

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 uspostavljaajući 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 ugrađena, 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 грома) 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).

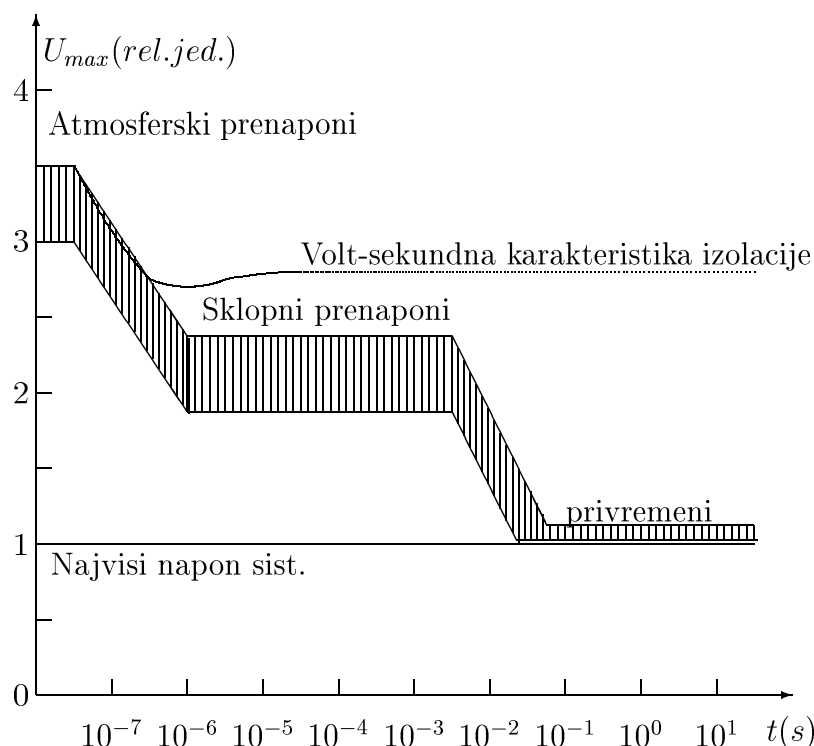
Unutrašnji prenaponi nastaju usled poremećaja u samom sistemu. Dele se prema uzroku na sledeće grupe:

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 Standardnji 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* pretstavlja 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* pretstavlja izolaciju između provodnika pod faznim naponom i uzemljenih delova koja se ispituje podnosivim sklopnim udarnim naponom standardnog oblika.
- FF - *Faza prema fazi* pretstavlja 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. Međutim, 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

