Sadržaj

1. Uvod 1
1.1. Opasna radna stanja elemenata ES-a 1
1.2. Kvarovi u ES-u 1
1.3. Havarije u ES-u 2
1.4. Zadaci relejne zaštite 2
1.5. Vremenska mrtva zona relejne zaštite 3
1.6. Neophodne osobine relejne zaštite 3
1.7. Kriterijumi za rad relejne zaštite 6
1.8. Crtanje relejnih uređaja u šemama 6
1.9. Izvori pomoćnih ili komandnih napona 7
1.9.1. Izvori jednosmernih pomoćnih napona 7
1.9.2. Izvori naizmeničnog pomoćnog napona 8
1.10. Načini vezivanja releja 9
2. Elektromehanički releji 11
2.1. Principi rada elektromehaničkih releja 11
2.2. Vrste releja prema broju ulaznih veličina 11
2.3. Strujni i naponski elektromagnetski, magnetoelektrični i elektrodinamički releji 12
2.4. Smanjenje vibracija elektromagnetskih releja za naizmeničnu struju 14
2.5. Strujni i naponski indukcioni releji 15
2.6. Termički relej 16
2.7. Indukcioni frekvencijski relej 18
2.8. Vremenski releji 19
2.9. Indukcioni releji sa dve ulazne veličine 20
2.10. Indukcioni usmereni relej 21
2.11. Karakteristika usmerenosti u *S-φ* ravni 23
2.12. Karakteristika reagovanja usmerenog releja 24
2.13. Karakteristika praga reagovanja usmerenog releja u *U-I* ravni 24
2.14. Distantni releji 25
2.15. Indukcioni impedansni distantni relej 25

2.16. Elektromagnetski impedansni distantni relej 26
2.17. Indukcioni ugaono admitansni relej 27
2.18. Indukcioni ugaono impedansni relej 28
2.19. Distantni relej sa opštom kružnom karakteristikom 29
2.20. Elektromagnetski stabilizovani diferencijalni relej 30
2.21. Pomoćni releji 32
2.22. Logička kola sa elektromehaničkim relejima 33
2.23. Prednosti i nedostaci elektromehaničkih releja 33
3. Statički (elektronski) releji 34
3.1. Principi rada statičkih releja 34
3.2. Osnovne osobine statičkih releja 34
3.3. Statički prekostrujni relej sa definisanim vremenom reagovanja 35
3.4. Statički naponski relej sa definisanim vremenom reagovanja 36
3.5. Statički prekostrujni relej sa inverznom karakteristikom reagovanja 36
3.6. Statički termički relej 37
3.7. Statički frekvencijski relej 39
3.8. Statički vremenski relej 39
3.9. Statički releji sa amplitudskim komparatorima 41
3.10. Kola za amplitudsku komparaciju 41
3.11. Usmereni relej sa amplitudskim komparatorom 42
3.12. Ugaono impedansni distantni relej sa amplitudskim komparatorom 43
3.13. Distantni relej sa opštom kružnom karakteristikom sa amplitudskim komparatorom 44
3.14. Statički releji sa faznim komparatorima 44
3.15. Impulsni fazni komparator 45
3.16. Impulsni fazni komparator sa integratorom 46
3.17. Usmereni relej sa faznim komparatorom 47
3.18. Distantni relej sa opštom kružnom karakteristikom sa faznim komparatorom 48
3.19. Ugaono impedansni distantni relej sa faznim komparatorom 49
3.20. Distantni releji sa poligonalnim karakteristikama 50
3.21. Distantni relej na bazi detektovanja faznog redosleda 50

3.22. Statički stabilizovani diferencijalni relej 53
3.23. Logička "I" i "ILI" kola sa diodama 54
3.24. Prednosti i mane statičkih releja 54
4. Digitalni releji 55
4.1. Opšti blok dijagram digitalnog releja 55
4.2. Prednosti digitalnih releja 56
4.3. Odabiranje signala i analogno digitalna konverzija 57
4.3.1. Asinhrono odabiranje 57
4.3.2. Sinhrono odabiranje 57
4.4. Broj bita i tačnost kvantizacije A/D konverzije 58
4.5. Procena parametara analognih signala i električnih kola 59
4.6. Metode sa malim brojem odbiraka 60
4.6.1. Metoda jednog odbirka 60
4.6.2. Metoda dva odbirka 60
4.6.3. Metoda tri odbirka 61
4.6.4. Metoda četiri odbirka 61
4.6.5. Metoda Mana i Morisona 62
4.6.6. Procena parametara voda pomoću dva odbirka napona i četiri odbirka struje 63
4.6.7. Osobine metoda za obradu signala sa malim brojem odbiraka 64
4.7. Neoptimizacione metode sa većim brojem odbiraka 64
4.7.1. Metoda integracije 64
4.7.2. Metoda srednje vrednosti 66
4.7.3. Furijeova metoda 67
4.7.3.1. Furijeov red 68
4.7.3.2. Veza između fazora i koeficijenata Furijeovog reda 70
4.7.3.3. Broj odbiraka i red najvišeg harmonika Furijeovog reda 73
4.7.3.4. Praktično tumačenje teoreme o odabiranju 74
4.7.3.5. Pojam alijas (aliasing) efekta 74
4.7.3.6. Najviša i najniža frekvencija koju Furijeova metoda može detektovati 75
4.7.3.7. Rekurzivno izračunavanje fazora Furijeovom metodom 76

4.8. Optimizacione metode sa većim brojem odbiraka....78
4.8.1. Estimacija parametara jednofaznog voda metodom najmanjih kvadrata ...78
4.8.2. Estimacija parametara signala metodom najmanjih kvadrata....80
4.8.3. Estimacija frekvencije metodom najmanjih kvadrata....82
4.8.4. Procena parametara signala Njutn-Rapsonovom metodom....86
4.9. Određivanje simetričnih komponenti trofaznih signala....89
4.10. Određivanje smera i impedanse metodama koje daju fazore električnih veličina....91
5. Zaštita vodova....93
5.1. Fazna prekostrujna zaštita....93
5.1.1. Neusmerena fazna prekostrujna zaštita....93
5.1.2. Fazna prekostrujna zaštita sa definisanim vremenom reagovanja....93
5.1.3. Fazna prekostrujna zaštita sa inverznom karakteristikom reagovanja....95
5.1.4. Dvofazna prekostrujna zaštita....95
5.1.4.1. Ponašanje dvofazne prekostrujne zaštite pri dvostrukim zemljospojima....96
5.1.4.2. Ponašanje dvofazne prekostruje zaštite pri dvofaznom kvaru iza transformatora sprege Yd ili Dy....97
5.1.4.3. Dvofazna prekostrujna zaštita sa jednim monofaznim relejom....99
5.1.5. Strujno podešavanje neusmerene fazne prekostrujne zaštite sa definisanim vremenom reagovanja....100
5.1.6. Vremensko podešavanje neusmerene prekostrujne zaštite sa definisanim vremenom reagovanja....102
5.1.7. Strujno podešavanje fazne prekostrujne zaštite sa inverznom karakteristikom....103
5.1.8. Fazna prekostrujna zaštita blokirana naponskim relejom....105
5.1.9. Prednosti i nedostaci neusmerene fazne prekostrujne zaštite....106
5.1.10. Brza ili kratkospojna neusmerena fazna prekostrujna zaštita....106
5.1.11. Trostepena fazna prekostrujna zaštita....108
5.2. Usmerena fazna prekostrujna zaštita....108
5.2.1. Vezivanje usmerenih releja....111
5.2.2. Ponašanje usmerenih releja u fazama bez kvara....112
5.2.3. Strujno podešavanje usmerene fazne prekostrujne zaštite sa definisanim vremenom reagovanja....114

5.2.4. Vremensko podešavane usmerene fazne prekostrujne zaštite sa definisanim vremenom reagovanja....114
5.2.5. Mrtva zona usmerenog releja....115
5.2.6. Usmerena brza ili kratkospojna fazna prekostrujna zaštita....115
5.2.7. Prednosti i nedostaci usmerene fazne prekostrujne zaštite....116
5.2.8. Komentar u vezi sa određivanjem smera struje....116
5.3. Nulta prekostrujna zaštita....117
5.3.1. Osobine strujnih transformatora....118
5.3.2. Struja debalansa filtra nulte komponente struje....120
5.3.3. Strujno podešavanje nulte prekostrujne zaštite....120
5.3.4. Vremensko podešavanje nulte prekostrujne zaštite sa definisanim vremenom reagovanja....121
5.4. Usmerena nulta prekostrujna zaštita....122
5.4.1. Uslovi rada nultog usmerenog releja....123
5.4.2. Napajanje nultog usmerenog releja samo iz strujnih transformatora....126
5.4.3. Podešavanje usmerene nulte prekostrujne zaštite....127
5.4.4. Prednosti i mane nulte prekostrujne zaštite....127
5.5. Zemljospojna zaštita....127
5.5.1. Potrebne osobine zemljospojne zaštite....129
5.5.2. Neselektivni alarmi zemljospoja....131
5.5.3. Selektivne zemljospojne zaštite....132
5.5.3.1. Zemljospojna zaštita zasnovana na merenju jačine nulte struje....132
5.5.3.2. Usmerena zemljospojna zaštita....133
5.5.4. Selektivna zemljospojna zaštita u kompenzovanim mrežama....134
5.5.4.1. Zemljospojna zaštita zasnovana na usmerenom kosinusnom releju....134
5.5.4.2. Zemljospojna zaštita zasnovana na trećem harmoniku struje....135
5.6. Diferencijalna zaštita vodova....136
5.6.1. Podužna analogna diferencijalna zaštita....136
5.6.1.1. Osnovni principi podužne diferencijalne zaštite....137
5.6.1.2. Osobine analogne podužne diferencijalne zaštite....139
5.6.1.3. Podužna digitalna diferencijalna zaštita....140
5.6.2. Poprečna diferencijalna zaštita vodova....140

5.6.2.1. Poprečna diferencijalna zaštita vodova sa jednim prekidačem 140
5.6.2.2. Zona neosetljivosti poprečne diferencijalne zaštite.....141
5.6.2.3. Osobine poprečne diferencijalne zaštite.....142
5.6.2.4. Usmerena poprečna diferencijalna zaštita vodova 142
5.6.2.5. Kaskadni rad usmerene poprečne diferencijalne zaštite.....143
5.6.2.6. Usmerena nulta poprečna diferencijalna zaštita 145
5.6.2.7. Podešavanje poprečne diferencijalne zaštite 145
5.6.2.8. Osobine usmerene poprečne diferencijalne zaštite.....146
5.7. Distantna zaštita vodova 146
5.7.1. Karakteristika vreme-impedansa distantnog releja.....147
5.7.2. Funkcije elemenata elektromehaničke i statičke distantne zaštite.....148
5.7.3. Funkcije elemenata digitalne distantne zaštite 149
5.7.4. Ulazne veličine distantnih releja.....149
5.7.4.1. Trofazni kratak spoj.....150
5.7.4.2. Dvofazni kratak spoj bez zemljospoja.....151
5.7.4.3. Jednofazni kratak spoj 151
5.7.4.4. Dvofazni kratak spoj sa zemljospojem.....152
5.7.5. Prikaz ulaznih veličina distantnih releja.....153
5.7.6. Otpornost električnog luka 153
5.7.7. Uticaj električnog luka na merenu impedansu distantnog releja 155
5.7.7.1. Trofazni kratak spoj.....156
5.7.7.2. Dvofazni kratak spoj sa zemljospojem.....158
5.7.7.3. Dvofazni kratak spoj bez zemljospoja.....159
5.7.7.4. Jednofazni kratak spoj 159
5.7.8. Impedansa luka u *Z* ravni.....160
5.7.9. Neosetljivost usmerenih i distantnih releja pri bliskim kvarovima 161
5.7.10. Blokiranje distantnih zaštita pri oscilovanju sinhronih mašina u ES-u .162
5.7.10.1. Analiza oscilovanja sinhronih mašina u dvomašinskom sistemu....162
5.7.10.2. Trajektorija merene impedanse u Z ravni pri oscilovanju mašina u ES-u.....165
5.7.10.3. Načini blokiranja distantnih releja pri oscilovanju generator.....168
5.7.11. Sistematske greške distantnog releja 170

5.7.12. Uticaj međunapajanja na merenje viših stepena distantnog releja 170
5.7.13. Uticaj paralelnih vodova na merenje distantnog releja.....171
5.7.14. Uticaj energetskog transformatora na merenje distantnog releja.....172
5.7.14.1. Jednofazni kratak spoj 173
5.7.14.2. Dvofazni kratak spoj sa zemljospojem.....175
5.7.14.3. Dvofazni kratak spoj bez zemljospoja.....177
5.7.14.4 Trofazni kratak spoj.....178
5.7.15. Uticaj međutransformatora sprege Dy na merenje distantnog releja.....178
5.7.15.1. Jednofazni kratak spoj 179
5.7.15.2. Dvofazni kratak spoj sa zemljospojem.....180
5.7.15.3. Dvofazni kratak spoj bez zemljospoja.....182
5.7.15.4 Trofazni kratak spoj.....183
5.7.16. Osobine distantnih zaštita.....183
5.7.17. Povezivanje distantnih zaštita telekomunikacionim vezama.....184
5.7.18. Telekomunikacioni kanali za povezivanje distantnih zaštita.....185
5.8. Zaštita vodova od preopterećenja 187
5.9. Automatsko ponovno uključenje vodova 188
5.10. Primena zemljospojnog prekidača u srednjenaponskim mrežama 191
6. Zaštita sinhronih generatora 193
6.1. Vrste kvarova sinhronog generatora.....193
6.2. Opasni radni režimi sinhronog generatora.....193
6.3. Zaštita generatora od međufaznih kratkih spojeva 193
6.4. Potrebne osobine diferencijalne zaštite generatora.....197
6.5. Zaštita od kratkih spojeva unutar faznog namotaja 197
6.6. Zaštita statorskog namotaja od zemljospoja 199
6.7. Zemljospojne zaštite bloka generator-transformator 200
6.8. 100% zemljospojna zaštita bloka generator-transformator zasnovana na 3. harmoniku napona 202
6.9. 100% zemljospojna zaštita bloka generator-transformator sa injektiranim signalom.....204
6.10. Zemljospojna zaštita generatora koji direktno napajaju mrežu 205
6.11. Zaštita pobudnog namotaja od zemljospoja.....206

6.12. Zaštita generatpra od simetričnog preopterećenja 207
6.13. Zaštita generatora od previsokog 50 Hz napona.....208
6.14. Zaštita generatora od ulaska u motorni režim.....208
6.15. Zaštita generatora od gubitka pobude.....209
6.16. Zaštita generatora od asimetričnog opterećenja.....212
6.17. Zaštita sinhronih generatora od kratkih spojeva u mreži 215
6.18. Zaštita generatora od tranzijentne nestabilnosti.....216
6.19. Frekvencijska zaštita generatora.....218
6.20. Zaštita bloka generator-transformator od fluksne prepobude.....218
6.21. Zaštita od preopterećenja pobudnog namotaja generatora.....220
6.22. Preporuke za izbor generatorskih zaštita 220
6.23. Usmeravanje izvršnih signala generatorskih zaštita 221
7. Zaštita energetskih transformatora 222
7.1. Fazna diferencijalna zaštita.....222
7.2. Analogna fazna diferencijalna zaštita transformatora.....222
7.3. Strujni međutransformatori analogne FDZ.....222
7.4. Određivanje sprege i koeficijenta transformacije SMT-a.....224
7.5. Digitalna FDZ transformatora 226
7.6. Podešavanje FDZ transformatora 228
7.7. Zemljospojna zaštita transformatora.....229
7.8. Zaštita malih transformatora od unutrašnjih kratkih spojeva 231
7.8.1. Kratkospojna zaštita transformatora.....231
7.8.2. Kućišna zaštita transformatora 231
7.9. Gasna ili Buholc zaštita transformatora.....232
7.10. Zaštita transformatora od kratkih spojeva u mreži 233
7.11. Zaštita transformatora od preopterećenja 234
7.12. Termička "slika" transformatora.....236
7.13. Kontaktni termometar i termostat za zaštitu malih transformatora 237
8. Zaštita sabirnica 238
8.1. Zaštita sabirnica bez posebnih sabirničkih zaštita.....238
8.2. Prekostrujna zaštita sabirnica 238

8.3. Zaštita sabirnica distantnim relejima iz susednih čvorova 240
8.4. Zaštita sabirnica distantnim relejima iz istog čvora.....240
8.5. Zaštita jednostrukih sabirnica posebnim sabirničkim zaštitama.....241
8.6. Visokoomska diferencijalna zaštita sabirnica.....242
8.7. Nisko ili srednjeomska stabilizovana diferencijalna zaštita sabirnica.....242
8.8. Statička diferencijalna zaštita sabirnica.....243
8.9. Zaštita podužno sekcionisanih jednostrukih sabirnica.....244
8.10. Zaštita višestrukih sabirnica 245
9. Zaštite od otkaza prekidača i osnovnih zaštita 247
9.1. Udaljene rezervne zaštite.....247
9.2. Lokalne rezervne zaštite od otkaza prekidača 248
10. Zaštita električnih motora 250
10.1. Zaštita asinhronih motora 250
10.2. Kvarovi asinhronih motora.....250
10.3. Opasna radna stanja asinhronog motora 250
10.4. Ponašanje asinhronih motora pri startu.....251
10.5. Statorski i rotorski kritični asinhroni motori.....252
10.6. Zaštita asinhronih motora od unutrašnjih kratkih spojeva.....252
10.7. Zemljospojna zaštita statora asinhronih motora 256
10.8. Zaštita asinhronih motora od preopterećenja.....256
10.9. Zaštita asinhronih motora od preopterećenja pomoću termistora.....260
10.10. Zaštita asinhronih motora od predugog starta.....261
10.11. Zaštita asinhronih motora od čestih uzastopnih startovanja 262
10.12. Zaštita asinhronih motora od asimetričnog ili jednofaznog napajanja 263
10.13. Podnaponska zaštita asinhronih motora.....263
10.14. Zaštita sinhronih motora.....263
10.15. Kvarovi i opasni radni režimi sinhronih motora.....264
10.16. Zaštita sinhronih motora od ispada iz sinhronizma 264
11. Zaštita kondenzatorskih baterija 268
11.1. Zaštita kondenzatorskih baterija od kratkih spojeva.....268
11.2. Zaštita od zemljospojeva u kondenzatorskoj bateriji.....268

11.3. Zaštita kondenzatorske baterije od unutrašnjih proboja 269
11.4. Zaštita prekidača kondenzatorske baterije od udarnih struja uključenja 271
11.5. Zaštita kondenzatorskih baterija od strujnog preopterećenja.....271
12. Standardno označavanje zaštitnih funkcija 273
13. Literatura 277