

Zaštita od atmosferskih prenapona u distribucijskim mrežama

Burić, Mate

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:486100>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

**ZAŠTITA OD ATMOSFERSKIH PRENAPONA U
DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA**

Mentor: mr. sc. Marijana Živić Đurović, v. pred.

Rijeka, srpanj 2022.

Mate Burić

0069081427

Rijeka, 15. ožujka 2021.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**
Predmet: **Zaštita električnih postrojenja**
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Mate Burić (0069081427)**
Studij: **Preddiplomski stručni studij elektrotehnike**

Zadatak: **Zaštita od atmosferskih prenapona u distribucijskim mrežama / Atmospheric overvoltage protection in distribution networks**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati važnost zaštite od prenapona u distribucijskoj mreži. Opisati karakteristike udarnih napona i struje munje. Opisati NN odvodnike prenapona. Analizirati primjere procjene rizika za građevine spojene na NN mrežu.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Mate Burić

Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2021.

Mentor:

Marijana Živić Đurović

Mr. sc. Marijana Živić Đurović, v. pred.

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Saša Vlahinić

Prof. dr. sc. Saša Vlahinić

IZJAVA

Na temelju čl. 8. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih studija. Izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad naslova „Zaštita od atmosferskih prenapona u distribucijskim mrežama / Atmospheric overvoltage protection in distribution networks“ od 15.3.2021.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. ELEKTRODISTRIBUCIJSKA MREŽA	2
2.1. Sustav elektrodistribucijske mreže.....	2
2.2. Struktura distribucijskih mreža	3
2.3. Transformatorske stanice	3
3. KARAKTERISTIKE NISKONAPONSKE I SREDNJENAPONSKE MREŽE	5
3.1. Značajke niskonaponske mreže.....	5
3.2. Značajke srednjenaponske mreže	8
4. PRENAPONI U DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA	10
4.1. Vrste prenapona	10
4.2. Nastajanje prenapona	11
4.3. Niskonaponski odvodnici prenapona	13
5. ZAŠTITA OD PRENAPONA	17
5.1. Sustav gromobranske zaštite	17
5.2. Održavanje gromobrana	19
5.3. Uređaji prenaponske zaštite niskog napona	20
6. GROMOBRANSKA ZAŠTITA	23
6.1. Fenomen munje	23
6.2. Atmosferski prenaponi	24
6.3. Energija munje	26
6.4. Parametri groma	27
7. PROCJENA RIZIKA ZA GRAĐEVINE NA NISKONAPONSKOJ MREŽI	29
8. ZAKLJUČAK	32
LITERATURA	34
POPIS OZNAKA I KRATICA	36
SAŽETAK	36
SUMMARY	37

1. UVOD

Zaštita distribucijske mreže od prenapona prilično je zahtjevan zadatak. Tradicionalni razlog za zaštitu od prenapona je sprječavanje kvara skupih komponenti, poput transformatora. Uz sve veći značaj kvalitete električne energije, od velike je važnosti učinak prenaponske zaštite na kratke prekide i padove napona. To znači da zaštitu od prenapona treba duboko modelirati i analizirati kao dio analize mreže temeljene na pouzdanosti. Primjerice, odabir korištenja odvodnika prenapona umjesto iskrišta u zaštiti transformatora nije neophodan na temelju samog transformatora, već posljedica kratkotrajnih prekida i padova napona.

Govoreći o prenaponima, potrebno je reći kako su to naponi između pojedinačnih vodiča ili pak između vodiča i zemlje. Njihova vršna vrijednost veća je od nazivne vrijednosti napona. Oni se mogu pojaviti izravnim ili neizravnim udarom munje u elektroenergetski sustav ili pak u njegovoj neposrednoj blizini. Kada je riječ o prenaponima, razlikujemo unutarnje i vanjske prenapone. Oni koji se pojavljuju na električnoj mreži nazivaju se unutarnjim prenaponima, a nastaju prijelaznim pojavama koje su nastale zbog isključenja ili uključivanja dijelova mreže pri sklopnim operacijama. Oni prenaponi koji se pojavljuju kada grom ili munja udare direktno u vod se nazivaju vanjskim prenaponima. Kada govorimo o gromu ili o munji, bitno je reći kako je to tok atmosferskog izbijanja koji nastaje između zemlje i oblaka koji su elektrizirani. Prenaponi se inače mogu podijeliti u odnosu na njihovo trajanje i oblik.

Grom je uvijek bio fenomen koji je godinama privlačio pažnju svojom pojavom, zvukovima i bljeskovima koji su zastrašujući. Čitav tok atmosferskog izbijanja naziva se gromom ili munjom, no bitno je reći kako se grom više odnosi na akustički dio atmosferskog izbijanja, a svjetlosni učinak atmosferskog izbijanja naziva se munjom.

Život na zemlji ne bi postojao da nema kiše, a vrlo čest znak kiše je pojava groma. Pored svoje dobre strane da najavljuje kišu, grom također ima i svoju lošu stranu, a to je da može prouzrokovati dosta štete. Upravo iz ovog razloga obični čovjek se uvijek bojao pojave munje i groma te je stalno nastojao naći rješenje kako bi se uspio zaštititi od ove opasne pojave i kako ne bi morao trpjeti velike posljedice koje ove dvije pojave mogu prouzrokovati. Mnogi znanstvenici su koristili razne opasne eksperimente kako bi se što bolje objasnili fenomen munje i groma te kako bi stvorili prikladna zaštita od istog. Benjamin Franklin u 18. stoljeću je otkrio kako je grom zapravo jako snažan električni naboj te ovim otkrićem dolazi i do pojave gromobranskih instalacija koje se i danas koriste kao vrlo učinkovita zaštita od ove vrste prenapona koja se javlja jako često.

2. ELEKTRODISTRIBUCIJSKA MREŽA

2.1. Sustav elektrodistribucijske mreže

Samo postojanje energetskeg sustava izmjenične struje ovisi o dostupnosti transformatora. Bez njih energetske sustav ne bi mogao funkcionirati. U svom najširem smislu, distribucijski i prijenosni sustav su način na koji se električna energija prenosi od izvora do mnogih mjesta korištenja. U svom specijaliziranijem smislu odnosi se na vodove i strujne krugove preko kojih električna energija prolazi gradskim ulicama ili seoskim cestama do krajnjeg potrošača. Elektroenergetski sustav sastoji se od tri glavne komponente: proizvodnje, visokonaponske prijenosne mreže i distribucijskog sustava. Prelazak s prijenosa električne energije na električnu distribuciju se događa u transformatorskim stanicama [1].

Distribucijska postrojenja obično su opremljena uređajima za daljinsko upravljanje i nadzor tako da se daljinski može aktivirati rad rasklopnih uređaja i pomoćne opreme. Kontrole, zaštite, transformacije i regulacije odvijaju se u sustavu distribucije energije. Distribucijski sustav mora biti sposoban sigurno i ekonomično zadovoljiti potrebe i zahtjeve svih korisnika, od najmanjih do najvećih. Da bi se to postiglo, rastuće zahtjeve korisnika električne energije potrebno je predvidjeti unaprijed kako bi se zadovoljili na vrijeme. Čimbenici koji se uzimaju u obzir pri dizajnu distribucijskog sustava uključuju sljedeće [1]:

- vrsta distribucijske topologije koja se koristi ovisit će o vrsti opreme za korištenje i namjenama koje zahtijeva kupac
- sadašnja iskorištenost i buduće potrebe: To će uključivati određeni stupanj predviđanja opterećenja.
- predviđeni vijek trajanja konstrukcije
- fleksibilnost strukture
- zahtjevi za opterećenje: oni mogu uključivati maksimalnu potražnju i vremenske intervale za maksimalnu potražnju
- rasklopni uređaji, oprema za distribuciju i sl.

2.2. Struktura distribucijskih mreža

Distribucijske mreže prenose struju posljednjih nekoliko kilometara od prijenosa do potrošača. Snaga se u distribucijskim mrežama prenosi nadzemnim vodovima na stupovima ili, u mnogim urbanim područjima, pod zemljom. Distribucijske mreže razlikuju se od prijenosnih mreža po naponskoj razini i topologiji.

Niži naponi se koriste u distribucijskim mrežama. U pravilu se vodovi do 35 kV smatraju dijelom distribucijske mreže. Veza između distribucijske mreže i prijenosa događa se na distribucijskim transformatorskim stanicama. Distribucijska postrojenja imaju transformatore za spuštanje napona na primarnu distribucijsku razinu (obično u rasponu od 0,4-35 kV). Kao i prijenosna postrojenja, distribucijska postrojenja također imaju prekidače i opremu za nadzor. Međutim, distribucijska postrojenja su općenito manje automatizirana od prijenosnih postrojenja [2].

Distribucijske mreže obično imaju radijalnu topologiju sa samo jednim smjerom strujanja energije između distribucijskog postrojenja i određenog opterećenja. Distribucijske mreže ponekad imaju prstenastu (ili petljastu) topologiju, s dva smjera protoka energije između distribucijskog postrojenja i opterećenja.

2.3. Transformatorske stanice

Transformatorske stanice su veza između dijelova distribucijske mreže i prijenosnih sustava. Ova ograđena područja (slika 1) snižavaju napon prijenosne mreže, a onaj koji je prikladan za distribucijsku mrežu. Također su opremljeni prekidačima za zaštitu distribucijskog sustava i zaštitu prijenosnog dijela, a mogu se koristiti za kontrolu toka energije u različitim smjerovima.

Oni također utječu na promjene napona uzrokovane, na primjer, povećanim opterećenjem. Transformatorske stanice su također uvijek opremljene sabirnicom koja omogućava struju u više smjerova, kao i prekidačima koji će omogućiti prekid strujnog kruga i izravnu kontrolu pojedinih dijelova prijenosnog i distribucijskog sustava [3].



Slika 1. Transformatorska stanica

Prekidači u strujnim krugovima prekidaju električnu energiju poput sklopki koje uključuju i gase svjetla u kućanstvima. Prekidači prekidaju električnu energiju kada se pojave neočekivani udari ili kvarovi, kako bi zaštili sustav od oštećenja - poput prekidača na glavnoj servisnoj ploči u kućanstvima [4].

Za sve transformatorske stanice nazivnog napona do 35 kV, potrebno je raditi povremene preglede i testiranja. Redovnim pregledima i ispitivanjima transformatorskih stanica produžava se njihov životni vijek i osigurava kontinuitet snabdijevanja električnom energijom. Redovna revizija i ispitivanje transformatorskih stanica podrazumijeva više aktivnosti ovisno o vrsti postrojenja, a u nastavku se navode samo neke:

- mjeri se izolacija kabela i transformatora, odnosno otpor izolacije
- vrši se ispitivanje relejnih zaštita (primarno i sekundarno)
- mjeri se otpor sustava uzemljenja korištenjem U-I metode
- mjeri se napon dodira i koraka
- u sustavu uzemljenja provjerava se galvanska povezanost
- radi se ispitivanje dielektrične čvrstoće izolacijskih ulja [5]

3. KARAKTERISTIKE NISKONAPONSKE I SREDNJENAPONSKE MREŽE

3.1. Značajke niskonaponske mreže

Elektroenergetski sustav sastoji se od skupa međusobno povezanih dijelova za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije do krajnjih korisnika. Ovi dijelovi su povezani skupom transformatora za povećanje i smanjenje razine napona na odgovarajuću razinu, koja je prikladna za rad sustava, kako bi se smanjili gubici u mreži. Proizvodnja u konvencionalnom sustavu temeljila se samo na fosilnom gorivu i nalazila se na središnjem mjestu udaljenom od središta opterećenja [6].

Međutim, priključenjem distribuiranih izvora, električna energija će se proizvoditi lokalno iz obnovljivih izvora energije i drugih izvora kao što su mali dizelski motori, što preoblikuje konvencionalnu topologiju sustava prema decentraliziranoj proizvodnji [7].

Prijenosna mreža prenosi električnu energiju u distribucijski sustav kroz mrežna mjesta za opskrbu (*engl. Grid Supply Points - GSP*), koja spuštaju razinu napona na razinu distribucijskog napona. Distribucijska mreža isporučuje energiju krajnjem korisniku kroz distribucijske mreže nižeg napona.

Transformatorska stanica srednjeg napona snižava napon na niskonaponsku razinu potrebnu za opskrbu jednofaznih i trofaznih krajnjih korisnika (230V jednofazni i 0,4 kV trofazni). Drugim riječima, sredjenaponske mreže počinju nakon mjesta za masovnu opskrbu i završavaju na transformatorskoj stanici srednjeg napona. Niskonaponske mreže polaze od transformatorske stanice srednjeg napona, gdje je naponski nivo spušten na 0,4 kV između dva voda trofazne mreže. Dakle, električna energija se distribuira do jednofaznog krajnjeg korisnika preko niskonaponske mreže (vod 230 V do nultog) [7].

Postoje tri glavne topologije elektroenergetskih mreža [8]:

- Topologija međusobno povezane mreže pristuna je u visokonaponskim prijenosnim mrežama kako bi se osiguralo sigurno napajanje u slučaju kvarova, budući da postoji više putova za prijenos električne energije.
- Topologija prstena uključuje i otvorenu petlju koja se uglavnom koristi u sredjenaponskim mrežama, kako bi se osigurala sigurnija opskrba. Otvorena točka nalazi se između dva međusobno povezana radijalna odvoda kako bi se osigurao radijalni rad za svaki.

- Topologija radijalne mreže ima široku primjenu u niskonaponskim distribucijskim mrežama. Radijalna mreža može se rekonfigurirati tako da povezuje dvije sabirnice u mreži.

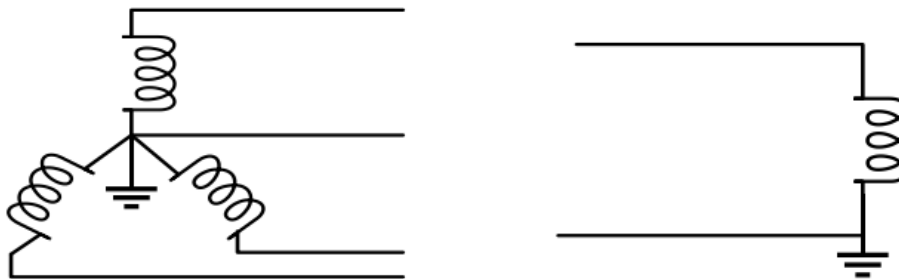
Diljem svijeta, najčešće razine napona u lokalnim niskonaponskim mrežama su u rasponu od 120-240 V jednofazni (tj. od faze do nule), ili 208-415 trofazne četiri žice (3-fazne 4-žice). Na temelju međunarodne standardne preporuke (IEC 60038), razina napona 3-fazne 4-žice je 230/ 400 V.

Niskonaponska mreža je posljednja faza elektroenergetske mreže koja se izravno povezuje s krajnjim korisnicima. Dakle, ima manju snagu, ali veliki broj čvorova. Zbog niske razine napona, instalacija i razvoj niskonaponskog odvoda zahtijevaju manje financiranje u usporedbi s višenaponskim odvodima, kao što su srednjenaponske mreže i visokonaponske mreže [8].

U sklopnoj shemi distribucijske mreže, svaka srednjenaponsko/niskonaponsko distribucijsko postrojenje može opskrbljivati različit broj od niskonaponskih odvoda. Štoviše, niskonaponski odvod može učinkovito prenositi snagu do približno 300 metara [8].

Drugim riječima, pri niskim naponskim razinama (400 V), svaka transformatorska stanica može opskrbljivati područje koje odgovara radijusu od 300 metara od transformatorske stanice, što je čini pogodnom za područja s velikom gustoćom opterećenja.

Na temelju praktične primjene, odvodi mogu biti podzemni kabeli ili nadzemni vodovi koji se protežu od transformatorske stanice srednjeg napona.



Slika 2. Dijagram niskonaponske mreže diljem svijeta (Europski layout)

Topologije niskonaponske mreže

Istraživanje glavnih topologija korištenih za konfiguriranje niskonaponskih distribucijskih mreža pokazuje da je većina niskonaponskih mreža konfigurirana kao radijalne mreže zbog jednostavnosti analize i dizajna sustava zaštite.

Međutim, zbog prednosti petlje, prstena ili mrežne topologije, za ublažavanje nekih tehničkih problema, kao što su varijacije napona i obrnuti tok snage, upotreba mrežaste topologije postaje sve češća. Većina niskonaponskih mreža slijedi europski standard. Trofazni niskonaponski sekundarni krug od 400 V je u osnovi projektiran na temelju dijagrama strujnog kruga trofaznog kabela. Zbog velikog opterećenja i gustoće stanovanja u urbanim sredinama, podzemni kabel se obično koristi u izgradnji niskonaponske mreže.

Korištenjem podzemnog kabela poboljšava se mogućnost da niskonaponski kabeli iz susjedne transformatorske stanice završavaju blizu jedan drugom, što omogućuje jednostavnost i nisku cijenu spajanja (međusobno) pomoću podzemne priključne kutije. Glavne prednosti ovakvog rasporeda su poboljšanje pouzdanosti i sigurnosti opskrbe, kao i poboljšanje fleksibilnosti sustava, na primjer, u slučaju gašenja ili naglog gubitka priključka jedne transformatorske stanice, napajanje se može normalno omogućiti putem drugih transformatorskih stanica preko priključne kutije [8].

Unatoč činjenici da se radijalna topologija široko koristi u 400 V 3-faznim 4-žičnim niskonaponskim mrežama, ona ima najnižu razinu sigurnosti i pouzdanosti napajanja, uz nedostatak fleksibilnosti. Paralelna međusobno povezana topologija ili točkasta topologija može se koristiti međusobno povezanim susjednim niskonaponskim radijalnim odvodima koji se napajaju iz dvije različite transformatorske stanice. Takva topologija poboljšava pouzdanost i fleksibilnost sustava u slučaju održavanja, gdje se opterećenja i dalje mogu napajati iz drugog transformatora.

Glavne karakteristike niskonaponske distribucijske mreže su sljedeće [8]:

- Sastoji se od velikog broja čvorova: niskonaponska mreža treba opskrbiti mnoge potrošače.
- Mreža se obično ne nadzire: značajan dio mjernog sustava, posebice kućansko brojilo još uvijek nema komunikacijske mogućnosti.
- Većina niskonaponskih mreža je radijalne prirode, a to pojednostavljuje analizu toka snage.

- Visoki R/X omjeri u usporedbi s visokonaponskim i srednjenaponskim mrežama: osobito u slučaju podzemnog kabela. I to čini otpor vrlo važnim čimbenikom u određivanju napona, gdje je kut napona približno stalan na niskonaponskoj mreži.
- Dvosmjerni tok snage: distribucijski izvor je ubrizgao višak proizvedene snage u niskonaponsku mrežu, što je rezultiralo obrnutim protokom snage sa strane opterećenja, a to podiže razinu napona na strani opterećenja.

Rad niskonaponske distribucijske mreže definiran je kvalitetom električne energije i pitanjima sigurnosti mreže. Na primjer, provedene su mnoge studije kako bi se analizirao utjecaj distribucijskih izvora na rad niskonaponske mreže. Također, operativne studije uključuju procjenu i rješavanje problema vezanih uz varijacije napona, preopterećenje mreže, neuravnoteženo opterećenje, kvarove i gubitke energije u mreži.

3.2. Značajke srednjenaponske mreže

Srednjenaponske mreže dio su elektroenergetske mreže za distribuciju električne energije na rutama u rasponu od nekoliko kilometara do 100 km u ruralnim područjima. Obično rade s nazivnim naponima od 10 kV, 20 kV ili 35 kV. Mreža srednjeg napona obično se koristi za opskrbu električnom energijom regije koja se sastoji od nekoliko lokaliteta ili pak okruga u gradovima.

U elektroenergetici se pod srednjim naponom podrazumijeva napon u rasponu od 1 kV do uključivo 52 kV. Gornja granica nije jasno definirana. Pojam srednji napon nije standardiziran ili nije precizno definiran unutar granica. Srednjenaponske mreže operatora distribucijskog sustava obično se napajaju u transformatorskim stanicama iz visokonaponske mreže više razine, kao što je razina 110 kV, i koriste se za napajanje regionalno raspoređenih transformatorskih stanica koje opskrbljuju pojedinačne niskonaponske mreže do krajnjih kupaca [9].

Veći kupci električne energije, kao što su industrijska poduzeća, bolnice, ali i veći bazeni i veći odašiljački tornjevi, obično imaju svoje srednjenaponske priključke s vlastitom transformatorskom stanicom. Potrebna snaga za opskrbu energetskih transformatora je u rasponu od 20 MVA do 60 MVA, a konkretne vrijednosti uvelike ovise o pojedinom pružatelju usluge.

Po potrebi se mogu koristiti elektronički srednjenaponski regulatori s velikom snagom napajanja iz decentraliziranih obnovljivih izvora energije. To omogućuje podizanje ili snižavanje napona na zadanu vrijednost u pojedinim dijelovima daleko od središnje transformatorske stanice.

Elektronički regulator srednjeg napona sastoji se od dva izmjenjivača koji su spojeni preko istosmjernog napona međukruga. Ovisno o stanju opterećenja te promjeni napona, reguliraju stranu opterećenja. Kako bi se osigurala sigurnost opskrbe, srednjenaponske mreže obično rade s uzemljenim, a u iznimnim slučajevima s izoliranim zvjezdištem, ako je prostorno proširenje ograničeno - to je tipičan slučaj s industrijskim mrežama [9].

Osim toga, prekidači se također mogu koristiti za povećanje prosječne sigurnosti opskrbe nadzemnih vodova. U opsežnoj srednjenaponskoj mreži to ograničava dugotrajni nestanak struje na manje područje napajanja. Srednjenaponske mreže u topologiji kao radijalne mreže ili prstenaste mreže, osobito u urbanim sredinama, petlje su uobičajene. Prstenasti vodovi imaju prednost u tome što se dio vodova može isključiti, na primjer, zbog prekida kabela ili radova na održavanju, bez prekida opskrbe podređenim niskonaponskim mrežama.

Srednjenaponske mreže mogu se napajati s nekoliko točaka, a manje elektrane, kao što su vjetroturbine, bioplinska postrojenja i veliki fotonaponski sustavi, napajaju u regionalne srednjenaponske mreže. Srednjenaponske mreže obično su projektirane kao podzemni kabeli u gusto naseljenim područjima [9].

Dionice vodova koje prolaze kroz šume, sve se češće polažu i kao podzemni kabeli. U ruralnim područjima, vodovi srednjeg napona projektirani su kao nadzemni vodovi, također zbog troškova. Nadzemni vodovi srednjeg napona postavljaju se na drvene, betonske ili rešetkaste stupove. Srednjenaponski nadzemni vodovi praktički uvijek koriste jedan vodič i obično nose samo jedan krug, čak i ako na mnogim mjestima postoje vodovi s 2 (i rijetko) s još više krugova.

Upotreba zaštitnih užadi rijetka je u čistim srednjenaponskim nadzemnim vodovima, kao i zračni vodovi za prijenos podataka. Srednjenaponski nadzemni vodovi imaju mnogo grananja, često sa stupnim separatorima kako bi se ovaj vod mogao posebno ukloniti iz mreže. Drugi tipični elementi srednjenaponskih vodova su stupni transformatori za napajanje manjih potrošača.

U slučaju nadzemnih vodova, metode poput automatskog ponovnog uklopa također se koriste u srednjenaponskoj mreži, jer uzrok kvara, kao što je grana koja je pala na nadzemni vod, udar groma ili slično, često nestane samo po sebi i time se može povećati sigurnost opskrbe.

4. PRENAPONI U DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA

4.1. Vrste prenapona

Kada su u pitanju vodovi i kabeli, za njih je definiran pogonski (nazivni) napon koji je pogodan za taj kabel ili vodič, odnosno koji kabel ili vodič mogu podnijeti (koji može podnijeti izolacija tog kabela) kako ne bi došlo do proboja izolacije. Ako dođe do proboja izolacije ili proboja vodiča, pri čemu izolacija i vodič imaju različite jačine (potencijale), doći će do stvaranja električnog luka. Električni luk može ostaviti neželjene posljedice na opremi koja se nalazi u postrojenjima, s obzirom na to da stvara veliku temperaturu. Prenaponima se nazivaju sve one vrijednosti napona koje su veće od najviše vrijednosti običnog napona, a pri kojima su dijelovi mreže još uvijek u pogonskom stanju [10].

Prenaponi mogu nastati na nekoliko različitih načina, kao na primjer prirodnim pojavama, prilikom kvarova, Ferrantijevim učinkom i dr. Njihova trajanja nisu jako duga i kreću se od nekoliko milisekundi do nekoliko sekundi te tako nastaje podjela prenapona na prijelazne prenapone i privremene prenapone. Prenapon, koji se događa pri pogonskoj frekvenciji, naziva se privremeni prenapon. On može biti vrlo slabo prigušen ili neprigušen, a ponekad se dogodi da je njegova frekvencija ili veća ili manja od pogonske. Prijelazni prenapon je prenapon koji kratko traje, po nekoliko milisekundi i on je prigušen.

Također, prenaponi mogu biti vrlo različiti te se kao takvi mogu podijeliti prema trajanju, nastajanju ili obliku. Kao što je prethodno spomenuto, naponi koji se dijele prema trajanju su privremeni i prijelazni prenaponi, a ponekad to može biti i kombinacija ova dva slučaja. Kada je u pitanju privremeni prenapon, on traje dulje od prijelaznog.

Kada je u pitanju podjela prenapona prema nastajanju, onda su u pitanju prenaponi koji nastaju atmosferskim pražnjenjem i sklopnim prenaponima. Prema obliku, prenaponi se dijele na prenapone polaganog porasta čela, prenapone brzog porasta čela i na prenapone vrlo brzog porasta čela, što zapravo ovisi o trajanju čela [10].

Kada dođe do sklapanja nekog dugog voda gdje dolazi do gubitka tereta ili prilikom nastanka kvara na mreži, nastaju sklopni prenaponi.

Ovi prenaponi su vrijednosti napona koji su viši od najviše dozvoljene vrijednosti nekog dijela mreže. Vrlo je bitno raditi remonte i redovito održavanje pojedinih dijelova postrojenja kao i elektroenergetskog sustava kako bi on radio dobro.

Kada se rade ove vrste održavanja, potrebno je gašenje jednog dijela mreže ili postrojenja kako bi se ono dovelo u beznaponsko stanje. Ovo omogućava terenskim ekipama izvršenje potrebnih radnji u postrojenju.

Ako se neki kvar dogodi na mreži, potrebno je isključiti dijelove te mreže jer bi u suprotnom moglo doći do još većih oštećenja opreme. Kada se isklapa dio mreže ili postrojenja, struja se prekida te ovo za posljedicu ima povišenje napona. Taj napon prilikom kontakta stvara električni luk kao i ogromnu količinu topline, a upravo to može oštetiti rastavljačku i prekidačku opremu.

Nakon što se ovi dijelovi mreže isklupe radi popravka kvara na mreži, u vodu se može naći određena količina električnog naboja, što dovodi do većih vrijednosti napona kada se ponovo uklapaju dijelovi mreže na napon pogonske frekvencije. Ovisno o tome koja naponska razina je korištena, odnosno koja topologija mreže, o tome će ovisiti i visina napona. Također, ulogu igraju i snaga kratkog spoja i oprema koja se koristi u postrojenju, odnosno njene značajke. Sklopni prenaponi ne traju dugo te se njihovo trajanje mjeri u milisekundama. Na početku dolazi do velikih titraja koji se s vremenom smanjuju i postaju stabilniji i tako dolaze u nazivnu vrijednost napona.

Velika oštećenja postrojenja mogu se dogoditi i u vrlo kratkom roku te je upravo zato potrebno točno dimenzionirati sve zaštitne elemente. Na taj način se ublažavaju iznenadne situacije ili se u nekim slučajevima mogu u potpunosti ukloniti. Odvodnici prenapona se koriste kako bi se zaštitilo od prenapona. Ovi odvodnici se ponašaju kao nelinearni otpori te se njihovi iznosi mijenjaju. Prigušni otpornici za sprječavanje visokih prenapona se također koriste pored odvodnika prenapona. Oni se koriste nakon isklapanja dijela mreže u kojoj se nalazio električni naboj [10].

4.2. Nastajanje prenapona

Porast napona za vrlo kratko vrijeme u elektroenergetskom sustavu naziva se prenaponom. Također je poznat kao skok napona ili prijelazni napon. Napon uzrokovan prenaponom može oštetiti vodove i opremu spojenu na sustav. Postoje dvije vrste uzroka prenapona u elektroenergetskom sustavu [11].

- prenapon zbog vanjskih uzroka
- prenapon zbog unutarnjih uzroka

Prijelazni prenaponi mogu se generirati na visokoj frekvenciji, srednjoj frekvenciji ili niskoj frekvenciji. Prenaponi zbog vanjskih uzroka u elektroenergetskom sustavu su udari munje u oblaku. Munje nastaju kada se električni naboji nakupljaju u oblacima zbog grmljavine uzrokovane nekim lošim atmosferskim procesom.

- *Vanjski prenaponi*

Ova vrsta prenapona potječe od atmosferskih poremećaja, uglavnom uslijed udara groma. To ima oblik prenapona i nema izravnu vezu s radnim naponom faza. Može biti posljedica bilo kojeg od sljedećih uzroka [11]:

- izravan udar groma
- elektromagnetski inducirani prenaponi zbog pražnjenja munje koje se odvija u blizini faze, što se naziva 'bočni udar'
- naponi inducirani zbog atmosferskih promjena duž duljine voda
- elektrostatički inducirani naponi zbog prisutnosti nabijenih oblaka u blizini
- elektrostatički inducirani prenaponi zbog učinaka trenja malih čestica poput prašine ili suhog snijega u atmosferi ili zbog promjene visine faze

Potencijal između oblaka i zemlje se raspada i bljesak munje se odvija između oblaka i tla kada taj napon postane 5 do 20 milijuna volti ili kada gradijent potencijala postane 5000 V do 10000 V po cm.

- *Unutarnji prenaponi*

Ovi prenaponi su uzrokovani promjenama u radnim uvjetima elektroenergetskog sustava. Dijele se u dvije skupine kao u nastavku [11]:

- Prebacivanje napona ili prijelazni radni naponi visoke frekvencije: Ovo je uzrokovano kada se preklopni rad izvodi u normalnim uvjetima ili kada se pojavi kvar u mreži.
- Privremeni prenaponi: nastaju kada se neko veliko opterećenje isključi s dugog voda u normalnom ili stabilnom stanju.

Prenapon ima tendenciju opterećivanja izolacije električne opreme i vjerojatno će uzrokovati oštećenje kada se to često dogodi. Prenapon uzrokovan udarima može rezultirati prenaponom i bljeskom između faze i uzemljenja na najslabijoj točki mreže, kvarom plinovite/kruće/tekuće izolacije, kvarom transformatora i rotirajućih strojeva [11].

4.3. Niskonaponski odvodnici prenapona

Odvodnici prenapona su uređaji koji štite energetske transformatore i ostalu skupocjenu opremu u postrojenju od prenapona. Spojeni su u paralelu s opremom koju štite kako bi preusmjerili struju koja se javlja prilikom prenapona. Najčešće se priključuju između faznih vodiča i zemlje, obično na ulazu u rasklopno postrojenje, a posebno ispred transformatora. Ponašaju se kao nelinearni otpori, čiji se iznos mijenja u zavisnosti od veličine napona. Odvodnici prenapona, osim amplitude nailazećeg naponskog vala, smanjuje i njegovu strminu [12].



Slika 3. Prikaz odvodnika prenapona

Postoje nekoliko različitih vrsta prenapona:

- munja
- elektrostatičko pražnjenje
- frekvencija snage

Ovi poremećaji koji se nadograđuju na mrežni napon mogu se primijeniti na dva načina:

- zajednički način, između vodiča pod naponom i zemlje
- diferencijalni način rada, između različitih vodiča pod naponom

U oba slučaja nastalo oštećenje dolazi od proboja dielektrika i dovodi do uništenja osjetljive opreme, a posebno elektroničkih komponenti. Instalacije su redovito podvrgnute određenom broju nezanemarivih prenapona koji uzrokuju kvar pa čak i uništavanje opreme, što rezultira zastojsima. Dostupni su zaštitni uređaji, kao što su VN i NN odvodnici prenapona. Međutim, kako bi se osigurala ispravna zaštita od prenapona koji se javljaju u mreži, potrebno je detaljno poznavanje njihove prirode i karakteristika.

Uređaji za zaštitu od prenapona klasificiraju se prema njihovoj funkciji:

- uređaji za primarnu zaštitu koji se bave izravnim udarima groma,
- sekundarni zaštitni uređaji koji upotpunjuju prvu vrstu i rješavaju sve druge pojave prenapona.

Primarni zaštitni uređaji sastoje se od senzora, specifičnog električnog vodiča i uzemljenja. Obavljaju tri funkcije: presreću udare munje, odvođe ih u zemlju i raspršuju u tlu. Uređaji za presretanje su gromobrani koji su dostupni u različitim oblicima. Sekundarni zaštitni uređaji pružaju zaštitu od neizravnih učinaka munje i/ili sklopki i prenapona frekvencije struje. Ova kategorija sadrži [12]:

- odvodnike prenapona na niskonaponskoj mreži,
- filtere
- apsorbere valova.

U praksi, ovi uređaji imaju dva učinka: ili ograničavaju impulsni napon (to su “paralelni” zaštitni uređaji) ili ograničavaju prijenos snage (to su “serijski” zaštitni uređaji). U niskonaponskoj mreži je ova vrsta sklopnih uređaja značajno napredovala u pogledu sigurnosti s pojačanim standardiziranim ispitivanjima: nazivna otpornost na 20 impulsa munje umjesto prethodna 3 te specifična ispitivanja na udarima frekvencije struje.

S najnovijim standardima, odvodnici prenapona mogu se zaboraviti nakon ugradnje, budući da se svako pogoršanje zbog ozbiljnih kvarova mora prijaviti. Stoga je dostupan čitav niz odvodnika prenapona: modularni odvodnici, odvodnici koji se mogu ugraditi u glavnu niskonaponsku ploču ili u poddistributivno kućište pa čak i modeli koji se mogu ugraditi u utičnice. Svi oni omogućuju odvajanje različitih struja s različitim stupnjem zaštite.

Ovi odvodnici pružaju zaštitu za: niskonaponske distribucijske mreže (nadzemne i podzemne), potrošače u kućanstvima, distribucijske transformatore, kondenzatore, prigušnice i druge elemente u mreži. Metaloksidni blok (varistor) bez iskrišta, ukomponiran u vodonepropusno i vatrousporavajuće polimerno kućište odvodnika, pouzdano ograničava atmosferske i sklopne prenapone na nisku vrijednost, štiti izolaciju distribucijskih mreža s pripadajućim potrošačima i ugrađenom opremom.

Odvodnici imaju vrlo kratko vrijeme odziva (obično <100 ns) i mogu sigurno sprovesti impulse udarne struje do 10 kA valnog oblika 8/10 μ s. Posebno dizajnirani izolirani priključni adapteri omogućavaju ugradnju odvodnika u nadzemnim mrežama s izoliranim vodičima u snopu (SKS) kao i na provodne izolatore na sekundarnoj strani distribucijskih transformatora. Ugrađeni uređaj za odvajanje odspaja odvodnik od mreže u slučaju pojave preopterećenja odvodnika uzrokovanog, npr. bliskim udarom groma ili nedozvoljenim povećanjem napona u mreži [12].

Niskonaponski odvodnici prenapona pružaju zaštitu za niskonaponske nadzemne vodove, kućne instalacije potrošača, distribucijske transformatore i druge sustave. Varistor od metal-oksida bez razmaka ugrađen u odvodnik prenapona pouzdano postavlja ograničenja niske vrijednosti na prenapone uzrokovane atmosferskim prenaponima, čime štiti izolaciju mreža i opreme na strani potrošača.

Varistor ima vrlo kratko vrijeme odziva (obično <100 ns) i može sigurno podnijeti visokostrujne impulse do 100 kA, 4/10 μ s. Nazivna struja pražnjenja odvodnika je 10 kA. Metal-oksidni varistor zatvoren je u čvrsto polimerno kućište otporno na vremenske uvjete. Brojna ispitivanja su potvrdila izdržljivost kućišta, čak i kada je izloženo ekstremnim temperaturnim promjenama.

Dizajnirani su za primjene u kojima zaštita od izravnog kontakta nije potrebna. Dostupni su posebni izolirani adapterski moduli za korištenje u izoliranim nadzemnim sustavima i niskonaponskim čahurama distribucijskih transformatora. Integralni rastavljač isključuje odvodnik iz mreže ako dođe do preopterećenja, uzrokovanog, npr. udarom groma u blizini ili nedopuštenim naponom u sustavu. Ako se to dogodi, pločica s podacima na donjoj strani odvodnika se dislocira i ostaje visjeti na nosećem vodu. Sam spoj uzemljenja ostaje na svom mjestu [12].

5. ZAŠTITA OD PRENAPONA

5.1. Sustav gromobranske zaštite

Uvijek postoji mogućnost da će elektroenergetski sustav pretrpjeti prenapone. Ovi prenaponi mogu biti uzrokovani raznim razlozima kao što su iznenadni prekid velikog opterećenja, impulsi munje, preklopni impulsi itd. Ovi prenaponski naponi mogu oštetiti izolaciju različite opreme i izolatora elektroenergetskog sustava. Iako sva prenaponska naprezanja nisu dovoljno jaka da oštete izolaciju sustava, ipak te prenapone treba izbjegavati kako bi se osigurao nesmetan rad elektroenergetskog sustava [13].

Sve ove vrste destruktivnih i nedestruktivnih prenapona eliminiraju se iz sustava pomoću prenaponske zaštite. Razvoj industrije i sve veća potražnja za električnom energijom učinili su potrebnim sigurnu i kontinuiranu opskrbu električnom energijom. Dobro osmišljen i implementiran sustav zaštite od munje i uzemljenja zaštitit će korisnike i opremu od kvarova u električnim instalacijama. Stoga su gromobranska zaštita i sustavi uzemljenja postali bitna tema posljednjih godina.

Električna energija je još važnija za rastuću industriju koja se razvija. Osiguravanje kontinuiteta proizvodnje, sigurnost ljudi i životinja te smanjenje troškova ovise o ispravnoj i pouzdanoj instalaciji električnih sustava. Sustavi koji nisu ispravno dizajnirani mogu naštetiti ljudima ili životinjama. Osim toga, popravci ili promjene opreme mogu dovesti do ozbiljnih troškova ili prekida u proizvodnji. Stoga su sustavi uzemljenja i zaštite od munje posljednjih godina tema mnogih istraživanja. Struje pražnjenja munje sigurno se raspršuju u sustavu uzemljenja pomoću sustava zaštite od munje [13].

Sustavi zaštite od munje štite električne i mehaničke komponente u zgradama od udara munje. Munja može uzrokovati ozbiljna oštećenja prijenosnih i distribucijskih vodova, vjetroturbina ili zgrada. Munja je jedna od najčešćih pojava koja uzrokuje prekide dalekovoda.

U današnje vrijeme aplikacije temeljene na umjetnoj inteligenciji, koje koriste podatke o munjama snimljene u elektroenergetskim sustavima, postaju široko rasprostranjene za procjenu pojave munje. Sprječavaju se oštećenja, kako u izgradnji zgrada, tako i u zdravlju ljudi. Danas je korištenje obnovljivih izvora energije značajno poraslo, a povećao se i broj instaliranih solarnih i vjetroelektrana diljem svijeta [14].

Ove elektrane se uglavnom grade na velikim površinama s velikim nadmorskim visinama. U vjetroelektranama, kako područja u kojima su ugrađene, tako i posebna struktura turbina čine ih pogodnijima na udare munje. Stoga, mjesto vjetroelektrane, utjecaj lokalnog terena i sezonske varijacije munje igraju ključnu ulogu za provođenje procjene rizika. Udaljenost između turbina također je važna za zaštitu od munje u vjetroelektranama. Udaljenost između dvije vjetroturbine potrebne za zaštitu od munje izračunata je na temelju novog električnog geometrijskog modela lopatice vjetroturbine [14].

Rezultati su pokazali da za tipičnu vjetroturbinu od 1,5 MW, razmak rasporeda u okomitom smjeru treba biti 4-6 puta veći od duljine lopatice. Udari munje mogu ozbiljno oštetiti vjetroturbine. To uzrokuje visoke troškove i gubitak vremena za zamjenu ili popravak komponenti oštećenih udarom munje. Osim toga, udari munje mogu biti ozbiljna opasnost za operatere. Stoga su sustavi zaštite od munje i groma ključni za zaštitu komponenti turbina i ljudskih operatera [15].

U transformatorskoj stanici, sustav zaštite od munje važan je za nesmetan rad električnih mreža tijekom udara munje. Udari munje mogu uzrokovati ozbiljna oštećenja zbog porasta dodatnog napona tijekom udara koji se ubrizgava u transformator. Kao rezultat toga, udar može uzrokovati značajnu štetu na opremi i prekide u prijenosnim i distribucijskim krugovima. Čak i udar u blizini transformatorske stanice može dovesti do značajnih promjena napona ili kvara.

Energija velikog kapaciteta (napon) koja se trenutačno oslobađa tijekom grmljavine može prodrijeti u zgradu kroz kabele za napajanje uzrokujući teška oštećenja elektroničke opreme. Tijekom udara, do 120 milijuna volti dodatno se ulijeva u transformator ovisno o duljini i veličini.

Osim nestanka struje, može uzrokovati eksploziju i požar u svojoj okolini. Vodovi pod naponom spojeni na pregorjeli transformator koji nosi tisuće volti mogu uzrokovati štetu po živote. Odgovarajući sustav zaštite od munje u električnim transformatorskim stanicama osigurava put niskog otpora, kako bi se osigurao ispravan rad zaštitnih releja. Ove instalacije mogu ublažiti rizik od oštećenja zaposlenika, okolnih stanova i ljudi te opreme.

Trenutni tehnološki razvoj doveo je do rješenja za probleme uzrokovane munjom i naponom. Ova rješenja također značajno smanjuju ukupne troškove projektiranja transformatorskih stanica. Ova rješenja temelje se na nekim standardima [15].

- Odvodnici prenapona: Postrojenja koriste odvodnike munje ili odvodnike prenapona. Pomažu u ograničavanju napona tijekom udara i naknadnog oštećenja ili kvara opreme, eksplozije i sprječavaju prekid usluge. Odvodnici munje dizajnirani su za zaštitu različitih dijelova opreme kao što su električni stupovi i tornjevi, energetske transformatori, prekidači, strukture sabirnica i čelične nadgradnje od oštećenja od udara groma. Stoga se ugrađuju na različite dijelove opreme u transformatorskoj stanici. Vrste odvodnika koji se koriste u transformatorskim stanicama su [16]:
 - Niskonaponski odvodnik prenapona: za niskonaponski distribucijski sustav i zamjenu zaštitnika električnih uređaja
 - Distribucijski odvodnik: koji se koristi za distribucijski sustav za zaštitu distribucijskih transformatora, kabela i opreme elektrane.
 - Gromobranski stupovi: štite razne instalacije (fiksne i prijenosne) od oštećenja munje. Za razliku od odvodnika, oni obično nisu pričvršćeni na objekt kako bi ga zaštitili; smješteni su u blizini područja zbog njegove ukupne zaštite.
 - Donji vodiči: dio su glavnog sustava vodiča. Oni kanaliziraju struju groma od krovnog sustava do sustava uzemljenja.
 - Priključci uzemljenja: sustavi uzemljenja koriste se za raspršivanje struja munje. Priključci uzemljenja su izravno spojeni na svaki donji vodič kako bi se dobio ukupni niski otpor uzemljenja.

5.2. Održavanje gromobrana

Gromobran se mora podvrgnuti periodičnim pregledima i održavanju, kako je navedeno u nacionalnim i međunarodnim propisima (UNE21186, NF-C 17 102, IEC EN 62305).

Ovi periodični pregledi gromobrana omogućuju otkrivanje odstupanja od referentnih standarda ili anomalija u instalaciji uzrokovanih uvjetima okoline kao što su korozija, neispravno rukovanje ili druge okolnosti kao što su proširenja zgrade gdje se gromobran nalazi. Pregled sustava zaštite od munje mora biti dio rutine održavanja zgrada i godišnjih planova djelovanja [17]. Svi sustavi zaštite od munje trebali bi imati redovito održavanje i nadzor.

Ako gromobran nije pravilno održavan, postoji opasnost da se udari groma ne kontroliraju niti da njihova struja bude vođena i raspršena na siguran način. Različiti elementi sustava zaštite od munje mogu se s vremenom pogoršati, smanjujući razinu sigurnosti sustava ako se ne održavaju pravilno.

Kod vizualnog pregleda u održavanju sustava zaštite od munje potrebno je provjeriti da [17]:

- Nema oštećenja uslijed udara groma.
- Gromobran održava sve svoje elemente u dobrom stanju.
- Kontinuitet vodiča je ispravan.
- Pričvršćivači su u dobrom stanju.
- Nema dijelova oštećenih korozijom.
- Stanje izjednačavanja potencijala je ispravno.

5.3. Uređaji prenaponske zaštite niskog napona

Zaštitnik od prenapona je uređaj koji se koristi za zaštitu električnih uređaja od skokova napona u izmjeničnoj struji strujnih krugova. Skok napona traje od jedne do 30 mikrosekundi, a može dosegnuti i do 1000 volti. Kada munja udari u dalekovod može izazvati skok od preko 100.000 volti i može progorjeti kroz izolaciju ožičenja i na taj način može nastati požar. No čak i kada se radi o manjim, skromnim udarima munje, mogu uništiti široku paletu elektroničkih uređaja, računala, punjača baterija, modema i TV-a itd., koji su u tom trenutku uključeni [18].

Kada se postavi zadani napon, u tom slučaju se aktivira uređaj za prenapon. Zadani prenapon mora biti 3 do 4 puta veći od mrežnog napona i on mora preusmjeriti struju na zemlju.

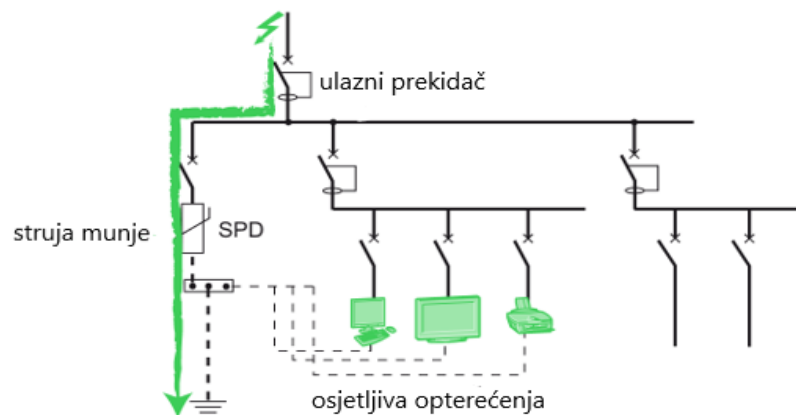
Postoje uređaji koji mogu upijati ili apsorbirati udar te ga na taj način otpustiti kao toplinu. Ovi uređaji se ocjenjuju prema količini energije koju apsorbiraju. Uređaj za zaštitu od prenapona (*engl. Surge protection device - SPD*) i prijelazni pregušivač prenapona (*engl. transient voltage surge suppressor - TVSS*) koriste se za opisivanje električnih uređaja koji se obično ugrađuju u ploče za distribuciju energije, sustave upravljanja procesima, komunikacijske sustave i druge teške industrijske sustave, u svrhu zaštite od električnih udara, uključujući one uzrokovane munjom.

Smanjene inačice ovih uređaja ponekad se ugrađuju u razvodne ormare ulaza u stambene objekte, kako bi se zaštitila oprema u kućanstvu od sličnih opasnosti.

Prijelazni zaštitnik od prenapona pokušava ograničiti napon koji se dovodi do električnog uređaja blokiranjem ili kratkim spojem struje kako bi smanjio napon ispod sigurnog praga. Blokiranje se vrši korištenjem induktora koji sprječavaju naglu promjenu struje [18].

Zaštitnici od prenapona za domove mogu biti u razdjelnicima koji se koriste iznutra ili u uređaju izvana na ploči za napajanje. Utičnice u modernoj kući koriste tri žice: faza, nula i uzemljenje. Mnogi zaštitnici će se spojiti na sva tri u parovima (faza–nula, faza–uzemljenje i nula–uzemljenje) jer postoje uvjeti, kao što je munja, gdje i faza i nula imaju visoke napone koje je potrebno kratko spojiti na uzemljenje. Uređaji za zaštitu od prenapona (SPD) koriste se za mreže za opskrbu električnom energijom, telefonske mreže te komunikacijske i automatske upravljačke sabirnice. Uređaj za zaštitu od prenapona (SPD) je sastavni dio sustava zaštite električnih instalacija.

Ovaj je uređaj spojen paralelno na strujni krug opterećenja koje mora zaštititi. Također se može koristiti na svim razinama mreže napajanja. Ovo je najčešće korištena i najučinkovitija vrsta prenaponske zaštite. SPD spojen paralelno ima visoku impedanciju. Kada se prijelazni prenapon pojavi u sustavu, impedancija uređaja se smanjuje tako da se udarna struja pokreće kroz SPD, zaobilazeći osjetljivu opremu [19].



Slika 4. Uređaj za zaštitu od prenapona

SPD je dizajniran da ograniči prijelazne prenapone atmosferskog djelovanja i preusmjeri strujne valove na zemlju, tako da ograniči amplitudu tog prenapona na vrijednost koja nije opasna za električne instalacije i električne sklopne i upravljačke uređaje.

Uređaj za zaštitu od prenapona eliminira prenapone [19]:

- u zajedničkom modu, između faze i nule ili uzemljenja;
- u diferencijalnom načinu rada, između faze i nule.

U slučaju prenapona koji prelazi radni prag, SPD

- provodi energiju na zemlju, u zajedničkom načinu;
- distribuira energiju na ostale vodiče pod naponom, u diferencijalnom načinu rada.

Postoje tri vrste uređaja za zaštitu od prenapona:

- *Prva vrsta uređaja za zaštitu od prenapona*

Prva vrsta uređaja za zaštitu od prenapona preporučuje se u specifičnim slučajevima uslužnih i industrijskih objekata, zaštićenih sustavom zaštite od groma. Štiti električne instalacije od izravnih udara groma. Može otpustiti povratnu struju od munje koja se širi od uzemljenja do mrežnih vodiča. Uređaj za zaštitu od prenapona – vrsta 1 karakterizira strujni val od 10/350 μ s [19].

- *Druga vrsta uređaja za zaštitu od prenapona*

Druga vrsta uređaja za zaštitu od prenapona je glavni zaštitni sustav za sve niskonaponske električne instalacije. Ugrađen u svaku električnu centralu, sprječava širenje prenapona u električnim instalacijama i štiti opterećenja [19].

- *Treća vrsta uređaja za zaštitu od prenapona*

Ovi sustavi za zaštitu od prenapona imaju mali kapacitet pražnjenja. Stoga se moraju obavezno instalirati kao dodatak drugoj vrsti uređaja za zaštitu od prenapona i u blizini osjetljivih opterećenja. Treću vrstu uređaja za zaštitu od prenapona karakterizira kombinacija naponskih valova (1,2/50 μ s) i strujnih valova (8/20 μ s). Međunarodna norma IEC 61643-11 Edition 1.0 (03/2011) definira karakteristike i ispitivanja za SPD spojene na niskonaponske distribucijske sustave [19].

6. GROMOBRANSKA ZAŠTITA

6.1. Fenomen munje

Pražnjenja munje sadrže ogromne količine električne energije, od nekoliko tisuća ampera do preko 200.000 ampera - dovoljno da se upali pola milijuna žarulja od 100 vata. Iako je pražnjenje munje vrlo kratkog trajanja (obično 200 mikrosekundi), ono je vrlo stvaran uzrok oštećenja i uništenja. Posljedice izravnog udara očite su i odmah vidljive - oštećene zgrade, raznesena stabla, tjelesne ozljede pa čak i smrt.

Međutim, sekundarni učinci munje - kratkotrajni visokonaponski skokovi koji se nazivaju prolazni prenaponi, mogu uzrokovati jednako katastrofalne posljedice. Nerijetko se susrećemo sa situacijama gdje stambeni objekti imaju strukturnu zaštitu od groma, ali su pretrpjeli štetu na nezaštićenim elektroničkim sustavima unutar njih uslijed udara munje. Jednostavno rečeno, strukturalni sustav zaštite od munje ne može i neće zaštititi električne sustave unutar objekta od prolaznih oštećenja od prenapona [20].

Pouzdana shema zaštite od munje mora obuhvaćati i strukturnu zaštitu od munje i zaštitu od prijelaznog prenapona (električni sustavi). Funkcija vanjskog sustava zaštite od munje je presresti, provesti i sigurno raspršiti udar groma u zemlju.

Bez takvog sustava ugrožena je struktura objekta, elektronički sustavi i ljudi koji rade oko njega ili unutar njega. Postoji mnogo načina na koje udari groma mogu uzrokovati štetu ili ozljedu.

Udari munje (ili čak električna pražnjenja zbog obližnje munje) mogu uzrokovati požare, eksplozije, ispuštanje kemikalija ili mehaničke poremećaje unutar ili oko zgrade. Naponi koraka i dodira, koji nastaju uslijed udara groma, mogu uzrokovati ozljede ili čak gubitak života ljudi (i životinja) u neposrednoj blizini.

Prijetnja od oštećenja osjetljivih elektroničkih sustava i ozbiljnost posljedica te štete stvarnije su nego ikad prije. Većina modernih elektroničkih sustava je u opasnosti uslijed udara munje, poput [20]:

- računala
- podatkovne komunikacijske mreže
- sustava upravljanja zgradom
- telefonskih centrala
- CCTV opreme

- protupožarnih i protuprovalnih alarma
- baznih stanica
- neprekidnih napajanja (UPS)
- programabilnih logičkih kontrolera (PLC) itd.

Munje se obično povezuju s grmljavinskim oblacima, ali se javljaju i u slojevitim oblacima (slojeviti oblaci velikog horizontalnog opsega), u snježnim i prašnim olujama, a ponekad i u prašini i plinovima koje emitiraju vulkani koji eruptiraju. Munja nastaje kada se unutar oblaka razvije višak pozitivnog i negativnog naboja.

Obično postoji veliki volumen pozitivnog naboja u gornjim dijelovima oblaka, veliki negativni naboj u središtu i mali pozitivan naboj u donjim dijelovima. Ti se naboji nalaze na kapljicama vode, česticama leda ili oboje.

Munja od oblaka do zemlje započinje preliminarnim procesom raspada unutar oblaka, obično između središnjeg dijela negativnog naboja i malog pozitivnog naboja ispod njega. Ovaj proces stvara kanal djelomično ioniziranog zraka - zraka u kojem su neutralni atomi i molekule pretvoreni u električno nabijene. Zatim se stvara vodljivo područje (početni udar munje) koji se širi prema dolje, prateći kanale stvorene preliminarnim procesom kvara. Kada se vodljivo područje približi tlu, uzdiže se spojno pražnjenje suprotnog polariteta prema gore i spaja se s vodljivim područjem na visini oko 30 metara iznad tla [20].

6.2. Atmosferski prenaponi

Atmosferski prenaponi javljaju se pri udaru munje u elemente elektromagnetskih sustava ili negdje u njihovoj blizini. Ovo se također naziva i atmosfersko pražnjenje. Kada dođe do izravnog udara munje, javljaju se velike struje koje se karakteriziraju visokim naponima, a induktivni prenaponi se događaju kada munja udari u blizini elektroenergetskih sustava.

Ova vrsta prenapona može biti jako štetna za mreže srednjeg i visokog napona. Kako bi se spriječila šteta nastala od ove vrste prenapona, potrebno je implementirati sustav zaštite za elemente elektroenergetskih postrojenja.

Koliko su veliki prenaponi ovisi o činjenici koliko će energije nastati prilikom atmosferskog pražnjenja. No ako se koriste odgovarajući zaštitni dijelovi mreže, ova energija se može svesti na onu koja se smatra da je u granicama kontrole [21].

Prenaponi koji su stvoreni imaju aperiodični oblik na svom mjestu nastajanja te mogu imati određene oscilacije kada se šire na određenim dijelovima mreže. Kako je već prethodno rečeno, ovi prenaponi se javljaju kada munja direktno udari u vodove te se to očituje pojavom velike struje od 40 do 150 kA koja uzrokuje visoke udarne napone. Munja može udariti u neposrednu blizinu voda, pri čemu se prenaponi induciraju na vodičima. Najčešće munja udari u zaštitno uže nadzemnog voda ili u vrh stupa.

Kada je riječ o direktnim udarima munje, najopasniji su oni koji udare izravno u fazni vodič, no na sreću ovo se događa jako rijetko. Razlikujemo tri slučaja u odnosu na udaljenost između mjesta udara i promatranog postrojenja [21]:

- Slučaj bliskog udara s preskokom koji nastaje pri udaru munje u zaštitno uže ili u stup dalekovoda uz preskok na fazni vodič ili prilikom udara munje u fazni vodič, uz preskok na stup dalekovoda. Na visinu prenapona veliki utjecaj ima vrijednost otpora uzemljenja stupa dalekovoda.
- Slučaj bliskog udara u fazni vodič bez preskoka gdje se bliski udar modelira strujnim izvorom, pri čemu je valni otpor kanala munje puno veći od valnog otpora voda. Valovi se šire na obje strane od mjesta udara, a napon vala dobije se kao proizvod dijela struje groma i valnog otpora voda. Ovo je najkritičniji slučaj pri kojem se razmatra upotreba prenaponske zaštite.
- Slučaj udaljenog mjesta udara gdje je atmosferski prenapon modeliran naponskim putnim valom koji putuje nadzemnim vodom prije ulaska u postrojenje. Tjemena vrijednost vala određena je izolacijskim nivoom nadzemnog voda te prilikom prolaska vala duž nadzemnog voda produžuje se čelo vala. Izobličenje i prigušenje upadnog vala posebno je izraženo u električnom kabelu. Ovaj slučaj se smatra ekstremnim slučajem, iako se u stvarnosti rijetko događa [21].

6.3. Energija munje

Munja je masivno elektrostatičko pražnjenje između električno nabijenih područja unutar oblaka ili između oblaka i Zemljine površine.

Postoje tri primarne vrste; od oblaka do samog sebe (unutar oblaka – *intra cloud ili IC*); od jednog oblaka do drugog oblaka (*engl. Cloud-cloud - CC*) i konačno, između oblaka i tla (*engl. Cloud-ground - CG*). Munja se događa otprilike 40-50 puta u sekundi diljem svijeta, što rezultira s gotovo 1,4 milijarde bljeskova godišnje [21].

Mnogi čimbenici utječu na učestalost, distribuciju, snagu i fizička svojstva "tipične" munje za određenu regiju svijeta. Ti čimbenici uključuju nadmorsku visinu tla, geografsku širinu, prevladavajuće struje vjetra, relativnu vlažnost, blizinu toplih i hladnih vodenih tijela itd.

Do određenog stupnja, omjer između IC, CC i CG munje također može varirati ovisno o sezoni u srednjim geografskim širinama. Budući da smo ljudska bića i većina naših posjeda nalazi se na Zemlji, gdje ih munja može oštetiti ili uništiti, CG munje su najviše proučavane i najbolje shvaćene od tri vrste, iako su IC i CC češće. Relativna nepredvidljivost munje ograničava potpuno objašnjenje kako i zašto se pojavljuje, čak i nakon stotina godina znanstvenog istraživanja.

Stvarno pražnjenje je završna faza vrlo složenog procesa. Tipična grmljavina na svom vrhuncu ima tri ili više udara na Zemlju u minuti. Munje se prvenstveno javljaju kada se topli zrak pomiješa s hladnijim zračnim masama, što rezultira atmosferskim poremećajima potrebnim za polarizaciju atmosfere.

Međutim, može se pojaviti i tijekom prašnih oluja, šumskih požara, tornada, vulkanskih erupcija pa čak i u hladnoći zime, gdje je munja poznata kao grmljavina. Uragani obično stvaraju neke munje, uglavnom u kišnim pojasevima do 160 km od središta. Gromobrane je izvorno razvio Benjamin Franklin. Gromobran je vrlo jednostavan - to je šiljasti metalni štap pričvršćen na krov zgrade. Štap može imati promjer od 2 cm. Povezuje se s ogromnim komadom bakrene ili aluminijske žice promjera također 2 cm. Žica je spojena na vodljivu mrežu ukopanu u zemlju u blizini. Svrha gromobrana često se pogrešno shvaća [21].

Mnogi ljudi vjeruju da gromobran "privlači" munje. Bolje je reći da gromobrani pružaju put do zemlje niskog otpora, koji se može koristiti za provođenje ogromnih električnih struja kada dođe do udara groma. Ako udari munja, sustav pokušava odnijeti štetnu električnu struju dalje od konstrukcije i sigurno u zemlju. Sustav ima sposobnost nositi se s ogromnom električnom strujom povezanom s udarom.

Ako udar dođe u kontakt s materijalom koji nije dobar vodič, materijal će pretrpjeti velika toplinska oštećenja. Sustav gromobrana je izvrstan vodič i na taj način omogućuje struji da teče prema zemlji bez izazivanja toplinskih oštećenja.

U svakom trenutku na cijeloj Zemlji se događa oko 1200 oluja s grmljavinom, a procjenjuje se da svake sekunde ima oko 100 bljeskova munja negdje iznad našeg planeta. Tipična munja sadrži oko 15 milijuna volti električne energije i trenutno zagrijava zrak oko sebe na preko 60.000 stupnjeva, a neki dosežu i više od 100.000 stupnjeva. Zato ukupna energija jakog nevremena može premašiti energiju oslobođenu tijekom atomske eksplozije.

Tehnologija koja je sposobna prikupiti energiju munje morala bi biti u stanju brzo uhvatiti veliku snagu uključenu u munju. Osim toga, munje su povremene pa bi se energija morala skupljati i pohranjivati.

6.4. Parametri groma

Kada govorimo o parametrima groma ili struje groma, bitno je reći kako su to vrijednosti koje se koriste za računanje mehaničkih, elektromagnetskih i toplinskih udara munje. Ono što je najvažnije u ovom slučaju su strmina struje groma i amplituda strujnih valova. Ako ovu situaciju gledamo sa stajališta zaštite udara od groma, onda je u tom slučaju najvažnija struja jer upravo ona protječe objektom koji je pogođen [22].

Ona može imati pozitivni ili negativni polaritet. Amplituda strujnih valova predstavlja maksimalnu vrijednost struje u datom trenutku te je to karakteristična veličina jer svaki udar ima svoju vrijednost. Kako bi se dobila vrijednost najvećeg pada napona, potrebno je koristiti amplitudu strujnih valova. Struja groma može se prikazati kao jedan strujni impuls koji vrlo brzo postiže svoju maksimalnu vrijednost te onda postupno opada.

Strmina struje groma su zapravo promjene koje nastaju pri udaru groma u objekt. Ove strmine struje groma izravno ovise o brzini promjene koja se događa pa one s brzom promjenom imaju veliku strminu, a one sa sporijom promjenom imaju malu strminu [22].

U prošlosti su rađena razna istraživanja koja su se fokusirala na struje groma i prema ovim istraživanjima dokazano je kako kod strujnih valova koji su negativni strmina dosta veća, nego kod pozitivnih. Ove strmine nisu povezane s tjemnim vrijednostima, a ovisno o slučaju ove strmine se razlikuju.

Kada su u pitanju pražnjenja, onda se najčešće događaju pražnjenja negativnih polariteta te njihovi udari dosežu maksimum u vremenu od 10 i 20 μ s. U ovom vremenu strmine struje se kreću između 10 i 20 kA/ μ s.

Nakon što se dogodi prvi negativni udar, naredni udar nakon njega može uslijediti između 10 i 100 ms, a on obično ima veće strmine. Njegov maksimum se doseže nakon 1-2 μ s, a strmine su vrijednosti od 80 Ka/ μ s [22].

S obzirom na to da se grom odnosi na akustički dio, akustičke studije sprovode se diljem svijeta. Postoje dva općeprihvaćena izvora grmljavine. Prvi, koji proizvodi širokopojasnu grmljavinu, izravna je posljedica prijenosa struje u kanalima munje. Putovanje struje u bljesku dovodi do pregrijavanja stvarajući udarni val koji se širi prema van.

Na određenoj udaljenosti između nekoliko centimetara i nekoliko metara iza kanala, udarni val prelazi u akustični val koji ima širokopojasnu energiju. Rezultirajući signal groma je inherentno složen zbog zavojitosti kanala munje - signal predstavlja superpoziciju zvuka iz više, relativno kratkih segmenata kanala. Drugi mehanizam za stvaranje grmljavine, točnije grmljavine ispod 2 Hz, je elektrostatička relaksacija volumena oblaka nakon munje.

Kada se pojavi munja, elektrostatičko polje u području izvora oblaka značajno se smanjuje uklanjanjem naboja iz pojedinačnih kapljica hidrometeora. Volumen oblaka se skuplja kako bi uspostavio ravnotežu kao odgovor na ovu iznenadnu promjenu raspodjele naboja.

7. PROCJENA RIZIKA ZA GRAĐEVINE NA NISKONAPONSKOJ MREŽI

Kao neophodan osnovni koncept za sva razmišljanja o zaštitnoj tehnologiji u niskonaponskim instalacijama, koncept sigurnosti, danas je široko prepoznat kao "sloboda od neprihvatljivih rizika od oštećenja". To znači da je sigurnost sloboda koja isključuje svaki neprihvatljiv rizik od štete i omogućuje da se situacija jasno klasificira kao "sigurna" ili "opasna". Svrha planiranja i izvođenja niskonaponskih instalacija je postizanje sigurnosti uz isključivanje rizika.

U stručnim krugovima, godinama su poznate mnoge rasprave koje su se vodile na ovom području o temama koje se odnose na jasno razgraničenje "sigurnosti" i "rizika", tako da će ovdje biti razrađeno samo nekoliko temeljnih tvrdnji. U praksi se pri planiranju i izradi opreme (npr. niskonaponskih sklopnih uređaja) adekvatnim mjerama mora osigurati da rizik, koji preostane nakon primjene zaštitnih mjera, bude što je moguće manji, a ni pod kojim okolnostima veći od najvećeg prihvatljivog rizika [23].

Taj "najveći prihvatljivi rizik", koji se također često naziva "ograničavajući rizik", u svakom slučaju mora biti postignut (sa svakim sklopom razvodnog uređaja). U tom smislu, sve mjere koje pridonose postizanju ovog ograničavajućeg rizika predstavljaju minimalne mjere smanjenja rizika. Zahtjevi navedeni u općeprihvaćenim tehničkim standardima definiraju te minimalne zahtjeve zaštite. Međutim, ovaj najveći prihvatljivi rizik ni pod kojim okolnostima ne smije se mješati s konceptom preostalog rizika jer svaki tehničar kojem je povjeren posao, koji je važan za sigurnost, mora nastojati zadržati preostali rizik, koji se nikada ne može potpuno isključiti čak ni primjenom tehničkih mjera znatno ispod najviše prihvatljive granice, tj. što je dalje moguće vozeći ga u smjeru sigurnosti [23].

Kontinuiranim poboljšanjem inteligentne i automatske razine električnog sustava u zgradama, struktura električne opreme u zgradama postaje sve složenija, a povećava se i ukupno opterećenje. Za sigurnosnu konstrukciju sustava distribucije električne energije postavljaju se viši zahtjevi. Sigurnosno projektiranje niskonaponskog distribucijskog sustava sve je važnije za pouzdanost i sigurnost električnog sustava u zgradama.

Brzim razvojem socijalne ekonomije i izgradnjom pametnog grada, sve više zgrada se stavlja u upotrebu. Potrošnja energije, rasvjeta, zaštita od požara, sigurnost, upravljanje i drugi inteligentni sustavi zgrada povezani su s urbanim pametnim gradskim središtem. Inteligentne zgrade sve su više neodvojive od potpore i jamstva sigurnog i pouzdanog električnog sustava.

Kao važan dio električnog projektiranja zgrada, niskonaponski distribucijski sustav ima sve značajniju ulogu. Budući da je napon zgrada općenito velik, sigurnosni projekt niskonaponskog distribucijskog sustava vrlo je važan za pouzdanost i sigurnost električnog sustava zgrada. Uzevši u obzir sve veći broj i složenost električne opreme u zgradama, vrlo je važno poduzeti učinkovit dizajn optimizacije niskonaponskog distribucijskog sustava za sigurnost napajanja i električnu sigurnost zgrada, a zatim osigurati ukupnu kvalitetu razina zgrada [23].

Stoga je od velikog praktičnog značaja proučavanje sigurnosti niskonaponskog distribucijskog sustava u elektrotehničkom projektiranju zgrada. Pouzdan distribucijski sustav za napajanje i distribuciju zgrada ne samo da je vezan za normalan rad i život korisnika zgrada, već i za sigurnost zgrada i korisnika. Glavni čimbenici koji utječu na nestanak struje uglavnom uključuju broj priključenih izvora napajanja i način ožičenja distribucijskog sustava.

Sigurnost i pouzdanost distribucijskog sustava u električnom projektu zgrada može se poboljšati razumnim optimizacijskim projektom. Sustav napajanja i distribucije zgrada uglavnom koristi način povezivanja na prstenastu mrežu, što može minimizirati opseg utjecaja otklanjanja kvarova, odnosno, prstenasto mrežno napajanje na visokonaponskoj strani i radijalno napajanje na niskonaponskoj strani. Prvo, niskonaponski prekidač treba postaviti sa smanjenom razinom distribucije kako bi se osigurala pouzdanost sustava. Distribucijski krug treba postaviti sa zaštitom od kvara, tako da postavka ima selektivnost. Drugo, u projektiranju napajanja i distribucije dizala, veliku važnost treba predavati sigurnosti i pouzdanosti distribucije električne energije [23].

U smislu polaganja vodova, glavni kabel za razvod električne energije izložen je u električnom oknu, dok je vodič položen u cijev. Najvažniji pokazatelj inteligentnog rada i održavanja distribucije je visoka pouzdanost. U niskonaponskom distribucijskom sustavu sva oprema opremljena je instrumentom za mjerenje podataka o potrošnji energije sa standardnim komunikacijskim priključkom za prikupljanje podataka distribucijskog sustava.

Zbog velike građevinske površine te velikog broja i složenosti električne opreme u zgradama, električna oprema u zgradama ima svoje jedinstvene karakteristike, kao što su mnoge vrste električne opreme, velika potrošnja energije, visoki zahtjevi za pouzdanošću, složene električne instalacije, sustav transformacije i distribucije energije, visoki zahtjevi zaštite od požara opreme i vodova. Upravljačkom sustavu mreže u visokogradnji potrebno je neovisno napajanje, kako bi se ostvarila potražnja za opterećenjem niskonaponskog distribucijskog sustava u visokogradnji.

Treba napomenuti da u zgradama postoji mnogo električnih opterećenja zbog velikog broja električne opreme. Mnoga od ovih opterećenja su vrlo važna.

Stoga se od srednjeg i niskog napona zahtijeva visoka pouzdanost. To jest, potrebno je neovisno rezervno napajanje kako bi se osiguralo da prebacivanje napajanja u slučaju kvara jednog sustava može zadovoljiti zahtjeve vremena i upravljanja električnim projektiranjem zgrada.

Sredjenaponski i niskonaponski distribucijski sustav u visokogradnji vrlo je važan u svom elektrotehničkom projektiranju, što se ogleda u tome da je sredjenaponski i niskonaponski distribucijski sustav vezan uz normalno korištenje električne energije korisnika zgrade. Prije svega, pri projektiranju i planiranju srednjeg i niskonaponskog elektrodistribucijskog sustava zgrada treba u potpunosti razmotriti potrebe zaštite od požara.

Drugo, stabilnost sustava trebala bi biti u potpunosti zajamčena tijekom električne uporabe zgrada pa ga treba opremiti stabilnim napajanjem. Iz dva navedena zahtjeva za projektiranje može se vidjeti da se pouzdanost i sigurnost elektroenergetskog sustava zgrada ne može odvojiti od razumnog i znanstvenog projektiranja i upravljanja elektroenergetskim sustavom [23].

8. ZAKLJUČAK

Uvijek postoji šansa da će elektroenergetski sustav pretrpjeti prenapone. Ovi prenaponi mogu biti uzrokovani različitim razlozima kao što su iznenadni prekid velikog opterećenja, impulsi munje, preklopni impulsi itd. Ovi prenaponski naponi mogu oštetiti izolaciju različite opreme i izolatora elektroenergetskog sustava. Iako sva prenaponska naprezanja nisu dovoljno jaka da oštete izolaciju sustava, ipak te prenapone treba izbjegavati kako bi se osigurao nesmetan rad elektroenergetskog sustava.

Kada je riječ o atmosferskim prenaponima, bitno je reći kako oni nastaju kada atmosferski naboj izbije udarom munje u elektromagnetske sustave. U tom slučaju dolazi do nastajanja velike struje te se upravo zbog toga javljaju visoki naponi u elektroenergetskom sustavi. Prenaponi se javljaju i kada grom udara u blizini elektroenergetskih sustava te ovi prenaponi mogu biti izuzetno štetni za mreže srednjeg i visokog napona. Kada je riječ o zaštiti od ovih prenapona, onda je potrebno koristiti uzemljivače i zaštitno uže koji za svrhu imaju spriječiti izravan udar groma u fazni vodič.

Ovaj sustav uzemljenja mora biti izuzetno kvalitetan jer je najvažnija komponenta zaštite od prenapona. On se postavlja tako što se uzemljivači ukopavaju u tlo. A kada je u pitanju zaštita od objekata od atmosferskih prenapona onda se koriste gromobranske instalacije. Gromobran koristi hvataljke na vrhu objekta i na taj način prvo privuče, a zatim i hvata munju. Kada munja udari u tom slučaju dolazi do prenapona te zbog toga gromobranska instalacija pomoću odvodnika i sustava uzemljenja taj napon raspodijeli i šalje ga u zemlju.

U tom slučaju dolazi do izjednačenja potencijala u elektroenergetskog sustavu i na taj način se sprječavaju kvarovi i oštećenja. Ako kojim slučajem dođe do oštećenja ili neke vrste kvara, potrebno je pozvati stručne osobe koje će provjeriti ispravnost gromobranske instalacije kao i njenu učinkovitost te kako bi popravili oštećenja. Gromobrani i ostale instalacije bi se trebali provjeravati nakon svakog udara munje te se moraju raditi redovita mjerenja u razmaku od tri do pet godina, kako bi se ustanovilo da gromobranska instalacija funkcionira na ispravan način.

Uz sve veći broj zgrada, kao i kontinuirano poboljšanje inteligentne i automatske razine njihovog električnog sustava, sigurnosno projektiranje niskonaponskog distribucijskog sustava u projektiranju zgrada postalo je važna mjera i jamstvo za poboljšanje sigurnosti zgrada. S druge strane, zbog jedinstvenih karakteristika zgrada i ostalih građevina, kao što su složena struktura električne opreme, veliko ukupno opterećenje, sigurnosni projekt njezina distribucijskog sustava također postavlja veće zahtjeve.

Stoga bi se u sigurnosnom projektiranju niskonaponskog distribucijskog sustava u elektrotehničkom projektiranju zgrada trebalo provoditi znanstveno i razumno projektiranje i planiranje na temelju električnih karakteristika građevina, oblika uzemljenja i osnovnih zahtjeva korištenje električne opreme, kako bi se poboljšala pouzdanost i sigurnost cijelog niskonaponskog distribucijskog sustava s ukupne razine.

Važnost sustava zaštite od munje i uzemljenja kao i prenapona raste u mnogim različitim područjima sa sve većim fokusom u istraživanju na ovu temu. S neprestanim povećanjem snage elektroenergetskog sustava, pravilan dizajn sustava zaštite od munje i uzemljenja postaje sve važniji.

LITERATURA

- [1] Peter Hasse, Johannes Wiesinger, Wolfgang Zischank: „Priručnik za zaštitu od munje i uzemljenje“, Zagreb 2009
- [2] Ernest Mihalek: „NISKONAPONSKE DISTRIBUCIJSKE MREŽE“, Zagreb 2014
- [3] Content Community Connection.: “ Electrical Distribution Systems Explained“, s Interneta, <https://www.electricityforum.com/td/overhead-td/electrical-distribution-systems>, 14.02.2022.
- [4] Seshadri, S R. „Fundamentals of Transmission Lines and Electromagnetic Fields“. Reading, Mass: Addison-Wesley Pub. Co, 1971.
- [5] Education: „Electrical substation“, s interneta https://energyeducation.ca/encyclopedia/Electrical_substation, 07.02.2022.
- [6] Enmax: „Transmission and Distribution“, s interneta <https://www.enmax.com/generation-wires/transmission-and-distribution/our-system/substations>, 01.02.2022.
- [7] Elnar: „Trafostanice“, s interneta <https://elnar-doo.com/usluge/trafostanice/>, 25.01.2022.
- [8] <https://new.abb.com/low-voltage/products/earthing-lightning-protection/furse/news/why-do-we-need-lightning-protection>
- [9] Flösdorff René, et al. *Elektrische Energieverteilung*. Vieweg+Teubner, 2008.
- [10] Jianming Li, Measurement and Analysis of Overvoltages in Power Systems, Wiley, 2018
- [11] Kamarudin, Muhammad Saufi, et al. “Performance of Multi-Column Movs for C Class Protection of AC Power Circuits.” *2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference*, 2008, <https://doi.org/10.1109/pecon.2008.4762539>.
- [12] TE Connectivity: „Raychem metal-oxide Low Voltage Arresters, International Science Center, Ireland
- [13] “The Surge Protection Device (SPD).” *The Surge Protection Device (SPD) - Electrical Installation Guide*, [https://www.electrical-installation.org/enwiki/The_Surge_Protection_Device_\(SPD\)](https://www.electrical-installation.org/enwiki/The_Surge_Protection_Device_(SPD)).
- [14] Malavika, S, and S Vishal. *Harnessing Electrical Energy from Lightning - IJAIEM*. <https://ijaiem.org/volume2issue9/IJAIEM-2013-09-14-014.pdf>.
- [15] A. C. Garolera, S. F. Madsen, M. Nissim, J. D. Myers and J. Holboell, "Lightning damage to wind turbine blades from wind farms in the US," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 31, no. 3, pp. 1043-1049, 2016.

- [16] EEP - Electrical Engineering Portal. "Lightning Protection Guide: EEP." *EEP - Electrical Engineering Portal*, 28 Aug. 2020, <https://electrical-engineering-portal.com/download-center/books-and-guides/electrical-engineering/lightning-protection>.
- [17] "Lightning Rod Maintenance: How and When It Should Be Done?" *Aplicaciones Tecnológicas*, 5 Sept. 2018, <https://at3w.com/en/blog/lightning-rod-maintenance-how-and-when-it-should-be-done/>.
- [18] Kamarudin, Muhammad Saufi, et al. "Performance of Multi-Column Movs for C Class Protection of AC Power Circuits." *2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference*, 2008, <https://doi.org/10.1109/pecon.2008.4762539>.
- [19] "The Surge Protection Device (SPD)." *The Surge Protection Device (SPD) - Electrical Installation Guide*, [https://www.electrical-installation.org/enwiki/The_Surge_Protection_Device_\(SPD\)](https://www.electrical-installation.org/enwiki/The_Surge_Protection_Device_(SPD)).
- [20] "Bead Lightning." *Encyclopædia Britannica*, Encyclopædia Britannica, Inc., <https://www.britannica.com/science/bead-lightning>.
- [21] Malavika, S, and S Vishal. *Harnessing Electrical Energy from Lightning - IJAIEM*. <https://ijaiem.org/volume2issue9/IJAIEM-2013-09-14-014.pdf>.
- [22] I. Uglešić, Tehnika visokog napona, FER, Zagreb, 2002
- [23] Ma, Yuanling. "Safety Design in Electrical Design of High-Rise Building in Low Voltage Distribution System." *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2074, no. 1, 2021, p. 012072., <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2074/1/012072>.

POPIS OZNAKA I KRATICA

GSP – Mrežna mjesta za opskrbu (engl. Grid Supply Points)

DG - distribuirani izvori (engl. Distributed generations)

AMI - Napredna mjerna infrastruktura (engl. Advanced measuring infrastructure)

SPD - uređaj za zaštitu od prenapona (engl. Surge protection device)

TVSS - prijelazni supresor prenapona (engl. transient voltage surge suppressor)

MOV - metal-oksidni varistor (engl. Metal-oxide varistor)

IC – unutar oblaka (engl. intra cloud)

CC - oblak do oblaka (engl. Cloud-cloud)

CG - oblak-tlo (engl. Cloud-ground)

SAŽETAK

Atmosferski prenaponi koji se događaju na elektrodistribucijskim mrežama općenito su prolazne prirode. Prijelazni napon ili skok napona definira se kao iznenadno povećanje napona u vrlo kratkom vremenu. Ovi prenaponi mogu biti izrazito jaki i mogu oštetiti distribucijski sustav. Munja je jedan od najjačih atmosferskih prenapona koji se mogu dogoditi na ovim mrežama. Stoga je vrlo bitno distribucijske mreže kao i druge popratne komponentne pravilno zaštititi od atmosferskih prenapona. U ovom radu objašnjene su vrste i značaj atmosferskih prenapona te vrste zaštite koji se koriste kako bi se ublažio njihov učinak kako na distribucijske mreže, pa tako i na ostale građevine.

Ključne riječi: atmosferski prenaponi, distribucijske mreže, zaštita

SUMMARY

Atmospheric surges that occur on electricity distribution networks are generally transient in nature. Transient voltage or voltage jump is defined as a sudden increase in voltage in a very short time. These surges can be extremely strong and thus destroy a huge amount of power distribution systems. Lightning is one of the strongest atmospheric surges that can occur on these networks. Therefore, it is very important to properly protect electricity distribution networks and other ancillary components from atmospheric surges. This paper explains the types and significance of atmospheric surges and the types of protection used to mitigate their effect on electricity distribution networks and other buildings.

Keywords: Atmospheric surges, electrodistribution networks, protection