

Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Milenko Đurić
Zoran Stojanović

RELEJNA ZAŠTITA

AKADEMSKA MISAO
Beograd

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 naizmjeničnog 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 naizmjeničnu struju	14
2.5. Strujni i naponski indukcionni releji	15
2.6. Termički relej	16
2.7. Indukcionni frekvencijski relej	18
2.8. Vremenski releji	19
2.9. Indukcionni releji sa dve ulazne veličine	20
2.10. Indukcionni usmereni relej	21
2.11. Karakteristika usmerenosti u $S-\varphi$ 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. Indukcionni 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 Y_d ili D_y	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 generatora 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