

# OBSAH

Předmluva . . . . .	11
Seznam značek . . . . .	12
I. Úvod . . . . .	15
II. Diody . . . . .	19
1. Křemíková dioda . . . . .	21
1.1 Vlastnosti závěrné charakteristiky . . . . .	21
Parametry diod v závěrném směru . . . . .	26
1.2 Vlastnosti propustné charakteristiky . . . . .	32
Parametry diod v propustném směru . . . . .	34
2. Lavinové diody . . . . .	43
2.1 Propustná charakteristika . . . . .	44
2.2 Závěrná charakteristika . . . . .	44
Parametry závěrné charakteristiky . . . . .	45
III. Tyristory . . . . .	50
3. Voltampérová charakteristika tyristoru . . . . .	50
3.1 Závěrná charakteristika . . . . .	51
3.2 Blokovací charakteristika . . . . .	54
Parametry tyristorů v závěrném a blokovacím směru . . . . .	56
3.3 Vlastnosti propustné charakteristiky . . . . .	60
Parametry tyristorů v propustném směru . . . . .	61
4. Dynamické vlastnosti tyristorů . . . . .	67
4.1 Zapínací doba tyristoru . . . . .	67
4.2 Vypínací doba . . . . .	69
4.3 Strmost nárůstu propustného proudu ( $di_p/dt$ ) . . . . .	71
5. Komutace diod . . . . .	77
6. Komutace tyristorů . . . . .	79
7. Kmitočtová zatížitelnost diod a tyristorů . . . . .	79
8. Zapínací vlastnosti tyristorů . . . . .	88
8.1 Vstupní charakteristiky . . . . .	89
8.2 Parametry řídicích obvodů . . . . .	92
8.3 Vlastnosti řídicí elektrody v závěrném směru . . . . .	93
8.4 Vliv řídicího proudu na ostatní parametry tyristorů . . . . .	93

IV. Tepelné vlastnosti . . . . .	95
9. Tepelné parametry . . . . .	95
9.1 Pracovní rozsah teplot . . . . .	95
9.2 Tepelný odpor . . . . .	96
9.3 Transientní tepelný odpor . . . . .	100
V. Chlazení . . . . .	105
10. Cesta přenosu tepla . . . . .	105
11. Návrh chladiče . . . . .	107
11.1 Výpočet chladičích desek . . . . .	107
12. Nucené chlazení . . . . .	110
13. Transientní tepelný odpor chladičích desek . . . . .	111
14. Profilované chladiče . . . . .	112
14.1 Parametry profilových chladičů . . . . .	113
15. Kapalinové chlazení . . . . .	116
VI. Měření diod a tyristorů . . . . .	117
16. Orientační měřicí metody . . . . .	118
16.1 Měření pomocí měřiče izolačních odporů typu „MEGMET“ . . . . .	119
17. Laboratorní měřicí přístroje . . . . .	120
17.1 Obvod pro měření závěrných a blokovacích charakteristik . . . . .	120
17.2 Měření úbytků . . . . .	123
17.3 Měření tepelných odporů . . . . .	124
17.4 Měření ztrátového výkonu . . . . .	125
17.5 Měření zapínacího proudu a napětí . . . . .	127
17.6 Měření vratného proudu . . . . .	127
17.7 Měření strmosti nárustu blokovacího napětí $dU_b/dt$ . . . . .	128
17.8 Měření vypínací doby . . . . .	129
VII. Sériové řazení diod a tyristorů . . . . .	132
18. Příčiny nerovnoměrného rozdělení napětí . . . . .	132
18.1 Nerovnoměrné rozdělení napětí, zaviněné rozptylem závěrných (blokovacích) charakteristik . . . . .	133
Výpočet dělicích odporů . . . . .	134
18.2 Dělení napětí při komutaci diod a tyristorů . . . . .	136
18.3 Vliv zemní kapacity na nerovnoměrné dělení napětí . . . . .	141
18.4 Další možnosti uspořádání napěťových děličů . . . . .	143
19. Poznámky k sériovému řazení lavinových diod . . . . .	144
20. Spínání sériově řazených tyristorů . . . . .	145
20.1 Obvody pro přímé zapínání . . . . .	145
20.2 Obvody pro odvozené zapínání . . . . .	147
20.3 Požadavky na řídicí impuls . . . . .	149

VIII. Paralelní řazení . . . . .	150
21. Vliv rozptylu propustných charakteristik na dělení proudu . . . . .	151
22. Zlepšení paralelního chodu pomocí odporů . . . . .	155
23. Vyrovnávací transformátory . . . . .	156
24. Dělení proudu při přetížení . . . . .	157
25. Zapínání paralelně pracujících tyristorů . . . . .	158
IX. Jištění diod a tyristorů proti přepětí . . . . .	159
26. Příčiny vzniku přepětí . . . . .	159
26.1 Vstupní přepětí . . . . .	161
26.2 Vnitřní přepětí . . . . .	162
26.3 Výstupní přepětí . . . . .	163
27. Jistící obvody proti přepětí . . . . .	164
27.1 Použití obvodů RC . . . . .	164
Jištění proti komutačním přepětím . . . . .	164
Zapojení proti spínacím přepětím . . . . .	169
27.2 Jištění selenovými usměrňovači . . . . .	174
27.3 Použití lavinových diod . . . . .	179
X. Jištění proti proudovému přetížení . . . . .	180
28. Přístroje a obvody pro nadproudové jištění . . . . .	181
28.1 Pojistky . . . . .	181
Parametry pojistek . . . . .	182
Postup při volbě pojistek . . . . .	184
Volba proudového typu pojistek . . . . .	184
Možnosti umístění pojistek v obvodech usměrňovačů . . . . .	184
Stanovení jmenovitého proudu pojistky . . . . .	187
Kontrola napěťové zatížitelnosti pojistek . . . . .	190
Přepětí při tavení pojistek . . . . .	191
Kontrola $I_{t_{\text{vyp}}}$ a jeho porovnání s $I_{t^2}$ polovodičového prvku . . . . .	191
28.2 Jističe . . . . .	195
28.3 Stykače a vypínače . . . . .	196
28.4 Rychlovypínače stejnosměrného proudu . . . . .	197
28.5 Rychlozkratovače . . . . .	197
28.6 Vnitřní odpor a reaktance v obvodu zkratového proudu . . . . .	199
28.7 Použití řídicích obvodů k nadproudovému jištění tyristorů . . . . .	200
28.7.1 Zařízení pro měření proudu . . . . .	201
28.7.2 Porovnávací člen . . . . .	202
29. Jištění při startování zdrojů . . . . .	204
30. Příklady kompletních jistících obvodů . . . . .	205
XI. Obvody usměrňovačů . . . . .	207
31. Funkce a charakteristické vlastnosti usměrňovacích obvodů . . . . .	207

31.1	Jednofázové obvody usměrňovačů . . . . .	207
31.2	Vlastnosti jednopulsního usměrňovače . . . . .	208
31.3	Jednofázové dvoupulsní usměrňovače . . . . .	209
31.4	Trojfázové usměrňovací obvody . . . . .	210
31.5	Trojfázové zapojení do uzlu . . . . .	210
31.6	Trojfázový můstkový usměrňovač . . . . .	212
31.7	Šestifázové uzlové zapojení usměrňovače . . . . .	213
31.8	Šestipulsní usměrňovač s nulovou tlumivkou . . . . .	213
32.	Parametry usměrňovacích obvodů . . . . .	215
33.	Snížení napětí ve skutečném usměrňovacím obvodu . . . . .	215
34.	Výpočet zkratových proudů . . . . .	217
34.1	Výpočet ustáleného zkratového proudu . . . . .	217
34.2	Výpočet přechodného zkratového proudu . . . . .	218
35.	Příklady použití usměrňovacích obvodů s křemíkovými diodami . . . . .	220
35.1	Síťový napáječ k tranzistorovému přejímači . . . . .	221
35.2	Stabilizovaný zdroj s transformátorem . . . . .	223
35.3	Nabíjení akumulátorových baterií . . . . .	223
35.4	Svařovací usměrňovače . . . . .	224
35.5	Usměrňovače pro průmysl a trakci Zatížitelnostní třídy usměrňovačů . . . . .	227
35.6	Usměrňovače pro elektrolýzu . . . . .	227
35.7	Usměrňovače pro střídavé lokomotivy . . . . .	238
XII.	<i>Potlačení elektrického oblouku polovodičovými diodami</i> . . . . .	246
36.	Volba zapojení ochranného obvodu . . . . .	247
37.	Návrh obvodu s křemíkovou diodou . . . . .	248
38.	Použití lavinových diod v ochranných obvodech . . . . .	254
38.1	Ochranné obvody s kombinací lavinová dioda — kondenzátor . . . . .	259
XIII.	<i>Spínání výkonu</i> . . . . .	262
39.	Porovnání elektromechanických a statických spínačů . . . . .	262
39.1	Doba působení . . . . .	262
39.2	Odolnost proti chvění a nárazům . . . . .	262
39.3	Doba života . . . . .	263
39.4	Spolehlivost . . . . .	263
39.5	Spínací účinnost . . . . .	263
39.6	Vlastnosti kontaktů . . . . .	264
39.7	Proudová a napěťová zatížitelnost . . . . .	264
39.8	Vstupní citlivost . . . . .	264
40.	Střídavé spínače . . . . .	265
40.1	Obvody statických spínačů . . . . .	265
40.2	Zapojení výkonové části jednofázových spínačů . . . . .	266
40.3	Zapojení výkonové části trojfázových spínačů . . . . .	267

41. Zapínací obvody pro střídavé spínače . . . . .	270
41.1 Vlastnosti zapínacích obvodů . . . . .	270
41.2 Stejnoseměrné zapínání . . . . .	273
41.3 Impulsní zapínání . . . . .	274
42. Příklady použití jednofázových spínačů . . . . .	278
42.1 Jističí obvody . . . . .	278
42.2 Přepětové relé . . . . .	278
42.3 Jističí obvod proti proudovému přetížení . . . . .	279
42.4 Elektronické řízení teploty . . . . .	280
42.5 Několikaúčelový spínač zapínaný mechanickým kontaktem . . . . .	283
42.6 Jednofázový spínač s vlastním zdrojem řídicího signálu . . . . .	284
42.7 Jednofázový spínač ovládaný elektrickým signálem . . . . .	284
43. Stejnoseměrné spínače . . . . .	285
43.1 Vypínání paralelním kondenzátorem . . . . .	285
43.2 Vypínání rezonančním obvodem . . . . .	289
43.3 Vypínání rezonančním obvodem připojeným k anodě hlavního tyristoru . . . . .	291
43.4 Vypínání rezonančním obvodem s omezením strmosti nárůstu blokovacího napětí . . . . .	293
43.5 Typické zapínací obvody pro stejnosměrné spínače . . . . .	295
43.6 Příklady použití stejnosměrných statických spínačů v praxi . . . . .	297
Spínač ovládaný kontaktem . . . . .	297
Statický spínač s nadproudovým a přepětovým jištěním . . . . .	298
Časové relé s tyristory . . . . .	299
Bezkontaktní periodické zapínání zátěže . . . . .	301
Tyristorové spínače v obvodech kruhových čítačů . . . . .	304
Tyristorové spínače pro ovládání prodejních automatů . . . . .	307
XIV. Řízení výkonu . . . . .	309
44. Řízení výkonu pomocí tyristorů . . . . .	309
44.1 Zdroje stejnosměrného napětí s fázovým řízením . . . . .	311
Řízený usměrňovač s činnou zátěží . . . . .	311
Řízený usměrňovač s indukční zátěží . . . . .	313
Částečně induktivní zátěž řízeného usměrňovače . . . . .	316
Řízené usměrňovače s nulovou diodou . . . . .	316
Smíšené obvody řízených usměrňovačů . . . . .	317
Invertorový chod řízeného usměrňovače . . . . .	318
44.2 Řídicí obvody . . . . .	321
Odporový řídicí obvod . . . . .	321
Řídicí obvody se členy $RC$ . . . . .	322
Tyristorový řídicí obvod . . . . .	324
Tranzistorové řídicí obvody . . . . .	325
44.3 Příklady použití tyristorů v obvodech řízených usměrňovačů . . . . .	327

Tyristorový beztransformátorový zdroj . . . . .	327
Stejnoseměrný zdroj proměnného napětí . . . . .	328
Tyristorové zdroje pro pohony . . . . .	329
Nabíjení akumulátorových baterií . . . . .	336
44.4 Řízení střídavého výkonu . . . . .	336
Jednoduchý stmívač pro žárovky do 300 W . . . . .	337
Obvod pro odporovou zátěž do 3 000 W . . . . .	337
Zdroj pro napájení indukčních zátěží . . . . .	338
45. Základní parametry součástek používaných při návrhu výkonových obvodů průmyslové elektroniky . . . . .	339
45.1 Přehled základních parametrů diod a tyristorů . . . . .	339
45.2 Parametry profilových chladičů . . . . .	341
45.3 Základní parametry Selimitů . . . . .	341
45.4 Rychlé pojistky pro diody a tyristory . . . . .	345
<i>Literatura</i> . . . . .	349
<i>Rejstřík</i> . . . . .	352