

Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Predmet proučavanja Tehnike visokog napona	1
1.2	Prenaponi	3
1.3	Standardnji stupnjevi izolacije	6
2	Nastanak grmljavinske aktivnosti	11
2.1	Uslovi za nastanak grmljavinske aktivnosti	11
2.2	Nastajanje oblaka	13
2.3	Vrste oblaka	15
2.4	Nastanak naelektrisanja u oblacima	15
2.4.1	Wilson-ova teorija	16
2.4.2	Simpson-ova teorija	17
2.4.3	Workman-ova teorija	19
3	Osobine atmosferskih pražnjenja	21
3.1	Mehanizam atmosferskog pražnjenja	21
3.1.1	Prva faza: tačkasto pražnjenje	21

3.1.2	Druga faza: skokoviti lider	23
3.1.3	Treća faza: glavno pražnjenje	24
3.1.4	Četvrta faza: višestruki udari	25
3.2	Tipovi atmosferskih pražnjenja	26
3.3	Parametri atmosferskih pražnjenja	28
3.3.1	Električni parametri	29
3.3.2	Meteorološki parametri atmosferskih pražnjenja	44
4	Prostiranje talasa po monofaznom vodu	51
4.1	Jednačine telegrafičara	51
4.1.1	Rešenje jednačina telegrafičara za idealan vod	55
4.1.2	Rešenje jednačina telegrafičara za vod na kome je ispunjen Hevisajdov uslov	58
4.1.3	Rešenje jednačina telegrafičara za realan vod	60
4.2	Putujući talasi	63
4.2.1	Definicija putujućih talasa	63
4.2.2	Koeficijenti prelamanja i odbijanja	64
4.2.3	Posebni slučajevi prelamanja i odbijanja talasa	67
4.2.4	Ekvivalentni talas	74
4.3	Petersenovo pravilo	78
4.3.1	Kondenzator priključen na kraju voda	80
4.3.2	Redna veza induktivnosti	83
4.4	Metode proračuna talasnih procesa na vodovima	85

4.4.1	Metoda mrežnog dijagrama	85
4.4.2	Beržeronova grafoanalitička metoda	93
4.4.3	Diskretna metoda	105
4.5	Zamena koncentrisanog elementa vodom	129
4.5.1	Kondenzator vezan otočno prema zemlji	129
4.5.2	Kalem vezan redno između dva voda	131
4.5.3	Kalem vezan otočno prema zemlji	132
4.5.4	Otpornik vezan otočno prema zemlji	133
4.6	Modifikovani koeficijenti prelamanja	134
4.6.1	Modelovanje redno vezanog kondenzatora vodom	134
4.6.2	Modelovanje redno vezanog otpornika	137
5	Modelovanje elemenata sistema	139
5.1	Modelovanje atmosferskog pražnjenja	139
5.1.1	Eksponencijalni oblik strujnog i naponskog talasa	139
5.1.2	Uprošćen eksponencijalni oblik	141
5.1.3	Talas linearnog čela i linearnog začelja	142
5.1.4	Talas linearnog čela i konstantnog začelja	143
5.1.5	Talas beskonačne strmine čela i konstantnog začelja	144
5.2	Model kanala groma	144
5.3	Modelovanje provodnika	146
5.3.1	Modelovanje zaštitnog užeta	146

5.3.2	Modelovanje faznog provodnika	147
5.4	Modelovanje dalekovodnog stuba	149
5.5	Uzemljivač dalekovodnog stuba	152
5.5.1	Odredjivanje parametara ekvivalentnog uzemljivača	154
5.5.2	Primeri proračuna	160
5.6	Modelovanje preskoka na izolaciji voda	163
5.6.1	Eksperimentalna volt-sekundna karakteristika izolacije	163
5.6.2	V-t karakteristika izolacije u analitičkom obliku	165
5.6.3	Metoda površine	166
5.7	Modelovanje opreme u postrojenju	167
5.7.1	Modelovanje opreme kapacitivnostima	167
5.7.2	Model transformatora za analizu prenetih prenapona sa primara na sekundar	169
5.8	Model odvodnika prenapona	173
5.8.1	Modelovanje nelinearnog otpornika	173
5.8.2	Modelovanje iskrišta odvodnika prenapona	177
5.8.3	Modelovanje dinamičke karakteristike preostalog napona	178
5.9	Zamenske šeme visokonaponskih postrojenja	179
5.9.1	Tipske zamenske šeme	181
5.9.2	Rezultati klasičnog postupka proračuna	184
5.9.3	Rezultati statističkog postupka proračuna	190
5.10	Povećanja prenapona u šemama sa više kondenzatora	191

5.10.1	Primer elementarne šeme	191
6	Atmosferska pražnjenja u nadzemne vodove	197
6.1	Vod sa provodnim stubovima bez zaštitnog užeta	198
6.1.1	Objašnjenje pojave	198
6.1.2	Naprezanje fazne izolacije voda	200
6.1.3	Naprezanje medjufazne izolacije	202
6.2	Pražnjenje u fazni provodnik voda na drvenim stubovima	204
6.3	Pražnjenje u vrh stuba ili zaštitno uže	206
6.4	Indukovani prenaponi	213
6.4.1	Elektrostatička teorija indukovanih prenapona	213
6.4.2	Elektromagnetna teorija indukovanih prenapona	215
6.4.3	Procena visine indukovanih prenapona	225
6.4.4	Procena uticaja zaštinog užeta	225
6.5	Atmosferska pražnjenja mimo zaštitnog užeta	226
6.5.1	Elektrogeometrijski model	227
6.5.2	Procena verovatnoće pražnjenja mimo zaštitnog užeta	233
6.5.3	Gustina raspodele struje groma u fazni provodnik mimo zaštitnog užeta	245
6.5.4	Efikasno zaštićen nadzemni vod	246
7	Zaštita izolacije od prenapona	249
7.1	Odvodnici prenapona	250
7.1.1	Konstrukcija SiC odvodnika	250

7.1.2	Odvodnici sa iskrištem sa magnetskim oduvavanjem luka	257
7.2	Cink-oksidni odvodnici prenapona	268
7.2.1	Konstrukcija ZnO odvodnika	268
7.2.2	Osobine ZnO odvodnika prenapona	271
7.2.3	Najvažnije karakteristike ZnO odvodnika prenapona	275
7.2.4	Termička stabilnost ZnO odvodnika prenapona	277
7.3	Dodatna oprema odvodnika prenapona	281
7.3.1	Sigurnosna membrana	283
7.3.2	Prsten za raspodelu potencijala	284
7.3.3	Brojač pražnjenja	285
7.3.4	Uredjaj za odvajanje odvodnika	287
7.4	Izbor odvodnika prenapona	288
7.4.1	Izbor SiC odvodnika prenapona	288
7.4.2	Izbor ZnO odvodnika prenapona	291
7.4.3	Primer izbora ZnO odvodnika prenapona	293
7.4.4	Odredjivanje parametara sistema	293
7.4.5	Izbor naznačenog napona odvodnika	294
7.5	Ispitivanje SiC odvodnika prenapona	296
7.5.1	Tipiska ispitivanja	296
7.5.2	Naizmenični napon reagovanja industrijske frekvencije	297
7.5.3	Odredjivanje napona reagovanja standardnim atmosferskim udarnim naponom	299

7.5.4	Odredjivanje udarnog napona reagovanja odvodnika na čelu talasa . . .	302
7.5.5	Odredjivanje karakteristike reagovanja odvodnika	304
7.5.6	Odredjivanje preostalog napona odvodnika	305
7.5.7	Ispitivanja podnosivom udarnom strujom	310
7.5.8	Ispitivanje odvodnika u radnim uslovima	314
7.5.9	Ispitivanje uređaja za ograničenje pritiska	316
7.5.10	Ispitivanje uređaja za odvajanje odvodnika	318
7.6	Komadna i prijemna ispitivanja	319
7.6.1	Komadna ispitivanja	319
7.6.2	Standardna prijemna ispitivanja	319
7.7	Ispitivanje ZnO odvodnika prenapona	320
7.7.1	Tipiska ispitivanja	320
7.7.2	Odredjivanje preostalog napona odvodnika	320
7.7.3	Preostali napon pri maloj struji odvodjenja	322
7.7.4	Ispitivanje udarnom strujom dugog trajanja	322
7.7.5	Ispitivanja u radnim uslovima	322
7.7.6	Ispitivanje toplotne stabilnosti ZnO odvodnika prenapona	325
7.7.7	Ispitivanje toplotnog odziva odvodnika	326
7.7.8	Komadna i prijemna ispitivanja	326
9	Zaštita objekata od udara groma	389
9.1	Klasifikacija šticeđenih objekata	389

9.2	Spoljašnje gromobranske instalacije	391
9.2.1	Nivo zaštite spoljašnje gromobranske instalacije	391
9.2.2	Principi spoljašnje gromobranske zaštite	396
9.2.3	Štetne posledice atmosferskih pražnjenja	398
9.2.4	Zaštitne zone prihvatnog sistema	399
9.2.5	Prirodne komponente prihvatnog sistema	402
9.2.6	Spusni provodnici	403
9.2.7	Gromobranski uzemljivači	407
9.2.8	Primeri izvodjenja spoljašnje gromobranske instalacije	409
9.3	Unutrašnja gromobranska zaštita	410
9.3.1	Izjednačenje potencijala unutar objekta	411
9.3.2	Ograničavanje prenapona unutar objekta	412
9.3.3	Princip višestruke zaštite	416
9.3.4	Galvansko odvajanje	417
10	Merne i registracione metode	419
10.1	Brojači atmosferskih pražnjenja	420
10.1.1	Efektivni poluprečnik dejstva brojača pražnjenja	421
10.1.2	Odnos broja pražnjenja u zemlju i izmedju oblaka	423
10.2	Uredjaji za lokaciju atmosferskih pražnjenja	425
10.2.1	Sistem baziran na odredjivanju pravca magnetskog polja	425
10.2.2	Sistem baziran na merenju vremena prostiranja talasa polja	428

10.3	Registracija struje groma	430
10.3.1	Snimanje struje groma pomoću otpornika	430
10.3.2	Snimanje struje groma pomoću mernog transformatora	432
10.3.3	Istraživanje atmosferskih pražnjenja iniciranih raketama	433
10.4	Procena amplitude struje groma	433
11	Modelovanje udarnih karakteristika uzemljivača	437
11.1	Definicija udarnih karakteristika uzemljivača	438
11.2	Matematički model uzemljivača u udarnom periodu	441
11.2.1	Modelovanje parametara uzemljivača	441
11.2.2	Frekvencijski nezavisni parametri uzemljivača	443
11.2.3	Frekvencijski zavisni parametri uzemljivača	449
11.3	Model sa koncentrisanim parametrima	452
11.3.1	Modelovanje izvora	458
11.3.2	Primena različitih zamenskih šema u modelovanju elemenata uzemljivača	459
11.3.3	Modelovanje uticaja jonizacije tla oko uzemljivača	465
12	Primeri proračuna udarne impedanse uzemljivača	471
12.1	Primer primene Γ šeme na kvadratnom uzemljivaču	471
12.2	Primer primene Π šeme na kvadratnom uzemljivaču	477
12.3	Primer primene T šeme na kvadratnom uzemljivaču	479
12.4	Primer lineičnog uzemljivača	483
12.5	Uticaj dimenzija uzemljivača na udarnu impedansu	485

12.5.1	Uticaj nehomogenosti tla na udarne karakteristike uzemljivača	486
12.5.2	Uticaj jonizacije tla na udarne karakteristike uzemljivača	488
13	Merenje udarnih karakteristika uzemljivača	499
13.1	Eksperimentalna istraživanja	499
13.1.1	Opis merne šeme i postupka merenja	500
13.2	Rezultati merenja	502
13.3	Uporedjenje rezultata eksperimenata i proračuna	504