

Poglavlje 1

Uvod

1.1 Predmet proučavanja Tehnike visokog napona

Elektroenergetske mreže naizmeničnog napona koje se koriste za prenos i distribuciju električne energije označavaju se prema naponskom nivou oznakom koja se zove **nazivni napon mreže**. Nazivni napon trofazne elektroenergetske mreže predstavlja medjufaznu 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 medjufaznog 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 temena vrednost prelazi odgovarajuću temenu vrednost najvišeg napona opreme (definicija prema preporukama Međunarodne elektrotehničke komisije [3]).

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 dielektričkih svojstava izolacije, tako da izolacija počinje da vodi 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 izolacione osobine nakon razornog pražnjenja.

Prema upotrebi izolacija se deli na:

- **Spoljašnju izolaciju**, koju čine razmaci u vazduhu i po površini čvrste izolacije u dodiru sa vazduhom. Spoljašnja izolacija je podvrgnuta 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.

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

Dielektrička čvrstoća se definiše preko napona koji izolacija može da podnese. Prema standardima se definišu sledeći naponi koji određuju dielektričku čvrstoću 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, koji nakon pojave prenapona počinje da provodi struju odvođeći energiju prenapona, da bi po prestanku dejstva prenapona prekinuo odvodjenje energije, ponovno uspostavljajući veliku otpornost između priključaka. Pored odvodnika prenapona, primenjuju se i druga zaštitna sredstva za ograničenje prenapona.

Predmet **Tehnika visokog napona** bavi se sledećim problemima:

- Proučavanjem prenapona u električnim mrežama
- Proučavanjem mehanizma razornog pražnjenja u dielektricima
- Uredjajima za generisanje visokih napona i velikih struja različitog vremenskog oblika
- Merenjem visokih napona i velikih struja
- Postupcima za ispitivanje opreme visokim naponima i velikim strujama
- Koordinacijom izolacije

Koordinacija izolacije predstavlja izbor izolacione čvrstoće opreme u odnosu na napone koji mogu da se jave u mreži u kojoj je oprema ugradjena, uzimajući u obzir pogonske uslove i karakteristike raspoloživih zaštitnih uredjaja za zaštitu od prenapona [3]. Koordinacija izolacije predstavlja složeni postupak uskladjivanja izolacionih karakteristika pojedine opreme sa zaštitnim karakteristikama zaštitnih uredjaja, vodeći računa ne samo o tehničkim, već i o ekonomskim aspektima.

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.

Osim toga, 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. Medjutim, broj prolaznih kvarova se mora takodje ograničiti na tehnički prihvatljivu meru, što sve zajedno čini složeni postupak usaglašavanja izolacionih nivoa različite opreme u procesu koordinacije izolacije.

1.2 Prenaponi

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

- Spoljašnji ili atmosferski prenaponi
- Unutrašnji prenaponi

Spoljašnji ili atmosferski prenaponi nastaju usled atmosferskih pražnjenja (udara groma) u elemente elektroenergetskih objekata ili u njihovu blizinu. Pri direktnim atmosferskim pražnjenjima u elemente elektroenergetskog sistema se pojavljuju vrlo velike struje koje

izazivaju visoke napone na objektima, od kojih se oprema u postrojenjima mora zaštititi. U slučaju atmosferskog pražnjenja u blizinu elektroenergetskog objekta dolazi do indukovanja prenapona, koji mogu biti opasni u mrežama srednjih i niskih napona. Visina atmosferskih prenapona zavisi od energije atmosferskog pražnjenja, mada se primenom odgovarajućih zaštitnih mera ograničava na niže vrednosti. Atmosferski prenaponi su aperiodičnog oblika na mestu nastanka, mada mogu pri prostiranju da izazovu oscilacije na delovima mreže. U frekvencijskom spektru naponskog talasa nastalog atmosferskim pražnjenjem pojavljuju se najviše učestanosti od 1 MHz do 5 MHz koje odgovaraju početnom periodu (čelu talasa).

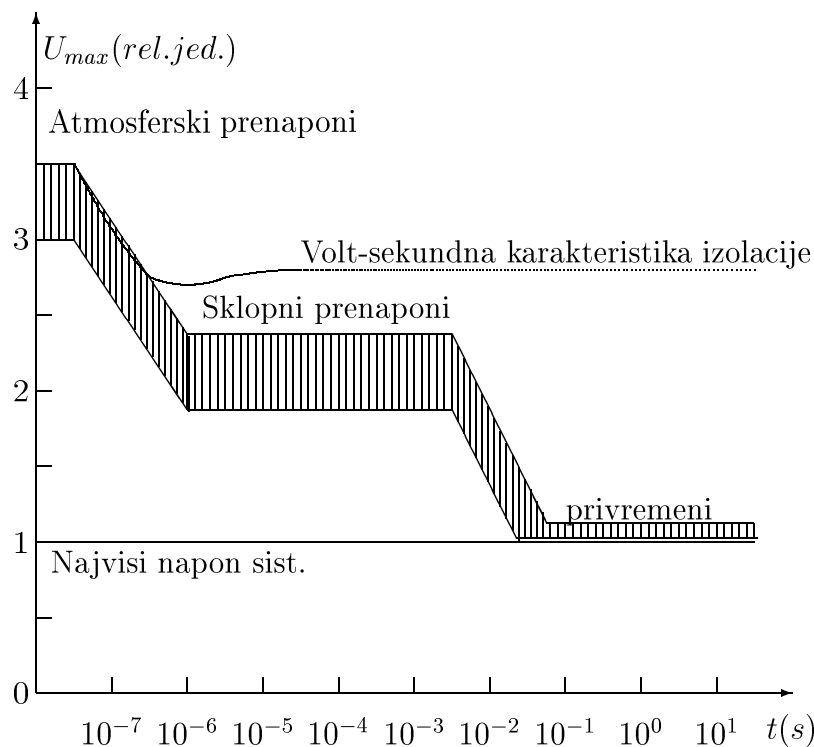
Unutrašnji prenaponi nastaju usled poremećaja u samom sistemu. Dele se prema uzroku na sledeće grupe:

1. **Sklopni ili komutacioni prenaponi** koji nastaju pri sklopnim operacijama (uključenjima ili isključenjima) delova mreže. Sklopni prenaponi traju od delova periode industrijske učestanosti do nekoliko perioda industrijske učestanosti. Njihova učestanost varira od nekoliko stotina Hz do nekoliko desetina kHz . Poseban tip ultrabrzih sklopnih prenapona nastaje pri operacijama rastavljačima, 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 [4].

2. **Privremeni (povremeni) prenaponi** imaju duže trajanje od atmosferskih i sklopnih prenapona. Njihovo trajanje je od nekoliko perioda napona industrijske učestanosti do nekoliko sati. Mogu da budu industrijske učestanosti, kao i učestanosti koja je viša ili niža od industrijske. 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 kao što su odvodnici prenapona ili naponski merni transformatori. 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. Zbog veoma širokog opsega u kome se kreće induktivnost grane magnećenja, uslovi za nastanak ferorezonanse mogu vrlo lako da budu ispunjeni. Ferorezonansa može da nastupi na osnovnoj učestanosti ili na nekoj višoj ili nižoj harmonijskoj učestanosti.



Slika 1.1: Procena amplituda i vremena trajanja pojedinih tipova prenapona

- Prenapone pri naglom rasterećenju.

Na slici 1.1 simbolično su prikazane amplitude i trajanja pojedinih tipova prenapona [80]. 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. U mrežama najviših napona, gde su izolacioni vazdušni razmaci dugački, preskočni napon pokazuje najnižu vrednost pri trajanju prenapona koji odgovara sklopnim prenaponima. Kod prenapona dužeg trajanja dolazi do izvesnog povišenja preskočnog napona, dok kod atmosferskih prenapona kratkog trajanja dolazi do izrazitog povišenja preskočnog napona. Napon na ordinatnoj osi dat je u relativnim jedinicama (*rel.jed.*) u odnosu na najviši napon mreže. Na slici su samo grubo procenjeni opsezi u kojima se pojedini tipovi prenapona mogu pojaviti.

1.3 Standardni stupnjevi izolacije

Propisi [96] definišu dva područja naponskih nivoa za koje se definišu podnosivi naponi izolacije. Područje I se odnosi najviše napone opreme do 245 kV, a područje II za najviše napone iznad 245 kV. Područje I se uglavnom odnosi na distributivne mreže, a područje II na prenosne mreže. U području I se definiše izolacioni nivo preko podnosivog napona industrijske učestanosti u trajanju od 1 min i preko podnosivog atmosferskog udarnog napona. U području II se definiše izolacioni nivo preko podnosivog sklopnog udarnog napona i preko podnosivog atmosferskog udarnog napona. U tablici 1.1 prikazani su standardni podnosivi naponi područja I.

Oznake u tabeli 1.1 imaju sledeće značenje:

- NNM - Nazivni napon mreže je dogovorena vrednost napona kojom se mreža označava.
- NNO - Najviši napon opreme izražen kao efektivna vrednost napona u kV,
- SPKNIF - Standardni podnosivi kratkotrajni napon industrijske frekvencije predstavlja efektivnu vrednost napona industrijske učestanosti u kV koji se primenjuje pri ispitivanju izolaciju u trajanju od 1 min i koju izolacija mora da podnese,
- SPAUN - Standardi podnosivi atmosferski udarni napon predstavlja temenu vrednost naponskog talasa standardnog oblika u kV, koju ispitivana izolacija mora da izdrži.

U tablici 1.2 dati su standardni podnosivi naponi područja II:

Oznake u tablici 1.2 imaju isto značenje kao i u tablici 1.1, osim sledećih oznaka pojedinih standardnih podnosivih sklopnih napona kojima se ispituju pojedini tipovi izolacija:

- SPSUN - Standardni sklopni podnosivi udarni napon je temena vrednost sklopnog udarnog naponskog talasa izražena u kV koji mora izolacija opreme da izdrži,
- PI-*Podužna izolacija* predstavlja izolaciju između otvorenih kontakata sklopnih aparata. Vrednosti u tablici odnose se na ispitni sklopni udarni napon koji ta izolacija mora da podnese.
- FZ - *Faza prema zemlji* predstavlja izolaciju između provodnika pod faznim naponom i uzemljenih delova koja se ispituje podnosivim sklopnim udarnim naponom standardnog oblika.
- FF - *Faza prema fazi* predstavlja međufaznu izolaciju koja se ispituje sklopnim udarnim naponom standardnog oblika. Napon se izražava u relativnim jedinicama u odnosu na podnosivi udarni sklopni napon prema zemlji.

Važno je napomenuti da postoje u I koloni u kojoj su uneti nazivni naponi mreže prazna polja. Ona se odnose na nazivne napone koji se ne koriste standardno u našoj zemlji. Osim toga, u nekim zemljama se za vrednosti nazivnih napona mreža koje se razlikuju od onih u našoj zemlji definišu standardne vrednosti podnosivih napona iz predhodnih tablica. Na primer, u nekim zemljama umesto 10 kV koristi se nazivni napon 11 kV, umesto 20 kV koristi se 22 kV, a umesto 35 kV koristi se 33 kV. Medjutim, podnosivi naponi u svim ovim slučajevima ostaju nepromenjeni.

NNM	NNO	SPKNIF	SPAUN
3	3,6	10	20
			40
6	7,2	20	40
			60
10	12	28	60
			75
			95
	17,5	38	75
			95
20	24	50	95
			125
			145
35	36	70	145
			170
	52	95	250
	72,5	140	325
110	123	185	450
		230	550
	145	185	450
		230	550
		275	650
	170	230	550
		275	650
		325	750
220	245	275	650
		325	750
		360	850
		395	950
		460	1050

Tabela 1.1: Stepen izolacije mreža područja I

NNM	NNO	SPSUN			SPAUN
		PI	FZ	FF	
	300	750	750	1.5	850
					950
		750	850	1.5	950
					1050
	362	850	850	1.5	950
					1050
		850	950	1.5	1050
					1175
400	420	850	850	1.6	1050
					1175
		950	950	1.5	1175
					1300
		950	1050	1.5	1300
					1425
	525	950	950	1.7	1175
					1300
		950	1050	1.6	1300
					1425
		950	1175	1.5	1425
					1550
	765	1175	1300	1.7	1675
					1800
		1175	1425	1.7	1800
					1950
		1175	1550	1.6	1950
					2100

Tabela 1.2: Stepen izolacije mreža područja II

Literatura

- [1] N.Fujimoto, S.Boggs: Characteristics of GIS Disconnecter-induced Short Risetime Transients Incident on Externally Connected Power System Components, *IEEE Transaction on Power Delivery*, **Vol.3**, No.3, July 1988, pp. 961–970.
- [2] J.Meppelink, K.Diederich: Very Fast Transients in GIS, *IEEE Transaction on Power Delivery*, **Vol.4**, No.1, January 1989, pp. 223–233.
- [3] C.B.Moor,Vonnegut: The Thoundercloud; *iz knjige "Lightning"*, deo II, pod redakcijom R.H.Golde-a,*Academic Press, London, New York, San Francisko* 1977.
- [4] L.J.Battan: Cloud Physics and Cloud Seeding; *Anchor Books, Boubleday & Company, Garden City, New York* 1962.
- [5] L. Thione: The dielectric Strength of Large Air Insulation; *iz knjige Surges in High–Voltage Networks*, pod redakcijom Klaus Ragaller-a, *Brown Boverly & Company Ltd, Plenum Press, New York and London* 1980.
- [6] J.A.Chalmers: Atmosferic Electricity; *Pergamon Press, London, Paris, New York*, 1957.
- [7] H.G.Houghton: Atmosferic Explorations; *The Technology Press of Massachusetts Institute of Techonology and John Wiley & Sons, New York, Chapman Hall Ltd., London* 1958.
- [8] Surge Protection of Power Systems, Chapter One, Lightning Phenomena; *Westinghouse Electric Corporation, Power Systems*, Sept 1971.
- [9] K.Berger: Lightning Surges;*iz knjige Surges in High–Voltage Networks*, pod redakcijom Klaus Ragaller-a, *Brown Boverly & Company LTD, Plenum Press, New York and London* 1980.
- [10] Prenos i distribucija električne energije; *Gradjevinska knjiga*, Beograd 1964. Prevod knjige sa engleskog, izdanje *Westinghouse Electric Corporation*
- [11] B.F.Schonland: Lightning Discharge; *iz knjige Handbuch der Physik*, redakcija S.Flügge, volume XXII, Gas Discharges II; *Springer–Ferlag, Berlin - Göttingen, Heidelberg*, 1956.

- [12] K.Stepančuk, N.Tinjakov: Tehnika visokog napona; *Viša škola, Minsk* 1982. (Knjiga na ruskom)
- [13] K.Berger: The Earth Flash; *iz knjige "Lightning"* pod redakcijom R.H.Golde-a, *Academic Press, London, New York, San Francisko* 1977.
- [14] K. Berger, R. Anderson, H. Kröninger: Parameters of Lightning Flashes; *Electra*, No 41, Paris, July 1975, pp. 23–33.
- [15] R.Anderson, A.Errikson: A Summary of Lightning Parameters for Engineering Applications; *CIGRE, referat 33.06*, Paris, 1980.
- [16] Working group IEEE: A Simplified Method for Estimating Lightning Performance of Transmission Lines; *IEEE Tran. on Power App. and Systems*, Vol.PAS–104, No.4, April 1985, pp. 919–927.
- [17] Working group report: Calculating the lightning performance of distribution lines, *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 5, No. 3, July 1990, pp. 1408-1417
- [18] M.S.Savić: Atmosferska pražnjenja mimo zaštitnog užeta; **VI Savetovanje o geoelekticitetu i gromobranima**, Sarajevo 1986.
- [19] B. Gudžulić, M.S.Savić: Uporedjivanje različitih metoda za procenu rizika kvara dalekovoda od atmosferskih pražnjenja, **XVIII Savetovanje JUKO CIGRE**, Budva, april 1987. Ref.33.03
- [20] O. Lalić, M.S.Savić: Uticaj korone na visinu atmosferskih prenapona na izolatorskim lancima dalekovoda, **XVIII Savetovanje JUKO CIGRE**, Budva, april 1987. Ref.33.04.
- [21] A. Mijatović, S.Stojanović, M.S.Savić, D.Hrvić: Izolacioni nivo dalekovoda 400 kV u svetlu statističkih podataka o ispadima dalekovoda usled atmosferskih pražnjenja, **XVIII Savetovanje JUKO CIGRE**, Budva, april 1987. Ref.33.05.
- [22] Z.Zdravković, P.Vukelja, M.Savić, Redukcija gromobranske zaštite nadzemnih vodova visokog napona, **XIX Savetovanje JUKO CIGRE**, Bled 1989 god, ref.33.02
- [23] J.P. Bickford, M.S.Savić: Some aspects of system modeling for the estimation of lightning performance of high voltage substations, **IEE Proc. Vol. 131, Pt.C**, No.5, September 1984, pp. 204–209.
- [24] J.P.Bickford, M.Doone, W.M.Ritchie, M.S.Savić, T.A.Shami, C.T.Smith: Dynamic model of a surge arrester for computer calculation of lightning performance of substations, **IEE Proc. Vol.131, Pt.C**, No.7, November 1984, pp. 357–362.
- [25] M.S.Savić: Sensitivity analysis of lightning performance calculations for transmission lines and substations, **IEE Proceedings Vol. 132, Pt. C**, No.4, July 1985, pp. 217–223.

- [26] M.S. Savić: Estimation of the risk of the transformer insulation failure in the study of the lightning overvoltages in the SF6 insulated substations, **International Conference on Insulation Problems in Power Transformers**, Lodz, September 1984.
- [27] Č. Vujović, Lj.Milanković, M.Savić: Probability of building shielding by a vertical rod. **19 International Conference on Lightning Protection**, Graz 1988.
- [28] M.S.Savić, Raka Levi: Practical application of an expert system for overhead lines and substations lightning performance estimation, **Doble conference**, Boston 1991.
- [29] M.Darveniza, F. Popolansky, E.Whitehead: Lightning Protection of UHV Transmission Lines; *Electra*, No 41, Paris, July 1975, pp. 39–66.
- [30] G.Brown: Joint Frequency Distribution of Stroke Current Rate of Rise and Crest Magnitude; *Tran. on Power App. and Systems*, **Vol.PAS–97**, No.1, January 1978, pp. 53–58.
- [31] F.Popolansky: Frequency Distribution of Amplitudes of Lightning Currents; *Electra*, No 22, Paris ,Maj 1972, pp. 139–147.
- [32] A.Dolginov: Tehnika visokog napona u elektroenergetici; *Energija, Moskva*, 1968. (Knjiga na ruskom)
- [33] G.Clark, D.Cook: A Basic Course in Statistics: *izdavač Edvard Arnold, London*, 1978.
- [34] S.Plazinić: Meteorološki parametri za dimenzionisanje dalekovoda; *Inženjering – Prenos el. energije*,(izdanje Energoinvesta),br.22,1978.
- [35] R.B.Anderson: Lightning performance criteria for electric power systems; *IEEE Proceedings*,**Vol 132**, Pt.C, Br.6, Novembar 1985.
- [36] D.Razevig: Tehnika visokog napona;*Energija, Moskva* 1976. (Knjiga na ruskom)
- [37] M.Kostjenko: Tehnika visokog napona;*Viša Škola, Moskva*, 1973. (Knjiga na ruskom)
- [38] V.Bazutkin, V.Larionov, Lj.Pintalj: Tehnika visokog napona -izolacija i prenaponi u elektroenergetskim sistemima; *Energoatomizdat, Moskva* 1986. (Knjiga na ruskom).
- [39] M.Darveniza, M.Sargent, G.Limbourn, L.Choy, R.Caldwell, J.Currie, B.Holocomble, R.Stillman, R.Frowd: Modelling for Lightning Performance Calculations; *IEEE Trans. on Power App. and Systems*,**Vol. PAS-98**, No.6, Nov/Dec 1979, pp. 1900–1908.
- [40] S.Prentice, D.Mackerras: Recording range of a Lightning – flash counter; *Proc. IEE*, **Vol.116**, No.2, Feb.1969, pp. 294–302.
- [41] S.Prentice, D.Mackerras, R.Tolmie; Development and field testing of a vertical –aerial lightning –flash counter; *Proc. IEE*, **Vol.122**, No.5, May.1975, pp. 487–491.

- [42] C.Bouquegnean, A.Blave, P.Depasse; Lightning Flash Density in Belgium – Calibration of CIGRE Lightning Counters; Effective Ranges, Locus of the striking Point; *19 International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, Graz, Austrija 1988, No.1.8.
- [43] R.Anderson, H.Van Niekerk, H.Kroninger, D.Meal: Development and field evaluation of lightning earth-flash counter; *Proc. IEE*, **Vol.131**, No.2, March 1984, pp. 118–124.
- [44] R.Anderson, H.Van Niekerk, S.Prentice, D.Mackerras: Improved Lightning–Flash Counter; *CIGRE Electra*, October 1979.
- [45] A.J.Erikson; The Incidence of Lightning Strikes to Power Lines; *IEEE Trans. on Power Delivery*, **Vol PWRD-2**, No.3, July 1987, pp. 859–867.
- [46] Th. Schüte, S. Israelsson: Die Qualitat von Blitzplilungen; *19.International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, Graz, Austria 1988, Paper No. 1.2.
- [47] R.Orville, H.Songster: The East Coast Lightning Detection Network; *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. PWRD-2, No.3, July 1987, pp. 899–907.
- [48] M.J.Janssen: The New Lightning Detection System in the Netherlands; *19.International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, Graz, Austria 1988, Paper No. 1.9.
- [49] K.Berger, E.Vogelsanger: Messungen und Resultate der Blitzforschung der Jahre 1955...1963 auf dem Monte San Salvatore; *Bull SEV 56* , No.1,1965
- [50] H.J.Geldenhugs, A.J.Eriksson, G.W.Bourn: Fifteen Years Data of Lightning Current Measurments on a 60 m Mast; *19.International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, Graz, Austria 1988, Paper No. 1.7.
- [51] A.P.Deursen, M.A.Honten, E.W.Engeln,P.F.Gulickx, P.C.Loan: Measurment of Currents arround and in large Grounded Structures; *19.International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, Graz, Austria 1988, Paper No. 1.9.
- [52] R.H.Golde: Lightning Current and Related Parameters; iz knjige *Lightning-Physic of Lightning*, pod redakcijom R.H.Golde-a, *Academic Press London, New York, San-Francisko* 1977, Chapter 9.
- [53] L.V.Bewely: Traveling Waves on Transmission Systems; *John Wiley & Sons*, New York, *Chapman & Hall*, London 1951.
- [54] M.S.Savić: Doprinis bržem digitalnom proračunu komutacionih prenapona metodom ekvivalentnih vodova, **Publikacije Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, Serija Elektroenergetika**, br.83, 1981 god, str. 9–20.
- [55] A.Ametani: Modified travelling-wave techniques to solve electrical transients on lumped and distributed constant circuits; *Proc.IEE*, **Vol120(4)**,1973, pp.497–503.

- [56] Lj. Milanković: Tehnika visokog napona; *izdanje Elektrotehničkog fakulteta univerziteta u Beogradu*, Beograd 1977.
- [57] M.Levinštajn; Operacioni račun u zadacima elektrotehnike, *Energija, Lenjingradsko odeljenje*, 1972
- [58] W.Chisholm, Y.Chow, Srivstava: Lightning surge response of transmission towers, *IEEE Trans. on Power App. and Systems*, **Vol. PAS-102**, No.9, Sept.1983.
- [59] C.Menemenlis, Zhu Tong Chun: Wave propagation on nonuniform lines, *IEEE Trans. on Power App. and Systems*, **Vol. PAS-101**, No.4, April 1982.
- [60] T.Hara, O.Yamamoto, M.Hayashi, S.Matsumura: Empirical Formulas of Surge Impedance for Transmission Tower, *19 International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, Interlaken, Switzerland 1990, ref. br.3.7
- [61] Guidelines for Representation of Network Elements when Calculating Transients, *CI-GRE Working Group 33.02 (Internal Overvoltages)*, Paris 1990.
- [62] W.Chisholm, W.Janischewskyj: Lightning Surge Responce of Ground Electrodes, *IEEE Trans. on Power Delivery*, **Vol 4**, No.2, April 1989.
- [63] Laboratorijska ispitivanja izolacije vodova 400kV, *Elaborat br.1689*, Energoinvest - IRCE, Institut za Energetiku, Sarajevo 1987 god.
- [64] M.Darveniza, A.Vlastos: The Generalized Integration Method for Predicting Impulse Volt-Time Characteristics for non-Standard Wave Shapes - a Theoretical Basis, *IEEE Transaction on Electrical Insulation*, **Vol.23**, No.3, June 1988.
- [65] H.Dommel: Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single- and Multiphase Networks, *IEEE Trans. on Power App. and Systems*, **Vol. PAS-90**, 1971, p.p2561-2567.
- [66] A.Greenwood: Electrical Transients in Power Systems, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore 1991.
- [67] M.Darveniza, B.C.Holcombe, R.Stilman: An Improved Method for Calculating the Impulse Strength of Wood Porcelan Insulation, *IEEE Trans. on Power App. and Systems*, **Vol. PAS-98**, No.6, Nov/Dec 1979.
- [68] M.Darveniza, G.Limbourn, S.Prentice: Line Design and Electrical Properties of Wood, *IEEE Trans. on Power App. and Systems*, **Vol. PAS-86**, No.11, November 1967.
- [69] P.Chowduri, E.T.Gross: Voltages Surges Induced on Overhead Line by Lightning Strokes, *Proc. IEE*, **Vol.114**, No.12, Dec.1967.
- [70] P.Chowduri, E.T.Gross: Voltages Induced on Overhead Multiconductor Line by Lightning Strokes, *Proc. IEE*, **Vol.116**, No.4, April.1969, pp. 561-565.

- [71] V.T.Morgan: Voltage Surges Induced on Overhead Lines by Lightning Surges –some comments about the paper [69], *Proc. IEE*, **Vol.119**, No.7, April.1972.
- [72] M.K.Haldar, A.C.Liew: Alternative Solution for the Chowduri-Gross model of Lightning-induced Voltages on Power Lines, *Proc. IEE*, **Vol.135**, Pt.C, No.4, April.1988, pp. 324–329.
- [73] B.Stein, M.T.Correia de Barros: A Line Model for the Calculation of Lightning Induced Voltages, Power System Computer Conference, pp. 402–406.
- [74] S. Yokohama, K.Miyane, H.Mitani, A.Takanishi: Simultaneous Measurement of Lightning Induced Voltages; *IEEE Trans. on PAS*, **Vol.PAS-103**, No.8, August 1983, pp. 2420–2428.
- [75] N.Katić, M.S.Savić: Odredjivanje i smanjivanje broja ispada nadzemnih distributivnih 20 kV vodova usled atmosferskih pražnjenja, **Elektroprivreda**, br.5-6, 1992 god.
- [76] S. Rusck: Protection of Distribution Lines, iz knjige Lightning, Volume 2, Lightning Protection, pod redakcijom R.H.Golde-a, glava 23, pp.749–770.
- [77] Lj. Milanković, M.S.Savić: Izbor odvodnika prenapona za zaštitu kablovskih vodova vodeći računa o statističkim osobinama struja atmosferskih pražnjenja, **VI simpozijum o energetske kablovima**, Vrnjačka Banja, Maj 1978.
- [78] M.S.Savić: Prenaponska zaštita oklopljenih SF6 gasom izolovanih postrojenja koja se napajaju visokonaponskim kablovima, **VIII simpozijum o energetske kablovima**, Donji Milanovac 1982 god, ref.br.4.05.
- [79] D. Ćorović, Z. Antić, M.S.Savić: Prenaponska zaštita sredjenaponskih postrojenja sa kablovskim dovodom sa osvrtom na mogućnosti zaštite odvodnikom prenapona proizvodnje "Minel", **Savetovanje "Energetika u uslovima stabilizacije"**, Biograd n/m , april 1984.
- [80] Polovoi, Mihailov, Halilov: Prenaponi na opremi visokog i ultravisokog napona; *Energija*, Lenjingradsko odeljenje, 1975. (Knjiga na ruskom).
- [81] H.R.Amstrong, E.Whitehead: Field and Analytical Studies of Transmission Line Shielding; *IEEE Trans.on Power Apparatus and systems*, **VOL.PAS-87**, No.1, January 1968, pp. 270–281.
- [82] G.W.Brown, E.Whitehead: Field and Analytical Studies of Transmission Line Shielding: Part II; *IEEE Trans.on Power Apparatus and systems*, **VOL.PAS-87**, No.1, January 1968, pp. 617–626.
- [83] A.J.Eriksson: An Improved Electrogeometric Model for Transmission Line Shielding Analysis; *IEEE Transaction on Power Delivery*, **Vol.PWRD-2**, No.3, July 1987, pp. 871–886.

- [84] L.Dellera, A.Pigini, L.Thione, E.Garbagnati, W.Seravelli: Some Aspects of the Evaluation of the Lightning Performance of Electrical Systems; *CIGRE, ref. 33.13*, Paris, 1980.
- [85] J.Nahman: Metode analize pouzdanosti elektroenergetskih sistema, *Naučna knjiga*, Beograd 1992.
- [86] U Burger: Arresters with Spark Gaps; *iz knjige Surges in High-Voltage Networks*, pod redakcijom Klaus Ragaller-a, *Brown Boveri & Company Ltd, Plenum Press, New York and London* 1980.
- [87] International Electrotechnical Commission, IEC Recommendation, Publication 99-1, Second Edition 1970, Geneve, Suisse.
- [88] International Electrotechnical Commission, IEC Recommendation, Technical Committee No.37:Surge Arresters, Draft of Proposals from Working Group 4, Metal Oxide Surge Arresters for AC Systems, September 1981.
- [89] Primena ZnO odvodnika prenapona u elektroenergetskim sistemima; Zajednica Jugoslovenske Elektroprivrede, Služba za prenos električne energije, Studiju izradio Elektroištitut Milan Vidmar, Ljubljana 1989 god.
- [90] ASEA: Zinc oxide (ZnO) arresters type XAP, Application guide; Information LB 220-1-1E, Edition 3 1982-01.
- [91] International Electrotechnical Commission, IEC Recommendation, Publication 99-1, 1991, Geneve, Suisse.
- [92] International Electrotechnical Commission, IEC Recommendation, Publication 60, 1962, Geneve, Suisse.
- [93] Nils Hylten-Cavallius: High Voltage Laboratory Planning, Published by ASEA, Haefely, High Voltage Test Systems, 1986, Basel, Switzerland.
- [94] British Standard Guide for Insulation Co-ordination. Part 2, Application guide, 1979.
- [95] JUS N.B4.801 od 1995, eqv IEC 1024-1-1:1993, Gromobranske instalacije, Odredjivanje nivoa zaštite.
- [96] International Electrotechnical Commission, IEC Recommendation, Publication 71-1, 1993-12, Seventh edition, Definitions, Principles and rules, Geneve, Suisse.
- [97] International Electrotechnical Commission, IEC Recommendation, Publication 71-2, 1976, Guide for Insulation Coordination, Geneve, Suisse.
- [98] JUS N.B4.800 od 1995, eqv IEC 1024-1:1990, Gromobranske instalacije, Opšti uslovi.
- [99] T.Horvath: Computing of Lightning Protection; Research Studies Press, England 1991.

- [100] R. Golde: *The Lightning Conductor; iz knjige "Lightning" pod redakcijom R.H. Golde-a, Academic Press, London, New York, San Francisko 1977.*
- [101] M.S. Savić: The minimum distance between low-voltage installation and Lightning installation computation, **XVI International Lightning Protection Conference**, Gdansk 1978, paper. 2-03.
- [102] M. Ishii, T. Kawamura, T. Kouno, E. Ohsaki, K. Murotani, T. Higuchi, "Multistory Transmission Tower Model for Lightning Surge Analysis", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.6, No.3, July 1991, pp. 1327–1335.
- [103] P. J. Robinson, A. Edlinger, D. W. Schlicht, E. Souza D'Avila Melo, V. F. Salatko, "Lightning Overvoltage Protection of the 550 kV Itaipu SF6 Gas Insulated Substation", *CIGRE Session 1982*, Paper 33-11.
- [104] J. Ozawa, E. Ohsaki, M. Ishii, S. Kojima, H. Ishihara, T. Konno, T. Kawamura, "Lightning Surge Analysis in A Multi-Conductor System for Substation Insulation Design", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol.PAS-104, No.8, Aug. 1985, pp. 2244–2254.
- [105] K. H. Weck, "Principles and Procedures of Insulation Co-ordination", *Proc.IEE*, Vol.134, Pt.C, No.2, March 1987, pp.145–152.
- [106] A. J. Eriksson, K. H. Weck, "Simplified Procedures for Determining Representative Substation Impinging Lightning Overvoltages", *CIGRE Session 1988*, Paper 33-16.
- [107] G. Ecklin, P. Robinson, D. Schlicht, "Lightning Overvoltage Protection of the Drakensberg 420 kV SF6 Gas-Insulated Substation", *Brown Boveri Rev.* 6-82, pp. 188–195.
- [108] J. R. Simms, "Overvoltage Protection of Gas-Insulated Substations", *GEC Review*, Vol.4, No.2, 1988, pp. 100–108.
- [109] H. Elahi, M. Sublich, M. E. Anderson, B. D. Nelson, "Lightning Overvoltage Protection of the Paddock 362-145 kV Gas-Insulated Substation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.5, No.1, Jan. 1990, pp. 144–150.
- [110] Z. Stojković, M. S. Savić, "Primena statističkog postupka proračuna atmosferskih prenapona pri projektovanju visokonaponskih postrojenja", *XIX Savetovanje JUKO CIGRE*, Ref. 33.04, Bled, 1989.
- [111] H. Rohsler, A. Strnad, "Requirements for Earthing System with Respect to Backflash Frequency", *CIGRE Session 1988*, Paper 33-10.
- [112] A. P. Meliopoulos, M. G. Moharam, "Transient Analysis of Grounding Systems", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol.PAS-102, No.2, Feb 1983, pp. 389–399.

- [113] G. Brauner, "Das Verhalten von metallgekapselten und Freiluft-Schaltanlagen bei Naheinschlagen", *Elektrotechn. Z.*, A97, No.12, 1976, pp. 748–752.
- [114] R. Verma, D. Mukhedkar, "Fundamental Considerations and Impulse Impedance of Grounding Grids", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol.PAS-100, No.3, March 1981, pp. 1023–1030.
- [115] B. R. Gupta, V. K. Singh, "Inductance of Rectangular Grids", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.7, No.3, July 1992, pp. 1218–1222.
- [116] E. J. Rogers, Discussion of paper F 79 201-5 "Impulse Impedance of Buried Ground Wire", by R. Verma and D. Mukhedkar, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol.PAS-99, No.5, Sep. / Oct. 1980, pp. 2006–2007.
- [117] Z. Stojković, "Modelovanje impulsne impedanse uzemljivača u analizi zaštite razvodnih postrojenja od atmosferskih prenapona", *Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet, Beograd*, 1995.
- [118] A. D. Papalexopoulos, A. P. Meliopoulos, "Frequency Dependent Characteristics of Grounding Systems", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.PWRD-2, No.4, Oct. 1987, pp. 1073–1081.
- [119] E. Ja Rjabkova, "Uzemljivači u postrojenjima visokog napona", *Energija, Moskva*, 1978, (na ruskom).
- [120] B. Reljin, "Teorija električnih kola I - Rešavanje kola u vremenskom domenu", *Nauka, Beograd*, 1990.
- [121] Lj. Milanković, M. S. Savić, "Proračun prenapona u elektroenergetskim sistemima", *Beograd*, 1978.
- [122] M. S. Savić, "SURGE", *Transient Overvoltage Estimation, Version 3.5, USER MANUAL, Avg.* 1995.
- [123] M. S. Savić, "Engineering Method for High-Voltage Substations Lightning Performance Estimation", *Proc.IEE*, Vol.136, Pt.C, No.4, July 1989, pp. 222–229.
- [124] M. S. Savić, Z. Stojković, "An Expert System for High-Voltage Substation Lightning Performance Estimation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.7, No.3, July 1992, pp. 1223–1231.
- [125] R. Minovski, M. S. Savić, Z. Stojković, D. Spasić, "Atmosferski prenaponi na 400 kV mreži Jugoslavije", *Simpozijum o prenaponima i izolaciji 400 kV mreže Jugoslavije, Ref.5, Dubrovnik*, 1988.
- [126] Lj. Milanković, M. S. Savić, "Uticao zakona raspodele parametara groma na rizik preskoka u elektroenergetskim postrojenjima", *XVI Savetovanje JUKO CIGRE, Ref. 33.01, Opatija*, 1983.

- [127] Lj. Milanković, M. S. Savić, "Proračun rizika kvara usled atmosferskog pražnjenja kod oklopljenih SF6 gasom izolovanih postrojenja sa kablovskim prilazom", XVI Savetovanje JUKO CIGRE, Ref. 33.02, Opatija, 1983.
- [128] U. Burger, "Zum Problem des Überspannungsschutzes von gekapselten, SF6 isolierten Hochspannungsalagen und Rohrgaskabeln", Elektrizitätsverwertung, No.10, 1976, 51, pp. 285–291.
- [129] K. Olsen, D. Lange Andersen, Th. Ulriksen, J. Huse, A. Schei, "Lightning Overvoltages in SF6 Installations Risk of Failure Analysis", CIGRE Session, Paris 1978, Paper 33-01.
- [130] W. Boeck, F. Grogger, G. F. Luxa, J. Gorablenkow, K. H. Weck, W. Stolz, "Insulation Co-ordination for SF6 Insulated Substations", CIGRE Session, Paris, 1984, paper 33-09.
- [131] Metalom oklopljena postrojenja sa gasom SF6 , Energoinvest, prospekt.
- [132] Tipizacija TS 400/110 kV/kV I deo - analize, knjiga I.1 - Analize jednopolne šeme, Energoprojekt - Beograd, Elektroistok - Beograd, Elektroprenos - Novi Sad, juli 1986.
- [133] Tipizacija TS 400/110 kV/kV. I deo - analize, knjiga I.2 - Analiza dispozicionih rešenja, Energoprojekt - Beograd, Elektroistok - Beograd, Elektroprenos - Novi Sad, juli 1986.
- [134] W. Boeck, K. Pettersson, "Caracteristiques specifiques et fondamentales des postes sous enceinte metallique pour la coordination de l'isolement", CIGRE Session, Paris, 1978, paper 23-03.
- [135] Z. Stojković, "Zamenske šeme visokonaponskih postrojenja pri analizi zaštite od atmosferskih prenapona", Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1991.
- [136] M. S. Savić, Z. Stojković, "High Voltage Substation Equivalent Circuits in the Lightning Performance Estimation", Proc.IEE, Gener. Transm. Distrib., Vol.141, No.2, March 1994, pp.99–105.
- [137] A. R. Hileman, "Insulation Coordination of Air-Insulated Stations", iz knjige "Surges in High-Voltage Networks", pod redakcijom Klausa Ragallera, Brown Boveri Company Ltd, Plenum Press, New York and London, 1980.
- [138] D. Salamon, "Uprošćeni postupci za analizu složenih uzemljivačkih sistema", Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1991.
- [139] A. L. Vajner, A. K. Potužnij, S. M. Fertik, "Istraživanje uzemljivača u loše provodnom tlu", Električstvo, Br.2, 1946, str.40-47, (na ruskom).
- [140] C. Mazzetti, M. V. Giuseppe, "Impulse Behavior of Ground Electrodes", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-102, No.9, Sep. 1983, pp. 3148–3156.

- [141] M. A. Babikov, N. S. Komarov, "Primena diferencijalnih jednačina dugih vodova u proračunu rasprostranjenih uzemljivača", *Električestvo*, Br.5, 1948, str.29-38, (na ruskom).
- [142] V. Z. Anjenkov, "Proračun udarnog otpora rasprostranjenih uzemljivača u loše provodnom tlu", *Električestvo*, Br.11, 1974, str.59-65, (na ruskom).
- [143] R. Velasquez, D. Mukhedkar, "Analytical Modelling of Grounding Electrodes Transient Behavior", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol.PAS-103, No.6, June 1984, pp. 1314–1322.
- [144] E. Ja Rjabkova, "Udarne karakteristike uzemljivača postrojenja", *Električestvo*, Br.3, 1973, str.67-70, (na ruskom).
- [145] M. Ramamoorthy, M. M. Babu Narayanan, S. Parameswaran, D. Mukhedkar, "Transient Performance of Grounding Grids", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.4, No.4, Oct. 1989, pp. 2053–2059.
- [146] B. R. Gupta, V. K. Singh, "Impulse Impedance of Rectangular Grounding Grids", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.7, No.1, Jan. 1992, pp. 214–218.
- [147] V. V. Burgsdorf, "Proračuni uzemljivača u nehomogenom tlu", *Električestvo*, Br.1, 1953, str.15-25, (na ruskom).
- [148] J. Zaborsky, "Efficiency of Grounding Grids with Nonuniform Soil", *AIEE Transactions* pt.III, Vol.74, Dec. 1955, pp. 1230–1233.
- [149] V. M. Miškin, E. Ja Rjabkova, "Uticaj nehomogenosti zemlje na udarne karakteristike uzemljivača", *Električestvo*, Br.1, 1977, str.72-75, (na ruskom).
- [150] E. D. Sunde, "Earth Conduction Effects in Transmission Systems", Dover Publications, New York, 1968.
- [151] F. Dawalibi, "Electromagnetic Fields Generated by Overhead and Buried Short Conductors", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.PWRD-1, No.4, Oct. 1986, Part 1 - Single Conductor, pp. 105–111, Part 2 - Ground Networks, pp. 112–119.
- [152] E. J. Rogers, J. F. White, "Mutual Coupling Between Horizontal Earth Return Conductors Using Actual Routing Parameters", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.5, No.3, July 1990, pp. 1266–1274.
- [153] E. J. Rogers, J. F. White, "Mutual Coupling Between Finite Lengths Parallel or Angled Horizontal Earth Return Conductors", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.4, No.1, Jan. 1989, pp. 103–113.
- [154] L. Grčev, F. Dawalibi, "An Electromagnetic Model for Transient in Grounding Systems", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.5, No.4, Nov. 1990, pp. 1773–1781.

- [155] F. S. Visacro, C. M. Portela, "Investigation of Earthing Systems Behavior on the Incidence of Atmospheric Discharges at Electrical Systems", 20th International Conference on Lightning Protection, Interlaken, Sep. 1990, paper 3.8.
- [156] H. J. Haubrich, B. A. Flechner, W. Machczynski, "A Universal Model for the Computation of the Electromagnetic Interference on Earth Return Circuits", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.9, No.3, July 1994, pp. 1593–1599.
- [157] F. Popolansky, "Impulse Characteristics of Soil", 20th International Conference on Lightning Protection, Interlaken, Sep. 1990, paper 3.2.
- [158] F. Lattarulo, "How the Electrical Properties of Soil Affect the Surge Performance of Buried Long Systems", Proc.IEE, Vol.135, Pt.A, No.1, Jan. 1988, pp. 51–55.
- [159] A. V. Korsuncev, "Primena teorije sličnosti u proračunu udarnih karakteristika koncentrisanih uzemljivača", Električestvo, Br.5, 1958, str.31-35, (na ruskom).
- [160] A. C. Liew, M. Darveniza, "Dynamic Model of Impulse Characteristics of Concentrated Earths ", Proc.IEE, Vol.121, No.2, Feb.1974, pp.123–135.
- [161] R. A. C. Altafim, D. M. Leite, F. H. Kameyama, M. Y. S. Kimura, "Earthing Electrode Associations for Impulse Currents", 20th International Conference on Lightning Protection, Interlaken, Sep. 1990, paper 3.12.
- [162] M. Loboda, Z. Pochanke, "Current and Voltage Distributions in Earthing Systems. A Numerical Simulation Based on the Dynamic Model of Impulse Soil Conductivity", 20th International Conference on Lightning Protection, Interlaken, Sep. 1990, paper 3.13.
- [163] B. Thapar, V. Gerez, A. Balakrishnan, D. A. Blank, "Evaluation of Ground Resistance of a Grounding Grid of Any Shape", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.6, No.2, Apr. 1991, pp. 640–647.
- [164] L. Sirotinjskij, "Tehnika visokog napona", Moskva - Lenjingrad, 1945, (na ruskom).
- [165] V. Z. Anjenkov, "Proračun udarnog otpora protivtega", Električestvo, Br.2, 1970, str.19-23, (na ruskom).
- [166] R. Verma, D. Mukhedkar, "Impulse Impedance of Buried Ground Wire", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-99, No.5, Sep./ Oct. 1980, pp. 2003–2007.
- [167] R. Kosztaluk, M. Loboda, D. Mukhedkar, "Experimental Study of Transient Ground Impedances", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-100, No.11, Nov. 1981, pp. 4653–4660.
- [168] T. Takashima, T. Nakae, R. Ishibashi, "High Frequency Characteristics of Impedances to Ground and Field Distributions of Ground Electrodes", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-100, No.4, Apr. 1981, pp. 1893–1900.

- [169] B. Walter, "Das Paradoxon des Stowiders tandes der onderder", *Elektrotechn. und Maschinenbau*, No.12, 1976, 93, pp. 555–557.
- [170] J. E. T. Villas, F. C. Maia, D. Mukhedkar, V. S. Da Costa, "Computation of Electric Fields Using ground Grid Performance Equations", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.PWRD-2, No.3, July 1987, pp. 709–716.
- [171] E. Ja Rjabkova, V. M. Miškin, "Udarne karakteristike uzemljivača dalekovodnih stubova", *Električestvo*, Br.8, 1976, str.67-70, (na ruskom).
- [172] E. E. Oettle, "A New General Estimation Curve for Predicting the Impulse Impedance of Concentrated Earth Electrodes", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.3, No.4, Oct. 1988, pp. 2020–2029.
- [173] J. Surutka, "Elektromagnetika", *Gradjevinska knjiga*, Beograd, 1986.
- [174] G. G. Pučkov, "Matematički model uzemljivača pri naizmeničnoj struji", *Električestvo*, Br.3, 1984, str.25-30, (na ruskom).
- [175] E. L. Kac, A. B. Oslon, "Proračun mrežnih uzemljivača u višeslojnom tlu", *Električestvo*, Br.9, 1986, str.60-62, (na ruskom).
- [176] E. A. Ivliev, "Proračun otpora rasprostiranja sistema elektroda složenog oblika u višeslojnom tlu", *Električestvo*, Br.1, 1988, str.32-38, (na ruskom).
- [177] J. Nahman, "Digital Calculation of Earthing Systems in Nonuniform Soil", *Archiv fur Elektrotechnik*, Vol.62, 1980, pp.19–24.
- [178] J. Nahman, D. Salamon, "Earthing System Modelling by Element Aggregation", *Proc.IEE*, Pt.C, No.1, Vol.133, 1986, pp. 54–58.
- [179] J. Nahman, "A Numerical Method for Evaluation of Mutual Earth Resistances of Thin Cylindrical Straight Conductors", (in Serbo-Croatian), *Elektrotehnika*, Vol.27, 1984, No.1-2, pp. 27–32.
- [180] J. Nahman, D. Salamon, "Programski paket za proračun otpora rasprostiranja, raspodele potencijala i napona dodira i koraka na nekom pravcu u okolini uzemljivača u jednoslojnom i dvoslojnom tlu", *Elektrotehnički fakultet*, Beograd, 1987.
- [181] M. S. Savić, "Tehnika visokog napona - Prenaponi atmosferskog porekla; Zbirka rešenih zadataka", *Gradjevinska knjiga*, Beograd, 1982.
- [182] A. M. Mousa, "The Soil Ionization Gradient Associated with Discharge of High Currents into Concentrated Electrodes", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.9, No.3, July 1994, pp. 1669–1677.
- [183] CIGRE Working Group on Lightning, "Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines", CIGRE, Paris, Oct. 1991.

- [184] E. J. Rogers, "Impedance Characteristics of Large Tower Footings to a 100 s Wide Square Wave of Current", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol.PAS-100, No.1, Jan. 1981, pp. 66–71.
- [185] V. A. Venjikov, "Teorija sličnosti i modelovanja", Višaja škola, Moskva, 1976, (na ruskom).
- [186] M. S. Savić, "Programski paket za akviziciju podataka sa osciloskopa" Tektronix 2430", Beograd, 1989.
- [187] Z. Stojković, "Proračun udarne impedanse uzemljivača visokonaponskog postrojenja u jednoslojnom i dvoslojnom tlu", XXI Savetovanje JUKO CIGRE, Ref. 33.01, Vrnjačka Banja, 1995.
- [188] Z. Stojković, M. S. Savić, D. Salamon, B. Bukorović, "Eksperimentalno istraživanje udarnih karakteristika uzemljivača", XXI Savetovanje JUKO CIGRE, Ref. 33.02, Vrnjačka Banja, 1995.
- [189] F. Dawalibi, C. J. Blattner, "Earth Resistivity Measurement Interpretation Techniques", *IEEE Transactions on PAS*, Vol.PAS-103, Feb. 1984, pp. 374–382.
- [190] H. R. Seedher, Sr. and V. K. Singh: "Estimation of Two Layer Soil Parameters Using Finite Wenner Resistivity Expressions", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.PWRD-3, July 1992, pp. 1213–1217.
- [191] J. Wiesinger, P. Hasse: "Handbuch für Blitzschutz und Erdnung", Richard Pflaum Verlag KG München i VDE-Verlag GMBH Berlin, 1977.
- [192] R. Golde: "Lightning Protection", Edward Arnold, London 1973.
- [193] M. Uman: "Lightning"; Dover Publications, Inc. New Yourk, 1984.
- [194] Ž. Markov: "Prenaponska zaštita u elektronici i telekomunikacijama", NIRO Tehnička knjiga, Beograd 1987.
- [195] W. Hart, E. Malone: "Lightning and Lightning protection"; Don White Consultants, Inc, 1979.
- [196] M.S. Savić: Approximate computation of switching overvoltage in networks with frequency dependent parameters, **Publications of the Faculty of Electrical Engineering in Belgrade**, *Series Power engineering*, No.84, 1981.
- [197] M.Savić: A modification of the electrogeometrical model in the estimation of transmission lines shielding failures, **19 International Conference on Lightning Protection**, Graz 1988.

- [198] M.S.Savić: Programski paket prilagodjen korisniku za procenu ugroženosti elektroenergetskih postrojenja od atmosferskih prenapona, **XX Savetovanje JUKO CIGRE**, Neum 1991, ref 33.01.
- [199] Z. Stojković, M.S.Savić: Uticaj udarne impedanse uzemljivača dalekovodnog stuba na očekivani broj preskoka, **V međunarodna konferencija Tesla III Milenijum**, Beograd 1996, strana III-259–III-266.
- [200] O.Jakonić, M.S.Savić: Analiza atmosferskih pražnjenja mimo zaštitnog užeta u fazne provodnike, **XVIII Savetovanje JUKO CIGRE**, Budva, april 1987. Ref.33.02.
- [201] Z.Stojković, M.S.Savić: Izbor tipskih zamenskih šema razvodnih postrojenja za analizu zaštite od atmosferskih prenapona, **XX Savetovanje JUKO CIGRE** Neum 1991, ref.33.02.
- [202] M.S.Savić, Z.Stojković: Obuhvatanje uklopnog stanja VN postrojenja u proceni ugroženosti izolacije od atmosferskih prenapona, **XXI Savetovanje JUKO CIGRE**, Vrnjačka banja 1993, ref.33.03.
- [203] M.S.Savić, J.Šehović: Prenošenje atmosferskih prenapona sa namotaja višeg na namotaj nižeg napona prema preporukama IEC71-2 za koordinaciju izolacije, Savetovanje Transformatori u elektroenergetici, Rad br.35, Beograd 1996.
- [204] Stojković Z., Savić M.S., Nahman J.M., Salamon D., Bukorović B.: Experimental investigation of grounding grid impulse characteristics, *European Trans. on Electrical Power - ETEP* Vol. 8, No. 6, Nov/Dec 1998., pp.417-421.
- [205] Stojković Z., Savić M.S., Nahman J.M., Salamon D., Bukorović B.: Sensitivity analysis of experimentally determined grounding grid impulse characteristics, *IEEE Trans. on PWRD*, Oct 1998., Vol.13, (4), pp.1136-1142.
- [206] Stojković Z., Savić M.S.: Influence of transmission line tower grounding impedance to the line flashover rate, *European Trans. on Electrical Power - ETEP*, Vol. 9, No. 4, July/August 1999., pp.261-270.
- [207] Stojković Z., Savić M.S.: Engineering method for determination of transmission line tower grounding grid impedance to the line flashover rate, *Električestvo*, No.3, 1999. (na Ruskom).
- [208] Savić M.S., Stojković Z: Ugroženost niskonaponske mreže od atmosferskih prenapona, *2 savetovanje JUKO CIGRE-a*, Herceg Novi, septembar 2000, Ref.2.1.

Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Predmet proučavanja Tehnike visokog napona	1
1.2	Prenaponi	3
1.3	Standardnji stupnjevi izolacije	6