Sadržaj

Predgovor ix

1 Specifičnosti mikrotalasa i njihova primjena 1

1.1 Specifičnosti mikrotalasa 1
1.2 Primjene mikrotalasa 3
1.3 Mogući pristupi mikrotalasnoj tehnici (teorija elektromagnetskog polja ili teorija kola?) 4

2 Mikrotalasni vodovi 5

2.1 Tipovi talasa na mikrotalasniim vodovima 6
2.2 Postupak rješavanja Maksvelovih jednačina za vodove 7
2.3 Neke karakteristične veličine kod vodova 8
2.3.1 Kritična učestanost (ili kritična talasna dužina) 8
2.3.2 Fazna brzina talasa 9
2.3.3 Grupna brzina 10
2.3.4 Talasna dužina na vodu 10
2.3.5 Snaga (aktivna) koja se prenosi duž voda 10
2.3.6 Gubici u vodu i konstanta slabljenja 12

2.4 Vodovi sa TEM talasom 13
2.4.1 Koaksijalni kabl 13
2.4.2 Mikrotrakasti vod 14
2.4.3 Trakasti vod 15
2.4.4 Koeficijent refleksije 16
2.4.5 Kriva stojećeg talasa 17
2.5 Vodovi sa TE i TM talasima 24
2.5.1 Pravougaoni talasovod 24
2.5.2 Neke karakteristike osnovnog tipa talasa TE_{10} 25
2.5.3 Kružni talasovod 28
2.6 Pobuđivanje metalnih talasovoda 29
2.7 Vodovi sa EH (HE) talasima 30
2.7.1 Dielektrični talasovod 30
2.7.2 Metalno–dielektrični talasovod 32
2.8 Predstavljanje proizvoljnog mikrotalasnog voda ekvivalentnim TEM vodom 32
Zadaci 43

3 Smitov dijagram. Prilagođenje vodova 45

3.1 Predstavljanje koeficijenta refleksije 45
3.2 Predstavljanje normalizovane impedanse $\hat{Z}$ 46
3.3 Predstavljanje koeficijenta stojećeg talasa σ 49
3.4 Predstavljanje normalizovane admitanse $\hat{Y}$ 51
3.5 Elementarni primjeri korišćenja Smitovog dijagrama 51
3.6 Prilagođenje vodova 53
3.6.1 Prilagođenje sa jednim reaktivnim elementom 54
3.6.2 Prilagođenje sa dva reaktivna elementa 58
3.7 Reaktivni elementi u metalnim talasovodima 64
3.8 Prilagođenje pomoću četrvt-talasnog transformatora 68
3.9 Osnovni pojmovi o širokopojasnom prilagođenju 74
Zadaci 77

4 Matrica rasijanja 83

4.1 Definicija matrice rasijanja 86
4.2 Veza između matrice rasijanja i matrice impedansi (ili admitansi) 90
4.3 Prenosna matrica 92
4.4 Veza između matrice rasijanja i prenosne matrice četvorokrajnika 92
4.5 Slabljenje četvorokrajnika 95
4.6 Unitarnost matrice rasijanja za reaktivno kolo 95

4.7 Promjena matrice rasijanja pri promjeni položaja referentnih ravni 97
4.8 Primjeri određivanja matrice rasijanja za neke važne višekrajnike 99
Zadaci 115

5 Zapreminski rezonatori 121

5.1 Slobodne oscilacije cilindričnog rezonatora bez gubitaka 122
5.2 Neka svojstva cilindričnih rezonatora bez gubitaka 124
5.3 Slobodne oscilacije u cilindričnim rezonatorima pri postojanju gubitaka. Sopstveni faktor dobrote 125
5.4 Pojedini tipovi rezonatora 128
5.4.1 Pravougaoni rezonator 128
5.4.2 Kružni rezonator 130
5.4.3 Koaksijalni rezonator 131
5.5 Kvazistacionarni rezonatori 131
5.6 Trakasti rezonatori 134
5.7 Pobuđivanje rezonatora 141
5.8 Promjena rezonantne učestanosti rezonatora 142
5.9 Rezonatori sa koncentrisanim parametrima 143
5.10 Rezonator kao elemenat mikrotalasnih kola i njegove ekvivalentne šeme 146
5.10.1 Reakcioni rezonator 147
5.10.2 Transmisioni rezonator 148
5.10.3 Apsorbcioni rezonator 156
5.11 Mjerenje učestanosti pomoću rezonatora 158
5.12 Mikrotalasni filtri 159
5.12.1 Filtri propusnici opsega (FPO) 160
5.12.2 Filtri nepropusnici opsega (FNO) 164
Zadaci 166

6 Komponente mikrotalasnih kola sa jednim, dva i tri pristupa 167

6.1 Komponente sa jednim pristupom 167
6.1.1 Kratkospojnik 167
6.1.2 Prilagođeni potrošač 169
6.1.3 Indikator mikrotalasne snage 171
6.2 Komponente sa dva pristupa 174
6.2.1 Atenuator (oslabljivač) 174
6.2.2 Regulator (obrtač) faze 178
6.3 Komponente sa tri pristupa 182
6.3.1 T spoj 182

6.3.2 Y spoj 186
Zadaci 186

7 Komponente mikrotalasnih kola sa četiri pristupa – Mostovi i Sprežnjaci 189

7.1 Most 189
7.1.1 Magično T 189
7.1.2 Prstenasti most (Hibridni prsten) 191
7.1.3 Kvadratni most 194
7.1.4 Talasovodni prorezni most 195
7.2 Primjena mostova 196
7.2.1 Most kao djeljitelj snage po pola (ili kao sumator jednakih snaga) 197
7.2.2 Primjena mosta za mjerenje impedanse (koeficijenta refleksije) 197
7.2.3 Primjena mosta za realizaciju kontinualnog recipročnog regulatora faze 198
7.2.4 Primjena mostova za realizaciju djeljitelja snage u proizvoljnom odnosu 201
7.2.5 Primjena mostova za realizaciju antenske skretnice (komutatora) predaja/prijem 205
7.2.6 Primjena mostova za frekventno multipleksiranje (demultipleksiranje) signala 206
7.2.7 Primjena mostova za realizaciju preklopnika kanala 207
7.2.8 Primjena mosta za realizaciju mikrotalasnog mješača 208
7.3 Usmjereni sprežnjak 209
7.3.1 Matrica rasijanja usmjerenog sprežnjaka 215
7.4 Neke primjene usmjerenog sprežnjaka 218
7.4.1 Primjena usmjerenog sprežnjaka kao djeljitelja snage 218
7.4.2 Primjena usmjerenog sprežnjaka za kontrolu i mjerenje snage 218
7.4.3 Primjena usmjerenog sprežnjaka za mjerenje modula koeficijenta refleksije 218
7.5 Rezonator sa progresivnim talasom 224
7.6 Direktivni (usmjereni) filtar 227
Zadaci 231

8 Nerecipročne komponente mikrotalasnih kola 235

8.1 Faradejev efekat 235
8.2 Izolator (ventil) 237
8.3 Žirator 239
8.4 Cirkulator 240

8.5 Primjene cirkulatora 247
8.5.1 Primjena cirkulatora za prilagođenje 247
8.5.2 Primjena cirkulatora za realizaciju antenskog komutatora predaja/prijem 247
8.5.3 Primjena cirkulatora za realizaciju nereciprocnog regulatora faze 248
8.5.4 Primjena cirkulatora za frekventno (de)multipleksiranje signala 248
8.5.5 Primjena cirkulatora za razdvajanje ulaza i izlaza kod pojačavača sa jednim pristupom 249
8.6 YIG rezonator 250
Zadaci 251

9 Mikrotalasni oscilatori i pojačavači 255

9.1 Klistron 255
9.1.1 Princip rada dvorezonatorskog klistrona kao pojačivača 255
9.1.2 Princip rada dvorezonatorskog klistrona kao oscilatora 258
9.1.3 Princip rada refleksnog klistrona 258
9.1.4 Princip rada višerezonatorskih klistrona 261
9.1.5 Osnovne karakteristike klistrona 262
9.2 Magnetron 263
9.2.1 Rezonantne učestanosti magnetrona 263
9.2.2 Mehanizam oscilovanja magnetrona 266
9.3 Cijev sa progresivnim (putujućim) talasom 271
9.3.1 Princip rada cijevi sa direktnim talasom 274
9.3.2 Princip rada cijevi sa inverznim talasom 276
9.4 Parametarski pojačavač 277
9.5 Poluprovodnički oscilatori i pojačavači 280
9.5.1 Tranzistorski pojačavači i oscilatori 281
9.5.2 Oscilatori i pojačavači sa lavinskom diodom 284
9.5.3 Oscilatori i pojačavači sa Ganovom diodom 285
9.6 Kvantni generatori i pojačavači 287
9.6.1 Princip kvantnog pojačanja 287
9.6.2 Princip rada masera 288

Literatura 291

A Rječnik osnovnnih pojmova iz mikrotalasne tehnike 293

Indeks 297

PREDGOVOR

Ova knjiga je proistekla iz materijala koji je jedan od autora dugi niz godina koristio za predavanja iz predmeta Mikrotalasna tehnika na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici i Pomorskom fakultetu u Kotoru. Uprošćena varijanta ove knjige pojavila se 2006. godine (*Osnovi mikrotalasne tehnike*, Elektrotehnički fakultet, Podgorica) i bila je namijenjena studentima Pomorskog fakulteta u Kotoru.

Kao rezultat znatnog uvećanja obima pomenute knjige, nastala je knjiga koja sada stoji na raspolaganju studentima Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici, odsjek telekomunikacije/mikrotalasna tehnika. Ona u potpunosti pokriva gradivo predviđeno Nastavnim planom i programom.

U ovoj knjizi, koja je udžbeničkog karaktera, umjesto strogog elektromagnetskog pristupa, baziranog na teoriji elektromagnetskog polja, odabran je jednostavniji pristup, više inženjerski orijentisan, a koji je baziran na teoriji kola. Iako koristi skroman matematički aparat, on daje dovoljno tačne rezultate i to na mnogo jednostavniji način u poređenju sa elektromagnetskim pristupom.

Pored velikog broja urađenih primjera, knjiga sadrži i određeni broj zadataka (ukupno pedesetak), za samostalan rad. Oni se nalaze na kraju odgovarajuće glave sa rezultatima (ponekad sa uputstvima).

Autori se nadaju da knjiga može biti od koristi i inženjerima koji se u praksi bave mikrotalasnom tehnikom, granom opšte elektrotehnike bez koje se ne mogu zamisliti savremene telekomunikacije, ali ni mnoge druge oblasti u današnje vrijeme.

Ovom prilikom autori žele da izraze zahvalnost recenzentima Branku Kolundžiji, redovnom profesoru Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu i Bratislavu Milovanoviću, redovnom profesoru Univerziteta Singidunum u Beogradu. Oni su pregledali rukopis knjige i nizom korisnih sugestija i komentara doprinijeli poboljšanju konačne verzije teksta.

Autori izražavaju izuzetnu zahvalnost Agenciji za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost iz Podgorice za finansijsku pomoć prilikom štampanja ove knjige.

U Podgorici, jula 2019. godine Autori