Obsah

1 ZÁKLADY FYZIKY POLOVODIČŮ 6

1.1 Základy kvantové teorie pevných látek, pásový model pevných látek 6
1.1.1 Elektron v izolovaném atomu 6
1.1.2 Elektron v krystalu - základy pásové teorie 7
1.2 Rozdělení látek podle jejich elektrických vlastností 8
1.3 Elektrická vodivost polovodičů 10
1.3.1 Vlastní polovodiče 10
1.3.2 Nevlastní polovodiče 11
1.4 Elektrony v pevných látkách a jejich energetické rozdělení 14
1.4.1 Hustota stavů 14
1.4.2 Fermi - Diracova rozdělovací funkce 14
1.4.3 Rovnovážné rozložení nosičů 15
1.5 Rovnovážná koncentrace nosičů 16
1.5.1 Vztahy pro výpočet koncentrace elektronů a děr 16
1.5.2 Nábojová neutralita 18
1.5.3 Výpočet polohy Fermiho hladiny 19
1.6 Vedení proudu v polovodičích 21
1.6.1 Drift nosičů náboje 21
1.6.2 Difúze nosičů náboje 23
1.6.3 Generace a rekombinace 25
1.6.4 Stavové rovnice polovodiče 27

2 POLOVODIČOVÉ PŘECHODY 29

2.1 Klasifikace přechodů 29
2.1.1 Homogenní přechody 29
2.1.2 Heterogenní přechody 29
2.2 Přechod PN v rovnovážném stavu 30
2.2.1 Kvalitativní popis PN přechodu v rovnovážném stavu 31
2.2.2 Kvantitativní popis PN přechodu v rovnovážném stavu 32
2.3 Přechod PN s přiloženým vnějším napětím 36
2.3.1 Propustně a závěrně pólovaný PN přechod 36
2.3.2 Ampérvoltová charakteristika ideálního přechodu PN 37
2.3.3 Kapacita přechodu PN 43
2.4 Přechod PN v dynamickém režimu 44
2.4.1 Přechod PN v impulsovém režimu 45
2.5 Přechod PN při sinusovém napětí 47
2.5.1 Přechod PN s přiloženým stejnosměrným a střídavým napětím 48
2.6 Průraz přechodu PN 48
2.6.1 Tunelový (Zenerův) průraz 48
2.6.2 Lavinový průraz 50
2.6.3 Tepelný průraz 51
2.7 Přechod kov-polovodič 53
2.7.1 Schottkyho bariéra 53
2.7.2 Usměrňující kontakt kov-polovodič 54
2.7.3 Neusměrňující kontakt kov-polovodič 55

3 POLOVODIČOVÉ DIODY 57

3.1 Hrotové diody 60

3.2 PLOŠNÉ DIODY 62
3.2.1 Detekční a spínací diody *66*
3.2.2 Stabilizační a referenční diody *67*
3.2.3 Kapacitní diody *72*
3.2.4 Tunelová a inverzní dioda *73*
3.2.5 Usměrňovací diody *73*
3.2.6 Rychlé usměrňovací diody *79*
3.2.7 Lavinové usměrňovací diody *80*
3.2.8 Schottkyho usměrňovací diody *81*
3.3 OSTATNÍ PRVKY DIODOVÉHO CHARAKTERU 82
3.4 NĚKTERÉ OBVODOVÉ APLIKACE DIOD 82
3.5 VLASTNOSTI A MODELY POLOVODIČOVÝCH DIOD 83

4 POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY BEZ AKTIVNÍHO PŘECHODU PN 91

4.1 SOUČÁSTKY Z MONOKRYSTALICKÝCH POLOVODIČŮ BEZ AKTIVNÍHO PŘECHODU PN 91
4.2 SOUČÁSTKY Z POLYKRYSTALICKÝCH POLOVODIČŮ 91

5 BIPOLÁRNÍ TRANZISTORY 92

5.1 PRINCIP ČINNOSTI BIPOLÁRNÍHO TRANZISTORU 94
5.2 KVANTITATIVNÍ ANALÝZA FUNKCE BIPOLÁRNÍHO TRANZISTORU 102
5.2.1 Proudové zesílení a vztahy mezi stejnosměrnými proudy tranzistoru v základních zapojeních *102*
5.2.2 Ebersův-Mollův model bipolárního tranzistoru NPN *107*
5.3 STATICKÉ VLASTNOSTI BIPOLÁRNÍHO TRANZISTORU 109
5.3.1 Statické charakteristiky tranzistoru NPN v zapojení se společnou bází (SB).110
5.3.2 Statické charakteristiky tranzistoru NPN v zapojení se společným emitorem (SE) 111
5.3.3 Průrazy tranzistorové struktury *116*
5.3.4 Earlyho jev *119*
5.4 MODELY BIPOLÁRNÍHO TRANZISTORU 120
5.4.1 Nelineární modely bipolárního tranzistoru *120*
5.4.2 Linearizované modely bipolárního tranzistoru (bipolární tranzistor jako impedanční čtyřpól) *125*
5.4.3 Mezní kmitočty bipolárního tranzistoru *130*
5.5 PRINCIPY OBVODOVÝCH APLIKACÍ BIPOLÁRNÍHO TRANZISTORU 132
5.5.1 Bipolární tranzistor jako spínač *132*
5.5.2 Bipolární tranzistor jako zesilovač *136*
5.5.3 Jednotranzistorový nízkofrekvenční zesilovač *142*
5.6 VÝKONOVÉ A VYSOKOFREKVENČNÍ TRANZISTORY 145

6 UNIPOLÁRNÍ TRANZISTORY 150

6.1 UNIPOLÁRNÍ TRANZISTOR S PŘECHODEM PN (TRANZISTORY JFET) 151
6.1.1 Kvalitativní popis činnosti tranzistoru JFET *152*
6.1.2 Kvantitativní analýza tranzistoru JFET *154*
6.1.3 Statické charakteristiky tranzistoru JFET *156*
6.1.4 Linearizovaný malosignálový model tranzistoru JFET *159*
6.2 UNIPOLÁRNÍ TRANZISTOR S IZOLOVANOU ŘÍDICÍ ELEKTRODOU 163
6.2.1 Ideální struktura MOS *163*
6.2.2 Kvalitativní popis činnosti tranzistoru MOS *167*
6.2.3 Statické charakteristiky tranzistoru MOS *170*
6.2.4 Linearizovaný malosignálový model tranzistoru MOS *171*

6.2.5 Nastavení pracovního bodu tranzistoru MOS ... *172*
6.2.6 Setrvačné vlastnosti tranzistorů MOS ... *175*
6.2.7 Model tranzistoru MOS v programu SPICE ... *177*
6.3 SPECIALIZOVANÉ TYPY UNIPOLÁRNÍCH TRANZISTORŮ ... 177
6.3.1 Tranzistor MOS se dvěma hradly ... *177*
6.3.2 Tranzistory MESFET a HEMT ... *178*
6.3.3 Výkonové unipolární tranzistory ... *179*
6.3.4 Výkonové tranzistory JFET (SIT) ... *179*
6.3.5 Výkonové tranzistory MOS ... *179*
6.3.6 Tranzistory IGBT ... *182*
6.4 STRUKTURY CCD ... 183
6.5 OTÁZKY KE KAPITOLE 6 ... 186
7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY ... 187