

Glava 10

Merne i registracione metode

Od otkrića Bendžamina Franklina 1852 godine da je udar groma električne prirode, vezan za pražnjenje atmosferskog naelektrisanja, pa sve do danas, na većem broju mesta u svetu vrše se različita istraživanja vezana za teorijske aspekte nastanka grmljavinske aktivnosti, kao i za praktične aspekte zaštite objekata od štetnog dejstva direktnog udara groma. Na ovome mestu će biti opisane neke od metoda i uređaja za merenje i registraciju električnih parametara atmosferskih pražnjenja. Postoji veliki broj različitih tehnika za praćenje i registraciju pojava vezanih za nastanak atmosferskog naelektrisanja i atmosferskih pražnjenja. Sve tehnike se mogu podeliti na više grupa prema fizičkoj veličini koja se analizira.

- Optičke metode,
- Metode merenja električnog i magnetskog polja,
- Direktna merenja struja atmosferskih pražnjenja.

Svi uređaji koji se koriste za određivanje parametara atmosferskih pražnjenja mogu se podeliti prema funkciji u sledeće grupe:

- Brojači atmosferskih pražnjenja za određivanje gustine pražnjenja za određenu teritoriju,
- Lokatori atmosferskih pražnjenja,
- Registratori amplituda struja atmosferskih pražnjenja
- Registratori talasnih oblika struje atmosferskih pražnjenja

Keraunički nivo nekog područja (godišnji broj grmljavinskih dana) je jedini meteorološki parametar atmosferskih pražnjenja koji se određuje bez instrumenata, samo osmatranjem.

Na ovom mestu će biti prikazane neke od najviše korišćenih metoda, mada se u svakoj istraživačkoj stanici nalaze specifični uređjaji.

10.1 Brojači atmosferskih pražnjenja

Brojač atmosferskog pražnjenja je bio u jednom periodu veoma raširen uređjaj čija je uloga da odredi gustinu pražnjenja na određenom području. Određuje samo broj udara u određenu površinu, bez analize parametara udara. Uređjaj radi na detektovanju naglih promena električnog polja koje nastaje usled atmosferskog pražnjenja.

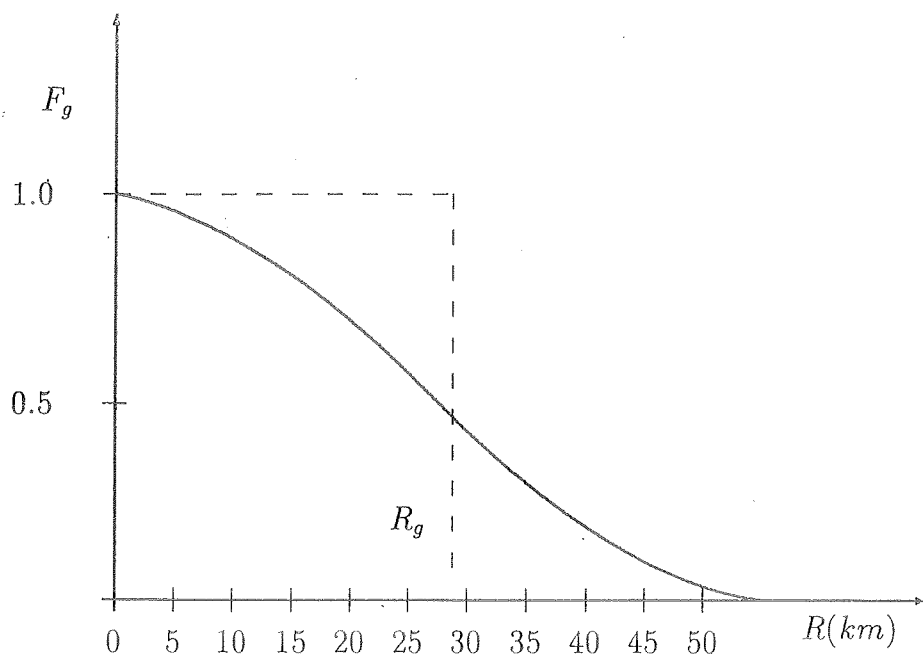
Danas se koriste brojači standardizovanih karakteristika da bi se mogli upoređivati rezultati analiza iz različitih zemalja. Medjunarodna konferencija za velike električne mreže sa sedištem u Parizu (CIGRE), preporučuje dva tipa brojača prema frekventnom opsegu u kome se vrši detekcija pražnjenja. Jedan brojač ima podešeno prijemno kolo za frekvenciju 500 Hz, a drugi za frekvenciju 10 kHz.

Pri korišćenju brojača postoje dve osnovne teškoće koje unose određenu nesigurnost u rezultate registracije. To su:

1. Pražnjenje većeg intenziteta se može registrovati sa veće udaljenosti od pražnjenja manjeg intenziteta. Uvodjenjem efektivnog poluprečnika dejstva brojača određeni broj slabijih pražnjenja se ne registruje iako se dogodio unutar efektivnog poluprečnika dejstva brojača. Njih kompenzuju pražnjenja velikog intenziteta koja su se dogodila van efektivnog poluprečnika dejstva brojača, ali su bila registrovana zbog velikog intenziteta.
2. Brojač registruje atmosferska pražnjenja u zemlju i izmedju oblaka. Stoga je potrebno detektovati ili proceniti deo pražnjenja koji se odvija u zemlju.

Da bi se prevazišle gornje teškoće, potrebno je vršiti kalibraciju brojača istovremenim korišćenjem i drugih načina registracije pražnjenja (vizuelnim osmatranjem, radarskim praćenjem grmljavinskih oblaka i drugim vidovima osmatranja i registrovanja grmljavinske aktivnosti). U [40, 41, 42] opisane su metode kalibracije i određivanja odnosa broja pražnjenja u zemlju i izmedju oblaka.

Na slici 10.1 prikazana je karakteristika delovanja brojača koja pokazuje verovatnoću F_g da će brojač registrovati pražnjenje u zemlju na udaljenosti R od brojača.



Slika 10.1: Karakteristika delovanja brojača atmosferskih pražnjenja u zemlju

10.1.1 Efektivni poluprečnik dejstva brojača pražnjenja

Umesto stvarne karakteristike delovanja brojača, koja je data punom linijom, koristi se idealizovana karakteristika brojača, data isprekidanom linijom. Prema idealizovanoj karakteristici brojača sva pražnjenja na rastojanju manjem od R_g izazivaju delovanje brojača, a na pražnjenja na većim rastojanjima od R_g brojač ne reaguje. Na taj način se stvarna karakteristika zamenjuje idealnom, a ukupan efekat rada brojača je takav da za određeni broj godina broj pražnjenja na koja brojač nije reagovao biva kompenzovan pražnjenjima na koja je brojač reagovao iako nije trebalo. Osnovna pretpostavka za ispravan rad brojača je da je godišnja gustina pražnjenja u zemlju N_g konstantna na kompletnoj posmatranoj površini na kojoj brojač može da registruje pražnjenja. Ukupan broj reagovanja brojača se određuje na osnovu slike 10.2.

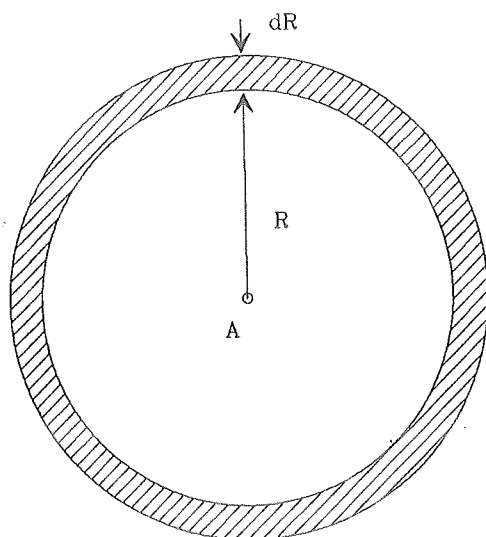
Broj udara u zemlju unutar elementarnog kružnog prstena opisanog na rastojanju R od brojača, širine dR je:

$$dK'_g = 2 \pi N_g R dR \quad (10.1)$$

gde su:

K'_g —broj udara groma u određenu površinu u toku jedne godine.

N_g —godišnji broj udara u zemlju po km^2 .



Slika 10.2: Određivanje broja udara u zemlju

Broj registrovanih udara groma u elementarni kružni prsten je:

$$dK_g = 2\pi N_g F_g(R) R dR \quad (10.2)$$

gde je:

K_g -broj registrovanih udara groma u određenu površinu u toku jedne godine,

Ukupan broj registrovanih pražnjenja u zemlju je:

$$K_g = 2\pi N_g \int_0^{\infty} F_g(R) R dR \quad (10.3)$$

Ako bi brojač imao idealizovanu karakteristiku, definisanu efektivnim poluprečnikom dejstva R_g , tada bi broj pražnjenja registrovan ovakvim brojačem bio:

$$K_g = \pi R_g^2 N_g \quad (10.4)$$

Izjednačavanjem izraza 10.3 i 10.4 može se dobiti efektivni poluprečnik dejstva brojača pražnjenja u zemlju koji daje isti broj registrovanih pražnjenja kod brojača realne i idealizovane karakteristike.

$$R_g = \sqrt{2 \int_0^{\infty} F_g(R) R dR} \quad (km) \quad (10.5)$$

Na osnovu ovako izračunatog efektivnog poluprečnika dejstva brojača može se iz ukupnog registrovanog broja pražnjenja odrediti srednja godišnja gustina pražnjenja po km^2 .

$$N_g = \frac{K_g}{\pi R_g^2} \left(\frac{1}{km^2, god} \right) \quad (10.6)$$

Efektivni poluprečnik dejstva uređaja zavisi od sledećih parametara uređaja:

- Praga osetljivosti na naglu promenu električnog polja (kreće se od $0,9 V/m$ do $8 V/m$),
- Ulaznog filtra za frekventni opseg ($500 Hz$ ili $10 kHz$).

Prvi brojači su radjeni sa horizontalnom antenom, dok se sada koriste brojači sa vertikalnom antenom.

U tablici 10.1 date su vrednosti efektivnih poluprečnika dejstva za dva tipa brojača tipa CIGRE, prema [41]:

Tip brojača	CIGRE 500 Hz	CIGRE 10 kHz
R_g (km)	30 ± 6	10 ± 4

Tablica 10.1: Efektivni poluprečnik dejstva brojača

Da bi se dobila relativno pouzdana informacija o gustini pražnjenja za određeni predeo preporučuje se dugotrajno registrovanje koje treba da se kreće od 11 do 22 god (jedan do dva puna ciklusa sunčanih aktivnosti, prema [42]).

10.1.2 Odnos broja pražnjenja u zemlju i izmedju oblaka

Za projektovanje gromobranske zaštite, koordinaciju izolacije elektro-energetskih mreža i druge vrste tehničkih disciplina kod kojih je neophodno poznavanje broja atmosferskih pražnjenja u zemlju ili uzemljene objekte, potrebno je pratiti godišnju gustinu pražnjenja u zemlju N_g . Medjutim, brojač pražnjenja registruje pražnjenja i u zemlju i izmedju oblaka.

Osetljivost brojača na pražnjenja izmedju oblaka se razlikuje od osetljivosti na pražnjenja prema zemlji. Zato se definiše efektivni poluprečnik dejstva brojača za pražnjenja izmedju oblaka:

$$R_c = \sqrt{2 \int_0^{\infty} F_c(R) R dR} \quad (km) \quad (10.7)$$

gde su:

$F_c(R)$ —karakteristika reagovanja brojača na atmosferska pražnjenja izmedju oblaka, dobijena istovremenim registrovanjem pomoću brojača i vizuelnim, radarskim i drugim sredstvima za praćenje grmljavinske aktivnosti,

R_c —efektivni poluprečnik dejstva brojača za pražnjenja izmedju oblaka.

Ukupan broj registracija brojača pražnjenja u zemlju i izmedju oblaka je:

$$K = \pi R_g^2 N_g + \pi R_c^2 N_c \quad (10.8)$$

gde su:

N_g —godišnja gustina pražnjenja u zemlju po km^2 ,

N_c —godišnja gustina pražnjenja izmedju oblaka, registrovana po km^2 zemljine površine.

Ako se izračuna N_g iz izraza 10.8, dobija se:

$$N_g = \frac{K}{\pi (R_g^2 + R_c^2 N_c / N_g)} \quad (10.9)$$

ili

$$N_g = \frac{K Y_g}{\pi R_g^2} \quad (10.10)$$

gde je:

$$Y_g = \frac{1}{(1 + R_c^2 N_c / R_g^2 N_g)} \quad (10.11)$$

Y_g predstavlja odnos broja registrovanih pražnjenja u zemlju prema ukupnom broju registrovanih pražnjenja. Ova veličina se određuje empirijskim putem na sledeći način [43]:

$$Y_g = \frac{N_z}{N_z + N_o} \quad (10.12)$$

gde su:

N_z —broj identifikovanih pražnjenja u zemlju,

N_o —broj identifikovanih pražnjenja izmedju oblaka koje je brojač registrovao.

Vrednost veličine Y_g zavisi od odnosa broja pražnjenja izmedju oblaka i u zemlju, kao i od karakteristika samog brojača. Prema [44] za brojač CIGRE-10 kHz za južnu geografsku širinu od 26° koja odgovara Južnoj Africi, dobijena je vrednost od $Y_g = 0,95$. Prema [43] vrednost Y_g se kreće u granicama od $0,9 < Y_g < 1$.

Osnovne mane brojača kao jedinog sredstva za praćenje grmljavinske aktivnosti su:

- brojač pražnjenja daje samo jedan pokazatelj grmljavinske aktivnosti (gustinu pražnjenja),
- za dobijanje pouzdanih podataka potrebno je dugotrajno registrovanje,
- potrebno je formirati mrežu brojača koja treba da prekrije posmatranu teritoriju.

Pozitivne osobine brojača su:

- relativna jednostavnost i niska cena uredjaja,
- veoma je pogodno koristiti brojač uz neki drugi uredjaj kao dopunsko registraciono sredstvo za dobijanje pouzdanih podataka o atmosferskim pražnjenjima.

10.2 Uredjaji za lokaciju atmosferskih pražnjenja

Uredjaji za lokaciju atmosferskih pražnjenja za razliku od brojača daju i približnu informaciju o mestu udara groma. Neki od lokatora mesta udara daju i orijentacionu informaciju o amplitudi ili čak i obliku struje atmosferskog pražnjenja.

Danas su u upotrebi dva tipa ovih uredjaja:

- uredjaji koji rade na principu odredjivanja pravca magnetnog i električnog polja,
- uredjaji koji rade na principu merenja kašnjenja signala od različitih mernih tačaka.

Oba tipa uredjaja su znatno složenija i skuplja od brojača udara. Da bi se dobila kompletna informacija o lokaciji udara, potrebno je postaviti stanice tako da obrazuju mrežu koja prekriva odredjenu teritoriju.

10.2.1 Sistem baziran na odredjivanju pravca magnetskog polja

Ovaj sistem se sastoji od dve ortogonalne omčaste antene u kojima se indukuju elektromotorne sile:

$$E_1 = \mu_o \frac{dH}{dt} S \cos \alpha_1 \quad (10.13)$$

$$E_2 = \mu_0 \frac{dH}{dt} S \cos \alpha_2 \quad (10.14)$$

gde su:

μ_0 —magnetska permeabilnost vazduha,

$\frac{dH}{dt}$ —izvod magnetskog polja po vremenu,

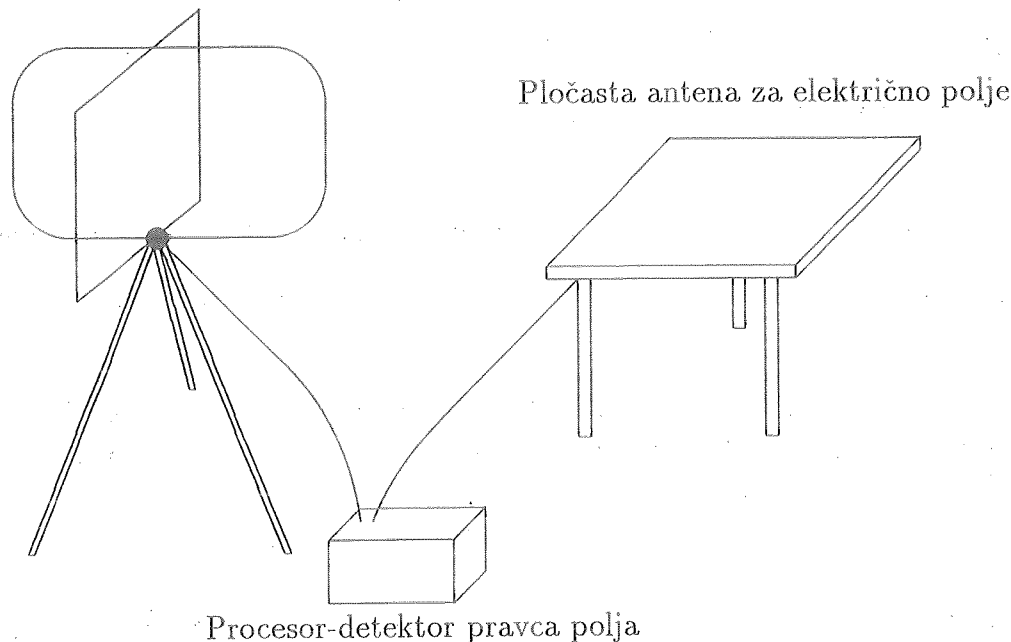
S —površina antene,

α_1 i α_2 —uglovi koje zaklapa površina odgovarajuće antene sa pravcem magnetskog polja.

Pored antena za registrovanje magnetskog polja postavlja se horizontalna pločasta antena za registraciju električnog polja. Snimanjem električnog polja se određuje polaritet oblaka, što isključuje mogućnost greške u smeru magnetskog polja.

Dispozicija antena za registraciju magnetskog i električnog polja prikazana je na slici 10.3. Pored sistema antena, uređaj sadrži odgovarajuće komponente za procesiranje induko-

Ortogonalne antene za magnetsko polje

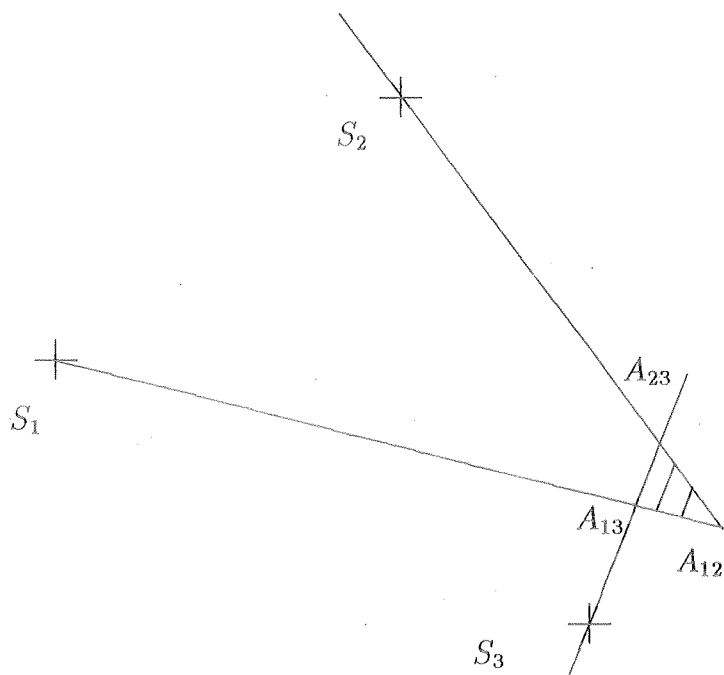


Slika 10.3: Dispozicija uređaja za lokaciju udara na bazi određivanja pravca magnetskog polja

vanih signala u antenama. Frekventni opseg antena je vrlo širok (od 1 kHz do 1 MHz), što omogućava snimanje talasnih oblika magnetskog polja [47].

Elektronski sklopovi za procesiranje signala mogu da reprodukuju talasne oblike magnetskog polja koji odgovaraju glavnim pražnjenjima prvih i uzastopnih udara.

Centralni računar za sakupljanje podataka povezan je telekomunikacionom mrežom sa svim stanicama za lokaciju mesta pražnjenja. U slučaju atmosferskog pražnjenja svaka stanica za detekciju pražnjenja šalje sakupljene podatke iz lokalne memorije u centralni kompjuter. Sve stanice moraju imati sinhronizovane časovnike da bi se mogla detektovati pojava signala koja odgovara jednom pražnjenju u više stanica. Na slici 10.4 prikazan je postupak lokacije pražnjenja. Svaka stanica može da odredi samo pravac (ali ne i udaljenost) mesta pražnjenja od mesta registracije. U preseku pravaca detektovanih iz tri stanice za lokaciju mesta udara dobija se orijentacioni položaj atmosferskog pražnjenja. Stanice S_1 i



Slika 10.4: Lokacija mesta udara na bazi određivanja pravca magnetskog polja

S_2 daju lokaciju udara u presečnoj tački A_{12} , stanice S_2 i S_3 u presečnoj tački A_{23} , a stanice S_1 i S_3 u presečnoj tački A_{13} . Time je određena trougaona površina u kojoj se može sa velikom verovatnoćom tvrditi da se dogodilo pražnjenje.

Temena vrednost struje glavnog udara atmosferskog pražnjenja se procenjuje iz izraza [47]:

$$I_{max} = \frac{2 \pi c d}{\mu_o v} B_{max} \quad (10.15)$$

gde su:

μ_o —magnetska permeabilnost vazduha,

c —brzina svetlosti,

d —udaljenost udara od stanice u kojoj se vrši merenje,

B_{max} —maksimalna registrovana magnetska indukcija usled struje pražnjenja,

v —brzina povratnog udara.

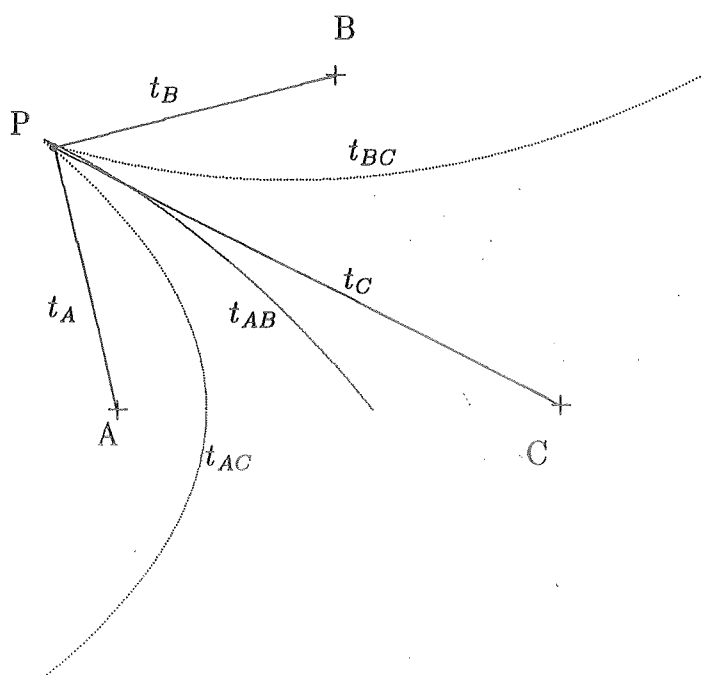
Brzina povratnog udara se kreće od $1/3$ do $1/10$ od brzine svetlosti prema [13]. Netačnosti u određivanju amplitude struje atmosferskog pražnjenja ovim putem posledica su sledećih razloga:

- nesigurnost u određivanju rastojanja d od uređaja za registraciju do mesta udara groma,
- procena brzine povratnog udara,
- približnost izraza za određivanje amplitude struje groma na osnovu amplitude magnetskog polja pomoću izraza 10.15 izvedenog teorijskim putem,
- uticaj površine tla i prepreka na prigušenje talasa magnetnog polja koje se prostire od mesta udara. Postoje velike razlike u prostiranju magnetnog polja iznad površine kopna i vode.

10.2.2 Sistem baziran na merenju vremena prostiranja talasa polja

Drugi princip određivanja mesta udara groma baziran je na merenju razlika vremena prostiranja signala od mesta udara groma do stanice za registraciju. Stanice moraju da formiraju dovoljno gustu mrežu da uvek bar dve stanice registruju jedno atmosfersko pražnjenje. Na slici 10.5 prikazane su tri stanice A , B i C , kao i mesto udara groma P . Vremena prostiranja elektromagnetnog polja od tačke P do stanica A , B i C su respektivno t_A , t_B i t_C . Iz analitičke geometrije je poznato da je razlika rastojanja proizvoljne tačke M na hiperboli od dve zadate tačke konstantna. Na osnovu ove osobine se može konstruisati hiperbola čija je osobina da je razlika vremena prostiranja $t_{AB} = t_A - t_B$ od nepoznatog mesta udara P do stanice A , odnosno stanice B konstantna. Na sličan način se može odrediti hiperbola takva da je razlika vremena prostiranja $t_{BC} = t_B - t_C$ od nepoznatog mesta udara P do stanice B , odnosno stanice C konstantna. Na isti način se konstruiše i treća hiperbola koja odgovara konstantnoj razlici vremena prostiranja $t_{AC} = t_A - t_C$ od nepoznatog mesta udara P do stanice A , odnosno stanice C . Hiperbole su na slici upravo označene kao odgovarajuće

razlike vremenskih kašnjenja koje su stanice izmerile. Ukoliko bi sistem za lokaciju atmosferskih pražnjenja radio bez greške, tada bi se mesto udara groma moglo odrediti u presečnoj tački sve tri hiperbole. Realno se sve tri hiperbole neće seći u jednoj tački, ali će obrazovati trougao čija površina predstavlja najverovatnije mesto udara groma. Kod ovog sistema za



Slika 10.5: Dobijanje mesta udara merenjem razlike vremena prostiranja

lokaciju pražnjenja osnovna teškoća je u potrebnoj preciznoj vremenskoj sinhronizaciji svih stanica, diktiranoj iz jednog centra. Snimanjem oblika električnog polja moguće je razlikovati pražnjenja između oblaka i udara u zemlju. Pražnjenja u zemlju se odlikuju vrlo naglim promenama električnog polja, kao na slici 10.6, kriva (a), dok se pražnjenja između oblaka odlikuju sporijom promenom (kriva b). Oznake na slici 10.6 imaju sledeće značenje:

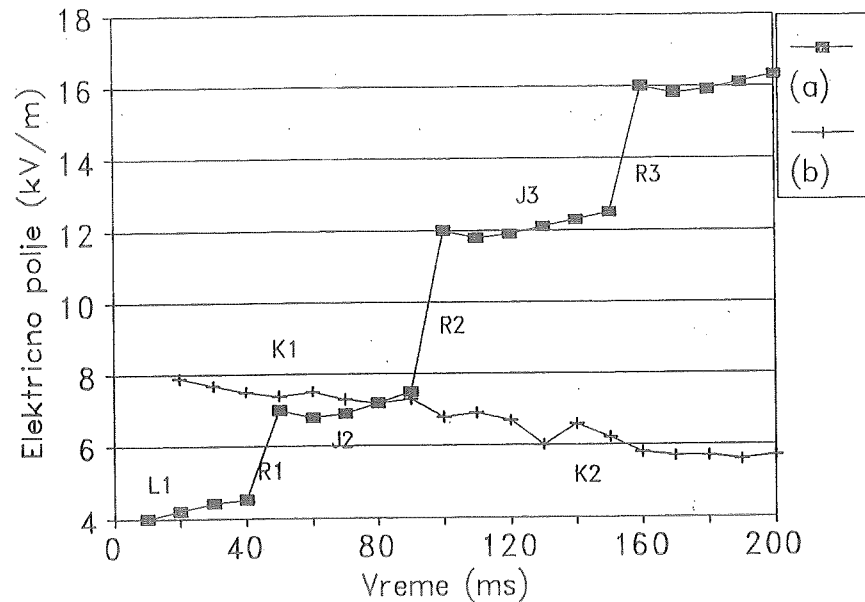
L—vremenska promena električnog polja usled razvoja skokovitog lidera,

R—nagla promena električnog polja usled glavnog pražnjenja koje vrši značajno rasterećenje oblaka,

J—spora promena električnog polja između uzastopnih pražnjenja,

K—promena električnog polja usled pražnjenja između oblaka. Rasterećenje između oblaka nema veliki uticaj na intenzitet polja na zemlji.

Na ovaj način se analizom promene polja može doći do informacije da li se radi o pražnjenju između oblaka ili prema zemlji.



Slika 10.6: Vremenska promena električnog polja pri udaru u zemlju (kriva a) i pražnjenju između oblaka (kriva b)

10.3 Registracija struje groma

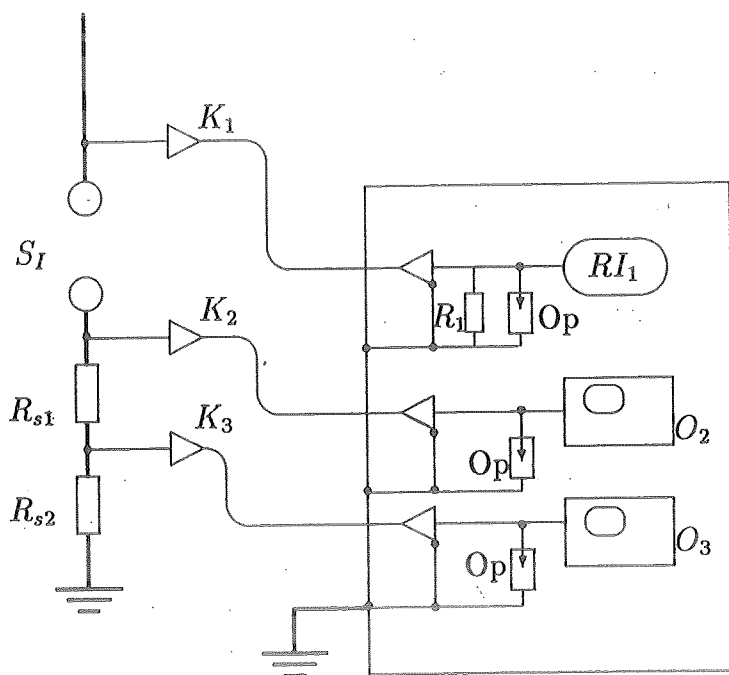
Registracija talasnog oblika atmosferskog pražnjenja se sprovodi u specijalizovanim stanicama, najčešće snabdevenim tornjevima na kojima se sa povećanom verovatnoćom mogu očekivati direktni udari groma.

Koriste se dva principa za snimanje vremenskog toka struje atmosferskog pražnjenja:

- snimanje pada napona na bezinduktivnom otporniku male otpornosti kroz koji protiče struja atmosferskog pražnjenja,
- snimanje struje na sekundaru specijalnog mernog strujnog visokofrekventnog transformatora.

10.3.1 Snimanje struje groma pomoću otpornika

Snimanje vremenskog toka struje atmosferskog pražnjenja pomoću otpornog šanta prikazano je na pojednostavljenoj šemi na slici 10.7 [49]. Pri snimanju struje pomoću šanta koristi se nekoliko mernih sistema. Na slici 10.7 prikazana su tri merna sistema. Prvi merni sistem služi za dugotrajno registrovanje malih struja korone. Pomoću koaksijalnog kabla K_1



Slika 10.7: Princip merenja struje pomoću otporničkog šanta

struja tinjavog pražnjenja se vodi na otpornik R_1 . Pad napona na otporniku R_1 se snima pomoću registrujućeg instrumenta RI_1 . Instrument za registraciju mora da bude zaštićen prenaponskom zaštitom Op .

Druga dva merna sistema započinju registraciju tek kada reaguje iskrište S_I . Posle tog trenutka je otpornik R_1 premošćen znatno manjim otporima R_{s1} i R_{s2} , sa kojih se padovi napona srazmerni struji pražnjenja vode na osciloskope O_2 i O_3 .

Osciloskop O_2 snima sledeći pad napona:

$$\Delta U_2 = (R_{s1} + R_{s2}) I_{gt}(t) \quad (10.16)$$

gde je $I_{gt}(t)$ —vremenska promena struje groma u dužem vremenskom periodu. Osciloskop O_3 snima pad napona:

$$\Delta U_3 = R_{s2} I_{g1}(t) \quad (10.17)$$

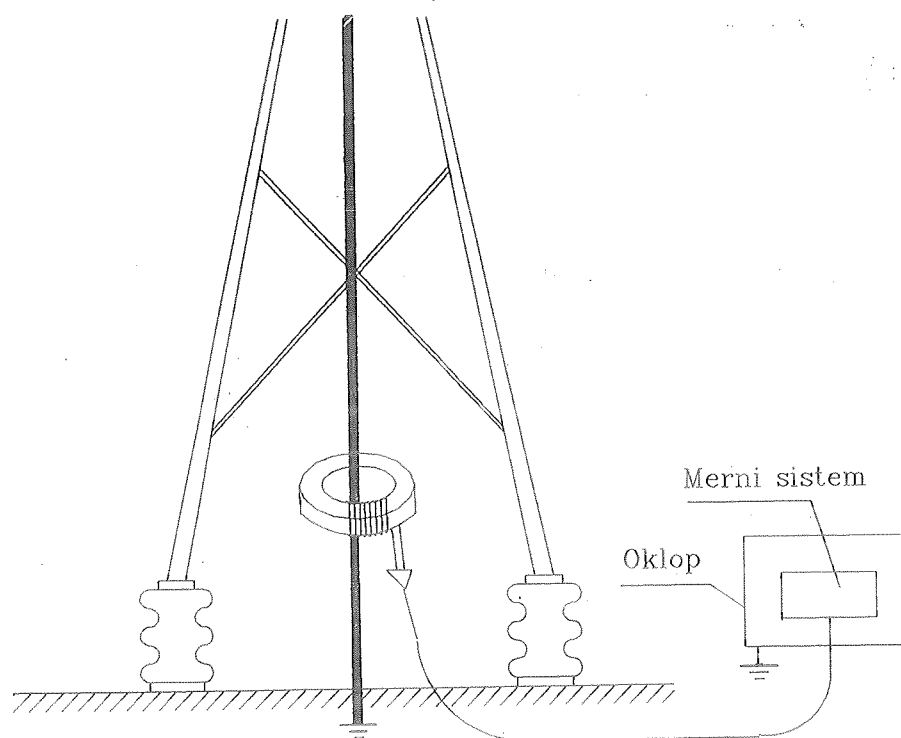
gde je $I_{g1}(t)$ —vremenska promena struje prvog glavnog pražnjenja. Osciloskop O_3 služi za merenje struje prvog udara, osciloskop O_2 služi za snimanje struje kompletnog pražnjenja koje može da ima više uzastopnih udara, kao i vremenski razmak izmedju uzastopnih udara. Prenaponska zaštita osciloscopa O_2 će ograničiti pad napona usled struje prvog glavnog pražnjenja, ali će se amplitude struja uzastopnih udara mogu tačno očitati. Ceo sistem mora da bude u metalnom uzemljenom oklopu radi eliminacije smetnji usled elektromagnetskog polja (Faradejev kavez).

Danas se koriste savremeniji uređaji za registraciju talasnog oblika struje groma od sistema opisanog u [49]. Umesto osciloskopa koristi se sistem za digitalnu akviziciju podataka.

10.3.2 Snimanje struje groma pomoću mernog transformatora

Za merenje brzopromenljivih struja velikog intenziteta koriste se specijalni merni transformatori sa jezgrom od ferita ili bez feromagnetskog jezgra (*kalem Rogovskog*) koji su u stanju da verno preslikaju struju u širokom frekventnom opsegu, čak do nekoliko MHz .

Na slici 10.8 prikazan je sistem za merenje struje atmosferskog pražnjenja u toranj [50]. Toranj je postavljen na izolacione nosače da bi merena struja proticala kroz provodnik



Slika 10.8: Merenje struje atmosferskog pražnjenja pomoću mernog transformatora

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 Faradejev kavez.

U poslednje vreme se koristi sistem za optičko prenošenje signala od uređaja za merenje struje do registracionog uređaja. Signal srazmeran struji pražnjenja (sekundarna struja strujnog transformatora ili pad napona na otporniku) pretvara se pomoću odgovarajućeg

pretvarača u optički signal, koji se prenosi do registracionog uređaja, na kome se ponovo vraća u električni signal koji se registruje. Pri tome se može izvršiti konverzija analognog električnog signala u digitalizovani signal pre ili posle prenosa signala optičkim kablom. Na ovaj način se potpuno eliminišu sve elektromagnetne smetnje pri prenosu signala od mernog do registracionog uređaja.

10.3.3 Istraživanje atmosferskih pražnjenja iniciranih raketama

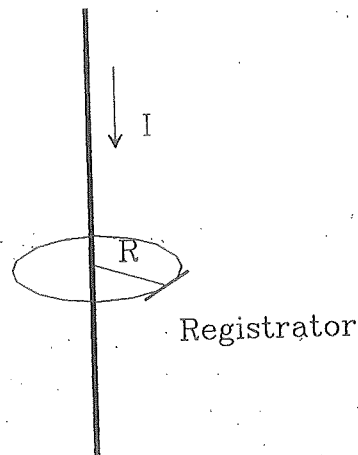
Mana stanica sa visokim tornjevima u koje se očekuju atmosferska pražnjenja je potreba za dugačkim vremenskim intervalom registrovanja da bi se sakupio dovoljno veliki statistički uzorak za određivanje parametara struje atmosferskih pražnjenja. Sva registraciona oprema mora biti u punoj pripravnosti za vreme trajanja grmljavinske aktivnosti, mada se može dogoditi da se ni jedno pražnjenje ne dogodi u merni jabol.

Da bi se povećao broj pražnjenja kroz merni uređaj u stanicama za registrovanje parametara struje atmosferskih pražnjenja, formirane su stanice sa mogućnošću veštačkog iniciranja atmosferskih pražnjenja. U tu svrhu su napravljene lansirne rampe sa kojih se mogu lansirati rakete, koje su povezane provodnikom koji se odmotava pri njihovom uzletanju. Pri približavanju grmljavinskom oblaku sa vrha rakete počinje razvoj uzlaznog lidera, koji u susretu sa oblakom inicira glavno pražnjenje. U ovakvim eksperimentalnim stanicama se vrši niz električnih, optičkih, akustičnih i drugih merenja. Pražnjenja nastala na ovaj način imaju sve karakteristike uzlaznih atmosferskih pražnjenja.

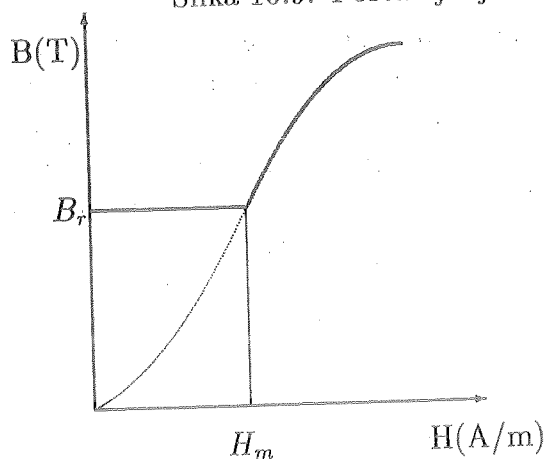
10.4 Procena amplitude struje groma

Za procenu amplitude struje groma je u jednom periodu bila veoma raširena upotreba feromagnetnih registratora. Oni su primenjivani za merenje struje kroz gromobranske spustove, na dalekovodnim stubovima i zaštitnim užadima.

Feromagnetni registrator se sastoji iz snopa tankih štapića od feromagnetnog materijala izuzetno dobrih magnetnih karakteristika, koji je smešten u staklenu cev koja se postavlja u pravcu očekivanih linija magnetnog polja struje groma. Na slici 10.9 prikazan je provodnik kroz koji očekujemo proticanje struje groma, kao i položaj feromagnetnog registratora. Posle određenog vremenskog perioda u kojem se očekuje da je bilo atmosferskih pražnjenja, feromagnetski registratori se skupljaju sa terena i određuje njihov remanentni magnetizam. Zatim se feromagnetni registratori izlažu jednosmernom magnetnom polju i ispituju pri kome polju počinje njihov remanentni magnetizam da raste. Na slici 10.10 prikazan je princip određivanja magnetnog polja pri kome remanentni magnetizam počinje da raste. Pri jednosmernom magnetskom polju koje je manje od H_m remanentni magnetizam fero-



Slika 10.9: Postavljanje feromagnetnog registratora



Slika 10.10: Određivanje magnetnog polja koje je namagnetilo feromagnetni registrator

magnetnog registratora ima konstantnu vrednost B_r . Kada se magnetsko polje poveća iznad H_m , počine porast remanentne indukcije iznad B_r , što znači da je na mestu postavljanja magnetnog registratora postojalo magnetsko polje usled struje groma intenziteta H_m .

Na osnovu Amperovog zakona može se odrediti magnetsko polje na rastojanju R od centra provodnika kroz koji protiče udarna struja amplitude I_m na sledeći način:

$$H = K \frac{I_m}{2\pi R} \quad (10.18)$$

gde je: K —empirijska konstanta koja uzima u obzir konačnu dužinu provodnika kroz koji protiče struja.

Na osnovu izmerenog jednosmernog magnetnog polja pri kome počinje da se menja

remanentna indukcija, može se odrediti kolika je bila amplituda udarne struje:

$$I_m = 2\pi R K H_m \quad (10.19)$$

Osnovni nedostaci feromagnetnih registratora koji su doveli do odustajanja od njihove masovne primene su sledeći:

- male struje pražnjenja se ne mogu registrovati,
- kod merenja struja na rešetkastim stubovima podela struja po pojedinim vertikalnim provodnicima ne mora da bude ravnomerna,
- nije moguće algebarsko sumiranje struja na stubu i zaštitnom užetu zbog faznog pomeraja,
- moguć je uticaj struja industrijske učestanosti na remanentni magnetizam,
- moguć je induktivni uticaj struje kroz zaštitno uže na regulator koji meri struju kroz stub,
- najvažniji razlog je razvoj novih tehnologija koje omogućavaju korišćenje znatno savšenijih uređaja za merenje amplitude, kao i talasnog oblika struje groma.

Mora se naglasiti da je primena feromagnetnih registratora imala veliki značaj za formiranje zakona raspodele amplitude struja atmosferskih pražnjenja u nizu zemalja, na primer [31]. Ova metoda je u jednom periodu bila u širokoj primeni i u našoj zemlji.