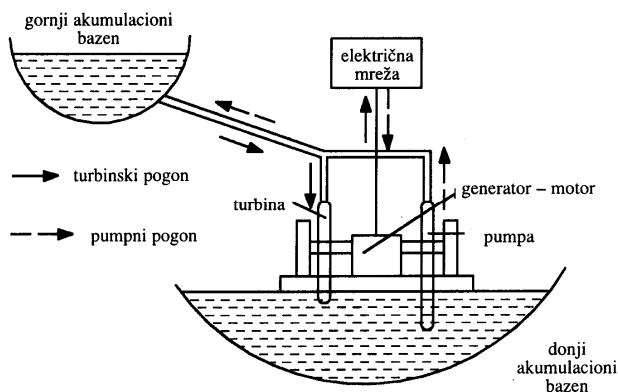
Ph-hidraulična snaga elektrane

Psp-snaga sopstvene potrošnje

Pe-el. snaga elektrane

Stepen iskorišćenja HE je (0.7-0.9).

## Reverzibilne hidroelektrane



Kod reverzibilnih HE postoji gornji i donji akumulacioni bazen i pumpno-turbinsko postrojenje. U periodu manjeg opterećenja voda se pumpa iz donjeg u gornji rezervoar (pumpni pogon) da bi se u periodu velikih opterećenja voda iz gornjeg rezervoara propuštala kroz turbine i dobijala el. energija (turbinski pogon). Takva je HE «Bajina Bašta».

## EL. UREĐAJI U ELEKTRANAMA

U TE se koristi sinhroni generator sa valjkastim rotorom ili turbogenerator. On dobija mehaničku energiju od parne turbine čija se ekonomičnost povećava sa porastom brzine obrtanja. Može biti dvoplona mašina sa sinhronom brzinom obrtanja od  $n = 3000 \text{ob/min}$  pri učestanosti od 50Hz a kod nuklearnih elektrana može biti četvoropolna mašina sa sinhronom brzinom obrtanja od  $n = 1500 \text{ob/min}$ . Rotori su, zbog velike brzine obrtanja i velikih centrifugalnih sila, malih prečnika (do 1.25m) i velikih dužina (do 6.5m). TE se na EES priključuje preko energetskih transformatora podizača napona a za napajanje sopstvene potrošnje koriste se transformatori spuštači napona.

U HE se koriste generatori sa istaknutim polovima (hidrogeneratori). Ekonomične brzine obrtanja ovih generatora su male (nekoliko desetina do nekoliko stotina obrtaja u minutu). Zato su to višepolne mašine sa rotorima velikih prečnika (većim od 15m) i malim dužinama.

## TRANSFORMATORSKA I RAZVODNA POSTROJENJA

El. postrojenje sa jednim ili više energetskih transformatora naziva se transformatorska stanica. U trafostanicu ulaze i izlaze vodovi (vazdušni i kablovski) za napajanje raznih potrošača i same trafostanice.

El. postrojenja se mogu postavljati u zgradama i na otvorenom (pod vedrim nebom) i mogu biti oklopljena. Vazduhom izolovana otvorena postrojenja srednjeg napona i metalom oklopljena postrojenja postavljaju se u betonske ili u zidane objekte. Visokonaponska vazduhom izolovana postrojenja postavljaju se na otvorenom. Postrojenja izolovana gasom (elgas), odnosno SF<sub>6</sub> postrojenja imaju male dimenzije pa se mogu postavljati i u zgrade i na otvorenom.

Prostorni raspored elemenata postrojenja zove se dispozicija.

## POSTROJENJA ZA UNUTRAŠNJU MONTAŽU

To su postrojenja za napone do 38kV. Čelije u ovim postrojenjima se međusobno odvajaju zidanom ili montažnom pregradom. Zidana pregrada je debljine 65mm a izrađena je od specijalnog nezapaljivog materijala (heraklit) koji se malteriše. Montažne pregrade su od lima ili od azbest-cementa debljine desetak mm a okvir im je od čeličnih profila. Sistemi sabirnica, koje mogu biti jednostruke ili dvostruke, postavljaju se horizontalno a za napon od 38kV mogu i vertikalno. Čelije sa jednim sistemom sabirnica mogu biti sa i bez zaštite od el. luka (lukobran). To je pregrada od nezapaljivog materijala presvučenog cementnim malterom a pričvršćena je provodnim izolatorima pa se el. luk ne može preneti sa sabirnice na čeliju i obrnuto. Čelije sa dva sistema sabirnica imaju lukobran kao slobodno stojeću čeliju.

El. postrojenje i vodovi visokog napona koji ulaze u zgradu najčešće su povezani kablovima a mana te veze je što se završava kablovskom glavom koja se često kvvari a mogu biti povezani i vazdušnim neizolovanim vodovima i taj vazdušni vod izlazi iz trafostanice na gornjem delu zgrade da bi se postigla propisana visina vodova iznad tla.

## POSTROJENJA ZA SPOLJAŠNJU MONTAŽU

To su postrojenja za nazivne napone 123kV i više. Mogu biti sa jednostrukim i dvostrukim sabirnicama. Postoje različita izvođenja ovih postrojenja a neka od njih su: sa srednjim stubom, visoko izvođenje i sl.

Poseban vid postrojenja su trafostanice na stubu. To su mala postrojenja koja se proizvode u fabrici kao gotova tipska postrojenja a služe za napajanje seoskih potrošača, gradilišta i sl. U fabrici se montiraju u ispituju, lako se transportuju jer je stub napravljen iz montažnih elemenata koji se sastavljaju na mestu ugradnje. Ove trafostanice mogu biti prolazne i krajnje i sadrže svu potrebnu opremu za zaštitu i merenje (odvodnici prenapona, merni transformatori, brojila, prekidači, rastavljači, osigurači i sl.). Snaga im je najčešće 400kVA a mogu biti i do 1000kVA:

## METALOM OKLOPLJENA I GASOM SF<sub>6</sub> IZOLOVANA POSTROJENJA

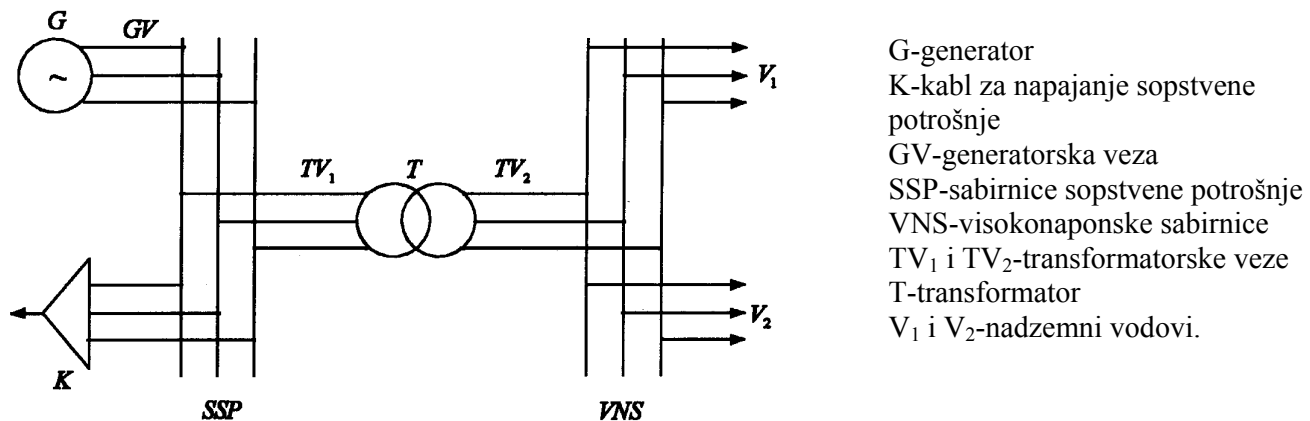
Čist gas SF<sub>6</sub> (sumporheksafluor) ili elgas je bezbojan, bez mirisa, bez ukusa i neotrovan, hemijski stabilan i nezapaljiv. Kompresijom prelazi u tečno stanje i obično se skladišti kao tečnost.

Zahvaljujući dobrim izolacionim osobinama gasa SF<sub>6</sub>, dimenzije SF<sub>6</sub> postrojenja su 3-10 puta manje od dimenzija postrojenja izolovanog vazduhom za isti napon. Zbog metalnog oklopa, koji se najčešće izrađuje od aluminijuma, ova postrojenja nisu osetljiva na uticaje okoline ali im je mana što zbog oklopa mesto kvara nije vidljivo i što otklanjanje kvara traje znatno duže. Veoma brzo se montiraju. Izvode se kao jednofazno i trofazno oklopljena. Kod jednofazno oklopljenih postrojenja svaki pol komponente postrojenja je posebno oklopljen oklopom koji predstavlja rezervoar za gas SF<sub>6</sub> a kod trofazno oklopljenih sva tri pola su smeštena u zajednički oklop. Trofazno oklopljena postrojenja se koriste za napone do 170kV. SF<sub>6</sub> postrojenja su podeljena na gasne komore ili zone i ako dođe do kvara u nekoj komori isključi se samo ona a ne celo postrojenje. Svi metalni delovi su uzemljeni pa ne postoji opasnost od napona dodira. Ovim postrojenjima upravlja se pomoću komandnih ormana.

## ELEMENTI RAZVODNIH POSTROJENJA

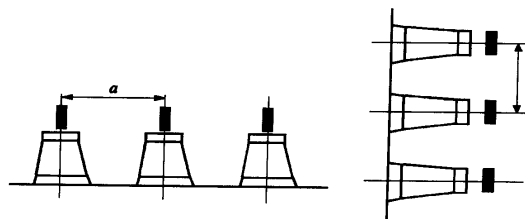
### SABIRNICE I SPOJNI PROVODNICI

Sabirnice omogućavaju međusobno povezivanje različitih elemenata sistema. Spojni provodnici služe za povezivanje generatora i transformatora sa sabirnicima ili međusobno.



Sabirnice i spojni provodnici mogu biti izvedeni od krutih provodnika (krute sabirnice) i užadi (užaste sabirnice).

Kruti provodnici se koriste za napone do 35kV. Provodnici su neizolovani od bakra ili aluminijuma, najčešće su pravougaonog oblika a mogu biti i cevni, kružni, L-profil i U-profil. Kruti provodnici su najčešće simetrično raspoređeni u horizontalnoj ili vertikalnoj ravni, a može i u kosoj ravni ili u uglovima trougla.



Presek krutih provodnika se bira na osnovu zagrevanja u trajnom pogonu. U slučaju kada su radne struje veoma velike, faze se izvode iz dva ili više provodnika manjeg preseka i na taj način se formira paket provodnika po fazi. Minimalno rastojanje između provodnika unutar paketa jednako je širini jednog provodnika radi boljeg hlađenja a takođe je bolje i provodnike postavljati u horizontalnoj ravni nego u vertikalnoj.

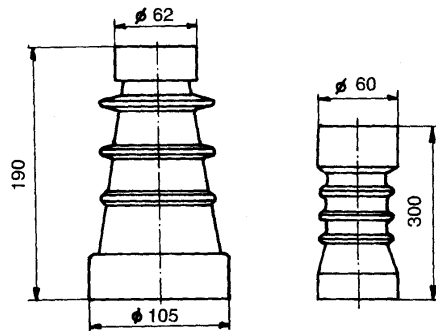
Provodnici se mogu i obojiti radi boljeg odvođenja toplote a time se jasnije uočavaju i razlikuju faze provodnika.

Užaste sabirnice se izrađuju od aluminijum-čeličnih provodnika (Al/Čel) za napone do 110kV. Postavljaju se u horizontalnoj ravni. Presek užastih provodnika se bira na osnovu zagrevanja u trajnom pogonu. U slučaju kada su radne struje veoma velike ili se jednim provodnikom ne može izbeći korona, faze se izvode iz više provodnika, odnosno sa provodnicima u snopu.

Sabirnice se mogu spajati uzdužno pod nekim uglom (najčešće pravim) ili u obliku slova T pomoću vijaka, podloški i navrtki.

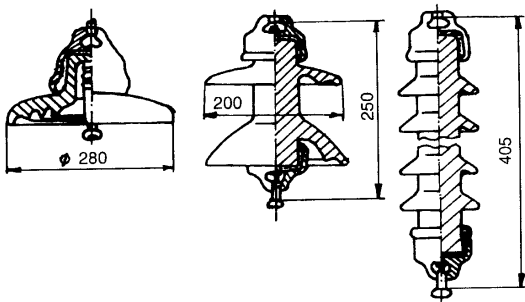
## POTPORNI I PROVODNI IZOLATORI

Potporni izolatori nose sabirnice i ostale neizolovane provodnike u postrojenju. Oni izoluju provodnike od uzemljenih delova i preuzimaju na sebe sile koje deluju na sabirnice pa se biraju na osnovu tih sila i na osnovu naznačenog napona sabirnica. Oznaka potpornih izolatora se sastoji od četiri simbola:

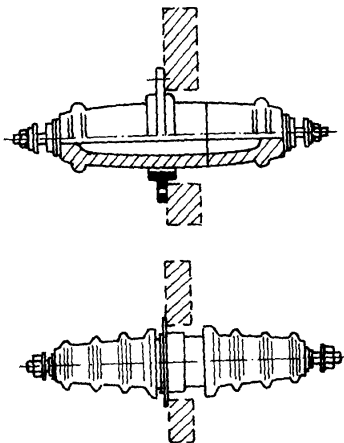


1. prvi simbol je slovo S i predstavlja opštu oznaku za potporne izolatore;
2. drugi simbol je slovo A, B ili C i predstavlja prelomnu silu izolatora;
3. treći simbol predstavlja oblik metalnog postolja i može biti slovo R-okruglo postolje, O-ovalno postolje, Q-kvadratno postolje);
4. četvrti simbol je broj i predstavlja napon izolatora u kV.

Ako između treće i četvrte oznake stoji slovo «e» izolator je od epoksida (araldita) a inače je od porculana.



Kod nadzemnih vodova i sabirnica u obliku užadi koriste se viseći izolatori. Mogu da budu: kapasti (S), masivni ili puni (VK) i štapni (L).



Provodni izolatori imaju ulogu da izoluju neizolovane provodnike od zida ili metalnih delova u postrojenjima. Koriste se pri prolazu provodnika iz jedne prostorije u drugu, iz jednog dela oklopljenog postrojenja u drugi ili iz postrojenja u slobodan prostor. Mogu biti za unutrašnju montažu i oni kod kojih je bar jedna polovina napolju. Mogu biti za okrugle provodnike i za pljosnate provodnike. Oznaka provodnih izolatora se sastoji od pet simbola:

1. prvi simbol je slovo D i predstavlja opštu oznaku za provodne izolatore;
2. drugi simbol je slovo B ili C i predstavlja prelomnu silu izolatora;
3. treći simbol može biti slovo F i znači da se izolator dovodi u prostoriju spolja;
4. četvrti simbol je broj i predstavlja napon izolatora u kV;
5. peti simbol je broj i predstavlja naznačenu struju u A.

## PREKIDAČI

Prekidači su sklopni uređaji za uključenje i isključenje el. kola u svim mogućim režimima rada. Najveća napreznja prekidača nastaju tokom prekidanja struja kratkih spojeva i pojave el. luka. Prekidač mora vrlo brzo prekinuti struju kratkog spoja, odnosno odvojiti deo postrojenja koji je u kvaru. Otvaranjem kontakata prekidača pojavljuje se el. luk zbog veoma velike temperature, odnosno velike struje koja u trenutku razdvajanja kontakata prekidača protiče kroz pol prekidača. Zbog visoke temperature na kontaktima prekidača dolazi do delimičnog topljenja materijala od koga je izrađen kontakt prekidača i međukontaktni prostor postaje provodan i nastaje el. luk (el. struja i dalje protiče iako su se kontakti prekidača razdvojili). Proces gašenja el. luka odvija se snižavanjem temperature među kontaktima prekidača i odvođenjem stvorenih gasova iz međukontaktnog prostora. El. luk se gasi u delu prekidača koji se naziva komora za gašenje el. luka. Prema vrsti sredine u međukontaktnom prostoru prekidača i načinu gašenja el. luka, prekidači mogu biti: uljni, malouljni, pneumatski, SF<sub>6</sub>, i vakuumski prekidači.

Kod malouljnih prekidača, ulje je sredina u kojoj se gasi el. luk a izolacija prema masi su kruti izolatori (presovani papir-pertinaks, epoksi smola, porculan) ili vazduh. Kada dođe do razdvajanja kontakata prekidača stvara se el. luk i ulje u komori isparava pa pritisak u komori raste i ulje počinje da struji oduvava el. luk poprečno ili podužno ili kombinovano i tako se hladi el. luk i gasi se. Ovi prekidači se izrađuju u različitim oblicima i time se olakšava njihova ugradnja u različite tipove postrojenja. Mogu biti: stojeći, viseći, zidni, provodni i sl. Aktivni deo prekidača (polovi) sa lučnom komorom i potpornim izolatorom montiraju se vertikalno na postolju prekidača a mehanički deo (pogonski mehanizam) se ugrađuje u postolje ili dodatno kućište a kod velikih prekidača za spoljašnju montažu u poseban ormar.

Kod pneumatskih prekidača u komori za gašenje luka nalazi se sabijeni vazduh i ona može biti: sa poprečnim-transverzalnim strujanjem vazduha (mlaz vazduha je normalan na el. luk, za napone do 15kV), uzdužnim-aksijalnim strujanjem vazduha (mlaz vazduha je paralelan sa el. lukom) i radijalnim strujanjem vazduha (za najviše napone i najveće snage kratkih spojeva).

Kod SF<sub>6</sub> prekidača sredstvo za gašenje el. luka koristi se gas SF<sub>6</sub> pod pritiskom. To su prekidači malih dimenzija za vrlo velike snage kratkih spojeva jer se u u gasu SF<sub>6</sub> mogu prekidati 100 puta veće struje nego u vazduhu.

Vakuumski prekidači imaju u lučnoj komori vrlo visoki vakuum kao sredinu za gašenje el. luka i kod njih se el. luk za struje iznad 100A cepa u više uporednih lukova i time se smanjuje prekidna moć prekidača. Prednosti ovih prekidača su: veoma dug radni vek, jednostavno održavanje, kontakti su uvek čisti, masa i dimenzije su im male, rad im je tih i sl. Nedostatak je visoka cena koštanja. Koriste se za srednje napone do 35kV i struje kratkog spoja do 63kA.

## RASTAVLJAČI

Rastavljač je mehanički rasklopni aparat koji služi da vidno i sigurno odvoji deo postrojenja koji nije pod naponom od dela koji je pod naponom kako bi omogućio pristup pojedinim elementima dok su drugi delovi postrojenja u pogonu. Tako se mogu obavljati planski remont i popravke elemenata bez prekidanja rada ostalih delova postrojenja. Kada se u postrojenju radi, on je uvek otvoren. Rastavljačima se ne prekidaju i ne uspostavljaju struje jer on nema komoru za gašenje el. luka i ne može ugastiti el. luk. Rastavljač ne sme da se otvori u slučaju kratkog spoja.

Rastavljači mogu osim glavnih kontakata da imaju i noževe za uzemljenje koji služe za uzemljenje nadzemnih ili podzemnih vodova posle isključenja. Takvi rastavljači se zovu zemljospojnici. Zemljospojnik je mehanički rasklopni aparat koji služi za spajanje delova strujnog kola sa zemljom i on može neko propisano vreme da izdrži struju kratkog spoja ali ne sme da provodi struju pri normalnim uslovima rada. Kada se u postrojenju radi, on je uvek zatvoren. Glavni kontakti i noževi za uzemljenje su mehanički povezani tako da se noževi za uzemljenje ne mogu zatvoriti ako su glavni kontakti rastavljača zatvoreni a glavni kontakti se ne mogu zatvoriti ako su zatvoreni noževi za uzemljenje. Rastavljači za veće napone su obično tako spojeni da se

uključenje i isključenje vrši u sve tri faze istovremeno a kod rastavljača za napone do 10kV u postrojenjima male snage moguće je uključenje i isključenje svake faze posebno.

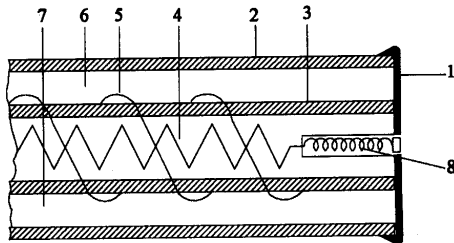
Upravljanje rastavljačima može biti ručno (izolacionom motkom ili ručicom se deluje na polugu koja pokreće osovinu rastavljača; mora se doći do rastavljača), pneumatsko (komprimovani vazduh deluje na klip cilindra koji pokreće osovinu rastavljača; može se upravljati daljinski iz komandne prostorijepomoću elektropneumatskih ventila) ili na elektromotorni pogon (pokreće ih elektromotor i može se upravljati daljinski iz komandne prostorije).

## RASTAVNE SKLOPKE

Rastavne sklopke se koriste za prekidanje radnih struja kada bi primena prekidača bila neekonomična. Snaga isključenja sklopke je mala i iznosi nekoliko desetina MVA i koristi se za napone do 38kV i struje do 630A a za veće napone i struje koriste se isključivo prekidači. Rastavna sklopka može da se kombinuje sa visokonaponskim osiguračima koji služe kao zaštita od kratkog spoja a sklopka služi za uključenje i isključenje radne struje. To je, u stvari, rastavljač koji ima noževe koji provode struju u normalnom pogonu i paralelno sa njima je mehanički povezana komora za gašenje el. luka. Rastavna sklopka se pokreće ručno ili nekim drugim pogonom.

## OSIGURAČI

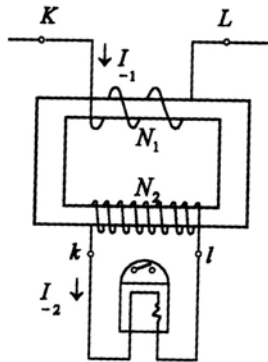
Osnovna uloga osigurača je da zaštiti elemente od kratkog spoja a može da ih štiti i od preopterećenja. Osigurač svojim pregorevanjem prekida strujno kolo.



1. kontaktna kapa
2. spoljašnja čaura od porcelana
3. unutrašnja čaura od porculana
4. topljivi umetak
5. vlakno od volframa
6. i 7. ispune od kvarcnog peska
8. pokazna igla sa oprugom.

Osigurač se sastoji od porculanske cevi u kojoj je smešten topljivi umetak a to je nit okruglog preseka ili traka pravougaonog preseka, od legure srebra sa jednim ili više suženja po svojoj dužini. Kod osigurača za veće struje može biti više paralelnih niti spiralno uvijenih. Spiralno vlakno od volframa ima ulogu da smanji jačinu el. polja u unutrašnjoj čauri osigurača da ne bi došlo do korone. Unutrašnjost kućišta je ispunjena kvarcnim peskom čija je uloga da odvodi toplotu iz umetka koja se javlja pri proticanju velike struje kratkog spoja i da ugasi el. luk. Na krajevima cevi se nalaze metalne kape na koje se dovode i spajaju visokonaponski provodnici koji se štite ovim osiguračem. Pokazna igla u slučaju da je osigurač pregoreo ispada iz svog ležišta pod dejstvom opruge i to je znak da je osigurač pregoreo. Osigurač se postavlja na postolje ili nosač osigurača.

## STRUJNI MERNI TRANSFORMATORI

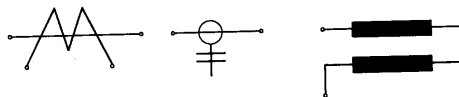


Oni transformišu struju od vrednosti koja protiče kroz vod na 1A ili 5A. Sastoje se od primarnog i sekundarnog namotaja i gvozdеног jezgra od limova.

Primarni namotaj se vezuje redno u strujno kolo. Sekundarni namotaj ne sme da bude otvoren. Karakteristične veličine strujnog transformatora (ST) su:

- naznačeni napon  $U_n$ ;
- naznačena primarna struja  $I_{1n}$ ;
- naznačena sekundarna struja  $I_{2n}$  (1A ili 5A);
- naznačeni odnos transformacije  $m_n = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$ ;
- naznačena trajna termička struja  $I_{th}$  (jednaka je primarnoj struji ST);
- naznačena kratkotrajna termička struja  $I_{th}$  ili  $I_{1s}$  (vrednost primarne struje koju ST može podneti jednu sekundu bez oštećenja);
- naznačena dinamička struja  $I_{dyn}$  (maksimalna vrednost primarne struje koju ST može podneti pri kratkospojenom sekundarnom namotaju);
- namena (ST namenjen za priključak mernih instrumenata (za merenje) i ST namenjen za priključak uređaja za zaštitu);
- greške (strujna  $g_i = \frac{m_n I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100\%$ , fazna  $\delta$  (definisana je uglom između fazora sekundarne i primarne struje) i složena greška) i klasa tačnosti (standardne klase tačnosti ST za merenje su 0.1; 0.2; 0.5; 1; 3; 5);
- naznačena impedansa opterećenja  $Z_{2n}$  (impedansa kola priključenog na sekundarni namotaj);
- naznačena snaga ST  $S_n$  (snaga kojom se NT može trajno opteretiti a da ne pređe definisanu klasu tačnosti);
- faktor sigurnosti  $F_s$  i faktor tačnosti  $F_t$ .

Simboli za označavanje ST su



## NAPONSKI MERNI TRANSFORMATORI

Oni transformišu primarne napone elemenata EES na vrednosti koje odgovaraju naznačenim naponima mernih i zaštitnih uređaja i te uređaje pouzdano odvaja od primarnih napona radi bezbednosti osoblja.

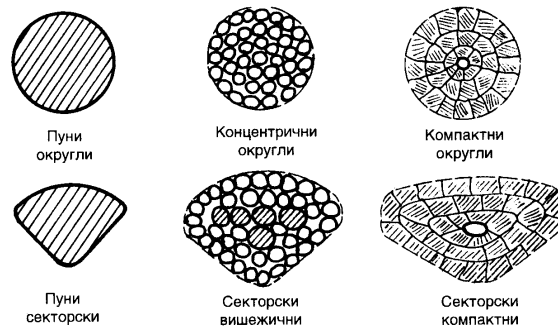
Karakteristične veličine naponskog transformatora (NT) su:

- naznačeni primarni napon  $U_{1n}$ ;
- naznačeni sekundarni napon  $U_{2n}$  (100V i 200V);
- naznačeni odnos transformacije  $m_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$ ;
- naponska greška  $g_n = \frac{m_n U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\%$ ;
- fazna greška  $\delta_n$  (definisana je uglom između fazora primarnog i sekundarnog napona);
- klasa tačnosti (standardne klase tačnosti NT za merenje su 0.1; 0.2; 0.5; 1; 3);
- naznačeno opterećenje  $Z_n$ ;
- naznačena snaga  $S_n$ ;
- naznačeni faktor napona;
- namena NT.

## KABLOVI

Kablovi su provodnici koji su električno izolovani i smešteni u zajednički omotač radi zaštite od spoljašnjih uticaja (vlaga, mehanička oštećenja, korozija). Konstrukcija kablova, mehanička zaštita i vrsta upotrebene izolacije zavise od toga da li se kablovi polažu neposredno u zemlju, u cevi, beton, vodu, kanale, u vazduhu na otvorenom, u prostorijama i sl i od naznačenog napona. Prema broju žila, kablovi mogu biti jednožilni (za visoke i vrlo visoke napone), trožilni (za srednje i visoke napone) i četvorožilni (za niske napone). U zavisnosti od naponskog nivoa, kablovi mogu da budu: standardizovani (naznačenog napona  $U_n \leq 60\text{kV}$ ) i specijalni (naznačenog napona  $U_n > 60\text{kV}$ ).

Konstruktivni elementi kablova su: provodnik, izolacija, žile, jezgro, ekrani i spoljni omotači. Provodnici se izrađuju od meko odžarenog bakra ili aluminijuma i mogu biti jednožični ili višežični, okruglog ili sektorskog preseka.



Provodnik je prevučen slojem izolacije koja može biti od termoplastične mase, impregnisanog papira ili gume. Da bi se dobila što ravnomernija raspodela el. polja, na površini provodnika se postavlja poluprovodni sloj od umreženog polietilena i to je ekran i imaju ga kablovi za napone preko 12kV. Použene žile obrazuju jezgro. Jezgro se može sastojati od 1-5 žila. Da bi se dobio kružni oblik jezgra, između žila se postavlja ispuna. Ispuna se izrađuje od niti papira, od PVC niti ili od gume. Iznad jezgra se postavlja pojasna izolacija koja povećava dielektričnu čvrstoću izolacije između provodnika i plašta i učvršćuje žile u jedinstvenu celinu. Svi kablovi za visoki napon moraju imati zaštitu od previsokih napona i to je omotač od bakarnih traka ili žica. Plašt štiti jezgro od vlage. Za kablove izolovane termoplastičnim masama, plašt može biti od PVC mase ili od olova a za kablove izolovane impregnisanim papirom, plašt se izrađuje od olovne bešavne cevi. Armatura je zaštita od mehaničkih oštećenja i izrađuje se od čeličnih traka. Omotač kabla ili spoljni plašt se izrađuje od PVC mase ili od impregnisanog papira zalivenih bitumenom.

Standardizovani kablovi za napone do 35kV označavaju se oznakom koja se sastoji od pet grupa slovnih simbola i brojeva.

Prva grupa sadrži dva slova koja označavaju materijal za izradu izolacije provodnika i plašta kabla.

P - PVC

E – polietilen

X – umreženi polietilen

G - guma

T - tekstil

N - neopren

MT - metalna cev od čelične trake sa šavom

IP - impregnisani papir

S - silikonska guma

F - izolovana folija

O - olovni plašt

B - butil-guma

L - lakirana tkanina

A - aluminijumski plašt

ZO - zaseban olovni plašt svake žile.



Druga grupa daje podatke o njegovim mehaničkim svojstvima i antikoroziivnoj zaštiti. Ovu grupu čine dva broja koja se pišu pored prve grupe. Prvi broj definiše način na koji je izvedena mehanička zaštita a drugi broj definiše antikoroziivnu zaštitu.

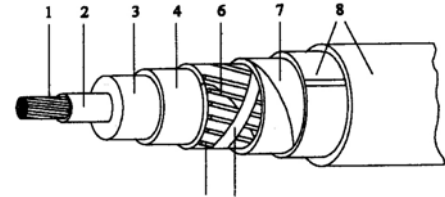
Treću grupu čine oznake za vrstu materijala od koga je žila izrađena i za oblik preseka žile. Za žile od bakra okruglog preseka ništa se ne piše a za aluminijumske žile - A i sektorskog oblika preseka - S. Slovo J znači sektorski jednožilni provodnik.

Četvrtu grupu čine brojčane oznake i ona daje podatke o broju žila i preseku provodnika. Prvi broj je broj žila a sledeći broj je poprečni presek provodnika u  $\text{mm}^2$  (na primer  $4 \times 25 \text{mm}^2$ ). Ako je nulti provodnik manjeg preseka od faznog onda je  $3 \times 25 + 16 \text{mm}^2$  ugrađen nulti provodnik i  $3 \times 25 / 16 \text{mm}^2$  za koaksijalno raspoređen nulti provodnik (fazni provodnici se použe a oko njih se mota helikoidalno nulti provodnik).

Peta grupa označava naznačeni napon kabla  $U_0 / U$  - fazni/linijski napon (kV/kV).

Konstrukcija kabla 110kV sa umreženim polietilenom:

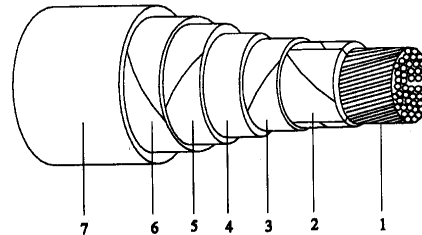
- 1) provodnik,
- 2) unutrašnji poluprovodni sloj,
- 3) izolacija od umreženog polietilena,
- 4) spoljašnji poluprovodni sloj,
- 5) bubreća traka,
- 6) Cu električna zaštita,
- 7) bubreća traka,
- 8) Al-traka.



Sredjenaponski kablovi su kablovi kod kojih je pogonski napon između 1kV i 60kV. Za napone manje od 15kV koriste se pojasni kablovi a za veće napone kablovi sa ekranizovanim žilama (H-kablovi). Kao sredjenaponski kablovi koriste se i kablovi sa čvrstom izolacijom (od umreženog polietilena).

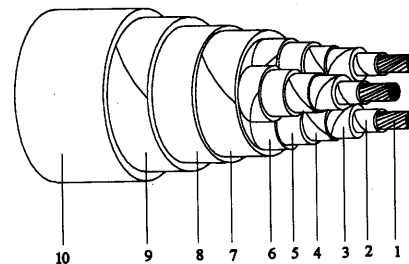
Pojasni kabl:

- 1) Al-provodnik,
- 2) izolacija žile,
- 3) pojasna izolacija,
- 4) olovni omotač,
- 5) unutrašnja zaštita (papir ili juta),
- 6) čelične trake,
- 7) impregnisana juta.



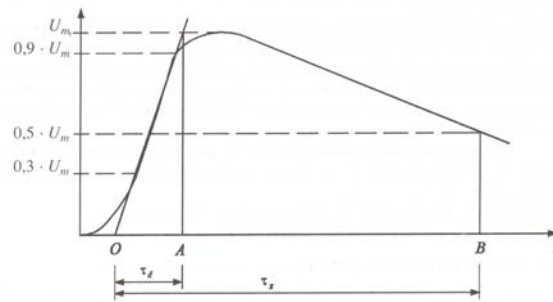
Ekranizovani kabl:

- 1) Al-provodnik,
- 2) ekran žile,
- 3) izolacija žile,
- 4) ekran izolacije,
- 5) olovni omotač,
- 6) impregniran papir ili PVC-trake,
- 7) impregniran papir,
- 8) impregnirana juta,
- 9) čelične trake,
- 10) impregnisana juta.



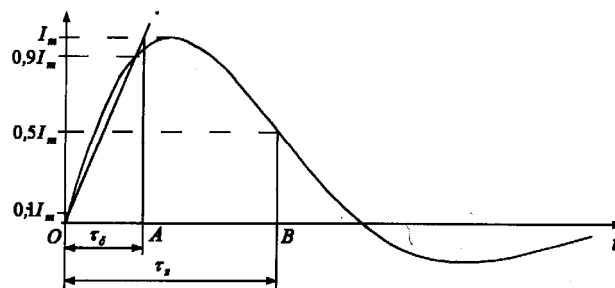
## ODVODNICI PRENAPONA

Zbog raznih prelaznih pojava u mreži i postrojenju pojavljuju se naponi koji su dosta viši od naznačenih i nazivaju se prenaponi (komutacioni) a može doći i do atmosferskih prenapona usled atmosferskih pražnjenja. Atmosferski prenaponi ili atmosferski udarni naponi traju obično nekoliko desetina  $\mu\text{s}$  i mogu imati vrednost od nekoliko MV pozitivnog ili negativnog polariteta. Standardan oblik prenaponskog talasa je



Atmosferski prenapon karakterišu temena vrednost  $U_m$ , polaritet i vreme trajanja čela i začelja. Vremenski interval OA naziva se vremenom čela talasa  $\tau_c$  a interval OB predstavlja vreme začelja  $\tau_z$ . Skraćena oznaka naponskog talasa je  $\pm U_m \tau_c / \tau_z$ .

Da bi se sprečilo štetno delovanje prenapona na elemente postrojenja koristi se aparat koji se naziva odvodnik prenapona. Njegova uloga je da prenapon smanji na nivo koji je bezopasan za opremu. Za ispitivanje opreme kroz koju se očekuje proticanje struje atmosferskog pražnjenja (odvodnik prenapona) koristi se standardni strujni udarni talas.



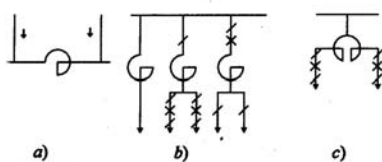
Najjednostavniji uređaj za zaštitu od prenapona je iskrište. To su dve elektrode, od kojih je jedna uzemljena a druga vezana za fazni provodnik. Kada iskrište reaguje (proradi) stvara se kratki spoj jer je jedna elektroda uzemljena. Danas se koriste dva tipa odvodnika prenapona: silicijum-karbidni (SiC) odvodnici i cink-oksadni (ZnO) odvodnici.

Odvodnik se postavlja što je moguće bliže šticeu objektu (u visokonaponskim postrojenjima to su energetske transformatori jer su oni najskuplji elementi postrojenja).

## PRIGUŠNICE

Prigušnica je induktivni namotaj bez gvožđa koji se vezuje na red sa potrošačem. U elektroenergetskim sistemima prigušnice se najčešće koriste za ograničenje struja kratkih spojeva, za uzemljenje neutralne tačke energetskih transformatora i za regulaciju reaktivnih snaga.

Prigušnice za ograničenje struja kratkih spojeva namenjene su za redno vezivanje u granu mreže. Ove prigušnice nemaju feromagnetno jezgro, namotaji su napravljeni od bakra ili aluminijuma i imaju kostur od specijalnog betona. Trofazna prigušnica se sastoji od tri jednofazne koje se postavljaju jedna iznad druge ili jedna pored druge. Prigušnice se izvode za unutrašnju ili spoljašnju montažu, sa suvom ili uljnom izolacijom.



- obična-redna prigušnica između sabirničkih sekcija
- obične-redne prigušnice u izvodima
- razdvojna prigušnica

Kod mreža sa izolovanom neutralnom tačkom, u neutralnu tačku mreže se priključuju kompenzacione prigušnice (Petersenove prigušnice). One se prave sa magnetnim jezgrom koje ima veći vazdušni zazor i smeštaju se u sud sa uljem. U mrežama, u kojima je neutralna tačka uzemljena preko male impedanse, koriste

se prigušnice za uzemljenje koje su slične kompenzacionim ali sa mnogo manjom reaktansom i dimenzije su im mnogo manje.

Prigušnice za regulaciju reaktivne snage preuzimaju viškove stvorene reaktivne snage i ne dozvoljavaju povišenje napona iznad maksimalno dozvoljene vrednosti. Najčešće se koriste tiristorski kontrolisane prigušnice i prigušnice upravljane jednosmernom strujom.

## KONDENZATORI I KONDENZATORSKE BATERIJE

Potrošači električne energije, pored aktivne snage, uzimaju iz mreže i reaktivnu snagu. Tipični potrošači reaktivne snage su asinhroni motori, transformatori i prigušnice, fluorescentne svetiljke i sl. Reaktivna snaga dodatno opterećuje elemente mreže i uzrokuje pad napona i povećane gubitke, zbog čega je potrebno izvršiti kompenzaciju reaktivne snage a to znači proizvodnju reaktivne snage na mestu njene potrošnje ili što bliže njemu. Kompenzacija reaktivne snage se vrši kondenzatorskim baterijama.

Kompenzacija reaktivne snage može biti statička i dinamička. Statička kompenzacija se sprovodi kondenzatorskim baterijama stalnog kapaciteta i ne postoji mogućnost regulisanja reaktivne snage. Dinamička kompenzacija omogućava regulaciju reaktivne snage jer je kondenzatorska baterija napravljena od većeg broja kondenzatora različitog kapaciteta i ima uređaj za automatsku regulaciju uključenosti pojedinih stepena. Prekompenzacija nije dozvoljena i loša je po sistem i do nje ne može doći ako se koristi automatska regulacija reaktivne snage. Kompenzacija može biti i: pojedinačna, grupna i centralna. Pojedinačna kompenzacija se sprovodi tako što se većim potrošačima (motorima i energetske transformatorima) direktno priključi kondenzatorska baterija odgovarajuće snage. Grupna kompenzacija se sprovodi za grupu potrošača i pošto se potrošnja reaktivne snage menja u toku dana, grupna kompenzacija se realizuje ugradnjom kondenzatorskih baterija sa uređajem za automatsku regulaciju. Pod centralnom kompenzacijom se podrazumeva priključenje kondenzatorskih baterija u potrošačke tačke mreže. To su, najčešće, sabirnice u postrojenju iz kojeg se napaja posmatrano potrošačko područje.

## UREĐAJI ZA UPRAVLJANJE POTROŠNJOM ELEKTRIČNE ENERGIJE (MTK)

MTK (mrežna tonfrekventna komanda) je oblik upravljanja potrošnjom električne energije koji koristi samu mrežu za prenos podataka. Koristi se za upravljanje tarifama, javnim osvetljenjem, daljinsko uključivanje i isključivanje termičkih potrošača, alarmiranje mobilnih ekipa i sl. Prenos podataka je jednosmeran, od jednog ili više predajnika ka velikom broju izvršnih prijemnika. Upravljački signal predstavlja kratki niz određenih impulsa koji formiraju tzv. impulsi telegram. Signal se ubacuje u mrežu simetrično u sve tri faze, najčešće na naponima od 10kV, 20kV ili 35kV.

Nadgledanje i upravljanje MTK sistemom se obavlja iz centralne komandne stanice (dispečerskog centra) u kojoj uređaj centralne emisije automatike stvara impulsne telegrame i šalje ih predajnicima. Predajnici ili emisija postrojenja se ugrađuju u pojedine transformatorske stanice i ubacuju upravljačke naredbe (preko impulsnog telegrama) u energetske mreže. Komunikacija između centralne komandne stanice i pojedinih transformatorskih stanica se ostvaruje telefonskom ili radio vezom (pomoću signalnih parica). Pored impulsnog telegrama, iz centralne komandne stanice se šalje i tonfrekventni nosilac, tzv. pilot frekvencija, da bi se uskladio rad predajnika u transformatorskim stanicama i da bi se izbeglo ometanje između pojedinih sistema.

## TRANSFORMATORI SNAGE U POSTROJENJIMA

Energetski transformator je statički uređaj sa dva ili više namotaja koji vrši transformaciju el. energije sa jednog naponskog nivoa na drugi pri istoj učestanosti radi prenosa el. energije. Sastoji se od magnetnog kola-jezgra od feromagnetnog materijala i primarnog (prima energiju iz mreže) i sekundarnog namotaja (predaje energiju potrošaču). Jezgro je napravljeno od hladno valjanih čeličnih limova da bi se snizilo gubici usled histerezisa i vrtložnih struja. Namotaji su od bakarnih ili aluminijumskih provodnika okruglog ili pravougaonog

preseka. Zavisno od vrste izolacije, transformatori mogu da budu uljni i suvi. Prema principu transformacije, mogu da budu: sa odvojenim namotajima (dvonamotajni i tronamotajni) i autotransformatori.

Karakteristične veličine energetskih transformatora su:

- naznačeni napon namotaja  $U_n$  (napon koji nastaje u praznom hodu između priključaka namotaja);
- naznačeni odnos transformacije  $m = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{N_1}{N_2}$  (odnos naznačenih napona ili broja navojaka primara i sekundara);
- naznačena snaga  $S_n$ ;
- naznačena struja  $I_n$ ;
- napon kratkog spoja energetskog transformatora  $u_k\%$  (napon koji pri ispitivanju u kratkom spoju postigne odgovarajuću naznačenu struju);
- način hlađenja uljnih transformatora;
- sprega namotaja u transformatoru (trougao D, zvezda Y ili izlomljena zvezda Z).

Transformatori mogu biti za povišenje napona i za sniženje napona.

Gubici snage u transformatoru sastoje se od gubitaka u bakru  $P_{Cu}$  (zavise od opterećenja) i gubitaka u gvožđu  $P_{Fe}$  (ne zavise od opterećenja)

Grupe sprezanja energetskih transformatora su:

1. sprega zvezda-zvezda (koristi se za povezivanje dve mreže visokog napona);
2. sprega zvezda-slomljena zvezda (koristi se kod mreže kod koje se koristi nulti provodnik i kod manjih snaga transformatora);
3. sprega trougao-slomljena zvezda (koristi se kod mreže kod koje se koristi nulti provodnik i kod većih snaga transformatora);
4. sprega zvezda-trougao (koristi se za transformatore koji rade u bloku sa generatorom).

Vrlo često se u visokonaponskim postrojenjima zahteva da dva ili više transformatora snage rade paralelno, odnosno da njihovi primarni namotaji budu priključeni na zajedničke sabirnice a sekundarni namotaji, takođe, na zajedničke sabirnice ili mrežu. Paralelan rad transformatora je dobar ako:

- pri neopterećenju sekundarnoj mreži kroz sekundarne namotaje ne teku nikakve struje;
- transformatori dele opterećenje srazmerno svojim naznačenim snagama (ne smeju se previše razlikovati; odnos najveće prema najmanjoj ne sme biti veći od 3);
- nema faznog pomeraja između odgovarajućih veličina pojedinih transformatora.

Da bi paralelan rad transformatora bio dobar, moraju biti ispunjeni sledeći uslovi:

- odnosi transformacije svih transformatora moraju biti jednaki;
- transformatori moraju imati istu spregu namotaja;
- naponi kratkog spoja svih transformatora moraju biti jednaki.

Transformator treba zaštititi od:

- spoljašnjih prenapona (odvodnicima prenapona);
- struja kratkih spojeva i preopterećenja (prekidačima, osiguračima, prekostrujnim relejima i sl.);
- kvarova u samom transformatoru (Buholcovim relejem, kotlovskom zaštitom i sl.).

## POSTROJENJA JEDNOSMERNE STRUJE

Oko 20% ukupno potrošene el. energije se troši u vidu jednosmerne struje. U oblasti elektroprivrede, koristi se za pobuđivanje generatora, upravljanje uređajima za kompenzaciju reaktivne snage, kao rezervno napajanje uređaja u postrojenjima, za napajanje komandno-signalnih kola i sl. Koristi se u tekstilnoj industriji, za regulaciju el. peći, u topionicama, valjaonicama, za pokretanje el. lokomotiva, tramvaja, trolejbusa, kranova, dizalica, i sl.

Jednosmerna struja se dobija iz mreže naizmernične struje korišćenjem elektronskih komponenata koje se zovu usmerači. Usmerači manjih snaga su monofazni i koriste se za napajanje elektronskih kola a usmerači većih snaga su trofazni i koriste se u energetskim postrojenjima.

Najjednostavniji usmerački element je poluprovodnička dioda koja propušta el. struju u jednom smeru a u drugom ne. Tiristor se može upotrebiti da prekine normalno provođenje struje za bilo koji vremenski period i da bi struja nastavila da teče potrebno je dovesti odgovarajući pobudni signal na pobudnu elektrodu (provodi samo pozitivnu poluperiodu sinusoide).

U energetske postrojenjima koriste se trofazni usmerači (usmeračke stanice) koji mogu biti polutalasnici i punotalasni (mostni).

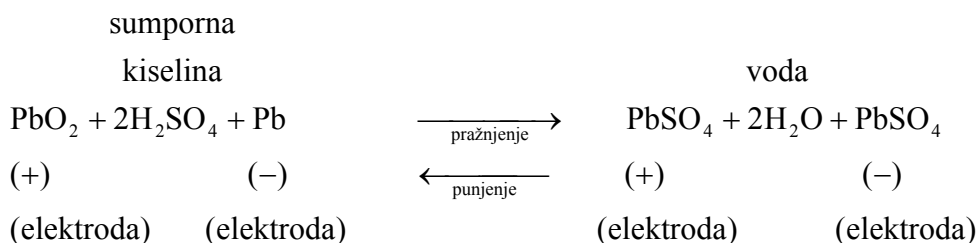
Akumulatori su uređaji za akumuliranje el. energije. El. energija jednosmerne struje se pretvara u hemijsku energiju (punjenje) koja se čuva u akumulatoru i priključenjem potrošača se hemijska energija pretvara u el. energiju (pražnjenje). Akumulator ima jednu ili više ćelija koje spojene na red čine akumulatorsku bateriju. Svaka ćelija ima pozitivnu i negativnu elektrodu koje su razdvojene elektrolitom. Osnovni parametri akumulatora su naznačeni kapacitet i naznačeni napon. Naznačeni kapacitet je količina naelektrisanja koju akumulator može da preda potrošaču tokom pražnjenja odgovarajućom naznačenom strujom a da napon akumulatora ne opadne ispod krajnjeg napona pražnjenja. Naznačeni napon je proizvod broja redno vezanih ćelija i naznačenog napona jedne ćelije. Prama nameni mogu biti: stacionarni (vezuju se paralelno sa ispravljačima i služe za napajanje uređaja za signalizaciju, veze, zaštitu, osvetljenje i sl., najčešće su olovni), starterski (za pokretanje automobila, olovni ili nikel-kadmijumski), trakcioni (za pokretanje viljuškara, jamskih lokomotiva i sl.) i prenosni (za napajanje uređaja malih snaga).

Osnovni elementi olovnog akumulatora su:

- pozitivna elektroda (olovo-superoksid ( $\text{PbO}_2$ ));
- negativna elektroda (čisto šupljikavo olovo ( $\text{Pb}$ ));
- elektrolit (razblažena sumporna kiselina ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )).

Naznačeni napon ćelije olovnog akumulatora je 2V.

Hemijski procesi tokom punjenja i pražnjenja akumulatora se mogu prikazati formulom



gde je ( $\text{PbO}_2$ ) - olovo-superoksid, ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) - sumporna kiselina, ( $\text{Pb}$ ) - olovo, ( $\text{PbSO}_4$ ) - olovo-sulfat.

Ako ovu jednačinu čitamo sa leva na desno ona znači pražnjenje a obrnuto znači punjenje pa se radi o povratnom ili reverzibilnom procesu.

Osnovni elementi alkalnog (nikel-kadmijumskog) akumulatora su:

- pozitivna elektroda (nikel-oksidi-hidrat ( $\text{NiO}(\text{OH})$ ));
- negativna elektroda (kadmijum u obliku praha ( $\text{Cd}$ ));
- elektrolit (kalijum-hidroksid ( $\text{KOH}$ )).

Naznačeni napon ćelije alkalnog akumulatora je 1.2V.

Akumulatori se pune jednosmernom strujom i uređaji kojima se pune se zovu punjači i to su ispravljači izvedeni diodama i tiristorima koji naizmeničnu el. energiju pretvaraju u jednosmernu.

Veliki broj uređaja u razvodnim postrojenjima i elektranama zahteva neprekidno napajanje (upravljačka kola, kola signalizacije, relejni uređaji, pobudni sistemi, računarski sistemi, osvetljenje) i za to se koriste sistemi za neprekidno napajanje. Oni se sastoje od ispravljača, akumulatorske baterije i invertora (pretvaraju jednosmernu u naizmeničnu struju). Kada ima napajanja iz mreže, akumulator je stalno napunjen pomoću ispravljača i preko invertora napaja potrošače. Kada dođe do prekida napajanja iz mreže, inverter se napaja iz akumulatora i napaja potrošače.

# ELEKTRIČNE ŠEME

## Grafički simboli

СИМБОЛ	ЗНАЧЕЊЕ	СИМБОЛ	ЗНАЧЕЊЕ
	Отпорник	 1  2	Трансформатор са два намотаја
	Променљиви отпорник		
	Шент		
	Кондензатор		
	Акумулаторска батерија	 1  2	Трансформатор са три намотаја
	Исправљач		
	Уземљење		
	Квар, пробој, кратак спој		
	Ручно управљање	 	Пригушница
	Пнеуматско или хидраулично управљање		
	Електромагнетно управљање	   	Трофазни трансформатор спреге звезда – троугао
	Електромагнетно управљање са временским кашњењем		
	Електромоторно управљање		
	Осигурач		
	Одводник пренапона		
	Расстављач		
	Расставна склопка	 	Струјни трансформатор
	Прекидач снаге	 	Струјни трансформатор са два језгра
	Трофазни трансформатор		Напонски трансформатор
	Трофазни аутотрансформатор		Претварач
	Исправљач		Сигнална светиљка
	Џиберџор		Показивач положаја
	Исправљач/Инвертор		Помоћно реле са једним радним контактом
	Осцилоскоп		Помоћно реле са једним мерним контактом

	Трофазни синхрони генератор		Помоћно реле са једним преклопним контактом
	Мотор једносмерне струје са редном побудом		Биметално реле
	Мотор једносмерне струје са паралелном побудом		Временско реле са затезањем
	Трофазни асинхрони мотор са краткоспојеним ротором		Поларизовано реле (ради само са једним смером)
	Трофазни асинхрони мотор са намотаним ротором		Реле нестанка напона
	Прекидач		Прекострујни реле
	Контактор		Импедансни реле
	Звоно		Кабловска трофазна глава
	Труба		Сирена

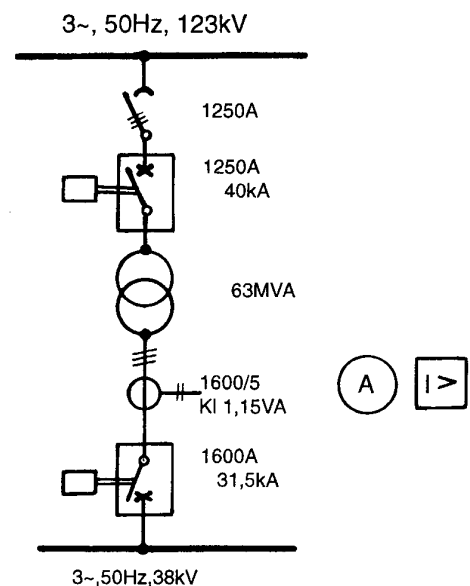
## Jednopolne i trolne šeme

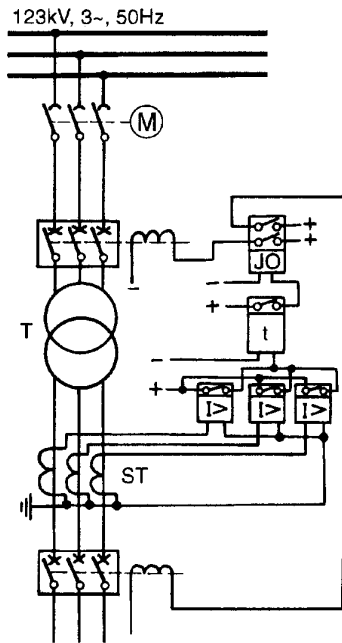
U postrojenju se razlikuju: 1. glavna strujna kola (priključena su na pogonski, visoki napon), 2. strujna kola zaštite i merenja (priključena su na sekundarne namotaje strujnih ili naponskih transformatora) i 3. pomoćna strujna kola (priključena su na pomoćne izvore jednosmerne struje).

Postrojenja se na crtežima predstavljaju pomoću šema. El. šeme imaju za cilj da pokažu način spajanja aparata i postrojenja. U zavisnosti od toga šta predstavljaju i koliko detaljno, postoji više vrsta šema:

1. jednopolna šema (glavna);
2. trolna šema ili šema delovanja;
3. montažna šema (šema vezivanja);
4. razvijena šema.

Glavna šema služi kao osnova za projektovanje i na njoj su prikazana glavna strujna kola. Ovakve šeme se prikazuju uprošćeno bez naznačavanja pratećih elemenata postrojenja kao što su merni transformatori, odvodnici prenapona i sl. One treba da budu: pouzdane (sa malom verovatnoćom kvarova), elastične (da omogućavaju premeštanje i grupisanje elemenata (generators, transformatora, vodova) i pod opterećenjem u toku pogona), ekonomične (da omogućavaju upotrebu minimalnog broja skupih elemenata (naročito prekidača)), jednostavne (pregledne i lake za rukovanje). Jednopolna šema transformatorskog polja je



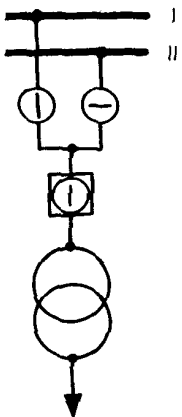


Tropolne šeme ili šeme delovanja pored glavnih strujnih kola sadrže i kola zaštite, merenja i pomoćna strujna kola. One daju prostorni raspored svih aparata ali ne i njihov tačan položaj. To je glavna šema za kontrolu ispravnosti vezivanja aparata i opreme.

Tropolna šema transformatorskog polja je

Šema vezivanja se izrađuje na osnovu šeme delovanja i prikazuje prostorni raspored elemenata. Na ovoj šemi se označavaju sve priključne stezaljke na elementima, redne stezaljke od kojih polaze i na kojima se završavaju provodnici kao i provodnici svih strujnih kola u postrojenju sa svim podacima (broj kabla, vrsta kabla, broj i presek žila, namena i sl.).

Kod većih i komplikovanijih šema postrojenja vrlo je teško pratiti sva strujna kola i tada se crtaju razvijene šeme. Razvijena šema prikazuje delovanje pomoćnih strujnih kola i redosled uključenja i isključenja pojedinih aparata. Strujna kola se crtaju pravolinijski, bez ukrštanja, ne vodi se računa o prostornom rasporedu i mehaničkoj povezanosti pojedinih delova. Kola se unose sleva nadesno prema vremenskom uključenju njihovih elemenata. Ova šema omogućava brz uvid u veze i njihovo funkcionisanje i korisna je za pronalaženje kvarova.



Komandne table u postrojenjima moraju biti tako projektovane i izvedene da osoblje koje njima rukuje ima što bolju preglednost i da lakše vrši manipulacije pa se na njima crtaju slepe šeme. Na njima su ucrtani rasklopni aparati i pomoćni uređaji i njihove veze sa sabirnicama. Na njima se mogu nalaziti i svetlosne oznake koje pokazuju stanje uključenosti i isključenosti pojedinih aparata (crveno svetlo – aparat je uključen, zeleno svetlo - isključen).

Da bi se šema pravilno pročitala, potrebno je znati grafičke simbole kojima se predstavljaju pojedini elementi i njihove funkcije u kolima.



## KOMANDNI I SIGNALNI UREĐAJI

### OPŠTI PRINCIPI UPRAVLJANJA POSTROJENJEM

Pod upravljanjem postrojenjem se podrazumevaju sve mere i postupci koji se preduzimaju radi pouzdanog i bezbednog uspostavljanja ili prekidanja visokonaponskih kola. Upravljanje znači na odgovarajući način komandovati prekidačima i rastavljačima da bi se određeni deo postrojenja doveo u beznaponsko stanje ili stavio pod napon. Do prekidanja strujnog kola može doći zbog delovanja zaštite ili zbog vršenja određenih neophodnih radova u postrojenju. Odgovorno lice u postrojenju mora da zna zašto je došlo do isključenja da bi preduzelo mere da se taj uzrok otkloni i da se isključeni deo postrojenja ponovo stavi pod napon.

U postrojenjima srednjeg napona merni instrumenti, releji i uređaji za signalizaciju i upravljanje se smeštaju na komandne table koje se nalaze neposredno uz ćeliju (to je prostor koji zauzimaju uređaji preko kojih se određeni element postrojenja vezuje za sabirnice kod postrojenja u zgradama, a kod postrojenja na otvorenom se zove polje) tako da ne postoji posebna komandna prostorija.

Kod postrojenja višeg napona i kod postrojenja na otvorenom koriste se komandni pultovi. Manji komandni pultovi (dužine do 8m) postavljaju se u jednoj liniji a veći se postavljaju u luku. Na prednju stranu komandne ploče postavljaju se pokazni instrumenti, uređaji za upravljanje i slepa šema na kojoj je označeno šta je pod naponom a šta nije a kod elektrana ucrtane su i sinoptičke šeme koje prikazuju stanje svih termičkih i hidrauličkih objekta (količina vode, pritisak pare, pritisak i količina ulja i sl.).

### RUČNO I ELEKTRIČNO KOMANDOVANJE

Pod komandovanjem se podrazumeva ostvarivanje zahteva da se sklopni aparati uključe ili isključe. Pri isključenju dela postrojenja najpre se otvaraju kontakti prekidača a zatim se otvaraju odgovarajući rastavljači. Pri uključenju dela postrojenja najpre se zatvaraju rastavljači a zatim se zatvaraju kontakti prekidača. Komandovanje sklopnim aparatima može biti ručno i električno pomoću pogonskih mehanizama. Ručno komandovanje se primenjuje za rastavljače napona do 35kV i za zemljospojnike napona do 110kV. Za rastavljače napona većeg od 110kV komandovanje je električno. Komandovanje prekidačima je električno.

### POKRETANJE SKLOPNIH APARATA

Pokretanje (otvaranje i zatvaranje) sklopnih aparata može se obaviti:

1. na licu mesta (za napone manje od 35kV):
  - a) direktno (pritiskom na taster pogonskog mehanizma ili aktiviranjem odgovarajuće poluge) i
  - b) indirektno (iz pripadajućeg komandnog oramara);
2. lokalno (iz posebne prostorije unutar postrojenja električnim putam) i
3. daljinski (davanjem komande sa mesta koje je udaljeno od postrojenja, obično iz dispečerskog centra).

Daljinsko uključivanje i isključivanje rastavljača i prekidača se može vršiti pomoću komandno-potvrdnih prekidača. Da bi se sprečilo slučajno i pogrešno rukovanje, pri radu sa komandno-potvrdnim prekidačima, uvek treba napraviti dva pokreta dok se željena komanda ne izvrši, odnosno oni imaju dva položaja: pripremni i izvršni (izvlačenje ručice (pripremni) i okretanje ručice (izvršni) ili okretanje ručice za 90° (pripremni) i još jednom za neki ugao (izvršni)). Ručica komandno-potvrdnog prekidača se zadrži kratko vreme u izvršnom položaju, dok se ne uključi rastavljač, posle čega se sama vraća u pripremni položaj za uključivanje. Na isti način daje se komanda za isključenje rastavljača. Položaj komandno-potvrdnog prekidača se signalizira sijalicom koja je ugrađena u ručicu rastavljača. Komandno-potvrdni prekidači za upravljanje prekidačima imaju i zvučnu signalizaciju.

Noževima za uzemljenje na rastavljaču voda ne komanduje se daljinski, već ručno, u postrojenju. Na komandnoj tabli postoji potvrdni prekidač koji signalizira položaj noža.

## POGONSKI MEHANIZMI SKLOPNIH APARATA

Rastavljač se može pokretati ručno, pneumatski ili elektromotornim pogonom. Upravljanje pneumatskim i elektromotornim pogonskim mehanizmima može se obavljati i daljinski.

Za pokretanje prekidača koriste se ručno-opružni, elektromagnetni, pneumatski i elektromotorni pogoni. Ručno-opružni pogon se sastoji u ručnom sabijanju opruge za uključenje i koristi se kod maloljnih prekidača napona do 10kV. Kod elektromagnetnih pogona prekidač se uključuje tako što pritiskom na taster počinje da deluje elektromagnet za uključenje a isključuje pomoću opruge. Kod pneumatskog pogona, prekidač se uključuje dejstvom komprimovanog vazduha na kontakte prekidača a isključuje aktiviranjem elektromagneta za isključenje ili dejstvom opruge. Pri elektromotornom pogonu opruga za uključenje prekidača se sabija pomoću elektromotora.

## SIGNALIZACIJA

Povratno javljanje treba da signalizira položaj prekidača. Signalizacija treba da bude tako izvedena da se položaj prekidača može tačno utvrditi. U tu svrhu se upotrebljavaju kontakti signalnog prekidača koji je mehanički spojen sa osovinom prekidača. Signalni prekidači su pomoćni prekidači koji se ugrađuju uz prekidače i rastavljače i pokreću se neposredno sa njihovih osovina a ako rastavljač ima pneumatski pogonski mehanizam, signalni prekidači se pokreću sa komandnih uređaja. Signalni prekidači imaju nekoliko različitih kontakata za signaliziranje, sinhronizaciju i blokiranje i to su:

- radni – otvoreni kada su isključeni glavni kontakti prekidača ili noževi rastavljača, odnosno kada kroz pobudni namotaj releja teče struja;
- mirni - zatvoreni kada su isključeni glavni kontakti prekidača ili noževi rastavljača, odnosno kada kroz pobudni namotaj releja ne teče struja;
- trenutni – služi za zvučno signaliziranje da je prekidač isključen delovanjem nekog od zaštitnih uređaja;
- produženi – duže traje u smeru isključenja.

Signalizacija može biti: obaveštajna (obaveštava o trenutnom stanju aparata preko sijalice ili preko pokazivača položaja) i alarmna (javlja o stanjima kao što su: poremećaj u postrojenju, kvar, ispad pojedinih aparata, havariju i sl.).

Radnici u postrojenju treba uvek da budu upozoreni pre isključenja prekidača zbog delovanja zaštitnih uređaja. Svetlosna signalizacija se ostvaruje pomoću dve sijalice, jedna pokazuje da je aparat uključen a druga da je isključen. To je potrebno zbog sigurnosti u slučaju pregorevanja sijalice. Svetlosna signalizacija nije dovoljna pa se isključenje prekidača signalizira i akustično (truba). Truba se isključuje pritiskom na taster. U velikim postrojenjima signalizacija se ostvaruje po grupama, sa jednom signalnom trubom koja signalizira da je došlo do isključenja, dok sijalica signalizira u kojoj grupi je došlo do isključenja. Truba se zatim isključuje jednim tasterom a sijalica drugim.

## AUTOMATSKO PONOVO UKLJUČENJE

Kod savremenih tipova prekidača predviđena je mogućnost isključenja i brzog ponovnog uključanja, jer je veliki broj kvarova u elektroenergetskim sistemima privremenog karaktera. Obično se zahteva da prekidač može ponovo da uključi deo mreže koji je bio isključen zbog kvara, kao i da ga brzo isključi ako je ostao u kvaru. Često se zahteva i mogućnost dva uzastopna ponovna uključanja sa trenutnim naknadnim isključenjima. Propisi preporučuju kao standard za normalne uslove rada sledeći ciklus operacija : isključenje – pauza od 180s – ponovno uključanje sa trenutnim isključenjem – pauza od 180s - ponovno uključanje sa trenutnim isključenjem. Skraćena oznaka za ovaj ciklus je O – 3min – CO – 3min – CO.

## BLOKIRANJE RASTAVLJAČA

Kod rastavljača je moguće ručno uključenje i isključenje i to veoma često predstavlja uzrok havarija u postrojenjima. Da bi se sprečile pogrešne manipulacije, rastavljač se blokira, odnosno onemogućava se njegovo otvaranje dok protiče struja uprkos komandi za otvaranje. Rastavljač se može blokirati mehanički, pneumatski ili električno. Mehaničko blokiranje se primenjuje u postrojenjima sa ručnim upravljanjem i rastavljač je mehanički ukočen ili otkočen zavisno da li je prekidač uključen ili isključen. Mehaničko blokiranje se izvodi pomoću katanca kojim se zaključavaju pogoni sklopnih aparata ili sistemom centralnog zaključavanja brava ključevima (svi rastavljači se blokiraju pomoću jednog ključa i on se stavi u bravu pogona prekidača i kada je prekidač uključen, ne može se izvaditi). U većim postrojenjima blokiranje rastavljača se, najčešće, obavlja električnim putem preko jednog od kontakata na signalnom prekidaču ili postavljanjem pomoćnog releja koji se pobuđuje preko kontakata signalnog prekidača.

## UREĐAJI ZA SINHRONIZACIJU

U svakoj elektrani nalazi se po nekoliko generatora i u odnosu na ostali deo elektroenergetskog sistema svi generatori rade paralelno. U toku dana ne rade stalno svi generatori, što zavisi od dijagrama dnevnog opterećenja. Postupak uključivanja generatora na mrežu naziva se sinhronizacija i ona se može obavljati ručno i poluautomatski ili automatski (kod postrojenja sa daljinskim upravljanjem). Kod sinhronih generatora treba da bude ispunjeno više uslova za paralelan rad:

1. redosled faza generatora i mreže na koju se priključuju mora biti isti.
2. elektromotorna sila generatora mora biti jednaka naponu mreže.
3. elektromotorna sila generatora mora biti u fazi sa naponom mreže.
4. učestanost elektromotorne sile generatora mora biti jednaka učestanosti napona mreže.

U svakoj elektrani postoji posebna oprema za dovođenje sinhronih generatora u paralelan rad s ostalim generatorima, odnosno oprema za sinhronizaciju. Ovu opremu sačinjavaju dvostruki voltmetar (jedan voltmetar meri napon mreže a drugi elektromotornu silu generatora), dvostruki frekvencmetar (jedan frekvencmetar meri učestanost napona mreže a drugi učestanost elektromotorne sile generatora), sinhronizacione sijalice (obične sijalice koje se pale ili gase kada se poklope učestanosti napona mreže i generatora) i nulti voltmetar (osetljiv na male vrednosti napona) i sinhronoskop (to je aparat koji može da zameni sinhronizacione sijalice i nulti voltmetar).

## RADOVI NA IZGRADNJI ELEKTRIČNIH POSTROJENJA

### MONTAŽNI RADOVI U ČELIJAMA I POLJIMA, U ZGRADAMA I NA OTVORENOM PROSTORU

Nakon što se obave građevinske i komunalne pripreme prostorija i okolnog prostora, postupak montaže postrojenja obuhvata bravarske i elektromontažne radove. Bravarski radovi obuhvataju: pripremu materijala, izradu bravarskih elemenata, zaštitu elemenata (bojenje, cinkovanje), radioničko sklapanje konstrukcija, provera dimenzija u odnosu na vrednosti iz projekta, transport elemenata do mesta montaže postrojenja i montaža opreme. Elektromontažni radovi su: priprema materijala, radionička izrada, obavljanje neophodnih ispitivanja, transport elemenata do mesta montaže postrojenja, montaža opreme, spajanje bravarskih i elektromontažnih radova i provera funkcionisanja i ostala propisana ispitivanja. Zatim sledi otklanjanje nedostataka u saradnji sa odgovornim licem (nadzornim organom).

Pre početka radova potrebno je raščistiti teren gde će se obaviti montaža. Sve otvore na mestu gde se obavljaju radovi (građevinske i montažne otvore, otvore između spratova, kablovske šahte) treba zatvoriti

podovima koji se ne pomeraju ili ih treba ograditi. Istovremeno obavljanje elektromonterskih i građevinskih radova dozvoljava se samo ako ne postoji mogućnost da se radnici povrede.

Pri montaži otvorenog dela postrojenja taj deo mora biti ograđen. Kablovski kanali, do postavljanja ploča koje su predviđene projektom, treba da budu zatvoreni a kada se polože kablovi u njih treba ih zatvoriti pločama. Sve konstrukcije otvorenog dela postrojenja (sabirnički i dalekovodni portali, osnove za posravljanje prekidača, rastavljača i mernih transformatora) moraju da budu pričvršćene odgovarajućim zavrtnjima ili zavarene na odgovarajući način. Ako ovo nije ispunjeno, rad na takvim konstrukcijama je zabranjen. Sabirnice otvorenih delova postrojenja treba montirati pre opreme. Pri radu na visini, na otvorenim postrojenjima, svi monter i su dužni da se vezuju za konstrukciju pomoću sigurnosnih pojaseva. U slučaju oluje ili jakog vetra svi radovi na montaži opreme otvorenih postrojenja i na uvođenju nadzemnih vodova u zatvorena postrojenja treba da budu obustavljeni.

Najčešće se počinje sa montažom potpornih i provodnih izolatora na odgovarajućoj nosećoj konstrukciji. Zatim se montiraju rastavljači, rastavne sklopke i rastavljači sa zemljospojnicima. Najpre se montiraju izolatori rastavljača, pa glavno kolo rastavljača a na kraju pogonski mehanizam i svi delovi se zatim povežu i izvrše se merenja da bi se proverila ispravnost montaže. Montaža prekidača se vrši na isti način kao i montaža rastavljača (prekidači se montiraju isključivo u vertikalnom položaju). Zatim se montiraju merni transformatori (uljni samo u vertikalnom položaju a ostali u bilo kom položaju). Zatim se montiraju odvodnici prenapona (u vertikalnom položaju ili se mogu bočno okačiti na zid). Montaža sabirnice je veoma važna i veoma važno je pravilno saviti i nastaviti šine (mogu biti bakarne i aluminijumske). Za to se koristi priručni alat i prese (obično hidraulične). Posle montaže šine se obično premazuju odgovarajućom bojom u zavisnosti od faze.

## **MONTAŽA OKLOPLJENIH POSTROJENJA**

Vazduhom izolovana i metalom oklopljena postrojenja uglavnom su fabrički montirana i tipski proizvedena tako da samo treba sklopiti pojedine elemente prema projektu.

SF<sub>6</sub> postrojenja treba da budu montirana na podlogu koja je potpuno horizontalna. Svi delovi su, takođe, tipski proizvedeni.

## **MONTAŽA POSTROJENJA NA STUBU**

Postrojenje na stubu je transformatorska stanica, najčešće 10kV/0.4kV pogodna za napajanje seoskih domaćinstva, gradilišta i sl. Tipski je proizvedena i ispitana u fabrici a zatim se demontira i transportuje na mesto ugradnje. Stub je čeličan i sastavljen iz više delova koji se lako i brzo sklapaju na mestu ugradnje. Oprema se montira od vrha stuba i najpre se montiraju odvodnici prenapona, pa zatim rastavna sklopka i transformator. Niskonaponski deo se smešta u zatvoreni ormar, koji se montira u donji deo stuba kako bi mu se moglo prići bez penjanja.

## **MONTAŽA TRANSFORMATORA**

Energetski transformatori napona do 35kV isporučuju se kompletno montirani. Na mesto ugradnje se dovoze kamionima ili specijalnim transporterima. Transformatori ostalih naponskih nivoa isporučuju se u delovima. Transformator se postavlja na mesto predviđeno u postrojenju i tu se učvršćuje. Posle toga, montiraju se delovi koji su skinuti prilikom transporta i naliva se ulje u kotao. Na kraju se obavljaju neophodna merenja radi provere.

## **MONTAŽA I ŠEMIRANJE RAZVODNIH TABLI I PULTOVA**

Šemiranje razvodnih tabli i pultova obavlja se na osnovu montažnih šema koje precizno označavaju gde koji provodnik počinje, kuda prolazi i gde se završava. Svaka žila ima oznaku i broj aparata koji se povezuje, kao i presek kablova. Po završetku montaže, potrebno je proveriti otpor izlacijske.

## IZRADA UZEMLJENJA

Prema nameni imamo nekoliko vrsta uzemljenja: radno ili pogonsko (povezuje delove el. postrojenja sa zemljom radi onemogućavanja pojave prenapona u el. postrojenju), zaštitno (direktno štiti ljude koji rade u postrojenju od udara el. struje u slučaju kvara u postrojenju), gromobransko i sl.

Prema načinu izvođenja, uzemljivači se dele na: plitke ili površinske (trakasti i mrežni) i dubinske (cevni ili štapni i pločasti). Uzemljivač se oblikuje tako da zadovolji određene vrednosti otpora rasprostiranja uzemljivača i napona dodira i koraka. Ako se uzemljivač izrađuje u obliku mreže horizontalno postavljenih provodnika od pocinkovanih traka (najmanji presek  $50\text{mm}^2$ ) ili bakarnih (najmanji presek  $16\text{mm}^2$ ) ili aluminijumskih provodnika (najmanji presek  $35\text{mm}^2$ ), svi delovi postrojenja koji se uzemljuju moraju da budu unutar te mreže i da budu udaljeni najmanje 1m od okvira te mreže. Horizontalni uzemljivači se polažu u tlo na dubini 0.5-1m. Štapni ili cevni uzemljivači postavljaju se u zemlju na dubinu od 2.5 do 3m vertikalno 2m od objekta. Cevi se mogu ukopati ili nabiti u zemlju ručno ili električnim ili pneumatskim čekićima. Ako se uzemljivač sastoji od više štapnih uzemljivača, oni treba da budu međusobno razmaknuti najmanje onoliko koliko iznosi njihova dvostruka dužina. Pločasti uzemljivači su bakarne ili čelične pocinkovane ploče dimenzija  $1\text{m} \times 1\text{m}$  debljine 3mm koje se polažu u zemlju vertikalno i međusobno se spajaju.

Uzemljivač mora da bude u dobrom kontaktu sa tлом u koje se polaže. Kod kamenitog i šljunkovitog tla, u rov za polaganje uzemljivača nasipa se dobro provodna zemlja ili neki drugi dobro provodni materijal i provodnik uzemljivača leži u toj zemlji ili u tom materijalu.

Priključci uzemljivačkih vodova moraju biti dostupni radnicima i moraju se nalaziti iznad zemlje a takođe i merni spoj za proveru vrednosti otpora uzemljenja. Spojevi su zavareni, zanitovani ili spojeni vijcima i moraju biti zaštićeni od korozije i njihova kontrola se vrši minimalno jednom godišnje. U zemljovode nije dozvoljeno ugrađivati prekidače, osigurače i sl.

## PROPISI O IZVOĐENJU RADOVA U ELEKTRIČNIM POSTROJENJIMA

Na odgovarajućem i dovoljno uočljivom mestu u postrojenju postavlja se jednopolna šema postrojenja, uputstvo za pružanje prve pomoći pri nesreći koju izaziva el. struja, tablica sa «zlatnim» pravilima (koji se odnose na rad i manipulacije u postrojenjima) i obaveštenje o obaveznoj primeni sredstava lične zaštite.

Tekst «zlatnih» pravila glasi:

I. Isključenje, uz vidljiv prekid (ako je izvodljiv), ostvaruje se:

- prekidačem i rastavljačem,
- rastavnom sklopkom,
- vađenjem umetka niskonaponskih osigurača,
- razvezivanjem provodnika.

II. Sprečavanje slučajnog ponovnog uključanja, ostvaruje se:

- blokiranjem pogonskih mehanizama,
- uklanjanjem topljivih umetaka osigurača,
- uklanjanjem poluga i ručica za manipulaciju,
- stavljanjem izolacionih umetaka,
- blokadom uključanja prekidača,
- blokadom APU.

Obavezno je postavljanje tablice sa zabranom pristupa.

III. Beznaponsko stanje utvrđuje se na svim provodnicima koji su u normalnom pogonu pod naponom, a obuhvaćeni su postupkom uzemljivanja i kratkospajanja. Beznaponsko stanje utvrđuje se indikatorom napona ili mernim instrumentom.

IV. Uzemljivanje i kratkospajanje sprovodi se:

- na mestima odvajanja od napona,
- u blizini mesta rada gde je potrebno beznaponsko stanje zbog ovih radova,
- na mestu rada, na svim provodnicima koji su u normalnom pogonu pod naponom.

zemljivanje i kratkospajanje sprovodi se zemljospojnicima ili prenosnim napravama za uzemljivanje i kratkospajanje.

V. Ograđivanje delova pod naponom se sprovodi primenom ograda, traka, zastavica, užadi, svetlosne i zvučne signalizacije i slično. Na vidnim mestima postrojenja treba postaviti tablice za upozorenje na opasnost od dodira i približavanja delovima pod naponom. Takođe, treba postaviti i natpise koji označavaju namenu pojedinih ćelija, prostorija, priključaka i sl. Hodnici i prostorije u razvodnim postrojenjima u zgradama treba da su dovoljno široki i visoki. U njima se ne smeju nalaziti predmeti koji bi mogli da ometaju prolaženje. Vrata zatvorenih električnih pogonskih prostorija treba da se iznutra otvaraju samo kvakom a spolja specijalnim ključem.

## ZAŠTITNE MERE I SREDSTVA ZAŠTITE NA RADU

Tokom obavljanja radova u postrojenjima koriste se:

1. odgovarajuće zaštitne mere:

- a. zaštitno uzemljenje opreme visokog napona i
- b. uzemljenje nadzemnih vodova;

2. sredstva lične zaštite i zaštitna oprema koja mogu biti:

a. osnovna (sposobna su da dugo izdrže radni napon i da omoguće radnicima da dodiruju delove pod naponom i da rade na njima): izolacione motke (operativne, merne, remontne), izolaciona i merna klešta, pokazivači ili indikatori napona i sl.

b. dopunska (ne mogu samostalno da omoguće zaštitu ali pojačavaju zaštitno dejstvo osnovnih sredstava): šlem, zaštitne izolacione ploče, zaštitne naočare i štitnik za oči i lice, zaštitne rukavice, zaštitna obuća, radno odelo, zaštitni opasač, tablice bezbednosti i sredstva za označavanje mesta rada.

Izolacione motke se upotrebljavaju u zatvorenim postrojenjima a u otvorenim samo kada je vreme suvo. Sa njima radi kvalifikovani radnik i isključivo sa izolacionim rukavicama. Izolacione motke se sastoje od cevi (šupljih ili punjenih penom) i izolacionih štapova. Izolaciona klešta se koriste za postavljanje i skidanje osigurača pod naponom. Indikator napona služi za utvrđivanje naponskog stanja delova koji su u normalnom pogonu pod naponom i oni se mogu koristiti samo za napone za koje su namenjeni i isključivo se sa njima radi sa izolacionim rukavicama. Zaštitne izolacione ploče koriste se kada se radovi izvode u blizini napona, kao zaštita od slučajnog dodira delova pod naponom. Zaštitne rukavice mogu da se koriste kao zaštita od mehaničkih i drugih povreda ili pri manipulacijama u postrojenjima u kojima napon dodira i koraka nije u dozvoljenim granicama. Zaštitna obuća su zaštitne elektroizolacione čizme koje se nose pri manipulacijama u postrojenjima u kojima napon dodira i koraka nije u dozvoljenim granicama i obuća za električare koja se nosi pri manipulacijama i drugim radovima u postrojenjima. Zaštitni opasač služi za obezbeđenje od pada pri radu na visini. Izolacioni alat služi za obavljanje radova pod naponom. Tablice bezbednosti i sredstva za označavanje mesta rada obuhvataju tablice opasnosti, zabrane i upozorenja, kao i ograde, trake, zastavice, užad, svetlosne i zvučne indikatore.