
MIKROTALASNA TEHNIKA

Dragan N. FILIPOVIĆ

Elektrotehnički fakultet, Podgorica

Budimir M. LUTOVAC

Elektrotehnički fakultet, Podgorica

Akadska misao
Beograd, 2019.

Dragan N. Filipović
Budimir M. Lutovac

MIKROTALASNA TEHNIKA

Recenzenti
Prof. dr Branko Kolundžija
Prof. dr Bratislav Milovanović

Izdavač
AKADEMSKA MISAO
Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

Štampa
AKADEMSKA MISAO, Beograd

Tiraž 250 primjeraka

ISBN 978-86-7466-818-4

NAPOMENA: Fotokopiranje ili umnožavanje na bilo koji način ili ponovno objavljivanje ove knjige u cjelini ili u djelovima nije dozvoljeno bez prethodne izričite saglasnosti i pismenog odobrenja izdavača.

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 mikrotalasnim 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
	iii

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 četvrt-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	Talaso vodni prorezni most	195
7.2	Primjena mostova	196
7.2.1	Most kao djelitelj 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 djelitelja 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 mješaća	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 djelitelja 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) filter	227
	Zadaci	231
8	Nerrecipročne 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 neregipročnog 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 osnovnih 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