# SADRŽAJ


| | | |
|---|---|---|
| | Predgovor | |
| 1. | STRUJE KRATKIH SPOJEVA…….. | 1 |
| 1.1 | UVOD……... | 1 |
| 1.2 | MODEL SINHRONOG GENERATORA…… | 2 |
| 1.2.1 | Opšte..... | 2 |
| 1.2.2 | Zamenska šema sinhronog generatora u normalnom pogonu... | 3 |
| 1.2.3 | Zamenska šema generatora za slučaj izlaska iz normalnog radnog režima……..……..……... | 6 |
| 1.2.4 | Tranzijentna stanja ili procesi u sinhronim mašinama…….. | 7 |
| 1.3 | KRATKI SPOJ NA KRAJEVIMA SINHRONOG GENERATORA……... | 8 |
| 1.3.1 | Uvod……..……..…….. | 8 |
| 1.3.2 | Trofazni kratki spoj na krajevima generatora …….. | 9 |
| 1.3.2.1 | Trofazni kratki spoj na krajevima generatora u praznom hodu | 9 |
| 1.3.2.2 | Reaktanse i vremenske konstante sinhronog generatora…….... | 12 |
| 1.3.2.3 | Elektromotorne sile generatora i ekvivalentne šeme…… | 14 |
| 1.3.2.3.1 | *Subtranzijentni period kvara*……..……... | 14 |
| 1.3.2.3.2 | *Tranzijentni period kvara*……..…… | 15 |
| 1.3.2.3.3 | *Ustaljeni period*……..……..……. | 16 |
| 1.3.2.4 | Trofazni kratki spoj na krajevima generatora priključenog na mrežu……..……..…… | 16 |
| | Primer 1.3.1……..……..……... | 21 |
| 1.4 | TROFAZNI KRATKI SPOJ U RADIJALNIM ŠEMAMA……... | 23 |
| 1.4.1 | Opšte……..……..……. | 23 |
| 1.4.2 | Ekvivalentni generator i vrednost struje kroz mesto kvara…... | 24 |
| 1.4.3 | Uticaj aktivne otpornosti kola u kvaru…….. | 26 |
| 1.5 | KARAKTERISTIČNE VREDNOSTI STRUJA KRATKIH SPOJEVA……... | 29 |
| 1.5.1 | Uvod…….……..…… | 29 |

1.5.2 Udarna struja i udarni koeficijent…….. 29
1.5.3 Toplotni impuls i termička struja kvara…… 31
1.5.4 Efektivna vrednost struje kvara……. 33
1.5.5 Struja isključenja prekidača……. 34
1.6 UTICAJ INDUKCIONIH MOTORA NA STRUJE KRATKIH SPOJEVA…… 35
1.6.1 Uvod…… 35
1.6.2 Modelovanje i parametri indukcionih motora sa namotanim rotorom……..... 35
1.6.3 Parametri motora sa dvostrukim kaveznim rotorom……. 37
1.6.4 Trofazni kratki spoj na krajevima indukcionog motora u praznom hodu…… 38
1.6.5 Trofazni kratki spoj u mreži……. 41
1.6.6 Uticaj opterećenja motora na visinu struje trofaznog kratkog spoja…… 42
Primer 1.6.1……. 43
Primer 1.6.2……. 43
1.7 MODELOVANJE INDUKCIONIH GENERATORA U PRORAČUNIMA STRUJA KRATKIH SPOJEVA… 46
1.7.1 Opšte……..... 46
1.7.2 Modelovanje indukcionih generatora sa promenljivim otporom rotora……... 46
1.7.3 Modelovanje dvostrano napajanih indukcionih generatora….. 47
1.7.4 Modelovanje generatora promenljive brzine obrtanja sa redno priključenim konvertorom…….. 49
1.8 NESIMETRIČNI KRATKI SPOJEVI I SIMETRIČNE KOMPONENTE…… 50
1.8.1 Transformacija Forteskjua (Fortescue) …….. 51
1.8.2 Impedanse elemenata sistema za pojedine redoslede……... 54
1.8.2.1 Impedanse vodova…… 54
*Impedanse direktnog i inverznog redosleda*……. 54
*Impedansa nultog redosleda*…… 55
1.8.2.2 Impedanse energetskih transformatora……. 55
*Impedanse direktnog i inverznog redosleda*……. 55
*Impedansa nultog redosleda*…… 56
1.8.2.3 Impedanse generatora i motora……. 59
*Impedanse direktnog i inverznog redosleda*……. 59
*Impedanse nultog redosleda*…… 60
1.8.3 Kratki spojevi u električnoj mreži…….. 60
1.8.4 Jednačine nesimetrije…… 63
*Jednofazni zemljospoj*……..... 63
*Dvofazni kratki spoj*…….. 65
*Dvofazni zemljospoj*…….. 65
*Trofazni kratki spoj*……..... 66

1.9 PRORAČUN KARAKTERISTIČNIH VREDNOSTI STRUJE KVARA PREMA IEC 60909…… 66
1.9.1 Opšte……... 66
1.9.2 Faktori korekcije impedansi……. 68
1.9.2.1 Faktor korekcije $K_T$ za interkonektivne i distributivne energetske transformatore……. 68
1.9.2.2 Faktor korekcije $K_G$ za direktno vezane sinhrone generatore i sinhrone kompenzatore……. 69
1.9.2.3 Faktori korekcije za blokove *generator-transformator* u elektranama……... 69
1.9.3 Obuhvatanje uticaja indukcionih motora…….. 71
1.9.4 Proračun karakterističnih vrednosti struje kvara..... 73
1.9.4.1 Proračun struje $I''_{-k}$ ……. 73
*Proračun za slučaj trofaznog kratkog spoja*..... 73
*Proračun za slučaj nesimetričnih kvarova*..... 76
1.9.4.2 Proračun udarne struje $i_p$ kratkog spoja……... 76
*Metoda A*: *Proračun uniformne vrednosti* $\left(\frac{X}{R}\right)$ ..... 77
*Metoda B*: *Proračun ekvivalentne vrednosti* $\left(\frac{X}{R}\right)$ *na mestu kvara*……. 77
*Metoda C*: *Proračun prema ekvivalentnoj učestanosti* $f_c$ ..... 78
1.9.4.3 Proračun jednosmerne komponente $i_{DC}$ kratkog spoja..... 78
1.9.4.4 Proračun simetrične struje isključenja $I_b$ kratkog spoja..... 78
LITERATURA…… 80

2. TOPLOTNI PRORAČUN……... 81
2.1 OPŠTE…….. 81
2.2 JEDNAČINA TERMIČKE RAVNOTEŽE PROVODNIKA……..... 81
2.3 ZAGREVANJE PROVODNIKA U NORMALNOM RADU……... 83
2.4 INTERMITENTNI POGON (CIKLIČNO OPTEREĆIVANJE) ……... 88
2.5 ZAGREVANJE TOKOM KRATKOG SPOJA..... 89
2.6 HLAĐENJE…….. 90
2.7 TERMIČKI PRORAČUN PREMA IEC 60986 I 60909-0……..... 90
LITERATURA……. 92

3. PRORAČUN SILA KOJE DELUJU NA ELEMENTE POSTROJENJA..... 93
3.1 OPŠTE..... 93
3.2 SILE IZMEĐU PARALELNIH PROVODNIKA..... 93
Primer 3.2.1..... 95
3.3 OBUHVATANJE DEJSTVA OBJEKATA OD FEROMAGNETNIH MATERIJALA..... 98
3.4 SILE IZMEĐU PROVODNIKA POD PRAVIM UGLOM..... 98
3.5 SILE IZMEĐU PROVODNIKA KONAČNOG PRESEKA..... 100
3.6 SILE KOJE DELUJU NA PROVODNIKE KOLA U TOKU KRATKOG SPOJA..... 101
LITERATURA..... 103

4. SABIRNICE I NEIZOLOVANI PROVODNICI 105
4.1 OPŠTE..... 105
4.2 RASPORED PROVODNIKA..... 106
4.3 IZBOR PRESEKA PREMA ZAGREVANJU U TRAJNOM POGONU..... 107
4.4 ZAGREVANJE U KRATKOM SPOJU..... 109
4.5 MEHANIČKI PRORAČUN..... 111
4.5.1 Mehanički proračun krutih srednjenaponskih provodnika..... 111
4.5.2 Mehanički proračun užastih sabirnica..... 114
4.5.3 Mehanički proračun cevnih sabirnica..... 117
4.6 PROVERA NA KORONU..... 119
4.7 PROVERA NA RADIO-SMETNJE..... 121
LITERATURA..... 121

5. IZOLATORI..... 123
5.1 OPŠTE..... 123
5.2 POTPORNI IZOLATORI..... 125
5.3 VISEĆI IZOLATORI..... 128
5.4 PROVODNI IZOLATORI..... 128
LITERATURA..... 130

6. ENERGETSKI KABLOVI..... 131
6.1 OPŠTE..... 131
6.2 GLAVNE KOMPONENTE XLPE-KABLA..... 131
6.3 KARAKTERISTIKE XLPE-KABLOVA..... 132
6.4 IZBOR KABLOVA..... 139
Primer 6.4.1..... 141

| | | |
|---|---|---|
| | LITERATURA…… | 144 |
| 7. | PREKIDAČI…….…….. | 145 |
| 7.1 | OPŠTE…….. | 145 |
| 7.2 | KLASIFIKACIJA PREKIDAČA……. | 146 |
| 7.3 | ISKLJUČENJE KOLA U KVARU…….. | 147 |
| 7.4 | ELEKTRIČNI LUK NAIZMENIČNE STRUJE…….. | 148 |
| 7.4.1 | Opšte……..... | 148 |
| 7.4.2 | Prekidanje struje u gasu…….... | 148 |
| 7.4.3 | Prekidanje struje u vakuumu……. | 151 |
| 7.5 | OSNOVE SKLOPNIH TRANZIJENTNIH PROCESA.. | 153 |
| 7.5.1 | Opšte……..... | 153 |
| 7.5.2 | Sklopni prenaponi..... | 154 |
| 7.5.2.1 | Opšte……..... | 154 |
| 7.5.2.2 | Prenaponi pri uključenju neopterećenog voda…….. | 155 |
| 7.5.2.3 | Prenaponi pri ponovnom uključenju voda…… | 157 |
| 7.5.2.4 | Prenaponi pri isključenju malih kapacitivnih struja..... | 158 |
| 7.5.2.5 | Prenaponi pri isključenju malih induktivnih struja..... | 159 |
| 7.5.2.6 | Sklopni prenaponi pri otklanjanju kvarova……... | 161 |
| | *Sabirnički kratak spoj*…….…….. | 161 |
| | Primer 7.5.1…….…….. | 163 |
| | *Kilometarski kvar*…….…… | 165 |
| | *Proračun početnih uslova*…….…… | 167 |
| | *Određivanje stacionarnih komponenti napona za* $t \geq 0$ ..... | 169 |
| | *Određivanje tranzijentnih komponenti napona za* $t \geq 0$ ..... | 169 |
| | *Određivanje napona* $u_{an}(t)$ *i* $u_{bn}(t)$ …… | 169 |
| | Primer 7.5.2…….…….. | 170 |
| 7.6 | $SF_6$-PREKIDAČI…….. | 171 |
| 7.7 | VAKUUMSKI PREKIDAČI…… | 173 |
| 7.8 | IZBOR PREKIDAČA……... | 174 |
| | LITERATURA…… | 179 |
| 8. | RASTAVLJAČI…….…… | 181 |
| 8.1 | OPŠTE…….. | 181 |
| 8.2 | IZBOR I EKSPLOATACIONE OSOBINE……. | 181 |
| 8.3 | KONSTRUKTIVNI OBLICI……... | 184 |
| 8.4 | RADNI ZEMLJOSPOJNICI…… | 185 |
| 8.5 | BRZI ZEMLJOSPOJNICI…… | 186 |
| 8.6 | INTEGRISANI PREKIDAČ-RASTAVLJAČ……. | 188 |
| | LITERATURA…….. | 190 |
| 9. | RASTAVNE SKLOPKE……. | 191 |
| 9.1 | OPŠTE…….. | 191 |

9.2 TIPOVI I OSNOVNE OSOBINE……. 191
LITERATURA……. 193

10. VISOKONAPONSKI OSIGURAČI..... 195
10.1 OPŠTE…….. 195
10.2 PODELA OSIGURAČA…….. 195
10.3 M-EFEKAT..... 200
10.4 OSNOVNE KARAKTERISTIKE…… 200
10.5 IZBOR OSIGURAČA…….. 202
10.5.1 Opšte……... 202
10.5.2 Izbor osigurača za zaštitu energetskih transformatora ..... 203
10.5.3 Izbor osigurača za zaštitu motora..... 203
10.5.4 Izbor osigurača za zaštitu kondenzatorskih baterija..... 205
Primer 10.5.1……... 206
LITERATURA……. 210

11. UKLOPKE I ODVAJAČI……... 211
11.1 UKLOPKE…… 211
11.2 ODVAJAČI…….. 214
11.3 PRIMER PRIMENE UKLOPKI I ODVAJAČA..... 214
LITERATURA……. 217

12. MERNI TRANSFORMATORI I PRETVARAČI..... 219
12.1 OPŠTE…….. 219
12.2 STRUJNI TRANSFORMATORI……. 219
12.2.1 Osnovne karakteristike…….. 219
12.2.2 Simboli strujnih transformatora i označavanje priključaka..... 228
12.2.3 Izbor strujnih transformatora……... 229
12.2.4 Konstruktivni oblici i primeri primene strujnih transformatora……... 230
12.2.5 Ponašanje strujnih transformatora u prelaznim režimima..... 235
12.3 NAPONSKI TRANSFORMATORI……. 238
12.3.1 Opšte……... 238
12.3.2 Karakteristične veličine naponskih transformatora..... 241
12.3.3 Tipovi, označavanje i šeme veza……... 244
12.3.4 Ponašanje naponskih transformatora u prelaznim režimima.... 247
*Kapacitivni naponski transformatori*…… 247
*Induktivni naponski transformatori*…….. 248
12.3.5 Kombinovani merni transformatori…….. 248
12.3.6 Izbor naponskih transformatora…… 249
12.4 NEKONVENCIONALNI MERNI UREĐAJI..... 250
12.4.1 Opšte……... 250

12.4.2 Optički pretvarači……. 250
12.4.2.1 Osnovni principi rada……... 250
12.4.2.2 Optički pretvarači za merenje napona……... 251
12.4.2.3 Optički pretvarači za merenje struje…… 253
12.4.2.4 Hibridni pretvarači……... 254
12.4.3 Strujni pretvarači sa Holovom sondom……. 255
12.4.4 Hibridni magneto-optički senzori……. 256
12.4.5 $\frac{di}{dt}$ pretvarači (kalem Rogovskog) ……... 256
LITERATURA……. 259

13. ENERGETSKI TRANSFORMATORI..... 261
13.1 OPŠTE…….. 261
13.2 OSNOVNE KARAKTERISTIKE…… 262
Primeri označavanja……. 265
13.3 GUBICI SNAGE U TRANSFORMATORIMA..... 266
Primer 13.3.1……. 267
13.4 IZBOR SPREGE……... 271
13.5 PARALELNI RAD TRANSFORMATORA…… 272
13.6 RASPODELA OPTEREĆENJA U PARALELNOM RADU……... 275
13.7 EKONOMIČAN RAD TRANSFORMATORA..... 276
13.8 PRORAČUN PARAMETARA TRANSFORMATORA. 277
*Proračun parametara dvonamotajnog transformatora i autotransformatora*……... 278
*Proračun parametara tronamotajnog transformatora*..... 278
LITERATURA……. 279

14. PRIGUŠNICE ZA OGRANIČENJE STRUJA KRATKIH SPOJEVA…….. 281
14.1 OPŠTE…….. 281
14.2 OSNOVNE KARAKTERISTIKE I PODELA …… 281
14.2.1 Linijske prigušnice……... 282
14.2.2 Spojne sabirničke prigušnice…… 283
14.2.3 Prigušnice za uzemljenje neutralne tačke……. 283
14.2.4 Razdvojne prigušnice……... 286
14.3 KARAKTERISTIČNE VELIČINE I IZBOR PRIGUŠNICE ZA OGRANIČENJE STRUJE KRATKOG SPOJA……... 286
LITERATURA……. 287

15. ZAŠTITA OD PRENAPONA……. 289
15.1 OPŠTE…….. 289

15.2 ZAŠTITA OD ATMOSFERSKIH PRENAPONA..... 290
15.2.1 Zaštitni uređaji……. 290
15.2.2 Štapne hvataljke i zaštitna (zemljovodna) užad.....…... 290
15.2.3 Odvodnici prenapona……..……... 292
15.2.3.1 Opšte……..……... 292
15.2.3.2 Izbor srednjenaponskih *ZnO* odvodnika prenapona prema [5] 294
15.2.3.3 Izbor SN i VN *ZnO* odvodnika prenapona prema [4]..... 298
15.2.3.4 Izbor visokonaponskih *ZnO* odvodnika prenapona prema [1].. 300
LITERATURA……. 300

16. JEDNOPOLNE ŠEME I DISPOZICIJE VAZDUHOM IZOLOVANIH POSTROJENJA. 301
16.1 OPŠTE…….. 301
16.2 GLAVNE ŠEME POSTROJENJA KLASIČNE KONSTRUKCIJE…… 302
16.2.1 Opšte……..……... 302
16.2.2 Postrojenje sa jednim sistemom glavnih sabirnica..... 302
16.2.3 Postrojenje sa jednim sistemom glavnih i jednim sistemom pomoćnih sabirnica…….. 305
16.2.4 Postrojenje sa dva sistema glavnih sabirnica…… 306
16.2.5 Postrojenje sa prstenastim sabirnica…… 307
16.2.6 Postrojenje sa tri sistema glavnih sabirnica…….. 307
16.2.7 Upoređenje analiziranih konfiguracija……..... 308
16.2.8 Postrojenja sa izvlačivim prekidačima…….. 309
16.3 SEKUNDARNA STRUJNA KOLA…… 310
16.3.1 Opšte……..……... 310
16.3.2 Napojna strujna kola……..…… 311
16.3.3 Strujna kola za upravljanje…… 312
*Komandne table i komandni pultovi za upravljanje*..... 312
*Ručno i električno komandovanje*……. 312
*Pokretanje sklopnih aparata*……. 313
*Signalizacija isključenja prekidača usled dejstva zaštite*..... 313
*Blokiranje rastavljača*…….. 313
*Načini blokiranja*……. 315
*Savremeni koncept nadzora i upravljanja*…… 315
16.4 JEDNOPOLNE ŠEME POSTROJENJA BEZ RASTAVLJAČA…….. 317
16.4.1 Opšte……..……... 317
16.4.2 Primeri realizovanih konfiguracija…… 318
16.5 DISPOZICIJE POSTROJENJA……... 320
16.5.1 Opšte……..……... 320
16.5.2 Dispozicije vazduhom izolovanih otvorenih postrojenja srednjeg napona……..……... 320

16.5.3 Dispozicije vazduhom izolovanih metalom oklopljenih postrojenja srednjeg napona…….. 323
16.5.4 Dispozicije vazduhom izolovanih otvorenih postrojenja visokog napona…….…….. 323
LITERATURA……. 326

17. UZEMLJENJE I UZEMLJIVAČI……... 327
17.1 VRSTE UZEMLJENJA…… 327
17.2 KARAKTERISTIČNE VELIČINE UZEMLJIVAČA..... 329
17.3 DIMENZIONISANJE SISTEMA UZEMLJENJA..... 333
17.4 OBLIKOVANJE I IZVOĐENJE UZEMLJIVAČA..... 335
17.5 PRORAČUN KARAKTERISTIČNIH VELIČINA..... 336
17.5.1 Praktični izrazi za proračun otpora rasprostiranja pojedinačnih uzemljivača…….. 336
17.5.2 Proračun karakterističnih veličina složenih uzemljivača..... 338
17.5.2.1 Proračun karakterističnih veličina za uzemljivač položen u homogeno tlo……..……... 339
*Proračun otpora rasprostiranja*…… 339
*Proračun maksimalne potencijalne razlike dodira*..... 339
*Proračun potencijalne razlike koraka*..... 339
17.5.2.2 Proračun karakterističnih veličina za uzemljivač u gornjem sloju dvoslojnog tla…….. 340
*Proračun otpora rasprostiranja*..... 340
*Proračun maksimalne potencijalne razlike dodira*..... 340
*Proračun potencijalne razlike koraka*..... 341
17.5.3 Proračun struje $I_u$ ……..…… 341
17.6 VODOVI KAO ELEMENTI SISTEMA UZEMLJENJA 342
17.6.1 Opšte……..……..……... 342
17.6.2 Nadzemni vodovi……..……. 342
17.6.3 Kablovi sa neizolovanim omotačima…… 347
17.6.4 Kablovi sa izolacionim spoljnim omotačem……. 349
17.6.5 Izlazeći potencijal……..…… 350
17.6.6 Impedanse……..……..……... 351
17.6.7 Redukcioni faktor nadzemnih vodova…….. 353
17.6.8 Redukcioni faktor kablovskih vodova…….. 354
17.6.8.1 Opšte……..……..……... 354
17.6.8.2 Redukcioni faktor jednofaznih kablova sa metalnim omotačem……..…… 355
17.6.8.3 Redukcioni faktor trofaznih kablova sa metalnim omotačem.. 357
Primer 17.6.1……..…… 358
Primer 17.6.2……..……..... 359
Primer 17.6.3……..... 360
17.7 RASPODELA STRUJA ZEMLJOSPOJA……... 361
17.7.1 Opšte……..……..……... 361

17.7.2 Objekti u direktno uzemljenoj mreži……..... 362
17.7.3 Objekti u mreži sa izolovanim zvezdištem……... 365
17.7.4 Kompenzovane mreže…….…….. 366
17.7.5 Uzemljenje preko male impedanse……... 367
LITERATURA……. 368

18. METALOM OKLOPLJENA GASOM $SF_6$ IZOLOVANA POSTROJENJA ( $SF_6$-postrojenja ) ……..……. 369
18.1 OPŠTE…….. 369
18.2 OSNOVNE OSOBINE $SF_6$-POSTROJENJA…….. 370
18.3 HIBRIDNA POSTROJENJA……... 371
18.4 UZEMLJENJE $SF_6$-POSTROJENJA……... 373
LITERATURA……. 374

19. POUZDANOST RAZVODNIH POSTROJENJA…….. 375
19.1 OPŠTE…….. 375
19.2 UVOD U ANALIZU POUZDANOSTI……... 377
19.2.1 Opšte…….……... 377
19.2.2 Faktori koji utiču na pouzdanost sistema…….. 379
*Pouzdanost elemenata sistema*…….. 379
*Intenzitet kvarova*…….……. 379
*Vreme potrebno za otklanjanje kvara*……... 379
Konfiguracija mreže i jednopolna šema postrojenja……. 379
Stepen i promenljivost opterećenja……... 380
Ambijentalni uslovi…….…….. 380
19.3 POUZDANOST NEOBNOVLJIVIH SISTEMA..... 380
19.3.1 Karakteristične funkcije i pokazatelji……... 380
Primer 19.3.1…….……... 384
Primer 19.3.2…….……... 384
19.3.2 Određivanje pokazatelja pouzdanosti iz podataka tokom eksploatacije…….…….. 385
19.3.3 Karakteristične raspodele verovatnoća……. 386
*Eksponencijalna raspodela*……... 387
*Vejbulova ( Weibull ) raspodela*……... 389
*Mešavina raspodela*…….……. 390
19.4 OBNOVLJIVI SISTEMI…….. 391
19.4.1 Dijagrami stanja i pokazatelji..... 391
19.4.2 Stacionarne vrednosti pokazatelja pouzdanosti..... 393
19.5 MREŽE……. 393
19.5.1 Opšte…….……... 393
19.5.2 Elementarne mrežne strukture…….. 394

*Redna veza*……..... 395
Primer 19.5.1……..... 396
*Paralelna veza*……..... 397
Primer 19.5.2……..... 398
*Mreže sa redno-paralelnom strukturom*……... 399
19.6 SPECIFIČNOSTI RAZVODNIH POSTROJENJA..... 401
19.7 POKAZATELJI POUZDANOSTI……... 406
19.7.1 Pokazatelji pouzdanosti elemenata konvencionalnih postrojenja……..…… 406
19.7.2 Pokazatelji pouzdanosti elemenata $SF_6$-postrojenja..... 408
19.7.3 Pokazatelji pouzdanosti nadzemnih vodova i podzemnih energetskih kablova…… 409
19.7.4 Pokazatelji pouzdanosti distribuiranih izvora……... 409
LITERATURA……. 410

20. RELEJNA ZAŠTITA U POSTROJENJIMA….. 411
20.1 OPŠTE…….. 411
20.2 KLASIFIKACIJA RELEJA……. 411
20.3 ZAHTEVANE KARAKTERISTIKE RELEJNE ZAŠTITE…… 413
20.4 PRINCIPI PRIMENE RELEJNE ZAŠTITE…… 413
20.5 PREKOSTRUJNA ZAŠTITA…….. 415
20.5.1 Opšte……..... 415
20.5.2 Prekostrujni releji sa trenutnim delovanjem……. 416
20.5.3 Prekostrujni releji sa definisanim vremenom reagovanja……. 417
20.5.4 Prekostrujni releji sa inverznom karakteristikom reagovanja... 417
20.5.5 Usmereni prekostrujni releji……..……. 419
20.6 DIFERENCIJALNA ZAŠTITA……... 420
20.6.1 Opšte……..... 420
20.6.2 Primeri primene diferencijalne zaštite……..…… 422
20.7 DISTANTNA ZAŠTITA…….. 425
20.7.1 Opšte……..... 425
20.7.2 Vremensko stepenovanje i zone zaštite…… 426
20.7.3 Vrste radnih karakteristika distantnih releja…… 427
20.8 ZAŠTITA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA….. 429
20.8.1 Opšte……..... 429
20.8.2 Buholcova ( gasna ) zaštita……..…….. 430
20.8.3 Zemljospojna zaštita transformatora..... 432
20.8.4 Brza prekostrujna zaštita energetskih transformatora……... 433
20.8.5 Zaštita energetskih transformatora od spoljašnjih kratkih spojeva..... 434
20.8.6 Zaštita energetskih transformatora od preopterećenja…….. 434
LITERATURA……. 434

# PREDGOVOR

Projektovanje i eksploatacija razvodnih postrojenja spadaju među najzahtevnije i najizazovnije zadatke za svakog elektro-energetičara. Potrebno je imati visok nivo znanja iz nekoliko raznorodnih oblasti, uzeti u obzir relevantne činioce sa terena i ispoštovati propisane zakonske odrednice da bi se dobio funkcionalan objekat.

Razvodno postrojenje je kombinacija rasklopne opreme, visokonaponskih statičkih i dinamičkih elemenata, uređaja za merenje, sistema relejne zaštite, pomoćnih kola, sistema za zaštitu od prenapona, sistema komunikacije i dr. Postavljaju se u čvornim tačkama EES-a i služe za povezivanje izvoda kojima se energija dovodi sa izvodima kojima se ta energija odvodi dalje u sistem ili do krajnjih potrošača. Zavisno od mesta gde se postrojenje nalazi, ovo povezivanje se može obaviti na istom naponskom nivou ili sa jednom ili više transformacija napona, korišćenjem energetskih transformatora. Na primer:

- Generatori u velikim hidro- i termo-elektranama proizvode električnu energiju na relativno niskim naponima (oko 20 $kV$). Da bi se ova energija dopremila do potrošačkih centara na efikasan i ekonomičan način, elektrane se na prenosnu mrežu priključuju preko transformatora podizača napona. Obično se koriste klasični dvo- ili tronamotajni energetski tansformatori. Ukoliko potrošačima u blizini elektrane treba obezbediti napajanje napon generatora treba sniziti preko transformatora spuštača napona. Dakle, u postrojenju elektrane treba upotrebiti opremu za bar tri različita naponska nivoa;
- Energija iz prenosne mreže se može isporučivati u druge EES-e ili prenosne mreže na istom ili drugačijem naponskom nivou. Energetski transformatori koji se koriste u prenosnim mrežama nazivaju se interkonektivni transformatori i predviđeni su za tok snage u oba smera. Iz razloga ekonomičnosti, tipično se primenjuju autotransformatori.
- Na pragu distributivne mreže, preko energetskih transformatora spuštača napona, napon se snižava, preko nadzemnih vodova i podzemnih kablova srednjeg napona energija se dovodi do postrojenja u kojima se napon spušta na vrednost 6 $kV$, 3 $kV$ ili $0{,}4\ kV$ i isporučuje krajnjim potrošačima.

Elementi postrojenja se dimenzionišu tako da izdrže sva naprezanja kojima mogu biti izloženi tokom planskog perioda eksploatacije.

Na svakom objektu ili elementu EES-a se može dogoditi kvar, što je potpuno očekivano, imajući u vidu broj komponenti, dužinu vodova, geografsko prostra-

nstvo i različite klimatske uticaje. Kada se kvar dogodi pogođeni objekat treba što brže isključiti i sprečiti širenje kvara na ispravne delove sistema. Ovo treba da obezbede uređaji relejne zaštite, prekidači, rastavljači i drugi rasklopni elementi. Naravno, posle reagovanja uređaja relejne zaštite, kola za signalizaciju treba o tome da obaveste nadležno osoblje i da potrebne informacije o događaju pošalju u bazu podataka.

Proizvedenu električnu energiju i snagu na mestima kupoprodaje treba izmeriti, radi naplate. To se radi korišćenjem brojila aktivne i reaktivne energije i uređaja za merenje angažovane snage. Brojila i uređaji relejne zaštite se priključuju na sekundarne krajeve mernih transformatora i pretvarača, što je bezbednije po osoblje u postrojenju i ekonomičnije nego direktno merenje napona i struje.

Svi elementi sistema moraju trajno da podnesu maksimalno očekivanu vrednost radne struje. Takođe, svi elementi moraju kratkotrajno da podnesu toplotna i mehanička naprezanja kojima su izloženi tokom kratkih spojeva, kada teku struje koje su znatno većih vrednosti od radnih struja.

Za vreme kvara pod napon mogu doći delovi sistema koji su u normalnom pogonu u beznaponskom stanju. Ova stanja mogu biti opasna po ljude i moraju se predupredi ti.

Tokom izvođenja radova na delovima postrojenja, potrebno je osigurati da se svi poslovi obave bezbedno a da ostatak postrojenja nesmetano funkcioniše. Ovo se omogućava dovođenjem u beznaponsko stanje, manipulacijama prekidačima, rastavljačima i zemljospojnicima. Svi rasklopni elementi starijih konstrukcija su imali mogućnost ručnog otvaranja i zatvaranja, osim u slučaju reagovanja uređaja relejne zaštite. Zahvaljujući tehnološkom napretku, sistemi komunikacije omogućavaju da se apsolutno svi rasklopni elementi mogu otvarati i zatvarati daljinski, na primer korišćenjem računara ili mobilnog telefona.

Oprema u postrojenju može biti postavljena na otvorenom ili u zgradi, može biti vazduhom (sa metalnim oklopom ili bez) ili gasom izolovana.

Detaljan prikaz elemenata i konstrukcije razvodnih postrojenja je dat u rukopisu koji je pred čitaocem. Ovo je bitno izmenjena i proširena verzija istoimenog udžbenika iz 2005. godine od istih autora. Napisan je sa namerom da se problematika projektovanja razvodnih postrojenja izloži uz obuhvatanje trenutnog stanja i savremenih tehnoloških trendova, uz dovoljan obim stručnih i naučnih detalja. Osim edukativne namene, imajući u vidu aktuelnost literature koja je korišćena pri pisanju, verujemo da će knjiga biti od koristi i elektroinženjerima koji se profesionalno bave ovom oblašću.

Materija izložena u tri prve Glave predstavlja neophodan "alat" da bi projekant mogao da odredi potrebne parametre bilo kog elementa ili dela razvodnog postrojenja datog naponskog nivoa. Izloženi su postupci proračuna vremenskog toka struje za datu vrstu kratkog spoja, karakterističnih vrednosti bitnih za dimenzionisanje opreme, proračun termičkog naprezanja za pojedine radne i režime kvara i proračun mehaničkog naprezanja za slučaj kvara.

U sledećih jedanaest Glava obrađene su karakteristike, izbor i ponašanje u eksploataciji sabirnica, izolatora, energetskih kablova, rasklopnih elemenata, mernih

transformatora i pretvarača, energetskih transformatora i prigušnica za ograničenje struja kratkih spojeva.

Načini zaštite od prenapona sklopnog i atmosferskog porekla izloženi su u 15. Glavi, a jednopolne šeme i dispozicije vazduhom izolovanih postrojenja u 16. delu knjige. Problematika uzemljivačkih sistema je obrađena u 17. Glavi. Osamnaesti deo je posvećen $SF_6$ -postrojenjima, 19.-analizi pouzdanosti, a 20.- sistemima relejne zaštite u razvodnim postrojenjima.

Spisak korišćene literature je dat nakon svake Glave, tako da zainteresovani čitaoci imaju dobru osnovu za dalji samostalan rad.

Učinjeni su svi napori da u knjizi ne bude grešaka, ni materijalne ni štamparske prirode. Ako ih i ima nisu namerne.

Svojim sugestijama i predlozima, veliku pomoć su pružili recenzenti Dr Miladin Tanasković i Prof. Dr Saša Stojković, na čemu im najiskrenije zahvaljujemo.

Sve primedbe i sugestije od strane čitalaca, koje će doprineti poboljšanju sadržaja knjige u nekom budućem izdanju, su dobrodošle.

Jovan Nahman
Vladica Mijailović