



**INTERNACIONALNI UNIVERZITET TRAVNIK U
TRAVNIKU**
**FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA TRAVNIK U
TRAVNIKU**

ZAVRŠNI RAD

**ODABIR PREKIDAČA, RASTAVLJAČA I ODVODNIKA
PRENAPONA U ELEKTROENERGETSKIM
POSTROJENJIMA VISOKOG NAPONA**

Mentor:

Prof. dr. sc. Miladin Jurošević

Student:

Haris Muhić

Travnik, 2019.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ELEKTROENERGETSKO POSTROJENJE	4
2.1 Jednopolne šeme elektroenergetskih postrojenja	5
2.2 Oprema elektroenergetskih postrojenja.....	6
2.2.1 Sabirnice.....	6
2.2.2 Energetski kablovi.....	6
2.2.3 Izolatori	7
2.2.4 Osigurači	8
2.2.5 Energetski transformatori.....	9
2.2.6 Strujni mjerni transformator.....	10
2.2.7 Naponski mjerni transformator	12
2.2.8 Prekidači.....	13
2.2.8.1 Gašenje električnog luka	14
2.2.8.2 Vrste prekidača.....	14
2.2.8.3 Izbor prekidača	23
2.2.9 Rastavljači	26
2.2.9.1 Izbor rastavljača	28
2.2.10 Odvodnici prenapona	29
2.2.10.1 Zaštitna zona odvodnika prenapona	31
2.2.10.2 Podjela odvodnika prenapona.....	31
2.2.10.2.1 „Klasični“ ventilni odvodnik prenapona.....	32
2.2.10.2.2 Metaloksidni odvodnici prenapona.....	33
2.2.10.2.2.1 Izbor metaloksidnih odvodnika prenapona	36
3. ZAKLJUČAK.....	49

LITERATURA **51**

PRILOZI..... **52**

1. UVOD

Uzevši u obzir da smo sudionici jedne savremene ere, neminovno je da je energija¹ osnovni preduslov razvoja. Neke civilizacije² su nastajale, opstajale, ali i propadale u zavisnosti od toga kojom količinom energije su raspolagale. Društvene promjene utjecale su na brzinu razvoja, bez obzira da li su ga usporavale ili ubrzavale. Što li zbog utjecaja okoline, što li zbog neke navike i potrebe, ljudi su postali, takoreći, ovisnici o vrsti energije za koju je općeprihvaćena konvencija da je to ono što se proizvodi u elektranama, prijenosi dalekovodima³ i distribuiše do potrošača gdje se koristi za rad kućnih aparata, kancelarijske opreme, industrijskih mašina i omogućava dovoljno energije, kako za kućno, tako i za komercijalno osvjetljenje, grijanje, industrijske procese itd. Riječ je, naravno, o električnoj energiji.

Posmatravši „stanje na terenu“, porast potrošnje električne energije zahtijeva izgradnju velikih elektrana i velikih prijenosnih mreža⁴ visokog napona⁵ koje prekrivaju velika prostranstva i povezuju susjedne sisteme, ali i velika potrošačka područja. Iz tog razloga, nemoguće je ostvariti razgranavanje struje i njenu transformaciju bez posebnih postrojenja. Ovaj složeni zadatak preuzimaju ona postrojenja u kojima postoje aparati za uklapanje i isklapanje, transformatori, uređaji za zaštitu transformatora i vodova, uređaji za mjerjenje radi kontrole pogona i obračuna energije, te uređaji za upravljanje sklopnim aparatima i za signalizaciju stanja pojedinih aparata. Riječ je o elektroenergetskim objektima i postrojenjima.

¹Energija je sposobnost tijela da vrši rad, a isto tako se može reći da su rad i energija ekvivalentni pojmovi, iako obim i sadržaj te dvije riječi nije sasvim identičan. U biti, promjena energije jednak je izvršenom radu, pa se stoga i izražavaju istom mjernom jedinicom džul [J] u čast engleskog fizičara Jamesa Prescotta Joulea. Vršenje rada se može manifestovati na mnogo načina: kao promjena položaja, brzine, temperature i drugo. [Izvor: <https://bs.wikipedia.org/wiki/Energija> (Preuzeto: 04.07.2019. 22:16h)]

²Pojam civilizacija su uveli francuski prosvjetitelji u 18. stoljeću kao antitezu neprosvijećenog doba feudalizma. U prvobitnom značenju, pojam se vezuje uz nauku i napredak. Korijen riječi obuhvata grad (lat. civis) ili gradnju. Blisko pojmu civilizacija je i kultura (lat. obrađivanje zemljista). Početkom 19. stoljeća postaje sinonim za najviši stepen razvoja materijalne i duhovne kulture, a u 20. Stoljeću, pod utjecajem sociološko-antropoloških istraživanja, počinje se govoriti o posebnim civilizacijama (predistorijska, plemenska, antička, helenska, stara meksička civilizacija i druge). [Izvor: <https://bs.wikipedia.org/wiki/Civilizacija> (Preuzeto: 04.07.2019. 22:18h)]

³Dalekovod je elektroenergetski nadzemni vod (slobodni vod, zračni vod) naizmjenične ili istosmrjerne struje visokog električnog napona koji služi za prijenos električne energije, bilo velikih snaga, bilo na velike udaljenosti ili oboje. Električna energija prijenosi se neizoliranim vodičima koji se, zbog opasnosti od visokog napona za okolinu, postavljaju visoko iznad zemlje. [Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Dalekovod> (Preuzeto: 04.07.2019. 22:20h)]

⁴Prijenosna mreža je mreža koja služi za prijenos električne energije od izvora do većih potrošačkih centara, tj. za povezivanje pojedinih energetskih čvorista, a i povezivanje sa mrežama susjednih država. [Izvor: Elektroenergetska postrojenja u praksi-priučnik-skripta namijenja dežurnim električarima u EE objektima OP Sarajevo-Mr. Emir Fočo, dipl. ing. el.-Sarajevo, april 2016.]

⁵Električni napon U je fizikalna veličina koja se koristi u elektrotehnici, a predstavlja razliku električnog potencijala između dvije tačke.

[Izvor: https://bs.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_napon (Preuzeto: 04.07.2019. 22:21h)]

Elektroenergetski objekti (EEO) su dijelovi elektroenergetskog sistema⁶. Pod njima se podrazumijevaju građevinsko-elektromontažne cjeline koje služe za proizvodnju, prijenos, distribuciju ili potrošnju električne energije (elektrana⁷, dalekovod-DV, transformatorska stanica-TS, razvodno postrojenje-RP itd.). U praksi se često razvodno postrojenje naziva skraćeno postrojenje, ali se ponekad i za objekte TS i RP koristi zajednički naziv postrojenje. RP najviših naponskih nivoa zahtijevaju velike izolacione i sigurnosne razmake pa se najčešće izvode na otvorenom prostoru. Izuzetak su postrojenja u takozvanoj GIS⁸ izvedbi (SF_6)⁹. Ovakva postrojenja su veoma kompaktna, pouzdana, ali i veoma skupa. Prihvatljiva su, naprimjer, za jako zagađene sredine, gradska jezgra itd. RP nižih naponskih nivoa su zatvorena, dok RP za srednje napone mogu biti, kako na otvorenom, tako i u zatvorenom prostoru. Ovdje ne postoji stroga granica, a izvedba dosta zavisi od raspoloživog prostora, zagađenosti sredine i drugih faktora.

Sastavni dio svake TS/RP je i oprema za mjerjenje električne energije, za zaštitu elemenata elektroenergetskog sistema, za nadzor i upravljanje, sopstvenu potrošnju i slično tome. Unutar jednog objekta, svi ovi sistemi, kao i ostali potrošači (osvjetljenje, grijanje i ostali električni potrošači), zahtijevaju svoje napajanje koje se ovdje naziva sopstvenom ili kućnom potrošnjom. Sve ovo su onda posebne oblasti koje su zastupljene u okviru jednog objekta (transformatorska stanica i razvodno postrojenje). Naravno, osnova svega je *visokonaponska oprema (VNO)* u objektima (TS/RP) na kojoj se zasniva prijenos i upravljanje tokovima električne energije. Ona se naziva još i *primarnom opremom*. Zajedničko za svu primarnu opremu je izloženost raznim vrstama naprezanja¹⁰ kao što su: električna, mehanička, termička, ambijentni uslovi i drugo. Veoma važan faktor u ovome je i vrijeme korištenja ili skladištenja, odnosno starost opreme.

U okviru ovog rada, što zahtijeva i sama tema, pisat će se ponajviše o nekim elementima elektroenergetskim postrojenja, tačnije o izboru prekidača, rastavljača i odvodnika prenapona. Uz njih, koncept rada uključuje i standardni opis

⁶Elektroenergetski sistem (EES) predstavlja tehnički sistem za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije. Sastoje se od elektrana, dalekovoda, kablova i transformatorskih stanica/razvodnih postrojenja. Sastavni su dijelovi i: nadzor, upravljanje, mjerjenje, planiranje i drugo, sa svim svojim segmentima. [Izvor: Priručnik za održavanje visokonaponske opreme, za internu upotrebu-Dr. Radoje Radetić, dip. ing. el.-Bor, 2017.]

⁷Elektrana je skup građevinskih, mašinskih i električnih postrojenja u kojim se energija energetskog izvora pretvara u električnu energiju. [Izvor: Elektroenergetska postrojenja za III i IV razred srednjeg usmjerjenog obrazovanja elektrotehničke struke-Rajko Misita, dipl. ing.-Izdavačko knjižarsko trgovinsko preduzeće „Sarajevo“-Sarajevo]

⁸GIS-gasom izolovana postrojenja- SF_6 postrojenja

⁹Sumporov heksafluorid je anorganski spoj, formule SF_6 . Ovaj spoj je gas pri standardnim uslovima. SF_6 ima oktaedralni geometrijski raspored koji se sastoji od šest fluorovih atoma povezanih sa srednjim sumporovim atomom. U pitanju je gas koji je bez boje i mirisa, nezapaljiv i netoksičan. Tipično za nepolarni gas, loše se otapa u vodi, ali je topiv u nepolarnim organskim otapalima. Obično se transportuje kao ukapljeni komprimirani gas.

[Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Sumporov_heksafluorid (Preuzeto: 04.07.2019. 22:31h)]

¹⁰Naprezanje je unutrašnja sila raspodijeljena po jedinici površine nekog čvrstog tijela koja se javlja kao reakcija na djelovanje vanjskih sila ili promjene temperature tijela.

[Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Naprezanje> (Preuzeto: 04.07.2019. 22:33h)]

elektroenergetskog postrojenja, njegove jednopolne šeme i standardnu opremu postrojenja.

NAPOMENA: Literatura korištena za izradu ovog završnog rada bit će priložena na kraju!

2. ELEKTROENERGETSKO POSTROJENJE

Elektroenergetska postrojenja se, s obzirom na naponsku razinu i podnosive ispitne udarne napone, dijele na sljedeće:

- *Postrojenja srednjeg napona* $1[kV] < U_m < 52[kV]$ (naponski opseg A),
- *Postrojenja visokog napona* $52[kV] \leq U_m \leq 300[kV]$ (naponski opseg B),
- *Postrojenja visokog napona* $U_m \geq 300[kV]$ (naponski opseg C)

Izolaciju naponskih opsega A i B karakteriše nazivni podnosivi atmosferski udarni napon talasnog oblika $1.2/50[\mu s]$, a naponski opseg C nazivni podnosivi sklopni udarni napon talasnog oblika $250/2500[\mu s]$. Treba napomenuti da IEC 61936-1 iz 2010. god. razlikuje samo dva naponska opsega u zavisnosti od podnosivih udarnih ispitnih napona i to:

- Naponski opseg I $1[kV] < U_m < 245[kV]$
- Naponski opseg II $U_m > 245[kV]$

S obzirom na mjesto ugradnje, elektroenergetska postrojenja mogu se podijeliti na:

- *Vanjska otvorena elektroenergetska postrojenja*-uglavnom, ali ne isključivo, za napone $\geq 110[kV]$,
- *Unutarnja elektroenergetska postrojenja*-uglavnom, ali ne isključivo za napone $\leq 35[kV]$, otvorene izvedbe ili s tvornički dogotovljenim i tipski ispitanim zatvorenim sklopnim uređajima

S obzirom na izvedbu, elektroenergetska postrojenja mogu da se podijele u tri grupe:

- *Zrakom izolovana postrojenja* (uobičajena engl. skraćenica AIS);
- *Oklopljena, gasom SF₆ izolovana postrojenja* (uobičajena engl. skraćenica GIS);
- *Hibridna postrojenja*-kombinacija gore navedenih postrojenja (uobičajena engl. skraćenica MTS)

Kao posebnu grupu postrojenja mogu se navesti distributivne stanice:

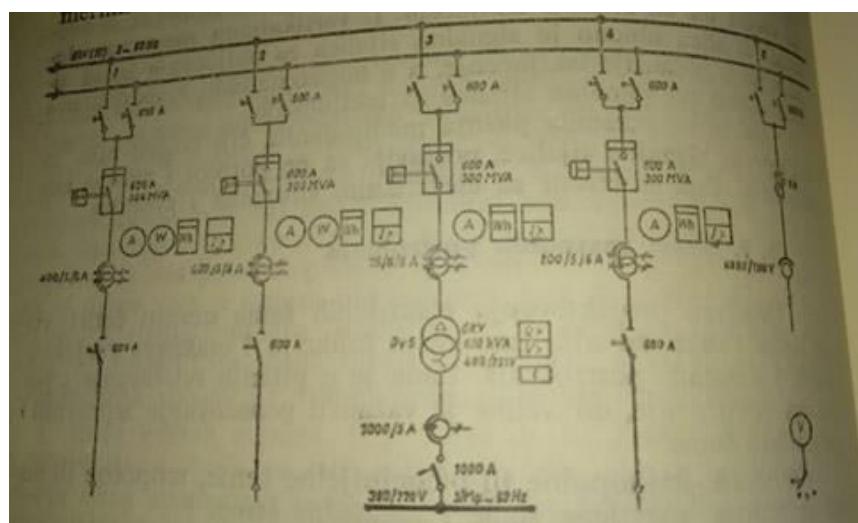
- Tvornički izrađene transformatorske stanice $10(20)/0.4[kV]$ s kablovskim priključcima obje naponske razine, snage do $2000[kVA]$,
- Stubne transformatorske stanice $10(20)/0.4[kV]$ sa zračnim priključcima, snage do $250(400)[kVA]$

Sva postrojenja moraju zadovoljavati minimalne normirane razmake prema pregradama, zgradi i ogradi, visine iznad pristupačnih površina, te izolacione razmake između dijelova pod naponom i prema zemlji. Korisnik po potrebi može propisati veće vrijednosti.

2.1 Jednopolne šeme elektroenergetskih postrojenja

Za razradu razvodnih postrojenja, jednopolna šema služi kao polazna šema. Ona daje opštu predstavu o postrojenju, daje podatke o broju sabirnica, o načinu priključivanja aparata i mašina, o broju vodova, broju dovoda i slično. Pored toga, ona daje podatak o usvojenim elementima u razvodnom postrojenju. Pored oznake za aparate i uređaje, u nju se unose i osnovni podaci o njima. Na šemu se unose i instrumenti, zaštita itd.

Obično su releji i instrumenti grupisani onako kako su raspoređeni na komandnoj tabli, ormaru itd. Pored toga, na jednopolnoj šemi se unose i simboli u vidu slova i broja koji se obično zaokruži. Pod ovim simbolom se u ostalim šemama traže elementi ili kontakti tog aparata. Zbog nedostatka propisa na ovom polju, postoje razni načini crtanja šema i unošenja podataka, mada su svi međusobno slični.



Slika 1. Jednopolna šema postrojenja sa duplim sabirnicama, s dva voda i jednim odvodom, transformatorom i naponskim mjernim transformatorom¹¹

Prvi dovodni vod dolazi preko rastavljača $600[A]$, preko strujnog transformatora sa dva jezgra, preko prekidača $600[A]$, snage isključenja $300[MVA]$ i preko dva rastavljača od $600[A]$. Vezan je za dvostruku sabirnicu postrojenja. Na vodu se vrši mjerjenje struje, snage i električne energije, a postoji i prekostrujna zaštita. Pošto postoji i mjerjenje i zaštita, strujni transformator je sa dva jezgra (što se vidi iz njegovog simbola) i iz odnosa preobražaja $(400/5/5)[A]$.

Na isti način se može, čitanjem podataka o ostalim kolima ovog postrojenja, dobiti kompletan slike o ovom postrojenju.

¹¹[Izvor: Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.]

2.2 Oprema elektroenergetskih postrojenja

2.2.1 Sabirnice

Sabirnice su kičma postrojenja. Svi dalekovodi, dakle i nadzemni vodovi i kablovski odvodi, koji postrojenje povezuju sa susjednim postrojenjima i potrošačima, spojeni su na sabirnice. Važnost sabirnica najbolje pokazuje činjenica da u postrojenju redovno ima jedan, a nekad i više sistema sabirnica u rezervi. Izvode se od Al-Če užadi za spoljna postrojenja ili neizolovanih aluminijskih i bakrenih vodiča za unutrašnja postrojenja, napona do 35kV okruglog, pljosnatog ili U-profil oblika.

Osim tri fazna provodnika, u sklopu sabirnica, nalaze se viseći ili potporni izolatori, strujni mostovi, poduzni rastavljači itd., pa se tako govori o sistemu sabirnica. Na ovom mjestu treba spomenuti i razne vrste veznih elemenata prema sabirnicama kao što su poprečne veze, strujni mostovi, polumostovi, spustovi itd. Njihova uloga u postrojenju je očigledna. Za indikaciju napona na sabirnicama postavlja se odgovarajući naponski mjerni transformator (u srednjoj fazi) i smješten je obično na jednom od krajeva sabirnica.

Normalno se sabirnice dimenzionišu tako da se prvo odredi presjek prema maksimalnoj struji u normalnom pogonu, a potom se tako odabrani presjek kontroliše na dinamička i termička naprezanja. Prema položaju u razvodnom postrojenju, sabirnice se mogu podijeliti na glavne i pomoćne.



Slika 2. Postrojenje 110[kV] sa dva sistema glavnih sabirnica¹²

2.2.2 Energetski kablovi

Kablovi su provodnici koji su električno izolovani i smješteni u zajednički omotač zbog zaštite od spoljašnjih utjecaja (vlaga, mehanička oštećenja, korozija). Zavisno od sredine u kojoj će kabal biti položen (u zemlju, cijevi, beton, vodu, kanale, u zraku na otvorenom, u prostorijama) i naznačenog napona, razlikuju se:

- Vrsta upotrijebljene izolacije,

¹²[Izvor: PRIRUČNIK ZA ODRŽAVANJE VISOKONAPONSKE OPREME-za internu upotrebu-Dr. Radoje Radetić-Bor 2017.]

- Mehanička zaštita,
- Ostali elementi konstrukcije

Prema broju provodnika, kablovi mogu biti:

- Jednožilni (koriste se za visoke i vrlo visoke napone),
- Trožilni (za srednje i visoke napone),
- Četverožilni (za niski napon)

Zavisno od naponskog nivoa, kablovi se dijele na:

- Standardizovane kablove naznačenog napona $U_{ns} \leq 60[kV]$,
- Specijalne kablove naznačenog napona $U_{ns} > 60[kV]$

2.2.3 Izolatori

Izolatori su jedni od glavnih elemenata postrojenja i nadzemne mreže elektroenergetskih vodova koji služe da omoguće fizičko odvajanje provodnika i stuba i istovremeno omogućavaju montažu provodnika na stub. Izolator, kao element elektroenergetskog postrojenja, ima sljedeće funkcije:

- Međusobno električno odvajanje vodova pod naponom,
- Električno odvajanje vodiča od stuba i njegovih uzemljenih dijelova,
- Težinu vodova i dodatnog tereta prenose na stub.

Da bi izolatori odgovarali svojoj namjeni, treba da imaju sljedeća svojstva:

- Visoku izolacionu moć što se postiže na taj način da se apsorpcija vode onemogući,
- Veliku mehaničku čvrstoću, jer su opterećeni silama uslijed zatezanja provodnika. To se postiže pravilnim izborom strukture materijala od kog se izrađuju,
- Otpornost na sve hemijske utjecaje, a u tu svrhu se površina poluprovodničkih izolatora prevlači glazurom, tako da se vlaga, prašina, so i hemijski gasovi lijepe lahko uz njih. Glazura treba da je glatka, tvrda, bez pukotina i otporna na hemijske utjecaje. Osim toga, spoj glazure s porculanskim tijelom mora biti homogen,
- Neosjetljivost na iznenadne promjene iznenadne temperature okoline kojima su elektroenergetski vodovi izloženi

Razlikuju se izolatori za:

- Niski napon,
- Srednji napon,
- Visoki napon

Prema namjeni, izolatori se mogu podijeliti na:

- Potporni,

- Provodni,
- Viseći

Prema mjestu ugradnje, izolatori se dijele na izolatore za:

- Unutrašnju montažu,
- Vanjsku montažu

Izolatore, prema izolacionom materijalu, moguće je podijeliti na:

- Porculanski,
- Stakleni,
- Hibridni
- Kompozitni (silikonski)

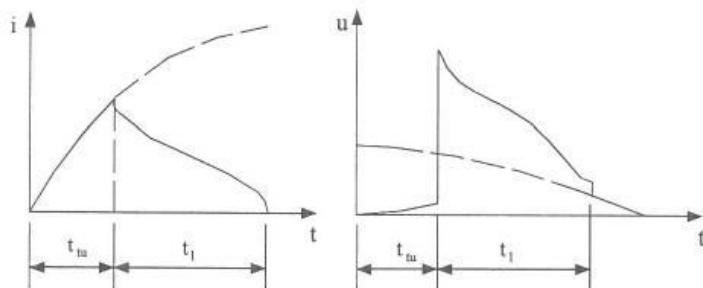
Podjela izolatora može se izvršiti i prema obliku izvedbe gdje se izolatori dijele na:

- Provodni,
- Ovjesni (kapasti, štapni, masivni)

2.2.4 Osigurači

Zaštita elemenata od kratkog spoja je glavna uloga osigurača. Pored toga, mogu da služe i za zaštitu od preopterećenja. U tom slučaju, njihove karakteristike moraju da budu usaglašene sa karakteristikama elemenata koje štite. Mogu zamijeniti prekidače s tim da budu u kombinaciji sa rastavnim sklopkama. Tada osigurač prekida struje kratkog spoja, a rastavna sklopka-radne struje.

Svojim pregorijevanjem, osigurač prekida strujno kolo. Ovo se obavlja vrlo efikasno i to sa vremenom koje je znatno kraće od vremena prekidanja prekidačem. Nedostatak je jednostavan kriterijum djelovanja, jer osigurač djeluje isključivo na osnovu vrijednosti struje, a prekidač po nalogu zaštitnih uređaja koji obezbjeđuju selektivnost. Sljedeća negativna osobina je mogućnost javljanja prenapona pri prekidanju induktivnih struja, pošto je brzina uspostavljanja prenapona velika.



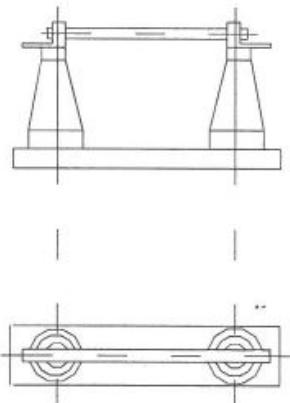
Slika 3. Vremenska zavisnost struje i napona osigurača prije i poslije pregorijevanja¹³

Gdje su:

t_{uu} - vrijeme pregorijevanja topljivog umetka

¹³[Izvor: Razvodna postrojenja-Prof. dr. Jovan Nahmna, Dr. Vladica Mijailović-Akadembska misao, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2005.]

t_1 - vrijeme trajanja luka



Slika 4. Spoljašnji izgled osigurača¹⁴

2.2.5 Energetski transformatori

Transformator je mirujući elektromagnetni uređaj koji na principu elektromagnete indukcije pretvara sistem izmjeničnog napona u drugi ili više drugih sistema napona iste frekvencije. Obično imaju dva odvojena namota, primarni i sekundarni, od kojih prvi prima električnu energiju iz generatora ili električne mreže, induktivno je prenosi na sekundarni namot i predaje priključenom trošilu ili mreži. Najčešća upotreba transformatora je u elektroenergetskom sistemu kod prijenosa i distribucije električne energije. Transformatori korišteni u elektroenergetskom sistemu za prijenos i distribuciju električne energije nazivaju se energetski transformatori (transformatori snage).

Transformatori se dijele na:

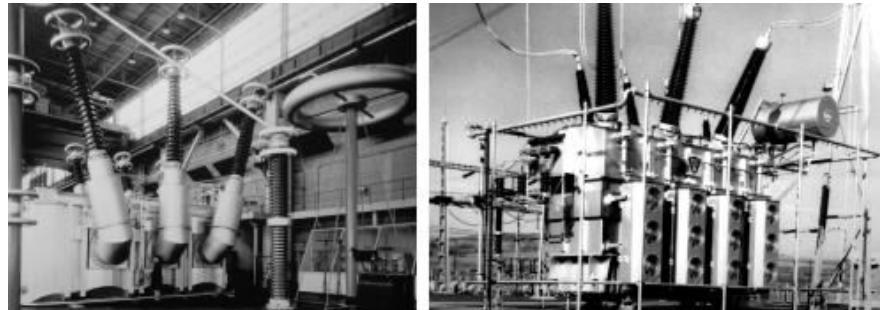
- *Generatorske ili blok transformatore*-koriste se u elektranama za spajanje generatora i visokonaponske mreže
- *Mrežne transformatore*-transformišu napon visokonaponske mreže npr. $400[kV]$, $220[kV]$ ili $110[kV]$ u napon distribucijske mreže $30[kV]$ ili $35[kV]$. Mogu biti tronamotajni transformatori, autotransformatori i regulacijski transformatori
- *Distribucijski transformatori*-izvode se za napon od $35[kV]$ i niže. Izrađuju se kao dvonamotajni i tronamotajni

Prema vrsti izolacije, energetski transformatori se dijele na sljedeće:

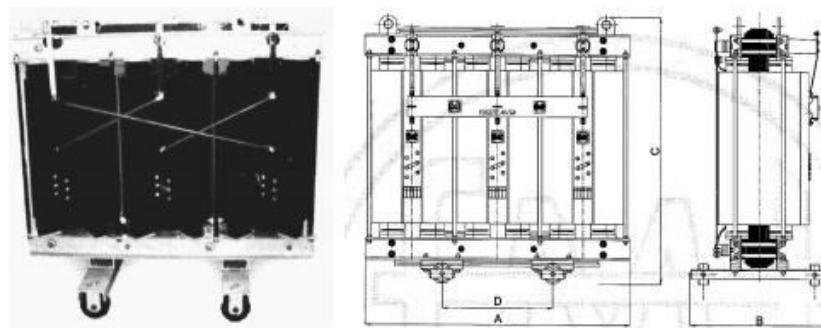
- *Uljni transformatori*-čine preko 95% instalisane snage u elektroenergetskom sistemu zbog niske cijene i velike pouzdanosti, a proizvode se za sve napone ($0.4\text{--}1000[kV]$) i sve snage ($50[kVA]$ do nekoliko stotina [MVA])

¹⁴[Izvor: Razvodna postrojenja-Prof. dr. Jovan Nahmna, Dr. Vladica Mijailović-Akademска misao, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2005.]

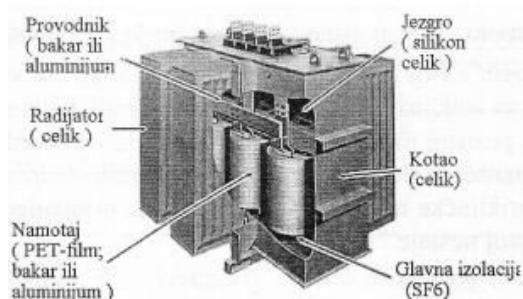
- *Suhi transformatori*-koriste se tamo gdje je prostor deficitaran i gdje prijeti opasnost od požara (rudnici, metro itd.). Kao izolaciju koriste epoksidne smole, a proizvode se za napone od $0.4[kV]$ do $35[kV]$
- *SF_6 transformatori*-u upotrebi su posljednjih godina, a koriste se za sve napone



Slika 5. Uljni trofazni transformatori snage $100[MVA]$ i napona $400[kV]$ ¹⁵



Slika 6. Suhi transformator snage $1000[kVA]$ napona $10[kV]$ ¹⁶



Slika 7. Transformator sa gasom SF_6 kao izolacijom¹⁷

2.2.6 Strujni mjerni transformator

Strujni transformatori služe da transformišu struju od vrijednosti koja protiče kroz vod, generator ili transformator na vrijednosti koje omogućavaju upotrebu releja i mernih instrumenata naznačene struje $1[A]$, $2[A]$ ili $5[A]$. U normalnom pogonu, sekundarna struja je proporcionalna primarnoj i približno je sa njom u fazi.

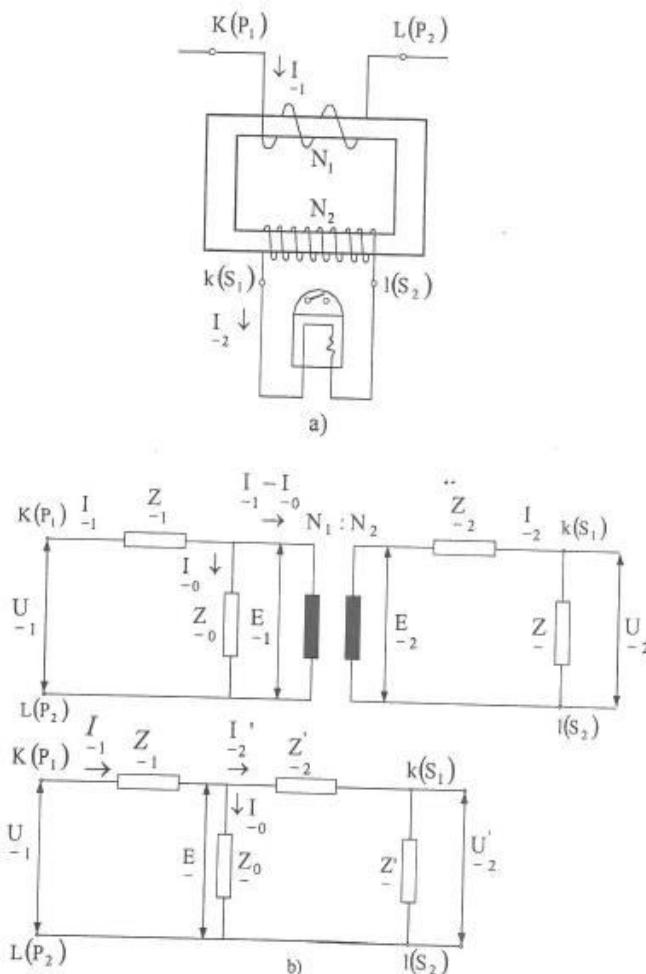
¹⁵[Izvor: <http://ees.etf.bg.ac.rs/predmeti/36/16%20ET.pdf> (Preuzeto: 05.07.2019. 13:46h)]

¹⁶[Izvor: <http://ees.etf.bg.ac.rs/predmeti/36/16%20ET.pdf> (Preuzeto: 05.07.2019. 13:46h)]

¹⁷[Izvor: <http://ees.etf.bg.ac.rs/predmeti/36/16%20ET.pdf> (Preuzeto: 05.07.2019. 13:46h)]

Najčešće su u upotrebi induktivni strujni transformatori. Za mjerjenja na naponskim nivoima $U_{ns} \geq 110[kV]$ koriste se i strujni transformatori bazirani na korištenju optičkih pretvarača.

Induktivni strujni transformator se sastoji od primarnog i sekundarnog namotaja i gvozdenog jezgra od limova. Primarni namotaj je vezan serijski u strujnom kolu, tako da struja kroz taj namotaj ne zavisi od uslova na sekundarnoj strani.



Slika 8. Princip rada (a) i ekvivalentna šema (b) strujnog transformatora¹⁸

Na slici su:

'-sekundarne veličine svedene na primarnu stranu

Z_1, Z_2 -impedanse primarnog i sekundarnog namotaja strujnog transformatora, respektivno

Z_0 -impedansa magnećenja strujnog transformatora

Z -impedansa potrošača na sekundarnoj strani

¹⁸[Izvor: Razvodna postrojenja-Prof. dr. Jovan Nahmna, Dr. Vladica Mijailović-Akademска misao, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2005.]

I_1, I_2, I_0 -struje koje teku kroz primarni i sekundarni namotaj i struja magnećenja, respektivno

N_1, N_2 -broj namota na primarnoj i sekundarnoj strani, respektivno

Pošto je:

$$Z_1, Z_2 \ll Z' \ll Z_0$$

Slijedi da je:

$$E \approx I_1 Z'$$

Prema slici 8. (b), jednačina magnetopobudnih sila strujnog transformatora je:

$$I_1 N_1 - I_2 N_2 = I_0 N_1 \quad (1)$$

Također imamo:

$$I_1 = I_2 + I_0 \quad (2)$$

$$E = I_0 Z_0 = I_2 (Z'_2 + Z') \quad (3)$$

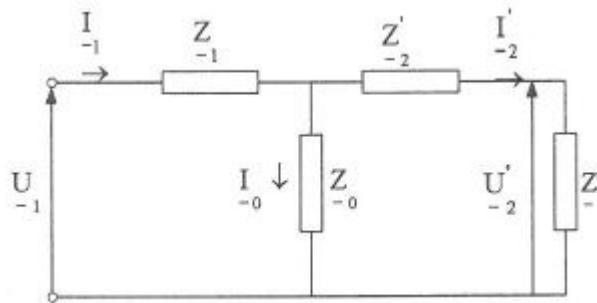
Na osnovu (2) i (3) dobije se:

$$E = I_1 \frac{Z_0 (Z' + Z'_2)}{Z_0 + Z' + Z'_2} \quad (4)$$

2.2.7 Naponski mjerni transformator

Uloga naponskog transformatora je da primarne napone elemenata elektroenergetskog sistema transformiše na vrijednosti koje su u skladu sa naznačenim naponima mjernih i zaštitnih uređaja, te da te uređaje pouzdano odvoji od primarnih napona, zbog bezbjednosti osoblja.

Za napone do 110 kV, upotrebljavaju se induktivni naponski transformatori sa gvozdenim jezgrom na kome se nalaze primarni namotaj i jedan ili više sekundarnih namotaja. Zbog ekonomičnosti, za više napone upotrebljavaju se kapacitivni naponski transformatori, izvedeni kao kombinacija kapacitivnog djelila napona i induktivnog naponskog transformatora.



Slika 9. Ekvivalentna šema induktivnog naponskog transformatora¹⁹

Na slici su:

\underline{Z}_1 -impedansa primarnog namotaja

\underline{Z}'_2 -impedansa sekundarnog namotaja izvedena na primarnu stranu

\underline{Z}_0 -impedansa magnećenja

\underline{Z}' -impedansa potrošača-instrumenata priključenih na sekundarne kazaljke, svedena na primarnu stranu

I_0 -struja magnećenja

Greške naponskog transformatora, posljedica su padova napona na impedansama \underline{Z}_1 i \underline{Z}'_2 koje su povećane ako je struja magnećenja velika. Kod naponskih transformatora je:

$$\underline{Z}_1, \underline{Z}'_2 \ll \underline{Z}_0, \underline{Z}' \quad (5)$$

Iz šeme sa slike 4., dobija se:

$$\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_2} = 1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_0} + \frac{\underline{Z}'_2 + \underline{Z}_1}{\underline{Z}'} + \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}'_2}{\underline{Z}' \underline{Z}_0} \quad (6)$$

Kako se vidi iz izraza (6), odnos napona je toliko bliži 1 ukoliko su impedanse \underline{Z}_1 i \underline{Z}'_2 manje, a impedanse \underline{Z}_0 i \underline{Z}' veće. Niske vrijednosti reaktansi rasipanja, sadržanih u impedansama \underline{Z}_1 i \underline{Z}'_2 , postižu se specijalnim razmještajem namotaja. Naznačena impedansa opterećenja ima velike vrijednosti, jer se definiše tako da transformator radi u blizini praznog hoda. Time se greške transformatora drže u željenim granicama.

2.2.8 Prekidači

Prekidači služe za uklapanje (uključivanje) i isklapanje (isključivanje) strujnih krugova kada kroz njih teku pogonske struje ili struje kratkog spoja. Moraju biti konstruisani tako da bez posljedice podnose sva dinamička i termička naprezanja. Kako kratak spoj ne bi trajao isuviše dugo, od ovih elemenata elektroenergetskih

¹⁹[Izvor: Razvodna postrojenja-Prof. dr. Jovan Nahmna, Dr. Vladica Mijailović-Akademска misao, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2005.]

postrojenja se traži da isključe strujni krug za što kraće vrijeme. Prekidači, koji su modernije konstrukcije, tu operaciju izvrše za manje od 0.1 sekunde od pojave kratkog spoja.

Za prekidanje struja pri visokim naponima ne mogu se koristiti prekidači običnih konstrukcija kao što su niskonaponski prekidači. Kod visokonaponskih prekidača javlja se problem električnog luka. Problem gašenja luka „izazvao“ je pojavu razvjeta raznih tipova prekidača. Stoga, sredstva za gašenje luka su:

- ulje
- voda
- zrak pod pritiskom
- gasovi pod pritiskom

2.2.8.1 *Gašenje električnog luka*

Isklapanje strujnog kola se vrši u prekidaču na mjestu razdvajanja kontakta. Od trenutka razdvajanja kontakta se stvara električni luk koji se održava zbog emisije elektroda iz katode (kontakt). Emisija elektrona je, sa svoje strane, moguća jedino ukoliko je temperatura luka na katodi izrazito visoka. Za održavanje visoke temperature i zagrijavanje luka potrebna je energija. Nju električnom luku dovodi struja iz izvora električne energije. Metalna katoda se zagrijava do usijanja i emituje elektrone koji su sposobni ionizovati jezgru luka u kojoj vlada vrlo visoka temperatura. Molekule u jezgri luka, uslijed visoke temperature, raspadaju se na atome (disocijaciju), a atomi se dalje raspadaju na pozitivne ione i slobodne elektrone (termojonizacija).

Gašenje luka se vrši u dijelu prekidača koji se naziva lučna komora. Težnja za što kraćim vremenom isklapanja je dovela do niza različitih sistema za gašenje luka, što se može podijeliti u dvije grupe, gdje u prvu spadaju oni sistemi koji imaju posebno sredstvo za gašenje luka, a u drugu oni sistemi koji nemaju posebno sredstvo za gašenje električnog luka (ovi prekidači koriste se samo za niske napone).

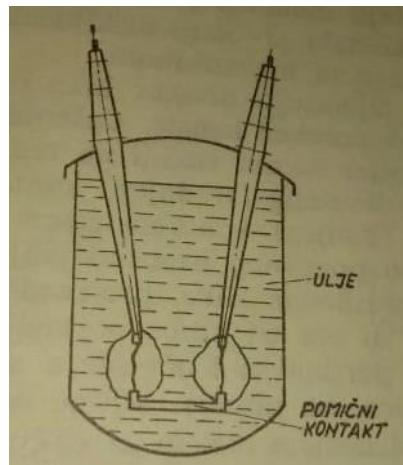
Sredstvo za dejonizaciju može se stvarati na dva načina. Iz tog se razloga razliku dvije vrste prekidača:

- *Prekidači sa zavisnom karakteristikom gašenja*-uslijed toplote se isparavaju tekućine. Na taj se način stvara sredstvo za gašenje. Kako intenzitet isparavanja zavisi isključivo od toplote, a toplota od jačine struje, može se reći da intenzitet gašenja zavisi od jačine struje. U ovu grupu se ubrajaju: uljni prekidači, malouljni prekidači i hidromatski prekidači
- *Prekidači sa nezavisnom karakteristikom gašenja*-intenzitet gašenja ne zavisi od struje koja se prekida, jer sredstvo za gašenje, nezavisno od jačine struje, dolazi iz posebnog izvora izvan prekidača. U ovu grupu spadaju pneumatski prekidači

2.2.8.2 *Vrste prekidača*

I. *Ulnji prekidači*

Uljni prekidači su, u posljednje vrijeme, zamijenjeni drugim tipovima prekidača, ali se još uvijek mogu sresti u nekim starijim postrojenjima.



Slika 10. Uljni prekidač²⁰

Ovi prekidači se sastoje od dva mirna i jednog pokretnog kontakta. Sistem kontakta se nalazi u posudi sa uljem. Poklopac posude ima otvor kroz koji struji zrak prilikom isključivanja. Otvaranjem kontakta, stvara se mjehur od gasova koji se javlja kao posljedica topotnog dejstva električnog luka. Mjehur se širi i potiskuje zrak koji se nalazi iznad površine ulja. Luk se gasi prilikom povećanja pritiska u gasnom mjehuru i uslijed razmicanja kontakta. Mjehur se širi toliko naglo da može izazvati eksploziju. Za više napone, preko $60[kV]$, uljni prekidači se izvode posebno (za svaku fazu po jedan). Pored mogućnosti eksplozije, manja ovih prekidača je što su veoma glomazne konstrukcije i što stvaraju čađ prilikom gašenja luka.

II. Malouljni prekidači

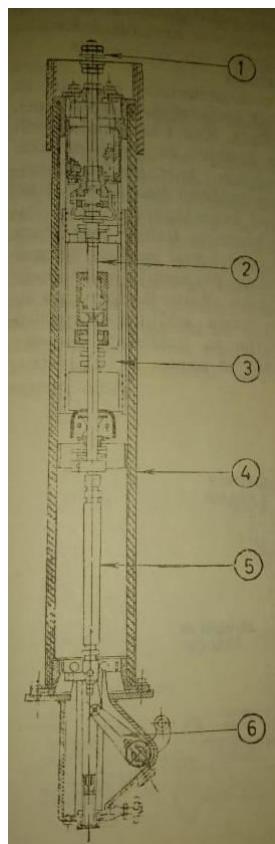


Slika 11. Malouljni prekidač²¹

²⁰[Izvor: Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.]

Za razliku od uljnih prekidača, koji su skoro pa izbačeni iz upotrebe, prekidači sa malo ulja imaju danas veliku primjenu, jer su im otklonjeni mnogi nedostaci. Izrađuju se tako što je svaka faza izvedena sa posebnom komorom za gašenje luka. Pogon za pokretanje je zajednički i dejstvuje istovremenim isključenjem sve tri faze. Rade se za vanjsku i unutrašnju montažu. Oni rade na principu prekidanja strujnog kola na dva mesta sa malim vremenskim zakašnjnjem. Na taj način gasovi, stvoreni jednim prekidom, stvaraju cirkulaciju ulja koje služi za gašenje luka na drugom prekidnom mjestu. Prekidač ima gornji, srednji i donji pomicni kontakt. Sva kontaktna mjesta izrađena su od specijalnog materijala koji je veoma otporan na električni luk.

Prvo prekidanje luka se vrši između gornjeg i srednjeg kontakta. Luk, stvoren ovim prekidanjem, stvara gasove koji vrše pritisak na ulje. Tada dolazi do intezivnog kretanja ulja naniže. Ulje struji kroz specijalne kanale na glavni luk koji se stvara između srednje i donjeg (nepomičnog) kontakta.

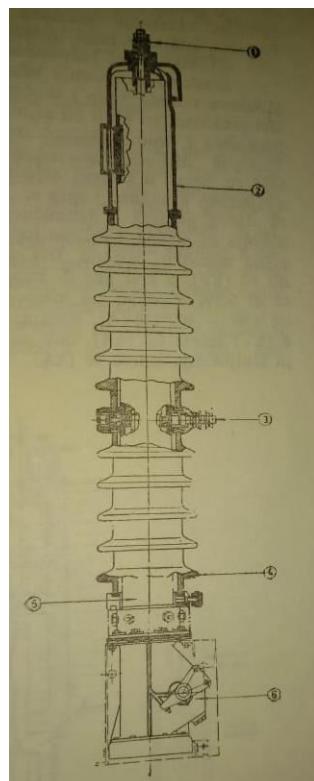


Slika 12. Prikaz jednog pola prekidača sa malo ulja za 35 kV za unutrašnju montažu

- 1) Gornji priključak
- 2) Srednji priključak
- 3) Komore za gašenje luka

²¹[Izvor: Odabir prekidača u elektroenergetskim postrojenjima-završni rad-Domagoj Ivanković-Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, sveučilišni studij-Osijek, septembar 2016.]

- 4) Izolaciona cijev
- 5) Izolaciona poluga
- 6) Glava sa mehanizmom²²



Slika 13. Prikaz jednog pola prekidača sa malo ulja za 35 kV za unutrašnju montažu

- 1) Gornji priključak
- 2) Srednji kontakt
- 3) Donji priključak
- 4) Izolator
- 5) Izolaciona cijev
- 6) Glava sa mehanizmom²³

Prekidač sa slike 13. izведен je tako što su sva tri stuba postavljena na zajedničko postolje. Cijevi su od pertinаксa i za postolje se učvršćuju pomoću metalnih prirubnica. Sa prednje strane ovog postolja nalazi se: pogon sa signalizacijom, kalem za isključenje, pomoćni rele za isključenje itd.

U postolju svakog pola nalazi se polužni mehanizam koji rotaciono kretanje pretvara u pravolinijsko kretanje kontakta. Pomoćne kontakte nose izolacione poluge.

²²[Izvor: Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.]

²³[Izvor: Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.]

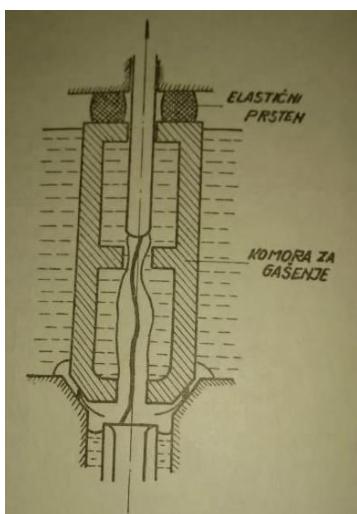
Dejonizaciju prostora luka čine mlazevi ulja, a produkti sagorijevanja se izbacuju kroz posebne kanale. Gašenjem glavnog luka, gasi se i pomoći luk, jer su oni serijski vezani. Hod pokretnog (srednjeg) kontakta potpomaže gašenju, jer se između istog i nepomičnog (donjeg) kontakta stvori toliki razmak da ne može da dođe do ponovnog uspostavljanja luka.

III. Vodenji ili hidromatski prekidači

Kod ovih prekidača, voda sa glikolom $C_2H_4(OH)_2$ (smjesa vode i sredstva protiv smrzavanja i isparavanja) predstavlja sredstvo za gašenje luka. Glikol otežava isparavanje vode i snižava tačku smrzavanja vode, obično do -15°C , odnosno do -20°C . Također, povećava količinu pare za vrijeme trajanja luka što povoljno utječe na gašenje električnog luka. Smjesa destilovane vode i glikola naziva se hidrin ili ekspanzin, pa se prekidači, koji kao sredstvo za gašenje luka upotrebljavaju hidrin (ekspanzin), nazivaju *hidromatski* ili *eksplanzioni prekidači*. Količina ekspanzina veoma je mala i za prekidače do $35[\text{kV}]$ ne prelazi $80[\text{N}]$.

Slično kao kod prekidača sa malo ulja i ovdje je slučaj da svaki pol ima svoju komoru za gašenje luka. Prilikom isključivanja, pokreće se pomicni kontakt. Ovaj kontakt se nalazi u komori zajedno sa nepomičnim kontaktom. Razdvajanjem kontakta, javlja se luk uslijed koga isparava voda. Para stvara pritisak i djelimično podiže komoru. Uslijed toga, para probija sa strane, oduzima toplotu od luka i gasi ga. Luk se gasi poslije nekoliko perioda. Ovi prekidači se primjenjuju za napone do $60[\text{kV}]$. U zavisnosti od visine napona, snaga isključenja varira od $100 - 400[\text{MVA}]$. Struja isključenja za prekidače napona $6[\text{kV}]$ iznosi $6.6[\text{kA}]$, dok za prekidače za napon $35[\text{kV}]$ struja isključenja iznosi $96[\text{kA}]$.

Hidromatski prekidači za napone preko $10[\text{kV}]$ izvode se sa posebnim uređajem za dovođenje vode u komoru za vrijeme isključivanja.

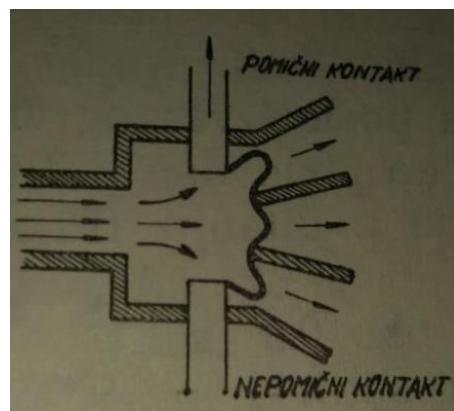


Slika 14. Šematski prikaz rada hidromatskog prekidača²⁴

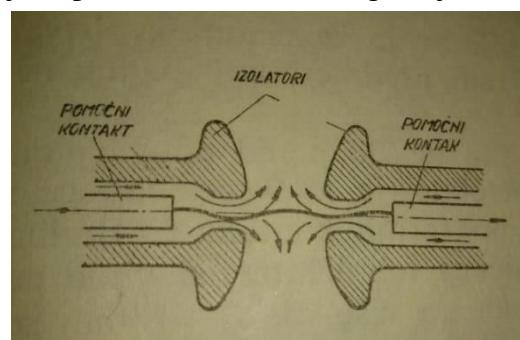
²⁴[Izvor: Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.]

IV. Pneumatski prekidači

Prekidači sa komprimiranim zrakom ili pneumatski prekidači isključuju strujno kolo tako što zrak pod pritiskom struji uzduž ili poprečno na luk i gasi ga. U kompresorima, koji se obično nalaze u zgradama, proizvodi se komprimirani zrak, a zrak se razvodi pomoću cijevi do prekidača. Prekidači se izrađuju za sve napone i snage. Rezervoari za zrak pod pritiskom nalaze se kod samih prekidača, tako da je on uvijek spremjan da se isključi. Kada pritisak u rezervoaru opadne ispod normale, automatski se uključuje kompresor koji ga dopuni potrebnom količinom zraka. Zaptivenim kanalima se zrak iz rezervoara dovodi do komora za gašenje luka koje mogu imati različit oblik.



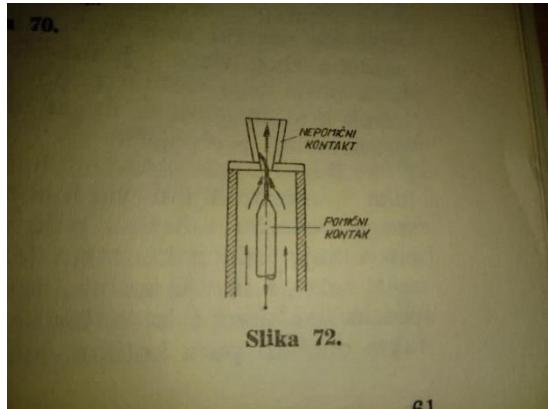
Slika 15. Principijelni prikaz rada komore za gašenje luka (konstrukcija 1)²⁵



Slika 16. Principijelni prikaz rada komore za gašenje luka (konstrukcija 2)²⁶

²⁵[Izvor: Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.]

²⁶[Izvor: Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.]



Slika 17. Principijelni prikaz rada komore za gašenje luka (konstrukcija 3)²⁷

Slika 15. prikazuje komoru za gašenje luka u kojoj komprimirani zrak strui normalno na električni luk, dok slika 16. prikazuje komoru za gašenje luka u kojoj komprimirani zrak strui duž električnog luka. Na slici 17. prikazano je gašenje luka komprimiranim zrakom kod prekidača sa dva pokretna kontakta, a sagorijevanje luka se odvija na otvorenom prostoru.

Snaga isključenja ovih prekidača iznosi od $1800 - 2500[MVA]$, a nominalna struja $600 - 800[A]$. Vrijeme gašenja luka je od $0.07 - 0.05[s]$.

Kratak spoj se može javiti prilikom rada postrojenja. Naprimjer: proleti ptica između faznih provodnika i učini kratak spoj. Ako se ovo desi, tada reaguje zaštita u postrojenju i prekidač se isluči. Iz tog razloga se prekidači izvode sa tzv. automatskim ponovnim uključenjem. Kada kratki spoj prođe, prekidač ostaje uključen i postrojenje normalno radi.

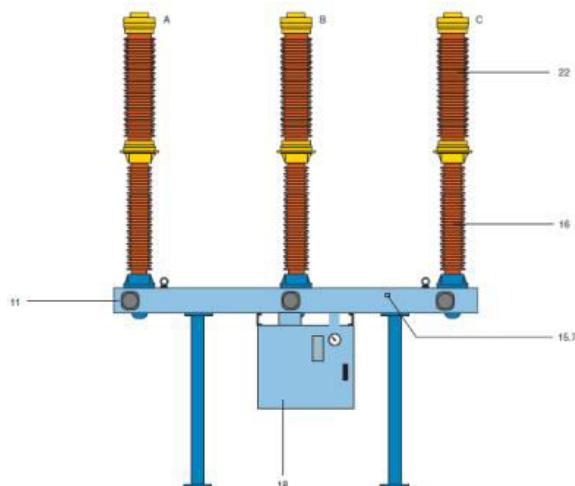
Kratkotrajni kratki spojevi mogu biti različitog porijekla. Najčešće nastaju kod zračnih mreža uslijed slabljenja izolacije zraka zbog vlage i jonizacije, pa dolazi do kratkotrajnih probaja, poslije čega zrak ponovo dobija svoja izolaciona svojstva. Uzrok kratkih spojeva mogu biti strani predmeti koji padnu na provodnike i prespoje ih.

Da bi što prije došlo do gašenja električnog luka pored otpuhivanja luka komprimiranim zrakom, potrebno je za veće napone i snage povećati i brzinu pokretanja pokretnih kontakata. Brzina pokretanja jednog kontakta je ograničena tehničkim uslovima, pa se zbog toga prešlo na prekidanje luka na više mjesta. Ovakav način pokretanja kontakta ima smisla, samo onda kada se luk ravnomjerno raspodijeli na svim prekidnim mjestima. Pravilna raspodjela luka na prekidnim mjestima se postiže paralelnim vezivanjem otpora ili kondenzatora sa svakim prekidnim mjestom. Da bi se prekinula struja, čija je vrijednost vrlo mala u odnosu na vrijednosti priključenih otpornika, kroz otpornike, serijski sa prekidačem se vezuje rastavljač, koji se odmah po gašenju luka, isključuje. Time je proces prekidanja kod ovih prekidača završen.

²⁷[Izvor: Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.]

V. SF_6^{28} prekidači

Zbog velike gustoće gasa, ova vrsta prekidača ima veliku dielektričnu čvrstoću i dobru toplotnu vodljivost. Osim što gas ima dobra dielektrična svojstva, ima i jedinstveno svojstvo brze rekombinacije nakon gašenja luka. Prva generacija ovih prekidača je vrlo jednostavna i dosta slična pneumatskim prekidačima. Kod njih se gas komprimira i pohranjuje u spremnik pod visokim pritiskom. Za vrijeme rada, visoko komprimirani gas se ispušta kroz luk u prekidaču. U novijim dizajnima, energija luka se koristi za razvoj pritiska u lučnoj komori za gašenje luka. Kod njih je prekidač ispunjen gasom pod nazivnim pritiskom. Sastoji se od dva fiksna kontakta s specifičnom kontaktom prazninom. Klizni cilindar premošćuje ih na fiksne kontakte. Taj cilindar se može kretati prema gore i prema dolje. Stacionarni klip je učvršćen s ostalim stacionarnim dijelovima tako da ne može mijenjati svoj položaj za vrijeme kretanja cilindra. Za vrijeme otvaranja prekidača, cilindar se pomiče prema dolje čime je smanjen volumen u cilindru što dovodi SF_6 gas unutar cilindra. Cilindar ima brojne bočne otvore koji su bili blokirani za vrijeme zatvorenog položaja. Kako cilindar ide prema dolje, tako se otvaraju ti bočni otvor i komprimirani gas u cilindru će izaći kroz te otvore velikom brzinom prema električnom luku. Električni luk se gasi tokom tog procesa.



Slika 18. SF_6 prekidač²⁹

Dijelovi prekidača prikazani na slici su:

11-Baza prekidača

²⁸Čist gas SF_6 je bezbojan, bez mirisa, bez ukusa i neotrovan, hemijski stabilan i nezapaljiv. Na sobnoj temperaturi i atmosferskom pritisku gustina mu je $6.616 \frac{g}{dm^3}$. Probojna čvrstoća gasa SF_6 u homogenom električnom polju je na atmosferskom pritisku oko tri puta veća od probojne čvrstoće vazduha, a na pritisku od 3 bara veća je od probojne čvrstoće transformatorskog ulja. [Izvor: <https://www.scribd.com/document/386704002/Razvodna-Postrojenja> (Preuzeto: 05.07.2019. 14:51h)]

²⁹[Izvor: Odabir prekidača u elektroenergetskim postrojenjima-završni rad-Domagoj Ivanković-Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, sveučilišni studij-Osijek, septembar 2016.]

15.7-Pokazivač položaja preklopnika

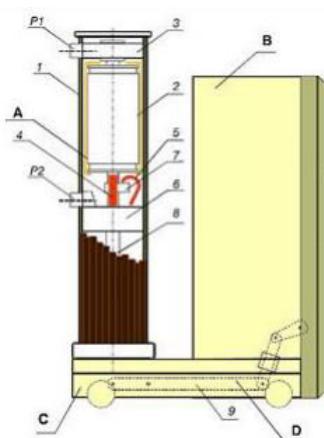
16-Stupni izolator

18-Jedinica upravljačkog mehanizma

22-Jedinica prekidača

VI. Vakuumski prekidači

Vakuumski prekidači predstavljaju vrstu prekidača kod kojih se gašenje električnog luka odvija u vakuumu. Sastoje se od čelične lučne komore u čijem su središtu simetrično raspoređeni keramički izolatori. Vakuumski pritisak se uobičajeno održava na 10⁻⁶ bara. Materijal za kontakte, koji je danas u upotrebi, ima vrlo veliko značenje. CuCr je idealni materijal za izradu kontakata vakuumskih prekidača. Ova vrsta prekidača najpogodnija je za primjenu na srednjim naponima. Oni zahtijevaju minimalno održavanje u odnosu na druge vrste prekidača. Dielektrična čvrstoća vakuma je osam puta veća od zraka i četiri puta veća od SF₆ gasa, zbog čega vakuumski prekidači imaju mogućnost gašenja luka uz vrlo mali razmak među kontaktima. Električni luk će se pojaviti i trajati do sljedećeg prolaza kroz nulu. Kad je struja nula, vakuum gasi luk i metalne pare se ponovo koncentriraju na kontaktne površine. U tom trenutku, kontakti su već odvojeni, pa ne postoji mogućnost ponovnog isparavanja za sljedeći ciklus struja. Na taj način, vakuumski prekidači sprečavaju ponovno paljenje luka proizvodeći visoku dielektričnu čvrstoću u kontaktnoj praznini. Postoje dvije vrste oblika luka. Za prekidanje struja do 10[kA], luk ostaje difuzni i pokriva cijelu kontaktну površinu. Iznad 10[kA], difuzija luka znatno je smanjena zbog svog magnetnog polja i kontakata. To nastaje zbog zagrijavanja kontakata u svom središtu. Da bi se to spriječilo, potrebno je dizajnirati kontakte tako da luk ne ostaje nepokretan, ali da putuje po vlastitom magnetnom polju.



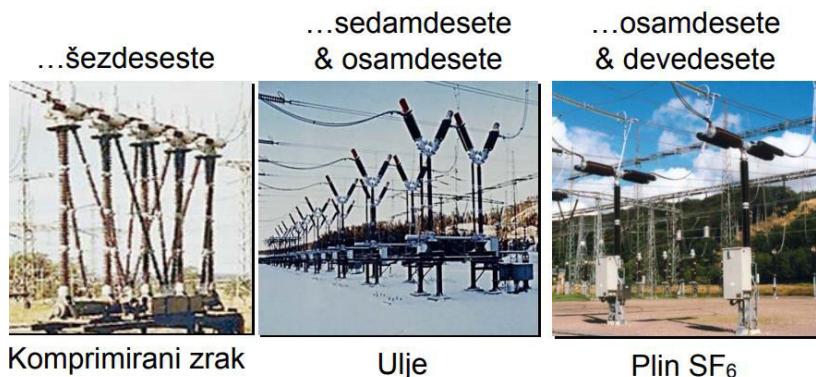
Slika 19. Vakuumski prekidač³⁰

³⁰[Izvor: Odabir prekidača u elektroenergetskim postrojenjima-završni rad-Domagoj Ivanković-Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, sveučilišni studij-Osijek, septembar 2016.]

Dijelovi vakuumskog prekidača prikazani na prethodnoj fotografiji su:

- A-Polovi,
- B-Pogonski mehanizam,
- C-Postolje,
- D-Prijenosno polužje,
- P₁ i P₂-Priključci polova,

- 1-Izolacijski materijal od episkopske smole armirane staklenim vlaknima,
- 2-Vakumska lučna komora,
- 3-Čvrsti nosač gornji,
- 4-Pomični kontakt,
- 5-Fleksibilni kontakt,
- 6-Kućište donjeg priključka,
- 7-Nastavak pomičnog kontakta,
- 8-Izolacijska vezna motka i
- 9-Prijenosna poluga



Slika 20. Razvoj prekidača³¹

2.2.8.3 Izbor prekidača

I. Izbor naznačenog napona

Naznačeni napon prekidača označava gornju granicu napona mreže za koju je prekidač namijenjen. Potrebno ga je izabrati iz niza koji preporučuje Međunarodna elektrotehnička komisija: 3.6 – 7.2 – 12 – 24 – 38 – 123 – 245 – 420 [kV].

II. Naznačeni izolacioni nivo

Naznačeni izolacioni nivo se definiše za standardne atmosferske uslove, a bira se iz niza standardnih vrijednosti koje preporučuje IEC.

³¹[Izvor: https://bib.irb.hr/datoteka/323003.Sklopni_aparati_VN.pdf (Preuzeto: 05.07.2019. 14:56h)]

Najviši napon opreme (kV) (ef.vrednost)	Standardni podnosivi kratkotrajni napon industr. učest. (kV) (ef.vrednost)	Standardni podnosivi atmosferski udarni napon (kV) (temena vrednost)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52	95	250
72,5	140	325
123	(185)	450
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
	(230)	(550)
170	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1050

Tabela 1. Standardni stepeni izolacije za područje I ($1[kV < U_{r\max} < 245[kV]]$)³²

Najviši napon opreme (kV) (ef.vrednost)	Standardni podnosivi sklopni udarni napon			Podnosivi atmosfer. udarni nap. (kV) (tem.vr.)
	Podužna izolacija (napomena 1) (kV) (temena vrednost)	Faza prema zemlji (kV) (tem.vred.)	Faza prema fazi (temena vrednost faze prema zemlji)	
300	750	750	1,50	850 950
	750	850	1,50	950 1050
362	850	850	1,50	950 1050
	850	950	1,50	1050 1175
420	850	850	1,60	1050 1175
	950	950	1,50	1175 1300
	950	1050	1,50	1300 1425
525	950	950	1,70	1175 1300
	950	1050	1,60	1300 1425
	950	1175	1,50	1425 1550
765	1175	1300	1,70	1675 1800
	1175	1425	1,70	1800 1950
	1175	1550	1,60	1950 2100

Tabela 2. Standardni stepeni izolacije za područje II ($U_{r\max} > 245[kV]$)³³

³²[Izvor: Razvodna postrojenja-Prof. dr. Jovan Nahmna, Dr. Vladica Mijailović-Akademска misao, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2005.]

III. Naznačena trajna struja

Naznačena trajna struja prekidača je efektivna vrijednost struje naznačene učestalosti koju prekidač može bez oštećenja trajno da provodi, a da pri tome porast temperature pojedinih njegovih dijelova ne prekorači dozvoljene vrijednosti. Ovaj će uslov biti ispunjen ukoliko naznačena trajna struja ne bude manja od maksimalne struje koja će teći kroz prekidač u normalnom radnom pogonu.

Naznačenu trajnu struju prekidača treba izabrati iz niza standardnih vrijednosti:

$$400 - 630 - 800 - 1250 - 1600 - 2000 - 2500 - 3150 - 4000 - 5000 - 6300 - 8000 [A]$$

IV. Naznačena kratkotrajna podnosiva struja kratkog spoja

Naznačena kratkotrajna podnosiva struja I_t je efektivna vrijednost struje kratkog spoja koju prekidač mora biti u stanju da provede u zatvorenom položaju tokom naznačenog trajanja kratkog spoja, a da nakon toga zadrži sposobnost da trajno provodi naznačenu struju i da mehanički normalno funkcioniše. Naznačena kratkotrajna podnosiva struja prekidača jednaka je naznačenoj struji isključenja prekidača.

V. Naznačena udarna struja kratkog spoja

Naznačena udarna struja kratkog spoja je specifirana koeficijentom kojim treba pomnožiti naznačenu vrijednost struje isključenja. Za naznačenu učestalost od $50[Hz]$ i standardnu vremensku konstantu $T_a = 45[ms]$ udarni koeficijent ima vrijednost 2.5.

VI. Naznačeno trajanje kratkog spoja

Naznačeno trajanje kratkog spoja t_i je vrijeme koje prekidač može da provodi kratkotrajno podnosivu struju bez oštećenja. Prema IEC propisima, standardna vrijednost naznačenog trajanja kratkog spoja iznosi $1[s]$. Ukoliko je potrebno, mogu se odrediti manje ili veće vrijednosti od $1[s]$. Tada se preporučuju vrijednosti $0.5[s]$, $2[s]$ ili $3[s]$.

Za naznačenu kratkotrajno podnosivu struju i naznačeno trajanje kratkog spoja važi relacija:

$$I_t^2 \cdot t_i = A \quad (7)$$

A - dozvoljeni topotni impuls

VII. Naznačena struja isključenja kratkog spoja

Naznačena struja isključenja kratkog spoja I_{in} je najveća struja koju prekidač mora da prekine u kolu naznačene učestalosti sa naznačenim naponom i propisanim

³³[Izvor: Razvodna postrojenja-Prof. dr. Jovan Nahmna, Dr. Vladica Mijailović-Akademска misao, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2005.]

prijelaznim povratnim naponom. Definiše se preko efektivne vrijednosti naizmjenične komponente struje kvara i udjela jednosmjerne komponente struje kvara. Efektivnu vrijednost naizmjenične komponente struje kvara treba izabrati iz niza standardnih vrijednosti: $10 - 12.5 - 16 - 20 - 25 - 31.5 - 40 - 50 - 63 [kA]$.

VIII. *PPN koji se odnosi na naznačenu struju isključenja kratkog spoja*

PPN koji se odnosi na naznačenu struju isključenja kratkog spoja definiše se ili dvoparametarskom ili četveroparametarskom obvojnicom krive PPN-a, zavisno od naznačenog napona. Obvojnica krive PPN-a predstavlja granicu očekivanog prijelaznog povratnog napona pri kom prekidač može da prekine struju u slučaju kratkog spoja na svojim priključcima.

IX. *Naznačena struja uključenja kratkog spoja*

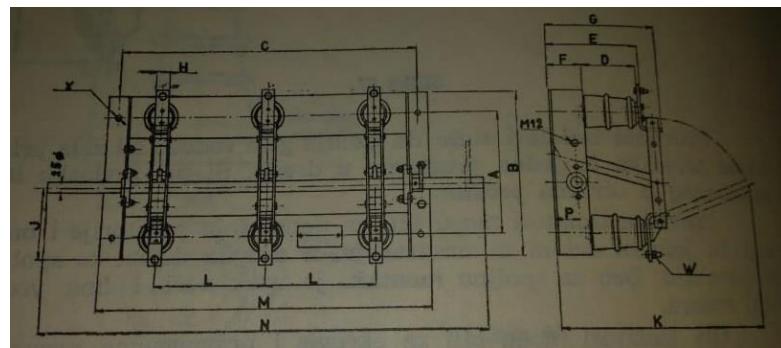
Naznačena struja uključenja kratkog spoja je najveća struja kratkog spoja koju prekidač može da podnese kod uključivanja na naznačenom naponu. Jednaka je naznačenoj udarnoj struji kratkog spoja.

X. *Naznačeni ciklus operacija*

Naznačeni ciklus operacija je utvrđeni niz operacija uključenja (C) i isključenja (O) sa definisanim vremenskim intervalima između njih.

2.2.9 *Rastavljači*

Rastavljači su rasklopni uređaji koji služe za vidno odvajanje dijelova postrojenja koja su pod naponom od onih koja nisu. Njima se ne prekidaju strujna kola u radu, niti se smiju priključivati na neko opterećenje. Ovu funkciju u postrojenju vrše samo prekidači koji su specijalno konstruisani za tu svrhu. Ukoliko bi se rastavljačem prekidala strujna kola, tada bi došlo do toga da električni luk vrlo brzo uništi kontakte, jer rastavljač nema mogućnost brzog gašenja luka. Rastavljači se mogu koristiti kao prekidači samo za relativno slabe struje, naprimjer, kada se prekidaju struje praznog hoda manjih transformatora. U transformatorskim stanicama $10/0.4 [kV]$ reda nekoliko desetina kilovatamperra, nije ekonomično ugrađivati skupe prekidače, već se isključenje transformatora vrši tako što se isključe, najprije, svi potrošači na strani niskog napona, pa se onda, rasterećeni transformator, isključi uz pomoć rastavljača. Prilikom uključivanja postoji obrnut redoslijed operacija. Prvo se uključi rastavljač, pa zatim potrošači, jedan za drugim, na niskom naponu.



Slika 21. 10[kV]-ni rastavljač proizvodnje „Elektrosrbija“³⁴

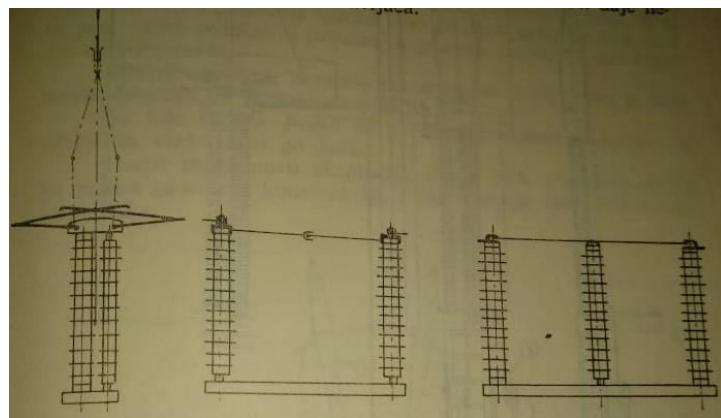
Na slici 21. velikim slovima latinice označene su mjere koje su bitne za pojedine vrste rastavljača i one zavise od napona i nominalne struje za koju je rastavljač predviđen.

Rastavljači za napone do 35[kV] su slične konstrukcije kao i 10[kV]-ni. Pogon rastavljača se izvodi, najčešće, kao ručni pogon. Umetanjem dodatka, koji služi za otpuhivanje luka, rastavljači do 35[kV] mogu služiti i kao prekidači, te se tada nazivaju rastavljači snage ili učinski rastavljači.

Rastavljači za napone 110[kV], 220[kV] i 400[kV] se konstrukcijski razlikuju od rastavljača nižih napona, ali su po nekim osnovnim osobinama veoma slični. Najčešće viđena rješenja rastavljača u praksi su: rastavljač sa dva obrtna struba, sa jednim obrtnim strubom po sredini, pantografski rastavljač itd.

Rastavljači za sve radne napone izvode se sa blokadom koja je mehanička ili elektromagnetna kako bi se izuzelo uključivanje ili isključivanje samo od sebe.

Na narednoj slici se nalazi nekoliko primjera izvođenja rastavljača.

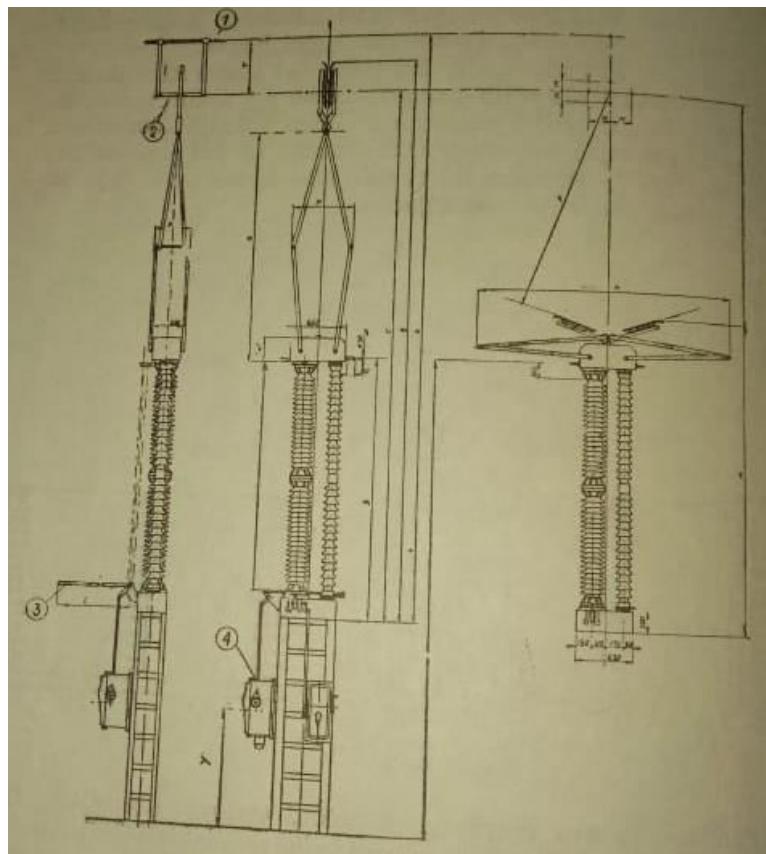


Slika 22. Načini izvođenja rastavljača³⁵

³⁴[Izvor: Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.]

³⁵[Izvor: Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.]

Prilikom izvođenja radova, potrebno je, ponekad, uzemljiti vodove. Tada se izrađuju rastavljači sa noževima za uzemljenje. Kao što je već spomenuto, postoji pantografski rastavljač, te je njegova konstrukcija prikazana na sljedećoj slici.



Slika 23. Pantografski rastavljač sa nožem za uzemljenje³⁶

Pogoni visokonaponskih rastavljača mogu biti:

- ručni
- motorni
- pneumatski
- hidraulični

2.2.9.1 Izbor rastavljača

Karakteristične veličine i kriterijumi izbora rastavljača su:

I. Naznačeni napon U_n

Neka je U_{npost} naznačeni napon postrojenja. Potreban uslov pri izboru rastavljača je: $U_n \geq U_{npost}$.

II. Naznačena struja I_n

³⁶[Izvor: Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.]

Ukoliko je $I_{r_{\max}}$ maksimalna struja koja će teći kroz rastavljač u normalnim pogonskim uslovima, treba da je: $I_n \geq I_{r_{\max}}$.

III. Dinamička struja I_{dyn}

Neka je i_{ud} vrijednost udarne struje na mjestu ugradnje rastavljača. Potreban je uslov: $i_{dyn} \geq i_{ud}$.

IV. Jednosekundna podnosiva struja I_{1s}

Neka je A vrijednost topotnog impulsa za slučaj kvara na mjestu ugradnje rastavljača. Tada treba da bude: $I_{1s} \geq \sqrt{A}$.

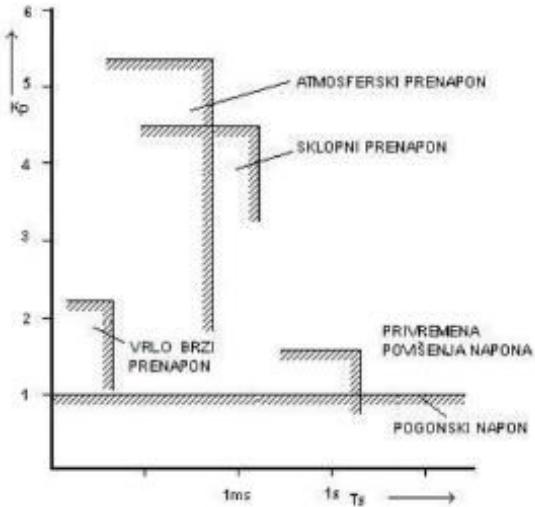
Izbor rastavljača je pravilan ukoliko su ispunjeni prethodno navedeni uslovi.

2.2.10 Odvodnici prenapona

Aparati, izolatori i transformatori su izvedeni na način da bez posljedica mogu da izdrže veća naponska naprezanja. U mreži se, međutim, mogu povremeno javiti prenaponi koji mogu imati višestruko veću vrijednost od najviših napona mreže, a sve zbog prijelaznih pojava prilikom neke promjene u mreži, kao što su kratki spojevi, isklapanja i slično tome, ali i zbog atmosferskih pražnjenja. Električna postrojenja i aparati u njima građeni su tako da mogu izdržati određena naponska naprezanja, ali je nemoguće spriječiti da se u mreži pojave prenaponi veći od onih koje mogu izdržati izolatori, aparati i transformatori u postrojenju što pogotovo vrijedi za prenapone zbog atmosferskih pražnjenja.

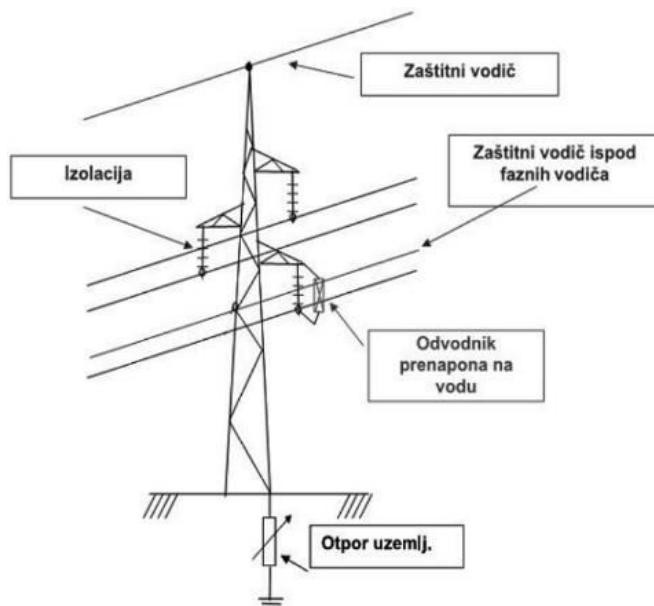
Prenapone možemo podijeliti na:

- Najviši pogonski napon,
- Privremena povećanja napona,
- Prijelazni prenaponi laganog porasta čela (sklopni prenaponi),
- Prijelazni prenaponi brzog porasta čela (atmosferski prenaponi),
- Vrlo brzi prijelazni prenaponi



Slika 24. Klasifikacija prenapona prema trajanju i faktoru prenapona³⁷

Nadzemni elektroenergetski vodovi su, zbog načina svoje gradnje, vrsta objekata koja je jako izložena riziku od udara munje. Radi oblika i brzine širenja talasa i njegove amplitude, atmosferski prenaponi dovode do maksimalnih naprezanja izolacije, pa zbog toga predstavljaju osnovu koordinacije izolacije, a ujedno presudno utječu na funkcionalnost i pouzdanost električnih mreža. Munje, koje bi pogodile u nadzemne vodove, stvorile bi na njima napone koji bi bili veći od onih koje mogu izdržati izolatori na dalekovodu, pa bi došlo do preskoka i kratkog spoja. Tako stvoreni strujni lukovi ne bi se dugo ugasili, jer je za njihovo održavanje dovoljan i napon samih faznih vodiča. Stoga se pristupa ugradnji zaštitnih uređaja na vodove.

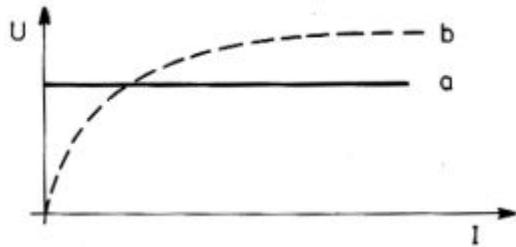


Slika 25. Načini zaštite vodova³⁸

³⁷[Izvor: Značajke i primjena linijskih odvodnika prenapona-diplomski rad-Damir Kurtović-Sveučilište u Splitu-Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje-Split, 2008.]

³⁸[Izvor: Značajke i primjena linijskih odvodnika prenapona-diplomski rad-Damir Kurtović-Sveučilište u Splitu-Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje-Split, 2008.]

Za zaštitu elektroenergetskih postrojenja, objekata, a posebno transformatora, upotrebljavaju se *odvodnici prenapona*. U najnovije vrijeme razvijene su posebne izvedbe odvodnika prenapona koji se postavljaju na nadzemne vodove. Odvodnici prenapona ponašaju se kao nelinearni otpori čiji se iznos mijenja u zavisnosti od veličine narinutog napona.

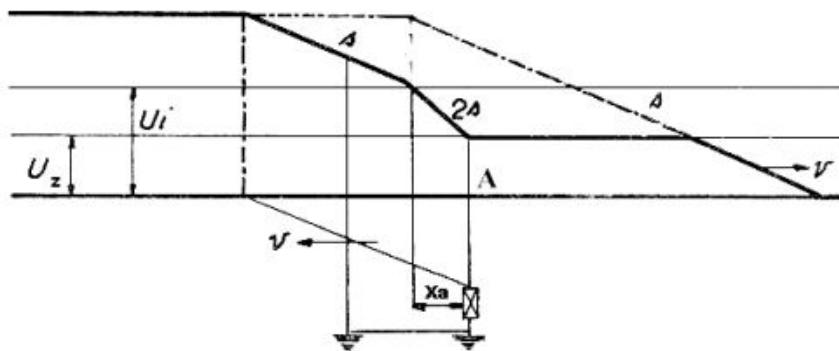


Slika 26. Strujno-naponska karakteristika a) idealnog i b) realnog odvodnika prenapona³⁹

Idealni odvodnik prenapona i uz vrlo velike struje održava uvijek konstantnu vrijednost napona što u praksi nije moguće ostvariti, ali se svojstva realnih odvodnika nastoje čim više približiti idealnim. Odvodnik prenapona, osim amplitude nailazećeg naponskog talasa, smanjuje i njegovu strminu.

2.2.10.1 Zaštitna zona odvodnika prenapona

Odvodnik ograničava prenapone na iznos preostalog napona odvodnika samo na mjestu ugradnje odvodnika, dok s porastom udaljenosti od odvodnika raste i iznos napona. Zaštitna zona odvodnika proteže se na dio voda ispred i iza odvodnika prenapona. Udaljenost od odvodnika, na kojoj prepona na štićenom objektu dostiže vrijednost izolacionog nivoa, (za atmosferske ili sklopne prenapone) naziva se *zaštitnom zonom*.



Slika 27. Zaštitna zona odvodnika prenapona⁴⁰

2.2.10.2 Podjela odvodnika prenapona

³⁹[Izvor: Tehnika visokog napona-Prof. dr. sc. Ivo Uglešić, dipl. ing.-Zagreb, 2002.]

⁴⁰[Izvor: Tehnika visokog napona-Prof. dr. sc. Ivo Uglešić, dipl. ing.-Zagreb, 2002.]

Kada je riječ o tipovima odvodnika prenapona, razlikuju se dva osnovna tipa i to odvodnici s iskrištim i odvodnici bez iskrišta.

Karakteristike odvodnika	
SA ISKRISTIMA	BEZ ISKRISTA
Zaštita samo od atmosferskih prenapona	Zaštita od atmosferskih i sklopnih prenapona
MO blokovi nisu direktno spojeni na vod (nisu pod naponom) – prema tome manje blokova se koristi za isti napon, što znači manji nazivni napon, manji preostali napon i manji troškovi	MO blokovi su direktno spojeni na vod (pod naponom), dakle koristi se više blokova za isti napon, što znači veći nazivni napon, veći preostali napon i veći troškovi
Dodatni troškovi za iskrišta sa kućištem	-
Pronalaženje jedinica u kvaru je mnogo teže i skuplje	Uz upotrebu sustava za odvajanje, jedinice u kvaru otkrivaju se vizualno
Nema utjecaja zagađenja na MO blokove	Zagađenje kućišta može dovesti do pregrijavanja MO blokova
Preskok na iskrištu ovisi o vremenskim uvjetima	Odvodnik radi bez obzira na vremenske uvjete
Nije sigurno da će doći do dijeljenja energije praznjenja među odvodnicima na istom vodu	Podjela energije je osigurana između nekoliko odvodnika na istom vodu

Tabela 3. Usporedba dva osnovna tipa odvodnika prenapona⁴¹

2.2.10.2.1 „Klasični“ ventilni odvodnik prenapona

„Klasični“ ventilni odvodnik prenapona s iskrištem se i danas najčešće susreće u postrojenjima, iako se u nova postrojenja najčešće ugrađuju metal-oksidni odvodnici koji predstavljaju novu tehnologiju na ovom području. Klasični odvodnik prenapona sastoji se od serijski povezanih otpornika izrađenih od silicijum karbida (SiC odvodnici), te iskrišta. Čestice silicijum karbida nalaze se u izolacionom materijalu od kog je sastavljen otpornik odvodnika. Kada se na takav materijal narine visoki napon, stvara se između SiC čestica jako električno polje, pri čemu se prostor između njih ionizira i postaje vodljiv. Uz veći napon bit će jače i polje, kao i ionizacija koja omogućava stvaranje vodljivih kanala tako da vrijednost otpora pada. Pri smanjenom naponu slabiji električno polje, a samim tim i ionizacija oko SiC čestica, pa se smanjuju i vodljivi kanali. To djeluje na porast otpora odvodnika.

Izbor ove vrste odvodnika prenapona vrši se postupkom kroz sljedeće korake:

- 1) Određivanje trajnog radnog napona odvodnika-može biti niži od naznačenog napona odvodnika
- 2) Izbor naznačenog napona odvodnika prenapona-mora biti jednak ili viši od maksimalnog privremenog prenapona. Privremeni prenapon može se javiti u slučajevima kao što su: zemljospoj u mreži, naglo rasterećenje izvora, isključenje kvara, porast napona na otvorenom kraju dugog voda, linearni i nelinearni rezonantni efekti.
- 3) Procjena amplitudne očekivane struje praznjenja kroz odvodnik-očekivana struja kroz odvodnik zavisi od: složenosti postrojenja i naznačenog napona sistema, da li su prilazni vodovi snabdjeveni zaštitnim užadima, dužine zaštićene zone ispred postrojenja, udarne impedanse uzemljenja prilaznih stubova, broja priključenih vodova na sabirnice postrojenja, podnosivog

⁴¹[Izvor: <http://www.ho-cired.hr/referati/SO1-22.pdf> (Preuzeto: 05.07.2019. 19:37h)]

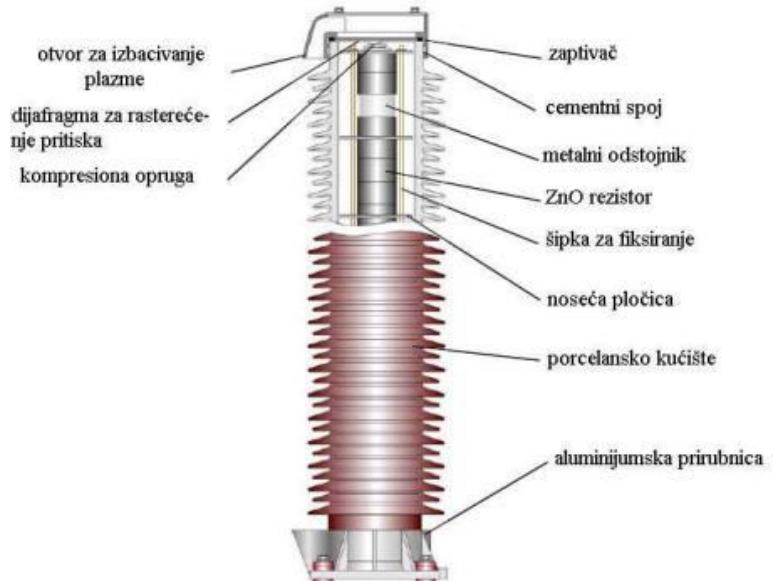
napona izolacije prilaznih vodova. Na osnovu očekivane struje pražnjenja bira se klasa odvodnika. Odvodnici klase, npr. $10[kA]$, se biraju, prema IEC, u slučaju: važnih postrojenja, područja koja su izložena čestim i jakim grmljavinskim aktivnostima, kada su prilazni vodovi neefikasno zaštićeni, ukoliko otpornost stubova unutar rastojanja od jednog kilometra prelazi vrijednost $10[\Omega]$, ukoliko se koriste drveni stubovi bez uzemljenih konzola na prilaznim vodovima i u slučaju da je broj priključenih vodova na sabirnicama manji od tri.

- 4) *Struje rasterećenja dugih vodova*
- 5) *Klasa zaštite od nadpritiska*
- 6) *Zahtjevi vezani za aero-zagađenje područja na kom se odvodnik ugrađuje*
- 7) *Procjena potrebe da odvodnik ograničava sklopne napone*
- 8) *Specijalni zahtjevi*-u slučaju da se očekuju neki specifični uslovi primjene odvodnika, pred odvodnike se postavljaju posebni zahtjevi, tipa: odvodnici za područja s vrlo velikim zagađenjem, odvodnici za područja s jakim vjetrovima, odvodnici prenapona otporni na zemljotrese, ograničenje u sigurnosnim razmacima prema provodnim površinama

2.2.10.2.2 Metaloksidni odvodnici prenapona

Metaloksidni odvodnik prenapona je izведен od metaloksidnih blokova s vrlo velikim koeficijentom nelinearnosti. Za razliku od silicijum-karbidnih, kod ovih odvodnika proces odvođenja počinje pojavom prenapona i traje samo za vrijeme trajanja prenapona, a zbog visokog koeficijenta nelinearnosti, za gašenje struje nisu potrebna iskrišta. Metaloksidni odvodnici nemaju izolaciju vrlo neugodnih špica napona, a ni problema povratne struje. Zbog ovakve izvedbe, proizlaze i druge prednosti metaloksidnih odvodnika u odnosu na klasične, a to su:

- Bolja zaštitna karakteristika (niža zaštitna razina),
- Znatno bolja energetska karakteristika.
- I imaju 3-5 puta veću sposobnost apsorpcije energije od SiC odvodnika



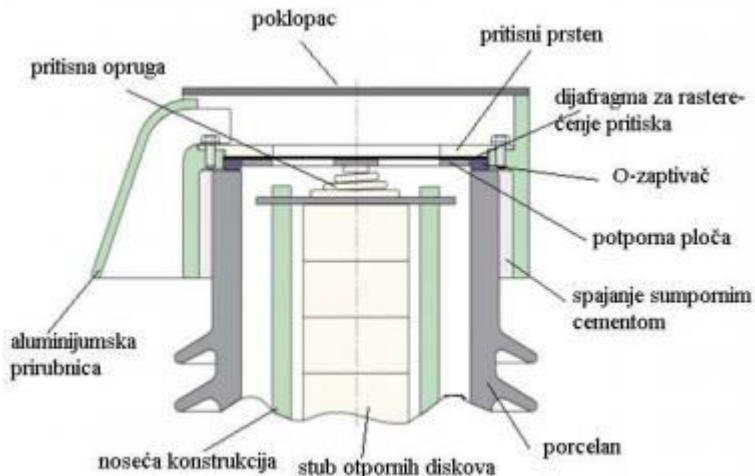
Slika 28. Konstrukcija cinkoksidnog ZnO odvodnika prenapona⁴²

Na prethodnoj slici priложен je prikaz konstrukcije jednog metaloksidnog odvodnika prenapona koji se još nazivaju i cinkoksidnim odvodnicima. Cinkoksidni odvodnik prenapona je u biti jedan stub sastavljen od većeg broja otpornika poredanih redno. Taj otpornički stub svoju otpornost može naglo da mijenja u zavisnosti od napona na njemu. Dok napon ima „normalnu“ vrijednost, tj. dok je u normalnom pogonu, otpornost ima ogromnu vrijednost. Jedan odvodnik, tj. njegov pol, ima gornji priključak pod naponom, dok je drugi vezan za uzemljenje postrojenja. Odvodnik je priključen paralelno jednoj fazi namota transformatora ili nekog drugog uređaja. Iz tog razloga je napon uspostavljen na odvodniku ujedno i napon na namotu transformatora.

Uslijed normalnog napona je ogromna vrijednost otpornosti i kroz njega prema zemlji protjeće omska struja koja se mjeri stotinama mikroampera, a postoji i kapacitivna komponenta. Ona veoma malo zagrijava otpornički stub odvodnika. Međutim, pojavom prenapona na priključku odvodnika koji raste veoma brzo, otpornost se naglo smanjuje. Tada kroz odvodnik u zemlju počinje protjecati izrazito velika struja i napon na odvodniku raste. Vrijednost napona na odvodniku se ograničava, a samim tim i na transformatoru.

Posmatrajmo sliku 28. U porculanskom kućištu je hermetički zatvoren stub otporničkih diskova. Stub je učvršćen sa četiri izolaciona štapa od fiberglasa i fiksirajućim nosećim pločicama. S gornje i donje strane su sve identične aluminijске prirubnice s otvorima za izbacivanje vrele plazme pri kratkom spoju unutar odvodnika prenapona. Prirubnice su vezane cementom za porcelansko kućište. Na gornjoj strani nalazi se cilindričan ili pločast gornji priključak, a na donjoj prirubnici su vijčani priključci za uzemljenje. Uredaj za ograničavanje pritiska je tanka čelična dijafragma.

⁴²[Izvor: Odvodnici prenapona-Metaloksidni odvodnici prenapona-skripta-IUT]



Slika 29. Detalji konstrukcije ZnO odvodnika prenapona⁴³

Kontaktna opruga pritiskuje diskove. Tako je kontaktni otpor mali između diskova, odnosno struja lakše prolazi iz jednog u drugi disk. Tako je spriječeno da se stub s diskovima pomjera iz bilo kog razloga. Postoji i aluminijkska prirubnica s otvorom za izbacivanje vrelih gasova u slučaju da dođe do kvara unutar odvodnika kako on ne bi eksplodirao. O-zaptivač je gumeni zaptivač koji obezbeđuje hermetičnost. S obzirom da nema pokretne dijelove, odvodnik prenapona se smatra jako jednostavnim uređajem. Najvećim problemom se smatra obezbjeđivanje zaptivenosti. Dijafragma je jako tanka ploča od nehrđajućeg čelika koja se savije ukoliko nastane jak pritisak unutar odvodnika zbog luka. Na taj način se vrelim gasovima oslobodi put prema ventilacionim otvorima. Time se sprečava nastanak eksplozije odvodnika, jer bi došlo do štete unutar postrojenja uslijed njegove eventualne eksplozije.

S cilindričnog priključka, struja prelazi na poklopac, a s poklopca na aluminijsku prirubnicu koja je u kontaktu s metalnim prstenom za pritezanje dijafraze. Dijafragma je od tankog nehrđajućeg čelika kako bi provela elektrone dalje. S nje, u osi odvodnika, elektroni prelaze na pritisnu oprugu i dalje na stub otpornika. Na donjem dijelu, sa stuba otpornika elektroni prelaze na donju aluminijsku prirubnicu i na donje priključke. S donjih priključaka kroz provodnik, u obliku pletenice, elektroni odlaze na uzemljivač postrojenja s kog odlaze u vlažnu zemlju. Priključak može biti cilindričan ili ravan.

⁴³[Izvor: Odvodnici prenapona-Metaloksidni odvodnici prenapona-skripta-IUT]



Slika 30. Izgled odvodnika prenapona s porcelanskim kućištem⁴⁴



Slika 31. Vrste priključaka odvodnika s porcelanskim kućištem⁴⁵

Odvodnik prenapona se, kako se može vidjeti, sastoji od dva dijela vezana na način da je stub otporničkih diskova jedan. Gornji priključak je vezan za spojni provodnik transformatora, a donji za uzemljenje. Tipičan dio po kom se odvodnik prenapona prepozna je otpor za ispuštanje vrelih gasova ukoliko dođe do kratkog spoja unutar odvodnika. Jedan takav otvor nalazi se s gornje, a jedan s donje strane koji su okrenuti jedan prema drugom. Ove otvore imaju porculanski, a i silikonski odvodnici prenapona, takozvane cijevne konstrukcije, kod koje je izolator od silikonske gume (vazdušni prostor je između cilindričnog otporničkog stuba i porculanskog ili silikonskog kućišta). Ove otvore nemaju silikonski odvodnici gdje je stub od diskova zaliven silikonskom gumom. Kod njih nema unutrašnjeg luka u odvodniku. Tu se kvar manifestuje progorijevanjem silikonskog kućišta.

2.2.10.2.2.1 *Izbor metaloksidnih odvodnika prenapona*

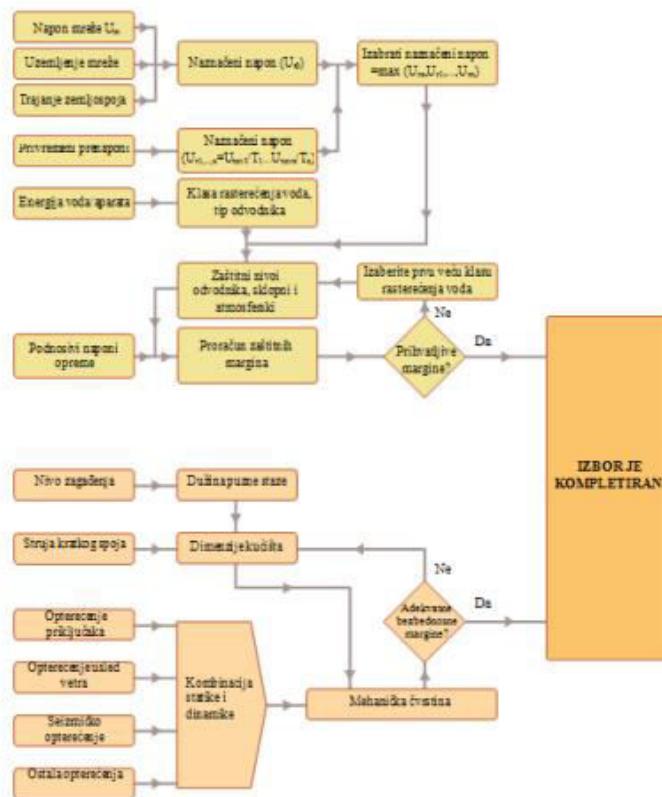
U nastavku slijedi prikazivanje izbora i konfigurisanja metaloksidnih odvodnika prenapona, gdje se pod pojmom „konfigurisanje“ podrazumijeva ono što najčešće izvodi samo proizvođač odvodnika, tj. izbor dimenzija i materijala kućišta, dimenzija cinkoksidnih rezistora, prstena za raspodjelu potencijala i slično. Taj izbor

⁴⁴[Izvor: Odvodnici prenapona-Metaloksidni odvodnici prenapona-skripta-IUT]

⁴⁵[Izvor: Odvodnici prenapona-Metaloksidni odvodnici prenapona-skripta-IUT]

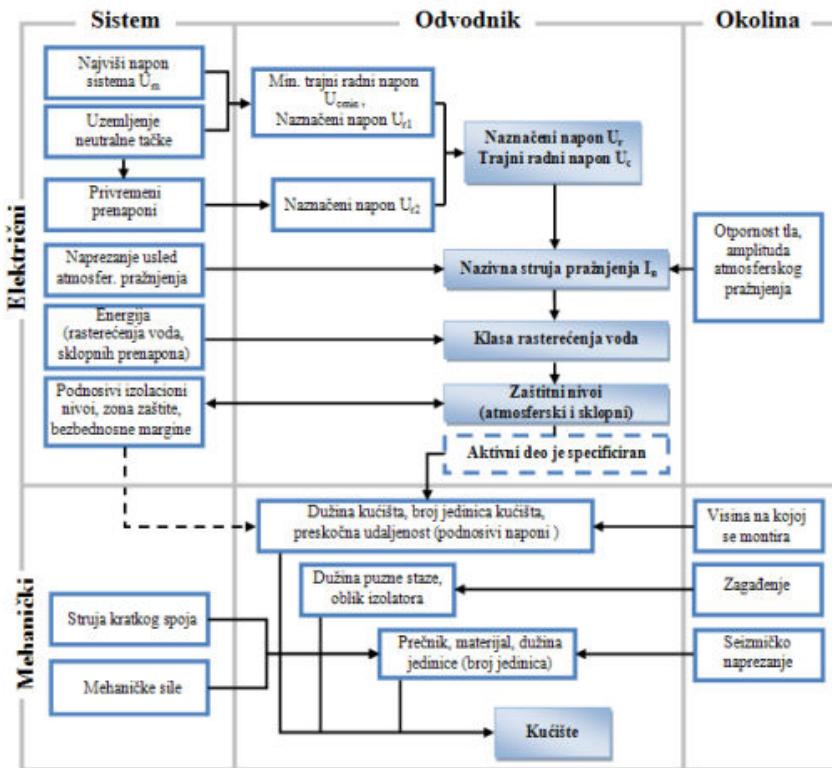
baziran je na podacima koje posjeduje samo proizvođač, a ne i korisnik. Proizvođač i korisnik treba da razumiju kako različiti zahtjevi i parametri utječu na radna svojstva odvodnika. To poznavanje omogućava da se odvodnici konfigurišu i za manje uobičajene primjene. Međutim, proizvođač je konfigurisao određen broj tipova odvodnika prenapona za uobičajene radne uslove i primjene, a njihove karakteristike objavljuje u prospektima i uputstvima za montažu.

Pod izborom odvodnika prenapona se podrazumijeva konfiguracija samog odvodnika, tako da ima dobre zaštitne karakteristike, a i da je njegov rad stabilan, tj. da odvodnik ne predstavlja problem za sebe. Zahtjevi koji se postavljaju u postupku izbora MOP-a, mogu se generalno podijeliti na električne i mehaničke zahtjeve. Dijagrami toka izbora MOP-a, koje su predložili Siemens, odnosno ABB, dati su na sljedećim slikama.



Slika 32. Dijagram toka izbora metaloksidnih odvodnika prenapona prema ABB-u⁴⁶

⁴⁶[Izvor:<http://ees.etf.bg.ac.rs/predmeti/31/Izbor%20metaloksidnih%20odvodnika%20prenapona%20-%20za%20ispit.pdf> (Preuzeto: 05.07.2019. 21:13h)]



Slika 33. Dijagram toka izbora metaloksidnih odvodnika prenapona prema Siemensu⁴⁷

Na osnovu prikazanih dijagrama, može se zaključiti da oba proizvođača izbor odvodnika prenapona zasnivaju na istim parametrima i pored pojedinih razlika u načinu njihovog određivanja. U električnom smislu, to su: trajni radni napon, naznačeni napon, klasa rasterećenja voda, zaštitni nivoi i provjera sigurnosnih marga. Slijedi izbor odgovarajućeg kućišta za odvodnik prenapona koji zadovoljava i električne i mehaničke zahtjeve. U nastavku su prikazani aspekti izbora navedenih ključnih parametara. U inženjerskoj praksi se pod izborom odvodnika prenapona najčešće podrazumijeva izbor njegovog naznačenog napona. Pravilno izabran naznačeni napon diktira odgovarajuće zaštitne karakteristike s jedne strane i stabilan rad odvodnika prenapona s druge strane. Odgovarajuće zaštitne karakteristike omogućavaju efikasnu zaštitu distributivnih i prijenosnih mreža od prenapona što se postiže ograničavanjem prenapona na vrijednosti koje su niže od podnosivih napona izolacije štićenih elemenata i to sa dovoljnom sigurnosnom marginom. Drugi problem projektovanja zaštite distributivnih i prijenosnih mreža od prenapona, s posebnim aspektom na zaštitu energetskih transformatora, odnosi se na sagledavanje broja i mjesta postavljanja metaloksidnih odvodnika prenapona.

I. Električni parametri za izbor metaloksidnih odvodnika prenapona

Električni parametri za izbor metaloksidnih odvodnika prenapona uključuju sljedeće:

⁴⁷[Izvor:<http://ees.etf.bg.ac.rs/predmeti/31/Izbor%20metaloksidnih%20odvodnika%20prenapona%20-%20za%20ispit.pdf>] (Preuzeto: 05.07.2019. 21:31h)]

- 1) *Određivanje parametara sistema*-najvažniji parametar je maksimalni dozvoljeni radni napon koji je, najčešće, $5 \div 10\%$ viši od naznačenog napona sistema. Ovaj napon predstavlja efektivnu vrijednost linijskog napona. Također, važan faktor je i visina i trajanje privremenog prenapona. On se najčešće određuje kao prenapon na ispravnoj fazi prilikom zemljospoja u mreži. Kod izbora metal-oksidnih odvodnika je trajanje privremenog prenapona izrazito bitno.
- 2) *Provjera nenormalnih uslova rada*-nekada se unutar sistema mogu stvoriti uslovi prilikom kojih se na nekim mjestima, u uzemljenom sistemu, na ispravnim fazama javljaju prenaponi koji su viši od očekivanih. Takav slučaj se može sresti pri razemljivanju neutralnih tačaka pojedinih transformatora koji rade paralelno što sistem čini neefikasno uzemljenim. U slučaju da postoje uslovi za istovremeni nastanak i privremenih prenapona uslijed zemljospoja i uslijed ispada opterećenja, takav slučaj treba uzeti u obzir.
- 3) *Izbor naznačenog napona odvodnika prenapona*-određuje se na osnovu:
 - *Trajnog radnog napona*-jednak je faznoj vrijednosti maksimalnog dozvoljenog radnog napona $U_c = \frac{U_{r\max}}{\sqrt{3}}$. Predstavlja specifičnu dozvoljenu efektivnu vrijednost napona industrijske frekvencije koja se može trajno dovesti na priključke odvodnika. On je za najmanje 5% viši od vrijednosti najvišeg faznog napona mreže. Najmanje 5% dodaje se zbog mogućih viših harmonika u mreži koji mogu vrijednost napona maksimalno povećati. Pojam „trajni“ odnosi se na napon koji traje od 30 minuta. To je bitno zbog mreža s izolovanom ili rezonantno uzemljenom neutralnom tačkom. Tada, pri jednofaznom zemljospoju, na zdravim fazama nastaje linijski napon. Takav rad može trajati više sati iz razloga što potrošači, zbog sprege transformatora $10/0.4[kV]$, imaju normalan napon. Odvodnik prenapona tada treba trajno raditi pri linijskom maksimalnom naponu mreže, a ne faznom. Iz tog se razloga minimalni trajni napon odvodnika prenapona bira prema izrazima:

- $U_{c,\min} \geq 1.05 \cdot \frac{U_s}{\sqrt{3}}$ -za efikasno uzemljenje mreže,
- $U_{c,\min} \geq U_s$ -za mreže s izolovanom ili rezonatno uzemljenom neutralnom tačkom

Naznačeni napon odvodnika prenapona U_r je najviša dozvoljena efektivna vrijednost napona industrijske frekvencije između priključaka odvodnika prilikom koje je on predviđen da radi u uslovima prenapona. Koristi se za specifikaciju karakteristika u standardima.

- Privremenog prenapona pri zemljospoju $U_t = K_f \cdot U_{rf}$ -u ovom izrazu K_f predstavlja faktor zemljospaja koji za direktno uzemljene sisteme iznosi 1.4, a za izolovane $\sqrt{3}$. Za vrijeme trajanja zemljospaja, privremeni prenapon nastaje na zdravim fazama, a traje sve dok kvarne isključi reljna zaštita. Povećan privremeni prenapon izaziva jaču struju kroz odvodnik koja ga zagrijava. Toplotni procesi mogu biti takvi da se poslije izvjesnog i privremenog zagrijavanja, iz nekog razloga, odvodnik ohladi, a i takvi da temperatura odvodnika sve više raste. Tada odvodnik prenapona dobija više toplove nego što je može dati. Nastaje termičko uništenje odvodnika. Opisana pojava naziva se „termički bijeg odvodnika“. Mora se izbjegći, a to se postiže adekvatnim izborom naznačenog napona.

Naznačeni napon na bazi trajnog napona određuje se iz izraza:

$$U_{R0} = \frac{U_{rf}}{K_0}$$

Ovdje su:

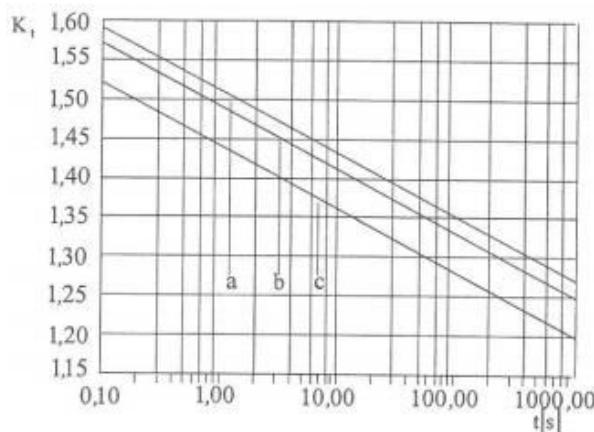
U_{R0} - naznačeni napon odvodnika prenapona određen na bazi trajnog radnog napona

K_0 - faktor izrade koji daje proizvođač. Tipična vrijednost iznosi 0.8

Naznačeni napon na bazi privremenog prenapona se određuje iz izraza:

$$U_{Rt} = \frac{U_t}{K_t}$$

gdje je K_t koeficijent koji uvažava sposobnost odvodnika prenapona da podnosi privremene prenapone



Slika 34. Sposobnost podnošenja privremenih prenapona K_t pri temperaturi ambijenta od 45°C

a) bez prethodnog opterećenja, b) prethodno opterećen odvodnik prenapona sa

$$4 \left[\frac{kJ}{kV} \right], \text{ c) prethodno opterećen odvodnik sa } 8 \left[\frac{kJ}{kV} \right]$$

Siemens predlaže da se naznačeni napon na prvi način određuje tako da se minimalno zahtjevani trajni radni napon množi sa konstantnim koeficijentom koji iznosi 1.25 (bez obzira na vrstu uzemljenja sistema):

$$U_{r1} = 1.25 \cdot U_{c,\min}$$

U_{r1} - naznačeni napon odvodnika prenapona određen na prvi način

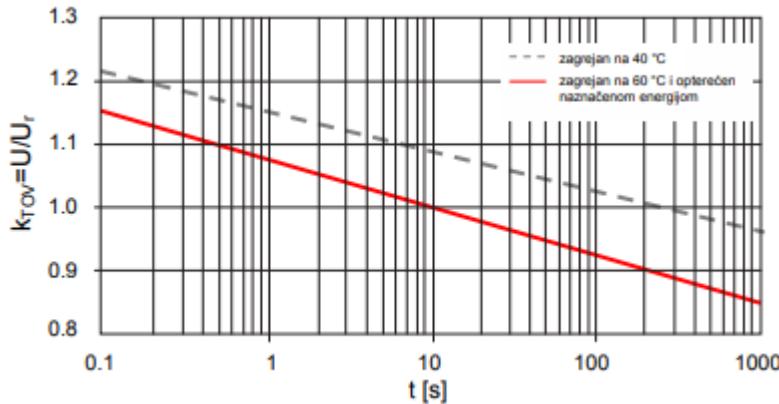
ABB, s druge strane, polazi direktno od određivanja naznačenog napona odvodnika. Ovo se vrši pomoću priložene tabele iz koje se za poznato uzemljenje sistema, vrijeme trajanja kvara (pod ovim se podrazumijeva jednofazni zemljospoj) i najviši napon sistema jednostavno izračunava minimalni naznačeni napon (na prvi način).

Uzemljenje sistema	Trajanje kvara	Napon sistema U_m (kV)	Min. naznačeni napon U_{r1} (kV)
Efikasno	≤ 1 s	≤ 100	$\geq 0.8 \cdot U_m$
Efikasno	≤ 1 s	≥ 123	$\geq 0.72 \cdot U_m$
Neefikasno	≤ 10 s	≤ 170	$\geq 0.91 \cdot U_m$
Neefikasno	≤ 2 h	≤ 170	$\geq 1.11 \cdot U_m$
Neefikasno	> 2 h	≤ 170	$\geq 1.25 \cdot U_m$

Tabela 4. Određivanje naznačenog napona prema ABB-u⁴⁸

Naznačeni napon se na drugi način kod oba proizvođača određuje tako da odgovori na zahtjeve privremenih prenapona. Najčešće su to prenaponi koji nastaju pri nesimetričnom pogonu (pri nesimetričnim kvarovima ili pri nesimetričnom prekidu napajanja u trofaznim mrežama), mada postoje i druge vrste. Dakle, za sve privremene prenapone, za koje se smatra da se mogu javiti u pogonu na mjestu ugradnje odvodnika, ako su poznati njihovi parametri (vrijednost i vrijeme trajanja), određuju se potencijalni naznačeni naponi uz pomoć dijagrama.

⁴⁸[Izvor: <http://www.zbornik-eint.org/wp-content/uploads/2015/04/12-2012.pdf>
(Preuzeto: 05.07.2019. 19:41h)]



Slika 35. Dijagram faktora prenapona u funkciji vremena⁴⁹

Dijagram na slici prikazuje faktor prenapona u funkciji vremena. Faktor prenapona predstavlja odnos dozvoljenog napona na odvodniku (za određeno vrijeme trajanja dejstva tog napona) i naznačenog napona odvodnika:

$$k_{TOV} = \frac{U}{U_r}$$

k_{TOV} - faktor prenapona,

U - napon na priključcima odvodnika,

U_r - naznačeni napon odvodnika

Ove dijagrame (koji se nazivaju i TOV dijagrami od engleskog izraza za privremene prenapone-Temporary Overvoltage) proizvođači odvodnika standardno daju u svojim katalozima. Dakle, za poznato trajanje prenapona sa TOV dijagrama se očitava faktor prenapona, te se, zatim, za poznatu vrijednost privremenog prenapona pomoću gore priloženog izraza dobija vrijednost naznačenog napona na drugi način:

$$U_{r2} = \frac{U_{TOV}}{k_{TOV}}$$

U_{r2} - naznačeni napon odvodnika prenapona određen na drugi način

U_{TOV} - poznata vrijednost privremenog prenapona

Po pravilu k_{TOV} se očitava sa krive koja odgovara stanju kada je odvodnik zagrijan do temperature od 60°C i pritom opterećen naznačenom energijom (apsorbovao je naznačenu termičku energiju) što predstavlja najteži slučaj. Kada se uporede vrijednosti dobijenih potencijalnih naznačenih napona (na osnovu više privremenih prenapona), najveća vrijednost od njih se zatim poređi sa vrijednošću naznačenog napona koja je dobijena na prvi način i veća vrijednost se uzima kao konačan naznačeni napon (ako u katalogu proizvođača ne postoji takva standardna vrijednost, onda se uzima prva veća). Trajni radni napon odvodnika će sada biti vrijednost iz kataloga koja odgovara izabranom naznačenom naponu.

⁴⁹[Izvor: <http://www.zbornik-eint.org/wp-content/uploads/2015/04/12-2012.pdf>
(Preuzeto: 05.07.2019. 19:41h)]

- 4) *Nazivna struja pražnjenja*-bira se prema očekivanoj struji pražnjenja kroz odvodnik. Ova struja zavisi od više faktora kao što su: složenost postrojenja, broj priključenih vodova na sabirnice postrojenja, snabdjevenost prilaznih vodova zaštitnim užadima, udarna impedansa uzemljenja prilaznih stubova, podnosivi napon izolacije prilaznih vodova itd.
- 5) *Klasa rasterećenja voda*-prema IEC standardu predstavlja mjerilo sposobnosti apsorpcije energije. Pojam klase rasterećenja voda se zasniva na pretpostavci da se na dugom vodu uslijed sklopnih operacija javlja sklopni prenapon koji se, zatim, u obliku putujućeg talasa rastereće kroz priključeni odvodnik. Relativno dugo trajanje sklopnog prenapona čini da ova vrsta prenapona postane najopasnija u smislu energetskog naprezanja. IEC standard definiše pet različitih klase rasterećenja voda koje se označavaju brojevima od 1 do 5. Pri ovome, veći broj označava bolju sposobnost apsorpcije energije. Koju klasu rasterećenja voda odabrati moguće je odlučiti na osnovu iskustva, odnosno, očekivane energije sklopnih prenapona. Ukoliko iskustvo izostaje, proizvođači daju preporuke u obliku tabela koje uparuju pojedine klase sa opsezima najvišeg napona sistema.

Klasa rasterećenja voda	$U_{sistema}$ (kV)	Prečnik metaloksidnih varistora (mm)
1	≤ 245	50
2	≤ 300	50 ili 60
3	≤ 420	60 ili 70
4	≤ 550	70 ili 80
5	≤ 800	80,100 ili 2 x 70 u paraleli

Tabela 5. Prijedlog za izbor klase rasterećenja voda od strane Siemens-a⁵⁰

Tip odvodnika	Klasa rasterećenja voda	Sposobnost apsorpcije energije (2 impulsa) kJ/kV (U_r)	Normalni opseg upotrebe ($U_{sistema}$)
EXLIM R	2	5.0	≤ 170 kV
PEXLIM R	2	5.1	≤ 170 kV
EXLIM Q	3	7.8	170 – 420 kV
PEXLIM Q	3	7.8	170 – 420 kV
EXLIM P	4	10.8	362 – 550 kV
PEXLIM P-X	4	12.0	362 – 550 kV
PEXLIM P-Y	4	12.0	330 – 550 kV
HS PEXLIM P	4	10.5	362 – 550 kV
EXLIM T	5	15.4	420 – 800 kV
HS PEXLIM T	5	15.4	420 – 800 kV

Tabela 6. Prijedlog za izbor klase rasterećenja voda od strane ABB-a⁵¹

⁵⁰[Izvor: <http://www.zbornik-eint.org/wp-content/uploads/2015/04/12-2012.pdf>
(Preuzeto: 05.07.2019. 19:41h)]

II. Mehanički parametri za izbor metaloksidnih odvodnika prenapona

Pored električnih parametara, potrebno je sagledati i mehaničke parametre koji su bitni sa aspekta izbora kućišta odvodnika prenapona. Na izbor kućišta odvodnika prenapona utječu:

- Statička i dinamička naprezanja koja mogu djelovati na kućište odvodnika tokom radnog vijeka,
- Nivo zagađenja sredine u kojoj se planira upotreba odvodnika,
- Struja kratkog spoja na mjestu ugradnje odvodnika prenapona,
- Oblik spoljašnje površine kućišta, odnosno profil izolatora. Na osnovu navedenih parametara bira se:
 - Vrsta materijala od kog je izrađeno kućište,
 - Dužina (visina) kućišta,
 - Prečnik kućišta,
 - Dužina puzne staze

Minimalna dužina samog kućišta određena je dužinom aktivnog dijela odvodnika prenapona koji predstavlja stub sa metaloksidnim varistorima. Međutim, konačnu dužinu kućišta određuju dodatni zahtjevi, prvenstveno u pogledu podnosivih napona.

	$I_n = 10 \text{ kA}$ i 20 kA		$I_n \leq 5 \text{ kA}$
	$U_r \geq 200 \text{ kV}$	$U_r < 200 \text{ kV}$	
Ispitivanje atmosferskim udarnim naponom	$1,3 \cdot$ atmosferski zaštitni nivo		
Ispitivanje sklopnim udarnim naponom	$1,25 \cdot$ sklopni zaštitni nivo	-	-
Ispitivanje naponom industrijske učestanosti (1 min)	-	$1,06 \cdot$ sklopni zaštitni nivo	$0,88 \cdot$ atmosferski zaštitni nivo

Tabela 7. Kriterijumi za ispitivanje kućišta odvodnika prenapona podnosivim naponom⁵²

Na osnovu priložene tabele, može se zaključiti da vrijednosti podnosivih napona zavise od vrijednosti zaštitnih nivoa odabranog tipa aktivnog dijela odvodnika. Zaštitni nivoi se mogu provjeriti na osnovu podataka datih u katalogu proizvođača. Utjecaj montaže na različitim visinama ispod 1000 m, kao i mogućnost javljanja veće struje pražnjenja od naznačene, obuhvaćeni su kriterijumima datim u tabeli. Za montažu predviđenu na lokaciji sa nadmorskom visinom iznad 1000 m, neophodan je izbor većeg rastojanja između opreme i veće dužine kućišta kako bi se održao podnosivi napon u uslovima smanjene gustine vazduha.

i. Dužina puzne staze

⁵¹[Izvor: <http://www.zbornik-eint.org/wp-content/uploads/2015/04/12-2012.pdf>
(Preuzeto: 05.07.2019. 19:41h)]

⁵²[Izvor:<http://ees.etf.bg.ac.rs/predmeti/31/Izbor%20metaloksidnih%20odvodnika%20prenapona%20-%20za%20ispit.pdf> (Preuzeto: 05.07.2019. 21:13h)]

Dužina kućišta odvodnika prenapona zavisi od dužine puzne staze. Sam naziv nastao je po puzajućem pražnjenju koje predstavlja početni stadijum preskoka po površini izolatora. Puzna staza definiše se kao dužina izolatora kućišta mjerena po vanjskoj površini. Pojava puzajućih pražnjenja otežava se vještačkim povećanjem dužine odvodnika. U tom cilju, vanjska površina odvodnika ima talasast oblik kao u slučaju običnih izolatora za vanjsku montažu. Također, u uslovima velike vlažnosti i zaprljanosti kućišta uslijed zagađenja, sprečava se stvaranje provodnih puteva na površini kućišta što onemogućava pojavu preskoka.

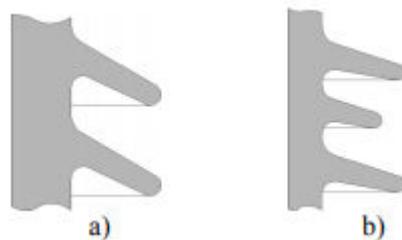
Specifična dužina puzne staze, data u $\left[\frac{mm}{kV} \right]$ u odnosu na najviši napon sistema U_s , zavisi od nivoa zagađenja. Definisana su četiri nivoa zagađenja. Njihova klasifikacija prikazana je u narednoj tabeli:

Nivo zagađenja	Specifična dužina puzne staze (mm/kV)
I (lako zagađenje)	16
II (srednje zagađenje)	20
III (teško zagađenje)	25
IV (vrlo teško zagađenje)	31

Tabela 8. Klasifikacija nivoa zagađenja sredine⁵³

U slučajevima luhkog i srednjeg zagađenja, moguće je koristiti minimalnu dužinu kućišta koja je određena aktivnim dijelom odvodnika prenapona. Međutim, na lokacijama širom svijeta, često je potrebno koristiti kućišta čija dužina puzne staze odgovara III i IV nivou zagađenja. Za specifične oblasti, kao što su oblasti sa priobalnim pustinjama i kombinacijama ovih oblasti sa industrijskim zagađenjem, pouzdanost rada odvodnika prenapona, umjesto povećanjem dužine puzne staze, ostvaruje se izborom višeg trajnog radnog napona i naznačenog napona, ako zahtjevi u pogledu zaštite to dopuštaju. Druga mogućnost odnosi se na izbor kućišta sa većim razmakom između aktivnog dijela i zida kućišta što se, uglavnom, primjenjuje kod porculanskih kućišta. Kod izbora puzne staze, mogu se odabrati izolatori sa normalnim profilom ili alternativnim profilom. Kod normalnog profila su sva rebra istog oblika, dok se kod alternativnog profila različitih dimenzija naizmjениčno smjenjuju veće i manje rebro. Prednosti alternativnog profila ogledaju se u prevenciji nastanka provodnih slojeva na njegovoj površini. Također, ovaj profil se bolje ponaša pri ispitivanjima u prisustvu slane magle. S druge strane, normalan profil je pokazao dobru sposobnost samočišćenja u stvarnim radnim uslovima.

⁵³[Izvor:<http://ees.etf.bg.ac.rs/predmeti/31/Izbor%20metaloksidnih%20odvodnika%20prenapona%20-%20za%20ispit.pdf> (Preuzeto: 05.07.2019. 21:13h)]



Slika 36. a) normalan profil izolatora, b) alternativni profil izolatora⁵⁴

ii. Klasa zaštite od nadpritiska

U praksi je moguć nastanak preopterećenja i unutrašnjeg kvara odvodnika. Ponašanje odvodnika u tom slučaju zavisi od tipa konstrukcije. Kod odvodnika sa porculanskim kućištem razvija se luk u vazdušnom prostoru između aktivnog dijela i kućišta. Kroz nastali luk će protjecati struja kratkog spoja čija je vrijednost definisana mjestom ugradnje odvodnika. Kao posljedica toplotne energije luka, javlja se brzo širenje vazduha. Eksplozija kućišta se sprečava otvaranjem sigurnosne membrane čime se vreli gasovi ispuštaju izvan kućišta zajedno sa lukom koji nastavlja da gori dok traje kratak spoj. Iz navedenog razloga se za odvodnike ovog tipa definiše *klasa zaštite od nadpritiska*. Nova konstrukcija odvodnika sa polimernim kućištem nema vazdušni prostor, pa ne postoji mogućnost širenja gasa odnosno pojava eksplozije. Međutim, unutrašnji kvarovi se javljaju i kod ovog tipa odvodnika. Ovi kvarovi karakterišu se pojmom struje kratkog spoja, pa se od odvodnika zahtijeva sposobnost njihovog podnošenja. U slučaju kratkog spoja unutar odvodnika prenapona, postavlja se uslov da njegovo kućište ostane u jednom dijelu. U slučaju loma, potrebno je da dijelovi odvodnika padnu na zemlju u radijusu koji nije veći od visine odvodnika. Nasilno rasprskavanje odvodnika nije dozvoljeno. Kada su u pitanju porculanski odvodnici, preporučuje se njihovo izbjegavanje kao potpornih izolatora za provodnike i sabirnice.

Naznačena struja kratkog spoja (A) (efektivna vrednost simetrične komponente struje kratkog spoja)
5000
10000
16000
20000
31500
40000
50000
63000
80000

Tabela 9. Klasifikacija odvodnika prenapona prema naznačenoj struci kratkog spoja⁵⁵

⁵⁴[Izvor:<http://ees.etf.bg.ac.rs/predmeti/31/Izbor%20metaloksidnih%20odvodnika%20prenapona%20-%20za%20ispit.pdf> (Preuzeto: 05.07.2019. 21:13h)]

U priloženoj tabeli prikazana je klasifikacija odvodnika prenapona prema naznačenoj struji kratkog spoja. Odvodnici prenapone određene klase trebalo bi da podnesu dejstvo odgovarajuće vrijednosti struje u trajanju od $200[ms]$. Iz priložene se tabele bira prva veća vrijednost struje kratkog spoja od očekivane vrijednosti struje kratkog spoja na mjestu ugradnje odvodnika. Prema novim standardima, definisana je i mala struja kvara koja iznosi $600 \pm 200[A]$. Ispitivanje odvodnika vrši se primjenom ove struje u trajanju od $1[s]$. Očekivano ponašanje zavisi od tipa odvodnika. Kod porculanskih odvodnika, neophodno je da se u ovom periodu otvori sigurnosna membrana što predstavlja dokaz mogućnosti reagovanja i pri vrlo malim strujama kvara. U slučaju polimernih odvodnika, ovo ispitivanje demonstrira njihovu otpornost na požar.

iii. Mehaničko opterećenje

Odvodnici prenapona u toku radnog vijeka izloženi su raznim mehaničkim opterećenjima. Proračun mehaničkog opterećenja predstavlja sastavni dio aktivnosti u vezi izbora metaloksidnih odvodnika prenapona. Mehaničko opterećenje se generalno može podijeliti na *statičko* i *dinamičko opterećenje*. *Statičko opterećenje* nastaje kao posljedica načina montaže odvodnika i njegovog povezivanja priključnim provodnicima na sabirnice. *Dinamičko opterećenje* može da nastane uslijed struje kratkog spoja koja protiče kroz sabirnice na koje je odvodnik priključen, uslijed udara jakog vетра i prilikom zemljotresa.

Dozvoljene vrijednosti mehaničkog opterećenja definišu proizvodači odvodnika. ABB u svojim katalozima definiše vrijednosti dopustivog statičkog i dinamičkog momenta. Pri tome se podrazumijeva da ovi momenti nastaju dejstvom horizontalno usmjerene sile na gornji priključak vertikalno postavljenog odvodnika. Najveće opterećenje djeluje na osnovu odvodnika i najnižu jedinicu kućišta u slučaju kućišta sastavljenog iz više jedinica. U praksi se sve jedinice ovakvog kućišta izrađuju tako da mogu da izdrže deklarisani moment. Siemens definiše samo vrijednosti maksimalno dopustivog dinamičkog momenta i odgovarajuće sile koja djeluje na vrh metaloksidnog odvodnika prenapona. Navedeni proizvodači usvojili su standard da odvodnici sa porculanskim kućištem ne smiju da budu podvrgnuti statičkom opterećenju koje iznosi više od 40% dopuštenog dinamičkog opterećenja. S druge strane, dopušteno dinamičko opterećenje ne smije da bude veće od 80% vrijednosti opterećenja pri kojoj dolazi do pucanja kućišta odvodnika. Ova vrijednost određuje se na osnovu eksperimentalnih ispitivanja mehaničke čvrstoće kućišta odvodnika. Potrebno je napomenuti da kod polimernih kućišta još nisu ustanovljeni odgovarajući standardi. Prema dosadašnjim saznanjima, bez ikakvih problema je moguće dugotrajno opteretiti kućište odvodnika sa vrijednošću opterećenja koja iznosi 70% od one pri lomu odvodnika. Kako se polimerna kućišta vidljivo savijaju pod dejstvom mehaničkih sila, potrebno je, u neophodnim slučajevima, odabrati metaloksidni odvodnik prenapona sa kućištem koje ima veću mehaničku čvrstoću.

⁵⁵[Izvor:<http://ees.etf.bg.ac.rs/predmeti/31/Izbor%20metaloksidnih%20odvodnika%20prenapona%20-%20za%20ispit.pdf> (Preuzeto: 05.07.2019. 21:13h)]

Takvi su odvodnici sa kompozitnom strukturom. Na osnovu izloženog, može se zaključiti da se mnogobrojni zahtjevi u vezi kućišta metaloksidnog odvodnika prenapona ostvaruju konstruktivnim mjerama koje dovode do odgovarajuće kombinacije materijala, prečnika i dužine kućišta odvodnika. Odvodnik, sa više jedinica kućišta, izrađuje se u slučajevima kada je zahtjevana ukupna dužina odvodnika veća od one koja se može smjestiti u jedno kućište. Iz tehničkih razloga, dužina porculanskih kućišta je ograničena na oko dva metra. Kod polimernih kućišta veće dužine su moguće i koriste se često. Jedinstveno kućište karakterišu niži troškovi i prednosti u teško zagađenim sredinama. Upotreba više jedinica kućišta karakteriše se većim troškovima s obzirom da svaka jedinica ima posebne prirubnice, uređaje za zaptivanje i zaštitu od nadprtisika.

3. ZAKLJUČAK

Na prethodnim stranicama ovog rada bilo je riječi o elektroenergetskim postrojenjima i nešto više od nekim njegovim elementima, tačnije o prekidačima, rastavljačima i odvodnicima prenapona. Rezimirajmo u kratkim crtama o čemu je tačno bila riječ.

Prekidači su sklopni uređaji za uključenje i isključenje električnog kola u svim mogućim režimima rada čija najveća naprezanja nastaju tokom prekidanja struja kratkih spojeva i pojave električnog luka. Električni luk se gasi u dijelu prekidača koji se naziva komora za gašenje električnog luka. Prema vrsti sredine u međukontaktnom prostoru prekidača i načinu gašenja električnog luka, prekidači mogu da se podijele na: uljne, malouljne, pneumatske, SF₆ i vakuumske prekidače. Izbor prekidača vrši se postavljanjem sljedećeg:

- 1) Izbor naznačenog napona
- 2) Naznačeni izolacioni nivo
- 3) Naznačena trajna struja
- 4) Naznačena kratkotrajno podnosiva struja kratkog spoja
- 5) Naznačena udarna struja kratkog spoja
- 6) Naznačeno trajanje kratkog spoja
- 7) Naznačena struja isključenja kratkog spoja
- 8) PPN koji se odnosi na naznačenu struju isključenja kratkog spoja
- 9) Naznačena struja uključenja kratkog spoja
- 10) Naznačeni ciklus operacija

Rastavljač je mehanički rasklopni aparat koji služi da vidno i sigurno odvoji onaj dio postrojenja koji nije pod naponom od dijela koji je pod naponom kako bi omogućio pristup pojedinim elementima dok su drugi dijelovi postrojenja u pogonu. Pogoni visokonaponskih rastavljača mogu biti: ručni, motorni, pneumatski i hidraulični. Karakteristične veličine i kriterijumi izbora rastavljača uključuju:

- 1) Naznačeni napon
- 2) Naznačena struja
- 3) Dinamička struja
- 4) Jednosekundna podnosiva struja

Izbor rastavljača je pravilan ukoliko su ispunjeni prethodno navedeni uslovi.

Prema standardnoj definiciji Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC), pod prenaponom se podrazumijeva bilo koje povećanje napona između dvije tačke koje stvara električno polje između njih tako da ono može biti opasno po oštećenje izolacije. Prenapon predstavlja napon između faznog provodnika i zemlje ili između faza čija tjedena vrijednost prelazi odgovarajuću tjedenu vrijednost najvišeg napona opreme. Prenaponi se prema uzroku nastanka mogu podijeliti na dva osnovna tipa i to na spoljašnje ili atmosferske prenapone i unutrašnje prenapone.

Prenaponska zaštita na niskom naponu se sprovodi primjenom principa koordinacije izolacije, tj. ograničavanja prenapona što zapravo obuhvata izbor

elektroizolacionih karakteristika nekog uređaja u zavisnosti od načina i mesta njegove upotrebe. Uređaji prenaponske zaštite (odvodnici prenapona) su uređaji koji sadrže nelinearne otpornike vezane prema zemlji i koji, prilikom nailaska prenaponskog talasa, smanjuju otpornost odvodeći dio energije u zemlju. Kada prenaponski talas prođe, ovi uređaji ponovo povećavaju svoju otpornost (impedansu) na prvobitnu vrijednost. Kada se govori o tipovima odvodnika prenapona, razlikuju se dva osnovna tipa i to odvodnici s iskrištim i odvodnici bez iskrišta.

Izbor klasičnih odvodnika prenapona vrši se postupkom kroz sljedeće korake:

- 1) Određivanje trajnog radnog napona odvodnika
- 2) Izbor naznačenog napona odvodnika prenapona
- 3) Procjena amplitude očekivane struje pražnjenja kroz odvodnik
- 4) Struje rasterećenja dugih vodova
- 5) Klasa zaštite od nadpritiska
- 6) Zahtjevi vezani za aero-zagađenje područja na kom se odvodnik ugrađuje
- 7) Procjena potrebe da odvodnik ograničava sklopne napone
- 8) Specijalni zahtjevi

Električni parametri za izbor metaloksidnih odvodnika prenapona uključuju sljedeće:

- 1) Određivanje parametara sistema
- 2) Provjera nenormalnih uslova rada
- 3) Izbor naznačenog napona odvodnika prenapona
- 4) Nazivna struja pražnjenja
- 5) Klasa rasterećenja voda

Osim električnih parametara, u slučaju pravilnog izbora metaloksidnog odvodnika prenapona, potrebno je sagledati i mehaničke parametre koji su bitni sa aspekta izbora kućišta odvodnika prenapona na koji utječu:

- Statička i dinamička naprezanja,
- Nivo zagađenja sredine u kojoj se planira upotreba odvodnika,
- Struja kratkog spoja na mjestu ugradnje odvodnika prenapona,
- Oblik spoljašnje površine kućišta, odnosno profil izolatora

LITERATURA

- Knjige, skripte i priručnici:
 - Električna postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1Kv-stručni seminar-Prof. dr. sc. Ivo Uglešić, dipl. ing; Miroslav Krepela, dipl. ing.- Hrvaska komora inženjera elektrotehnike-2013.
 - Elektroenergetska postrojenja za III i IV razred srednjeg usmjerjenog obrazovanja elektrotehničke struke-Rajko Misita, dipl. ing.-Izdavačko knjižarsko trgovinsko preduzeće „Sarajevo“-Sarajevo
 - Odvodnici prenapona-Metaloksidni odvodnici prenapona-skripta-IUT
 - Priručnik za održavanje visokonaponske opreme, za internu upotrebu-Dr. Radojle Radetić, dip. Ing. el.-Bor, 2017.
 - Razvodna postrojenja-Prof. dr. Jovan Nahmna, Dr. Vladica Mijailović-Akademска misao, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2005.
 - Razvodna postrojenja-priručnik za sticanje stručne spreme visokokvalifikovanog radnika elektrotehničke struke-Janković B. Aleksandar, dipl. ing. elektrotehnike-Beograd, 1967.
 - Tehnika visokog napona-Prof. dr. sc. Ivo Uglešić, dipl. ing.-Zagreb, 2002.
- Seminarski, završni i naučni radovi:
 - Izbor elemenata postrojenja-izolatori-Senaid Avdić-Internacionalni univerzitet Travnik, Travnik 2018.
 - Izbor elemenata postrojenja-sabirnice-seminarski rad-Adna Bajrić-Internacionalni univerzitet Travnik, Travnik 2018.
 - Odabir prekidača u elektroenergetskim postrojenjima-završni rad-Domagoj Ivanković-Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, sveučilišni studij-Osijek, septembar 2016.
 - Značajke i primjena linijskih odvodnika prenapona-diplomski rad-Damir Kurtović-Sveučilište u Splitu-Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje-Split, 2008.
- Internet izvori:
 - <https://muricmilorad.files.wordpress.com/2011/11/elektricna-postrojenja-iii.pdf> (Preuzeto: 04.07.2019. 21:50h)
 - https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/2_predavanje_Energetika_premaUE_prema_2_pred_u_Power_pointu.pdf (Preuzeto: 04.07.2019. 21:58h)
 - https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_sigurnost_1/SUPEE_POG_05.pdf (Preuzeto: 04.07.2019. 21:48h)

PRILOZI

TABELARNI PRIKAZI

<i>Tabela 1.</i> Standardni stepeni izolacije za područje I ($1[kV] < U_{r,\max} < 245[kV]$)	24
<i>Tabela 2.</i> Standardni stepeni izolacije za područje II ($U_{r,\max} > 245[kV]$)	24
<i>Tabela 3.</i> Usporedba dva osnovna tipa odvodnika prenapona.....	32
<i>Tabela 4.</i> Određivanje naznačenog napona prema ABB-u.....	41
<i>Tabela 5.</i> Prijedlog za izbor klase rasterećenja voda od strane Siemens-a.....	43
<i>Tabela 6.</i> Prijedlog za izbor klase rasterećenja voda od strane ABB-a	43
<i>Tabela 7.</i> Kriterijumi za ispitivanje kućišta odvodnika prenapona podnosivim naponom.....	44
<i>Tabela 8.</i> Klasifikacija nivoa zagađenja sredine.....	45
<i>Tabela 9.</i> Klasifikacija odvodnika prenapona prema naznačenoj struji kratkog spoja	46

SLIKE

<i>Slika 1.</i> Jednopolna šema postrojenja sa duplim sabirnicama, s dva voda i jednim odvodom, transformatorom i naponskim mjernim transformatorom.....	5
<i>Slika 2.</i> Postrojenje $110[kV]$ sa dva sistema glavnih sabirnica	6
<i>Slika 3.</i> Vremenska zavisnost struje i napona psigurača prije i poslije pregorijevanja	8
<i>Slika 4.</i> Spoljašnji izgled osigurača.....	9
<i>Slika 5.</i> Uljni trofazni transformatori snage $100[MVA]$ i napona $400[kV]$	10
<i>Slika 6.</i> Suh transformator snage $1000[kVA]$ napona $10[kV]$	10
<i>Slika 7.</i> Transformator sa gasom SF ₆ kao izolacijom	10
<i>Slika 8.</i> Princip rada (a) i ekvivalentna šema (b) strujnog transformatora	11
<i>Slika 9.</i> Ekvivalentna šema induktivnog naponskog transformatora	13
<i>Slika 10.</i> Uljni prekidač.....	15
<i>Slika 11.</i> Malouljni prekidač	15
<i>Slika 12.</i> Prikaz jednog pola prekidača sa malo ulja za 35 kV za unutrašnju montažu	16
<i>Slika 13.</i> Prikaz jednog pola prekidača sa malo ulja za 35 kV za unutrašnju montažu	17
<i>Slika 14.</i> Šematski prikaz rada hidromatskog prekidača.....	18

<i>Slika 15.</i> Principijelni prikaz rada komore za gašenje luka (konstrukcija 1)	19
<i>Slika 16.</i> Principijelni prikaz rada komore za gašenje luka (konstrukcija 2)	19
<i>Slika 17.</i> Principijelni prikaz rada komore za gašenje luka (konstrukcija 3)	20
<i>Slika 18.</i> SF ₆ prekidač.....	21
<i>Slika 19.</i> Vakuumski prekidač	22
<i>Slika 20.</i> Razvoj prekidača.....	23
<i>Slika 21.</i> 10[kV]-ni rastavljač proizvodnje „Elektrosrbija“	27
<i>Slika 22.</i> Načini izvođenja rastavljača	27
<i>Slika 23.</i> Pantografski rastavljač sa nožem za uzemljenje	28
<i>Slika 24.</i> Klasifikacija prenapona prema trajanju i faktoru prenapona	30
<i>Slika 25.</i> Načini zaštite vodova	30
<i>Slika 26.</i> Strujno-naponska karakteristika a) idealnog i b) realnog odvodnika prenapona	31
<i>Slika 27.</i> Zaštitna zona odvodnika prenapona.....	31
<i>Slika 28.</i> Konstrukcija cinkoksidnog ZnO odvodnika prenapona.....	34
<i>Slika 29.</i> Detalji konstrukcije ZnO odvodnika prenapona	35
<i>Slika 30.</i> Izgled odvodnika prenapona s porcelanskim kućištem.....	36
<i>Slika 31.</i> Vrste priključaka odvodnika s porcelanskim kućištem.....	36
<i>Slika 32.</i> Dijagram toka izbora metaloksidnih odvodnika prenapona prema ABB-u	37
<i>Slika 33.</i> Dijagram toka izbora metaloksidnih odvodnika prenapona prema Siemensu	38
<i>Slika 34.</i> Sposobnost podnošenja privremenih prenapona K_t pri temperaturi ambijenta od 45°C.....	40
<i>Slika 35.</i> Dijagram faktora prenapona u funkciji vremena	42
<i>Slika 36.</i> a) normalan profil izolatora, b) alternativni profil izolatora	46

BILJEŠKE
