

www.akademijaelectrolux.com.mk

Elektrotehnika i zaštita



Your Original Manufacturer & Authorized Provider
of Parts & Services for all 1984-2012 Electrolux

oktobar 2008

Sadržaj

38. DOPUNA	3
38.1. Vrtložne struje	3
38.2. Elektrotehnički grafički simboli	4
39. ELEKTRIČNE INSTALACIJE I ZAŠTITA	8
39.1. Uzemljenje i električne instalacije	8
39.2. Prenaponi	13
39.3. Izolacija	14
39.4. Zaštita od slučajnog dodira i od napona dodira	15
39.4.1. Zaštita od slučajnog dodira	16
39.4.2. Zaštita od napona dodira	16
40. ZAŠTITA OD STATIČKOG ELEKTRICITETA	19
41. ZAŠTITA OD ATMOSFERSKIH PRAŽNENJA	21
41.1. Svojstva atmosferskih pražnjenja	22
41.1.1. Razvoj udara groma	22
41.1.2. Mehanizam atmosferskog pražnjenja	23
41.1.3. Vrste i polaritet atmosferskih pražnjenja	25
41.2. Osnovni parametri atmosferskih pražnjenja	26
41.2.1. Amplituda struje groma	26
41.2.2. Strmina strujnog talasa	27
41.2.3. Udar na količina elektriciteta	27
41.2.4. Kvadratni impuls struje groma ili toplotni impuls kompletnog pražnjenja	27
41.2.5. Modeli udara groma	28
41.2.6. Klasični modeli	28
41.3. Optički efekti atmosferskih pražnjenja	28
41.4. Akustički efekti atmosferskih pražnjenja	29
41.5. Mehanički efekti atmosferskih pražnjenja	29
41.6. Termički efekti atmosferskih pražnjenja	30

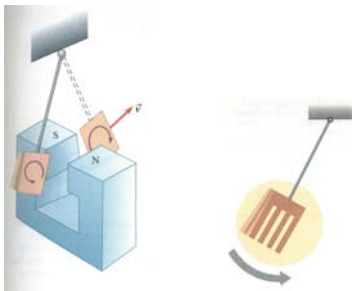
42. ZAŠTITA OBJEKATA OD UDARA GROMA	30
42.1. Štetne posledice atmosferskih pražnjenja	30
42.2. Klasifikacija šticehkih objekata	31
42.3. Gromobranske instalacije	32
42.3.1. Spoljašnje gromobranske instalacije	32
42.3.2. Unutrašnja gromobranska zaštita	42.43
43. STABILNE INSTALACIJE ZA DOJAVU POŽARA	43.48



Your Original Manufacturer & Authorized Provider
of Parts & Serices for all 1984-2012 Electrolux

38. Dopuna

38.1. Vrtložne struje



Slika 38.1. Vrtložne struje i način za njihovo smanjenje

Vrtložne struje se indukuju u metalnoj ploči (Cu ili Al i sl.) koja se kreće u magnetnom polju. Zamislimo ovakav ogled. Metalna ploča se zakači za šipku koja je vezana na jednom kraju i pusti da se ljulja napred nazad kroz magnetno polje, kao na slici 38.1. Čim ploča uđe u polje, promena magnetnog fluksa dovodi do indukovanja EMS u ploči. To dovodi do kretanja slobodnih naelektrisanja – elektrona i stvaranja kružne, vrtložne struje. Po Lencovom pravilu, smer ove struje mora da bude takav da se suprotstavlja promeni zbog koje je nastala. Zbog toga vrtložna struja mora proizvesti magnetno polje u ploči koje će biti suprotnog smera od spoljašnjeg magnetnog polja. Ovo dovodi do pojave sile koja se suprotstavlja kretanju kroz polje (da nije tako ploča bi se ubrzavala i njena energija bi se povećavala pri svakom ponovljenom prolasku kroz polje što je u suprotnosti sa zakonom održanja energije).

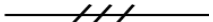
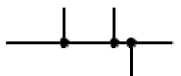
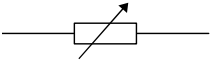
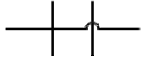
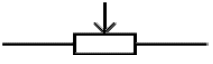
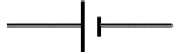
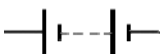
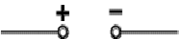
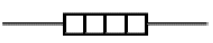
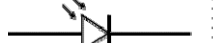
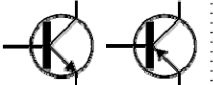
Pošto indukovane vrtložne struje uvek dovode do pojave magnetne sile F_m koja usporava ploču, ploča će se posle izvesnog vremena zaustaviti. Ako se u ploči iseku prorezi vrtložne struje se smanjuju jer se smanjuju kružne petlje u kojima struja protiče i otpor proticanju struje se povećava.

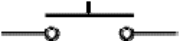
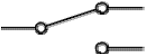
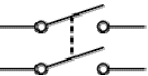
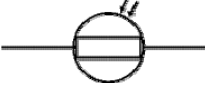
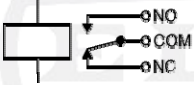
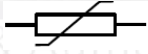
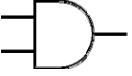
Sistemi za kočenje šinskih vozila i brzih vozova koriste pojavu elektronagnetne indukcije i vrtložnih struja. Elektromagnet (solenoid sa gvozdenim jezgrom) pričvršćen je za vozilo u blizini šina. Kada se velika struja propusti kroz elektromagnet, dolazi do kočenja. Kretanje magneta u odnosu na šine dovodi do indukovanja vrtložni struja u šinama. Smer ovih struja je baš takav da dovodi do pojave sile koja koči vozilo. Kako se vrtložne struje smanjuju pri kočenju i smanjenju brzine vozila, kočenje je ravnomerno.

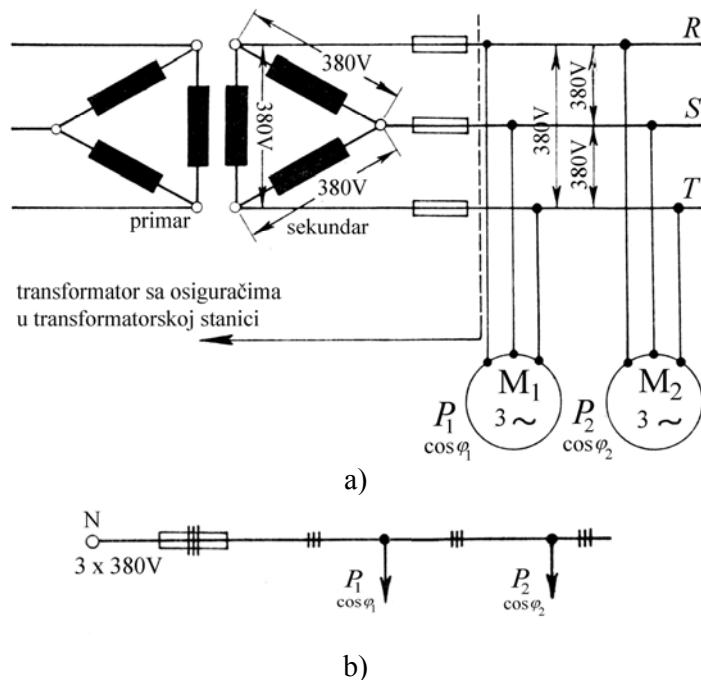
Kočnice sa vrtložnim strujama koriste se u mernim uređajima i nekim mašinama za zaustavljanje rotirajućih sečiva pri gašenju mašina.

Pojava vrtložnih struja često nije poželjna jer predstavlja gubitak mehaničke energije u vidu toplote. Da bi se gubici energije smanjili pokretni metalni delovi izrađuju se od tankih limova odvojenih neprovodnim slojem (obično u vidu oksida metala) ili od feromagnetnog materijala u vidu praha koji se meša sa dielektričnim materijalom i presujeu željeni oblik.. Slojevita ili granulasta struktura povećava električnu otpornost i ograničava vrtložnu struju na pojedinačne slojeve ili granula. Ovakva se struktura materijala koristi za jezgra transformatora i motora čime se povećava efikasnost ovih uređaja.

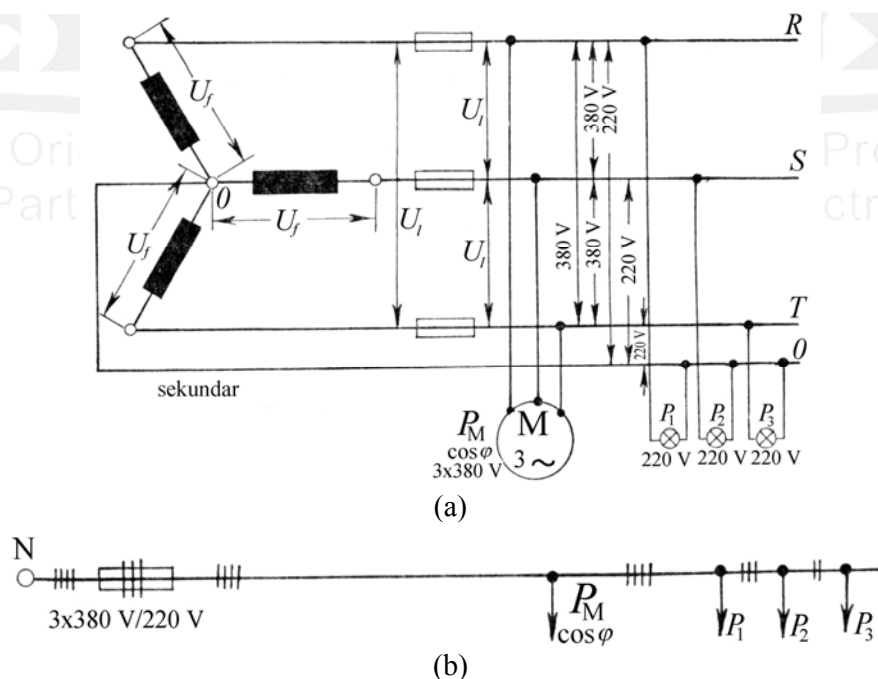
38.2. Elektrotehnički grafički simboli

Simbol	Značenje	Simbol	Značenje
	provodnik		otpornik
	tri provodnika u jednopolnoj šemi		otpornik
	spojeni provodnici		reostat, promenljivi otpornik sa 2 ulaza za regulaciju napona na potrošaču
	provodnici koji nisu spojeni		potencijometar, promenljivi otpornik sa 3 ulaza
	izvor sastavljen od jedne baterijske ćelije, duža crta označava + pol		potencijometar, podešavanje zavrtnjem
	izvor napona sastavljen od više baterijskih ćelije, duža crta označava + pol		kondenzator
	izvor jednosmernog napona - DC		polarisan kondenzator
	izvor naizmeničnog napona - AC		promenljivi kondenzator
	osigurač		trimer, podesiv kondenzator, sa zavrtnjem
	transformator	diode, tranzistori	
	uzemljenje, veza sa zemljom ili tačka na nultom potencijalu		dioda, dozvoljava struju samo u jednom smeru
	lampa, pretvarač električne energije u svetlost		LED, električnu energiju pretvara u svetlost
	sijalica, signalna lampa		Zener dioda, obezbeđuje stalnu vrednost napona na krajevima
	grejač		fotodioda, dioda osetljiva na svetlost
	motor, pretvarač električne energije u mehaničku		NPN i PNP tranzistori
	zvono, pretvarač električne energije u zvuk		fototranzistor, tranzistor osetljiv na svetlost

	zujalica, pretvarač električne energije u zvuk		mikrofon, pretvarač zvuka u električnu energiju
	zavojnica, induktivnost		slušalice, pretvarač električne energije u zvuk
	prekidač, pritisni da provodi		zvučnik, pretvara električnu energiju u zvuk
	prekidač, pritisni da ne provodi		piezo pretvarač, pretvara električnu energiju u zvuk
	prekidač, on-off		pojačavač, blok simbol za pojačavačko kolo
	preklopnik		antena
	dupli preklopnik (za istovremeno uključivanje faze i nule)		LDR, fotootpornik, menja otpornost pod uticajem svetlosti
	relej, prekidač kojim se upravlja na električni pogon		termistor, menja otpornost pod uticajem toplote
	voltmetar		varistor – variable resistor, velika otpornost pri malom naponu i obrnuto
	ampermetar	Logička kola	
	galvanometar		NOT ili NE kolo
	ommetar		AND ili I kolo
	osciloskop		OR ili ILI kolo



Sl.38.2. Trofazna trožična mreža; (a) višepolna i (b) jednopolna šema, za napajanje električnih motora, većih električnih peći i za prenos električne energije pod visokim naponom.



Sl. 38.3. Trofazna četvorožična mreža, (a) višepolna i (b) jednopolna šema:

Primeri za trofaznu trožičnu i četvorožičnu mrežu dati su na slikama 38.2 i 3. Dve vrste električnih šema su prikazane: višepolna i jednopolna šema. U višepolnim šemama prikazuje se svaki provodnik u kolu linijom (oznaka R, S, T ili L1, L2, L3) i svaki element posebnim simbolom. Jednopolna šema je jednostavnija jer se jednom linijom prikazuju jedan, dva ili više provodnika a više istih elemenata može se prikazati jednim simbolom.

Trofazna četvorožična mreža pored tri fazna provodnika ima i četvrti koji se naziva nulti i označava sa N ili 0. Kada ovaj provodnik, izveden iz zvezde transformatora ili generatora, nije spojen sa zemljom naziva se **neutralnim** a kad je spojen sa zemljom, da bi se izvršila zaštita od napona dodira sistemom nulovanja, ima naziv **nulti**. Napon između faznog i nultog provodnika je **fazni napon**. Napon između dva fazna provodnika je **međufazni napon**. Na međufazni napon priključuju se trofazni motori i trofazni prijemnici većih snaga a na fazni napon priključuju se sijalice, termički aparati, jednofazni motori.



Your Original Manufacturer & Authorized Provider
of Parts & Services for all 1984-2012 Electrolux

39. Električne instalacije i zaštita

Elektroenergetske mreže, koje se koriste za prenos i distribuciju električne energije, označavaju se, prema vrednosti napona koji se distribuira tom mrežom, oznakom koja se zove **nazivni napon mreže** (napon po kome se mreža naziva, označava i prema kome se daju radne karakteristike, pa tako imamo mreže za 220 V ili mreže za 110 V).

Nazivni napon trofazne elektroenergetske mreže predstavlja međufaznu efektivnu vrednost napona. Stvarni **radni napon mreže** u nekoj tački može da varira u odnosu na nazivni napon zbog uticaja pogonskih uslova koji određuju naponske prilike u mreži. Međutim, za svaku mrežu se definiše **najviši napon mreže**. To je najviša dozvoljena vrednost radnog napona koja sme da se pojavi u normalnom pogonu u mreži.

Najviši napon opreme predstavlja efektivnu vrednost međufaznog napona za koji je oprema konstruisana i pri kome ona može normalno da funkcioniše.

Svako povećanje napona iznad najvišeg napona opreme smatra se da izlazi iz domena normalnog pogona i naziva se prenaponom. **Prenapon** predstavlja napon između faznog provodnika i zemlje (ili između faza) čija maksimalna vrednost prelazi odgovarajuću maksimalnu vrednost najvišeg napona opreme.

Električne instalacije dele se u grupe prema nameni, naponu, sistemu uzemljenja i td. Prema nameni instalacije se dele na:

- **instalacije malog napona** do 50 V između provodnika (telefonija, sistemi nadzora, obaveštavanja i zaštite, i sl.)
- **instalacije niskog napona** sa naizmeničnim naponom do 240 V u odnosu na zemlju (u gradskim naseljima, zgradama za stanovanje i rad, školama, ...);
- **instalacije visokog napona** od 240 V naviše u odnosu na zemlju (za industrijsku upotrebu).

Opšta podela naizmeničnih sistema napajanja prema broju provodnika je:

- jednofazni sa dva provodnika,
- dvofazni sa tri provodnika,
- dvofazni sa pet provodnika,
- trofazni sa tri provodnika,
- trofazni sa četiri provodnika.

39.1. Uzemljenje i električne instalacije

Svaki sistem zaštite uzima u obzir zemlju kao provodnik gde struja u jednom delu prolazi, između dve elektrode, kroz zemlju. Taj deo strujnog kola, koji čini zemlja, naziva se geološki provodnik. Veza uređaja koji treba uzemljiti sa zemljom, geološkim provodnikom, naziva se uzemljenje. Delovi uzemljenja su: uzemljivač, zemljovod i sabirni zemljovod.

Uzemljivač je jedan ili više provodnika koji su položeni u tlo i sa njim su u neposrednom kontaktu, ili jedan ili više provodnika koji su položeni u beton koji je po velikoj površini u dodiru sa tlom.

Zemljovod (dozemni vod, odvod) je provodnik koji spaja uređaj koji treba uzemljiti sa uzemljivačem ili sa sabirnim zemljovodom. Ako je na vezi sa uzemljivačem ili sabirnim zemljovodom ugrađena spojnica ili rastavljač, zemljovod je samo deo provodnika od mesta ugradnje tog elementa do uzemljivača ili sabirnog zemljovoda.

Sabirni zemljovod je provodnik na koji je priključeno više zemljovoda. On se na više mesta povezuje sa uzemljivačem.

Po funkciji uzemljenja se dele na: zaštitno uzemljenje; radno (pogonsko) uzemljenje; gromobransko uzemljenje; združeno uzemljenje.

Zaštitno uzemljenje (PE) je uzemljenje metalnih delova koji ne pripadaju strujnim kolima niti su posredno u električnom kontaktu sa njima ali u slučaju kvara mogu da dođu pod napon. Ono obezbeđuje da svi dostupni provodni delovi uređaja budu na istom potencijalu tj. na potencijalu koji ima površina Zemlje. U slučaju kvara vrlo velika struja proteče i aktivira neki od zaštitnih elemenata (osigurač, prekidač u kolu) čime se izbegava opasnost od strujnog udara.

Radno uzemljenje je uzemljenje dela strujnog kola kojim se obezbeđuje željena funkcija ili radne karakteristike tog kola. Kroz njega, u normalnom režimu rada, struja može proticati i ono je neophodno kod filtera za postizanje elektromagnetne kompatibilnost, tj. zaštite uređaja od elektromagnetnih smetnji posebno kod nekih vrsta antena i mernih instrumenata.

Gromobransko uzemljenje je uzemljenje gromobranske instalacije koje služi za odvođenje atmosferskog pražnjenja u zemlju.

Zaštitno uzemljenje, radno uzemljenje i gromobransko uzemljenje mogu se međusobno povezati dajući združeno uzemljenje.

Dimenzionisanje uzemljivača zavisi od toga koji tip uzemljenja će se koristiti.

Uzemljivači se mogu razvrstati po tipovima prema materijalu od koga su izrađeni, načinu izvođenja uzemljivača, sredini u koju se polažu i obliku uzemljivača.

Prema materijalu od koga su izrađeni uzemljivači mogu biti:

- cevi ili šipke (štapovi),
- trake ili žice,
- ploče,
- armatura u betonu samo za $\phi \geq 10$ mm,
- metalne vodovodne cevi (mogu se upotrebiti kao dodatni uzemljivači ako su od metala i ako su vodomeri premošteni),
- ostale ukopane konstrukcije, osim cevovoda za grejanje i prenos zapaljivih tečnosti i gasova.

Prema načinu izvođenja uzemljivača razlikujemo sledeće tipove:

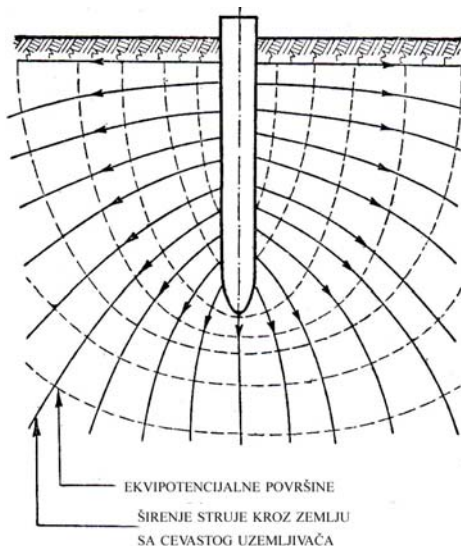
- horizontalne (površinske), koji su sastavljeni od horizontalno položenih provodnika koji su ukopani u zemlju na dubini od 0,5 m do 1 m (mogu biti mrežasti, zrakasti, u vidu prstenova ili kao kombinacija tih oblika);
- vertikalni (dubinski), koji su sastavljeni od jednog ili više štapnih uzemljivača (dužine štapova obično 1 m do 5 m) koji su pobijeni vertikalno u tlo i međusobno povezani;
- kosi uzemljivači, u osnovi štapni ali pobijeni koso u tlo.

Prema sredini u koju se polažu:

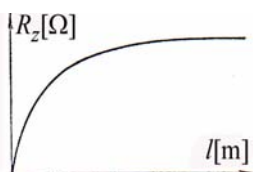
- uzemljivači u tlu (oko uzemljivača ukopanih u stene i šljunak mora se staviti provodljiv sloj zemlje jer šljunak ima veliki prelazni otpor);
- temeljni uzemljivači (ugrađuju se u spoljne zidove temelja objekta u vidu zatvorenog prstena i preko betona imaju spoj sa zemljom).

Prema obliku uzemljivača:

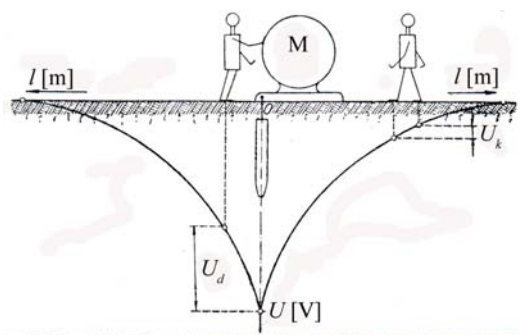
- zrakasti,
- prstenasti,
- mrežasti,
- kombinovani.



Sl. 39.1.a) Širenje struje kroz zemlju sa cevastog uzemljivača



Sl. 39.1.b) Promena otpora geološkog provodnika u zavisnosti od rastojanja od uzemljivača



Sl. 39.1.c) Naponski levak uzemljivača, zavisnost potencijala od udaljenosti od uzemljivača

Uzemljivač kao celina sa zemljovodom i geološkim provodnikom ima otpor koji se sastoji iz otpora zemljovodnog provodnika, otpora samog uzemljivača, prelaznog otpora (otpor koji se javlja pri prelasku struje sa uzemljivača u zemlju) i otpora širenju struje kroz zemlju (na većoj dubini otpor je manji). Prva dva otpora zanemarljivo su mala pa se njihove vrednosti u proračunima ne uzimaju u obzir, dok druga dva daju veličinu koja se naziva otpor uzemljivača ili otpor rasprostiranja.

U zemlji struja se rasprostire zrakasto, pa otpor rasprostiranja ne zavisi linearno od dužine geološkog provodnika već se menja po krivoj sa slike 39.1.b. Pad napona na geološkom provodniku predstavljen je zato krivom kao na slici 39.1.c. Kriva predstavlja raspodelu potencijala u zemlji oko uzemljivača a ima oblik levka pa se naziva naponski levak uzemljivača. Kriva predstavlja zavisnost potencijala od udaljenosti od uzemljivača. Razlika potencijala oko uzemljivača u stvari je napon između dve tačke raznih prečnika u površini kruga sa oblikom levka. Ona postoji kada kroz uzemljivač protiče struja sve dok osigurač ne pregori ili se izvor struje ne isključi.

Napon koraka je onaj napon koji na naponskom levku na zemlji obuhvataju čovekove noge, U_k . Napon dodira je napon koji se uspostavi između čoveka i zemlje kada ovaj dodirne provodljivi deo uređaja koji je pod naponom, U_d .

Dublje ukopan uzemljivač ima manje strm naponski levak i manji napon dodira i napon koraka.



U pogledu uzemljenja razvodnih sistema, u niskonaponskim mrežama dozvoljeni su sledeći sistemi napajanja prikazani na slikama 39.2a), b) i c) (International standard IEC 60364):

- a) TN sistemi (TN-S; TN-C i TN-C-S),
- b) TT sistem,

c) IT sistem.

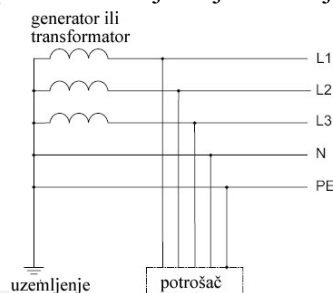
Korišćeni simboli imaju sledeća značenja:

- Prvo slovo opisuje vezu sistema napajanja i zemlje:
T – direktan spoj sa zemljom u jednoj tački (Francuski *terre*);
I – nijedan provodnik pod naponom nije spojen sa zemljom (izolovani su), ili je možda jedna tačka spojena sa zemljom preko impedanse.
- Drugo slovo opisuje vezu napajanih električnih uređaja sa zemljom:
T – direktna veza električnog uređaja sa zemljom, nezavisno od uzemljenja sistema napajanja;
N – direktan spoj električnog uređaja sa uzemljenom tačkom sistema napajanja.

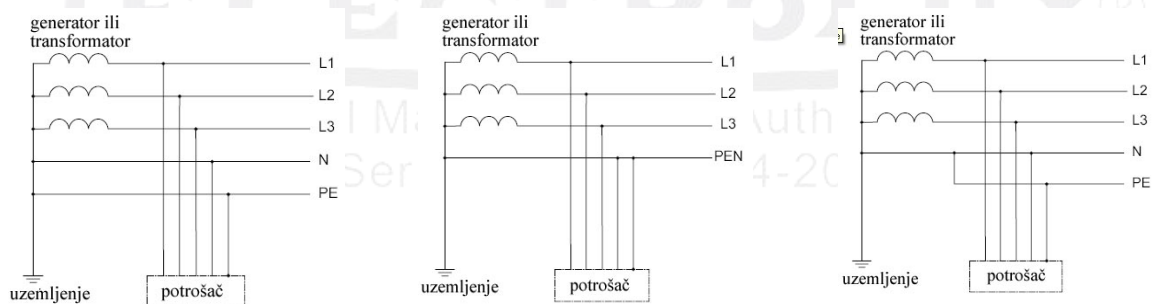
Ostala slova (ako postoje) definišu vezu neutralnih i zaštitnih provodnika;

S – postoje posebni provodnici: neutralni N i zaštitni PE (**p**rotectiv **e**arth),

C – neutralni i zaštitni provodnik objedinjeni su u jednom PEN-provodniku.



Sl. 39.2. a) TN- sistem

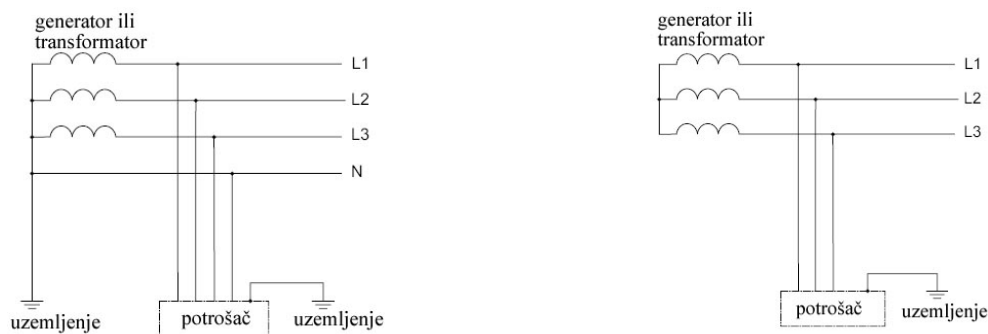


TN-S sistem: nulta tačka transformatora je uzemljena, dostupni provodni delovi potrošača spojeni su sa PE provodnikom

TN-C sistem: nulta tačka transformatora je uzemljena, dostupni provodni delovi potrošača spojeni su sa zajedničkim PEN provodnikom

TN-C-S sistem: nulta tačka transformatora je uzemljena, PEN provodnik od transformatora do razvodne table, PEN odvojen u N i PE provodnike od razvodne table za povezivanje potrošača posebno na N i PE

Sl. 39.2. b) TN-S, TN-C i TN-C-S sistemi

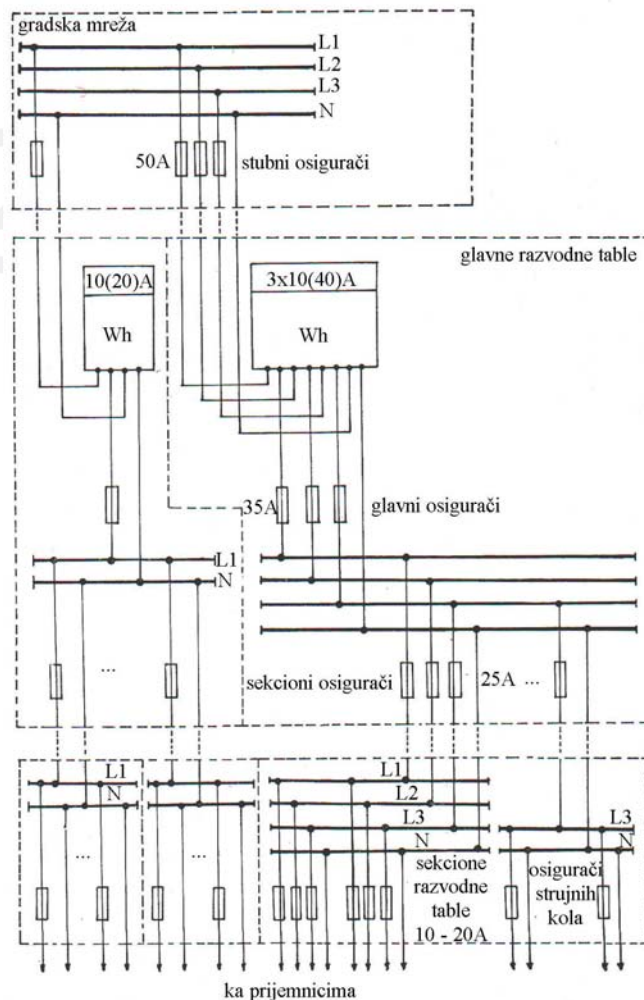


TT-sistem: nulta tačka transformatora je uzemljena, dostupni provodni delovi potrošača nisu spojeni sa sistemom uzemljenja generatora već preko sopstvenog uzemljenja

IT-sistem: nulta tačka transformatora nije uzemljena, dostupni provodni delovi potrošača uzemljeni su preko sopstvenog uzemljenja

Sl. 39.2. c) TT i IT sistemi napajanja

U električnim instalacijama u zgradama pojedina strujna kola su vodovima, preko razvodne table, povezana sa gradskom mrežom. Primer je dat na slici 39.2.d.



Sl. 39.2.d) Dovodni vod gradske mreže povezan sa glavnim i sporednim razvodnim tablama: jednofaznom sa dve sporedne i trofaznom sa tri sporedne razvodne table

Zaštitni provodnici (PE provodnici), zaštitno neutralni provodnici (PEN provodnici) i provodnici za izjednačenje potencijala moraju se označiti kombinacijom zelene i žute boje. Neutralni provodnik (N-provodnik) mora se označiti svetloplavom bojom. U strujnom kolu koje ima neutralni provodnik svetloplava boja se ne sme koristiti za bilo koje drugo označavanje provodnika. U strujnom kolu koje nema neutralni provodnik, žila kabla označena svetloplavom bojom može se koristiti i za druge svrhe osim za označavanje zaštitnog provodnika, PEN provodnika i provodnika za izjednačavanje potencijala, uz odgovarajuće označavanje na njegovim krajevima.

Neizolovani provodnici mogu se označavati bojenjem na celoj svojoj pristupačnoj dužini, ili obmotavanjem trake odgovarajuće boje, širine od 15 mm do 100 mm.

Prema standardima do 1988. g. označavanje polariteta odnosno faze sabirnica odgovarajućim bojama neizolovanih provodnika u razdelnim tablama (uređajima) koje su u redovnom pogonu pristupačne sa zadnje strane, bilo je definisano na sledeći način:

jednosmerna struja:	pozitivni pol -	crvena boja
	negativni pol -	plava boja
trofazna struja:	prva faza -	žuta boja
	druga faza -	zelena boja
	treća faza -	ljubičasta boja
	neutralni provodnik -	bela ili svetlosiva sa poprečnim crnim prugama
	zaštitni provodnik	žuta i zelena boja

Ovaj sistem označavanja neizolovanih faznih provodnika u praksi se i danas primenjuje. Čak se navedene boje za označavanje faze sabirnica primenjuju za postrojenja srednjeg napona (≤ 35 kV). U nekim zemljama označavanje faze sabirnica odgovarajućim bojama vrši se i u postrojenjima visokog napona (> 35 kV).

39.2. Prenaponi

Prenaponi se prema uzroku nastanka mogu podeliti na dva osnovna tipa:

- spoljašnji ili atmosferski prenaponi i
- unutrašnji prenaponi.

a) Spoljašnji ili atmosferski prenaponi nastaju usled atmosferskih pražnjenja (udara groma) u elemente elektroenergetskih objekata ili u njihovu blizinu.

b) Unutrašnji prenaponi nastaju usled poremećaja u samom sistemu. Dele se prema uzroku na sledeće grupe:

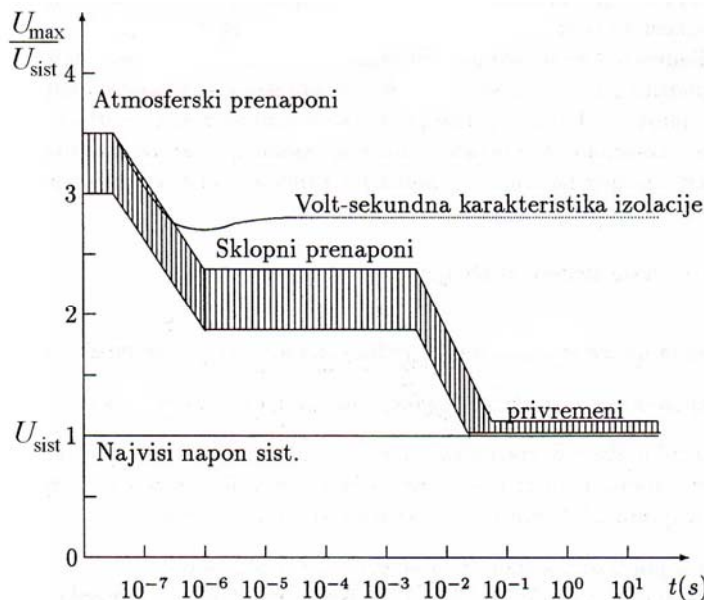
1. Sklopni ili komutacioni prenaponi koji nastaju pri sklopnim operacijama (uključenjima ili isključenjima) delova mreže. Sklopni prenaponi traju od delova do nekoliko perioda industrijske učestanosti. Njihova učestanost varira od nekoliko stotina Hz do nekoliko desetina kHz. Poseban tip ultrabrzih sklopnih prenapona nastaje pri korišćenju rastavljača, kada dolazi do višestrukih paljenja i gašenja električnog luka pri uključivanju ili isključivanju malih kapacitivnih struja.

Pri manipulacijama rastavljačima u postrojenjima kod kojih se kao izolaciono sredstvo koristi gas sumporheksafluorid (SF_6), mogu se pojaviti prelazni procesi učestanosti čak do 50 MHz.

2. Privremeni (povremeni) prenaponi imaju duže trajanje od atmosferskih i sklopnih prenapona. Njihovo trajanje je od nekoliko perioda napona industrijske učestanosti do nekoliko sati. Obično nisu mnogo viši od najvišeg napona mreže. Ovi prenaponi po pravilu ne ugrožavaju izolaciju opreme, već mogu da izazovu probleme u radu pojedinih aparata. Prema uzroku nastanka mogu se podeliti na sledeće osnovne tipove:

- prenapone pri nesimetričnom pogonu (pri nesimetričnim kvarovima ili pri nesimetričnom prekidu napajanja u trofaznim mrežama);

- rezonantne prenapone, koji nastaju u mrežama kod kojih zbog određenog uklopnog stanja ili pri kvaru, sopstvena učestanost mreže postaje bliska učestanosti izvora;
- ferorezonantne prenapone koji nastaju u mrežama u kojima nelinearna induktivnost magnećenja može da sa kapacitivnostima kola stupi u rezonansu;
- prenapone pri naglom rasterećenju.



Slika 39.3. Procena amplituda i vremena trajanja pojedinih tipova prenapona. Napon na ordinatnoj osi dat je u relativnim jedinicama u odnosu na najviši napon mreže

Na slici 39.3 simbolično su prikazane amplitude i trajanja pojedinih tipova prenapona. Može se uočiti da atmosferski prenaponi, koji imaju najvišu amplitudu, ujedno i najkraće traju, dok privremeni prenaponi, koji dugo traju, imaju amplitudu nešto višu od najvišeg napona mreže. Sa druge strane, izolacija može kratkotrajno da podnese više prenapone, dok prenaponi dužeg trajanja mogu da oštete izolaciju čak iako su niže amplitude.

39.3. Izolacija

Izolacija opreme služi da odvoji delove koji su u normalnom pogonu pod naponom od delova koji su uzemljeni, ili da odvoji delove koji su pod različitim naponima. Ona je projektovana da može trajno da radi pri najvišem naponu opreme. Ukoliko se pojave prenaponi, oni izazivaju naprezanje izolacije. Naprezanje izolacije zavisi od amplitude prenapona, njegovog talasnog oblika i trajanja.

Ukoliko izolacija ne izdrži prenapon, dolazi do pojave razornog pražnjenja. Razorno pražnjenje predstavlja gubitak dielektričnih svojstava izolacije, tako da izolacija počinje da provodi struju kao provodnik.

Prema ponašanju pri razornom pražnjenju, izolacija se deli na dva tipa:

- samoobnovljivu izolaciju, koja posle završetka razornog pražnjenja potpuno obnavlja svoja izolaciona svojstva;
- neobnovljivu izolaciju, koja trajno gubi ili ne obnavlja u potpunosti izolaciona svojstva nakon razornog pražnjenja.

Proces razornog pražnjenja na neobnovljivoj izolaciji naziva se **probojem**, a na samoobnovljivoj izolaciji **preskokom**.

Prolazni kvarovi na samoobnovljivoj izolaciji se u određenom broju mogu tolerisati, jer oni ujedno predstavljaju zaštitu neobnovljive izolacije od trajnih kvarova pošto na mestu preskoka značajno smanjuju prenapone. Broj prolaznih kvarova se mora ograničiti na tehnički prihvatljivu meru.

Prema upotrebi izolacija se deli na:

- spoljašnju izolaciju, koju čine vazdušni razmaci i vazduh po površini spoljašnje čvrste izolacije; podvrgnuta je atmosferskim uticajima kao što su vlaga, zaprljanje, životinje itd;
- unutrašnju izolaciju, koja predstavlja čvrstu, tečnu ili gasovitu izolaciju zaštićenu od atmosferskih i drugih spoljašnjih uticaja.

Dielektrična izdržljivost se definiše preko napona koji izolacija može da podnese. Prema standardima se definišu sledeći naponi koji određuju dielektričnu izdržljivost izolacije:

- konvencionalni podnosivi napon, koji predstavlja napon koji izolacioni sistem mora uvek da izdrži, bez obzira na broj izlaganja naponu.
- statistički podnosivi napon, koji izolacija izdržava u 90 % ispitivanja.

Da bi se izolacija opreme zaštitila od opasnih prenapona, primenjuju se zaštitna sredstva koja služe da ograniče prenapone na dozvoljeni nivo. Osnovno zaštitno sredstvo koje se primenjuje u elektroenergetskim mrežama je **odvodnik prenapona**. On nakon pojave prenapona počinje da provodi struju odvođeći energiju prenapona, da bi po prestanku dejstva prenapona prekinuo odvođenje energije, ponovno uspostavljajući veliku otpornost između priključaka. Pored odvodnika prenapona, primenjuju se i druga zaštitna sredstva za ograničenje prenapona.

Danas se sprovodi statistički postupak koordinacije izolacije, pomoću koga se procenjuje srednji broj godina bez kvara izolacije (označava se sa MTBF od engleskog izraza Mean Time Between Failures) i upoređuje sa tehnički dozvoljenim brojem godina bez kvara.

39.4. Zaštita od slučajnog dodira i od napona dodira

Utvrđeno je da naizmenična struja učestanosti do 50 Hz, industrijska struja, u vrednosti do 15 mA, izaziva jača i slabija grčenja mišića. Struja jačine od 15 do 20 mA izaziva grčenje mišića do te mere da zahvaćena osoba teško otvara šaku da bi se oslobodila uhvaćenog provodnika. Struja od 20 do 50 mA onemogućava zahvaćenoj osobi da se samostalno oslobodi provodnika pod naponom, dok struja od 50 do 150 mA može ubiti čoveka, pogotovu ako prođe kroz srce, ili ga ugušiti ako prođe kroz disajne organe. Struja od 150 mA do 1 A, pa i do 2 A, u većini slučajeva, izaziva obamrlost srca, mada ako struja nije tekla duže od oko 1/10 sekunde, zahvaćena osoba često ostaje bez ikakvih posledica. Struja od 1 do 5 A u većini slučajeva nije smrtonosna ali stvara duboke opekotine, teško izlečive ili neizlečive, što vodi trajnom invaliditetu.

Struja visoke učestanosti je manje opasna od struje industrijske učestanosti. Još je Tesla ukazao na lekovitost visokofrekventne struje, čije se primene u medicini proučavaju pod nazivima darsonvalizacija i dijatermija.

U pogledu bezbednosti od strujnog udara razlikuju se:

- **slučajni dodiri** do kojih dolazi pri kontakti čoveka i provodljivih delova uređaja koji su normalno pod naponom, npr. grlo sijalice, nož prekidača, go provodnik i sl., i
- **naponi dodira** koji nastaju na provodljivim delovima uređaja koji nisu normalno pod naponom, (npr. metalni oklop motora, štednjaka, metalne ručice otpornika, električni alat sa metalnim oklopom i sl.) ali u toku rada zbog kvara na izolaciji ili drugih uzroka mogu doći pod napon.

39.4.1. Zaštita od slučajnog dodira

Tehnički propisi uslovljavaju da delovi električnih instalacija i uređaja koji su normalno pod naponom iznad 42 V moraju biti zaštićeni od slučajnog dodira. Zaštita od slučajnog dodira izvodi se: izolovanjem, udaljavanjem ili nekom drugom merom.

Izolovanje se postiže upotrebom presvlaka od gume, sintetičke izolacione mase (PVC, neopren i sl.), stručnim omotavanjem spojeva izolacionom trakom, upotrebom porculanskih i sličnih keramičkih elemenata kao podloga, cevi i sl. U izolovanje se ne smatraju presvlake lakom, emajlom, oksidni slojevi kao i opletanje i omotavanje vlaknastim materijama čak i ako su impregnirane.

Udaljavanje je mera kojom se predmet, koji treba zaštititi od slučajnog dodira, stavi van domašaja ruku, učini nepristupačnim, i to:

- postavljanjem neizolovanog predmeta na visinu 2,5 m od mogućeg stajališta čoveka (npr. od poda) a u horizontalnom smeru ili naniže od mogućeg stajališta na udaljenosti 1,25 m (npr. ispod prozora ili sa strane prozora). Ove visine tehnički propisi dozvoljavaju i za gole neizolovane provodnike ako je sasvim sigurno da lica koja prenose kakve provodne predmete ne mogu doći u dodir sa neizolovanim provodnicima. Ukoliko se na gornjim udaljenostima neizolovani predmeti mogu dodirnuti prenošenjem provodnih predmeta, udaljenosti moraju biti veće (na pr. za vazdušne mreže iznad polja, drumova, ulica, reka i sl. date su posebne razdaljine),

- odvajanjem neizolovanog predmeta šupljikavom pregradom, koja ne sme imati otvore veće od 12 mm u prečniku i iza koje predmet pod naponom mora biti udaljen najmanje 80 mm,

- zatvaranjem neizolovanog predmeta poklopcem, oklopom, priključnom kutijom i sl., koji moraju biti pouzdano pričvršćeni i mehanički dovoljno otporni (npr. zaštitni plaševi i omotači kablova i izolovanih vodova moraju biti uvedeni u uključne kutije ili u oklope uređaja i ne smeju štrčati u prostoru ili izvan prostora uređaja, osim u kablovskim glavama i ormanima).

39.4.2. Zaštita od napona dodira

Napon dodira je razlika potencijala koja se uspostavi između čoveka i zemlje kada ovaj dodirne provodljivi deo uređaja koji je pod naponom (sl. 39.1.c i 39.4.a i b). Ova se pojava događa kada je oštećena izolacija na provodniku koji dodiruje metalni, provodljivi deo uređaja ili kada su priključni krajevi na uređaju izolaciono nezaštićeni i sl.

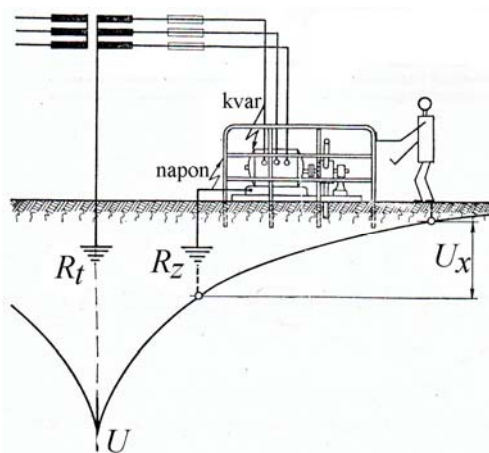
Kada se jednom rukom dodirne predmet koji je pod naponom, tada struja prolazi kroz čoveče telo i odlazi u zemlju (sl. 39.4). Vrednost ove struje zavisi od napona dodira i od prelaznog otpora koji sačinjavaju tri na red vezana otpora: ulazni otpor - na mestu dodira, otpor čovečijeg tela i izlazni otpor između nogu i zemlje.

Ulazni otpor R_u ima različite vrednosti jer zavisi od stepena vlažnosti ruku, debljine i stanja kože i vrednosti veličine površine dodira. Ove se vrednosti za suve ruke radnika, a za napone od 20 do 500 V, kreću i do 100 000 Ω/cm^2 , dok za vlažne ruke ulazni otpor opada i ispod 1 000 Ω/cm^2 . Prosečna vrednost ulaznog otpora za dve suve ruke kojima se uhvate provodnici procenjuje se na oko 2 000 do 3 000 Ω , a za jednu ruku na oko 1 000 Ω .

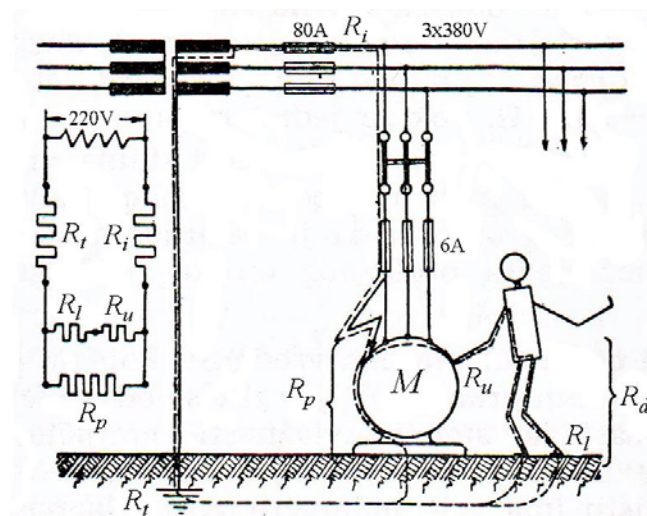
Otpor čovečijeg tela, otpor dodira R_d , takođe nije stalna vrednost, ali se procenjuje da je ona mala i u posmatranom kolu, prema vrednosti ulaznog otpora, bez uticaja, pa se najčešće zanemaruje.

Izlazni otpor, R_l , ima vrednosti koje su promenljive u vrlo širokim granicama, jer zavise od vrste zemljišta, geološkog sastava, stepena vlažnosti zemljišta, vlažnosti nogu, vrste obuće i visine napona. Bosonog čovek na vlažnom zemljištu ima vrlo malu vrednost izlaznog otpora, ispod 10 Ω , dok u obući sa gumenim đonovima na suvom zemljištu izlazni otpor prelazi vrednost 300 000 Ω , a na vlažnom zemljištu može biti i ispod 10 000 Ω .

Da bismo upoznali okolnosti pod kojima je život čoveka doveden u opasnost, posmatrajmo uopšten primer.



Sl. 39.4.a). Metalni delovi koji su ukopani u zemlju a nalaze se u prostoru naponskog levka, takođe su pod naponom levka



Sl. 39.4.b) Motor pod naponom: R_i - otpor faze; R_u - ulazni otpor; R_l - izlazni otpor; R_d - otpor dodira; R_p - dodirni otpor uređaja; R_t - otpor uzemljivača transformatora

Jedan motor priključen je na četvorožičnu mrežu koja u transformatorskoj stanici ima uzemljeno zvezdište sekundara transformatora (sl. 39.4.b). Namotaji motora su pod naponom 3×380 V. Neka je na motoru, iz ma kojih razloga, oštećena izolacija namotaja ili spojnog provodnika, usled čega je oklop motora pod naponom prema zemlji koji iznosi $380 \text{ V} / \sqrt{3} = 220 \text{ V}$ (sl. 29.28). Motor se nalazi na betonskom postolju pa je prelazni otpor oklopa prema zemlji, odnosno dodirni otpor uređaja $R_p = 40 \Omega$. Dalje, neka nam je poznat prelazni otpor pogonskog uzemljača transformatora $R_t = 3 \Omega$ i otpor jednog provodnika preko koga je motor dobio napon $R_i = 0,5 \Omega$. Kroz ovo zatvoreno električno kolo (provodnik R_i , oklop motora, prelazni otpor oklopa prema zemlji R_p , zemlja, prelazni otpor pogonskog uzemljivača R_t) prolazi **struja kvara** koja će imati vrednost:

$$I_k = \frac{U}{R_t + R_i + R_p} = \frac{220}{3 + 0,5 + 40} \text{ A} = 5 \text{ A}$$

Ova će struja izazvati pad napona na prelaznom otporu oklopa motora prema zemlji u vrednosti

$$U_d = R_p \cdot I_k = 40 \Omega \cdot 5 \text{ A} = 200 \text{ V}.$$

Kada čovek dodirne ovaj motor, on će biti u paralelnoj vezi sa dodirnim otporom uređaja R_p , odnosno pod naponom dodira od 200 V. Da bismo odredili struju koja će proći kroz čoveka, potrebno je da znamo vrednosti ulaznog i izlaznog otpora. Neka je vrednost ulaznog otpora oko 1000Ω . Ako čovek stoji na vlažnom zemljištu, vrednost izlaznog otpora zanemarljivo je mala prema vrednosti ulaznog, pa je možemo zanemariti. U ovom slučaju struja kroz čoveka imaće vrednost

$$I_d = \frac{200 \text{ V}}{1000 \Omega} = 200 \text{ mA}.$$

Ova struja smrtonosna je po čoveka.

Za odstranjivanje opasnosti koju sadrže prijemnici sa svojim provodljivim oklopom kada je ovaj pod naponom, preuzimaju se zaštitne mere od napona dodira, pri čemu se uzima u obzir

- da je struja od oko 50 mA gornja granična vrednost koja se može dozvoliti da prođe kroz čoveče telo i
- da je vrednost ulaznog R_u i izlaznog R_l otpora čovečijeg tela 1000Ω .

Na osnovu ovih pretpostavki može se utvrditi gornja granica bezopasnog napona dodira:

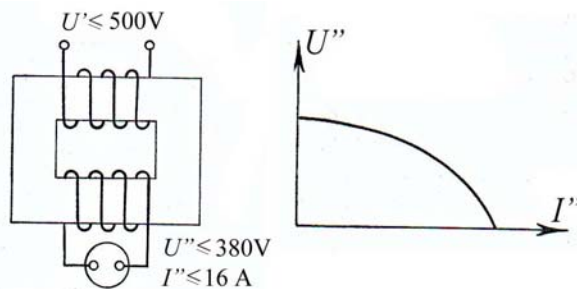
$$U_d = (R_u + R_l) \cdot I_k = 1000 \Omega \cdot 0,05 \text{ A} = 50 \text{ V}.$$

Prema tehničkim normativima utvrđene su granične vrednosti napona dodira u zavisnosti od vremena trajanja zemljospoja:

$U_{doz} = 1000 \text{ V}$	za $t \leq 0,075 \text{ s}$
$U_{doz} = \frac{75}{\sqrt{t}} \text{ V}$	za $0,075 \text{ s} < t \leq 1,153 \text{ s}$
$U_{doz} = 65 \text{ V}$	za $t > 1,153 \text{ s}$

Zaštitne mere od previsokog napona dodira su:

- zaštitno izolovanje (sprečava svaki dodir delova pod naponom jer se povećava prelazni otpor, bilo da je u pitanju ulazni otpor, izlazni otpor ili oba otpora),
- zaštitno uzemljenje (zaštitno uzemljenje je metalni spoj oklopa uređaja sa zemljom (sl. 39.2.a, b, c). Ono ima zadatak da struja kvara dobije što veću vrednost da bi izazvala pregorevanje osigurača oštećenog uređaja ali da napon dodira na oklopu oštećenog uređaja ne bude veći od 65 V);
- nulovanje (to je veza metalnog oklopa zaštićenog uređaja sa nultim uzemljenim provodnikom mreže, pri čemu nulti provodnik vrši funkciju zemlje i zaštitnog uzemljivača, i kod koga struja kvara izaziva pregorevanje osigurača);
- sistem zaštitnog voda (svi provodni delovi uređaja i instalacija koje treba štititi i svi provodni delovi u prostorijama – vodovodne, gasovodne i toplovodne cevi, konstruktivni delovi zgrade – spajaju se na sabirni zaštitni vod koji se uzemljuje i čiji otpor uzemljivača mora biti manji od 20Ω),
- zaštitni naponski (ZN) i strujni (ZS) prekidači (automatski isključuju strujno kolo u kome se javi napon dodira i sprečavaju uključanje sve dok se kvar ne otkloni),
- zaštitni transformatori za galvansko odvajanje (transformator mora imati odvojen primarni namotaj od sekundarnog i opadajuću karakteristiku sekundarnog napona, kao na slici 39.5, gde porast struje opterećenja dovodi do opadanja napona. Pri pojavi napona dodira na sekundaru kolo postaje zatvoreno za struju, čime se ostvaruje zaštitna funkcija transformatora. Primenuje se kod raznih alata, za priključnice u kupatilima, mašine za pranje i sušenje i sl.).



Sl. 39.5. Transformator za galvansko odvajanje i karakteristika napona u zavisnosti od opterećenja – struje potrošača

40. Zaštita od statičkog elektriciteta

Opasnost od statičkog elektriciteta nastaje kad se na jednom mestu sakupi dovoljna količina naelektrisanja da može doći do pražnjenja i da se, u granicama eksplozivnosti, mogu pri tome zapaliti eksplozivni materijali. Sredine koje su ugrožene zbog pojave statičkog elektriciteta su kompletna postrojenja za proizvodnju, prevoz i skladištenje raznih vrsta eksplozivnih materijala (privrednih eksploziva u prahu, plastičnih privrednih eksploziva, nitroceluloznog baruta, crnog baruta, inicijalnih eksploziva, detonatora, lovačke municije, sportske municije i dr.), tekstilna industrija, industrija papira, štampanje i litografija, industrija prirodne i sintetičke gume, lakirnice, prenosna i razna druga postrojenja, kao i delovi tehnološkog procesa koji sadrže: transmisije, mašine za mlevenje, mašine za suvo čišćenje, proces ispuštanja gasova iz rezervoara, zapaljive i loše provodljive tečnosti koje se kreću u posudama, odnosno protiču kroz cevi ili pretaču, površine tela na koja udara mlaz komprimovanog vazduha, gasa ili pare itd.

Skupljanje statičkog elektriciteta u proizvodnim procesima sprečava se:

1. uzemljenjem;
2. održavanjem odgovarajuće vlage u vazduhu;
3. jonizacijom vazduha;
4. antistatičkom preparacijom;
5. povećanjem provodljivosti loše provodljivih materijala;
6. odvođenjem statičkog elektriciteta.

1. Uzemljenje se mora primenjivati na svim provodljivim delovima mašina, bez obzira na to da li se upotrebljavaju i druge mere zaštite od statičkog elektriciteta. Uzemljenje se izvodi galvanskim vezivanjem svih provodljivih delova postrojenja na uzemljivač. Presek fiksno položenog bakarnog provodnika, s obzirom na mehaničku čvrstoću, ne sme da bude manji od 4 mm. Umesto bakarnih provodnika može se upotrebiti čelična pocinkovana traka najmanjeg preseka 20 mm x 3 mm. Za fleksibilne vodove i spojeve treba koristiti bakarno uže preseka 10 mm². Kao uzemljivači mogu se koristiti svi tipovi uzemljivača predviđeni odredbama Pravilnika o tehničkim normativima za zaštitu objekata od atmosferskog pražnjenja, odnosno priključak na postojeći sistem zaštitnog uzemljenja. Sa mesta koncentracije statičkog elektriciteta, postrojenje mora da se poveže najkraćim putem na sistem uzemljenja.

Tabela 40.1. Otpor različitih materijala za podove

Materijal	Izmereni otpor [Ω]
Pločice	$10^7 - 10^9$
Daske za brodski pod	$10^6 - 10^{10}$
Linoleum	$10^6 - 10^{10}$
Provodna guma	10^2
Pečene pločice	$10^7 - 10^{10}$
Veštački kamen - neprovodan	10^{11}
Obični beton debljine 3 cm	10^5
Specijalni beton debljine 5 cm	10^2
Provodni penušavi pod	10^2
Teraco	$10^5 - 10^7$
Provodni teraco	10^3
Asfalt	10^{10}

Pokretni delovi postrojenja, preko bakarnih, bronzanih ili ugljenih četkica, priključuju se na sistem uzemljenja. Četkice moraju biti vertikalno i fiksno postavljene na rotirajuću osovinu sa pritiskom na površinu od 0,4 do 0,8 N/cm². Obrtni delovi između ležišta i osovine

kod maloga procepa i odgovarajućeg maziva, mogu da ispune uslove u pogledu otpornosti uzemljenja.

Provodljivi podovi koji se koriste u sistemu za odvođenje statičkog elektriciteta, moraju imati prelaznu otpornost manju od $10^6 \Omega$.

Prelazna otpornost podova mora se kontrolisati u određenim vremenskim razmacima. Materijali za izradu provodljivih podova i njihova prelazna otpornost navedeni su u tabeli 30.1.

2. Održavanje odgovarajuće vlage u vazduhu može se primeniti samo ukoliko to dopuštaju tehnološki postupak i svojstva materijala koji se obrađuje. Doziranje relativne vlage vrši se pomoću ventilacionih klima-uređaja ili se para dovodi pomoću rasprskivača (parni mlaz) koji se postavlja u blizini najveće koncentracije statičkog elektriciteta. Puštanje pare kroz cevi i prskalice može u njima da sakupi statički elektricitet, pa se stoga cevi moraju galvanski povezati na sistem uzemljenja. Kontrola relativne vlažnosti mora se vršiti u određenim vremenskim razmacima pomoću higromera, odnosno stalno pomoću higrografa. Pri relativnoj vlažnosti vazduha od 70% ne pojavljuje se opasnost od naelektrisanja. Izuzetno, relativna vlažnost vazduha može se smanjiti i ispod 70% u pojedinim tehnološkim procesima pri kojima se moraju primenjivati propisana sredstva i metode za svaku sredinu koja je ugrožena zbog pojave statičkog elektriciteta. Takođe se merenjem mora utvrditi da se pri nižoj vlažnosti ne pojavljuje statički elektricitet koji izaziva smetnje i štete, a nije opasan u atmosferi eksplozivnih smeša.

3. Za jonizaciju vazduha radi neutralisanja elektrostatičkih pojava upotrebljavaju se visokonaponski ili radioaktivni jonizatori, koji se postavljaju u blizini mesta na kojima se skuplja statički elektricitet. Jonizatori se postavljaju na sledeći način:

- što bliže materijalu sa kog treba odstraniti statički elektricitet, ali na tolikoj udaljenosti da ne dodiruju materijal (oko 15 mm iznad materijala);
- na oko 100 mm ispred tačke sa koje se materijal odvaja od metalnih valjaka mašine.

4. Antistatičkom preparacijom poboljšava se odvođenje statičkog elektriciteta. Radi toga je potrebno površinu materijala premazati ili poprskati tankim slojem provodljivih materija ili materijal potopiti u antistatik. Sredstva za antistatičke preparacije moraju biti takva da ne utiču štetno na svojstva prepariranog materijala i da ne izazivaju koroziju mašina i njihovih delova. Kod tekstilnog materijala antistatička preparacija mora da bude postojana u pranju. U toku tehnološkog postupka treba, po potrebi, ponoviti antistatičku preparaciju.

5. Povećanje provodljivosti loše provodljivih materijala postiže se tako što se prirodnoj ili sintetičkoj gumi dodaje koloidalni grafit. Kao dodaci mogu se koristiti i metalni oksidi. Umesto povećanja provodljivosti materijala često je dovoljno povećati samo površinsku provodljivost. U tu svrhu se površina materijala premazuje koloidalnim grafitom, čađi ili glicerinom. Te premaze treba povremeno obnavljati.

Provodljivost tečnosti i rastvora povećava se dodavanjem etil alkohola.

6. Odvođenje statičkog elektriciteta može biti: (a) dodirnom ili (b) influencom.

a) Na delovima mašina, koji se u toku tehnološkog postupka obrću odnosno sa kojih se odvaja tekstil ili folijski materijal, mora se iznad mesta najjačeg naelektrisanja postaviti uzemljena mesingana šipka na kojoj su u razmacima od po 50 mm pričvršćeni mesingani lančići. Lančići dodiruju površinu materijala u toku njegovog kretanja i odvede statički elektricitet.

b) Odvođenje statičkog elektriciteta influencom je proces u kojem se odvajaju naelektrisanja suprotnih znakova u provodnicima koji su u električnom polju. Ako odvođenje statičkog elektriciteta influencom ne daje zadovoljavajući rezultat, treba ga kontrolisati, a prema potrebi broj mesta za odvođenje influencom povećati. Na kraju, ako ni to ne zadovoljava, treba primeniti druge metode odvođenja statičkog elektriciteta.

41. Zaštita od atmosferskih pražnjenja

Kao jedan od prirodnih fenomena grom je kroz najveći deo istorije fascinirao i plašio čoveka zaokupljajući njegovu maštu.



Sl. 41.1. Atmosferska pražnjenja

U antičko doba u gotovo svim narodima i kulturama grom i grmljavina bili su znaci božanskog delovanja. Starim grcima grom je predstavljao jedno od Zevsovih oružja koje je za njega napravila Minerva, boginja mudrosti. I Grci i Rimljani su posmatrali nebo, plašili se grmljavine kao znaka da su bogovi loše volje ili da se među njima događaju svađe i obračuni. Zeleći da odobrovolje bogove, obožavajući ih i bojeći ih se, svoje hramove su najčešće gradili na mestima koja je pogodio grom i koja su stoga za njih bila sveta. Asteci su bogove pokušavali da odobrovolje prinoseći žrtve. U nekim sredinama još se i danas veruje da zvuk crkvenih zvana može odagnati gromove, a sanke Deda Mraza po celom svetu vuku jeleni po imenu Donner (grmljavina) i Blitzen (munja).

Preokret u razmišljanjima o fenomenu groma dogodio se sredinom 18. veka zahvaljujući istraživanjima Bendžamina Frenklina. On je pomoću oglada sa zmajem dokazao da je grom električna pojava. Konstruisao je gromobrane kojima su se objekti i ljudi u njima mogli zaštititi. To je svakako bio ogroman korak napred ali trebalo je da prođe još dosta vremena da njegove ideje budu prihvaćene u nauci i praksi.

Sledeći veći napredak dogodio se krajem 19. veka, kad su naučnicima postali dostupni fotografski i spektroskopski alati. Struju groma među prvima je uspeo da izmeri nemački naučnik Pockels. On je merio jačinu magnetnog polja koje stvara grom i posredno, preko tog podatka izračunao jačinu struje groma (1897-1900).

Savremena istraživanja započinju s radom C.T.R. Wilsona koji je prvi vršio merenja električnog polja da bi odredio strukturu naelektrisanja u oblacima koji učestvuju u atmosferskim pražnjenjima. Wilson je svojim radom puno doprineo današnjem razumevanju tih fenomena, a za izum "maglene komore" (Cloud Chamber) dobio je Nobelovu nagradu.

Novija istraživanja groma idu u više pravaca.

Jedan od njih je razvoj mreže uređaja za detekciju i registraciju gromova. Takva mreža uspostavljena je u većini zapadnih zemalja. Sastoji se od senzora koji su osjetljivi na promene električnog i magnetnog polja koje stvara udar groma. Senzori su međusobno povezani te se s jednog mesta može pregledno posmatrati situacija na većem području. To omogućava praćenje razvoja oluje u realnom vremenu i pripremu elektroenergetskog sistema na otežane i rizične uslove rada, ali služi i za dobijanje tačnih podataka o raspodeli broja udara groma u toku godine na nekom području, što je vrlo važan podatak za dimenzioniranje gromobranske zaštite.

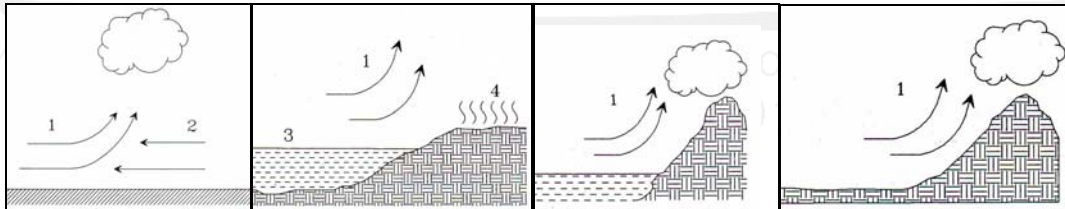
Drugi važan pravac istraživanja je da se neprestano snimaju i matematički opisuju pojave pri udaru groma. Pri tome naučnici su imali puno koristi od oglada sa veštački izazvanim gromovima. Grom se dobijao tako što se prema olujnom oblaku lansira raketa uzemljena pomoću žice koja se odmotava u toku leta. U većini slučajeva dolazi do udara groma u uzemljenu raketu pa se pomoću raznih instrumenata snimaju pojave koje se pri tome događaju.

41.1. Svojstva atmosferskih pražnjenja

41.1.1. Razvoj udara groma

Udar groma je pražnjenje statičkog elektriciteta nakupljenog u oblacima. Olujni oblak odgovoran za gromove naziva se kumulonimbus. To je oblak velike mase koji se diže u visinu i do 15 km, a osnovica mu je udaljena od površine zemlje 2-3 km. Obično nastaje u toplim razdobljima godine kad se površina zemlje zagreje pa nastane velika temperaturna razlika u atmosferskim slojevima. Tada se sa površine zemlje diže topao vazduh i kreće prema visokim i hladnim slojevima u atmosferi (slika 30.2 prikazuje različite načine formiranja gradonosnih oblaka). Drugi važan uslov za formiranje grmljavinskog oblaka je postojanje velike koncentracije vodene pare u toploj struji vazduha (oko 7 g vodene pare na 1 kg suvog vazduha).

Pri određenoj brzini strujanja vazduha, kišne kapi usmerene prema površini Zemlje, koja ima sopstveno električni polje, kreću se i sudaraju jedna s drugom pri čemu nastaju veće i manje naelektrisane kapljice. Manje kapljice postaju negativno a veće kapljice pozitivno naelektrisane. Manje i lakše kapljice vetar odnosi u jedan deo oblaka pa dolazi do razdvajanja naelektrisanja u oblaku.



Slika 41.2. Formiranje fronta sukobom toplih i hladnih vazdušnih masa
(1 - topla vlažna vazдушna struja, 2 – hladna vazдушna struja, 3 – more, 4 – zagrejano kopno)





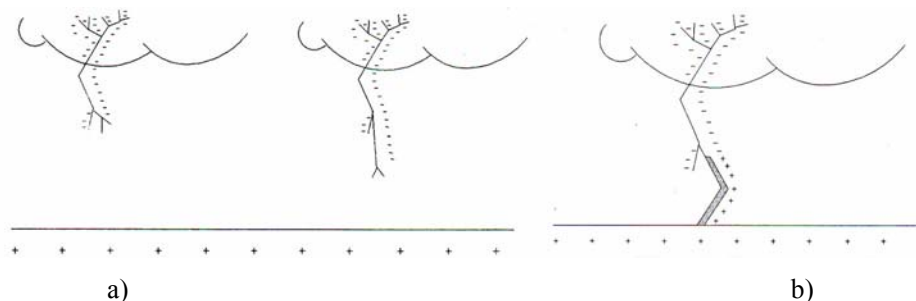
Slika 41.3. Nastanak i distribucija naelektrisanja u gradonosnom oblaku

41.1.2. Mehanizam atmosferskog pražnjenja

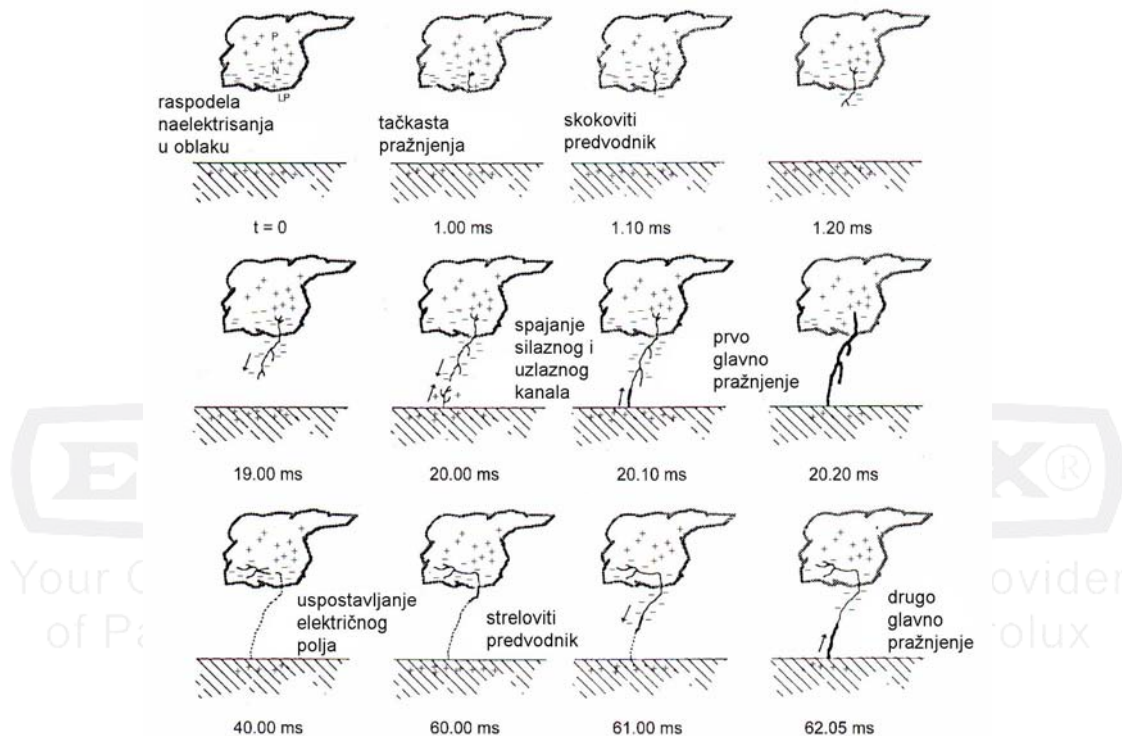
Kako su najčešći udari groma koji počinju od oblaka i završavaju se na površini zemlje negativnog polariteta, biće navedene faze formiranja atmosferskog pražnjenja za takav slučaj.

Kada su oblaci niski, a zašiljeni predmeti na zemlji visoki, nastaje jako električno polje koje dovodi do pojave **korone** na njima, tj. svetlucanja usled obrazovanja lavine jona udarnom jonizacijom u jakom električnom polju. Negativno naelektrisanje iz oblaka počinje da se kreće prema tlu kad jačina električnog polja u blizini oblaka premaši električnu čvrstinu vazduha i vodenih kapljica (500 - 1000 kV/m). Pojedinačni skokovi nastaju svakih 40-100 ms na udaljenosti od otprilike 50 m. Nakon svakog pražnjenja obično se menja smer pa pražnjenje izgleda tačkasto i naziva se **tačkasto pražnjenje**. U ovoj fazi mogu se javiti u prostoru pražnjenja između tačaka sa najjačim poljem koja obrazuju razgranate tanke kanale koji se nazivaju **strimeri**.

[Napomena: U toku lepog vremena Zemljina površina je nosilac negativnog naelektrisanja dok je u jonosferi skoncentrisano pozitivno naelektrisanje. Za vreme oluje u nižim delovima oblaka koncentracija negativnih naelektrisanja postaje velika. Takav oblak menja smer električnog polja na Zemlji pa i struja tačkastog pražnjenja menja smer. Na osnovu ove pojave grade se sistemi za obaveštavanje o nailasku olujnih oblaka. Sistem radi na principu osetljivog instrumenta koji meri veoma malu struju tačkastog pražnjenja kroz šiljak na vrhu jarbola. Kada struja promeni smer i intenzitet znači da se približavaju olujni oblaci.]



Slika 41.4. Razvoj skokovitog predvodnika a) i glavno pražnjenje b)

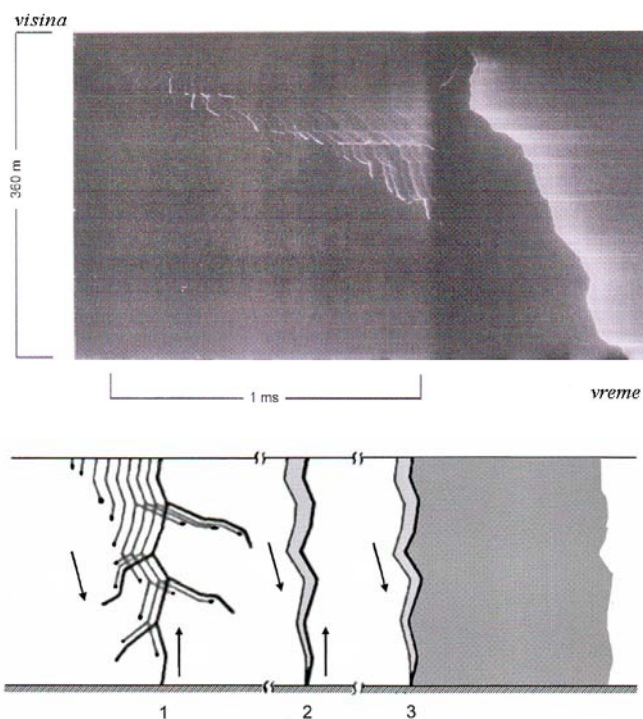


Slika 41.5. Vremenski razvoj atmosferskog pražnjenja

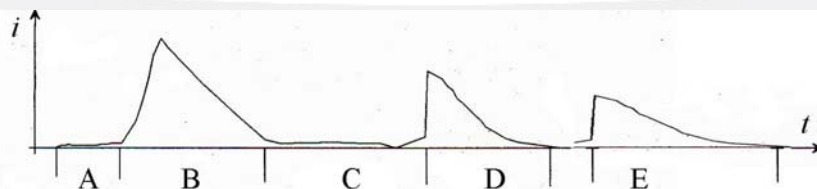
Najistureniji, početni deo naelektrisanja koji se kreće ka zemlji naziva se **predvodnik (lider)**. Kanal kojim je on prošao ostaje jonizovan i pun negativnog naelektrisanja. U početnoj fazi predvodnik se naziva **skokoviti lider** jer se pomera u koracima od 15 do 30 m u intervalima od 20 do 50 μ s. Što se više predvodnik približava zemlji i isturenim objektima na njoj, on na njima privlači sve više pozitivnih naelektrisanja koja se sakupljaju na najisturenijem delu objekta. Privlačenje je jače što je predvodnik bliže zemlji ili objektu na njoj. Zbog toga naglo raste jačina električnog polja u blizini zemlje te kad ona premaši električnu čvrstinu vazduha, dolazi do uzlaznog pražnjenja suprotnog (pozitivnog) naelektrisanja od zemlje prema predvodniku. U trenutku kad se ta dva proboja spoje dolazi do jakog prodora pozitivnog naelektrisanja iz uzlaznog proboja u negativno jonizovani kanal predvodnika i do neutralizacije naelektrisanja. To nazivamo **glavnim pražnjenjem**. Ono traje 70-100 ms i praćeno je jakim svetlucanjem i bljeskovima.

U jednom glavnom pražnjenju dolazi do neutralizacije samo onih naelektrisanja koja se nalaze nagomilana u kanalu groma. Posle glavnog pražnjenja i pauze od nekoliko desetina milisekundi, od oblaka prema zemlji kroz već prethodno jonizovan kanal, javlja se pražnjenje koje nazivamo **streloviti lider**. Kada streloviti lider dodirne zemlju javlja se drugo glavno

pražnjenje i niz novih uzastopnih pražnjenja. Neutralisanje naelektrisanja oblaka vrši se u fazi višestrukih udara.



Slika 41.6. Prostorno vremenski dijagram razvoja kompletnog atmosferskog pražnjenja dobijen specijalnom kamerom sa linearno pokretnim filmom (1, 2, 3)



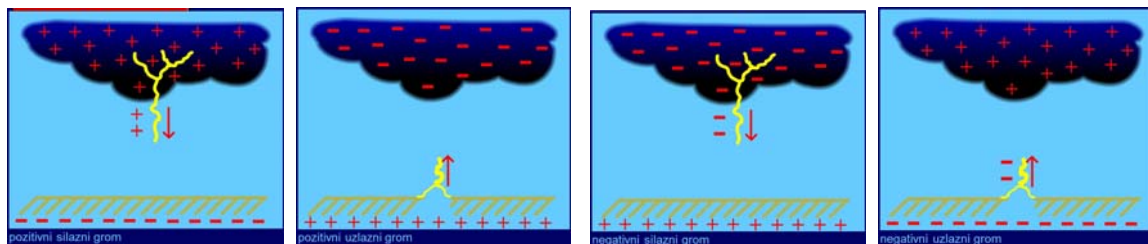
Slika 41.7. Vremenski oblik struje kompletnog pražnjenja. Sa A označen je period kada se formira skokoviti lider (0,005 s do 0,01 s), sa B period glavnog pražnjenja 1 sa slike 30.5 (50 μ s do 100 μ s), sa C period posle glavnog pražnjenja (struja od 100 A do 200 A) i sa D i E period uzastopnog pražnjenja 2 i 3. Amplituda struje prvog udara je najveća ali je strmina uspostavljanja na čelu veća kod uzastopnih udara.

41.1.3. Vrste i polaritet atmosferskih pražnjenja

Fizičke pojave pri nastajanju groma, objašnjene u prethodnom poglavlju, tumačene su uz pretpostavku negativnog proboja iz oblaka prema tlu. Mehanizam je takav u 80-90% slučajeva u krajevima s umerenom klimom. Međutim, ima i drugih rasporeda naelektrisanja u oblacima i drugih vrsta udara groma prema polaritetu i smeru udara groma. Možemo imati sledeće slučajeve koji su prikazani na slikama:

Uzlazni gromovi, koji započinju na nekom objektu na zemlji i kreću se prema naelektrisanom oblaku, puno su ređi.

Kod najčešćih silaznih negativnih pražnjenja cela pojava je nakon 100 ms gotovo u potpunosti završena, a struja nakon toga sve više slabi. Kod ređih silaznih pozitivnih gromova strujni impulsi duže traju, jačina struje je nešto veća, no veće je i vreme za koje struja postigne maksimalnu vrednost.



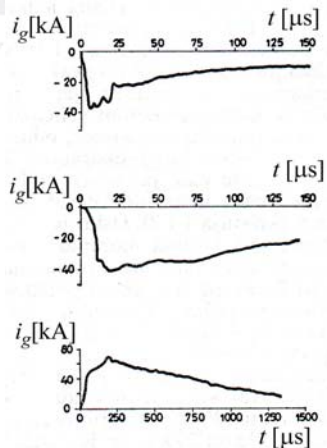
Slika 41.8. Vrste i polaritet groma

41.2. Osnovni parametri atmosferskih pražnjenja

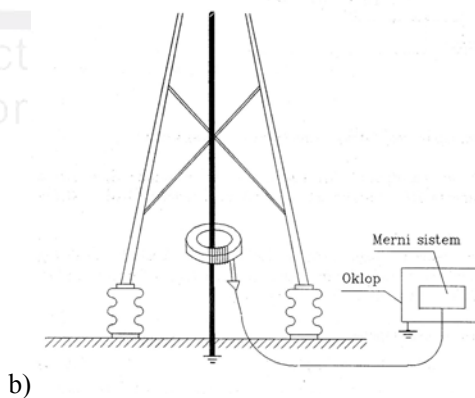
Osnovni parametri atmosferskih pražnjenja su broj udara, trajanje struje groma, amplituda struje groma, strmina strujnog talasa, neutralisano naelektrisanje ili udarna količina elektriciteta, kvadratni impuls struje groma.

41.2.1. Amplituda struje groma

Sa stanovišta zaštite najvažnija veličina je **struja groma** jer ona prilikom udara protiče kroz pogođeni objekat. Ta struja nije konstantna u vremenu nego ona vrlo brzo naraste do maksimalne vrednosti i dalje postepeno opada (približno eksponencijalno). Ova maksimalna vrednost struje groma naziva se **amplituda struje groma**. Vreme od početka pojave do postizanja amplitude struje nazivamo **čelom groma**. Negativni udari groma stvaraju strujne talase koji se po obliku mogu relativno mnogo razlikovati. U prvom pražnjenju trajanje čela negativnog proboja je 10-15 ms. Pri sledećim pražnjenjima (ako postoje) trajanje čela je puno kraće ali struja opada sporije. Takođe, pri tim probojima amplituda struje manja je nego pri prvom proboju.



a)



b)

Slika 41.9. Struja groma a) i merenje struje groma pomoću mernog transformatora b)

Pozitivni udari groma se obično sastoje od jednog pražnjenja koje traje od 0,1-0,2 s. Trajanje čela je relativno dugo i kreće se od 20 do 50 ms, a amplituda pozitivne struje može narasti i na više od 1000 kA pa ima razornije dejstvo.

Amplituda struje groma je najvažnija veličina jer se pomoću nje može izračunati pad napona koji ona stvara protičući kroz neki objekat na zemlji korišćenjem izraza $U = I_g \cdot R$. Stoga je ona bitna za proračunavanje zaštite od groma.

Sistem za merenje struje atmosferskog pražnjenja u tornju prikazan je na slici 41.9. Toranj je postavljen na izolacione nosače da bi merena struja proticala kroz provodnik koji se vodi kroz otvor mernog transformatora. Ovaj provodnik služi kao primarni namotaj. Struja sa

sekundarnog namotaja se vodi kablom do uređaja za registraciju, koji je zatvoren u oklop kao Faradejev kavez.

41.2.2. Strmina strujnog talasa

Strmina strujnog talasa ili strmina struje groma je brzina postizanja amplitude struje groma, a izračunavamo je tako da podelimo vrednost amplitude struje sa trajanjem čela talasa ili kao $s = \frac{di}{dt}$.

Ona je za nas bitna jer nagle promene struje stvaraju isto tako brzo promjenjiva magnetna polja, a od brzine promene magnetnog polja direktno zavisi veličina napona koji se indukuje na objektima unutar tog polja. Što je veća strmina struje groma indukovaće se veći naponi i pojaviti veće struje na objektima u blizini pražnjenja (objektima koji ne moraju biti direktno pogođeni gromom). Ti naponi dobijaju se iz izraza $U = L \frac{di}{dt}$. Ako tim objektima i ne naškode indukovani naponi i struje u njima, mogu im naškoditi elektromagnetne sile koje se pojavljuju zbog proticanja struja kroz njih.

Prilikom proračuna gromobranske instalacije mora se voditi računa i o tome da sile na delove gromobrana ne budu prevelike i ne oštete sam gromobran.

41.2.3. Udarina količina elektriciteta

Udarina količina elektriciteta je ukupno naelektrisanje koje se neutrališe prilikom jednog udara $q = \int idt$ a obuhvata struju skokovitog lidera i struju glavnog pražnjenja.

Ukupna količina elektriciteta koja protiče u zemlju u toku svih n pražnjenja je $q_u = \sum_{i=1}^n \int idt$.

Tabela 30.2. Karakteristične vrednosti struja groma

verovatnoća prekoračenja [%]	amplituda struje groma [kA]	naelektrisanje [As]	strmina [kA/μs]	kvadratni impuls struje [kA ²]	trajanje [s]
50	26	9	48	0,54	0,09
10	73	69	54	1,5	0,56
1	180	330	97	35	2,7

41.2.4. Kvadratni impuls struje groma ili toplotni impuls kompletnog pražnjenja

Kako se na mestu udara pri neutralisanju naelektrisanja oslobađa toplotna energija, količina naelektrisanja će uticati na topljenje vrha gromobrana ili aluminijumskog oklopa aviona. Ta energija se može dobiti kao $E = qU_{ak}$, gde je q neutralisana količina naelektrisanja (najčešće vrednosti 50 As, do maksimalno 300 As), a U_{ak} katodni pad napona na mestu udara (pri dodiru predvodnika pražnjenja sa vrhom gromobrana ova vrednost je oko 10 V). Dobijaju se dosta male vrednosti, pa su oštećenja na mestu udara mala, i to objašnjava zašto se u prirodi teško nalaze mesta udara groma.

Struja groma je odgovorna i za zagrevanje provodnika kojima prolazi. Proračun zagrevanja gromobranske instalacije koja provodi struju groma, vrši se prema izrazu $E = R \int i_g^2 dt$, gde je R omski otpor provodnika, i trenutna vrednost struje groma, a t vreme.

41.2.5. Modeli udara groma

Modeli udara groma su analitički alati za izradu studija o zaštiti od udara groma. Modele koristimo jer su fizičke pojave prilikom udara groma složene i još delimično neistražene i teško ih je matematički opisati. Kad bismo i mogli uzeti u obzir sve uticaje dobili bismo model koji bi bio verovatno jako komplikovan i težak za praktičnu upotrebu. Zato su nužna određena pojednostavljenja koja su dala različite modele.

Modeli daju matematički izraz za udarno rastojanje ili za radijus privlačenja. Oni omogućavaju da odredimo položaj i dimenzije gromobrana i ostvarimo odgovarajuću zaštitu. Odgovarajuća zaštita je postignuta kada se silazni predvodnik ne može naći na mestu koje bi bilo udaljeno od objekta za vrednost manju od radijusa privlačenja objekta i istovremeno od samog gromobrana na udaljenosti većoj od radijusa privlačenja gromobrana.

41.2.6. Klasični modeli

Klasični modeli temelje se na udarnom razmaku R_{ud} . To je takva udaljenost pri kojoj ako glava predvodnika upadne unutar te udaljenosti, računato od najisturenije tačke objekta, taj će objekat privući grom. Udarni razmak zavisi od količine naelektrisanja predvodnika, to jest od amplitude struje groma I (izražene u kiloamperima da bi se udarno rastojanje dobilo u metrima),

$$R_{ud} = \alpha \cdot I^\beta$$

Tabela 30.3. Vrednosti koeficijenata α i β za klasične modele

MODEL	α	β
Whitehead et Brown	6	0,8
Whitehead	6,4	0,75
IEEE1993	8	0,65
Love	10	0,65

Ovo je vrlo važna relacija jer direktno povezuje amplitudu struje groma i udarno rastojanje. Prema klasičnim modelima taj je razmak isti za zemlju i za objekte. Bitna je samo pretpostavka da kad se predvodnik približi nekom objektu na udaljenost probojnog razmaka, da će tada doći do pogotka u taj objekat. Različiti autori su predlagali različite vrednosti koeficijenata α i β , a u tabeli 30.3 date su neke od tih vrednosti.

Važno je reći da iako su ovo najstariji modeli, koji se još uvek široko primenjuju, pogotovo kad se pri zaštiti objekta možemo zadovoljiti nižim sigurnosnim uslovima ili kod projektovanja manjih gromobranskih instalacija

41.3. Optički efekti atmosferskih pražnjenja



Slika 41.10. Optičko dejstvo atmosferskog pražnjenja

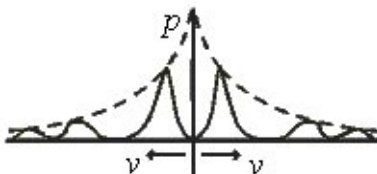
Prema svetlosnim efektima koji se javljaju pri atmosferskom pražnjenju usvojeni su različiti narodni nazivi za munje. Tako, ako je pražnjenje vidljivo našem oku u obliku jedne crte koja se u blizini tla grana, takvo pražnjenje nazivamo **linijskom munjom**, a ako ima više takvih crta to je tzv. **trakasta munja**. Događa se da pražnjenje vidimo u obliku malih svetlih kuglica koje slede jedna za drugom i to nazivamo **perlata munja**. Ukoliko pražnjenje

vidimo u obliku veće lopte, dužeg repa, nazivamo ga **loptasta munja**. Katkad ne čujemo nikakvu grmljavinu, a vidimo samo svetlost, pa to pražnjenje nazivamo **munja sevalica** ili svetlucanje vremena. Ponekad će biti obrnuto: čujemo samo grmljavinu, a ne vidimo svetlost, pa je to tzv. **tamna munja**. Svetlost munje nam se ponekad čini da "titra", a to se događa onda kad u kratkim vremenskim razmacima od nekoliko stotih delova sekunde prolazi nekoliko uzastopnih munja istim kanalom.

Danas, kad su fizička svojstva munje više ili manje istražena, možemo reći da su njeni svetlosni efekti zapravo zračenje plazme od oko 3000°C.

41.4. Akustički efekti atmosferskih pražnjenja

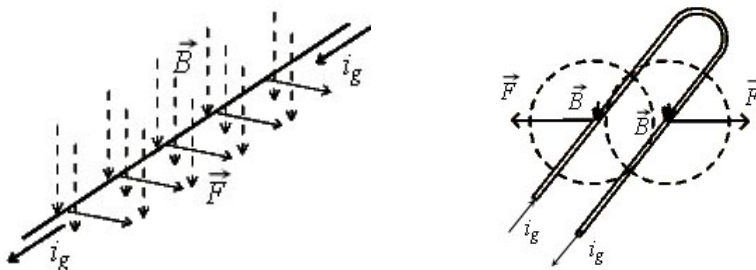
U kanalu u kojem teče struja pražnjenja vladaju visoka temperatura i pritisak pod kojim se nalazi provodna plazma. To stanje traje dok kanalom teče struja. Čim prestane da teče struja koja je silama vlastitog magnetnog polja bila sabijena na vrlo mali presek, oslobađa se pritisak plazme i širi se radijalno prema spolja. Taj, sada gasni pritisak, deluje na naše uho i mi čujemo grmljavinu.



Slika 41.11. Promena pritiska u vazduhu prostire se kao talas

Promena pritiska se prostire kao talas. Najviši je pritisak u samoj blizini, nekoliko santimetara od kanala munje, zatim se na nekoj udaljenosti on naglo smanjuje (slika 41.11) Grmljavinu, koja je akustički efekat tog pritiska, čujemo na izvesnoj udaljenosti od udara munje kao prasak uz tutnjavu, a ako smo još udaljeniji, čujemo je kao neku buku. Na udaljenosti već od 10 km ne čujemo od te pojave ništa. Ako bismo se nalazili sasvim blizu udara munje u zemlju, moglo bi nam se dogoditi da, zbog visokog pritiska koji vlada u toj zoni, izgubimo svaki osećaj za zbivanja u njoj.

41.5. Mehanički efekti atmosferskih pražnjenja



Slika 41.11. Sve mehaničke deformacije električnih instalacija kroz koje je tekla struja groma nastaju zbog elektrodinamičkih sila

Grom osim akustičkog i optičkog ima i mehaničko delovanje. Udar munje može oštetiti delove zgrade, npr. dimnjak, ili razoriti stablo ili drveni stub. Prolaskom struje groma kroz neke provodnike oni postaju izobličeni. Znači, struji groma odgovara neka sila koja je u stanju mehanički da deluje; razara, deformiše i sl.

Mehaničko delovanje ispoljava se na dva načina.

Prvi, koji izaziva mehaničku silu, deluje uz pomoć pritiska koji je vrlo veliki. Međutim, taj pritisak postaje mnogo jači kad se cela pojava zbiva u zatvorenom prostoru, a ne u vazduhu. Tako, ako struja groma prolazi kroz pukotinu u zidu neke kuće, i posebno ako je pukotina vlažna, onda pritisak u njoj toliko naraste da ga stranice zida ne mogu izdržati i nastupa oštećenje. Kad struja groma prolazi kroz kapilare nekog stabla ili drvenog stuba dešava se da dođe do rasprsnuća stabla ili stuba.

Drugi način delovanja mehaničkih sila javlja se kad struja groma prolazi kroz magnetno polje normalno na linije indukcije, npr. ako struja groma teče kroz provodnik a on se nalazi u magnetnom polju Zemlje. To se retko susreće, a i nije tako atraktivno jer je Zemljino magnetsko polje malo pa su i sile koje nastaju male, a računale bi se prema izrazu $\vec{F}_m = i \vec{L} \times \vec{B}$ (F_m je sila, i jačina struje groma, L dužina provodnika, B magnetna indukcija, slika 30.11). Mnogo se jače sile uspostavljaju pod uticajem magnetnog polja koje je u nekoj petlji stvorila sama struja groma. Ta je sila jača, pa uz određene uslove postaje proporcionalna kvadratu struje groma i može se izraziti formulom $F_m = \frac{\eta_0 L i^2}{2\pi d}$. Ako u

provodnicima koji čine petlju struja protiče u istom smeru, onda se provodnici privlače jedan prema drugom, a ako protiče u suprotnim smerovima, provodnici se udaljavaju. Uglavnom, sve mehaničke deformacije električnih instalacija ili aparata kroz koje je tekla struja groma nastaju zbog elektrodinamičkih sila.

41.6. Termički efekti atmosferskih pražnjenja

Najviša temperatura u kanalu groma postiže se na mestu gde struja ulazi u neku metalnu površinu, na dnu kanala. Zato se na tim mestima rastopi metalna površina. Prečnik tih rastopljenih delova površine ne iznosi više od 5 do 20 mm pa je te rupice teško pronaći u prirodi ili na bilo kom drugom mestu koje nije posebno posmatrano. To se tumači time što najveći deo energije groma prelazi zračenjem i pritiskom u okolinu, a manji se deo potroši na zagrevanje i topljenje metalne površine. Utrošak energije na površini iznosi za srednje munje 150 Ws, a za jače munje najviše do 7000 Ws. Može se računati da će jaka munja napraviti rupu prečnika od 20 mm u čeličnom limu debljine 0,5 mm.

Kod termičkog delovanja groma, pri topljenju materijala, bilo površine ili provodnika, nastaju visoki pritisci pa su zbog toga moguća i mehanička razaranja, posebno ako su putanje kojima teče struja u zidovima zgrada. Eventualni požari i eksplozija mogu se protumačiti kao posledica varničenja metalnih delova na mestima gde ulazi ili izlazi struja, ili su rezultat jakog zagrevanja na mestima gde struja groma naiđe na veliki prelazni otpor zbog lošeg kontakta ili nekih drugih razloga.

Vrlo se često proticanje struje groma posle udara nastavlja kroz zemlju. Pa budući da struja groma proizvodi toplotu, po prestanku strujanja nailazimo na izgoreli pesak cevastog oblika. To su tzv. fulguriti.

42. Zaštita objekata od udara groma

42.1. Štetne posledice atmosferskih pražnjenja

Gromobranska zaštita treba da spreči dodir kanala atmosferskog pražnjenja sa šticećenim objektom. Njena uloga je da prihvati i sprovede u zemlju struju atmosferskog pražnjenja bez posledica po objekat, kao i da zaštiti sve električne i telekomunikacione instalacije i uređaje od štetnog dejstva elektromagnetskih uticaja, kao i od povišenih potencijala koji se mogu pojaviti na uzemljivaču objekta pri proticanju struje groma.

Ukoliko ipak dođe do direktnog atmosferskog pražnjenja u štice objekta mimo gromobranske zaštite, ili objekat nije uopšte zaštićen od direktnog udara groma, to može da ima sledeće posledice:

- Usijani gasovi iz kanala groma mogu da izazovu paljenje i eventualno požar širih razmera na zapaljivim objektima (drveni ili slamni krovovi ili zapaljiva konstrukcija krova).
- Visoka temperatura na mestu dodira kanala groma i objekta može da izazove mehaničko oštećenje objekta usled naglog širenja i prskanja materijala.
- Visoka temperatura na mestu dodira može da izazove topljenje metalnih površina. Pri pravilno izabranim presecima metalnih provodnika ova pojava nije uobičajena.
- Proticanje velike struje kroz metalne provodnike koji nisu deo gromobranskog sistema može da izazove topljenje provodnika.
- Proticanje struje atmosferskog pražnjenja kroz metalne provodnike može da dovede do kidanja provodnika usled elektrodinamičkih sila.
- Udar u drveće ili drvene stubove može da dovede do njihovog paljenja ili mehaničkog razaranja usled naglog širenja isparene vlage u sitnim kapilarima ovlaženog drveta.
- Preskok između gromobranske instalacije (ili metalne konstrukcije koja provodi struju groma) i elektroenergetske instalacije niskog napona, telefonske ili neke druge telekomunikacione instalacije unutar objekta, može da izazove oštećenje ili potpuno uništenje te instalacije. Preskok može nastati ako nisu pravilno izvedene mere za izjednačavanje potencijala unutar štice objekta.
- Povišeni potencijal uzemljivača u odnosu na provodne elemente unutar objekta može da ugrozi život i zdravlje ljudi usled opasnih napona koraka i dodira.
- Struja groma može svojim indirektnim dejstvom (elektromagnetska indukcija) da izazove oštećenje osetljivih električnih, a posebno elektronskih uređaja.

42.2. Klasifikacija štice objekata

Svi objekti se prema važnosti i posledicama od atmosferskih pražnjenja mogu podeliti na sledeće kategorije:

Uobičajeni objekti

- Stambeni objekti kod kojih postoji opasnost od oštećenja električnih instalacija, požara i materijalne štete usled atmosferskih pražnjenja.
- Farme kod kojih se javlja
 1. opasnost od požara i opasnih napona koraka.
 2. opasnost koja nastaje usled gubitka električne energije sa smrtnom opasnošću po životinje zbog oštećenja elektronskog sistema za upravljanje ventilacijom, dotura hrane itd.
- Pozorišta, bioskopi, robne kuće, škole, sportski i drugi objekti u kojima se sakuplja veći broj ljudi zbog opasnosti od oštećenja električnih instalacija, što može da izazove paniku usled nestanka električnog osvetljenja i ispad alarmnog sistema za protivpožarnu zaštitu.
- Banke, osiguravajući zavodi, komercijalne ustanove zbog prisustva velikog broja ljudi ali i zbog dodatnih problema usled gubitka komunikacija, ispada računara i gubitka podataka.

- Bolnice, jase, zatvori imaju zbog prisustva velikog broja ljudi, ali i zbog dodatne ugroženosti bolesnika na intenzivnoj nezi i problema pružanja pomoći nepokretnim bolesnicima.
- Industrija zbog manjih oštećenja koja mogu dovest do velikih gubitaka u proizvodnji.
- Muzeji i arheološka nalazišta zbog opasnosti od nenadoknadivog gubitka kulturnog nasleđa.

Objekti ograničenih opasnosti

- Telekomunikacije, elektroenergetska postrojenja, industrije ugrožene požarom gde postoje posledice koje su neprihvatljive za javne službe, odnosno postoji opasnost po neposrednu okolinu od požara.

Objekti opasni za neposrednu okolinu

- Rafinerije, ostala postrojenja za napajanje gorivom, fabrike municije i zapaljivih materijala zbog mogućeg izbijanja požara i eksplozije proizvodnih pogona i opasnosti po okolinu.

Objekti opasni za širu okolinu

- Hemijska industrija, nuklearna postrojenja, biohemijska postrojenja zbog mogućeg požara i prestanka rada postrojenja sa ugrožavanjem uže i šire okoline.

Postoje još objekti posebne konstrukcije za koje treba predvideti gromobransku zaštitu. To su:

1. objekti viši od 60 m,
2. šatori, kampovi, igrališta,
3. privremene instalacije (objekti),
4. objekti u izgradnji.

Posledice od atmosferskih pražnjenja koje se razmatraju pri klasifikaciji objekata su:

- Mehanička oštećenja
- Ranjavanje ljudi i životinja
- Oštećenje električne i elektronske opreme

42.3. Gromobranske instalacije

Gromobranska instalacija deli se na spoljašnju i unutrašnju.

Spoljašnja gromobranska instalacija ima zadatak da na sebe preuzme direktna atmosferska pražnjenja u objekat i bez posledica struju atmosferskog pražnjenja sprovede u zemlju.

Unutrašnja gromobranska instalacija ima zadatak da spreči pojavu velikih razlika potencijala unutar objekta i da zaštiti uređaje i instalacije u objektu od visokih atmosferskih prenapona.

42.3.1. Spoljašnje gromobranske instalacije

42.3.1.1. Nivo zaštite spoljašnje gromobranske instalacije

Ne postoji apsolutno sigurna zaštita od direktnog udara groma koja bi bila ekonomski prihvatljiva. Smatra se da je objekat zaštićen od direktnog atmosferskog pražnjenja ako je verovatnoća pražnjenja mimo gromobranske zaštite manja od neke tehnički prihvatljive vrednosti. Zbog toga se definišu zone zaštite u kojima se objekti mogu sa velikom verovatnoćom smatrati zaštićenim od direktnog udara groma.

Pored zaštite od direktnog udara groma definiše se i zaštita objekata od oštećenja, koja mogu nastati usled induktivnih uticaja atmosferskih pražnjenja u gromobransku instalaciju štićenog objekta ili usled atmosferskog pražnjenja u blizinu štićenog objekta. Induktivni uticaji se javljaju na niskonaponskim elektroenergetskim, telekomunikacionim i drugim instalacijama osetljivim na prenapone.

Za pojedine tipove objekata se definiše najveći nivo rizika oštećenja koji se može tolerisati, koji zavisi od intenziteta grmljavinske aktivnosti na posmatranom području. Kao merilo intenziteta grmljavinske aktivnosti usvaja se godišnja gustina pražnjenja u horizontalnu površinu zemlje N_g .

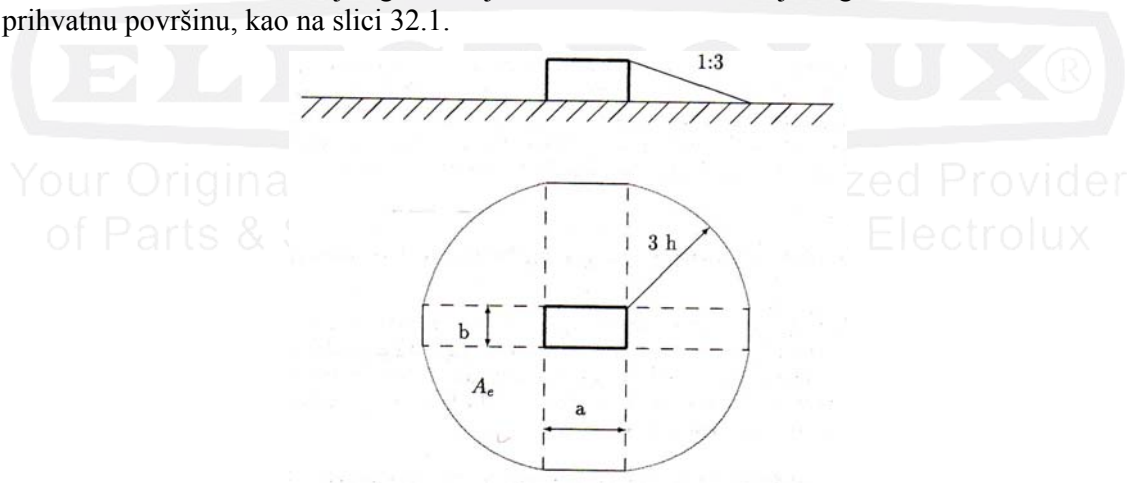
Učestanost direktnog udara groma u objekat N_{obj} definiše se na bazi srednje godišnje gustine pražnjenja u horizontalnu površinu zemlje N_g , $[N_g] = \text{broj udara/km}^2 \cdot \text{god}$, i ekvivalentne prihvatne površine objekta A_e .

$$N_{obj} = N_g A_e 10^{-6}, \quad [N_{obj}] = \text{broj udara/god}. \quad (41.1)$$

Pod **ekvivalentnom prihvatnom površinom** objekta podrazumeva se površina horizontalnog tla koja ima istu učestanost direktnih udara gromova kao i posmatrani objekat.

Određivanje ekvivalentne prihvatne površine predstavlja jedan od ključnih zadataka gromobranske zaštite.

Ekvivalentna prihvatna površina usamljenog objekta A_e određuje se u preseku površine tla i duži koja rotira oko objekta a povučena je sa vrha objekta i nagnute u odnosu na horizontalnu ravan u odnosu 1:3. Rotiranjem nagnute duži oko objekta u preseku sa horizontalnom ravni dobija geometrijsko mesto tačaka koje ograničava ekvivalentnu prihvatnu površinu, kao na slici 32.1.



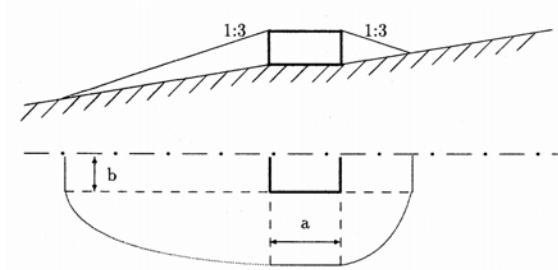
Slika 42.1: Ekvivalentna prihvatna površina jednostavnog usamljenog objekta

Za objekat na slici 42.1 ekvivalentna prihvatna površina objekta A_e ima vrednost

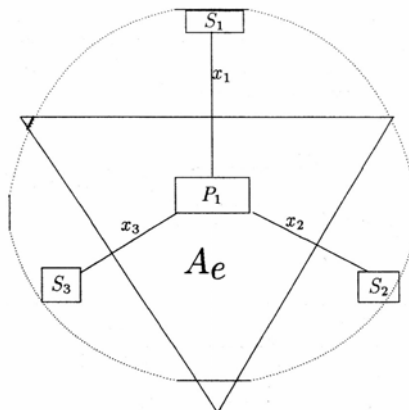
$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (2)$$

gde su: a -dužina objekta, b -širina objekta, h -visina objekta ($[a] = [b] = [h] = \text{m}$).

U slučaju neravnog terena ekvivalentna prihvatna površina objekta se određuje na sličan način. Postavlja se ravan koja prolazi kroz najvišu tačku objekta pod nagibom 1:3 prema **horizontali**. Granice ekvivalentne prihvatne površine se nalaze u preseku sa površinom zemlje, bez obzira na konfiguraciju površine. Primer određivanja ekvivalentne prihvatne površine objekta za slučaj nagnutog terena prikazan je na slici. Na sličan način bi se i za druge konfiguracije terena odredila prihvatna površina [videti JUS N.B4.801 od 1995, eqv IEC 1024/1/1:1993, *Gromobranske instalacije*].



Slika 42.2: Ekvivalentna prihvatna površina objekta na neravnom terenu



Slika 42.3: Ekvivalentna prihvatna površina objekta u blizini drugih objekata

Ukoliko objekat nije usamljen, već se u njegovoj blizini nalazi drugi objekat koji ima svoju ekvivalentnu prihvatnu površinu, tada se ekvivalentna prihvatna površina objekta računa samo za one delove površine terena koji ne pripadaju ekvivalentnoj prihvatnoj površini susednih objekata. Primer određivanja ekvivalentne prihvatne površine posmatranog objekta P_1 u čijoj su blizini objekti S_1 , S_2 i S_3 prikazan je na slici 42.3. Na slici 42.3 ekvivalentna prihvatna površina objekta A_e je površina unutar trougla oko objekta omeđena pravama koje predstavljaju prodore ravni pod nagibom 1:3 postavljenih sa najviših tačaka objekata S_1 , S_2 i S_3 normalno na duži x_1 , x_2 i x_3 koje predstavljaju najkraće rastojanje između posmatranog objekta P_1 i susednih objekata. Spoljašnja zatvorena kriva linija označava ekvivalentnu prihvatnu površinu koja bi postojala kad ne bi bilo susednih objekata. Zbog toga delovi trougla koji su van ekvivalentne prihvatne površine usamljenog objekta P_1 ne pripadaju ni površini A_e .

Za svaki tip objekta se **usvaja učestanost udara groma** N_C , koja predstavlja broj udara u objekat u toku jedne godine koji može da se toleriše. Usvojena učestanost udara groma je veličina koja zavisi od tipa objekta, odnosno ugroženosti objekta i ljudi od atmosferskog pražnjenja. Ovu veličinu procenjuje projektant ili investitor pre početka projektovanja gromobranske instalacije. Ukoliko ne postoje drugi podaci, usvojena učestanost udara groma određuje se na osnovu sledećih faktora (vrednosti date u tabelama 1, 2, 3 i 4):

- tip konstrukcije objekta,
- sadržaj objekta,
- namena objekta,
- posledice udara groma u objekat.

Usvojena učestanost udara groma izračunava se primenom sledećeg izraza:

$$N_C = 3 \cdot 10^{-3} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \quad (42.3)$$

gde su koeficijenti C_1 , C_2 , C_3 i C_4 dati u tabelama 42.1, 42.2, 42.3 i 42.4.

Efikasnost gromobranske zaštite se procenjuje na bazi odnosa učestanosti direktnog udara groma u objekat N_{obj} i usvojene učestanosti udara groma N_C . Ukoliko je ispunjen uslov da je $N_{obj} \leq N_C$, tada gromobranska instalacija nije potrebna. Ako je $N_{obj} > N_C$ tada je gromobranska instalacija potrebna. Računska efikasnost gromobranske instalacije se u tom slučaju može odrediti iz izraza:

$$E_r = 1 - \frac{N_C}{N_{obj}} \quad (4)$$

Tabela 42.1. Tip konstrukcije objekta C_1

Konstrukcija objekta C_1	metalni krov	kombinovani krov	zapaljiv krov
metalna	0,5	1	2
kombinovana	1	1	2,5
zapaljiva	2	2,5	3

Tabela 42.2. C_2 -sadržaj objekta

Sadržaj objekta	C_2
Bez vrednosti i nezapaljiv	0,5
Mala vrednost ili uglavom zapaljiv	1
Veća vrednost ili naročito zapaljiv	2
Izvanredno velika vrednost, nenadoknadiive štete, vrlo zapaljiv ili eksplozivan	3

Tabela 42. 3. C_3 -namena objekta

Namena objekta	C_3
Nezaposednut	0,5
Uglavnom nezaposednut	1
Teška evakuacija ili očito zapaljiv, opasnost od panike	3

Tabela 42.4. C_4 -Posledice od udara groma u objekat

Posledice od udara groma u objekat	C_4
Nije obavezna neprekidnost pogona i bez uticaja (posledica) na okolinu	1
Obaveza neprekidnog pogona, ali bez uticaja (posledica) po okolinu	5
Uticaj (posledice) na okolinu	10

Tabela 42.5. Izbor nivoa zaštite gromobranske instalacije

Amplituda struje groma I [kA]	Udarno rastojanje R_{ud} [m]	Računska efikasnost E_r	Nivo zaštite
		$E > 0,98$	Nivo I sa dodatnim merama
2,8	20	$0,98 > E_r > 0,95$	Nivo I
5,2	30	$0,95 > E_r > 0,90$	Nivo II
9,5	45	$0,90 > E_r > 0,80$	Nivo III
14,7	60	$0,80 > E_r > 0$	Nivo IV

Iz tabele 42.5 može se uočiti da kod I nivoa zaštite amplituda struje prvog glavnog pražnjenja kroz objekat ne sme da bude veća od 2,8 kA. Ukoliko je struja veća, ona se mora sprovesti gromobranskom zaštitom u zemlju. Kod IV nivoa zaštite maksimalna struja pražnjenja u objekat koja se još može tolerisati iznosi 14,7 kA.

Udarno rastojanje, dato u tabeli 42.5, izračunava se iz amplitude struje groma primenom izraza

$$R_{ud} = 10 \cdot I^{0,67} \quad (5)$$

42.3.1.2. Principi spoljašnje gromobranske zaštite

Principi spoljašnje gromobranske zaštite zasniva se na namernom izazivanju atmosferskog pražnjenja u zaštitni sistem koji čini gromobranska instalacija.

Gromobranska instalacija se deli na spoljašnju i unutrašnju.

Spoljašnju gromobransku instalaciju čine:

- prihvatni sistem,
- spušni provodnici,
- uzemljivač.

Unutrašnju gromobransku instalaciju čine:

- elementi koji smanjuju elektromagnetni uticaj struje atmosferskog pražnjenja u štíćenom prostoru i
- elementi koji služe za izjednačavanje potencijala uzemljivača i nultog potencijala različitih električnih i telekomunikacionih instalacija i ostalih metalnih masa u objektima.

Spoljašnja gromobranska instalacija može biti:

- izolovana spoljašnja gromobranska instalacija kod koje put struje pri pražnjenju u gromobransku instalaciju nema nikakvog kontakta sa štíćenim prostorom;
- neizolovana spoljašnja gromobranska instalacija koja predstavlja takvu instalaciju kod koje su prihvatni sistem i spusni provodnici tako postavljeni da put struje pri pražnjenju u gromobransku instalaciju može da bude u kontaktu sa štíćenim prostorom.

Prihvatni sistem predstavlja sistem provodnika čija je uloga da na sebe prihvate direktno atmosfersko pražnjenje i na taj način spreče oštećenje objekta. Prihvatni sistem može biti bilo koja kombinacija sledećih elemenata:

- štapnih hvataljki ili hvataljki sa pojačanim dejstvom,
- razapetih žica,
- mreže provodnika.

Pod štapnom hvataljkom se podrazumeva vertikalni metalni štap određene visine postavljen na vrhu objekta, koji je jednim krajem najkraćom vezom vezan za uzemljivač. Veze između prihvatnog sistema i uzemljivača nazivaju se spusni provodnici.

U cilju povećanja efikasnosti zaštite štapnih hvataljki predlažu se različita tehnička rešenja koja bi trebalo da povećaju privlačno dejstvo štapne hvataljke. To su hvataljke sa pojačanim dejstvom. U tu svrhu su se ugrađivale hvataljke sa izvorom jonizujućeg zračenja (radioaktivni gromobrani), za koje se pokazalo da su od iste efikasnosti kao i klasična štapna hvataljka, mada je za njih bila deklarirana znatno šira zaštitna zona u odnosu na klasičan gromobran. Prilikom razvoja skokovitog lidera u pretposlednjem skoku se na vrhu klasične štapne hvataljke koja se nalazi u blizini glave lidera pojavljuje električno polje čiji je intenzitet znatno veći od kritičnog polja za vazduh, čime otpočinje proces udarne jonizacije koji je znatno izraženiji nego što je jonizacija usled izvora jonizujućeg zračenja. Time se dejstvo hvataljke sa izvorom jonizujućeg zračenja može izjednačiti sa dejstvom klasične štapne hvataljke.

Danas se zakonom zabranjuje ugradnja novih hvataljki sa izvorom jonizujućeg zračenja, a stare hvataljke je potrebno ukloniti. To stvara teškoće oko ispunjavanja određenih tehničkih zahteva u pogledu zaštitne zone koje su za hvataljke sa izvorima jonizujućeg zračenja bile deklarirane znatno šire od klasičnih štapnih hvataljki, mada su realno te zone približno iste.

Danas se predlažu i druga tehnička rešenja hvataljki sa pojačanim dejstvom. Najjednostavnija zaštita, koja je i najjeftinija, je pomoću obične, štapne hvataljke, kao i zaštita primenom mreže provodnika (što je skuplje, ali efikasnije rešenje).

Klasična gromobranska zaštita je veoma efikasna i potpuno proverena i teorijski i kroz praksu.

42.3.1.3. Zaštitne zone prihvatnog sistema

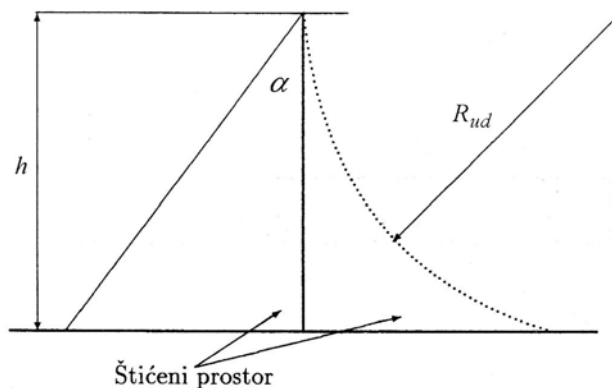
Pod zaštitnom zonom prihvatnog sistema se podrazumeva zona u kojoj se sa malom verovatnoćom može dogoditi direktno atmosfersko pražnjenje. Danas se koriste dva pristupa u određivanju zaštitne zone prihvatnog sistema. To su:

1. zaštitni ugao α (ugao koji čini izvodnica kupe koja definiše zaštitnu zonu i vertikalne linije postavljene kroz osu štapne hvataljke, kao na slici 42.5).

2. kotrljajuća sfera koja ima poluprečnik jednak udarnom rastojanju za jednu određenu struju groma (koja zavisi od nivoa zaštite objekta). Zaštitna zona se dobija kao geometrijsko mesto tačaka u kojima sfera dodiruje horizontalnu podlogu pri rotiranju oko štapne hvataljke, tako da sfera stalno dodiruje i hvataljku.

U slučaju primene mreže provodnika kao prihvatnog sistema, definiše se veličina okaca mreže u zavisnosti od traženog nivoa zaštite.

U tabeli 42.6 prikazani su zaštitni uglovi α , poluprečnik kotrljajuće sfere R i širina okaca mreže, prema važećim JUS propisima.

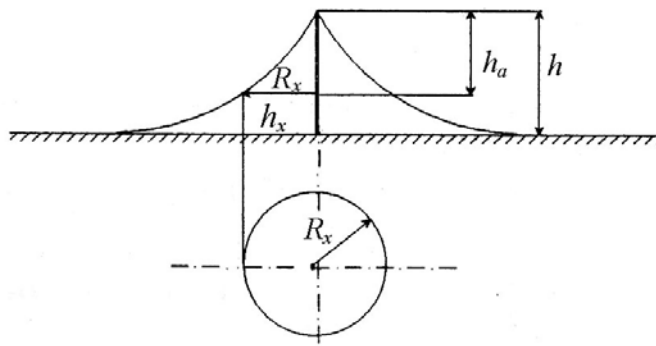


Slika 42.5. Skica zaštitne zone određene metodom zaštitnog ugla i kotrljajuće sfere

Zona zaštite štapnog gromobrana visine h iznad zemlje (slika 42.6), odnosno h_a iznad štićenog objekta (visina objekta h_x i $h = h_x + h_a$), predstavlja krug poluprečnika R_x na visini h_x . Poluprečnik zaštitne zone se određuje primenom sledećeg izraza

$$R_x = h_a \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}} \cdot p \quad (6)$$

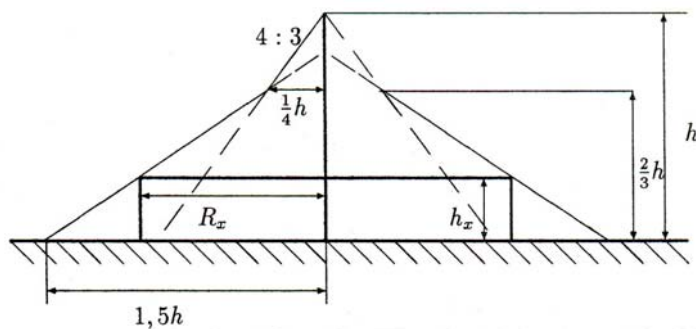
gde je $p = 1$ za $h < 30$ m i $p = 5,5\sqrt{h}$ za $h > 30$ m.



Slika 42.6. Zaštitna zona štapnog gromobrana

Često se u praktičnoj primeni koristi linearna aproksimacija granica zaštitne zone štapnog gromobrana, tako da se geometrijskim putem može odrediti zaštitna zona kao na slici 42.7. Zaštitna zona za objekte visine preko $2/3$ od ukupne visine štapa od zemljine površine h određuje se kao zona unutar kupe čija je izvodnica pod uglom $\alpha = 36,8^\circ$ u odnosu na vertikalnu. Visina i poluprečnika osnove kupe stoje u odnosu 4:3.

Za niže objekte je zona zaštite unutar kupe visine $0,8h$, čije su izvodnice pod uglom $\alpha = 56,3^\circ$. Odnos visine i poluprečnika osnove kupe je 2:3.



Slika 42.7. Zaštitna zona štapnog gromobrana u linearizovanom obliku

Tabela 42.6. Zaštitne zone u funkciji nivoa zaštite

	R [m]	$h = 20$ m	$h = 30$ m	$h = 45$ m	$h = 60$ m	
Nivo zaštite		α [°]	α [°]	α [°]	α [°]	Sirina okca mreže [m]
I	20	25				5
II	30	35	25			10
III	45	45	35	25		10
IV	60	55	45	35	25	20

42.3.1.4. Prirodne komponente prihvatnog sistema

Pod prirodnim komponentama prihvatnog sistema se podrazumevaju delovi objekta koji nisu postavljeni specijalno zbog gromobranske zaštite, ali mogu da preuzmu njenu ulogu. Sledeći delovi objekta mogu se smatrati prirodnim prihvatnim sistemom:

1. metalni limovi koji prekrivaju štitići prostor, ukoliko ispunjavaju uslove
 - da je ostvarena trajna električna veza između različitih metalnih delova i
 - debljina lima ne sme da bude manja od vrednosti koja je data u tablici 42.7, ukoliko je potrebno da se lim zaštiti od proboja strujom atmosferskog pražnjenja ili ukoliko postoji problem vrućih tačaka;
2. ako metalni delovi koji predstavljaju prirodne komponente nisu obloženi izolacionim materijalom (tanki slojevi zaštitne boje ili 0,5 mm asfalta ili 1 mm PVC-ane smatraju se izolacijom);
3. svi nemetalni materijali ili metalni objekti prekriveni nemetalnim materijalima koji su na metalnim limovima ili iznad njih;
4. metalni oluci oko krova, dekoracije, ograde, cevi, rezervoari i drugi metalni delovi čija je debljina veća od one zadate u tablici 42.7, ukoliko proticanje struje pražnjenja kroz njih ne može da dovede do pojave opasnosti usled pregrevanja materijala.

Tabela 42.7. Minimalna debljina metalnog lima kada se koristi kao prihvatni sistem

Nivo zaštite	materijal	debljina [mm]
I do IV	čelik	4
	bakar	5
	aluminijum	7

42.3.1.5. Spusni provodnici

Spusni provodnici imaju zadatak da najkraćim putem sprovedu struju atmosferskog pražnjenja do zemlje.

Na spusnom provodniku se pri proticanju struje atmosferskog pražnjenja pojavljuje povećanje potencijala u odnosu na tačku referentnog potencijala zbog:

1. pada napona na uzemljivaču pri proticanju udarne struje pražnjenja i
2. indukovano padu napona na spusnom provodniku.

Visok potencijal spusnog provodnika može da bude opasan ako se u njegovoj blizini nalazi neka druga instalacija, kao što je na primer elektroenergetska instalacija niskog napona, telefonska linija, dovod plina ili vodovodna instalacija. U slučaju kada je rastojanje između gromobranske instalacije i instalacije na potencijalu referentne nule manje od bezbednog rastojanja, može se pojaviti preskok koji u pojedinim slučajevima može da bude opasan. Pod bezbednim rastojanjem se podrazumeva najmanje rastojanje između dva provodna tela (unutar štice prostora) pri kome se ne može dogoditi preskok između tela pri proticanju struja atmosferskih pražnjenja.

Da bi se što više smanjio potencijal gromobranske instalacije pri proticanju udarne struje pražnjenja, preduzimaju se sledeće mere kod izolovanih spoljašnjih gromobranskih instalacija:

- postavlja se više paralelnih spusnih provodnika ravnomerno raspoređenih oko objekta u cilju smanjivanja pada napona na svakom spustu,
- teži se za pravolinijskim vođenjem spusteva, kad god je to moguće, a ako je neophodno praviti petlje, tada se teži da ta petlja bude što je moguće manja.

Tabela 42.8. Maksimalno dozvoljeno prosečno rastojanje između spusnih provodnika u funkciji nivoa zaštite

Nivo zaštite	Srednje rastojanje [m]
I	10
II	15
III	20
IV	25

Pri projektovanju gromobranskih instalacija, pri postavljanju spusnih provodnika, treba se pridržavati sledećih pravila:

- ako se prihvatni sistem sastoji od štapnih hvataljki na pojedinačnim stubovima, tada je neophodan najmanje jedan spusni provodnik po svakom stubu. Ako je stub od metala ili od armiranog betona sa povezanom metalnom armaturom, tada nije potrebno postavljanje dodatnih spusnih provodnika;

- ako se prihvatni sistem sastoji od jednog ili više odvojenih horizontalnih provodnika, tada je najmanje jedan spusni provodnik obavezan na svakom kraju horizontalnog provodnika;

- ako je prihvatni sistem napravljen u obliku mreže, tada je najmanje jedan spusni provodnik obavezan na svakom nosećem stubu.

U slučaju neizolovane spoljašnje gromobranske instalacije spusni provodnici se postavljaju tako da njihovo prosečno rastojanje ne sme biti veće od vrednosti koja je data u tabeli 42.8. Moraju se primeniti najmanje dva spusna provodnika po gromobranskoj instalaciji sa mrežastim prihvatnim sistemom.

Osnovna razlika između neizolovane spoljašnje gromobranske instalacije i izolovane spoljašnje gromobranske instalacije je u načinu postavljanja spusnih provodnika. Kod izolovane gromobranske instalacije rastojanje između spusnog provodnika i metalnih masa

štićenog prostora mora biti veće od bezbednosnog rastojanja koje obezbeđuje da ne dođe do preskoka pri atmosferskom pražnjenju. Kod neizolovane gromobranske instalacije metalne mase objekta mogu biti povezane sa gromobranskom instalacijom, tako da sam objekat svojim prirodnim komponentama preuzima delimično ulogu spusnih provodnika.

Tabela 42.9. Koeficijent k_1 za određivanje bezbednosnog rastojanja u funkciji nivoa zaštite

Nivo zaštite	k_1
I	0,1
II	0,075
III i IV	0,05

Kod neizolovanih gromobranskih instalacija se spusni provodnici mogu postaviti na objekat na jedan od sledećih načina:

- ukoliko je zid objekta od nezapaljivog materijala, tada se spusni provodnici mogu postaviti na površini zida ili ukopati u sam zid, pod uslovom da povećanje temperature spusnih provodnika usled proticanja struje atmosferskog pražnjenja nije opasno za materijal zida;
- ukoliko je zid objekta od zapaljivog materijala, tada se spusni provodnici mogu postaviti na površini zida pod uslovom da povećanje temperature spusnih provodnika usled proticanja struje atmosferskog pražnjenja nije opasno za materijal zida;
- ukoliko je zid objekta od zapaljivog materijala i ako je povećanje temperature spusnih provodnika usled proticanja struje atmosferskog pražnjenja opasno za materijal zida, tada se spusni provodnici postavljaju na rastojanju koje je veće od 0,1 m od štice prostora (nosači spusnih provodnika od metala mogu biti u kontaktu sa zidom jer se radi o neizolovanim gromobranskim instalacijama).

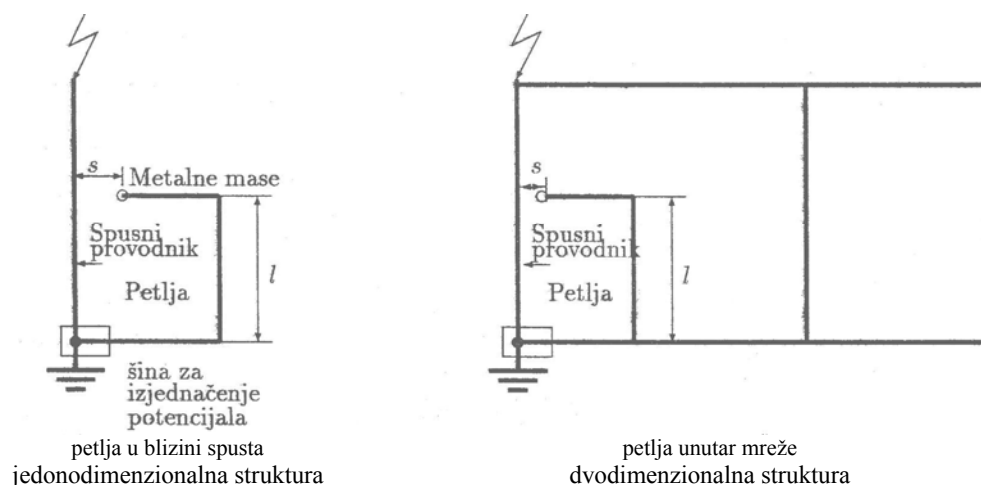
Bezbednosno rastojanje s je minimalno rastojanje između gromobranske instalacije i neke druge instalacije u objektu koja je na različitom potencijalu od potencijala gromobranske instalacije. To je i rastojanje između gromobranske instalacije i bilo koje druge metalne mase kod izolovanih gromobranskih instalacija. Kada su rastojanja između spusnih provodnika oko 20 m, bezbednosno rastojanje s određuje se iz izraza

$$s = k_1 \frac{k_c}{k_m} l.$$

Koeficijent k_1 zavisi od nivoa zaštite i dobija se iz tabele 42.9. Koeficijent k_m zavisi od materijala koji razdvaja gromobransku instalaciju od ostalih metalnih masa ili druge instalacije i dobija se iz tabele 42.10. Koeficijent k_c zavisi od konfiguracije gromobranske instalacije i ostalih metalnih masa prema slikama 42.8 i 42.9. U tabeli 42.11 prikazane su vrednosti koeficijenta k_c , prema slikama 42.8 i 42.9.

Tabela 42.10. Koeficijent k_m za određivanje bezbednosnog rastojanja u funkciji materijala koji razdvaja gromobransku instalaciju od metalnih masa

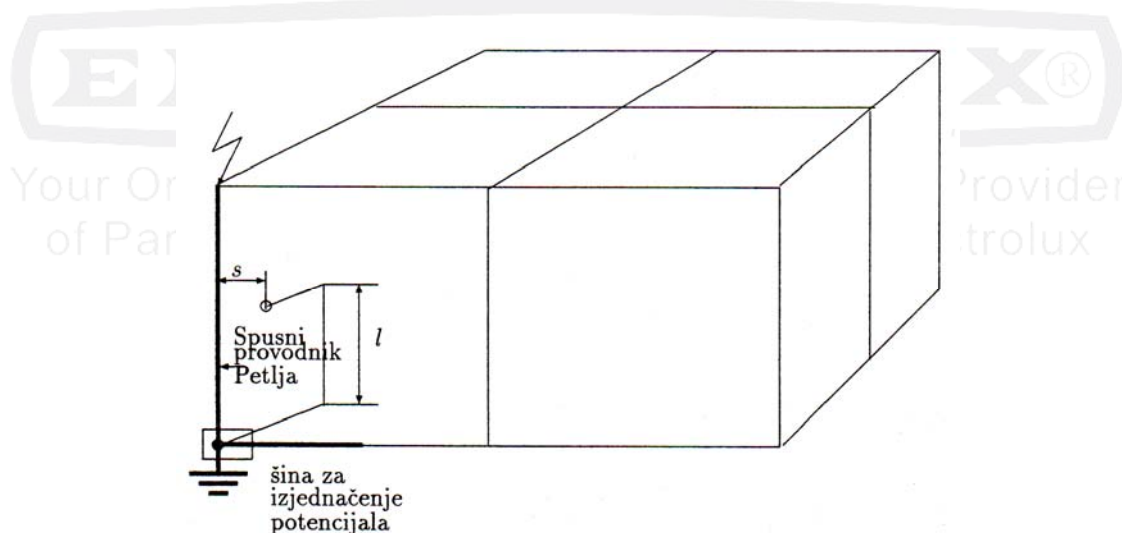
Materijal između gromobranske instalacije i metalnih masa	k_m
vazduh	1
čvrst materijal	0,5



Slika 42.8. Blizina gromobranske i ostalih instalacija

Tabela 42.11. Vrednosti koeficijenta k_c

Konfiguracija	k_c
jednodimenzionalna	1
dvodimenzionalna	0,66
trodimenzionalna	0,44



Slika 42.9. Blizina gromobranske i ostalih instalacija, trodimenzionalna konfiguracija, i petlja u blizini spusta

Da bi se sprečila pojava visokih potencijalnih razlika između gromobranske instalacije i drugih instalacija ili metalnih masa unutar objekta, sve instalacije se dovode na isti potencijal povezivanjem u jednoj tački. Ovo povezivanje se realizuje pomoću šine za izjednačavanje potencijala.

Spusni provodnici treba da se povežu pomoću horizontalnih provodnika vezanih u prsten blizu nivoa zemlje i na svakih dvadeset metara, visine objekta.

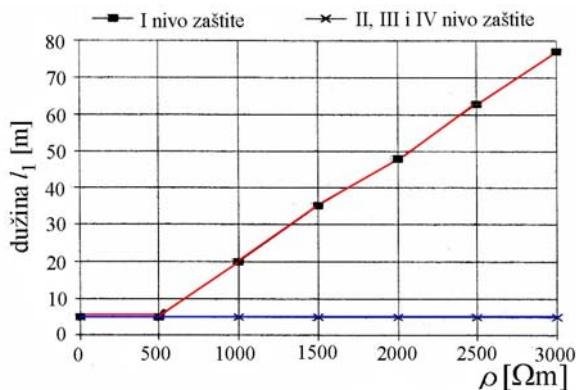
Da bi se moglo vršiti merenje otpornosti uzemljenja, na spusnim provodnicima se mora predvideti ispitni spoj koji se može uz pomoć alata otvoriti da bi se proverila otpornost uzemljenja na posmatranom delu uzemljivača.

42.3.1.6. Gromobranski uzemljivači

Gromobranski uzemljivači dele se na sledeće tipove:

- prstenasti,
- vertikalni,
- radijalni i
- temeljni uzemljivač.

Kod izrade gromobranskih uzemljivača više dobro raspoređenih provodnika su bolje rešenje od jednog provodnika veće dužine. Na slici 42.10 prikazana je minimalna ukupna dužina uzemljivača l_1 u funkciji specifičnog otpora tla i nivoa zaštite. Pri tome povećanje dužine uzemljivača treba postići postavljanjem više radijalnih krakova umesto povećanjem dužine samo u jednom pravcu.



Sl. 42.10. Minimalna ukupna dužina uzemljivača l_1 u funkciji specifičnog otpora tla i nivoa zaštite

U slučaju radijalnih ili vertikalnih uzemljivača svaki spusni provodnik se mora vezati bar na jedan odvojeni uzemljivač. Najmanja ukupna dužina svakog uzemljivača u slučaju horizontalnog radijalnog uzemljivača jednaka je dužini l_1 sa slike 42.10, a u slučaju vertikalnog uzemljivača jednaka je $0,5l_1$ sa slike 42.10. Ukoliko se može postići stacionarna otpornost uzemljivača, manja od 10Ω , tada se mogu koristiti i uzemljivači manjih dužina od propisanih sa slike 42.10.

U slučaju prstenastog ili temeljnog uzemljivača srednji geometrijski prečnik ne sme biti manji od vrednosti l_1 sa slike 42.10. U suprotnom se moraju dodati radijalni horizontalni ili vertikalni (ili iskošeni) uzemljivači. Najmanja dužina horizontalnog uzemljivača koju treba dodati u slučaju prstenastog uzemljivača poluprečnika r je

$$l_h = l_1 - r \quad (8)$$

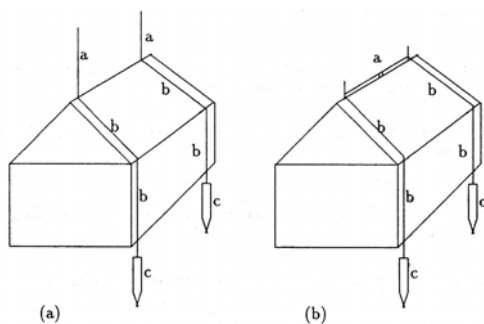
Najmanja dužina vertikalnog uzemljivača koga treba dodati na prsten je

$$l_h = \frac{l_1 - r}{2} \quad (9)$$

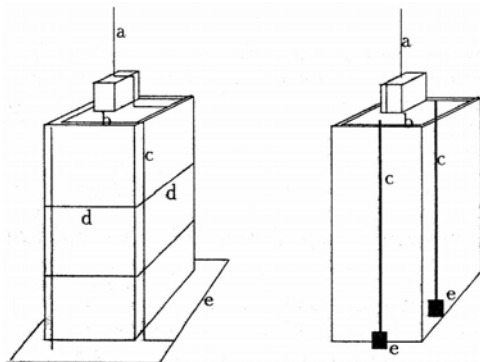
Spoljašnji prstenasti uzemljivači treba da se postave na dubini od najmanje $0,5 \text{ m}$ i najmanje 1 m od zidova objekta izvan štice prostora.

Prirodni uzemljivači su elementi objekta koji sadrže metalne mase ispod zemlje. Ako je temelj objekta urađen od betona sa ugrađenim povezanim metalnim provodnicima, tada se takav uzemljivač naziva temeljnim uzemljivačem. Povezivanje metalnih elemenata unutar betona se mora realizovati varenjem.

42.3.1.7. Primeri izvođenja spoljašnje gromobranske instalacije



Slika 42.11: Zaštita manjeg objekta pomoću dva štapna gromobrana ili pomoću horizontalne trake



Slika 42.12. Zaštita višespratnog objekta bez prirodnih komponenti (I) i sa prirodnim komponentama (II):
 a) štapna hvataljka,
 b) prsten od horizontalnih traka,
 c) vertikalni spust,
 d) horizontalni prsten za povezivanje spusteva,
 e) uzemljivač

Na slici 42.11(a) prikazana je gromobranska zaštita manjeg objekta pomoću dva štapna gromobrana postavljena na kosom krovu. Broj i visina štapova se određuju tako da objekat bude zaštićen bilo po kriterijumu zaštitnog ugla ili po kriterijumu kotrljajuće sfere. Na 42.11(b) prikazana je zaštita istog objekta pomoću trake, koja mora da bude povezana sa uzemljivačem sa obe strane. Sa oba kraja trake postavljene su kratke vertikalne hvataljke, dužine do 20 cm. U oba slučaja su primenjeni vertikalni uzemljivači, mada se mogu koristiti i horizontalne trake. Na slici 42.12 prikazana je zaštita višespratnice sa provodnim vertikalama sa spoljašnjim spustevima (I) i sa provodnim vertikalama (vodice liftova, armirano betonski skelet) (II). Na slici (II) koriste se prirodne komponente gromobrana umesto spusteva i uzemljivača. Na slici (I) koristi se prstenasti uzemljivač, a na slici (II) temeljni.

42.3.2. Unutrašnja gromobranska zaštita

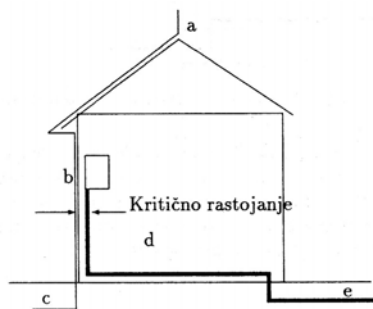
Unutrašnja gromobranska zaštita služi da zaštiti instalacije unutar zgrade i aparate od štetnog dejstva previsokih napona nastalih atmosferskim pražnjenjem.

Atmosferski prenaponi mogu dospeti unutar objekta efikasno zaštićenog od direktnog udara groma na tri načina:

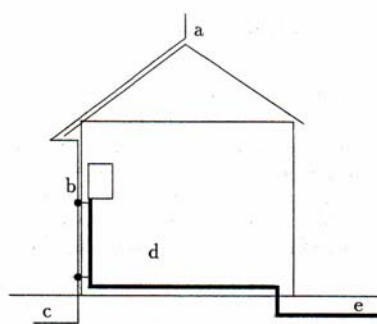
1. povećanjem potencijala uzemljivača u odnosu na referentnu zemlju usled proticanja struje atmosferskog pražnjenja,
2. prodorom atmosferskog prenapona putem nadzemnog električnog priključka,
3. elektromagnetskom spregom između provodnog puta struje atmosferskog pražnjenja i posmatranog objekta.

Postoje tri osnovna vida unutrašnje gromobranske zaštite. To su mere za izjednačenje potencijala unutar objekta, mere za ograničenje prenapona na električnim instalacijama i uređajima i oklapanje (zatvaranje u metalni oklop) objekata ili uređaja u cilju sprečavanja elektromagnetske sprege između strujnog puta atmosferskog pražnjenja i štićenog objekta.

42.3.2.8. Izjednačenje potencijala unutar objekta

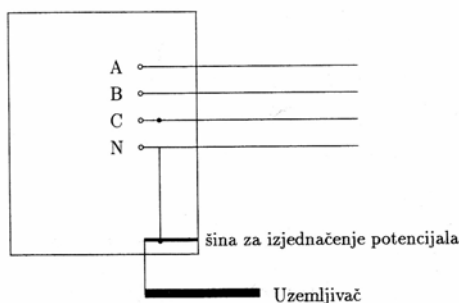


Slika 42.13. Razlika potencijala između gromobranske instalacije i vodovodne instalacije. a) hvataljka, b) spust, c) gromobranski uzemljivač, d) vodovodna instalacija, e) podzemni deo vodovodne instalacije.



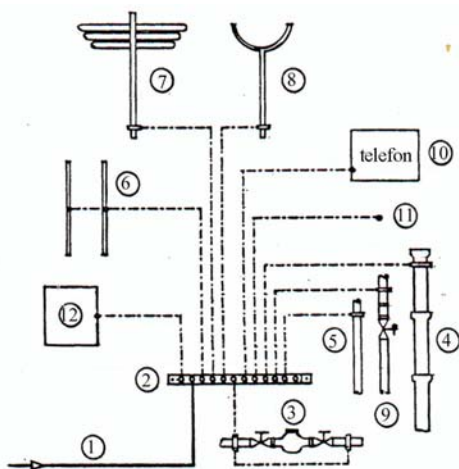
Slika 42.14. Izjednačavanje razlike potencijala između vodovodne i gromobranske instalacije

Izjednačavanje potencijala je električni spoj kojim se razni izloženi i strani provodni delovi dovode na isti potencijal a postiže se galvanskim povezivanjem vodovodnih i drugih instalacija (grejanje, gas, metalna kanalizacija, lift, antena, telefonska instalacija, gromobranska instalacija i sl) sa uzemljenjem objekta.



Slika 42.15.

a) Izjednačavanje razlike potencijala između elektroenergetske i gromobranske instalacije



b) Glavno izjednačavanje potencijala:

- 1 - glavni priključak za uzemljenje ili uzemljivač;
- 2 - sabirnica za glavno izjednačavanje potencijala;
- 3 - vodovodna instalacija;
- 4 - livene cevi kanalizacione instalacije;
- 5 - instalacija centralnog grejanja;
- 6 - vodice lifta;
- 7 - zemaljska antena;
- 8 - satelitska antena;
- 9 - instalacija za gas;
- 10 - orman telefonske instalacije;
- 11 - ventilacioni kanali;
- 12 - kućišta (ormani) električne opreme

U objektima se nalaze različite instalacije kao što su elektroenergetske instalacije niskog napona, telefonske instalacije, vodovodne instalacije itd. Svaka od ovih instalacija se nalazi na određenom potencijalu u odnosu na uzemljivač zgrade. U slučaju direktnog atmosferskog pražnjenja u gromobransku instalaciju objekta, može se pojaviti povišenje

potencijala gromobranskog uzemljivača u odnosu na potencijal ostalih instalacija, tako da izolacija između gromobranske i neke druge instalacije može biti ugrožena. Takav slučaj je ilustrovan na slici 42.13. Na slici 42.13 prikazan je objekat kod koga se paralelno sa gromobranskim spustom unutar zgrade vodi do rezervoara za vodu vodovodna cev od provodnog materijala, koja je na potencijalu udaljene zemlje. U slučaju atmosferskog pražnjenja velike amplitude pojaviće se velika razlika potencijala koja će izazvati preskok između gromobranske i vodovodne instalacije.

Da bi se sprečila pojava visokih razlika potencijala između različitih instalacija, koristi se izjednačavanje potencijala na jednom ili na više mesta. Na primer, na slici 42.14, izjednačavanje potencijala se sprovodi na dva mesta. Oznake na slici 42.14 imaju identično značenje kao na slici 42.13.

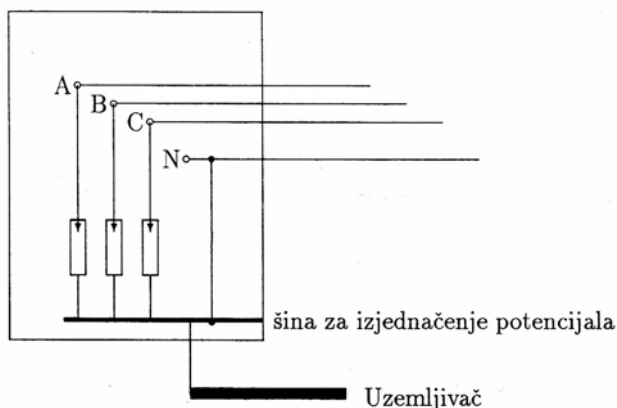
U slučaju kada se vrši izjednačavanje potencijala između gromobranske instalacije i elektroenergetske instalacije niskog napona, pojavljuje se opasnost generisanja visokih prenapona između zajedničkog uzemljivača gromobranske i elektroenergetske instalacije, kao na slici 42.15.

Na slici 42.15 prikazan je sistem kod koga je neutralni provodnik doveden na isti potencijal koji ima šina za izjednačenje potencijala koja povezuje električne, vodovodne i ostale instalacije unutar objekta. Ukoliko bi se pojavila velika struja atmosferskog pražnjenja, došlo bi do podizanja potencijala uzemljivača usled proticanja struje groma, pa bi se pojavila velika razlika potencijala između neutralnog provodnika elektroenergetske instalacije, koja bi dobila visok potencijal uzemljivača, i ostalih faznih provodnika.

42.3.2.9. Ograničavanje prenapona unutar objekta

Da bi se sprečila pojava visokih prenapona unutar objekta usled povišenja potencijala uzemljivačkog sistema, neophodno je ugraditi odvodnike prenapona između faznih provodnika i šine za izjednačenje potencijala, kao na slici 42.16. Odvodnici prenapona postavljeni između šine za izjednačavanje potencijala i faznih provodnika imaju ulogu da zaštite objekat od dve vrste prenapona:

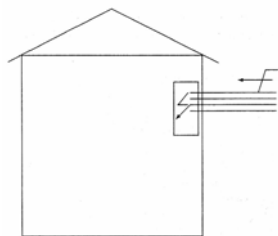
1. prenapona usled proticanja udarne struje kroz uzemljivač, koji podižu potencijal uzemljivača u odnosu na fazne provodnike,
2. prenapona nastalih van posmatranog objekta, koji dolaze po elektroenergetskoj instalaciji u objekat.



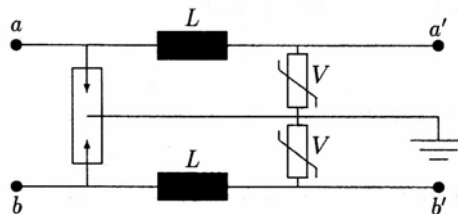
Slika 42.16. Zaštita elektroenergetske instalacije od povišenih napona na zajedničkom uzemljivaču

Poslednji slučaj je ilustrovan na slici 42.17, gde je prikazan objekat koji se napaja nadzemnim elektroenergetskim vodom na drvenim stubovima po kome se prostire prenaponski talas nastao direktnim ili indirektnim uticajem atmosferskog pražnjenja. Nadzemni vod može biti u obliku izolovanog samonosivog kabla. Tada se pojavljuju najteža naprezanja na izolaciji unutar objekta. Podnosivi udarni napon, napon koji može da podnese

izolacija voda, višestruko je veći od podnosivog udarnog napona uređaja u objektu. Pojedini tipovi samonosivih kablova imaju podnosivi udarni napon 50 - 70 kV, dok je podnosivi udarni napon uređaja na razvodnoj tabli unutar objekta najčešće 2,5 kV.



Slika 42.17. Nastanak prenapona na vazdušnom priključku elektroenergetske niskonaponske instalacije, koji izaziva razaranje izolacije na razvodnoj tabli



Slika 42.18. Kombinacija gasnog odvodnika, varistora i induktivnog kalema čini uređaj za kompleksnu prenaponsku zaštitu telefonske linije čiju paricu čine dva provodnika.

Prenaponski talas koji nailazi po vazdušnom vodu koji ima visoku vrednost podnosivog udarnog napona, ako nema adekvatne prenaponske zaštite unutar objekta, izaziva razaranje izolacije na prvom slabom mestu unutar objekta, a to je najčešće razvodna tabla. Ovaj problem se jednostavno rešava postavljanjem odvodnika prenapona koji ograničavaju porast potencijala faznih provodnika iznad podnosivog udarnog napona izolacije uređaja unutar štićenog objekta. Pojedini osetljivi elektronski uređaji mogu se posebno štititi zaštitnim uređajima za ograničenje prenapona.

Za zaštitu osetljivih elektronskih uređaja koriste se sledeća sredstva:

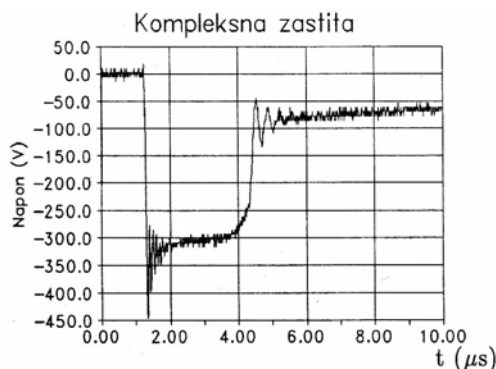
- poluprovodničke (Zener) diode
- varistori*
- gasni odvodnici prenapona
- električni filtri bazirani na kombinacijama induktivnih kalemova, otpornika ili kondenzatora
- kombinacije prethodnih elemenata.

Poluprovodničke diode se odlikuju odličnim karakteristikama pri dejstvu izuzetno brzih talasa, jer mogu da ograniče prenapone čije je trajanje čela talasa reda ns. Mana im je osetljivost na naponske talase koji nose veliku energiju. Varistori (skraćenica od **variable resistor** - poluprovodnik sa dve elektrode koji ima nelinearnu zavisnost otpora od napona, najčešće veliku otpornost pri malom naponu i mali otpor pri velikom naponu) odlikuju se manjom brzinom, ali većom energetsom izdržljivošću. Gasni odvodnici, koji rade na principu električnog pražnjenja u gasu pri nastanku prenapona, odlikuju se relativno sporim delovanjem, ali velikom energetsom izdržljivošću. Da bi se iskoristile povoljne karakteristike pojedinih zaštitnih sredstava, koriste se kombinacije kao na primer na slici 42.18, gde je korišćena kombinacija gasnog odvodnika, varistora i induktivnog kalema u kompleksnoj prenaponskoj zaštiti. U ovom slučaju zaštitni uređaj je predviđen za zaštitu telefonske linije, čiju paricu čine dva provodnika. Zato se simetrično postavljaju induktivni kalemi L i varistori V koji se priključuju između provodnika i zemlje. U slučajevima simetričnih provodnika koriste se troelektrodni gasni odvodnici koji omogućavaju istovremeno reagovanje, jer se jonizacija prostora unutar balona istovremeno pojavljuje na oba međuelektrodna razmaka. Na ovaj način sprečava se pojava transferzalnih prenapona

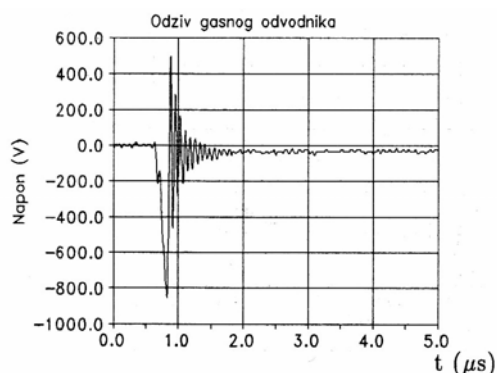
* Varistor – skraćenica od **Variable Resistor**. Poluprovodnik sa dve elektrode kod koga postoji nelinearna zavisnost otpora od napona (najčešće ima veliku otpornost pri malom naponu i mali otpor pri velikom naponu) pa se koristi za zaštitu kola od naponskih talasa

između parica iste linije, koji ne mogu da nastanu usled indukovanih prenapona, ali mogu da nastanu usled nejednovremenog reagovanja gasnih odvodnika koji su priključeni između provodnika i zemlje.

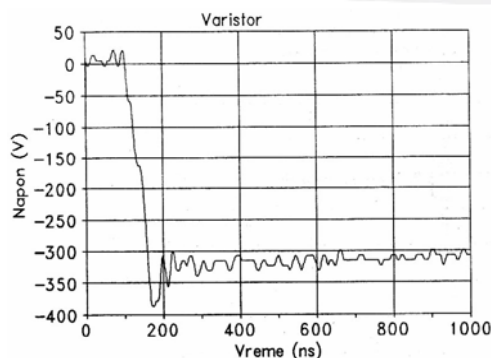
U prikazanoj zaštiti induktivni kalem L ima ulogu da poveća prenapone velike strmine, kako bi se ubrzalo reagovanje gasnog odvodnika. Varistor V ima ulogu da reaguje što je pre moguće, da bi se sprečila pojava visokih prenapona na šticeu objektu. Pre reagovanja gasnog odvodnika, napon na objektu se zadržava na vrednosti preostalog napona varistora. Nakon reagovanja gasnog odvodnika varistor prestaje da se energetske napreže, a gasni odvodnik preuzima celokupno energetske naprežanje. Posle reagovanja gasnog odvodnika napon na objektu postaje praktično jednak nuli, jer gasni odvodnik ima vrlo malu vrednost preostalog napona posle reagovanja.



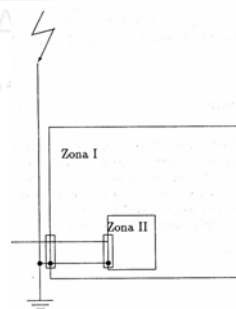
Slika 42.19. Odziv kompleksne zaštite koja se sastoji od gasnog odvodnika, induktivnog kalema i varistora na standardni naponski talas amplitude 4 kV



Slika 42.20. Odziv gasnog odvodnika na standardni naponski talas amplitude 4 kV



Slika 42.21. Odziv samog varistora, na identičan naponski talas



Slika 42.22. Primer višesrke zone zaštite objekta

Radi ilustracije, na slici 42.19 prikazan je odziv kompleksne zaštite koja se sastoji od gasnog odvodnika, induktivnog kalema i varistora na standardni naponski talas amplitude 4 kV. Zaštitni sklop, čiji je odziv prikazan, služi za zaštitu telefonskih centrala od atmosferskih prenapona. Može se uočiti da prenaponski sklop ograničava prenaponski talas na vrednost od oko 500 V na početnom delu talasa, da bi se napon ustalio na preostalom naponu varistora dok ne reaguje gasni odvodnik.

Na slici 42.20 prikazan je odziv samog gasnog odvodnika, a na slici 42.21 odziv samog varistora na identičan standardni naponski talas oblika 1,2/50 $\mu\text{s}/\mu\text{s}$ i amplitude 4 kV.

Može se uočiti da gasni odvodnik može da propusti prenaponski talas amplitude čak i do 1000 V, a da nakon reagovanja ograničava napon na vrlo malu vrednost napona luka.

Naprotiv, varistor reaguje vrlo brzo, ima neznatno previšenje napona na samom čelu, a zatim zadržava konstantnu vrednost preostalog napona.

42.3.2.10. Princip višestruke zaštite

Da bi se uspešno zaštitili osetljivi uređaji od atmosferskih prenapona, koriste se principi višestruke zaštite. Osnovnu zaštitu čini gromobranski sistem za zaštitu od direktnog udara groma u štitićeni objekat. Drugi nivo zaštite čini ekraniranje objekta bilo izgradnjom posebnog Faradejevog kaveza ili korišćenjem armirano-betonske konstrukcije kao ekrana. Treći nivo zaštite predstavlja, oklapanje posebno ugroženih uređaja ili objekata unutar već ranije zaštićene zone. Pri svakom prelazu iz jedne štitićene zone u drugu štitićenu zonu neophodno je izvršiti izjednačavanje potencijala između vodova i kablova koji se uvode i ekrana i primeniti odgovarajuću prenaponsku zaštitu.

Primer primene višestruke zaštite prikazan je na slici 42.22. Na prelazu između zona ucrtan je pravougaonik koji označava da se na tom mestu primenjuju mere za izjednačenje potencijala i prenaponska zaštita.

42.3.2.11. Galvansko odvajanje

Najefikasnije sredstvo za potpuno sprečavanje elektromagnetskih smetnji i unošenje visokih prenapona iz spoljašnje telekomunikacione mreže, koje danas nailazi na sve veću primenu, je primena galvanskog odvajanja mreža i prenos signala putem optičkih kablova. U ovom slučaju postoji potpuna imunost sistema na elektromagnetske smetnje. Ovakvi sistemi se koriste za prenos telekomunikacionih signala u elektroprivredi, ali i u svim drugim oblastima gde je potrebna potpuna zaštita od elektromagnetskih smetnji.

43. Stabilne instalacije za dojavu požara

Stabilne instalacije za dojavu požara moraju biti projektovane i izvedene tako da pravilnim izborom, brojem i rasporedom javljača požara omogućavaju signalizaciju pojave požara u najranijoj mogućoj fazi, uz dovoljno veliku sigurnost sprečavanja lažnih uzbunjivanja.

Napajanje stabilne instalacije za dojavu požara mora biti iz dva izvora. Prvi izvor je električna mreža, a drugi - akumulatorska baterija. Pri nestanku energije iz električne mreže, "akumulatorska baterija automatski i bez prekida preuzima napajanje stabilne instalacije. Ispad jednog od izvora, u slučaju smetnje, ne sme izazvati ispad drugog izvora energije, a svetlosno i zvučno mora biti registrovan na dojavnoj centrali. Energija koja se koristi za napajanje stabilne instalacije ne sme biti upotrebljena za napajanje drugih uređaja.

Napajanje energijom iz električne mreže mora biti takvo da omogućuje trajan pogon stabilne instalacije za dojavu i punjenje akumulatorske baterije, tj. mora biti upotrebljeno odvojeno strujno kolo s posebno označenim osiguračem (crvena boja). Mora se onemogućiti da se isključivanjem pogonskih uređaja isključi i strujno kolo prema dojavnoj centrali.

Uređaj za punjenje akumulatora mora biti dimenzionisan tako da se akumulator ispražnjen do krajnje dozvoljenog napona može automatski napuniti u roku od 24 h na 80% nazivnog kapaciteta. Akumulator mora biti takav da obezbeđuje rad instalacije u toku 72 h.

Stabilne instalacije za dojavu i pripadajući prenosni vodovi moraju biti izvedeni sopstvenom mrežom kablova ili vodova. Nije dozvoljeno da se zajednički u jednoj cevi, ormaru, kابلu, posebnom kanalu ili vertikalni polažu strujna kola s naponom do 50 V sa strujnim kolima napona višeg od 50 V. Razvodne kutije i ormari stabilne instalacije moraju biti označeni crvenom bojom.

Otpor izolacije između voda i voda, kao i voda i zemlje, mora iznositi najmanje 500 kΩ.

Protiv električnih uticaja koji ometaju rad (npr. elektromagnetni talasi) treba preduzeti odgovarajuće zaštitne mere, kao što su polaganje kablova i vodova u metalne uzemljene cevi, upotreba specijalnih filtara i sl.



Your Original Manufacturer & Authorized Provider
of Parts & Services for all 1984-2012 Electrolux