S A D R Ž A J

UVOD 1

1 OPŠTA RAZMATRANJA O DISTRIBUTIVNIM SISTEMIMA 5

2 KARAKTERISTIKE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE 13

2.1 DOMAĆINSTVO KAO ELEMENT SISTEMA 14

2.2 DOMAĆINSTVA SA ELEKTRIČNIM GREJANJEM PROSTORIJA 17

2.3 FAKTOR JEDNOVREMENOSTI 20

2.4 JEDAN POSTUPAK ZA ODREĐIVANJE VRŠNOG OPTEREĆENJA DOMAĆINSTVA I FAKTORA JEDNOVREMENOSTI 26

2.5 PRIBLIŽAN POSTUPAK ZA PROCENU FAKTORA JEDNOVREMENOSTI 29

2.6 FAKTOR JEDNOVREMENOSTI ISTOVRSNIH ELEMENATA DISTRIBUTIVNE MREŽE 31

2.7 POVRŠINSKA GUSTINA OPTEREĆENJA 33

2.8 INDUSTRIJSKI POTROŠAČI 35

2.8.1 NAZNAČENA I SREDNJA SNAGA 35

2.8.2 KOEFICIJENT MAKSIMUMA I EFEKTIVNI BROJ ELEKTRIČNIH PRIJEMNIKA 37

2.8.3 PRORAČUNSKA VREDNOST VRŠNOG OPTEREĆENJA 41

2.9 OSTALA POTROŠNJA 42

3 PRINCIPSKA REŠENJA MREŽA RAZLIČITIH NAPONSKIH NIVOA 45

3.1 MREŽA NAPONA 110 KV 45

3.2 MREŽA NAPONA 35 KV 45

3.3 MREŽA NAPONA 10(20) KV 48

3.3.1 RADIJALNA MREŽA BEZ REZERVNIH ELEMENATA ... 50

3.3.2 MREŽA SA OTVORENIM PETLJAMA 50

3.3.3 MREŽA SA REZERVNIM KABLOM 55

3.3.4 MREŽA SA REZERVNIM KABLOM I KONTRASTANICOM ... 59
3.3.5 SISTEM SA RAZVODNIM PUNKTOM ... 59
3.3.6 SISTEM SA POVEZIVANJEM TRANSFORMATORSKIH STANICA ... 61
3.3.7 MREŽA SA DVOSTRUKIM KABLOVIMA ... 63
3.3.8 RADIJALNA MREŽA SA MOGUĆNOŠĆU REZERVIRANJA ... 64
3.4 MREŽA 0,4 KV ... 65
3.4.1 RADIJALNA NISKONAPONSKA MREŽA ... 66
3.4.2 NISKONAPONSKA MREŽA SA MOGUĆNOŠĆU REZERVNOG NAPAJANJA ... 66
3.4.3 PETLJASTA NISKONAPONSKA MREŽA ... 67
3.5 PRINCIPSKE I JEDNOPOLNE ŠEME TRANSFORMATORSKIH STANICA RAZLIČITIH NAPONSKIH NIVOA ... 69
3.5.1 TRANSFORMATORSKA STANICA 110/10 KV/KV ... 69
3.5.2 TRANSFORMATORSKA STANICA 35/10 KV/KV ... 71
3.5.3 TRANSFORMATORSKA STANICA 10(20)/0,4 KV/KV ... 72
3.6 SNABDEVANJE GRADOVA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM ... 74
3.7 KONFIGURACIJE INDUSTRIJSKIH MREŽA ... 82
3.8 TIPIČNE ŠEME INDUSTRIJSKIH POSTROJENJA ... 84
4 PROGNOZA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I SNAGE ... 89
4.1 OPŠTI ASPEKTI PROGNOZE ... 89
4.2 METODE ZA PROGNOZU ... 90
4.2.1 KVALITATIVNE METODE ... 91
4.2.2 EKSTRAPOLACIONE METODE ... 91
4.2.2.1 Deterministčke metode ... 91
4.2.2.2 Probabilistička metoda ... 95
4.2.3 KORELACIONE METODE ... 100
4.2.3.1 Deterministčke metode ... 100
4.2.3.2 Probabilistička metoda ... 102
4.3 GODIŠNJE I SEZONSKE PROMENE POTROŠNJE ... 104
5 PADOVI NAPONA I GUBICI SNAGE U VODOVIMA MREŽE ... 107
5.1 ZAMENSKA ŠEMA VODA ... 107

5.2 VOD OPTEREĆEN NA KRAJU ... 108
5.3 VOD SA RAVNOMERNO RASPODELJENIM OPTEREĆENJEM ... 110
5.4 VOD SA LINEARNO RASTUĆIM OPTEREĆENJEM ... 112
5.5 VOD SA JEDNAKIM ODVODIMA I JEDNAKIM DUŽINAMA DEONICA ... 115
5.6 VOD SA KONTINUALNIM OPTEREĆENJEM I JEDNIM VELIKIM SKONCENTRISANIM POTROŠAČEM ... 118

6 PRORAČUN TOKOVA SNAGA I NAPONSKIH PRILIKA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA ... 123
6.1 ITERATIVNI METOD PRORAČUNA RADIJALNIH MREŽA ... 124
6.2 KOMPENZACIONI METOD PRORAČUNA SLABO UPETLJANIH MREŽA ... 127
6.3 MODIFIKOVAN NEWTON-RAPHSONOV METOD ... 129
6.3.1 OSNOVNE JEDNAČINE TEORIJE KOLA KOD PRORAČUNA DISTRIBUTIVNIH MREŽA ... 130
6.3.2 ALGORITAM MODIFIKOVANOG NEWTONOVOG METODA ... 132
6.4 FUZZY PRISTUP PRORAČUNU TOKOVA SNAGA ... 135
6.4.1 OSNOVNE OPERACIJE SA FUZZY BROJEVIMA ... 136
6.4.2 MATEMATIČKI MODEL ... 138

7 REKONFIGURACIJA DISTRIBUTIVNIH MREŽA ... 143
7.1 OPŠTI ASPEKTI REKONFIGURACIJE ... 143
7.2 METOD SA POSTUPNIM OTVARANJEM KONTURA ... 147
7.3 METOD SA POJEDINAČNIM RAZMATRANJEM KONTURA ... 151

8 GUBICI ELEKTRIČNE ENERGIJE ... 155
8.1 KLASIFIKACIJA GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE ... 155
8.2 METODE PRORAČUNA GUBITAKA ENERGIJE U JEDNOM ELEMENTU ... 156
8.2.1 DETERMINISTIČKE METODE ... 159
8.2.1.1 Metod integracije ... 159
8.2.1.2 Metod srednje kvadratne struje ... 159
8.2.1.3 Metod srednje struje ... 160

8.2.1.4 τ metod ... 163
8.2.1.5 Metod aproksimacije dijagrama trajanja opterećenja funkcijom ... 166
8.2.2 STATISTIČKO PROBABILISTIČKE METODE ... 168
8.3 PRORAČUN GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA ... 170
8.3.1 METOD EKVIVALENTNE OTPORNOSTI ... 170
8.3.2 REGRESIONE METODE ... 175
8.3.3 METOD SREDNJE KVADRATNE STRUJE ... 175
8.3.4 FUZZY PRISTUP PRORAČUNU GUBITAKA ENERGIJE ... 177
8.3.5 PRIMENA TEHNIKE KLASTEROVANJA KOD PRORAČUNA GUBITAKA ENERGIJE ... 180

9 KRATKI SPOJEVI ... 185
9.1 PRORAČUN STRUJA KRATKIH SPOJEVA ... 185
9.1.1 TROFAZNI KRATAK SPOJ ... 186
9.1.2 NESIMETRIČNI KVAROVI ... 187
9.1.2.1 Jednofazni kratak spoj ... 190
9.1.2.2 Dvofazni kratak spoj sa zemljom ... 194
9.1.2.3 Dvofazni kratak spoj ... 198
9.2 MODELI ELEMENATA MREŽE ZA POTREBE PRORAČUNA STRUJA KRATKIH SPOJEVA ... 199
9.3 UZEMLJENJE NEUTRALNIH TAČAKA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA ... 204
9.3.1 IZOLOVANO ZVEZDIŠTE ... 204
9.3.2 KOMPENZOVANE MREŽE ... 205
9.3.3 UZEMLJENJE PREKO MALE IMPEDANSE ... 206
9.3.4 DIREKTNO UZEMLJENJE ... 209
9.4 IZNOŠENJE POTENCIJALA IZ TS VN/SN ... 209
9.4.1 KABLOVI SA NEIZOLOVANIM METALNIM OMOTAČEM ... 210
9.4.2 KABLOVI SA IZOLOVANIM METALNIM OMOTAČEM ... 215

10 POUZDANOST I SIGURNOST MREŽA ... 227
10.1 OPŠTA RAZMATRANJA O POUZDANOSTI ... 227
10.2 OSNOVNI POKAZATELJI POUZDANOSTI ... 230
10.3 KARAKTERISTIČNI POKAZATELJI POUZDANOSTI DISTRIBUTIVNIH MREŽA ... 232
10.4 PRORAČUN POUZDANOSTI ... 235

10.5 ŠTETE USLED PREKIDA NAPAJANJA 238
10.6 SIGURNOST 241

11 TEHNIČKO EKONOMSKI ASPEKTI ELEKTROENERGETSKIH MREŽA 245
11.1 METOD EKVIVALENTNIH GODIŠNJIH TROŠKOVA 245
11.2 EKONOMSKO OPTEREĆENJE TRANSFORMATORA 250
11.3 EKONOMSKA GUSTINA STRUJE PROVODNIKA ELEKTROENERGETSKIH VODOVA 257
11.4 OPTIMALNI PARAMETRI MREŽE 261
11.5 IZBOR LOKACIJA I BROJA TRANSFORMATORSKIH STANICA U INDUSTRIJSKIM MREŽAMA 267
11.5.1 SLIKA OPTEREĆENJA 267
11.5.2 CENTAR ELEKTRIČNIH OPTEREĆENJA 269
11.5.3 IZBOR LOKACIJE NAPOJNE TRANSFORMATORSKE STANICE 271
11.5.4 RAZLAGANJE POKAZATELJA RASEJANJA OPTEREĆENJA NA KOMPONENTE 272
11.5.5 OPTIMALNA RASPODELA PRIJEMNIKA PO PODSTANICAMA 273
11.5.6 ODREĐIVANJE OPTIMALNOG BROJA PODSTANICA . 274
11.6 IZBOR POPREČNOG PRESEKA PROVODNIKA 276

12 TERMIČKI ASPEKTI OPTEREĆIVANJA ELEMENATA MREŽE 283
12.1 TERMIČKE MOGUĆNOSTI OPTEREĆIVANJA TRANSFORMATORA 283
12.2 TERMIČKI TRAJNO DOZVOLJENA STRUJA PROVODNIKA NADZEMNIH VODOVA 291
12.2.1 OPŠTA RAZMATRANJA O STRUJNOJ OPTERETLJIVOSTI 291
12.2.2 ZAGREVANJE PROVODNIKA 292
12.2.3 ODVOĐENJE TOPLOTE 295
12.2.4 TERMIČKI TRAJNO DOZVOLJENA STRUJA 300
12.3 TERMIČKI TRAJNO DOZVOLJENA STRUJA ENERGETSKIH KABLOVA 305
12.3.1 OPŠTA RAZMATRANJA O STRUJNOJ OPTERETLJIVOSTI KABLOVA 305
12.3.2 KABL POLOŽEN U ZEMLJU 308
12.3.2.1 Uticaj isušivanja zemljišta 311
12.3.2.2 Uticaj promenljivog dijagrama opterećenja 314

12.3.3 KABL POSTAVLJEN U VAZDUHU 318

13 KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE 325

13.1 OSNOVNE POSTAVKE 325

13.2 NORMIRANJE KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE ... 325

13.3 POKAZATELJI KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE .. 326

13.3.1 ODSTUPANJE NAPONA 326

13.3.2 KOLEBANJE NAPONA 327

13.3.3 NESIMETRIJA NAPONA 329

13.3.4 NEURAVNOTEŽENOST NAPONA 330

13.3.5 1 NESINUSOIDALNOST NAPONA 330

13.3.6 OSTALI POREMEĆAJI KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE VEZANI ZA TALASNI OBLIK NAPONA 332

13.4 ODREĐIVANJE POKAZATELJA KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE 334

13.4.1 ODREĐIVANJE ODSTUPANJA NAPONA 334

13.4.2 ODREĐIVANJE NESIMETRIJE NAPONA 334

13.4.3 ODREĐIVANJE KOLEBANJA NAPONA 338

13.4.4 ODREĐIVANJE NESINUSOIDALNOSTI 342

13.4.4.1 Energetski pretvarači 342

13.4.4.2 Elektrolučne peći 346

13.4.4.3 Elektrootporna peć sa tiristorskom regulacijom 348

13.4.4.4 Uređaji za zavarivanje 349

13.4.4.5 Energetski filtri 351

14 KOMPENZACIJA REAKTIVNE SNAGE 355

14.1 IZVORI REAKTIVNE SNAGE 356

14.1.1 SINHRONI GENERATORI 356

14.1.2 SINHRONI KOMPENZATORI 359

14.1.3 BATERIJE KONDENZATORA 361

14.1.4 TIRISTORSKI PREKIDANI KONDENZATORI 362

14.1.5 TIRISTORSKI KONTROLISANA PRIGUŠNICA 363

14.1.6 PRIGUŠNICA UPRAVLJANA JEDNOSMERNOM STRUJOM 365

14.1.7 KOMBINACIJA KONDENZATORA I PRIGUŠNICE 365

14.2 KOMPENZACIJA REAKTIVNE SNAGE U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA 368

14.3 KOMPENZACIJA REAKTIVNE SNAGE U INDUSTRIJSKIM MREŽAMA 376

14.3.1 KOMPENZACIJA REAKTIVNE SNAGE U INDUSTRIJSKOJ MREŽI OPŠTE NAMENE 376

14.3.2 KOMPENZACIJA REAKTIVNE SNAGE U INDUSTRIJSKOJ MREŽI SA SPECIFIČNIM OPTEREĆENJEM 385
14.3.2.1 Kompenzacija reaktivne snage u mreži sa nelinearnim opterećenjem 385
14.3.2.2 Kompenzacija reaktivne snage u mreži sa nesimetričnim opterećenjem 386
14.3.2.3 Kompenzacija reaktivne snage u mreži sa brzopromenljivim opterećenjem 389

15 REGULACIJA NAPONA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA 395

15.1 STATIČKE NAPONSKE KARAKTERISTIKE POTROŠNJE 395

15.2 ŠTETA POTROŠAČA USLED ODSTUPANJA NAPONA 398

15.3 TRANSFORMATORI SA REGULACIJOM NAPONA U BEZNAPONSKOM STANJU 400

15.4 TRANSFORMATORI SA REGULACIJOM NAPONA POD OPTEREĆENJEM 401

15.4.1 ZAMENSKA ŠEMA TRANSFORMATORA 401
15.4.2 REGULACIJA NAPONA DISTRIBUTIVNIH MREŽA 403
15.4.3 EFIKASNOST REGULACIJE NAPONA POMOĆU REGULACIONOG TRANSFORMATORA 407

16 RELEJNA ZAŠTITA I LOKALNA AUTOMATIKA 411

16.1 KLASIČNA I SAVREMENA REŠENJA UREĐAJA RELEJNE ZAŠTITE 411

16.2 ZAŠTITA ELEKTROENERGETSKIH VODOVA I SABIRNICA 412

16.3 ZAŠTITA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA 418

16.4 PRINCIPI AUTOMATIZACIJE MREŽA 425

16.4.1 LOKALNO MANUELNO UPRAVLJANJE 427
16.4.2 LOKALNA AUTOMATIZACIJA 427
16.4.3 SISTEM DALJINSKOG UPRAVLJANJA 428
16.4.4 AUTOMATIZOVAN SISTEM SA NEPREKIDNIM NAPAJANJEM 430

16.5 RESTAURACIJA NAPAJANJA 433

16.5.1 OPŠTI ASPEKTI RESTAURACIJE 433
16.5.2 RESTAURACIJA PRIMENOM HIBRIDNOG FUZZY-GREY PRISTUPA 435

17 DISTRIBUIRANA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE 441
17.1 OSNOVNA RAZMATRANJA 441
17.2 MALE ELEKTRANE 443
17.2.1 MALE HIDROELEKTRANE 443
17.2.2 ELEKTRANE NA VETAR 447
17.2.3 SOLARNE ELEKTRANE 457
17.2.4 KOGENERATIVNA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE 465
17.2.5 PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE 467
17.2.6 GEOTERMALNE ELEKTRANE 470
17.2.7 GORIVNE ĆELIJE 473
17.3 PRIKLJUČAK MALE ELEKTRANE NA DISTRIBUTIVNU MREŽU 475
17.4 UTICAJ DISTRIBUIRANOG GENERISANJA NA DISTRIBUTIVNU MREŽU 484
LITERATURA 487