

Obsah

PŘEDMLUVA

SEZNAM SYMBOLŮ

1.	Úvod do problematiky velmi vysokých frekvencí (V. Tysl)	17
1.1.	Obvody se soustředěnými a rozloženými parametry	17
1.2.	Základní rovnice elektromagnetického pole	18
1.2.1.	Druhy prostředí	19
1.2.2.	Elektrická a magnetická polarizace	21
1.3.	Řešení Maxwellových rovnic	22
1.3.1.	Vektorový a skalární potenciál	23
1.3.2.	Hertzovy vektory	27
1.3.3.	Elektromagnetická pole příčná a podélná	33
<i>Literatura ke kapitole 1</i>		34
2.	Mikrovlnná vedení obecného příčného průřezu (V. Tysl)	35
2.1.	Charakteristické případy řešení vlnové rovnice	36
2.2.	Vlnovody s vlnami TM a TE	42
2.2.1.	Okrajové podmínky na plášti vlnovodu	42
2.2.2.	Charakteristická impedance vlnovodu	44
2.2.3.	Výkon přenášený vlnovodem	46
2.2.4.	Rychlost šíření energie ve vlnovodu	50
2.2.5.	Geometrická představa o šíření elektromagnetické vlny ve vlnovodu	52
2.3.	Vlnovod s konečnou vodivostí pláště	55
2.3.1.	Charakteristická impedance vodiče, poměrný vysokofrekvenční odpor	56
2.3.2.	Poměrný útlum vlnovodu při šíření vln	60
2.4.	Vliv ztrátového dielektrika na přenosové vlastnosti vlnovodu	66
2.5.	Vedení s vlnou příčně elektricko-magnetickou (TEM)	68
2.5.1.	Parametry vedení	68
2.5.2.	Výkon přenášený vedením s vlnou příčně elektricko-magnetickou	72
2.5.3.	Poměrný útlum vedení s vlnou příčně elektricko-magnetickou	73
2.6.	Dvou vodičové vedení s rozloženými parametry L_0 , C_0 , R_0 , G_0	74
2.6.1.	Telegrafní rovnice vedení	75
2.6.2.	Impedanční poměry na vedení	77
2.6.3.	Transformace impedance na vedení	78
2.6.4.	Činitel odrazu na vedení	78
2.7.	Vlastnosti vlnovodu při úhlové frekvenci nižší než kritické	80
<i>Literatura ke kapitole 2</i>		85
3.	Mikrovlnná vedení nejčastěji používaná v technické praxi (V. Tysl)	86
3.1.	Vlnovod obdélníkového průřezu a jeho vlastnosti	86
3.1.1.	Vlny příčně magnetické (TM, E) ve vlnovodu obdélníkového průřezu	87

3.1.2.	Vlny příčně elektrické (TE, H) ve vlnovodu obdélníkového průřezu	89
3.2.	Vlnovod kruhového průřezu a jeho vlastnosti	97
3.2.1.	Vlny příčně magnetické (TM, E) ve vlnovodu kruhového průřezu	99
3.2.2.	Vlny příčně elektrické (TE, H) ve vlnovodu kruhového průřezu	104
3.3.	Koaxiální (sousedé) vedení	111
3.3.1.	Vlnovodové vidy v koaxiálním vedení	115
3.4.	Deskové vedení se středním vodičem	121
3.5.	Dvoudrátové vedení	126
3.6.	Symetrické páskové vedení	131
3.7.	Nesymetrické páskové vedení	139

Literatura ke kapitole 3 142

4.	Nehomogenní vedení (V. Tysl)	143
4.1.	Podélně spojitě nehomogenní vedení	143
4.1.1.	Vedení s exponenciální změnou impedance	144
4.2.	Podélně nehomogenní vedení se stupňovou změnou impedance	145
4.2.1.	Vedení se stupňovou změnou impedance podle binomického rozložení	146
4.3.	Příčně nehomogenní vedení	147
4.3.1.	Vlnovod obdélníkového průřezu s vloženou dielektrickou deskou	148
4.3.2.	Metoda příčné rezonance	152
4.4.	Radiální vedení	154

Literatura ke kapitole 4 159

5.	Dielektrické vlnovody (V. Tysl)	160
5.1.	Zpomalení elektromagnetické vlny	160
5.1.1.	Šíření elektromagnetické vlny podél zpomalujícího prostředí	161
5.2.	Šíření elektromagnetické vlny podél neohraničené dielektrické desky	163
5.2.1.	Šíření vlny TM podél dielektrické desky	163
5.2.2.	Šíření vlny TE podél dielektrické desky	165
5.2.3.	Rozklad elektromagnetického pole na rovinné vlny	168
5.3.	Šíření elektromagnetické vlny podél neohraničené dielektrické vrstvy umístěné na vodivé podložce	172
5.4.	Šíření elektromagnetické vlny podél dielektrického válce	172
5.4.1.	Mezní případy šíření vlny podél dielektrického válce	177
5.4.2.	Vlny HE_{mn} a EH_{mn} v dielektrickém válci	179
5.4.3.	Vlny HE_{11} v dielektrickém válci	180
5.4.4.	Vlny TM_{0n} a TE_{0n} v dielektrickém válci	181
5.4.5.	Grafická interpretace vidů šíření v dielektrickém válci	181
5.5.	Šíření vlny podél vodiče potaženého dielektrickou vrstvou	182

Literatura ke kapitole 5 185

6.	Periodické struktury (V. Růžička)	186
6.1.	Obecné zákonitosti v periodických strukturách	186
6.1.1.	Pomalé elektromagnetické vlny	186
6.1.2.	Povrchové vlny	188
6.1.3.	Prostorové harmonické	189
6.2.	Šíření vln podél periodických struktur	191
6.2.1.	Šroubovicové vedení	191
6.2.2.	Hřebínkové vedení	196

Literatura ke kapitole 6 199

7.	Mikrovlnné rezonanční obvody (V. Tysl)	200
----	--	-----

7.1.	Rezonanční obvody s vlnami TEM	201
7.1.1.	Rezonátor vytvořený z úseku vedení na jednom konci otevřeného a na druhém konci uzavřeného nakrátko	201
7.1.2.	Rezonátor vytvořený z úseku vedení na obou koncích uzavřeného nakrátko	202
7.1.3.	Rezonátor vytvořený z úseku vedení na obou koncích otevřeného	204
7.1.4.	Rezonátor vytvořený z úseku vedení nakrátko a soustředěné kapacity	205
7.1.5.	Rezonátor vytvořený z úseku vedení naprázdno a soustředěné kapacity	206
7.2.	Činitel jakosti rezonančního obvodu	207
7.3.	Dutinové rezonátory, obecné vlastnosti	209
7.4.	Dutinové rezonátory vlnododového typu	211
7.4.1.	Rezonátor s vlnou příčně magnetickou (TM, E)	212
7.4.2.	Rezonátor s vlnou příčně elektrickou (TE, H)	217
7.5.	Rezonátory vlnododového typu s kruhovým průřezem	221
7.5.1.	Diagram vidů rezonátoru s kruhovým průřezem	221
7.5.2.	Elektromagnetické pole vidů TM_{mnp} ve vlnododovém rezonátoru s kruhovým průřezem	223
7.5.3.	Elektromagnetické pole vidů TE_{mnp} ve vlnododovém rezonátoru s kruhovým průřezem	225
7.5.4.	Činitel jakosti vlnododových rezonátorů kruhového průřezu s vidy TM_{mnp}	226
7.5.5.	Činitel jakosti vlnododových rezonátorů kruhového průřezu s vidy TE_{mnp}	227
7.5.6.	Vlnododový rezonátor kruhového průřezu s videm TE_{01p}	229
7.6.	Rezonátory vlnododového typu s obdélníkovým průřezem	234
7.6.1.	Diagram vidů vlnododového rezonátoru s obdélníkovým průřezem	234
7.6.2.	Elektromagnetické pole vidů TE_{mnp} ve vlnododovém rezonátoru s obdélníkovým průřezem	235
7.6.3.	Činitel jakosti vlnododových rezonátorů obdélníkového průřezu s vidy TE_{mnp}	236
7.7.	Otevřené rezonátory	237
7.8.	Dielektrické rezonátory	242
7.9.	Feritové rezonátory	245
<i>Literatura ke kapitole 7</i>		246
8.	Nespojitosti na vedeních (V. Růžička)	247
8.1.	Clony ve vlnododu	249
8.1.1.	Indukční clona v obdélníkovém vlnododu	250
8.1.2.	Kapacitní clona v obdélníkovém vlnododu	257
8.1.3.	Indukční clona v kruhovém vlnododu	257
8.1.4.	Kapacitní clona v kruhovém vlnododu	258
8.1.5.	Rezonanční okénko	258
8.2.	Přízpusobovací rezonanční kolík ve vlnododu	260
<i>Literatura ke kapitole 8</i>		261
9.	Reciproční mikrovlnné obvody (V. Růžička)	262
9.1.	Maticový popis mikrovlnných lineárních mnohobranů	263
9.1.1.	Mikrovlnný dvojpól	263
9.1.2.	Imitanční matice mikrovlnného obvodu	265
9.1.3.	Vlastnosti imitančních matic	267
9.1.4.	Rozptylová matice	269
9.1.5.	Vlastnosti rozptylové matice	272
9.1.6.	Vlnová přenosová matice	274
9.2.	Prostorová symetrie mikrovlnných obvodů	277
9.2.1.	Matematická formulace symetrických transformací	277
9.2.2.	Reflexní grupa operátorů symetrie	280

9.3.	Analýza vlastností mikrovlnných mnohobranů	281
9.3.1.	Mikrovlnný dvojbran — tlustá clona ve vlnovodu	282
9.3.2.	Mikrovlnný trojbran	288
9.3.3.	Mikrovlnné čtyřbrany	291
9.3.4.	Kruhová polarizace v mikrovlnných obvodech	305
9.3.5.	Kruhové polarizátory	308
9.3.6.	Rozptylová matice kruhového polarizátoru	309
9.3.7.	Kruhové polarizované magnetické pole v obdélníkovém vlnovodu s vlnou TE_{10}	311
9.4.	Analýza mikrovlnných obvodů metodou orientovaných grafů	313
9.4.1.	Definice základních pojmů a jejich grafické interpretace	313
9.4.2.	Jednoduché úpravy orientovaných grafů	315
9.4.3.	Určování hledaných veličin	316
9.4.4.	Řešení mikrovlnných obvodů metodou grafů	318
<i>Literatura ke kapitole 9</i>		320
10.	Mikrovlnné neregiproční obvody (V. Růžička)	321
10.1.	Obecné vlastnosti neregipročních mikrovlnných obvodů	321
10.1.1.	Složení a struktura feritů	321
10.1.2.	Rozdělení obvodů s ferity	322
10.2.	Gyromagnetické jevy ve feritech	323
10.2.1.	Feromagnetická rezonance	323
10.2.2.	Vynucené kmity magnetizace	325
10.3.	Šíření vln v gyotropním prostředí	330
10.3.1.	Faradayův jev	332
10.3.2.	Dvojloň a příčná feromagnetická rezonance	333
10.4.	Praktické využití gyromagnetických jevů	335
10.4.1.	Obvody s podélně magnetovaným feritem	335
10.4.2.	Obvody s příčně magnetovaným feritem	337
<i>Literatura ke kapitole 10</i>		340
11.	Mikrovlnné integrované obvody (V. Růžička)	341
11.1.	Monolitické mikrovlnné integrované obvody	341
11.2.	Hybridní mikrovlnné integrované obvody	343
11.3.	Mikrovlnné integrované obvody s rozloženými parametry	344
11.3.1.	Nesymetrické mikropáskové vedení	345
11.3.2.	Štěrbinové vedení	350
11.3.3.	Koplanární vedení	352
11.3.4.	Porovnání vlastností páskových vedení	353
11.3.5.	Vázaná vedení	354
11.3.6.	Mikropáskové vedení na feritovém substrátu	355
11.3.7.	Buzení mikropáskových vedení	357
11.3.8.	Nespojitosti v mikropáskových vedeních	360
11.4.	Mikrovlnné obvody a součástky v mikropáskovém provedení	361
11.4.1.	Mikropáskové rezonátory	362
11.4.2.	Reciproční mnohobrany v mikropáskovém provedení	364
11.4.3.	Neregiproční obvody v mikropáskovém provedení	367
11.5.	Mikrovlnné integrované obvody se soustředěnými parametry	371
11.5.1.	Pasívní součástky pro mikrovlnné integrované obvody se soustředěnými parametry	372
11.5.2.	Některá praktická provedení mikrovlnných integrovaných obvodů se soustředěnými parametry	376

<i>Literatura ke kapitole 11</i>	378
12. Úvod do měření při velmi vysokých frekvencích (V. Tysl)	379
12.1. Stojaté vlny na vedení	379
12.1.1. Experimentální určení činitele stojatých vln	383
12.2. Kruhový impedanční diagram	384
12.2.1. Zobrazení konstantních reálných složek impedance	385
12.2.2. Zobrazení konstantních reaktancí	386
12.2.3. Zobrazení komplexní roviny přenosu	387
12.2.4. Zobrazení činitele odrazu a činitele stojatých vln	389
12.2.5. Zobrazení konstantní fáze a konstantní absolutní hodnoty impedance	391
12.3. Příklady použití kruhového impedančního diagramu	394
12.3.1. Transformace impedance podél vedení	394
12.3.2. Určení zakončovací impedance	399
12.3.3. Prizpůsobování impedancí	400
12.4. Měření impedancí	402
12.4.1. Určení impedance z průběhu stojatých vln na vedení	403
12.4.2. Určení impedance pomocí můstkového T	406
12.5. Určení prvků náhradního obvodu mikrovlnného čtyřpólu	408
12.6. Měření činitele jakosti rezonančních obvodů	412
12.6.1. Určení činitele jakosti rezonančního obvodu impedanční metodou	413
12.6.2. Určení činitele jakosti z výkonu odraženého od rezonančního obvodu	419
12.7. Měření výkonu	420
12.7.1. Bolometrické metody měření výkonu	421
12.7.2. Kalorimetrické metody měření výkonu	422
<i>Literatura ke kapitole 12</i>	424
<i>Matematická příloha</i>	425
A. Vektorový počet	425
B. Besselovy funkce	433
C. Lineární algebra	437
D. Schwarzovo – Christoffelovo zobrazení	442
E. Střední hustota toku výkonu	443
F. Ortogonální vlastnosti vlastních funkcí vlnovodu	445
G. Rovnice kružnice v komplexním tvaru	445
H. Silové čáry elektrického a magnetického pole	446
<i>Rejstřík</i>	448