

# OBSAH

1.	ZÁKLADNÍ POJMY . . . . .	12
1.1.	Chráněný objekt. . . . .	13
1.2.	Ochrana . . . . .	17
1.3.	Poměrné veličiny . . . . .	20
2.	CHRÁNĚNÉ OBJEKTY . . . . .	23
2.1.	Matematický model chráněného objektu . . . . .	24
2.1.1.	Náhradní schéma . . . . .	25
2.1.2.	Vektorová diferenciální rovnice . . . . .	26
2.1.3.	Vektorová diferenční rovnice . . . . .	28
2.1.4.	Impedanční rovnice . . . . .	29
2.1.5.	Fázorový diagram . . . . .	30
2.1.6.	Impedanční charakteristika . . . . .	31
2.1.7.	Souměrné složky . . . . .	32
2.1.8.	Složky $d, q, 0$ . . . . .	34
2.2.	Synchronní stroj . . . . .	35
2.2.1.	Impedanční rovnice synchronního stroje v ustáleném stavu . . . . .	36
2.2.2.	Fázorový diagram synchronního stroje v ustáleném stavu . . . . .	37
2.2.3.	Impedanční rovnice a fázorový diagram v přechodném a rázovém stavu . . . . .	39
2.2.4.	Pracovní oblast synchronního stroje . . . . .	40
2.2.5.	Impedanční charakteristiky synchronního stroje . . . . .	42
2.2.6.	Náhradní schéma synchronního stroje v souměrných složkách . . . . .	43
2.3.	Impedanční stroj . . . . .	44
2.4.	Transformátor . . . . .	46
2.5.	Vzdušné a kabelové vedení . . . . .	48
2.6.	Měření a výpočty parametrů chráněných objektů pro projekty ochran . . . . .	51
2.6.1.	Synchronní alternátory, motory a kompenzátory . . . . .	52
2.6.2.	Asynchronní stroje. . . . .	56
2.6.3.	Transformátory, autotransformátory a reaktory . . . . .	58
2.6.4.	Vzdušná vedení a kabely . . . . .	62
3.	PORUCHY . . . . .	64
3.1.	Poruchové stavy . . . . .	66
3.2.	Výpočty poruchových stavů . . . . .	68
3.2.1.	Řešení zkratů pomocí souměrných složek . . . . .	68
3.2.2.	Zemní spojení . . . . .	78
3.2.3.	Nesouměrnost . . . . .	78
3.2.4.	Výpočty oteplení . . . . .	80
4.	OCHRANY . . . . .	82
4.1.	Charakteristiky a rovnice ochran . . . . .	84

4.2.	Druhy ochran . . . . .	92
4.3.	Požadavky kladené na ochrany . . . . .	94
4.4.	Vliv sítě na činnost ochran . . . . .	97
4.5.	Přehled norem, které se týkají ochran . . . . .	98
4.6.	Technické údaje ochran . . . . .	99
4.7.	Základní členy ochrany . . . . .	101
4.7.1.	Vstup . . . . .	101
4.7.2.	Měřicí člen . . . . .	103
4.7.3.	Popud . . . . .	104
4.7.4.	Logika . . . . .	104
4.7.5.	Časový člen . . . . .	105
4.7.6.	Napájecí člen . . . . .	105
4.7.7.	Jmenovité velikosti pomocných napětí . . . . .	107
4.7.8.	Koncový člen . . . . .	107
4.8.	Filtry souměrných složek . . . . .	107
4.9.	Měřicí člen ochrany . . . . .	110
5.	<b>PŘÍSTROJOVÉ TRANSFORMÁTORY . . . . .</b>	<b>118</b>
5.1.	Přístrojové transformátory napětí . . . . .	119
5.1.1.	Měření nulové složky napětí . . . . .	121
5.1.2.	Neklasické transformátory napětí . . . . .	122
5.2.	Přístrojové transformátory proudu . . . . .	123
5.2.1.	Zatížení přístrojového transformátoru proudu . . . . .	126
5.2.2.	Požadavky kladené na transformátory proudu pro pomalé ochrany . . . . .	130
5.2.3.	Měření nulové složky proudu . . . . .	131
5.3.	Přístrojové transformátory proudu pro rychlé rozdílové a distanční ochrany . . . . .	133
5.3.1.	Vliv remanence . . . . .	138
5.3.2.	Požadavky kladené na přístrojové transformátory proudu pro rychlé ochrany . . . . .	139
5.4.	Možnosti omezení požadavků na přístrojové transformátory proudu . . . . .	140
5.5.	Stejnoseměrný transformátor proudu . . . . .	141
5.6.	Připojení ochran k přístrojovým transformátorům . . . . .	143
6.	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ELEKTROMECHANICKÝCH A TRANZISTOROVÝCH OCHRAN . . . . .</b>	<b>144</b>
6.1.	Měřicí relé elektromechanických ochran . . . . .	145
6.1.1.	Elektromagnetické relé . . . . .	145
6.1.2.	Stejnoseměrné relé . . . . .	147
6.1.3.	Indukční a elektrodynamické relé . . . . .	148
6.2.	Typické znaky tranzistorových ochran . . . . .	149
6.3.	Přednosti tranzistorových ochran . . . . .	150
6.4.	Stavební členy tranzistorových ochran . . . . .	151
6.5.	Konstrukce tranzistorových ochran . . . . .	158
6.5.1.	Soubor tranzistorových ochran . . . . .	158
6.5.2.	Konstrukční stavebnice tranzistorových ochran . . . . .	161
6.6.	Rušení . . . . .	162
6.6.1.	Opatření proti rušení . . . . .	165
6.6.2.	Připojování polovodičových ochran . . . . .	166
6.6.3.	Odolnost polovodičových ochran proti rušení . . . . .	166

7.	ZÁKLADNÍ TYPY OCHRAN . . . . .	169
7.1.	Proudové ochrany . . . . .	169
7.1.1.	Zkratové proudové ochrany . . . . .	171
7.1.2.	Směrové zkratové proudové ochrany . . . . .	175
7.1.3.	Proudové ochrany při přetížení . . . . .	178
7.1.4.	Tepelný obraz . . . . .	178
7.2.	Napěťové ochrany . . . . .	179
7.2.1.	Podpěťové blokování proudových ochran . . . . .	180
7.3.	Distanční ochrany . . . . .	181
7.3.1.	Distanční měřicí členy se dvěma vstupy $u_k$ a $i_k$ . . . . .	182
7.3.2.	Vzájemná náhrada fázového a amplitudového měřicího členu . . . . .	186
7.3.3.	Modifikace charakteristik měřicích členů . . . . .	189
7.3.4.	Polarizovaný měřicí člen . . . . .	193
7.3.5.	Polygonální charakteristika měřicího členu . . . . .	194
7.3.6.	Vliv sítě na funkci distanční ochrany . . . . .	195
7.3.7.	Vliv vstupních transformátorů na citlivost distanční ochrany . . . . .	199
7.3.8.	Charakteristiky distančních ochran . . . . .	199
7.3.9.	Střadač napětí . . . . .	202
7.3.10.	Kompenzace stejnosměrné složky . . . . .	203
7.3.11.	Obloukové zkraty . . . . .	204
7.3.12.	Závora při kývání . . . . .	205
7.3.13.	Stupně působení ochrany . . . . .	208
7.3.14.	Schéma distanční ochrany . . . . .	210
7.4.	Rozdilové ochrany . . . . .	213
7.4.1.	Blokování rozdilové ochrany při zapínacím nárazu . . . . .	216
7.4.2.	Redukce přenosu signálu . . . . .	218
7.5.	Srovnávací ochrany . . . . .	220
7.6.	Wattové a jalové ochrany . . . . .	222
7.7.	Frekvenční ochrany . . . . .	222
7.8.	Ochrany při nesouměrnosti . . . . .	225
7.9.	Vlnová ochrana . . . . .	227
7.10.	Vícesložkové tepelné modely . . . . .	231
8.	ČÍSLICOVÉ OCHRANY . . . . .	234
8.1.	Použití číslicové techniky . . . . .	236
8.1.1.	Číslicové principy v tranzistorových ochránách . . . . .	236
8.1.2.	Nespražený počítač (off-line) . . . . .	237
8.1.3.	Logický systém . . . . .	237
8.1.4.	Počítač pro řízení výroby a rozvodu elektrické energie . . . . .	238
8.2.	Ochrana objektu počítačem . . . . .	238
8.3.	Programové vybavení číslicových ochran . . . . .	240
8.3.1.	Distanční ochrana s filtrací . . . . .	241
8.3.2.	Diferenční distanční ochrana . . . . .	243
8.3.3.	Distanční ochrana se vzorkováním . . . . .	244
8.4.	Technické vybavení číslicových ochran . . . . .	246
8.5.	Ochrany s mikroprocesory . . . . .	249
8.5.1.	Mikropočítačový systém . . . . .	250
8.5.2.	Vývoj mikropočítačového systému . . . . .	251
8.5.3.	Vlastnosti a kritéria výběru mikroprocesů . . . . .	255

8.6.	Využití teorie stavového prostoru v oboru ochran . . . . .	255
8.6.1.	Energetická podstata teorie chránění . . . . .	257
8.6.2.	Použití energetické hranice $h_0$ pro ochranu objektu počítačem . . . . .	
9.	<b>PŘÍSLUŠENSTVÍ OCHRAN</b> . . . . .	263
9.1.	Vazby distančních a směrových ochran . . . . .	263
9.1.1.	Systém strohování . . . . .	265
9.1.2.	Uvolňovací systém . . . . .	266
9.1.3.	Blokovací systém . . . . .	267
9.1.4.	Vazba směrových ochran . . . . .	268
9.1.5.	Použití vazby . . . . .	269
9.1.6.	Vedení se sériovou kompenzací . . . . .	269
9.1.7.	Ochrana vedení tvaru T . . . . .	270
9.2.	Přenos signálu . . . . .	271
9.2.1.	Sdělovací kabely . . . . .	272
9.2.2.	Vysokofrekvenční vazba . . . . .	272
9.3.	Opětne zapínání (OZ) . . . . .	274
9.4.	Fázovače . . . . .	280
9.4.1.	Princip fázovače . . . . .	280
9.5.	Lokátory poruch . . . . .	283
10.	<b>ZÁSADY PROJEKTOVÁNÍ OCHRAN</b> . . . . .	285
10.1.	Projekt přístrojových transformátorů . . . . .	288
10.2.	Projekt ochran . . . . .	288
10.3.	Zásady projektování tranzistorových a číslicových ochran . . . . .	289
10.4.	Chyby v projektech ochran . . . . .	289
10.5.	Vytváření selektivity ochranami . . . . .	291
10.5.1.	Citlivost proudových a napěťových ochran . . . . .	293
10.5.2.	Selektivita proudových ochran . . . . .	294
10.5.3.	Selektivita mžikových nadproudových ochran . . . . .	294
10.5.4.	Selektivita časovým odstupňováním . . . . .	294
10.6.	Zálohování ochran . . . . .	295
10.6.1.	Oblast chránění . . . . .	295
10.6.2.	Blokování a zálohování ochran . . . . .	297
10.6.3.	Záloha zdvojením . . . . .	297
10.6.4.	Záloha kontrolou . . . . .	298
11.	<b>PROJEKTY OCHRAN ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ</b> . . . . .	299
11.1.	Transformátor . . . . .	299
11.1.1.	Rozdílová ochrana transformátoru . . . . .	300
11.1.2.	Zemní nádobová ochrana . . . . .	302
11.1.3.	Proudová zkratová ochrana . . . . .	303
11.1.4.	Distanční a směrová ochrana . . . . .	303
11.1.5.	Srovnávací ochrana . . . . .	304
11.1.6.	Ochrana při přetížení . . . . .	304
11.1.7.	Plynové relé . . . . .	305
11.2.	Synchronní generátor a kompenzátor . . . . .	305
11.2.1.	Vnitřní zkrat mezi vinutími různých fází, popř. druhé zemní spojení statoru . . . . .	305

11.2.2.	Vnější zkrat mimo vinutí . . . . .	307
11.2.3.	Závitový zkrat v téže fázi . . . . .	310
11.2.4.	Zemní spojení statoru . . . . .	311
11.2.5.	Zemní spojení a závitový zkrat rotoru . . . . .	315
11.2.6.	Ložiskové proudy . . . . .	316
11.2.7.	Přetížení generátoru . . . . .	316
11.2.8.	Nadpětí . . . . .	317
11.2.9.	Samobuzení . . . . .	317
11.2.10.	Ztráta buzení a automatika pro zmenšení výkonu . . . . .	318
11.2.11.	Zpětný tok výkonu . . . . .	319
11.2.12.	Další poruchy . . . . .	320
11.3.	Blok alternátor-transformátor . . . . .	321
11.4.	Přípojnice . . . . .	322
11.5.	Vedení . . . . .	325
11.5.1.	Přetížení vedení . . . . .	326
11.5.2.	Zkraty na vedení . . . . .	326
11.5.3.	Paralelní vedení . . . . .	327
11.5.4.	Zemní spojení . . . . .	328
11.5.5.	Ovládání dvojitých zemních spojení . . . . .	330
11.6.	Asynchronní motor . . . . .	331
11.6.1.	Přetížení . . . . .	332
11.6.2.	Nesouměrnost . . . . .	334
11.6.3.	Podpětí . . . . .	335
11.6.4.	Vnitřní poruchy . . . . .	335
11.7.	Synchronní motor . . . . .	336
11.8.	Stejnoseměrný motor . . . . .	336
11.9.	Reaktor . . . . .	337
11.10.	Kondenzátorová baterie . . . . .	337
	LITERATURA . . . . .	339