

OBSAH

Předmluva	11
I. Základy polovodičové techniky	13
1. Vodiče	13
2. Izolanty	14
3. Polovodiče	14
4. Vnitřní a valenční elektrony atomu	15
5. Vznik elektrického proudu, pohyblivé elektrony	16
6. Krystalová struktura, vliv valenčních elektronů	17
7. Volné elektrony	17
8. Vázané elektrony	18
9. Přeměna vázaného elektronu ve volný elektron	18
10. Vliv vzrůstu teploty na chování valenčních elektronů	19
11. Rozdíl mezi polovodičem a izolantem	20
12. Vliv vnějšího elektrického pole na volný elektron	20
13. Mezery v krystalové mřížce a jejich pohyb	21
14. Fyzikální model W. Shockleyho	22
15. Volný elektron, díra	23
16. Vlastní vodivost	23
17. Rekombinace	24
18. Příměsová vodivost, způsobená pětimočným prvkem	24
19. Donory, vodivost typu N, dotace	25
20. Příměsová vodivost, způsobená trojmočným prvkem	26
21. Vodivost typu P	27
22. Difúzní a vodivostní proud	28
23. Závěr	28
II. Činnost polovodičové diody	31
1. Donory, akceptory, dotace	31
2. Silná a slabá dotace základního materiálu	32
3. Generace páru elektron—díra	32
4. Rekombinace	33
5. Doba života nosičů nábojů	33
6. Přechod PN	34
7. Difúze nosičů nábojů, difúzní proud	34
8. Ustálený stav po průchodu difúzního proudu přechodem	35
9. Vznik difúzního napětí	36
10. Příčina vzniku difúzního napětí	37
11. Oblast prostorového náboje	38
12. Připojení přechodu PN na vnější napětí	39
13. Propustné polarizovaný přechod PN	40

14.	Závěrné polarizovaný přechod PN	40
15.	Závěrný proud přechodu PN	41
16.	Vztah mezi hodnotou závěrného napětí a šířkou oblasti prostorového náboje	42
17.	Kritická hodnota intenzity elektrického pole	43
18.	Vliv stupně dotace na maximální závěrné napětí přechodu PN	44
19.	Vliv stupně dotace na úbytek v propustném směru	45
20.	Diody typu $P\pi N$, PvN	45
21.	Úbytek v propustném směru u diody PvN ($P\pi N$)	46
22.	Vliv rekombinačních center na vlastnosti diody PvN polarizované závěrně	47
23.	Lavinový průraz	47
24.	Zenerův průraz	48

III. Charakteristiky polovodičových diod 50

1.	Propustná větev statické charakteristiky diody	50
2.	Diferenciální odpor v propustném směru	51
3.	Vliv teploty na propustnou charakteristiku diody	52
4.	Křemíková a germaniová dioda	52
5.	Ztrátový výkon v propustném směru	53
6.	Závěrná větev statické charakteristiky diody	54
7.	Přípustné napěťové zatížení diod	54
8.	Vliv teploty na průběh závěrné charakteristiky	55
9.	Závěrný proud křemíkové a germaniové diody	56
10.	Ztráty v závěrném směru	57
11.	Průrazné napětí diody $U_{(BR)}$	57
12.	Závěrná charakteristika Zenerovy diody	58
13.	Tepelný odpor R_{th}	59
14.	Tepelná nestabilita	59
15.	Komutace diody	60
16.	Komutační přepětí	61
17.	Mezní kmitočet diody	62
18.	Inverzní dioda	62
19.	Tunelová dioda	63

IV. Použití polovodičové diody 66

1.	Jednopulsní usměrňovač zatížený činným odporem	66
2.	Grafické určení časového průběhu usměrněného proudu	67
3.	Střední hodnota usměrněného napětí a proudu	67
4.	Střídavá složka usměrněného napětí, zvlnění	68
5.	Jednopulsní usměrňovač zatížený odporem a kapacitou (zatížený protinapětím)	69
6.	Opakovatelný špičkový propustný proud	69
7.	Příklad praktického použití jednopulsního usměrňovače v napájecím obvodu televizoru	70
8.	Uzlové zapojení	71
9.	Jednofázový můstek	72
10.	Průběh proudů a napětí v obvodu jednofázového můstku	73
11.	Příklad použití jednofázového můstku v napájecí části zařízení pro stereofonní přenos	74
12.	Nulová dioda	75
13.	Zdvojovač napětí	76
14.	Kaskádní zapojení zdvojovačů	76
15.	Trojfázový můstek	77
16.	Paralelní zapojení diod	78

17.	Sériové zapojení diod	79
18.	Stabilizace stejnosměrného napětí stabilizační diodou	79
19.	Několikastupňový stabilizátor, teplotní kompenzace Zenerovy diody	80
V.	Tranzistor	85
1.	Tři oblasti struktury tranzistoru	86
2.	Napájecí napětí tranzistoru PNP	87
3.	Vztah mezi proudy tranzistoru	87
4.	Tři základní zapojení tranzistoru	88
5.	Označení proudů a napětí tranzistoru	89
6.	Kladné směry proudů a napětí	89
7.	Zapojení se společným emitorem	91
8.	Vstupní a výstupní odpor tranzistoru v zapojení se společným emitorem	92
9.	Napětové a výkonové zesílení	93
10.	Charakteristiky tranzistoru	94
11.	Výstupní charakteristika tranzistoru	95
12.	Vstupní charakteristika tranzistoru	96
13.	Vstupní odpor tranzistoru	97
14.	Výstupní charakteristika	98
15.	Převodní charakteristika $I_C = f(I_B)$	98
16.	Závislost proudového zesílení na kolektorovém proudu	99
17.	Strmost	100
18.	Grafické určení převodní charakteristiky $I_C = f(U_{BE})$	101
19.	Zapojení se společnou bází	102
20.	Vstupní a výstupní odpor zapojení se společnou bází	103
21.	Zapojení se společným kolektorem	104
22.	Proudové zesílení v zapojení tranzistoru se společným kolektorem	105
23.	Vstupní odpor a napětové zesílení tranzistoru v zapojení se společným kolektorem	105
24.	Výstupní odpor a napětové zesílení tranzistoru v zapojení se společným kolektorem	106
25.	Přehledné srovnání vlastností zapojení se společným emitorem, bází a kolektorem	107
VI.	Tranzistor jako nízkofrekvenční zesilovač	109
1.	Zásadní požadavky, kladené na nízkofrekvenční zesilovač	109
2.	Zkreslení výstupního signálu při zesilování střídavého napětí jedním tranzistorem	110
3.	Klidový pracovní bod tranzistoru	110
4.	Nastavení klidového pracovního bodu	111
5.	Zatěžovací (odporová) přímka	112
6.	Šum tranzistoru	113
7.	Proudové zesílení	114
8.	Zbytkový proud	115
9.	Pracovní bod	116
10.	Buzení tranzistoru zdrojem proudu	116
11.	Buzení tranzistoru zdrojem napětí	118
12.	Přízpůsobení	119
13.	První stupeň předzesilovače v zapojení se společným emitorem	120
14.	První stupeň předzesilovače v zapojení se společným kolektorem	121
15.	Zapojení se společnou bází	121
16.	Jednotlivé stupně nízkofrekvenčního zesilovače	123
17.	Kapacitní vazba	124
18.	Transformátorová vazba	124

19.	Korekční členy	125
20.	Korekční kmitočtový člen	126
21.	Budicí stupeň	128
22.	Zpětná vazba	128
23.	Napětová zpětná vazba	129
24.	Proudová zpětná vazba	130
VII. Koncový stupeň nízkofrekvenčního zesilovače		133
1.	Úloha reproduktoru	133
2.	Mezní hodnoty tranzistorů	134
3.	Jednočinné zapojení	134
4.	Provoz ve třídě A	135
5.	Zatěžovací odpor jednočinného koncového stupně, pracujícího ve třídě A	136
6.	Ztráty v jednočinném koncovém stupni	137
7.	Energetická bilance jednočinného zapojení ve třídě A	138
8.	Jednočinné zapojení s výstupním transformátorem	139
9.	Souvislost mezi hodnotou zatěžovacího odporu a výstupním výkonem	140
10.	Napětové namáhání tranzistoru	141
11.	Dvojjinné zapojení s provozem ve třídě B	142
12.	Výstupní výkon dvojjinného zapojení s provozem ve třídě B	143
13.	Energetická bilance dvojjinného zapojení s provozem ve třídě B	144
14.	Dvojjinné zapojení s komplementárními tranzistory	145
15.	Koncový stupeň, osazený dvěma tranzistory typu PNP či NPN	146
16.	Koncový stupeň, napájený stejnosměrným zdrojem s vyvedeným středem	147
17.	Koncový stupeň se sériovým kondenzátorem	148
18.	Výstupní výkon dvojjinného zapojení bez výstupního transformátoru (třída B)	148
19.	Určení hodnoty zatěžovacího odporu u dvojjinného zapojení ve třídě B	150
20.	Zkreslení	151
21.	Záporná zpětná proudová vazba	152
22.	Záporná napětová zpětná vazba	153
23.	Vliv teploty na polohu pracovního bodu	154
24.	Teplotní stabilizace teplotně závislými odpory	154
25.	Stabilizace pracovního bodu pomocí křemíkové diody	155
VIII. Tranzistor jako spínač		159
1.	Tranzistor v zapojení se společným emitorem	159
2.	Zbytkový proud I_{CBO}	160
3.	Zbytkový proud I_{CER}	161
4.	Zbytkový proud I_{CES}	162
5.	Zbytkový proud I_{CBO}	162
6.	Závislost zbytkového proudu na napětí emitor—kolektor	163
7.	Tranzistor ve vodivém stavu	164
8.	Zbytkové (saturační) napětí	165
9.	Určení saturačního napětí tranzistoru	165
10.	Kolektorová ztráta tranzistorového spínače	166
11.	Tepelný odpor tranzistoru	167
12.	Tepelný odpor mezi přechodem a okolím	168
13.	Aktivní pracovní oblast tranzistoru	169
14.	Zapínací doba tranzistoru	170
15.	Činitel nasycení	171
16.	Přesycení tranzistoru v období spínacího pochodu	171
17.	Vypínací doba	172
18.	Komutační poměr	173

19.	Vliv komutačního proudu na vypínání tranzistoru	174
20.	Zvětšení komutačního poměru	175
21.	Ztráty tranzistoru ve spínacím provozu	176
22.	Spínací poměr	177
23.	Spínací provoz výkonových tranzistorů	178
24.	Spínání indukční zátěže	178
25.	Vypínání indukční zátěže	179
26.	Spínání zátěže kapacitního charakteru	180
27.	Vypínání zátěže kapacitního charakteru	180
IX.	Princip činnosti tyristoru	185
1.	Názorná představa, vysvětlující rozdíl chování diody a tyristoru	185
2.	Schematická značka diody a tyristoru	186
3.	Provozní stavy diody	187
4.	Provozní stavy tyristoru	188
5.	Struktura tyristoru	189
6.	Porovnání struktury diody a tyristoru	189
7.	Pohyb nosičů nábojů v tyristoru, na který není přivedeno vnější napětí	190
8.	Pohyb nosičů nábojů v závěrně polarizovaném tyristoru	191
9.	Pohyb nosičů nábojů u tyristoru v blokovacím stavu	192
10.	Řídicí obvod tyristoru	193
11.	Náhrada struktury tyristoru dvěma komplementárními tranzistory	194
12.	Pohyb nosičů nábojů ve struktuře fiktivních tranzistorů	194
13.	Přechod tranzistoru z blokovacího stavu do propustného	195
14.	Funkce jednotlivých přechodů tyristorové struktury	197
15.	Maximální závěrné a blokovací napětí tyristoru	197
16.	Vypínání tyristoru	198
17.	Impulsové řízení tyristoru	199
18.	Spojité a nespojitě řízení proudu v pracovním obvodu tranzistoru a tyristoru	200
19.	Tranzistor jako spínač stejnosměrného napětí	201
20.	Tyristor jako spínač střídavého napětí	202
21.	Princip řízení elektrického výkonu tyristorem	203
X.	Charakteristiky tyristoru	206
1.	Statická charakteristika diody	206
2.	Statická charakteristika tyristoru	207
3.	Propustná charakteristika	207
4.	Hodnota prahového napětí a diferenciálního odporu v propustném směru	208
5.	Závěrná charakteristika	209
6.	Blokovací charakteristika	210
7.	Vstupní charakteristika tyristoru	210
8.	Úhel sepnutí	211
9.	Horizontální řízení tyristoru	212
10.	Zapínací napětí, zapínací proud	213
11.	Přidržený proud	213
12.	Vertikální řízení tyristoru	214
13.	Vliv řídicího proudu na závěrnou a blokovací charakteristiku	215
14.	Ztráty v tyristoru	216
15.	Vliv teploty na průběh statické charakteristiky tyristoru	217
16.	Oteplení přechodu, tepelný odpor	218
17.	Jmenovitý proud tyristoru I_{TAVN}	218
18.	Opakovatelné závěrné a blokovací napětí	220
19.	Spínací proud a napětí I_{GT} , U_{GT}	220
20.	Katalogový list tyristoru	221

XI.	Použití tyristoru v elektrických obvodech	225
1.	Jednocestné řízené usměrnění	225
2.	Průběh napětí a proudu jednocestného usměrňovače	226
3.	Vnitřní odpor tyristoru	226
4.	Rozsah řízení výstupního výkonu jednocestného usměrňovače	227
5.	Antiparalelní zapojení tyristorů	228
6.	Časové průběhy proudu a napětí v obvodu z obr. 201	229
7.	Antiparalelní zapojení tyristor — dioda	229
8.	Průběhy proudu a napětí v obvodu z obr. 203a	230
9.	Jednoduchý řídicí obvod tyristoru	232
10.	Použití čtyřvrstvé spínací diody v řídicím obvodu tyristoru	232
11.	Řídicí obvod se spínací diodou	233
12.	Celkové schéma jednopulsního řízeného usměrňovače	234
13.	Celkové schéma obvodu antiparalelních tyristorů	235
14.	Oblast použití obvodů z článků 12, 13	235
15.	Jednocestný usměrňovač pro napájení kotvy stejnosměrného motoru	236
16.	Napájení kotvy motoru jednofázovým řízeným můstkem	237
17.	Trojfázový můstek	238
18.	Úloha tyristorů v obvodech výkonové elektroniky	238
19.	Nejdůležitější tyristorové obvody výkonové elektroniky	239
20.	Střídač	240
21.	Pulsní stejnosměrný měnič	241
22.	Obecný úkol polovodičových měničů	241
XII.	Triak (diodový tyristor obousměrný)	245
1.	Činnost tyristoru typu NPNP	245
2.	Tyristor typu NPNP a PNP	246
3.	Antiparalelní zapojení dvou tyristorů	247
4.	Náhrada antiparalelního zapojení tyristorů triakem	248
5.	Polovodičová struktura typu NPNP a PNP	249
6.	Nejčastěji používaný typ struktury triaku	249
7.	Skutečné rozměry struktury triaku	250
8.	Rozložení napětí ve struktuře triaku při kladném potenciálu základny (anoda A_2)	252
9.	Rozložení napětí ve struktuře triaku při záporném potenciálu základny (anoda A_2)	253
10.	Zapnutí fiktivního tyristoru V_N	254
11.	Zapnutí fiktivního tyristoru V_P	254
12.	Čtyři různé možnosti zapínání triaku	256
13.	Struktura triaku s přidávnou vrstvou vodivosti typu N	257
14.	Zapínání hlavních a pomocných tyristorů ve struktuře triaku	257
15.	Zapínání triaků dle možnosti I až IV	259
16.	Zapínání podle možnosti II, IV	259
17.	Zapínání triaku při malém činném odporu řídicího obvodu	260
18.	Skutečný tvar a uspořádání struktury triaku	260
19.	Zapínání triaku zvýšeným napětím	261
20.	Řízení intenzity osvětlení triakem	262
21.	Princip činnosti obvodu z obr. 231	263
22.	Způsoby zapnutí triaku v obvodu z obr. 231	264
23.	Nevhodné možnosti zapnutí triaku z obr. 231	265
24.	Důvod nežádoucího zapínání triaku z obr. 231	265
XIII.	Odpovědi na kontrolní otázky, kontrolní testy a závěrečné testy ke kapitolám I až XII	268
	Rejstřík	302