

1. ÚVOD	3
2. ROZDĚLENÍ MODELŮ ELEKTRONICKÝCH STRUKTUR	6
3. MODELY NUMERICKÉ SIMULACE STRUKTUR	7
3.1 Rovnice modelu numerické simulace struktur	7
3.2 Počáteční a okrajové podmínky pro řešení základní soustavy rovníc	9
3.3 Pomocné vztahy	11
3.4 Normalizace základních rovnic	12
3.5 Modely základních fyzikálních veličin	14
3.5.1 Pohyblivost a její modely	14
3.5.2 Modely generace, rekombinace a doby života	20
3.5.3 Model lavinového násobení nosičů	23
3.6 Řešení základních modelových rovnic	23
4. MODELY PRO ELEKTRICKOU SIMULACI OBVODŮ	25
4.1 Požadavky kladené na modely	25
4.2 Rozdělení modelů pro elektrickou simulaci	25
5. MODELY DIOD S PŘECHODEM PN	30
5.1 Kvalitativní analýza přechodu PN	30
5.2 Kvantitativní analýza přechodu PN v termodynamické rovnováze .	34
5.2.1 Šířka oblastí prostorového náboje, rozložení elektrické- ho pole a průběh potenciálu	37
5.2.1.1 Strmý přechod PN	37
5.2.1.2 Pozvolný přechod PN	39
5.3 Kapacity přechodu PN	44
5.3.1 Bariérová kapacita strmého přechodu	46
5.3.2 Bariérová kapacita pozvolného přechodu	50
5.3.3 Závislost bariérové kapacity na teplotě	51
5.3.4 Modely bariérové kapacity přechodu PN	53
5.4 Polarizovaný přechod	56
5.4.1 Úroveň injekce	56
5.4.2 Kvalitativní popis chování přechodu PN s vnějším napětím	57
5.4.3 Kvantitativní popis chování přechodu PN s vnějším napětím	60
5.4.4 Diody s dlouhou bází	66
5.4.5 Diody s krátkou bází	69
5.4.6 Porovnání vlastností diod s krátkou a dlouhou bází . .	70
5.4.7 Injekční účinnost přechodu PN	73
5.5 Omezení modelu ideální diody - model reálné diody	76
5.5.1 Rekombinace nosičů náboje v depletiční vrstvě	77
5.5.2 Velká injekce	79
5.5.3 Vliv seriových odporů	86
5.5.4 Generace nosičů náboje v depletiční vrstvě - generační složka zpětného proudu	87
5.5.5 Průraz přechodu PN a jeho modelování	90

	str.	
5.5.6	Difúzní kapacita přechodu PN a její modelování	91
5.5.7	Modelování kmitočtové závislosti difúzní kapacity	98
5.6	Model diody pro malé signály	102
5.7	Dynamický model diody pro velké signály	103
5.8	Vliv teploty na vlastnosti diody a modelování teplotních závislostí	104
6.	MODELY BIPOLÁRNÍCH TRANZISTORŮ	108
6.1	Definice vlastností modelu struktury bipolárního tranzistoru	108
6.2	Odvození modelu bipolárního tranzistoru	111
6.2.1	Injekční varianta modelu EM 1	120
6.2.2	Transportní varianta modelu EM 1	123
6.2.3	Srovnání transportního a injekčního modelu	127
6.2.4	Vliv teploty	129
6.2.5	Poznámky k modelu EM 1	130
6.3	Model EM 2	130
6.3.1	Statický model - zlepšení aproximace stejnosměrných charakteristik	130
6.3.1.1	Odpor kolektoru - rezistor R_{CC}	132
6.3.1.2	Odpor emitoru- rezistor R_{EE}	132
6.3.1.3	Odpor báze - rezistor R_{BB}	133
6.3.2	Akumulace náboje a její modelování	133
6.3.2.1	Bariérové kapacity přechodů emitor-báze a kolektor-báze - kapacitory C_{TE} a C_{TC}	134
6.3.2.2	Substrátová kapacita - kapacitor C_{TS}	135
6.3.2.3	Difúzní kapacity tranzistoru, náboje související s pohyblivými nosiči	135
6.3.2.4	Kmitočtové vlastnosti bipolárních tranzistorů	135
6.3.2.5	Difúzní kapacity tranzistoru související s proudy I_N , I_I	143
6.3.3	Poznámky k modelu EM 2	145
6.4	Model EM 3	147
6.4.1	Model EM 3 při konstantní teplotě	147
6.4.1.1	Modulace efektivní šířky báze vlivem změn napětí kolektor-báze - Earlyho jev	147
6.4.1.2	Matematická formulace závislosti šířky báze na kolektorovém napětí	149
6.4.1.3	Definice Earlyho napětí	150
6.4.1.4	Modifikace parametrů modelu	151
6.4.1.5	Geometrická interpretace Earlyho napětí	153
6.4.1.6	Závislost proudového zesilovacího činitele na proudu	154
6.4.1.7	Modelování proudové závislosti proudového zesilovacího činitele β_N	158
6.4.1.8	Fyzikální příčiny závislosti proudového zesilovacího činitele na proudu kolektoru I_C	160
6.4.1.9	Závislost průletové doby τ_N na proudu kolektoru	165
6.4.2	Poznámky k modelu EM 3 a shrnutí	166
6.5	Model Gummel-Poonův (model GP)	167

	str.
6.5.1 Fyzikální definice proudu I_{SS}	168
6.6 Zjednodušené modely tranzistorů používané v technické praxi	172
6.7 Linearizované modely bipolárních tranzistorů	174
6.7.1 Giacolettův model tranzistoru	175
7. MODEL Y TRANZISTORŮ MIS	178
7.1 Struktura kov-izolant-polovodič (struktura MIS)	178
7.1.1 Ideální struktura MIS	178
7.1.2 Vztah mezi napětím U_G , potenciálem $\varphi(x)$ a intenzitou elektrického pole $E(x)$	181
7.1.3 Metoda aproximace ochuzené vrstvy	182
7.1.4 Zjednodušující předpoklady pro odvození modelů tranzistorů MOS s indukovaným kanálem	185
7.1.5 Vztah mezi plošnou hustotou náboje a odporem kanálu tranzistoru	186
7.2 Hofsteinův model tranzistoru MIS s indukovaným kanálem . . .	189
7.3 Shichmanův model tranzistorů MOS	193
7.4 Meyerův model tranzistoru MIS	194
7.5 Modely tranzistorů MIS pro malé signály	201
8. MODEL Y TRANZISTORŮ S PŘECHODOVÝM HRADLEM	203
8.1 Podstata činnosti tranzistoru s přechodovým hradlem	203
8.2 Výchozí předpoklady pro odvození statického modelu tranzistoru JFET	206
8.3 Statické charakteristiky tranzistoru JFET	206
8.3.1 Omezení a nedostatky odvozených vztahů	208
8.4 Model tranzistoru s přechodovým hradlem pro velké signály .	209
8.5 Model tranzistoru s přechodovým hradlem pro malé signály . .	211
8.6 Vliv teploty na vlastnosti a parametry modelů tranzistorů JFET	213
PŘÍLOHA	
Model bipolárního tranzistoru pro simulátor obvodů	215
LITERATURA	225