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 mříži 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 pětimocným prvkem 24
19. Donory, vodivost typu N, dotace 25
20. Příměsová vodivost, způsobená trojmocným 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. Propustně polarizovaný přechod PN 40

14. Závěrně 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 PπN, PνN 45
21. Úbytek v propustném směru u diody PνN (PπN) 46
22. Vliv rekombinačních center na vlastnosti diody PνN 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. Napěťové 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 napěťové zesílení tranzistoru v zapojení se společným kolektorem . . . 105
24. Výstupní odpor a napěťové 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. Přizpůsobení . . . 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. Napěťová 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. Napěťové namáhání tranzistoru . . . 141
11. Dvojčinné zapojení s provozem ve třídě B . . . 142
12. Výstupní výkon dvojčinného zapojení s provozem ve třídě B . . . 143
13. Energetická bilance dvojčinného zapojení s provozem ve třídě B . . . 144
14. Dvojčinné 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 dvojčinného zapojení bez výstupního transformátoru (třída B) . . . 148
19. Určení hodnoty zatěžovacího odporu u dvojčinného zapojení ve třídě B . 150
20. Zkreslení . . . 151
21. Záporná zpětná proudová vazba . . . 152
22. Záporná napěťová 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_{CEO} . . . 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 nespojité 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. Přídržný 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 PNPN 246
3. Antiparalelní zapojení dvou tyristorů 247
4. Náhrada antiparalelního zapojení tyristorů triakem 248
5. Polovodičová struktura typu NPNPN a PNPNP 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 přídavnou 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