

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Слободан В. Савић
Драган И. Олћан
Антоније Р. Ђорђевић

ЗБИРКА ИСПИТНИХ ПИТАЊА И ЗАДАТАКА ИЗ МИКРОТАЛАСНЕ ТЕХНИКЕ

Прво издање

Академска мисао
Београд 2022.

Слободан В. Савић, Драган И. Олћан, Антоније Р. Ђорђевић
ЗБИРКА ИСПИТНИХ ПИТАЊА И ЗАДАТАКА ИЗ МИКРОТАЛАСНЕ ТЕХНИКЕ

Прво издање

Рецензенти
др Дејан Тошић
др Милан Илић
др Бранко Колунџија

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета број 1104/2 од 26. септембра 2022. године ова књига је одобрена као наставни материјал на Електротехничком факултету у Београду.

Издавачи
Академска мисао
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет Београд

Штампа
Академска мисао, Београд

Тираж 100 примерака

ISBN 978-86-7466-938-9

Место и година издања: Београд, 2022.

НАПОМЕНА: Фотокопирање или умножавање на било који начин или поновно објављивање ове књиге у целини или у деловима није дозвољено без претходне изричите сагласности и писменог одобрења издавача.

Предговор

Збирка испитних питања и задатака из Микроталасне технике садржи задатке и питања са испита и колоквијума из предмета Микроталасна техника које су аутори одржали на Електротехничком факултету у Београду, почевши од школске 2005/06. године, закључно са школском 2021/22. годином. Формулације тих питања и задатака су прилагођене потребама ове збирке.

Овај помоћни уџбеник је првенствено намењен студентима Електротехничког факултета у Београду који слушају предмет Микроталасна техника и у потпуности обухвата градиво предвиђено аудиторним вежбама, а делом покрива и градиво предвиђено лабораторијским вежбама. Аутори се надају да ће ова збирка бити од користи и другим студентима, као и инжењерима и практичарима који имају додира са микроталасном техником.

Питања и задаци у овој збирци су груписани по областима, тако да прате ток курса, а збирка чини целину са уџбеником „Микроталасна техника“ [2]. У оквиру сваке области задаци и питања су поређани, колико год је то било могуће, према редоследу извођења наставе и према тежини. Већина задатака и питања је са детаљним решењима, а постоје и питања и задаци код којих су наведени само одговори или резултати, како би читалац могао да провери своје решење. У оквиру решења питања и задатака на неколико места наведен је и материјал који превазилази оквире курса Микроталасна техника, а за који аутори сматрају да може бити занимљив и користан заинтересованом читаоцу.

Аутори се захваљују рецензентима ове збирке, проф. др Дејану Тошићу, проф. др Милану Илићу и проф. др Бранку Колунџији, на корисним сугестијама, као и асистенту Дарку Нинковићу, маг. инж. електр. и рачунар., који је детаљно прочитао збирку и упутио корисне примедбе. Неколико идеја за испитне задатке и питања који се налазе у овој збирци потичу од проф. др Дејана Тошића, који је држао предавања из предмета Микроталасна техника школске 2006/07. године, па му се аутори најсрданије захваљују. Аутори се захваљују асистентима Јовани Петровић, маг. инж. електр. и рачунар. и Дарку Нинковићу, маг. инж. електр. и рачунар., на доприносима у извођењу наставе из Микроталасне технике. За подршку и мотивацију у раду на рукопису аутори се захваљују и осталим наставницима и сарадницима са Смера за микроталасну технику: проф. др Марији Стевановић, проф. др Милки Потребих, доц. др Миодрагу Тасићу, доц. др Николи Басти и доц. др Јелени Динкић.

Београд, јун 2022.

Аутори

Садржај

Предговор	i
Вредности неких физичких константи и често коришћене ознаке	v
1. Увод.....	1
2. Вођени електромагнетски таласи	5
3. Водови са TEM таласима	23
4. Планарни водови.....	105
5. Правоугаони таласовод	129
6. Кружни таласовод.....	155
7. Резонатори	159
8. Матрични параметри микроталасних мрежа.....	169
9. Феритне микроталасне компоненте	229
10. Микроталасни полупроводнички елементи	233
11. Микроталасне цеви	241
12. Антене	245
Литература.....	295

Вредности неких физичких константи и често коришћене ознаке

Назив	Ознака	Вредност или јединица
Брзина простирања електромагнетских таласа у вакууму	c_0	$299792458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Пермеабилност вакуума	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$
Пермитивност вакуума	ϵ_0	$\frac{1}{\mu_0 c_0^2} \approx 8,854187 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
Учестаност	f	Hz
Таласна дужина у вакууму	λ_0	c_0/f
Таласна дужина вођених таласа (дуж водова или таласовода)	λ_g	m
Таласна импеданса у вакууму	Z_{T0}	$\sqrt{\mu_0/\epsilon_0} \approx 376,7 \Omega \approx 120\pi \Omega$
Коефицијент слабљења	α	Np/m
Фазни коефицијент	β	rad/m
Коефицијент простирања	$\gamma = \alpha + j\beta$	1/m

1. Увод

1.1. (а) Израчунати таласне дужине у ваздуху за учестаности у К опсегу према старој подели микроталаса. (б) Одредити слабљење таласа у атмосфери на нивоу мора за овај опсег.

РЕШЕЊЕ

(а) Учестаности К опсега су од $f_1 = 18 \text{ GHz}$ до $f_2 = 26,5 \text{ GHz}$, па су таласне дужине у ваздуху од $\lambda_2 = c_0/f_2 \approx 11,31 \text{ mm}$ до $\lambda_1 = c_0/f_1 \approx 16,66 \text{ mm}$. Видети и таблицу 1.1 из уџбеника [2].

(б) Слабљење таласа је од око $0,1 \text{ dB/km}$ до око $0,2 \text{ dB/km}$. Видети слику 1.2 из уџбеника [2].

1.2. Да ли су микроталасне радиовезе остварене у ваздуху у околини учестаности 60 GHz великог или малог домета? Образложити одговор.

РЕШЕЊЕ

Разне компоненте ваздуха (кисеоник, азот, водена пара, угљен диоксид) и суспендоване честице (водене капљице, кристали леда, прашина, дим) утичу на простирање електромагнетских таласа. На учестаностима у околини 60 GHz апсорпција електромагнетских таласа у атомима кисеоника је велика. Слабљење је око $1,5 \text{ dB/km}$ на надморској висини од 9150 m и око 5 dB/km на нивоу мора, па су везе кратког домета. Видети слику 1.2 из уџбеника [2].

Са друге стране, велико слабљење штити ове везе од прислушкивања са даљине, а један исти канал (у истом опсегу учестаности) може се релативно густо понављати у простору. У мобилној телефонији густо (просторно) понављање канала смањује број потенцијалних корисника по једном каналу, што финално води ка повећању протока података које корисници могу да остваре. Ово је и један од разлога због чега се очекује да ће мобилна телефонија наредних генерација радити и у околини учестаности 60 GHz . Други, једнако значајан разлог због кога се очекује да ће мобилна телефонија наредних генерација радити у опсегу учестаности у околини 60 GHz је то што је тај опсег учестаности релативно незаузет постојећим системима, па је могуће користити фреквенцијски шире канале. Такође, пропусни опсег разних микроталасних склопова пропорционалан је централној учестаности тог опсега, па са порастом централне учестаности и ови пропусни опсеги постају шири. Напоменимо и то да се мобилна телефонија пете генерације (5G) може имплементирати у нижем (*low-band*) и средњем

(*mid-band*) опсегу учестаности, који су исти као у мобилној телефонији четврте генерације (4G), али и у вишем опсегу учестаности (*high-band*), који покрива опсег учестаности од 24 GHz до 54 GHz .

1.3. Да ли се веза између уређаја на површи Земље и сателита може остварити на учестаности (а) 20 kHz , (б) 2 MHz , (в) 1,575 GHz , (г) у X опсегу (према старој америчкој војној подели) и (д) на 60 GHz ? Образложити одговор.

РЕШЕЊЕ

(а)–(б) Радио таласи чија је учестаност испод неколико десетина MHz не могу се пробити кроз јоносферу, па се због тога веза између уређаја на површи Земље и сателита не може остварити на учестаностима 20 kHz и 2 MHz . Други разлог је што су за задату усмереност антене њене димензије обрнуто пропорционалне радној учестаности. На учестаностима 20 kHz и 2 MHz антене би биле превеликих димензија за употребу. Примера ради, ако би антене биле реализоване као рефлекторске антене појачања $g = 20 \text{ dBi}$, површине њихових отвора требало би да буду реда величине $1,8 \cdot 10^9 \text{ m}^2$ и $1,8 \cdot 10^5 \text{ m}^2$ на учестаностима 20 kHz и 2 MHz , респективно.

(в) Учестаност 1,575 GHz користи се за сателитски систем за глобално позиционирање (Global Positioning System-GPS).

(г) X опсег (према старој америчкој војној подели) је од 6,2 GHz до 10,9 GHz (таблица 1.2 из уџбеника [2]). Део X опсега користи се за сателитске комуникације. Учестаности у опсегу од 7,25 GHz до 7,75 GHz користе се за комуникацију у смеру од сателита ка Земљи (downlink), а учестаности у опсегу од 7,9 GHz до 8,4 GHz користе се за комуникацију у смеру од Земље ка сателиту (uplink).

(д) Због велике апсорпције у ваздуху, везе на учестаности 60 GHz не могу се користити за комуникацију са сателитом. Видети и задатке 1.1 и 1.2.

1.4. Пријемна и предајна антена налазе се на нивоу мора, где је концентрација водене паре у ваздуху $7,5 \text{ g/m}^3$, а температура $20 \text{ }^\circ\text{C}$. На учестаности $f_1 = 10 \text{ GHz}$ слабљење услед простирања електромагнетског таласа између предајне и пријемне антене је $a_1 = 0,1 \text{ dB}$. Израчунати ово слабљење на учестаности $f_2 = 100 \text{ GHz}$.

РЕШЕЊЕ

На основу података са слике 1.2 из уџбеника [2], слабљење на учестаности $f_2 = 100 \text{ GHz}$ је $a_2 \approx 20a_1 = 2 \text{ dB}$.

1.5. Који опсег учестаности треба користити за земаљску комуникацију на малим растојањима како би се смањила могућност прислушкивања или ометања са даљине? Образложити одговор.

РЕШЕЊЕ

Код земаљских комуникација на малим растојањима иде се на опсег учестаности око 60 GHz , јер велико слабљење атмосфере¹ практично штити везу од ометања и прислушкивања са даљине. У околини те учестаности се праве и антиколизииони радар,и,

¹ Видети слику 1.2 из референце [2]

да би се смањила интерференција између аутомобила, повећала резолуција радара и омогућило коришћење физички малих антена.

1.6. На располагању су два система за радио комуникације. Први је у опсегу средњих таласа (MF – *medium frequency*), а други у микроталасном X опсегу учестаности (стара подела). Који је од ових система погодан за комуникацију са геостационарним сателитима? Образложити одговор.

РЕШЕЊЕ

Средњи таласи покривају фреквенцијски опсег од 0,3 MHz до 3 MHz, а одговарајуће таласне дужине у вакууму су од 1000 m до 100 m. Радио таласи ових учестаности не могу се пробити кроз јоносферу, па је њима немогуће остварити комуникацију са геостационарним сателитима. Због тога се за комуникацију са геостационарним сателитима користи микроталасни X опсег (стара подела). Видети и таблицу 1.1 из уџбеника [2] и задатак 1.3.