

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 RUKOVOĐENJA, TEHNIČKOG NADZORA I
RUKOVANJA ODREĐENIM ENERGETSKIM
POSTROJENJIMA

NIŠIĆ 1995.

EKSPLOATACIJA POSTROJENJA

REŽIMI RADA GLAVNIH STRUJNIH KRUGOVA

Zavisno od stanja u kome se nalaze elementi glavnih strujnih krugova (rastavljači, prekidači) mogući su sledeći režimi:

- Radni režim
- „Hladna“ rezerva
- „Vruća“ rezerva
- Remontni režim
- Prelazni režim

Radni režim ostvaruje se uključanjem i opterećenjem odgovarajućih glavnih strujnih krugova.

„Hladna“ rezerva je stanje u kome su odgovarajući glavni strujni krugovi isključeni pomoću prekidača i rastavljača.

„Vruća“ rezerva je stanje u kome su odgovarajući glavni strujni krugovi isključeni samo prekidačima (rastavljači ostaju uključeni).

Remontni režim nastaje kada se isključe potrebni glavni strujni krugovi pomoću prekidača i rastavljača, proveriti da nema napona, postaviti uzemljivači sa strana odakle može doći napon, zatim postaviti ograde tablice za upozorenje kao i sprovesti sve propisane predviđene zaštitne mere.

Prelazni režim postoji kada je napajanje uključeno samo sa jedne strane (napon postoji ali opterećenje ne postoji).

SLOŽENOST OPERACIJA

U zavisnosti od složenosti objekta operacije-manipulacije glavnim strujnim krugovima mogu biti složene i proste.

U složene operacije spadaju:

- Prevođenje glavnih strujnih krugova u jedan od režima (radni, „hladna“ rezerva, „vruća“ rezerva i remontni režim)
- Prevođenje sa jednog sistema radnih sabirnica na drugi
- Uključenje u rad rezervnog sistema sabirnica sa delimičnim ili potpunim prevođenjem vodova na ovaj sistem
- Odstranjivanje jednopolnih zemljospoja

Pod prostim operacijama podrazumevaju se manipulacije samo na jednomvodu. Redosled ispunjenja složenih manipulacija reguliše se internim propisima.

Pri ovome treba imati u vidu da u realizaciji složenih operacija i prostih tačno gde nema blokade rastavljača treba da učestvuju dva lica (jedno lice izvodi operaciju a drugo kontroliše pravilnost i redosled izvođenja iste).

Takođe treba znati da kod vodova sa napajanjem sa dve strane redosled operacija na oba kraja pri pripremi za remont definiše se u zavisnosti od stanja u kome se nalazi vod u tom trenutku.

DOKUMENTACIJA ENERGETSKOG OBJEKTA

Svaki energetski objekat mora imati, zavisno od značaja, uloge i veličine postrojenja, internim propisima radne organizacije regulisan vid i oblik pismenih dokumenata — evidencija i to:

- Evidencije o uputstvima i naredbama.

— Evidencije o radnim nalogima i dozvolama za rad na pojedinim delovima postrojenja prilikom revizije, remonta i popravki.

— Evidencije o primopredaji snene.

— Evidencije o pogonskim manipulacijama — operacijama, reagovanju zaštite, kvarovima i preduzetim merama za njihovo otklanjanje (operativni — pogonski dnevnik).

— Evidencije o automatski registrovanim podacima.

— Evidencije o očitavanju instrumenata.

— Evidencije o telefonskim razgovorima — telefonska knjiga u koju se unose tekući broj, datum, tačno vreme i sadržaj predate i primljene poruke, imena naredbodavca i izvršioca.

Takođe, svaki objekat — postrojenje mora imati detaljne interne propise o manipulacijama, merama zaštite pri radu, održavanju, reviziji, kontroli kao i vidno istaknuta uputstva za pogon i rad, pružanje prve pomoći i gašenje požara i električne šeme (vrsta i veličina nazivne struje i napona, snaga, broj i vrsta elektro energetskih izvora, presek, materijal i oznake svih odvoda i sabirnica, objašnjenje simbola i šema.

Osnovni operativni dokument u objektu je obrazac — formular u koga se unose vrste i redosled složenih (i prostih ako nema uređaja za blokadu) operacija sa glavnim, komandnim i zaštitnim strujnim krugovima i prenosnim uzemljenjima, zaštitne mere, datum, vreme početka i kraja radova i potpis ovlašćenog lica i rukovaoca.

Obrazac se popunjava pred početak operacije, proverava i potpisuje od strane ovlašćenog lica i rukovaoca.

Sve operacije u obrascu moraju biti iznete u jasnoj formi, kratko i precizno tako da je isključena svaka mogućnost greške.

Takođe mora biti jasno definisana i naglašena dužnost svakog učesnika u operaciji kao i položaj prekidača, rastavljača, broj voda, obim zaštite i sl.

Međutim, naredba za rad može se izdati pored pismenog i usmenim i telefonskim putem. Lice koje izdaje naredbu mora pre izdavanja iste dobro proučiti prema šemi postrojenja redosled operacija koje moraju biti iznete kratko i jasno.

Bez popunjavanja obrasca mogu se izvoditi proste manipulacije i neke složene pod uslovom da postoji potpuna blokada pogrešnog rukovanja.

Svo osoblje objekta. — postrojenja mora znati ko može davati a ko primati naredbe za rad.

Obim radova jednog rukovaoca zavisi od uslova u objektu, njegove uloge kao i kvalifikacije osoblja.

U svakom slučaju neposredan rukovaoc treba da dobije samo jedan zadatak (uključenje ili isključenje voda, prelaz sa jednog sistema sabirnica na drugi i dr.)

RAD U OBJEKTU

Svi radovi u objektu izvode se pod nadzorom odgovornog stručnog lica.

Pre početka radova rukovodioc radova dobija naredbu od ovlašćenog lica, dozvolu za rad, zapisuje ih u knjigu, proverava sprovedene mere obezbeđenja, sprovodi eventualne dopunske mere i potpuno razjašnjava osoblju zadatak i redosled operacija.

Ako u operaciji učestvuju dva lica (složene manipulacije i proste bez uređaja za blokiranje rastavljača, postavljanje i skidanje prenosnih uzemljenja) onda lice koje je dobilo naredbu obavezno je da razjašnjuje drugom i kontroliše pravilnost i redosled operacija.

U slučaju da se posumnja u pravilnost i redosled operacija sve operacije se ne izvode dok se situacija ne razjasni.

Obzirom da statistički podaci pokazuju da se najveći broj havarija dešava pri kraju smene i pri maksimalnim opterećenjima u tim trenucima treba izbegavati obavljanje normalnih manipulacija.

Radi boljeg objašnjenja navodimo primer rada rukovaoca po obrascu — formularu. Postupak je sledeći:

Nakon dobijanja zadatka, dozvole za rad, upisivanja u knjigu i sastavljanja i svih potpisivanja obrasca (rukovalac, ovlašćeno lice za kontrolu — rukovodilac), svih razjašnjenja odlazi se na mesto manipulacije u postrojenju.

Ovlašćeno lice staje iza rukovaoca nakon provere zaštitnih mera i jasno čita redosled i sadržaj operacije i broj elementa na kojem će se raditi.

Rukovalac proverava i ponavlja glasno da li se sve slaže prema natpisima.

Ovlašćeno lice poredi prema obrascu da li je rukovalac dobro ponovio tekst i izabrao elemente i potvrđuje ispravnost.

Nakon ove potvrde rukovalac izvodi operaciju.

Ovlašćeno lice nakon izvedene operacije istu opisuje i čita sledeću operaciju unetu u obrazac.

Postupak se dalje ponavlja za svaku operaciju.

Nakon završenih radova u objektu rukovodilac radova obavezno proverava ispravnost i kvalitet izvršenih radova, daje zadatak osoblju da odstrani sva sredstva za obezbeđenje (pregrade, uzemljenja i sl.), odstranjuje osoblje i zajedno sa licem koje je izdalo dozvolu za rad pismeno konstatuje da su radovi završeni i važnost dozvole za rad prestala.

Najzad treba napomenuti da u slučaju hitnosti (havarija, požar, nesreća i slično) dozvoljeno je isključenje u objektu bez naredbe ali uz obavezno pridržavanje propisanog redosleda.

Nakon ovakvog isključenja odmah obavestiti odgovornog rukovodioca a isključenje evidentirati u odgovarajuću knjigu.

UKLJUČENJE RASTAVLJAČA

Uključenje rastavljača ručnim pogonom mora se izvoditi brzo i bez udara na kraju hoda.

U uključenom stanju noževi rastavljača moraju potpuno ući u nepokretne kontakte.

Da bi se izbegli kvarovi i opasnost po rukovaoca nije dozvoljeno prilikom uključivanja vraćati noževe rastavljača nazad kada su oni blizu nepokretnih kontakata.

Isključenje rastavljača izvodi se lagano i oprezno. U isključenom položaju noževi rastavljača moraju biti potpuno — do kraja odvojeni od nepokretnih kontakata. Ako se prilikom razdvajanja kontakata pojavi luk noževe rastavljača treba vratiti brzo nazad.

Rastavljač se ne sme ponovo isključivati sve dok se ne utvrdi uzrok pojave luka.

UKLJUČENJE PREKIDAČA

Uključenje i isključenje prekidača, zahvaljujući njegovom pogonskom mehanizmu, izvodi se veoma brzo pri čemu mora postojati indikacija položaja (uključeno i isključeno) mehanička i električna.

Nakon isključenja prekidača rukovalac mora obavezno proveriti položaj ako iza ovog isključenja dolaze operacije rastavljačima.

Nakon provere prekidača daljnji upravljanog a pre manipulacije rastavljačima vrši se blokada komandnog kola (izuzev pri prelazu sa sistema na sistem sabirnice pri uključenoj prekidu odgovarajućeg voda). Ovim se sprečava eventualna havarija pri radu na rastavljačima jer može zbog neke greške nastale u vremenu dok rukovalac pređe put od prekidača do mesta komande doći do promene položaja prekidača.

Takođe, obavezna je provera položaja prekidača posle uključivanja prekidača u spojnom polju a pre prelaza sa jednog sistema na drugi.

Uvek treba imati na umu da se osnovna provera položaja prekidača vrši prema položaju njegovog mehanizma ili kontakata, a pomoćna indikacionim ili merim elementima.

RUKOVANJE ZAŠTITOM

Rad na uređajima za zaštitu i automatičku izvod se u skladu sa internim propisima dotičnog postrojenja i po posebnom naređenju rukovodstva izuzev u slučaju havarije kada se mogu bez naređenja preduzeti odgovarajuće mere o kojima se kasnije izveštava rukovodstvo.

U toku rada postrojenja osoblje mora uvek imati uvid u funkcionisanje zaštite da bi se u slučaju njenog reagovanja preduzele odgovarajuće mere (rasterećenje generatora, transformatora, deblokiranje releja i sl.).

Postrojenje pod naponom i opterećenje nikada se ne sme ostaviti bez zaštite koja mora biti redovno proveravana tako da bi se uvek obezbedila njena ispravnost. Pre uključivanja prekidača rukovalac mora proveriti ispravnost prekidača, komande i zaštite.

U slučaju pojave opterećenja većeg od onog na koje je podešena zaštita potrebno je preduzeti mere za rasterećenje u skladu sa internim propisima.

U slučaju da dođe do pojave naglih promena opterećenja i napona treba povećati kontrolu nad zaštitom i automatičkom.

REDOSLED OPERACIJA RASTAVLJAJAČIMA I PREKIDAČIMA

Redosled operacija rastavljačima i prekidačima mora biti pravilan kako u normalnim tako i u kritičnim slučajevima. U protivnom dolazi do povrede ljudi, razaranja postrojenja i prekida u snabdevanju potrošača električnom energijom.

Kakve će biti posledice pogrešnog rukovanja zavisi od toga kojim se rastavljačem rukuje — linijskim ili sabirničkim.

Po pravilu uvek treba isključiti prvo linijski pa sabirnički rastavljač. Obrnut redosled pri pogrešnom isključenju (pri uključenoj prekidu) dovodi do veće havarije i štete. Objašnjenje je sledeće:

Ako se pogrešno isključi linijski rastavljač pojavljuje se luk ali će reagovati zaštita na prekidu voda i biće isključen samo dotični vod.

Pogrešno isključenje sabirničkog rastavljača dovodi do pojave luka, zahvatanja njime sabirnica i njegovog trajanja sve dok ga ne isključi zaštita izvora sa koga se vrši napajanje.

Obrnutom da pogrešno isključenje linijskog rastavljača izaziva tri do četiri puta manje trajanje luka no pri pogrešnom isključenju sabirničkog rastavljača jasno je da će i šteta i havarija biti manje za slučaj pogrešnog rukovanja linijskim rastavljačem. Na osnovu svega možemo zaključiti da je osnovno pravilo za rukovanje rastavljačima:

Pri uključivanju prvo uključiti sabirnički pa linijski (izlazni) rastavljač a potom prekidač.

Pri isključenju redosled je obrnut.

a) Uključenje voda

Vod se uključuje na napon sledećim redosledom:

Uključenje sabirničkog rastavljača
Uključenje izlaznog (linijskog) rastavljača
Uključenje prekidača snage.

b) Isključenje voda

Redosled operacija pri isključenju voda je:

Isključenje prekidača
Isključenje izlaznog (linijskog) rastavljača
Isključenje sabirničkog rastavljača

c) Uključenje generatora

Generator se uključuje na mrežu sledećim redosledom:

Uključenje sabirničkog rastavljača
Uključenje generatorskog rastavljača (ako postoji)
Simhronizacija generatora i mreže
Uključenje prekidača generatora

d) Isključenje generatora

Pri isključenju generatora sa mreže treba se držati sledećeg redosleda:

Isključenje prekidača
Isključenje generatorskog rastavljača (ako postoji)
Isključenje sabirničkog rastavljača

e) Uključenje transformatora

Uključenje transformatora na visoki napon obavlja se sledećim redom:

Uključenje rastavljača
Uključenje prekidača

f) Isključenje transformatora

Transformator se isključuje sa mreže visokog napona sledećim redom:

Isključenje prekidača
Isključenje rastavljača

- Uveriti se da postoji napon na sistemu rezervnih sabirnica
- Isključiti komandu i zaštitu sa prekidača u spojnom polju.

Shodno internim propisima prebaciti zaštitu, signalizaciju i dr. na rezervni sistem i uveriti se u kvalitet uklapanja.

Prebaciti rastavljače sa radnog sistema na rezervni sistem sabirnice i uveriti se u kvalitet uklapanja. Uveriti se da prekidač spojnog polja nije opterećen. Uključiti komandu i isključiti prekidač spojnog polja.

PREVOĐENJE GENERATORA SA RADNE NA REZERVNU POBUDU

Prelazak na rezervnu pobudu (u postrojenjima gde postoji izvor rezervne pobude) moguć je sa ili bez isključenja generatora sa mreže.

Prevođenje generatora na rezervnu pobudu bez njegovog isključenja može se ostvariti na dva načina:

a) Prvi način

Postupak za ovaj način prevođenja ostvaruje se sledećim redosledom:

- Isključiti automatski regulator pobude
- Uključiti rezervnu budilicu i podići napon na njoj. Ovaj napon se proračunava u zavisnosti od struje rotora i dužine pobudnog kola generatora a iznosi obično 10—15% iznad napona glavne pobude. Napon se podiže na ovu vrednost u cilju izbegavanja velikog električnog luka pri prevođenju pobude.
- Brzo uključiti napon rezervne pobude a isključiti napon glavne pobude.
- Podesiti pobudu na propisanu vrednost (pri ovome moraju biti ispunjeni uslovi za paralelan rad opterećene i neopterećene jednosmerne mašine—jednosmernog izvora pobude.

b) Drugi način

Ovaj način prevođenja generatora na rezervnu pobudu moguće je primeniti samo na generatorima koji su predviđeni za rad u asinhronom režimu a redosled je sledeći:

- Napon izvora rezervne pobude podići tako da bude približno jednak naponu izvora radne pobude.
 - Uveriti se u jednakost polariteta izvora radne i rezervne pobude.
 - Provera polariteta izvora radne i rezervne pobude vrši se pomoću svetiljke sl.1 ili voltmetra sl.2.
 - Ispravan polaritet izvora radne i rezervne pobude utvrđuje se izostankom napona na svetiljci odnosno voltmetru (svetiljka ne svetli, kazaljka voltmetra ne kreće).
 - Isključiti uređaj za automatsko „gašenje“ magnetnog polja generatora. (Namotaj rotora priključuje se pri ovome na otpornik).
 - Isključiti izvor napona radne pobude.
 - Uključiti uređaj za automatsko „gašenje“ magnetnog polja generatora.
- U cilju uspešnog prelaza sa izvora radne na izvor rezervne pobude prelaz se mora izvesti brzo.

g) Uključenje tronomotajnog transformatora

Uključenje tronomotajnog transformatora na mrežu izvodi se sledećim redosledom:

- Uključenje sabirničkog rastavljača višeg napona
- Uključenje sabirničkog rastavljača srednjeg napona
- Uključenje sabirničkog rastavljača nižeg napona
- Uključenje transformatorskog rastavljača višeg napona (ako postoji)
- Uključenje transformatorskog rastavljača srednjeg napona (ako postoji)
- Uključenje transformatorskog rastavljača nižeg napona (ako postoji)
- Uključenje prekidača višeg napona
- Uključenje prekidača srednjeg napona
- Uključenje prekidača nižeg napona

h) Isključenje tronomotajnog transformatora

Isključenje tronomotajnog transformatora sa mreže izvodi se sledećim redosledom:

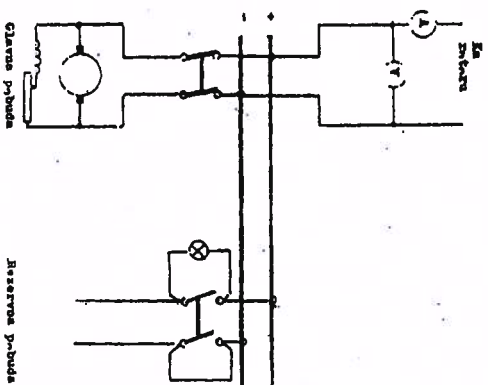
- Isključenje prekidača nižeg napona
- Isključenje prekidača srednjeg napona
- Isključenje prekidača višeg napona
- Isključenje transformatorskog rastavljača nižeg napona (ako postoji)
- Isključenje transformatorskog rastavljača srednjeg napona (ako postoji)
- Isključenje transformatorskog rastavljača višeg napona (ako postoji)
- Isključenje sabirničkog rastavljača nižeg napona
- Isključenje sabirničkog rastavljača srednjeg napona
- Isključenje sabirničkog rastavljača višeg napona

PREVOĐENJE NAPAJANJA SA JEDNOG SISTEMA SABIRNICE NA DRUGI BEZ PREKIDA NAPAJANJA

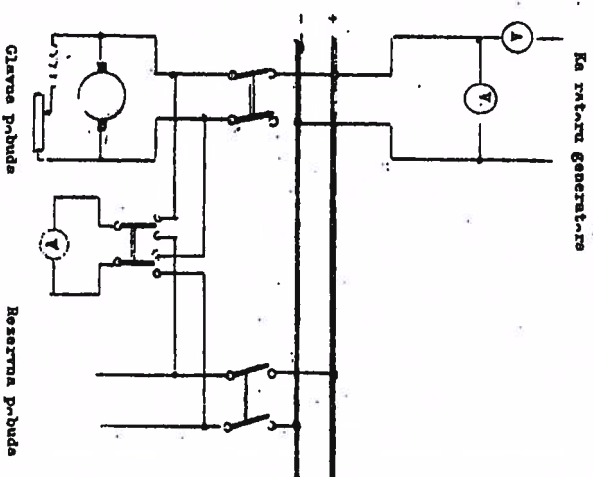
- Uveriti se da je zaštita na prekidaču u spojnom polju uključena i podešena u skladu sa internim propisima
- Uveriti se da su naponi na oba sistema sabirnica jednaki i sinhroni
- Uključiti i prema položaju mehaničkog pokazivača ili kontakata uveriti se da li je uključen prekidač u spojnom polju pa njegovo kolo komande i zaštite isključiti
- Obezbediti zaštitu, komandu i signalizaciju na sistemu sabirnica na koje se prelazi
- Uključiti rastavljače na sistem sa koga će se vršiti napajanje — na koji se prelazi (prekidači odvođa i rastavljači u spojnom polju su već uključeni).
- Isključiti rastavljače sa sistema sabirnica sa koga se ranije vršilo napajanje.
- Uključiti komandno kolo prekidača u spojnom polju pa prekidač isključiti.
- Uveriti se da je prekidač spojnog polja isključen
- Uključiti zaštitu i specijalnu automatiku.

PREVOĐENJE NAPAJANJA SA RADNOG SISTEMA NA REZERVNI SISTEM SABIRNICA POMOĆU SPOJNOG POLJA

- Izvršiti vizuelni pregled rezervnih sabirnica i uveriti se da su u tehnički ispravnom stanju
- Pošto su rastavljači u spojnom polju uključeni uključiti prekidač spojnog polja (prethodno treba proveriti da je zaštita od kratkog spoja uključena i podešena u skladu sa internim propisima, minimalna vrednost po vremenu)



SL 1



SL 2

MERE ZA UTVRĐIVANJE MESTA JEDNOFAZNOG ZEMLIJOSPOJA

Imajući u vidu, da zemljospoj jedne faze dovodi do povećanja napona u drugim fazama i do pojave prenapona a time do slabljenja i do proboga izolacije i prekida snabdevanja električnom energijom osoblje postrojenja mora, pri pojavi zemljospoja odmah pristupiti pronalaženju mesta zemljospoja a sve u zavisnosti od složenosti postrojenja i pravila datih u internim propisima.

Odmah po reagovanju zvučne signalizacije zemljospoja, prekinuti operacije (izuzev neodložnih operacija kojima se sprečava havarija postrojenja) preduzeti mere za utvrđivanje mesta zemljospoja i njegovog karaktera (trenutan, prolazan ili trajan). Utvrđivanje mesta zemljospoja može se izvesti kontrolom napona svake faze, kontrolom struje indukcionim klescima, vizuelnim pregledom postrojenja (pojava dima, topljenje snega i sl.), kratkovremenim isključenjem dovoda i odvoda, naizmeničnim prevodenjem napajanja sa jednog sistema sabirnice na drugi i obrnuto itd.

U slučaju da se zemljospoj utvrdi u razvodnom postrojenju osoblje mora odmah obavestiti rukovodstvo a potom zajedno donose odluku o daljem radu.

Utvrđivanje mesta zemljospoja u generatoru moguće je izvesti pomoću voltmetra priključenog na nultu tačku generatora. Voltmetar pokazuje fazni napon za slučaj zemljospoja blizu izvoda faze ili van namotaja generatora.

Pokazivanje voltmetra je manje ukoliko je mesto zemljospoja bliže nultoj tački generatora.

Utvrđivanje mesta zemljospoja u otvorenim postrojenjima moguće je vizuelnim pregledom a u oklopljenim na osnovu pojave dima i specifičnog mirisa.

Jednofazni zemljospoj u mreži sopstvene potrošnje postrojenja treba pronalaziti naizmeničnim isključenjem motora, vodova, transformatora pod uslovom da se ne naruši rad postrojenja.

Ukoliko se ne utvrdi mesto zemljospoja, potrebno je naizmenično uključiti rezervni i isključiti radni generator (ako postoji).

Međutim, ukoliko se i tada ne utvrdi mesto zemljospoja tada se može pretpostaviti da je kvar u oblasti sabirnice ili na delu napojnog transformatora.

Dajla lokalizacija mesta kvara izvodi se uključivanjem rezervnog transformatora sopstvene potrošnje, proverom opterećenja i isključenju radnog transformatora.

Ukoliko se ni tada ne lokalizuje kvar onda ostaje mogućnost da je kvar — zemljospoj na sabirnicama.

U tom cilju, potrebno je, bez prekida napajanja uz preduzimanje svih zaštitnih mera pripremiti sabirnice za remont.

Jednofazni zemljospoj na vodu odstranjuje se kratkotrajnim naizmeničnim isključenjem ili prelazom sa jednog sistema sabirnice na drugi (samo kod paralelnih vodova).

Kada se otkrije mesto jednofaznog zemljospoja u objektu ne treba mu bliže prilaziti od 5 metara (zatvoreni objekti) odnosno 10 metara (objekti na otvorenom).

Prilaz mestu zemljospoja dozvoljen je samo u slučaju kada treba ukazati prvu pomoć ili odstraniti zemljospoj pri čemu je obavezna upotreba zaštitnih sredstava i primena svih mera predviđenih internim propisima.

Pri iznalaženju mesta jednofaznog zemljospoja mora se imati u vidu da indikatori jednofaznog zemljospoja mogu reagovati lažno u sledećim slučajevima:

- Pregoreo osigurač naponskog transformatora sa koga se napaja indikator stanja izolacije.
- Prekid faze na strani višeg napona transformatora u sprezi zvezda — trougao.
- Velika razlika kapaciteta pojedinih faza u odnosu na zemlju.

POSTUPAK OSOBLJA POSTROJENJA PRI POJAVI HAVARIJE

Pri pojavi havarije u postrojenju osoblje treba, u cilju brze lokalizacije i sprečavanja širenja havarije da postupi sledećim redosledom:

- Utvrditi da li je uzrok havarije dodir čoveka, da li se pojavio požar i da li je obezbeđeno napajanje sa rezervnog izvora kako postrojenja tako i potrošača van njega.
- Utvrditi da li su u opasnosti ostali delovi postrojenja.
- Na osnovu signalizacije releja i izjava osoblja koje je prvo primetilo havariju utvrditi njen uzrok.
- Utvrditi koji su elementi zahvaćeni havarijom.
- Obavestiti rukovodstvo o pojavi havarije.
- Dejstvovati dalje u cilju sprečavanja širenja havarije i obezbeđenja neprekidnog i kvalitetnog napajanja električnom energijom (regulacija učestanosti i napona, rezervno napajanje i sl.)

Pri ovome naređenja ostalom osoblju izdaje odgovorno lice kratko i jasno a rukovodac izvodi operacije propisanim redosledom i u skladu sa internim propisima.

POSTUPAK PRI ISKLJUČENJU USLED DELOVANJA ZAŠTITE

a) Vazdušni vod

U slučaju da vod bude isključen usled dejstva zaštite treba ga ponovo uključiti jer se vod može isključiti usled lažnog dejstva i prolaznog kratkog spoja. Ako se uključivanje izvrši na kratak spoj koji se manifestuje strujnim udarom i velikim padom napona treba, ne čekajući reagovanje zaštite isključiti vod.

Posle svakog konačnog automatskog isključenja prekidača dejstvom zaštite treba ispitati uzrok reagovanja i ako nema kvara prekidač uključiti. Vremenski interval ponovnog uključivanja određuje se u skladu sa uslovima pogona i uputom proizvođača prekidača.

b) Transformator

U slučaju isključenja transformatora usled delovanja zaštite treba provesti sledeći postupak:

- Proveriti koliko je opterećenje transformatora koji je ostao u radu (kod paralelnog rada transformatora) pa ako je preopterećen rasteretiti ga.
- Utvrditi uzrok isključenja.
- Ako se nakon sprovedenih ispitivanja ustanovi da je transformator u kvaru treba ga isključiti i pripremiti za opravku.

c) Generator

Nakon isključenja generatora delovanjem zaštite treba postupiti na sledeći način:

- Proveriti da li postoji sopstveno napajanje postrojenja (ako je generator korišćen kao izvor sopstvene potrošnje).
- Povećati, ako je moguće opterećenje generatora koji je ostao u radu.
- Podesiti napon na sabirnicama i utvrditi uzrok isključenja generatora (kontrola elemenata u zoni zaštite i dr.), otkloniti kvar i uključiti generator u pogon shodno internim propisima.
- U slučaju da se nakon pregleda generatora posle isključenja delovanjem zaštite ne utvrde nedostaci — kvar generator treba uključiti i polako pažljivo dizati napon.

d) Sabirne šine

Pri nestanku višeg napona iz mreže — izostanku napona na sabirnicama treba se pridržavati sledećeg:

- O izostanku višeg napona obavestiti rukovodstvo i čekati da dođe napon (ne isključivati prekidače).
- Ako se ne može dovesti napon na sabirnice a na njima nema znakova povrede treba isključiti odvođe pa ponovo izvršiti uključivanje na prazne sabirnice. Ako se uspešno dovede napon uključiti sve odvođe.
- Ako se pak pri uključanju sledećeg odvoda na njemu pojavi kratak spoj isključiti prekidač ne čekajući reagovanje zaštite i pripremiti ga za remont.
- Nakon ovoga uključiti sledeći odvod.

SMETNJE U ENERGETSKOM POSTROJENJU

U toku eksploatacije energetskog postrojenja osoblje je najčešće suočeno sa smetnjama čiji je pregled dat u sledećoj tabeli:

Red. br.	Smetnja	Uzrok
1	2	3
1.	a) Rastavljač, Prekomerno zagrevanje kontakata	Slab pritisak na kontaktima što ima za posledicu povećanje prelaznog otpora, oslobađanje toplotne energije a u nekim slučajevima pojavu električnog luka i kratkog spoja
2.	Oštećenje izolatora rastavljača	Zaprijeti izolatori, pogrešno rukovanje rastavljačem i dr.
3.	Razne vrste kvarova na mehanizmu za uklapanje	Nekvalitetan materijal, istrošenost spojnih mesta mehanizma, slabo održavanje i dr.
	b) Prekidač,	

1. Zagrevanje, oštećenje i zavarivanje kontakata
Nekvalitetan materijal, greške prilikom izrade ili remonta kontakata prekidača ujni prekidac ostao bez ulja, mali ili veliki nivo ulja u uljnom prekidaču, velika promena nivoa ulja u prekidaču sa promenom temperature okoline, mala brzina uklapanja kontakata (kvar na mehanizmu, mali pritisak vazduha i sl.) Isključenje struja kratkog spoja većih od predviđenih za dobitni prekidac, oksidirali kontakti (povećan otpor), preoprećenje, povećana spoljna temperatura i dr. Nekvalitetan materijal, istrošenost, prijavština, slabo održavanje i dr.
2. Razne vrste kvarova na mehanizmu za uključivanje i isključenje
Zaprjani izolatori, pogrešno rukovanje drugim elementima (rastavljanje)
3. Oštećenje izolatora
Spoj (najčešće zemljospoj) u komandnom kolu prekidača.
4. Prekidac isključuje sam
Smanjen komandni napon, kvar u komandnom kolu (pregoreli osigurači, namotaj pomoćnih sklopki)
5. Prekidac ne isključuje
Kvar na mehanizmu za uklapanje, kvar u komandnom kolu (pregoreli osigurači ili namotaj neke sklopke, otkazao neki relej i sl.) smanjen komandni napon.
6. Prekidac ne uključuje
Dinamička nestabilnost namotaja, starenje izolacije, greške u izolacionom materijalu.
- c) Transformator,
1. Spoj između navojaka visokog napona
Dinamička nestabilnost namotaja, starenje izolacije, greške u izolacionom materijalu.
2. Spoj između navojaka niskog napona
Nepažnja pri izradi, vibracije, proboj provodnog izolatora, povećan primarni napon i dr.
3. Spoj između namotaja visokog i niskog napona
Nepažnja pri montaži i vibracije
4. Spoj namotaja visokog ili niskog napona sa magnetnim kolom
Nepažnja pri montaži, greške u nepažnja pri montaži, greške u izolacionom materijalu, starenje izolacije, vibracije i dr.
5. Popuštanje vijaka za vezu limova magnetnog kola
Vibracije
6. Slabljenje i oštećenje izolacije vijaka za vezu limova magnetnog kola
Loše varenje, mehanička oštećenja
7. Oštećenje izolacije između limova magnetnog kola
8. Oštećenje transformatorskog suda

9. Pregrevanje transformatora i ulja
Transformator preoprećen, visoka temperatura prostorije u kojoj je transformator, kratak spoj između navojaka, spoj vijaka za vezu magnetnog kola sa kolom, kratak spoj između limova magnetnog kola, starenje ulja zbog povećanih gubitaka u magnetnom kolu, nizak nivo ulja i dr.
10. Pojačan šum transformatora
Popustio neki vijak, popustio termometar, olabavio namotaj, jarmovi nisu dobro stegnuti i dr.
11. Nejednaki sekundarni naponi pri opterećenju (u praznom hodu jednaki)
Slab kontakt na provodnom izolatoru ili na spoju namotaja, prekid u jednoj primarnoj fazi (kod spoja trougao-zvezda i trougao-trougao).
12. Nejednaki sekundarni naponi u praznom hodu
Prekid u primarnoj fazi (kod spoja zvezda-zvezda), prekid u sekundarnoj fazi (kod spoja zvezda-zvezda i trougao-zvezda)
13. Kvar na preklopniku za podešavanje napona
Loša montaža i izrada

1. d) Generator,
Oštećenje izolacije namotaja i magnetnog kola statora i rotora
budilice i generatora, zagrevanje spojnih mesta, varničenja i dr.

Nemarno održavanje, remont i montaža slabljenje izolacije zbog starenja i prenapona nastalih pri isključenjima i atmosferskim pražnjenjima, zaprjaniost mašću, prašinom ili opijetima, labavi namotaji i loši spojevi, nepravilno rukovanje (uključenje generatora čija je zaštita reagovala a da nije utvrđen uzrok), kratki spojevi, nepravilno uključivanje rezervne pobude česta isključenja zbog havarije, vibracije, otkaz neke od zaštita, mehaničke povrede, otkaz ventilacije, neredovna kontrola otpora izolacije i dr.

Kompenzacija reaktivne energije u n. n. distributivnim mrežama

Iako se o uticaju (štetnosti) malog faktora snage dosta zna a ugrađivanja uređaja za kompenzaciju je relativno jeftin zahvat, još uvijek se na rješavanju ovog problema ne radi mnogo.

Ne manji problem od velikih potrošača, koji se napajaju sa mreže 35 kV i rađa sa malim faktorom snage su i mali potrošači priključeni na niskonaponske distributivne mreže. Broj takvih potrošača (privatne radionice sa ugrađenim jednim i više motora, mlinoi za žito, manje pilane, lokalni vodovodi, razni električni aparati, uređaji za domaćinstvo i dr.) je u stalnom porastu.

Pored navedenih, potrošače reaktivne energije čine i transformatori (snage praznog hoda), koji se, obzirom na broj trafostanica na području koje pokriva ova RO

ne mogu zanemariti kao i nadzemni vodovi na istom području (induktivni otpor voda iznosi oko 0,4 W/km).

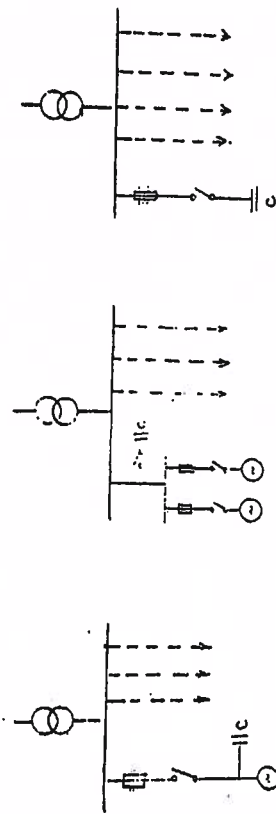
Pojam i način kompenzacije

Pojam kompenzacije reaktivne energije podrazumijeva proizvodnju reaktivne snage odnosno energije po pravilu na mjestu ili što bliže mjestu potrošnje.

Poznata su tri načina kompenzacije:

- pojedinačna kompenzacija
- grupna kompenzacija
- centralna kompenzacija
- Pojedinačna kompenzacija je pogodna za veće potrošače reaktivne energije (motori većih snaga), čije su karakteristike: reaktivnu energiju kompenzira na mjestu potrošnje, ne zahtijeva automatsku regulaciju, nepotrebni su uređaji za uključivanje, zahtijevaju najveću snagu kondenzatorske baterije obzirom da se snaga bira na punu snagu potrošača.
- Grupna kompenzacija zahtijeva manju ukupnu snagu kondenzatora, mreža je samo djelimično rasterećena reaktivne snage, potrebni su uređaji za uključivanje kondenzatorskih baterija eventualno i automatsku regulaciju kompenzacije.
- Centralna kompenzacija se sastoji u tome da se jedan čitav industrijski pogon ili veća grupa potrošača koja se napaja iz jedne transformatorske stanice kompenzira sa jednog mjesta priključenjem jedne ili više kondenzatorskih jedinica na sabirnice transformatorske stanice ili glavne razvodne table, i to putem uređaja za uključivanje, signalizaciju i pražnjenje energetskog kondenzatora. Ovakav način kompenzacije zahtijeva automatsku regulaciju obzirom na promjene opterećenja.
- Najpogodnije rješenje dobijamo kombinacijom sva tri načina, prilagođenim pojedinim uslovima rada.

Navedeni načini kompenzacije reaktivne energije šematski su prikazani na slici (sl. 1; sl. 2; sl. 3).



sl. 1

POJEDINAČNA

sl. 2

GRUPNA

sl. 3

CENTRALNA

Izbor snage kondenzatora za kompenzaciju

Način kompenzacije i potrebna snaga kompenzacionog uređaja se određuje na osnovu konkretnih podataka o dijelu energetskog postrojenja ili dijelu mreže planiranim za kompenzaciju. Kod pogona gdje se odlučuje za naknadno ugrađivanje kompenzacionih uređaja, snaga kompenzacije se određuje na osnovu analize potrošnje reaktivne i aktivne energije u određenom obračunskom periodu, a kao najznačajniji je tačan podatak o broju pogonskih sati.

Potrebna snaga kompenzacije je:

$$Q_c = \frac{E_v + E_n}{T} (tg\varphi_1 - tg\varphi_2)$$

$$tg\varphi_1 = \frac{W_v + W_n}{E_v + E_n} \text{ — tangens stvarnog } \cos \varphi$$

Q_c — potrebna snaga kompenzacionog uređaja

E_v — aktivna energija — veća tarifa

E_n — aktivna energija — manja tarifa

W_v — reaktivna energija — veća tarifa

W_n — reaktivna energija — manja tarifa

T — broj sati rada u obračunskom periodu

$tg\varphi_2$ — $tg\varphi$ željenog $\cos \varphi$ (oko 0,95)

Efekti kompenzacije

Upotrebom kompenzatora reaktivne energije postižu se finansijsko-ekonomsko-tehnički efekti uštede i poboljšanja rada:

- Mogućnosti povećanja opterećenja električnih uređaja i vodova.
 - Smanjuje se prividna snaga za potrebnu istu radnu snagu, a time se smanjuju struje u vodovima tj. za istu prividnu snagu može se dobiti više radne snage.
 - Smanjenje pada napona čine se poboljšavaju uslovi rada i iskorišćenje elektromotora i drugih električnih pogonskih uređaja.
 - Mjerni aparati, sklopke osiguraci, i zaštitni uređaji bit će manje opterećeni i zato će sigurnije raditi i imati duži vijek trajanja.
 - Smanjenje gubitaka — gubici u vodovima su proporcionalni s kvadratom struje odnosno gubici su obrnuto proporcionalni kvadratu faktora snage. (Na primjer popravka faktora snage sa 0,8 na 0,95 gubici se smanjuju za 30%).
 - Smanjena velicina (snage) transformatora, vodova i sklopkih uređaja kod novih investicija.
- Pored naprijed navedenog treba dodati i sledeće: na osnovu podataka iz literature, koja se bavi ovom problematikom dokazano je da se uložena investicija na kompenzaciji reaktivne energije vraća u periodu od 6-12 meseci. Takođe je dokazano da kondenzatorske baterije reaktivne snage 1 kW ugrađene u postrojenjima 0,4 kV smanjuju gubitke aktivne energije 200-250 kWh/god.

Predlog mjera za kompenzaciju reaktivne energije — sa podacima o ugrađenim uređajima u okviru RO.

Obzirom na činjenicu da se po ovoj problematici u proteklom periodu na nivou RO nije posvećivala posebna pažnja predlaže se sledeće.

— Aktivnost na kompenzaciji reaktivne energije odnosno popravka faktora snage kod postojećih distributivnih mreža usmjeriti u dva pravca i to: kompenzacija reaktivne energije konstantnog dijela koja bi se odnosila na distributivne organizacije i kompenzacija varijabilnog dijela koja bi se odnosila na industrijske potrošače. Prema raspoloživim podacima u okviru RO na planu kompenzacije reaktivne energije je najviše urađeno kod OOUR-a ED Ulicinj i OOUR-a ED Tilograd i to kompenzacija snage praznog hoda (konstantnog dijela reaktivne snage — centralna kompenzacija). Izbor snage kondenzatorskih baterija za kompenzaciju snage praznog hoda transformator je izvršen na osnovu karakteristika transformatora i za određene snage transformatora dati su u narednim tabelama:

Prema podacima iz kataloga i literature:

Snaga transformatora kVA	Snaga kondenzatora (kVAr) „Iskra“ SEITP 1983. god.		
	6	5	6
100	6	5	6
160	10	7,5	—
250	15	12,5	15
400	20	20	20
630	28	25	28
1000	45	50	—

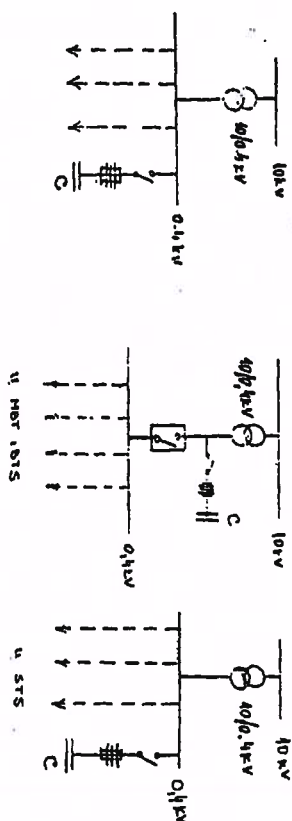
Prema podacima o ugrađenim kondenzatorskim baterijama

Snaga transformatora kVA	Snaga kondenzatorskih baterija (kVAr)		
	ED Tilograd	ED Ulicinj	ED Strumica
100	6	6	6,6
160	10	10	10
250	15	15	12,5—13,5
400	20	25	20—25
630	30	30	30—33,5
1000	—	50	—

Snage ugrađenih kondenzatorskih baterija kod OOUR-a ED Ulicinj je 520 kVAr, a kod ED Tilograd 2477 kVAr a 63 TS 10/0,4 kV.

Potrebnu reaktivnu snagu kondenzatorskih baterija varijabilnog dijela reaktivne energije inaktivnih potrošača (ili grupe potrošača) se može odrediti kako je dato u tački 2.1 ovog materijala.

Za isto je neophodno raspolagati potrebnim podacima o utrošku aktivne i reaktivne energije tj. neophodno je kontinuirano praćenje potrošnje električne energije u karakterističnim periodima rada potrošača.



OOUR „E. D. ULICINJ“

OOUR „E. D. TILOGRAD“

Na slici je prikazana šema načina ugradnje kondenzatorske baterije u distributivnim stanicama 10/0,4 kV OOUR—a ED Ulicinj, OOUR-a ED Tilograd.

— Kod budućih novih mreža, odnosno trafostanica bi posebnom regulativom trebalo predviđeti obaveznu ugradnju kompenzacionih uređaja, kako za distributivne organizacije (kompenzacija konstantnog dijela reaktivne energije, tako i za industrijske i ostale potrošače (povećanjem kompenzacijom) koja bi bila uslovljena kroz izdavanje elektro-energetske saglasnosti za priključak.

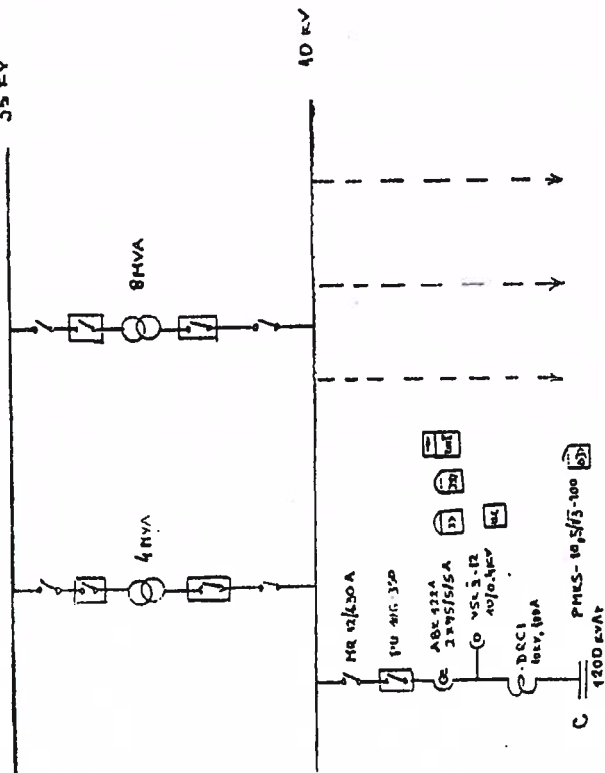
— Uvođenje stimulativnih mjera kroz cijenu električne energije (sticanja većeg dohotka), kako za sve distributivne organizacije u okviru RO (konkretno kroz raspodjelu zajedničkog priroda) tako i za potrošače električne energije, posebnom regulativom da je cijena reaktivne energije veća što je faktor snage manji.

Istim mjerama stimulirati i uvođenje centralne kompenzacije u trafostanicama 35/10 kV odnosno 110/10 kV, a efekte dobijene na ovaj način regulisati ekonomskim odnosima između proizvođača, odnosno organizacije za prenos električne energije i naše Radne organizacije.

Bez obzira na činjenicu da na ekonomskom planu OOUR ED Ulicinj nema ekonomskih efekata, kompenzacija reaktivne energije je ugrađena i u dvije trafostanice TS 35/10 kV i to direktno na sabirnicama 10 kV. Snage kondenzatorskih baterija su 1200 kVAr.

I ako se radi o kratkom osovrtu na kompenzaciju reaktivne energije smatramo da može poslužiti kao dobra osnova za raspravu i usvajanje narednih mjera za sprovođenje aktivnosti na ovom planu. Ovom pitanju u daljem periodu treba posvetiti posebnu pažnju na nivou RO sa detaljnijim analizama i konkretnijim predlozima, a sve u okviru realizacije mjera na smanjenju gubitaka električne energije na nivou RO Elektrodistribucije SRCG.

35 kV



Na skici je data jednodolna šema priključka kondenzatorske baterije
 tipa TS 35/10 kV — „Grad“ na strani 10 kV.

UREĐAJI ZA KONTROLU BEZNAPONSKOG STANJA I NJIHOVA PRIMENA

Kontrola beznaponskog stanja vrši se indikatorima (ispitivačima) visokog napona.

Da bi se utvrdilo da li postoji napon na nekom visokonaponskom uređaju potrebno je indikator prisluniti na deo pod naponom (za uređaje od 30 kV) ili mu ga približiti (za uređaje napona 60 do 380 kV).

Pre svakog ispitivanja beznaponskog stanja na uređaju potrebno je proveriti ispravnost indikatora.

U cilju obezbeđenja rukovaoca neophodno je pridržavati se sledećeg:

- Indikator visokog napona nikada neuzemljivati
- Indikator visokog napona čuvati na suvom mestu i u takvom položaju da se spreči deformacija istog (izolacione motke horizontalno položene i dr.)
- Strogo se pridržavati propisanih rokova za kontrolu indikatora
- Koristiti samo indikator za propisani nivo napona i koji poseduje atest i ispitni protokol
- Pri rukovanju i čuvanju indikatora visokog napona u svemu se pridržavati uputstva koje je propisao proizvođač.

UREĐAJI ZA KRATKO SPAJANJE I UZEMLJENJE I NJIHOVA PRIMENA

Pre početka radova u objektu ili na vodu treba provesti kontrolu da li je radno mesto u beznaponskom stanju i da li su postavljeni uređaji za kratko spajanje i uzemljenje.

Uređaji za kratko spajanje i uzemljenje (prenosni ili stacionarni) primenjuju se u cilju sprečavanja pojave napona na isključenom delu objekta — uređaju a time povreda osoblja.

Prenosni uređaji zavise od proizvođača sastoje se od bakarnih, savitljivih provodnika (preseka većeg od 25 mm²), stezaljki za spajanje na sve tri faze i stezaljke za spoj ovako kratko spojenih faznih vodova na uzemljivač.

Stacionirani uređaji za uzemljenje izvođe se pri konstrukciji rastavljivača dodavanjem elemenata za uzemljenje pri otvorenim noževima rastavljivača.

Svaki uređaj mora biti izrađen od kvalitetnog materijala, atestiran i kontrolisan u određenim, internim propisima određenim vremenskim razmacima.

Pre postavljanja prenosnih uređaja za kratko spajanje i uzemljenje obavezno proveriti njihovo stanje, ispravnost provodnika, stezaljki i sl.

Uređaji za uzemljenje i kratko spajanje postavljaju se pomoću izolacionih motki i to prvo stezaljki na uzemljivač pa na vod.

Ako su uređaji za kratko spajanje i uzemljenje bili izloženi strujama kratkog spoja onda treba obavezno izvršiti kontrolu uređaja i uveriti se u njegovu ispravnost.

U svakom trenutku osoblje u objektu mora znati gde su smešteni i u kakvom su stanju uređaji za kratko spajanje i uzemljenje koji se nalaze van upotrebe.

Prilikom prijema i predaje smene osoblje u objektu mora se obavezno uveriti da li su, gde i kako postavljeni uređaji za kratko spajanje i uzemljenje.

O svemu ovome treba voditi pismenu evidenciju.

PREVENTIVNE I ZAŠTITNE MERE PRI RADU U ENERGETSKOM POSTROJENJU

U cilju sprečavanja kvarova, prekida, u snabdevanju električnom energijom a time ekonomskih gubitaka, sprečavanja nesreća i gubitaka ljudskih života treba se pridržavati sledećeg:

a) Rastavljivač

- Držati se propisanog redosleda uključivanja i isključivanja rastavljivača i prekidača
- Sprovoditi redovno preventivne pregled i opravke
- Ne izvoditi uključivanje i isključivanje rastavljivača pod opterećenjem i pri ljospoju (izuzev pri strujama manjim od 5 A za 35 kV i 30 A za 10 kV i sl.)
- Operacije rastavljivačem mogu se obavljati u praznom hodu u sledećim slučajevima:
 - Pri radu u postrojenju postaviti uzemljenje i izvršiti kratko spajanje vodova na svakom vodu sa koga može doći do pojave napona
 - Između otvorenih noževa, sabirničkih rastavljivača postaviti zaštitne ploče a u blizini radnog mesta zaštitne ograde (razmak između delova pod naponom i zaštitnih sredstava mora biti veći od 500 mm za napon 10 kV, 600 mm za napon 35 kV, 1200 mm za napon 110 kV i 2000 mm za napon 220 kV).

— Ne izvoditi radove na rastavljanju za vazdušne vodove po nevtremenu

— Pogrešno uključivanje ili isključivanje rastavljача sa ručnim pogonom obavezno sprečiti zaključavanjem—blokadom i postavljanjem odgovarajućih opomenskih tablica

— Pogrešno uključivanje i isključivanje rastavljача sa daljinskom komandom sprečiti isključivanjem komandnog kola i postavljanjem opomenskih tablica na komandnom elementu (ključ, ručica i dr.)

— Kada se primeći zagrevanje kontakata vod rasteretiiti a kod sistema duplih sabirnica preći na drugi sistem

— Pri probi nakon remonta — radova rastavljač sa daljinskom komandom uključiti tek kada se proveriti da na rastavljaču i u njegovoj okolini niko ne radi.

kada kabal 10 kV ne prelazi dužinu 10 km, kada je struja zemljospoja mala (5A kod 35kV, 30 A kod 10 kV) i kada zemljospoj ne postoji, kada je dozvoljeno internim propisima isključivanje transformatora i vodova u praznom hodu.

b) Prekidac

— Držati se propisnog redosleda uključivanja i isključivanja rastavljача i prekidača

— Redovno sprovoditi preventivne preglede (nivo i boja ulja, kontrola pritiska vazduha, upotreba odgovarajućih ulja i masti, kontrola opterećenja, čišćenje, zamena prekidača pri sistematskom zagrevanju istog, kontrola komandnih kola, kontrola izolacije i dr.

— Ne izvoditi radove pod naponom izuzev odstranjivanja zemljospoja

— Proveru položaja prekidača vršiti prema mehaničkom pokazivaču položaja ili položaju kontakata prekidača a signalizaciju položaja smatrati samo dopunskom merom

— Pogrešno i slučajno uključivanje i isključivanje prekidača sprečiti blokadom (zaključavanjem i sl.) i postavljanjem opomenskih tablica

— Pre uključivanja prekidača uveriti se da su iz postrojenja odstranjeni ljudi i strani predmeti

— U slučaju da prekidač nije moguće isključiti ni daljinski ni ručno a postoje rezervne sabirnice i spojno polje onda vod na kome je prekidač prebaciti na njih.

c) Transformator

— Vršiti sistematski propisane dnevne, nedeljne, mesečne i godišnje preglede i održavanje

— Izbegavati preopterećenja transformatora

— Voditi računa da ne dođe do pogrešnog rukovanja kako u normalnim tako u kritičnim trenucima (požar, havarija i sl.)

— Transformator za koga se sumnja da je u kvaru ne uključivati bez prethodnog ispitivanja

— Primudno hlađenje transformatora izvoditi po uputstvu proizvođača

— Vršiti stalnu kontrolu uređaja za signalizaciju hlađenja i kvarova

— Prekidac i rastavljачe uključivati i isključivati propisnim redosledom

— Slučajno ili pogrešno uključivanje ili isključivanje prekidača i rastavljача sprečiti isključivanjem komande (kod daljinskog upravljanja), zaključavanjem i postavljanjem opomenskih tablica

— Ne izvoditi radove pod naponom već isključiti sa obe strane prekidače i rastavljачe i izvršiti njihovu blokadu

— Pri radu na transformatoru postaviti uređaj za kratko spajanje i uzemljenje na strane odakle može doći napon

— Transformator se ne mora isključiti odmah već pri planskom pregledu u sledećim slučajevima:

transformatorsko ulje curi vrlo malo, ulja u konzervatoru (dilatacionom sudu) ima a nivo nizak,

zaprjani izolatori i sl.

— Transformator odmah isključiti u sledećim slučajevima:

nema ulja u konzervatoru,

pojava vode u ulju i nagla promena njegove boje,

nenormalan šum i jaki potresi u transformatorskom sudu,

prekomerno zagrevanje pri nominalnom trajnom opterećenju,

u slučaju požara, nesreće, havarija,

nakon isključivanja putem zaštite do utvrđivanja uzroka.

— Transformator uključiti posle havarije i remonta samo nakon sprovedenih sledećih postupaka:

kompletna analiza ulja (provera dialektične čvrstoće, odsustva karbonata, kiselog broja i dr.),

kontrola otpora namotaja u cilju iznalaženja slabih spojeva u namotaju,

kontrola otpora izolacije namotaja međusobno i prema masi u cilju iznalaženja eventualnog proboga na masu, proboga između namotaja i prekida namotaja,

provera koeficijenta transformacije u cilju otkrivanja kratkih spojeva između navojaka, skraćivanja namotaja i dr.,

naponsko ispitivanje izolacije u cilju iznalaženja oštećenih mesta izolacije, ispitivanje zategnutosti i kompletnosti svih elemenata transformatora,

kontrola nivoa ulja,

provera rada transformatora u praznom hodu, u cilju otkrivanja spojeva u namotaju, pregrevanja, reagovanja zaštite i sl,

— Pri reagovanju Buhole zaštite (zagrevanje transformatorskog lina, spoj između navojaka, sniženje nivoa ulja, povreda izolacije zavrtanja za vezu magnetnog kola i dr.) i utvrđivanju izmenjene boje ulja i zapaljivosti gasa transformator isključiti i izvršiti ispitivanje.

d) Generator

— Vršiti sistematski internim propisima i uputstvom proizvođača date preglede i održavanja.

— Izbegavati preopterećenja generatora.

— Voditi računa da ne dođe do pogrešnog rukovanja kako u normalnim tako i u kritičnim trenucima rada u pogonu.

— Mašinu za koju se preporučava da je u kvaru ne uključivati bez prethodnih ispitivanja.

— Uređaje za kontrolu i zaštitu držati uvek ispravne.

— Ne izvoditi radove pod naponom.

- Prekidače i rastavljače uključivati i isključivati propisanim redosledom a generator u skladu sa uputstvom proizvođača i internim propisima.
- Pri isključenju generatora reagovanjem zaštite utvrditi koja je zaštita reagovala i kakve su posledice.
- Pri havariji isključiti zvučnu i optičku signalizaciju, obavestiti odgovornog rukovodioca i preduzeti mere za sprečavanje dalje havarije.
- Proveriti opterećenje generatora i transformatora (nakon isključenja nekog izvora iz paralelnog rada) koji ostaju u radu i stanje sopstvene potrošnje. Dopusšteno preopterećenje pri normalnom radu i havariji reguliše se propisima.
- Pri pojavi velikih nesimetrija — nesimetrija većih od propisanih za dotični generator iste odmah (obično u roku od 2 minuta) odstraniti ili isključiti generator jer dolazi do velikih vibracija generatora i zagrevanja rotora generatora.
- Pri ispadu generatora iz sinhronizma zbog smanjenja pobude isključiti ga (ako nije predviđen za rad u asinhronom režimu) a ako je generator predviđen za asinhroni režim rada povećati pobudu ili ubaciti rezervnu pobudu.

Način ubacivanja rezervne pobude kao i dopuštenost asinhronog režima i opterećenja u toku njega reguliše se propisima.

- Pri jakom iskrenju na kolektoru smanjiti aktivno i reaktivno opterećenje a ako je to nemoguće preći na rezervnu pobudu.
- Rasteretiti i isključiti generator i pobudu u slučaju pojave (dvofaznog) zemljospoja u kolu pobude i rotora.

— Rad na generatoru je dozvoljen samo ako su preduzete sledeće mere:

isključen generator, postavljene zaštitne ograde i opomenske tablice, provereno odsustvo napona, postavljeni uređaji za kratko spajanje i uzemljenje, isključena rezervna pobuda i merni transformatori, zaključani — blokirani elementi za sinhronizaciju.

- Nakon neuspešnog uključivanja generatora isti ne uključivati ponovo dok se ne konsultuju uputstva proizvođača generatora.

DISPEČERSKA SLUŽBA

Pri paralelnom radu nekoliko energetske objekata raspoređenih na velikom međusobnom rastojanju i uključenih u jedan energetske sistem. Upravljanje istim se vrši iz jednog mesta — Dispečerskog centra.

Dispečerska služba ima sledeće zadatke:

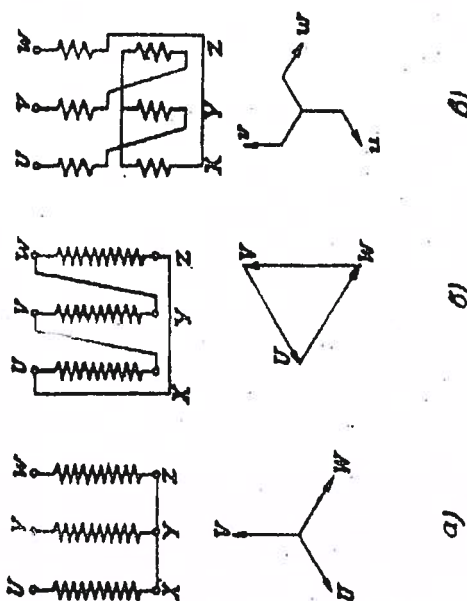
- Raspodela aktivnog i reaktivnog opterećenja između objekata u sistemu
- Kontrola i održavanje određenog napona i učestanost u sistemu
- Regulacija režima rada elektrana
- Održavanje stabilnog rada objekata u sistemu
- Kontrola i sprovođenja u život planskih remonta

— Preduzimanje mera za likvidaciju havarije u sistemu

U nadležnosti dispečerskog centra su svi vidovi veza između objekata i uređaja za daljinska merenja, signalizaciju i upravljanje.

Takođe sva uključivanja i uključivanja u objektima u sistemu izvođe se po naredbi dispečerskog centra.

b — Sprege trofaznih transformatora. Namotaji i primara i sekundara trofaznih transformatora mogu se spregnuti na tri načina: u zvezdu (Δ), u trougao (Δ) i izlomljenu zvezdu (Z — „Zickzak“) kao što je prikazano na sl. 67a do 67v. Kod prve



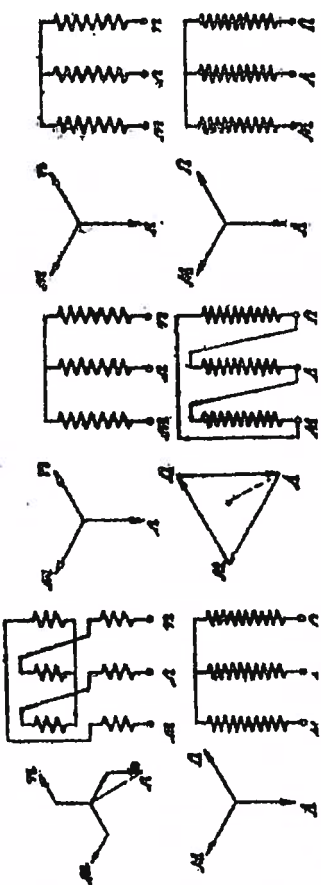
Sl. 67

sprege ulazi izvedeni na izolatore priključuje se na napone, a izlazi se povežu u neutralnu tačku (sl. 67a). Kod druge sprege veže se ciklično početak namotaja jedne faze sa završetkom druge itd. (sl. 67b). Kod treće sprege svaki namotaj podeljen u dva polunamotaja koji dolaze na dva različita jezgra (faze). Ukupno ima 6 polunamotaja koji se sprežu obično tako da se završetak prvog polunamotaja prve faze veže sa završetkom drugog polunamotaja druge faze; završetak prvog polunamotaja druge faze sa završetkom drugog polunamotaja treće faze itd. Ulazi drugih polunamotaja svih faza vežu u se u neutralnu tačku, a ulazi prvih polunamotaja na izolatore odnosno mrežu (sl. 67v). Kod sprege u zvezdu ili izlomljenu zvezdu ponekad se izvodi neutralna tačka neutralnim sprovednikom do izolatora čime se omogućava uzemljenje obično kod viših napona, a kod nižih napona i raspolaganje sa dve vrednosti napona, na primer 380/220 V.

Pored šema sprezanja na sl. 67 pretstavljene su i vektorski dijagrami napona ovih sprege trofaznih transformatora. Uslovljeno je tako da se vektor koji pretstavlja napon srednje faze crta uspravno i da mu je pozitivan smer od izlaza ka ulazu; ako idemo u suprotnom smeru onda je smer vektora suprotan. Pretpostavlja se da napon prve faze prednjači za $1/3$ perioda (na dijagramu 120°), a treće da zakašnjava za 120° u odnosu na napon srednje faze. Naravno da konvencije mogu biti i drukčije.

Za transformatore se mogu upotrebiti različite sprege, i primera radi, mi ćemo razmotriti tri koje se češće susreću u praksi a to su: zvezda — zvezda YY , tj. kada su i primar i sekundar spregnuti u zvezdu (sl. 68), zatim trougao — zvezda ΔY (sl. 69) ili obrnuto, i zvezda — izlomljena zvezda YZ (sl. 70). Pored šema veza namotaja na slikama 68, 69 i 70, dati su odgovarajući vektorski dijagrami, nacrtani prema prethodno usvojenim konvencijama. Vektorski dijagrami primarnih faznih napona služe kao referentni za crtanje odgovarajućih sekundarnih. Na taj način se može zaključiti koliko su fazni naponi sekundara pomereni od odgovarajućih primara. Kod sprege na sl. 68 veze primara i sekundara su iste. Počev od neutralne tačke i za

sekundar kao i za primar crtamo na primer vektor napona srednje faze uspravno, usmeren naviše. Isto vredi i za ostale faze te se dijagrami sekundara i primara poklapaju i ta se sprege obeležava sa $Y\Delta 0$ gde O prema IEC propisima odgovara pomenosti male kazaljke (napona sekundara) na satu za 0 časova (u odnosu na veliku kazaljku koja stoji na 12) ili prema VDE propisima O odgovara pomenosti vektora odgovarajućih napona za 0° . Kod sprege na sl. 69 sekundarni fazni napon na primer faze V , pomenen je u odnosu na fazni napon iste faze primara (V) za 1 čas ili 30° . Stoga se ova sprege obeležava prema IEC propisima sa $\Delta Y 1$ ili prema VDE propisima sa $\Delta Y 30$. Kod sprege na sl. 70 u odnosu na vektorski dijagram primarnih napona nacrtano dijagram sekundara na primar faze U na sledeći način. Počev od neutralne tačke pošto idemo nadole crtamo vektor napona drugog polunamotaja srednje faze u suprotnom smeru od V , zatim prelazimo na prvi polunamotaj faze U idući u istom smeru kao u primaru, te i vektor napona ovog polunamotaja crtamo u istom smeru kao za primar. Slično je i za ostale faze, te iz vektorskog dijagrama vidimo da je na primer sekundarni fazni napon faze W pomenen od primarnog faznog napona faze V za 11 časova ili 330° . Stoga se ova sprege obeležava sa $Y\Delta 11$ odnosno $Y\Delta 330^\circ$.



Sl. 68

Sl. 69

Sl. 70

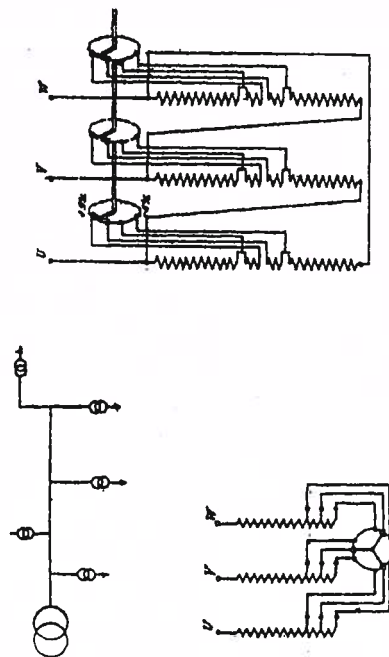
Često je potrebno da dva transformatora rade paralelno na istoj mreži. Jedan između ostalih uslova je (vidi član 20) da sekundarni naponi odgovarajućih faza budu jednoveremni. Međutim za jednoveremnost napona odgovarajućih faza nije potrebno da sprege transformatora budu identične. Stoga su prema VDE propisima ove sprege transformatora podeljene u četiri grupe: A, B, C, i D kod kojih je fazni pomeraj između odgovarajućih faza sekundara i primara 0° , 180° , 150° i 330° ili prema IEC propisima 0, 6, 5 i 11 časova. Prema tome transformatori koji pripadaju istoj grupi sprege mogu raditi paralelno ako su zadovoljeni ostali uslovi. U tablici na strani 241 date su sve grupe, šeme i vektorski dijagrami transformatora sa oznakama IEC i VDE.

V — Izvodi za regulisanje napona. Svi prijemnici koji se priključuju na električnu mrežu obično zahtevaju stalnu vrednost napona. Iz rezultata razmatranja o promenama napona transformatora (član 17) odnosno spoljnih karakteristika (sl. 61) vidi se da su, pri stalnom primarnom naponu $U' = \text{const}$, promene sekundarnog napona vrlo male. Međutim kod transformatora za raspodelu električne energije koji su čitavim nizom priključeni na sekundarnu mrežu neke veće transformatorske

ГРУППЕ СЪВЕЗА И СЪВЕТЕ ТРОНАСНИХ ТРАНСФОРМАТОРА

ОЗНАКА ПО IEC	ВЕРИГОРНУ ГРУПАН		ШЕМА БЕЗА		ОЗНАКА ПО VDE	
	БЕЗУ	НАДОН	БЕЗУ	НАДОН	ОЗНАКА ПО IEC	ОЗНАКА ПО VDE
0	$D\Delta 0$				A1	A
	$Y\Delta 0$				A2	
	$D\Delta 6$				B1	B
	$Y\Delta 6$				B2	
	$D\Delta 6$				B3	
	$Y\Delta 6$				B3	
5	$D\Delta 5$				C1	C
	$Y\Delta 5$				C2	
	$D\Delta 5$				C3	
	$Y\Delta 5$				C3	
11	$D\Delta 11$				D1	D
	$Y\Delta 11$				D2	
	$D\Delta 11$				D3	
	$Y\Delta 11$				D3	

stanice (ili generatora neke manje elektrane), ni primarni napon nije stalan zbog toga što postoji pad napona u samoj mreži utoliko veći ukoliko je transformator dalje od transformatorske stanice ili elektrane. Da bi se na sekundaru transformatora imao isti napon bilo da je transformator priključen bliže transformatorskoj stanici gde je napon viši, bilo da je priključen dalje od transformatorske stanice gde je napon niži, mora se omogućiti regulisanje napona na samom transformatoru. Pošto je ems transformatora jednaka proizvodu ems po navojku (E_1) i broja navoja $E = E_1 N'$ i kako je $E' \approx U'$ onda se regulisanje napona praktično vrši menjanjem broja navoja odnosno održavanjem stalne vrednosti ems po navojku $E_1 = E' / N' \approx U' / N'$. Stoga se na navojaka nego što odgovara nominalnom naponu. Sem toga se stavlja nekoliko izvoda tako da se pored broja navoja koji odgovara nominalnom naponu mogu imati navojci za $\pm 5\%$. Ovo je za spregu primara u zvezdu šematski prikazano na sl. 72 gde su potrebna 3 izvoda po fazi. Izvodi se dovode do nepokretnih kontakata regulatora na kome se obrazuju zvezdište.



Sl. 72

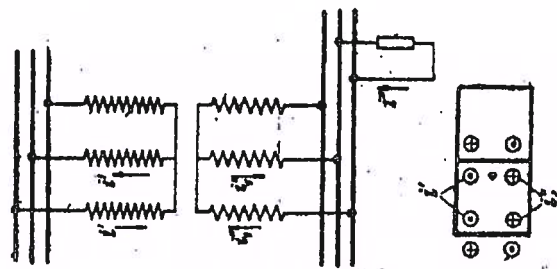
Sl. 73

Ako je sprega u trougao onda se izvodi, kojih je potrebno četiri, stavlja u sredini faznih namotaja kako je to predstavljeno na sl. 73. Kratkim spajanjem na regulatoru po dva kontakta ima se nominalni broj navoja (srednji položaj regulatora) ili se uključuje + 5% navoja (gornji položaj) ili se isključuje - 5% navoja od nominalnog broja (donji položaj). U oba slučaja za transformatore koji su bliži transformatorskoj stanici, pošto je primarni napon viši uključuje se + 5% navoja, da bi ems po navojku E_1 a time i sekundarni napon bili jednaki kao kod transformatora na kraju voda, gde je primarni napon niži te se isključuje - 5% navoja ili na sredini voda gde je napon nominalan te se uključuje nominalni broj navoja. Na kraju valja napomenuti da se prebacivanje regulatora (uključivanje ili isključivanje 5% navoja) ne sme vršiti na opterećenom transformatoru zbog mogućnosti oštećenja usled struja pri uključivanju ili mogućnosti kratkog spoja ovih delova namotaja, već se transformator najpre isključuje i sa sekundarne i sa primarne mreže, pa pošto se regulator prebacuje, transformator se ponovo priključuje na mrežu.

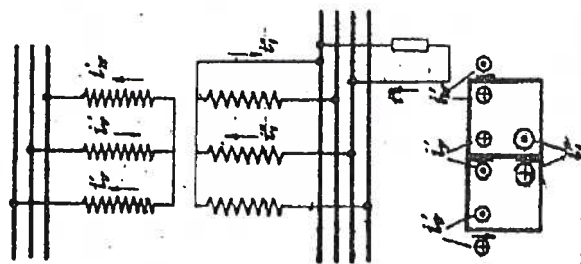
19. Osobine raznih sprega transformatora

U ovom članu ćemo razmatrati neke osobine koje se odnose na jednofazna opterećenja trofaznih transformatora, na neke prednosti i mane pri eksploataciji, na potrošnju bakra i sl. i to onih sprega koje smo uzeli za primere u prethodnom članu odnosno sprega zvezda — zvezda, trougao — zvezda i zvezda — izlomljena zvezda. No ovde moramo prethodno učiniti dve napomene. Prva se odnosi na razmatranje uticaja opterećenja samo jedne ili dve faze. Da bi doneli zaključke o osobinama raznih sprega kada je opterećena samo jedna ili dve faze transformatora, moramo se osloniti na činjenicu da u svakom magnetnom kolu, pa i pri nesimetričnom opterećenju, mora da postoji magnetna ravnoteža, isto kao što u električnim kolima postoji električna ravnoteža. Kada postoji magnetna ravnoteža znači da kontraelektromotorne sile koje drže ravnotežu spoljnjem naponu nisu ničim ometane. To znači da struje opterećenja ne smeju uticati na deformaciju struja magnetčenja koje stvaraju zajedničke fluksove, koji pak indukuju ove kontraelektromotorne sile. Druga napomena odnosi se naročito na transformatore za raspodelu električne energije odnosno znatnu prednost njihovu ako im je sekundar spregnut u zvezdu, običnu ili izlomljenu, jer se tada raspolaže sa dve vrednosti napona: faznog između faze i nule, na primer za napajanje instalacija za osvetljenje 220 V, i liniskog između dve faze, na primer za napajanje instalacija elektromotornih pogona 380 V.

a) Sprega zvezda—zvezda (YY). Odmah je jasno da su kod ove sprega prednosti što se i na strani visokog i na strani niskog napona imaju neutralne tačke. Na visokom naponu neutralna tačka se može uzemljiti direktno ili preko omovskog ili induktivnog otpora, a na niskom naponu raspolaže se sa dve vrednosti napona.



Sl. 74



Sl. 75

Ako je kao na sl.74a sekundar bez neutralnog sprovednika onda se najmanje mogu opteretiti dve faze. Apstrahujući struje magnetećenja, magnetopobudne sile usled struja opterećenja N^2i^2 i N^2i^2 (sl.74b) ne remete magnetnu ravnotežu, jer je njihova rezultantna za svako magnetno kolo jednaka nuli. Zanimajući još, kao što se to uvek čini, uticaj kraćeg magnetnog kola srednje faze, postoje jednaki zajednički fluksovi u svim fazama. Međutim neravnomernosti struja opterećenja pojedinih faza prenosi se i na primar. Umesto magnetopobudnih sila možemo, svodeći sve na istu stranu tj. isti broj navojaka, operisati sa strujama i^2i^2 kao što je urađeno i na sl.74. Ako na sekundaru postoji i neutralni sprovednik onda se prema sl.75a može opteretiti i samo jedna faza na primer srednja čija je struja i^2i^2 . Tada se opterećenje prenosi na primar iste faze, tako da se struja i^2i^2 deli na dva dela i^2u^2 i i^2w^2 , te u primaru teku struje kroz sve tri faze. Zanimajući struje magnetećenja, prema šemi na sl.75a, imamo

$$i^2v^2 = i^2u^2 + i^2w^2$$

Da bi postojala magnetna ravnoteža mora, prema sl.75b, ukupno delovanje magnetopobudnih sila odnosno struja za svako magnetno kolo biti jednako nuli odnosno

$$i^2u^2 - i^2i^2 + i^2v^2 = 0$$

i

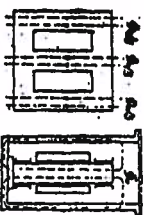
$$i^2u^2 = i^2w^2$$

Unoseći ovo u prethodnu jednačinu dobijamo da je

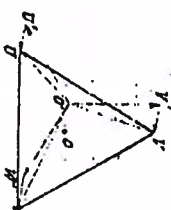
$$i^2u^2 = i^2w^2 = \frac{i^2i^2}{3}$$

$$i^2v^2 = \frac{2}{3} i^2i^2$$

Ako sada posmatramo svako jezgro posebno i s obzirom da je u srednjem jezgru rezultantna magnetopobudna sila odnosno struja $i^2i^2 - i^2u^2 = i^2i^2/3$ čije je delovanje istog smera kao u bočnim jezgrima, zaključujemo da na svako jezgro, pored magnetopobudne sile praznog hoda odnosno struje magnetećenja, deluju magnetopobudne sile odnosno struje koje su jednake $1/3$ sekundarnog opterećenja srednjeg jezgra. Sem toga su ove magnetopobudne sile, prema sl.75b, istoga smera u sva tri jezgra. Prema tome one će u sva tri jezgra, pored zajedničkog fluksa koji poliče od struje magnetećenja, stvarati još jedan dodati fluks Φ_0 koji se, budući da kod običnih transformatora nema



Sl. 76



Sl. 77

povratnog jezgra, zatvara kroz vazduh ili kod transformatora u ulju kroz ulje i transformatorski sud, kako je to predstavljeno na sl.76. Posledice ovoga su što ovaj dodati promeniivi fluks Φ_0 , zatvarajući se kroz transformatorski sud izaziva dodatne gubitke u gvožđu i što indukovanjem ems istog smera u svakom od faznih namotaja stvara nesimetriju faznih napona. Zajednički fluks svake faze indukuje, prema sl.77, elektronomotornu silu \overline{OU} , \overline{OV} i \overline{OW} . Dodati fluks $\Phi_0/3$ indukuje u sve tri faze jednovremene elektronomotorne sile $\overline{U'U}$, $\overline{V'V}$ i $\overline{W'W}$ tako da su elektronomotorne sile pojedinih faza \overline{OU} , \overline{OV} i \overline{OW} koje čine nesimetričan sistem. Liniski naponi ostaju pak jednaki, ali prema sl.77, težište trougla je pomeren iz tačke O u tačku O'. Vrednost ove dodatne ems odnosno fluksa zavisi od vrednosti sekundarnog opterećenja srednje faze, a njen fazni staj od vrste opterećenja.

Prema tome kod sprege zvezda—zvezda pri opterećenju samo jedne faze sekundara mana je što se ima dodati fluks Φ_0 jednovremen kroz sve tri faze (po $\Phi_0/3$) koji indukuje dodatne elektronomotorne sile i proizvodi dodatne gubitke u gvožđu. Zatim što fazni napon jedne neopterećene faze poraste, a to može dovesti do pregorevanja sijalica (čije opterećenje može biti znatno manje) priključenih na tu fazu. Najzad se ova neravnomernost opterećenja prenosi na primar a sa ovoga i na generator koji napaja transformator. Zbog ovih mana transformatori sa spregom zvezda—zvezda po propisima se predviđaju samo za one pogone kod kojih neutralna tačka služi samo za uzemljenje ili se dopušta opterećenje neutralnog voda do na primer 10% nominalne struje.

b) Sprega trougao—zvezda (ΔY). Dobre osobine sprege trouga—zvezda su što se na sekundaru ima neutralna tačka i mogućnost korišćenja dve vrednosti napona. Što se tiče nesimetrije opterećenja posluživano se sl.78 prema kojoj je opterećenje samo jedna faza sekundara. Ovo opterećenje i^2i^2 prenosi se na primar i^2i^2 i to samo na jednu fazu. Stoga se prema sl.78b, apstrahujući struju magnetećenja, delovanja magnetopobudnih sila usled struja opterećenja poništavaju. Ovo se dobija izjednačavanjem sa nulom zbra magnetopobudnih sila za svako magnetno kolo ($i^2i^2 = i^2i^2$). Prema tome kod sprege trougao—zvezda nesimetrija opterećenja ne izaziva nikakav dodati fluks ni dodatne gubitke u gvožđu. Ovo isto vredi kada su opterećene samo dve faze. Stoga se ova sprega upotrebljava za transformatore većih snaga koji služe za razvođenje električne energije pri postojanju neutralnog voda. Mana ove sprege je što se na primaru nema neutralna tačka.

c) Sprega zvezda—izlomljena zvezda (YZ). I kod ove sprege prednosti su što se i na primarnoj i na sekundarnoj strani ima neutralna tačka, te se na sekundaru raspolaže sa dve vrednosti napona. Pri nesimetričnom opterećenju prema sl.79 kada je sekundar opterećen jednofazno, struja opterećenja i^2i^2 prolazi kroz polunamotaje postavljene na dva jezgra, te odgovarajuća primarna struja prolazi takođe kroz dve faze. Stoga je za svako magnetno kolo delovanje magnetopobudnih sila usled opterećenja jednako nuli, te i kod ove sprege nema dodatnih fluksova niti dodatnih gubitaka u gvožđu kao posledice nesimetrije opterećenja.

Međutim, ova sprega ima manu koju nemaju ostale sprege. Elektronomotorne sile draju polunamotaja koji su postavljeni na dva jezgra nisu jednovremene već zastojaaju za $1/3$ perioda, odnosno na dijagramu njima odgovarajući vektori za 120° . Ovo je predstavljeno na sl.80 za fazu U. Ako obeležimo elektronomotorne sile polunamotaja sa $E_{1/2}$, onda je prema sl.80 sekundarni fazni napon

$$E = 2 E_{1/2} \cos 30 = \sqrt{3} E_{1/2}$$

20. Paralelni rad transformatora

Paralelnim radom naziva se slučaj kada su primari dva ili više transformatora priključeni na zajedničke sabirnice primarnog napona, a sekundari takođe na zajedničku mrežu, kao što je šematski prikazano na sl.81 za dva transformatora čije su sprege YY.

Iako je, s gledišta gradnje električnih mašina, postavljanje nekoliko transformatora manjih snaga umesto jednoga veće snage manje ekonomično, jer se tada troši više materijala za izradu transformatora a i snaga gubitaka je veća, ipak ima slučajeva kada se mora pribeci paralelnom radu transformatora.

Na primer ako se za neku transformatorsku potstanicu pojavi dodatno opterećenje koje ranije iz opravdanih razloga nije predviđeno, jevitnije je staviti još jedan transformator iste snage nego kupovati novi dva puta veće snage. Postoje slučajevi kada je paralelno postavljanje nekoliko transformatora i ekonomski opravdano, na primer kada se neka transformatorska stanica izgrađuje u etapama tokom više godina. Ponekad jedan transformator može da služi samo

za povremena dodatna opterećenja, a kada ovih nema transformator se potpuno isključuje i sa primarne mreže čine se smanjiti potrošnja energije na magnetne gubitke toga transformatora. Ponekad jedan od transformatora može da služi kao rezerva odnosno da se uključuje umesto drugog nekog transformatora koji je u kvaru.

Od besprekorno paralelnog rada dvaju ili više transformatora zahteva se prvo da pri neopterećenju sekundarnoj mreži nema nikakvih struja u sekundarnim transformatorima, drugo da pri nekom opterećenju transformatori dele to opterećenje srazmerno svojim nominalnim snagama i treće da struje opterećenja pojedinih transformatora budu u fazi. Da bi ovi zahtevi mogli biti ostvareni moraju biti ispunjeni sledeći uslovi:

1 — Primari svih transformatora moraju biti predviđeni za isti napon

$$U_1' = U_2' = \dots = U_N$$

Sekundarni naponi pri praznom hodu transformatora moraju biti jednaki

$$U_{02}' = U_{02}'' = \dots = U_{0N}''$$

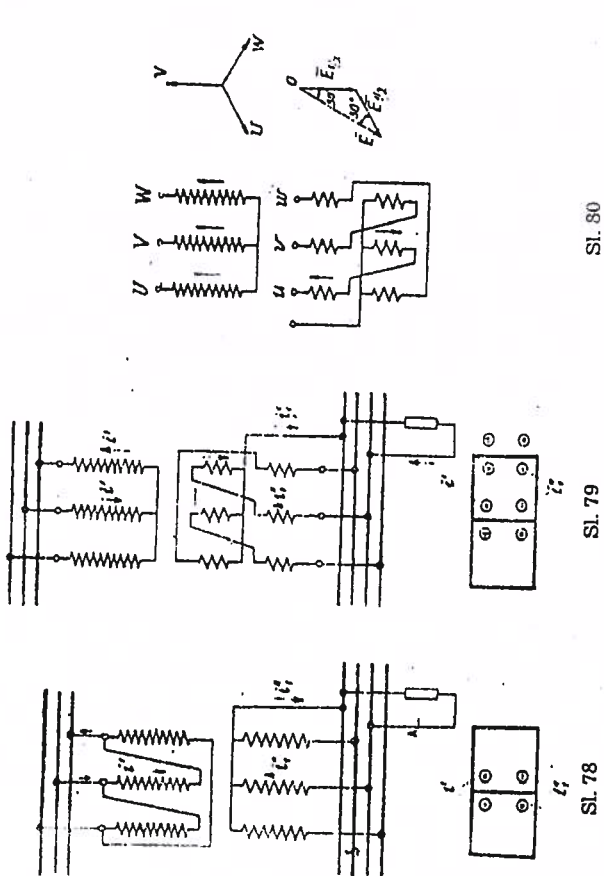
Prema tome ovaj prvi uslov praktično se svodi na jednakost odnosa preobražaja

$$m_1 = m_2 = \dots = m_N$$

2 — Pri paralelnom radu odgovarajući sekundarni naponi svih transformatora moraju biti u fazi

$$\bar{U}_1' = \bar{U}_2' = \dots = \bar{U}_N'$$

što praktično znači da svi transformatori moraju pripadati istoj grupi sprege.



Ako je ems ponavoknu E_1 onda je pri sprezi u izlomljenu zvezdu potreban broj navojaka

$$n_2 = 2 N \frac{1}{2} = \frac{2E \frac{1}{2}}{E_1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{E}{E_1}$$

Za spregu u običnu zvezdu potreban je broj navojaka

$$N_2 = \frac{E}{E_1}$$

Odnos ovih brojeva navojaka je

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,155$$

Prema tome za spregu u izlomljenu zvezdu potrebno je za isti napon imati 15,5% više navojaka nego u slučaju sprege u običnu zvezdu. Stoga su i omovski padovi napona i džulovski gubici veći za 15,5%. Takođe se masa bakra sekundara povećava za 15,5% ili u odnosu na celokupnu masu bakra (i primar i sekundar), potrošnja bakra pri sprezi zvezda—izlomljena zvezda veća je za 7,75% od potrošnje bakra pri sprezi zvezda—zvezda. Iako je ovo znatno u ekonomskom pogledu ipak je ova sprega dobra jer ima prednosti svih sprege u zvezdu (dve vrednosti napona sekundara i neutralna tačka) kao i prednosti sprege trougao—zvezda (nema dodatnih fluksova i dodatnih gubitaka u groždu pri nesimetriji opterećenja), a nema njihovih mana. Stoga se spreaga zvezda—izlomljena zvezda upotrebljava za transformatore manjih snaga koji služe za raspodelu električne energije kod kojih nesimetrije opterećenja mogu biti znatne.

3 — Relativni naponi kratkog spoja svih transformatora moraju biti jednaki

$$U_{C1} = U_{C2} = \dots = U_{CN}$$

Kada su ispunjeni svi navedeni uslovi onda na primer u slučaju praznog hoda zbir elektromotornih sila po makome zatvorenom kolu, na primer kolu 1—2—3—4—5—6—7—8—1 na sl.81, mora biti jednak nuli, te se kroz nijedno kolo ne mogu javiti nikakve struje uravnoteženja. Kada se uključe u paralelan rad dva transformatora jednaka po snazi i konstrukciji, tj. izrađeni u istoj seriji, prirodno je da oni ravnomerno dele opterećenje, jer su im električne, magnetne i mehaničke osobine jednake. Ali je takođe čest slučaj da dva ili više transformatora različitih snaga i konstrukcija treba da rade paralelno. Stoga ćemo razmotriti slučajeve kada delimično nisu ispunjeni gornji uslovi i na osnovi posledica zaključiti u kolikoj meri pojedini uslovi moraju biti ispunjeni. Pri ovome ćemo za sve slučajeve zanemariti struje magnetčenja.