

Sreten Škuletić

Nikolija Kaljević

VISOKONAPONSKA RAZVODNA POSTROJENJA

udžbenik za treći razred srednje stručne škole



Zavod za udžbenike i nastavna sredstva
PODGORICA

Sreten Škuletić

Nikolija Kaljević

VISOKONAPONSKA RAZVODNA POSTROJENJA

udžbenik za treći razred srednje stručne škole



Zavod za udžbenike i nastavna sredstva
PODGORICA, 2019.

dr Sreten Škuletić
Nikolija Kaljević

Visokonaponska razvodna postrojenja

udžbenik za treći razred srednje stručne škole

Izdavač	Zavod za udžbenike i nastavna sredstva – Podgorica
Za izdavača	Pavle Goranović, direktor
Glavni urednik	Radule Novović
Odgovorni urednik	Lazo Leković
Urednica izdanja	Ana LJ. Bojović
Recenzenti	dr Vladan Radulović dr Jadranka Radović mr Nataša Gazivoda Melanija Čalasan Rada Živković
Grafičko oblikovanje	Slađana Bajić-Bogdanović, Nikola Knežević
Lektura	Mirosava Bojović
Korektura	Biljana Čulafić
Tehnička urednica	Dajana Vukčević

CIP - Каталогизација у публикацији
Национална библиотека Црне Горе, Цетиње

ISBN 978-86-303-2298-3
COBISS.CG-ID 40008720

Nacionalni savjet za obrazovanje, Rješenjem broj 023-4362/2019-4 od 26. novembra 2019. godine odobrio je ovaj udžbenik za upotrebu u srednjim stručnim školama.

Copyright © Zavod za udžbenike i nastavna sredstva – Podgorica, 2019.

SADRŽAJ

1. Karakteristike visokonaponskih razvodnih postrojenja 8

1.1. Uloga, funkcija i značaj razvodnih postrojenja u elektroenergetskom sistemu	8
1.2. Podjela i vrste razvodnih postrojenja	12
1.3. Osnovne karakteristike elemenata razvodnih postrojenja	15
1.3.1. Naponska i strujna naprezanja	15
1.3.1.1. Naponska naprezanja	15
1.3.1.2. Strujna naprezanja	18
1.3.2. Elementi razvodnih postrojenja	18
1.3.2.1. Sabirnice	19
1.3.2.2. Izolatori	22
1.3.2.3. Rastavljači	26
1.3.2.4. Osigurači	31
1.3.2.5. Prekidači i rastavne sklopke	33
1.3.2.6. Energetski i mjerni transformatori	50
1.3.2.7. Prigušnice	51
1.3.2.8. Energetski kablovi	52
1.3.2.9. Odvodnici prenapona	56
1.3.2.10. Mjerni uređaji	62
1.3.3. Sistemi jednosmjernog razvoda	62
1.4. Grafički simboli koji se koriste u šemama spoja u visokonaponskim razvodnim postrojenjima	66
1.5. Šeme spoja strujnih krugova u visokonaponskim razvodnim postrojenjima	69
1.5.1. Šeme spoja pojedinih djelova postrojenja	74
1.5.1.1. Šeme priključka odvoda	75
1.5.2. Šeme pomoćnih strujnih krugova	81
1.6. Prostorni raspored – dispozicije elemenata razvodnih postrojenja	83

2. Karakteristike i princip rada transformatora 88

2.1. Princip rada i konstrukcija transformatora	90
2.1.1. Princip rada transformatora	90
2.1.2. Konstrukcija transformatora	93
2.2. Električne karakteristike i zamjenska šema transformatora	98
2.2.1. Električne karakteristike transformatora	98
2.2.2. Zamjenska šema transformatora	100
2.3. Karakteristični režimi transformatora	101
2.3.1. Prazan hod	101
2.3.2. Kratki spoj	102
2.4. Paralelni rad transformatora	103
2.5. Vrste transformatora u električnim mrežama EES-a	104
2.5.1. Energetski i specijalni transformatori	106
2.5.2. Mjerni transformatori	107
2.5.2.1. Strujni mjerni transformatori	108
2.5.2.2. Naponski mjerni transformatori	111

2.6. Tumačenje podataka i/ili šema iz kataloga proizvođača	114
VJEŽBA: Izbor transformatora iz kataloga proizvođača.	115

3. Prenaponi i prenaponska zaštita u visokonaponskim razvodnim postrojenjima. 116

3.1. Nastanak i vrste prenapona	116
3.1.1. Atmosferski prenaponi	118
3.1.2. Unutrašnji prenaponi.	123
3.1.3. Prenaponska zaštita u VNRP.	124
3.2. Karakteristike i načini izvođenja gromobranske zaštite u VNRP	128
3.3. Elementi gromobranskih instalacija VNRP	129
3.4. Vrste, karakteristike i načini izvođenja uzemljenja u VNRP.	136
3.4.1. Pogonsko uzemljenje.	140
3.4.2. Zaštitno uzemljenje	141
3.4.3. Gromobransko uzemljenje	142
3.4.4. Združeno uzemljenje	142
3.5. Elementi uzemljenja i njihovo povezivanje	144

4. Kvarovi i ispitivanja elemenata VNRP. 146

4.1. Veličine za praćenje rada elektroenergetske opreme i uređaja.	146
4.2. Vrste kvarova i opasna pogonska stanja u VNRP.	147
4.2.1. Kratki spoj	152
4.2.2. Zemljospoj.	158
4.2.3. Prenapon	159
4.3. Dijagnostička ispitivanja u VNRP.	160
4.4. Način izrade i sadržaj ispitnog protokola o obavljenim ispitivanjima i mjerenjima.	166
4.5. Ispitivanja transformatora u laboratorijskim uslovima.	172
4.5.1. Oglad praznog hoda i kratkog spoja	176
4.5.1.1. Oglad praznog hoda	176
4.5.1.2. Oglad kratkog spoja.	178
VJEŽBA: Ispitivanje transformatora u laboratorijskim uslovima	181

5. Izgradnja i održavanje visokonaponskih razvodnih postrojenja. 182

5.1. Izgradnja visokonaponskih razvodnih postrojenja	182
5.1.1. Procedure izgradnje visokonaponskih razvodnih postrojenja	182
5.1.2. Postupci montiranja i demontiranja glavnih elemenata	183
5.2. Vrste održavanja elektroenergetske opreme i uređaja u VNRP.	191
5.2.1. Korektivno održavanje.	194
5.2.2. Preventivno održavanje.	195
5.3. Plan preventivnog održavanja elektroenergetske opreme i uređaja u VNRP	197
5.4. Radovi pri reviziji i remontu glavnih elemenata	198
VJEŽBA: Demonstriranje postupaka montiranja i demontiranja VN opreme	201

6. Postupci pogonskih manipulacija u visokonaponskim razvodnim postrojenjima. 202

6.1. Upravljanje i komandovanje uređajima i opremom u razvodnim postrojenjima	202
6.2. Postupci uključanja i isključenja elektroenergetskih elemenata u razvodnim postrojenjima	207
6.3. Uslovi i procedure ponovnog uključanja elektroenergetskih vodova i transformatora u razvodnim postrojenjima	211
6.4. Pravila zaštite na radu i primjena zaštitnih mjera i sredstava zaštite na radu pri pogonskim manipulacijama u razvodnim postrojenjima	213
6.5. Tumačenje uputstva proizvođača sklopne opreme VNRP	218
VJEŽBA: Tumačenje uputstva proizvođača sklopne opreme VNRP	219

7. Mjerenje i relejna zaštita u visokonaponskim razvodnim postrojenjima 220

7.1. Vrste mjerenja i karakteristike uređaja za mjerenje električnih veličina.	220
7.1.1. Električne veličine najčešće u upotrebi u VNRP.	220
7.1.2. Karakteristike uređaja za mjerenje električnih veličina	221
7.1.3. Vrste mjerenja.	226
7.2. Osnovna svojstva relejne zaštite i vrste releja	236
7.2.1. Osnovna svojstva relejne zaštite	236
7.2.2. Vrste releja	241
7.3. Zaštita glavnih elemenata razvodnih postrojenja	247
7.3.1. Zaštita elektroenergetskih vodova.	247
7.3.2. Zaštita sinhronih generatora	247
7.3.3. Zaštita energetskih transformatora.	248
7.3.4. Zaštita od otkaza prekidača	248
7.4. Šeme spoja transformatora i vodova sa mjernim i zaštitnim uređajima	249
7.5. Primjer djelovanja zaštite.	253
VJEŽBA: Tumačenje šeme djelovanja zaštite na datom primjeru	255
RJEČNIK POJMOVA I IZRAZA	256
LITERATURA.	260

Dragi učenice, draga učenice,

Tekst dat u ovom udžbeniku je napisan u želji da se veoma složena i obimna materija predviđena novim nastavnim programom za predmet Visokonaponska razvodna postrojenja (VNRP) izloži u obliku najpodesnijem za mlade korisnike. Zbog velike složenosti i razuđenosti Programa, autori su se trudili da u obradi predviđene materije nađu što prihvatljiviju mjeru i način prezentacije, koji odgovaraju uzrastu i nivou učenika/učenica elektrotehničkih srednjih škola.

U skladu s nastavnim Programom koji sadrži sedam neophodnih ishoda za koje se osposobljavaš, sadržaj izložene materije podijeljen je u sedam poglavlja.

- **Karakteristike visokonaponskih razvodnih postrojenja** – ukazuje na ulogu, funkcije i značaj VNRP u EES-u, daje osnovne karakteristike elemenata VNRP i objašnjava šeme spoja strujnih krugova u VNRP.
- **Karakteristike i princip rada transformatora** – govori o principu rada, konstrukciji, karakteristikama, karakterističnim režimima i vrsti transformatora u VNRP.
- **Prenaponi i prenaponska zaštita u visokonaponskim razvodnim postrojenjima** – objašnjava nastanak, vrste i karakteristike prenapona i ukazuje na značaj i vrste prenaponske zaštite u VNRP.
- **Kvarovi i ispitivanja elemenata visokonaponskih razvodnih postrojenja** – govori o vrstama kvarova i opasnim pogonskim stanjima u VNRP, kao i o važnosti i načinima ispitivanja VN elemenata, opreme i uređaja u VNRP.

- **Izgradnja i održavanje visokonaponskih razvodnih postrojenja** – analizira osnovne procedure, postupke i vrste izgradnje i održavanja VN elemenata u VNRP.
- **Postupci pogonskih manipulacija u visokonaponskim razvodnim postrojenjima** – navodi osnovne postupke pogonskih manipulacija u VNRP i načine upravljanja i komandovanja uređajima i opremom u VNRP.
- **Mjerenje i relejna zaštita u visokonaponskim razvodnim postrojenjima** – objašnjava vrste mjerenja i karakteristike uređaja za mjerenje električnih veličina, kao i vrste, podjele i osnovna svojstva relejne zaštite VNRP.

Za svako poglavlje dat je određeni broj pitanja koja se odnose na taj dio teksta. Odgovorom na postavljena pitanja možeš kontrolisati nivo i kvalitet naučene materije.

U tekstu su izdvojene i objašnjene manje poznate riječi, a na kraju Udžbenika nalazi se i rječnik korišćenih termina – Rječnik pojmova i izraza.

Priložen je i spisak osnovne literature koja se bavi oblastima prezentovanim u Udžbeniku, kao i veći broj korisnih sajtova na kojima možeš naći više informacija o projektovanju, izgradnji, radu i održavanju visokonaponskih razvodnih postrojenja.

Želimo ti mnogo uspjeha.

Autori

Obavezni i važni dio sadržaja koji je potreban za razumijevanje teksta.

Ako želiš da budeš bolje informisan/informisana, upoznaj se sa dodatnim sadržajima.

1. Karakteristike visokonaponskih razvodnih postrojenja

1.1. Uloga, funkcija i značaj razvodnih postrojenja u elektroenergetskom sistemu

U okviru elektroenergetike se u teoriji i praksi granjektuju i unapređuju električni generatori, elektromotori, transformatori i daljokvodi, elektrane i elektroenergetske mreže, kao i distribucija električne energije od proizvodnje do potrošača. Istovremeno obezbjeđuje racionalnu potrošnju i svestranu i optimalnu primjenu električne energije svugdje gdje je to potrebno.

Elektroenergetika je disciplina u okviru nauke o elektricitetu (grana elektrotehnike i energetike) u kojoj se izučavaju transformacije energije u električnu energiju i koja se bavi proizvodnjom, prenosom, distribucijom, pretvaranjem, raspodjelom i transformacijom u upotrebne oblike koje čine krajnji korisnik, kao i problemima upravljanja i raspolaganja i metodama racionalne upotrebe energije i očuvanja i zaštite okoline.

U okviru posebne privredne oblasti koja se naziva **elektroprivreda**, elektroenergetika predstavlja sektor energetike koji obuhvata sve aktivnosti gazdovanja električnom energijom. Tako se obezbjeđuje zahtijevana isporuka potrošačima, uz neophodne nivo sigurnosti i pouzdanosti, zadovoljavajući kvalitet i minimalne troškove.

Specifičan tehničko-ekonomski sistem za realizaciju elektroenergetike, odnosno sistem u okviru koga se izvode sve elektroenergetske transformacije i električna energija prenosi, distribuira i troši naziva se **elektroenergetski sistem (EES)**.

Elektroenergetski sistem je složen skup uređaja i opreme, međusobno povezanih i uzajamno zavisnih, kojima se proizvodeva električna energija (u elektranama – E), nakon određenih transformacija (u okviru visokonaponskih razvodnih postrojenja – VNRP), prenosi (preko prenosne mreže – PM) distributivna (kroz distributivne mreže – DM) do potrošača (P).

Osnovni zadaci elektroenergetskih sistema su da potrošačima obezbijede **dovoljno snabdijevanje**, tj. potrebnu snagu i dovoljnu količinu električne energije, i da snabdijevanje potrošača bude **sigurno, kvalitetno i ekonomično**, a sve to uz **racionalnu upotrebu** električne energije i minimalne troškove.

Porast potrošnje električne energije zahtijeva izgradnju i korišćenje većih i brojnih elektrana, kao i velikih prenosnih mreža koje pokrivaju velike teritorije i distributivnih mreža koje dolaze do svih krajnjih potrošača. Kako se radi o visokim naponima i velikim strujama i snagama, kao i o velikim teritorijama koje pokrivaju, prenos i raspodjela ove energije nije moguće obaviti bez posebnih postrojenja i uređaja.

*** **Visokonaponska razvodna postrojenja (VNRP)** imaju osnovnu ulogu da kao dio jedinstvene optine (EES), zajedno s elektranama, prenosnim i distributivnim mrežama, u svakom trenutku osiguraju dopunjavanje dovoljne količine kvalitetne električne energije od izvora do potrošača. Radi sticanja optke slike o spoljnjem izgledu pojedinih tipova/elementa VNRP, na slici 1.1 date su fotografije više različitih izvedenih VNRP.



Slika 1.1. Djelovi različitih visokonaponskih razvodnih postrojenja

Da provjeriš koliko si razumio/razumjela sadržaj lekcije.

Rad u grupi će ti pomoći da naučeno primijeniš u praksi tako što ćeš koristiti informacije koje ćeš dobiti u udžbeniku ili na internetu.

2.5. Koji vrste transformatora postoje u EES-u?

1. Navedi razlike između različitih vrsta transformatora.
2. Opisi osnovne karakteristike energetskih transformatora.
3. Opisi osnovne karakteristike i navedi vrste mjernih transformatora.
4. Koja je osnovna uloga strujnih i naponskih transformatora?
5. Analiziraj razlike između energetskih i mjernih transformatora.

2.6. Tumačenje podataka i/ili šema iz kataloga proizvođača

U okruženju i šire postoji veći broj proizvođača energetskih transformatora kod kojih se, u zavisnosti od naponskog nivoa i konkretnih potreba i željenih karakteristika, mogu naručiti energetski transformatori. Proizvođači uglavnom svoj standardni proizvodni program prezentuju u svojim katalogima, koje objavljuju na internetu ili šalju kupcima na lični zahtjev. Mnogi od njih isporučuju i specifične zahtjeve kupaca.

Da bi se u svakoj konkretnoj situaciji odabrao odgovarajući transformator koji može ispuniti određene zahtjeve i karakteristike, neophodno je poznavati adrese proizvođača. Takođe, potrebno je posjedovati znanje i sposobnost da se, koristeći raspoložive kataloge, odabere odgovarajući transformator koji će u najboljoj mogućoj mjeri zadovoljiti zahtjevane potrebe.

Neki od proizvođača energetskih transformatora, od kojih je moguće tražiti poruke za zadovoljavanje konkretnih potreba su:

1. KONČAR D&ST, Zagreb, Hrvatska, <http://www.koncar-dst.hr/hr/>
2. MINEL-COMEL, Beograd, Srbija, <http://comel.rs/page/transformatori>
3. MINEL TRAF0, Mladenaovac, Srbija, <http://www.minel-trafo.com>
4. KOLEKTOR ETRA, Ljubljana, Slovenija, <https://www.kolektor-etra.si>
5. ABB, Padova, Italija, <https://new.abb.com>
6. SIEMENS, Berlin, Njemačka, <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/high-voltage-transformers>
7. SGB, Mleten, Njemačka, <https://www.sgb-smi.com/>
8. CG Electric Systems Hungary Zrt, Budimpešta, Mađarska, <http://www.cgglobal.com/hu/>
9. WESTRAFO SRL, London, UK, <https://www.westrafo.com/en/products/power-transformers/>
10. CHINT, Šangaj, NR Kina, <http://en.chint.com/index.php/product/productlist>

VJEŽBA: Izbor transformatora iz kataloga proizvođača

Cilj zadatka: Učenik zna da protumači uputstva, podatke i šeme iz kataloga proizvođača transformatora i da odabere transformator koji zadovoljava postavljene zahtjeve.

Naloga: Koristeći znanja koja su učenici stekli proučavajući ovo poglavlje, da samostalno istraže na internetu proizvođače energetskih transformatora i da iz njihovih kataloga, na osnovu zahtjeva dobijenog od nastavnika, odabere odgovarajući transformator.

Nastavnik formira grupu učenika/učenica. Svakoj od njih nastavnik daje posebne zadatke, kao što su: da pregledaju šemu proizvođača transformatora i učenici treba da iz pronađu na internetu i da iz kataloga/ponuda proizvođača izaberu transformator koji može da zadovolji zadate potrebe (koristeći stečena znanja iz ove oblasti).

Proizvođača, vrstu transformatora i konkretne zahtjeve za svaku grupu učenika određuje nastavnik.

Vježba: Istražiti na Internetu katalog proizvođača energetskih transformatora

(za svaku grupu učenika nastavnik posebno navodi ime proizvođača) i odabrati odgovarajući transformator za zadovoljenje slijedećih konkretnih zahtjeva:

(za svaku grupu nastavnik upisuje konkretne zahtjeve).

Na osnovu rezultata istraživanja, predstavnici grupe prezentuju svoje zaključke, sumiraju uputstva proizvođača transformatora i nakon njegov odobrenja, kao i potrebne podatke i šemu izabranog transformatora.

1.

Karakteristike visokonaponskih razvodnih postrojenja

1.1. Uloga, funkcija i značaj razvodnih postrojenja u elektroenergetskom sistemu

U okviru elektroenergetike se u teoriji i praksi projektuju i unapređuju električni generatori, elektromotori, transformatori i dalekovodi, elektrane i elektroenergetske mreže, kao i distribucija električne energije od proizvodnje do potrošača. Istovremeno obezbjeđuje racionalnu potrošnju i svestranu i optimalnu primjenu električne energije svugdje gdje je to potrebno.

Elektroenergetika je disciplina u okviru nauke o elektricitetu (grana elektrotehnike i energetike) u kojoj se izučavaju transformacije energije u električnu energiju i koja se bavi proizvodnjom, prenosom, distribucijom, pretvaranjem, raspodjelom i transformacijom u upotrebne oblike koje čovjek koristi, kao i problemima upravljanja i raspolaganja i metodama racionalne upotrebe energije i očuvanja i zaštite okoline.

U okviru posebne privredne oblasti koja se naziva **elektroprivreda**, elektroenergetika predstavlja sektor energetike koji obuhvata sve aktivnosti gazdovanja električnom energijom. Tako se obezbjeđuje zahtijevana isporuka potrošačima, uz neophodne nivoe sigurnosti i pouzdanosti, zadovoljavajući kvalitet i minimalne troškove.

Specifičan tehničko-ekonomski sistem za realizaciju elektroenergetike, odnosno sistem u okviru koga se izvode sve elektroenergetske transformacije i električna energija prenosi, distribuira i troši, naziva se **elektroenergetski sistem (EES)**.



Elektroenergetski sistem je složeni skup uređaja i opreme, međusobno povezanih i uzajamno zavisnih, kojima se proizvedena električna energija (u elektranama – E), nakon određenih transformacija (u okviru visokonaponskih razvodnih postrojenja – VNRP), prenosi (preko prenosne mreže – PM) i distribuira (kroz distributivne mreže – DM) do potrošača (P).

Osnovni zadaci elektroenergetskih sistema su da potrošačima obezbijede **dovoljno snabdijevanje**, tj. potrebnu snagu i dovoljnu količinu električne energije, i da snabdijevanje potrošača bude **sigurno, kvalitetno i ekonomično**, a sve to uz **racionalnu upotrebu** električne energije i minimalne troškove.

Porast potrošnje električne energije zahtijeva izgradnju i korišćenje velikih i brojnih elektrana, kao i velikih prenosnih mreža koje pokrivaju velike teritorije i distributivnih mreža koje dolaze do svih krajnjih potrošača. Kako se radi o visokim naponima i velikim strujama i snagama, kao i o velikim teritorijama koje pokrivaju, prenos i raspodjelu ove energije nije moguće obaviti bez posebnih postrojenja i uređaja.

★★★ **Visokonaponska razvodna postrojenja** (VNRP) imaju osnovnu ulogu da kao dio jedinstvene cjeline (EES), zajedno s elektranama, prenosnim i distributivnim mrežama, u svakom trenutku osiguraju dopremanje dovoljne količine kvalitetne električne energije od izvora do potrošača. Radi sticanja opšte slike o spoljašnjem izgledu pojedinih djelova/ elemenata VNRP, na Slici 1.1 date su fotografije više različitih izvedenih VNRP.



Slika 1.1. Djelovi različitih visokonaponskih razvodnih postrojenja

Dopremanje proizvedene električne energije od izvora (elektrane) do potrošača može se izvesti na više načina, od kojih se mogu izdvojiti dva najkarakterističnija:

- Jedan od njih je da se svaki potrošač priključi direktno na svoj izvor. Ovaj način je, iako tehnički izvodljiv, uglavnom ekonomski neprihvatljiv. On se uglavnom koristio u samom početku razvoja EES-a.
- Drugi način je da se između potrošača i izvora izgradi električna mreža na koju se priključuju svi izvori i svi potrošači i na koju se može izvršiti priključak izvora i potrošača na bilo kom mjestu.

Drugi način je ekonomski i tehnički prihvatljiviji i obezbjeđuje veću pouzdanost, jer omogućava priključivanje izvora električne energije koji najčešće nijesu locirani u blizini potrošačkih centara, dok se sigurnost snabdijevanja mnogostruko povećava. Ako dođe do ispada nekog izvora, njegovu ulogu može preuzeti drugi izvor, tako da potrošač ne osjeti da je došlo do kvara. Kvar na nekom prenosnom elementu mreže dovodi do ispada pojedinih elementa iz pogona. Prenos energije se u tom slučaju, nakon određenih manipulacija, obavlja pomoću drugih, paralelnih elemenata sistema.



Kao i sve druge mreže, tako se i elektroenergetske mreže (prenosne, distributivne i potrošačke) strukturno sastoje iz **čvorova** i **grana** (vodovi i/ili transformatori).

Čvorne tačke moraju biti tako koncipirane da se u svakom trenutku na njih može priključiti potrošač i/ili izvor. Priključenje može biti direktno ili indirektno (preko nekog prenosnog sistema na tehnički i ekonomski zadovoljavajući način).

S obzirom na to da se u EES-u najčešće radi o velikim snagama, odnosno velikim strujama i visokim naponima, potrebno je čvorne tačke ovih mreža posebno i pažljivo izvesti. Zbog toga svaka čvorna tačka ima **razvodno postrojenje** koje može biti sa transformacijom ili bez transformacije napona. Od elektrane do potrošača, električna energija obično teče kroz više različitih razvodnih postrojenja na različitim naponskim novoima.

Visokonaponska razvodna postrojenja postoje:

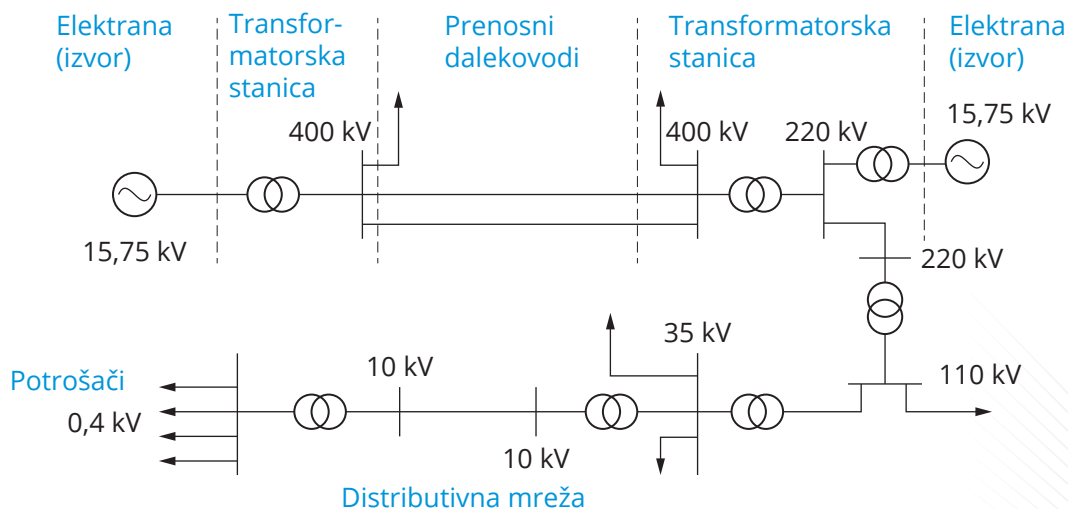
- **pri/u elektranama**, gdje im je zadatak da energiju proizvedenu u elektrani raspodijele na vodove koji povezuju elektranu s mrežom. Ovo postrojenje spaja generatore s prenosnom mrežom i obezbjeđuje sopstvenu potrošnju (električnu snagu i energiju za potrebe u samoj elektrani). Da bi se energija prenijela na veća rastojanja, u njima se napon električne energije podiže energetske transformatorima (podizačima napona),

s naponskog nivoa generatora na naponski nivo priključenih prenosnih dalekovoda. Time je omogućen prenos električne energije na velike udaljenosti, uz minimalne gubitke i padove napona. To su uglavnom velika postrojenja koja se planiraju i projektuju kada i sama elektrana.

- **u mrežama**, gdje im je zadatak da povežu dvije ili više mreža (istog ili različitog napona). U pitanju su systemska postrojenja koja obuhvataju transformaciju velike količine električne energije i koja povezuju dvije prenosne mreže (na primjer 220 kV mrežu i 400 kV mrežu). Ovakva postrojenja omogućavaju da se velike količine električne energije prenesu od izvora do udaljenih potrošačkih područja. Značajno utiču na pouzdanost EES-a. To su postrojenja koja omogućavaju prenos energije, transformisanje napona i napajanje potrošača.
- **kod velikih potrošača**, gdje im je zadatak da preuzmu potrebnu energiju iz mreža i prosljede je i razvedu ka posebnim potrošačima. Da bi se energija mogla koristiti od strane potrošača, u ovim postrojenjima se napon električne energije spušta energetske transformatorima (spuštačima napona) s naponskog nivoa distributivne (ponekad i prenosne) mreže na naponski nivo kojim se napajaju potrošači. Zbog specifičnosti velikih potrošača, tehničke zahtjeve uglavnom određuje tip industrijskog procesa, pa ih najčešće definiše investitor.

Bez postojanja visokonaponskih razvodnih postrojenja u čvornim tačkama mreža ne bi bilo moguće priključiti više vodova (istog ili različitog napona), više izvora ili potrošača, a takođe ni spojiti dvije ili više mreža istog ili različitog naponskog nivoa.

Pojednostavljena jednopolna šema jednog EES-a koji se sastoji od elektrana (izvora), VNRP i dalekovoda (za prenos i distribuciju električne energije) prikazana je na Slici 1.2.



Slika 1.2. Jednopolna šema elektroenergetskog sistema

1. Što je elektroenergetika?
2. Objasni ulogu visokonaponskih postrojenja u elektroenergetskom sistemu.
3. Navedi funkcije VNRP u EES-u.
4. Koji je značaj VNRP u EES-u?
5. Navedi i objasni mjesta izgradnje VNRP.

1.2. Podjela i vrste razvodnih postrojenja

Visokonaponska razvodna postrojenja (VNRP), s obzirom na namjenu, mogu se podijeliti na:

- razdjelna (razvodna, rasklopna) postrojenja – RP
- transformatorska postrojenja (stanice) – TS.

Razdjelno (razvodno, rasklopno) postrojenje (stanica), koje se nalazi u čvorištu vodova istog napona, predstavlja elektroenergetski objekat bez transformacije, s rasklopnom opremom istog naponskog nivoa. Namjena mu je da osigura raspodjelu energije na priključene vodove. Jedino se u razvodnim postrojenjima pojedini vodovi (izvori, potrošači i sl.) mogu staviti u pogon ili izvesti iz pogona.

Za razliku od razdjelnog postrojenja, **transformatorsko postrojenje** (trafostanica) ima još i transformaciju napona (transformatore – TR), što omogućava povezivanje mreža različitih naponskih nivoa.



Transformacija napona može se obaviti između dva naponska nivoa (dvonamotni transformatori) ili između tri naponska nivoa (tronamotni transformatori).

★★★ U praksi, za objekte razvodnog i transformatorskog postrojenja (RP i TS) često se koristi zajednički naziv **postrojenje**.

Prema funkciji koju imaju u EES- u, u visokonaponskim razvodnim postrojenjima se:

- podiže napon radi prenosa električne energije na daljinu
- spušta napon radi korišćenja električne energije
- razvodi električna energija u dva ili više pravaca.

Prema najvišem naponu, visokonaponska razvodna postrojenja mogu se podijeliti na:

- **srednjenaponska** – SN (napon do 35 kV)
- **visokonaponska** – VN (napon viši od 110 kV).

Prema prostornom smještaju, postrojenja mogu biti montirana/postavljena kao:

- **unutrašnja** (postrojenja u zgradama, najčešće urađenim za tu svrhu)
- **spoljašnja** (postrojenja na otvorenom ograđenom prostoru).

Postrojenja unutrašnje izvedbe mogu biti smještena u posebne zgrade namijenjene toj svrsi ili u posebnom dijelu zgrade čija je namjena opšta (stambene zgrade, turistički objekti i dr.). Aparati i oprema koji se ugrađuju u ova postrojenja zaštićeni su od atmosferskih uticaja (vlaga, prašina i sl.), pa je i njihova konstrukcija jednostavna i jeftina. To su obično postrojenja za srednji napon (do 35 kV). Čelije u ovim postrojenjima međusobno se odvajaju zidanom ili montažnom izolacionom pregradom.

Postrojenja visokog napona (110 kV i više) obično se rade na otvorenom, jer bi građevinski objekti za njihov smještaj bili veliki i veoma složeni. Elementi ovih postrojenja moraju biti konstruisani i izvedeni da izdrže sve spoljašnje uticaje. U praksi postoji više različitih izvedbi ovih postrojenja, a u posljednje vrijeme se, zahvaljujući tehničkim inovacijama i novim materijalima, i postrojenja vrlo visokog napona (npr. SF6 postrojenja) izvode u zgradama.

S obzirom na izvedbu, razvodna postrojenja mogu se podijeliti na:

- razvodna postrojenja otvorenog tipa (montirana na slobodnim ograđenim površinama), uglavnom za visoke napone
- razvodna postrojenja zatvorenog ili oklopljenog tipa (cijela ćelija je oklopljena limom), uglavnom za srednje i niže napone.

Zatvorena razvodna postrojenja obično se nalaze u urbanim sredinama. Pored uštede prostora i estetskih razloga, kod njih je smanjena buka iz transformatora, a i znatno bolje su zaštićena od klimatskih uslova i zagađenja (zato su obično jednostavnije konstrukcije). Oklopljena VNRP mogu biti smještena na slobodnom prostoru ili u zgradi.

Zavisno od uloge u mreži, razvodna postrojenja mogu biti (Slika 1.3):

- čvorna (Slika 1.3a)
- prolazna (Slika 1.3b)
- antenska (Slika 1.3c).

1.3. Osnovne karakteristike elemenata razvodnih postrojenja

Visokonaponska razvodna postrojenja se sastoje od velikog broja različitih djelova i elemenata, koji imaju različite karakteristike i koji su izloženi dejstvu raznih struja i napona.

1.3.1. Naponska i strujna naprezanja

Aktivni djelovi VNRP nalaze se pod naponom. Postrojenje treba da bude izgrađeno i održavano tako da ne dođe do oštećenja djelovanjem napona bilo između provodnika, bilo između provodnika i uzemljenih djelova.

Kroz provodne djelove VNRP teku struje. VNRP treba da bude tako izgrađeno i održavano da ne dođe do oštećenja djelovanjem velikih struja koje se, pogotovo u slučaju kratkog spoja, mogu pojaviti u provodnicima.



Veoma je važno istaći da sve aparate koji se ugrađuju u VNRP treba tako odabrati da mogu izdržati i djelovanje napona i djelovanje struja.

1.3.1.1. Naponska naprezanja

Danas se u elektroenergetskim sistemima uglavnom upotrebljavaju trofazni sistemi. Kada se govori o naponu u sistemu, uvijek se misli (ako nije drugačije napomenuto) na efektivnu vrijednost linijskog napona. U toku rada EES-a (pa time i VNRP), u njemu se mogu pojaviti različiti naponi:

Naznačeni napon mreže. Prema definiciji to je konvencionalna vrijednost napona po kojem je mreža nazvana. To je trajni napon pogonske frekvencije koji ima konstantnu efektivnu vrijednost i trajno je priključen na stezaljke opreme. Stvarni napon mreže koji je različit u pojedinim tečkama mreže, može biti i niži i viši od naznačenog napona mreže.

Najviši napon mreže. To je najviša vrijednost napona, koja se u normalnim pogonskim uslovima može pojaviti u bilo kom trenutku i u bilo kojoj tački mreže. Ovaj napon ne uzima u obzir prelazne promjene napona (zbog poremećaja i smetnji, naglih isključenja, prenapona i sl.). Podatak o njegovoj visini služi za utvrđivanje nivoa izolacije opreme koja će se koristiti.

Naznačeni i najviši naponi mreža utvrđeni su nacionalnim standardima u pojedinim zemljama, a definisani su i u preporuci Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC).

U elektroenergetskim postrojenjima, usljed raznih prelaznih pojava (pri isključenjima, usljed atmosferskih napona i sl.) javljaju se i naponi koji su znatno viši od definisanog najvišeg napona mreže (prenaponi atmosferskog porijekla, unutrašnji prenaponi i sl.). Radi sprečavanja mogućih kvarova u postrojenjima, ove napone ugrađena izolacija mora izdržati u propisanim uslovima, pa je njih neophodno precizno definisati. Ispitni naponi koje mora izdržati ispitivani aparat ili element postrojenja takođe su standardizovani i propisani.

Posebno treba voditi računa o prenaponima koji mogu biti vrlo različitih trajanja, oblika i intenziteta, pa im je i uticaj na izolaciju opreme veoma različit.

Izolacija visokonaponske opreme različito podnosi napone i prenapone različitog oblika i trajanja. Prema obliku i trajanju, naponi koji djeluju na opremu mogu se razvrstati na:

- trajne napone industrijske učestanosti (stalna efektivna vrijednost napona na koju je izolacija trajno priključena)
- privremene prenapone industrijske učestanosti (relativno dugo trajanje neprigušenog ili slabo prigušenog napona, čija učestanost u nekim slučajevima može biti nekoliko puta veća ili manja od industrijske)
- tranzijentne prenapone (prenaponi kratkog trajanja, aperiodični ili oscilatorni jako prigušeni). Tranzijentni prenaponi obuhvataju:
 - spore prenapone (vrijeme do tjemena 20–5000 μ s, vrijeme začelja do 20 ms)
 - brze prenapone (vrijeme do tjemena 0,1–20 μ s, vrijeme začelja do 300 μ s)
 - vrlo brze prenapone (vrijeme do tjemena do 0,1 μ s, ukupno vrijeme trajanja do 3 ms)
 - kombinovane prenapone (kombinacija navedenih napona i prenapona).

Na izolaciju objekata visokog napona tokom rada djeluju:

- trajno, radni napon
- povremeno i uglavnom kratkotrajno, veliki broj prenapona koji na njima mogu stvoriti opasna naponska naprezanja koja mogu izazvati razorna pražnjenja.

Da bi se preskoci na opremi lokalizovali na mjesto gdje neće nanijeti štetu (ili će šteta biti minimalna i ne može se sasvim ukloniti ekonomičnim sredstvima), propisan je skup mjera za sprečavanje štete zbog djelovanja povišenog napona, tzv. **koordinacija izolacije**.

Koordinacija izolacije usklađivanja broja, mjesta ugradnje i karakteristika odvodnika prenapona i drugih zaštitnih naprava s izolacionom čvrstoćom električne opreme

Karakteristika izolacije aparata i opreme s obzirom na njihovu dielektričnu čvrstoću, određena je **stepenom izolacije** aparata i opreme koji je definisan vrijednošću podnosivih napona izolacije. Step/stupanj izolacije odgovara najvišem naponu mreže.

Podnosivi naponi su definisani tehničkim preporukama, odnosno sljedećim standardima:

Podnosivi napon za vrijeme od jednog minuta. To je najviši napon (efektivna vrijednost) frekvencije 50 Hz koji uređaj mora izdržati u trajanju od jednog minuta a da ne dođe do proboja ili preskoka pri ispitivanju uz standardne atmosferske prilike.

Podnosivi udarni napon. Oblik, trajanje, amplituda, uslovi ispitivanja i broj udara udarnog napona takođe su detaljno definisani standardima.

Za djelove postrojenja koji se ne ispituju podnosivim naponima, propisani su odredbama odgovarajućeg pravilnika (Tabela 1.1) najmanji međusobni razmaci faza ili najmanji razmaci između neke od faza i uzemljenih djelova. Ovi razmaci treba da osiguraju postrojenje od preskoka između faza i između neke od faza i uzemljenih djelova.

Tabela 1.1. Najmanji razmaci djelova pod naponom

	Najmanji razmak djelova pod naponom u mm	
	u zgradi	na otvorenom
1	40	-
3	75	-
6	100	-
10	125	180
20	180	260
35	300	400
60	470	580
110	800	1.000
220	-	2.200

1.3.1.2. Strujna naprezanja

Pri izboru aparata i dimenzionisanju djelova VNRP, neophodno je razlikovati sljedeće struje:

- **naznačena struja**
- **struje za vrijeme kratkog spoja.**

Naznačena struja je struja koja može neograničeno dugo vremena teći kroz aparat, uređaj ili provodnik, a da ne dođe do njihovog oštećenja. Neophodno je napomenuti da je u normalnom pogonu, za neko kratko vrijeme, kroz navedene djelove postrojenja moguće da teče i veća struja od naznačene, bez opasnosti da dođe do njihovog oštećenja.

Za vrijeme kratkog spoja mogu se pojaviti sljedeće struje:

- udarna struja kratkog spoja
- rasklopna struja
- struja mjerodavna za zagrijavanje za vrijeme kratkog spoja.


Jačina ovih struja zavisi od mreže u kojoj se nalazi VNRP. Za svako postrojenje i svaki njegov dio posebno, potrebno je odrediti (izračunati) veličine struja kratkog spoja.

Zbog ove specifičnosti i potrebe određivanja ovih struja za svaki konkretan slučaj, za struje kratkog spoja ne mogu se donijeti propisi analogni onima koji su doneseni za napone.

1.3.2. Elementi razvodnih postrojenja

Da bi razvodna postrojenja mogla uspješno da zadovolje brojne, složene i veoma važne zadatke, u njima se nalaze:

- aparati za uključanje (uklapanje) i isključenje (isklapanje): prekidači (sklopke), rastavljači i sl.
- uređaji za transformaciju električne energije (transformatori u slučaju transformatorskih postrojenja)
- uređaji za zaštitu transformatora i vodova
- uređaji za mjerenje (služe za kontrolu pogona ili za obračun energije)
- uređaji za upravljanje uklopnim aparatima i za signalizaciju stanja pojedinih aparata...



Ovakvim postrojenjima upravlja se pomoću posade (nalazi se unutar postrojenja) ili daljinski iz nekog udaljenog centra (kada u postrojenjima najčešće nije potrebna ljudska posada).

Visokonaponska razvodna postrojenja sastoje se od glavnih i pomoćnih uređaja/elemenata.

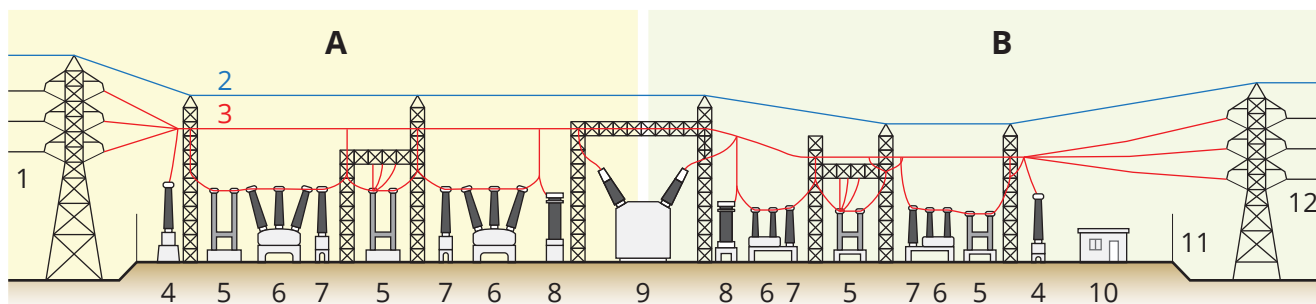
U **glavne elemente** VNRP ubrajaju se:

- sabirnice
- izolatori
- rastavljači
- osigurači
- prekidači i rastavne sklopke
- energetske i mjerni transformatori
- prigušnice
- energetske kablovi
- odvodnici prenapona i uređaji za zaštitu.

U **pomoćne uređaje/elemente** VNRP ubrajaju se:

- mjerni uređaji
- komandni uređaji
- upravljački uređaji
- signalni uređaji
- sistemi jednosmjernog razvoda
- ostali pomoćni uređaji i oprema.

Elementi jednog visokonaponskog razvodnog postrojenja (glavni i pomoćni) prikazani su na šemi datoj na Slici 1.4.



Slika 1.4. Visokonaponsko razvodno postrojenje s osnovnim elementima:

A – primarna strana, B – sekundarna strana;

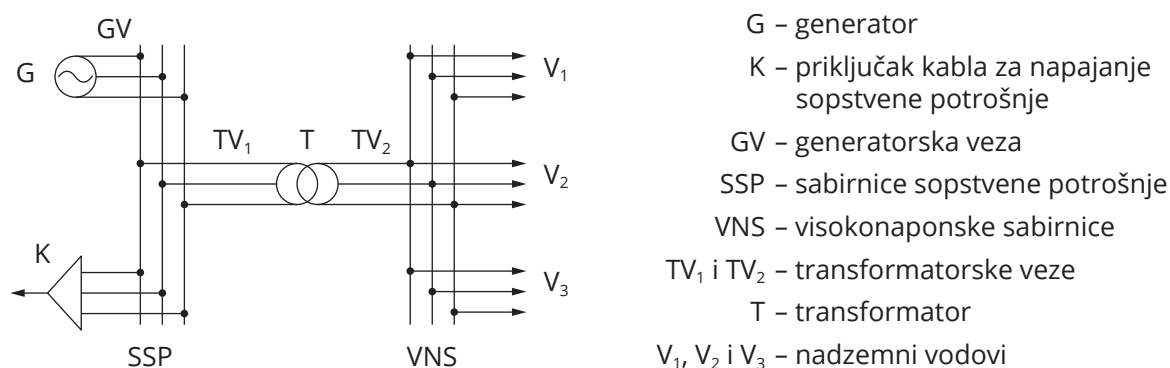
1. dalekovod primarne strane, 2. zaštitni vod, 3. nadzemni vod, 4. naponski transformator, 5. rastavljač, 6. prekidač,
7. strujni transformator, 8. odvodnik prenapona, 9. energetske transformator, 10. upravna zgrada, 11. zaštitna ograda,
12. dalekovod sekundarne strane

1.3.2.1. Sabirnice

Sabirnice su osnovni element razvodnog postrojenja. One omogućavaju međusobno povezivanje različitih elemenata sistema (vodova i transformatora), tj. one povezuju električne mreže kojima se dovodi električna energija s mrežama kojima se ona odvodi.

U razvodnim postrojenjima bez transformacije, sabirnice povezuju elektroenergetske vodove istog napona. Svi vodovi su spojeni sa sabirnicama, pa su one veoma važne za normalan pogon razvodnog postrojenja.

U transformatorsko-razvodnim postrojenjima (tzv. trafostanicama – TS) postoje sabirnice dva naponska nivoa. One su povezane preko jednog ili više elektroenergetskih transformatora. Na sabirnice jednog naponskog nivoa (sabirnice višeg napona) vezani su dovodni vodovi, a na sabirnice drugog naponskog nivoa (sabirnice nižeg napona) vezani su odvodni vodovi. U okviru VNRP postoje spojni vodovi/provodnici koji služe za povezivanje generatora i transformatora sa sabirnicama ili međusobno. Primjer trolejne šeme sabirnica i spojnih vodova jednog VNRP (TS) u elektrani prikazan je na Slici 1.5.



Slika 1.5. Primjer trolejne šeme sabirnica i spojnih vodova u VNRP elektrane

Za izradu sabirnica koriste se: **goli/neizolovani bakarni (Cu), aluminijumski (Al) ili aluminijско-čelični (Al/Fe) provodnici** u obliku **užadi, pljosnatih/pravougaonih šina, okruglih i punih provodnika, U i L-profila** ili **cijevi** i sl.

Al/Fe uže

kombinacija dobre provodljivosti aluminijuma i velike otpornosti čelika na istezanje

Zbog boljeg hlađenja/odvođenja toplote i jasnijeg uočavanja i raspoznavanja pojedinih faza, **provodnici se boje** i to: faza **R (O)** žuto, faza **S (4)** zeleno, faza **T (8)** ljubičasto, nula **O (N)** bijelo, sivo ili crno. Provodnici jednosmjerne struje boje se: **pozitivni pol P (+)** crveno, a **negativni pol N (-)** plavo. Boje se svi oblici presjeka izuzev Al/Fe užadi.

Maksimalno dozvoljena trajna struja kratkog spoja kroz provodnik (I_{td}) može se izračunati prema obrascu:

$$I_{td} = \frac{S}{\sqrt{t + \Delta t}} f_t \quad (1.1)$$

gdje je: S – presjek provodnika (mm²)

t – trajanje kratkog spoja (s) koje zavisi od podešenosti zaštite generatora i vodova

Δt – fiktivno produženje trajanja struje kratkog spoja zbog povećane struje u početku pojave kratkog spoja

f_t – faktor termičke čvrstoće koji zavisi od materijala ($Cu = 0,163$; $Al = 0,115$).

U slučaju da provjere ne daju pozitivan rezultat, treba odabrati veći presjek sabirnica.

Vrijednost dozvoljene struje I_{td} izračunata prema obrascu (1.1), odnosno dobijeni presjek sabirnica mora se provjeriti (na termička i dinamička naprezanja od struje kratkog spoja) zbog:

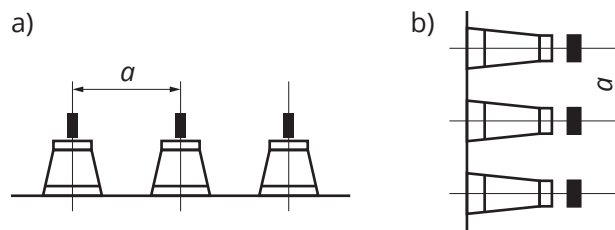
- povećanja temperature sabirnica za vrijeme trajanja kratkog spoja. Maksimalno dozvoljena temperatura provodnika kod kratkog spoja je $< 240\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- mehaničkog naprezanja u slučaju kratkog spoja. U ovom slučaju vodi se računa o elektromagnetnim dinamičkim silama koje se javljaju kod dvopolnih kratkih spojeva (jer kroz paralelne provodnike teku struje fazno pomjerene za 180°).

Presjek sabirnica bira se prema **maksimalnoj pogonskoj struji** koja može da teče sabirnicama u normalnom radu vodeći računa na broj, raspored i snagu priključenih vodova i generatora. Strujno opterećenje provodnika određenog presjeka ograničeno je zbog zagrijavanja pri prolasku struje u trajnom pogonu. Obično se dozvoljava nadtemperatura (temperatura iznad prosječne) provodnika maksimalno za $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, što kod temperature okoline od maksimalno $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ odgovara temperaturi sabirnica od $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. U slučaju kada su radne struje veoma velike, faze se izvode iz dva ili više provodnika manjeg presjeka, čime se formira tzv. paket provodnika po fazi.

Raspored provodnika sabirnica može biti:

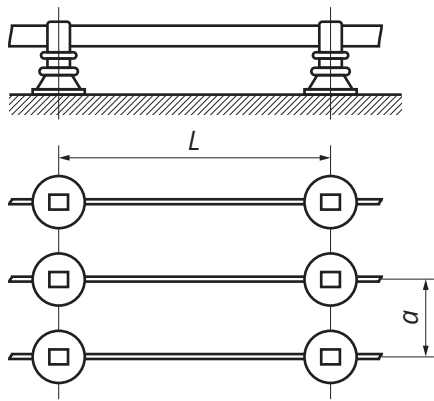
- simetrično u horizontalnoj ravni (Slika 1.6a)
- simetrično u vertikalnoj ravni (Slika 1.6b).

Zbog boljeg hlađenja provodnika, najčešće se koristi raspored provodnika sabirnica simetrično u horizontalnoj ravni. Raspored može biti (znatno rjeđe) i koso postavljanje provodnika, ili da provodnici budu postavljeni u uglove trougla.

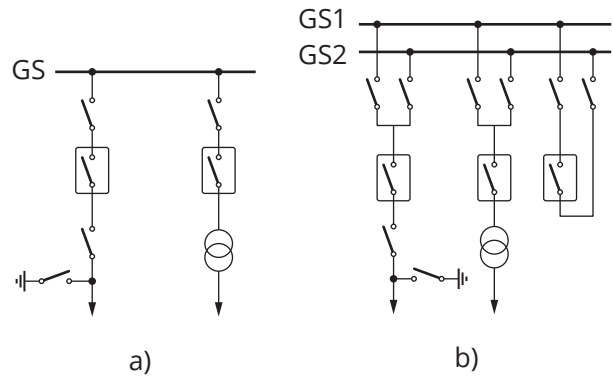


Slika 1.6. Najčešći raspored provodnika sabirnica:

- a) simetrično u horizontalnoj,
- b) simetrično u vertikalnoj ravni



Slika 1.7. Jedan od mogućih oblika izvođenja sabirnica



Slika 1.8. Sistem sabirnica: a) jednostruki, b) dvostruki

Jedan od oblika sistema sabirnica (koji se sastoji od tri provodnika – šine ili užeta, učvršćenih u izolatorima na udaljenosti l , koje zavisi od rasporeda postrojenja i od dimenzija ćelija u postrojenju, s rastojanjem „ a “ između sabirnica pojedinih faza), dat je na Slici 1.7.

Sabirnice se izrađuju kao jednostruke ili dvostruke (višestruke).

Kod **jednostrukih** sabirnica (GS – Slika 1.8a) svaka revizija ili ispad zbog kvara ima za posljedicu **prekid napajanja** svih potrošača čije napajanje ide sa tih sabirnica.

Kod **dvostrukog** sistema sabirnica (GS1 i GS2 – Slika 1.8b) – dvostruki provodnici za sve tri faze, u slučaju kvara ili revizije na jednom sistemu, drugi sistem sabirnica preuzima opterećenje sistema u kvaru. Na višim naponima preovladavaju dvostruki sistemi sabirnica.

1.3.2.2. Izolatori

Izolatori u razvodnim postrojenjima služe da bi djelove pod naponom izolovali od okolnih uzemljenih djelova. Istovremeno služe i kao nosači golih provodnika.

Najvažnije osobine izolatora su:

- **izolaciona moć** (određena električnim napreznjima)
- **mehanička čvrstoća** (određena mehaničkim napreznjima).

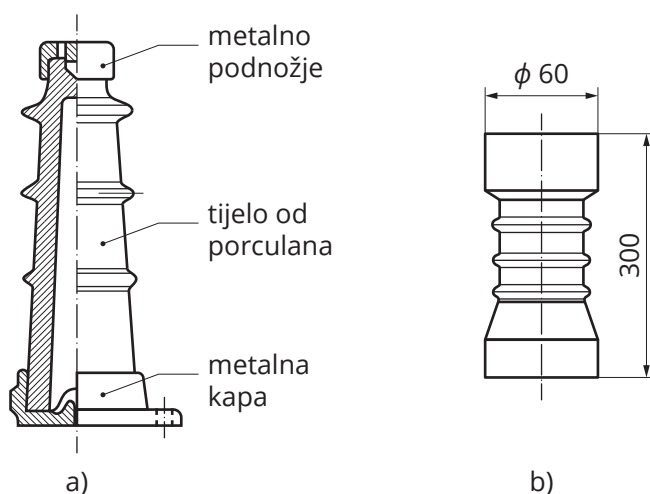
Izrađuju se od materijala koji ima dobra izolaciona i mehanička svojstva (mogu da izdrže električna i mehanička napreznja), kao što su: porculan, keramika, vještačke smole (epoksi smola), specijalne vrste stakla i sl.

Izolatori se dijele na:

- potporne
- provodne
- viseće (lančaste) izolatore.

Potporni izolatori služe kao **izolacija** od podnožja i kao **potpora** koja nosi sabirnice ili gole provodnike. Oni izoluju provodnike od uzemljenih djelova i preuzimaju na sebe sve sile koje djeluju na sabirnice, pa se biraju na osnovu tih sila i na osnovu naznačenog napona sabirnica. Koriste se kao sastavni/konstruktivni djelovi raznih aparata niskog i visokog napona.

Izgled potpornog izolatora s porculanskom izolacijom prikazan je na Slici 1.9a, dok je potporni izolator od epoksi smole dat na Slici 1.9b.



Slika 1.9. Primjer potpornih izolatora:
a) porculanski, b) od epoksi smole

Osnovne karakteristike potpornog izolatora su **naznačeni napon** i **minimalna prelomna sila**.

Naznačeni napon izolatora bira se prema naznačenom naponu postrojenja/sabirnica.

Minimalna prelomna sila određuje se na osnovu dinamičke sile koja djeluje na izolator kod kratkih spojeva. Ukupna sila koja djeluje na izolator može se izračunati:

$$F = F_1 \cdot l, \quad (1.2)$$

gdje je F_1 – sila koja djeluje na izolator po jedinici dužine izolatora, a

l – rastojanje između dva susjedna izolatora iste faze.

Potporni izolatori se proizvode u tri klase/grupe:

- klasa A s minimalnom prelomnom silom 3.750 N
- klasa B s minimalnom prelomnom silom 7.500 N
- klasa C s minimalnom prelomnom silom 12.500 N.

★★★ Oznaka potpornih izolatora sastoji se od četiri simbola:

1. S – predstavlja opštu oznaku za potporne izolatore
2. A, B ili C – predstavlja prelomnu silu (klasu) izolatora
3. oblik metalnog postolja može biti slovo:
R – okruglo postolje, O – ovalno postolje, Q – kvadratno postolje
4. broj koji predstavlja napon izolatora u kV.

! Izračunata sila mora da je manja od prelomne sile izolatora.

Ako između treće i četvrte oznake stoji slovo „e“, izolator je od vještačke smole – epoksida (araldita). Ukoliko nema ove oznake, podrazumijeva se da je izolator od porculana.

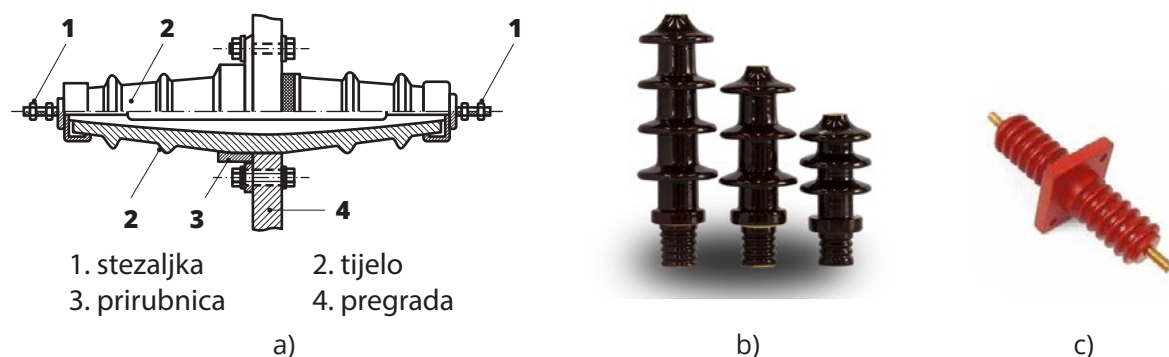
Potporni izolatori od epoksi smola su dosta manjih dimenzija od porculanskih, i imaju izuzetno dobre mehaničke karakteristike. Umjesto metalnih prirubnica imaju metalne umetke.

Provodni izolatori služe za **nošenje i izolaciju** golih provodnika kod prolaza iz spoljašnjeg prostora u postrojenje, kod prolaza iz jedne u drugu prostoriju, kod prolaza kroz poklopac transformatorskog suda i sl. Oni izoluju neizolovane provodnike od zida/poda ili metalnih djelova u postrojenjima. Ako se postavljaju između dvije sredine, moraju biti zaptiveni.

Na Slici 1.10. prikazan je izgled tipičnih provodnih izolatora za napon do 35 kV. Na Slici 1.10a prikazan je presjek provodnog porculanskog izolatora. Na oba kraja izolatora nalaze se stezaljke (1) za priključak provodnika. Oko bakarnog provodnika koji spaja ove stezaljke nalazi se tijelo od porculana (2). Na sredini izolatora nalazi se metalna prirubnica (3) pomoću koje se izolator učvršćuje za pregradu (4). Na Slici 1.10b data je slika porculanskog, a na Slici 1.10c aralditnog (epoksi smola) provodnog izolatora.

araldit

registrovani zaštitni znak kompanije Huntsman Advanced Materials koji se odnosi na njihov asortiman inženjerskih i strukturnih epoksidnih, akrilnih i poliuretanskih ljepkova



Slika 1.10. Primjer provodnih izolatora: a) i b) porculanski, c) aralditni

Provodni izolatori mogu biti za unutrašnju montažu i oni kod kojih je bar jedna polovina napojlu. Izrađuju se za okrugle (za naznačene struje do 2 kA) i za pljosnate provodnike (za veće naznačene struje).

Osnovne karakteristike provodnih izolatora (prema kojima se dimenzionišu) jesu: naznačeni napon, minimalna prelomna sila i naznačena struja.

Naznačeni napon i minimalna prelomna sila određuju se isto kao i kod potpornih izolatora.

★★★ Oznaka provodnih izolatora se sastoji od pet simbola:

1. D – predstavlja opštu oznaku za provodne izolatore
2. B ili C – predstavlja prelomnu silu (klasu) izolatora
3. F – znači da se izolator dovodi u prostoriju spolja
4. broj koji predstavlja napon izolatora u kV
5. broj koji predstavlja naznačenu struju u A.

Naznačena struja određuje se na osnovu maksimalne trajne struje koja će da teče kroz provodnik u izolatoru i kontroliše se prema zagrijavanju zbog prolaska struje kratkog spoja. Naznačene struje provodnih izolatora i granične struje koje izolator može termički da izdrži, najčešće se daju u tabelama. Provodni izolatori izrađuju se za minimalnu prelo-mnu silu od 7.500 N.

Viseći (lančasti) izolatori (Slika 1.11) služe za **izolaciju i vješanje** golih provodnika u razvodnim postrojenjima na otvorenom prostoru. Sastoje se od niza izolatorskih članaka u obliku kape, međusobno pomično spojenih. Mogu da budu: kapasti (oznaka K ili S), masivni ili puni (oznaka M ili VK) i štapni (oznaka L).

Izgled jednog članka visećih izolatora izrađenog od porculana (a) i stakla (b) prikazan je na Slici 1.11. Jedan kompozitni viseći izolator, koji se sastoji od više međusobno spojenih članaka, prikazan je na istoj slici pod c.

Lančasti izolatori biraju se prema **naznačenom naponu mreže** i prema **mehaničkom opterećenju** izolatorskog lanca. Broj članaka u lancu određuje napon mreže i način uzemljenja nulte tačke sistema. Izolatori su izloženi djelovanju pogonskog napona pri nepovoljnim uslovima (kiša, prašina i sl.) i udarnim atmosferskim prenaponima. Zato je propisima određena visina napona, frekvencije 50 Hz koju izolator mora da izdrži jedan minut, kao i udarni napon oblika $1,2/50 \mu s$ koji izolator treba da izdrži bez proboja.

Određivanje broja članaka u izolatorskom lancu za određeni napon vrši se na osnovu potrebnog **jednominutnog podnosivog napona** frekvencije 50 Hz po kiši i **podnosivog udarnog napona standardnog oblika**. Prosječne vrijednosti jednominutnog podnosivog napona pod kišom intenziteta 3 mm/min, s otporom vode $100 \Omega m \pm 10\%$ koja pada na izolator pod uglom od 45° , date su za kapaste izolatore u Tabeli 1.2.

Tabela 1.2. Broj članaka u izolatorskom lancu u zavisnosti od podnosivog napona

Broj članaka	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12
Podnosivi napon (kV)	50	95	140	180	220	255	295	330	410	485



Slika 1.11. Primjeri članka izolatora: a) od porculana, b) od stakla, c) lanac visećih izolatora

U razvodnim postrojenjima izolacija se izvodi **pojačano** u odnosu na dalekovode, tako da se biraju izolatorski lanci s podnosivim jednominutnim naponom većim za 15%.

1.3.2.3. Rastavljači

Rastavljači su mehanički rasklopni elementi razvodnog postrojenja koji služe za vidljivo i sigurno odvajanje pojedinih aparata ili djelova postrojenja koji nijesu pod naponom od djelova koji su pod naponom i da pri tome obezbijede propisani rastavni razmak. Na ovaj način omogućen je pristup pojedinim elementima ili djelovima, kao i obavljanje planskih remonta i popravak elemenata, bez prekida rada ostalih djelova postrojenja, odnosno dok su drugi djelovi postrojenja u pogonu.



Primarni zadatak rastavljača je da povećaju **sigurnost osoblja** koje treba da radi na izdvojenom dijelu postrojenja koji nije pod naponom. Ta sigurnost obezbjeđuje se konstrukcijom rastavljača koji treba da rade isključivo tako da je **položaj njihovih kontakata (noževa) vidljiv**. Kada se u postrojenju izvode radovi, rastavljač je uvijek otvoren.

Ovo je potrebno da bi se moglo vršiti **čišćenje, ispitivanje, remont ili popravka** djelova postrojenja, bez opasnosti da ti djelovi dođu pod napon.

Rastavljačima se u normalnom pogonu ne smiju prekidati ili uspostavljati električna kola pod opterećenjem. Oni **nijesu u stanju da prekidaju strujno kolo pod opterećenjem** (nemaju mogućnost gašenja luka). Poznato je da se kod prekidanja strujnog kola stvara električni luk koji može da se prenese i na ostale djelove postrojenja i prouzrokuje teška oštećenja opreme. U slučaju kratkog spoja, rastavljač ne smije da se otvori.

Međutim, u izuzetnim prilikama rastavljači se mogu koristiti i za prekidanje malih pogonskih struja. To se odnosi na:

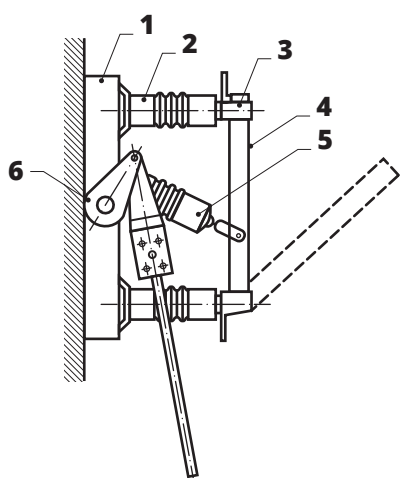
- struje praznog hoda transformatora naznačene snage do nekoliko stotina kVA
- struje opterećenja transformatora naznačene snage do nekoliko desetaka kVA
- kapacitivne struje vazдушnih vodova u praznom hodu (dužine do 20 km i naznačenog napona do 10 kV).

U svim takvim slučajevima, isključenje je potrebno izvesti što je moguće brže.



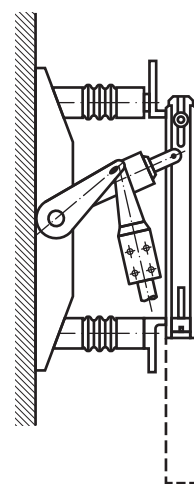
Uvijek treba voditi računa da je manipulacija rastavljačima dozvoljena samo u **beznaponskom** (ili neopterećenom) stanju, tako da se oni ne konstruišu/dimenzionišu kao elementi za prekidanje struje.

Na Slici 1.12 prikazan je rastavljač s kontaktnim nožem. Na metalnom postolju (1) nalaze se dva potporna izolatora (2). Na jednom izolatoru nalazi se elastični kontakt (3), a na drugom je učvršćen kontaktni nož (4) tako da se može okretati. Pomoću izolacione poluge (5) i mehanizma sa sistemom poluga (6), omogućava se uvlačenje i izvlačenje noža iz elastičnog kontakta. Kada je nož izvučen, rastavljač je isključen i vidljivo odvaja uređaj od napona.



1. metalno postolje
2. potporni izolator
3. elastični kontakt
4. kontaktni nož
5. izolaciona poluga
6. mehanizam za upravljanje

Slika 1.12. Rastavljač s kontaktnim nožem



Slika 1.13. Klizni rastavljač

Nedostatak opisanog rastavljača je što izvučeni nož zauzima dosta prostora po širini. Uvijek se teži da se konstruiše rastavljač koji ima malu tlocrtnu površinu, u otvorenom i u zatvorenom položaju. Čelije u koje su ugrađeni moraju biti dosta duboke, tako da izvučeni nož bude dovoljno udaljen od uzemljenih okolnih djelova.

U postrojenjima koja zahtijevaju mali prostor (npr. oklopljena metalna VNRP) upotrebljavaju se **klizni rastavljači**, prikazani na Slici 1.13. Pomoću sistema poluga i izolacione motke, nož se pomiče u vertikalni položaj i tako vidljivo prekida strujno kolo, uz uštedu smještajnog prostora.

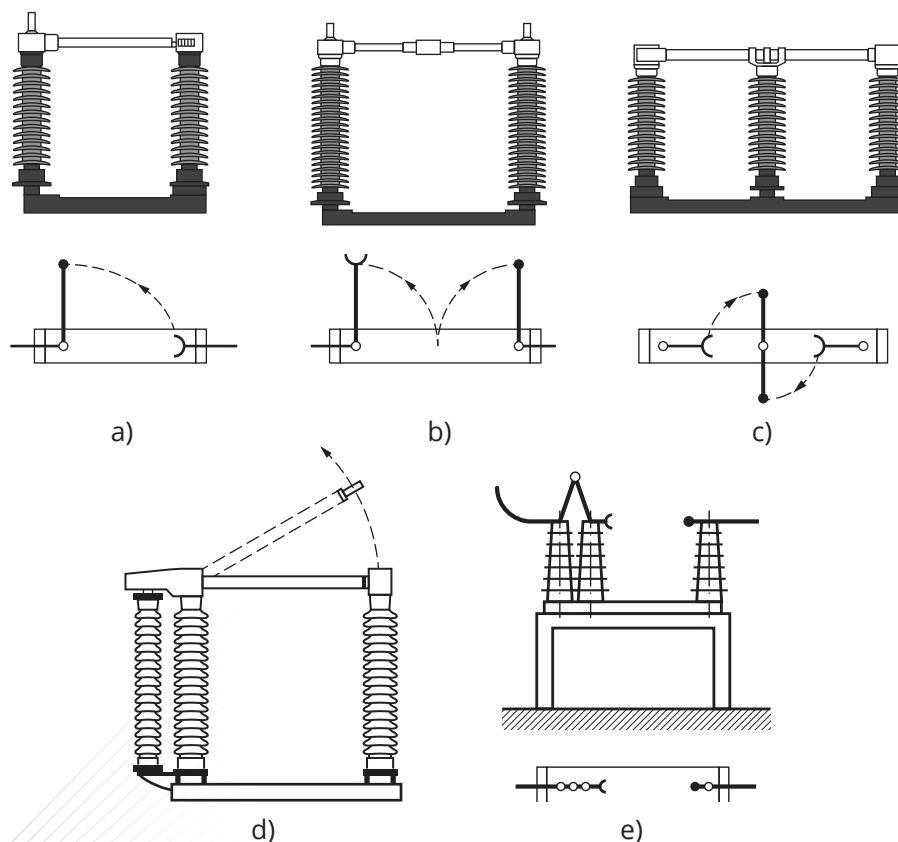
Rastavljači se postavljaju u sve tri faze i mehanički su tako spojeni da se otvaranje, odnosno zatvaranje kontakata (noževa) sve tri faze vrši jednovremeno.

U postrojenjima vrlo visokih napona (110 kV, 220 kV i više) upotrebljavaju se **rastavljači s obrtnim izolatorima**. Osnovni cilj ove i svih ostalih konstrukcija rastavljača je da zauzima što manju površinu i u otvorenom i u zatvorenom položaju.

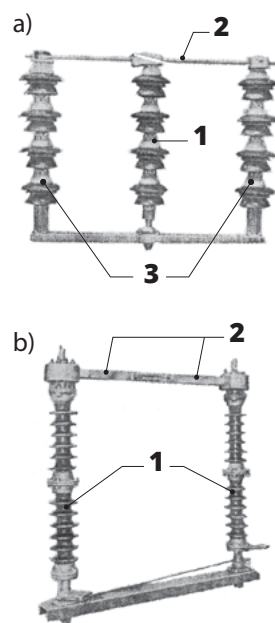
Na Slici 1.14a prikazan je rastavljač s jednim obrtnim izolatorom (1) po fazi, na kome se nalazi kontaktna poluga (2). Ostala dva izolatora (3) su fiksna i nose na sebi elastične kontakte. U uključenom položaju kontakti su spojeni kontaktnom polugom (2). Kada se srednji izolator zakrene (motorним pogonom ili komprimovanim vazduhom), prekida se vidljivo strujni krug na dva mjesta. Svaki izolator nosi na sebi kontaktnu polugu/motku (2) s kontaktima na kraju koji obezbjeđuju dobar i siguran kontakt. Kada se izolator zakrene, kontaktne motke se razmiču i prekida se strujno kolo.

Pošto su visokonaponski izolatori vrlo skupi, proizvode se i **rastavljači sa dva izolatora** (1) po fazi, od kojih su oba obrtna (Slika 1.14b).

Skice različitih izvedbi rastavljača visokog napona prikazane su na Slici 1.15: okretni rastavljač s krajnjim rastavljanjem (a), okretni rastavljač sa središnjim rastavljanjem (b), trostupni okretni rastavljač (c), rastavljač s vertikalnim rastavljanjem (d) i rastavljač kod koga se srednji izolator pomjera između dva krajnja izolatora – zahtijeva najmanji razmak među fazama (d).



Slika 1.15. Različite izvedbe rastavljača visokog napona



1. kontaktna poluga
2. obrtni izolator
3. fiksni izolatori

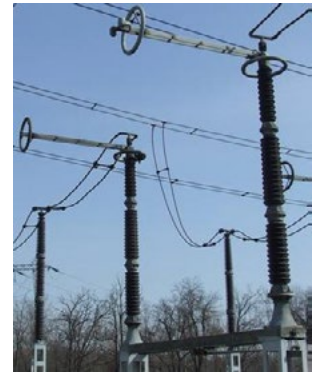
Slika 1.14. Rastavljač: a) sa jednim obrtnim izolatorom, b) sa dva obrtna izolatora



a)



b)



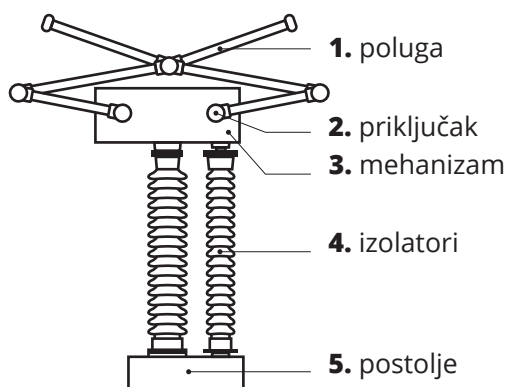
c)

Slika 1.16. Visokonaponski rastavljači sa središnjim rastavljanjem instalirani u VNRP: a) jednostupni, b) dvostupni, c) trostupni

Rastavljači se izvode kao jednostepeni/jednostupni (sa jednim potpornim izolatorom i pripadnim čvrstim kontaktom u svakoj fazi) i višestepeni/višestupni (sa dva ili tri potporna izolatora po polu, a oba čvrsta kontakta su mehanički vezana za postolje pola). Izgled jednostupnog (a), dvostupnog (b) i trostupnog (c) visokonaponskog rastavljača sa središnjim rastavljanjem instaliranog u VNRP prikazan je na Slici 1.16.

Rastavljači za vrlo visoke napone zauzimaju u postrojenju mnogo mjesta zbog potrebnih sigurnosnih razmaka. U težnji da se smanji površina koju zauzimaju kao i njihova težina, razvijeni su tzv. **pantografski rastavljači** (Slika 1.17).

Na postolju (5) se nalaze dva (ili jedan) izolatora (4) koji nose glavu s mehanizmom (3), priključkom (2) i pantografskim kontaktom – polugom (1). U uključenom položaju sistem poluga pantografa (5) je podignut i tako je ostvaren kontakt s provodnikom sabirnice. Zakretanjem lijevog izolatora (4), pantograf se spušta u donji položaj i vidljivo rastavlja od sabirnica koje su pod naponom. Proizvedeni su i u praksi se koriste i pantografski rastavljači sa samo jednim izolatorom.



a)



b)



Slika 1.17. Pantografski rastavljač: a) skica, b) slike

U postrojenjima 6, 10 i 35 kV pokretanje rastavljača je ručno, pomoću izolacione poluge/motke ili preko sistema poluga. U postrojenjima 110 i 220 kV pokretanje je pneumatski, pomoću komprimovanog vazduha (jednovremeno u sve tri faze) koji se pomoću elektromagnetnog ventila ubacuje u jednu ili drugu stranu cilindra s klipom. Može biti i motorno/električki, pomoću elektromotora koji se s komandne ploče može pokretati u jednom ili drugom smjeru. Pneumatsko pokretanje upotrebljava se ako u postrojenju već postoje uređaji za komprimovani vazduh potreban za pogon prekidača. Danas se za pokretnje rastavljača uglavnom koristi elektromotorni pogon.

Rastavljači se **biraju** prema **naznačenom naponu** i **maksimalnoj struji** koja prolazi kroz rastavljač u normalnom pogonu, a **provjeravaju se** u odnosu na **udarnu struju kratkog spoja** (dinamička/mehanička naprezanja) i u odnosu na **trajnu struju kratkog spoja** (termička naprezanja – zagrijavanje).

Naznačeni napon određuje dimenzije izolacije (bira se prema naznačenom naponu mreže).

Naznačena struja rastavljača bira se u odnosu na strujno opterećenje i udarnu i trajnu struju kratkog spoja. Naznačene struje rastavljača su standardizovane i date u propisima.

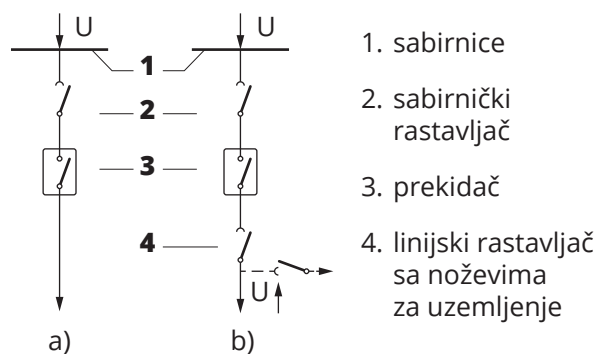


Ako se kontrolom ustanovi da odabrani rastavljač ne zadovoljava mehanička i termička naprezanja, odabira se rastavljač veće naznačene struje.

U razvodnim postrojenjima rastavljači se upotrebljavaju u svim poljima (u kojima se nalaze različiti elementi/djelovi) priključenim na sabirnice (generatorska, transformatorska, dalekovodna i spojno polje), da bi se ovi djelovi postrojenja mogli odvojiti od napona. **Priključuju se uvijek ispred prekidača** (Slika 1.18a) i često se nazivaju sabirnički rastavljači.

Ukoliko postoji mogućnost **obostranog napajanja**, rastavljači se postavljaju s obje strane prekidača (Slika 1.18b).

Na dalekovodnim poljima, zbog bezbjednog izvođenja radova na prekidaču, obavezno se postavljaju dva rastavljača (**sabirnički i linijski/izlazni** rastavljač). Zbog postojanja mogućnosti pojave atmosferskih prenapona s dalekovoda koji su, po pravilu, opasni za osoblje koje radi na dalekovodu, linijski rastavljač koji se postavlja s druge strane prekidača ima i dodatne noževe za uzemljenje dalekovoda (Slika 1.18b).



Slika 1.18. Šema ugradnje rastavljača:
a) ispred prekidača, b) s obje strane prekidača

Noževi za uzemljenje su mehanički spregnuti s glavnim noževima linij-skog rastavljača, tako da oni ne mogu biti istovremeno uključeni. Takvi rastavljači često se zovu **zemljospojnici**. Zemljospojnici su mehanički rasklopni aparati koji služe za spajanje dijelova strujnog kola sa zemljom, sposobni da u toku propisanog vremena podnose struje kratkog spoja. Oni ne treba da provode struju pri normalnim uslovima strujnog kola. Kada se u postrojenju ili na dalekovodu izvode radovi, zemljospojnik je obavezno zatvoren.

1.3.2.4. Osigurači

Osigurači predstavljaju najslabije dimenzionisani dio električnog kola, koje treba da se na tom mjestu prekine kada kroz njega prođe struje veća od predviđene.

Osigurači služe za prekidanje strujnog kola kod pojave velikih struja u cilju zaštite vodova, električnih mašina, aparata i uređaja od djelovanja velikih struja kratkog spoja, kao i za zaštitu od preopterećenja.

U ulošku osigurača nalazi se tanka topljiva žica određenog presjeka (ili više paralelno spojenih tankih žica) kroz koju prolazi struja. Zbog prolaža struje, žica se zagrijava. Kada struja dostigne određenu kritičnu vrijednost, žica se rastopi i na taj način prekine strujni krug.

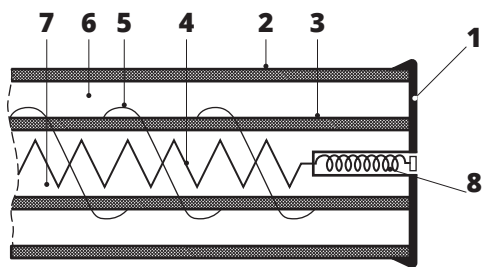
Postoje niskonaponski i visokonaponski osigurači koji se razlikuju po konstrukciji.

Spoljašnji izgled visokonaponskog osigurača prikazan je na Slici 1.19, dok je presjek VN osigurača dat na Slici 1.20.

Visokonaponski osigurači su aparati koji topljenjem posebno dimenzionisanog elementa (srebrna žica, odnosno više paralelno spojenih tankih srebrnih žica) u ulošku (patroni) automatski otvaraju/prekidaju strujno kolo u kojem se nalaze.



Slika 1.19. Spoljašnji izgled visokonaponskog osigurača: a) skica, b) i c) slike



1. kontaktne kape
2. spoljašnja čaura/oklop od porculana
3. unutrašnja čaura od porculana
4. topljivi umetak
5. vlakno od volframa
- 6 i 7. ispune od kvarcnog pijeska
8. pokazna igla sa oprugom

Slika 1.20. Presjek visokonaponskog osigurača

Visokonaponski osigurač se sastoji od porculanske cijevi (ili cijevi od vatrostalnog stakla) s metalnim kontaktima (metalne kape) na krajevima. Ovi kontakti služe kao kontakti za spoj s kontaktima na dva potporna izolatora (postavljena na postolje osigurača), na koje se dovode i spajaju visokonaponski provodnici koji se štite osiguračem. Topljivi umetak – nit okruglog presjeka ili traka pravougaonog presjeka, po pravilu od legure srebra (najbolji provodnik) – je smješten u unutrašnjosti porculanske cijevi, pričvršćen za metalne kontakte na krajevima. Kod osigurača za struje većeg intenziteta u osiguraču može da postoji više ovakvih paralelnih niti spiralno uvijenih. Spiralno vlakno od volframa ima zadatak da smanji jačinu električnog polja u unutrašnjosti čaure osigurača.

Hemijsko i električno dejstvo korone može da ošteti umetak i dovede do promjene karakteristike reagovanja. U unutrašnjosti čaure se nalazi kvarcni pijesak, čija je uloga da toplotu koja se javlja pri proticanju velike struje kratkog spoja odvodi iz umetka. Takođe, kvarcni pijesak ima zadatak i da apsorbuje nastale pare i da spriječi održavanje luka.

U osiguraču se nalazi i pokazna igla, koja ukazuje na stanje osigurača. U slučaju da osigurač „pregori“, oslobađa se udarna igla koja pod dejstvom opruge ispada iz svog ležišta.

Zadaci visokonaponskih (učinskih) osigurača najčešće su:

- velika prekidna moć
- brzo prekidanje struja kratkog spoja
- precizna vremensko-strujna karakteristika u slučaju manjih preopterećenja
- mogućnost propuštanja velikih trenutnih preopterećenja
- prekidanje struja bez stvaranja opasnih prenapona i sl.

Osnovne karakteristike osigurača su:

- naznačeni napon (U_n)
- naznačena struja (I_n)
- snaga prekidanja (S_i)
- vrijeme isključenja (t_i).

Po **brzini djelovanja** osigurači imaju mnogo **bolje karakteristike od prekidača** jer prekidaju struju kratkog spoja još pri samoj njenoj pojavi, tako da se ona ne može razviti do svog punog iznosa. Iako je efikasan u radu, osigurač je veoma jednostavan i jeftin uređaj.



U osnovne nedostatke osigurača mogu se ubrojati: jednostran kriterijum djelovanja (vrijednost struje) i mogućnost pojave prenapona pri prekidu induktivnih struja.

Visokonaponski osigurači upotrebljavaju se u postrojenjima uglavnom za zaštitu naponskih mjernih transformatora (naznačena struja 2 A ili 4 A), za zaštitu manjih energetskih transformatora (naznačena struja osigurača na strani višeg napona je oko $2 \cdot I_n$, a na strani nižeg napona I_n transformatora), kao i za zaštitu slabo opterećenih i manje važnih odvoda.

Izrađuju se za napone 3, 6, 10, 20 i 35 kV. Naznačene struje visokonaponskih osigurača su: 2, 4, 6, 10, 15, 25, 40, 60, 100, 150 i 200 A.

Ako se uporede s prekidačima, njihova prednost bi bila u jednostavnosti izvedbe, pa samim tim i niže cijene od prekidača. Zbog toga oni još uvijek imaju široku primjenu u zaštiti nadzemnih vodova i kablova, kao i postrojenja i motora.

Osnovni nedostaci VN osigurača u odnosu na VN prekidače su:

- neekonomičnost (oko 90% preopterećenja su prolaznog karaktera)
- problem kod zaštite trofaznih motora
- potreba za dodatnim sklopnim aparatom za isključenje i uključenje strujnog kruga u normalnim pogonskim prilikama i sl.

1.3.2.5. Prekidači i rastavne sklopke

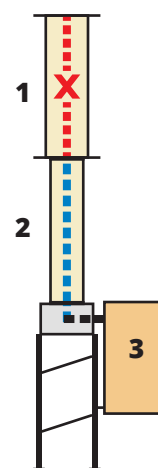
Prekidači (sklopke) su komutacioni uređaji koji služe za **uključenje** (uklapanje) ili **isključenje** (isklapanje) strujnih kola, odnosno elemenata i djelova EES-a (generatora, transformatora, vodova i sl.) pod opterećenjem ili bez opterećenja i za **prekidanje strujnog kola** u slučaju pojave havarijskih stanja i režima. Pri tome oni moraju da podnose i izdrže sva termička i dinamička naprezanja koja se u procesu prekidanja pojavljuju.

Njihova funkcija je zaštita elemenata od kratkog spoja ili preopterećenja, kao i sve komutacione manipulacije (uključivanje i isključivanje) u toku normalnog procesa rada. Oni predstavljaju glavni zaštitni uređaj u postrojenjima visokog napona.

Zaštitna funkcija prekidača ostvaruje se preko odgovarajućih releja koji registrujući poremećaj (npr. nedopušteno povećanje struje) djeluju na kontakte prekidača. Kontakti prekidača se usljed signala dobijenog od releja automatski isključuju, odvajajući – izolujući npr. mjesto kratkog spoja, odnosno element u kratkom spoju, od ostalog – „zdravog“ dijela sistema.

Osnovni djelovi (komponente) prekidača (Slika 1.21) su:

- prekidni elementi (1) – prekidna komora za gašenje luka s kontaktima, kućište prekidača i sredstvo/medij za gašenje luka
- potporni izolator/nosač (2) – izolacija prema zemlji, sklopna motka i izolacioni medij
- pogonski mehanizmi (3) – s akumuliranom energijom i sekundarnim krugovima.

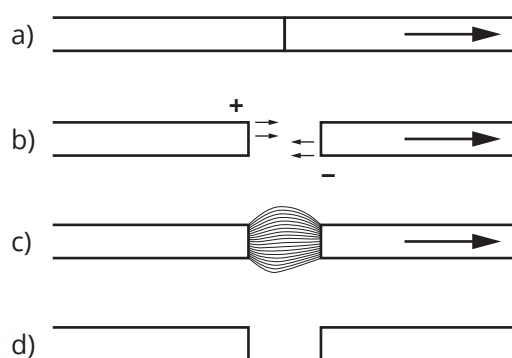


Slika 1.21. Osnovni djelovi prekidača

Kontakti prekidača su djelovi koji se pri isključenju/uključenju otvaraju/zatvaraju. Drugi krajevi kontakata su spojeni s provodnicima strujnog kruga u kojem prekidač djeluje. Položaj kontakata prekidača (zatvoren ili otvoren) nije vidljiv, jer su kontakti smješteni u komoru u kojoj se vrši gašenje luka. Luk nastaje između opterećenih kontakata prekidača prilikom njihovog razdvajanja, odnosno isključenja prekidača.

Električni luk se javlja kao posljedica jonizacije medijuma u međukontaktinom prostoru komore prekidača, poslije razdvajanja kontakata. To je vrsta pražnjenja u gasovima koja se karakteriše visokom temperaturom i velikom gustinom struje i jakom termoelektronskom i fotoelektronskom emisijom. Zbog postojanja električnog luka između kontakata, struja nastavlja proticati, iako su se kontakti razdvojili.

Pojednostavljeni proces prekidanja strujnog kola prikazan je na Slici 1.22.



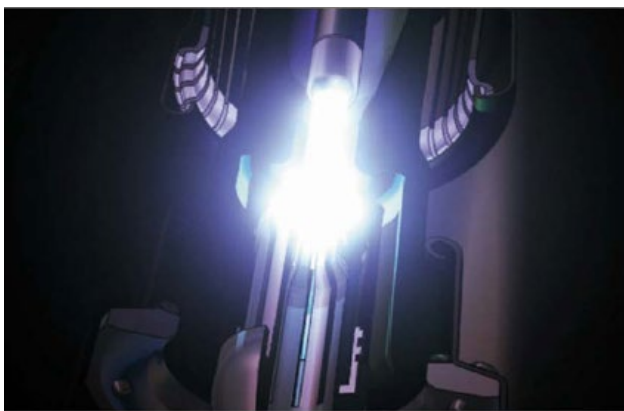
Slika 1.22. Šematski prikaz procesa prekidanja strujnog kola

U položaju (a) kontakti su zatvoreni i ukoliko postoji struja, ona nesmetano može proticati kroz njih. Kada dođe do kratkog spoja zbog djelovanja zaštitnih uređaja, prekidač dobija impuls za isključenje i kontakti počinju

da se razmiču (b). Pri razmicanju kontakata smanjuje se njihova dodirna površina, usljed čega se povećava gustina struje i stvaraju uslovi za jonizaciju međuprostora. Kod razmicanja kontakata prelazni otpor na mjestu dodira se poveća tako da se kontakti (zbog vrlo velikih struja koje u trenutku njihovog razdvajanja protiču kroz prekidač) jako zagriju. Zbog toga dolazi i do djelimičnog topljenja njihovih isturenih dijelova.

Zbog vrlo visoke temperature (koja se u jezgru luka kreće u intervalu od 10.000 do 20.000 °K) dolazi do disocijacije molekula medijuma u kome se vrši isključenje. Iz usijanih dijelova kontakata takođe izlaze elektroni, tako da se u međuprostoru kontakata javljaju dodatne naelektrisane čestice. Ove čestice se stvaraju kako usljed termojonizacije, tako i usljed udarne jonizacije.

Kod razmicanja kontakata pojavljuje se između njih jako **električno polje** koje ubrzava pozitivne čestice u jednom, a negativne u drugom smjeru. Sudaranjem s neutralnim molekulima dolazi i do njihovog razbijanja, što dovodi do dodatne jonizacije prostora između kontakata i stvaranja **električnog luka** (c). Pojava luka u prekidnoj komori prekidača prikazana je na Slici 1.23. Zbog postojanja luka međukontakti prostor postaje provodan, tako da struja i dalje teče, iako su kontakti prekidača razdvojeni.



Slika 1.23. Luk u prekidnoj komori prekidača

Zadatak svakog prekidača je da vrijeme rastavljanja kontakata bude što kraće, odnosno da se električni luk što efikasnije i što brže **ugasi** (d). Proces gašenja luka veoma je komplikovan i zahtjevan. On se odvija u komori za gašenje luka, sniženjem temperature između kontakata prekidača i odvođenjem stvorenih gasova i jonizovanih čestica iz međukontaktne prostora.

Kod naizmjeničnih struja i napon i struja prolaze kroz nulu u ritmu frekvencije. Prema tome i električni luk se u momentu prolaza struje kroz nulu može najlakše ugasi. Osnovni zadatak prekidača je da, kada se luk već ugasio, ne dozvoli njegovo ponovno paljenje.

Sprečavanje ponovnog paljenja luka, i na taj način brzo prekidanje struje, postiže se:

- brzim **povećanjem razmaka** među kontaktima, odnosno povećanjem dužine puta električnog luka, istovremenim prekidanjem na više mjesta, tako da se smanji električno polje na mjestu prekida
- intenzivnim **odvođenjem toplote**, odnosno vještačkim hlađenjem električnog luka čime se za vrijeme prolaza struje kroz nulu postiže brza neutralizacija čestica
- **oduvavanjem (oduzimanjem) polarizovanih čestica** između elektroda
- **dovođenjem svježeg medijuma** za hlađenje (gašenje).

Prva tehnika prekidanja struje sastojala se u jednostavnom otvaranju kontakata u vazduhu, pri čemu se električni luk rastezao na tako veliku dužinu koja je onemogućavala njegovo ponovno paljenje. Zbog porasta pogonskih napona i prekidnih struja u elektroenergetskim sistemima ova tehnika postala je neadekvatna i neekonomična. Zato dolazi do intenzivnog razvoja posebnih uređaja za prekidanje struje.

Postoje različite podjele prekidača, a najčešća je podjela na:

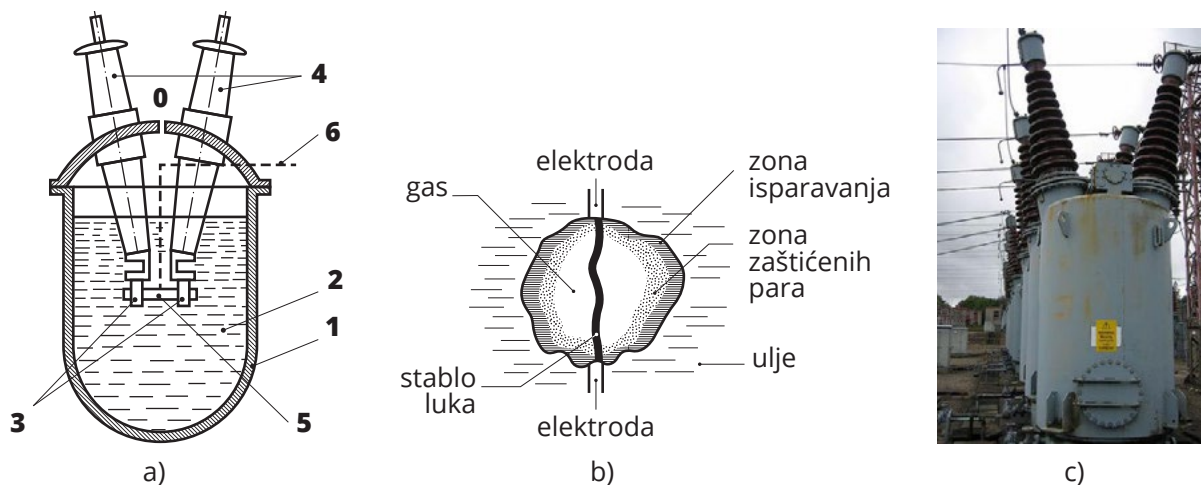
- prekidače s dugačkim lukom ili s posebnim medijumom za gašenje luka
- prekidače s kratkim lukom ili bez posebnog medijuma za gašenje luka.

Kao sredstvo za gašenje luka najčešće se koriste **gas** (komprimovani vazduh, SF6 i sl.), **ulje** i **voda**. U specijalnim konstrukcijama koristi se i kruta materija (fiber, organsko staklo, keramički materijali i sl.).

Prema medijumu u kojem se vrši gašenje električnog luka i koji istovremeno služi kao izolacija između kontakata, najčešće se razlikuju:

- uljni i malouljni prekidači
- hidromatski ili ekspanzioni prekidači
- pneumatski prekidači
- vakumski prekidači i
- prekidači s gasom SF6 i drugi.

Uljni prekidači upotrebljavaju ulje kao sredstvo za gašenje luka. Obični uljni prekidači upotrebljavaju ulje i za izolaciju djelova pod naponom od okolnih uzemljenih djelova, dok ono kod tzv. malouljnih prekidača služi samo za gašenje električnog luka.



Slika 1.24. Uljni prekidač: a) poprečni presjek, b) skica gorenja luka, c) slika

Na Slici 1.24 prikazan je poprečni presjek, skica gorenja luka i slika **ulj-nog prekidača**, koje mogu poslužiti za upoznavanje s glavnim dijelovima i principom rada ovih prekidača. U metalnom kotlu (1), ispunjenom do određenog nivoa uljem (2), nalaze se nepokretni kontakti (3) pričvršćeni na krajeve dva provodna izolatora (4). Pokretni kontakt predstavlja kontaktni nož (5) kojim se upravlja preko posebnog mehanizma, sistema poluga, opruga i izolacione poluge (6).

Proces isključenja vrši se na sljedeći način: kada se kontaktni noževi malo odmaknu (naniže), pojavi se električni luk koji razlaže ulje i stvara gasove (gasni mjehur) koji podižu pritisak ulja u kotlu. Kada kroz mali otvor 0 izađe iz kotla sav vazduh, pritisak se u kotlu povećava sve dok se luk ne ugasi. Gašenju luka pomaže: svježe ulje koje stalno dolazi u razmak između kontakata i na taj način hladi i dejonizuje luk, vrlo brzo odmicanje kontaktnog noža, kao i dvostruko prekidanje.

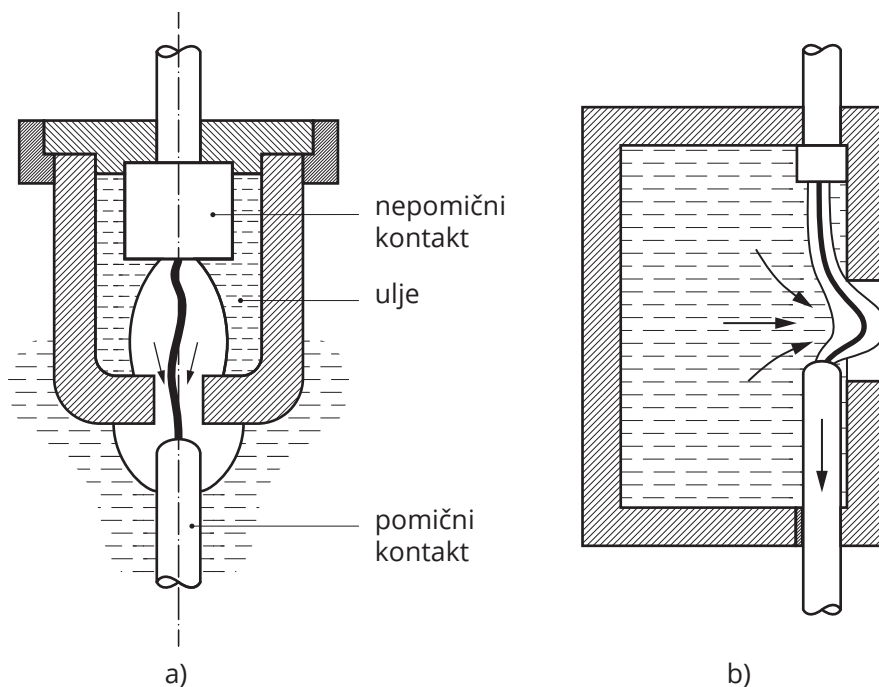
Zbog toga i poklopac i prekidač treba da budu dobro učvršćeni za temelje.

Prednost uljnih prekidača je što su **proste konstrukcije i sigurni**. Jednostavni su za održavanje i imaju dug tehnički vijek (i duži od 40 godina).

Nedostatak su im velike dimenzije/**glomaznost, ogromne količine ulja** (npr. za prekidače 220 kV potrebno je oko 20 tona ulja po fazi), **zapaljivost i teško gašenje ulja**. Ne postoji prinudna cirkulacija ulja u kazanu.

Zbog ovih karakteristika u Evropi se praktično više ne upotrebljavaju, dok se u Americi, zbog njihovih dobrih osobina, još uvijek upotrebljavaju i razvijaju.

★★★ Prilikom isključenja prekidača pritisak u kotlu može da poraste do oko 8×10^5 Pa (oko 8 bara) i to praktično momentalno, tako da se dobiju jaki udarci u poklopac.



Slika.1.25. Komora za gašenje luka: a) u uljnom, b) u malouljnom prekidaču

Rasklopna moć uljnih prekidača može biti povećana ugradnjom komore za gašenje luka na svaki pol prekidača (Slika 1.25a). Na ovaj način moguće je postići intenzivno strujanje uljnih para duž luka. Zbog toga što u trenutku otvaranja kontakta luk gori samo u komori za gašenje, u njoj dolazi do naglog porasta pritiska. Pomjeranjem pokretnog kontakta oslobađa se otvor na komori za gašenje. Veliki pritisak u komori izaziva pojavu strujanja uljnih para kroz ovaj otvor, čime se luk hladi i pomaže njegova dejonizacija. Što je struja koja se prekida jača, to je djelovanje komore za gašenje jače.

Pri prekidanju malih struja, uljni prekidač s komorom za gašenje djeluje kao obični uljni prekidač. Prednost postojanja komore za gašenje je i u tome što ona na sebe preuzima početno povećanje pritiska ulja, čime se u velikoj mjeri rasterećuju poklopac i stranice prekidača.

Za ograničavanje negativnih efekata koji mogu nastati u slučaju eventualne eksplozije prekidača, uljni prekidači najčešće se izvode tako što im se kotao odvaja od ostalog postrojenja betonskim zidom, što znatno poskupljuje njegovo korišćenje.

Da bi se smanjile dimenzije, masa i cijena uljnih prekidača, razvijeni su **malouljni prekidači** (Slika 1.26). Oni omogućavaju iskorišćenje dobrih svojstava ulja kao sredstva za gašenje luka, uz izbjegavanje opasnosti od eksplozije.

Ovi prekidači koriste ulje samo kao **sredstvo za gašenje električnog luka** i kao dielektrik između otvorenih kontakata iste faze. Kao **izolacija prema masi** i među polovima služe čvrsti izolatori (presovani papir, epoksi smola, porculan i sl.) ili vazduh.

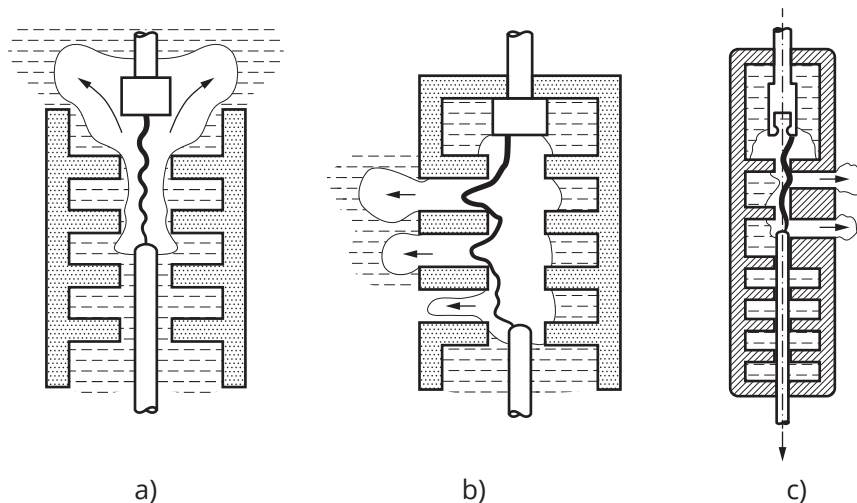
Kod svih malouljnih prekidača ulje i uljne pare stvorene djelovanjem luka dolaze pod pritisak. Konstrukcijom raznih tipova ovih prekidača obezbjeđuje se da ulje i uljne pare u pogodnom trenutku struje uzduž ili poprečno na luk, produžavajući ga, odvođeci jonizovane gasove i regenerišući prostor između kontakata. Princip rada malouljnog prekidača (komora za gašenje luka) prikazan je na Slici 1.25b.



Slika 1.26. Malouljni prekidač (110 kV)

Nakon početka otvaranja kontakata, među njima se javlja luk koji gori u zatvorenoj komori za gašenje. Isparavanje ulja pod dejstvom luka u zatvorenoj komori izaziva porast pritiska u njoj. Čim pomični kontakt oslobodi otvor, dolazi do intenzivnog strujanja ulja i uljnih para, čime se luk produžuje, hladi i dejonizuje, odnosno stvaraju se uslovi za njegovo gašenje pri prolasku struje luka kroz nulu.

Različiti tipovi tzv. krutih (čvrstih) komora za gašenje luka kod malouljnih prekidača prikazani su na Slici 1.27: a) skica komore s podužnim/aksi-jalnim strujanjem gasova, b) skica komore s poprečnim/transverzalnim strujanjem gasova i c) skica komore za gašenje luka s poprečnim i podužnim strujanjem medija.



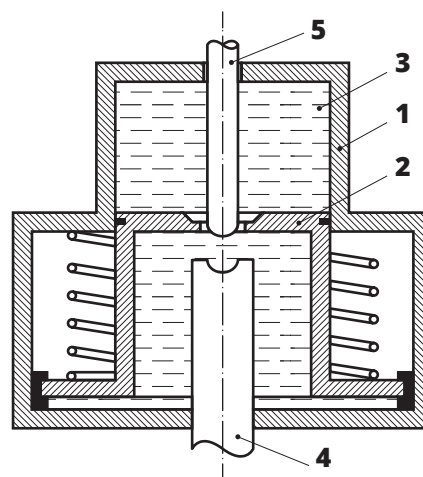
Slika 1.27. Osnovni tipovi komora za gašenje luka malouljnih prekidača

Često se kod malouljnih prekidača koriste i komore za gašenje luka s diferencijalnim klipom (Slika 1.28).

Komora na Slici 1.28 sastoji se od tijela (1) od porculana, u kome se nalazi diferencijalni klip (2) koji dijeli prostor ispunjen uljem (3) na dva dijela. U donjem dijelu nalazi se nepokretni kontakt (4). U momentu kada pokretni kontakt (5) krene naviše, stvori se u donjoj komori jak pritisak zbog razlaganja ulja pod djelovanjem električnog luka. Pošto je donja površina klipa (2) veća od gornje, luk bude snažno potisnut naviše, pri čemu svježe ulje iz gornjeg dijela komore intenzivno struji kroz prostor luka u donji dio komore, hladeći i oduvavajući luk.

Za više napone grade se komore s nekoliko prekidnih mjesta. Ovaj sistem naročito se koristi za napone više od 110 kV.

Malouljni prekidači se izrađuju za sve napone i sve snage isključenja. Mnogo se primjenjuju zbog brzog i sigurnog rada, malih dimenzija i malih količina ulja (do 2% od količine potrebne za uljne prekidače).



1. tijelo od porculana
2. diferencijalni klip
3. prostor ispunjen uljem
4. nepokretni kontakt
5. pokretni kontakt

Slika 1.28. Izgled komore za gašenje malouljnih prekidača s diferencijalnim klipom



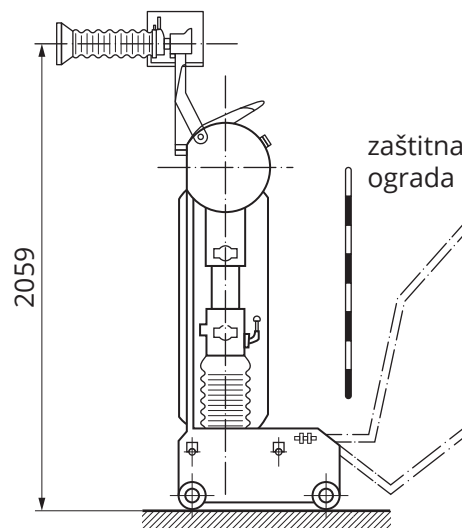
Dobra osobina uljnih i malouljnih prekidača je što prekidaju struju baš pri njenom prolasku kroz nulu.

Hidromatski ili ekspanzioni prekidači (Slika 1.29) za gašenje električnog luka upotrebljavaju destilovanu vodu, u koju se dodaju sredstva za sprečavanje smrzavanja kod niskih temperatura. To su, u principu, malouljni prekidači s elastičnim komorama, u kojima je medij za gašenje luka voda umjesto ulja. Da bi se spriječilo smrzavanje vode na niskim radnim temperaturama, vodi se dodaje sredstvo protiv zamrzavanja (obično glikol), koje ujedno povećava količinu pare za vrijeme trajanja luka i poboljšava gašenje luka. Pod djelovanjem električnog luka voda isparava. Voda koja dolazi u prostor luka, kao i ekspanzija pare kroz posebno građenu komoru, intenzivno hlade luk po cijelom njegovom volumenu. Isparena voda kondenzuje se na stranama i sakuplja u komori za gašenje.

Nedostatak ovih prekidača je što kod uključenja dalekovoda koji je pod kratkim spojem može da ispari sva voda već kod uključenja, tako da

hidromatski prekidač
sredstvo za gašenje luka u ovom prekidaču je destilovana voda i glikol

kod isključenja nema više vode za hlađenje luka. Isparavanje vode kod uključanja nastoji se izbjeći jakim oprugama koje osiguravaju vrlo brzo uključenje prekidača. Ovakvi hidromatski prekidači upotrebljavaju se do napona 10 kV. Kod konstrukcija za više napone, voda se ubrizgava u komoru samo kod isključenja. Ova vrsta prekidača izrađuje se za napone do maksimalno 60 kV. Neki od ovih prekidača imaju osim glavnog kontakta još i rastavljač koji se otvara na kraju hoda pokretnog kontakta. Zbog relativno loših izolacionih svojstava vode, ova tehnika se sve više napušta.



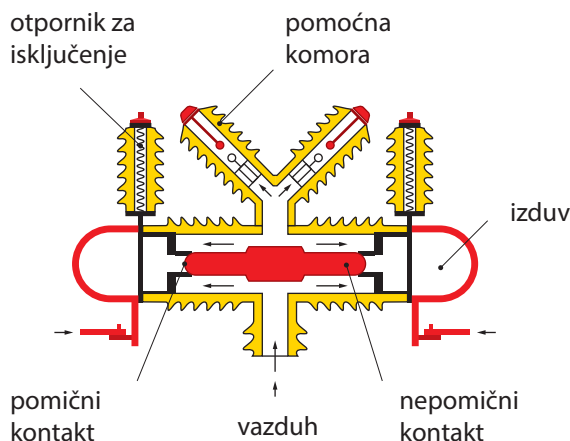
Slika 1.29. Skica hidromatskog prekidača

Pneumatski (vazdušni) prekidači (Slika 1.30)

upotrebljavaju **komprimirani** (sabijeni) **vazduh**

(umjesto mineralnog ulja) kao sredstvo za hlađenje luka i oduvavanje jonizovanih čestica. Prilikom gorenja luka, on se u vazduhu produžava i mijenja svoj položaj pod uticajem magnetnog polja koje se stvara oko luka. Da ne bi došlo do kratkog spoja prilikom trajanja električnog luka, potrebno je obezbijediti što veći razmak između kontakata i uzemljenih djelova, odnosno ovi prekidači zahtijevaju veće dimenzije komore za gašenje luka, pa su im, za visoke napone dosta velike dimenzije. Nezavisna karakteristika gašenja luka kod ovih prekidača obezbjeđuje da su količina, brzina i pritisak gasa koji struji kroz komoru za gašenje luka nezavisni od vrijednosti struje koja se prekida.

Komprimirani vazduh proizvodi se u posebnom kompresorskom uređaju/stanici koji mora postojati u okviru VNRP. Ovo znatno poskupljuje ove uređaje.



a)



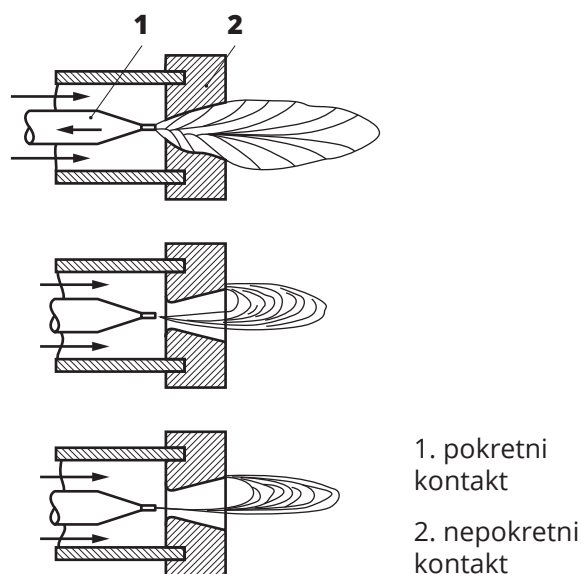
b)

Slika 1.30. Pneumatski/vazdušni prekidač: a) skica, b) slika

Princip djelovanja ovih prekidača pojednostavljeno je prikazan na Slici 1.31. U momentu kada pokretni kontakt (1) napušta nepokretni kontakt (2), pojavljuje se između njih električni luk. Istovremeno se otvara i ventil komprimovanog vazduha (oko 5–15 bara) koji pod pritiskom struji kroz prostor električnog luka i na taj način ga hladi i oduvava.

Nepokretni kontakt (2) izveden je u obliku tzv. kontaktne ruže sa 6, 8 ili 12 jako posrebrjenih segmenata.

Pokretni kontakt ima na vrhu čeličnu kuglu s vrhom od volframa, koji je otporan na djelovanje električnog luka.



Slika 1.31. Princip djelovanja pneumatskog prekidača

Ovi prekidači mogu biti:

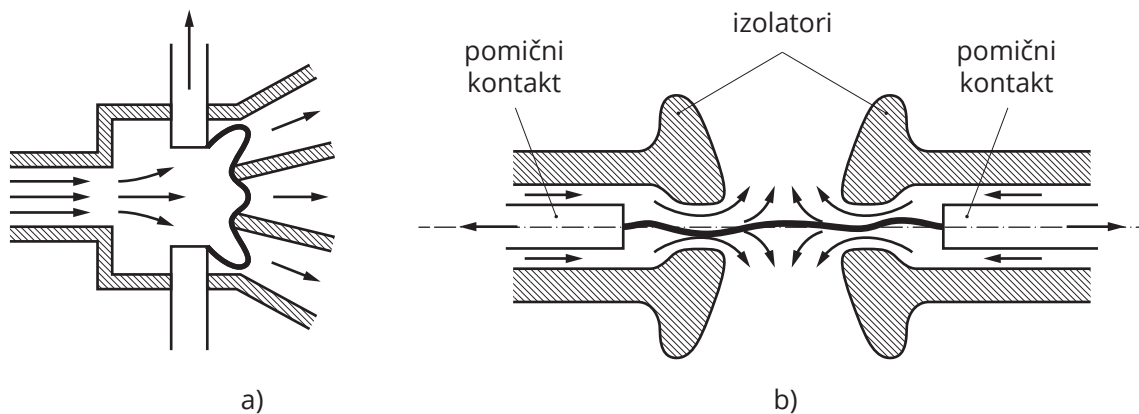
- s poprečnim – transferzalnim strujanjem vazduha – mlaz vazduha je normalan u odnosu na luk koga potiskuje prema izolacionim pregradama komore (za napone do 15 kV)
- s uzdužnim – aksijalnim strujanjem vazduha – mlaz vazduha je paralelan s lukom (povoljni za manje struje kratkih spojeva)
- s radijalnim strujanjem vazduha (za najviše napone i najveće snage kratkih spojeva).

Komore za gašenje luka smještene su na izolatorima, a rezervoar komprimovanog vazduha (zajednički za sva tri pola) izveden je kao postolje prekidača.

Potreban pritisak u rezervoaru održava kompesor koji se automatski uključuje i isključuje.

Na Slici 1.32a prikazana je skica komore za gašenje luka komprimovanim vazduhom, u kojoj vazduh struji normalno u odnosu na luk. Otvaranjem pokretnog kontakta javlja se luk na koji mlaz vazduha pod pritiskom djeluje normalno, pomjerajući ga prema izolacionim pregradama komore. Na ovaj način luk se produžava, hladi i dejonizuje, čime se omogućava njegovo brzo gašenje.

Zbog potreba za većom količinom vazduha i poteškoća pri ostvarenju potrebnih razmaka među kontaktima, ove komore se najčešće koriste za napone do 15 kV.



Slika 1.32. Komore za gašenje luka komprimovanim vazduhom:
a) sa jednim pokretnim kontaktom, b) sa dva pokretna kontakta

U savremenijim konstrukcijama komora za gašenje luka (u kojima vazduh struji uzduž luka), neposredno nakon otvaranja kontakata luk gori u komprimovanom vazduhu. Problemi vezani za curenje gasa pod pritiskom ograničavaju pritisak vazduha na oko 15 bara. Povećanjem broja komora za gašenje (spojenih redno), povećava se brzina kontakata, čime se smanjuje trajanje luka. Na Slici 1.32b data je skica komore za gašenje luka komprimovanim vazduhom (struji uzduž luka), s dva pokretna kontakta i s gorenjem luka u atmosferi. Ovakve konstrukcije se upotrebljavaju za više napone (više od 35 kV).

Pneumatski prekidači izrađuju se za sve napone i sve snage isključenja. Jednostavni su i sigurni u pogonu. Nedostatak im je što je za njihov rad potrebno kompresorsko postrojenje i razvod komprimovanog vazduha.

Potreba pojednostavljenja i pojeftinjenja prekidača, uz povećanje njihove pouzdanosti i sigurnosti, dovela je do novih konstrukcija prekidača. Tako se intenzivno radi na usavršavanju i korišćenju prekidača s gašenjem luka u vakuumu (jako razrijeđen vazduh u kome je smanjen broj čestica koje se mogu jonizovati i izazvati luk) i prekidača sa sumpor-heksafluoridom (SF₆) kao medijumom za gašenje (uglavnom pod pritiskom).

Vakuumski prekidači – kao medijum za gašenje luka koriste jako razrijeđen vazduh. Izrađuju se za srednji napon (6, 10, 20 i 35 kV). Osnovna prednost vakuumskih prekidača je što ne zahtijevaju održavanje (komora je hermetički zatvorena) i što omogućavaju veliki broj sklopnih operacija.

Radi svoje jednostavnosti, trajnosti, sigurnosti, velike pouzdanost i malih dimenzija, danas su to najzastupljeniji prekidači koji rade na srednjem naponu do 35 kV. Njihova ugradnja, održavanje kao i operacije s njim, veoma su jednostavne.

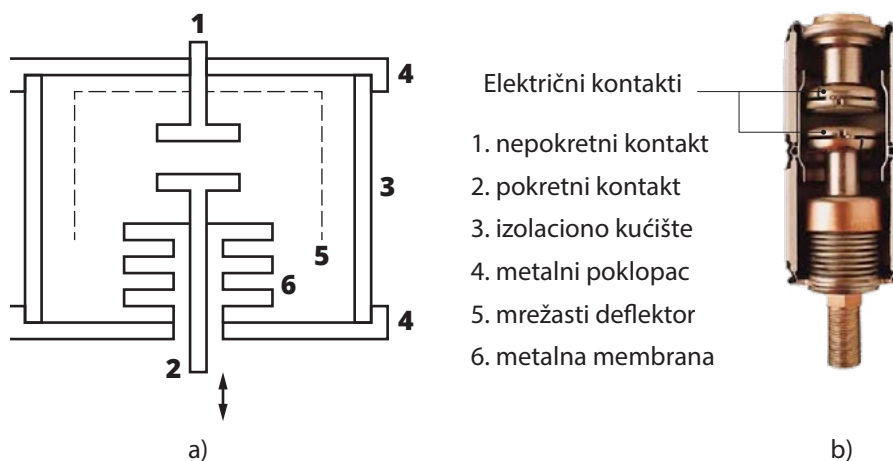
Vakuum
prostor bez materije

Međutim, još uvijek postoje određeni tehničko-tehnološki problemi koji otežavaju optimalnu gradnju vakuumske komore relativno velikih dimenzija, koje su potrebne za sklapanje na nivou visokog napona.

Dielektrična čvrstoća vakuuma je osam puta veća od vazduha i četiri puta veća od SF6 gasa. Velika dielektrična čvrstoća omogućava gašenje luka na vrlo malim kontaktnim rastojanjima. U vakuumu ne postoje jonizovane čestice koje su neophodne kod električnog pražnjenja u gasovima. Luk u vakuumu se razlikuje od luka u vazduhu po tome što gori u odsustvu medija za gašenje luka. Jonizujući materijal obezbjeđuju metalne elektrode. Kod ovog prekidača ne postoje elektroni, nego samo joni koji se izdvajaju iz kontakata prekidača.

Fizički procesi vezani za luk u vakuumu mogu se posmatrati kao procesi na površini metala, prije nego kao procesi u izolacionom mediju.

Na Slici 1.33 prikazane su vakuumske komore za gašenje luka.



Slika 1.33. Komora za gašenje luka kod vakuumskih prekidača: a) skica, b) slika

Vakuumska komora za gašenje luka se sastoji od: 1. nepokretnog kontakta, 2. pokretnog kontakta, 3. izolacionog tijela/kućišta komore (najčešće keramički plašt), 4. metalnih poklopaca komore, 5. mrežastog deflektora (sprečava kondenzaciju metalnih para na zidovima izolacionog tijela komore) i 6. metalne membrane/mijeha.

Različiti proizvođači proizvode različite oblike komora za gašenje luka. Upotrebljivost vakuumske prekidne komore može biti i do 25 godina.

U vakuumskoj komori električni luk gori jer vakuum nije potpun, a s druge strane javljaju se pare metala kao posljedica isparavanja dijelova kontakata usljed visokih lokalnih temperatura na mjestu gorenja luka.

Glavne prednosti vakuumskih prekidača su:

- velika električna trajnost (dug vijek trajanja kontakata)
- velika mehanička trajnost
- velika pouzdanost
- nema potrebe za zamjenu ili dopunjavanje medija za gašenje luka
- minimalno i jednostavno održavanje
- kontakti su im uvijek čisti
- imaju mali hod kontakata
- potpuna sigurnost od eksplozije i požara
- širok raspon temperatura okoline u kojima je moguć rad (-70 do 200 °C)
- povećana otpornost na udarna i vibraciona naprezanja
- proizvoljni radni položaj prekidnih komora
- nema zagađivanja okoline
- masa i dimenzije su im male a rad tih.

Tipičan izgled vakuumskog prekidača (za 10 kV) prikazan je na Slici 1.34.

Zbog svih dobrih osobina, vakuumski prekidači naročito se primjenjuju:

- u distributivnim srednjenaponskim sklopnim blokovima
- u srednjonaponskim industrijskim postrojenjima smještenim u eksplozivnim i zapaljivim sredinama (rudnici, rafinerije, plovni objekti...)
- za sklapanje kapacitivnih i induktivnih opterećenja (postrojenja za kompenzacijsku reaktivnu snagu, VN motori velikih snaga, indukcione peći, prigušnice...)
- u postrojenjima električne vuče
- u tropskim i hladnim klimatskim uslovima i sl.

Prekidači sa SF₆ gasom. Čist gas SF₆ (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 svojstvu gasa SF₆ da upija elektrone iz plazme (tzv. elektronegativan gas), čime se stvaraju slabije pokretljivi negativni joni, smanjuje se provodnost prostora između kontakata (povećava se dielektrična čvrstoća) i dolazi do brže regeneracije (dejonizacije) toga prostora nakon gašenja luka.



Slika 1.34. Izgled 10 kV vakuumskog prekidača

! Probojna čvrstoća gasa SF₆ u homogenom električnom polju pri atmosferskom pritisku je oko 3 puta veća od probojne čvrstoće vazduha, dok je na pritisku od tri bara veća od probojne čvrstoće transformatorskog ulja.

★★★ Dobre osobine ovog gasa omogućuju mu prekidanje 100 puta veće struje nego u vazduhu. Sve ovo omogućava da su i dimenzije i masa ovih prekidača, kao uostalom i sve opreme u SF6 izvedbi, znatno smanjene. Zavisno od naponskih nivoa, ova postrojenja zauzimaju 3–10 puta manje površine od klasičnih postrojenja.

Kod ovih prekidača sredstvo za gašenje luka je sumpor-heksafluorid SF6. Sama tehnika SF6 zasniva se na dobrim dielektričnim osobinama sumpor-heksafluorida i još boljim osobinama za gašenje luka. Ovi prekidači ugrađuju se tamo gdje su potrebne velike prekidne moći i mogu, uz iste uslove, prekidati približno sto i više puta veće struje nego u vazduhu.

Sumpor-heksafluorid prelazi u jednakim temperaturnim uslovi-
ma iz gasovitog u tečno stanje, pri mnogo nižem pritisku nego
vazduh. Pod atmosferskim pritiskom i na 20 °C (293 °K) SF6 ima
pet puta veću gustinu nego vazduh.

Cijela konstrukcija predstavlja jedan zatvoren/oklopljen sistem sa svim bitnim dijelovima aparata smještenim u armaturu prekidača, napunjenu gasom pod određenim pritiskom.

Električni luk koji u početku gori između pokretnog kontakta i mlaznice, usljed struje gasa i elektrodinamičkih sila luka sigurno se gasi za 5–15 ms poslije galvanskog razdvajanja kontakta.

Prekidanje struje u ovim prekidačima vrši se razdvajanjem kontakata u medijumu SF6 koji ima odlične dielektrične osobine i osobine za gašenje električnog luka.

Oduvavanjem luka gasom SF6 veoma brzo se smanjuje temperatura između kontakata sa 20.000 °K na manje od 2.000 °K (u nekoliko mikrosekundi). Tako se stvaraju uslovi za podnošenje tranzientnog povratnog napona koji će se pojaviti na kontaktima poslije prekida. Sumpor-heksafluorid se obično koristi za napone više od 52 kV.

Osnovne dobre osobine SF6 prekidača su:

- jednostavnost komore za gašenje, koja ne treba pomoćnu komoru
- autonomnost obezbijeđena tehnikom oduvavanja
- kratko vrijeme prekida 2–2,5 ciklusa
- visoka pouzdanost, koja dozvoljava gotovo 25 godina rada bez održavanja

- mogućnost sprečavanja pojave prenapona prilikom prekidanja
- pouzdanost i dostupnost
- nizak stepen buke i dr.

Značajne povoljnosti ovih prekidača, naročito u oblasti visokog i vrlo visokog napona, uslovile su i pojavu velikog broja različitih tipova i oblika ovih prekidača. Neki od češće korišćenih tipova VN prekidača sa SF₆ gasom prikazani su na Slici 1.35.



Slika 1.35. Različiti tipovi VN SF₆ prekidača ugrađeni u VNRP

! Korišćenjem mnogobrojnih prednosti SF₆ gasa i njegovih dobrih izolacionih osobina razvijeni su a i dalje se razvijaju i ostali djelovi VNRP u SF₆ tehnici. Ovo je omogućilo da se dimenzije i masa ovih postrojenja, uz evidentno poboljšanje njihovih radnih karakteristika, značajno smanje.

Dimenzije SF₆ postrojenja (takozvana GIS izvedba) su 3–10 puta manje od dimenzija postrojenja izolovanog vazduhom za isti napon. Zbog metalnog oklopa koji se najčešće izrađuje od aluminijuma, ova postrojenja nijesu osjetljiva na uticaje okoline. Mana im je što zbog oklopa mjesto kvara nije vidljivo i što otklanjanje kvara traje znatno duže. Ova postrojenja veoma su kompaktna i pouzdana, ali su i veoma skupa. Zato se sada uglavnom koriste, npr. za jako zagađene sredine, gradska jezgra i sl.

Ova postrojenja veoma se brzo montiraju. Izvode se kao jednofazno i trofazno oklopljena.

Kod jednofazno oklopljenih postrojenja, svaki pol komponente postrojenja posebno je oklopljen oklopom koji predstavlja rezervoar za gas SF6. Kod trofazno oklopljenih, sva tri pola su smještena u zajednički oklop. Trofazno oklopljena postrojenja koriste se za napone do 170 kV.

SF6 postrojenja podijeljena su na gasne komore ili zone i ako dođe do kvara u nekoj komori, isključi se samo ona a ne cijelo postrojenje. Svi metalni djelovi su uzemljeni pa ne postoji opasnost od napona dodira. Ovim postrojenjima upravlja se iz komandnih ormana.

Na Slici 1.36 prikazano je jedno VN SF6 postrojenje za napon 245 kV predviđeno za unutrašnju montažu, dok je na Slici 1.37 prikazano VN SF6 postrojenje za napon 400 kV za spoljašnju montažu.



Slika 1.36. Izgled SF6 postrojenja (220 kV) za unutrašnju montažu

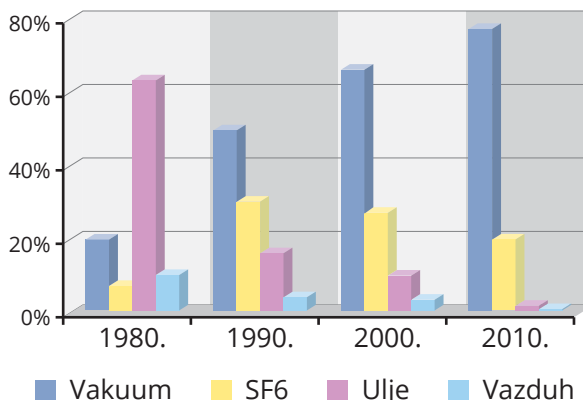


Slika 1.37. Izgled SF6 postrojenja (400 kV) za spoljašnju montažu



Danas se u VNRP prenosnih mreža najčešće koriste **malouljni, pneumatski, vakuumski i prekidači sa sumpor-heksafluoridom (SF6 prekidači)**.

Na Slici 1.38 prikazan je procenat učešća VN prekidača s različitim medijima za gašenja luka: vazduh, ulje, SF6 i vakuum (za 2010., dobijen iz podataka iz dostupne literature). Evidentno je da su se različiti mediji za gašenja luka različito razvijali i koristili u proteklom periodu, kao i da, u posljednje vrijeme, dominantnu ulogu igraju SF6 i vakuum-ske tehnike.



Slika 1.38. Procentualno učešće korišćenja VN prekidača s različitim medijima

U poljednje vrijeme veoma se intenzivno i uspješno razvijaju i proizvode tipovi VN prekidača koji imaju duži radni vijek, jednostavnije održavanje, mnogo čistije kontakte, prekidaju struju pri prvom prolasku kroz nulu bez ponovnog paljenja, mogu se postavljati na mjestima gdje postoji opasnost od eksplozije, imaju mali hod kontakata, malu masu i dimenzije, tiši rad i sl.

Izbor prekidača/dimenzionisanje vrši se prema nizu karakterističnih parametara kola koje se prekida, kao što su: naznačeni napon, naznačena radna struja, naznačena rasklopna snaga (snaga isključenja), naznačena učestanost, naznačena naizmjenična komponenta struje (ili snage) prekidanja (uključenje/isključenje), toplotni impuls (podnosivo termičko naprezanje), aperiodična komponenta struje prekidanja itd.

Naznačeni napon prekidača određuje dimenzije izolacije i bira se prema naznačenom naponu postrojenja.

Naznačena struja bira se prema struji najviše opterećenog odvoda, tako da svi prekidači u postrojenju budu iste naznačene struje.

Naznačena (rasklopna) snaga isključenja prekidača ograničena je naponom (dejonizacija luka i ponovno njegovo paljenje) i strujom (termičko naprezanje). Ona treba da bude veća od snage kratkog spoja nakon 0,1–0,2 s od momenta pojave kratkog spoja.


Naznačenu naizmjeničnu komponentu struje (ili snage) prekidanja utvrđuje proizvođač eksperimentalno.

Pored električnih karakteristika, prekidaču se moraju normirati i ciklusi operacija, njihova vrsta, redosljed i vremenski razmaci.


Obično se traži da prekidač ima sposobnost ponovnog uključenja (PU ili APU) dijela mreže, koju je prethodno isključio zbog kvara, i naknadnog brzog isključenja koje bi uslijedilo u slučaju da je dio mreže ostao u kvaru.

Prekidači se mogu uključivati ručno i daljinski. Potrebna brzina uključivanja i isključivanja postiže se pomoću jakih opruga i mehanizma prekidača. Osim ručnog isključenja (na samom prekidaču ili daljinski), na isključenje prekidača djeluju i zaštitni releji. U slučaju kvara relej uključuje elektromagnet koji oslobodi okidački mehanizam prekidača.

Prekidači (u pogledu vrste i mjesta kvara i uklopne šeme mreže) biraju se tako da zadovolje uslove koje postavlja mreža na mjestu ugradnje u najnepovoljnijim okolnostima. Nakon utvrđivanja navedenih kritičnih uslova za rad prekidača, izračunavaju se karakteristične veličine struje kvara i ostale mjerodavne veličine mreže, koje treba uporediti sa naznačenim, odnosno dozvoljenim vrijednostima za odgovarajuće veličine prekidača.

 Prekidač ne smije da radi u mreži s naponom koji je viši od njegovog naznačenog napona.

★★★ Prekidači se izrađuju za naznačene struje od 400 do nekoliko hiljada ampera (A) i za rasklopne snage 100–4000 MVA.

 Nakon izbora, prekidači se provjeravaju na dinamičku i termičku izdržljivost.

Uključenje i isključenje prekidača vrši se na ručni pogon, motorni pogon i pogon komprimovanim vazduhom.

Samo prekidač koji zadovoljava u pogledu svih karakterističnih veličina može biti ugrađen u postrojenje.

Medij za gašenje luka je komprimovani vazduh koji se u komori za gašenje luka komprimuje za vrijeme isključenja i koji struji kroz mlaznicu na mjesto nastanka luka čim pokretni kontakt oslobodi otvor komore, hladeći i oduvavajući luk. Rastavni prekidači su jednostavniji i jeftiniji od klasičnih prekidača i u određenim slučajevima i uslovima mogu zamijeniti prekidače i rastavljače.

Upotrebljavaju se na mjestima gdje je potrebno uključivati i isključivati naznačene struje opterećenja ili čak struje kvarova ako je snaga kratkog spoja na mjestu ugradnje dovoljno mala. Obični rastavljači to nijesu u stanju, a ugradnja klasičnog, skupog prekidača na takvom mjestu nije ekonomski opravdana. Rastavni prekidači uglavnom se koriste na mjestima gdje bi primjena klasičnih prekidača bila neekonomična.

Poprečni presjek (a) i izgled rastavnog prekidača (b) na kome je objašnjen princip rada prikazani su na Slici 1.40. Na postolju (1) se nalaze dva potporna izolatora (2) po polu. Na gornjem izolatoru nalazi se nepokretni (3), a na donjem pokretni kontakt (4) sa cilindrom (5) i klipom u njemu. Brzo isključenje postiže se pomoću opruge (6), smještene na postolju preko izolovane poluge (7). Kod isključenja klip komprimuje vazduh u cilindru i on struji kroz pokretni kontakt, hladi i oduvava električni luk.

Upotrebljavaju se za isključenje naznačenih struja do 300 A (630 A) i za napone 6, 10 i 35 kV. Zaštitu od kratkog spoja moraju preuzeti ili osigurači ili glavni prekidač.

Često se kombinuju s visokonaponskim osiguračima koji služe kao zaštita od kratkog spoja, a rastavna sklopka se koristi za uključenje i prekidanje naznačene struje.

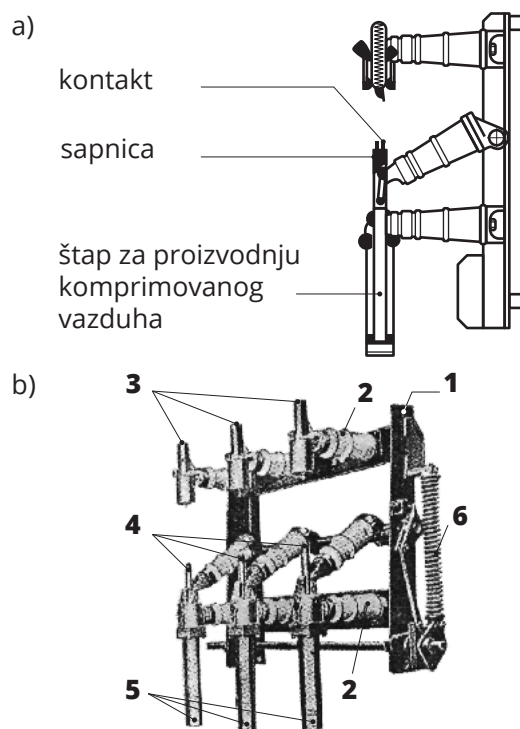
1.3.2.6. Energetski i mjerni transformatori

Transformator je statički električni uređaj koji, koristeći princip elektromagnetne indukcije, prenosi električnu energiju između dva ili više

U uređaje za prekidanje struje spadaju i učinski rastavljači koji se još nazivaju i rastavni prekidači/sklopke ili rastavljači snage (Slika 1.39). Oni predstavljaju prelaz/kombinaciju između rastavljača i prekidača. Po svom djelovanju imaju karakteristike prekidača (imaju komoru za gašenje luka), a po izvođenju imaju karakteristike rastavljača (vidljiv kontakt).



Slika 1.39. Rastavni prekidač za spoljnu montažu, tip RME, U_n do 20 kV, I_n do 630 A



Slika 1.40. Rastavni prekidač/sklopka: a) poprečni presjek, b) izgled

električnih kola. Promjenljiva struja u jednom namotaju transformatora proizvodi promjenljivi magnetni fluks, koji indukuje elektromotornu silu u drugom namotaju koji je namotan oko istog jezgra. Transformatori se koriste za povećanje ili smanjenje napona pri različitim primjenama električne energije.

Detaljan opis, karakteristike i princip rada energetskih i mjernih transformatora dat je u Poglavlju 2 Karakteristike i princip rada transformatora.

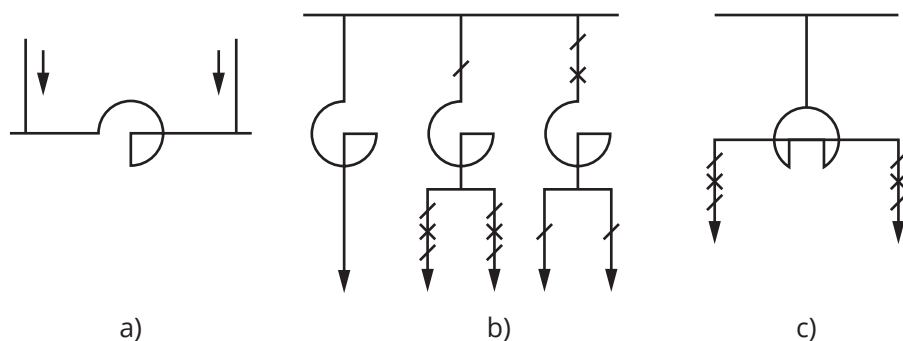
1.3.2.7. Prigušnice

Prigušnica je induktivni namotaj bez gvožđa koji se vezuje na red s potrošačima i izvorima (Slika 1.41).

U elektroenergetskim sistemima prigušnice se najčešće koriste za ograničenje struja kratkih spojeva na dozvoljenu vrijednost, za uzemljenje neutralne tačke energetskih transformatora i za regulaciju reaktivnih snaga, za kompenzaciju, za filtriranje i sl.

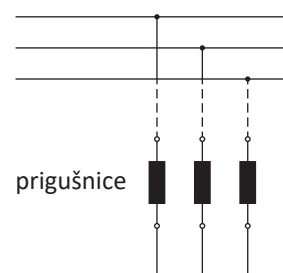
Prigušnice za ograničenje struja kratkih spojeva namijenjene su za redno vezivanje u granu mreže. Ograničenjem struje kratkog spoja smanjuje se dinamičko i termičko naprezanje opreme u postrojenju. Ove prigušnice nemaju feromagnetno jezgro, namotaji su napravljeni od bakra ili aluminijuma i imaju kostur od specijalnog betona koji obezbjeđuje mehaničku čvrstoću. Trofazna prigušnica sastoji se od tri međusobno električki odvojene jednofazne prigušnice koje se postavljaju jedna iznad druge ili jedna pored druge. Prigušnice se izvođe za unutrašnju ili spoljašnju montažu, sa suvom ili uljnom izolacijom.

Postoje različiti načini priključenja prigušnica (Slika 1.42). Najčešće se koriste: a) redna prigušnica između sabirničkih sekcija, b) redne prigušnice u izvodima i c) razdvojna prigušnica.



Slika 1.42. Različiti načini priključenja prigušnica:

- a) redna prigušnica između sabirničkih sekcija, b) redne prigušnice u izvodima, c) razdvojna prigušnica



Slika 1.41. Šema priključka prigušnice u odvodu

Osnovne karakteristične veličine prigušnica za ograničenje struja kratkog spoja su:

- naznačeni napon U_n
- naznačena prolazna/propusna snaga S_n i
- napon kratkog spoja U_k .

Naznačeni napon prigušnice određen je naznačenim naponom mreže prema kojem je dimenzionisana izolacija prigušnice.

Prolazna/propusna naznačena snaga prigušnice je snaga koja može trajno prolaziti kroz prigušnicu, a da se namotaj ne zagrije iznad dopuštene/propisane temperature.

Napon kratkog spoja definisan je na isti način kao i napon kratkog spoja transformatora.


Najčešće se prigušnice proizvode za napone do 35 kV.

Kod mreža s izolovanom neutralnom tačkom, u neutralnu tačku mreže priključuju se kompenzacione prigušnice (npr. Petersenove prigušnice). One se prave s magnetnim jezgrom koje ima veći vazdušni zazor i smještaju se u posudu s uljem. U mrežama, u kojima je neutralna tačka uzemljena preko male impedanse, koriste se prigušnice za uzemljenje koje su slične kompenzacionim, ali s mnogo manjom reaktansom i mnogo manjih dimenzija.

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

1.3.2.8. Energetski kablovi

Za vezu između pojedinih djelova VNRP (npr. između generatora i transformatora i sl.) često se u VNRP i elektranama, zbog određenih tehničkih prednosti ili nemogućnosti montiranja neizolovanih/golih vodova, upotrebljavaju izolovani provodnici – kablovi. Koriste se, po pravilu, u svim situacijama kada je prostor deficitaran.

 Kablovi su provodnici koji su električno izolovani i smješteni u zajednički omotač radi zaštite od spoljašnjih uticaja (vlaga, mehaničko opterećenje, korozija i sl.).

Oni se mogu polagati: neposredno u zemlju, u cijevi, u beton, u kablovske kanale, u vazduhu (na otvorenom), u prostorijama, na regale, kroz vodu i sl. Sredina u kojoj se kabl polaže i njegov naznačeni napon određuju vrstu kabla, odnosno njegove konstruktivne karakteristike, vrstu upotrijebljene izolacije, mehaničku zaštitu i ostale elemente konstrukcije.

Različiti oblici energetskih kablova prikazani su na Slici 1.43.

Prema broju žila (provodnika) kablovi mogu biti:

- jednožilni, koriste se za visoke i vrlo visoke napone
- trožilni, koriste se za srednje i visoke napone i
- četvorožilni, koriste se za niske napone.

U zavisnosti od naznačenog napona (U_n), kablovi se dijele na:

- niskonaponske $U_n \leq 1 \text{ kV}$
- sredjenaponske $1 \text{ kV} \leq U_n \leq 60 \text{ kV}$
- visokonaponske $U_n \geq 110 \text{ kV}$.

Izolacija oko provodnika kod kablova, u zavisnosti od zahtjeva i uslova korišćenja, može biti: papirna, od polimernih materijala ili PVC, polietilen, poliamid, polipropilen, gumena, uljna, gas pod pritiskom i sl., a može biti i slojevita, sastavljena od više materijala.

Osnovni konstruktivni elementi energetskih kablova su: provodnik, izolacija, ispuna, omotač i plašt (Slika 1.44).

Provodnik kabla služi za prenos energije i prilagođen je elektromehaničkim zahtjevima. Provodnici se najčešće izrađuju od bakra ili aluminijuma i mogu biti jednožilni ili višežilni, okrugli: puni, koncentrični ili kompaktni, i sektorski: puni, vičežični ili kompaktni (Slika 1.45).

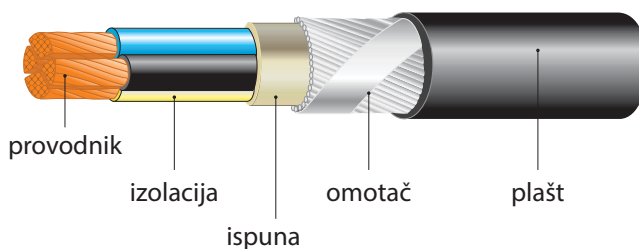
Energetski kablovi najčešće imaju okrugli provodnik od sukanih aluminijskih, odnosno bakrenih žica. Izvedba provodnika mora biti kvalitetna jer je potrebno postići visoki stepen ispune. Potrebno je postići neophodnu elastičnost i ujednačenost profila. Provodnici presjeka iznad 1.000 mm^2 izvode se sektorski, u svrhu redukovanja skin efekta.

Standardizovani kablovi (kod nas se koriste za napone do i uključujući 110 kV), radi lakšeg i bržeg prepoznavanja, označavaju se u skladu s propisima nizom slovnih i brojčanih oznaka:

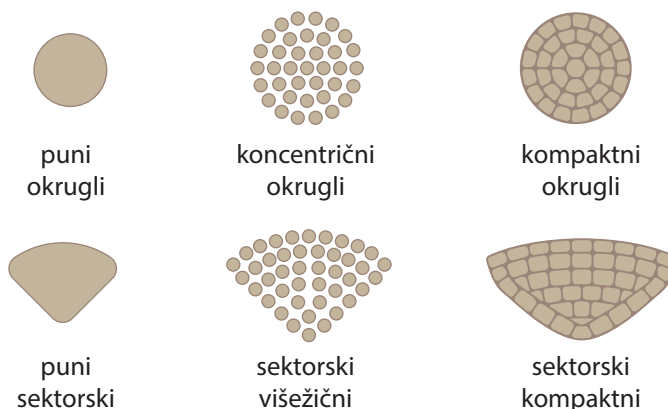
- prva oznaka je slovo i označava materijal upotrijebljen za izolaciju i plašt
- druga oznaka ukazuje na konstruktivne osobine kabla



Slika 1.43. Različiti oblici energetskih kablova



Slika 1.44. Konstrukcija energetskog kabla



Slika 1.45. Presjeci provodnika kablova

skin-efekat

porast električnog otpora u unutrašnjosti provodnika s porastom frekvencije naizmjenične električne struje

- treća oznaka je dvocifren broj koji označava zaštitne osobine konstrukcije (Između druge i treće oznake može se nalaziti grupa malih slovnih oznaka, koje definišu presjek provodnika.)
- četvrta oznaka može biti slovo A i označava da je provodnik od aluminijuma (Ako nema slova A, provodnik je od bakra.)
- peta oznaka označava broj i presjek žila i presjek nultog provodnika
- šesta oznaka definiše naznačeni napon kabla – fazni napon U_0 / linijski napon U .

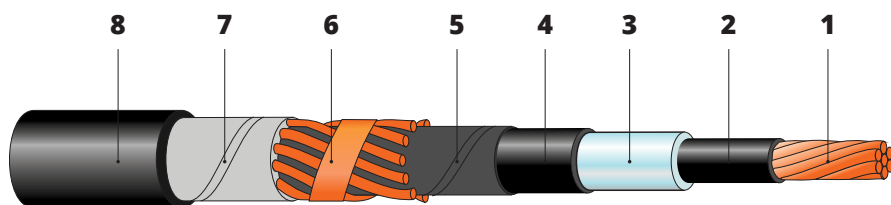
Popisi slovnih i brojčanih oznaka i njihova značenja dati su u katalozima proizvođača.

Kod energetskih kablova, oko provodnika i iznad sloja izolacije postavlja se poluprovodni sloj koji se naziva ekran provodnika, odnosno izolacije. Najvažnija funkcija ovog sloja je izjednačavanje električnog polja, jer je prilikom izrade provodnika moguće da na njemu postoje neravnine i šiljci. Ukoliko bi bile u izolacionom materijalu, neravnine i šiljci mogli bi izazvati razaranje izolacije, a krajnja posljedica bila bi njen proboj. Debljina sloja ekrana obično nije velika (reda veličine milimetra). Sam postupak nanošenja poluprovodnog sloja zavisi od tehnološkog postupka pri izradi kabla. Naime, prilikom njegove izrade važno je postići visoku preciznost i kvalitet, jer svaka nehomogenost i nečistoća za posledicu može imati proboj.

Energetski kablovi imaju i tzv. električni oklop kabla kojim se rješavaju problemi polja kabla. U slučaju kratkog spoja, ova zaštita je odgovorna za raspodjelu struja. Električni oklop ovog tipa kabla najčešće je izveden od bakarnih žica namotanih oko kabla. S obzirom na termička opterećenja, električni oklop mora biti tako dimenzionisan da se ne zagrije iznad maksimalno dozvoljene temperature pod uticajem struje jednopolnog i dvopolnog kratkog spoja.

Kablovi posjeduju i tzv. spoljašnji plašt/ekran, pod kojim se podrazumijevaju svi djelovi kabla koji se nalaze iznad električnog oklopa kabla. Najjednostavniji i najstariji tip ovog ekrana je PVC plašt koji ima dobre izolacione i vatrootporne osobine. Ponekad je, zbog dodatne zaštite kabla (agresivna okolina, mogućnost mehaničkog oštećenja...), prilikom njegove izrade potrebno kombinovati i druge elemente, kao npr.: čelične trake, aluminijske cijevi i sl. Dodatni zahtjev za polaganje kabla je dobar kontakt plašta s okolinom zbog električnih i toplotnih razloga. Danas se uglavnom umjesto PVC plašta koristi PE (polietilen) ili HDPE (polietilen visoke gustine).

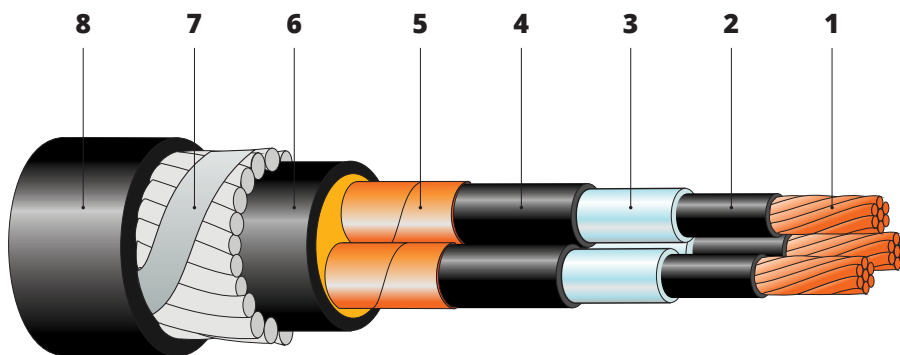
Savremena konstrukcija jednožilnog visokonaponskog kabla s izolacijom od umreženog polietilena prikazana je na Slici 1.46.



1. provodnik,
2. ekran provodnika – poluprovodni umreženi polietilen – XLPE,
3. izolacija od umreženog polietilena,
4. ekran izolacije – poluprovodni umreženi polietilen,
5. separator, bubreća poluprovodna traka,
6. električna zaštita, metalni ekran (Cu),
7. separator, bubreća poluprovodna traka,
8. spoljašnji plašt.

Slika 1.46. Jednožilni visokonaponski kabl s izolacijom od umreženog polietilena

Primjer visokonaponskog trožilnog kabla sa čvrstom izolacijom od umreženog polietilena i PVC plaštom, armiran okruglim čeličnim žicama, prikazan je na Slici 1.47.



1. provodnik, Al ili Cu uža,
2. ekran provodnika – poluprovodni umreženi polietilen – XLPE,
3. izolacija od umreženog polietilena,
4. ekran izolacije – poluprovodni umreženi polietilen,
5. električna zaštita/ekran: od Cu trake,
6. unutrašnji plašt: PVC,
7. armatura: čelične pocinčane okrugle trake i spirala – zavojnica od pocinčane čelične trake,
8. spoljašnji plašt: PVC.

Slika 1. 47. Trožilni visokonaponski kabal s izolacijom od umreženog polietilena

Izbor presjeka kabla vrši se prema maksimalnoj struji u normalnom pogonu i prema zagrijavanju za vrijeme trajanja kratkog spoja. Presjek kabla, određen s obzirom na struju kratkog spoja za neko VNRP, najmanji je presjek kabla koji se smije upotrijebiti u posmatranom postrojenju.

Sastavni dio električnih kablova je i kablovski pribor u koji se uglavnom ubrajaju: kablovske spojnice, kablovske glave, kablovske priključne kutije, kablovski ormari, kablovice i sl.

1.3.2.9. Odvodnici prenapona

Zbog raznih prelaznih procesa i pojava, u mreži i razvodnim postrojenjima može doći do pojave napona koji su znatno viši od naznačenih napona. Ovi naponi mogu da ugroze normalan rad elemenata i postrojenja i da dovedu do njihovog oštećenja. Nazivaju se **prenaponi** i najčešće se dijele na:

- **unutrašnje prenapone**, nastale usljed normalnih ili havarijskih komutacija
- **atmosferske prenapone**, nastale usljed atmosferskih pražnjenja.

VNRP i aparati u njima izrađuju se tako da mogu izdržati određena naponska naprezanja, veća od normalnih. Međutim, nemoguće je spriječiti da se u mreži pojave prenaponi (naročito usljed atmosferskih pražnjenja) veći od onih koje oni mogu izdržati.

Da bi se spriječilo štetno dejstvo prenapona, potrebno je spriječiti njihov prodor do VNRP, odnosno spriječiti njihov prodor do djelova postrojenja u kojima mogu izazvati najveće štete.

Neophodno je ove opasne prenapone prije ulaska u VNRP smanjiti na vrijednost da ne izazovu oštećenja, a ako ih već izazovu, da do njih dođe na djelovima postrojenja manje materijalne vrijednosti i onih koji se mogu lakše zamijeniti (koordinacija izolacije). Za ispunjavanje ovih zadataka, odnosno sprečavanje štetnog djelovanja prenapona na elemente postrojenja, koriste se razni zaštitni uređaji i aparati.



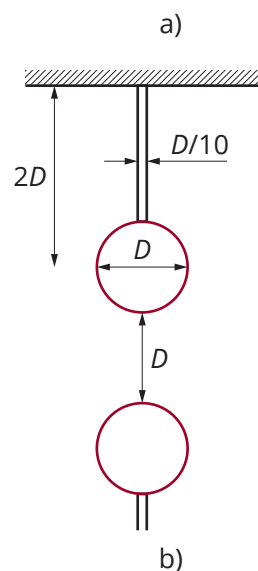
Najjednostavniji i najjeftiniji uređaj za zaštitu od prenapona je **zaštitno iskrište**. Iskrište se sastoji od dvije metalne elektrode, od kojih je jedna uzemljena (nalazi se na potencijalu zemlje), a druga je vezana na fazni provodnik (ili uređaj koji se štiti). Iskrište se priključuje paralelno sa štíćenom izolacijom/objektom.

Prema obliku elektroda razlikuju se:

- šiljasto iskrište s elektrodama u obliku metalnih štapova (Slika 1.48a)
- **kuglasto** iskrište, sastavljeno od dvije metalne kugle (Slika 1.48b)
- dosta rijetko korišćeno **pločasto** iskrište, s elektrodama u obliku ploča.

Zaštitno svojstvo iskrišta određeno je razmakom elektroda (D). Princip rada iskrišta veoma je jednostavan i pouzdan. Kada se na elektrodi koja je vezana za elemente pod naponom pojavi opasni prenapon (koji može ugroziti njegovu izolaciju), dolazi do reagovanja (prorade, odnosno preskoka prema uzemljenom dijelu) iskrišta. Tako se između elektroda stvara zemljospoj ili kratki spoj (zavisno od načina uzemljenja nulte tačke), odnosno provodni put kojim se energija prenapona odvodi u zemlju. Na ovaj način se spečava oštećenje izolacije štice objekta.

Problem može biti u tome što svako reagovanje iskrišta izaziva kratki spoj i pojavu električnog luka između elektroda. Struju luka treba isključiti u što je moguće kraćem periodu. Kako iskrište nema mogućnost da ugasi luk (nema uređaje i medij za gašenje luka), to se pri svakom reagovanju iskrišta čitav sistem mora isključiti djelovanjem neke druge zaštite, čime svi priključeni potrošači ostaju bez napajanja. Zbog navedenih problema zaštitna iskrišta se malo upotrebljavaju, i to uglavnom kao pomoćna/rezervna zaštita od prenapona, a za osnovnu zaštitu služe bolji, složeniji i skuplji zaštitni uređaji.



Slika 1.48. Različiti oblici iskrišta:
a) slika, b) skica



Zaštitni uređaji koji svojim djelovanjem ograničavaju atmosferske i neke sklopne prenapone, a imaju mogućnost gašenja električnog luka, zovu se **odvodnici prenapona**.

Danas se u mrežama i VNRP pretežno koriste dva osnovna tipa odvodnika prenapona:

- silicijum-karbidni (SiC) odvodnici
- cink-oksidni (ZnO) odvodnici.

Silicijum-karbidni (SiC) odvodnici, ponekad se nazivaju i ventilnim odvodnicima, sastoje se iz dva osnovna dijela vezana serijski:

- redno vezanih jediničnih iskrišta
- nelinearnog otpora koji se sastoji iz više pločica od silicijum karbida (SiC).

SiC odvodnici (Slika 1.49) sastoje se od provodnog porculanskog cilindra/ izolatora (2) u čijoj šupljini je smješteno više redno vezanih jediničnih iskrišta/varničara – višestruko iskrište (7) i slog nelinearnih otpora (3) kojima otpor zavisi od visine napona. Unutrašnjost odvodnika dobro je zaptivena kapom (1) na kojoj se nalazi naponska priključna stezaljka (8) i kapom (5) na kojoj je stezaljka (6) za priključak na uzemljenje postrojenja. Da bi se spriječila eksplozija odvodnika kod njegovog preopterećenja i kvara, donji dio je izrađen u obliku membrane koja popusti ako se u unutrašnjosti odvodnika pojavi nedozvoljeno visok pritisak (više od 3 bara ili više od 3×10^5 Pascala). Unutrašnjost odvodnika ispunjena je azotom.

bar

jedinica za pritisak,
1 bar = 100 000 Paskala
(1 Pa = 1 N/m²)

Sistem redno vezanih iskrišta u normalnom pogonu razdvaja nelinearnu otpornost od elemenata električnog uređaja koji se nalaze pod stalnim dejstvom radnog napona. U trenutku nailaska prenapona koji bi mogli biti opasni za štitičenu izolaciju, iskrište proradi (reaguje), priključujući nelinearnu otpornost na mrežu, čime ono dolazi na visoki napon. Zbog njeve nelinearnosti, njegov otpor se naglo smanjuje, omogućavajući da se prenaponski talas odvede u zemlju, tj. da se napon na odvodniku smanji. Kod manjeg napona znatno poraste otpor sloga nelinearnih otpornika (3) i struja se smanji na takav iznos da se nastali električni luk u iskrištu ugasi. Na taj način prekida se veza između djelova pod naponom i zemlje. Radi lakšeg gašenja ove struje, iskrište se izvodi iz više redno spojenih jediničnih iskrišta.

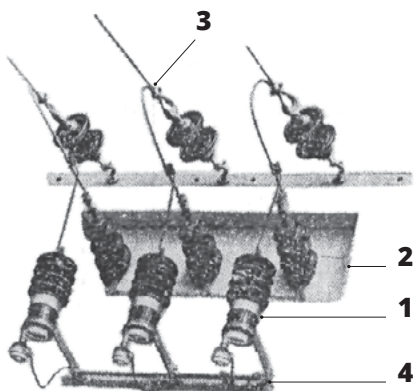


Slika 1.49. Silicijum-karbidni odvodnik prenapona: a) skica, b) slika

Ove pojave dešavaju se vrlo brzo (nekoliko μ s do nekoliko ms). Ukoliko je struja atmosferskog pražnjenja prevelika, ili iskrište nije u stanju da prekine nastalo strujno kolo, dolazi do razaranja iskrišta i sloga otpornika i do razvijanja električnog luka. Nastali pritisak razori membranu (4) i

izbaci iskrište i otporne elemente iz unutrašnjosti porculanskog tijela. Na taj način prekida se električni luk i spečava eksplozija tijela odvodnika.

SiC odvodnici prenapona postavljaju se u manjim razvodnim postrojenjima na **ulazima dalekovoda** u postrojenje (Slika 1.50). Montiraju se prije provodnih izolatora (2). Odvodnici (1) se priključuju na provodnike dalekovoda (3) i na uzemljenje (4).



1. odvodnik prenapona
2. provodni izolator
3. provodnici dalekovoda
4. priključak za uzemljenje

Slika 1.50. Slika SiC odvodnika na ulazu u VNRP

U velikim postrojenjima postavljaju se ili na **ulazima** u postrojenje ili neposredno **ispred transformatora**. Postavljaju se i na izolovana zvjezdišta transformatora, jer se u takvim zvjezdištima naponi reflektuju i udvostručuju. Osim toga, postavljaju se i na prelazima vazдушnih vodova u kablovske i obratno.

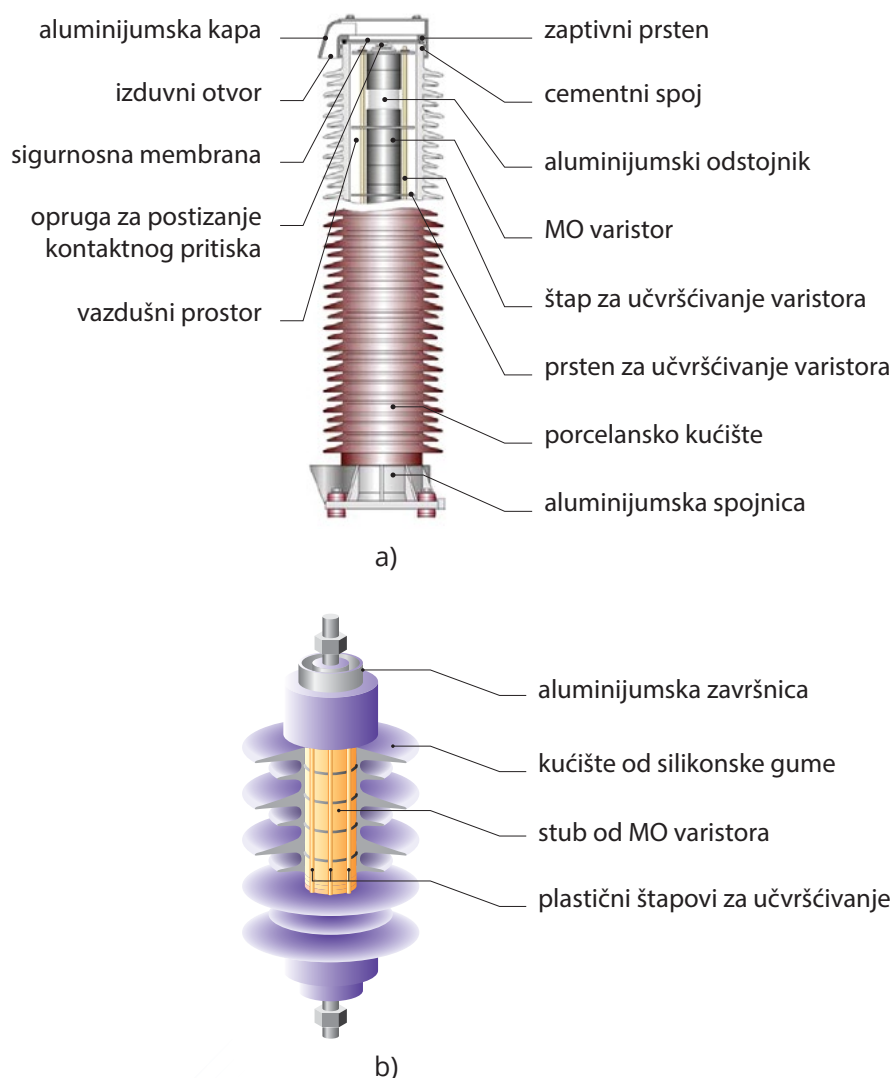
ZnO odvodnici prenapona (metaloksidni odvodnici prenapona – MOP ili odvodnici bez iskrišta), zbog svojih karakteristika i prednosti nad SiC odvodnicima, naročito se intenzivno upotrebljavaju u svijetu u posljednje vrijeme. Osnovni razlozi za ovo su u znatno jednostavnijoj i jeftinijoj konstrukciji (nemaju iskrište), povoljnijem obliku volt-amperske karakteristike (U-I) i njegovom stalnom priključenju na napon postrojenja, tako da reaguje na sve vrste prenapona i stalno odvodi struju.

Struja koju MOP stalno provodi u normalnom pogonu je zbog njegove velike otpornosti veoma mala, pa nema potrebe za iskrištem. Pri nailasku prenaponskog talasa, MOP smanjuje svoju otpornost, ograničavajući napon na priključcima na prihvatljivu vrijednost. Tokom odvođenja prenaponskog talasa, struja odvođenja je u kiloamperskom području.

MOP se karakteriše izrazitom nelinearnošću. Koeficijent nelinearnosti kod MOP-a ima vrijednosti između 20 i 50. Ako se uporedi s koeficijentom nelinearnosti kod SiC odvodnika (2–6), vidi se da je kod MOP-a znatno veći nego kod SiC odvodnika.

ZnO odvodnik stalno odvodi struju. U normalnim pogonskim uslovima ova struja je veoma mala. Pri odvođenju prenapona vrijednost ove struje je proporcionalna vrijednosti prenapona. I u normalnim pogonskim uslovima i pri odvođenju prenapona, vrijednost napona na odvodniku je približno ista. Poslije odvođenja struje prenapona MOP se vraća u normalni radni režim (s malim strujama), u kome se nalazio prije odvođenja udarne struje.

MOP može imati kućište od različitog materijala. Na Slici 1.51 prikazan je uzdužni presjek MOP-a sa: a) porcelanskim i b) polimernim kućištem.



Slika 1.51. Uzdužni presjek MOP-a: a) s porcelanskim, b) s polimernim kućištem

Odvodnici imaju veliki broj različitih karakteristika, koje omogućavaju lakši, brži i pouzdani izbor za sve moguće slučajeve i situacije.

Osnovne karakteristike ZnO odvodnika su:

- naznačeni napon odvodnika
- trajni radni napon (efektivna vrijednost maksimalnog radnog napona industrijske učestanosti na koji se odvodnik može trajno priključiti)
- volt-sekundna karakteristika podnosivog napona industrijske učestanosti
- zaštitni nivo odvodnika prenapona (najveći od sljedeća tri napona):
 - preostalog napona pri dejstvu strujnog talasa strmog čela
 - preostalog napona pri dejstvu standardnog strujnog talasa 8/20
 - preostalog napona pri dejstvu struje usljed sklopnog prenapona
- naznačena struja odvođenja (standardne vrijednosti su: 20, 10, 5, 2,5 i 1,5 kA).

Zbog veoma važne zaštitne uloge u VNRP, izboru odvodnika treba posvetiti posebnu pažnju. Po pravilu, procedura izbora veoma je precizno i detaljno definisana, i vrši se u nekoliko koraka. Pri tome, pored izbora odgovarajućih parametara i karakteristika odvodnika, treba naročito voditi računa i o parametrima sistema i svim mogućim nenormalnim uslovima rada.

Nakon uvažavanja svih relevantnih činjenica i pravilnog izbora odvodnika, treba izabrati i odgovarajuće mjesto za njegovo postavljanje.

U VNRP su štice objekti obično energetski transformatori, jer su oni najskuplji elementi postrojenja.

Odvodnik se, po pravilu, postavlja što je moguće bliže štice objektu, da bi on bio u zaštitnoj zoni. Zaštitna zona odvodnika prenapona je prostor/rastojanje ispred i iza odvodnika, u kojoj odvodnik uspješno štiti objekat pri nailasku prenaponskog talasa.

Maksimalno dozvoljeno rastojanje odvodnika od štice objekta (transformatora) L_{max} približno se određuje pomoću izraza:

$$L_{max} \approx \frac{U_{u\ max} - (U_z + U_v)}{2 \cdot s} \cdot v, \quad (1.3)$$

gdje je: $U_{u\ max}$ – podnosivi udarni napon štice objekta

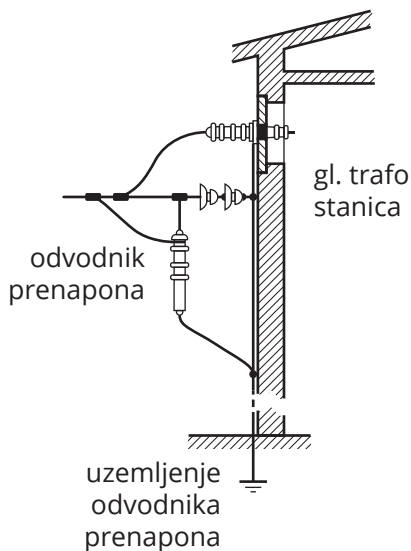
U_z – zaštitni nivo odvodnika

U_v – pad napona na vezama odvodnika

s – očekivana strmina prenaponskog talasa (obično $s < 1.000 \text{ kV}/\mu\text{s}$)

v – brzina prostiranja prenaponskog talasa.

Pretpostavlja se da su odvodnik i štice objekat povezani na isti uzemljivač.



Slika 1.52. Skica odvodnika prenapona instaliranog na ulasku vazdušnog voda u VNRP



Slika 1.53. Odvodnici prenapona na ulasku u energetski transformator

Za zaštitu VNRP od nailaska prenapona na ulazu visokonaponskih vazdušnih vodova u postrojenje, prije provodnog izolatora, postavljaju se (u svakoj fazi) odvodnici prenapona (Slika 1.52).

Na Slici 1.53 prikazani su odvodnici prenapona ugrađeni na ulaznim vodovima u energetski transformator.

1.3.2.10. Mjerni uređaji

Električni mjerni instrumenti služe za neposredno mjerenje električnih veličina kao što su: napon, struja, snaga, otpor, faktor snage, frekvencija, kapacitet i slično. Mjerenje električnih veličina predstavlja složen i veoma stručan posao, a instrumenti i mjerne metode koji služe ovom cilju su mnogobrojne i raznovrsne.

Vrste mjerenja, mjerni uređaji i karakteristike uređaja za mjerenje električnih veličina u VNRP su detaljno opisane i analizirane u Poglavlju 7 Mjerenje i relejna zaštita u VNRP.

1.3.3. Sistemi jednosmjernog razvoda

U oblasti elektroprivrede, za normalno odvijanje elektroenergetskih aktivnosti potrebno je obezbijediti i određenu količinu električne energije preko sistema jednosmjernog razvoda. Ova energija obično se koristi za pobuđivanje generatora, upravljanje uređajima za kompenzaciju reaktivne snage, kao rezervno napajanje uređaja u postrojenjima, za napajanje komandno-signalnih kola i sl.



Sistemi jednosmjernog razvoda pripadaju grupi sigurnosnih i rezervnih napajanja, čija važnost posebno dolazi do izražaja u vanrednim pogonskim stanjima, odnosno havarijskim stanjima.

Ovi sistemi nalaze primjenu svugdje gdje je potrebno sigurno i neprekidno napajanje jednosmjernih potrošača.

Naročito su značajni u omogućavanju pouzdanog djelovanja primarne i sekundarne opreme u normalnom pogonu a posebno u havarijskom stanju. Napajanje najosjetljivijih potrošača svakog elektroenergetskog postrojenja (termoelektrane, hidroelektrane ili VNRP) zavisi od dobro dimenzionisanog, izvedenog i održavanog sistema jednosmjernog razvoda.

Glavni električni izvor napajanja sopstvene potrošnje je naizmjenični napon, obično sa sabirnica sopstvenog generatora ili transformatora. Ovo napajanje se naziva radno ili osnovno napajanje potrošača, a koristi se za rad elektroenergetskog postrojenja u normalnom pogonu.

Drugi izvor napajanja sopstvene potrošnje (kada je riječ o elektrani) je spoljašnja mreža elektroenergetskog sistema i obično se naziva rezervno napajanje. Ono se koristi pri pokretanju i zaustavljanju rada elektrane ili ukoliko je došlo do kvara, odnosno ispada osnovnog napajanja. U normalnom pogonu, sa izvora spoljašnje mreže napajaju se potrošači opšte potrošnje, pa se zbog toga obično ovaj dio razvoda naziva opšta potrošnja.

Osim navedenih potrošača i sistema napajanja u elektroenergetskom postrojenju, postoje i specifični, bitni potrošači koji moraju imati osigurano neprekidno napajanje. Ugrožavanje napajanja takvih potrošača može dovesti do oštećenja vitalnih djelova postrojenja. To bi za posljedicu imalo dužu obustavu u napajanju električnom energijom i velike materijalne troškove, kako zbog neisporučene električne energije potrošačima, tako i zbog havarije i uništenja opreme u samom elektroenergetskom postrojenju.



Bitni potrošači napajaju se na nivou niskog napona i to s trofaznih neprekidnih naizmjeničnih sistema $3 \times 380/220$ V ili jednofaznih neprekidnih naizmjeničnih sistema 220 V, kao i s jednosmjernih neprekidnih sistema 220 V, 110 V, 48 V i 24 V. Za navedene sisteme predviđeni su posebni razvodi na koje se priključuju bitni potrošači. Bitni potrošači se u normalnom pogonu napajaju iz sekcija sopstvene potrošnje ili opšte potrošnje.

Sistem jednosmjernog razvoda sastoji se od akumulatorskih stacionarnih baterija, najčešće paralelno spojenih s ispravljačima i glavnim razvodom s priključenim pripadajućim potrošačima. Ispravljač je napajan naizmjeničnim naponom 0,4 kV iz sekcija sopstvene ili opšte potrošnje, s priključka namijenjenog bitnim potrošačima. Na jednosmjernoj strani ispravljač je spojen na akumulatorsku bateriju i glavni jednosmjerni razvod. Pri normalnom radu on napaja sve potrošače i osigurava potrebnu energiju za dopunjavanje akumulatorske baterije.

U slučaju nestanka naizmjeničnog napona ili kvara ispravljača, napajanje jednosmjernih bitnih potrošača preuzima na sebe akumulatorska baterija. U slučaju nastanka havarijskog stanja EES-a, potrošnja bitnih jednosmjernih potrošača biće znatno povećana. Zbog toga je akumulatorska baterija uvijek dimenzionirana za takva stanja sistema. Unutar VNRP, prema vrsti potrošača i nivou napona za koji su predviđeni u većini slučajeva, izvode se tri zasebna sistema:

- Sistem napona 220 V ili 110 V na koje se priključuje najveći broj bitnih potrošača (gledano prema snazi), pa zato ima i najveći kapacitet. Uloga sistema namijenjena je napajanju sljedećih vrsta potrošača: uređaji upravljanja, nadzora, zaštite i signalizacije; elektromotorni pogoni rezervnih uljnih pumpi, motorni pogoni prekidača; namotaji za isključenje prekidača; pomoćna i sigurnosna rasvjeta itd.
- Sistem napona 48 V predviđen je za napajanje telekomunikacijske opreme.
- Sistem napona 24 V (obično se nalazi u elektranama) predviđen je za napajanje regulacione opreme i vođenja, na primjer tehnološkog procesa parogeneratora i turbinskog postrojenja elektrane i sl.

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

U energetskim postrojenjima koriste se trofazni usmjerači (usmjeračke stanice) koji mogu biti polutalasni i punotalasni (mostni).

Unutrašnji izgled postrojenja jednosmjernog razvoda (DC 24 V, 48 V i 220 V) izvedenog u okviru jedne hidro-elektrane prikazan je na Slici 1.54.



Slika 1.54. Postrojenje jednosmjernog razvoda

Za akumulisanje električne energije koriste se uređaji koji se zovu akumulatori. U njima se električna energija jednosmjerne struje pretvara u hemijsku energiju (punjenje) koja se čuva u akumulatoru. Priključenjem potrošača, hemijska energija se pretvara u električnu energiju (pražnjenje). Akumulator ima jednu ili više ćelija/članaka koje spojene na red čine akumulatorsku bateriju. Svaka ćelija ima pozitivnu i negativnu elektrodu koje su razdvojene elektrolitom.

Osnovni parametri akumulatora su:

- naznačeni kapacitet
- 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.

Prema namjeni akumulatori mogu biti:

- stacionarni, najčešće olovni (vezuju se paralelno sa ispravljačima i služe za napajanje uređaja za signalizaciju, veze, zaštitu, osvetljenje...)
- starterski, olovni ili nikel-kadmijumski (za pokretanje automobila)
- trakcioni (za pokretanje viljuškara, jamskih lokomotiva...)
- prenosni (za napajanje uređaja malih snaga).

Osnovni elementi olovnog akumulatora (jeftiniji, veći stepen iskorišćenja, osjetljiviji) su:

- pozitivna elektroda (olovo-superoksid P_bO_2)
- negativna elektroda (čisto šupljikavo olovo (P_b))
- elektrolit (razblažena sumporna kiselina (H_2SO_4)).

Naznačeni napon ćelije olovnog akumulatora je 2 V.

Osnovni elementi alkalnog (nikel-kadmijumskog) akumulatora (skuplji, manje osjetljiv) su:

- pozitivna elektroda (nikel-oksidohidrat $NiO(OH)$)
- negativna elektroda (kadmijum u obliku praha C_d)
- elektrolit (kalijum-hidroksid KOH).

Naznačeni napon ćelije alkalnog akumulatora je 1,2 V.

Akumulatori se pune jednosmjernom strujom. Uređaji kojima se pune zovu se punjači. To su ispravljači izvedeni diodama i tiristorima koji naizmjeničnu električnu energiju pretvaraju u jednosmjernu. Za manje akumulatorske baterije najčešće postoji rezerva kojom se zamjenjuju ispražnjene baterije.

Veće stacionarne akumulatorske baterije najčešće se pune (stalno/automatski) iz postrojenja za punjenje, koje je priključeno paralelno na iste sabirnice kao i akumulatorske baterije.

Veliki broj uređaja u razvodnim postrojenjima i elektranama zahtijeva neprekidno napajanje (upravljačka kola, kola signalizacije, relejni uređaji, pobudni sistemi, računarski sistemi, osvjetljenje i sl.) i za to se koriste sistemi za neprekidno napajanje (UPS). Oni se sastoje od ispravljača, akumulatorske baterije i invertora (pretvaraju jednosmjernu u naizmjeničnu 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.

1.3.



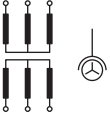
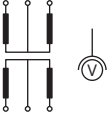
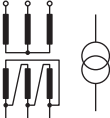
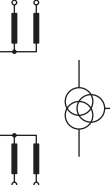
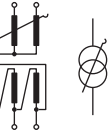












1. Opiši naponska i strujna naprezanja elemenata razvodnih postrojenja.
2. Nabroj osnovne elemente VNRP i navedi njihove osnovne karakteristike.
3. Objasni ulogu i potrebu postojanja sabirnica i izolatora.
4. Koja je razlika između potpornih i provodnih izolatora.
5. Objasni ulogu i nabroj dobre i loše osobine VN osigurača.
6. Opiši ulogu i postupak funkcionisanja VN prekidača.
7. Opiši postupak funkcionisanja i ulogu energetskih transformatora u EES-u.
8. Uporedi SiC i ZnO odvodnike prenapona.

1.4. Grafički simboli koji se koriste u šemama spoja u visokonaponskim razvodnim postrojenjima

U šemama spoja VNRP, u zavisnosti od njihovog tipa i potrebe za detaljnim crtanjem, ucrtavaju se razni aparati, kao i mjerni i zaštitni uređaji i drugi ugrađeni uređaji i oprema. Radi jasnoće i preglednosti u šemama se prikazuju svojim grafičkim prepoznatljivim simbolima.

U Tabeli 1.3 prikazani su glavni grafički simboli u obliku u kakvom se najčešće koriste u različitim električnim šemama spoja VNRP, kao i njihovi nazivi. U slučajevima crtanja jednopolnih/tropolnih šema koriste se simboli za jednopolne/tropolne šeme.

Tabela 1.3. Grafički simboli koji se najčešće koriste u šemama spoja u VNRP

-	jednosmjerni napon		jednopolno izolovani naponski transformatori
~ 50	sistem naizmjeničnog napona 50 Hz		dvopolno izolovani naponski transformatori
3 ~ 50	trofazni sistem naizmjeničnog napona 50 Hz		dvonamotajni transformator
—————	vod, provodnik uopšte		tronamotajni transformator
-----	vod za zaštitno uzemljenje		regulacioni dvonamotajni transformator
	kablovski vod		trofazni autotransformator
	omski otpor		pokazni instrument (npr. voltmetar)
	promjenjljivi otpornik		registracioni instrument (npr. vatmetar)
	induktivitet, induktivni otpor		brojilo aktivne energije
	kapacitivni otpor, kondenzator		uzemljenje
	osigurač		signalna sijalica

	akumulatorska baterija		signalna truba
	rastavljač		dugme
	prekidač		kontaktor
	rastavna sklopka		okidač
	odvodnik prenapona		relej (uopšteno)
	visokofrekventna prigušnica		prekostrujni relej
	prigušnica za smanjenje struja kratkog spoja		distantni relej
	ispravljač		usmjereni relej
	kratki spoj, proboj ili preskok		trofazni motor
	generator		ručno pokretanje
	trofazni generator s budilicom		motorno pokretanje
	strujni transformator		pneumatsko pokretanje
	strujni transformator s dva jezgra		elektromagnetno pokretanje

1.4.



1. Objasni potrebu postojanja grafičkih simbola u šemama VNRP.
2. Nacrtaj grafičke simbole energetskih i mjernih transformatora.
3. Nacrtaj grafičke simbole osigurača, rastavljača i prekidača.
4. Nacrtaj grafičke simbole odvodnika prenapona i prigušnica.

1.5. Šeme spoja strujnih krugova u visokonaponskim razvodnim postrojenjima

Prvi korak u koncipiranju i projektovanju VNRP je izbor i izrada šeme spoja elektroenergetskih kola. Postrojenja se na projektnim crtežima predstavljaju pomoću šema koje imaju za cilj da pokažu način spajanja svih elemenata postrojenja. Izrada šeme spoja nije od važnosti samo za procese projektovanja i izgradnje, već i za kasnije održavanje u pogonu.


Iz šeme spoja vidi se koliko će u projektovanom VNRP biti generatora, transformatora i odvoda, kao i način njihovog međusobnog spoja. Šema spoja takođe pokazuje i koji su aparati predviđeni u svakom odvodu i način njihovog spajanja, kao i predviđena mjerenja, zaštitu, signalizaciju, upravljanje i sl.

U VNRP postoji više vrsta šema spoja. Njihova upotreba zavisi od toga šta se želi prikazati korišćenom šemom i sa koliko detalja se želi prikazati VNRP. U zavisnosti šta je na njima prikazano, razlikuju se sljedeće vrste šema spoja:

- Šeme spoja/veze **glavnih strujnih krugova** koje služe za razvod energije. Vodovi u ovoj šemi nalaze se pod visokim/pogonskim naponom.
- Šeme **pomoćnih strujnih krugova**. Ovi strujni krugovi najčešće se napajaju iz pomoćnog izvora jednosmjerne struje.
- Šeme **strujnih kola mjerenja, komandovanja, zaštite i signalizacije**. Ovi strujni krugovi najčešće su priključeni na sekundarne stezaljke strujnih ili naponskih transformatora.

Osnovni kriterijumi za izbor šeme glavnih strujnih krugova su:

- **Sigurnost i pouzdanost pogona**. Pri ocjeni sigurnosti pogona, neophodno je voditi računa o prilikama u mreži u kojoj se planira izgradnja VNRP, kao i o uticaju eventualnih kvarova u postrojenju na potrošače koji će biti napajani iz tog postrojenja. Da bi se ocijenila sigurnost pogona, neophodno je poznavati vjerovatnoću kvara svakog od elemenata u postrojenju. Glavne šeme treba da budu pouzdane, s malom vjerovatnoćom kvarova s teškim posljedicama.
- **Mogućnost održavanja i pregleda**. Uloga posmatranog postrojenja u elektroenergetskom sistemu, kako s obzirom na proizvodnju, tako i s obzirom na napajanje potrošača (uz posebno vođenje računa o sigurnosti osoblja koje vrši radove), diktira i oštrinu zahtjeva u pogledu osiguranja izvođenja radova na održavanju i pregledu.



Iako je na šemi spoja prikazano cijelo postrojenje s obzirom na njegovo funkcionisanje (s više ili manje detalja u zavisnosti od tipa šeme), ona ne daje prostorni raspored i način izvođenja (što je moguće odrediti tek nakon njenog određivanja).

- **Ekonomičnost postrojenja.** Pod ekonomičnošću se podrazumijeva zahtjev da se ispune postavljeni uslovi o sigurnosti i mogućnosti remonta sa što je moguće manje uređaja i aparata (naročito skupih, npr. prekidača), kao i da se osigura puno korišćenje ugrađenih aparata i opreme.
- **Pogonska elastičnost postrojenja.** Pogonska elastičnost je potrebna da bi postrojenje izvršilo planirani zadatak, ne samo u normalnom pogonu, već i u slučaju kvarova u samom postrojenju ili u mreži na koju je ono priključeno. Elastičnost se ogleda i u mogućnosti premještanja, manipulacije i različitog grupisanja priključenih elemenata, često pod opterećenjem u toku pogona, kao i u slučaju potrebe njegovog eventualnog proširenja.
- **Pojednostavljenje šeme.** Radi pojednostavljenja/olakšavanja izvođenja, bolje preglednosti i lakšeg rukovanja u pogonu i remontu i manje vjerovatnoće pogrešnih manipulacija potrebna je pojednostavljena šema.

Veliki broj faktora i okolnosti utiče na pravilan izbor šeme glavnih strujnih krugova, kao i na to kojem od navedenih kriterijuma treba dati prednost u svakom konkretnom izboru šeme:

- uloga i napon VNRP (postrojenje u elektrani, prenosnoj, distributivnoj i potrošačkoj mreži)
- važnost VNRP u mreži (čvorište elektrane, veza dijelova mreža...)
- broj i instalisane snage generatora i transformatora, kao i broj i važnost priključenih vodova i potrošača koji će se napajati iz tog postrojenja
- pogonski zahtjevi (odvojeni pogon dijelova postrojenja i sl.)
- potreba proširenja VNRP
- tip i sigurnost planiranih aparata
- posebni zahtjevi uslovljeni lokalnim prilikama (zaprljanost okoline, za-
leđivanje, slanost okoline...)
- prilike u slučaju pojave kratkog spoja (veličina rasklopne snage, udar-
nih struja i struja mjerodavnih za zagrijavanje...)
- potreba priključka pomoćnih pogona (naročito u većim elektranama)
i dr.

Radi bolje preglednosti, lakše analize i međusobnog poređenja mogućih šema, glavne šeme veoma se često prikazuju uprošćeno, bez naznačavanja pratećih elemenata postrojenja (npr. mjerni transformatori, odvodnici prenapona, vrste mjerenja i zaštite...). Ovakav pristup je veoma važan, naročito u prvoj/početnoj fazi opredjeljenja.

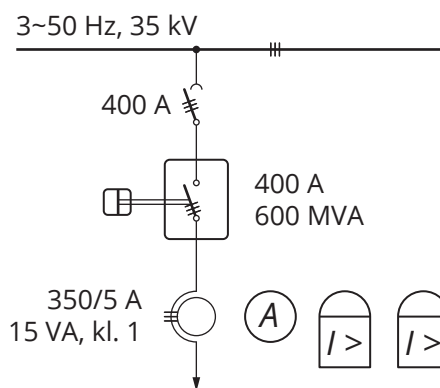
U zavisnosti od toga šta predstavljaju i s koliko detalja su izvedene, postoji više vrsta šema.

Kao osnova za projektovanje VNRP služi **jednopolna (glavna)** šema spoja odvoda (Slika 1.55).

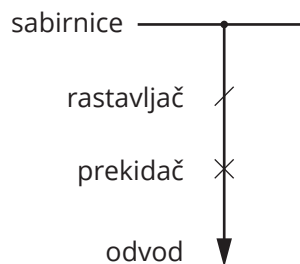
Ova šema predstavlja osnovu za dalje projektovanje. Na njoj se prikazuju samo glavni strujni krugovi i to jednopolno. Na njoj se crta energetska oprema s međusobnim vezama. Šematski su (pored odvoda i bez spojeva) označeni svi mjerni instrumenti i zaštitni releji. Takođe, naznačene su i glavne veličine koje su karakteristične za pojedine aparate ucrtane u šemi.

U pojedinim slučajevima crta se i veoma jednostavna **principijelna šema**. Na njoj su, kako bi se dobila slika o međusobnoj povezanosti odvoda, ucrtane samo sabirnice, odvodi, rastavljači i prekidači. Rastavljači i prekidači prikazani su pojednostavljenim simbolima, koji prikazuju samo osnovni princip rada, bez detalja. Na Slici 1.56 prikazana je jednostavna principijelna šema spoja odvoda datog na Slici 1.55.

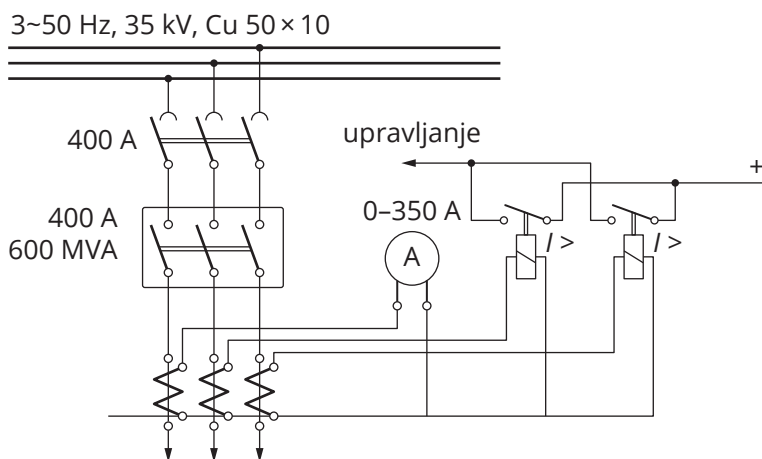
Svi glavni krugovi se prikazuju trolpolno na šemi djelovanja. Na njoj se crta energetska i sekundarna oprema (najčešće samo njen osnovni dio). Ovakvo prikazivanje VNRP omogućava označavanje funkcija svih uređaja u postrojenju, kao i kontrolu ispravnosti spojeva. Pojednostavljena trolpolna šema odvoda datog na Slici 1.55, na kojoj su nacrtani samo vodovi mjerenja i zaštite (ispušteni su vodovi za upravljanje i signalizaciju) prikazana je na Slici 1.57.



Slika 1.55. Primjer jednopolne šeme spoja odvoda



Slika 1.56. Principijelna šema spoja odvoda prikazanog na Slici 1.55.



Slika 1.57. Pojednostavljena trolpolna šema odvoda prikazanog na Slici 1.55.

Šeme djelovanja, osim glavnih strujnih kola s aparatima i vodovima, obuhvataju i signalna, mjerna i zaštitna kola s pomoćnim kolima.

Šema djelovanja daje sve informacije o rasporedu djelova VNRP, njihovoj povezanosti i načinu rada. Ona olakšava praćenje strujnih kola pri kvarovima. U trofaznom sistemu šema djelovanja, crta se troležno. U njoj su sadržane sve neophodne oznake. Dat je i prostorni raspored svih aparata i instrumenata, ali ne i njihov tačan položaj (fizički raspored).

Nakon izbora ovih šema, u drugoj fazi se vrši izbor šema sekundarnih strujnih kola za mjerenje, signalizaciju, komandovanje i upravljanje.

Kod velikih i složenih konfiguracija VNRP, ne mogu se uvijek lako pratiti pojedina strujna kola u šemi djelovanja. Da bi se omogućilo lakše praćenje strujnog toka pri kvarovima i da se predstavi raspored uključenja ili isključenja pojedinih aparata, crtaju se pregledne **razvijene šeme**. Razvijene šeme, naročito kod komplikovanih veza za komandovanje, signalizaciju, zaštitu, sinhronizaciju, blokiranje, automatsku regulaciju napona i sl., omogućavaju brz uvid u veze i funkcionisanje i veoma su korisne za pronalaženje kvarova. U ovim šemama provodnici se unose pravolinijski, bez ukrštanja.

Na osnovu šeme djelovanja izrađuje se šema vezivanja. Ona uzima u obzir i prikazuje prostorni smještaj aparata. U šemi su ucrtane sve stezaljke na aparatima, redne stezaljke od kojih polazi i na kojima se završavaju žile kablova, kao i kablovi za sve strujne krugove u VNRP. Za šemu vezivanja se kaže da je izvedbena šema. Na njoj se, pored ostalog, nalaze i oznake rednih stezaljki koje treba da se poklapaju s oznakama u postrojenju.

Djelovanje pomoćnih strujnih krugova obično se prikazuje posebnom vrstom šeme, tzv. **strujnom šemom**. Glavna svrha ovih šema je da omogućе jednostavnu i efikasnu kontrolu ispravnosti spoja. Pomoćnim strujnim kolima se: upravlja postrojenjem, vrše blokiranja neophodna za pravilno i bezbjedno funkcionisanje postrojenja i signalizira svaki položaj i promjena stanja u postrojenju. Strujna kola se, po mogućnosti, crtaju pravolinijski i bez ukrštanja, pri čemu se ne vodi računa o prostornom rasporedu i mehaničkoj povezanosti pojedinih djelova.

Da bi se ukazalo i na mehaničku povezanost pojedinih djelova, aparati i strujna kola se obilježavaju prema usvojenim pravilima i redosljedu. Radi kompletiranja šema, unose se i oznake svih stezaljki.

Strujna kola su, po pravilu, sistematski grupisana redom, prema njihovoj funkcionalnoj namjeni na sljedeća kola:

- komandna
- svjetlosna signalizacija

- zvučna signalizacija
- zaštitna
- mjerenje.

Komandne table/ploče u postrojenjima moraju biti tako projektovane i izvedene da osoblje koje njima rukuje ima što bolju preglednost i da lakše vrši manipulacije. Zbog toga se na njima crtaju tzv. **slijepe šeme**.

Na ovim šemama ucrtani su rasklopni aparati i pomoćni uređaji i njihove veze sa sabirnicama. Na Slici 1.58 dat je: a) izgled različitih tipova rasklopljivih aparata koji se najčešće srijeću u VNRP i b) jedna od mogućih šema komandne table/ploče.

Na ovim šemama mogu se nalaziti i svjetlosne oznake koje pokazuju stanje uključenosti (crveno svjetlo) i isključenosti (zeleno ili žuto svjetlo) pojedinih aparata. U principu, radi preglednosti i lakših manipulacija komandne ploče ne smiju biti pretrpane raznim instrumentima.

Da bi se šema pravilno pročitala, potrebno je dobro poznavati grafičke simbole kojima se predstavljaju pojedini elementi i njihove funkcije u kojima (Tabela 1.3).

Pri koncipiranju šeme postrojenja neophodno je voditi računa o tome da je za pojedine elemente postrojenja, iz preventivnih razloga, predviđen redovni remont. Obavljanjem remonta pojedinih elemenata, poželjno je da se drugi elementi mogu držati u pogonu. Zato je izabranom šemom neophodno omogućiti sigurno izolovanje elemenata koji su van pogona od ostalih djelova postrojenja koji su pod naponom.



Slika 1.58. a) izgled različitih tipova rasklopljivih aparata koji se najčešće srijeću u VNRP, b) jedna od mogućih šema komandne table/ploče

Najčešće se, radi bolje preglednosti i lakšeg praćenja rada i održavanja, prilikom razmatranja pojedinih djelova VNRP, ucrtavaju samo oni aparati koji su značajni za trenutno posmatranje i analize. Izostavljaju se oni elementi koji u konkretnom slučaju ne utiču na razmatrani problem.

VNRP, naročito ona koja povezuju mreže najviših naponskih nivoa (110–750 kV), karakterišu se velikim instalisanim snagama i velikim brojem odvoda (na jednom ili oba naponska nivoa). Vrsta i broj primijenjenih uređaja i instrumenata u pojedinim odvodima zavise od instalisane snage i njihove uloge. Zato ne postoje opšta pravila koja određuju vrstu primijenjene zaštite i mjerenja.



Praktično nije moguće imati na jednom mjestu nacrtane sve potrebne šeme spojeva za sve slučajeve koji se mogu javiti u praksi. Međutim, važno je poznavati opšte principe i mogućnosti izvedbe za pojedine djelove postrojenja i držati se njih u kasnijem kompletiranju i analizi svakog pojedinačnog konkretnog slučaja.

Data je samo po jedna jednostavna konfiguracija za svaki od osnovnih djelova postrojenja. Na osnovu poznavanja osnovnih djelova postrojenja, relativno lako je nacrtati bilo koju složenu šemu spoja, koristeći principijelne šeme pojedinih djelova postrojenja i slažući ih kao „slogove“ u zavisnosti od realne šeme.

1.5.1. Šeme spoja pojedinih djelova postrojenja



Prostor u VNRP koji zauzimaju uređaji preko kojih se određeni element postrojenja, radi dovođenja ili odvođenja radnih struja, priključuje na sabirnice naziva se:

- **polje** (kod postrojenja na otvorenom) ili
- **ćelija** (kod zatvorenih postrojenja, u zgradama).

U zavisnosti od elementa koji se vezuje na sabirnice, razlikuju se:

- dalekovodno polje/ćelija
- transformatorsko polje/ćelija
- polje/ćelija sekcionog prekidača
- spojno polje/ćelija
- mjerno polje/ćelija i sl.

1.5.1.1 Šeme priključka odvoda

Svaki odvod se, u VNRP u kome postoje sabirnice, priključuje na njih preko rastavljača koji se naziva **sabirnički rastavljač**. Iza sabirničkog rastavljača (posmatrano od strane sabirnica), priključuju se svi ostali aparati (prekidači, osigurači, energetska i mjerni transformatori i sl.). Redosljed ostalih aparata i njihova upotreba zavise od vrste odvoda i od njegove uloge u mreži i VNRP.



Dalekovodno polje/ćelija, koje čine prekidač, rastavljači i mjerni transformatori, može biti priključeno na jednostruki ili dvostruki (višestruki) sistem sabirnica.

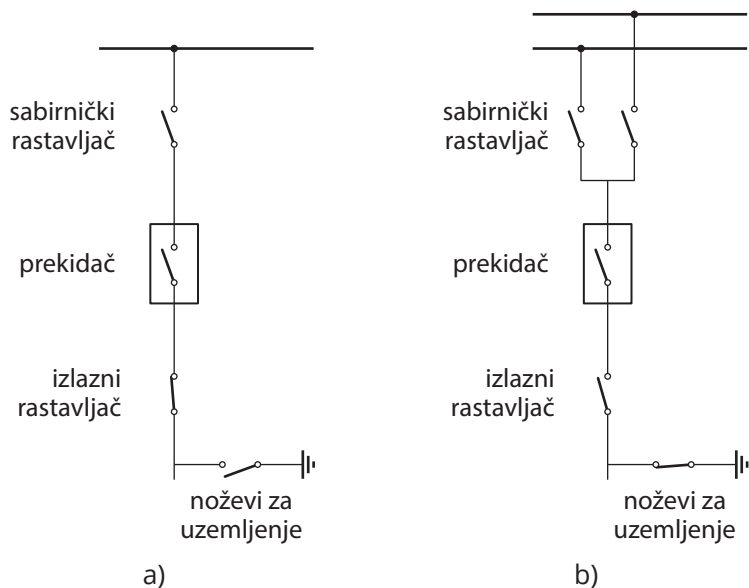
U manjim VNRP s malim brojem odvoda, dovoljne su jednostruke sabirnice (najjednostavnija izvedba prikazana je na Slici 1.59a). Ovaj način priključka je najjednostavniji i najjeftiniji, ali i najmanje pouzdan. U tom slučaju svaki rad ili kvar na elementima u polju i svaki kvar na sabirnicama zahtijeva obustavu pogona cijelog VNRP. Tada svi odvodi ostaju bez napona, a potrošači priključeni na to VNRP bez energije.

Rastavljači su u odvodu vazdušnog voda ili kabla (sabirnički rastavljač i izlazni rastavljač) ugrađeni s obje strane prekidača, čime je pri remontu ili opravci prekidača omogućeno njegovo izdvajanje iz šeme. Rastavljač za uzemljenje na strani voda koristi se kao zaštita kod radova na vodu.

Da bi se omogućilo vidljivo rastavljanje VNRP od vazdušnog voda ili kabla, ugrađuje se u polje/ćeliju izlazni rastavljač. Kada je izlazni rastavljač isključen, omogućen je pregled i popravak prekidača bez opasnosti iz isključenog voda, nezavisno od toga da li opasni napon dolazi iz elektrane na drugom kraju voda ili je on posljedica atmosferskih pražnjenja.

Obično se na istom postolju s izlaznim rastavljačem ugrađuju i noževi za uzemljenje. Njihova osnovna namjena je da neposredno spoje krajeve vazdušnog voda ili kabla sa zemljom. Zadatak im je da zaštite osoblje pri radovima, odvedeći naelektrisanje koje je preostalo na vodu ili kablju nakon njihovog isključenja, kao i da odvedu naelektrisanje koje bi se moglo pojaviti na njima za vrijeme prekida pogona. Noževi za uzemljenje su obično mehanički spojeni s noževima izlaznog rastavljača, čime je omogućeno njihovo jednovremeno uključanje.

Za povećanje pouzdanost i izbjegavanje čestih prekida pogona, koriste se komplikovanije šeme koje imaju veći broj elemenata. Time se povećava elastičnost postrojenja, ali uz povećane investicije.



Slika 1.59. Priključak odvoda na: a) jednostruke, b) dvostruke sabirnice

! Sistemom dvostrukih sabirnica (najjednostavnija izvedba je data na slici 1.59b) znatno se povećava elastičnost u pogonu, što je i njihova glavna prednost. Njihovom ugradnjom povećava se i sigurnost u pogonu i omogućava čišćenje i popravak jednog sistema sabirnica, a da se ne prekida napajanje drugog sistema sabirnica.

Osnovna razlika u odnosu na jednostruke sabirnice je postojanje dva sabirnička rastavljača koji omogućavaju da se svaki odvod može priključiti na jedan ili drugi sistem sabirnica. I u ovom slučaju postoje komplikovanije šeme s većim brojem dodatnih elemenata kojima se povećava sigurnost, elastičnost pogona i pouzdanost rada, ali i potrebne investicije.

Priključci odvoda predstavljeni na Slici 1.59 tretiraju se kao najjednostavnija i najjeftinija izvedba s jednim prekidačem po odvodu. Složenije šeme izvode se po istom principu. One su, u principu, znatno pouzdanije i sigurnije, ali i zahtijevaju veće investicije.

Kod potrošača koji ne dozvoljavaju prekid u snabdijevanju električnom energijom, postrojenje može biti izvedeno i sa sistemom trostrukih sabirnica (veoma skupa varijanta).

Radi dobijanja potpunije slike o stvarnom izgledu mreže, nešto potpunija i komplikovanija jednopolna šema odvoda vazdušnog voda priključenog na jednostruke sabirnice, data je na Slici 1.60.

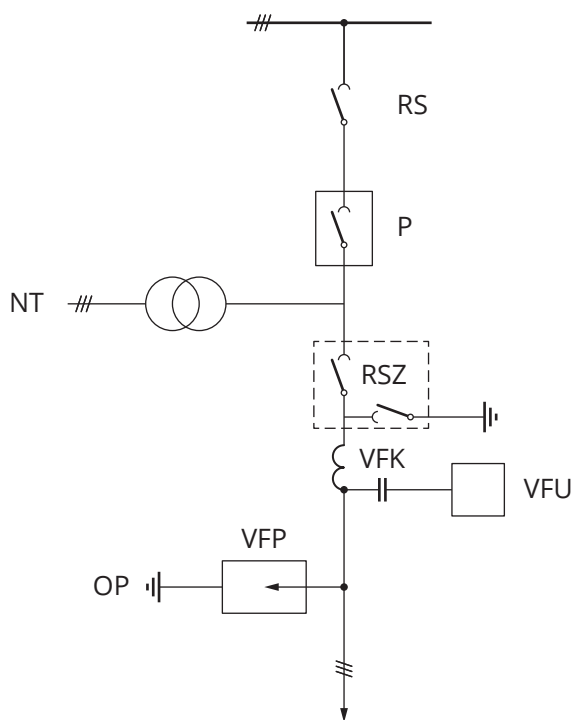
Radi zaštite VNRP od prenapona, u svaki odvod vazdušnog voda (u svaku fazu) ugrađuje se odvodnik prenapona (OP). Za mjerenje napona voda i prije nego je prekidač uključen (da bi se znalo da li je vod pod naponom), iza prekidača P (gledano sa strane sabirnice) postavljaju se naponski transformatori (NT) koji se najčešće priključuju neposredno na vod. Oni nijesu potrebni ako je vazdušni vod ili kabl priključen na mrežu u kojoj nema izvora energije. Tada se napon mjeri transformatorima u mjernom polju.

Ukoliko se visokonaponski vodovi koriste i za prenos razgovora, signala, mjerenja i sl., iza izlaznog linijskog rastavljača sa zemljospojnikom (RSZ), u jednu fazu voda postavljaju se:

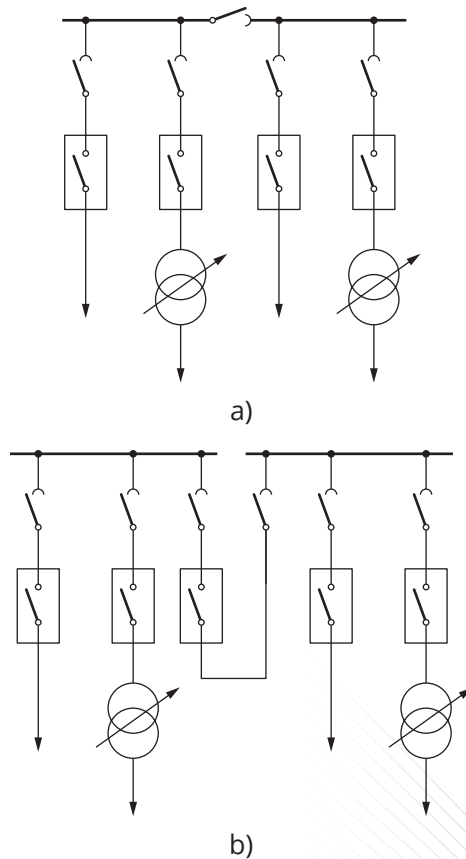
- visokofrekventna prigušnica (VFP) koja omogućava sprečavanje širenja visokofrekventnih impulsa po cijeloj mreži
- visokofrekventni kondenzator (VFK) koji omogućava slanje u visokonaponski vod i primanje iz visokonaponskog voda visokofrekventnih struja i sprečava struje 50 Hz da dođu u VFU.

Oni služe za obavljanje visokofrekventnog saobraćaja preko uređaja VFU, čime je komunikacija omogućena i kada vod nije u pogonu.

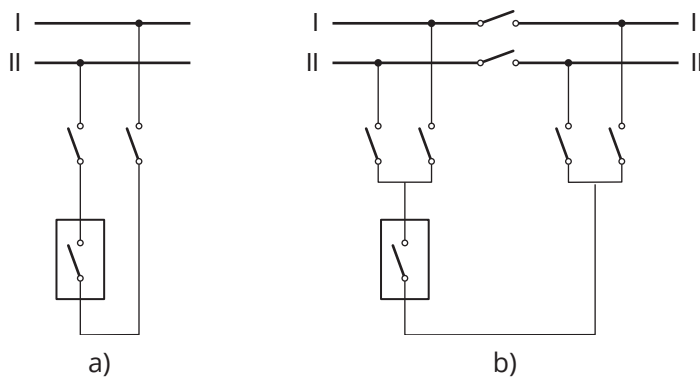
Ugradnjom sekcionog rastavljača A (Slika 1.61a) ili sekcionog prekidača B (Slika 1.61b) s pripadajućim rastavljačima (što je skuplje rješenje), sabirnice se mogu podijeliti (sekcionisati) na dva dijela. Ovaj proces se odvija u polju/ćeliji sekcionog prekidača/rastavljača. U slučaju kvara na jednoj od sabirničkih sekcija, ona se rastavljačem (ili rastavljačima i prekidačem) odvaja od ispravne, koja se poslije odvajanja može ponovo pustiti u pogon. Na ovaj način se, uz povećane investicije, skraćuje vrijeme ispada ispravne sekcije. Sekcionisanjem sabirnice ograničavaju se struje kratkog spoja, a takođe i povećava fleksibilnost i pouzdanost pogona.



Slika 1.60. Složenija jednopolna šema odvoda vazdušnog voda



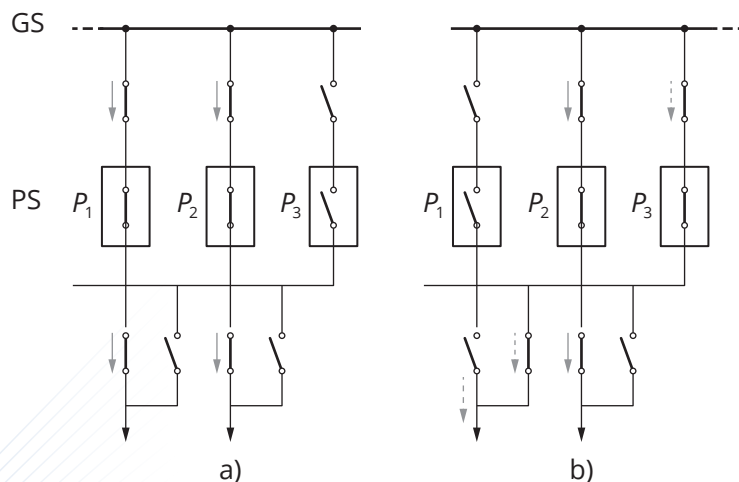
Slika 1.61. Jednostruke sabirnice sekcionisane:
a) uzdužnim rastavljačem, b) prekidačem



Slika 1.62. Šema spojnog polja u VNRP s dvostrukim sistemom sabirnica:
 a) neseccionisane sabirnice, b) seccionisane sabirnice

Spojno polje/ćelija ugrađuje se i u VNRP s dvostrukim (sistem sabirnica I i II na Slici 1.62) i višestrukim sabirnicama (izvedba s jednim prekidačem po odvodu). Spojno polje kada sabirnice nijesu seccionisane prikazano je na Slici 1.62a, dok je primjer spojnog polja za slučaj seccionisanja sabirnice pomoću rastavljača prikazan na Slici 1.62b. Osnovna funkcija spojnog polja je da omogući spajanje dva sistema sabirnica, odnosno da omogući prebacivanje napajanja izvoda s jednog na drugi sistem sabirnica. Međutim, u praksi se koristi i za različite namjene (kao rezervni prekidač u bilo kojem odvodu, kao prekidač za paralelno spajanje generatora u elektrani ili djelova mreže i sl.).

U VNRP s jednostrukim sabirnicama, ugradnjom rezervnog prekidača (u spojnom polju) preko **pomoćnih sabirnica** (jednostavnim uključanjem rastavljača), omogućeno je njegovo uključenje u bilo koji odvod. Na taj način može se tokom remonta prekidača obezbijediti neprekidno napajanje.



Slika 1.63. Priključak odvoda na jednostruke sabirnice u VNRP s pomoćnim sabirnicama:
 a) u normalnom pogonu, b) u slučaju kvara

Na slici 1.63 prikazan je priključak odvoda na jednostruke sabirnice u VNRP s pomoćnim sabirnicama: a) položaj rastavljača u normalnom pogonu, b) položaj rastavljača u slučaju kvara na prekidaču P_1 . Postupak je identičan pri kvaru prekidača na bilo kom odvodu. Za vrijeme remonta (npr. prekidača P_1), odgovarajući odvod vezuje se na pomoćne sabirnice (PS), koje se napajaju s glavnih sabirnica (GS), preko rezervnog prekidača (P_R) koji na sebe preuzima zaštitu odvoda čiji se prekidač remontuje.

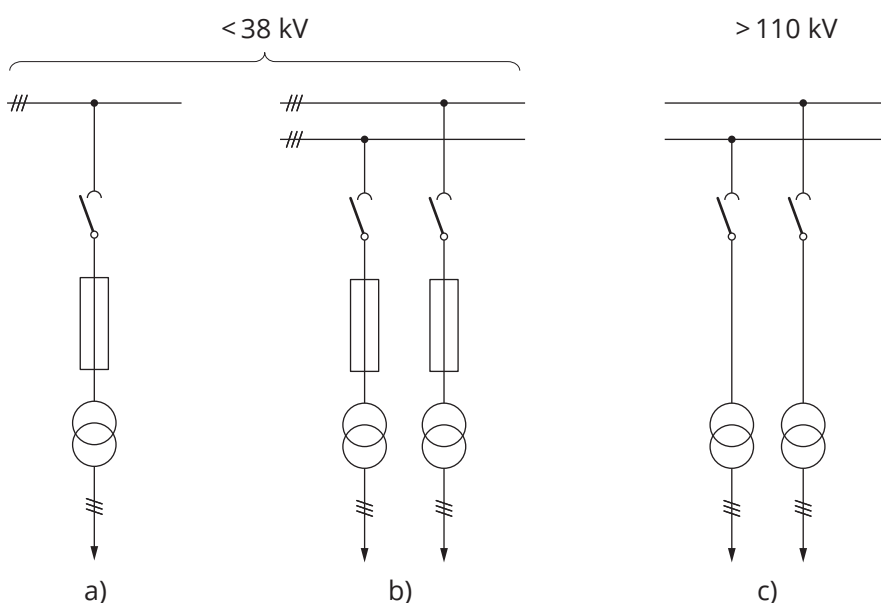
Pomoćne sabirnice, pored svojih prednosti, čine postrojenje složenijim, skupljim, manje preglednim i povećavaju mu dimenzije.

Mjerno polje/ćelija omogućava priključak svih mjernih instrumenata i zaštitnih releja na sabirnice. U jednom postrojenju postoji onoliko mjernih polja koliko ima sabirnica. Napon na sabirnicama mjeri se naponskim transformatorima koji se preko mjernog polja priključuju na sabirnice. Pri tome se na svaki sistem sabirnica postavlja poseban slog/komplet naponskih transformatora (slika 1.64).

Po pravilu se naponski transformatori priključuju na sabirnice preko sabirničkih rastavljača.

Ukoliko postoje osigurači za naznačeni napon sabirnica (do 35 kV), naponski transformatori se priključuju i preko osigurača (Slika 1.64a i Slika 1.64b).

Kako za napone veće od 110 kV ne postoje osigurači, to se naponski transformatori na sabirnice napona većeg od 110 kV priključuju samo preko sabirničkog rastavljača (Slika 1.64c).

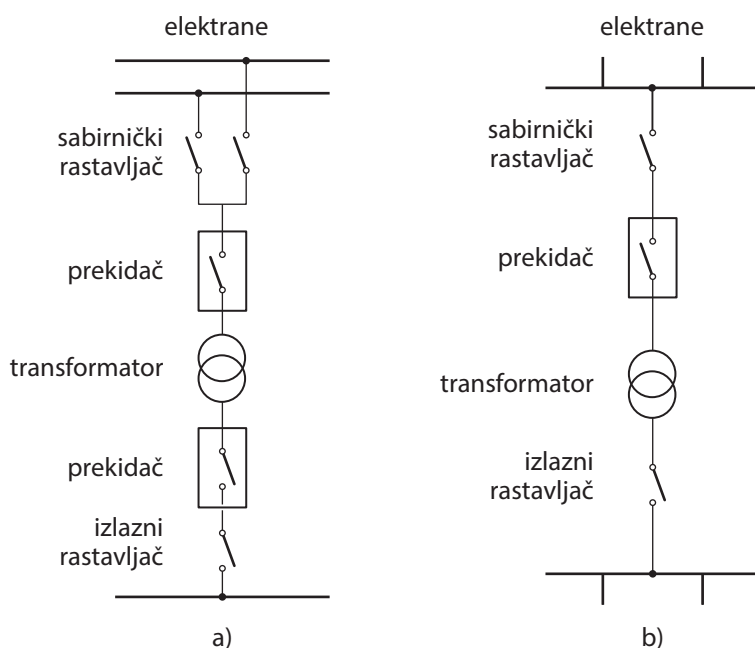


Slika 1.64. Šema spoja naponskih transformatora na sabirnice VNRP

Od mjernih uređaja u mjernom polju potrebni su: tri voltmetra za mjerenje faznih napona i voltmetar s prebacivačem za mjerenje linijskih napona (za svaki sistem sabirnica posebno). Poželjna je primjena frekvencmetra za mjerenje frekvencije i registrujućeg voltmetra za mjerenje i registrovanje napona.

U VNRP s više sistema sabirnica, mjerna polja se izvode za svaki sistem sabirnica. Ako se sabirnice sekcionišu, mjerna polja se postavljaju na sve sekcije sabirnica.

Kako transformator povezuje sabirnice različitih napona, to u **transformatorskom polju/čeliji** treba na obje strane transformatora predvidjeti aparate za uključenje i isključenje (Slika 1.65a). Ako u VNRP postoje dva ili više transformatora koji rade paralelno, ili ako s obje strane transformatora postoje elektrane a u VNRP je samo jedan transformator, potrebno je s obje strane transformatora predvidjeti prekidače koji će biti u stanju da prekinu struju kratkog spoja u slučaju kvara u transformatoru.



Slika 1.65. Različite šeme spoja transformatora:
a) sa dva prekidača, b) s jednim prekidačem

Ukoliko u VNRP postoji samo jedan transformator, i ako se napajanje može vršiti samo s jedne strane, dovoljno je postaviti prekidač samo na strani dovoda energije (Slika 1.65b). U tom slučaju, isključenjem prekidača biće prekinuta struja kratkog spoja u transformatoru ili na sabirnicama sekundarne strane. Samo u slučaju kada je rastavljačem moguće prekinuti struju praznog hoda (malu), osiguranje transformatora male snage može se postići i ako se umjesto ovog prekidača upotrijebe osigurači.

1.5.2. Šeme pomoćnih strujnih krugova



U VNRP pored glavnih strujnih krugova postoji veliki broj pomoćnih strujnih krugova, tzv. sekundarna kola, koji služe za upravljanje, zaštitu, signalizaciju, blokiranje i sl.

Dobro projektovanje i izvođenje, kao i kvalitetno održavanje pomoćnih strujnih krugova, od velike su važnosti za ispravno funkcionisanje svakog VNRP.

Sekundarna kola u VNRP služe za povezivanje elemenata koji formiraju sisteme za:

- zaštitu energetskih elemenata VNRP
- upravljanje i komandovanje rasklopnim aparatima
- mjerenje
- signalizaciju i nadzor i sl.

Klasični sistemi za zaštitu, upravljanje, komandu, signalizaciju, mjerenje i nadzor zasnivaju se na primjeni sljedećih uređaja i opreme:

- elektromehaničkih i statičkih zaštitnih releja
- elektromehaničkih i statičkih pomoćnih releja
- analognih i digitalnih mjernih i registrujućih instrumenata
- raznih tastera, niskonaponskih prekidača, ožičenja (komandno-signalni kablovi).

Struktura ovih sistema zavisi od naponskog nivoa, značaja i tipa VNRP. Sekundarna oprema montira se, u principu, u komandnoj zgradi postrojenja.

Savremeni sistemi sekundarnih strujnih kola, po pravilu, sastoje se iz većeg broja računara povezanih u računarske mreže, kao i zaštitnih terminala i hardverskih uređaja sa zaštitnim funkcijama i kontrolnih terminala i hardverskih uređaja s upravljačko-komandnim i blokadnim funkcijama i sl. Sistem zasnovan na digitalnoj tehnologiji poznat je pod nazivom SCADA i on je računarskom mrežom povezan s dispečerskim centrima elektroprivrede.

SCADA

Supervising, Control And Data Acquisition – sistem za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka

U pomoćnim strujnim krugovima koriste se posebne vrste kontakata (potpoglavlje 7.2.2 Vrste releja). To su uglavnom kontakti s ručnim i automatskim vraćanjem u početni položaj, kao i izbirni kontakti s automatskim vraćanjem u srednji položaj. Koriste se i poluautomatski kontakti, odnosno kontakti koji se ručno vraćaju u početni položaj.

Pošto kontakti zaštitnih releja nijesu izvedeni da mogu izdržati potrebne struje (pri uključenju i isključenju prekidača i sl.), niti imaju dovoljno kontakata da bi mogli izvršiti potreban broj radnji, za prenos impulsa zaštitnih releja na uređaje za upravljanje i signalizaciju koriste se pomoćni releji. Korišćenjem pomoćnih releja povećava se snaga uključenja/isključenja, uz jednovremeno povećanje broja pomoćnih strujnih krugova na koje treba da djeluje zaštitni relej. Ponekad se izvode pomoćni releji s optičkom signalizacijom koja obavještava koji je relej reagovao. U principu, pomoćni releji se izvode s raznim načinima signalizacije i s raznim brojem i vrstama kontakata.

Izbor šema sekundarnih strujnih kola za mjerenje, signalizaciju, komandovanje, zaštitu i upravljanje, vrši se nakon izbora šema glavnih strujnih krugova.

Mjerenje, vrste mjerenja i karakteristike uređaja za mjerenje u VNRP su detaljno data i objašnjena u poglavlju 7 Mjerenje i relejna zaštita u VNRP.

1.5.



1. Nabroj vrste i navedi osnovne karakteristike šema spoja u VNRP.
2. Usporedi šeme spoja glavnih i pomoćnih strujnih krugova.
3. Objasni potrebu postojanja šema strujnih kola mjerenja, komandovanja, zaštite i signalizacije.
4. Nacrtaj šemu priključka VN odvoda.

1.6. Prostorni raspored – dispozicije elemenata razvodnih postrojenja

Prostorni raspored – dispozicije elemenata VNRP zavisi od velikog broja faktora i okolnosti. Ključni faktori koji utiču na dispoziciju postrojenja su:

- naznačeni napon – U_n
- struja trofaznog kratkog spoja na mjestu postavljanja postrojenja – I''_{3ks}
- zahtjevi koji se odnose na zaštitu od električnog luka i dodira
- preglednost i mogućnost kontrole u pogonu
- raspoloživi prostor za izgradnju
- tip postrojenja
- šeme spoja postrojenja
- ambijentalni uslovi i sl.

U prošlosti, važan faktor je bio i tip prekidača. Međutim, s razvojem savremenih tipova prekidača i poboljšanjem njihove konstrukcije i karakteristika, njihov tip ne utiče značajnije na izvođenje postrojenja.

Kada je riječ o izvedbi sredjenaponskih (napona do 35 kV) i visokonaponskih (napona većeg od 35 kV) postrojenja, postoji znatna razlika između ova dva tipa postrojenja.

U zavisnosti od struje trofaznog (tropolnog) kratkog spoja na mjestu postavljanja postrojenja, postoje četiri osnovne grupe otvorenih postrojenja:

- grupa A: $I''_{3ks} \leq 15 \text{ kA}$
- grupa B: $15 \text{ kA} < I''_{3ks} \leq 30 \text{ kA}$
- grupa C: $30 \text{ kA} < I''_{3ks} \leq 60 \text{ kA}$
- grupa D: $I''_{3ks} > 60 \text{ kA}$.

Značajne razlike u izvođenju postrojenja za srednji napon uslovljene su različitim zahtjevima koji se odnose na zaštitu od luka.

U praksi postoje izvedbe postrojenja bez ikakvih zaštitnih pregrada (između vodova, između sabirnica i rastavljača, prema prolazima i hodnicima i sl.) od materijala otpornog na djelovanje luka. Nasuprot njima postoje i potpuno oklopljena postrojenja (oklopljena željeznim limom ili oklopom od livenog željeza), pri čemu oklop služi za zaštitu od luka i dodira. Postoje i rješenja koja se nalaze između ove dvije krajnosti.

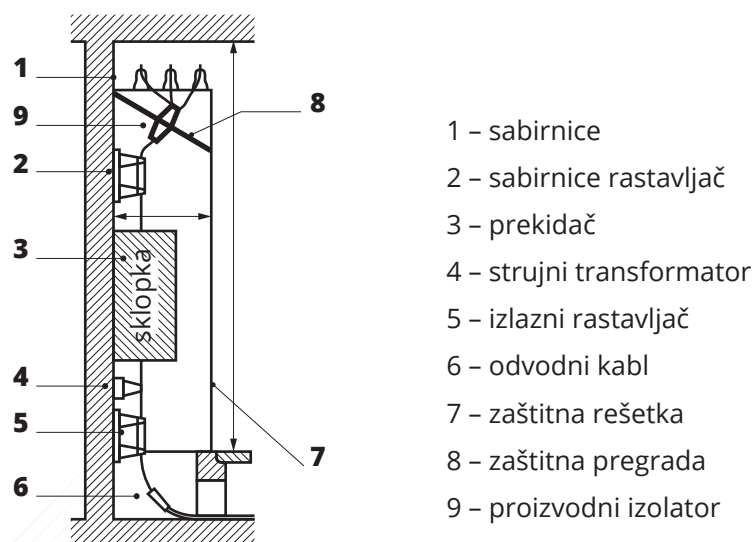
Postrojenja bez pregrada i ona s vatrostalnim pregradama ubrajaju se u tzv. otvorena postrojenja. Postrojenja za srednje napone (do 35 kV) izvode se i kao otvorena i kao oklopljena. Zbog znatno manje opasnosti od luka (veći izolacioni razmaci i manje struje kratkog spoja), visokonaponska postrojenja (za napone iznad 35 kV) izvode se samo kao otvorena, i to bez ikakvih pregrada.

Najveću preglednost i mogućnost kontrole pružaju VNRP bez ikakvih pregrada. Ova postrojenja su najjednostavnija i najjeftinija. Međutim, s obzirom na opasnost od luka, ona su i najmanje sigurna, a pružaju i najslabiju zaštitu pri dodiru.

Ukoliko su poznati osnovni principi u izradi i izvođenju raznih tipova postrojenja, karakteristike pojedinih elemenata i principi za izvođenje prostornog rasporeda, lako se mogu prikazati i izvesti i detaljnije, složenije i kompletnije šeme postrojenja.

Poprečni presjek ćelije vazduhom izolovanog otvorenog srednjenaponskog postrojenja grupe B, s jednostrukim sabirnicama, prikazan je na Slici 1.66. Pošto su za grupu B struje kratkog spoja veće, da bi se zaštitile sabirnice od djelovanja luka u slučaju otvaranja opterećenih rastavljača, između rastavljača i sabirnica postavlja se izolaciona pregrada 8 (tzv. lukobran).

U posmatranom slučaju veza između postrojenja i vodova je izvedena kablom, pa su rastavljač u odvodu i kablovska glava smješteni u donjem dijelu postrojenja (veza postrojenja i vodova visokog napona može biti izvedena i vazдушnim vodom, kada je ćelija drugačije organizovana).



Slika 1.66. Poprečni presjek ćelije kablovskog odvoda postrojenja grupe B

Smještaj svih uređaja je uz zid (s jednim hodnikom), čime se u slučaju postrojenja s jednostrukim sabirnicama znatno smanjuju potrebne građevinske površine.

VNRP oklopljena limom imaju određene prednosti u odnosu na otvorena postrojenja: manju potrebnu površinu, dobru zaštitu od dodira i prašine, lakše proširenje i premještanje cijelog postrojenja, brzu i jednostavnu montažu, mogućnost postavljanja i u prostorijama koje su pristupačne i nekvalifikovanom osoblju i sl.

Oklopljena postrojenja izvode se kao postrojenja za unutrašnju montažu (u zgradama) i postrojenja za spoljašnju montažu (na otvorenom). Razlika među njima je samo u vrsti oklopa (zaštita od atmosferskih uticaja). Mogu imati fiksno montirane aparate ili pokretne aparate (tzv. varijanta s izvlačivim ćelijama).

Zbog toga što izvedba VNRP s pokretnim aparatima omogućava konstrukciju bez rastavljača (prekidač preuzima i ulogu rastavljača), moguće je, uz povećanu cijenu, znatno smanjiti gabarite njegovih ćelija. Prednost ove varijante je i u tome što u njima nije moguća pogrešna manipulacija i kod nje su sabirnice zaštićene od neželjenog dodira i prašine.

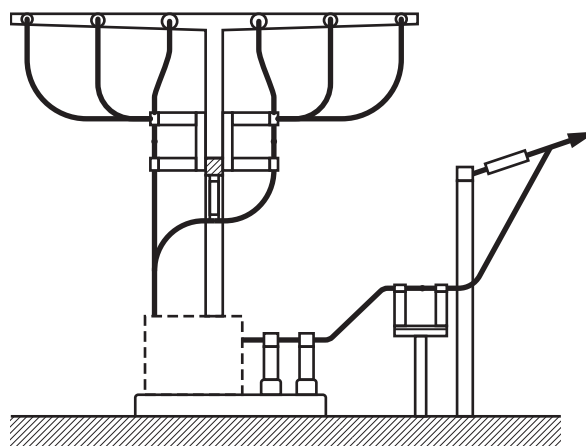
Visokonaponska metalom oklopljena i gasom SF6 izolovana postrojenja se, zbog značajnog broja prednosti, uglavnom koriste za visoke napone (od 110 do 380 kV). Glavne prednosti su:

- zahtijevaju mnogo manje prostora od klasičnih
- na sabirnicama se oklop izrađuje jednostavno, što praktično onemogućava pojavu kratkih spojeva između faza
- oklop je od aluminijske legure, pa je postrojenje mnogo lakše od standardnog
- zahtijevaju minimalan rad na održavanju, zahvaljujući velikom intervalu između revizija
- na mjestu ugradnje veoma lako se mogu zamjenjivati pojedine komponente i sl.

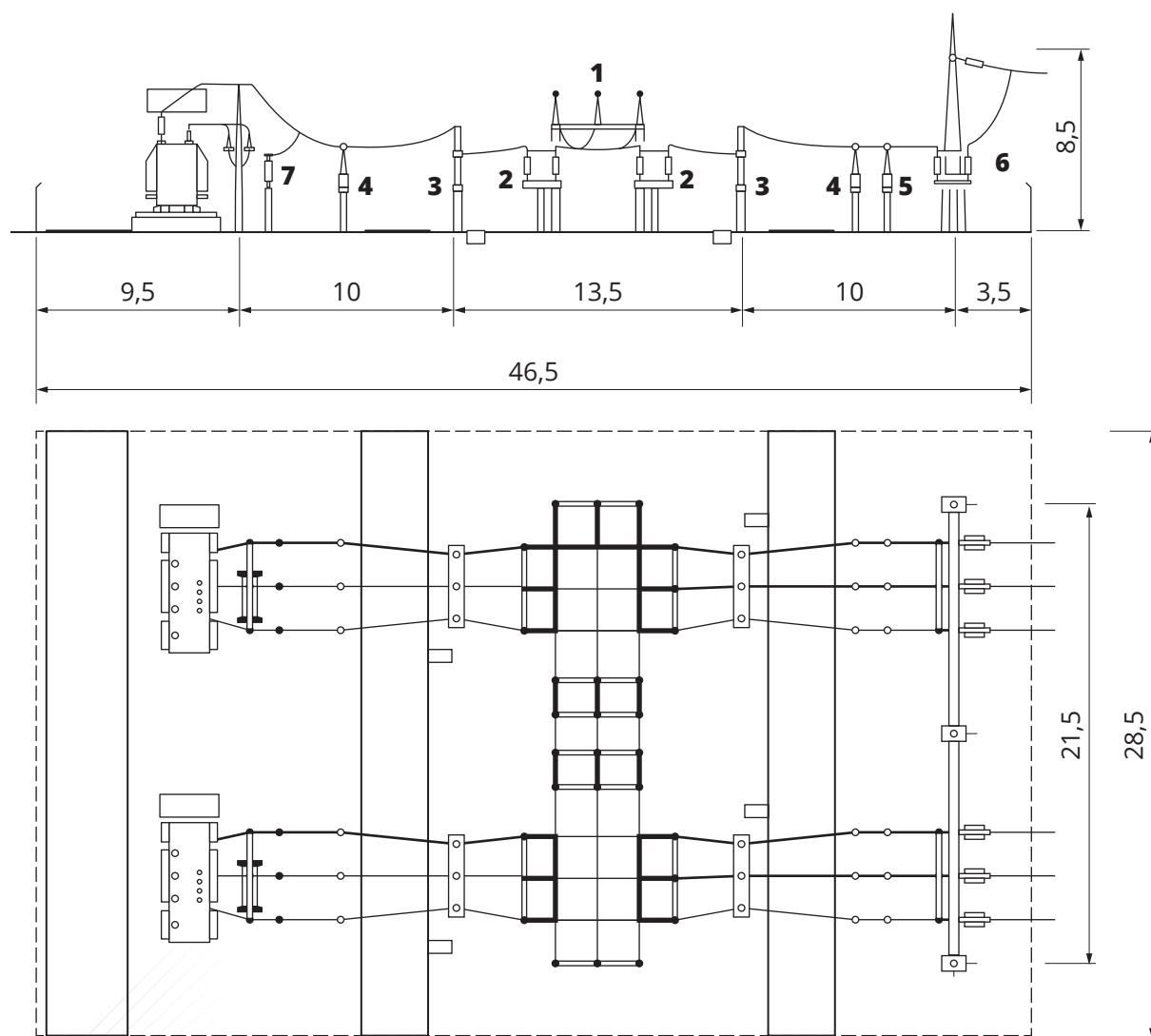
Postoji veliki broj izvedbi VNRP visokog i najvišeg napona, i ona se izrađuju na otvorenom prostoru. Kod svih je prisutna težnja da se smanje potrebne investicije, poboljšaju pogonska svojstva, smanji potreban prostor, kao i da se omogućí njihova upotreba za, u posljednje vrijeme, sve izraženije posebne ili specifične zahtjeve.

Na Slici 1.67 data je tzv. „visoka izvedba“ VNRP, koja je veoma slična postrojenjima srednjeg napona. Obično se koristi samo za slučajeve kada se raspolaže ograničenom površinom terena (npr. kod elektrana u uskim kanjonima i sl.).

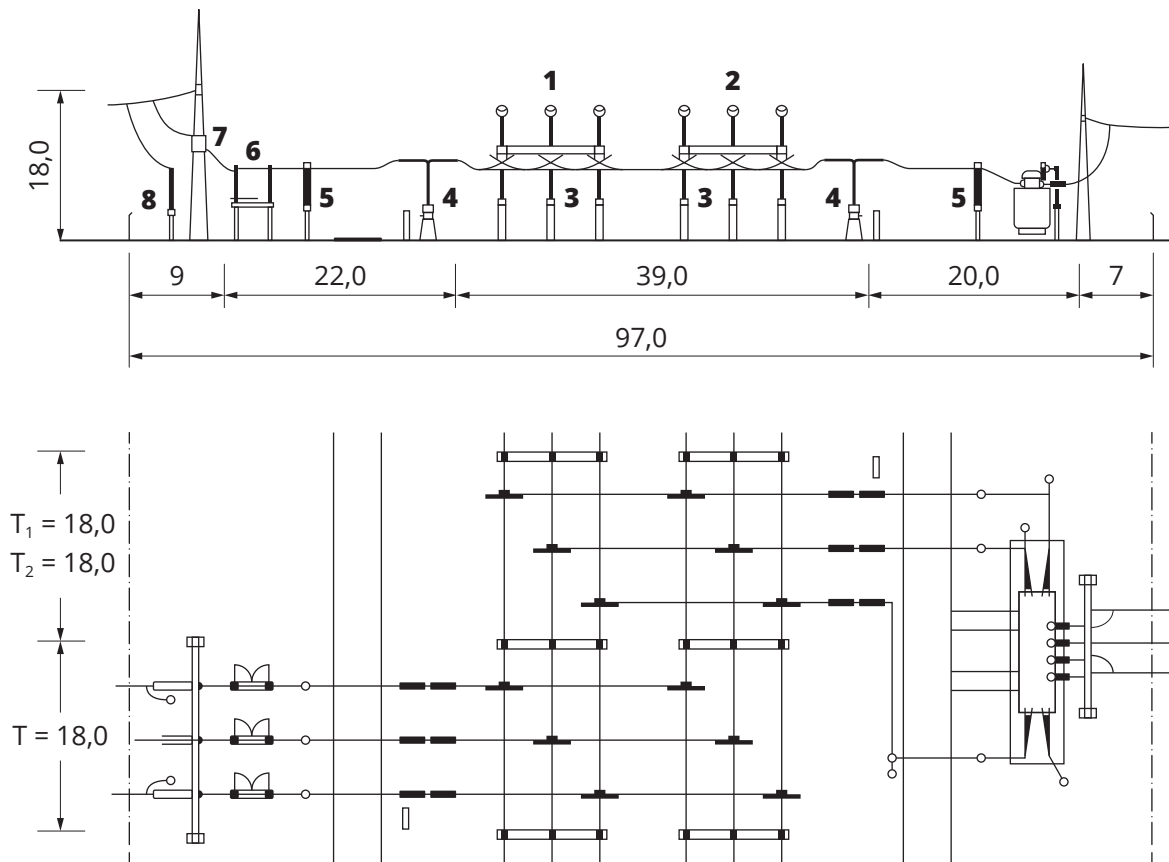
Na Slici 1.68 prikazana je dispozicija 110 kV distributivne TS na otvorenom prostoru (H-šema), dok je na Slici 1.69 data dispozicija 380 kV postrojenja na otvorenom prostoru sa dva sistema cijevnih sabirnica.



Slika 1.67. Visoka izvedba VNRP najviših napona



Slika 1.68. Dispozicija 110 kV distributivne TS na otvorenom prostoru: 1. sabirnice, 2. sabirnički rastavljač, 3. prekidač, 4. strujni transformator, 5. naponski transformator, 6. izlazni (mrežni) rastavljač u odvodnom polju, 7. odvodnik prenapona



Slika 1.69. Dispozicija 380 kV postrojenja na otvorenom prostoru s dva sistema cijevnih sabirnica: 1. sistem sabirnica I, 2. sistem sabirnica II, 3. sabirnički rastavljač, 4. prekidač, 5. strujni transformator, 6. mrežni rastavljač, 7. mreža, 8. kapacitivni naponski transformator

Radi zaštite od dodira, propisima su određeni najmanji razmaci (preskočne daljine) djelova pod naponom (Tabela 1.2). Propisi takođe definišu i najmanje visine nezaštićenih provodnika nad podom u hodnicima, pristupnim prostorijama ili pristupnim stazama, kao i najmanje razmake između provodnika i ograde, mreže ili limenih pregrada. Propisi definišu i najmanje širine hodnika koji mogu služiti samo za nadzor ili za posluživanje i nadzor.

1.6.



1. Objasni značaj prostornog rasporeda elemenata razvodnih postrojenja.
2. Navedi osnovne faktore koji utiču na dispoziciju postrojenja.
3. Nacrtaј prostorni raspored ćelije kablovskog odvoda postrojenja grupe B.
4. Nacrtaј dispoziciju VNRP najviših napona.

2.

Karakteristike i princip rada transformatora

Za određenu snagu naizmjenične struje ($P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$) struja (I) je utoliko manja ukoliko je napon (U) viši. To znači da se podizanjem napona može prenijeti ista snaga s manjom jačinom struje.

Kako od struje zavise presjeci provodnika i gubici, nastoji se da napon bude što viši kad god je to moguće. Manja jačina struje omogućava smanjenje presjeka provodnika, što znači manje padove napona (gubitke) na dugačkim dalekovodima (jer je pad napona srazmjeran jačini struje kroz provodnik) i manji utrošak materijala za provodnike (bakra ili aluminijuma).

U elektroenergetskim sistemima je, radi sigurnosti korisnika, napon kod potrošača relativno nizak (220 V odnosno 400 V).

Zbog značajnih naprezanja koja za više napone zahtijevaju visok nivo izolacije (što u većini slučajeva ne bi bilo ekonomski opravdano), napon generatora u elektranama ograničen je na nivo srednjeg napona (najčešće od 3 kV do 21 kV).

Da bi se električna energija ekonomično prenijela na veće daljine, koriste se znatno viši naponi, na primjer: 10, 35, 110, 220, 400 kV i viši, zavisno od daljine prenosa. Veće udaljenosti zahtijevaju više prenosne napone (prenosni naponi: 110, 220, 400 kV i više), dok se prenos na kraće udaljenosti može ostvarivati i nižim naponima (distributivni naponi: 10, 20, 35 i ponegdje 110 kV).

Radi uklapanja različitih napona generatora, prenosa, distribucije i potrošnje u jedan sistem, potreban je elektroenergetski uređaj koji će rasploživi napon podizati ili spuštati, odnosno koji će električnu energiju jednog napona i odgovarajuće struje transformisati u električnu energiju drugog napona i njemu odgovarajuće struje. Tu funkciju u EES-u obavljaju **elektroenergetski transformatori**.

Elektroenergetski transformatori su električni uređaji bez pokretnih djelova koji međuinuktivno povezuju dva (ili više) električna kruga naizmjenične struje. Oni naizmjeničnu struju zadatog električnog napona pretvaraju u naizmjeničnu struju višeg ili nižeg električnog napona, iste frekvencije.

Transformatori su uređaji koji koriste poznati princip elektromagnetne indukcije, na osnovu koga se naizmjenična struja jedne jačine i napona može pretvoriti u naizmjeničnu struju iste frekvencije, a druge jačine struje i napona.

★★★ Prvi transformator sa zatvorenim magnetnim jezgrom prikazan je na izložbi inovacija u Budimpešti 1885. (Károly Zipernowsky, Miksa Déry i Otto Titusz Bláthy, mađarski inženjeri u fabrici Ganz). Prvi trofazni transformator razvijen je 1889. (Mihail Osipovič Dolivo-Dobrovolski). Nikola Tesla izumio je 1891. rezonantni transformator, namijenjen stvaranju vrlo visokih napona uz visoku frekvenciju. Prema svom tvorcu dobio je i ime – Teslin transformator.

Kao elementi VNRP, i to prvenstveno sa aspekta njihove uloge u EES-u, transformatori koji se koriste za prenos i distribuciju električne energije, odnosno podizanje i spuštanje napona u procesu prenosa električne energije u okviru jedinstvenog EES-a, nazivaju se **elektroenergetski transformatori, transformatori snage** ili samo **transformatori (TR)**.

Elektroenergetski transformatori smještaju se u visokonaponska elektroenergetska postrojenja, odnosno transformatorsko-razvodna postrojenja ili transformatorske stanice. U funkcionalnom smislu predstavljaju njihov najznačajniji element.

Zbog veoma značajnih razlika kod postojećih visokonaponskih postrojenja, kako po visini naznačenog napona, tako i po njihovim sastavnim elementima i uređajima, oblik i mjesta postavljanja elektroenergetskih transformatora u različitim VNRP mogu biti veoma različiti. Na Slici 2.1 prikazani su energetske transformatori 380/110 kV i 110/20 kV u okviru jednog velikog izvedenog VNRP.



a)

b)

Slika 2.1. Energetski transformatori u sklopu VNRP: a) 400/110 kV, b) 110/20 kV



Slika 2.2. Trofazni uljni visokonaponski transformator 400/110 kV (prenosna mreža)



Slika 2.3. Trofazni uljni transformatori (distributivna mreža)

Trofazni uljni transformator za transformaciju napona u visokonaponskoj prenosnoj mreži dat je na Slici 2.2, dok su trofazni uljni transformatori za transformaciju napona u distributivnoj mreži prikazani na Slici 2.3.

2.1. Princip rada i konstrukcija transformatora

Transformator je jedan od najprostijih električnih uređaja. Njegov osnovni dizajn, materijali i principi su već odavno poznati i malo su se promijenili u posljednje vrijeme. Uglavnom se, zahvaljujući napretku tehnike i tehnologije, unapređuju i usavršavaju njegov dizajn i korišćeni materijali za njegovu izradu.

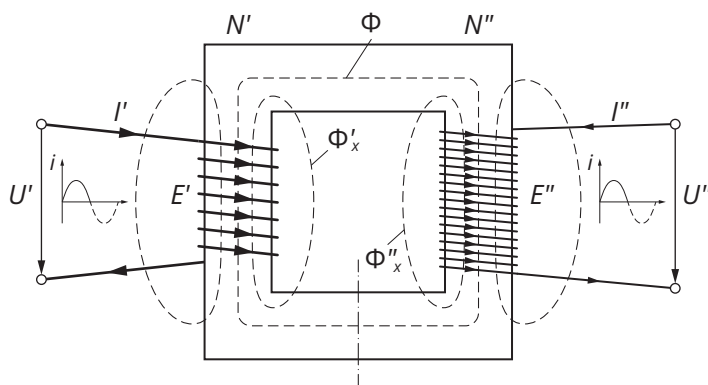
2.1.1. Princip rada transformatora

Elektroenergetski transformator je statička električna (elektromagnetna) mašina, odnosno električna mašina bez obrtnih djelova, čiji se rad zasniva na principu elektromagnetne indukcije.

Elektromagnetna indukcija je djelovanje magnetnog polja na provodnik kroz koji protiče električna struja.

Elektromagnetna indukcija stvara potencijalnu razliku (ili napon) u provodniku koji se nalazi u promjenljivom magnetnom polju. To je pojava nastajanja elektromotorne sile usljed promjene magnetnog fluksa. Promjena magnetnog fluksa kroz neku provodnu konturu izaziva kretanje naelektrisanja, odnosno električnu struju u toj konturi.

Princip rada transformatora, koji predstavljaju osnovu sistema prenosa i distribucije električne energije u EES-u, zasnovan je na induktivnom sprezanju kalemova i prenošenju energije iz jednog (primarnog) kola u drugo (sekundarno) kolo (Slika 2.4).



Slika 2.4. Princip rada transformatora

Posmatrano u smjeru kretanja energije, prvi namotaj (sa N' navojaka) naziva se **primar**, a drugi (sa N'' navojaka) **sekundar**. Prema tome, primar transformatora je „prijemnik“, a sekundar „generator“ električne energije. Ako je napon sekundara veći od napona primara, transformator se naziva uzlazni, a ako je napon sekundara manji od napona primara – silazni.

Kroz primarni namotaj protiče naizmjenična struja I' koja stvara naizmjenični fluks Φ' , usljed čega se u sekundarnom namotaju javlja indukovana elektromotorna sila E'' . Ako je sekundarno kolo zatvoreno, kroz njega će proticati struja I'' . Prema Lencovom pravilu, smjer indukovane elektromotorne sile E'' je takav da struja I'' stvara magnetni fluks Φ'' . Ovo znači da će struje primara i sekundara teći u suprotnim smjerovima.

Kako kroz magnetno kolo fizički može postojati samo jedan fluks, to se primarni i sekundarni fluksevi fazorski (vektorski) sabiraju i daju mali zajednički fluks Φ . On je sada uzrok i indukovane elektromotorne sile u sekundaru E'' i indukovane elektromotorne sile u primaru E' , koja djeluje kao kontraelektromotorna sila.

Osim ovog zajedničkog fluksa, postoje i rasuti fluksevi Φ'_x i Φ''_x . Oni su djelovi primarnog, odnosno sekundarnog fluksa, pa kao nekorisni i štetni indukuju elektromotorne sile koje izazivaju induktivne padove napona.

Promjenljivi zajednički fluks Φ indukuje u svakom navoju primara i sekundara istu elektromotornu silu e_1 , koja se mijenja po sinusnom zakonu:

$$e_1 = E_{m1} \sin \omega t, \quad (2.1)$$

čije maksimalna (E_{m1}) i efektivna (E_1) vrijednost iznose:

$$E_{m1} = \Phi_m \omega \quad \text{i} \quad E_1 = \frac{E_{m1}}{\sqrt{2}}. \quad (2.2)$$

Zamjenjujući ugaonu učestanost/frekvenciju $\omega = 2\pi f$, izraz za efektivnu vrijednost postaje:

$$E_1 = \frac{E_{m1}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f \Phi_m = 4,44 f \Phi_m. \quad (2.3)$$

Ukupna elektromotorna sila primara zavisi od broja navojaka primara (N'), a elektromotorna sila sekundara od broja navojaka sekundara (N''):

$$E' = E_1 N' = 4,44 N' f \Phi_m, \quad (2.4)$$

$$E'' = E_1 N'' = 4,44 N'' f \Phi_m. \quad (2.5)$$

Odnos elektromotornih sila primara i sekundara je:

$$\frac{E'}{E''} = \frac{E_1 N'}{E_1 N''} = \frac{N'}{N''} = m. \quad (2.6)$$

Ovaj odnos naziva se **odnos transformacije** ili **prenosni odnos transformatora**. On jasno pokazuje kako se, pogodnim izborom broja navojaka, u sekundaru može dobiti željena elektromotorna sila, odnosno napon. U stvari, zbog padova napona u primaru i sekundaru, uvijek je $U' > E'$, a $U'' < E''$, ali kako su ovi padovi napona relativno mali (1-5%), može se bez veće greške uzeti da je $U' \approx E'$ i $U'' \approx E''$, pa je:

$$\frac{U'}{U''} = \frac{N'}{N''} = m, \quad (2.7)$$

tj. **odnos primarnog i sekundarnog napona jednak je odnosu broja navojaka primara i sekundara**, odnosno prenosnom odnosu transformatora.

★★★ Ako se, na primjer, pomoću transformatora želi dobiti deset puta veći napon nego što je onaj kojim se raspolaže, onda sekundarni namotaj mora imati deset puta više navojaka nego primarni.

S druge strane, stepen iskorišćenja transformatora je vrlo visok (0,96–0,99) pa se može, bez veće greške, uzeti da su primarna i sekundarna snaga približno jednake, tj. za aktivne snage važi:

$$U'I'\cos\varphi' \gg U''I''\cos\varphi'', \quad (2.8)$$

a time i za ukupne (prividne) snage:

$$U'I' \gg U''I'', \quad (2.9)$$

odakle proizilazi da je:

$$\frac{U'}{U''} = \frac{I''}{I'}. \quad (2.10)$$

Izraz 2.10 pokazuje da većem naponu odgovara manja struja i obratno, što proizilazi iz približne jednakosti snaga primara i sekundara, od čega se i pošlo.

Važno je istaći da transformator ne može da poveća ili smanji snagu, već može da poveća ili smanji napon. A kako je pored napona struja drugi element snage, to za istu snagu pri višem naponu struja mora biti manja, i obratno. Ovo veoma jasno ukazuje na značaj i ulogu transformatora za prenos velikih snaga na velike daljine.

2.1.2. Konstrukcija transformatora

Da bi zadovoljili sve zahtjeve koji se pred njih postavljaju, kako sa aspekta izvršavanja funkcija i pouzdanosti rada, tako i sa aspekta bezbjednosti i zaštite okoline, transformatori se konstruišu i izvode veoma pažljivo i u potpunosti u skladu sa strogim nacionalnim i međunarodnim standardima, propisima i tehničkim preporukama.

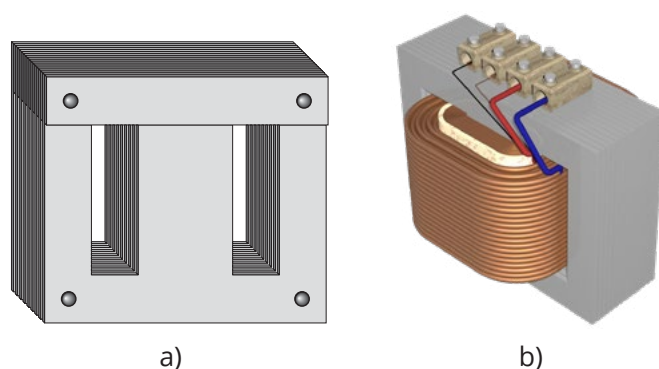
Osnovni djelovi svih transformatora su:

- jezgro transformatora (magnetno kolo)
- namotaji transformatora
- sistem izolacije.

Osim navedenih osnovnih djelova, transformatori velikih snaga imaju još i sistem za hlađenje. Kod uljnih transformatora postoji i transformatorski

sud koji se izrađuje od kvalitetnog čelika sa ojačanjima. Oblik suda zavisi od načina hlađenja, zato njegove bočne strane mogu biti glatke, talasaste ili sa cijevima za hlađenje.

Uloga **jezgra** transformatora je da omogući stvaranje magnetnog kruga/ kola i ostvari potrebnu magnetnu indukciju za prenos energije s primarnog na sekundarni namotaj, uz, što je moguće, manje gubitke. Ono se pravi od magnetnog materijala (željeznih – transformatorskih limova) koji ima visoku magnetnu provodnost, znatno veću od okolnog prostora (vazduha ili nekog izolacionog sredstva – ulja i sl.). Jezgro transformatora (Slika 2.5a) čini zatvoreno magnetno kolo sastavljeno od tankih limova (0,35 ili 0,50 mm) elektrotehničkog čelika, međusobno izolovanih lakom ili tankom hartijom. Limovi su složeni u paket i pritegnuti šarafima. Jezgro ima **stubove** na koje su smješteni namotaji (vertikalni dio jezgra) i **jaram** koji povezuje stubove (horizontalni dio jezgra). Visoka magnetna provodnost materijala od koga se pravi jezgro obezbjeđuje zatvaranje najvećeg dijela magnetnog fluksa unutar samog jezgra. Limovi od kojih se sastavlja jezgro moraju biti izolovani. Za te namjene se, kao izolacioni materijal, najčešće koristi papirna izolacija, lak ili vodeno staklo.



Slika 2.5. Osnovni dijelovi transformatora: a) jezgro, b) jezgro sa namotajima

Namotaji transformatora (Slika 2.5b) formiraju se od više navojaka okruglog, profilisanog ili trakastog provodnika, od materijala dobrih električnih karakteristika (najčešće bakarni ili aluminijски provodnici). Korišćeni provodnici moraju imati mali električni otpor. Izolacija provodnika je najčešće lak ili papir. Kako bi se postigla što bolja međuinduktivna veza, ovi namotaji se uglavnom postavljaju (namotavaju) jedan preko drugog ili jedan pored drugog. Namotaji višeg napona se, po pravilu, postavljaju povrh namotaja nižeg napona. Između njih se mora nalaziti izolaciono sredstvo (materijal) izuzetnih izolacionih karakteristika. Najčešće izolaciju čine kombinacija celuloze (papir, prešpan i sl.) i izolacionog ulja (u slučaju uljnih transformatora), odnosno čvrste izolacije (staklene tkanine impregnirane epoksidnim, silikonskim ili drugim sintetičkim smolama) u kombinaciji sa vazduhom (kod suvih transformatora do 36 kV), a u posljednje vrijeme koristi se i gas sumporheksafluorid (SF₆).

Izolaciono (transformatorsko) ulje, osim dobrih izolacionih karakteristika, zbog svog velikog specifičnog toplotnog kapaciteta obezbjeđuje i dobro odvođenje toplote s magnetnog kola i namotaja i dobro hlađenje transformatora. Neophodno je voditi računa i o činjenici da je izolaciono ulje zapaljivo, lako gori i da je eksplozivno.

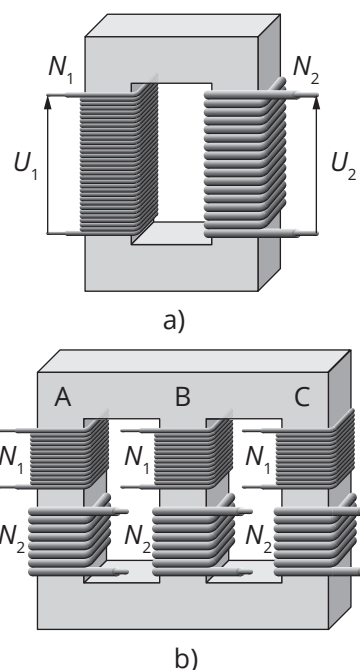
Transformatori koji na primarnoj i sekundarnoj strani imaju samo po jedan fazni namotaj, zovu se **jednofazni transformatori** i služe za transformaciju jednofazne struje. Transformatori koji imaju tri primarna i tri sekundarna namotaja zovu se **trofazni transformatori** i služe za transformaciju trofazne struje.

Jezgro (magnetno kolo) kod jednofaznog transformatora (Slika 2.6a) ima primarni namotaj (A-X sa N_1 navojaka) na jednom stubu i sekundarni namotaj (a-x sa N_2 navojaka) na drugom stubu. Kod trofaznog transformatora (Slika 2.6b), jezgro ima tri stuba na kojima su namotani i primarni i sekundarni namotaji. Oni nose tri para namotaja: primarni namotaj faze A-X i sekundarni namotaj faze a-x, primarni namotaj faze B-Y i sekundarni namotaj faze b-y i primarni namotaj faze C-Z i sekundarni namotaj faze c-z. Zbir magnetnih flukseva u svakom trenutku jednak je nuli, kao i zbir naizmjeničnih trofaznih struja koje ih proizvode.

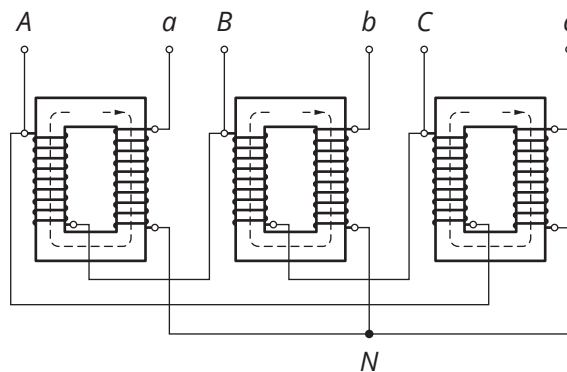
Trofazni transformator može se dobiti i spajanjem (povezivanjem) tri jednofazna transformatora (Slika 2.7). Osnovne prednosti trofaznog transformatora dobijenog na ovaj način su lakši transport i lakše obezbjeđenje rezerve, jer je za trofaznu grupu jednofaznih transformatora dovoljno u rezervi držati samo jedan jednofazni transformator, dok je glavna mana skuplje rješenje od jedne trofazne jedinice.

Transformatori se izrađuju za velike snage i visoke napone, pa je potrebno obezbijediti dobro hlađenje i izolaciju između namotaja. To se najčešće postiže utapanjem jezgra s namotajima u **transformatorski sud** koji se nalije transformatorskim uljem (izolacionim sredstvom koje obezbjeđuje dobru izolaciju i dobro odvođenje toplote) i sa gornje strane zatvori.

Veza spoljnjeg postrojenja s namotajima transformatora ostvaruje se preko **provodnih izolatora** na koje su izvedeni namotaji primara (A, B i C) i namotaji sekundara (a, b i c).



Slika 2.6. Jezgro i namotaji transformatora: a) jednofaznog, b) trofaznog



Slika 2.7. Trofazni transformator nastao spajanjem tri jednofazna transformatora

★★★ U Evropi se uglavnom koriste trofazni elektroenergetski transformatori jer su nešto jeftiniji od tri jednofazna transformatora iste trofazne snage. U SAD uglavnom se koriste jednofazni transformatori pomoću kojih se formiraju trofazne grupe.

Zbog gubitaka u bakru (Džulovi gubici) i u gvožđu (usljed histerezisa i vrtložnih struja) transformatori se zagrijevaju. Da zagrijavanje ne bi prešlo dozvoljene granice, transformatori se moraju hladiti. Transformatori malih snaga (otvoreni) hlade se prirodnim strujanjem vazduha, dok se transformatori većih snaga – već iznad 50 kVA (zatvoreni) hlade uljem kojim je napunjen transformatorski sud.

Strujanje ulja može biti:

- prirodno
- prinudno,

pri čemu se prinudno hlađenje primjenjuje za transformatore veće snage kod kojih je i zagrijavanje veće.

Prirodno strujanje ulja izazvano je njegovom različitom temperaturom u sredini i pored zidova suda, koje sa spoljašnje strane hladi prirodno strujanje vazduha. U sredini suda toplo ulje struji naviše, a pored zidova naniže, pri tome se hladi i vraća se prema sredini, pa ide naviše, itd.

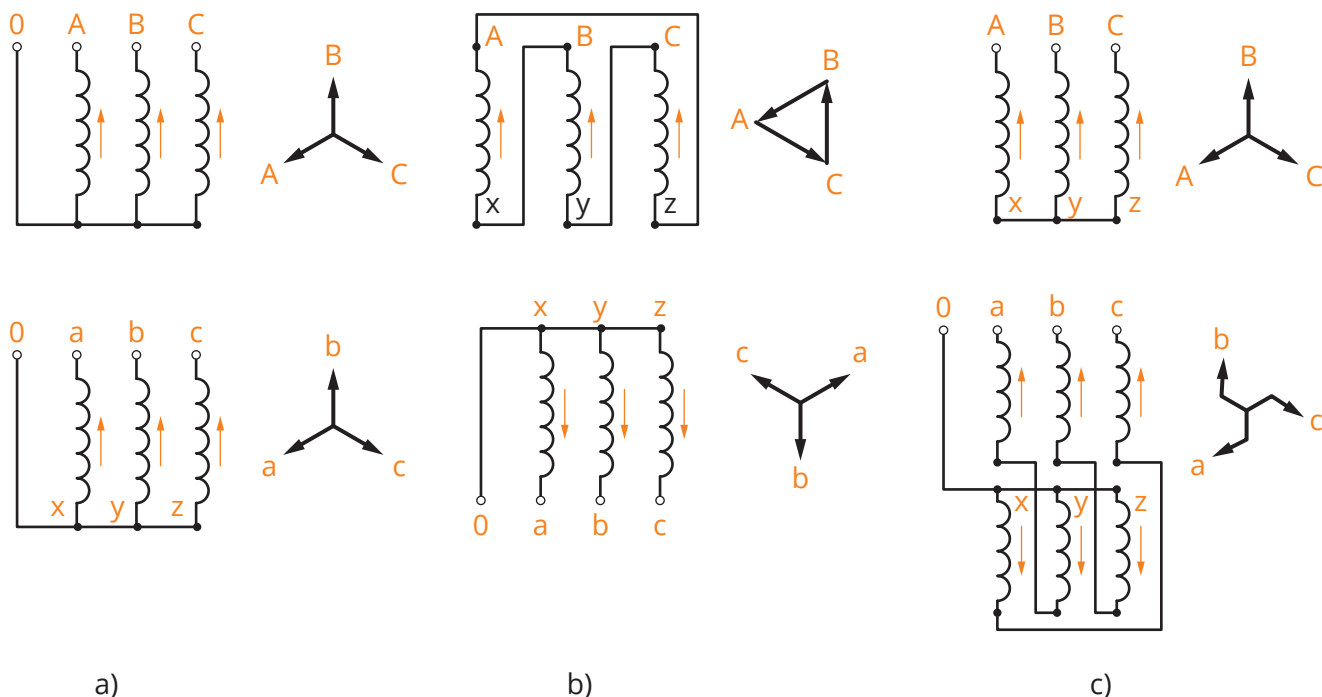
Da bi hlađenje bilo efikasnije, zidovi transformatorskog suda grade se ili s rebrima ili sa cijevima (čime se povećava površina hlađenja), a ponegdje se koriste i dodatni radiatora za hlađenje.

Kod **prinudnog hlađenja** pumpa uzima toplo ulje iz gornjeg dijela suda pa ga potiskuje kroz vijugave cijevi, koje su smještene u posebni hladnjak. Kroz hladnjak protiče hladna voda (rashladno sredstvo) i rashlađuje ulje u cijevima, pa se ovako rashlađeno ulje ubacuje u donji dio suda, odakle ide prema sredini pa naviše prema gornjem dijelu suda, i tako ukруг.

Kod trofaznog transformatora i primar i sekundar imaju po tri namotaja (za svaku fazu po jedan poseban). Namotaji primara i sekundara trofaznih transformatora mogu se vezati u **zvijezdu** ili **trougao**, a njihovi krajevi su izvučeni na provodne izolatore koji se nalaze na gornjoj ploči transformatora.

Za sekundare transformatora postoji još jedna veza koja se naziva **izlomljena zvijezda**. Ona se ostvaruje tako što se svaki namotaj sekundara radi iz dva dijela, pa se faza obrazuje na taj način što se dva ovakva dijela, koja nijesu na istom jezgru, vežu na red.

Na Slici 2.8 prikazane su tri veze namotaja transformatora koje se najčešće primjenjuju: a) **zvijezda-zvijezda**, b) **trougao-zvijezda** i c) **zvijezda-izlomljena zvijezda**. Svaka od ovih veza ima svoje karakteristike, kao i prednosti i nedostatke prema kojima se bira i koristi u odgovarajućim konkretnim uslovima.



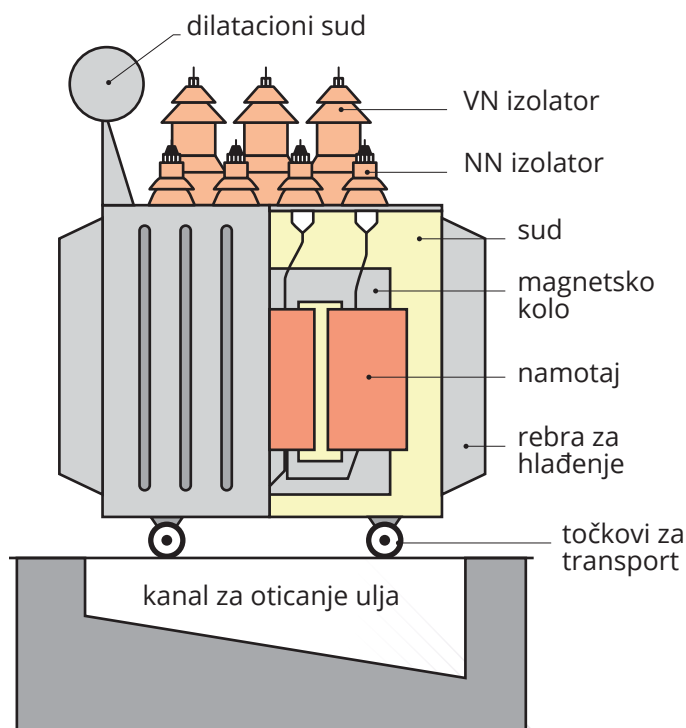
Slika 2.8. Veze primara i sekundara trofaznih transformatora

Kod energetskih transformatora najčešće se koriste sljedeće sprege:

- sprega zvijezda-zvijezda za povezivanje dvije mreže visokog napona;
- sprega zvijezda-trougao za transformatore koji rade u bloku sa generatorom;
- sprega zvijezda-izlomljena zvijezda kod mreže kod koje se koristi nulti provodnik i kod manjih snaga transformatora;
- sprega trougao-izlomljena zvijezda kod mreža koje imaju izveden nulti provodnik i kod većih snaga transformatora...

Osnovni dijelovi energetskog transformatora s uljnom izolacijom prikazani su na skici transformatora datoj na Slici 2.9.

Kod postrojenja visokih napona koriste se i tro-namotajni transformatori, čiji se treći namotaj naziva **tercijer**. Ovi transformatori omogućavaju da u postrojenju postoje tri različita nivoa napona (npr. 110/35/10,5 kV i sl.).



Slika 2.9. Skica energetskog transformatora s uljnom izolacijom

1. Koje su osnovne karakteristike i uloga transformatora u VNRP?
2. Objasni princip rada transformatora.
3. Opiši konstrukciju transformatora.
4. Uporedi jednofazni i trofazni transformator.
5. Uoči različite veze primara i sekundara trofaznih transformatora

2.2. Električne karakteristike i zamjenska šema transformatora

2.2.1. Električne karakteristike transformatora

Glavne karakteristike energetskih transformatora su:

- naznačeni napon namotaja U_n
- naznačeni odnos transformacije m_n
- naznačena snaga S_n
- naznačena struja I_n
- mogućnost promjene odnosa transformacije (mogućnost regulisanja napona)
- napon kratkog spoja u_k
- način hlađenja
- sprega transformatora
- naznačeni stepen iskorišćenja η_n .

Naznačeni napon namotaja U_n je određeni napon koji se primjenjuje ili nastaje u praznom hodu, između priključaka namotaja. Za trofazni namotaj, to je napon između linijskih priključaka.

Naznačeni odnos transformacije m_n je odnos između naznačenog napona jednog namotaja i naznačenog napona drugog namotaja, ili odnos broja navojaka primara i sekundara. Kod transformatora koji povećavaju napon, odnos preobražaja je manji od jedinice, a kod transformatora koji snižavaju napon, veći je od jedinice.

Naznačena snaga S_n je prividna snaga za koju je transformator definisan, tj. dogovorena vrijednost prividne snage za svaki namotaj, koja zajedno s naznačenim naponom tog namotaja određuje naznačenu struju.

Naznačena struja I_n je struja koja protiče kroz linijsku stezaljku namotaja. Dobija se dijeljenjem naznačene snage S_n sa naznačenim naponom U_n namotaja.

Promjenom broja navojaka mijenja se odnos transformacije, a time i napon na sekundarnoj strani transformatora, posmatrano u odnosu na smjer toka energije. Za **promjenu odnosa transformacije** svaki energetski transformator ima odgovarajuće izvode koji se priključuju na kontakte posebne mjenjačke naprave (mjenjač napona, mjenjač odnosa transformacije). Promjenljivi broj navojaka se, iz konstruktivnih razloga, ugrađuje ili na primarnom ili na sekundarnom namotaju transformatora. Zbog manjih struja na višem naponu, obično su regulacioni namotaj i regulator napona koji vrši promjenu odnosa transformacije, na strani višeg napona.

Napon kratkog spoja energetskog transformatora u_k je napon pri kojem se kod ispitivanja u kratkom spoju postigne odgovarajuća naznačena struja transformatora. Relativna vrijednost ovog napona se, u odnosu na naznačeni napon, obično izražava u %. Napon kratkog spoja se uobičajeno kreće 3–20%. Manja vrijednost je za manje, a veća za veće snage i napone.

Primijenjeni **način hlađenja** uljnih transformatora označava se sa četiri slova: prvo slovo označava unutrašnje rashladno sredstvo koje je u dodiru sa namotajem, drugo slovo označava način strujanja unutrašnjeg rashladnog sredstva, treće slovo označava spoljašnje rashladno sredstvo a četvrto slovo označava način strujanja spoljašnjeg rashladnog sredstva.

Kao što je ranije navedeno sprega namotaja u transformatoru može biti: trougao, zvijezda ili izlomljena zvijezda. Oznake namotaja višeg napona u spregama pišu se velikim slovima, dok se namotaji nižeg napona obilježavaju istim ali malim slovima.

Ako se kod trofaznih transformatora krajevi izvode na poklopac, njihove oznake za visoki napon su: A, B i C, a za niski napon: a, b i c. Kod jedno-faznih transformatora krajevi se označavaju sa A(a) i X(x) ili sa D(d) i Q(q). Neutralna (nulta) tačka transformatora (zvjezditište) je mjesto (tačka) gdje su sva tri fazna namotaja spregnuta u zvijezdu. Ako je izvedena na poklopac transformatora preko posebnog izolatora, označava se sa N (za visoki napon) i n (za niski napon).

Naznačeni **stepen iskorišćenja** transformatora (η_n), ako su poznati gubici u transformatoru (gubici praznog hoda i gubici usljed opterećenja), moguće je odrediti koristeći izraz:

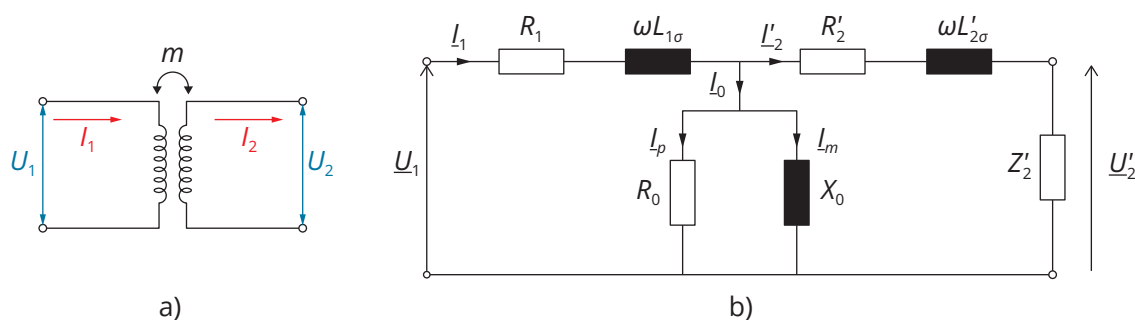
$$\eta_n = \frac{\text{izlazna snaga}}{\text{ulazna snaga}} = \frac{P_{2n}}{P_{1n}}. \quad (2.11)$$

2.2.2. Zamjenska šema transformatora

Zamjenska/ekvivalentna šema transformatora predstavlja pojednostavljeni model pomoću kojeg se može, na posredan način, bez stvarnog opterećenja, predvidjeti ponašanje transformatora u raznim uslovima rada.

Parametri ekvivalentne šeme određuju se na jednostavan način iz standardnih ispitivanja transformatora, u ogledu praznog hoda i kratkog spoja. Sve veličine i parametri ekvivalentne šeme su fazne vrijednosti. Veličine i parametri sekundara svode se na primar (preračunati sa kvadratom odnosa broja navojaka). Na primjer, svedeno R_2' je $R_2' = m^2 \cdot R_2 = (N_1/N_2)^2 \cdot R_2$.

Na Slici 2.10 prikazana je zamjenska šema idealnog (bez gubitaka i rasipanja) i realnog (stvarnog) transformatora.



Slika 2.10. Zamjenska/ekvivalentna šema: a) idealnog, b) realnog transformatora

Veličine i parametri zamjenske/ekvivalentne šeme sa slike 2.10 su:

I_o – struja praznog hoda

I_p – aktivna komponenta struje praznog hoda

I_m – reaktivna komponenta struje praznog hoda (struja magnećenja)

R_o – ekvivalentna otpornost u praznom hodu (fiktivna otpornost pomoću koje se uzimaju u obzir gubici u praznom hodu)

X_o – reaktansa magnećenja

R_1 i R_2 – aktivna otpornost primarnog odnosno sekundarnog namotaja

$X_{1\sigma}(\omega L_{1\sigma})$ i $X'_{2\sigma}(\omega L'_{2\sigma})$ – reaktansa primarnog, odnosno sekundarnog namotaja

Z_2 – impedansa prijemnika.

Oznaka ' označava svedene veličine.

1. Nabroj električne karakteristike energetskih transformatora.
2. Definiši električne karakteristike transformatora.
3. Nacrtaš zamjensku šemu energetskog transformatora.
4. Navedi i objasni parametre zamjenske šeme transformatora.

2.3. Karakteristični režimi transformatora

Pored normalnog radnog režima u kome se transformator nalazi u najvećem dijelu svog radnog vijeka, kod transformatora postoje i specifični karakteristični režimi, od kojih se kao najvažniji mogu izdvojiti:

- prazan hod
- kratak spoj.

2.3.1. Prazan hod

Prazan hod transformatora je pogonsko stanje kod koga je na primarnu stranu priključeno napajanje (izvor) \underline{U}_1 , a sekundarne stezaljke su otvorene. Napon na sekundaru jednak je indukovanom naponu \underline{E}_2 ($\underline{U}_2 = \underline{E}_2$), a sekundarna struja \underline{I}_2 jednaka je nuli ($\underline{I}_2 = 0$).

Kroz primarni namotaj teče samo struja praznog hoda \underline{I}_0 . Glavni magnetni fluks/tok Φ u željeznom jezgru stvara gubitke usljed histerezeza i vrtložnih struja, usljed čega struja praznog hoda ima dvije komponente: aktivnu \underline{I}_p i reaktivnu komponentu \underline{I}_m , tj.:

$$\underline{I}_0 = \underline{I}_p + \underline{I}_m \quad (2.12)$$

Induktivna komponenta struje stvara glavni magnetni fluks, a aktivna predstavlja gubitke koji nastaju u jezgru transformatora.

Ako se naponi prikažu u fazorskom obliku, jednačine II Kirhofovog zakona za primar i sekundar su oblika:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{U}_{R1} + \underline{U}_{X1}, \quad (2.13)$$

$$\underline{U}_2 = \underline{E}_2, \quad (2.14)$$

gdje je: \underline{U}_1 – napon naizmjeničnog izvora (sinusni) priključen na primar

Histerezeza

karakteristika sistema čije izlazne veličine ne zavise samo od ulaznih veličina, već i od istorije sistema

Drugi Kirhofov zakon

u svakoj strujnoj konturi razgranatog kola algebarski zbir napona na svim otporima jednak je algebarskom zbiru svih elektromotornih sila u toj konturi

\underline{E}_1 i \underline{E}_2 – indukovani naponi u primaru i sekundaru

\underline{U}_{R1} i \underline{U}_{X1} – naponi na aktivnom otporu i induktivnom otporu primara koje stvara struja praznog hoda \underline{I}_o .

Transformator se ispituje u praznom hodu tek kada je potpuno završen.

2.3.2. Kratki spoj

Kratki spoj transformatora je stanje kvara kod kojeg je na primarnu stranu transformatora priključen napon \underline{U}_1 , a sekundarne stezaljke su kratko spojene, tj. sekundarni napon je $\underline{U}_2 = \bar{0}$.

U namotajima transformatora teku struje kratkog spoja koje svojim vrijednostima višestruko premašuju naznačenu struju primara i sekundara.

U slučaju kratkog spoja, jednačine II Kirhofovog zakona za primar i sekundar su:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + \underline{U}_{R1} + \underline{U}_{X1}, \quad (2.15)$$

$$\underline{0} = \underline{E}_2 - \underline{U}_{R2} - \underline{U}_{X2}, \quad (2.16)$$

gdje je: \underline{U}_1 – napon naizmjeničnog izvora (sinusni) priključen na primar

\underline{E}_1 i \underline{E}_2 – indukovani naponi na primaru i sekundaru

\underline{U}_{R1} i \underline{U}_{R2} – padovi napona na aktivnom otporu primara i sekundara koje stvaraju struje kratkog spoja I_{1k} i I_{2k}

\underline{U}_{X1} i \underline{U}_{X2} – padovi napona na induktivnom otporu primara i sekundara koje stvaraju struje kratkog spoja I_{1k} i I_{2k} .

Pošto gubici u namotajima rastu s kvadratom vrijednosti struje, a kako su struje kratkog spoja veoma velike, to je pogonsko stanje kratkog spoja veoma nepovoljno stanje za svu VN opremu. Ako u kratkom vremenu ne dođe do prekida ovakvog pogonskog stanja, posljedice po transformator mogu biti veoma pogubne. Pri ovom stanju se u transformatoru razvija velika količina toplote i dolazi do velikih mehaničkih naprezanja, tako da ovo stanje može potpuno uništiti transformator, a i izazvati značajne štete na okolnim djelovima postrojenja.

Napon kratkog spoja, U_k je vrijednost primarnog napona kod kojeg kroz kratko spojeni sekundar protiče naznačena struja I_{2n} . On se najčešće izražava u procentima (%) naznačenog primarnog napona U_{1n} :

$$u_k \% = \frac{U_k}{U_{1n}} \cdot 100\%. \quad (2.17)$$

Ovaj podatak je veoma važan za svaki transformator, a pogotovo pri projektovanju zaštite transformatora, jer se pomoću njega izračunava struja kratkog spoja.

2.3.



1. Navedi karakteristične režime energetskih transformatora.
2. Opiši režim praznog hoda transformatora.
3. Opiši režim kratkog spoja transformatora.
4. Objasni kako dolazi do kratkog spoja.

2.4. Paralelni rad transformatora

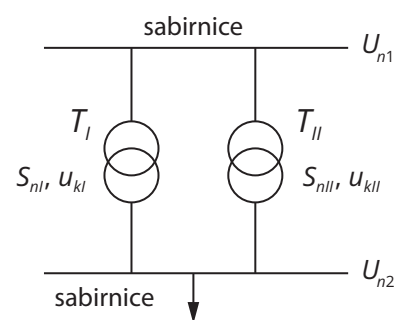
Vrlo često se u visokonaponskim postrojenjima zahtijeva da dva ili više transformatora snage rade paralelno, odnosno da njihovi primarni namotaji budu priključeni na zajedničke sabirnice a sekundarni namotaji, takođe, na zajedničke sabirnice ili mrežu (Slika 2.11).

Paralelni rad dva ili više transformatora ostvaruje se spajanjem istoimenih priključaka visokonaponske strane svih transformatora na odgovarajuće faze visokonaponske mreže, kao i spajanjem istoimenih priključaka niskonaponske strane svih transformatora na odgovarajuće faze niskonaponske mreže.

Paralelni rad se može vršiti preko sabirnica ili preko mreže. Ovo rješenje je skuplje nego izbor jednog transformatora veće snage. Njemu se pribjegava u slučajevima podmirivanja potrebe dodatnih potrošača koji ranije nijesu bili predviđeni, podmirenja povremenih dodatnih opterećenja, etapne izgradnje trafostanice ili potrebe za većom pogonskom sigurnošću, koja se ogleda u držanju rezervnog transformatora za slučaj kvara jednog od transformatora.

Paralelni rad transformatora je tehnički korektan ako:

- pri neopterećenju sekundarnoj mreži kroz sekundarne namotaje ne teku struje
- transformatori dijele opterećenje srazmjerno svojim naznačenim snagama (ne smiju se previše razlikovati; odnos najveće prema najmanjoj ne smije biti veći od tri)
- nema faznog pomjeraja između odgovarajućih veličina pojedinih transformatora.



Slika 2.11. Paralelni rad dva transformatora

Uslovi koje transformatori moraju da ispune da bi radili u paralelnom radu su:

- primarni namotaji moraju da budu predviđeni za isti napon, a odnosi transformacije (m) svih transformatora moraju biti jednaki:

$$m_1 = m_2 = \dots = m_n \quad (2.18)$$

- transformatori moraju imati istu spregu namotaja (iste sprežne brojeve n), ili transformatori moraju pripadati istoj sprežnoj grupi:

$$n_1 = n_2 = \dots = n_n \quad (2.19)$$

- relativne vrijednosti napona kratkog spoja svih transformatora moraju biti jednake (čime se izbjegavaju struje uravnoteženja, koje izazivaju preopterećenje jednog, odnosno podopterećenje drugog transformatora):

$$u_{k1} = u_{k2} = \dots = u_{kn} \quad (2.20)$$

Najčešće se dozvoljava tolerancija $\pm 10\%$ u odnosu na aritmetičku srednju vrijednost relativnih napona kratkog spoja svih transformatora.

Uslov za paralelni rad je i da odgovarajući krajevi budu vezani na sabirnice. Osnovno pravilo vezano za paralelni rad je da ne smije doći do trajnog preopterećenja jednog od transformatora.

2.4.



1. Objasni paralelan rad transformatora.
2. Koji uslovi moraju biti ispunjeni da bi transformatori radili u paralelnom radu?

2.5. Vrste transformatora u električnim mrežama EES-a

U stručnoj literaturi, u zavisnosti od parametara ili karakteristika koje se posmatraju, postoje različite podjele transformatora. Najčešće se transformatori dijele na:

- energetske transformatore (blok, prenosni/interkonektivni, distributivni i sl.)

- specijalne energetske transformatore (auto, tronamotajni, specijalne namjene i sl.)
- mjerne transformatore (strujni i naponski).

Zavisno od **vrste izolacije**, transformatori mogu da budu: uljni i suvi.

Kod uljnih transformatora izolacija je kombinacija celuloze i izolacionog ulja. Kod suvih transformatora, čija je upotreba ograničena uglavnom na distributivne mreže (napona do 35 kV), izolacija je kombinacija vazduha i suve izolacije.

Prema **principu transformacije**, energetske transformatori mogu da budu:

- transformatori s odvojenim namotajima (dvonamotajni, tronamotajni..., n -namotajni)
- autotransformatori (bar dva namotaja imaju jedan zajednički dio).

Prema **položaju** u EES-u, transformatori se dijele na:

- blok transformatore
- interkonektivne transformatore
- transformatore prenos-distribucija i distributivne transformatore.

Pored podjele transformatora prema njihovom položaju u okviru EES-a, dijele se i prema **broju namotaja** na:

- dvonamotajne transformatore koji imaju dva namotaja: primarni i sekundarni namotaj
- tronamotajne transformatore sa tri namotaja: primarni, sekundarni i tercijerni namotaj.

Prema **galvanskoj povezanosti** primarnog i sekundarnog namotaja transformatori se dijele:

- na transformatore sa galvanski izolovanim primarnim i sekundarnim namotajem
- na autotransformatore sa galvanski spojenim primarnim i sekundarnim namotajem.

Kod autotransformatora primarni i sekundarni namotaj galvanski su povezani tako da sekundarni namotaj predstavlja dio primarnog namotaja. Autotransformatori imaju samo jedan namotaj po fazi koji služi i kao primar i kao sekundar. Kako su kod njih primar i sekundar u električnoj vezi, autotransformatori se rade (zbog opasnosti od proboja izolacije) za manje razlike primarnog i sekundarnog napona (do 30%).

2.5.1. Energetski i specijalni transformatori

Energetski transformatori ili transformatori snage nalaze se u VNRP u okviru (blizini) elektrana, kao i u prenosnim i distributivnim sistemima/ mrežama. Prema položaju u EES-u i VNRP, energetski transformatori najčešće se dijele na:

- blok transformatore (Slika 2.12a)
- interkonektivne transformatore (Slika 2.12b)
- transformatore prenos-distribucija i distributivne transformatore (Slika 2.12c).

Blok transformatori (Slika 2.12a) u elektroenergetskom postrojenju elektrane služe za **podizanje generatorskog napona** na nivo napona prenosne mreže.

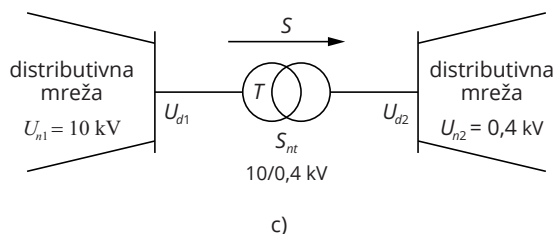
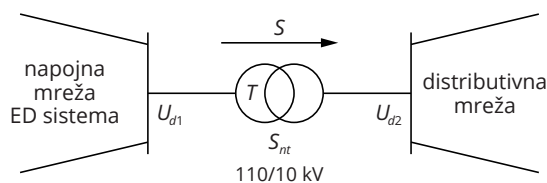
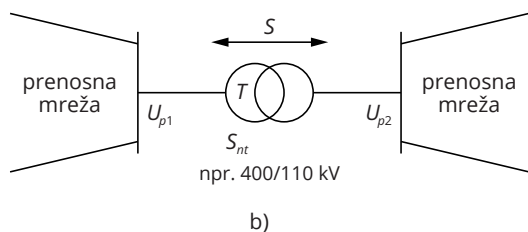
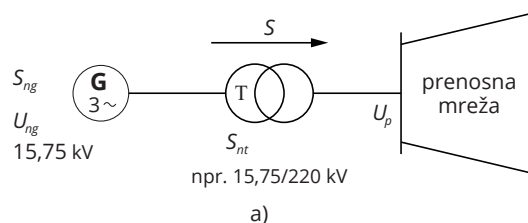
Današnja tehnologija izrade generatora dopušta da generatorski napon bude najviše 21 kV. Generatori kao obrtne mašine s nominalnim naponom iznad 21 kV bili bi pretjerano skupi. Jeftinije je izraditi generator nižeg napona i energetski transformator iste snage za podizanje napona, nego samo generator vrlo visokog napona.

Naziv „blok transformator“ potiče od činjenice da takav transformator radi u tandemu (zajedno) sa svojim generatorom i na njega se ne mogu vezati drugi generatori. Blok transformator je najčešće za svoj generator vezan kablom ili šinskim provodnicima direktno, bez korišćenja prekidača.

Naznačena prividna snaga blok transformatora identična je naznačenoj snazi generatora ($S_{nt}[MVA] = S_{ng}[MVA]$), ili se neznatno razlikuju. Za ove transformatore nijesu potrebni izvodi za regulisanje napona, jer se promjena napona može postići direktnim djelovanjem na pobudu generatora.

Smjer aktivne snage kod blok transformatora je isključivo od generatora ka prenosnoj mreži.

Interkonektivni transformatori u prenosnoj mreži EES-a služe za povezivanje prenosnih mreža različitih naponskih nivoa (Slika 2.12b).



Slika 2.12. Podjela transformatora prema mjestu/ položaju u EES-u: a) blok transformator, b) interkonektivni transformator, c) transformator na granici prenos-distribucija i distributivni transformator

Smjerovi aktivnih i reaktivnih snaga kroz interkonektivni transformator nijesu jednoznačni i zavise od radnih režima i prilika mreža koje su njime povezane. Pri promjeni radnih režima u mrežama, smjerovi aktivnih i reaktivnih snaga kroz interkonektivni transformator mogu se mijenjati tako da budu međusobno jednaki ili suprotni.

Transformatori na granici prenos-distribucija i distributivni transformatori (Slika 2.12c) po svojoj funkciji spadaju u distributivne transformatore. Oni povezuju prenosne mreže sa napojnim mrežama ED sistema. Služe za sniženje napona sa nivoa napona prenosnih mreža (400, 220 ili 110 kV) na nivo napona napojnih mreža ED sistema (110 ili u slučaju manjih konzuma 35 kV). Pri tom, sa razvojem ED sistema, ovaj napon preuzima funkciju napona distributivnih mreža – konkretno distributivnih mreža višeg srednjeg napona.

Distributivni transformatori u okviru ED sistema služe za sniženje napona distributivnih mreža viših naponskih nivoa na napone distributivnih mreža nižih naponskih nivoa, npr. transformatori 110/10 kV ili 110/20 kV, transformatori 10/0,4 kV ili 20/0,4 kV i dr. Ako u distributivnoj mreži nema elektrana (distribuirani izvori), smjer energije i snage je od prenosne ka distributivnoj mreži ili od distributivne mreže ka potrošaču (Slika 2.12c). Ukoliko u distributivnoj mreži postoje distribuirani izvori, tada se tokovi energije i snage mijenjaju, o čemu treba pažljivo voditi računa.

Pored energetske transformatora, u praksi se često koriste i specijalne vrste transformatora za specifične namjene, kao što su: autotransformatori, izolacioni transformatori, regulacioni transformatori, zakretni transformatori, transformatori za elektrolučno zavarivanje, transformatori za napajanje električne vuče, audiofrekvencijski transformatori i sl. Princip njihovog rada i osnovna konstrukcija je ista ili slična kao kod energetske transformatora, uz određene izmjene i dodatke, u zavisnosti od njihove specifične namjene.

2.5.2. Mjerni transformatori

U principu naponi u VNRP su veoma visoki, a struje velike. Posebni uređaji koji omogućavaju mjerenja i kontrolu raznih veličina i parametara u okviru VNRP (struja, napona, snaga i sl.), nazivaju se **mjerni transformatori**. Oni predstavljaju nezaobilazne elemente u elektroenergetskim postrojenjima.



Mjerenje visokih napona i velikih naizmjeničnih struja vrši se isključivo preko mjernih transformatora.

Pomoću mjernih transformatora se na sekundaru, na koji se priključuju instrumenti za mjerenje i zaštitu, dobijaju relativno niski naponi i relativno male struje. Time se otklanja teškoća oko izrade instrumenata za velike struje, kao i opasnost od visokog napona, pa je rukovanje instrumentima za mjerenje potpuno bezopasno. Otklanjanjem opasnosti od velikih struja i visokih napona omogućeno je da se u postrojenjima koriste standardni, precizni i osjetljivi mjerni i zaštitni uređaji (ampermetri, voltmetri, vatmetri, varmetri, frekvencmetri, brojila aktivne i reaktivne energije, releji za razne zaštite i sl.).

U zavisnosti od toga da li služe za strujna ili naponska mjerenja razlikuju se:

- strujni mjerni transformatori (ST)
- naponski mjerni transformatori (NT).

Oni se izrađuju najčešće kao **jednofazni transformatori**, a njihova izrada mora biti veoma precizna i kvalitetna, kako bi se izbjegle greške pri mjerenju.

Obično je transformisani napon (sekundarni napon U'') naponskog transformatora 100 V, a transformisana struja (sekundarna struja I'') strujnog transformatora 5 A (odnosno 1 A). Tada se za mjerenje struje i napona u elektroenergetskim postrojenjima mogu upotrijebiti obični pogonski instrumenti – voltmetar (V) za mjerenje napona i ampermetar (A) za mjerenje struje.

Osim za električna mjerenja, obje vrste ovih transformatora primjenjuju se i za napajanje raznih zaštitnih uređaja – zaštitnih i drugih releja (uređaj koji djelovanjem relativno male električne ili mehaničke snage može isključiti, odnosno uključiti veću snagu i sl.). Oni se koriste u uređajima generatora, transformatora, prekidača i sl., kada su u pitanju visoki naponi i velike struje.

relej

uređaj koji djelovanjem relativno male električne ili mehaničke snage može isključiti, odnosno uključiti veću snagu

2.5.2.1. Strujni mjerni transformatori

Strujni mjerni transformatori (ST) su uređaji koji omogućavaju da se na mreže visokih napona priključe standardni mjerni i zaštitni uređaji (izrađeni za niske napone). Mjerni i zaštitni uređaji se, priključenjem na strujni mjerni transformator, izoluju od visokog napona i njima se lako i bezbjedno rukuje.



Strujni mjerni transformatori transformišu struju velikih vrijednosti koja protiče kroz vod, generator, transformator i sl., na vrijednosti koje omogućavaju upotrebu releja i mjernih instrumenata naznačene struje 1 A ili 5 A.

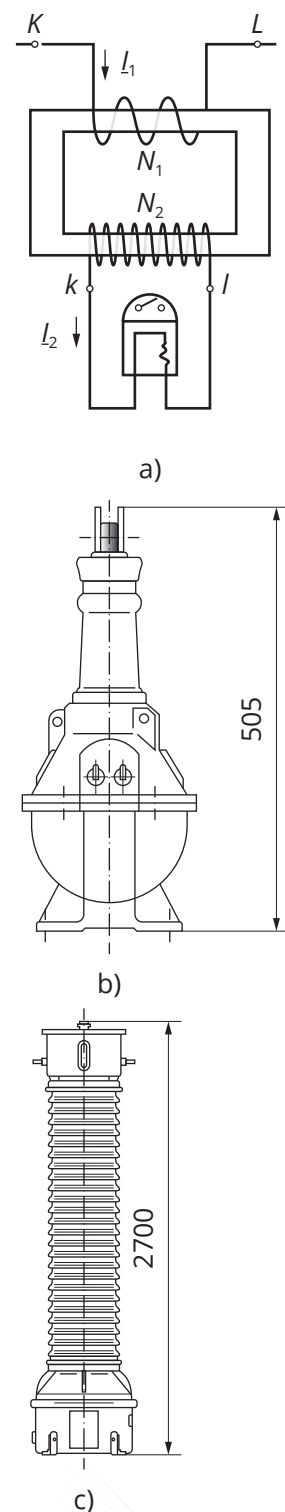
Strujni mjerni transformatori za sve naponske nivoe (od niskih do najviših standardnih napona) izrađuju se kao jednofazni transformatori u kratkom spoju. Skica/šema veze strujnog mjernog transformatora iz koje se može vidjeti i princip njegovog rada prikazana je na Slici 2.13a. Na Slici 2.13 prikazan je i izgled strujnog mjernog transformatora s uljnom izolacijom za različite napone: b) za napon 10 kV i c) za napon 220 kV.

Kao i svi drugi transformatori i oni se sastoje od primarnog i sekundarnog namotaja i gvozdеног jezgra (magnetnog kola) od limova. Međutim, prema načinu vezivanja na mrežu i režimu u kojem rade, bitno se razlikuju od drugih transformatora.

Primarni namotaj najčešće ima samo jedan navojak (ili samo jedan provodnik) koji se vezuje redno u strujno kolo (vod na kome se mjeri struja), odnosno na red sa mrežom, tako da kroz njega protiče cjelokupna struja te faze. Sekundarni namotaj ima veći broj navojaka i ne smije nikada da bude otvoren (radi uvijek u režimu kratkog spoja). On se, preko mjernih i zaštitnih uređaja malog električnog otpora, vezuje na red sa njima. Pošto mu zbog predostrožnosti i sigurnosti sekundarno kolo ne smije nikada biti ostavljeno otvoreno, prilikom zamjene ili popravke mjernih i zaštitnih uređaja, ono se mora direktno kratko spojiti. Zbog toga se u sekundarno kolo nikada ne ugrađuje osigurač jer bi, kad on pregori, sekundar bio otvoren.

Karakteristike strujnog mjernog transformatora su:

- naznačeni napon U_n
- naznačena primarna struja I_{1n} , struja za koju je ST projektovan
- naznačena sekundarna struja I_{2n} (5 A, izuzetno 1 A)
- naznačeni odnos transformacije m_n
- naznačena trajna termička struja I_{nh} (jednaka je primarnoj struji ST)
- naznačena kratkotrajna termička struja I_{th} ili I_{1s} (vrijednost primarne struje koju ST može podnijeti jednu sekundu bez oštećenja)
- naznačena dinamička struja I_{dyn} (maksimalna vrijednost primarne struje koju ST može podnijeti pri kratko spojenom sekundarnom namotaju bez oštećenja)
- namjena: ST namijenjen za priključak mjernih instrumenata (za mjerenje) i ST namijenjen za priključak uređaja za zaštitu
- greške: strujna, fazna greška δ definisana uglom između fazora sekundarne i primarne struje i složena greška
- klasa tačnosti (standardne klase tačnosti ST za merenje su 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3; 5 i 10)



Slika 2.13. Strujni mjerni transformator: a) šema veze, b) za napon 10 kV, c) za napon 220 kV

- naznačena impedansa opterećenja Z_{2n} (impedansa kola priključenog na sekundarni namotaj)
- naznačena snaga S_n (snaga kojom se ST može trajno opteretiti a da ne pređe definisanu klasu tačnosti)
- faktor sigurnosti F_s i faktor tačnosti F_t (veličine koje definišu ST u području preopterećenja).

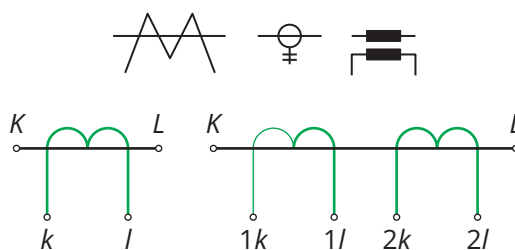


Karakteristike strujnog transformatora treba odabrati tako da se, u zavisnosti od njegove namjene i uslova na mjestu ugradnje, obezbijedi zahtijevani nivo tačnosti i sigurnosti u radu.

Svi potrošači na sekundarnoj strani strujnog transformatora vezani su na red i kroz svaki od njih prolazi ista struja. Kako različiti uređaji (za mjerenje i zaštitu) imaju različite zahtjeve u pogledu struje koja kroz njih protiče (prekomjerna struja), to se isti strujni transformator ne može koristiti i za mjerenje i za zaštitu.

Umjesto da se koristi više transformatora, najčešće se izrađuje strujni transformator sa više magnetnih jezgara, koja imaju drugačiju magnetnu karakteristiku. Ovaj transformator ima jedan primarni i više sekundarnih namotaja, oko različitih magnetnih jezgara, čime se ostvaruju suprotni/oprečni zahtjevi u pogledu prekomjernih primarnih struja. Kod ST sa više jezgara jedno jezgro se koristi za mjerenje utrošene energije, a drugo jezgro za zaštitu.

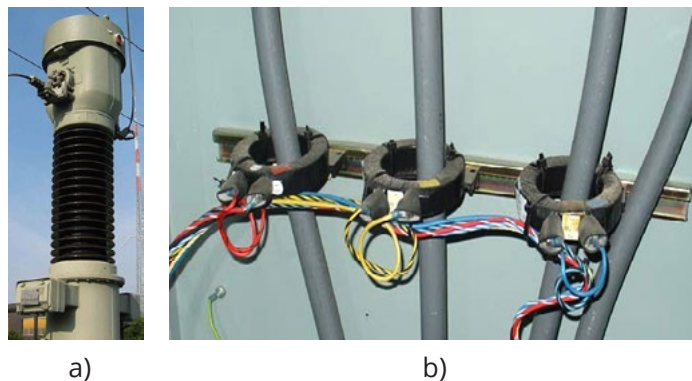
Simboli za označavanje krajeva i najčešći simboli za crtanje strujnog mjernog transformatora prikazani su na Slici 2.14. Krajevi primarnog namotaja označavaju se velikim slovima K i L , odnosno P_1 i P_2 (poređani u smjeru kretanja energije), a sekundarnog namotaja malim slovima k i l , odnosno s_1 i s_2 . Ako postoji više sekundarnih namotaja, npr. dva, krajevi se označavaju sa: $1k$, $1l$ i $2k$, $2l$ (poređani prema klasi tačnosti.).



Slika 2.14. Označavanje krajeva i najčešći simboli strujnog mjernog transformatora

Radi zaštite od mogućeg proboja izolacije između primarnog i sekundarnog namotaja, odnosno primarnog namotaja i magnetnog kola, strujni transformatori se moraju uzemljiti. Pored uzemljenja svih metalnih dijelova koji u normalnom pogonu nijesu pod naponom (zaštitno uzemljenje), obavezno se mora uzemljiti i jedan kraj sekundarnog namotaja, kraj k (radno ili pogonsko uzemljenje).

Strujni mjerni transformatori izrađuju se u više različitih konstrukcija. Najčešće se izvode kao: suvi, zamkasti (omčasti), štapni, malouljni, sa gasom SF6 i sl. Oblici dva različita ST (malouljni i zamkasti) prikazani su na Slici 2.15. Malouljni ST koriste se za visoke napone i sve vrijednosti struje, dok su omčasti pogodni za bilo koji način ugradnje. U oblasti visokih napona, zbog značajnih prednosti, sve više se koriste ST sa gasom SF6 pod pritiskom. U Evropi se uglavnom koriste induktivni strujni transformatori.



Slika 2.15. Različiti oblici strujnih mjernih transformatora:
a) malouljni, b) zamkasti

2.5.2.2. Naponski mjerni transformatori

Naponski mjerni transformatori su uređaji koji transformišu primarne visoke napone elemenata EES-a na vrijednosti napona iste frekvencije, koje odgovaraju naznačenim naponima mjernih i zaštitnih uređaja (niski napon 100 V) i te uređaje pouzdano odvajaju od primarnih napona radi bezbjednosti osoblja. Ugrađuju se u VNRP radi mjerenja, zaštite, upravljanja, signalizacije, sinhronizacija i sl.

I naponski mjerni transformatori se sastoje od primarnog i sekundarnog namotaja i gvozdеног jezgra (magnetnog kola) od limova. Primarni namotaj vezuje se paralelno sa mrežom. Mjerni i zaštitni uređaji na sekundarnoj strani takođe se vezuju paralelno sa sekundarnim namotajem. Po ponašanju i načinu izgradnje i vezivanja na mrežu, ne razlikuju se od energetskih transformatora. Da bi greška u mjerenju bila manja, ovi transformatori su malo opterećeni.

Karakteristične veličine naponskog mjernog transformatora (NT) su:

- naznačeni primarni napon U_{1n}
- naznačeni sekundarni napon U_{2n} (uobičajeno 100 V, a ponekad i 200 V)
- naznačeni odnos transformacije $m_n = U_{1n} / U_{2n}$
- naponska greška g_n u % (procentualna razlika između svedenog sekundarnog napona i primarnog napona)
- fazna greška δ_n (definisana uglom između fazora primarnog i sekundarnog napona)
- klasa tačnosti (standardne klase tačnosti NT za merenje su 0,1; 0,2; 0,5; 1 i 3)
- naznačeno opterećenje Z_n
- naznačena snaga S_n (snaga kojom se NT može trajno opteretiti uz definisanu klasu tačnosti)
- naznačeni faktor napona
- namjena NT.

Naponski transformatori nalaze se u paralelnoj vezi, tako da nijesu izloženi nikakvom dejstvu struja i sila u slučaju kratkog spoja, pa nije potrebno voditi računa o njihovom naprezanju.

Izrađuju se kao jednofazni i trofazni. Više se koriste jednofazni, jer su pogodniji za više napone.

Prema načinu transformacije napona razlikuju se: induktivni i kapacitivni NT; prema korišćenom izolacionam sredstvu: epoksidni, malouljni i sa gasom SF6; prema namjeni: NT za zaštitu i NT za mjerenje.

Za radne napone do 110 kV koriste se induktivni naponski transformatori sa gvozdenim jezgrom, na kome se nalaze primarni namotaj i jedan ili više sekundarnih namotaja.

Radi ekonomičnosti, za više radne napone obično se koriste kapacitivni naponski transformatori, izvedeni kao kombinacija kapacitivnog djelila napona i induktivnog naponskog transformatora.

Prema uzemljenju primarnih namotaja razlikuju se dva osnovna tipa naponskih transformatora: jednopolno izolovani (Slika 2.16a) i dvopolno izolovani (Slika 2.16b). Jednopolno izolovani NT ima jedan visokonaponski priključak, dok je drugi kraj primarnog namotaja spojen sa sudom naponskog transformatora (direktno uzemljen).

Kod dvopolno izolovanih NT svi djelovi primarnog namotaja (uključujući i priključke) izolovani su od zemlje na nivo koji odgovara njegovom naznačenom stepenu izolacije, tj. on ima dva visokonaponska priključka (izolovana od suda transformatora).

Šeme spoja jednopolno (a) i dvopolno (b) izolovanih NT prikazane su na Slici 2.17. Priključci primarnog namotaja NT označavaju se velikim slovima: U, V, W, X, a priključci sekundarnog namotaja malim slovima: u, v, w, x. Slova U, V i W označavaju potpuno izolovane priključke. Slovo X označava priključak za uzemljenje, čiji je nivo izolacije niži nego na ostalim priključcima.

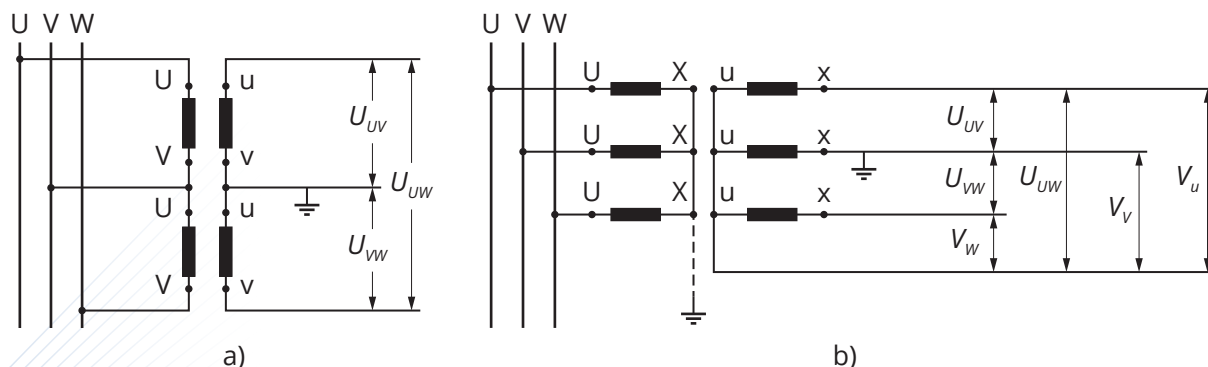


a)



b)

Slika 2.16. Izolovani naponski transformator:
a) jednopolno,
b) dvopolno izolovan

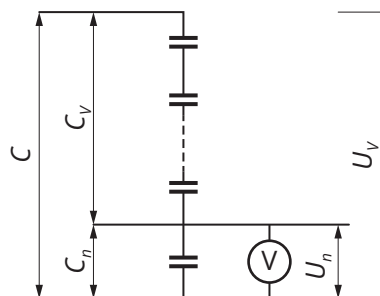


Slika 2.17. Šeme spoja izolovanih NT: a) jednopolno, b) dvopolno izolovani

I jednopolno i dvopolno izolovani NT mogu se koristiti za mjerenje u trofaznim sistemima, sami ili u sprezi sa drugim NT. U zavisnosti od toga šta se mjeri, u praksi se koriste različite sprege NT.

Za napone do 35 kV koriste se jednopolno ili dvopolno izolovani suvi NT. Maloljni NT (uljni NT se danas koriste veoma rijetko) koriste se za sve napone. Za visoke napone (110 kV i više) koriste se NT sa gasom SF₆, dok se za unutrašnju montažu upotrebljavaju i NT sa izolacijom od vještačkih smola.

Zbog veće ekonomičnosti u odnosu na induktivne NT i ostalih prednosti pri korišćenju za daljinska mjerenja, upravljanje, telemetriju i sl., za napone više od 110 kV umjesto induktivnih NT, vrlo često se upotrebljavaju kapacitivni NT (Slika 2.18). Po konstrukciji, to su redno spojeni kondenzatori smješteni u provodni izolator. Određeni broj ovih kondenzatora (koji zavisi od vrijednosti visokog napona U_v) predstavlja visokonaponsku granu C_v , dok manji broj kondenzatora čini niskonaponsku granu C_n (sa niskim naponom U_n), na koju se priključuje voltmetar ili zaštitni uređaj. Najčešće se kod ovakvih NT koriste elektrostatički ili cijevni voltmetri koji imaju veoma velike unutrašnje impedanse, pa je struja koja protiče kroz voltmetar praktično zanemarljiva.



Slika 2.18. Ekvivalentna šema kapacitivnog naponskog transformatora

impedansa

otpornost/mjera kojom se električno kolo suprotstavlja struji kada se na njega priključi napon



Slika 2.19. Naponski mjerni transformatori velike snage



Naponski mjerni transformatori velike snage montirani na različitim mjestima u VNRP prikazani su na Slici 2.19.

1. Koje vrste transformatora postoje u EES-u?
2. Navedi razlike između suvih i uljnih transformatora.
3. Opiši osnovne karakteristike energetskih transformatora.
4. Opiši osnovne karakteristike i navedi vrste mjernih transformatora.
5. Koja je osnovna uloga strujnih i naponskih transformatora?
6. Analiziraj razlike između energetskih i mjernih transformatora.

2.6. Tumačenje podataka i/ili šema iz kataloga proizvođača

U okruženju i šire postoji veći broj proizvođača energetskih transformatora kod kojih se, u zavisnosti od naponskog nivoa i konkretnih potreba i željenih karakteristika, mogu naručiti energetski transformatori. Proizvođači uglavnom svoj standardni proizvodni program prezentuju u svojim katalogima, koje objavljuju na internetu ili šalju kupcima na lični zahtjev. Mnogi od njih ispunjavaju i specifične zahtjeve kupaca.

Da bi se u svakoj konkretnoj situaciji odabrao odgovarajući transformator koji može ispuniti određene zahtjeve i karakteristike, neophodno je poznavati adrese proizvođača. Takođe, potrebno je posjedovati znanje i sposobnost da se, koristeći raspoložive kataloge, odabere odgovarajući transformator koji će u najboljoj mogućoj mjeri zadovoljiti zahtijevane potrebe.

Neki od proizvođača energetskih transformatora, od kojih je moguće tražiti ponude za zadovoljavanje konkretnih potreba su:

1. KONČAR D&ST, Zagreb, Hrvatska, <http://www.koncar-dst.hr/hr/>
2. MINEL-COMEL, Beograd, Srbija, <http://comel.rs/page/transformatori>
3. MINEL TRAF0, Mladenovac, Srbija, <http://www.minel-trafo.com>
4. KOLEKTOR ETRA, Ljubljana, Slovenija, <https://www.kolektor-etra.si>
5. ABB, Padova, Italija, <https://new.abb.com>
6. SIEMENS, Berlin, Njemačka, <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/high-voltage/transformers>
7. SGB, Minhen, Njemačka, <https://www.sgb-smit.com/>
8. CG Electric Systems Hungary Zrt, Budimpešta, Mađarska, <http://www.cgglobal.com/hu/>
9. WESTRAFO SRL, London, UK, <https://www.westrafo.com/en/products/power-transformers/>
10. CHINT, Šangaj, NR Kina, <http://en.chint.com/index.php/product/productList>



VJEŽBA: Izbor transformatora iz kataloga proizvođača

Cilj zadatka: Učenik/učenica zna da protumači uputstva, podatke i šeme iz kataloga proizvođača transformatora i da odabere transformator koji će zadovoljiti postavljene zahtjeve.

Nalog: Koristeći stečena znanja samostalno istraži na internetu proizvođače energetske transformatora i iz njihovih kataloga na osnovu dobijenog zahtjeva, odaberi odgovarajući transformator.

Nastavnik/nastavnica formira grupe. Svakoj od njih daje posebne zadatke, kao što su: da pregledaju sajtove proizvođača transformatora (treba da ih pronađu na internetu) i da iz kataloga/ponuda proizvođača izaberu transformator koji može da zadovolji zadate potrebe (koristiti stečena znanja iz ove oblasti).

Proizvođača, vrstu transformatora i konkretne zahtjeve za svaku grupu određuje nastavnik/nastavnica.

Vježba: Grupa pronalazi na internetu katalog zadatog proizvođača i odabira odgovarajući transformator za zadovoljenje konkretnih, od nastavnika navedenih, zahtjeva.

Na osnovu rezultata istraživanja, predstavnici grupe prezentuju svoje zaključke, tumače uputstva proizvođača transformatora i način njegovog odabira, kao i potrebne podatke i šemu izabranog transformatora.

3.

Prenaponi i prenaponska zaštita u visokonaponskim razvodnim postrojenjima

3.1. Nastanak i vrste prenapona

Pojava prenapona je jedan od čestih uzroka oštećenja opreme u VNRP (privremeno ili trajno oštećenje njene izolacije) i prekida snabdijevanja potrošača električnom energijom.

Pod prenaponima se podrazumijeva svako povećanje napona između dvije tačke elektroenergetskog sistema, koje stvara električno polje između njih i koje može predstavljati opasnost za štíćenu izolaciju.

Dakle, pod prenaponom se podrazumijeva napon koji je veći od najvišeg napona opreme, tj. napona za koji je oprema konstruisana i pri kome ona može normalno i efikasno da funkcioniše. Prenaponi mogu izazvati preskok po izolaciji ili proboj kroz izolaciju opreme.



Izolacija opreme služi da odvoji djelove koji su u normalnom pogonu pod naponom od djelova koji su uzemljeni, ili da odvoji djelove koji su pod različitim naponima.

Prema uzroku nastanka, prenaponi se dijele na dva osnovna tipa:

- spoljašnji ili atmosferski prenaponi
- unutrašnji prenaponi.

Spoljašnji ili atmosferski prenaponi nastaju usljed pražnjenja elektriciteta nagomilanog u oblacima (atmosfersko pražnjenje) direktno u elemente elektroenergetskih objekata (direktno pražnjenje ili prenaponi direktnog pražnjenja) ili u njihovu blizinu (indukovani prenaponi).

Pri direktnim atmosferskim pražnjenjima u elemente elektroenergetskog sistema pojavljuju se vrlo velike struje (reda 100 kA) koje izazivaju visoke napone na elementima (i do nekoliko hiljada kV), od kojih se oprema u postrojenjima mora štiti. Ova pražnjenja u tački pražnjenja stvaraju elektromagnetne talase koji se dalje prostiru duž provodnih djelova i elemenata, izazivajući dodatno opterećenje njihove izolacije.

U slučaju atmosferskog pražnjenja u blizinu elektroenergetskog objekta, dolazi do indukovanja prenapona (do veličine reda između 400 i 500 kV) koji mogu biti opasni, pogotovo u mrežama srednjih i nižih napona. Usljed prisustva naelektrisanog oblaka na provodnicima elektroenergetskih vodova, indukuje se (vezuje) određena količina naelektrisanja. Poslije atmosferskog pražnjenja u blizinu ovih vodova/objekata, indukovano naelektrisanje se oslobađa i kreće se na obje strane voda/objekta u obliku elektromagnetnih talasa – indukovano prenapona, dodatno opterećujući njihovu izolaciju.

Oblik i maksimalne vrijednosti atmosferskih prenapona zavise od energije atmosferskog pražnjenja, tj. od energije nagomilane u atmosferi (u oblacima). Važno je istaći da karakteristike atmosferskih prenapona ne zavise od naznačenih napona postrojenja ili mreže. Atmosferski prenaponi istog intenziteta mogu se pojaviti u mrežama različitih naponskih nivoa. Ovi prenaponi su, po pravilu, na mjestu nastanka aperiodičnog oblika, mada mogu pri prostiranju da izazovu i oscilacije na djelovima mreže.

Unutrašnji prenaponi nastaju usljed poremećaja u samom sistemu, tj. oni su posljedica naglih promjena konfiguracije postrojenja i mreža. Nastaju pri promjeni režima rada sistema – usljed normalnih/redovnih ili havarijskih/vanrednih manipulacija u EES-u (npr. promjena opterećenja, uključivanja ili isključivanja pojedinih elemenata ili djelova sistema, paljenja i gašenja električnog luka na mjestu kvara ili tokom komutacija u prekidačima...). Ovi prenaponi nastaju kao propratna pojava transformacije energije električnog polja sistema usljed naglih promjena strukture sistema u energiju magnetnog polja i obrnuto. Kako nastaju na račun energije nagomilane u EES-u, tj. gibanja unutrašnje energije sistema, najveća vrijednost (amplituda) ovih prenapona je ograničena energijom kojom raspolaže sam sistem. Njihove veličine mogu se izraziti u određenoj srazmjeri sa naznačenim naponima mreže i postrojenja.

Prema uzroku nastajanja, unutrašnji prenaponi se dijele na: sklopne ili komutacione (nastale radom rasklopne/sklopne opreme) i privremene ili povremene prenapone (nastale usljed zemljospojeva, rezonanse, ferorezonanse, naglog rasterećenja...).

aperiodičan oblik
koji nije periodičan

3.1.1. Atmosferski prenaponi

Atmosfersko pražnjenje nastaje pražnjenjem naelektrisanja skoncentrisanog u olujnim (grmljavinskim) oblacima (najčešće kumulonimbusima) u zemlji. Atmosfersko pražnjenje predstavlja vrstu iskričavog pražnjenja kod velikih vazdušnih međuprostora.

★★★ Pored električnog dejstva atmosfersko pražnjenje prate i snažni zvučni i svjetlosni efekti. Zvučni efekat koji nastaje pri ovom pražnjenju naziva se **grom**, dok se svjetlosni efekat zove **munja**.

Iako se danas, zbog značajnog obima istraživanja i eksperimentalnih i snimljenih materijala, raspolaže sa velikim brojem informacija o efektima atmosferskih pražnjenja, sam mehanizam razdvajanja naelektrisanja u oblacima i nastanak atmosferskih pražnjenja još uvijek je samo djelimično istražen i jasan. Kao posljedica toga, u stručnoj literaturi može se naći veliki broj teorija koje na različite načine objašnjavaju ove pojave.

Zajedničke osnovne činjenice u većini teorija su:

- U gornjem dijelu oblaka (temperature ispod tačke mržnjenja, do $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) sakupljaju se pozitivna opterećenja.
- U nižim slojevima oblaka (prema tlu) sakupljaju se negativna opterećenja.
- Proces razdvajanja naelektrisanja vezan je za atmosferske uslove/padavine.

Opšteprihvaćena teorija kojom se objašnjavaju ove pojave zasniva se na sljedećem:

Da bi došlo do atmosferskog pražnjenja, mora doći do naelektrisanja oblaka, razdvajanja naelektrisanja različitog znaka i obrazovanja znatnih zapreminskih naelektrisanja u različitim djelovima oblaka.

Prirodnim pojavama, uslovljenim velikom koncentracijom vlage u atmosferi i postojanjem jakih usponskih strujanja toplog vazduha, dolazi do razbijanja neutralnih molekula vode. Oni se razbijaju na pozitivne, teže čestice koje sa kišnim kapima padaju na zemlju (pozitivna kiša) i negativne, lakše čestice koje usponske struje vjetrova odnose u gornje slojeve atmosfere. Na ovaj način se pri olujnom nevremenu između donjih slojeva oblaka (eksperimentima je ustanovljeno da su olujni oblaci u najvećem broju slučajeva pretežno negativno naelektrisanih) i zemlje (indukcijom pretežno pozitivno naelektrisane) stvara džinovski kondenzator u kome se javlja jako električno polje. Polje je utoliko jače što su oblaci puniji naelektrisanim česticama. Ako su uzlazna vazdušna strujanja dovoljno jaka,

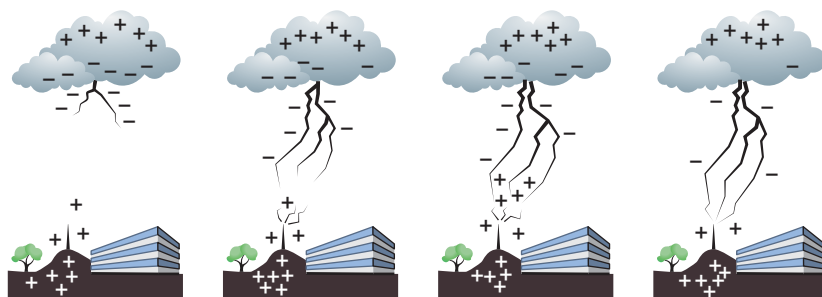
pozitivne čestice mogu se zadržati u atmosferi (u pojedinim djelovima oblaka). Na ovaj način objašnjava se pojava, utvrđena mjerenjima i eksperimentima, da su pojedini donji slojevi oblaka pozitivno naelektrisani.

Kada se u pojedinim djelovima ovog kondenzatora pojavi razlika potencijala dovoljna da savlada otpor vazduha i kada se ispune uslovi samostalnog pražnjenja, dolazi do jonizacije prostora i stvaranja dobro naelektrisanih plazmenih kanala (strimera i lidera) koji se kreću od oblaka ka zemlji, u najvećem broju slučajeva. Dolaskom ovog kanala do zemlje (skokoviti lider), nastaje električno pražnjenje kroz međuprostor oblak-zemlja, odnosno dolazi do atmosferskog pražnjenja/proboja između njih. U stručnoj literaturi se nastajanje atmosferskih pražnjenja šematski prikazuje na različite načine. Neki od ovih načina su prikazani na Slici 3.1.



Slika 3.1. Šematski prikaz nastajanja atmosferskog pražnjenja

Razvoj atmosferskog pražnjenja može se podijeliti na četiri osnovne faze šematski prikazane na Slici 3.2.



Slika 3.2. Faze razvoja atmosferskog pražnjenja

Prva faza. Kada je vrijednost električnog polja u bilo kojoj tački međuprostora kondenzatora oblak-zemlja (najčešće u oblaku koji se, u odnosu na zemlju, može ekvivalentirati šiljkom) veća od probojne čvrstoće vazduha (kritično polje), stvoreni su uslovi za jonizaciju vazduha. Jonizacija prostora uslovljava pojavu lavine elektrona, čiji početak se manifestuje pojavom korone na mjestima gdje je električno polje najjače. Korona predstavlja početak stvaranja narednog oblika pražnjenja – strimera, koji se dalje kreće kroz vazdušni međuprostor. Jačina struje u ovoj fazi vrlo je mala (reda veličine mA).

Druga faza. Usljed proticanja struje kroz tanke kanale korone, energija pražnjenja pretvara se u toplotu, koja stvara dodatne uslove za povećanje i ubrzanje jonizacije vazduha. Ovaj proces uslovljava povećavanje provodnosti, zbog čega dolazi do daljeg razvoja pražnjenja i stvaranja jako

jonizovanog plazmenog kanala tzv. predvodnika ili lidera. Lider predstavlja jako jonizovani svjetlosni kanal/plazma, čija se dužina kreće 5–50 m. Dovoljno velika struja pražnjenja u prvoj fazi predstavlja uslov za stvaranje predvodnika/lidera (skokoviti lider). Nakon ispunjenja potrebnih uslova, poslije nekoliko trenutaka, sa vrha lidera počinje novi skok u okolni prostor (lavina, strimer, lider). Pravac kretanja daljeg pražnjenja zavisi od više slučajnih (statističkih) veličina, pa je zato podvrgnut zakonima vjerovatnoće. Najčešće se taj proces odvija u promijenjenom pravcu u odnosu na prethodni, čime se stvara veoma izlomljena putanja skokovitog lidera. Jačina struje u lideru je reda nekoliko stotina ampera.

Treća faza. Kada se lider dovoljno približi nekom objektu ili zemlji, javljaju se lepeze tankih kanala (lavina i strimera) od glave lidera prema objektu, odnosno zemlji. Oni izazivaju na objektima indukovanje naelektrisanje suprotnog znaka. Približavanjem lidera zemlji dolazi do privlačenja suprotnog naelektrisanja s nekog uzemljenog objekta i spajanja naelektrisanih kanala (od oblaka i od zemlje/objekta). U zajedničkom kanalu dolazi do neutralisanja naelektrisanja suprotnog predznaka. Ovaj oblik pražnjenja naziva se glavno pražnjenje i ono traje dok se potpuno ne neutrališe količina elektriciteta u kanalu (70–100 μ s), a praćeno je svjetlosnim bljeskovima. Tada provodnim djelovima i kanalom protiče jaka udarna struja atmosferskog pražnjenja (i preko 100 kA), smjera od zemlje prema oblaku i električno polje naglo slabi.

Četvrta faza. U oblaku se najčešće stvara više zapreminskih naelektrisanja. Da bi se ispraznio (neutralizovao) kompletan električni naboj oblaka, obično nije dovoljno jedno glavno pražnjenje. Nakon jednog slijedi više uzastopnih impulsa atmosferskih pražnjenja. Ukoliko se sljedeći lideri formiraju nakon desetina ms od prestanka prvog, uspostavljanje kanala je puno brže. Takav lider (streloviti lider) kreće se po već jonizovanom kanalu (koji nije stigao da se dejonizuje) i njegov intenzitet slabiji je od prvog (zbog manje količine nagomilanog naelektrisanja, jer je prvi lider startovao od najveće količine naelektrisanja). Istraživanja pokazuju da se čak 40% pražnjenja sastoji od višestrukih udara, sa tri do četiri uzastopna udara. Zabilježeni su slučajevi i sa više od 50 uzastopnih impulsa/pražnjenja u toku jednog atmosferskog pražnjenja.

Tokom olujnog perioda električno pražnjenje se može javiti:

- u oblaku
- između oblaka
- između oblaka i vazduha
- između oblaka i tla/zemlje.

Slike različitih električnih pražnjenja u međuprostoru oblak-zemlja i u samom oblaku prikazane su na Slici 3.3.

jonizacija

fizički proces obrazovanja jona i elektrona iz neutralnih atoma ili molekula

lavina elektrona

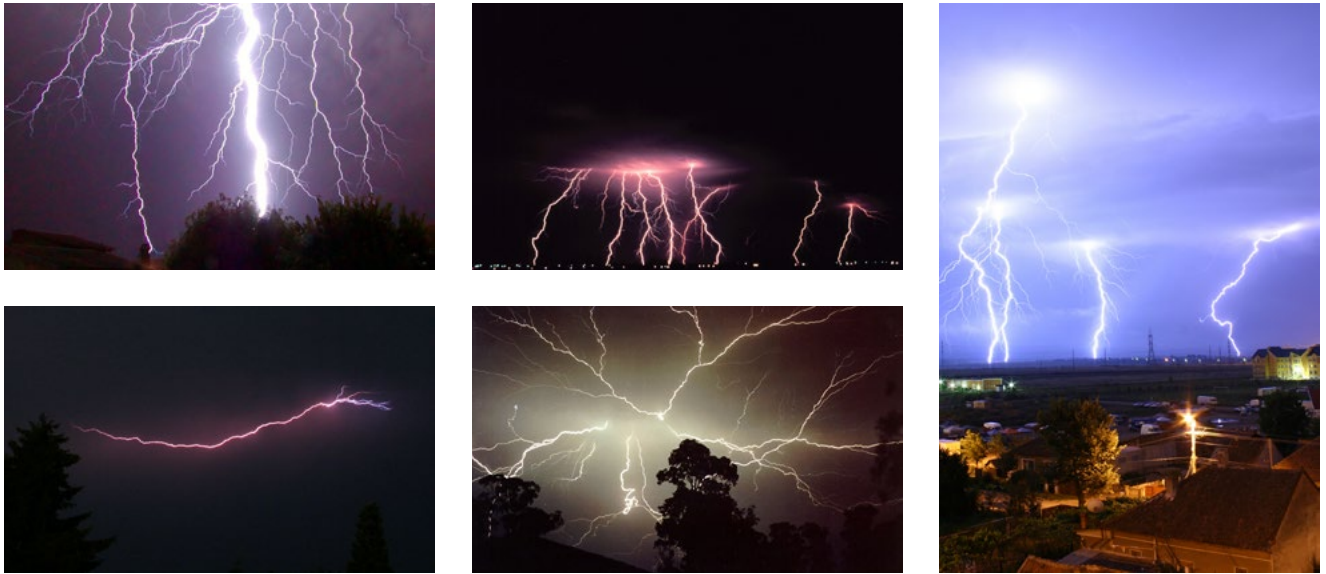
povećanje broja elektrona usljed jonizacije

strimer

tip prolaznog električnog pražnjenja, vijugavo pražnjenje

lider

vođa, prvak, predvodnik



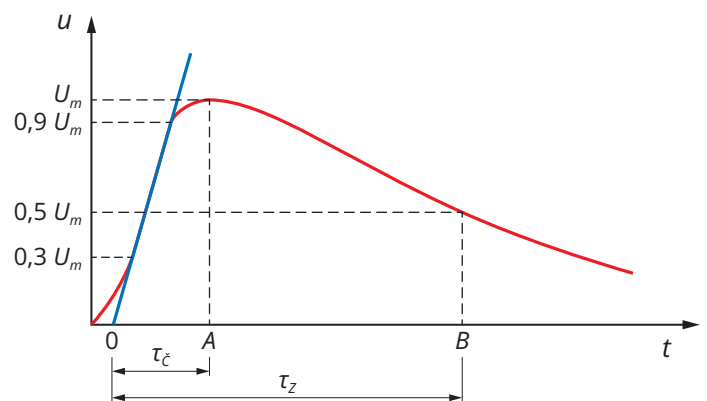
Slika 3.3. Različiti oblici električnog pražnjenja

Atmosferski prenaponi, nastali usljed pražnjenja elektriciteta iz oblaka/atmosfere u štice objekte ili blizu njih, traju relativno kratko (obično nekoliko desetina μs). Mogu imati znatne brzine uspostavljanja, velike maksimalne (tjemene) vrijednosti napona (i do šest miliona volti), pozitivnog su ili negativnog polariteta i imaju vrlo velike struje (40 do 150 kA).

Da bi se utvrdila izdržljivost opreme na atmosferska pražnjenja, u laboratorijskim uslovima vrše se njena ispitivanja. Standardni/propisani oblik prenaponskog talasa kojim se simuliraju atmosferski prenaponi pri ispitivanju visokonaponske opreme prikazan je na Slici 3.4.

Osnovne karakteristike standardnog oblika atmosferskog prenapona, koje se očitavaju iz oscilograma napona prikazanog na Slici 3.4. su:

- tjemena/maksimalna vrijednost napona U_m
- polaritet talasa (pozitivni ili negativni)
- vrijeme trajanja čela τ_c i trajanje začelja τ_z talasa.



Slika 3.4. Standardni oblik atmosferskog prenapona

Vremenski interval OA predstavlja tzv. vrijeme čela talasa τ_c , dok interval OB predstavlja vrijeme začelja talasa τ_z . Oba vremena izražavaju se u μs .

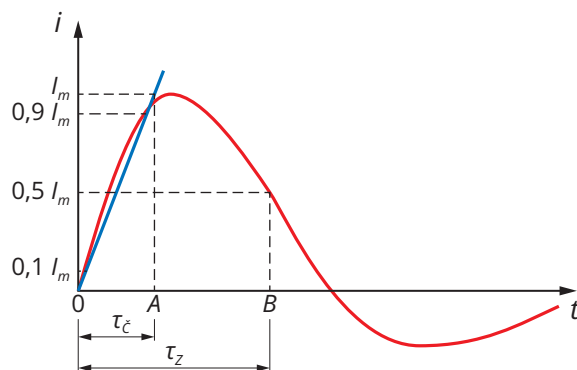
Skraćena oznaka naponskog talasa je $\pm U_m \tau_c / \tau_z$. Tipični naponski talas, usvojen kao standard kod ispitivanja opreme na atmosferske prenapone, označava se kao $\pm 1,2/50 \mu s$. Ova oznaka znači da je to standardni naponski talas pozitivnog ili negativnog polariteta, s vremenom trajanja čela od $1,2 \mu s$ i vremenom trajanja začelja od $50 \mu s$.

U realnim uslovima, u zavisnosti od specifičnosti lokacije i uslova, atmosferski prenapon može da ima oblik koji se razlikuje od oblika prikazanog na Slici 3.4.

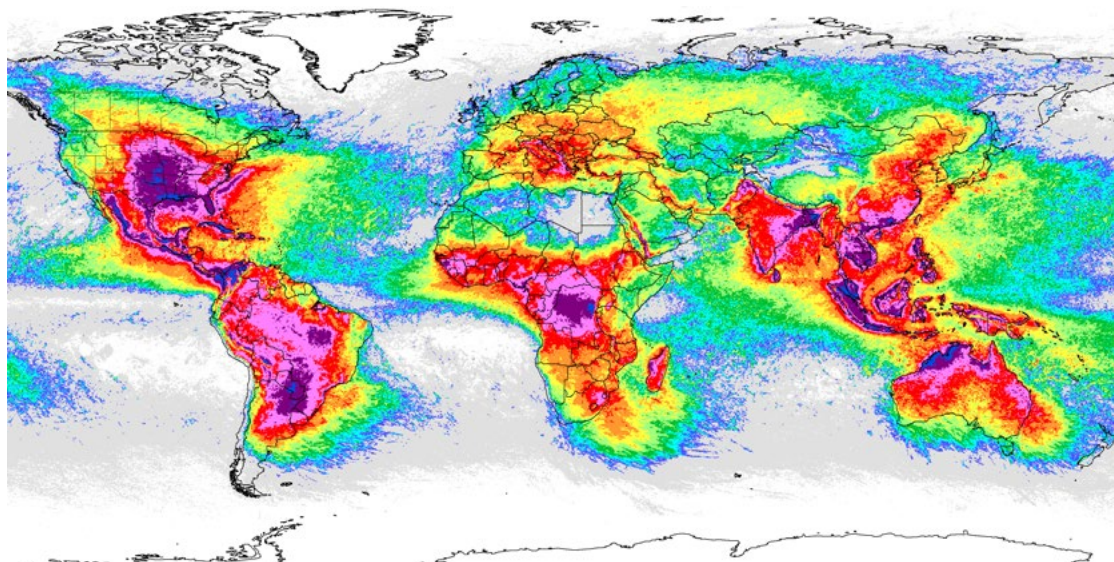
Za ispitivanje opreme kroz koju se očekuje proticanje struje atmosferskog pražnjenja (npr. odvodnik prenapona i sl.) koristi se standardni strujni udarni talas (Slika 3.5), iz koga se određuju osnovni parametri strujnog talasa.

Standardni oblik udarne struje označava se sa: $\pm 8/20 \mu s$ ($\tau_c = 8 \mu s$ i $\tau_z = 20 \mu s$).

Istraživanja i analize pojava atmosferskih pražnjenja pokazuju da atmosferska pražnjenja nije moguće predvidjeti niti tačno odrediti. Njih je samo moguće približno procijeniti. Osnovne karakteristike atmosferskih pražnjenja uglavnom se dobijaju eksperimentalnim putem. Na Slici 3.6 data je karta Svijeta sa ucrtanim intenzitetom rizika atmosferskog pražnjenja na globalnom nivou. Najveću gustinu udara groma imaju oblasti obilježene ljubičastom i ružičastom bojom, a nakon njih slijede crvena, narandžasta, žuta, zelena i plava.



Slika 3.5. Standardni oblik strujnog talasa prouzrokovanog atmosferskim pražnjenjem



Slika 3.6. Rizik atmosferskog pražnjenja na globalnom nivou

Očigledno je da postoje razlike rizika za različite regione, jer se neki regioni češće susrijeću s ovim problemom od drugih. Ovo jasno ukazuje i da se nivo zaštite od atmosferskih prenapona razlikuje od regiona do regiona, o čemu se mora voditi računa pri dimenzionisanju izolacije i korišćenju opreme.

3.1.2. Unutrašnji prenaponi

Unutrašnji prenaponi nastaju usljed nagle promjene režima u kolu i pojave oscilacija unutrašnje energije sistema (prelazni procesi) izazvanih različitim uzrocima. Zbog oscilacija unutrašnje energije sistema (elektrostatičke i elektromagnetne energije koje se nalaze u sistemu), amplituda unutrašnjih prenapona je ograničena. Njen iznos uglavnom se može vezati za radni napon mreže (što nije slučaj kod atmosferskih prenapona). Ovo znači da se njena vrijednost, sa dosta tačnosti, može unaprijed predvidjeti. Smatra se da je njihova vrijednost $\leq 3U_n$, pri čemu su tipične vrijednosti koeficijenta prenapona k između 2–2,5.

Unutrašnji prenaponi su po intenzitetu manji od atmosferskih, ali im je najčešće trajanje znatno duže. U zavisnosti od uzroka koji ih izazivaju, najčešće se dijele na dvije velike grupe:

- Sklopni ili komutacioni prenaponi, koji nastaju usljed raznih sklopnih operacija (uključenje ili isključenje) pojedinih elemenata ili djelova mreže. Uglavnom su posljedica sklopnih operacija prekidačima i rastavljačima.
- Privremeni ili povremeni prenaponi, koji mogu biti:
 - prenaponi pri nesimetričnom pogonu (pri nesimetričnim kvarovima ili pri nesimetričnim prekidima napajanja u trofaznim mrežama)
 - rezonantni prenaponi, nastaju u mrežama u kojima je sopstvena učestanost bliska prinudnoj učestanosti izvora (usljed određenog uklopnog stanja ili kvara)
 - ferorezonantni prenaponi, nastaju u mrežama u kojima nelinearna induktivnost magnećenja uđe u rezonansu sa kapacitivnostima
 - prenaponi pri naglom rasterećenju.

Glavni razlog nastanka sklopnih prenapona je težnja da se iz jednog režima za vrlo kratko vrijeme (trenutno) pređe u drugi režim. Ovaj prelazak se uglavnom obavlja komutacijama prekidača. EES se sastoji iz velikog broja inercionih elemenata (kondenzatori, induktivni kalemovi...) koji ne dozvoljavaju trenutnu promjenu režima. Nagle promjene režima izazivaju u njima oscilatorno prigušen prelazni proces koji se manifestuje u obliku sklopni/komutacionih prenapona. Sklopni prenaponi traju od djelova periode do nekoliko perioda industrijske učestanosti. Njihova učestanost varira od nekoliko stotina Hz do nekoliko desetina kHz.

rezonantni prenaponi

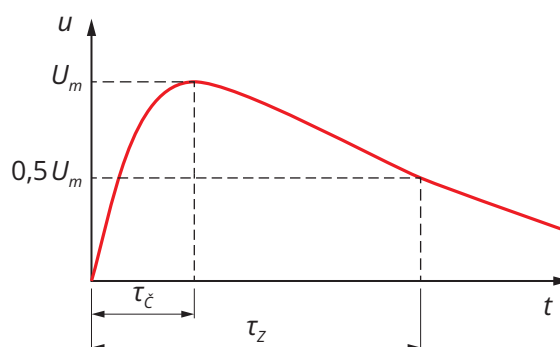
nastaju u mrežama kod kojih zbog određenog uklopnog stanja ili kvara, sopstvena učestanost mreže postane bliska učestanosti mreže

ferorezonantni prenaponi

nastaju u mrežama u kojima nelinearna induktivnost magnećenja uđe u rezonansu sa kapacitivnostima

Privremeni/povremeni prenaponi traju od nekoliko perioda napona industrijske učestanosti do nekoliko sati, što znači da imaju duže trajanje od atmosferskih i sklopnih prenapona. Učestanost im može varirati od industrijske učestanosti pa do učestanosti koja je viša ili niža od industrijske. Njihov iznos najčešće je neznatno viši od najvišeg napona mreže. Po pravilu, ne ugrožavaju značajnije izolaciju opreme, ali mogu biti problematični za rad pojedinih aparata i opreme koji se ugrađuju u VNRP i mreže.

Osnovne karakteristike standardnog oblika sklopnog/komutacionog udarnog napona date su na oscilogramu napona prikazanom na Slici 3.7. Vidi se da je trajanje ovog napona znatno duže od atmosferskog. Vrijeme trajanja čela talasa τ_c je vremenski razmak između stvarne nule napona i trenutka kada napon dostigne tjemenu vrijednost. Vrijeme trajanja začelja τ_z je vremenski razmak između stvarne nule napona i trenutka na začelju krive kada napon padne na polovinu tjemene vrijednosti. Ove vrijednosti se ovdje definišu nešto drugačije nego kod atmosferskog prenapona. Oba vremena izražavaju se u μs .



Slika 3.7. Tipičan oblik sklopnog udarnog napona

Tipični naponski talas, usvojen kao standard kod ispitivanja opreme na sklopne/komutacione prenapone označava se kao $\pm 250/2.500 \mu\text{s}$, što znači da je to standardni naponski talas pozitivnog ili negativnog polariteta, s vremenom trajanja čela od $250 \mu\text{s}$ i vremenom trajanja začelja od $2.500 \mu\text{s}$.

3.1.3. Prenaponska zaštita u VNRP

Elementi VNRP su osjetljivi na povećanja napona iznad naznačenih vrijednosti. Oni u principu teško podnose naponska naprezanja veća od dozvoljenih. Povećanje napona iznad dozvoljenih vrijednosti (prenaponi) mora se svesti na nivo koji izolacija opreme i uređaja može podnijeti bez oštećenja. Ovo podrazumijeva kvalitetnu, pouzdanu i sigurnu zaštitu svih elemenata od svih mogućih vrsta prenapona. Stepenu pouzdanosti svakog elementa i cijelog VNRP mjeri se učestanošću kvarova i vremenom koje je potrebno za njihovo otklanjanje.

Velike struje atmosferskog pražnjenja, prolazeći kroz pogođeni objekat, mogu stvoriti na njemu znatne padove napona i izazvati nepovoljno elektromagnetno, mehaničko, hemijsko i termičko dejstvo, koje može značajno da ošteti njegovu izolaciju.

Radi ilustracije razornog dejstva visokih napona i velikih struja, na slikama 3.8 i 3.9 prikazane su posljedice atmosferskih pražnjenja u različite objekte i instalacije.



a)



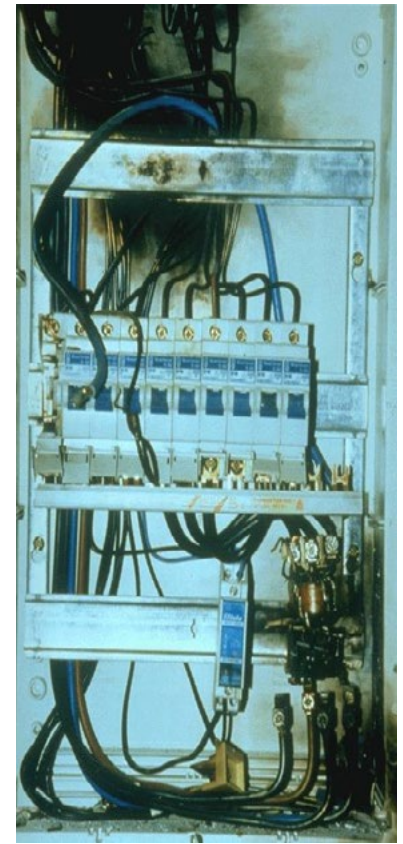
b)



c)

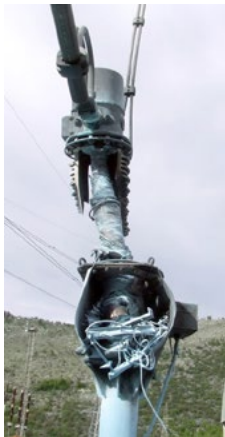


d)



e)

Slika 3.8. Posljedice atmosferskog pražnjenja a) i b) u drvo, c) u kuću, d) i e) u kućne instalacije



Slika 3.9. Havarije različitih elemenata VNRP usljed atmosferskih pražnjenja

Kako su način nastanka, osnovne karakteristike, efekti i sl. različiti kod različitih vrsta prenapona, to se i prenaponska zaštita od dejstva atmosferskih prenapona razlikuje od zaštite od djelovanja unutrašnjih prenapona.

Primjena određenih zaštitnih mjera i sredstava zavisi ne samo od vrste prenapona. U pitanju je i niz drugih faktora i parametara vezanih za štice sistem ili mrežu, kao i za lokaciju na kojoj se oni nalaze i uslova u kojima rade.

Za primjenu kvalitetne, sigurne i pouzdane **zaštite od atmosferskih pražnjenja** u VNRP potrebno je poznavati očekivane prenapone koji se mogu pojaviti prilikom atmosferskih pražnjenja u posmatrani objekat ili blizu njega.

Pošto se pri direktnom atmosferskom pražnjenju sva njegova energija predaje pogođenom objektu, a pri indukovanim prenaponima samo dio te energije, to prenaponi pri direktnom atmosferskom pražnjenju predstavljaju veću opasnost po izolaciju pogođene opreme.

Sistem zaštite od atmosferskih pražnjenja nije određen samo tehničkim potrebama (efikasnošću zaštitnih sredstava), već i ekonomskim parametrima i posljedicama (tzv. koordinacija izolacije). Ovo ukazuje da zbir troškova za obezbjeđenje zaštite i mogućih šteta izazvanih havarijama čiji je uzrok atmosfersko pražnjenje, mora biti minimalan. U uređaje koji služe kao zaštita od atmosferskih pražnjenja/prenapona ubrajaju se:

- gromobrani
- zaštitna/zemljovodna užad
- odvodnici prenapona
- uzemljenje, kao sastavni dio svih zaštitnih uređaja.

Karakteristike i načini izvođenja zaštitnih uređaja od atmosferskih prenapona objašnjene su u poglavljima 3.2 Karakteristike i načini izvođenja gromobranske zaštite u VNRP, 3.3 Elementi gromobranskih instalacija VNRP i 1.3.1.9 Odvodnici prenapona.

Kako unutrašnji prenaponi nastaju usljed oscilacija energija u samom sistemu, to se njihova vrijednost može vezati za radni napon sistema i oni se mogu unaprijed izračunati. Na veličinu unutrašnjih prenapona bitno utiče i način uzemljenja zvjezdišta. Ove činjenice veoma su bitne kod projektovanja VNRP i za određivanje zaštite od unutrašnjih prenapona.

Mnogobrojna ispitivanja, proračuni, analize i sl. pokazuju da su unutrašnji prenaponi u realnim uslovima ograničeni na neveliki umnožak naznačenog napona mreže U_n . Taj umnožak (faktor prenapona k), u većini praktičnih slučajeva, manji je ili je jednak tri. Ova, veoma važna praktična činjenica, ranije je korišćena za manje napone za određivanje zaštite od

unutrašnjih prenapona. Naime, oprema je izrađivana sa izolacionom čvrstoćom koja je mogla da izdrži prenapon do iznosa od $3 \cdot U_n$. Zbog toga se smatralo da su ovi uređaji i aparati bili zaštićeni od dejstva velikog broja unutrašnjih prenapona, bez potrebe ugrađivanja posebne opreme i uređaja. Porastom naznačenih napona i unutrašnji naponi postaju sve veći i opasniji, tako da se moraju koristiti i posebne mjere i uređaji za njihovo suzbijanje ili ograničenje.

Prvi korak zaštite predviđa, gdje god je to tehnički moguće i ekonomski opravdano, otklanjanje mogućnosti njihovog nastanka. Mjere zavise, prije svega, od vrste unutrašnjih prenapona.

Na primjer, da bi se spriječilo nastajanje prenapona usljed intermitentnog gorenja luka, odnosno njegovog ponovnog paljenja i gašenja, treba otkloniti mogućnost ponovnog paljenja luka koji predstavlja uzrok pojave prenapona. To znači da treba što je moguće prije i efikasnije ugasiti luk. Najčešće se za postizanje ovog cilja u neutralnu tačku trofaznog sistema priključuje neki uređaj/aparat za gašenje luka (Petersenka-Petersenova prigušnica, transformator Bauha i sl.).

Rezonantni i ferorezonantni prenaponi ograničavaju se promjenom parametara električnih kola ili kompenzacionim uređajima.

Za ograničenje komutacionih prenapona (naročito kod mreža najviših napona) koriste se i prekidači određenih (specifičnih) karakteristika. Takođe se koriste i razne vrste šema prekidača premošćenih/šantiranih sa visokoomskim otpornicima (najčešće nelinearnim).

Za zaštitu od komutacionih prenapona koriste se i specijalne vrste odvodnika prenapona, tzv. kombinovani odvodnici koji su konstrukciono riješeni tako da mogu da štite i od atmosferskih i od komutacionih prenapona.

Intermitentno

naizmjenično gašenje i paljenje

Petersenova prigušnica

kontinuirano podesivi induktivitet spojen između zvjezdista energetskog transformatora i uzemljiča u transformatorskoj stanici srednjeg ili visokog napona

Šant

sporedni priključak, otpornik koji se paralelno priključuje u strujno kolo, pri čemu se u ovom drugom smanjuje jačina struje

3.1.



1. Što je prenapon?
2. Navedi vrste prenapona, načine njihovog nastanka i njihove karakteristike.
3. Objasni nastajanje i razvoj atmosferskog pražnjenja.
4. Opiši nastajanje i razvoj unutrašnjih prenapona.
5. Uporedi atmosferske i unutrašnje prenapone.
6. Što čini prenaponsku zaštitu u VNRP i koja su sredstva zaštite od prenapona?

3.2. Karakteristike i načini izvođenja gromobranske zaštite u VNRP

Za zaštitu od direktnih atmosferskih pražnjenja objekata na zemlji, u kojima se nalaze postrojenja, služe uređaji koji se zovu **gromobrani**. Oni štite objekte na kojima se nalaze (a time i VNRP koji su u njima), preuzimajući/privlačeći na sebe direktna atmosferska pražnjenja i odvođeci energiju prenapona najkraćim putem, preko svog uzemljenja, u zemlju.



Iako je izvedena u skladu sa standardima, gromobranska instalacija ne može pružiti apsolutne garancije za zaštitu objekata, ljudi ili predmeta. Međutim, njeno postojanje može znatno smanjiti rizik oštećenja šticeenog objekta i moguće štete koje mogu nastati usljed atmosferskih pražnjenja.

★ ★ ★ Opasne posljedice direktnih atmosferskih pražnjenja su: trajno ili privremeno oštećenje vitalnih organa ljudi i životinja, požari, eksplozije, mehanička oštećenja, oštećenja električne i elektronske opreme, računarskih sistema, sistema za upravljanje i regulaciju, ispuštanje u okolinu opasnih hemijskih i bioloških supstanci, izazivanje panike...



Zona zaštite gromobranske instalacije predstavlja prostor gdje je vjerovatnoća prodora atmosferskog pražnjenja veoma mala.

Zaštitna zona gromobrana određuje se najčešće eksperimentalno, mjerenjima ili na osnovu empirijskih obrazaca.

Određivanje nivoa zaštite objekata zasniva se na procjeni vjerovatnoće kojom gromobranska instalacija štiti šticeeni prostor od atmosferskih pražnjenja. Kako ne postoji apsolutno sigurna zaštita od direktnog atmosferskog pražnjenja, osnovni cilj zaštite je da se smanji rizik od oštećenja ispod neke, ekonomski prihvatljive, granice.

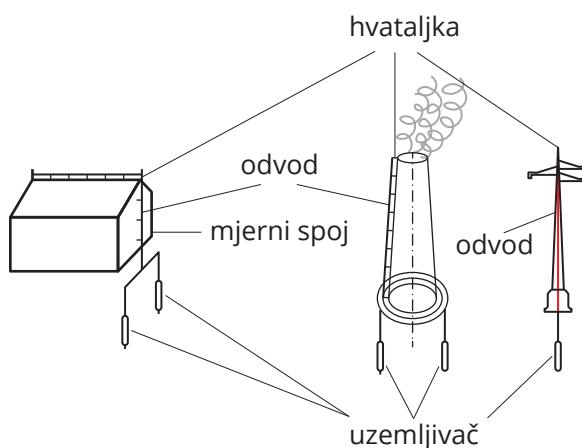
Gromobranska instalacija najčešće se dijeli na:

- **Spoljašnju** gromobransku instalaciju, koja ima zadatak da na sebe preuzme direktna atmosferska pražnjenja i bez posljedica sprovede u zemlju energiju atmosferskog pražnjenja.

- **Unutrašnju** gromobransku instalaciju, koja ima zadatak da spriječi pojavu velikih razlika potencijala unutar objekta i da dodatno zaštiti uređaje i instalacije u objektu od visokih atmosferskih prenapona.

Spoljašnju gromobransku instalaciju čine (Slika 3.10):

- prihvatni sistem/hvataljke
- spusni provodnici/odvod
- mjerni spoj
- sistem uzemljenja/uzemljivač.



Slika 3.10. Djelovi spoljašnje gromobranske instalacije

Unutrašnju gromobransku instalaciju čine elementi koji smanjuju elektromagnetni uticaj struje atmosferskog pražnjenja u štićenom prostoru. Takođe je čine i elementi koji služe za izjednačavanje potencijala uzemljivača i nultog potencijala različitih električnih i telekomunikacionih instalacija, kao i ostalih metalnih masa u objektu.

3.2.



1. Opiši karakteristike gromobranske zaštite u VNRP.
2. Objasni načine izvođenja gromobranske zaštite u VNRP.
3. Koji su elementi spoljašnje i unutrašnje gromobranske instalacije?

3.3. Elementi gromobranskih instalacija VNRP

Prihvatni sistem/hvataljke predstavlja djelove spoljašnje gromobranske instalacije namijenjene da na sebe prihvate direktno atmosfersko pražnjenje i na taj način spriječe oštećenje objekta. Ovaj sistem može biti sastavljen od bilo koje kombinacije sljedećih elemenata:

- štapnih hvataljki
- razapetih žica/provodnika
- mreže provodnika.

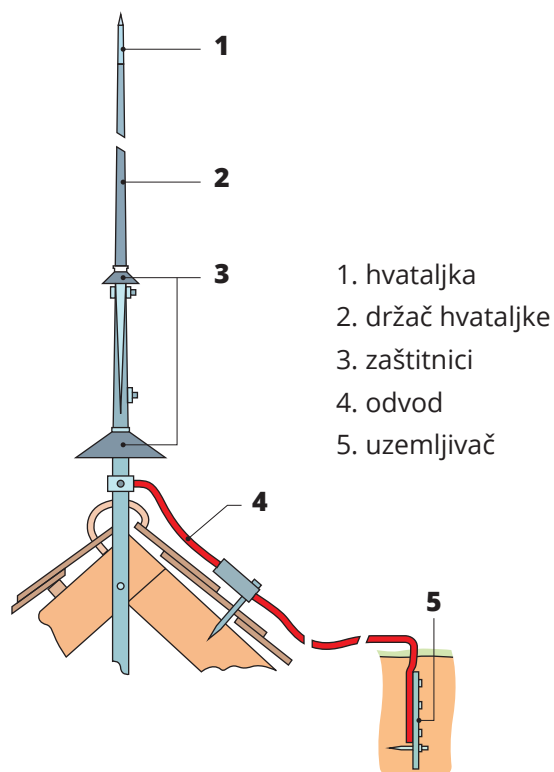
Štapna hvataljka je vertikalni metalni štap određene dužine postavljen na vrh štićenog objekta. On je jednim krajem, preko spusnih provodnika, najkraćom vezom povezan za uzemljivač (Slika 3.11).

Kada je krov od metala standardima propisane debljine, nije potrebno postavljati posebne hvataljke. Na zgradama s metalnom konstrukcijom, spojenom s metalnim krovom, postavljaju se samo uzemljenje i odvodi.

Metalne dimnjake, ventilacione cijevi i ostale mase koje nadvisuju krov, kao i metalne vođice liftova i dizalica treba spojiti sa gromobranskom instalacijom na više mjesta. Međutim, metalne konstrukcije antena, telefona i sl. na krovovima ne smiju se povezivati sa gromobranskom instalacijom.

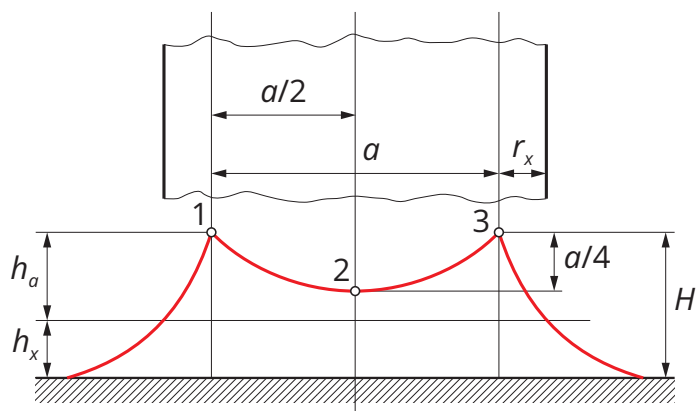
Efikasna zaštita prihvatnim sistemom može se postići primjenom različitih metoda i postupaka (ili njihovom kombinacijom), koje se koriste u zavisnosti od potrebnog nivoa zaštite. Najčešće se koriste sljedeće metode:

- zaštitni ugao α (°)
- fiktivna kotrljajuća sfera poluprečnika R (m)
- mreža provodnika različite širine okca d (m).



Slika 3.11. Gromobranski sistem sa štapnom hvataljkom

Radi ilustracije, na Slici 3.12 prikazana je praktična primjena određivanja zaštitne zone štapne hvataljke visine h u odnosu na zemlju, primjenom metode zaštitnog ugla α (°) i fiktivne kotrljajuće sfere poluprečnika R (m).



Slika 3.12. Zaštitna zona štapne hvataljke određena metodom zaštitnog ugla i fiktivne sfere

Poluprečnik zaštitne zone štapnog gromobrana r_x (Slika 3.13), čija je visina hvataljke u odnosu na objekat h_a iznad zemlje, a visina štice objekta h_x takođe iznad zemlje (ukupna visina hvataljke u odnosu na zemlju $H = h_x + h_a$), predstavlja krug poluprečnika r_x na visini h_x koji se može odrediti primjenom empirijskog izraza:

$$r_x = h_a \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{H}} \cdot p, \quad (3.1)$$

gdje je: $p = 1$ za $H \leq 30$ m i

$$p = 5,5\sqrt{H} \text{ za } H > 30 \text{ m.}$$

Ukoliko je površina objekta koji se štiti od atmosferskih pražnjenja velika ili izlomljena, mogu se koristiti dvije ili više štapnih hvataljki. U istu svrhu koriste se i provodnici u obliku mreže različitih dimenzija okca mreže, koji se raspoređuju po površini objekta i povezuju spušnim vodovima sa uzemljivačem. Za dvije ili više štapnih hvataljki zaštitna zona se najčešće određuje pomoću raznih dijagrama, dobijenih eksperimentalnim putem ili ispitivanjem na modelima.

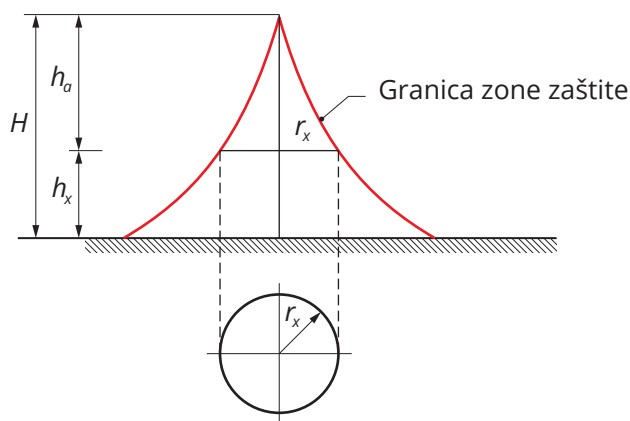
Na Slici 3.14 predstavljen je način određivanja zaštitne zone dvije štapne hvataljke (1 i 2) iste visine, koje se nalaze na udaljenosti a . Oznake za ostale veličine su iste kao na Slici 3.13.

U ovom slučaju, prvo se određuju zone zaštite za svaki štap posebno, kao što je to urađeno na Slici 3.13. Na taj način određuje se zaštitna zona koja se nalazi sa spoljašnjih strana hvataljki. Zaštitna zona između štapnih hvataljki 1 i 2 određuje se crtanjem kružnog luka kroz vrhove štapnih hvataljki (tačke 1 i 2) i kroz tačku na sredini rastojanja između tačaka 1 i 2. Tačka je spuštена za $1/7$ rastojanja između tačaka 1 i 2. Najuži dio zone zaštite ($2b_x$) određuje se pomoću izraza:

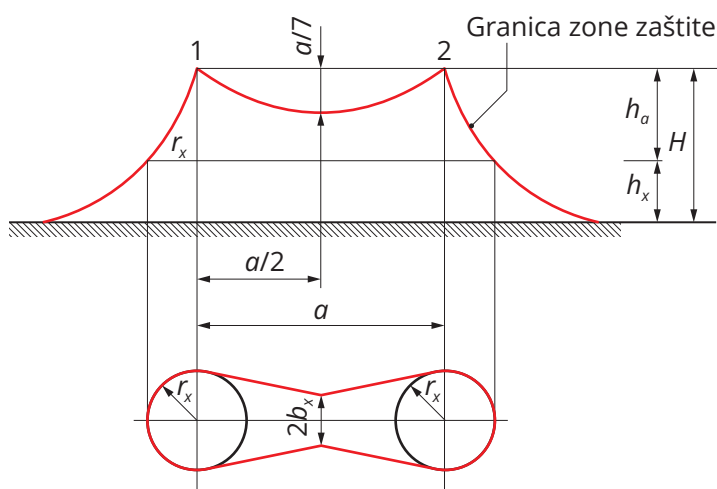
$$2 \cdot b_x = 2 \cdot r_x \cdot \frac{7 \cdot h_a - a}{12,5 \cdot h_a - a} \cdot \frac{12,5}{7},$$

za $H \leq 30$ m. (3.2)

Spusni provodnici/odvodi su djelovi gromobranske instalacije koji spajaju prihvatni sistem/hvataljke sa uzemljivačem. Namijenjeni su za odvođenje struje atmosferskog pražnjenja najkraćim putem, od prihvatnog sistema do sistema uzemljenja.



Slika 3.13. Zaštitna zona jedne štapne hvataljke



Slika 3.14. Zaštitna zona dvije štapne hvataljke iste visine

Spusni provodnici predstavljaju direktno produženje provodnika prihvatnog sistema. Moraju biti postavljeni tako da od mjesta udara atmosferskog pražnjenja do zemlje – uzemljivača (radi smanjenja opasnosti od pojave opasnih preskoka), postoji nekoliko paralelnih strujnih staza ravnomjerno raspoređenih oko objekta. Dužine strujnih staza (put kojim energija pražnjenja odlazi u zemlju) moraju biti minimalne.

Spusni provodnici se najčešće postavljaju po obimu štice prostora (po mogućnosti na uglovima objekta) na približno jednakom odstojanju, pravolinijski i vertikalno, slijedeći najkraći direktni put do zemlje.

Prilikom projektovanja i instalacije spusnih provodnika, mora se voditi računa o postojanju bezbjednosnog rastojanja između elemenata gromobranske instalacije i provodnih kola i instalacija unutar štice prostora.

Na mjestima spoja svakog namjenski ugrađenog spusnog provodnika sa zemljovodom (a time i sa uzemljivačem), mora se postaviti **ispitni/mjerni spoj**. Mjerni spoj je mjesto u odvodu gromobranske instalacije, gdje se može izvršiti rastavljanje prihvatnog sistema od uzemljenja. Služi za mjerenje otpora uzemljenja, kao i da omogućiti da se mjerenjem utvrdi da li su zemljovodi vezani na uzemljivač.

Mjerni spoj se izvodi na visini od 0,3–1,7 m iznad površine tla. Konstruiše se tako da se, uz pomoć potrebnog alata, može rastaviti za potrebe mjerenja i ispitivanja. U normalnoj upotrebi ovaj spoj je zatvoren, odnosno omogućava direktnu neprekidnu vezu prihvatnog sistema preko zemljovoda do uzemljenja. Mjerni/ispitni spoj se smješta u posebno konstruisanu kutiju za mjerni spoj (Slika 3.15).

Ako su i spusni vodovi i uzemljivač sastavni elementi objekta, formiranje ispitnih spojeva nije potrebno. U takvim slučajevima ispravnost sistema uzemljenja provjerava se sa sabirnice za izjednačenje potencijala objekta.

Uzemljivači (sistem uzemljenja) su galvanski povezane metalne elektrode/provodnici, ukopane u tlo ili položene u temelj objekta, koje treba da omoguće brzo i bezbjedno odvođenje energije atmosferskog pražnjenja u tlo/zemlju.

Uzemljenje kod gromobranske instalacije služi da galvanski poveže prihvatni sistem sa zemljom, omogućavajući što lakše i brže odvođenje energije atmosferskog pražnjenja u okolnu zemlju. Gromobransko uzemljenje treba da ograniči napon na koji dolazi gromobranska instalacija, kako bi se spriječili naknadni („povratni“) preskoci napona na pogonska električna kola i metalne objekte.



Slika 3.15. Kutija za mjerni spoj

Uzemljenje gromobranske instalacije sastoji se od zemljovoda i uzemlji-vača. Zemljovodi služe da povežu spusne vodove gromobranske instalacije sa uzemljivačem. Najčešće se izvode od istog materijala kao i uzemlji-vač. Na početku zemljovoda, za njegovu vezu sa prihvatnim sistemom, ugrađuje se ispitni/mjerni spoj. Ova veza obično se naziva razdvajajuća tačka u sistemu uzemljenja (Slika 3.16).

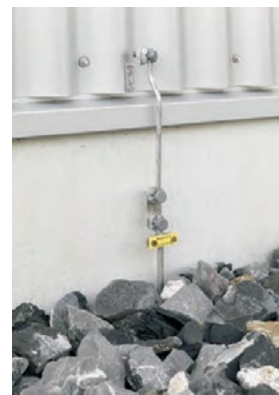
Detaljan opis vrsta, karakteristike i načini izvođenja uzemljenja u VNRP dati su u narednom tekstu (potpoglavlje 3.4 Vrste, karakteristike i načini izvođenja uzemljenja u VNRP).

Cilj gromobranske zaštite u VNRP je da se njome spriječe direktna atmosferska pražnjenja u objekte postrojenja postavljene na otvorenom.

Za zaštitu velikih visokonaponskih objekata (koji mogu da pokrivaju znatne površine i da budu prije svega dosta dugački) od direktnih atmosferskih prenapona služe uglavnom zaštitna/zemljovodna užad. Ona se u pojedinim slučajevima kombinuju sa štapnim, trakastim i mrežastim, gromobranama. Zaštita od direktnih atmosferskih udara ovakvih objekata postiže se postavljanjem jednog ili više zaštitnih užadi iznad cijele površine koju oni pokrivaju. Najčešće se zaštitna užad postavljaju na vrhove portal/nosača ili drugih visokih djelova postrojenja i povezuje se s njegovim uzemljivačem (Slika 3.17).

Zaštitna užad služe prvenstveno za zaštitu od direktnih atmosferskih pražnjenja iako, zbog njihovog većeg kapaciteta prema zemlji, imaju i izvjesnog uticaja (oko 15–20%) na smanjenje indukovanih prenapona.

Za zaštitu od visokih i vrlo visokih napona koristi se zaštitno užde od nekog dobro provodnog materijala (Al-Fe, AlMgIE-Fe i sl.).



Slika 3.16. Veza zemljovoda i uzemlji-vača



Slika 3.17. Zaštitna užad u različitim djelovima VNRP

Sva oprema elektroenergetskih postrojenja postavlja se u prostor ispod zaštitnih užadi, u kojem ona treba da bude dovoljno zaštićena od direktnih atmosferskih pražnjenja. Ovaj prostor se, kao i kod gromobrana, naziva *zaštitna zona užeta/užadi*.

Najbolji način određivanja zaštitne zone zaštitnih užadi je eksperimentalno, na modelima. Eksperimenti na modelima, višegodišnje radno iskustvo iz eksploatacije VNRP i mnogobrojni i raznovrsni proračuni i analize, rezultirali su dobijanjem većeg broja empirijskih obrazaca za određivanje zaštitne zone užadi koji se najčešće koriste u praksi.

Zaštitna zona određena eksperimentalnim putem, ukoliko postoji samo jedno zaštitno uže, najčešće se određuje kao prostor u granicama ugla od 25–30° sa obje strane zaštitnog užeta, mjereno od vertikale (Slika 3.18) koja prolazi kroz zaštitno uže.

Zaštitna zona određena eksperimentalnim putem između dva zaštitna užeta (Slika 3.19) obuhvata prostor ispod luka koji dodiruje oba zaštitna užeta, kome je središte iznad užeta i kome poluprečnik iznosi $0,58d$ (d je međusobna udaljenost zaštitnih užadi).

Zaštitna zona jednog zaštitnog užeta (Slika 3.20) može se odrediti i pomoću empirijskog izraza koji daje poluprečnik kruga zaštitne zone r_x na visini h_x :

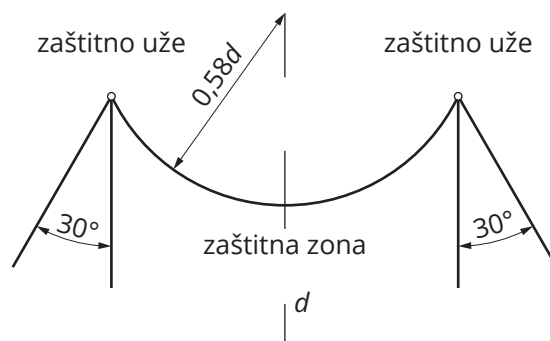
$$r_x = \frac{0,8 \cdot h_a}{1 + \frac{h_x}{H}}, \text{ za } H \leq 30 \text{ m.} \quad (3.3)$$

Na Slici 3.21 prikazan je način određivanja zaštitne zone za slučaj kada se koriste dva zaštitna užeta. U tom slučaju zaštitna zona obuhvata prostor ispod luka koji dodiruje oba zaštitna užeta, čiji je centar iznad užadi.

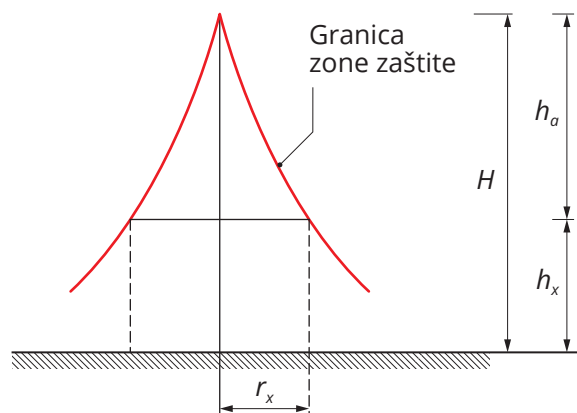
Zaštitno uže se povezuje sa zaštitnim uzemljenjem štice VNRP.



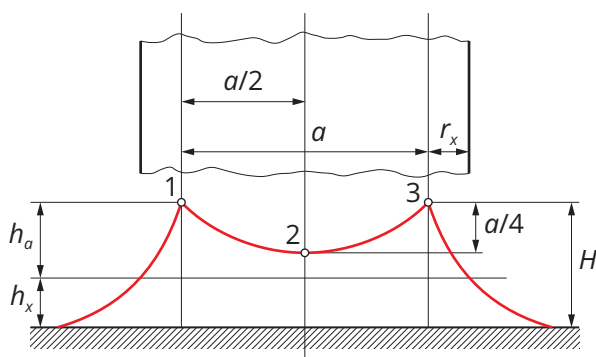
Slika 3.18. Zaštitna zona voda sa jednim zaštitnim užetom



Slika 3.19. Zaštitna zona voda sa dva zaštitna užeta



Slika 3.20. Zaštitna zona jednog zaštitnog užeta



Slika 3.21. Zaštitna zona dva zaštitna užeta

Zemljovod, tj. vod koji povezuje zaštitno uže sa uzemljivačem, kod metalnih stubova nosača užeta je sama konstrukcija stuba. Kod armirano-betonskih nosača je bar jedna armaturna šipka prečnika najmanje 10 mm, koja se neprekinuta proteže od vrha do dna nosača. Veza između zemljovoda i uzemljivača ostvaruje se preko stezaljke za uzemljenje, koja se na nosač postavlja najmanje na 0,3 m iznad njegovog temelja.

Na vodovima napona 35 kV koji ulaze u VNRP, zaštitno uže postavlja se samo na dužini od jedan kilometar ispred postrojenja na koje je spojen vod. Atmosfersko pražnjenje, ako bi i udarilo u fazni provodnik na rastojanju koje je duže od 1 km, bilo bi, zbog pojave intenzivne korone, dovoljno prigušeno do elektroenergetskog postrojenja. U vodovima napona 110 kV, kao i vodovima viših napona, zaštitno uže se postavlja po cijeloj dužini njegove trase.

Kao gromobranska zaštita u VNRP koriste se ne samo zaštitna užad, već i štapne hvataljke/gromobrani (Slika 3.22). Za određivanje zaštitne zone koja se obezbjeđuje primjenom zaštitnih užadi i gromobranskih šiljaka, uglavnom se koriste empirijske formule dobijene mnogobrojnim ispitivanjima u toku eksploatacije, višegodišnjim iskustvom i proračunima.

Za zaštitu VNRP od putujućih elektromagnetnih prenapona uglavnom se koriste različite vrste odvodnika prenapona koji su detaljno objašnjeni u potpoglavlju 1.3.1.9 Odvodnici prenapona.



Slika 3.22. Zaštitna užad i štapne hvataljke u 110 kV postrojenju

3.3.

| ?

1. Navedi i opiši elemente gromobranske instalacije VNRP.
2. Koja je uloga gromobranske instalacije VNRP?
3. Definiši i objasni pojam zaštitne zone gromobrana.
4. Objasni način povezivanja elemenata gromobranske instalacije VNRP.

3.4. Vrste, karakteristike i načini izvođenja uzemljenja u VNRP

Uzemljiti znači galvanski povezati provodne djelove aparata i opreme sa uzemljivačkim sistemom.

Uzemljenje u EES-u podrazumijeva skup sredstava i mjera koje se preduzimaju u cilju obezbjeđenja uslova za normalan rad sistema, bezbjedan rad i kretanje ljudi i životinja u blizini objekata koji mogu doći pod napon u normalnim ili havarijskim situacijama, kao i za zaštitu ljudi i opreme od struja i napona koji se javljaju pri atmosferskim pražnjenjima.

Svi metalni elementi VNRP (stubovi, portali, zaštitna užad i sl.), metalni djelovi opreme koji u toku rada nijesu pod naponom, zvjezdišta energetske transformatora, sekundarna strujna i naponska kola, odvodnici prenapona i sl., moraju se galvanski vezati (uzemljiti) za uzemljivač postrojenja.

Uzemljivač postrojenja čine jedan ili više provodnika položenih (horizontalno, vertikalno ili koso) u tlo, čime se ostvaruje neposredan kontakt provodnika i tla.

Uzemljivački sistem čine međusobno galvanski povezani uzemljivač i drugi metalni djelovi koji su u neposrednom kontaktu sa tlom.

Sistem uzemljenja EES-a treba da obezbijedi efikasan rad neutralne tačke EES-a u normalnom pogonu i koordinaciju izolacije sistema u uslovima havarijskih stanja.

Horizontalni (površinski, plitki) uzemljivač sastoji se od horizontalno položenih provodnika ukopanih u tlo na dubini 0,5–1 m (najčešće 0,8 m), tj. ispod dubine zamrzavanja zemlje. Mogu biti izvedeni kao zrakasti (trakasti), mrežasti, prstenasti (konturni), pločasti ili njihove kombinacije.

Vertikalni (dubinski) uzemljivač je sastavljen od jednog ili više štapnih/cijevnih provodnika (obično dužine 1–5 m) koji su ukopani vertikalno u tlo i međusobno povezani.

Kosi uzemljivač je štapni uzemljivač koso ukopan u tlo.

Uzemljivači se mogu podijeliti i na:

- namjenski izgrađene uzemljivače
- prirodne uzemljivače.

Namjenski uzemljivači izvode se od provodnika (najčešće od bakra ili pocinkovanog čelika) ukopanih u tlo, gradeći pri tome horizontalne, vertikalne ili kose uzemljivače.

Prirodni uzemljivači su metalni djelovi drugih instalacija ili objekata u zemlji koji se mogu iskoristiti kao uzemljivači gromobranske (i električne) instalacije (temeljni uzemljivači, zaštitna užad nadzemnih vodova, cjevovodi, plaštevni kablova, željezničke šine i sl.). Najčešća vrsta prirodnih uzemljivača su temeljni uzemljivači. Oni se sastoje od čeličnih armatura, armirano-betonskih temelja i ostalih suterenskih provodnih djelova zgrada. Prilikom njihovog formiranja neophodno je jednu od armaturnih šipki (ivičnu) povezati u neprekidni prsten, duž obima objekta. Povezivanje u prsten treba izvesti ili zavarivanjem ili kvalitetnim armaturnim spojnica. Svaki spusni provodnik prihvatnog sistema gromobranske zaštite mora se povezati na uzemljivač.

Uzemljivač, kao veoma važan sastavni dio uređaja i elemenata VNRP, karakteriše se većim brojem karakterističnih veličina. Sve karakteristične veličine definišu se preko **struje** koja se odvodi sa uzemljivača u tlo (I_u) i **potencijala** koji se, kao posljedica odvođenja te struje, javlja na tlu. Potencijal se određuje prema **referentnoj (neutralnoj) zemlji**. Ona je dovoljno udaljena od uzemljivačkog sistema, toliko da se pri odvođenju struje sa njega u tlo, na njoj ne pojavljuju potencijalne razlike.

Napon uzemljivača U_u je razlika potencijala na koju dolazi uzemljivač pri odvođenju struje u tlo i potencijala referentne zemlje. Njegova vrijednost se poklapa sa vrijednošću potencijala uzemljivača E_u .

Otpor rasprostiranja uzemljivača R_u je karakteristična veličina koja isključivo zavisi od konstruktivnih karakteristika uzemljivača i parametara tla. To je otpor kojim se tlo suprotstavlja odvođenju struje sa uzemljivača i određuje se kao odnos potencijala uzemljivača pri odvođenju struje ka referentnoj zemlji i te struje:

$$R_u = \frac{E_u}{I_u} = \frac{U_u}{I_u} \quad (3.4)$$

Izrazi za proračun otpora rasprostiranja i udarnog otpora pojedinačnih, najčešće korišćenih, tipova uzemljivača dati su u Tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Izrazi za proračun otpora rasprostiranja i udarnih otpora različitih uzemljivača

Uzemljivač	Otpor rasprostiranja		Udarni otpor	
	Približna formula	Pomoćne veličine	Efektivna veličina uzemljivača	Približna formula
trakasti, površinski	$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{l}{r}$	-	$r_{ef} = i_{ud} \cdot \frac{\rho}{\pi l} \cdot 10^{-6}$	$R_{ud} = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{l}{r_{ef}}$
štapni	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r}$	-	$r_{ef} = i_{ud} \cdot \frac{\rho}{2\pi l} \cdot 10^{-6}$	$R_{ud} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r_{ef}}$
prstenasti	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 l} \ln \frac{8D^2}{r \cdot t}$	$D = 1,13\sqrt{A}$	-	$R_{ud} \leq 0,9 \cdot R$
mrežasti	$R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{L}$	$D = 1,13\sqrt{A}$ $L = \sum l$	-	$(R_{ud} \leq 2R)$
temeljni (polukuglasti)	$R = \frac{\rho}{\pi D}$	$D = 1,57 \cdot \sqrt[3]{V}$	-	$R_{ud} = R$

Uzemljivače gromobranskih instalacija karakteriše udarni otpor rasprostiranja koji se dobija kao proizvod stacionarnog otpora rasprostiranja i udarnog koeficijenta k_{ud} . U inženjerskim proračunima (uz uvažavanje sigurnosne rezerve) najčešće se koristi da je $k_{ud} \leq 2$.

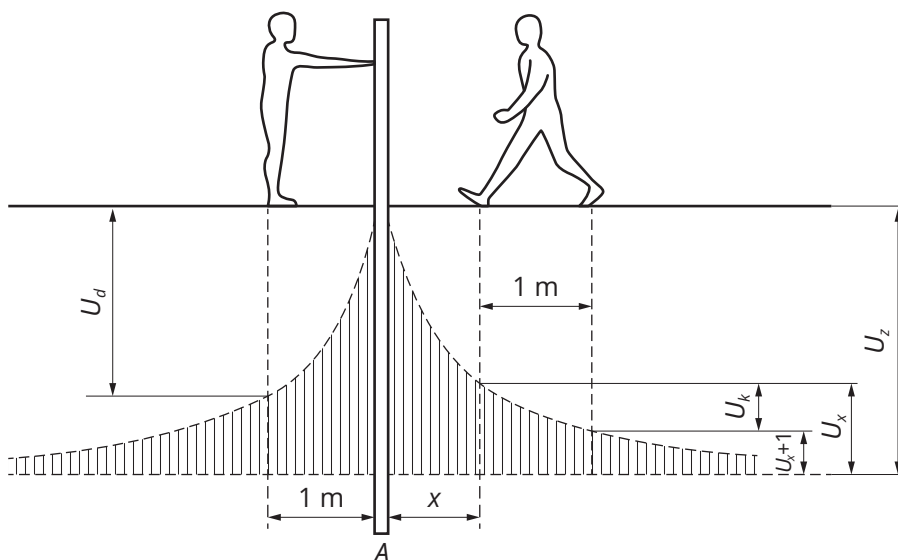
Impedansa uzemljenja Z_u je impedansa koju pri učestanosti od 50 Hz sistem uzemljenja suprostavlja odvođenju struje ka referentnoj zemlji.

Potencijalna razlika dodira E_d (napon dodira U_d) je razlika potencijala/napona koja postoji između uzemljenih objekata i stajališta, a koja se može premostiti dodiranjem (čovjekovo stopalo je udaljeno 1 m od uzemljenog uređaja). Ovo je osnovna karakteristična veličina prema kojoj se vrši dimenzionisanje uzemljivača.

Na Slici 3.23 prikazana je raspodjela potencijala oko *štapnog* uzemljivača A (isprekidana kriva), kao i određivanje napona dodira U_d čovjeka koji se nalazi na udaljenosti od jednog metra od uzemljenog objekta.

Potencijalna razlika koraka E_k (napon koraka U_k) definiše se kao potencijalna razlika/napon koja na površini zemlje može da se premosti korakom dužine jedan metar (Slika 3.23). Ova veličina takođe služi za dimenzionisanje uzemljivača.

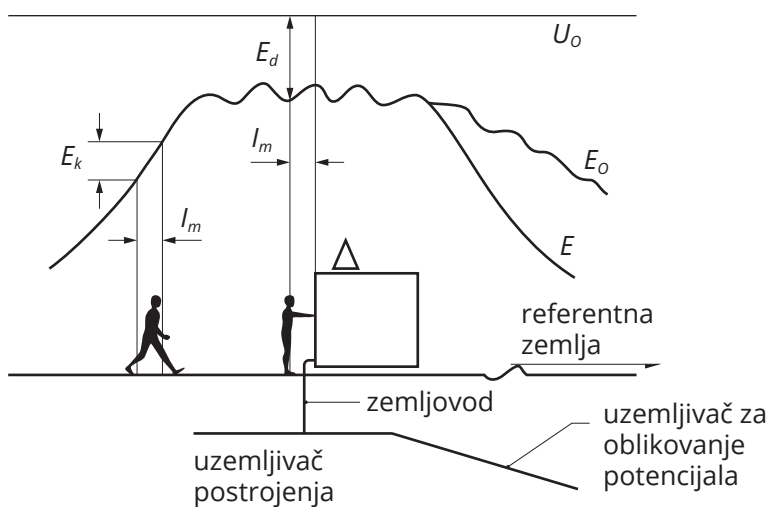
Očigledno je da je vrijednost napona koraka veća što se osoba kreće bliže uzemljivaču.



Slika 3.23. Raspodjela potencijala oko uzemljivača i određivanje napona dodira i koraka

Veličine napona dodira i napona koraka zavise od jačine struje koja teče kroz uzemljivač u zemlju, otpora rasprostiranja i oblika krive raspodjele potencijala.

Kriva raspodjele potencijala (E) na površini tla kod mrežastog uzemljivača, iz koje se mogu sagledati i osnovne karakteristične veličine ovog uzemljivača, prikazana je na Slici 3.24. Na slici je sa E_o označena raspodjela potencijala poslije oblikovanja potencijala, odnosno podešavanje raspodjele potencijala (koja se postiže polaganjem dodatnih provodnika uz obod osnovnog uzemljivača) radi smanjenja potencijalnih razlika dodira i koraka.



Slika 3.24. Raspodjela potencijala mrežastog uzemljivača

Neophodno je voditi računa da se uzemljivači, u zavisnosti od konkretnih lokalnih uslova, ukopavaju u različite vrste tla. Različite vrste tla imaju različite vrijednosti ekvivalentnih specifičnih otpornosti (Tabela 3.2), kojima se suprotstavljaju oticanju struje u tlo. Tačne vrijednosti specifične otpornosti tla mogu se utvrditi samo mjerenjem na konkretnom lokalitetu.

Sistem uzemljenja dimenzioniše se prema toplotnim opterećenjima i naponima koji se javljaju u sistemu uzemljenja, uz pretpostavku da postojeći zaštitni uređaji i prekidači normalno funkcionišu.

Za izradu elemenata uzemljivača koji se polažu u tlo, koriste se trakasti ili kružni provodnici od pocinkovanog čelika, bakra ili drugih materijala s odgovarajućim toplotnim, mehaničkim i hemijskim karakteristikama. Karakteristike elemenata i sistema uzemljenja (npr. najmanji dozvoljeni presjeci provodnika, najveće trajno dozvoljene struje provodnika, dozvoljeni naponi dodira i koraka, najmanje mjere uzemljivača) definišu se standardima i propisima i obično se u literaturi daju u tabelama.

Prema namjeni, uzemljenja se dijele na:

- pogonsko ili radno uzemljenje
- zaštitno uzemljenje
- gromobransko uzemljenje
- združeno uzemljenje.

Sistem uzemljenja VNRP izvodi se kao združeno uzemljenje pogonskog, zaštitnog i gromobranskog uzemljenja.

3.4.1. Pogonsko uzemljenje

Pogonsko uzemljenje povezuje djelove VNRP sa zemljom radi sprječavanja pojave prenapona u postrojenju i izbjegavanja opasnosti po život čovjeka. Sve djelove VNRP koji pripadaju strujnom kolu treba povezati na pogonsko uzemljenje.

Tabela 3.2. Ekvivalentne specifične otpornosti različitih vrsta tla

Vrsta tla	ρ (Ωm)
morska voda	0,2
rječna voda	50
humus, treset	20
baštenska zemlja	40
ilovača	40
glinasta zemlja	100
pjeskulja	300
pijesak	500
krečnjak	700
šljunkovita zemlja	3.000
kamenito tlo	8.000



Pogonsko ili radno uzemljenje je uzemljenje dijela strujnog kola kojim se obezbjeđuje željena funkcija i/ili radne karakteristike tog kola.

Karakteristika ovog uzemljenja je da je na zemlju spojena tačka postrojenja koja pripada strujnom krugu, što znači da je sam strujni krug galvaniski spojen sa zemljom.

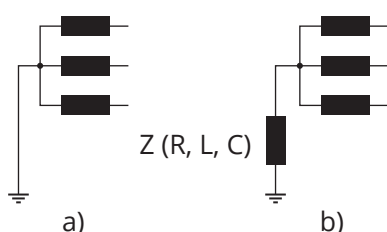
Pogonsko uzemljenje **stalno** obavlja svoju funkciju za vrijeme normalnog rada EES-a.

Pogonsko uzemljenje može biti:

- direktno
- indirektno.

Direktno pogonsko uzemljenje izvodi se neposrednim vezivanjem za sistem uzemljenja.

Indirektno pogonsko uzemljenje izvodi se vezivanjem za sistem uzemljenja preko neke impedanse (aktivne otpornosti R , induktivnosti L , kapacitivnosti C ili njihove kombinacije).



Slika 3.25. Pogonsko uzemljenje zvjezdišta transformatora: a) direktno, b) indirektno

Kao najčešće pogonsko ili radno uzemljenje javlja se uzemljenje nulte tačke transformatora (Slika 3.25). Na slici su prikazani direktno pogonsko (kruto, neposredno) uzemljenje zvjezdišta mreže, kao i indirektno uzemljenje zvjezdišta (koje može biti preko otpora, reaktanse ili impedanse).

Pogonska uzemljenja VNRP moraju biti dimenzionisana za najveću struju pri zemljospoju. Ako u postrojenju ima više mrežnih napona, zajedničko pogonsko uzemljenje dimenziomise se za onu mrežu kroz čiju nultu tačku pri zemljospoju teče najveća struja.

3.4.2. Zaštitno uzemljenje

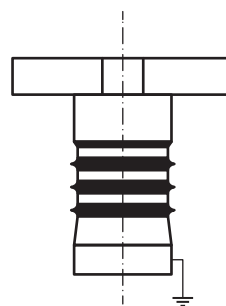
Zaštitno uzemljenje je uzemljenje svih metalnih djelova (tačka postrojenja) koji ne pripadaju strujnim kolima niti su neposredno u električnom kontaktu sa njima, i koji u normalnom pogonu ne smiju doći u galvansku vezu sa strujnim krugom. Međutim, ne može se izbjeći situacija da ti djelovi u slučaju kvara na izolaciji dođu pod napon. Ovo uzemljenje direktno štiti ljude koji rade u postrojenju od velikih napona i struja koji mogu da se pojave u slučaju kvara u postrojenju. Njegov zadatak je i da spriječi

stvaranje uslova opasnih po život ljudi koji rade u VNRP.



Zaštitno uzemljenje obavlja svoju funkciju samo za vrijeme trajanja kvara na izolaciji.

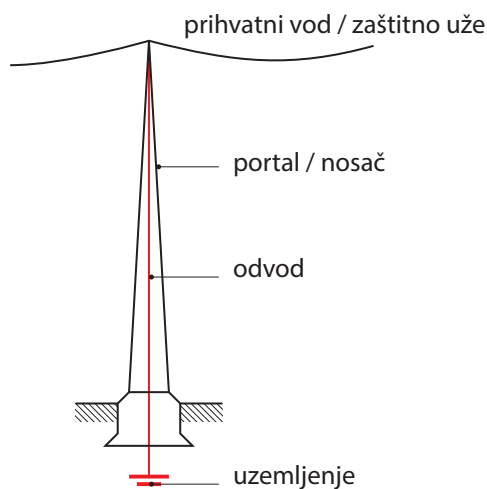
Kao tipičan primjer zaštitnog uzemljenja, na Slici 3.26 prikazano je uzemljenje konstrukcijskih dijelova postrojenja (konkretno, nosač potpornog izolatora).



Slika 3.26. Zaštitno uzemljenje konstrukcijskih dijelova objekta – nosača izolatora

3.4.3. Gromobransko uzemljenje

Gromobransko uzemljenje je uzemljenje gromobranske instalacije koje, odvođenjem struje atmosferskog pražnjenja u tlo, služi za zaštitu od atmosferskih pražnjenja. Ovo uzemljenje treba da ograniči napon na koji dolazi gromobranska instalacija kako bi se spriječili naknadni „povratni“ preskoci na pogonska električna kola i metalne objekte. Može biti izvedeno kao odvojeno ili kao zajedničko sa zaštitnim i pogonskim uzemljenjem. Kako se dimenzioniše prema uslovima impulsne struje atmosferskog pražnjenja, često se naziva i impulsno uzemljenje (uzemljivač). Na Slici 3.27 prikazano je gromobransko uzemljenje jednog portala/nosača prihvatnog voda/zaštitnog užeta u VNRP.



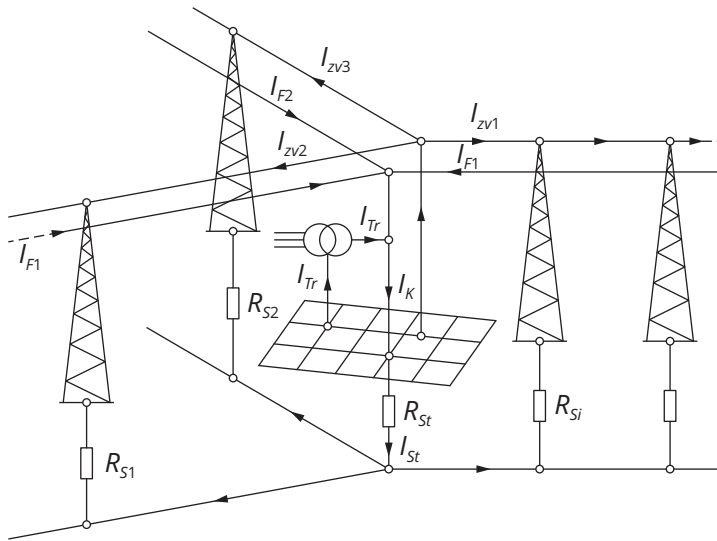
Slika 3.27. Gromobransko uzemljenje portala/nosača prihvatnog voda



Gromobransko uzemljenje se razlikuje od drugih vrsta uzemljenja jer djeluje (obavlja svoju funkciju) samo za vrijeme trajanja atmosferskog prenapona.

3.4.4. Združeno uzemljenje

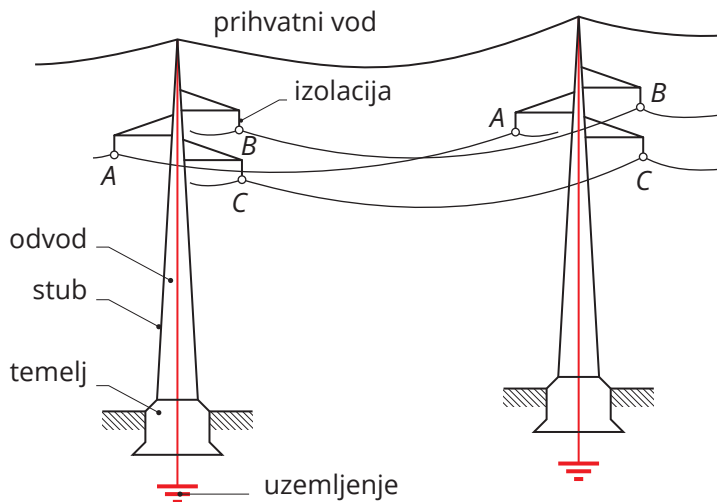
Kombinacija dva ili više načina uzemljenja na jedan uzemljivač naziva se združeno uzemljenje. Na primjer, u određenim slučajevima dozvoljeno je povezivanje gromobranskih uzemljenja u tzv. združeno uzemljenje objekta (Slika 3.28), koje je i zaštitno i radno za elektroenergetske instalacije.



Slika 3.28. Združeno uzemljenje

Ograničenja koja u pogledu vrijednosti stacionarnih otpora rasprostiranja nameću zaštitno i radno uzemljenje, oštija su od onih koja važe za gromobrankska uzemljenja. Posebno strogi uslovi važe za uzemljenja telekomunikacionih objekata, željezničkih električnih mreža i VN postrojenja, radnih uzemljenja laboratorija i sl. Ukoliko je u ovim slučajevima planirano povezivanje gromobrankskih uzemljivača u združeni, prije povezivanja neophodno je provjeriti zahtjeve važećih tehničkih propisa i preporuka za te vrste instalacija.

Pojedina uzemljenja imaju dvojaku funkciju. Na primjer, uzemljenje željeznog ili betonskog stuba dalekovoda sa zaštitnim užetom (Slika 3.29) ima funkciju zaštitnog uzemljivača i gromobrankskog uzemljivača. Ovakvi uzemljivači moraju se i projektovati za njihove specifične uslove rada.



Slika 3.29. Uzemljenje dalekovodnog stuba sa zaštitnim užetom

1. Definiši pojam uzemljenja i objasni njegovu ulogu u VNRP.
2. Nabroj vrste uzemljenja i objasni karakteristike uzemljenja VNRP.
3. Koja je razlika između napona dodira i napona koraka?
4. Objasni pojam zaštitno uzemljenje.
5. Uoč razliku između pogonskog i gromobranskog uzemljenja.
6. Što je zadatak združenog uzemljenja?

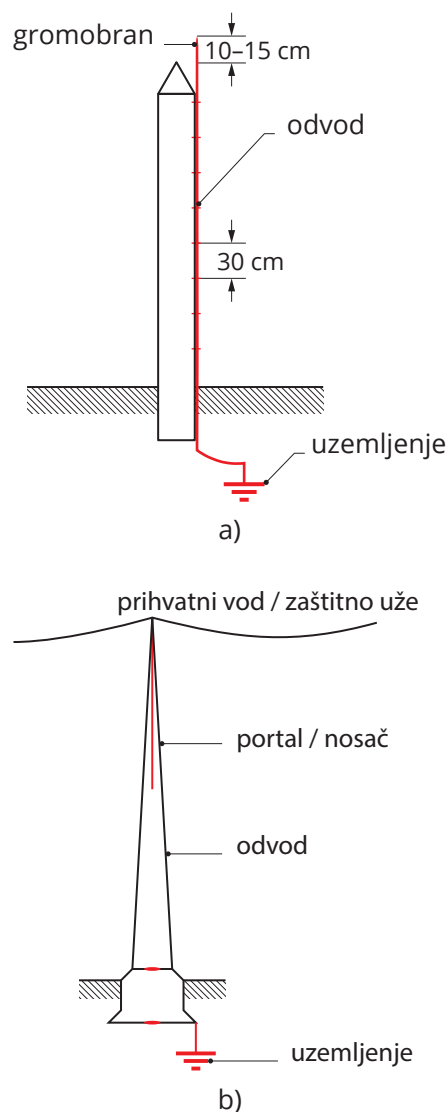
3.5. Elementi uzemljenja i njihovo povezivanje

Osnovni elementi uzemljenja su uzemljivač i spusni provodnici/zemljovodi. Uzemljivač je sastavljen od različito konfiguriranih metalnih provodnika različitih oblika i dimenzija, čija je funkcija da što brže i lakše odvede energiju prenapona u okolnu zemlju. Spusni provodnici/zemljovodi služe da najkraćim putem povežu štice objekta sa uzemljivačem.

Elementi uzemljenja VNRP se povezuju, a uzemljivač se oblikuje tako da se postignu povoljne, i u granicama propisa, vrijednosti otpora rasprostiranja uzemljivača i napona dodira i koraka. Oblikovanje zavisi od konkretnog raspoloživog prostora, rasporeda opreme i drugih uređaja koji se uzemljuju, kao i od vrste i karakteristika tla u koji se polaže uzemljivač.

Za uzemljivače koji se izvode u obliku mreže horizontalno ukopanih provodnika (na dubini 0,5–1 m) sve uzemljene metalne mase na području uzemljivača moraju da se nalaze unutar spoljašnjeg okvira uzemljivačke konture i da budu od njega udaljene najmanje jedan metar.

Verikalno postavljeni štapni uzemljivači (obično dužine 1–5 m) postavljaju se u slučajevima kada je specifična električna otpornost nižih slojeva tla, u koje oni prodiru ukopavanjem, manja od



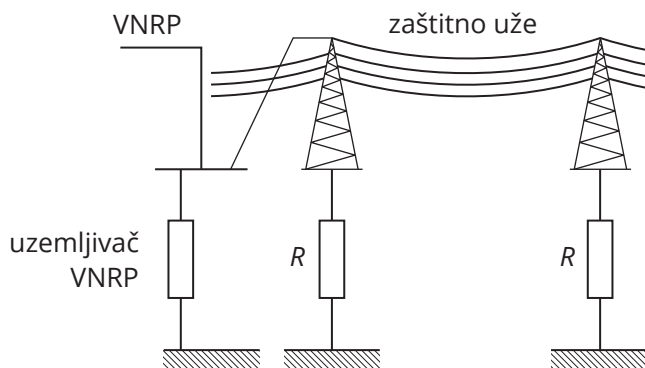
Slika 3.30. Povezivanje elemenata gromobranske instalacije: a) betonski portala/nosač, b) čelični nosač

specifične električne otpornosti površinskog sloja. Ako se uzemljivač sastoji od više štapova, oni moraju biti međusobno povezani.

Kod polaganja uzemljivača u tlo mora se voditi računa da on bude u dobrom kontaktu sa tlom u koje se polaže. Ukoliko je tlo kamenito ili šljunkovito, u iskopani rov za polaganje uzemljivača nasipa se dobro provodna usitnjena zemlja ili neki drugi sitniji dobro provodni materijal (npr. bentonit). Na taj način provodnici uzemljivača leže u zemlji (ili materijalu) i cijelom površinom dobro naliježu na nju.

Priključci uzemljivačkih vodova (zemljovodi) moraju se nalaziti iznad tla i biti dostupni radnicima na održavanju objekata. S obzirom na to da zemljovodi prolaze kroz različite sredine (vazduh, zemlju, malter, beton...), pri izvođenju uzemljivača treba im posvetiti posebnu pažnju. Spojevi moraju biti zavareni, zanitovani ili sigurno spojeni šarafima, moraju biti zaštićeni od korozije i mora se vršiti njihova kontrola najmanje jednom godišnje. Na mjestu ulaska zemljovoda u tlo ili beton, potrebno ga je zaštititi od korozije (bitumeniziranom trakom ili premazom toplim bitumenom). U zemljovode se ne smiju ugrađivati prekidači, osigurači, priključci druge opreme i sl.

Elementi gromobranske instalacije i načini njihovog povezivanja za različite štitične objekte prikazani su na Slici 3.30 i Slici 3.31.



Slika 3.31. Povezivanje elemenata gromobranske instalacije na primjeru izlaska vazdušnog voda iz VNRP

3.5.



1. Koji su osnovni elementi uzemljenja?
2. Opiši osnovne elemente uzemljenja.
3. Objasni načine polaganja djelova uzemljenja.
4. Kako se povezuju elementi uzemljenja?

4.1. Veličine za praćenje rada elektroenergetske opreme i uređaja

Tokom normalne eksploatacije elektroenergetske opreme i uređaja, neophodno je stalno praćenje njihovog rada i preduzimanje odgovarajućih mjera i aktivnosti za njihovo funkcionisanje. To se, prije svega, odnosi na normalne režime i stanja u toku eksploatacije.

Međutim, u toku rada opreme i uređaja mogu se pojaviti i određene nepravilnosti i neispravnosti. One, ako se na vrijeme ne uoče i ne otklone, mogu dovesti do većih kvarova i havarija, a time i do neplaniranih zastoja u napajanju potrošača koji mogu uzrokovati velike troškove, ekološke štete i ugroziti sigurnost radnika. Zbog toga je potrebno obezbijediti pouzdan i siguran rad elektroenergetske opreme i uređaja – stalno praćenje vrijednosti i ponašanja velikog broja veličina koje mogu, u većoj ili manjoj mjeri, uticati na optimalan rad ove opreme i uređaja.



Karakteristične veličine važne za rad opreme i uređaja mogu se podijeliti u dvije grupe:

- električne veličine
- neelektrične veličine.

U grupu **električnih veličina** obično se ubrajaju:

- struja (Amper – A)
- napon (Volt – V)
- frekvencija (Herz – Hz)
- snaga (Vat – W)
- faktor snage ($\cos \varphi$)
- otpornost (Om – Ω) i sl.

U grupu **neelektričnih veličina** ubrajaju se:

- temperatura (stepen Celzijusa – °C)
- pritisak (Paskal – Pa)
- brzina strujanja (m/s)
- količina gasova u ulju
- vibracije i sl.

1. Navedi karakteristične veličine za praćenje rada elektroenergetske opreme i uređaja.
2. Što mogu izazvati kvarovi elektroenergetske opreme i uređaja?
3. Što se ubraja u neelektrične veličine?
4. Koje su oznake mjernih jedinica električnih veličina?

4.2. Vrste kvarova i opasna pogonska stanja u VNRP

Elektroenergetski sistemi i svi njihovi djelovi moraju biti planirani, projektovani, konstruisani i vođeni na način da omoguće kontinuirano, sigurno, stabilno, pouzdano i ekonomično napajanje potrošača električnom energijom.



Od elektroenergetskih sistema i svih sastavnih djelova zahtijeva se visoki kvalitet u ispunjavanju njihovih funkcija u toku čitavog radnog vijeka.

Elektroenergetska oprema i uređaji u visokonaponskim razvodnim postrojenjima se u većem dijelu svog radnog ciklusa nalaze u tzv. normalnim pogonskim stanjima. Međutim oni su, u određenim uslovima, podložni i neplaniranim (nepredviđenim, nenormalnim) stanjima, što najčešće dovodi do zastoja ili potpunog prekida u isporuci električne energije potrošačima. Neplanirana/nepredviđena stanja se uglavnom svrstavaju u:

- kvarove
- opasna pogonska stanja.



Kvar predstavlja svaki lom, deformaciju, oštećenje, prekid, potrošenost, sagorelost i sl.

Oni mogu biti izazvani atmosferskim pražnjenjima, probojem ili preskom na izolaciji, vjetrom, ledom, snijegom, pticama, kratkim spojevima, habanjem opreme, pregrijavanjem, slabim održavanjem i sl. U većini slučajeva kvarovi se manifestiraju u obliku mehaničke štete. Kvar se mora u

što kraćem vremenskom periodu locirati, utvrditi njegov tip i uzrok, i što je moguće prije ukloniti. Električni kvarovi u VNRP mogu biti:

- **prolazni/kratkotrajni**
- **trajni.**

Obično su kvarovi definisani i klasifikovani određenim propisima ili normama. Na primjer, IEC propisi klasifikuju kvarove, koji se mogu dogoditi u toku pogona na visokonaponskim prekidačima, na velike i male.

Veliki kvar, npr. prekidača u VN postrojenju, prouzrokuje nemogućnost izvođenja jedne ili više osnovnih funkcija prekidača, i rezultira trenutnom promjenom u radu sistema.

Mali kvar prekidača je svaki kvar koji ne dovodi do velikog kvara.

U velike kvarove prekidača ubrajaju se sljedeći kvarovi:

- prekidač ne uključuje na komandu (odnosi se na električno upravljanje i/ili mehanički pogon prekidača)
- prekidač ne isključuje na komandu
- prekidač uključuje bez komande (odnosi se na električno upravljanje i/ili pogonski mehanizam prekidača, a ne na kvar zaštite ili upravljanja postrojenja)
- prekidač isključuje bez komande ne provodi struju (odnosi se na električne pojave u prekidnoj komori i priključnicama prekidača u uklopljenom položaju)
- proboj prema zemlji u uklopljenom stanju (odnosi se na električni proboj između djelova prekidača na pogonskom naponu i uzemljenih dijelova)
- proboj prema zemlji tokom uključivanja
- proboj prema zemlji u isključenom stanju
- proboj prema zemlji tokom isključivanja
- proboj između polova u uključenom stanju (odnosi se na električni proboj između djelova prekidača na pogonskom naponu, ali između različitih polova)
- proboj između polova tokom uključivanja
- proboj između polova u isključenom stanju
- proboj između polova tokom isključivanja
- unutrašnji proboj na jednom polu tokom uključivanja dok ne provodi struju (odnosi se na električne pojave u prekidnoj komori prekidača tokom sklopnih „operacija“)

- unutrašnji proboj na jednom polu u isključenom stanju (odnosi se na električni proboj između kontakata u prekidnoj komori unutar jednog pola)
- unutrašnji proboj na jednom polu tokom isključenja dok ne provodi struju
- spoljašnji proboj na jednom polu tokom uključanja
- spoljašnji proboj na jednom polu u isključenom položaju
- spoljašnji proboj na jednom polu tokom isključenja
- prekidač blokira u isključenom ili uključenom stanju (odnosi se na električne blokade i nadzor prekidača)
- gubitak mehaničkog integriteta (mehaničko oštećenje raznih djelova – izolatori).

Primjeri velikog kvara na različitim elementima VNRP prikazani su na Slici 4.1.



Slika 4.1. Primjeri velikog kvara na različitim elementima VNRP

U male kvarove prekidača ubrajaju se sljedeći kvarovi:

- ispuštanje vazduha ili ulja u radnom mehanizmu
- malo curenje gasa SF6
- ispuštanje ulja na visokonaponskim kondenzatorima
- promjene u mehaničkim karakteristikama

- promjene u električnim karakteristikama
- promjene u funkcionalnim karakteristikama nadzora i pomoćnih krugova.

Primjeri malog kvara prikazani su na Slici 4.2.

Glavni **izvor kvara** može biti mehaničke ili električne prirode. Najčešće su to:

- mehanički izvori u pogonskom mehanizmu
- mehanički izvori u drugim djelovima prekidača
- električni izvori (glavni krug)
- električni izvori (pomoćni i kontrolni krugovi)
- nepropusnost SF6 gasnog sistema.

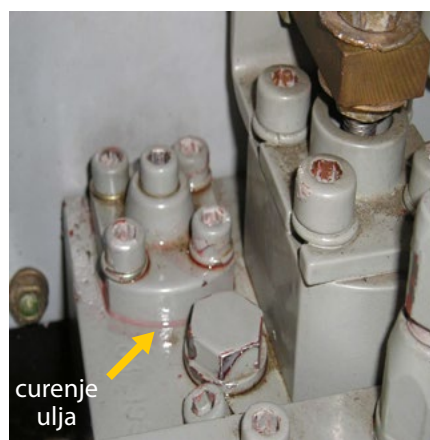
Uzrok kvara može nastati prije stavljanja prekidača u pogon ili tokom normalnog pogona prekidača.

Uzrok kvara **prije stavljanja** prekidača u pogon može biti:

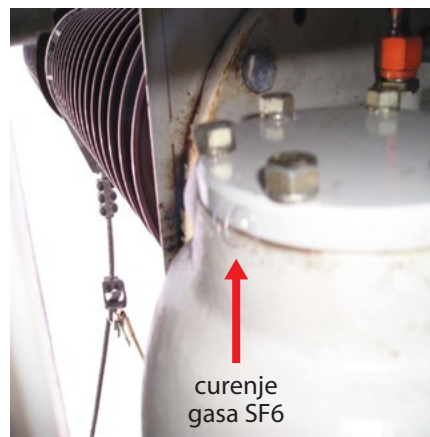
- greška u konstrukciji (odgovoran proizvođač)
- inženjerski kvar (odgovoran korisnik)
- greška u proizvodnji (loša kontrola kvaliteta)
- neispravan transport ili montaža na terenu
- nepotpuna uputstva za transport, montažu i rad.

Uzrok kvara nastao **tokom pogona** prekidača može biti:

- struja veća od naznačene
- napon većinom iznad dozvoljenog
- sklopni/komutacioni prenaponi prelaze dozvoljene
- udarni atmosferski naponi veći od naznačenih
- prevelika mehanička naprezanja
- uslovi okoline iznad dozvoljenih (izuzev preskoka)
- korozija
- istrošenost/starost
- neispravan rad prekidača
- neispravan nadzor
- električni kvar na susjednoj oprem,
- mehanički kvar na susjednoj opremi
- ljudska greška
- neispravno održavanje (nedovoljne instrukcije za održavanje i slično)
- oštećenja usljed spoljnih razloga (prouzrokovana malim životinjama, ljudima i sl.)
- druge nepredviđene okolnosti.

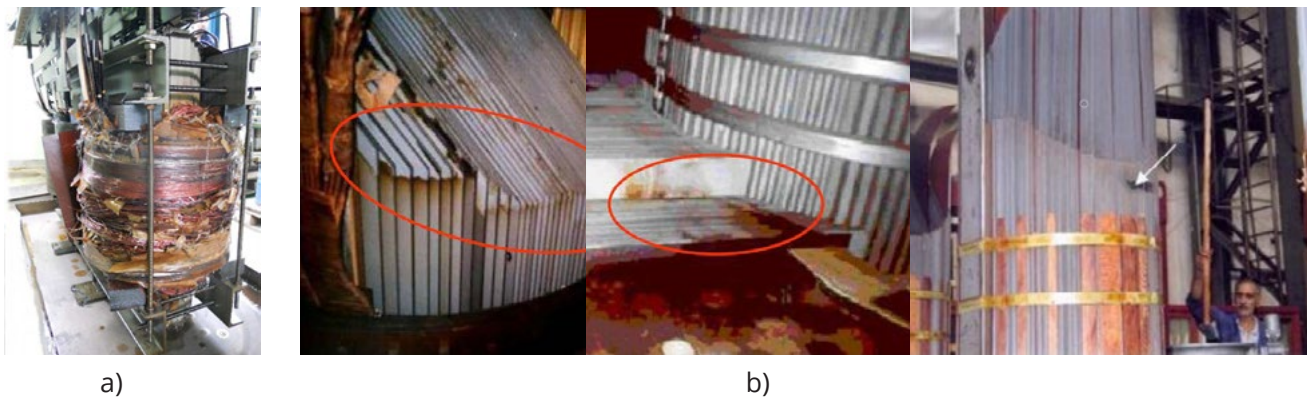


a)



b)

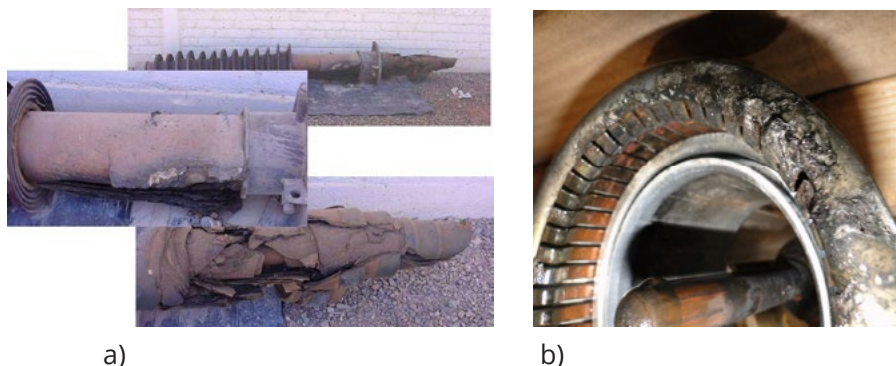
Slika 4.2. Primjeri malog kvara: a) curenje ulja, b) curenje gasa SF6



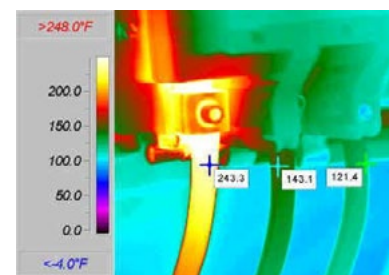
Slika 4.3. Oštećenje: a) namotaja, b) jezgra transformatora

Različite vrste kvarova koji se svakodnevno dešavaju u VNRP, na VN opremi i uređajima ostavljaju veoma ozbiljne posljedice, zbog kojih se ova oprema najčešće mora izvući iz pogona, remontovati ili zamijeniti novom. Uglavnom su za povratak na radno stanje, pored velikog vremena, potrebna i značajna finansijska sredstva.

Posljedice kvarova na različitoj VN opremi prikazane su: na Slici 4.3 (oštećenje a) namotaja i b) jezgra transformatora), na Slici 4.4 (oštećenje a) provodnog izolatora i b) aktivnog dijela kontakta VN prekidača) i na Slici 4.5 (oštećenje na priključku provodnika otkriveno termovizijskom kamerom).



Slika 4.4. Oštećenje: a) provodnog izolatora, b) aktivnog dijela kontakta VN prekidača



Slika 4.5. Oštećenje na priključku provodnika otkriveno termovizijskom kamerom

Najčešće u VNRP dolazi do sljedećih kvarova:

- **kratki spoj**
- **zemljospoj**
- oštećenja usljed pojave **prenapona**.

Pri pojavi kvara u EES-u, treba u što je moguće kraćem vremenu preduzeti sve potrebne radnje da se kvar što prije otkloni i uspostavi normalno napajanje potrošača.



Pored stanja u kojima dolazi do ozbiljnih poremećaja osnovnih funkcija sistema i njihovih elemenata, postoje i takozvana **opasna pogonska stanja**.

Opasna pogonska stanja su:

- nenormalno visoki naponi koji dodatno naprežu i ugrožavaju izolaciju uređaja
- preniski naponi koji otežavaju ili onemogućavaju normalan rad potrošača
- preopterećenje (rad pod opterećenjem većim od propisima dozvoljenog)
- spoljašnji kratki spojevi (kratki spoj nastao izvan zaštićene zone)
- prekomjerno zagrijavanje (usljed prevelikih struja dolazi do zagrijavanja, iznad propisima dozvoljenog, koje utiče na promjenu svojstava izolacije opreme)
- nesimetrično opterećenje. Svi uređaji i oprema predviđeni su da rade napajani kvalitetnom električnom energijom. To znači da su karakteristične trofazne veličine električne energije simetrične, odnosno da postoje tri fazora jednake amplitude, fazno pomjerena za 120°. Bilo kakvo odstupanje, amplitudno ili fazno, jednog od tri signala rezultiraće inverznom komponentom faznog pomjeraja i/ili nultom komponentom faznog pomjeraja. Nesimetrija napona može se definisati kao odnos između faznog pomjeraja inverzne komponente i faznog pomjeraja direktne komponente izražena u procentima.
- preveliki broj okretaja obrtnih mašina i sl.

Opasna pogonska stanja najčešće su posljedica kvarova u drugim elementima sistema, mada mogu nastati i zbog drugih razloga. Praćeni su odstupanjem struja, napona ili učestanosti od dozvoljenih vrijednosti.

U slučaju pojave opasnih pogonskih stanja koja treba što prije otkloniti, sistem i dalje funkcioniše (najčešće dosta otežano). Ako se na vrijeme ne preduzmu potrebne mjere i uzroci poremećaja ne otklone i sistem brzo ne vrati u normalno radno stanje, on može vrlo lako i brzo iz ovih stanja preći u stanja trajnog kvara.

4.2.1. Kratki spoj

Kratki spojevi su jedna od najneugodnijih smetnji u pogonu EES-a. Kratak spoj nastaje kada električno naprezanje izolacije poraste iznad njene električne/dielektrične čvrstoće. U stvari, kratki spoj je neželjeni električni

spoj (dva provodna dijela EES-a ili provodnog dijela i zemlje preko relativno male impedanse) u kome struja ima znatno veću vrijednost i put drugačiji od onog koji je normalan za dato električno kolo. Uzrok kratkog spoja može biti proboj/preskok izolacije, ali i slučajan dodir provodnika ili provodnika i zemlje. Posljedica kratkog spoja jednog dijela električnog kola je povećanje električne struje u ostalim djelovima.



Struja kratkog spoja je obično znatno veća od normalne, što dovodi do pregrijavanja spojnog mjesta, oštećenja opreme i uređaja, a često i do požara.

Uprkos detaljnom planiranju i projektovanju, dobrom održavanju i temeljitom radu sistema, kratki spojevi u elektroenergetskim sistemima se ne mogu izbjeći.

Uzrok nastanka kratkog spoja je:

- povećanje napona koji djeluje/utiče na izolaciju (pojava prenapona)
- smanjenje izolacije (npr. dodir provodnika usljed njihovog njihanja)
- istovremeno povećanje napona i smanjenje izolacije.

S obzirom na trajanje, uzroci kratkog spoja se dijele na:

- prolazne uzroke (prenaponi, istrošena izolacija, dodir usljed njihanja provodnika, premošćenje nekim stranim sagorivim tijelom – ptice, životinje, grane i sl.)
- trajne uzroke (lom izolatora, zaprljanost izolatora, pad provodnika na drugi provodnik ili na uzemljeni dio, premošćenje stranim tijelom koje ne sagorijeva pri padu na provodnik i sl.).

Prolazni uzrok stvara na mjestu kratkog spoja električni luk koji se održava i nakon nestanka uzroka i to sve dok se ne isključi kompletan vod. Nakon isključenja luk se gasi, a ponovnim uključanjem luk se više neće pojaviti.



Na mjestu kratkog spoja obično postoji otpor električnog luka.

Ako na mjestu kratkog spoja nema otpora, onda se takav kratki spoj naziva direktni kratki spoj.

Kratki spoj je najčešći i najopasniji oblik kvara, koji prate mnogobrojne neprijatne i veoma ozbiljne posljedice, kao što su:

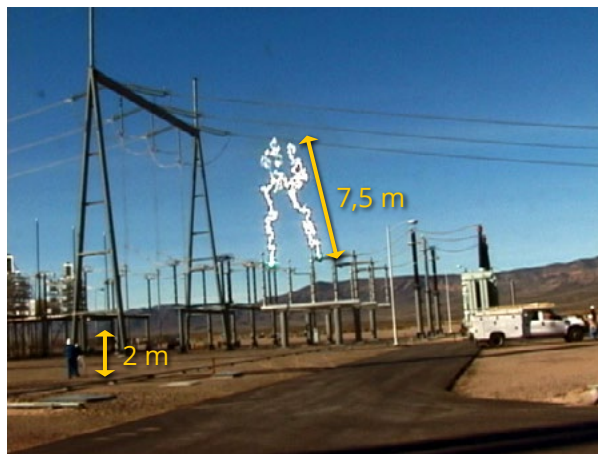
- Jako razaranje na mjestu kvara izazvano djelovanjem električnog luka sa velikim strujama kratkog spoja. One negativno utiču i na stabilnost EES-a.
- Usljed velikih početnih vrijednosti struje kratkog spoja, nastaju snažna dinamička naprezanja između provodnika i svih elemenata postrojenja kroz koje prolazi struja kratkog spoja. Ova naprezanja mogu se izbjeći jedino ako bi se vod isključio upravo u trenutku nastanka kratkog spoja (osigurači). Zbog određenih mana i ograničenja, osigurači se malo koriste u mrežama visokog napona a prekidači ne mogu brzo isključiti vod, pa se dinamička naprezanja na vodu redovno javljaju pri kratkom spoju.
- Struja kratkog spoja zagrijava djelove kroz koje protiče. Zato se kratki spoj mora isključiti prije nego dođe do termičkih naprezanja i razaranja/uništenja djelova kroz koje prolazi struja (prije svega izolacije). Termička naprezanja kao posljedica velikih struja usljed kratkog spoja zavise od jačine struje kratkog spoja i od vremena trajanja istog. Od termičkih naprezanja (akumulisanje toplote) najviše su, zbog osjetljive izolacije, ugroženi kablovski vodovi, mašine i motori i strujni transformatori. Zbog vrlo visokih temperatura koje se pojavljuju prilikom nastanka električnog luka, na mjestu pojave kratkog spoja dolazi do razornog djelovanja električnog luka na izolaciju opreme ugrađene u VNRP.
- Izraziti padovi napona na velikom području koji ometaju normalan rad potrošača ili izazivaju njihovo ispadanje iz pogona. U blizini kratkog spoja, napon se „slama“, odnosno, toliko smanji da većinu uređaja (npr. motora) isključi podnaponska zaštita.
- Ako struja kratkog spoja teče kroz zemlju, na mjestu kratkog spoja (spoja provodnika i zemlje) pojavljuju se vrlo opasne razlike potencijala.



Slika 4.6. Posljedice kratkog spoja u električnim instalacijama objekta

Na Slici 4.6 prikazane su posljedice kratkog spoja koji je nastao usljed neispravnih električnih instalacija u objektu.

Na Slici 4.7 prikazana je pojava električnog luka usljed pogrešnih manipulacija 400 kV rastavljačima pod naponom u VNRP. Ova manipulacija je zabranjena propisima, jer električni luk koji se pri tom javlja može izazvati velika oštećenja na uređajima i opremi, a ugroženo je i osoblje u određenom prostoru oko ovih rastavljača.



Slika 4.7. Različiti oblici električnog luka usljed isključenja 400 kV rastavljača pod naponom

Da bi se izbjegle/smanjile posljedice kratkih spojeva, treba sve uređaje i aparate dimenzionisati da podnose dinamička i termička naprezanja koja mogu biti izazvana velikim strujama kratkog spoja. Istovremeno, treba prekinuti struje kratkog spoja u što je moguće kraćem vremenu i isključiti sa mreže djelove postrojenja koji su u kratkom spoju.

Kako intenzitet posljedica kratkog spoja raste sa trajanjem kratkog spoja, potrebno je to vrijeme što više skratiti, što se najčešće postiže korišćenjem raznih vrsta zaštite.

Zbog velikog broja ozbiljnih posljedica koje nastaju usljed pojave kratkog spoja, neophodno je dobro poznavati veličine struja kratkog spoja koje se očekuju, kao i snage kratkog spoja i u posmatranom trenutku i u budućnosti.

Mogućnost postojanja različitih konfiguracija radnih stanja mreža (uključen ili isključen različiti broj izvora, elemenata, potrošača i sl.) uslovljava postojanje različitih vrijednosti struja kratkog spoja i neophodnost da se proračun struja kratkog spoja mora izvoditi u konkretnim uslovima za svaku od njih.

konfiguracija

međusobni položaj i odnos elemenata koji čine cjelinu, oblik, izgled; poredak, raspored, sklop

S obzirom na broj provodnika u kratkom spoju, kratki spojevi se dijele na:

- jednopolne, kod kojih je jedan od provodnika u kratkom spoju (zastupljene sa približno 80% od svih kratkih spojeva)
- dvopolne, kod kojih su dva provodnika u kratkom spoju (zastupljene sa otprilike 15% svih kratkih spojeva)
- trolejne, kod kojih su sva tri provodnika u kratkom spoju (čine samo oko 5% svih kratkih spojeva).

Jednopolni kratki spojevi u mrežama s različitim uzemljenjem nulte tačke transformatora prikazani su na Slici 4.8.

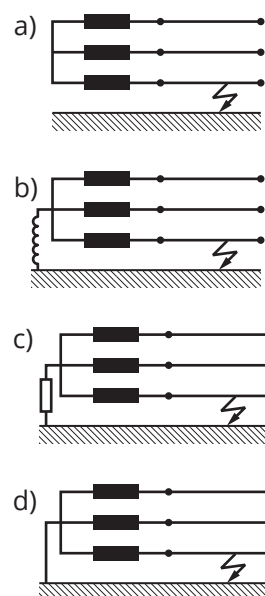
Kod jednopolnog kratkog spoja u slučaju kada je zvjezdište transformatora izolovano (Slika 4.8a), između provodnika i zemlje ne postoji galvan-ska već samo kapacitivna veza. Na mjestu kvara teče samo kapacitivna struja. Ta se struja naziva struja zemljospoja, a jednopolni kratki spoj – zemljospoj.

Na Slici 4.8b prikazan je jednopolni kratki spoj u slučaju kada je zvjezdište transformatora uzemljeno preko Petersenove prigušnice, čiji je induktivitet u rezonansi sa dozemnim kapacitetom voda. U ovom slučaju od struje zemljospoja, usljed njenog prigušenja, ostaje samo dio (kompenzovana ili preostala struja) male i uglavnom radne struje.

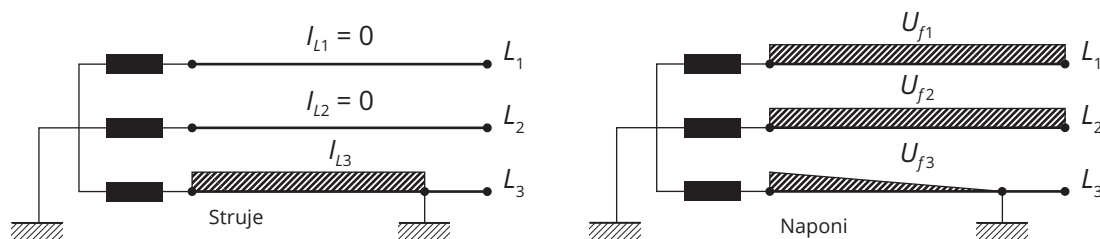
Na Slici 4.8c prikazan je jednopolni kratki spoj u slučaju kada je zvjezdište transformatora uzemljeno preko radnog otpora koji smanjuje struju jednopolnog kratkog spoja. U ovom slučaju teče nekompensovana struja kratkog spoja i to uglavnom induktivna.

Na Slici 4.8d prikazan je jednopolni kratki spoj u slučaju kada je zvjezdište transformatora direktno uzemljeno. U ovom slučaju struja kratkog spoja je maksimalna.

Na Slici 4.9 prikazana je raspodjela struje i napona po provodnicima kod jednopolnog kratkog spoja koja teče samo u tzv. „bolesnoj“ fazi i vraća se kroz zemlju. Fazni naponi zdravih faza su konstantni duž zdravih faznih provodnika. Na „bolesnom“ faznom provodniku napon opada od naznačenog napona u izvoru do nule u tački kratkog spoja.

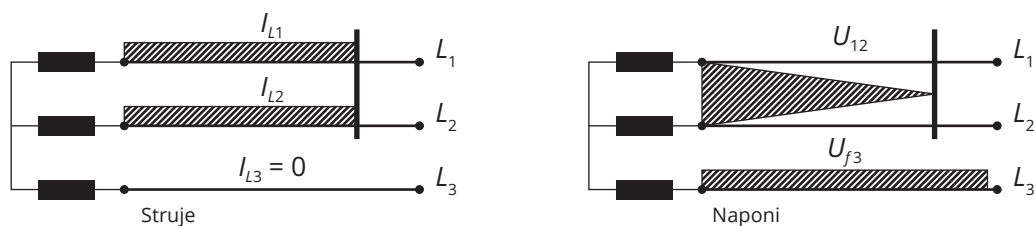


Slika 4.8. Jednopolni kratki spoj za različita uzemljenja zvjezdišta



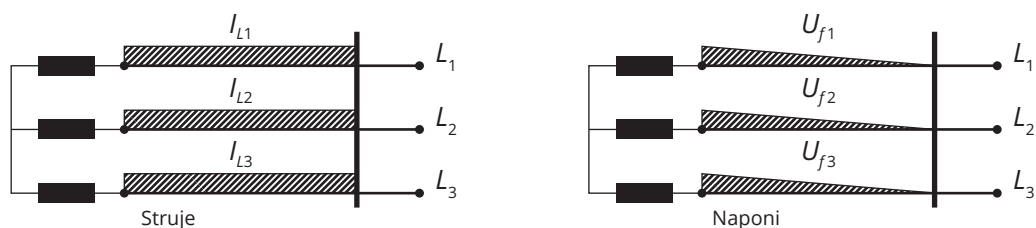
Slika 4.9. Raspodjela struje i napona po provodnicima kod jednopolnog kratkog spoja

Raspodjela struje i napona po provodnicima kod dvopolnog kratkog spoja prikazana je na Slici 4.10. Struje teku samo po „bolesnim“ fazama (jedna te ista struja), dok je struja zdrave faze jednaka nuli. Fazni napon zdravog provodnika je konstantan duž provodnika. Linijski napon između „bolesnih“ faza postepeno opada od pune vrijednosti u izvoru do nule u tački kratkog spoja.



Slika 4.10. Raspodjela struje i napona po provodnicima kod dvopolnog kratkog spoja

Raspodjela struje i napona po provodnicima kod trofaznog kratkog spoja prikazana je na Slici 4.11. Struje su jednake u svim „bolesnim“ fazama. Fazni i linijski naponi opadaju od naznačene vrijednosti u izvoru do nule u tački kratkog spoja. Električne veličine su jednake u sva tri fazna provodnika. Zato se trofazni kratki spoj naziva simetrični kratki spoj, za razliku od jednopolnog i dvopolnog kratkog koji se nazivaju nesimetrični kratki spojevi.



Slika 4.11. Raspodjela struje i napona po provodnicima kod trofaznog kratkog spoja

Kako trofazni kratki spoj ima simetrične karakteristike (simetrični kvar), njega je najlakše objasniti i proračunati.

Jednofazni i dvofazni kratki spoj predstavljaju nesimetrično opterećenje sistema (nesimetrične kvarove). Kod njih je kvar znatno složeniji, pa su i njihovi proračuni znatno komplikovaniji.

Struja kratkog spoja ima najveću vrijednost u momentu nastajanja kratkog spoja, a zatim se relativno sporo (za 3–4 s) prigušuje po eksponencijalnoj funkciji na stacionarnu trajnu struju kratkog spoja.

Postoji više načina za lociranje kratkoga spoja (pronazak mjesta kvara u sistemima). Jedan od njih je pomoću uređaja koji se nazivaju **indikatori kvarova** (npr. lokatori kratkog spoja, zaštitni releji, digitalni pisari...). Oni obično rade na principu reagovanja na magnetno polje koje je nastalo zbog struje koja prolazi vodom. U slučaju da struja pređe određenu vrijednost, indikator će proraditi tako što će zasvijetliti podešenim svjetlosnim i/ili zvučnim signalom. Takvi indikatori mogu se priključiti i na vazdušne i na kablovske vodove.

4.2.2. Zemljospoj



Jednopolni kratki spoj u mreži sa izolovanim zvjezdištem naziva se zemljospoj.

Zemljospoj je najčešći oblik kvara u srednjenaponskim mrežama. Struje zemljospoja su kapacitivne i teku kroz dozemne kapacitete.

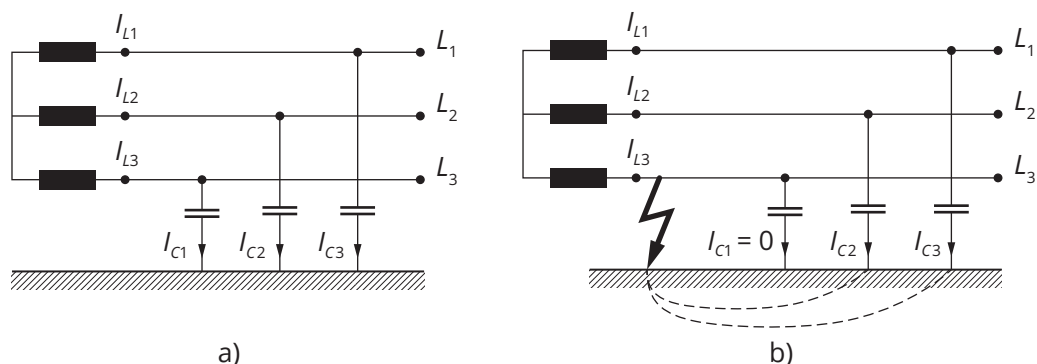
Uzroci nastanka zemljospoja su raznovrsni: preskok na uzemljene djelove, atmosferski ili komutacioni prenaponi, premošćenje izolacije stranim predmetima i živim organizmima, vremenske nepogode, oštećenje izolatora, kidanje gromobranskog užeta i provodnika i sl. Zemljospoj može nastati i usljed vlažne, dotrajale ili oštećene izolacije opreme, usljed loše izvedenih radova, lošeg održavanja, povećane zagađenosti vazduha i sl.

komutacija

promjena, izmjena redoslijeda; zamjena, supstitucija

Zemljospojevi mogu biti prolaznog (naročito u nadzemnim mrežama) ili trajnog karaktera.

Šema zdrave mreže sa izolovanim zvjezdištem prikazana je na Slici 4.12a. U faznim provodnicima i kroz dozemne kapacitete teku kapacitivne struje. One su jednake po veličini, a faznim naponima prethode za 90° . Vektorski zbir kapacitivnih struja jednak je nuli, tako da kroz zemlju (u zemlji se sve struje sabiraju) ne teče nikakva kapacitivna struja.



Slika 4.12. Šeme mreža: a) zdrave, b) mreže u kojoj se pojavio zemljospoj

Šema mreže u kojoj se pojavio zemljospoj prikazana je na Slici 4.12b. Napon „bolesne“ faze u tački zemljospoja jednak je nuli (potencijal zemlje). Napon zvjezdišta postaje jednak po iznosu, a suprotan po predznaku naponu faze u kvaru, dok fazni naponi zdravih faza postaju jednaki linijskim naponima. Kroz dozemni kapacitet bolesne faze ne teče struja jer je fazni napon „bolesne“ faze jednak nuli.

Struje zemljospoja su u poređenju sa strujama kratkih spojeva i strujama normalnog opterećenja dosta male (od nekoliko ampera do nekoliko stotina ampera), izuzev u razgranatim kablovskim mrežama.

Štetna posljedica pojave zemljospoja je termičko opterećenje provodnika i izolatora usljed električnog luka na mjestu kvara. Električni luk djeluje razarajuće na mjestu kvara, a može se proširiti i na zdrave faze i na taj način se pretvara u kratki spoj. Iako struja zemljospoja nije velika, ona na mjestu gdje utiče u zemlju stvara velike i po život opasne potencijalne razlike. Zbog povećanja napona zdravih faza, povećava se i mogućnost pojave **korone**.

Samo povišenje napona zdravih faza nije tako opasno (izolacija mreže je dimenzionisana da izdrži ovo povećanje), ali pojava luka i njegovo naizmjenično (intermitentno) paljenje i gašenje na mjestu kvara može da dovede do visokih prenapona za koje izolacija mreže nije dimenzionisana.

4.2.3. Prenapon

Pored radnih napona, oprema i uređaji u VNRP su izloženi dejstvu i drugih napona koji u određenoj mjeri mogu da utiču na njihova osnovna svojstva i karakteristike.



Svako povećanje potencijala u nekoj tački sistema, odnosno povećanje razlike potencijala između te tačke i zemlje koje stvara napone opasne po izolaciju, odnosno opasnu jačinu električnog polja, naziva se prenapon.

Detaljna analiza prenapona data je u Poglavlju 3 Prenaponi i prenaponska zaštita u VNRP.

4.2.



1. Navedi vrste kvarova i opasna pogonska stanja u VNRP i uporedi ih.
2. Nabroj karakteristike, uzroke i posljedice pojave kratkog spoja.
3. Kritički procijeni jednopolne, dvopolne i trole polne kratke spojeve.
4. Što je zemljospoj i koje su njegove karakteristike?
5. U čemu je razlika između zemljospoja i kratkog spoja?
6. Navedi posljedice kvarova u EES-u.

potencijalna razlika

razlika potencijala u dvije posmatrane tačke

korona

runa, jonizovani provodni prsten oko provodnika

4.3. Dijagnostička ispitivanja u VNRP

Ispitivanja visokonaponske opreme i uređaja obuhvataju sve aktivnosti predviđene za provjeru pogona ili električnog, mehaničkog i toplotnog stanja električne opreme i uređaja (ili čitavog električnog postrojenja), kao i provjeru djelovanja električnih zaštitnih ili sigurnosnih strujnih krugova. Električna ispitivanja smiju izvoditi samo osposobljene stručne osobe, uz primjenu odgovarajućih propisanih zaštitnih mjera i sredstava za date uslove rada.

Prije početka ispitivanja elektroenergetskih uređaja i opreme neophodno je detaljno upoznavanje sa: tehničkim opisom, izvedenim proračunima, jednopolnim šemama, šemama djelovanja i vezivanja, planom polaganja i povezivanja kablova, dispozicijom (prostornim rasporedom) opreme i postrojenja, specifikacijama opreme, osnovnim karakteristikama i elementima tehnološkog procesa, potrebama i rokovima puštanja pojedinih djelova i postrojenja u pogon i sl. Takođe je neophodno voditi računa i o posebnim zahtjevima investitora i nadzornih organa (ako ih ima), o isporučiocima opreme i učesnicima u montaži opreme, o prethodnim ispitivanjima i o svim ostalim elementima i podacima potrebnim za kvalitetna, kvantitetna i brza planirana ispitivanja.



Dijagnostika je zaključivanje o mogućim greškama na osnovu posmatranja.

Dijagnostika električnih aparata i opreme je pravovremeno ili periodično određivanje stanja opreme i aparata (i njihovih sastavnih djelova). Njena svrha je procjena pouzdanosti daljeg pogona i/ili predlaganja načina i obima održavanja i servisiranja.



Dijagnostička ispitivanja su uporedna ispitivanja karakterističnih parametara aparata sa ciljem da se potvrdi njihova funkcionalnost.

Izmjerene veličine se upoređuju sa specificiranim ili prethodno izmjerenim veličinama. Ispitivanja se obično izvode na uređajima van pogona, iako postoje i neka ispitivanja koja se vrše i za vrijeme pogona. Ona omogućavaju:

- otkrivanje prisutnosti kvara još u začetku
- određivanje prirode i obima kvara

- predviđanje potrebe za odgovarajućim održavanjama
- korektivne radove na sličnim aparatima i sl.

Krajnji cilj korišćenja dijagnostičkih metoda je promjena filozofije održavanja visokonaponskih uređaja i opreme od vremenski baziranog održavanja na održavanje prema uslovima.

Dijagnostika se dijeli na:

- preglede i provjere
- ispitivanja
- monitoring (nadgledanje).

Pregled i provjere obuhvataju periodična vizuelna ispitivanja/preglede osnovnih osobina aparata i opreme, kao i provjeru funkcionalnosti, podešenosti i tačnosti. Vrše se za vrijeme pogona, bez otvaranja aparata. Ove aktivnosti obično se odnose na provjeru: pritiska, nivoa pogonskih tečnosti, nepropusnosti, položaja releja, zaprljanosti izolacionih djelova i sl., ali i na radove koji se mogu obavljati za vrijeme normalnog pogona, kao što su podmazivanje, čišćenje, pranje i sl. Njima se utvrđuje usklađenost opreme sa pravilima o sigurnosti i normama, korektan odabir opreme i montaže i vidljive greške i oštećenja. Prije provjeravanja, ispitivanja i mjerenja mora se obaviti vizuelni pregled.

Ispitivanja su uporedna provjeravanja karakterističnih parametara aparata i opreme radi provjere njihove funkcionalnosti i upoređivanja izmjerenih vrijednosti sa specificiranim veličinama ili sa prethodno izmjerenim veličinama (npr. veličinama izmjerenim tokom rutinskih ispitivanja ili ispitivanja prilikom puštanja u pogon i sl.). Utvrđivanje određenih fizičkih veličina i svojstava koja omogućavaju siguran i ispravan rad instalacija koje se ne mogu provjeriti ni pregledom, ni provjeravanjem, vrše se mjerenjima pomoću odgovarajućih mjernih instrumenata.

Monitoring (nadgledanje) obuhvata aktivnosti koje se vrše ručno ili automatski (očitanjem mjernih instrumenata i signalizacije), a u cilju posmatranja stanja aparata i opreme. Izvodi se dok su aparat i oprema u pogonu. Ukoliko se vrši kontinuirano praćenje mjernih instrumenata, ono se tretira kao kontinuirano nadgledanje.

Primjer monitoringa VN opreme u VNRP i princip povezivanja ove opreme na sistem monitoringa i uređaje u komandnoj sobi prikazan je na Slici 4.13. Sve informacije o stanju opreme koja se posmatra sakupljaju se u ormarić sistema za posmatranje, odakle se upućuju u komandnu sobu na dalju obradu i analizu.

Visokonaponski aparati moraju podnijeti određena električna, toplotna i mehanička naprezanja koja se na njima javljaju pri raznim režimima rada,

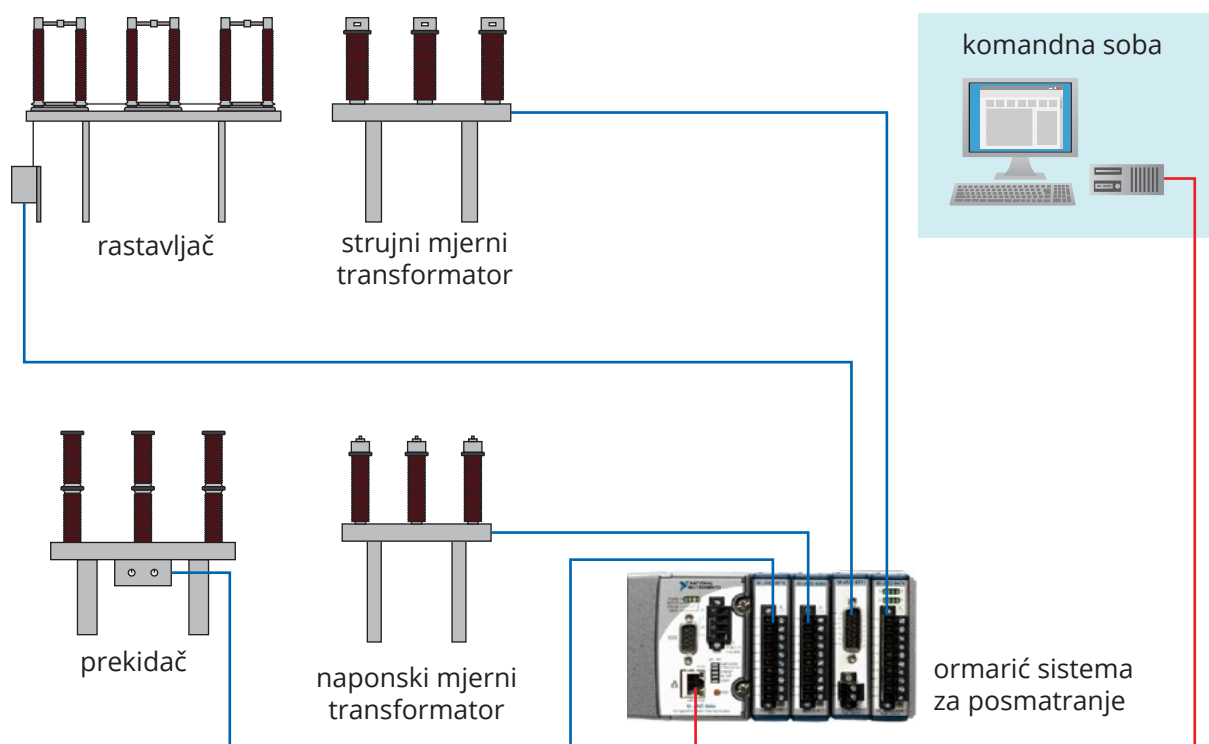
kontinuitet

neprekidnost, trajnost,
stalnost, povezanost

to jest moraju imati određena svojstva, odnosno određene tehničke osobine. To su najčešće sljedeća svojstva:

- provođenje naznačene struje
- provođenje struje kratkog spoja
- dielektrična (naponska) svojstva
- mehanička funkcionalnost
- prekidna (i uklopna) moć i sl.

Ova svojstva ili neka od njih obično imaju svi električni aparati, uređaji i oprema, dok je prekidna i uklopna moć specifičnost (većine) sklopnih aparata koja proizlazi iz njihove osnovne namjene.



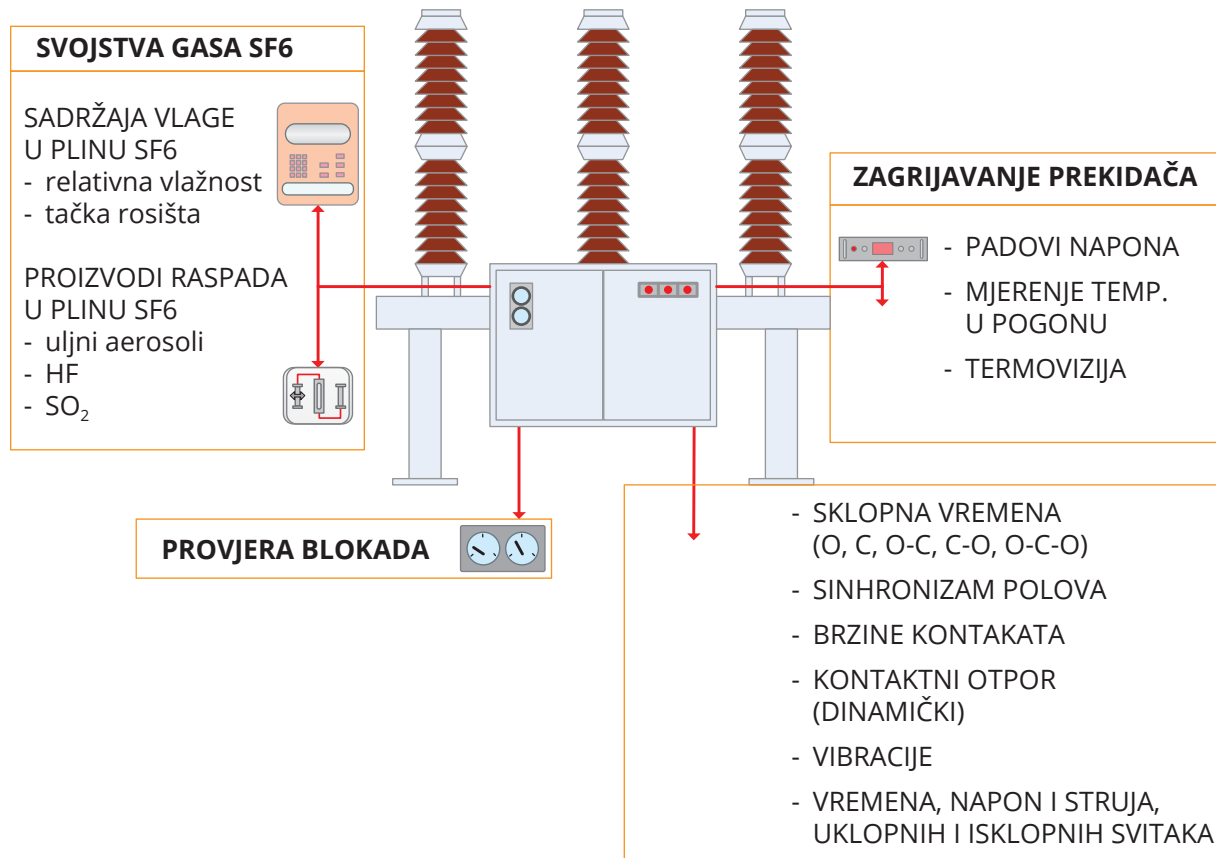
Slika 4.13. Monitoring visokonaponskih uređaja u VNRP

Za praćenje stanja aparata i opreme u pogonu, odnosno njihovu dijagnostiku, na sličan način grupisana su ispitivanja koja propisuju međunarodni IEC propisi za aparate (Publ. 60694.).

Radi uvida u ove aktivnosti, u Tabeli 4.1. su na primjeru visokonaponskih aparata (prekidača) prikazane Propisima definisane dijagnostičke aktivnosti za prekidače.

Tabela 4.1. Primjer dijagnostičkih aktivnosti na visokonaponskim prekidačima

SVOJSTVO	DIJAGNOSTIČKE AKTIVNOSTI			
	NADZOR	PREGLED I PROVJERA	ISPITIVANJE	
			MJERENJE	EKSPERTIZA
NAZIVNA STRUJA I STRUJA KRATKOG SPOJA	<ul style="list-style-type: none"> - kontrola vrijednosti struje - kontrola temperature okoline - kontrola nadtemperature kontakta (ako postoji kontinuirano mjerenje) SVAKI DAN KONTINUIRANO	<ul style="list-style-type: none"> - osjećajem (čulom vida i mirisa) POVREMENO - termovizija (2x godišnje) - vizuelna kontrola kontakta ZA VRIJEME REVIZIJE ili REMONTA	<ul style="list-style-type: none"> - Pad napona (ili otpor) glavnog strujnog kruga PRIJE REVIZIJE ili REMONTA NAKON REVIZIJE, REMONTA ili POPRAVKA	<ul style="list-style-type: none"> - Samo u slučaju ako se ne može postići deklarirani otpor
NAPONSKE KARAKTERISTIKE	<ul style="list-style-type: none"> - Kontrola pritiska ili gustine medija - kontrola nivoa tečnog medija SVAKI DAN KONTINUIRANO	<ul style="list-style-type: none"> - vidom – strani talozi - sluhom – jaka pramenasta pražnjenja SVAKIH 3 DO 6 MJESECI - Vizuelno – stanje čvrste izolacije ZA VRIJEME REVIZIJE ili REMONTA	<ul style="list-style-type: none"> - dielektrična čvrstoća medija - dielektrična čvrstoća sumljive čvrste izolacije (megeom ili ispitnim naponom 50 Hz) - Ispitivanje pomoćnih strujnih krugova, 2.000 V, 50 Hz PRIJE (i NAKON) REVIZIJE, REMONTA ili POPRAVKA	<ul style="list-style-type: none"> - Parcijalna pražnjenja po potrebi (starog ili obnovljenog prekida) - Ispitivanje spoljašnje čvrste izolacije u slanoj komori (samo u specijalnim slučajevima)
MEHANIČKA FUNKCIONALNOST I UTICAJ OKOLINE	<ul style="list-style-type: none"> - kontrola pritiska u akumulatoru energije - kontrola stanja uklopne opruge - kontrola sklopnog stanja prekidača SVAKI DAN KONTINUIRANO	<ul style="list-style-type: none"> - vizuelna kontrola mehaničkih sistema prekidača, posebno mehanizma ili pogona - podmazivanje i čišćenje po potrebi JEDNOM GODIŠNJE - zvučna/čujna kontrola sklapanja PRILIKOM SKLAPANJA	<ul style="list-style-type: none"> - mjerenje vremena odziva i/ili brzine kontakta i sinhronizma NAKON i EVENTUALNO PRIJE REMONTA	<ul style="list-style-type: none"> - ekspertiza ja potrebna, samo ako se ne mogu postići deklarirana vremena brzine kontakata i /ili sinhronizam
PREKIDNA I UKLOPNA MOĆ	<ul style="list-style-type: none"> - kontrola dojava stanja trošenja kontakta ili ΣI^2t KONTINUIRANO ili NAKON PREKIDANJA JAČEG KRATKOG SPOJA	<ul style="list-style-type: none"> Osjećajem – vidom: - preveliko izbacivanje jonizovanih gasova PRILIKOM PREKIDANJA - vizuelna – stanje čvrste izolacije i ostalih bitnih djelova lučne ili prekidne komore ZA VRIJEME REVIZIJE ili REMONTA	<ul style="list-style-type: none"> - mjerenje sklopnih vremena i sinhronizma polova - mjerenje produkta raspada gasa SF6 - mjerenje sadržaja vlage u gasu PRIJE (i NAKON) REVIZIJE, REMONTA ili POPRAVKA	<ul style="list-style-type: none"> - ekspertiza se radi samo u slučaju neuspješnog prekidanja ili nenormalnog ponašanja prekidača kod prekidanja (na primjer: ako se stvaraju preveliki prenaponi ili slično)



Slika 4.14. Dijagnostička ispitivanja visokonaponskih prekidača

Na Slici 4.14 prikazana je oprema potrebna za dijagnostička ispitivanja visokonaponskih prekidača prema Propisima datim u Tabeli 4.1, kao i način njenog povezivanja u ispitnu cjelinu.

Primjer dijagnostičkih ispitivanja visokonaponskih uređaja na terenu prikazan je na Slici 4.15.

Ispitivanje može biti funkcionalno inicijalno ispitivanje, ispitivanje nakon zamjene, rekonstrukcije ili remonta, periodično ispitivanje i sl. U toku eksploatacije mogu se vršiti i profilaktička ispitivanja.

Ispitivanja u proizvodnji mogu biti ispitivanja pri preuzimanju i ispitivanja koja se vrše u toku eksploatacije uređaja – eksploataciona (funkcionalna) ispitivanja.



Slika 4.15. Dijagnostička ispitivanja visokonaponskih aparata i opreme na terenu

inicijalan

početni, osnovni

profilaktički

zaštitni, preventivni

Funkcionalno (inicijalno) ispitivanje predstavlja ispitivanje koje se mora sprovesti tokom ugradnje uređaja i opreme (ako je to izvodljivo), kao i prije njihovog puštanja u pogon. Služi za provjeru da nije došlo do poremećaja ili oštećenja prilikom transporta ili montaže, i kao provjera da li su performanse uređaja tačno podešene. Za funkcionalno ispitivanje osoblje mora imati na raspolaganju sva potrebna dokumenta, nacрте i druge informacije potrebne za funkcionalno ispitivanje.

Prilikom funkcionalnog ispitivanja potrebno je preduzeti sve mjere zaštite kojima se sprečavaju opasnosti za ljude i ostala živa bića, kao i štete za opremu i ostala materijalna dobra. Ispitivanje smiju obavljati samo obučene stručne osobe. Nakon obavljenog funkcionalnog ispitivanja, osoblje mora podnijeti detaljan pisani izvještaj.

Ispitivanja nakon zamjene, rekonstrukcije ili remonta su ista kao i funkcionalna ispitivanja, samo što ona obuhvataju samo područje zamijenjenog, rekonstruisanog ili remontovanog dijela instalacija, kao i djelove instalacija na koje su ove radnje uticale.

Periodična ispitivanja sadrže detaljna ispitivanja svojstava opreme i uređaja bez oštećenja ili djelimičnim oštećenjima. Ova ispitivanja moraju da omoguće:

- sigurnost ljudi i ostalih živih bića od opasnosti od električnog udara i opekotina
- zaštitu opreme od požara i štetnih toplotnih uticaja u slučaju kvara u instalaciji
- potvrdu da ne postoje oštećenja ili pogoršanja u instalaciji koja bi smanjila postignuti stepen sigurnosti.

Očigledan primjer potrebe periodičnih ispitivanja kod VN uređaja i opreme je periodično ispitivanje stanja elektroizolacionog sredstva – izolacionog ulja. Svaka pojava električnog luka u ulju ostavlja u njemu tragove u smislu njegove djelimične degradacije i zaprljanja. I samim dugotrajnim stajanjem ulje djelimično gubi svoje izolacione karakteristike. Zbog svega toga periodično ispitivanje izolacionog ulja je veoma važna aktivnost koja je detaljno propisana međunarodnim i nacionalnim propisima i preporukama, kojih se svi korisnici ovog izolacionog sredstva moraju striktno pridržavati.

Ukoliko se ovim periodičnim ispitivanjima utvrdi da su izolacione karakteristike ulja pale ispod propisima definisanih, neophodno je ili zamijeniti ulje novim, ili staro ulje regenerisati i prečistiti i kao takvo vratiti ponovo u uređaje.

performansa

glavne tehničke odlike nekog uređaja, mehanizma, motora i sl.

degradacija

svođenje na niže stanje razvoja, svođenje na stupanj manje sposoban za pretvaranje (energije), gubljenje nekog pozitivnog svojstva

Na Slici 4.16 prikazan je izgled uzorka elektroizolacionog ulja. Očigledno je da i sama vizuelna kontrola može ukazati na neophodnost periodičnih ispitivanja i preduzimanja radnji na njegovoj zamjeni ili regeneraciji i prečišćavanju.

Kao i kod drugih ispitivanja, prije njihovog početka treba preduzeti zaštitne mjere za sprečavanje nastanka opasnosti po ljude i ostala živa bića kao i oštećenje imovine i opreme.

Prilikom izvođenja ovih, treba koristiti izvještaje s prethodnih periodičnih ispitivanja. Ukoliko takvi izvještaji ne postoje, moraju se sprovesti sva ispitivanja kao kod funkcionalnog (inicijalnog) ispitivanja.

Profilaktička ispitivanja sprovode se periodično u toku eksploatacije, sa ciljem provjere opšteg stanja opreme i uređaja. Njima se utvrđuje postojanje oštećenja u što ranijem stadijumu, kako bi se izbjegle kasnije ozbiljnije havarije. Izmjereni parametri pri ovim ispitivanjima se upoređuju sa izmjerenim vrijednostima pri prethodnim kontrolama i ispitivanjima tokom prijemnih ispitivanja. Na osnovu rezultata upoređivanja vrijednosti zaključuje se o potrebnim daljim aktivnostima.



a) b)

Slika 4.16. Uzorak elektroizolacionog ulja: a) starog/korišćenog, b) novog/prečišćenog

4.3.



1. Definiši pojmove dijagnostika i dijagnostička ispitivanja.
2. Koji je značaj dijagnostičkih ispitivanja?
3. Kako se dijeli dijagnostika?
4. Uoči razliku između sadržaja pregleda i provjera, ispitivanja i monitoringa.
5. Opiši sadržaj fundamentalnih ispitivanja, razvojnih ispitivanja i ispitivanja u proizvodnji.
6. Definiši pojam profilaktička ispitivanja.

4.4. Način izrade i sadržaj ispitnog protokola o obavljenim ispitivanjima i mjerenjima

Veliki i brzi porast potražnje za električnom energijom u svim segmentima potrošnje uslovio je neophodnost osiguranja kvalitetnog i stabilnog prenosa električne energije uz zadovoljenje zahtjeva propisanih normama.

Električna oprema i uređaji koji se koriste na visokom naponu moraju izdržati različita naprezanja usljed djelovanja jakog električnog polja i spoljašnjih uticaja (mehanička, termička, hemijska, električna i sl.).

U EES-u se, osim normalnih i očekivanih naprezanja izolacije, povremeno javljaju i havarijska stanja. To su prenaponski talasi i kratki spojevi izazvani komutacionim operacijama u postrojenjima, industriji i sl. (uključenje/isključenje) i prenaponski talasi izazvani atmosferskim pražnjenjima. Ove pojave većinom su kratkog vremenskog trajanja i utiču na normalan rad opreme i uređaja u postrojenju tako što izazivaju njihova značajna naprezanja.

Da bi oprema u toku eksploatacije normalno funkcionisala, prije ugradnje mora proći kroz različita visokonaponska testiranja i ispitne procedure u kojima ključnu ulogu ima izolacija pojedinog uređaja ili aparata. Ova mjerenja i ispitivanja sprovode se po utvrđenim postupcima i protokolima u akreditovanim visokonaponskim laboratorijama.

Postoji znatan broj normi koje se koriste pri različitim ispitivanjima VN uređaja u obliku međunarodnih (IEC), evropskih (EN) i usvojenih crnogorskih (pretežno JUS) normi.

Norma IEC 60060-1 primjenjuje se u području dielektričnih ispitivanja električnih aparata i opreme na sljedeće načine:

- dielektrična ispitivanja jednosmjernim naponom
- dielektrična ispitivanja naizmjeničnim naponom
- dielektrična ispitivanja impulsnim naponom
- ispitivanja impulsnom strujom
- ispitivanja kombinacijom navedenih metoda...

Ova norma nije namijenjena za ispitivanje elektromagnetne kompatibilnosti na električnim i elektronskim uređajima i može se primijeniti samo pri testiranju opreme na ispitnim naponima 1 kV i više.

Svrha i glavni ciljevi norme IEC 60060-1 su:

- definisanje uslova korišćenja u opštoj i specifičnoj primjeni
- koncept opštih zahtjeva norme, bez obzira na ispitnu opremu i metodu ispitivanja
- opis metoda za generisanje i mjerenje ispitnih napona i struja
- opis ispitnih procedura
- opis metoda za procjenu mjerne nesigurnosti i određivanje okvirnih kriterijuma za prihvatanje i odbijanje mjerenih rezultata ispitivanja...

Ispitne procedure prilagođene su različitim tipovima uređaja pa svaka ima svoje specifičnosti, ali postoje i zajedničke odredbe koje su cilj svake ispitne procedure. To su npr. vrste ispitivanja prema karakteru napona (jednosmjerno, naizmjenično, kombinovano ispitivanje), broj ponavljanja ispitivanja, vremenski interval između tih ponavljanja...

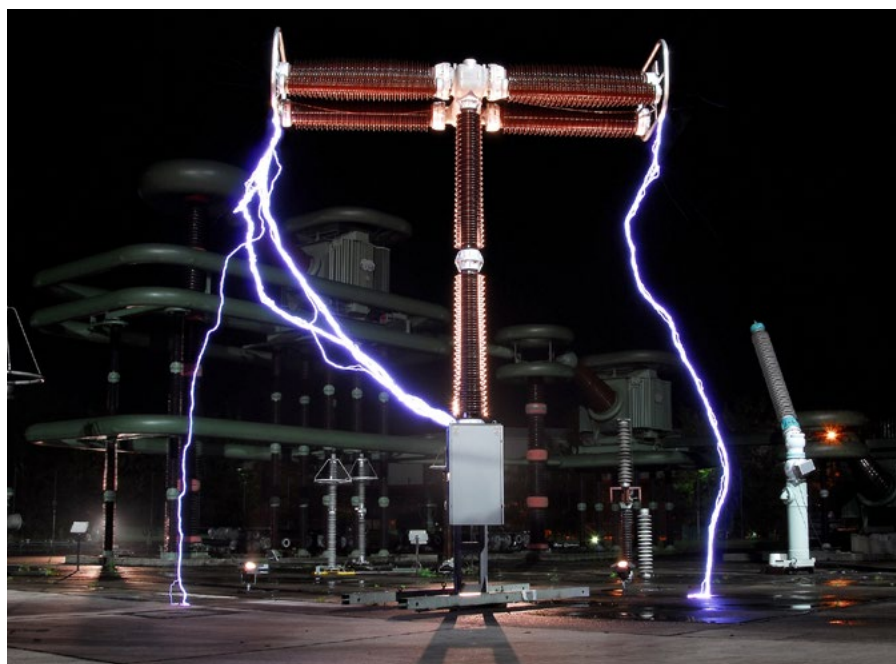
Prije početka ispitne procedure, uređaji i oprema moraju proći tzv. **vizualne preglede** (serijski broj uređaja, datum i godina proizvodnje, vrijeme od zadnjeg mjerenja, eventualna mehanička oštećenja...).

Za dobijanje povoljnih karakteristika dielektričnog proboja u uređajima, u pripremi ispitivanja važnu ulogu imaju i sljedeći faktori:

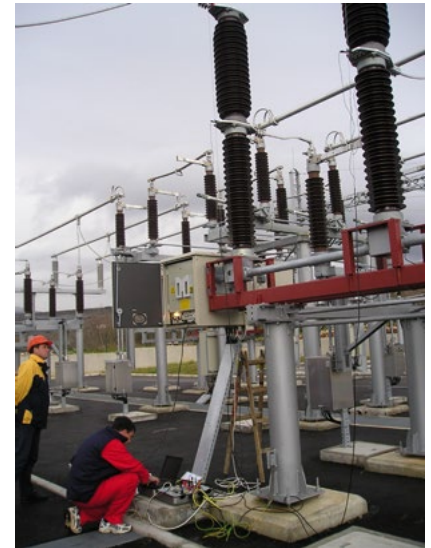
- sigurnosna udaljenost ispitivanog uređaja od drugih uzemljenih ili objekata pod naponom u laboratoriji
- visinska udaljenost od tla
- povoljan raspored i razmak između visokonaponskih ispitnih vodova.

Razmak između ispitivanog uređaja i drugih objekata u laboratoriji treba da je veći od 1,5 puta dužine najkraćeg mogućeg probojnog puta pražnjenja, jer tada okolni uređaji svojom blizinom nemaju uticaj na oblikovanje električnog polja koje bi moglo dovesti do pražnjenja.

Primjer ispitivanja VN prekidača visokim naponima u laboratorijskim uslovima prikazan je na Slici 4.17, dok su na Slici 4.18 prikazani primjeri ispitivanja VN opreme na terenu.



Slika 4.17. Laboratorijsko ispitivanje 400 kV-nog VN prekidača



Slika 4.18. Primjeri ispitivanja VN opreme u različitim uslovima na terenu

Ispitivanje opreme za rad pod visokim naponom najčešće se sastoji iz dva dijela:

- vizuelni pregledi ispitnog objekta
- dielektrična ispitivanja.

Prije vizuelnih pregleda utvrđuju se i zapisuju još i opšte informacije o ispitnom objektu: dimenzija, godina proizvodnje, proizvođač i proizvođačke oznake, serijski broj i sl.

Vizuelni pregledi su bitni zbog uočavanja mogućih oštećenja na izolaciji objekta, kao i zbog preventivnih radnji. Oštećenja na izolaciji mogu biti:

- kritična/ozbiljna (duboke i široke ogrebotine, nedostatak djelova i sl.). Pri ovim oštećenjima ispitni objekt ne prolazi dalje na dielektrična ispitivanja, jer postoji velika mogućnost dielektričnog proboja na izolaciji. U tom slučaju se u ispitni izvještaj upisuje da ispitani objekt ne zadovoljava kriterijum prolaznosti sa navođenjem uzroka.
- mala oštećenja (najčešće manje ogrebotine) pri kojima ispitni objekt može nastaviti s drugim, dielektričnim dijelom ispitivanja.

Elektroenergetska oprema i elektroenergetska postrojenja moraju, pored referentnih dokumenata (projekat, tehnički opisi, primijenjene norme i standardi, podaci proizvođača za dati proizvod, građevinske, upotrebne i ostale dozvole, rezultati vizuelnog pregleda, način održavanja nakon ugradnje i sl.) imati i svoj ispitni list/protokol, koji najčešće sadrži:

- naziv investitora ili vlasnika
- naziv objekta/grādevine/instalacije

- lokaciju objekta
- datum ispitivanja
- vrstu ispitivanja (za vrijeme izgradnje ili montaže, pri preuzimanju, pri redovnom održavanju, nakon havarijskih popravki i dr.)...

Nakon završenih ispitivanja elektroenergetske opreme i uređaja, rezultati obavljenih ispitivanja i mjerenja po izabranoj ispitnoj metodi unose se u izvještaje (ispitne dokumente/protokole) o ispitivanjima, napravljene prema obrascima zasnovanim na postojećim usvojenim normama i standardima.



Izvještaji se pišu samo ako je ispitivana oprema ispravna i pogodna za eksploataciju.

U slučaju bilo kakve neispravnosti opreme, piše se kratko obavještenje s tačnim navođenjem šta je neispravno.

U dokumente za ispitne procedure obično se ubrajaju:

- radni list ispitivanja
- ispitni izvještaj pojedinog uzorka.

Primjer obrasca radnog lista ispitivanja VN opreme prikazan je na Slici 4.19.

Radni list ispitivanja broj:	Datum:	Ispitivači:							Mjesto ispitivanja:		
Oznaka uzorka	Proizvođač, fabrički broj, godina proizvodnje	U_n (kV)	Vizuelni pregled	U_{isp} (kV)	DA/NE	I_{odv} (kV)	DA/NE	Ocjene	Broj ispitnog izvještaja	Važi do	Napomena

Slika 4.19. Obrazac radnog lista ispitivanja

Nakon izbora ispitnih procedura slijede vizuelna i dielektrična ispitivanja objekata/uzoraka.

Vizuelnim pregledom uzorak se vizualno pregleda kako bi se otkrile konstrukcione ili funkcionalne greške. Takođe se utvrđuje da li spoljna površina ima svojstvo odbijanja vode (hidrofobsko svojstvo), kao i eventualna spoljašnja i unutrašnja oštećenja uzorka.

Spoljašnja i unutrašnja površina uzorka ne smiju imati oštećenja poput širokih ili dubokih ogrebotina, nagnječenja, raslojavanja, izloženih vlakana i površinskih oštećenja koja mogu zahvatiti nečistoće i time smanjiti dielektričnu čvrstoću.

Nakon provođenja vizuelnog pregleda u radni list ispitivanja, u stubac Vizuelni pregled upisuje se DA ako je uzorak zadovoljio navedene uslove, a NE ako nije.

Ako je ocjena NE, tada uzorak nije potrebno izlagati dielektričnom ispitivanju, već takav uzorak dobija ocjenu NIJE ZADOVOLJIO.

Na osnovu vizuelnog pregleda popunjava se i ispitni izvještaj pojedinog uzorka. Primjer ispitnog izvještaja dat na Slici 4.20.

Ispitni izvještaj broj _____

Naručilac: _____	Adresa: _____
Telefon: _____	Fax: _____
e-mail: _____	Matični broj: _____
Broj dostavnice: _____	Datum prijema: _____

Uzorak _____

Interna oznaka: _____	Šifra proizvođača: _____
Proizvođač: _____	Godina proizvodnje: _____
Stanje uzorka: _____	Datum izvještaja: _____
Ispitni napon: _____	Oznaka upotrijebljene metode: _____
Struja odvoda (mA): _____	

Uzorak u skladu sa normom _____ **ispitivanje**

Datum ispitivanja: _____	
Prilozi: _____	
Ispitao: _____	Odobrio rukovodilac laboratorija: _____

Slika 4.20. Primjer ispitnog izvještaja pojedinog uzorka

Radni list ispitivanja koristi se pri ispitivanju. On je izvorni, najčešće rukom pisani zapis u kojem se nalaze svi podaci (interne oznake, vizuelni pregled, električna ispitivanja, zabilješke i napomene i sl.) vezani za pojedine uzorke tokom ispitivanja.

Nakon provođenja električnog ispitivanja koje se izvodi prema striktno definisanim procedurama i uslovima za sve vrste VN opreme i uređaja, u radni list upisuje se u odgovarajuće stupce DA ako je uzorak zadovoljio navedene uslove, a NE ako nije.

Ako je u svim stupcima ocjena DA, onda je konačna ocjena DA i uzorak dobija oznaku ZADOVOLJIO JE.

Do zaključka da je oprema pogodna za eksploataciju dolazi se na osnovu upoređivanja rezultata dobijenih ispitivanjima sa fabričkim podacima, uz razmatranje rezultata svih sprovedenih nadgledanja, podešavanja, ispitivanja.

Zatim se tako ispunjeni zapis prepisuje u bazu podataka, a izvorni, rukom pisani zapis, se arhivira u dokumentacionu bazu podataka. Arhivirani zapisi moraju se čuvati u arhivi za period definisan propisima (najčešće više od 5 godina).

4.4.



1. Opiši način izrade ispitnog protokola o obavljenim ispitivanjima i mjerenjima.
2. Koje osnovne stavke sadrži radni list ispitivanja VN opreme?
3. Objasni ulogu sadržaja ispitnog protokola o obavljenim ispitivanjima i mjerenjima.

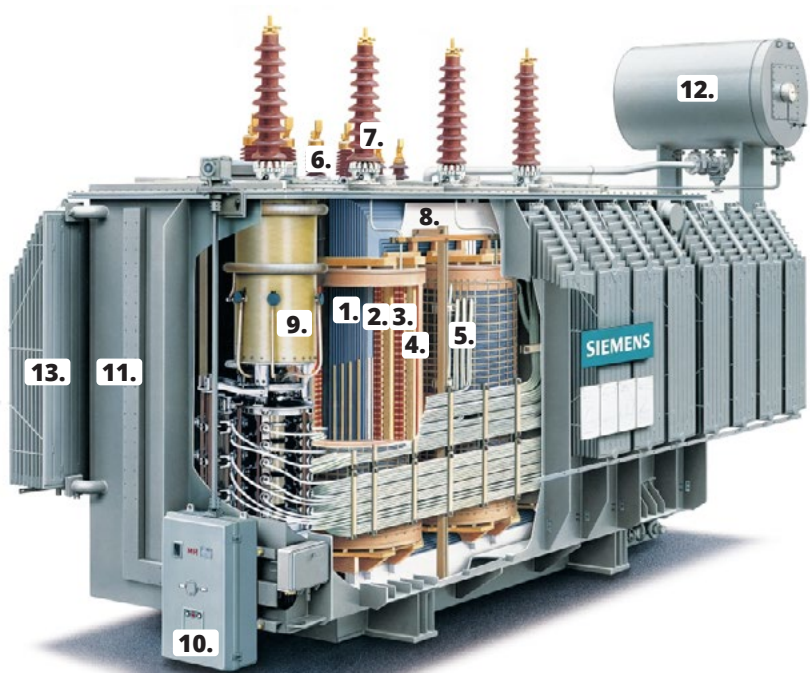
4.5. Ispitivanja transformatora u laboratorijskim uslovima

U ovom potpoglavlju su prikazana i objašnjena samo ispitivanja koja se izvode na energetskim transformatorima u laboratorijskim uslovima. Princip rada i detaljna analiza transformatora dati su u Poglavlju 2 Karakteristike i princip rada transformatora.

Svaki transformator ima podatke koji su ispisani na natpisnoj pločici, a koja mora biti vidno i jasno označena. Podaci koje upisuje i za koje garantuje proizvođač transformatora su:

- ime proizvođača
- tip transformatora
- fabrički broj
- naznačeni ulazni i izlazni napon
- naznačena frekvencija
- naznačena snaga u VA, KVA ili MVA
- naznačena ulazna i izlazna struja
- naznačena struja kratkog spoja
- dozvoljeno trajanje kratkog spoja
- napon kratkog spoja
- oznaka spoja
- stepen izolacije
- klasa izolacije (kod suvih transformatora)
- oznaka vrste transformatora
- oznaka vrste hlađenja
- ukupna masa transformatora
- masa ulja
- godina proizvodnje
- oznaka i broj norme prema kojoj je transformator građen.

Izgled visokonaponskog transformatora i njegovi osnovni sastavni elementi prikazani su na Slici 4.21.



1. jezgro
2. NN namotaj
3. VN namotaj
4. regulacioni namotaj
5. izvodi regul. namotaja
6. NN izolator
7. VN izolator
8. steznik
9. regulaciona sklopka
10. pretvarač za uljnu pumpu
11. kotao
12. konzervator
13. hladnjaci

Slika 4.21. Izgled visokonaponskog transformatora i njegovi osnovni djelovi

Prije puštanja u pogon, u toku eksploatacije, kao i nakon remonta i servisa, neophodno je u laboratorijskim uslovima ispitati i provjeriti osnovne karakteristike transformatora.

Prije same proizvodnje transformatora vrše se ulazna provjeravanja deklariranih karakteristika i kvaliteta materijala (sirovina), poluproizvoda, djelova i komponenti. Pažljivo se proveravaju: provodnost i mehanička čvrstoća bakra i aluminijuma od kojih se izrađuju provodnici u obliku žica, folija i profila; gubici feromagnetskih limova; dielektrične karakteristike izolacije i transformatorskog ulja itd. Greške pri proizvodnji transformatora se najlakše, najefikasnije i najekonomičnije otklanjaju ako se svi elementi ispituju prije njegove ugradnje.

Za vrijeme proizvodnje transformatora provjerava se:

- ispravnost i dimenzije magnetnog kola/jezgra (nalijeganje/stegnutost limova, kratki spojevi među limovima, gubici u jezgru i lokalna zagrijavanje pri indukciji i sl.)
- ispravnost (broj navojaka, izolacija) i dimenzije cijelog i/ili djelova namotaja
- ispitivanje magnetnog kola s namotajima
- kvalitet transformatorskog ulja (hemijske analize, viskoznost, dielektrična probojnost i sl.)
- mehaničko izvođenje – varovi i nepropusnost posude (kotla), posude za ulje (konzervator).

Ispitivanja završenog transformatora mogu biti završna, primopredajna i ispitivanja transformatora tokom korišćenja.

Nacionalnim i međunarodnim standardima propisan je Program ispitivanja transformatora koji predviđa komadna, tipska i specijalna primopredajna ispitivanja transformatora. Prema JUS-u, za energetske transformatore predviđena su i detaljno opisana i komentarisana sljedeća ispitivanja:

Komadna ispitivanja:

- mjerenje otpornosti namotaja
- mjerenje odnosa transformacije, kontrola polariteta i simbola sprege
- mjerenje napona kratkog spoja, impedanse kratkog spoja i gubitaka pri opterećenju
- mjerenje gubitaka i struje praznog hoda
- dielektrična ispitivanja dovedenim (stranim) i indukovanim naponom
- ispitivanje regulacione sklopke (kada postoji).

Tipska ispitivanja:

- ispitivanje povećanja temperature
- dielektrična ispitivanja udarnim naponom.

Specijalna ispitivanja:

- dielektrična ispitivanja odrežanim udarnim naponom
- mjerenje nulte impedanse trofaznih transformatora
- ispitivanje otpornosti na kratki spoj
- mjerenje nivoa buke
- mjerenje harmonika struje praznog hoda
- mjerenje potrošnje uljnih pumpi i ventilatora.

Ispitivanja van ovog popisa posebno se ugovaraju između naručioca i proizvođača.

Smatra se da transformator zadovoljava uslove ako veličine koje podliježu tolerancijama ne prekorače dozvoljena odstupanja navedena u Tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Tolerancije za pojedine izmjerene veličine tokom primopredajnog ispitivanja

Red. br.	Veličina	Dozvoljeno odstupanje
1.	a) Ukupni gubici b) Pojedinačni gubici	+10% ukupnih gubitaka, +15% za pojedinačne gubitke uz uslov da se ne prekorači dozvoljeno odstupanje ukupnih gubitaka
2.	Odnos transformacije u praznom hodu za glavni izvod (naznačeni odnos transformacije)	manji od sljedećih vrijednosti: a) $\pm 0,5\%$ specificiranog odnosa b) procenat specificiranog odnosa koji je jednak $1/10$ stvarnog napona kratkog spoja za naznačenu struju izraženu u procentima
3.	Napon kratkog spoja za naznačenu struju (glavni izvod)	$\pm 10\%$ specificiranog napona kratkog spoja za taj izvod
4.	a) Ako je glavni izvod na srednjem položaju ili na jednom od srednjih izvoda: - dvonamotajni transformatori - višenamotajni transformatori b) Ostali slučajevi	$\pm 10\%$ specificiranog napona kratkog spoja za jedan specificirani par namotaja $\pm 15\%$ specificiranog napona kratkog spoja za drugi specificirani par namotaja
5.	Impedansa kratkog spoja za bilo koji izvod	ne manja od navedene pod 4.a.
6.	Struja praznog hoda	$\pm 30\%$ specificirane struje praznog hoda

4.5.1. Ogljed praznog hoda i kratkog spoja

Najčešće se glavne karakteristike transformatora određuju eksperimentalnim putem. Mjerenjem napona, struja i snaga u ogledu praznog hoda i kratkog spoja može se doći do podataka pomoću kojih se definišu glavne karakteristike posmatranog transformatora.

4.5.1.1. Ogljed praznog hoda

Pod praznim hodom transformatora podrazumijeva se stanje u kojem je jedan od namotaja (obično nižeg napona) priključen na napajanje (naznačeni ili njemu bliski napon), a krajevi drugog (drugih) namotaja su otvoreni. Ispitivanja transformatora obavljaju se tek kada je transformator potpuno završen.

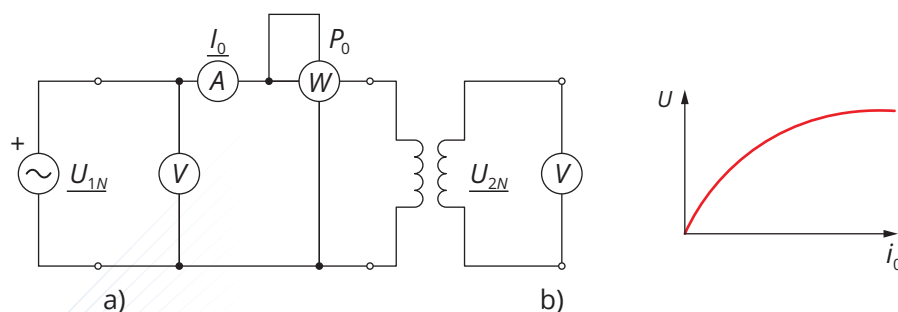
U ogledu praznog hoda određuju se karakteristike: struje praznog hoda I_o , gubitaka praznog hoda P_o i faktora snage praznog hoda $\cos\varphi_o$, u zavisnosti od napona napajanja $U_o = U_{1n}$ koji se kreće u granicama od 0,7 – 1,1 naznačenog napona U_n . Iz ovih karakteristika se, za naznačeni napon U_n , određuje naznačena struja praznog hoda I_o i naznačeni gubici praznog hoda P_o koji su približno jednaki gubicima u gvožđu.

Iz dobijenih rezultata određuju se i parametri poprečne grane ekvivalentne šeme.

Tokom ovog ogleda, pri kome se jedan od namotaja priključi na napon a prikljucci drugog namotaja se ostavljaju otvorenim, mjeri se:

- napon napajanja U_o
- struja napajanja I_o (struja praznog hoda)
- snaga napajanja P_o (snaga praznog hoda).

Ogljed praznog hoda jednofaznog transformatora izvodi se prema električnoj šemi prikazanoj na Slici 4.22a. Na istoj Slici 4.22b prikazana je karakteristika praznog hoda ovog transformatora.



Slika 4.22. Ogljed praznog hoda jednofaznog transformatora: a) električna šema, b) karakteristika praznog hoda

Na primar transformatora priključuje se naznačeni napon efektivne vrijednosti $U_{1n} = U_o$, dok je sekundar neopterećen, tj. na njegove stezaljke spaja se voltmetar velikog unutrašnjeg otpora. Osim voltmetra koji mjeri napon, na primarnoj strani su spojeni i ampermetar koji mjeri struju primara i vatmetar koji mjeri snagu.

Voltmetri na primarnoj i sekundarnoj strani mjere naznačene napone primara U_{1n} i sekundara U_{2n} . Pomoću ovih vrijednosti može se izračunati prenosni odnos transformatora:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = m \quad (4.1)$$

Ampermetar mjeri struju praznog hoda I_o , a vatmetar snagu koju transformator u praznom hodu uzima iz mreže P_o .

Struja praznog hoda I_o u transformatoru sastoji se od: induktivne komponente (struje magnećenja) koja magnetizuje jezgro i koja je dominantna, aktivne komponente koja je povezana s gubicima u gvožđu i kapacitivne komponente koja je uočljiva samo kod visokonaponskih transformatora.

U transformatoru se prilikom ovog oglada javljaju sljedeći gubici:

- usljed magnećenja magnetnog kola (gubici u željezu)
- Džulovi gubici u namotaju koji se napaja
- dielektrični gubici.

Džulovi gubici se, osim kod transformatora malih snaga, mogu zanemariti jer je struja praznog hoda, koja je mjerodavna za gubitke, veoma mala.

Dielektrični gubici su u energetskom smislu zanemarljivi, a interesantni su samo sa stanovišta ocjene kvaliteta izolacije.

Gubici magnećenja se sastoje od gubitaka usljed histerezisa i gubitaka usljed vihornih (vrtložnih) struja. U praznom hodu teče samo struja u primaru koja je znatno manja od naznačene (oko 1% kod većih trofaznih transformatora), pa kao takva stvara zanemarljive gubitke u bakru.

Gubici u željezu su najznačajniji i oni su dominantni u ogledu praznog hoda. Izmjerena snaga gubitaka praznog hoda koju mjeri vatmetar približno je jednaka gubicima u željezu transformatora, tj.:

$$P_o \approx P_{Fe} \quad (4.2)$$

Uzimajući u obzir da se pad napona na rednoj impedansi može zanemariti, obično se pri određivanju parametara ekvivalentne šeme zanemaruje

uzdužna (redna) grana šeme. U tom slučaju se parametri poprečne grane ekvivalentne šeme (R_o i X_o) određuju na sljedeći način:

- impedansa praznog hoda:

$$Z_o = \frac{U_o}{I_o} \quad (4.3)$$

- faktor snage u praznom hodu:

$$\cos \varphi_o = \frac{P_o(P_{Fe})}{U_o I_o} \quad (4.4)$$

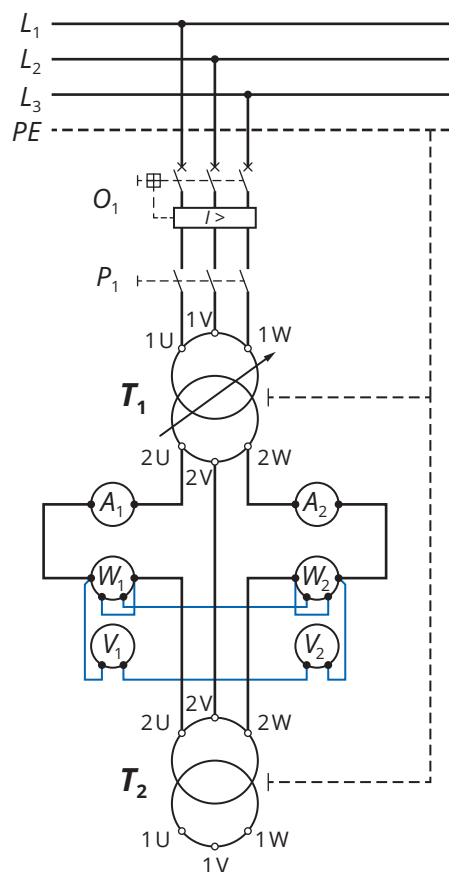
- fiktivna aktivna otpornost kojom se uzimaju u obzir gubici praznog hoda:

$$R_o = \frac{U_o^2}{P_o} = \frac{Z_o}{\cos \varphi_o} \quad (4.5)$$

- reaktansa praznog hoda:

$$X_o = \frac{Z_o}{\sin \varphi_o}. \quad (4.6)$$

Šema ispitivanja trofaznog transformatora u ogledu praznog hoda prikazana je na Slici 4.23.



Slika 4.23. Šema ispitivanja trofaznog transformatora u ogledu praznog hoda

4.5.1.2. Ogled kratkog spoja

Pod kratkim spojem transformatora podrazumijeva se stanje u kojem je jedan od namotaja (obično višeg napona) priključen na napajanje, a krajevi drugog namotaja su kratko spojeni. Napon se postepeno povećava od nule do vrijednosti pri kojoj se uspostavlja naznačena (ili njoj bliska) vrijednost struje. Ta vrijednost napona naziva se napon kratkog spoja U_k . Za razliku od kvara u pogonu u obliku kratkog spoja pri punom naznačenom naponu, ogled kratkog spoja se sprovodi s naponom značajno manjim od naznačenog, a koji odgovara naznačenim strujama u namotajima.

U ogledu kratkog spoja određuju se karakteristike struje kratkog spoja I_k ($I_k = I_2 = I_n$), gubitaka kratkog spoja P_k (snage uzete iz mreže, snage kratkog spoja) i faktora snage praznog hoda $\cos \varphi_k$, u zavisnosti od napona napajanja U_k .

Iz ovih karakteristika se, za naznačenu struju I_n , određuje naznačeni napon kratkog spoja U_k i gubici kratkog spoja P_k . Dopuštena odstupanja u odnosu na naznačene vrijednosti za napon kratkog spoja su $\pm 10\%$, a za gubitke kratkog spoja preračunate na toplo stanje, tj. na 75°C su $\pm 10\%$.

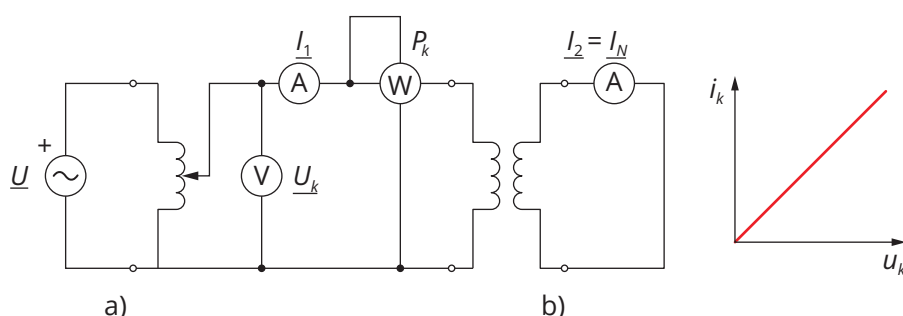
Napona kratkog spoja služi za određivanje:

- pada (promjene) napona u transformatoru usljed opterećenja (pomoću tzv. Kapovog trougla)
- veličine stvarne ustaljene struje kratkog spoja
- mogućnosti paralelnog rada dva ili više transformatora.

Relativna vrijednost naznačenog napona kratkog spoja distributivnih transformatora je oko 4–6%, a kod transformatora velikih snaga iznosi i do 13%.

Iz rezultata oglada kratkog spoja mogu da se odrede i parametri uzdužne grane ekvivalentne šeme.

Ogled kratkog spoja sprovodi se poslije njegove izrade ili remonta. Najčešće se izvodi prema električnoj šemi prikazanoj na Slici 4.24, gdje je pod a) električna šema a pod b) karakteristika oglada kratkog spoja.



Slika 4.24. Ogled kratkog spoja: a) električna šema, b) karakteristika oglada kratkog spoja

U toku oglada mjere se primarni napon, struja i snaga, a na sekundaru transformatora koji je kratko spojen mjeri se struja kratkog spoja.

Pomoću regulacionog transformatora postepeno se povećava primarni napon od vrijednosti 0 V do vrijednosti U_k , kod koje na sekundarnoj strani transformatora protiče naznačena struja $I_2 = I_n = I_k$. U isto vrijeme kroz primarni namotaj protiče naznačena struja I_1 . Vatmetar na primarnoj strani mjeri snagu P_k .

Gubici koji se mjere u ogledu kratkog spoja P_k sastoje se od gubitaka transformatora i gubitaka samih instrumenata.

U transformatoru se prilikom oglada kratkog spoja javljaju gubici usljed opterećenja. Oni se sastoje od gubitaka u namotajima koji su obično sačinjeni od bakra (Džulovi gubici i gubici usljed površinskih efekata) i gubitaka u drugim konstrukcionim djelovima transformatora, usljed indukovanih parazitskih struja (obično iznose nekoliko procenata).

parazitski
živi, postoji na račun drugog

Gubici usljed opterećenja, uz zanemarenje dopunskih gubitaka u drugim konstrukcionim djelovima, u teoriji se često nazivaju gubici u bakru. Razlog je što su pri naponu U_k koji je znatno manji od naznačenog primarnog napona U_{1n} , struja magnetiziranja i magnetna indukcija vrlo male, pa su gubici u željezu transformatora zanemarljivi. Zbog toga izmjerena snaga P_k predstavlja gubitke u bakru transformatora:

$$P_k \approx P_{Cu} \quad (4.7)$$

Na osnovu izmjerenih vrijednosti može se izračunati faktor faznog pomjeraja kao:

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k(P_{Cu})}{U_k I_{1n}} \quad (4.8)$$

Najčešće se napon kratkog spoja U_k izražava u procentima naznačenog primarnog napona U_{1n} :

$$u_{k\%} = \frac{U_k}{U_{1n}} \cdot 100. \quad (4.9)$$

Vrijednost $u_{k\%}$ se smatra jednim od važnijih podataka o transformatoru i redovno se nalazi na njegovoj natpisnoj pločici. Ova vrijednost se koristi, uz poznavanje naznačene struje transformatora I_n , da se izračuna struja kratkog spoja I_k :

$$I_k = I_n \cdot \frac{100}{u_{k\%}} \quad (4.10)$$

Struja kratkog spoja predstavlja važanu karakteristiku za projektovanje zaštite i ostalih djelova rasklopnog postrojenja.

Uz zanemarenje poprečne grane šeme, parametri uzdužne grane ekvivalentne šeme jednofaznog transformatora određuju se iz izraza:

- impedansa kratkog spoja

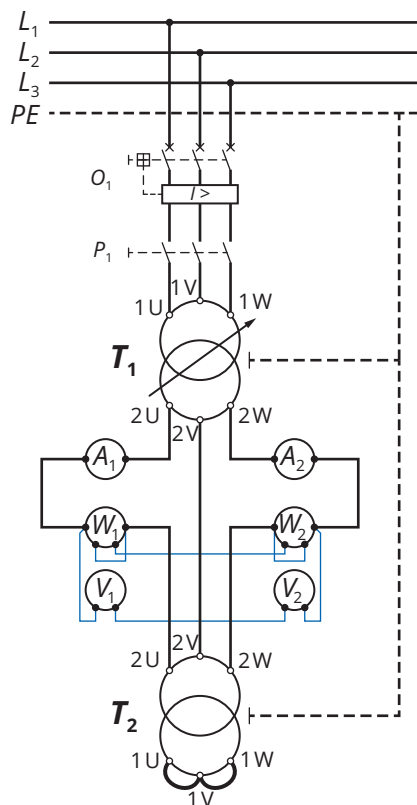
$$Z_k = \frac{U_k}{I_k}, \quad (4.11)$$

- aktivna otpornost kratkog spoja

$$R_k = R_1 + R_2' = \frac{P_k}{I_k^2}, \quad (4.12)$$

- reaktansa kratkog spoja

$$X_k = X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}. \quad (4.13)$$



Slika 4.25. Šema ispitivanja trofaznog transformatora u ogledu kratkog spoja

Šema ispitivanja trofaznog transformatora u ogledu kratkog spoja prikazana je na Slici 4.25.

4.5.



1. Nabroj osnovna ispitivanja transformatora u laboratorijskim uslovima.
2. Što sadrže komandna, tipska i specijalna ispitivanja transformatora?
3. Objasni ogled praznog hoda transformatora.
4. Objasni ogled kratkog spoja transformatora.
5. Popuni radni list na osnovu izvršenih ispitivanja.



VJEŽBA: Ispitivanje transformatora u laboratorijskim uslovima

Cilj zadatka: Učenik/učenica zna da demonstrira ispitivanje transformatora u laboratorijskim uslovima kao i način izrade i sadržaj ispitnog protokola o obavljenim ispitivanjima.

Nalog: Koristeći stečena znanja, u laboratorijskim uslovima samostalno izvrši određena ispitivanja transformatora (mjerjenja ili oglede) i sačini ispitni protokol o obavljenim ispitivanjima.

Nastavnik/nastavnica formira grupe. U zavisnosti od raspoložive opreme i uslova u laboratoriji, svakoj grupi daje posebne zadatke, kao što su: mjerenje odnosa transformacije, provjeravanje vrste sprege, provjeravanje oznaka krajeva transformatora, ogled praznog hoda, ogled kratkog spoja i ogled zagrijavanja.

Nakon završenih ispitivanja grupe sastavljaju ispitni protokol o obavljenim mjerjenjima i ispitivanjima i u njega unose dobijene rezultate.

Na osnovu rezultata istraživanja, grupe prezentuju svoje zaključke i u laboratorijskim uslovima demonstriraju zadato mjerenje i ispitivanje i način izrade i sadržaj ispitnog protokola o obavljenim mjerjenjima i ispitivanjima.

5.

Izgradnja i održavanje visokonaponskih razvodnih postrojenja

5.1. Izgradnja visokonaponskih razvodnih postrojenja

5.1.1. Procedure izgradnje visokonaponskih razvodnih postrojenja

U cilju obezbjeđivanja sigurnosti i kvaliteta napajanja i korišćenja električne energije, normama i pravilnicima se propisuju tehnički i drugi zahtjevi za izgradnju visokonaponskih elektroenergetskih postrojenja njegovih sastavnih dijelova.

Normativno su detaljno i precizno definisani svi koraci, počev od izrade i usvajanja projektne dokumentacije, izbora izvođača radova, nadzora nad izvođenjem radova, nabavke kompletne opreme i materijala, prijemna ispitivanja i ugradnja opreme i uređaja, kao i sve radnje do puštanja VNRP u probni, i kasnije u normalni rad, obuka potrebnog osoblja i sl.

Odgovarajućim pravilnicima definišu se procedure koje regulišu: projektovanje i građenje (odnosno izvođenje radova) novih elektroenergetskih postrojenja; rekonstrukciju i modernizaciju postojećih postrojenja; njihovu upotrebu, odnosno pogon i održavanje.

Navedene procedure primjenjuju se na elektroenergetska postrojenja (namijenjena za proizvodnju, prenos, distribuciju, potrošnju, odnosno korišćenje električne energije), kao i na njihovu pripadajuću električnu opremu i instalacije.

Osim nabrojanih, moraju se ispunjavati i zahtjevi propisani posebnim propisima u području prostornog planiranja i gradnje, sigurnosti i zdravlja pri radu, zaštite okoline, zaštite od eksplozije i požara, kao i zahtjevi definisani drugim posebnim propisima.

Pravilnicima koji se odnose na elektroenergetska postrojenja obuhvataju se svi tipovi VNRP koji posjeduju sklopne uređaje i/ili transformatore u području proizvodnje, prenosa, distribucije i korišćenja električne energije. Oni se uglavnom primjenjuju na sljedeću električnu opremu:

- generatore, motore i druge rotacione mašine
- sklopne/komutacione i upravljačke uređaje
- transformatore i prigušnice
- pretvarače
- kablovske/podzemne vodove
- sisteme za razvođenje kablovskih i vazdušnih vodova
- akumulatore i akumulatorska postrojenja
- kondenzatore
- uzemljivačke sisteme
- zgrade i ograde koje su dio zatvorenog električnog pogonskog prostora
- pridružene zaštitne, upravljačke i pomoćne sisteme i dr.

Prilikom projektovanja i izgradnje VNRP neophodno je voditi računa da elektroenergetska postrojenja i električna oprema moraju biti u stanju da podnesu električne, toplotne, mehaničke i klimatske uticaje, kao i specifične uticaje okoline koji se očekuju na svakom konkretnom mjestu njihove ugradnje.

U svim fazama projektovanja, izvođenja radova, upotrebe, pogona i održavanja VNRP moraju se uzeti u obzir:

- zahtjevi za sigurnost i kvalitet napajanja i korišćenja električne energije
- svrha elektroenergetskog postrojenja
- pouzdanost, raspoloživost i sposobnost elektroenergetskog postrojenja da izdrži prelazna (tranzijentna) stanja
- sigurnost rukovaoca elektroenergetskog postrojenja, osoblja u postrojenju i ljudi u okolini elektroenergetskog postrojenja
- način održavanja elektroenergetskog postrojenja
- mogućnosti rekonstrukcije i proširenja elektroenergetskog postrojenja
- zaštita okoline...

5.1.2. Postupci montiranja i demontiranja glavnih elemenata

Uobičajeni postupak montaže VNRP odvija se po utvrđenom redosljedu, ali taj postupak ne može se smatrati kao pravilo, jer umnogome zavisi od pripremljenosti uslova i specifičnosti objekta. Montaže različitih elemenata VNRP prikazane su na Slici 5.1.



Slika 5.1. Montaža elemenata visokonaponskih razvodnih postrojenja

Poslije opsežnih građevinskih i komunalnih priprema prostorija i okolnog prostora, prelazi se na postupak montaže postrojenja koji obuhvata:

- bravarske i
- elektromontažne radove.

Bravarski radovi obuhvataju: pripremu materijala, izradu bravarskih elemenata, zaštitu elemenata (bojanje, cinkovanje i sl.), radioničko sklapanje konstrukcija, provjeru dimenzija u odnosu na vrijednosti iz projekta, transport elemenata do mjesta montaže postrojenja, montažu opreme i sl.

Elektromontažni radovi su: priprema materijala, radionička izrada, obavljanje neophodnih ispitivanja, montaža opreme, spajanje bravarskih i elektromontažnih radova, provjera funkcionisanja i ostala propisana ispitivanja.

Nakon ovih radova, u saradnji sa odgovornim licem (nadzornim organom), slijedi otklanjanje nedostataka.

Prije početka glavnih radova potrebno je raščistiti teren gdje će se obaviti montaža. Sve otvore na mjestu gdje se obavljaju radovi (građevinske i montažne otvore, otvore između spratova, kablovske šahtove i sl.) 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 povrijede.

Prilikom montaže otvorenog dijela postrojenja, taj dio mora biti ograđen. Kablovski kanali, do postavljanja ploča koje su predviđene projektom, treba da budu zatvoreni. Kada se u njih polože kablovi, treba ih zatvoriti

pločama. Sve konstrukcije otvorenog dijela postrojenja (sabirnički i dalekovodni portali, temelji za postavljanje prekidača, rastavljača i mjernih transformatora i sl.) moraju da budu pričvršćene odgovarajućim zavrtnjima ili zavarene na odgovarajući način. Ako ovo nije ispunjeno, rad na takvim konstrukcijama je zabranjen.

Pri radu na visini monteru su dužni da koriste pomoćne uređaje i opremu za montažu i da se vezuju za konstrukciju pomoću sigurnosnih pojaseva (Slika 5.2). U slučaju oluje ili jakog vjetera svi radovi na montaži opreme otvorenih postrojenja i na uvođenju nadzemnih vodova u zatvorena postrojenja treba da budu obustavljeni.

Sabirnice otvorenih djelova postrojenja treba montirati prije opreme. Montaža sabirnica je veoma važna. Bitno je i pravilno ih postaviti, odnosno sabiti sabirnice (šine ili užad) i pravilno saviti i nastaviti šine (mogu biti bakarne i aluminijumske). Za to se koristi posebni priručni alat i prese (obično hidraulične). Poslije montaže šine/sabirnice se obavezno premažu odgovarajućom bojom, u zavisnosti od faze (faza 0 – žuta, faza 4 – zelena i faza 8 – ljubičasta; šina nultog voda neuzemljena – crno-bijele pruge, šina nultog voda uzemljena – crno-ljubičaste pruge; pol plus – crvena, pol minus – siva boja).

Kod VNRP postupak montiranja najčešće počinje montažom potpornih i provodnih izolatora na odgovarajućoj nosećoj konstrukciji ili za specijalno predviđenu konzolu (što je definisano projektom). Zbog, najčešće velikog broja izolatora u VNRP, prije njihove montaže oni se odvoje i sortiraju prema broju i vrsti, obavi se njihov vizuelni pregled i pripremi kvalitetna šarafska roba potrebna za njihovo pričvršćivanje. Propisi za izradu svih vrsta izolatora veoma su strogi, pa je potrebno provjeriti kvalitet i način (posebno horizontalnost) izrade nosećih konstrukcija.



Slika 5.2. Montažni radovi na visokim elektroenergetskim objektima

Nakon izolatora montiraju se rastavljači, rastavne sklopke i rastavljači sa zemljospojnicima, odnosno rastavljači u kombinaciji s osiguračima, zavisno od naznačenog napona postrojenja. Treba vizuelno pregledati da li su svi ovi aparati i njihovi pogonski mehanizmi kompletni. Pogonski mehanizmi za napone do 35 kV su obično na ručni pogon, dok se za napone veće od 110 kV najčešće koriste elektromotorni pogoni. Prvo se montiraju izolatori rastavljača. Tek kada se ustanovi da je izolator pravilno montiran i nivelisan na svom postolju, montira se glavno strujno kolo rastavljača ili pantograf, i na kraju pogonski mehanizmi. Svi djelovi se zatim povežu i izvrše se mjerenja da bi se provjerila ispravnost montaže i funkcionisanje pogonskog mehanizma, sistem blokade i hod poluga.

Treba obratiti posebnu pažnju na pravilno povezivanje mjesta predviđenog za uzemljenje (označena na aparatima) s uzemljenjem postrojenja.

Nakon montaže i utvrđivanja da je sve izvedeno prema uputstvu proizvođača i odgovarajućem standardu, neophodno je izvršiti mjerenje prelaznog otpora. Upoređivanjem izmjerenih rezultata s rezultatima dobijenim prilikom fabričkih ispitivanja, donosi se sud o ispravnosti aparata i njegove montaže. Velika razlika između rezultata (ukoliko postoji), ukazuje da nešto nije ispravno urađeno prilikom montaže (greška prilikom montaže).

Montaža prekidača (Slika 5.3) vrši se na isti način kao i montaža rastavljača, pri čemu je neophodno prekidače montirati i nivelisati isključivo u vertikalnom položaju.

Prekidači za naznačene napone do 35 kV izrađuju se kao tropolni s jednim pogonskim mehanizmom (ručnim ili motorno opružnim) i imaju jedno zajedničko postolje. Ono omogućava da se ovi prekidači lako i brzo pričvršćuju na odgovarajuće postolje.

Poslije montiranja prekidača, pogonskih mehanizama i njihovog povezivanja, vrši se provjera pravilnog montiranja (precizno vertikalno montiranje), funkcionisanja i ispravnog rada prekidača.

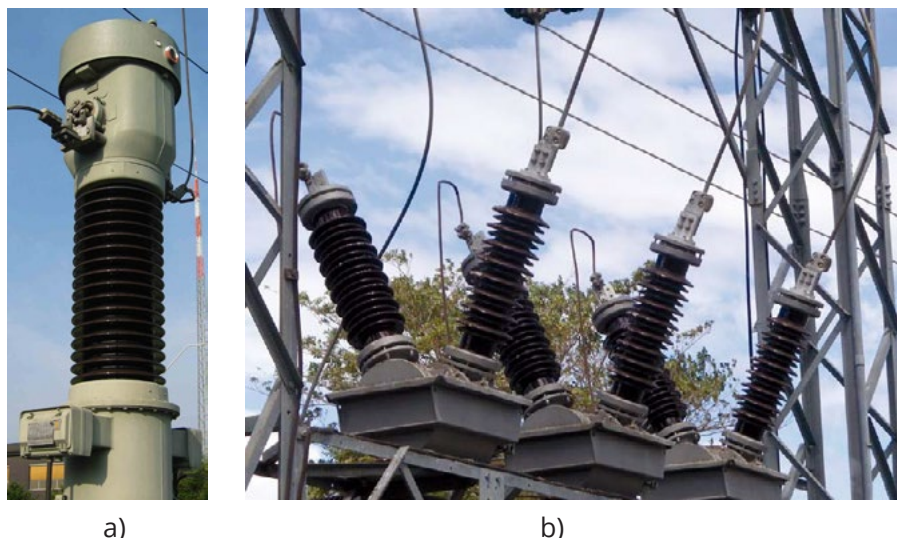
Neophodno je pravilno uzemljiti sva označena mjesta i izmjeriti prelazne otpore i uporediti ih s rezultatima fabričkih ispitivanja.

Nakon prekidača montiraju se mjerni (strujni i naponski) transformatori (Slika 5.4). Mjerni uljni



Slika 5.3. Montiranje VN prekidača i ostale energetske opreme

transformatori montiraju se na određenu konstrukciju samo u vertikalnom položaju, a ostali u bilo kom drugom položaju.



Slika 5.4. Montirani visokonaponski transformator: a) strujni, b) naponski

U zavisnosti od naznačenog napona, odvodnici prenapona mogu se montirati u vertikalnom položaju ili se mogu bočno okačiti na zid.

Energetski transformatori (transformatori snage) za napone do 12 kV, čija je snaga do nekoliko MVA (distributivni transformatori), uglavnom se dopremaju potpuno opremljeni na mjesto ugradnje, gdje se vrši njihova montaža.

Transformatori srednjih snaga za napone do 38 kV isporučuju se na mjesto montaže (kamionima ili specijalnim transporterima) djelimično ili kompletno montirani.

Energetski transformatori viših naponskih nivoa (iznad 123 kV) i velikih snaga isporučuju se na mjesto ugradnje u djelovima (bez izolatora, radijatora, ventilatora, releja i dr.), što znači da je na mjestu ugradnje neophodna montaža svih većih transformatora. Najčešće se jezgro većih energetskih transformatora montira u njegovo kućište u fabrici proizvođača (Slika 5.5). Tako montiran transformator, dopremljen na mjesto montaže specijalnim transportnim sredstvom, postavlja se na mjesto predviđeno u postrojenju i tu se učvršćuje.



Slika 5.5. Fabričko montiranje jezgra većeg energetskog transformatora

Priprema temelja za montiranje i montiranje novog transformatora snage prikazana je na Slici 5.6.



a)



b)

Slika 5.6. Energetski transformator: a) priprema temelja, b) montiranje

Poslije postavljanja transformatora na pripremljeni temelj pristupa se završnim radovima, odnosno montiraju se dijelovi koji su skinuti prilikom transporta, provjerava se njihova ispravnost (npr. eventualna oštećenja prilikom transporta) i naliva se (ili se doliva, ako je dopremljen s djelimičnom količinom) ulje u kotao (Slika 5.7). Zatim se montiraju provodni izolatori i ostala oprema. Na kraju se obavljaju neophodna mjerenja radi provjere (dielektrična čvrstoća ulja, otpor izolovanosti i sl.).

Kada je sve ovo urađeno u skladu s propisima, transformator je spreman za stavljanje pod napon.



Slika 5.7. Završni radovi na montiranju energetskog transformatora

Kada je u pitanju 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.

Izgled metalom oklopljenih 10/0,4 kV postrojenja (BTS) sa spoljašnjim posluživanjem, oklopljenih čeličnim (a) i aluminijskim (b) limom, predviđenih za montiranje na betonski temelj, prikazan je na Slici 5.8. Kod metalom oklopljenih postrojenja koja imaju izvlačive ćelije, kada se završi montaža i postavljanje svih mjernih i kontrolnih instrumenata i opreme, treba provjeriti blokade na mjestu ugradnje, odnosno mehanizam za blokiranje pokretanja izvlačivog dijela ćelije.



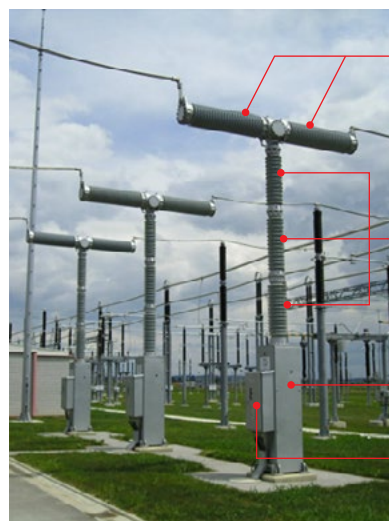
a)



b)

Slika 5.8. Metalom oklopljena 10/0,4 kV postrojenja: a) od čeličnog, b) od aluminijskog lima

SF6 postrojenja treba da budu montirana na podlogu koja je potpuno horizontalna. Svi djelovi su, takođe, tipski proizvedeni. Na Slici 5.9 prikazan je dio 400 kV VNRP s montiranim različitim tipovima SF6 prekidača.



prekidna komora

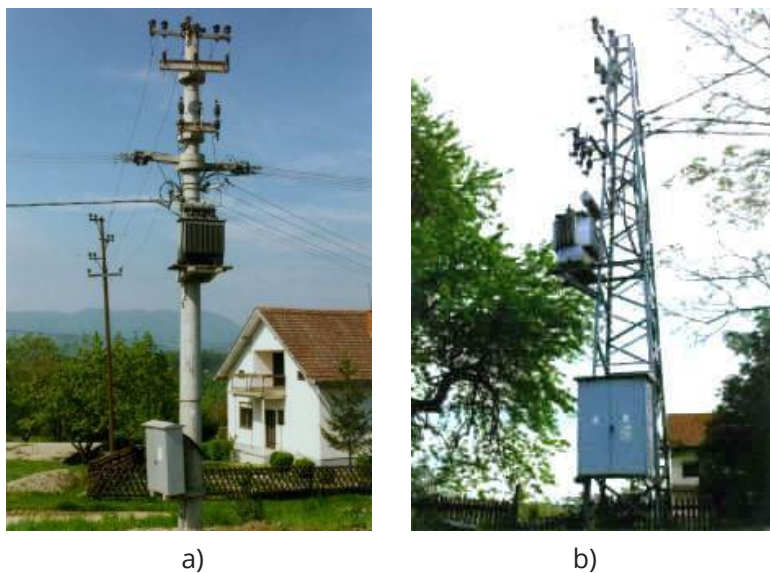
potpuni izolatori

pogonski mehanizam

upravljački ormarić

Slika 5.9. SF6 prekidači montirani u 400 kV postrojenju

Za napajanje seoskih domaćinstva, gradilišta i drugih specifičnih potrošača koriste se postrojenja montirana na stubu, koja predstavljaju manje trafostanice (najčešće TS 10 kV/0,4 kV). Ova postrojenja se tipski proizvode i ispituju u fabrici, a zatim se demontiraju i transportuju na mjesto ugradnje. Najčešće se postavljaju na betonskim i čelično-rešetkastim stubovima (Slika 5.10). Kod čelične konstrukcije stub je sastavljen iz više djelova koji se lako i brzo sklapaju na mjestu ugradnje.



Slika 5.10. Stubna trafostanica: a) na betonskom stubu, b) na čelično rešetkastom stubu

Oprema se montira od vrha stuba, gdje se najprije montiraju odvodnici prenapona, zatim rastavljač, pa rastavljač s osiguračima ili rastavna sklopka i na kraju transformator snage. Niskonaponski dio smješta se u zatvoreni ormar koji se montira u donji dio stuba, kako bi mu se moglo prići bez penjanja na stub.

Nakon montaže svih osnovnih djelova VNRP potrebno je izvršiti šemiranje i montažu razvodnih tabli, komandnih ormara i komandnih pultova, koje se vrši na osnovu specijalno urađenih i nacrtanih montažnih šema.

Šemiranje razvodnih tabli i pultova obavlja se na osnovu montažnih šema koje precizno označavaju gdje koji provodnik počinje, kuda prolazi i gdje se završava. Svaka žila ima oznaku i broj aparata koji se povezuje, kao i presjek kabla.

Monteri moraju biti iskusni, obučeni i sposobni da dobro čitaju šeme. Pored montažne šeme moraju imati i šemu djelovanja (ili principijelnu šemu) posmatrane table ili pulta. Po završetku montaže i šemiranja table, ormara ili komandnog pulta, potrebno je provjeriti otpor izolacije izvedenih montažnih radova. Najčešće se to radi megaommetrom.

1. Objasni proceduru izgradnje VNRP.
2. Koji su postupci montiranja i demontiranja glavnih elemenata VNRP? Objasni razliku.
3. Nabroj elektromontažne radove pri montaži VNRP.
4. Navedi i objasni redosljed montiranja elektroenergetske opreme u VNRP.

5.2. Vrste održavanja elektroenergetske opreme i uređaja u VNRP

Svi tehnički sistemi izrađuju se da bi izvršavali određene funkcije za određeni vremenski period. Iako su oni uglavnom projektovani i izvedeni za dugotrajan pouzdan i siguran rad, veoma često se i ovi sistemi kvare, odnosno ne izvršavaju funkciju ili je ne izvršavaju na zadovoljavajući način.

U EES-ima, zbog izuzetnog značaja njihovog pouzdanog i sigurnog rada, odnosno važnosti trajnog napajanja potrošača kvalitetnom električnom energijom, potrebno je uraditi sve da se maksimizira vrijeme njihovog normalnog rada. Da bi se to postiglo, potrebno je izbjeći sve nepotrebne zastoje. Poznato je da nije moguće izbjeći zastoje u radu i kontrolu i zamjenu oštećenih djelova. Međutim, postoji dio posla koji se može unaprijed pripremiti kako bi se izbjeglo nepotrebno čekanje ukoliko dođe do kvara uređaja.

U elektrotehnici je potrebno projektovati i izvoditi takve sisteme koji će raditi na zadovoljavajući način i koje je, uz određene aktivnosti, moguće ponovo dovesti u ispravno stanje. Takođe, treba predvidjeti/procijeniti koliko sistem može normalno da radi i kada se (statistički) može očekivati da sistem više neće raditi.

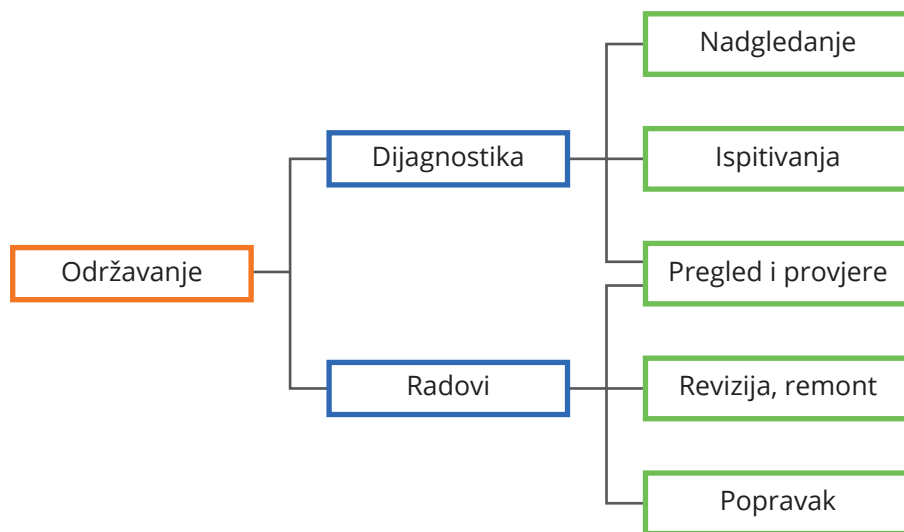


Nadgledanje životnog vijeka/vijeka trajanja i rada sistema, odnosno uređaja, poznato je pod nazivom održavanje.

U tehnici, održavanje podrazumijeva postupak pregleda, popravke ili poboljšavanja nekog uređaja čime mu se poboljšava postojeće stanje ili produžava radni vijek.

★★★★ Održavanje je skup akcija (ili tehničkih i administrativnih djelatnosti) sa ciljem da se sistem zadrži ili ponovo „vrati“ u stanje u kojem može uspješno obavljati zadate/namijenjene funkcije. To je, u stvari, postupak kojim se nastoji održati istim neko stanje ili neka sposobnost.

Različiti postupci koje je neophodno preduzeti u toku procesa održavanja elektroenergetske opreme i uređaja prikazani su na Slici 5.11.



Slika 5.11. Šematski prikaz postupaka održavanja elektroenergetske opreme

Dijagnostika i dijagnostička ispitivanja su detaljno objašnjena u Poglavlju 4 Kvarovi i ispitivanja elemenata VNRP.



Radovi se mogu obavljati tokom pogona (pregled i provjere), odnosno kada je oprema van pogona (revizije, remont i popravke).

Revizija sadrži radove koji se obavljaju na opremi prema unaprijed definisanom redosljedu i terminu. Uz pregled i provjere koje se ne mogu obaviti tokom pogona, rade se mjerenja i tzv. nerazorna ispitivanja na djelimično otvorenoj opremi (ako je to moguće), kako bi se pouzdano odredilo stanje opreme. Takođe se vrši i čišćenje, podmazivanje i zamjena istrošenih djelova.

Remont sadrži složenije radove na opremi – popravke ili zamjene elemenata za koje je pregledom, ispitivanjem ili mjerenjem pokazano da odstupaju od uobičajenih vrijednosti.

Popravak se preduzima nakon kvara opreme radi ponovnog uspostavljanja njenih normalnih funkcionalnih svojstava.

Efikasnost održavanja prvenstveno zavisi od pogonskih uputstava koje je dao proizvođač kao i njihove primjene. Pogonska uputstva treba da sadrže sljedeće informacije:

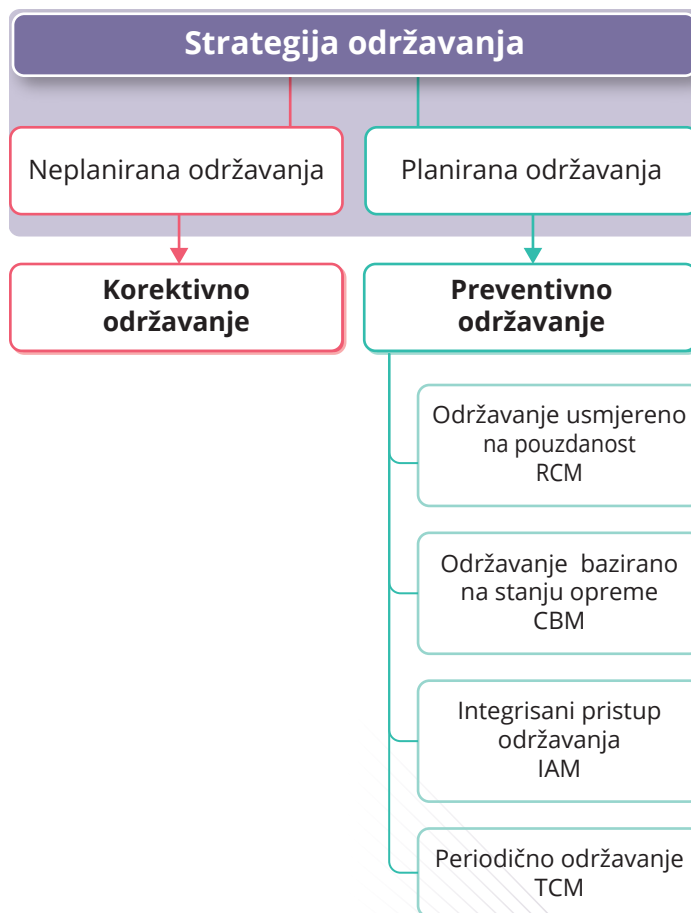
- obim i učestanost održavanja, pri čemu je neophodno voditi računa o: sklopnim operacijama, ukupnom broju sklopnih ciklusa, vremenu u pogonu, uslovima koji vladaju u okolini, mjerenjima i dijagnostičkim ispitivanjima (ukoliko postoje)
- detaljan opis aktivnosti održavanja, uzimajući u obzir preporučeno mjesto za radove
- održavanja (unutra, vani, u fabrici, na terenu i dr.), postupke pregleda, dijagnostičkih ispitivanja, nadgledanja, remonta, referentne crteže, referentne brojeve djelova, potrebu korišćenja specijalnih uređaja ili alata, aktivnosti koje zahtijevaju naročitu pažnju, postupke podmazivanja i sl.
- crteže detalja upravljačkih i sklopnih uređaja važnih za aktivnosti održavanja
- granične vrijednosti i tolerancije koje, kad se premaše, zahtijevaju određene korektivne aktivnosti
- specifikaciju pomoćnih materijala za održavanje
- popis specijalnih alata i pomoćne opreme i opreme za vršenje ispitivanja nakon završetka poslova održavanja
- spisak preporučenih rezervnih djelova (opis, referentni broj, količina...) i preporuke za njihovo skladištenje
- terminski plan aktivnosti održavanja
- postupke s opremom kojoj je istekao vijek trajanja i sl.

Teorija održavanja zasniva se na dva suprotstavljena zahtjeva:

- troškovi održavanja moraju biti što manji
- uređaj mora raditi što pouzdanije, odnosno održavanje mora biti što bolje i češće.

Kako je uglavnom nemoguće pomiriti ova dva zahtjeva, cijela teorija održavanja zasniva se na kompromisu, odnosno na pokušaju da se postigne što veća sigurnost uz što manju cijenu.

Za zadovoljenje strogih zahtjeva vezanih za održavanje elektroenergetske opreme, postoje različiti pristupi održavanju, odnosno različite strategije. Na Slici 5.12 prikazana je jedna od



Slika 5.12. Jedan od mogućih pristupa/strategija u održavanju elektroenergetske opreme

mogućih strategija održavanja po kojoj se pristupi/strategije održavanja dijele na:

- korektivno održavanje
- preventivno održavanje.

Prilikom održavanja uređaja koriste se oba navedena načina. Vitalni dijelovi većinom se održavaju aktivnim načinom (preventivno), a manje bitni pasivnim (korektivnim) načinom.

5.2.1. Korektivno održavanje

Korektivno održavanje može se definisati kao vrsta održavanja (popravak sistema) koja se preuzima tek nakon što je pojedini dio ili cio sistem otkazao, ili je istrošen, ili je nastupio zastoj u radu.

Dakle, korektivno održavanje je održavanje koje se realizuje nakon pojave kvara, odnosno nakon utvrđivanja da sistem ne obavlja predviđenu funkciju. Preuzima se radi povratka tog dijela ili sistema u prvobitno, radno stanje.



Pod korektivnim održavanjem podrazumijeva se redosljed akcija nad sistemom koji nije radno sposoban kako bi mu se vratila funkcionalnost na pređašnji nivo, odnosno u ispravno stanje.

Korake korektivnog održavanja je vrlo jednostavno razumjeti i primijeniti. Na primjer, šta se događa kada u transformatoru prestane da radi hladnjak rashladnog sredstva? Vjerovatno je primijećeno da se već neko vrijeme rad/zvuk hladnjaka uopšte ne čuje. Prva pomisao je da je hladnjak neispravan. Prvim korakom treba utvrditi temperaturu hladnjaka nekim dijagnostičkim alatom. Ukoliko temperatura hladnjaka prelazi uobičajene vrijednosti, a otvaranjem poklopca kućišta utvrdi se da ventilator hladnjaka ne radi, neophodno je naći neispravn dio i zamijeniti ga. Nakon toga treba sve vratiti u prvobitno stanje i uvjeriti se da radi kako treba. Na ovaj način ostvareno je sve predviđeno uobičajenim postupkom korektivnog održavanja.

Prednosti ovakvog pristupa su niža cijena i veće iskorištenje resursa sistema (koriste se raspoloživi resursi dok god funkcionišu). Cijena tekućeg održavanja u ovom slučaju je jednaka nuli, odnosno ne postoje izdaci za tekuće održavanje.

Što se nedostataka tiče, važna je činjenica da se održavanje vrši tek nakon što kvar nastupi, a često uz kvar pojedinog dijela nastaje šteta i na

okolnim djelovima i uređajima. Neophodno je istaći da je otežano planiranje, jer osim eventualno statističkih podataka, nije moguće znati kada će pojedini djelovi sistema, odnosno sistem u cjelini, prestati sa radom. Time je otežana podrška radu sistema (da li postoji spremna radna snaga za izvršavanje popravke, postoje li uskladišteni djelovi i oprema za popravak...).

Sistemi na koje se primjenjuje korektivni tip održavanja ne osiguravaju visoku pouzdanost namjene. Zato se, pogotovo u profesionalnoj primjeni, ne smije dopustiti prestanak njihovog rada.

Korektivno održavanje najčešće se realizuje neplanski i urgentno i primjenjuje se na manje i jeftinije djelove i elemente. Očito da se ovim načinom ne mogu održavati važniji i skuplji sistemi, već se primjenjuje postupak preventivnog održavanja. Korektivno održavanje je prihvatljivo svuda gdje posljedice pojave kvara nijesu takve da nameću primjenu planskog (preventivnog ili prediktivnog) održavanja.

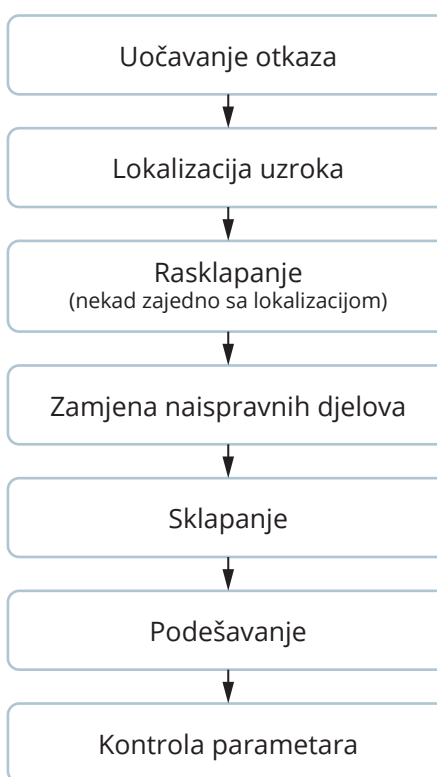
Na Slici 5.13 prikazani su različiti koraci koji se najčešće koriste u postupku korektivnog održavanja.

5.2.2. Preventivno održavanje

Preventivno održavanje (periodični pregledi – revizije i remont) predstavlja održavanje prilikom kojeg se kvar predviđa i uređaj održava prije nego nastupi kvar. Preventivno održavanje podrazumijeva brigu, prevenciju i servisiranje sistema, odnosno sprečavanje pojave kvara. Kako bi sistem ostao u zadovoljavajućim radnim karakteristikama, koristi se nadzor, detekcija i popravka potencijalnog kvara prije nego dođe do njega. Cilj je imati sisteme koji se nikada neće pokvariti, što je nemoguće ostvariti. Ovo je moguće djelimično osigurati periodičnim provjeravanjem svojstva i funkcije sistema i njegovih elemenata.

Jedna od češće korišćenih definicija je:

Preventivno održavanje je održavanje koje se obavlja na unaprijed određenim intervalima ili prema propisanim kriterijumima a čija je svrha smanjivanje vjerovatnoće kvara ili degradacije funkcionisanja elementa.



Slika 5.13. Šema korektivnog održavanja

Preventivno održavanje je vrsta održavanja koja se realizuje planski, odnosno kada se za to ukaže potreba. Ono obuhvata redovne preglede, zamjenu dijelova za koje se mjerenjem svojstava ili praćenjem degradacije utvrdi da bi mogli otkazati, njihovo čišćenje, kontrolu ispravnosti instrumenata i sl. Može biti izvedeno kao:

- **planirano** (vremenski orijentisano), koje se vrši nakon isteka određenog vremena u zadatim vremenskim intervalima ili na osnovu određenih pokazatelja
- **prediktivno** održavanje (održavanje po stanju), kod kojeg se aktivnosti održavanja realizuju na osnovu stanja dijelova i sistema.

Neke od metoda koje se mogu koristiti za praćenje degradacije opreme su:

- infracrveno snimanje
- mjerenje toplote
- snimanje nivoa buke i vibracija.

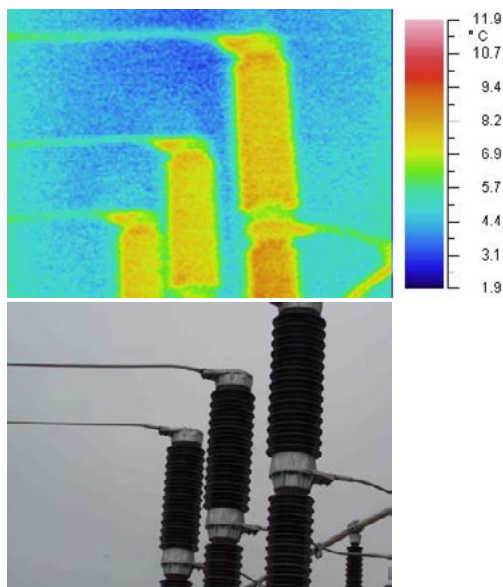
Veoma efikasna metoda za praćenje degradacije opreme je termovizijska metoda, odnosno snimanje termograma opreme termovizijskim kamerama.

Termovizijsko ispitivanje obuhvata spojna mjesta prekidača na sabirnice s obje strane kontakta. Na Slici 5.14 prikazani su termogrami visokonaponskih prekidača u transformatorskom polju. Snimljeni termogram pokazuje da ne postoje temperaturna prekoračenja veća od preporučenih i da su ispitivani elementi sposobni da uspješno ispunjavaju predviđene aktivnosti.

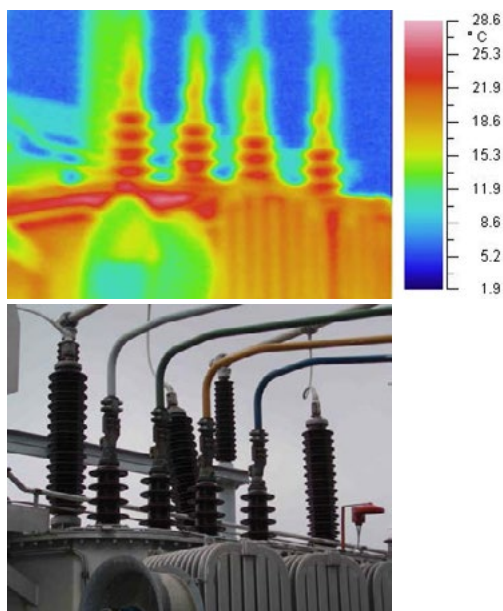
Na Slici 5.15 prikazan je termogram snimljen termovizijskom kamerom na energetskom transformatoru 110/20 kV i njegovim provodnim izolatorima 20 kV. Iz termograma se može vidjeti da ne postoje nedozvoljena prekoračenja temperature na vidljivim dijelovima energetskog transformatora.

Prednosti preventivnog održavanja su:

- veća pouzdanost i sigurnost uređaja i sistema u radu
- mogućnost planiranja trenutka održavanja (jednostavnije planiranje)



Slika 5.14. Termogram visokonaponskog prekidača u trafo polju



Slika 5.15. Termogram energetskog transformatora 110/20 kV

- mogućnost predviđanja troškova održavanja, a samim tim i lakša kontrola.

Nedostaci su:

- povećani troškovi održavanja (teoretski, iako se u praksi dešava da kvar uređaja s korektivnim održavanjem često donosi mnogo veće troškove)
- sistem je vremenski manje raspoloživ pa je manje iskorištenje resursa sistema
- povećana mogućnost kvara uređaja zbog greške osoblja koje vrši održavanje
- visoki troškovi održavanja izazvani često bespotrebnom zamjenom dijelova, što zahtijeva veću radnu snagu i veći broj rezervnih dijelova.

5.2.



1. Što je održavanje? Objasni značaj održavanja opreme u VNRP.
2. Navedi vrste održavanja elektroenergetske opreme i uređaja u VNRP.
3. Uoči razliku između principa korektivnog i preventivnog održavanja.
4. Navedi prednosti i mane korektivnog održavanja.

5.3. Plan preventivnog održavanja elektroenergetske opreme i uređaja u VNRP



Plansko održavanje je način održavanja sistema, mašina i uređaja prilikom kojeg se svi radovi unaprijed planiraju.

Ono se provodi kao preventivno održavanje i/ili održavanje po stanju (prediktivno održavanje) i uvijek se realizuje prije pojave kvara. Cilj planskog održavanja je da se korektivno održavanje svede na prihvatljivi nivo.

Proizvođač opreme bi trebao da obezbijedi podatke o tome koliki je vijek trajanja svakog sistema ili uređaja. Do ovih podataka dolazi se proračunom i iskustvom. Zamjena dijela ili čitavog uređaja trebalo bi da se vrši prije nego što on počne pokazivati znake mogućeg kvara, u tačno predviđenim intervalima ili na osnovu dijagnostičkog praćenja stanja datog dijela. Sam zahvat i spisak dijelova može se precizno predvidjeti i programirati.

Time se olakšava održavanje uređaja i smanjuju neželjene posljedice kvara i zastoja ili mogućih kolateralnih šteta.

Plan održavanja daje odgovor na pitanje što i kako realizovati, a program (raspored) održavanja daje odgovor na pitanje kada realizovati aktivnosti održavanja.

Planiranje se prevashodno odnosi na aktivnosti preventivnog i prediktivnog održavanja, mada se i za pojedine aktivnosti korektivnog održavanja kreiraju planovi održavanja.

Planom održavanja propisan je postupak održavanja/servisa, specificirani potrebni alati i materijali, rezervni djelovi, specificirani potrebni radni sati, potrebne stručne kvalifikacije servisera i sl. U planu se nalaze i svi neophodni podaci, kao što su: naziv opreme, proizvođač i godina proizvodnje, popis radova, period izvođenja radova i dr.

Proces kreiranja programa održavanja zove se **programiranje održavanja**. On obuhvata vrijeme aktivnosti i ime subjekta koji vrši održavanje (kada i ko).

Programiranje se obavlja nedjeljno i dnevno, tj. kreiraju se nedjeljni i dnevni programi.

5.3.



1. Što je plansko održavanje?
2. Opiši sadržaj plana preventivnog održavanja elektroenergetske opreme i uređaja.
3. Kako se kreira plan održavanja? Navedi postupke predviđene planom održavanja.

5.4. Radovi pri reviziji i remontu glavnih elemenata

Revizija je skup radnji koje se periodično obavljaju na opremi prema unaprijed pripremljenom i definisanom redosljedu i terminu (najčešće prema uputstvima proizvođača o reviziji). U toku revizije izvode se: pregledi i provjere koje se ne mogu obaviti tokom pogona, određena mjerenja i tzv. nerazorna ispitivanja, u cilju pouzdanog snimanja stanja i pogonske sposobnosti, kao i neophodno čišćenje, podmazivanje i zamjena istrošenih djelova.

Remont obuhvata složenije radove na opremi sa ciljem da se izvrši popravka ili zamjena elemenata za koje je pregledom, ispitivanjem ili mjerenjem pokazano da im osnovne karakteristike odstupaju od uobičajenih/zadatih vrijednosti. Remontom se ne mijenjaju tehničke karakteristike i funkcionalnost uređaja i opreme, već se teži da se VNRP što je moguće duže održi u tehnički ispravnom stanju. On se vrši u beznaponskom stanju posmatranog dijela postrojenja, u vremenskim razmacima predviđenim uputstvima.

U uputstvima za montažu i održavanje visokonaponskih uređaja i opreme, svaki proizvođač je dužan da, u skladu s važećim propisima i iskustvom, predvidi periodične preglede i odgovarajuće revizije i remonte opreme koju proizvodi. Za glavne elemente VNRP ovo se uglavnom odnosi na sljedeće:

Transformator snage. Periodičnim pregledima predviđene su sljedeće aktivnosti:

- uraditi vizuelni pregled
- provjeriti radijatore i ventilatore
- provjeriti curenje transformatorskog suda
- izmjeriti temperaturu ulja
- provjeriti ispravnost regulatora napona
- pomoću megaommetra provjeriti izolacione otpore
- ispitati dielektričnu čvrstoću ulja i provjeriti Buholc zaštitu.

U slučaju da se utvrdi neki od sljedećih nedostataka:

- jači neravnomjerni šum s praskom unutar transformatora
- pri normalnom opterećenju i hlađenju, nenormalno povišeno zagrijavanje,
- dielektrična čvrstoća ulja znatno manja od vrijednosti koju proizvođač i odgovarajući standard dozvoljavaju,

transformator se odmah mora odvojiti/isključiti od mreže (napajanja).

Na osnovu provjera (ispitivanja), obično svake druge godine, utvrđuje se da li je ulje u transformatoru dobro ili treba vršiti njegovu zamjenu ili regeneraciju (filtriranje).

Najmanje jednom godišnje vrši se pregled transformatora, na osnovu koga se zaključuje o neophodnosti njegovog remonta. Remont se najčešće vrši u specijalno opremljenoj radionici korisnika opreme ili kod proizvođača transformatora. Nakon remonta vrši se:

- provjera odnosa transformacije
- mjerenje otpora namotaja u svim položajima regulatora napona
- mjerenje praznog hoda (mjerenje struje)

Buholc

ili gasna zaštita je najstarija varijanta zaštite energetskih transformatora i jedina je koja se ugrađuje još u fabrici. Bazira se na razvijanju gasova pri pojavi električnog luka u transformatorskom sudu.

- detaljno ispitivanje i hemijska analiza ulja
- provjera sprege transformatora
- mjerenje ugla dielektričnih gubitaka
- dielektrična ispitivanja naizmjeničnim naponom industrijske frekvencije.

Prekidači snage. Kod prekidača snage vrše se sljedeći godišnji pregledi i mjerenja:

- ispravnosti mehaničkog funkcionisanja
- prelaznog otpora glavnog kola
- otpora izolovanosti pomoćnih kola
- otpora izolovanosti izolacije prema masi glavnog kola
- dielektrične čvrstoće ulja (kod prekidača sa uljem).

Da li će se na prekidaču raditi revizija ili remont, odlučuje se na osnovu rezultata prethodnih pregleda i mjerenja, pri čemu treba voditi računa i o broju uključenja i isključenja prekidača i veličini prekidane struje. Na ovu odluku utiče i vrsta prekidača, npr.:

- malouljni prekidači moraju ići u remont poslije šest prekidanja struje kratkog spoja
- vakuumski prekidači mogu prekinuti znatno veći broj struja kratkog spoja.

Svi tipovi prekidača zahtijevaju revizije i remonte. Da bi se izvršila revizija, prekidač mora hiljadu puta prekinuti naznačenu struju. U slučaju vakuumskog prekidača zahtijeva se prekidanje naznačene struje nekoliko desetina hiljada puta.

Da li su i koliko istrošeni kontakti prekidača i da li ih treba mijenjati, odlučuju rezultati mjerenja otpora glavnog kola.

Ako su prekidači gasni ili uljni, prilikom zamjene kontakata obavezno se i oni mijenjaju.

Kod vakuumskog prekidača kontakti ne podliježu reviziji. Kod njih se održava samo pogonski mehanizam (vizuelni pregled i podmazivanje).

Rastavljači (sa zemljospojnicima). Kod rastavljača i zemljospojnika jedino se ispituje i mjeri otpor glavnog kola. Na osnovu rezultata određuje se da li je kontaktni pritisak dobar ili ne. Njihovo redovno održavanje (najmanje jednom godišnje) podrazumijeva vizuelni pregled i podmazivanje pogonskog mehanizma i pogonskih poluga rastavljača.

Otpori glavnog kola i prekidača i rastavljača mjere se kada kroz glavno kolo protiče jednosmjerna struja jačine od najmanje 100 A. Na taj način

izmjereni otpor (ili pad napona) ne smije se razlikovati od otpora (ili pada napona) koji je dobijen neposredno prilikom tipskog oglada zagrijavanja.

Odvodnici prenapona. Za provjeru ispravnosti odvodnika obično se koriste dvije metode:

- mjerenje otpora izolovanosti pomoću megaommetra, kojim se pokazuje da li je došlo do narušavanja izolacije unutar odvodnika
- provjera naizmjeničnog i udarnog napona reagovanja.

Ukoliko reviziju ili remont vrši proizvođač opreme, uobičajeno je da on o tome daje ispitni izvještaj. U ovom izvještaju nalaze se svi podaci dobijeni prilikom sprovedenih ispitivanja.

5.4.



1. Što je revizija, a što remont?
2. Navedi osnovne radove na reviziji i remontu glavnih elemenata VNRP.
3. Nabroj osnovne aktivnosti predviđene periodičnim pregledom VN opreme.



VJEŽBA: Demonstriranje postupaka montiranja i demontiranja VN opreme

Cilj zadatka: Učenik/učenica zna da demonstrira postupke montiranja i demontiranja raspoložive visokonaponske opreme u odgovarajućim uslovima.

Nalog: Koristeći stečena znanja, samostalno demonstriraj određene postupke montiranja i demontiranja visokonaponske opreme u raspoloživim uslovima.

Nastavnik/nastavnica formira grupe. U zavisnosti od raspoložive opreme i uslova u laboratoriji, svakoj od grupa daje posebne zadatke, vezane za montiranje i demontiranje u raspoloživim laboratorijskim uslovima.

Nakon izvršenih zadataka, grupe prezentuju svoje zaključke i demonstriraju zadati postupak montiranja i demontiranja raspoložive visokonaponske opreme u odgovarajućim uslovima.

Postupci pogonskih manipulacija u visokonaponskim razvodnim postrojenjima

6.1. Upravljanje i komandovanje uređajima i opremom u razvodnim postrojenjima

Upravljanje znači na odgovarajući način komandovati sklopnom opremom. Pravilnim upravljanjem sklopnom opremom (prekidačima i rastavljačima) određeni dio postrojenja dovodi se ili vraća u beznaponsko stanje ili stavlja pod napon.



Pod **upravljanjem** postrojenje podrazumijevaju se sve mjere i postupci koji se preduzimaju radi pouzdanog i bezbjednog uspostavljanja ili prekidanja visokonaponskih kola.

Do prekidanja strujnog kola može doći zbog djelovanja zaštite ili zbog vršenja određenih neophodnih radova u postrojenju. Odgovorno lice u postrojenju mora u svakom trenutku da zna zašto je došlo do isključenja da bi preduzelo potrebne mjere da se taj uzrok što prije otkloni, i da se isključeni dio postrojenja ponovo stavi pod napon.

Za upravljanje VNRP projektuju se i ugrađuju komandne table, komandni ormari i komandni pultovi. Korišćenjem aparata i opreme ugrađene u ove uređaje ostvaruju se sve vrste komandi. Odgovarajuće komade u njima pretvaraju se u operacije uključivanja i isključenja, otvaranja i zatvaranja, blokiranja i deblokiranja, izvođenja procesa sinhronizacije, napajanja električnom energijom određenih uređaja i sl.

Uređajima i opremom u VNRP upravlja se iz komandnih ormara u komandnoj sobi/sali ili iz dispečerskog centra.

Stariji tipovi komandnih ormara obično sadrže relativno stare instrumente s kazaljkom, svjetlosnu indikaciju, tastere, prekidače i sl. Kod starijih uređaja i opreme procedure za pokretanje i zaustavljanje agregata najčešće se vrše ručno, odnosno nijesu automatizovane. Ovakva oprema ne raspolaže informacijama potrebnim za brzo otkrivanje i otklanjanje

kvarova. U većini slučajeva količina informacija o pogonskom uklopnom stanju opreme i uređaja nije dovoljna i ne omogućava zadovoljavajuću integraciju u automatsku daljinsku kontrolu. Mjerenja su najčešće prikazana na pokaznim instrumentima na komandnim ormarima. Raspoložive informacije obično ne zadovoljavaju današnje standarde za automatizaciju EES-a. Izgled klasične komandne sale u jednom relativno starijem energetske postrojenju prikazan je na Slici 6.1a.

U posljednje vrijeme se ulažu veliki naponi da se napravi moderan, pouzdan, po cijeni pristupačan sistem upravljanja koji će u dužem vremenskom periodu moći da zadovolji tehnologije koje dolaze. Ovakvi sistemi bazirani su na automatskom/električnom upravljanju uređajima i opremom (pokretanje i zaustavljanje) u normalnim i havarijskim uslovima rada. U normalnim uslovima, procedura pokretanja i zaustavljanja uređaja i opreme obezbjeđuje njihova minimalna naprezanja i minimalne poremećaje u sistemu. Primjer izvedenih instalacija savremenih uređaja za zaštitu, mjerenje i upravljanje u VNRP prikazan je na Slici 6.1b.

Savremeni podsistemi potpuno su automatizovani. Opremljeni su lokalnim komandnim mjestom koje je potpuno integrisano u daljinsku automatsku kontrolu i upravljanje. U havarijskim uslovima procedura pokretanja i zaustavljanja sprečava nastanak oštećenja na opremi i uređajima. Svi podsistemi opremljeni su potpunim skupom komandi i signalizacijom koji obezbjeđuju jednostavno i sigurno daljinsko komandovanje s potpunim informacijama o procesu kojim se upravlja. Informacije koje podsistemi šalju daljinskom sistemu omogućavaju jednoznačno određivanje radnog stanja, uzroka greške i njeno brzo otklanjanje.

Sistem upravljanja je realizovan tako da omogućava povezivanje s nadređenim sistemom upravljanja. Obično se obezbjeđuju dva mjesta zadavanja komandi:

- Lokalno, u komandnoj sali na novom komandnom ormanu.
- Daljinski, iz operatorske sale s operatorskog terminala (PC računar).

Oba mjesta su ekvivalentna sa stanovišta automatskog upravljanja, odnosno na njima su prikazana sva raspoloživa mjerenja.

★★★ Savremeni načini upravljanja uklapaju se u koncept tzv. „pametnog“ (smart) upravljanja sistemom. Koncept pametne mreže predstavlja unapređenje postojeće električne mreže u pogledu efikasnosti, pouzdanosti, ekonomičnosti i održivosti proizvodnje i distribucije električne energije primjenom intenzivne razmjene informacija (analognih, digitalnih i komunikacionih) između učesnika (proizvodnje, prenosa, distribucije i korisnika). On takođe obezbjeđuje i korišćenje sakupljenih informacija za efikasnije, automatizovano upravljanje mrežom.



a)



b)

Slika 6.1. Komandni uređaji u VNRP:

- a) u starijem postrojenju,
b) savremenije instalacije

Aktivno upravljanje sistemom postiže se intenzivnom razmjenom svih potrebnih informacija između proizvođača (termo, hidro, solarni, vjetar i sl.), prenosnog i distributivnog sistema i mikromreža (koje mogu raditi i u ostrvskom radu), potrošača (industrija i domaćinstva) i sistema za skladištenje energije (pumpno-akumulaciona postrojenja). To znači i da svi učesnici moraju biti opremljeni odgovarajućim komunikacionim uređajima, kao i uređajima za pametno mjerenje, upravljanje i potrošnju.

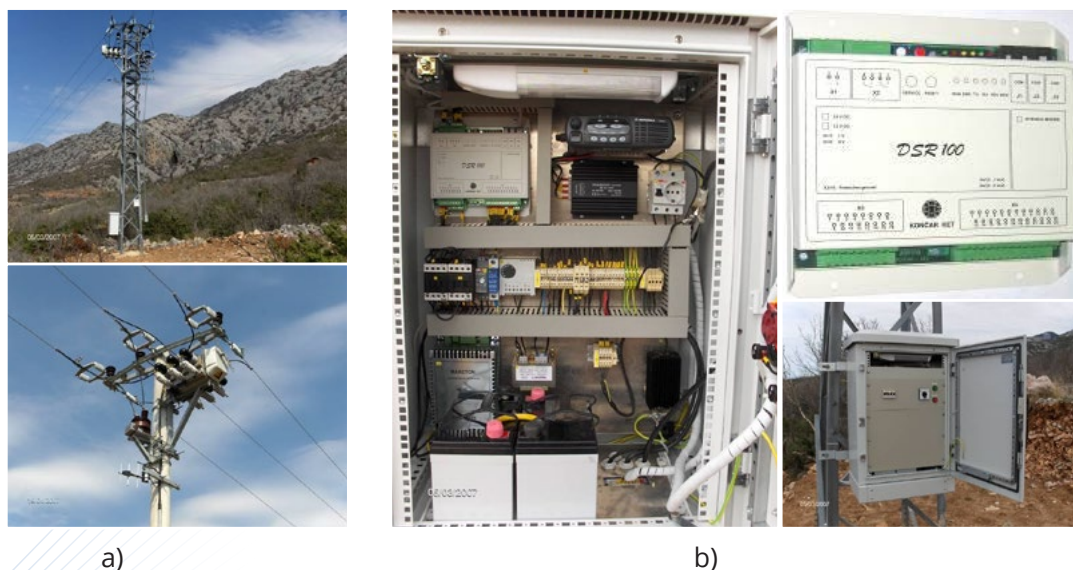
Pametnim upravljanjem može se postići rano detektovanje kvara u sistemu, njegovo neutralisanje bez intervencije tehničkog osoblja, ili značajno skraćenje vremena potrebnog tehničkom osoblju za otklanjanje kvara (samodijagnostika, signalizacija neregularnih i opasnih stanja i sl.). Estimacija stanja vrši se korišćenjem daljinskog očitavanja mjerenja koja imaju i vremensku oznaku, tako da se procjena vrši zajedno s mjerenjima ili pomoću mjerenja.

Ovakav način upravljanja dovodi do povećanja pouzdanosti rada i većeg zadovoljavanja potreba kupaca, zahvaljujući uvođenju tzv. inteligentnih tehnologija koje omogućavaju daljinski nadzor i upravljanje radom EES-a, kao i detekcije strujna kvara u mrežama. Postoje različiti uređaji i oprema koji se danas koriste u te svrhe.

Na Slici 6.2 prikazan je jedan od savremenih sistema koji se danas koristi, a koji omogućava daljinski nadzor i upravljanje instalisanom sklopnom opremom i detekciju strujna kvara u nadzemnoj srednjenaponskoj mreži. Potrebna primarna oprema (rastavni prekidač i naponski transformator) smještena je na vrhu stuba (a), dok je sekundarna oprema kojom se upravlja pomoću daljinske stanice, smještena u upravljačkom ormariću na dnu stuba (b).

Estimacija

utvrđivanje vrijednosti nečega, procjena; uvažavanje, poštovanje



Slika 6.2. Savremeni sistem nadzora i upravljanja: a) primarna oprema, b) sekundarna oprema

U postrojenjima srednjeg napona mjerni instrumenti, releji i uređaji za signalizaciju i upravljanje smještaju se na komandne table koje mogu biti različitog oblika (Slika 6.3). One se nalaze neposredno uz ćeliju/polje ili na kućištu opreme, i kod njih ne postoji posebna komandna prostorija. Na komandnoj tabli se pored pokaznih instrumenata nalaze i uređaji za komandovanje i upravljanje. Na šemi koja se nalazi na komandnoj tabli (tzv. slijepa šema) i koja treba da bude pregledna, oznakom položaja i svjetlosnom signalizacijom prekidača (crvena boja – pod naponom, zelena boja – isključeno) označeno je šta je pod naponom a šta nije, tj. trenutna veza polja.

Pod komandovanjem se podrazumijeva ostvarivanje/ realizacija određenih zahtjeva sa ciljem da se promijeni položaj sklopnih aparata, tj. da se oni isključe ili uključe.

Pri isključenju dijela postrojenja najprije se otvaraju kontakti prekidača, a zatim se otvaraju odgovarajući rastavljači.

Pri uključenju dijela postrojenja najprije se zatvaraju rastavljači, a zatim se zatvaraju kontakti prekidača.

Komandovanje sklopnim aparatima može biti:

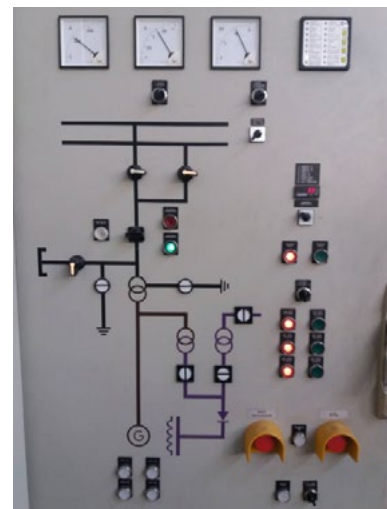
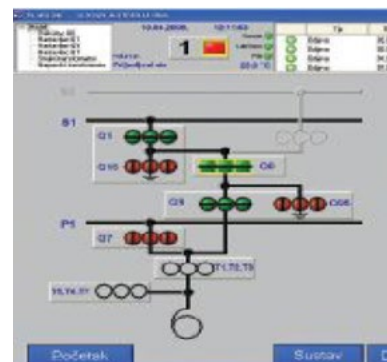
- ručno
- automatsko/električno, pomoću pogonskih mehanizama.

Ručno komandovanje se primjenjuje za pokretanje VN rastavljača napona do 35 kV i za zemljospojnike napona do 110 kV. Za rastavljače napona većeg od 110 kV komandovanje je automatsko/električno. Komandovanje prekidačima uvijek je automatsko/električno.

Kod postrojenja višeg napona i kod postrojenja na otvorenom koriste se komandni pultovi. Manji komandni pultovi (dužine do 8 m) postavljaju se u jednoj liniji jedan pored drugog, a veći se, radi postizanja bolje vidljivosti i lakše i brže komunikacije, postavljaju u luku.

Na prednju stranu komandne ploče postavljaju se pokazni instrumenti, uređaji za upravljanje i slijepa šema koja pokazuje koji su elementi pod naponom, a koji su isključeni.

U elektranama su ucrtane i sinoptičke šeme koje prikazuju stanje svih termičkih i hidrauličkih objekta (količina vode, pritisak pare, temperature medija, pritisak, količina ulja...).



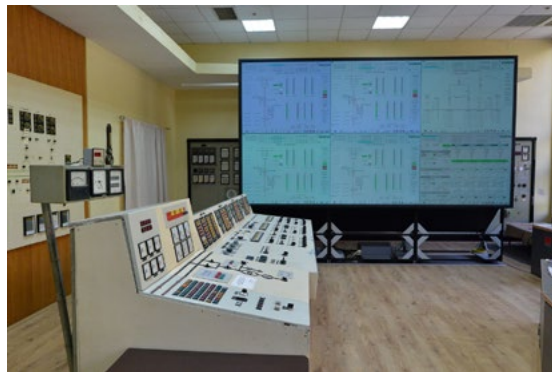
Slika 6.3. Komandne table u postrojenju srednjeg napona

Sinoptički

koji daje pregled svih dijelova složene cjeline

Izgledi komandnih sala u različitim elektranama prikazani su na Slici 6.4 (u hidroelektranama) i Slici 6.5 (u termoelektranama).

Komandna sala centralnog dispečerskog centra, iz koje se vrši daljinsko komandovanje i upravljanje čitavim EES-om prikazana je na Slici 6.6.



Slika 6.4. Komandne sale u hidroelektranama



Slika 6.5. Komandne sale u termoelektranama



Slika 6.6. Komandna sala dispečerskog centra CGES-a

1. Što je upravljanje, a što komandovanje?
2. Koji su načini upravljanja uređajima i opremom u VNRP? Objasni kako se vrši upravljanje.
3. Na koji način se vrši upravljanje s komandnih ormara i iz dispečerskog centra?
4. Uočite razlike između komandovanja sklopnom opremom u VNRP.

6.2. Postupci uključenja i isključenja elektroenergetskih elemenata u razvodnim postrojenjima

Pravilno izvođenje postupaka uključenja i isključenja elemenata VNRP je od izuzetnog značaja za njegovo normalno funkcionisanje.



Pokretanje (uključenje/otvaranje i isključenje/zatvaranje) sklopnih aparata u VNRP mora se obavljati po striktno definisanom redosljedu.

U praksi se ono može izvoditi na različite načine i na raznim mjestima. Kada se izvodi na licu mjesta (za napone manje od 35 kV), može biti:

- direktno (izvodi se na samom pogonskom mehanizmu pritiskom na taster pogonskog mehanizma ili aktiviranjem odgovarajuće poluge)
- indirektno (izvodi se iz pripadajućeg komandnog oramara)
- lokalno (iz posebne prostorije unutar postrojenja električnim putem)
- daljinski (davanjem komande s mjesta koje je udaljeno od postrojenja, obično iz centralnog mjesta – dispečerskog centra/komandne sale).

Daljinsko uključivanje i isključivanje rastavljača i prekidača najčešće se vrši pomoću komandno-potvrđnih prekidača.

Da bi se spriječilo pogrešno rukovanje pri radu s komandno-potvrđnim prekidačima, uvijek treba napraviti dva pokreta dok se željena komanda ne izvrši. Oni imaju dva položaja: **pripremni** (izvlačenje ručice) i **izvršni** (okretanje ručice) ili okretanje ručice za 90° (pripremni) i još jednom za neki ugao (izvršni). Ručica komandno-potvrđnog prekidača se zadrži kratko vrijeme u izvršnom položaju, dok se ne uključi rastavljač, poslije čega se sama vraća u pripremni položaj za uključivanje.

Položaj komandno-potvrdnog prekidača se signalizira sijalicom koja je ugrađena u ručicu rastavljača. Komandno-potvrdni prekidači za upravljanje prekidačima mogu da imaju i zvučnu signalizaciju. Različiti oblici upravljačko-signalnih dugmadi komandno-potvrdnih prekidača, koji se ugrađuju na komandnim tablama prikazani su na Slici 6.7.



Slika 6.7. Različiti oblici upravljačko-signalnih dugmadi

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

Različiti sklopni aparati se pokreću različitim pogonskim mehanizmima.

Rastavljač se može pokretati:

- ručno, najčešće putem sistema poluga
- pneumatski (komprimovanim vazduhom)
- elektromotornim pogonom.

Upravljanje pneumatskim i elektromotornim pogonskim mehanizmima može se obavljati i daljinski. Način komandovanja rastavljačem zavisi od vrste pogona koji pokreće rastavljač.

Za pokretanje **prekidača** koriste se:

- ručno-opružni
- elektromagnetni
- pneumatski
- elektromotorni pogoni.

Ručno-opružni pogon predstavlja ručno sabijanje opruge za uključenje i koristi se kod maloujnih prekidača napona do 10 kV. Kod ovog načina pokretanja čovjek svojom snagom pokreće pogonski mehanizam ili svojom snagom sabija (ili isteže) oprugu smještenu u pogonskom mehanizmu.

Elektromagnetni pogoni su veoma pouzdani, sigurni i precizni (nema vremenskog rasipanja). Kod elektromagnetnih pogona prekidač se uključuje tako što pritiskom na taster počinje da djeluje elektromagnet koji sabije (ili rastegne) oprugu koja služi za isključenje. U momentu reagovanja imaju veliku struju, pa zahtijevaju veoma jake izvore napajanja.

Kod pneumatskog pogona prekidač se uključuje dejstvom komprimovanog vazduha na kontakte prekidača, a isključuje aktiviranjem elektromagneta za isključenje ili dejstvom opruge. Dosta su izdržljivi, ali su zahtjevni za održavanje. Uglavnom se primjenjuju kod prekidača koji kao sredstvo za gašenje luka koriste komprimovani vazduh, koji pokreće prekidač i gasi luk.

Kod elektromotornog pogona opruga za uključenje prekidača se sabija pomoću elektromotora. Zbog jednostavnog rukovanja i velike pouzdanosti ima veoma široku primjenu.

Položaj pojedinih aparata u postrojenju (prekidači, rastavljači i sl.) mora se konstantno kontrolisati i na podesan način signalizirati. Ovo se ostvaruje tzv. povratnim javljanjem položaja svakog kontrolisanog aparata. Signalizacija treba da bude tako izvedena da se položaj kontrolisanog aparata može pouzdano i tačno utvrditi. U tu svrhu se upotrebljavaju kontakti signalnog prekidača koji je mehanički spojen s glavnom pogonskom osovinom.

U stvari, signalni prekidači su **pomoćni prekidači** koji se ugrađuju uz prekidače i rastavljače i pokreću se neposredno s njihovih osovina. Posebni nazivi, princip rada i šeme kontakata kod pomoćnih prekidača detaljno su objašnjeni u potpoglavlju 7.2.2. Vrste releja.

Signalizacija u VNRP može biti:

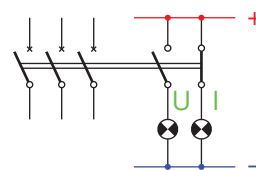
- obavještajna (obavještava o trenutnom stanju aparata koji se kontroliše preko sijalice ili preko pokazivača položaja)
- alarmna (javlja o stanjima kao što su: poremećaj u postrojenju, kvar, ispad pojedinih aparata, havarija, pad pritiska...).

Radnici u postrojenju treba uvijek da budu upozoreni prije isključenja prekidača zbog djelovanja zaštitnih uređaja.

Za pravilno pokazivanje svjetlosna signalizacija se ostvaruje pomoću dvije sijalice. Jedna pokazuje da je aparat uključen, a druga da je isključen. To je potrebno zbog sigurnosti, u slučaju pregorijevanja jedne od sijalica.

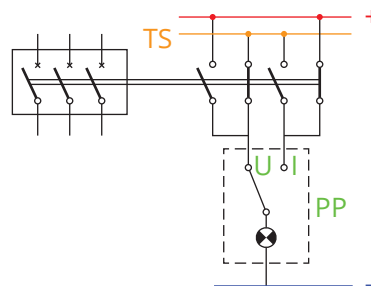
Najčešće, svjetlosna signalizacija nije dovoljna. Zbog toga se isključenje prekidača signalizira i akustično/zvučno (truba). Akustična signalizacija/truba se isključuje pritiskom na taster.

U velikim postrojenjima signalizacija se ostvaruje po grupama, s 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.



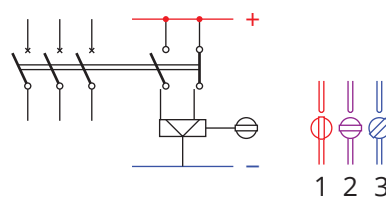
a)

Veoma često je korisno imati i povratnu informaciju o postojećem stanju. U praksi postoji više načina povratnog javljanja. Na Slici 6.8 prikazani su neki od najčešće korišćenih načina povratnog javljanja: a) povratno javljanje pomoću dvije sijalice, b) povratno javljanje pomoću potvrdnog prekidača i treperavog svjetla, c) povratno javljanje pomoću pokazivača položaja.



b)

Kod povratnog javljanja pomoću dvije sijalice (Slika 6.8a), jedna sijalica pokazuje da je aparat uključen (svijetli crveno) a druga sijalica pokazuje da je aparat isključen (svijetli zeleno). Ako ne svijetli ni jedna sijalica, to znači da je bar jedna od njih pregorela.



c)

Kod povratnog javljanja pomoću potvrdnog prekidača i treperavog svjetla (neophodan njegov izvor), prikazanog na Slici 6.8b, ako se položaj aparata i potvrdnog prekidača slažu, sijalica stalno svijetli. Ako se položaj aparata i potvrdnog prekidača ne slažu, tada sijalica potvrdnog prekidača treperi.

Slika 6.8. Različiti načini povratnog javljanja

Kod povratnog javljanja pomoću pokazivača položaja (Slika 6.8c), pokazivač položaja predstavlja kombinaciju dva elektromagneta koji se nalaze u zajedničkom kućištu, na čijoj prednjoj strani je okrugla pločica s obojenom linijom. Ako se položaj pokazivača i aparata slažu, npr. ako je aparat uključen, linije na ploči su u vertikalnom položaju (1); ako je aparat isključen linije su u horizontalnom položaju (2). U slučaju da je pokazivač položaja neispravan, linije su u nekom međupoložaju (3).

6.2.



1. Objasni postupke uključivanja i isključenja elektroenergetske opreme u VNRP.
2. Koji su načini i mjesta pokretanja sklopnih aparata u VNRP?
3. Objasni rad različitih tipova komandno-potvrdnih prekidača.
4. Koji su načini pokretanja VN prekidača? Objasni postupak pokretanja.

6.3. Uslovi i procedure ponovnog uključenja elektroenergetskih vodova i transformatora u razvodnim postrojenjima

Veliki broj kvarova u elektroenergetskim sistemima je privremenog/prolaznog karaktera. Ako se nakon nastanka kratkotrajnih prolaznih kvarova i djelovanja odgovarajuće zaštite vod s kvarom isključi, pa se po isteku definisane vremenske pauze ponovo automatski uključi, vod će zbog toga što je u tom periodu luk ugašen, prihvatiti napon i nastaviti normalan pogon. Zato je kod savremenih tipova prekidača predviđena mogućnost isključenja i automatskog brzog ponovnog uključenja (APU).

Kod pojave kvarova odgovarajuća zaštita reaguje i pošalje komandu prekidaču za isključenje. Prekidač može ponovo da uključi dio mreže koji je bio isključen zbog kvara, kao i da ga brzo isključi ako je ostao u kvaru. Čitav ovaj ciklus, od nastanka kvara, zatim isključenja – pauze i ponovnog uključenja obično traje veoma kratko (manje od 0,5 s), što većina potrošača i ne registruje. Često se od prekidača zahtijeva i mogućnost dva uzastopna ponovna uključenja s trenutnim naknadnim isključenjima.

Uređaji za automatsko ponovno uključenje mogu biti za jednopolno i trolepolno (Slika 6.9) automatsko ponovno uključenje. Namijenjeni su za upotrebu na vazдушnim vodovima visokog napona kao i za upravljanje elektroenergetskim postrojenjima. Djeluju u kombinaciji s vremenski stepenovanim zaštitama (distantna zaštita, prekostrujna zaštita i sl.). VNRP mora biti izvedeno tako da se njegovim prekidačima može izvesti APU.

Uređaji za APU su projektovani tako da se mogu podešavati, odnosno da mogu da izvrše ponovno uključenje prekidača prema izabranom načinu rada, koji može biti:

- brzo ponovno uključenje
- sporo ponovno uključenje
- kombinovano ponovno uključenje (brzo i sporo).

Za normalne uslove rada standardizovan je sljedeći ciklus operacija:

- isključenje (O – open)
- pauza od 0,3 s
- ponovno uključenje (C – close) s trenutnim isključenjem (O – open)
- pauza od 180 s
- ponovno uključenje (C) s trenutnim isključenjem (O).

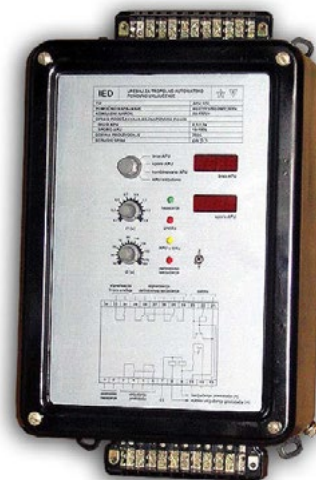
Skraćena oznaka za ovaj ciklus je **O – 0,3 s – CO – 3 min – CO**.

distanca

razdaljina, rastojanje, udaljenost od čega u prostoru ili vremenu

APU

automatsko ponovno uključenje



Slika 6.9. Uređaj za trolepolno automatsko ponovno uključenje

Uređaji za APU su opremljeni svjetlosnom signalizacijom i električnim brojačima reagovanja zaštite, tako da je uvijek poznat tačan broj reagovanja APU zaštite.

Kod rastavljača je moguće ručno uključenje i isključenje i to veoma često predstavlja uzrok havarija u postrojenjima. Da bi se spriječile pogrešne manipulacije, neophodno je utvrditi mjere predostrožnosti i obezbjeđenja, odnosno rastavljač se mora blokirati, čime se onemogućava njegovo otvaranje dok protiče struja, uprkos komandi za otvaranje. Rastavljač se može blokirati:

- mehanički
- pneumatski (kod aparata koji za pogon koriste vazduh ili ulje pod pritiskom)
- električno (danas najpogodniji i najrasprostraniji način).

Mehaničko blokiranje primjenjuje se u postrojenjima s ručnim upravljanjem. Rastavljač je mehanički ukočen ili otkočen, zavisno da li je prekidač uključen ili isključen. Mehaničko blokiranje može se izvesti pomoću katanca kojim se zaključavaju pogoni sklopnih aparata ili sistemom centralnog zaključavanja brava – ključevima. Svi rastavljači blokiraju se pomoću jednog ključa koji se stavi u bravu pogona prekidača. Kada je prekidač uključen, ključ se ne može izvaditi.

ukočen

krut, nepomičan, bez pokreta

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.

Prema statističkim analizama kvarova na nadzemnim vodovima, s obzirom na njihov karakter i trajanje, u stručnoj literaturi se obično koriste sljedeći podaci o strukturi kvarova:

- prolazni kvarovi ~ 80%
- polutrajni kvarovi ~ 10%
- trajni kvarovi ~ 10%.

Prolazni kvar je npr. površinski preskok preko izolatora koji se rješava trenutnim isključenjem prekidača. Ponovnim uključanjem prekidača, nakon podešenog vremenskog kašnjenja, kvar se ne ponavlja.

Polutrajni kvar je npr. prouzrokovan padom grane drveta na vod. Ovdje se kvar ne može odstraniti samo trenutnim isključenjem prekidača, ali se zato može odstraniti ponavljanjem uključanja prekidača sve dok se kvar ne otkloni (sagorijevanjem grane).

Trajni kvar traje trajno i ne može se otkloniti APU.

Najveći broj prolaznih kvarova (oko 97%) eliminiše se u prvom ciklusu APU (prvo reagovanje APU), dok se ostatak eliminiše u drugom ciklusu (drugo reagovanje APU).

Uzimajući u obzir navedenu strukturu kvarova, očigledna je važnost APU u cilju skraćivanja vremena prekida napajanja potrošača električnom energijom.

Dodatna korist APU je mogućnost očuvanja stabilnosti sistema. APU svoju primjenu uglavnom nalazi u visokonaponskom dijelu sistema, tj. prenosnoj mreži.

6.3.



1. Definiši pojam ponovnog uključanja elektroenergetske opreme u VNRP.
2. Koji su uslovi i procedure ponovnog uključanja elektroenergetske opreme u VNRP?
3. Navedi različite vrste uređaja za automatsko ponovno uključanje.
4. Objasni potrebu blokiranja rada rastavljača.

6.4. Pravila zaštite na radu i primjena zaštitnih mjera i sredstava zaštite na radu pri pogonskim manipulacijama u razvodnim postrojenjima

U toku rada i korišćenja električnih uređaja, postrojenja i instalacija, radno osoblje je izloženo nizu opasnosti od mogućih povreda visokim naponom i jakom električnom strujom. U zavisnosti od načina na koji osoblje može doći u dodir s djelovima pod naponom, postoje sljedeći izvori opasnosti:

- direktan kontakt s djelovima postrojenja pod naponom
- približavanje djelovima postrojenja pod visokim naponom
- previsok dodirni napon kao posljedica kvara na izolaciji električnih uređaja niskog napona
- previsok napon dodira i napon greške usljed prolaska struje kroz uzemljenje
- indukovani napon
- prelaz/preskok visokog napona na postrojenja niskog napona

- električni luk
- uticaj električnog i magnetnog polja na čovjeka
- zaostali napon
- uticaj elektrostatičkog polja
- atmosferski prenaponi i sl.



Neophodno je strogo voditi računa da se prilikom procesa isključenja mora prvo isključiti/otvoriti prekidač pa tek nakon toga rastavljač, dok se pri procesu uključanja prvo uključuje rastavljač pa tek onda prekidač.

Radi sigurnosti rada postrojenja i zaposlenih u njemu, na odgovarajućem uočljivom i dostupnom mjestu u VNRP neophodno je postaviti:

- jednopolnu šemu postrojenja s osnovnim podacima o ugrađenoj opremi
- uputstvo za pružanje prve pomoći pri nesreći koju izaziva električna struja
- tablicu s pravilima koja se odnose na rad i manipulacije u postrojenjima, tzv. „Zlatna pravila“
- obavještenje o obaveznoj primjeni sredstava lične zaštite.

Takođe, treba postaviti i natpise koji označavaju namjenu pojedinih ćelija, prostorija, priključaka i sl.

Tekst „Zlatnih pravila“ za rad i manipulacije u elektroenergetskim postrojenjima za rad u beznaponskom stanju (Slika 6.10), glasi:

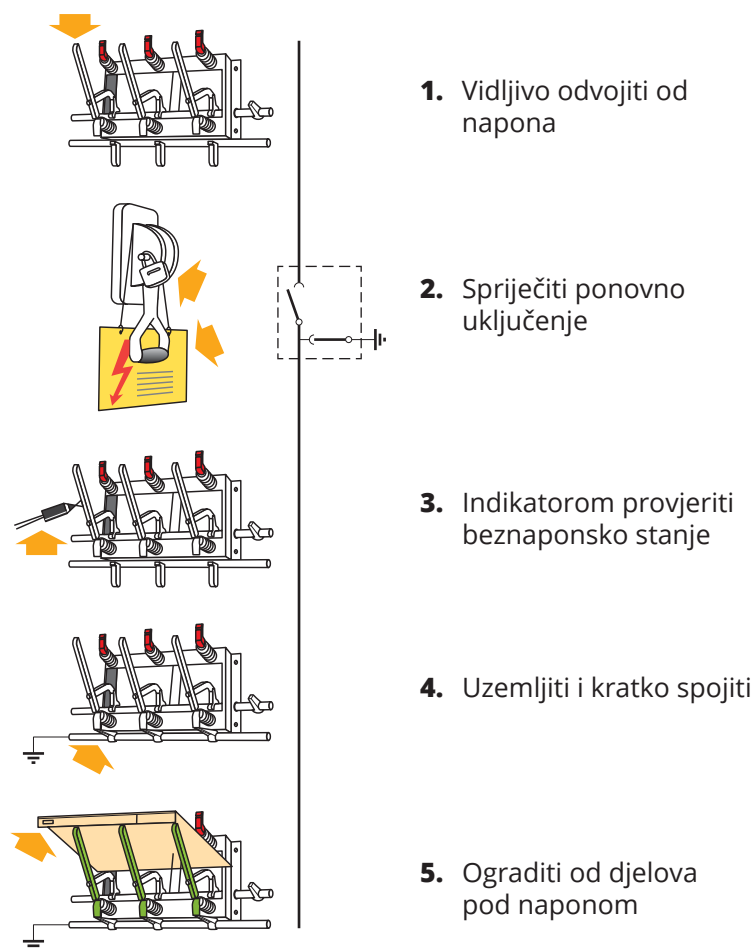
1. Isključenje uz vidljiv prekid (ako je izvodljiv) ostvaruje se:
 - prekidačem i rastavljačem
 - rastavnom sklopkom
 - vađenjem umetka niskonaponskih osigurača
 - razvezivanjem/rastavljanjem provodnika.
2. Sprečavanje slučajnog ponovnog uključanja ostvaruje se:
 - blokiranjem pogonskih mehanizama
 - 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.

3. 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 mjernim instrumentom.
4. Uzemljivanje i kratkospajanje sprovodi se:
 - na mjestima odvajanja od napona
 - u blizini mjesta rada gdje je potrebno beznaponsko stanje zbog ovih radova
 - na mjestu rada, na svim provodnicima koji su u normalnom pogonu pod naponom.

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

5. Ograđivanje djelova pod naponom sprovodi se primjenom zaštitnih ograda, traka, zastavica, užadi, svjetlosne i zvučne signalizacije i slično.



Slika 6.10. „Zlatna pravila“ za rad i manipulacije u elektroenergetskim postrojenjima

Na vidnim mjestima postrojenja treba postaviti tablice za upozorenje na opasnost od dodira i približavanja djelovima pod naponom. Primjeri tablica prikazani su na Slici 6.11.

Hodnici i prostorije u razvodnim postrojenjima u zgradama treba da su dovoljno široki i visoki. U njima se ne smiju nalaziti predmeti koji bi mogli da ometaju normalno kretanje.

Vrata zatvorenih električnih pogonskih prostorija treba da se iznutra otvaraju samo kvakom, a spolja specijalnim ključem.

U svim VNRP na vidnim i dostupnim mjestima moraju biti raspoređeni uređaji za gašenje požara.

Tokom obavljanja radova u postrojenjima koriste se odgovarajuće zaštitne mjere, kao što su:

- zaštitno uzemljenje opreme visokog napona
- uzemljenje nadzemnih vodova.

Pored zaštitnih mjera koriste se i sredstva lične zaštite i zaštitna oprema.

Sredstva lične zaštite i zaštitna oprema mogu se svrstati u:

- **osnovna sredstva i opremu** imaju svojstvo da dugo izdrže radni napon i da omogućе radnicima bezbjednost u obavljanju radnih zadataka i kada dodiruju djelove pod naponom i rade na njima. U ova sredstva (Slika 6.12), za postrojenja naznačenog napona iznad 1.000 V spadaju:
 - zaštitni izolacioni šljem (Slika 6.12a)
 - izolacione motke za pogonske manipulacije: operativne, mjerne, remontne i sl. (Slika 6.12b)
 - izolacione motke s tinjalicom za ispitivanje beznaponskog stanja – indikatori (Slika 6.12c)
 - izolaciona kliješta za skidanje visokonaponskih osigurača (Slika 6.12d).



Slika 6.11. Tablice upozorenja na opasnost od visokog napona



a) zaštitni elektroizolacioni šljem



b) izolaciona motka za pogonske manipulacije



c) izolacione motke s tinjalicom za ispitivanje beznaponskog stanja



d) izolaciona kliješta

Slika 6.12. Osnovna sredstva zaštite

- **dopunska zaštitna sredstva i oprema** koja samostalno ne omogućavaju zaštitu, ali pojačavaju i dopunjavaju zaštitno dejstvo osnovnih sredstava. U ova sredstva ubrajaju se zaštitne: izolacione ploče, naočare i štitnik za oči i lice, obuća, rukavice i opasač; radno odijelo, tablice bezbjednosti i sredstva za označavanje mjesta rada i sl. Neka od ovih sredstava su prikazana na Slici 6.13.

Izolacione motke upotrebljavaju se u zatvorenim postrojenjima, a u otvorenim samo kada je vrijeme suvo. Koriste se isključivo sa izolacionim rukavicama. Izolacione motke sastoje se od cijevi (šupljih ili punjenih pjenom) i izolacionih štapova.

Izolaciona kliješta se koriste za postavljanje i skidanje uložaka osigurača pod naponom.

Indikator napona (iznad 1 kV) služi za utvrđivanje naponskog stanja djelova koji su u normalnom pogonu pod naponom. Upotrebljavaju se samo samo za napone za koje su namijenjeni 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 djelova pod naponom.

Zaštitne rukavice se upotrebljavaju kao zaštita od mehaničkih i drugih povreda ili pri manipulacijama u postrojenjima u kojima napon dodira i koraka nije u dozvoljenim granicama.

Zaštitna obuća obuhvata: zaštitne elektroizolacione čizme (nose se pri manipulacijama u postrojenjima u kojima napon dodira i koraka nije u dozvoljenim granicama) i obuća za električare (nosi se pri manipulacijama i drugim radovima u postrojenjima).

Zaštitni opasač služi za obezbjeđenje od pada pri radu na visini.

Izolacioni alat služi za obavljanje radova pod naponom.

Tablice bezbjednosti i sredstva za označavanje mjesta rada obuhvataju tablice opasnosti, zabrane i upozorenja, kao i zaštitne ograde, trake, zastavice, užad, svjetlosne i zvučne indikatore i dr.

Sredstva lične zaštite i zaštitna oprema moraju biti ispravna i atestirana u ovlaštenoj instituciji za zaštitu na radu. Njihova propisana izolaciona svojstva moraju se redovno kontrolisati, provjeravati i ispitivati. Moraju se čuvati i skladištiti u skladu s propisima i smiju se koristiti isključivo za propisanu namjenu.



a) gumene rukavice



b) gumena obuća



c) gumeni prostirač



d) zaštitne naočare i štitnik za oči i lice

Slika 6.12. Dopunska sredstva zaštite

1. Nabroj moguće izvore opasnosti usljed kontakta čovjeka s djelovima pod naponom.
2. Navedi i objasni sadržaj „Zlatnih pravila“ koja se primjenjuju radi obezbjeđenja mjesta rada od djelovanja visokog napona.
3. Koja je uloga zaštitnih mjera i sredstava zaštite na radu pri pogonskim manipulacijama u VNRP?
4. Napravi pregled osnovnih i dopunskih sredstava zaštite na radu i ukaži na njihov značaj.

6.5. Tumačenje uputstva proizvođača sklopne opreme VNRP

U zemljama okruženja pa i šire postoji veći broj proizvođača različite sklopne opreme koja se koristi u VNRP. U zavisnosti od naponskog nivoa i konkretnih potreba i željenih karakteristika, može se od njih naručiti različita VN sklopna oprema.

Svoj standardni proizvodni program proizvođači najčešće prezentuju u svojim katalogima i brošurama koje objavljuju na internetu. Postoji i mogućnost ispunjavanja specifičnih zahtjeva kupaca.

Spisak i kontakt adrese nekih od proizvođača sklopne opreme koja se koristi u VNRP, od kojih je moguće tražiti ponude za zadovoljavanje konkretnih potreba je dat u narednom tekstu:

11. ABB, Ludviga, Švedska, <https://new.abb.com/high-voltage>
12. ARTECHE, Bilbao, Španija, <https://www.artech.com/en>
13. ENERGOINVEST, Sarajevo, BIH, www.energoinvest.ba
<http://www.koncar.hr/podrucja-djelovanja/elektroenergetika/prijenos-elektricne-energije>
14. KONČAR, Zagreb, Hrvatska,
15. MINEL, Beograd, Srbija, <http://www.minelkoncern.com>
16. SIEMENS, Berlin, Njemačka, <https://new.siemens.com/global/en/products/energy.html>
17. TRENCH, Bamberg, Njemačka, <http://www.trench.at/en/Products-Solutions/Product-Portfolio>



VJEŽBA: Tumačenje uputstva proizvođača sklopne opreme VNRP

Cilj zadatka: Učenik/učenica zna da protumači uputstva proizvođača sklopne opreme VNRP i da odabere sklopnu opremu za zadovoljenje konkretnih zahtjeva.

Nalog: Koristeći stečena znanja samostalno istraži na internetu proizvođače sklopne opreme VNRP i na osnovu konkretnih zahtjeva odaberi odgovarajuću sklopnu opremu.

Nastavnik/nastavnica formira grupe. Svaka od njih ima posebne zadatke, kao što su: da pregledaju sajtove proizvođača sklopne opreme koja se koristi u VNRP (učenici/učenice treba da ih pronađu na internetu) i da iz kataloga/ponuda proizvođača odaberu neophodnu VN opremu za zadovoljenje sljedećih konkretnih zahtjeva:

.....
(Za svaku grupu navodeni su konkretni zahtjevi).

Proizvođača sklopne opreme, vrstu opreme i konkretne zahtjeve za svaku grupu učenika određuje nastavnik/nastavnica.

Nakon izvršenih zadataka, grupe prezentuju svoje zaključke i tumače uputstva za odabir odgovarajuće sklopne opreme VNRP.

7.

Mjerenje i relejna zaštita u visokonaponskim razvodnim postrojenjima

7.1. Vrste mjerenja i karakteristike uređaja za mjerenje električnih veličina

7.1.1. Električne veličine najčešće u upotrebi u VNRP

Za potrebe raznih analiza u visokonaponskim razvodnim postrojenjima, u zavisnosti od potreba i vrste mjerenja, mjere se različite električne veličine. Nazivi nekih veličina koje se češće upotrebljavaju u elektroenergetskim postrojenjima, njihove oznake, jedinice u SI sistemu i nazivi dati su u Tabeli 7.1.

Tabela 7.1. Električne veličine koje se češće koriste u elektroenergetskim postrojenjima

Veličina	Oznaka	Jedinica SI	Naziv
Jačina električne struje	I	A	amper
Naelektrisanje – količina elektriciteta	Q	C	kulon
Električni napon	U	V	volt
Jačina električnog polja	E	V/m	volt po metru
Električna kapacitivnost	C	$F = C/V$	farad
Električna konstanta	ξ_0	F/m	farad po metru
Električna otpornost	R	Ω	om
Električna provodnost	G	$S = 1/\Omega$	simens
Specifična otpornost	ρ	$\Omega \cdot m$	om metar
Magnetni fluks	Φ	Wb	veber
Magnetna indukcija	B	T	tesla
Jačina magnetnog polja	H	A/m	amper po metru
Induktivnost	L	H	henri

Permeabilnost	μ	H/m	henri po metru
Snaga električnog kola			
- aktivna	P	W	vat
- reaktivna	Q	VAr	var
- prividna	S	VA	voltamper
Faktor snage	$\cos \varphi$		
Frekvencija	f	Hz	herc
Električna energija	W	J ili Ws	džul ili vatsekund

7.1.2. Karakteristike uređaja za mjerenje električnih veličina

Električni mjerni instrumenti služe za neposredno mjerenje električnih veličina. Prema principu rada koriste se mehanički i elektronski, a prema načinu prikazivanja analogni i digitalni instrumenti.

Danas su u primjeni dominantni elektronski, digitalni instrumenti. Međutim, u laboratorijama, pogotovo u obrazovnim institucijama i starijim postrojenjima, i dalje ima značajan broj mehaničkih, analognih instrumenata.

Obično se za mjerenje jednosmjernih veličina koriste mehanički instrumenti s „kretnim kalemom“, čije je pokazivanje proporcionalno s aritmetičkom srednjom vrijednosti mjerene veličine, a skala im je praktično linearna.

Za mjerenje naizmjeničnih veličina obično se koriste mehanički instrumenti s „mekim gvožđem“, čije je pokazivanje proporcionalno s efektivnom vrijednosti mjerene veličine, a skala im je u osnovi nelinearna.



Instrumenti s kretnim kalemom imaju preko deset puta manju potrošnju i obično veću tačnost, u odnosu na instrumente s mekim gvožđem.

Kod električnih mjernih instrumenata, najčešće mjerena veličina djeluje na jedan pokretni dio instrumenta i pomjera/otklanja ga zajedno s kazaljkom. Njegov otklon mora zavisiti od vrijednosti mjerene veličine, tako da određenoj vrijednosti mjerene veličine odgovara određeni položaj

pokretnog dijela, odnosno kazaljke. Na pokretni dio djeluje još jedan mehanički ili električni protivmoment koji se suprotstavlja momentu mjerene veličine, pa pokretni dio zauzima položaj gdje su oba momenta u ravnoteži. Pri ovome protivmoment zavisi od položaja pokretnog dijela, pa se često u tu svrhu upotrebljavaju spiralne opruge ili torzione trake, čiji je moment proporcionalan uglu njihovog zakretanja. Kako se pokretni dio zaustavlja u položaju gdje su momenti u ravnoteži, to će i moment iza zvan mjerenom veličinom biti proporcionalan odklonu pokretnog dijela. Ovim se dobija tražena zavisnost odklona od vrijednosti mjerene veličine.

torzija

uvijanje tijela zbog djelovanja momenta

Sam način djelovanja mjerene veličine na pokretni dio zasniva se na raznim principima, zavisno od vrste instrumenta. Uglavnom se koriste elektromagnetni, elektrostatički, elektrotermički i elektrolitički principi.

Mjerenje električnih veličina predstavlja složen i veoma stručan posao, a mjerne metode i instrumenti koji služe ovom cilju su mnogobrojni i raznovrsni.

Osnovni zadatak mjerenja električnih veličina je da se putem eksperimenta dokažu osnovni zakoni i pojave u elektrotehnici, a ne proučavanje mjernih tehnika.

Za uspješno praćenje i razumijevanje eksperimenata, pored dobrog poznavanja osnovnih teoretskih postavki na kojima se zasniva eksperiment, potrebno je poznavati i:

- princip rada i osnovne karakteristike mjernih instrumenata
- metode mjerenja električnih veličina.

Kriterijumi za klasifikaciju mjernih instrumenata su veoma različiti. Osnovne karakteristične osobine mjernih instrumenata su:

- električna veličina koja se mjeri
- vrsta struje ili napona (jednosmjerni, naizmjenični, impulsni...)
- preciznost, odnosno stepen/klasa tačnosti
- princip djelovanja.

U Tabeli 7.2 prikazani su osnovni pokazni mjerni instrumenti za mjerenje nekih električnih veličina i dati su simboli kojima se oni prikazuju.






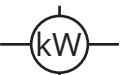





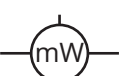
Pokazni mjerni instrumenti (instrumenti s kazaljkom) simbolički se označavaju krugom u koji se upisuje oznaka za vrstu pokaznog instrumenta, odnosno mjerena veličina. Za razliku od pokaznih instrumenata, registrujući instrumenti se simbolično označavaju kvadratom.

Tabela 7.2. Simboli mjernih instrumenata za mjerenje nekih električnih veličina

Mjerena veličina	Naziv instrumenta	Simbol
Struja	Ampermetar – A	
Napon	Voltmetar – V	
Snaga	Vatmetar – W	
Energija	Električno brojilo – kWh	
Otpornost	Ommetar – Ω	

Pokazni mjerni instrumenti mogu da nose oznaku multipla, odnosno podmultipla osnovne mjerne veličine. Postoje i druge oznake za pokazne mjerne instrumente, što je prikazano u Tabeli 7.3.

Tabela 7.3. Različiti načini prikazivanja pokaznih mjernih instrumenata

za struju	za napon	za snagu
 kiloampermetar	 kilovoltmetar	 megavatmetar
 ampermetar	 voltmetar	 kilovatmetar
 miliampermetar	 milivoltmetar	 vatmetar
 mikroampermetar	 mikrovoltmetar	 milivatmetar

Druga važna karakteristična veličina mjernih instrumenata ukazuje da li taj instrument služi za mjerenje jednosmjernih ili naizmjeničnih veličina. Prema vrsti struje (napona) mjerni instrumenti nose dodatnu oznaku, odnosno simbol (Tabela 7.4).

Tabela 7.4. Simboli za označavanje mjernih instrumenata

Simbol	Značenje simbola
–	Instrument za jednosmjernu struju (napon)
~	Instrument za naizmjeničnu struju (napon)
≈	Instrument za jednosmjernu i naizmjeničnu struju (napon)

Treća karakteristična veličina mjernog instrumenta je njegova preciznost, tačnost ili kako se još često naziva klasa (tačnosti) instrumenta.

Klasa tačnosti mjernog instrumenta označava najveću grešku u procentima koja se može pojaviti prilikom mjerenja. Veličina greške se obračunava za odgovarajuće mjerno područje, tj. za čitavu skalu instrumenta. Klasa tačnosti mjernih instrumenata prema standardima može da bude:

0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 i 4.

Četvrta karakteristična veličina mjernih instrumenata je princip djelovanja. U Tabeli 7.5 naznačeni su osnovni principi djelovanja mjernih instrumenata u kolima jednosmjerne struje i date njihove oznake/simboli.

Tabela 7.5. Simboli za označavanje osnovnog principa djelovanja nekih mjernih instrumenata

Simbol	Sistem djelovanja
	Instrument s pokretnim namotajem
	Instrument s pokretnim željezom
	Elektrodinamički instrument
	Bimetalni instrument

Radi sticanja opšte slike o izgledu laboratorija u kojima se vrše potrebna mjerenja i ispitivanja opreme i uređaja, na Slici 7.1 prikazan je izgled, smještaj i korišćenje različitih instrumenata za mjerenje električnih veličina u laboratorijskim uslovima.



Slika 7.1. Instrumenti za mjerenje električnih veličina u laboratorijskim uslovima

Za visokonaponska mjerenja i ispitivanja u VNRP koristi se i posebna i specifična oprema, specijalno projektovana i izvedena za uslove koji vladaju ili koji se mogu pojaviti u energetskim postrojenjima visokog napona. Dio te specifične opreme je prikazan na Slici 7.2.



Slika 7.2. Instrumenti za visokonaponska mjerenja i ispitivanja

U zavisnosti od raspoloživih uslova i opreme, kao i zahtjeva koji se pred njih postavljaju, postoje i različiti tipovi i vrste visokonaponskih ispitnih laboratorija. Izgled jedne kompletne visokonaponske ispitne laboratorije poznatog proizvođača visokonaponske opreme, prikazan je na Slici 7.3.



Slika 7.3. Izgled kompletne visokonaponske ispitne laboratorije

7.1.3. Vrste mjerenja

Mjerenja u EES-u mogu biti:

- lokalna (na samim objektima), čiji je prikaz predviđen na odgovarajućim instrumentima koji se nalaze na komandnoj tabli ili ormanima koji su priključeni na kola mjernih transformatora
- daljinska, gdje je predviđen daljinski prenos u dispečerske centre svih mjerenja koja su potrebna za tehnički ispravno i ekonomski opravdano vođenje EES-a.

Kada se govori o mjerenjima u VNRP, obično se misli na mjerenja koja se u većini slučajeva vrše trajno u pogonu i pri kojima su instrumenti preko sekundarnih stezaljki mjernih transformatora stalno priključeni. Najčešće se nazivaju pogonska mjerenja, a mjerni instrumenti koji se pri tome koriste nazivaju se pogonski mjerni instrumenti.

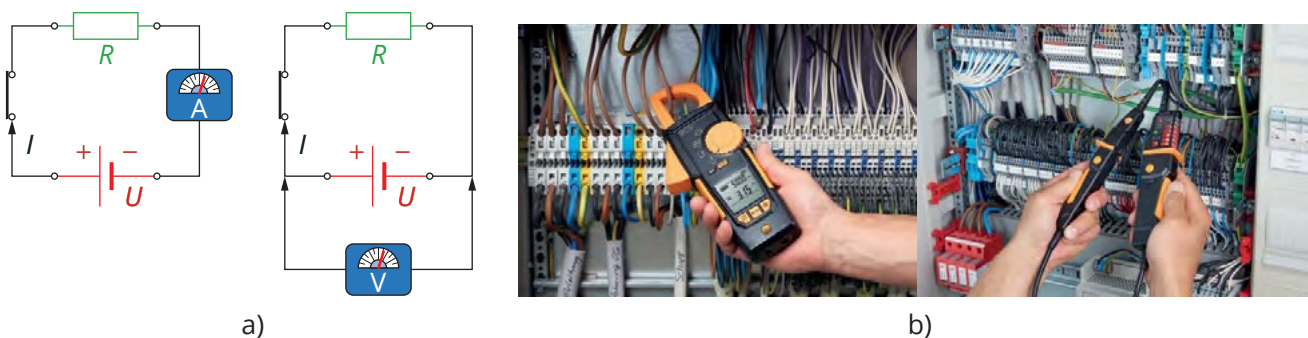
Pri pogonskim mjerenjima normalno se upotrebljavaju instrumenti klase tačnosti 1,5. Ukoliko je VNRP bez posade, mogu se koristiti i mjerni instrumenti klase tačnosti 2,5, dok je za brojila prema kojima se vrši obračun električne energije zahtijevana klasa tačnosti 0,5.

Pogonski mjerni instrumenti koji pokazuju vrijednosti mjerenih veličina mogu biti:

- pokazni
- registracioni.

Na pokaznim instrumentima mogu se očitati vrijednosti samo u trenutku očitavanja, dok registracioni instrumenti u trenutku očitavanja pokazuju i vrijednosti i registruju izmjerene veličine. Za registraciju utrošene količine energije koriste se i integracioni instrumenti (brojila).

Mjerenje električne struje i napona. Mjerenja relativno malih električnih struja i napona izvode se standardnim instrumentima, ampermetrima (A) i voltmetrima (V), neposredno uključenim u mjerno strujno kolo. Na Slici 7.4a date su šeme priključenja ampermetra i voltmetra u strujno kolo, a na Slici 7.4b prikazani su načini mjerenja napona i struje u razvodnim ormarićima.



Slika 7.4. Mjerenje relativno malih električnih struja i napona: a) priključenje instrumenata, b) mjerenje u razvodnim ormarićima

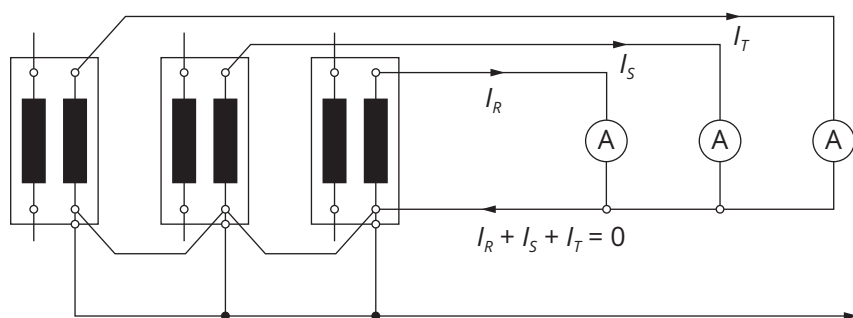
Za veće električne struje i napone ovakvo rješenje je veoma nepraktično, a njegova realizacija teško izvodljiva, pa se u tim slučajevima upotrebljavaju mjerni šantovi ili mjerni transformatori.

Šant
paralelno spojeni provodnik/uređaj

Mjerni transformatori omogućuju mjerenja u električnim kolima u kojima se javljaju velike struje i/ili naponi. Oni smanjuju mjerene struje i napone na vrijednosti koje su prikladne za mjerenje standardnim instrumentima. Služe i za izolovanje mjernih instrumenata od visokog napona u mjernom krugu, tako da rukovanje njima postaje bezopasno. Zbog izuzetnog značaja njihove primjene za sva električna mjerenja i ispitivanja u VNRP, mjerni transformatori detaljno su objašnjeni u poglavlju 2.5.2. Mjerni transformatori.

U odvodu sa sabirnica VNRP mjeri se struja ili u jednoj ili u sve tri faze. U većini VN odvoda dovoljno je mjeriti struje samo u jednoj fazi, jer se pretpostavlja da je opterećenje simetrično.

Ako se struja mjeri u sve tri faze, potrebno je imati tri ampermetra. Šema spoja strujnih transformatora i tri ampermetra za slučaj mjerenja struja u sve tri faze prikazana je na Slici 7.5.



Slika 7.5. Šema mjerenja struje u sve tri faze

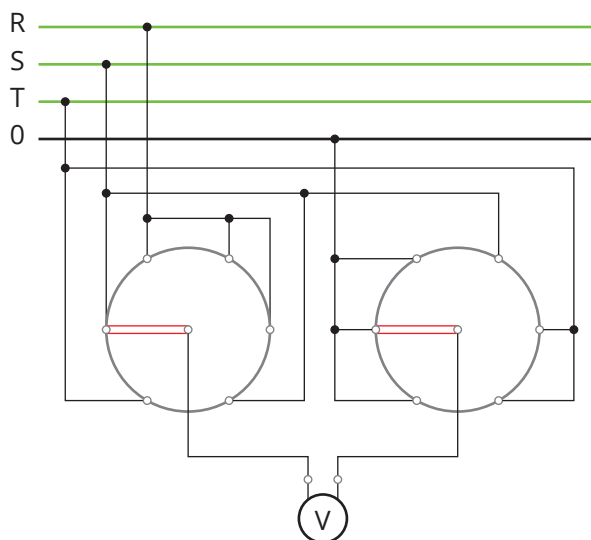
Voltmetri se priključuju na sekundarne strane naponskih transformatora koji su priključeni na sabirnice ili na odvođe. Za mjerenje tri linij-ska ili tri fazna napona dovoljno je imati jedan voltmetar i odgovarajuću preklopku, kojom je omogućeno njegovo preklapanje na bilo koji od napona, bilo linijskih bilo faznih (Slika 7.6).

Mjerenje snage. Kada se govori o mjerenju snage, neophodno je razlikovati mjerenje snage jednosmjerne struje i mjerenje aktivne i reaktivne snage jednofaznih i trofaznih sistema.

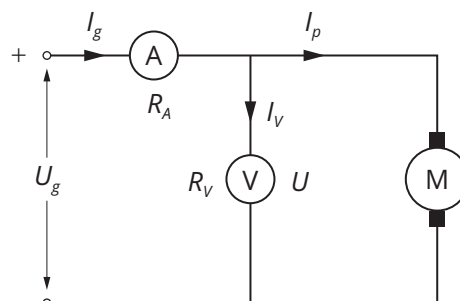
Potreba za mjerenjem aktivne snage jednosmjerne struje (Slika 7.7) kod električnih mašina javlja se kod:

- utrošene snage motora za jednosmernu struju (P_1)
- korisne snage generatora jednosmerne struje (P)
- snage potrošnje induktora mašine na jednosmernu struju ili sinhronu mašine ($U_p I_p$).

Mjerenje se, po pravilu, izvodi pomoću ampermetra i voltmetra za jednosmjernu struju, dok vatmetar može da posluži za ocjenu talasnosti/valovitosti, odnosno impulsivnosti.



Slika 7.6. Šema spoja voltmetra s preklopkom za mjerenje linijskih i faznih napona



Slika 7.7. Mjerenje snage jednosmjerne struje

Greška mjerenja jednaka je razlici snage koja je određena na osnovu pokazivanja instrumenata i stvarne snage koju motor prima:

$$U \cdot I_g - U \cdot I_p = \frac{U^2}{R_V} \quad (7.1)$$

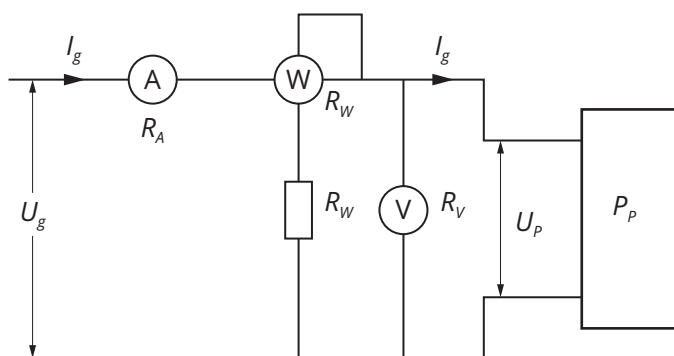
Ova greška je zanemariva, osim u slučaju mikromašina kada treba uzeti u obzir i potrošnju instrumenata.

Za mjerenje aktivne snage naizmjenične struje po pravilu se koriste vatmetri, za laboratorijska mjerenja elektrodinamički (klase 0,1; 0,2; 0,5), a za industrijska mjerenja indukcioni (klase 1; 1,5; 2,5; 5). Danas se najčešće koriste elektronski mjerni instrumenti.

Aktivna snaga se na području niskih frekvencija određuje pomoću vatmetara, najčešće elektrodinamičkog tipa. Elektrodinamički vatmetri se koriste na nižim frekvencijama, obično vrijednosti do reda kHz.

Prilikom mjerenja snage, a zbog kontrole opterećenja strujne, odnosno naponske grane i zbog određivanja prividne i reaktivne snage, kao i faktora snage, mjere se dodatno i struja i napon opterećenja.

Na Slici 7.8. prikazan je spoj vatmetra na takav način da su naponske grane vatmetra povezane na prijemnik. U praksi se koriste i šeme gdje su naponske grane vezane na izvor.



Slika 7.8. Mjerenje snage vatmetrom čija je naponska grana spojena na prijemnik

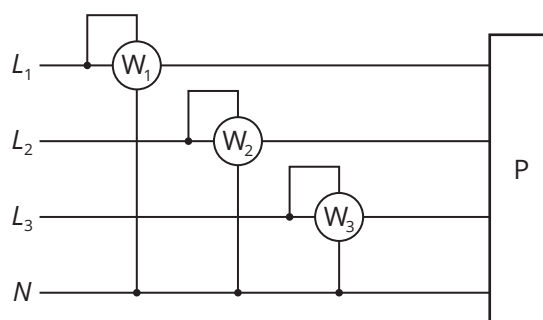
Mjerenja snage u trofaznim sistemima vrše se pomoću:

- jednofaznog vatmetra
- dva jednofazna vatmetra (tzv. Aronova sprega)
- tri jednofazna vatmetra
- trofaznog vatmetra.

Trofazna mjerenja u trofaznim sistemima bez nultog voda mogu se obaviti metodom dva vatmetra (Aronova sprega) ili sa tri vatmetra. U trofaznim sistemima s nultim vodom upotrebljava se metoda tri vatmetra.

Tri vatmetra ili trofazni vatmetar upotrebljavaju se i u slučaju kada u neutralnomvodu postoji struja. U ovoj metodi (Slika 7.9), u strujnim granama vatmetra, postoje fazne struje opterećenja, dok su njihove naponske grane priključene na odgovarajuće fazne napone. Na ovaj način svaki vatmetar mjeri snagu jedne faze, tako da je zbir pokazivanja sva tri vatmetra jednak ukupnoj aktivnoj snazi trofaznog sistema:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (7.2)$$



Slika 7.9. Mjerenje aktivnih snaga metodom tri vatmetra

Reaktivna snaga u trofaznim sistemima može se mjeriti pomoću varmetara i to metodom jednog, dva ili tri varmetra. Varmetri su pri tom spojeni na isti način kako se spajaju vatmetri pri mjerenju aktivne snage u trofaznim sistemima. U slučaju trofaznih simetričnih sistema, reaktivna snaga može se mjeriti i pomoću vatmetara. Pri ovom mjerenju potrebno je postići da se naponska grana na vatmetru priključi na napon fazno pomjeren za $\pi/2$ u odnosu na napon koji bi imala naponska grana pri mjerenju aktivne snage.

Mjerenje otpora namotaja. Pri ispitivanjima električnih mašina, mjerenjem otpora namotaja mogu se otkriti eventualne greške u izradi i odrediti gubici pri datoj struji kao i temperatura zagrijanog namotaja.

Upoređivanjem proračunskih i izmjerenih vrijednosti otpora kontroliše se i proračun i mjerenje. Radi izrade novog namotaja i dijagnostike stanja namotaja već korišćene mašine, ispitivanje električnih mašina upravo započinje mjerenjem otpora namotaja.

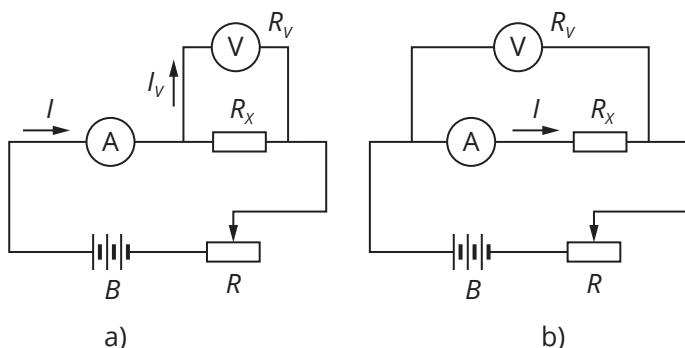


Metoda koja se najviše upotrebljava za mjerenje otpora je tzv. U-I metoda. Zavisno od vrijednosti otpora, mogu se primijeniti i mjerni mostovi (Tomsonov i Vitstonov). U slučaju potrebe za ponovnim mjerenjem istog otpora, mora se ponoviti i upotreba iste metode, s istom osetljivošću.

U-I metoda

naponsko-strujna metoda za mjerenje otpora

U-I metoda (Slika 7.10) koristi se za mjerenje malih, srednjih i velikih otpora. Ona omogućava mjerenje otpora u pogonskim uslovima. Potrebni instrumenti za ovu metodu su voltmetar i ampermetar. Obično se prilikom mjerenja koriste dva spoja: naponski (a) i strujni (b). Kada su u pitanju mali otpori, koristi naponski spoj, a pri velikim otporima strujni spoj.



Slika 7.10. Spojevi za mjerenje otpora namotaja U-I metodom: a) naponski, b) strujni spoj

U naponskom spoju voltmetar je priključen na priključke mjenenog otpornika, pa je očitani napon U jednak naponu na otporniku. Ampermetar mjeri struju I koja je zbir struje otpornika i struje voltmetra I_V . Otpor voltmetra R_V uvijek je poznat, pa se može odrediti njegova struja: $I_V = U/R_V$. Kako kroz mjeneni otpornik teče struja $I_V - I$, moguće je izračunati njegov otpor:

$$R_X = \frac{U}{I - I_V} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}} \quad (7.3)$$

U strujnom spoju ampermetar mjeri struju kroz otpornik, a voltmetar pad napona na ampermetru i mjenenom otporniku. Ako je otpor ampermetra R_A , onda je otpor mjenenog otpornika:

$$R_X = \frac{U - R_A I}{I} = \frac{U}{I} - R_A \quad (7.4)$$

Tačnost mjerenja otpora zavisice od klase tačnosti upotrijebljenih instrumenata i veličine njihovog skretanja. Poželjno je da pri mjerenju skretanja budu što bliže punom skretanju.

Mjerenje otpora izolacije. Za pouzdan rad električnih uređaja i opreme stanje njihove izolacije je od presudne važnosti. Izolacija električnih uređaja i opreme je, s obzirom na mehanička, toplotna i dielektrična naprezanja, njihov najosjetljiviji dio koji je izložen raznim uticajima, tako da se njene osobine takoreći preprstano mijenjaju.

Prije priključenja na puni napon, potrebno je izmjeriti otpor izolacije između namotaja i uzemljenih djelova (mase), odnosno između međusobno izolovanih namotaja.

Ovim ispitivanjem mogu se otkriti eventualna oštećenja izolacije, utvrđuje se stanje izolovanosti, zaključuje se da li se uređaj ili oprema može priključiti na radni napon. Rezultati mjerenja mogu poslužiti i za poređenja s kasnijim ispitivanjima i mjerenjima.

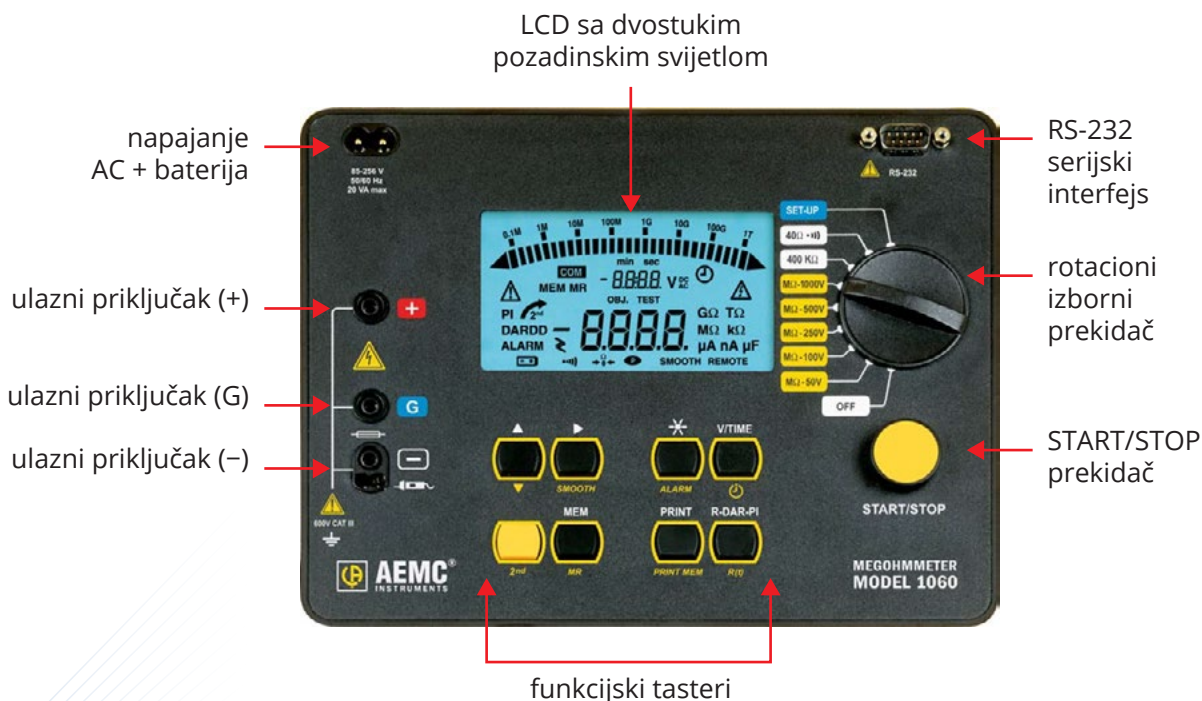
S obzirom na to da spada u veoma jednostavne ogledе, uz vrlo skromnu opremu i jednostavan pristup mjerenju postiže se veoma jasna slika u pogledu stanja izolacije, kako na terenu tako i u laboratoriji. Vrijednost otpora izolacije kreće se od 0,5 MΩ pa naviše i zavisi od vlažnosti uređaja i opreme, trajanja mjerenja, vrijednosti temperature i mjernog napona, veličine uređaja, vrste i debljine izolacionog materijala i dr.

Sistematskim mjerenjem otpora izolacije može se dobiti podatak o stare-nju izolacije. Imajući u vidu razne uticaje, uvijek je potrebno vršiti mjere-nja pri praktično istim uslovima.

Otpor izolacije mjeri se jednosmjernom strujom, pomoću specijalnih instrumenata me-gaommetra, mada je moguća i primjena U-I metode. Naizmjeničnom strujom određuje se impedansa, koja je u konkretnom slučaju pre-težno kapacitivnog karaktera. Napon pri kome se vrši mjerenje se kreće u rasponu između 500 V i 4.000 V.

☆☆☆ Postoje različite preporuke vezane za definisanje potrebne (dovoljne) vrijednosti izolacionog otpora. Po jednoj od njih, orijenta-cioni izolacioni otpor treba da ima onoliko MΩ koliko kV iznosi nazivni napon mašine. Ovo pravilo je prilično „grubo“ i ograničeno je na uređaje čija snaga i napon nijesu isuviše veliki, a ispitivanje se vrši naponom od 500 V.

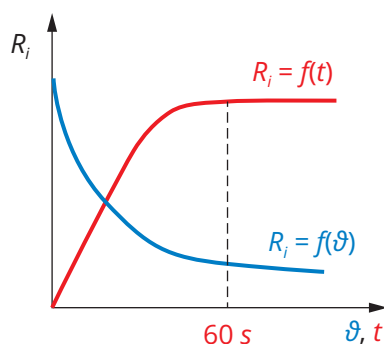
Megaommetar čini izvor jednosmjerne struje i logometarski mjerni si-tem. Postoje različiti načini izrade megaommetara. Izgled jednog digi-talnog elektronskog megaommetara koji se češće koristi prikazan je na Slici 7.11.



Slika 7.11. Digitalni elektronski megaommetar (AEMC model 1060)

S porastom mjernog napona vrijednost struje kroz izolaciju raste, a samim tim vrijednost otpora izolacije opada. Vrijednosti napona kojima se mjeri otpornost izolacije ne bi trebalo da prelaze vrijednost od 4.000 V, zbog toga što nakon te vrijednosti struja naglo počinje da raste, a vrijednost otpora izolacije sve brže opada. U praksi se vrijednosti mjernog napona kreću 500–4.000 V, zavisno od naponskog nivoa za koji je upotrijebljena izolacija.

Vrijednost otpora izolacije opada s porastom temperature. Zbog toga je poželjno mjeriti otpor izolacije i na zagrijanom uređaju, nakon oglada zagrijavanja ili poslije isključenja uređaja iz pogona, kako bi se imao uvid u vrijednost otpora izolacije tokom stvarnih pogonskih prilika. Uticaj trajanja oglada na vrijednost izmjenjenog otpora izolacije posljedica je polarizacione komponente struje koja opada po eksponencijalnom zakonu od trenutka priključenja napona. Tek kad iščezne polarizaciona komponenta (nakon oko jednog minuta), mjerenjem se dobija stvarna vrijednost otpora izolacije.



Slika 7.12. Otpor izolacije u funkciji temperature i vremena

Ponašanje otpora izolacije pri promjenama temperature i vremena prikazano je na Slici 7.12.

Mjerenje električne energije. Električna energija W koju troši neki prijemnik za neko vrijeme t , izračunava se:

$$W = \int_0^t P(t) \cdot dt \quad (7.5)$$

Ukoliko je snaga konstantna, tada je utrošena energija $W = P \cdot t$.

Kako snaga koju uzimaju potrošači tokom vremena obično nije stalna, za mjerenje utroška električne energije upotrebljavaju se specijalni uređaji koji se nazivaju **električna brojila**. Brojila se koriste pri obračunavanju ukupne utrošene električne energije individualnih potrošača. Obično su kalibrisani u kilovat satima (kWh) kao obračunskim jedinicama, što predstavlja količinu od jednog kilovata preuzete snage u periodu od sat vremena.

kalibrisati
podešavati mjerne
instrumente

Neki uređaji mjere samo vrijeme tokom koga ima protoka struje, bez mjerenja amplitude napona i struje. Ovakvi uređaji pogodni su za mjerenje utroška energije samo pri konstantnom opterećenju.

Današnja električna brojila rade tako što kontinualno mjere trenutne vrijednosti struje i napona, čiji proizvod daje trenutnu električnu snagu u vatima. Integraljenjem snage u vremenu dobija se ukupna utrošena električna energija u kilovat satima.

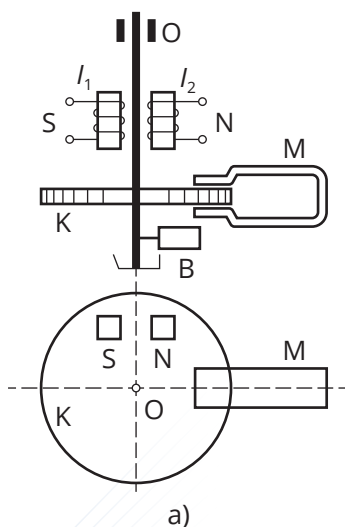
U praksi se koriste različiti tipovi brojila: brojila za domaćinstva, manja brojila koja se postavljaju između izvora i nekog potrošača ili veća brojila koja koriste strujne mjerne transformatore, a mjere utrošak energije u kolima kroz koja se ostvaruje struja veća od 200 A.

Brojila se uglavnom dijele na dvije osnovne grupe:

- elektromehanička brojila
- elektronska brojila.

Elektromehanička (indukciona) brojila su brojila kod kojih se brojčanik pokreće pomoću točka, koji se okreće usljed indukcije nastale kao posljedica proticanja struje kroz brojilo.

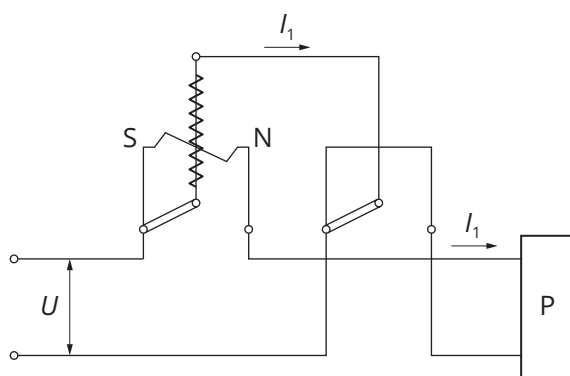
Princip rada (a) i izgled (b) jednofaznog indukcionog brojila prikazani su na Slici 7.13. Jednofazno indukciono brojilo sastoji se od diska K od aluminijuma, koji se može obrtati oko osovine O u međugvožđu stalnog magneta M i dva elektromagneta S i N postavljena tako da se prodorne tačke njihovih osa nalaze na jednoj tetivi diska. Strujni namotaj S vezan je na red s prijemnicima P i kroz njega protiče struja I_1 koju uzimaju ti prijemnici. Naponski namotaj N vezan je na mrežu paralelno s prijemnicima i struja I_2 koja prolazi kroz njega srazmjerna je naponu U koji vlada na prijemnicima.



b)

Slika 7.13. Jednofazno indukciono brojilo: a) princip rada, b) izgled

Električna šema veze jednofaznog indukcionog brojila data je na Slici 7.14.



Slika 7.14. Električna šema jednofaznog indukcionog brojila

Trofazno brojilo predstavlja skup tri jednofazna sistema – tri diska sa tri para N-S kalemova, postavljena na jednoj osovini.

Ovakvi uređaji se, zbog brojnih mana, sve manje koriste. Njihov osnovni problem je što ih odlikuje značajna nepreciznost (tačnost je 1–2%).

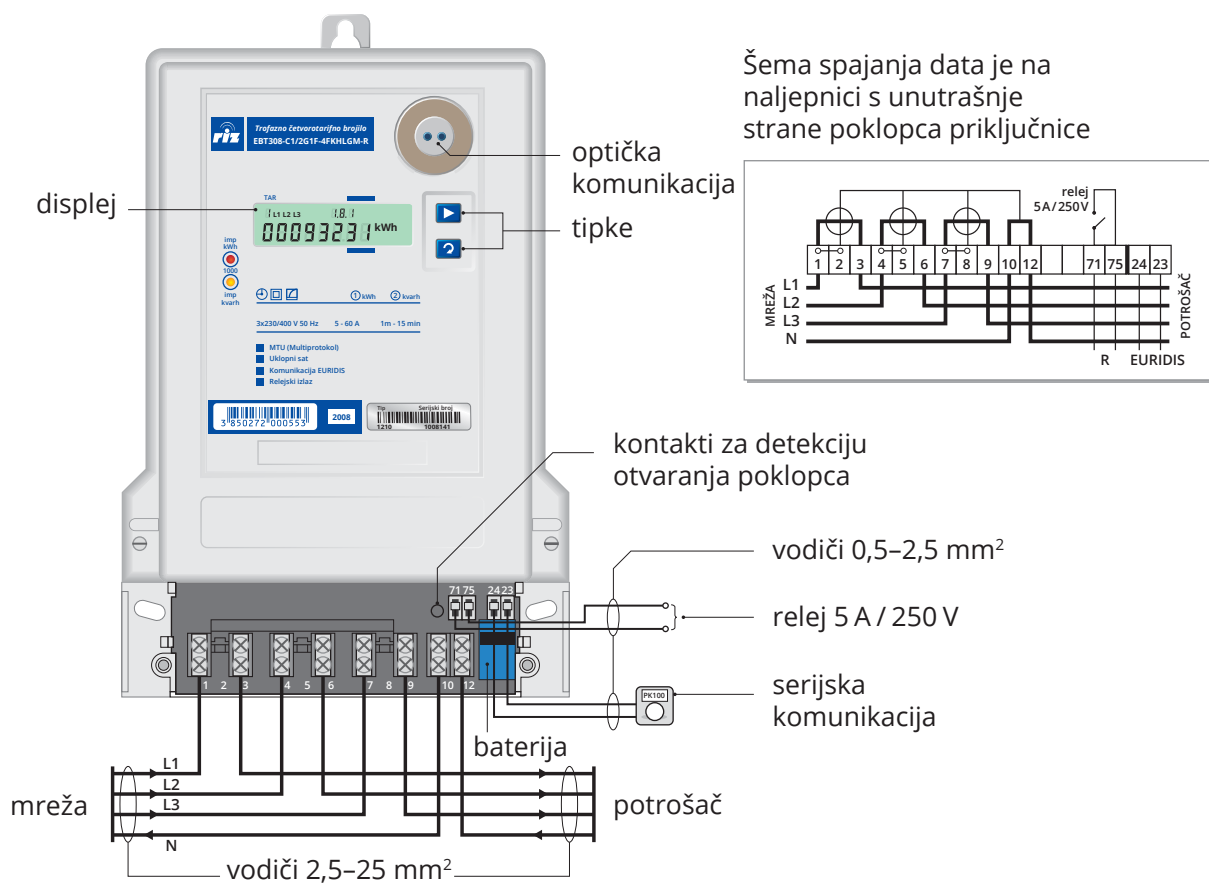
Drugi veliki problem, koji polako potiskuje ove uređaje, jeste nemogućnost njihovog povezivanja na daljinske sisteme očitavanja brojila i upravljanja potrošnjom u tzv. pametnim mrežama.

Elektronska brojila mjere/registruju utrošak električne energije upotrebom visokointegriranih komponenata ili namjenski integrisanih kola (mikrokontrolera). Njima se dovode uzorci trenutnih vrijednosti struje i napona uzeti u određenim vremenskim intervalima (0,2 ms) i na osnovu njih izračunava se potrošnja. Oni digitalizuju kontinualne vrijednosti napona i struje. Zatim se izračunava preuzeta kontinualna snaga (u ovom slučaju, u diskretnom domenu) kao proizvod napona i struje, a potom i integrali u vremenu, kako bi se dobila količina utrošene električne energije. Ova brojila se izrađuju s tačnošću i do 0,01%.

Dizajn ovih uređaja uglavnom zavisi od: cijene uređaja, efikasnosti i veličine. Dok je cijena pod uticajem opšte dostupnosti korisniku, efikasnost i veličina moraju u potpunosti biti u skladu s važećim usvojenim standardom.

Postoje različite izvedbe ovih brojila, a mikrokontroler omogućava i integrisanje različitih dodatnih funkcija brojilu. Izgled jedne od mogućih varijanti višenamjenskog kombinovanog elektronskog brojila prikazan je na Slici 7.15.

mikrokontroler
mali računar sa jednim
integrisanim kolom



Slika 7.15. Izgled višenamjenskog elektronskog brojila

7.1.



1. Koje su osnovne električne veličine koje se mjere u VNRP?
2. Navedi karakteristike uređaja za mjerenje električnih veličina.
3. Opiši različite vrste mjerenja električnih veličina.
4. Uporedi mjerenja na niskom s mjerenjima na visokom naponu.

7.2. Osnovna svojstva relejne zaštite i vrste releja

7.2.1. Osnovna svojstva relejne zaštite

I pored težnji da EES u čitavom radnom vijeku kvalitetno i pouzdano ispunjava sve predviđene aktivnosti, u njemu nije moguće spriječiti pojavu kvarova i opasnih pogonskih stanja.



Kvarovi su u većini slučajeva posljedica narušavanja ili gubljenja osnovnih funkcija izolacije opreme i uređaja koji dovode do porasta radnih struja i smanjenja napona u pojedinim tačkama EES-a.

Proticanje velikih struja kroz elemente EES-a narušava njihov normalan rad i dovodi do pretjeranog zagrijavanja (zbog oslobađanja velikih količina toplote), kao i do pojave velikih sila i električnih lukova koji mogu biti opasni po ljude i okolinu.

Da bi se osigurao pouzdan rad EES-a, neophodno je u što kraćem vremenu pronaći i izolovati element ili elemente s kvarom od ostalog dijela EES-a. Za pronalazak kvara koriste se automatski uređaji za pravovremenu detekciju nastalih kvarova i odgovarajuću signalizaciju. Isključenjem iz pogona ili preduzimanjem drugih potrebnih mjera u slučaju pojave opasnog pogonskog stanja ili kvara, štite se elementi EES-a od mogućih štetnih posljedica.

Prvi uređaji za zaštitu od kvarova bili su topljivi osigurači. Međutim, usložavanjem EES-a i porastom njihove snage, brzo je uočena neadekvatnost njihovog korišćenja kao zaštitnog uređaja. Iako je njihovo korišćenje u EES-u, pogotovo u visokonaponskim mrežama, drastično smanjeno ili potpuno eliminisano, topljivi osigurači se i danas koriste za zaštitu, uglavnom u niskonaponskim mrežama.



S razvojem tehnike i tehnologije u oblasti zaštite, s topljivih osigurača prešlo se na mnogo efikasnije zaštitne uređaje bazirane na **relejima**, pa je cjelokupna tehnika zaštite u EES-u nazvana **relejom zaštitom**.

Jedna od najčešće korišćenih definicija relejne zaštite je:

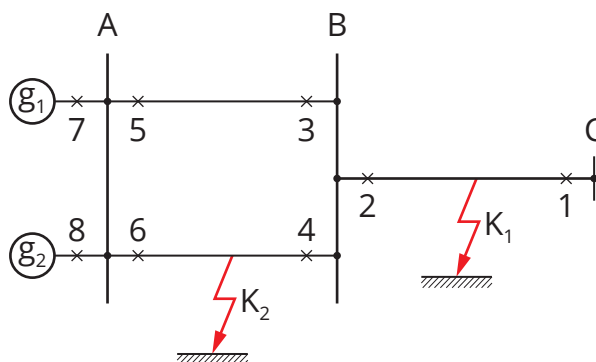
Relejna zaštita je skup automatskih uređaja koji služe za zaštitu elemenata elektroenergetskih sistema i neophodni su za njihov normalan i pouzdan rad.

Relejna zaštita elektroenergetskih postrojenja trajno kontroliše karakteristične električne ili druge veličine (struju, napon, temperaturu i sl.) šticećenog objekta. U slučaju pojave kvara ili opasnog pogonskog stanja, automatski uključuje zaštitne sisteme neophodne da bi se kvar izbjegao ili minimizovale njegove posljedice.

U narednom tekstu su navedeni samo osnovni principi relejne zaštite, odnosno teorijske osnove njenog rada, bez dubljeg ulaženja u njenu ulogu u zaštiti EES-a.

Da bi relejna zaštita mogla uspješno da obavi svoju veoma važnu funkciju, ona mora da zadovolji nekoliko opštih zahtjeva:

- **Selektivnost.** To je sposobnost relejne zaštite da izoluje samo element koji je pogođen kvarom. To znači da se prilikom kvara automatski iz pogona isključuje samo onaj element sistema koji je u kvaru, dok preostali dio sistema ostaje normalno u pogonu. Primjer selektivnog rada relejne zaštite na dijelu EES-a prikazan je na Slici 7.16.



Slika 7.16. Primjer selektivnog djelovanja relejne zaštite

Poslije pojave kvara K_1 relejna zaštita mora da isključi prekidač 2, usljed čega potrošači priključeni na sabirnice C ostaju bez napajanja, dok su svi ostali potrošači pod naponom. U slučaju pojave kvara K_2 relejna zaštita treba da isključi prekidače 4 i 6, pri čemu svi potrošači ostaju pod naponom. Navedeni primjer pokazuje da je selektivnost relejne zaštite veoma tijesno povezana s pouzdanošću napajanja potrošača električnom energijom.

- **Brzina djelovanja/reagovanja.** Da bi se izbjegle mnoge štetne posljedice koje se javljaju prilikom kvarova u EES-u, kvarove treba što je moguće brže otkloniti. Velika brzina rada relejne zaštite uslovljena je potrebom očuvanja stabilnosti sinhronih mašina u EES-u, kao i neophodnošću sprečavanja težih havarija na skupocjenoj opremi (sinhroni generatori, veliki transformatori, prekidači...).

Brzina djelovanja zaštite naročito je važna prilikom isključenja iz sistema elemenata na kojima su se pojavili kratki spojevi. Brzim isključenjem kratkog spoja smanjuju se ili potpuno izbjegavaju razaranja na mjestu kvara i u njegovoj okolini.

Za očuvanje stabilnost EES-a (kritični, naročito trolpolni i dvopolni kratki spojevi s zemljospojem) preporučuju se sljedeća vremena isključenja kratkih spojeva:

- u mrežama napona 400 kV $t = 0,1-0,12$ s
- u mrežama napona 110–220 kV $t = 0,15-0,3$ s
- u mrežama napona 10–35 kV $t = 1,5-3,0$ s.

Pošto se u mrežama od 10–35 kV kvarovi događaju iza velikih impedansi (gledano sa strane generatora), oni praktično ne utiču na stabilnost sistema.

Potrebna tačna vremena isključenja kvarova u konkretnim EES-ima mogu se odrediti samo proračunom dinamičke (tranzijentne)

stabilnosti. Pored tačnih proračuna koriste se i brojni iskustveni kriterijumi i obrasci za utvrđivanje potrebe korišćenja brzih releja.

S obzirom na to da relejna zaštita nakon pojave kvara u većini slučajeva aktivira prekidače, to je vrijeme trajanja kvara od momenta njegovog nastanka do trenutka gašenja luka u prekidaču (t_{kvara}) jednako zbiru vremena isključenja prekidača ($t_{isklj.}$) i vremena reagovanja relejne zaštite ($t_{zaštite}$):

$$t_{kvara} = t_{isključenja} + t_{zaštite} \quad (7.6)$$

Vrijeme isključenja prekidača ($t_{isklj.}$) leži u opsegu 0,04–0,06 s, a ima i sistema zaštite s brzinom djelovanja reda 0,02 s i manje.

- **Osjetljivost.** Veoma važno svojstvo relejne zaštite je njena osjetljivost na sve kvarove unutar podešene zone djelovanja. Zaštitni uređaji moraju da budu dovoljno osjetljivi da sa sigurnošću djeluju prilikom pojave kvara u osnovnoj i rezervnoj zoni zaštićenja, pri najnepovoljnijim uslovima. Na primjer, prekostrujna zaštita mora imati takvu osjetljivost da pouzdano reaguje pri kvarovima s najmanjim strujama kvara. Koeficijent osjetljivosti za releje koji reaguju kada veličina premaši podešenu vrijednost, definiše se:

$$K_s = \frac{\text{najmanja vrijednost veličine pri kvaru}}{\text{podešena vrijednost veličine na releju}} > 1 \quad (7.7)$$

Ovo ukazuje na neophodnost da i najmanja vrijednost veličine pri kvaru mora biti veća od podešene vrijednosti na releju, da bi se relej sigurno pobudio. Važno je istaći da zaštita ne smije biti toliko osjetljiva da djeluje nepotrebno.

- **Pouzdanost.** Veoma važan je i zahtjev/osobina da uređaji relejne zaštite moraju biti veoma pouzdani. Iako ovi uređaji mogu dugo vremena biti u stanju mirovanja, pri nastanku kvara za čije su eliminisanje odgovorni, oni moraju pouzdano da reaguju. Vodeći računa da nijedan uređaj nije 100% pouzdan, ukoliko se štite važni objekti, najčešće se koristi više zaštitnih uređaja u paralelnoj sprezi, tj. ugrađuje se rezervna zaštita.

Osnovni karakteristični pokazatelji pouzdanosti su:

- **intenzitet otkaza** iz normalnog pogona koji se definiše kao srednji broj otkaza jednog elementa u jedinici vremena (najčešće jedna godina):

$$\lambda = \frac{X}{(nT)}, \quad (7.8)$$

gdje je: n – broj posmatranih releja koji rade pod sličnim uslovima T godina

X – broj otkaza u periodu od T godina.

- **srednje vrijeme između dva otkaza** koje određuje kvalitet releja i koje se definiše i kao vrijeme raspoloživosti releja:

$$T_{\text{rasp}} = \frac{1}{\lambda} \quad (7.9)$$

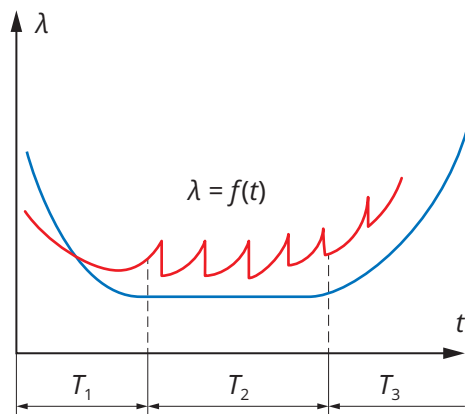
- **koeficijent raspoloživosti** koji se definiše kao:

$$K_{\text{rasp}} = \frac{T_{\text{rasp}}}{(T_{\text{rasp}} + T_{\text{nerasp}})} \quad (7.10)$$

- **koeficijent nerasploživosti** definisan kao:

$$K_{\text{nerasp}} = 1 - K_{\text{rasp}} \quad (7.11)$$

Karakteristični dijagram zavisnosti intenziteta/učestanosti otkaza od vremena: $\lambda = f(t)$, za relejne uređaje koji zahtijevaju održavanje (elektromehanički relejni uređaji), prikazan je na Slici 7.17 krivom 1, dok kriva 2 važi za uređaje koji ne zahtijevaju održavanje (elektronski relejni uređaji).



Slika 7.17. Zavisnost intenziteta otkaza relejnih uređaja od vremena

- **Obezbeđenje potpune rezerve/sigurnost u radu.**



Otkazivanje zaštite u slučaju kvara kao i njeno nepotrebno djelovanje može imati katastrofalne posljedice za štitični objekat i čitav EES (raspad sistema), kao i velike ekonomske štete (primarne i sekundarne).

Iako se od uređaja relejne zaštite zahtijeva visoka pouzdanost, u praktičnim izvođenjima zaštite izvodi se tako da se u slučaju otkaza glavne zaštite svaki kvar eliminiše djelovanjem neke druge, potpuno nezavisne (rezervne, paralelne) zaštite.

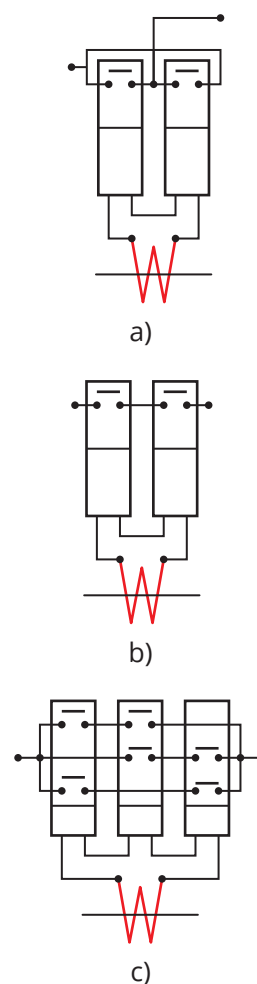
Za povećanje koeficijenta raspoloživosti, koje se primjenjuje kod važnijih uređaja gdje je neophodno da zaštita nikad ne otkáže, postoje različite šeme spoja rezervne zaštite. Najčešće se koristi paralelna veza dva jednaka relejna uređaja (Slika 7.18a). Radi sprečavanja lažnog reagovanja zaštite, često se koristi redna veza dva ista releja (Slika 7.18b). Da bi se izbjeglo smanjenje koeficijenta raspoloživosti, koje izaziva ova veza, primjenjuje se veza relejnih uređaja kao na Slici 7.18c, koja je u literaturi poznata pod imenom „dva od tri“.

Rezervna zaštita može biti locirana i na drugom mjestu u odnosu na glavnu zaštitu (tzv. daljinska rezerva). U ovom slučaju prilikom otkaza jedne zaštite djeluje zaštita na sljedećem štićenom objektu ili postrojenju (gledano prema izvoru napajanja), tj. zaštite se projektuju i podešavaju tako da im se zaštitne zone preklapaju (ovaj princip poznat je pod imenom „back up protection“), pri čemu se koriste relejni uređaji sličnih ili istih osnovnih karakteristika.

7.2.2. Vrste releja

Relej je jedna od najčešće korišćenih električnih komponenti koje se koriste u savremenoj automatizaciji. To je uređaj koji djelovanjem relativno male električne ili mehaničke snage može uključiti veću snagu. Releji ovo mogu izvršiti bez vremenskog zatezanja ili s vremenskim zakašnjenjem.

Relej (u stručnoj literaturi se nalazi i naziv rele) je osnovni element zaštitnih relejnih uređaja. On trajno kontroliše neku električnu (struja, napon, snaga, otpor, frekvencija i sl.) ili neelektričnu veličinu (temperatura, pritisak, broj okretaja i sl.). Kada u komandnim ili signalnim kolima dođe do nagle promjene kontrolisane veličine, tj. kada ona premaši ili padne ispod podešenih vrijednosti, dolazi do slanja potrebnih naloga/signala (za otvaranje ili zatvaranje kontakata) i signalizacije.



Slika 7.18. Načini vezivanja relejnih uređaja: a) paralelna veza, b) redna veza, c) veza „dva od tri“



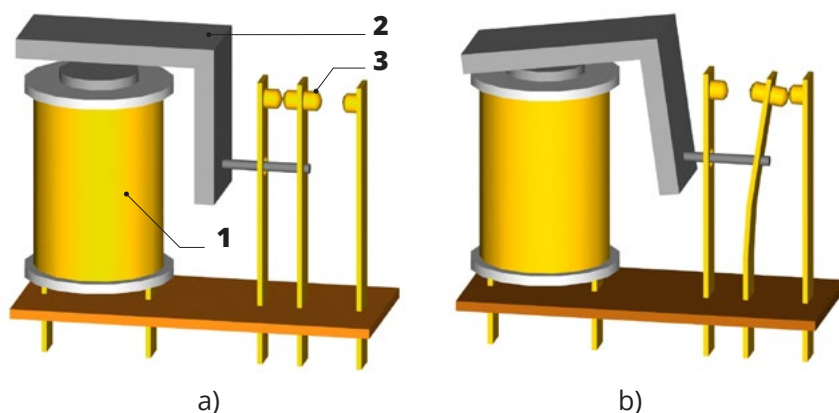
U EES-u relej je uređaj/naprava koja se koristi za prekidanje ili uspostavljanje strujnog kola putem sastavnih elemenata koji otvaraju i zatvaraju strujne kontakte.

Ovakva vrsta releja koji djeluje na principu djelovanja magnetnog fluksa kalema kroz koji protiče struja na feromagnetni dio (pomičnu kotvu) naziva se **elektromagnetni relej**. Elektromagnet se obično sastoji od više namotaja bakarne žice/provodnika na željeznom jezgru. Kada struja teče kroz provodnik (primarno strujno kolo), oko elektromagneta se stvara magnetno polje koje privlači željeznu kotvu. Kotva nosi na sebi električne kontakte koji onda otvaraju ili zatvaraju sekundarno strujno kolo (strujni krug).

Princip rada releja s naizmjeničnim kontaktima prikazan je na Slici 7.19. Kada se prekine struja kroz elektromagnet, on više ne privlači željeznu kotvu i ona se vraća u početni položaj, obično uz pomoć opruge. Time električni kontakti (oznaka 3 na Slici 7.19) prekidaju ili uspostavljaju strujno kolo, u zavisnosti od tipa kontakata.

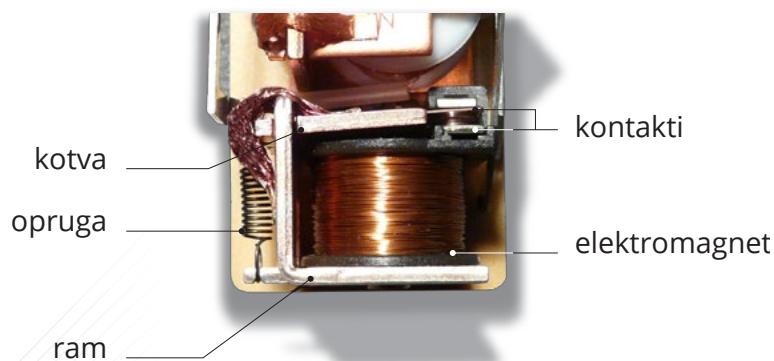
Ako je relej isključen (Slika 7.19a), kontakti (3) bliže elektromagnetu (1 – žuti cilindar) su zatvoreni (normalno zatvoren kontakt – NC), a kontakti dalje od elektromagneta su otvoreni (normalno otvoren kontakt – NO).

U slučaju kada je relej uključen (Slika 7.19b), elektromagnetno polje privlači kotvu (2) koja pomjera srednji kontakt koji sad uspostavlja vezu s desnim kontaktom, a prekida vezu s lijevim.



Slika 7.19. Princip rada releja: a) isključen, b) uključen

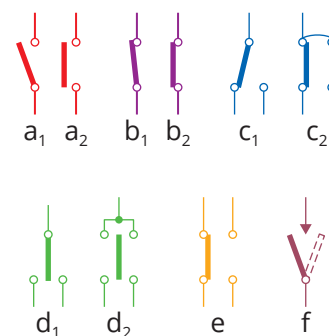
Izgled osnovnih djelova releja prikazan je na Slici 7.20. Ram ili jaram (yoke) na sebi drži elektromagnet (coil), koji, kada se priključi na napajanje, privlači željeznu kotvu (armature). Kotva uspostavlja ili prekida set/niz električnih kontakata (contacts). Kotva se vraća u polazni položaj uz pomoć opruge (spring) kad kroz elektromagnet više ne teče struja.



Slika 7.20. Osnovni djelovi releja

Kontakti, koji se otvaraju ili zatvaraju djelovanjem releja, se najčešće izrađuju od srebra ili srebrnih legura. Prema načinu rada/sklapanja ovi kontakti, koji su isti kao i kontakti kod pomoćnih prekidača koji služe za signalizaciju, sinhronizaciju i blokiranje (vidi poglavlje 6.2 Postupci uključanja i isključenja elektroenergetskih elemenata u razvodnim postrojenjima), dijele se (Slika 7.21) na:

- a – **radne**, koji su otvoreni kada je namotaj releja neuzbuđen ili nedovoljno uzbuđen
- b – **mirne**, koji su zatvoreni kada je namotaj releja neuzbuđen ili nedovoljno uzbuđen
- c – **preklopne**, koji se sastoje od radnog i mirnog kontakta sa zajedničkim dovodom
- d – **izbirne**, koji se sastoje od dva radna kontakta i koji imaju srednji položaj pri kome nijedan od dva strujna kruga nije zatvoren
- e – **naizmjenične**, koji imaju i radni i mirni kontakt koji spajaju različite strujne krugove
- f – **prolazne**, koji samo kratkotrajno zatvaraju strujni krug, a zatim i duže vremena, ako je pripadni namotaj uzbuđen.



Slika 7.21. Vrste kontakata releja prema načinu rada

Pored elektromagnetnih postoje i tzv. **elektronski releji** kod kojih priključenje strujnog kola vrše poluprovodnički elementi. Kod elektronskog releja, kao i kod elektromagnetnog, obezbijeđeno je fizičko razdvajanje dva dijela kola, ali između njih nema električnih veza.

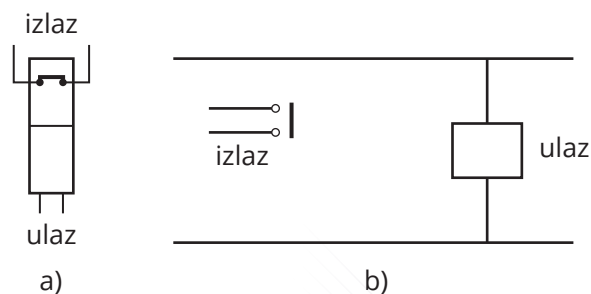
Dok elektromagnetni releji koriste mehanički pomjeraj kotve kako bi obezbijedili promjenu stanja u kolu (uloga prekidača), kod elektronskih releja najčešće se koriste fotoosjetljivi elementi kao davači signala u primarnom kolu, a fototranzistor kao primač signala u sekundarnom kolu.

fototranzistor

vrsta poluprovodničke komponente u elektrotehnici koja koristi interni fotoelektrični efekat

U šemama relejne zaštite najčešće se prikazuju samo dva osnovna dijela relejnog uređaja: **ulazni**/pobudni i **izlazni**/izvršni dio. Predstavljanja/crtanja releja u šemama može se ostvariti kao:

- zajedničko crtanje simbola za ulazni i izlazni dio relejnog uređaja (Slika 7.22a) koji se primjenjuje uglavnom kod relativno prostih šema relejne zaštite
- odvojeno crtanje simbola za ulazni i izlazni dio relejnog uređaja (Slika 7.22b) koji se najčešće primjenjuje u projektima pri crtanju složenih šema relejne zaštite.



Slika 7.22. Načini prikazivanja relejnih uređaja u šemama: a) kod prostih šema, b) kod složenih šema

U stručnoj literaturi postoje različite podjele releja. Ukoliko se posmatraju releji koji se koriste u zaštiti EES-a gdje je ulazna veličina temperatura ili neka električna veličina, oni se, prema **principu rada**, uglavnom dijele na:

- releje zasnovane na elektromehaničkom principu (s pokretnim mehaničkim djelovima na koje djeluje sila ili momenat)
- releje zasnovane na analognim i digitalnim elektronskim kolima (bez mehaničkih pokretnih djelova).

Prema **mjerenoj veličini** releji se dijele na: strujne, naponske, otporne, frekventne, termičke, mehaničke i releje snage.

S obzirom na **ulazne veličine**, releji se obično dijele na:

- releje sa jednom ulaznom električnom veličinom (strujni, naponski i frekventni releji)
- releje sa dvije ulazne električne veličine (usmjereni i distantni releji)
- releje sa tri ili više ulaznih električnih veličina (distantni releji).

Postoje dvije osnovne vrste/grupe releja:

- mjerni releji
- pomoćni releji.

Mjerni releji izazivaju ili sprečavaju neko djelovanje, ako fizička veličina (struja, napon, snaga, broj okretaja i sl.) koja na njih djeluje prekorači određenu vrijednost ili padne ispod nje.

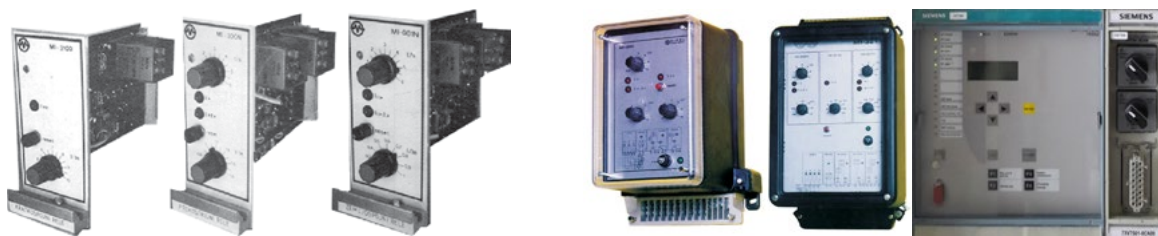
Pomoćni releji ne mjere, nego djeluju zbog pojave ili bitnije promjene fizičke veličine na koju su osjetljivi. Usljed te promjene stanja oni dovode do uključenja ili isključenja kontakata. Djeluju tek kada ih aktiviraju neki drugi zaštitni releji. Od njih se, po pravilu, ne zahtijeva velika tačnost.

Da bi zaštitio neki dio VNRP od posljedica nenormalnih pogonskih događaja ili da bi ograničio štetu od već nastalog kvara, sam zaštitni uređaj se zbog specifičnih karakteristika VNRP uglavnom sastoji od releja i pomoćnih uređaja (mjerni transformatori, pomoćni releji, pomoćni izvori struje...).

U zaštitnom uređaju može biti jedan ili više releja (složeni relej) koji mogu biti izvedeni u posebnom ili zajedničkom kućištu.

U EES-u koriste se različite vrste releja, od kojih su najčešći:

- **Prekostrujni releji** (Slika 7.23). To su zaštitni uređaji koji reaguju na veličinu struje u šticeu dijelu sistema. Oni reaguju kada struja postigne ili prekorači podešenu vrijednost. Veoma su rasprostranjeni jer je većina kvarova u sistemu praćena povećanjem struje.



Slika 7.23. Različiti tipovi prekostrujnih releja

- **Usmjereni releji.** Njihov zadatak je da utvrde smjer energije u štice-nom dijelu mreže i da djeluju za vrijeme kratkog spoja.
- **Naponski releji.** Izvode se isto kao i strujni. Kod njih se namotaj releja priključuje na napon čija se promjena mjeri. Djeluju kada napon na koji su priključeni odstupa od određene podešene vrijednosti. U zavisnosti da li djeluju kod povišenja ili sniženja napona, izvode se kao podnaponski i nadnaponski.
- **Distantni releji** (Slika 7.24). Vrijeme reagovanja kod ovih releja raste sa udaljenošću kratkog spoja od releja, čime se, već u nešto komplikovanijoj mreži, prevazilazi nemogućnost selektivnog djelovanja prekostrujnih i usmjerenih releja zbog njihovog dugog vremena djelovanja. Razvili su se zbog potrebe postojanja zaštite koja će djelovati brže što je mjesto kvara bliže mjestu ugradnje releja, čime je moguće postići brže eliminisanje bliskih kratkih spojeva. Kod njih se kao kriterijumi za djelovanje zaštite uzimaju i struja i napon. Što je struja pri kvaru veća i što je napon niži, to relej treba da djeluje brže.



Slika 7.24. Različiti oblici distantnih releja

- **Diferencijalni releji** (Slika 7.25). Upoređuju istovremene veličine i mjere njihovu razliku, odnosno djeluju u zavisnosti od njihove razlike. To su, u stvari, prekostrujni neusporeni releji koji se, ako upoređuju struje na početku i na kraju štice-nog dijela postrojenja (generatora, transformatora, vodova i sl.), nazivaju uzdužna diferencijalna zaštita. Ako upoređuju struje na istom kraju dva ili više djelova postrojenja, nazivaju se poprečna diferencijalna zaštita. Diferencijalni releji



Slika 7.25. Primjeri diferencijalnih releja

mogu se koristiti za prilike koje vladaju pri zaštiti generatora, sabirnice, vodova i transformatora.

Zbog specifičnosti rada, konstrukcije i preskoka u transformatoru, njihove veličine i njihove uloge i važnosti u mreži, kao i u zavisnosti od opšteg stanja u posmatranom sistemu, za zaštitu transformatora, pored nabrojanih, koriste se i sljedeći uređaji ili postupci:

- Buholcov relej, koji djeluje pri svim kvarovima unutar kotla
- mjerenje napona kotla prema zemlji
- kontrola temperature ulja
- kontrola strujanja ulja i vode i dr.

Zbog postojanja više vrsta releja različitih konstrukcija i karakteristika, za njihov optimalan izbor u svakoj konkretnoj situaciji neophodno je dobro poznavati njihove prednosti i mane.

Prednosti releja:

- lako prilagođavanje različitim naponima
- temperaturna nezavisnost (rade u opsegu od $-40-80$ °C).
- visok otpor između isključenih kontakata
- moguće uključivanje/isključivanje većeg broja nezavisnih električnih kola
- prisutno galvansko razdvajanje između upravljačkog i glavnog (radnog) električnog kola
- jednostavno održavanje.

Mane releja:

- zahtijevaju dosta prostora
- javljaju se šumovi pri reagovanju (tzv. električno zagađenje mreže)
- ograničena brzina reagovanja (3–17 ms)
- osjetljivi na uticaj prljavštine (prašine, zagađene sredine i sl.).

7.2.



1. Definiši pojam relejne zaštite i navedi njegova osnovna svojstva.
2. Navedi sastavne djelove relejnog uređaja i objasni princip rada releja.
3. Objasni zašto se razlikuju kontakti releja prema načinu rada.
4. Koje vrste releja postoje? Navedi njihove prednosti i mane.

7.3. Zaštita glavnih elemenata razvodnih postrojenja

7.3.1. Zaštita elektroenergetskih vodova

Elektroenergetski vodovi (vazdušni i podzemni/kablovski) koji po prostanstvu predstavljaju dominantan dio EES-a, mogu biti različitog naponskog nivoa (od najnižih do najviših napona). Zbog različitog naponskog nivoa i značaja, njihova zaštita može bitno da se razlikuje. Obično se manje značajni vodovi i oprema nižeg naponskog nivoa štite jednostavnijim zaštitama, dok se značajniji visokonaponski vodovi i oprema štite složenijim, boljim i skupljim zaštitama.

Najčešći oblici relejne zaštite elektroenergetskih vodova su:

- fazna prekostrujna neusmjerena zaštita
- fazna usmjerena prekostrujna zaštita
- nulta prekostrujna zaštita u uzemljenim mrežama
- zemljospojna zaštita u izolovanim mrežama
- analogna diferencijalna zaštita
- distantna zaštita
- zaštita vodova od preopterećenja
- automatsko ponovno uključenje
- primjena zemljospojnog prekidača i dr.

Prekostrujna zaštita je najstarija i istovremeno jedna od najprostijih vrsta zaštite. Njene ulazne veličine su struje elementa koji štite. Pošto ova zaštita ima tzv. „mrtvu zonu“ i nije primjenljiva na kratkim vodovima, ona nije pogodna za zaštitu od kvarova na vodovima koji su u blizini elektrana ili velikih VNRP.

Primjenom diferencijalne zaštite moguće je ostvariti brzu i selektivnu zaštitu vodova. Poređenjem struja na početku i na kraju voda strujnim diferencijalnim relejom, ostvaruje se podužna diferencijalna zaštita. Poprečna diferencijalna zaštita se koristi za zaštitu paralelnih vodova s približno jednakim parametrima.

7.3.2. Zaštita sinhronih generatora

Kvarovi na sinhronom generatoru, po pravilu, izazivaju višestruke i velike štete. Pored toga što su njihove opravke vezane za znatne finansijske izdatke, štete usljed izgubljene proizvodnje izazvane njegovim kvarom (tzv. sekundarne štete) mogu biti znatno veće od šteta izazvanih samim kvarom na generatoru. Zadatak zaštite je da spriječi pojavu kvarova usljed uzroka koje je moguće preduprijediti i da minimizuje štetu usljed kvarova čiju pojavu zaštita ne može da spriječi.

mrtva zona

zona u kojoj se ne osjeća dejstvo releja

Najčešći oblici relejne zaštite sinhronih generatora su:

- od međufaznih kratkih spojeva
- od kratkih spojeva unutar faznog namotaja
- zemljospojna zaštita generatora
- od simetričnog preopterećenja
- od previsokog napona
- od povratne aktivne snage
- od gubitka pobude
- od asimetričnog opterećenja
- od kratkih spojeva u mreži
- od tranzijentne nestabilnosti
- od promjene frekvencije
- od fluksne prepobude
- od preopterećenja pobudnog namotaja i dr.

tranzijentna nestabilnost

prelazna nestabilnost

7.3.3. Zaštita energetskih transformatora

U EES se ugrađuju brojni i raznovrsni energetski transformatori koji postoje u/pored elektrana i u čvorištima prenosnih i distributivnih mreža. Pored toga što su veoma važan element EES-a, oni su i veoma skup i komplikovan uređaj. Zbog toga je neophodno veoma studiozno i odgovorno prići problemu rješavanja njihove kvalitetne zaštite.

Energetske transformatore prvenstveno treba zaštititi od:

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

Najčešći oblici relejne zaštite energetskih transformatora su:

- fazna diferencijalna
- digitalna fazna diferencijalna
- zemljospojna
- od kratkih spojeva u mreži
- od preopterećenja
- termička slika transformatora i dr.

7.3.4. Zaštita od otkaza prekidača

U EES-u, odnosno VNRP, veoma su zastupljeni različiti tipovi visokonaponskih prekidača, čiji pouzdan i siguran rad značajno doprinosi ispunjavanju osnovnih funkcija EES-a.

Najčešći oblici relejne zaštite od otkaza prekidača su:

- udaljene rezervne zaštite
- lokalne rezervne zaštite.

7.3.

| ?

1. Koji su najčešći oblici zaštite elektroenergetskih vodova?
2. Nabroj osnovne oblike relejne zaštite generatora.
3. Na koji način se mogu štititi elektroenergetski vodovi?
4. Od čega i na koji način se štite energetske transformatori?

7.4. Šeme spoja transformatora i vodova sa mjernim i zaštitnim uređajima

Kod crtanja šema spoja i projektovanja VNRP veoma važno je znati, u zavisnosti od vrste posmatranog odvoda, koji od mjernih instrumenata i na kom mjestu se koristi

U **transformatorski odvod**/trafo polje, radi kontrole opterećenja transformatora, obično se postavlja ampermetar samo u jednu fazu.

U posebnim slučajevima mogu se postaviti brojila, kao i vatmetar i varmetar, ako je primarna ili sekundarna strana transformatora mjerodavna za obračun energije, odnosno ako se želi znati ukupno opterećenje ili ukupni utrošak vodova koje napaja transformator (ovo je u praksi dosta rijedak slučaj).

U **odvodu voda**/vodno polje obično se postavljaju sljedeći mjerni instrumenti:

- ampermetar samo u jednu fazu, radi kontrole opterećenja voda
- brojila aktivne i reaktivne energije za mjerenje u jednom ili u oba smjera. Obično se koristi za važnije vodove kada se na njima vrši obračun energije i sl.
- vatmetar i varmetar, samo u važnim vodovima u kojima je radi ispravnog vođenja pogona potrebno poznavati trenutna opterećenja
- voltmetar, ako postoji naponski transformator u odvodu.

U **generatorski odvod** najčešće se postavljaju sljedeći mjerni instrumenti:

- tri ampermetra (u svaku fazu po jedan) za mjerenje struje, da bi se mogla kontrolisati simetričnost opterećenja generatora
- voltmetar s preklopkom, priključen na naponske transformatore spojene između generatorskih priključnica i generatorskog prekidača
- vatmetar i varmetar, koji su priključeni na iste strujne i naponske transformatore kao i ampermetri i voltmetar
- brojilo aktivne a ponekad i reaktivne energije
- ampermetar (i voltmetar) u pobudnom krugu generatora.

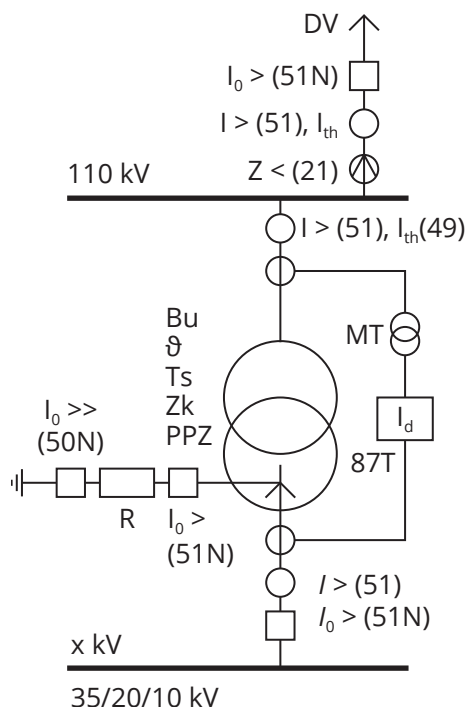
Mjerni instrumenti se postavljaju i u **mjernom polju**:

- voltmetar s preklopkom, za mjerenje linijskih (ili i linijskih i faznih) napona
- uređaj za mjerenje frekvencije
- voltmetar za mjerenje napona nulte tačke prema zemlji, ako postoji mogućnost njegovog priključenja
- uređaj za sinhronizaciju, ako postoji potreba i mogućnost sinhronizacije.

Prva tri navedena uređaja postavljaju se za svaki sistem sabirnica posebno.

Ukoliko postoji **spojno polje**, tada se u njemu postavlja ampermetar u jednu od faza.

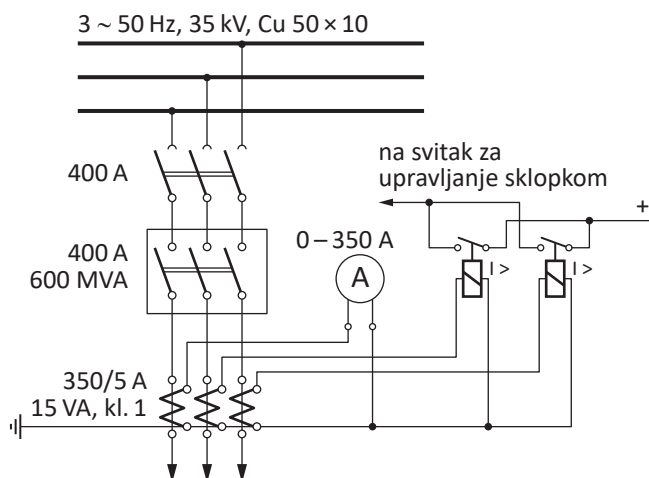
U literaturi je moguće naći veliki broj šema zaštite energetskih transformatora. Primjer uobičajene šeme zaštite energetskih transformatora u TS 110/35 (x) kV dat je na Slici 7.26.



- Distantna zaštita
- Prekostrujna zaštita za višepolne kvarove
- Usmjerenjena prekostrujna zaštita za višepolne kvarove
- Prekostrujna zaštita za jednopolne kvarove
- Usmjerenjena prekostrujna zaštita za jednopolne kvarove
- Diferencijalna zaštita transformatora
- I_{th} Termička zaštita (prekostrujna)
- Bu Buchholz zaštita
- ϑ Termička zaštita transformatora
- Ts Termo slika transformatora
- Zk Zaštita kotla transformatora
- PPZ Protivpožarna zaštita

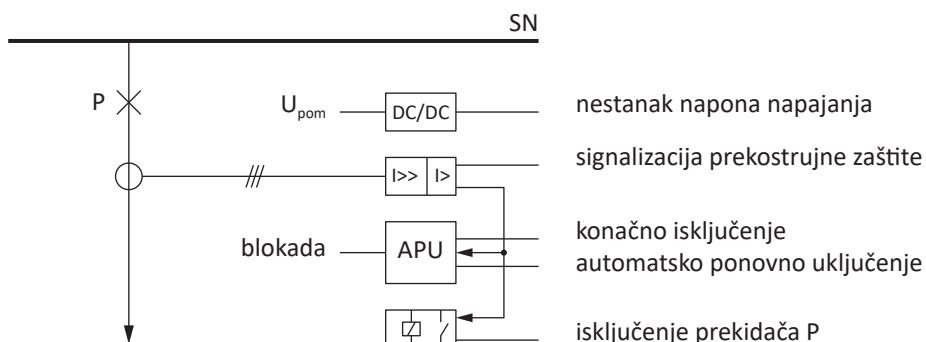
Slika 7.26. Uobičajena šema zaštite u TS 110/35 (20,10) kV

Na Slici 7.27 prikazana je uprošćena trolejna šema spoja vazdušnog voda (priključak odvoda) s vodovima samo za osnovna mjerenja i zaštitu.

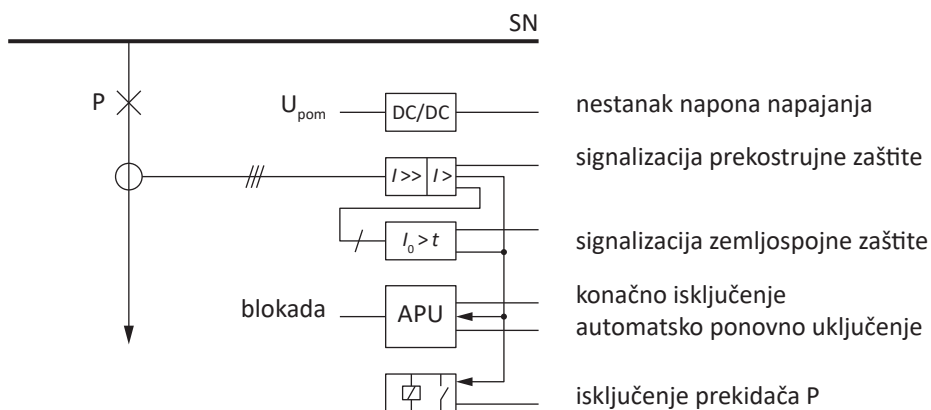


Slika 7.27. Šema odvoda vazdušnog voda s vodovima za mjerenje i zaštitu

Jednopolne šeme zaštite odvoda nadzemnih radijalnih vodova u izolovanoj mreži i u uzemljenoj mreži prikazane su na Slici 7.28 i Slici 7.29.

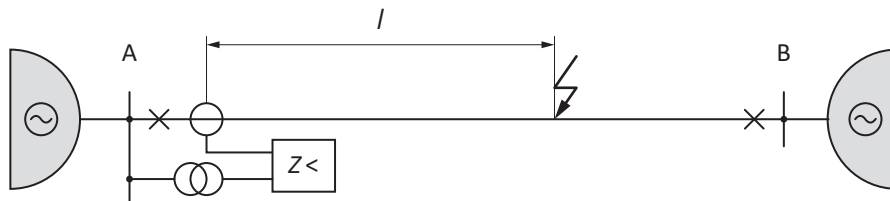


Slika 7.28. Jednopolna šema zaštite odvoda vazdušnog radijalnog voda u izolovanoj mreži



Slika 7.29. Jednopolna šema zaštite odvoda vazdušnog radijalnog voda u uzemljenoj mreži

Jedan od mogućih primjera šeme distantne zaštite visokonaponskih vodova (koja ima određenih prednosti u odnosu na ostale zaštite) prikazan je na Slici 7.30. Ona se uglavnom upotrebljava umjesto prekostrujnih i usmjerenih releja, koji zbog dugog vremena djelovanja nijesu u mogućnosti da selektivno djeluju u složenijim mrežama.



Slika 7.30. Šema priključenja distantne zaštite voda

Distantna zaštita se najčešće primjenjuje u visokonaponskim prenosnim mrežama za zaštitu vodova. Glavni cilj joj je da što prije ukloni kratki spoj koji je nastao u mreži. Distantna zaštita koristi veličinu napona i struje na samom mjestu gdje se ugrađuje distantni relej. Zadatak joj je da isključi prekidač u vodnom polju u kojem je priključena. Zbog brzog isključenja kvarova i bolje selektivnosti, distantne zaštite koje su ugrađene kod visokonaponskih vodova, na oba kraja mogu međusobno djelovati. To djelovanje izvodi se optičkim vodom ili telekomunikacionim vodom.

Kod distantne zaštite vrijeme reagovanja proporcionalno je rastojanju mjesta gdje je nastao kratki spoj i mjesta gdje je ugrađen distantni relej (l).


7.4.



1. Nacrtaj jednopolnu šemu transformatorskog polja sa mjernim i zaštitnim uređajima.
2. Nacrtaj jednopolnu šemu vodnog polja sa mjernim i zaštitnim uređajima.

7.5. Primjer djelovanja zaštite

Poznato je da na pouzdanost isporuke dovoljne količine kvalitetne električne energije, u manjoj ili većoj mjeri, utiče više faktora: oblik mreže, uzemljenje neutralne tačke, vrste kvarova i smetnji i sl. Već je objašnjeno da su najčešći uzroci kvarova: mehanička naprezanja, električna naprezanja izolacije, zaprljanost izolacije, premošćenje ili oštećenja izolacije, kao i termički i hemijski uticaji na izolaciju zbog kojih ona gubi svoja osnovna zaštitna svojstva. Kako je potpuno osiguranje sistema od kvarova nemoguće, u EES se zajedno s osnovnim (primarnim) elementima opreme ugrađuju i dodatni zaštitni uređaji i oprema.



Zaštita EES-a (relejna zaštita) ima zadatak da otkrije poremećaj u sistemu i da ga, zavisno od njegovog karaktera, isključi ili da samo dojavu njegovo postojanje. Bitno je ostvariti djelovanje zaštite u što kraćem vremenu, ograničavajući kvar na što manji dio mreže i na što manje posljedice.

Materijalna šteta prouzrokovana poremećajem zavisi od dužine njegovog trajanja i jačine struje kvara. Pojavom jednog kvara u EES-u dolazi i do drugih kvarova, zato je bitno koja zaštita će se primijeniti. U početku su se ugrađivali elektromehanički i statički releji (elektronski zaštitni uređaji s analognom obradom signala), dok se danas proizvode i ugrađuju uglavnom digitalni, odnosno numerički releji (elektronski zaštitni uređaji s digitalnom obradom signala).

Razvoj i primjena pojedinačnih digitalnih uređaja u elektroenergetskim postrojenjima je relativno novijeg datuma, tj. od vremena kada je mikroračunarska oprema uspješno uvedena u sisteme automatizacije procesa, sistem vođenja pogona u elektranama i sistem daljinskog vođenja pogona EES-a. Sve veći i izraženiji zahtjevi kupaca električne energije za minimalnim brojem prekida i njihovim što kraćim trajanjem, uslovili su potrebu za uvođenjem kvalitetne zaštite.

U narednom tekstu je prikazan jedan od mogućih načina realizovanja zaštite u srednjenaponskom distributivnom sistemu i njegovim elementima.

Diferencijalna zaštita se primjenjuje na više elemenata elektroenergetskog sistema (vodovi, sabirnice, generatori, transformatori i sl.). Zbog svoje rasprostranjenosti i dužine u EES-u, vjerovatnoća nastanka kvara na vodovima je najveća, pa se ona i najčešće izučava, analizira i primjenjuje.



VJEŽBA: Tumačenje šeme djelovanja zaštite na datom primjeru

Cilj zadatka: Učenik/učenika zna da nacrtaj i protumači šemu djelovanja zaštite na datom primjeru.

Nalog: Koristeći stečena znanja samostalno nacrtaj šemu zaštite (sa mjernim i zaštitnim uređajima) i protumači šemu djelovanja zaštite na konkretnom primjeru dobijenom od nastavnika/nastavnice.

Nastavnik/nastavnice formira grupe. Svako od njih daje posebne zadatke: da nacrtaju šemu zaštite sa mjernim i zaštitnim uređajima i da protumače šemu djelovanja zaštite na datom primjeru (Svaka grupa dobija konkretnu šemu i zahtjeve).

Na osnovu rezultata istraživanja, grupe prezentuju svoje zaključke, način crtanja jedne šeme sa mjernim i zaštitnim uređajima i tumače šemu i osnovne principe djelovanja zaštite na datom primjeru.

Rječnik pojmova i izraza

Ć

Ćelija – prostor u VNRP (kod zatvorenih postrojenja) koji zauzimaju uređaji preko kojih se određeni element postrojenja, radi dovođenja ili odvođenja radnih struja, priključuje na sabirnice

D

Dalekovod – element elektroenergetskog sistema koji služi za prenos električne energije. Može biti vazdušni ili kablovski.

Dispozicija – prostorni raspored elemenata razvodnih postrojenja

Distributivna mreža – elektroenergetska mreža srednjeg napona koja služi za prenos električne energije od prenosne mreže do potrošača

Dijagnostika – zaključivanje o mogućim greškama na osnovu posmatranja

E

Energija – sposobnost tijela ili sistema da vrši neki rad.

Električno polje – prostor u kojem električno opterećenje/naelektrisanje djeluje privlačnom (odnosno odbojnom) silom na drugo električno tijelo

Elektromagnetna indukcija – djelovanje magnetnog polja na provodnik kroz koji protiče električna struja

Elektromotorna sila – veličina kojom se izražava rad potreban za razdvajanje nosilaca električnog naelektrisanja u izvoru električne struje

Električni luk – električni proboj gasa, koji rezultira stvaranjem plazme i električnoj provodnosti gasa ili vazduha, koji su u normalnim uslovima izolatori

Električni izolator ili dielektrik – materijal koji pruža vrlo veliki električni otpor prolazu slobodnih elektrona (ili jona)

Energetika – nauka koja se bavi izučavanjem energije, njenih izvora i svega što je sa time u vezi

Elektroprivreda – posebna privredna grana koja se bavi elektroenergetikom i aktivnostima gazdovanja električnom energijom

Električna energija – jedan od oblika energije koji se proizvodi dejstvom elektromagnetnog polja na naelektrisanje

Elektroenergetika – disciplina koja izučava transformacije energije u električnu energiju, njene unutrašnje transformacije, prenos i distribuciju, kao i njene transformacije u upotrebne oblike koje čovjek koristi

Elektroenergetski sistem – tehničko-ekonomski sistem u okviru kojeg se vrše sve elektroenergetske transformacije i električna energija prenosi, distribuira i troši

Elektroenergetske mreže – predstavljaju djelove elektroenergetskog sistema koji obezbjeđuju neprekidno napajanje potrošača električnom energijom, povezujući ga sa proizvođačem

Elektrana – postrojenje u kome se neki od korisnih oblika energije pretvara u električnu energiju

Energetski transformator – transformator koji se koristi za prenos i distribuciju električne energije, odnosno podizanje i spuštavanje napona u procesu prenosa električne energije u okviru jedinstvenog EES-a

Električni mjerni instrumenti – instrumenti koji mjere električne veličine i izmjerenu vrijednost pokazuju položajem kazaljke (analogni instrumenti) ili na displeju (digitalni instrumenti)

Ekologija – nauka koja proučava odnose među živim organizmima, kao i njihov uticaj na okolinu u kojoj žive i uticaj te okoline na njih; bavi se proučavanjem odnosa čovjeka i njegove okoline

G

Generator – obrtna električna mašina koja mehaničku energiju dovedenu na njeno vratilo transformiše u električnu energiju

Galvanska veza – električna veza između pojedinih djelova postrojenja, i to međusobno i između postrojenja i zemlje (uzemljenje)

H

Hidroelektrana – postrojenje koje potencijalnu energiju vode transformiše prvo u kinetičku energiju, zatim kinetičku energiju u energiju pritiska/mehaničku energiju i konačno mehaničku energiju pretvara u električnu energiju

I

Iskrište – uređaj koji se sastoji od dvije metalne elektrode, od kojih je jedna uzemljena (nalazi se na potencijalu zemlje), a druga je vezana na fazni provodnik (ili uređaj koji se štiti). Priključuje se paralelno sa šticeonom izolacijom/objektom.

Impedansa – otpornost/mjera kojom se električno kolo suprotstavlja struji kada se na njega priključi napon

Izolacija opreme – služi da odvoji djelove koji su u normalnom pogonu pod naponom od djelova koji su uzemljeni, ili da razdvoji djelove koji su pod različitim naponima

Ispitivanja visokonaponske opreme i uređaja – obuhvataju sve aktivnosti predviđene za provjeru pogona ili električnog, mehaničkog i toplotnog stanja električne opreme i uređaja (ili čitavog električnog postrojenja), kao i provjeru djelovanja električnih zaštitnih ili sigurnosnih strujnih krugova

K

Komutacija – promjena, izmjena, zamjena; (el) promjena smjera struje pomoću komutatora

Koordinacija izolacije – složeni zadatak usklađivanja broja, mjesta ugradnje i karakteristika odvodnika prenapona i drugih zaštitnih uređaja sa izolacionom čvrstoćom električne opreme

Kvar – svaki lom, deformaciju, oštećenje, prekid, potrošenost i sl.

Kratki spoj – neželjeni električni spoj (dva provodna dijela EES ili provodnog dijela i zemlje preko relativno male impedanse) u kome struja ima znatno veću vrijednost i put drugačiji od onog koji je normalan za dato električno kolo

Kratki spoj transformatora – stanje kvara kod kojeg je na primarnu stranu transformatora priključen napon U_1 , a sekundarne stezaljke su kratko spojene, tj. sekundarni napon je $U_2 = 0$

Korektivno održavanje – vrsta održavanja koja se preduzima tek nakon što je pojedini dio ili cio sistem otkazao, ili je istrošen, ili je nastupio zastoj u radu

Komandovanje – ostvarivanje/realizacija određenih zahtjeva sa ciljem da se promijeni položaj sklopnih aparata, tj. da se oni isključe ili uključe

Klasa tačnosti mjernog instrumenta – procentualna granična relativna greška instrumenta

M

Magnetni fluks ili magnetni tok – fizička veličina koja se može opisati kao broj linija magnetnog polja koje prolaze kroz neku površinu

Mjerenje – postupak kojim se vrši poređenje neke veličine sa drugom veličinom iste prirode, koja je uzeta za jedinicu, a u cilju određivanja veličine koja je predmet ispitivanja

Mjerni transformatori – posebni uređaji koji omogućavaju mjerenja i kontrolu raznih veličina i parametara u okviru VNRP (struja, napona, snaga i sl.). Sadrže primarni namotaj koji se uključuje u mjerni krug, i sekundarni namotaj na koji se priključuju mjerni instrumenti ili zaštitni uređaji

N

Naznačeni napon mreže – konvencionalna vrijednost napona po kojemu je mreža nazvana. To je trajni napon pogonske frekvencije koji ima konstantnu efektivnu vrijednost i trajno je priključen na stezaljke opreme

Najviši napon mreže – najviša vrijednost napona, koja se u normalnim pogonskim uslovima može pojaviti u bilo kom trenutku i u bilo kojoj tački mreže

Napon industrijske učestanosti – efektivna vrijednost napona učestanosti 50 Hz na koju je izolacija trajno priključena

O

Odnos transformacije ili prenosni odnos transformatora – odnos primarnog i sekundarnog napona transformatora koji je jednak odnosu broja navojaka primara i sekundara transformatora

Održavanje – nadgledanje životnog vijeka/vijeka trajanja i rada sistema, odnosno uređaja

Otkaz – prestanak radne sposobnosti sistema da vrši zahtijevanu funkciju u toku eksploatacije sistema i uređaja i njihovih sastavnih dijelova (elemenata)

P

Polje – prostor u VNRP (kod otvorenih postrojenja) koji zauzimaju uređaji preko kojih se određeni element postrojenja, radi dovođenja ili odvođenja radnih struja, priključuje na sabirnice

Prenosna mreža – elektroenergetska mreža visokog napona koja služi za prenos električne energije od elektrane do distributivne mreže

Prazan hod transformatora – pogonsko stanje kod koga je na primarnu stranu priključeno napajanje (izvor), a sekundarne stezaljke su otvorene

Prenaponi – svako povećanje napona između dvije tačke elektroenergetskog sistema, odnosno povećanje razlike potencijala između tačke sistema i zemlje, koje stvara električno polje između njih koje može predstavljati opasnost za štice izolaciju

Profilaktička ispitivanja – sprovode se periodično u toku eksploatacije sa ciljem provjere opšteg stanja opreme i uređaja i utvrđivanja postojanja oštećenja u što ranijem stadijumu, kako bi se izbjegle kasnije ozbiljnije havarije

Preventivno održavanje – održavanje (periodični pregledi – revizije i remont) prilikom kojeg se kvar predviđa i uređaj održava prije nego nastupi kvar

Pouzdanost – vjerovatnoća da će sistem uspješno, bez otkaza, obaviti funkciju/pоставljeni zadatak za koju je namijenjen, unutar određenog razdoblja uz unaprijed određene radne uslove

R

Razvodno (razdjelno, rasklopno) postrojenje – elektroenergetski objekat bez transformacije, s rasklopnom opremom istog naponskog nivoa, koje se nalazi u čvorištu vodova istog napona

Relej – uređaj koji djelovanjem relativno male električne ili mehaničke snage može isključiti, odnosno uključiti veću snagu

Relejna zaštita – skup automatskih uređaja koji služe za zaštitu elemenata elektroenergetskih sistema i neophodni su za njihov normalan i pouzdan rad

Remont – radovi na opremi u svrhu popravke ili zamjene elemenata za čije karakteristike je pregledom, ispitivanjem ili mjerenjem pokazano da odstupaju od uobičajenih vrijednosti

S

Snaga – fizička veličina koja opisuje brzinu obavljanja mehaničkog rada

Stepen iskorišćenja – odnos korisnog i ukupnog rada ili korisne i ukupne snage

T

Transformacija – promjena oblika, stanja, osobina, preobražaj, pretvaranje; (fiz) pretvaranje jednog oblika energije u drugi; pretvaranje električne energije visokog napona u energiju niskog napona i obratno

Transformator – statički električni uređaj koji, koristeći princip elektromagnetne indukcije, prenosi električnu energiju između dva ili više električnih kola

Transformatorsko postrojenje (trafostanica) – elektroenergetski objekat sa transformacijom, koje omogućava povezivanje mreža različitih naponskih nivoa. Posjeduje rasklopnu opremu različitog naponskog nivoa. Nalazi se u čvorištu vodova različitog napona.

Tranzijentni prenapon – prenaponi kratkog trajanja, aperiodični ili oscilatorni jako prigušeni

Termoelektrana – postrojenja koja za proizvodnju električne energije koriste toplotu dobijenu transformacijom iz različitih energetske izvora

U

Uzemljenje – skup sredstava i mjera koje se preduzimaju u cilju obezbjeđenja uslova za normalan rad sistema, bezbjedan rad i kretanje ljudi i životinja u blizini objekata koji mogu doći pod napon u normalnim ili havarijskim situacijama

Uzemljivač – jedan ili više provodnika položenih (horizontalno, vertikalno ili koso) u tlo, čime se ostvaruje neposredan kontakt provodnika i tla

Upravljanje – sve mjere i postupci koji se preduzimaju radi pouzdanog i bezbjednog uspostavljanja ili prekidanja visokonaponskih kola

V

Visokonaponsko razvodno postrojenje – dio jedinstvene cjeline (EES), koji zajedno s elektranama, prenosnim i distributivnim mrežama, u svakom trenutku osigura dopremanje dovoljne količine kvalitetne električne energije od izvora do potrošača

Z

Zemljospoj – jednopolni kratki spoj u mreži sa izolovanim zvjezdlištem

Zemljospojnici – mehanički rasklopni aparati koji služe za spajanje djelova strujnog kola sa zemljom. Sastoje se od noževa za uzemljenje koji su mehanički spregnuti s glavnim noževima linijskog rastavljača, tako da oni ne mogu biti istovremeno uključeni

Zona zaštite gromobranske instalacije – prostor zaštićen gromobranskom instalacijom gdje je vjerovatnoća prodora atmosferskog pražnjenja veoma mala

Zlatna pravila – pravila za rad i manipulacije u elektroenergetskim postrojenjima u beznaponskom stanju

Literatura

1. Bajs D.: Metoda i kriteriji u revitalizaciji elektroenergetske prijenosne mreže, ETF, Split, 2007.
2. Behić Š.: Distributivno električno postrojenje sa vakuumskim prekidačima, ETF, Sarajevo, 2014.
3. Ćirić R., Mandić S.: Održavanje elektroenergetske opreme, AGM, Beograd, 2015.
4. Delivering Energy and Climate Solutions (EWEA, 2016, Annual Report)
5. Dotlić G.: Elektroenergetika kroz standarde, zakone, pravilnike i tehničke preporuke, SMEITS, Beograd, 2006.
6. Đurić M.: Visokonaponska postrojenja, Beopres štampa, Beograd, 2009.
7. International Energy Outlook 2017, US Energy Information Administration, DOE/EIA-0484(2017), 14. September 2017., Washington, USA
8. Janković D., Matić A., Radivojević M.: Elementi elektroenergetskih postrojenja, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2004.
9. Jovanović J.: Proizvodnja i prenos električne energije, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2004.
10. Majdančić F.: Uzemljivači i sustavi uzemljeja, Elektrotehnički fakultet, Osijek, 2004.
11. Meštrović K.: Dijagnostika i monitoring visokonaponskih prekidača, ETF, Zagreb, 2011.
12. Meštrović K.: Tipska, rutinska i terenska ispitivanja visokonaponskih prekidača, ETF, Zagreb, 2011.
13. Milovanović Z.: Program ispitivanja i puštanja u rad elektroopreme, Tuzla, 1988.
14. Nahman J., Mijailović V., Salamon D.: Razvodna postrojenja – zbirka rešenih zadataka sa priložima, Akademska misao, Beograd, 2012.
15. Nahman J., Mijailović V.: Razvodna postrojenja, Elektrotehnički fakultet, Akademska misao, Beograd, 2005.
16. Nahman J.: Visokonaponska postrojenja, Beopres, Beograd, 2000.
17. Odbor direktora EPCG AD: Pravila za funkcionisanje distributivnog sistema električne energije, Nikšić, 2012.
18. Odbor direktora CGES AD: Pravila za funkcionisanje prenosnog sistema električne energije, Podgorica, 2011.

19. Popović M.: Razvodna postrojenja i elektrane, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2000.
20. Požar H.: Visokonaponska rasklopna postrojenja, Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.
21. Požar H.: Osnove energetike I, II, III, Školska knjiga, Zagreb, 1992.
22. Pravilnik o održavanju elektroenergetskih objekata Crnogorskog elektroenergetskog sistema, CGES, Podgorica, 2017.
23. Pravilnik o postupku i rokovima za vršenje periodičnih pregleda i ispitivanja sredstava za rad, sredstava i opreme lične zaštite na radu i uslova radne sredine, Sl.list RCG, br.71/05, 2005.
24. Prelec Z.: Inženjerstvo zaštite okoliša, Izvori energije, Utjecaj energetike na okoliš, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, 2006.
25. Radetić R.: Priručnik za održavanje visokonapnske opreme, Javno preduzeće Elektromreža Srbije, Beograd, 2017.
26. Radosavljević P.: Dijagnostička ispitivanja savremenih SF& prekidača u prenosnoj mreži Srbije, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2013.
27. Savić M., Stojković Z.: Tehnika visokog napona, Atmosferski prenaponi, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1996.
28. Savić M.: Visokonaponski rasklopni aparati, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2004.
29. Sinjeri T.: Nove mogućnosti pri vođenju pogona i ugađanja zaštite distribucijskog sustava, Magistarski rad, ETF Zagreb, 2011.
30. Škuletić S.: Elektrane, Univerzitet Crne Gore – ETF, Podgorica, 2006.
31. Škuletić S.: Osnovi elektroenergetike, Univerzitet Crne Gore – Elektrotehnički fakultet, Podgorica, 2006.
32. Škuletić S.: Proizvodnja električne energije, ZUNS, Podgorica, 2018.
33. Škuletić S.: Tehnika visokog napona, Izvodi iz teorije sa primjenom, Elektrotehnički fakultet, Titograd, 1989.
34. The State of Renewable Energies in Europe, Edition 2014, 14th EurObservER Report, Paris, France, 2014.
35. US Department of Energy, Energy Information Administration, Annual Energy Review, 2000–2016.
36. World Energy Outlook Special Report, International Energy Agency, Paris, France, 19. October 2017.
37. Zakon o energetici, Skupština Crne Gore, Podgorica, 2015.

Korisni sajтови:

www.wikipedia.org

www.iea.org

www.eia.gov

www.doe.gov

www.europa.eu.int/comm/dgs/energy

www.oie-res.me

www.epcg.me

www.cges.me

www.cedis.me

<http://www.researchgate.net/publication/283122973>

http://www.dass.com.mk/webcontent/file_library/catalogue-yu.pdf

<http://www.tectra.co.rs/index.php/ispitivanje-energetskih-transformatora.html>

<https://www.tehnikum.edu.rs/predmeti/0007/EE15%20MERENJA.pdf>

<https://repozitorij.unin.hr/islandora/object/unin:1345/preview>

<https://muricmilorad.files.wordpress.com/2011/11/ispitivanje-transformatora.pdf>

<http://mabacic.eios.hr/oo/ks.pdf>

http://old.riteh.hr/nast/obrane/strucni_el/RADOVI

<https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos:1073/preview>

https://bib.irb.hr/datoteka/320962.EMP_2005.pdf

http://www.j-rupert.com/vn_oprema.shtml

https://hr.wikipedia.org/wiki/Planiranje_odr%C5%BEavanja

<http://tectra.hr/visokonaponska-oprema/>

<https://sr.wikipedia.org/sr-el/%D0%A0%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%98>

<https://www.automatika.rs/baza-znanja/teorija-upravljanja/releji.html>

<https://www.zastita.eu/strucni-clanci/primjena-zastitnih-mjera-u-transformatorskim-stanicama-397>

<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17565>

<https://www.tehnikum.edu.rs/predmeti/0007/EE15%20MERENJA.pdf>

<https://muricmilorad.files.wordpress.com/2011/11/merenje-elektricnih-velicina.pdf>





VISOKONAPONSKA
RAZVODNA
POSTROJENJA

ISBN 978-86-303-2298-3



9 788630 322983 >

