

OBSAH

1. ÚVOD	3
1.1 Vymezení a zvláštnosti mikrovlnného pásma	3
1.2 Obvody se soustředěnými a s rozloženými parametry	4
1.3 Rozdíly v metodách vyšetřování obvodů se soustředěnými a s rozloženými parametry	5
1.4 Typy mikrovlnných vedení	6
2. DVOJVODIČOVÉ VEDENÍ S VLNOU TEM	9
2.1 Předpoklady řešení	9
2.2 Primární parametry vedení	9
2.3 Telegrafní rovnice homogenního vedení při harmonickém časovém průběhu	10
2.4 Řešení telegrafních rovnic a jeho rozbor	12
2.5 Skupinová rychlost vlny	14
2.6 Maticový popis homogenního vedení	15
2.7 Bezeztrátové vedení	17
2.8 Vedení s malými ztrátami	18
2.9 Transformace impedance na vedení	19
2.10 Vstupní impedance a charakteristická impedance vedení	20
2.11 Činitel odrazu	21
2.12 Stojaté vlny	22
2.13 Poměr stojatých vln	24
2.14 Zvláštní případy zakončení vedení	25
3. POUŽITÍ OBVODŮ S ROZLOŽENÝMI PARAMETRY V MIKROELEKTRONICE	28
3.1 Mikroelektronické obvody s rozloženými parametry RC	28
3.1.1 Typy obvodů RC a jejich technologie	28
3.1.2 Předpoklady řešení	30
3.1.3 Homogenní obvod URC	32
3.1.4 Exponenciální obvod ERC	33
3.1.5 Vícevrstvý obvod RCNR	34
3.1.6 Použití mikroelektronických obvodů RC	37
3.2 Modelování mikroelektronických obvodů v pevné fázi	39
3.3 Modelování fyzikálních procesů v mikroelektronických obvodech	42
3.3.1 Tranzistory s homogenní bází	43
3.4 Vytváření prvků se soustředěnými parametry z krátkých úseků vedení	46
3.4.1 Induktory	47
3.4.2 Kapacity	47
3.4.3 Rezistory	49
4. HOMOGENNÍ KOVOVÉ VLNOVODY OBECNÉHO PŘÍČNÉHO PRŮŘEZU	50
4.1 Základy teorie elektromagnetického pole	50
4.1.1 Maxwellovy rovnice a rovnice prostředí	50
4.1.2 Druhy prostředí	51
4.1.3 Jednotky a fyzikální rozměry veličin elektromagnetického pole	52
4.1.4 Harmonický časový průběh veličin elektromagnetického pole	52
4.1.5 Vlnové rovnice	53
4.2 Elektromagnetické pole v homogenním kovovém vlnovodu	54
4.2.1 Předpoklady řešení	54
4.2.2 Vyjádření elektromagnetického pole v obecných válcových ortogonálních souřadnicích	55
4.2.3 Vlny příčně magnetické (vlny TM, vlny E)	56
4.2.4 Vlny příčně elektrické (vlny TE, vlny H)	57
4.2.5 Řešení vlnových rovnic pro potenciálové funkce	58
4.2.6 Pásmo propustnosti a pásmo nepropustnosti vlnovodu; Mezní kmitočet vlnovodu	59
4.2.7 Fázová a skupinová rychlost vlny ve vlnovodu	61
4.2.8 Délka vlny ve vlnovodu	62
4.2.9 Okrajové podmínky na plášti vlnovodu	62
4.3 Některé parametry vlnovodů obecného příčného průřezu	64
4.3.1 Charakteristická impedance vlny ve vlnovodu	64

4.3.1.1	Charakteristická impedance vlny TM	65
4.3.1.2	Charakteristická impedance vlny TE	66
4.3.2	Charakteristická impedance vlnovodu (integrální)	67
4.3.2.1	Charakteristická impedance vlnovodu s vlnou TM	68
4.3.2.2	Charakteristická impedance vlnovodu s vlnou TE	68
4.3.3	Činný výkon přenášený vlnovodem	69
4.3.3.1	Činný výkon vlny TM ve vlnovodu	70
4.3.3.2	Činný výkon vlny TE ve vlnovodu	71
4.3.4	Geometrická představa šíření vln ve vlnovodu	71
4.4	Vlnovod se ztrátami	73
4.4.1	Měrný útlum vlnovodu	73
4.4.2	Elektromagnetické pole ve vodivém prostředí	74
4.4.3	Leontovičovy okrajové podmínky ve vlnovodu s konečnou vodivostí pláště	75
4.4.4	Měrný útlum vlnovodu s vlnou TM	77
4.4.5	Měrný útlum vlnovodu s vlnou TE	78
4.4.6	Útlum vlnovodu vlivem ztrátového dielektrika	79
4.4.7	Útlum vlnovodu v pásmu nepropustnosti	81
5.	HOMOGENNÍ KOVOVÉ VLNOVODY OBDELNÍKOVÉHO PRŮŘEZU	81
5.1	Řešení vlnové rovnice pro funkci T_1	82
5.2	Vlny TM ve vlnovodu obdélníkového průřezu	83
5.3	Vlny TE ve vlnovodu obdélníkového průřezu	85
5.4	Dominantní vid a pásmo jednovidovosti	87
5.5	Některé vlastnosti dominantního vidu TE_{10}	88
5.6	Fyzikální význam vidových čísel; Průběh elektromagnetického pole vyšších vidů	92
6.	HOMOGENNÍ KOVOVÉ VLNOVODY KRUHOVÉHO PRŮŘEZU	93
6.1	Řešení vlnové rovnice pro funkci T_1	93
6.2	Vlny TM ve vlnovodu kruhového průřezu	94
6.3	Vlny TE ve vlnovodu kruhového průřezu	95
6.4	Dominantní vid a pásmo jednovidovosti	95
6.5	Některé vlastnosti dominantního vidu TE_{11}	96
6.6	Fyzikální význam vidových čísel	98
6.7	Rotačně symetrické vidy v kruhovém vlnovodu	99
7.	KOVOVÉ VLNOVODY S PRŮŘEZEM TVARU NĚKOLIKANÁSObNĚ SOUVISLÉ OBLASTI	100
7.1	Základní vlastnosti vln TEM	100
7.2	Souosé (koaxiální) vedení	102
7.2.1	Řešení Laplaceovy rovnice pro funkci T_1	102
7.2.2	Složky elektromagnetického pole vidu TEM	102
7.2.3	Charakteristická impedance vlny TEM	103
7.2.4	Charakteristická impedance (integrální) souosého vedení	103
7.2.5	Činný výkon přenášený vlnou TEM v souosém vedení	104
7.2.6	Měrný útlum souosého vedení	105
7.2.7	Vlnovodové vidy v souosém vlnovodu; pásmo jednovidovosti	106
7.3	Páskové vedení	107
7.3.1	Řešení Laplaceovy rovnice pro funkci T_1	107
7.3.2	Složky elektromagnetického pole vidu TEM	108
7.3.3	Charakteristická impedance vlny TEM a charakteristická impedance páskového vedení	108
7.3.4	Činný výkon přenášený vlnou TEM v páskovém vedení	109
7.3.5	Měrný útlum páskového vedení	110
7.3.6	Vlnovodové vidy v páskovém vedení; pásmo jednovidovosti	110
7.4	Nesymetrické páskové vedení	111
7.4.1	Použití konformního zobrazení	112
7.4.2	Vliv nenulové tloušťky pásky	118
7.4.3	Řešení Laplaceovy rovnice pro funkci T_1 a průběh elektromagnetického pole vidu TEM	118
7.4.4	Charakteristická impedance nesymetrického páskového vedení	121
7.4.5	Činný výkon přenášený vlnou TEM	123
7.4.6	Měrný útlum nesymetrického páskového vedení	125
7.4.7	Vlnovodové vidy v nesymetrickém páskovém vedení; pásmo jednovidovosti	127
7.4.8	Úzké nesymetrické páskové vedení	129
7.5	Symetrické páskové vedení	130
8.	MIKROVLNNÉ INTEGROVANÉ OBVODY	134
8.1	Monolitické mikrovlnné integrované obvody	134
8.2	Mikrovlnné integrované obvody s podkritickým videm	135
8.3	Hybridní mikrovlnné integrované obvody	135
8.4	Druhy mikropáskových vedení	136

8.5	Nesymetrické mikropáskové vedení	138
8.5.1	Efektivní permitivita	139
8.5.2	Fázová rychlost, skupinová rychlost a délka vlny v nesymetrickém mikropáskovém vedení	142
8.5.3	Průběh elektromagnetického pole vidu kvazi-TEM	143
8.5.4	Charakteristická impedance nesymetrického mikropáskového vedení	144
8.5.5	Činný výkon přenášený vlnou kvazi-TEM	145
8.5.6	Měrný útlum nesymetrického mikropáskového vedení	146
8.5.7	Disperze vidu kvazi-TEM; vlnovodové vidy v nesymetrickém mikropáskovém vedení	146
8.5.8	Úzké nesymetrické mikropáskové vedení	148
8.6	Symetrické mikropáskové vedení	148
8.7	Koplanární vedení	149
8.7.1	Nesymetrické koplanární vedení	149
8.7.2	Symetrické koplanární vedení	152
8.7.3	Štěrbinové vedení	152
9.	MIKROVLNNÉ REZONANČNÍ OBVODY	153
9.1	Rezonanční obvody z úseků vedení s vlnou TEM	153
9.1.1	Základní vlastnosti	154
9.1.2	Rezonátor z úseku zkratovaného vedení	156
9.1.3	Rezonátor z úseku otevřeného vedení	157
9.1.4	Kapacitně zkrácené rezonátory	158
9.1.4.1	Kapacitně zkrácený rezonátor z úseku zkratovaného vedení	159
9.1.4.2	Kapacitně zkrácený rezonátor z úseku otevřeného vedení	160
9.2	Dutinové rezonátory	162
9.2.1	Základní vlastnosti dutinových rezonátorů obecného tvaru	162
9.2.1.1	Vlnové číslo dutinového rezonátoru	163
9.2.1.2	Rezonanční kmitočet rezonátoru s bezeztrátovým dielektrikem	166
9.2.1.3	Přibližné určení vlastního činitele jakosti dutinového rezonátoru	166
9.2.1.4	Rezonanční kmitočet a činitel jakosti rezonátoru se ztrátovým dielektrikem	167
9.2.1.5	Provozní činitel jakosti rezonátoru	167
9.2.2	Dutinové rezonátory vlnovodového typu	168
9.2.2.1	Vlnovodový rezonátor s vlnou TM	169
9.2.2.2	Vlnovodový rezonátor s vlnou TE	171
9.2.3	Kvádrové rezonátory	173
9.2.4	Válcové rezonátory	174
9.2.4.1	Válcové rezonátory s rotačně symetrickými vidy TE	176
9.2.4.2	Válcové rezonátory s vidy TE _{11p}	180
9.2.4.3	Válcové rezonátory s vidy TM	181
9.2.5	Koaxiální rezonátory	182
9.3	Rezonanční obvody v technice mikrovlnných integrovaných obvodů	184
9.3.1	Rezonátory z úseků mikropáskových vedení	184
9.3.2	Obdélníkové diskové rezonátory	185
9.3.3	Kruhové diskové rezonátory	191
9.3.4	Prstencové rezonátory	194
PŘÍLOHA A	Smithův kruhový diagram	197
PŘÍLOHA B	Obvody URC	202
PŘÍLOHA C	Obvody RCNR	203
PŘÍLOHA D	Základy vektorové algebry a analýzy	205
PŘÍLOHA E	Silové čáry některých vidů ve vlnovodu obdélníkového průřezu	208
PŘÍLOHA F	Silové čáry některých vidů ve vlnovodu kruhového průřezu	209
PŘÍLOHA G	Besselovy funkce I. a II. druhu	210
PŘÍLOHA H	Schwarzova-Christoffelova transformace	211
PŘÍLOHA I	Diagram vidů válcového dutinového rezonátoru	213
LITERATURA		214