Mikrovalovi i njihove primjene

Puharić, Igor

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:697255

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Department of Physics in Osijek







SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



IGOR PUHARIĆ

MIKROVALOVI I NJIHOVE PRIMJENE

Završni rad

Osijek, 2016.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



IGOR PUHARIĆ

MIKROVALOVI I NJIHOVE PRIMJENE

Završni rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

radi stjecanja zvanja prvostupnika fizike

Osijek, 2016.

"**Ovaj završni rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom izv.prof.dr.sc. Branka Vukovića u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku**".

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Elektromagnetski valovi 2

2.1. Maxwellove jednadžbe 2

2.2. Svojstva elektromagnetskih valova 4

2.3. Spektar elektromagnetskog zračenja 5

3. Mikrovalovi 7

4. Primjene mikrovalova 9

4.1. Antene 10

4.2. Bežične komunikacije 11

4.3. Radarski sustavi 13

4.4. Mikrovalna pećnica 16

4.4.1. Djelovanje mikrovalova na molekulu vode 17

5. Zaključak 19

Literatura 20

Životopis 21

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Odjel za fiziku

Završni rad

MIKROVALOVI I NJIHOVE PRIMJENE

IGOR PUHARIĆ

Sažetak

Tema ovog završnog rada je Mikrovalovi i njihove primjene. Na početku rada opisani su elektromagnetski valovi kako nastaju, kako se šire prostorom te neka njihova osnovna svojstva. U sklopu elektromagnetskih valova opisan je i cijeli spektar elektromagnetskog zračenja i neka osnovna svojstava svakog dijela spektra. U drugome dijelu rada opisani su mikrovalovi i primjene mikrovalova u bežičnim komunikacijama, radaru i mikrovalnom zagrijavanju.

(21 stranica, 10 slika, 3 tablice, 12 literaturnih navoda)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: bežična komunikacija / elektromagnetski valovi / frekvencija / mikrovalna pećnica / mikrovalovi / radar

Mentor: izv.prof.dr.sc. Branko Vuković

Ocjenjivači: izv.prof.dr.sc. Branko Vuković

Rad prihvaćen:

Josip Juraj Strossmayer University in Osijek
Department of Physics

Bachelor of Physics Thesis

MICROWAVES AND THEIR APPLICATIONS

IGOR PUHARIĆ

Abstract

The theme of this final paper is Microwaves and their application. At the beginning of the paper described are the generation of electromagnetic waves, their expansion through the space and some of their basic properties. As part of the electromagnetic waves the whole spectrum of electromagnetic radiation is described as well as some basic properties of each part of the spectrum. In the second part of the paper are described the microwave and microwave applications in wireless communications, radar and microwave heating.

(21 pages, 10 figures, 3 tables, 12 references)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: electromagnetic waves / frequency / microwave / microwave oven / radar / wireless communication

Supervisor: Branko Vuković, PhD, Associate Professor

Reviewer: Branko Vuković, PhD, Associate Professor

Thesis accepted:

1. Uvod

Cilj ovoga rada ukazati je na široku primjenu mikrovalova u tehnologiji. U radu će biti opisani elektromagnetski valovi i njihova svojstva jer su i mikrovalovi također elektromagnetski valovi koji obuhvaćaju dio spektra s valnim duljinama od 0,3 m do 0,1 mm te za njih isto tako vrijedi većina svojstava elektromagnetskih valova. U današnje vrijeme svjedočimo brzom napretku tehnologije posebno u sferi bežične komunikacije, a upravo te bežične komunikacije rade u području mikrospektra. Upravo zbog toga razloga, u radu će biti opisane primjene mikrovalova u bežičnoj komunikaciji, radarima i svima poznatoj mikrovalnoj pećnici.

Ovaj rad se sastoji od pet cjelina:

1. Uvod
2. Elektromagnetski valovi
3. Mikrovalovi
4. Primjene mikrovalova
5. Zaključak

Na kraju rada nalazi se popis korištene literature.

2. Elektromagnetski valovi

Elektromagnetski valovi se formiraju kada električno polje međudjeluje s magnetskim poljem. Magnetska i električna polja međusobno su okomita, ali su oba polja okomita i na smjer širenja vala. James Clerk Maxwell i Heinrich Hertz su znanstvenici koji su proučavali kako se elektromagnetski valovi formiraju i kako brzo putuju.

2.1. Maxwellove jednadžbe

Električna i magnetska polja koja s vremenom variraju vladaju se prema fizikalnim zakonima koji su opisani skupom jednadžbi poznatim pod zajedničkim nazivom Maxwellove jednadžbe.

Maxwellove jednadžbe zapisane u diferencijalnom obliku izgledaju:

$$1.\quad \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0},$$

$$2.\quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$

$$3.\quad \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t},$$

$$4.\quad \nabla \cdot \vec{B} = 0.$$ [1]

Maxwellove jednadžbe čine skup četiri diferencijalne jednadžbe koje pokazuju da osim naboja i struje vremenska promjena jednog polja služi kao izvor drugog polja.

Maxwell je elektromagnetske valove objasnio jednadžbama za električna i magnetska polja i prema njemu elektromagnetski valovi nastaju zato što promjenjivo magnetsko polje $\vec{B}$ stvara promjenjivo električno polje $\vec{E}$, a promjenjivo električno $\vec{E}$ polje stvara promjenjivo magnetsko polje $\vec{B}$. [2] Važna posljedica Maxwellovih jednadžbi je predviđanje postojanja elektromagnetskih valova koji se u vakuumu šire brzinom svjetlosti $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$.

Elektromagnetski val nastaje titranjem električnih naboja pa se iz toga može zaključiti da izvor elektromagnetskih valova može biti električni titrajni krug, ali isto tako i titranje atoma u molekulama i tvarima.

Maxwellove jednadžbe opisuju elektromagnetsko polje u svakoj točki prostora te iz njih možemo izvesti valnu jednadžbu za elektromagnetske valove i odrediti kako se magnetsko i električno polje širi prostorom.

$$\Delta \vec{E} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{E} = 0 \text{ valna jednadžba za električno polje}$$

$$\Delta \vec{B} - \varepsilon\mu \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{B} = 0 \text{ valna jednadžba za električno polje [3]}$$

Rješenja valnih jednadžbi u najjednostavnijem obliku možemo dobiti kada izvor vala harmonički titra. U tom slučaju rješenja valnih jednadžbi istog su oblika kao i kod mehaničkih valova. Tada imamo:

$$E_x = E_0 \sin\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)$$

$$B_y = B_0 \sin\omega\left(t - \frac{y}{v}\right)$$

U jednadžbama B_0 i E_0 predstavljaju amplitude električnog i magnetskog polja, dok je ω kružna frekvencija te je $\omega = 2\pi f$.

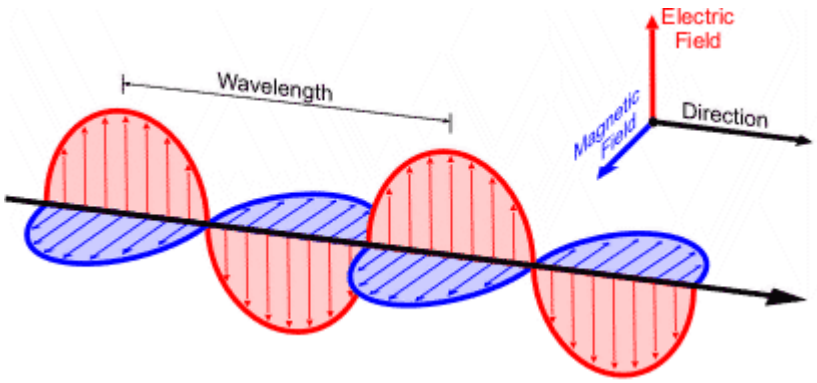
Ako promatramo val koji se širi prostorom u nekome smjeru koji je određen jediničnim vektorom $\vec{u}$ tada rješenje možemo zapisati u slijedećem obliku:

$$\vec{E} = E_0 \sin\omega\left(t - \frac{\vec{r}\cdot\vec{u}}{v}\right).$$

Ako znamo rješenje valne jednadžbe za električno polje onda iz Maxwellovih jednadžbi možemo odrediti i rješenje za magnetsko polje.

Za ravni elektromagnetski val vrijedi:

$$\vec{B} = \sqrt{\varepsilon\mu}\left(\vec{u}\times\vec{E}\right) \text{ i } \vec{E} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}\left(\vec{B}\times\vec{u}\right) [3]$$



Slika 1. Elektromagnetski val [4]

2.2. Svojstva elektromagnetskih valova

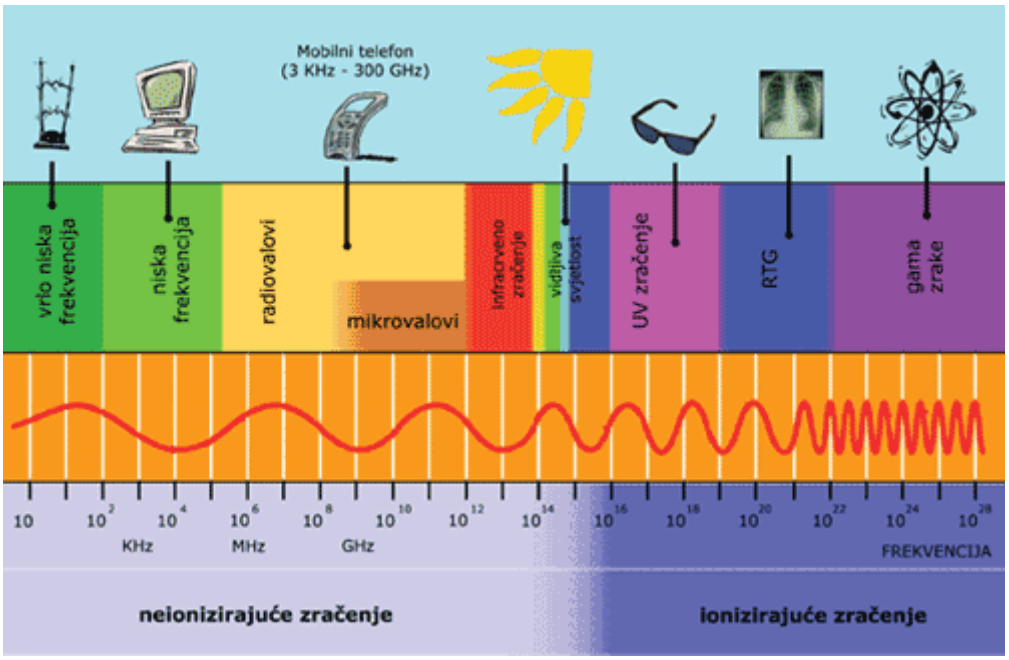
Frekvencija titranja elektromagnetskih valova određena je frekvencijom kojom titra izvor vala ω te je ona jednaka u svim sredstvima. Vrijeme jednog titraja naziva se period te je on jednak $T = \frac{1}{\omega}$, a udaljenost koju val prevali za vrijeme jednog titraja naziva se valna duljina

Kao što je već ranije spomenuto jedno od važnih svojstava elektromagnetskih valova je da se oni vakuumom šire brzinom svjetlosti. Vektori električnog i magnetskog polja međusobno su okomiti te je smjer širenja vala okomit na smjer titranja kako što se može vidjeti na Slici 1.. Elektromagnetski valovi su transverzalni. Električno i magnetsko polje su u fazi, odnosno u istome trenutku postižu svoj maksimum i iščezavaju. Za razliku od ostalih valova, elektromagnetskim valovima nije potreban medij za širenje jer na putu gdje titra elektromagnetski val ne titraju čestice, već električna i magnetska polja.

Elektromagnetski val poput svakog drugog vala može prenositi energiju prostorom. Ukupna gustoća energije elektromagnetskog vala w jednaka je zbroju gustoće energije električnog i magnetskog polja:

$$w = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 + 1\frac{1}{2\mu}B^2 \text{ [3]}$$

2.3. Spektar elektromagnetskog zračenja



Slika 2. Spektar elektromagnetskog zračenja [5]

Područje svih mogućih valnih duljina elektromagnetskog vala nazivamo spektar. Elektromagnetski valovi imaju valne duljine od 10^{-12} m pa sve do 1000 m i više, a frekvencije od 10 Hz do 10^{28} Hz.

Spektar elektromagnetskog zračenja sastoji se od radiovalova, mikrovalova, infracrvenog zračenja, vidljive svjetlosti, ultraljubičastog zračenja, rendgenskog zračenja te gama zračenja.

1. RADIOVALOVI - obuhvaćaju dio spektra s valnim duljinama od nekoliko kilometara do 0,3 m. Radiovalovima se služe televizijska i radijska tehnologija.
2. MIKROVALOVI - obuhvaćaju dio spektra s valnim duljinama od 0,3 m do 0,1 mm
3. INFRACRVENO ZRAČENJE – elektromagnetski valovi valne duljine od 1 mm do 780 nm. Takvo zračenje emitiraju molekule plina i užarena tijela i ima primjenu u industriji medicini, tehnici i astronomiji. Infracrveno zračenje koriste i kamere za noćno snimanje.
4. VIDLJIVA SVJETLOST – obuhvaća usko područje valnih duljina od 380 nm do 780 nm. Ovaj dio spektra elektromagnetskog zračenja izučavaju optika i fotometrija.
5. ULTRALJUBIČASTO ZRAČENJE – zračenje valne duljine od 780 nm do 600 pm. Takvu vrstu valova zrače atomi i molekule te izaziva disocijaciju i ionizaciju molekula te je vrlo štetno za žive organizme. Upotrebljava se u kemiji, tehnici i medicini. Takvo zračenje na Zemlju u velikoj mjeri dopire iz svemira, najvećim dijelom od Sunca. Zemlju od

ultraljubičastog zračenja štiti ozonski omotač, koji ukoliko je oštećen dolazi do veće opasnosti pojave raka kože na živim organizmima.

6. RENDGENSKO ZRAČENJE (X-ZRAKE) – zračenje valne duljine od 1 nm do 6 pm. Ime koje nosi ova vrsta zračenja dolazi od njemačkog fizičara Wilhelma Konrada Röntgena. Ova vrsta zračenja dolazi direktno iz atoma i prenosi još veću energiju od ultraljubičastog zračenja. Zbog svojstva da rendgensko zračenje različito prodire u različita tkiva i materijale svoju upotrebu je pronašlo u medicinskoj dijagnostici. Zbog velike energije koju prenose x-zrake, dugotrajno izlaganje takvoj vrsti zračenja može ozbiljno oštetiti dijelove tkiva.
7. GAMA ZRAČENJE – valna duljina gama zračenje je od 10^{-13} m do 10^{-16} m. Ono je nuklearnog podrijetla , a nastaje pri promjeni stanja atomske jezgre, odnosno radioaktivnim raspadom. Gama zračenje emitiraju radioaktivne tvari i može izazvati teška oštećenja tkiva.
8. KOZMIČKE ZRAKE – zračenje valnih duljina još manjih od gama zraka i velike energije. Na Zemlju dolaze iz svemira kao produkt nuklearnih reakcija u zvijezdama. Kozmičke zrake sastoje se od brzih protona i jezgara težih atoma. U nuklearnim reakcijama s atomskim jezgrama u atmosferi, promijene se pa na Zemljinu površinu stižu kao nuklearne čestice, elektroni i fotoni.

3. Mikrovalovi

Postojanje mikrovalova predvidio je još 1864. Maxwell u svojim jednadžbama. Mikrovalovi su elektromagnetski valovi valnih duljina od 0,1 mm do 30 cm. Zauzimaju područje frekvencija od 1 GHz do 300 GHz. Područje frekvencija mikrospektra raspoređeno je u 14 pojaseva:

Naziv	**Frekvencija**
L pojas	1 do 2 GHz
S pojas	2 do 4 GHz
C pojas	4 do 8 GHz
X pojas	8 do 12 GHz
K_u pojas	12 do 18 GHz
K pojas	18 do 26.5 GHz
K_a pojas	26.5 do 40 GHz
Q pojas	30 do 50 GHz
U pojas	40 do 60 GHz
V pojas	50 do 75 GHz
E pojas	60 do 90 GHz
W pojas	75 do 110 GHz
F pojas	90 do 140 GHz
D pojas	110 do 170 GHz

Tablica 1. Pojasi mikrospektra [7]

Prefiks mikro kod mikrovalova ne sugerira nam da se ti valovi nalaze u mikrometarskom području već nam ukazuje na njihovu malu valnu duljinu u usporedbi s radiovalovima. Nedugo nakon otkrića mikrovalova počela je i njihova praktična primjena. Danas se mikrovalovi koriste u mikrovalnim pećnicama, mobilnoj telefoniji (GSM, WLAN, Bluetooth), astronomiji, komunikacijskim satelitima i radarima. Zbog svoje primjene u radarskoj tehnologiji nekada se

mikrovalovi nazivaju radarski valovi. Frekvencije mikrovalova bliske su onima kojima titraju atomi i molekule u tvarima pa se upotrebljavaju za proučavanje atomske strukture tvari.

Ako se u prostoru gdje prolazi mikroval nađe elektrizirana čestica, ona će se pokrenuti pod djelovanjem mikrovala na račun njegove energije, a val će oslabiti za toliko izgubljene energije. Energija koju mikroval posjeduje može u biološkome tkivu pokrenuti slobodne elektrizirane čestice (elektrone i ione) i polarizirane čestice, ali ne može sam izvršiti ionizaciju, niti razbiti molekule i time promijeniti kemijski sastav sredine kroz koju prolazi. Zbog toga mikrovalovi se svrstavaju u neionizirajuće elektromagnetsko zračenje.

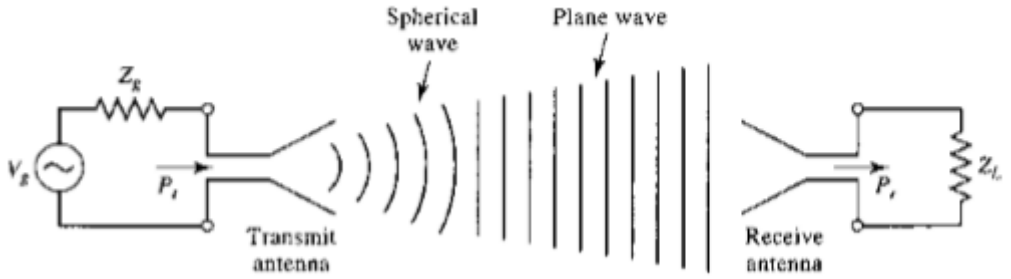
4. Primjene mikrovalova

Visoke frekvencije i kratke valne duljine mikrovalne energije povećavaju zahtjevnost u analizi i projektiranju mikrovalnih uređaja i sustava. Ti isti aspekti pružaju jedinstvene mogućnosti za primjenu mikrovalnih sustava. Slijedeća razmatranja mogu bit korisna u izradi i korištenju mikrovalnih uređaja:

- Dobitak antene (usmjerenost) je proporcionalan električnoj veličini antene (fizička dimenzija antene definirana u odnosu na valnu duljinu), na višim frekvencijama veća usmjerenost može se dobiti za određenu fizikalnu veličinu antene, a to ima važne posljedice pri provedbi u mikrovalnim sustavima.
- Veća propusnost, koja je izravno vezana za brzinu prijenosa podataka, može se realizirati na višim frekvencijama. 1% propusnosti na 600 MHz je 6 MHz koji može pružiti brzinu prijenosa podataka od oko 6 Mbps, dok je na frekvenciji od 60 GHz 1% propusnosti 600 MHz što je brzina prijenosa podataka 600 Mbps.
- Mikrovalni signali šire se pravocrtno i nisu savijeni oko ionosfere kao što je slučaj s nižim frekvencijama. Satelitske i zemaljske komunikacijske veze s vrlo visokim kapacitetima su moguće s ponovnom uporabom iste frekvencije na minimalno udaljenim lokacijama.
- Efektivna refleksijska površina (radarski presjek) radarske mete obično je proporcionalna električnoj veličini mete. Ova činjenica zajedno s frekvencijskim karakteristikama dobitka antenskog sustava čini mikrovalne frekvencije poželjne za radarske sustave.
- Različite atomske, molekulske i nuklearne rezonancije javljaju se u mikrovalnom frekvencijskom području te omogućavaju različite jedinstvene primjene u području znanosti poput daljinskih istraživanja, medicinske dijagnostike, liječenja i metoda zagrijavanja [8].

4.1. Antene

U ovome odlomku bit će ukratko opisane neke osnovne karakteristike antena koje su neophodne za proučavanje mikrovalnih komunikacijskih sustava i radara. Odašiljačka antena može se promatrati kao uređaj koji pretvara vođeni elektromagnetski u ravni val koji se širi prostorom. Stoga, s jedne strane antena se pojavljuje kako element električnog kruga, dok s druge strane pruža sučelje za širenje ravnog vala. Antene su svojstveno dvosmjerne, mogu se koristiti i za slanje i primanje signala.



Slika 3. Osnovno funkcioniranje odašiljačke i prijemne antene [8]

Odašiljač se može modelirati kao izvor koji se sastoji od generatora napona i zavojnice te koji odašilje snagu P_t na odašiljačke antene. Odašiljačka antena zrači sferne valove, koji na velikim udaljenostima prelaze u ravne valove. Prijemna antena jednim dijelom presreće ravni val i prenosi primljenu snagu P_r na prijemnu zavojnicu.

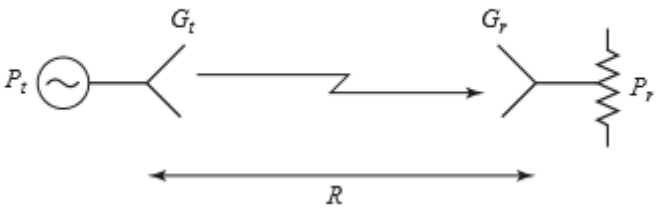
Različite vrste antena su razvijene su zbog različitih primjena što je sažeto u slijedećim kategorijama:

- **Žičane antene** uključuju dipole, monopole, petlje i povezane strukture. Žičane antene općenito imaju niski dobitak, a najčešće se koriste na nižim frekvencijama. Njihova prednost je u tome jer su lakše, jednostavnijeg dizajna i jeftinije.
- **Otvorene antene** uključuju otvorene valovode, pravokutne i okrugle rogove, reflektore i leće. Otvorene antene se najčešće koriste za valove mikrometarskih i milimetarskih valnih duljina, a imaju srednje do visokih dobitaka.
- **Tiskane antene** uključuju tiskane slotove, tiskane dipole i mikrotrakaste slojeve. Ove antene se mogu dobiti fotolitografskim postupcima. Tiskane antene najčešće se koriste za mikrometarske i milimetarske valne duljine, a mogu se vrlo lako prilagoditi da imaju visok dobitak.
- **Antenski niz** se sastoji od antenskih elemenata poredanih u niz. Karakteristike antena kao što su kut usmjeravanja i razina bočnih režnjeva mogu se kontrolirati podešavanjem amplitude i faze pobuđenja pojedinih elemenata.

Temeljno svojstvo antene je njena sposobnost da fokusira snagu u određenom smjeru, uz isključenje drugih smjerova. Stoga, antena sa širokim glavnim snopom može prenositi ili primati snagu na velikom kutnom području, dok antena koja ima uzak glavni snop će prenositi ili primati snagu na malom kutnom području. Širina snopa i usmjerenost su mjere za izoštravanje mogućnosti antene: antena s uskim glavnim snopom će imati visoku usmjerenost, dok će ona s širokim glavnim snopom imati manju usmjerenost. Stoga se može očekivati izravan odnos između širine snopa i usmjerenosti.

4.2. Bežične komunikacije

Bežične komunikacije uključuju prijenos podataka između dvije točke bez izravne veze. Iako takva vrsta komunikacije može biti ostvarena pomoću zvuka, optički, infracrvenom vezom ili radio vezom, većina modernih bežičnih komunikacijskih sustava oslanja se na mikrovalne signale, obično na milimetarskim valnim duljinama. Zbog prenapučenosti spektra i potrebe za prijenosom većeg broja podataka, trend je da se bežične komunikacije ostvaruju na višim frekvencijama, tako da većina sustava danas radi na frekvencijama od oko 800 MHz do nekoliko GHz. Mikrovalni signali mogu ponuditi veliku propusnost i imaju sposobnost da prodiru kroz prašinu, maglu, lišće, te zgrade i vozila do neke mjere. Povijesno gledano, bežične komunikacije pomoću radiovalova imaju svoje utemeljenje u Maxwellovom teorijskom radu, nakon čega slijedi eksperimentalna potvrda širenja elektromagnetskih valova od strane Hertza i praktični razvoj radio tehnike od strane Tesle, Marconija i drugih. Danas bežični sustavi uključuju emitiranje radija i televizije, mobilnu telefoniju, mrežne sustave, bežične lokalne mreže, GPS, i dr..



Slika 4. Osnovni radio sustav [8]

Osnovni radio sustav prikazan je na Slici 4., gdje je snaga slanja P_t, dobitak odašiljačke antene G_t, dobitak prijemne antene G_r, a primljena snaga P_r. Odašiljačka i prijemna antena se nalaze na udaljenosti R.

$$P_r = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} P_t \quad \text{Frissova formula}$$

Ova gore navedena formula poznata je kao Frissova formula , a kazuje je nam koliko snage primi radio antena. U praksi, dobivena vrijednost se tumači kao maksimum primljene snage, jer postoji niz faktora koji utječu na smanjenje primljene snage radio sustava. Iz formule je vidljivo kako primljena snaga opada s kvadratom udaljenosti između odašiljača i prijemnika. Takva ovisnost je posljedica očuvanja energije. Iako se čini kako je opadanje snage s kvadratom udaljenosti veliko na velikim udaljenostima i dalje je manje nego eksponencijalno opadanje snage kao što je slučaj u žičanim vezama. Kao što se može vidjeti iz Frissove formule primljena snaga je proporcionalna produktu $P_t G_t$, a ta dva parametra, snaga slanja i dobitak, karakteriziraju odašiljač. Stoga, produkt $P_t G_t$ je definiran kao efektivna izotropna izračena snaga (EIRP). Za određenu frekvenciju, udaljenost i dobitak prijemne antene, primljena snaga je proporcionalna EIRP-u odašiljača i može se povećati samo povećanjem EIRP-a.

Wireless System (Country)	Frequency
Advanced Mobile Phone System (AMPS, United States; obsolete)	U: 824–849 MHz
	D: 869–894 MHz
GSM 850 (Americas)	U: 824–849 MHz
	D: 869–894 MHz
GSM 900 (worldwide)	U: 890–915 MHz
	D: 935–960 MHz
GSM 1800 (worldwide)	U: 1710–1785 MHz
	D: 1805–1880 MHz
GSM 1900 (Americas)	U: 1850–1910 MHz
	D: 1930–1990 MHz
Universal Mobile Telecommunications System (UMTS),	U: 1920–1980 MHz
band 1 (most countries)	D: 2110–2170 MHz
UMTS, band 2 (most countries)	U: 1850–1910 MHz
	D: 1930–1990 MHz
UMTS, band 8 (most countries)	U: 880–916 MHz
	D: 925–960 MHz
Wireless local area networks (WiFi)	902–928 MHz
	2.400–2.484 GHz
	5.725–5.850 GHz
Global Positioning System (GPS)	L1: 1575.42 MHz
	L2: 1227.60 MHz
Direct Broadcast Satellite (DBS) (Europe, Russia)	10.7–12.75 GHz
(Americas)	12.2–12.7 GHz
(Asia, Australia)	11.7–12.2 GHz
Industrial, medical, and scientific bands (most countries)	902–928 MHz
	2.400–2.484 GHz
	5.725–5.850 GHz

U, uplink (mobile-to-base); D, downlink (base-to-mobile).

Tablica 2. Frekvencije bežičnih sustava [8]

4.3. Radarski sustavi

Radar je najstarija primjena mikrovalne tehnologije koja datira iz Drugog svjetskog rata. Temeljno svojstvo svakog radarskog uređaja je sposobnost za otkrivanje, a zatim sposobnost mjerenja udaljenosti i određivanja položaja. U svome osnovnom radu odašiljač odašilje signal koji se reflektira od mete (objekta) na sve strane, dok neznatni dio registrira i prima osjetljivi prijamnik. Na temelju pravca iz kojega dolazi signal moguće je odrediti polarne koordinate mete, dok se udaljenost određuje preko vremena proteklog od emitiranja signala do povratka. Zračenje koje se odašilje je najjače u smjeru osi reflektora, a ukupni intenzitet zračenja jednak je zbroju zračenja iz svih smjerova. Snop izračenih elektromagnetskih valova ima oblik konusa ili lepeze čiji se vrh nalazi u anteni. U radarskim sustavima se rabi širok spektar frekvencija odnosno valnih duljina. Valovi veće valne duljine su manje podložni apsorpciji u atmosferi, a valovi manje valne duljine boje ispunjavaju prostor i zahtijevaju antene manjih dimenzija. Radarski sustav se sastoji od manjeg ili većeg broja komponenti ovisno o njegovoj namijeni. Osnovni dijelovi svakog radara su: antenski sustav, prijamnik, predajnik i predočnik. Svaki radar ima barem jednu antenu koja je sposobna odašiljati i primati elektromagnetske valove.

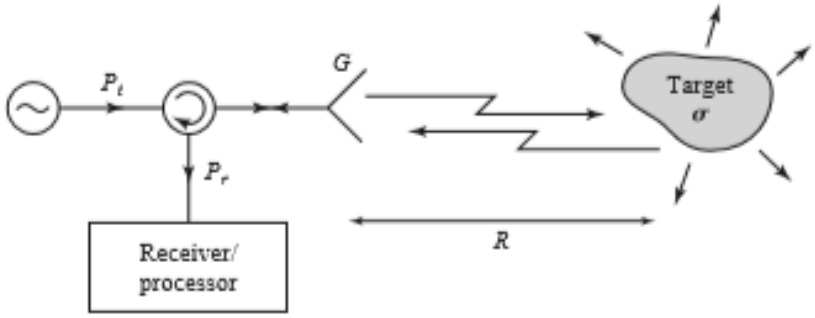


Slika 5. Radarska antena(lijevo) i slika na predočniku radara(desno)[9]i[10]

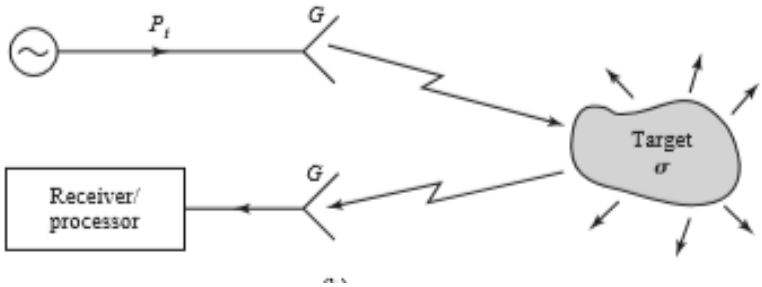
Radarski predajnik proizvodi električne oscilacije, određene frekvencije i snage, kojima se antena napaja radi pretvaranja u elektromagnetske valove. Osnovni dio predajnika čini oscilator.

Radarski prijamnik prima, pojačava i izdvaja signale koji dolaze reflektiranim valovima kako bi se mogli prikazati na predočniku. Priključuje se na radarsku antenu preko predajno-pijemne skretnice ili neposredno ako postoji prijemna antena.

Predočnik je komponenta radarskog sustava koja ima zadaću primljene signale učiniti pristupačnim. Nekada je njegov osnovni dio bila katodna cijev dok se danas rabi predočnik s tekućim kristalima (LCD).



Slika 6. Radar s odašiljačem i prijamnikom na istome mjestu (monostatički radar) [8]



Slika 7. Radar s odašiljačem i prijamnikom na različitim mjestima (bistatički radar) [8]

Dva osnovna radarska sustava prikazana su na Slici 6. i 7.. Kod monostatičkog radara ista antena se koristi za odašiljanje i primanje, dok bistatički radar koristi dvije odvojene antene. Većina radara su monostatičkog tipa, dok se odvojene antene koriste kako bi se postigla potrebna izolacija između odašiljača i prijamnika.

Ovdje ćemo razmotriti monostatički slučaj, vrlo je slično i za bistatički slučaj. Ako odašiljač zrači snagu P_t preko antene dobitka G, gustoća snage na meti je,

$$S_t = \frac{P_t G}{4\pi R^2},$$

gdje je R udaljenost do mete. Pretpostavlja se da je meta u smjeru glavnog snopa. Meta će ulaznu snagu raspršiti u svim smjerovima; omjer raspršene snage u određenom smjeru i gustoće snage je definiran kako radarski presjek σ mete. Matematički,

$$\sigma = \frac{P_s}{S_t},$$

Gdje je Ps ukupna snaga raspršena na meti, a S_t gustoća snage ne meti. Radarski presjek stoga ima dimenziju površine [m^2] te je to svojstvo same mete.

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

Ovaj gore navedeni izraz naziva se radarska jednadžba. Primljena snaga mijenja se kao $\frac{1}{R^4}$ što zahtijeva veliku snagu odašiljača i osjetljivi prijamnik kako bi se mete otkrile na velikim udaljenostima.

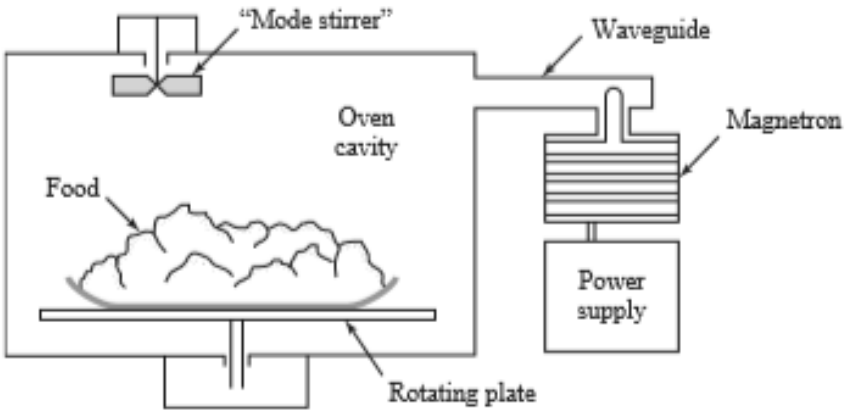
Meta	σ / m^2
Ptica	0,01
Projektil	0,5
Čovjek	1
Mali zrakoplov	1-2
Bicikl	2
Mali brod	2
Borbeni zrakoplov	3-8
Bombarder	30-40
Veliki zrakoplov	100
Kamion	200

Tablica 3. Tipični radarski presjeci [8]

Složene mete kao što su zrakoplovi ili brodovi obično imaju presjeke koji se brzo mijenjaju s frekvencijom i kutom promatranja. U vojnim primjenama poželjno je da radarski presjek vozila bude što manji kako bi se smanjila detekcija, što se postiže korištenjem materijala koji apsorbiraju mikrovalove.

4.4. Mikrovalna pećnica

Mikrovalne pećnice su jedno od najpoznatijih upotreba mikrovalova i svakodnevno se upotrebljavaju u kućanstvima diljem svijeta. Osim što se u kućanstvima mikrovalovi koriste za pripremanje hrane, isto tako koriste se za zagrijavanje u industrijske i medicinske svrhe. Većina mikrovalnih pećnica radi na frekvenciji od 2,45 GHz ili na 915 MHz ako se želi postići veće prodiranje, dok je izlazna snaga od 500 W do 1500 W.



Slika 8. Mikrovalna pećnica [8]

Mikrovalna pećnica pomoću mikrovalova stvara u hrani grijna tijela te zbog toga mora imati generator mikrovalova-magnetron. Za rad magnetrona potreban je visoki napon (3000 V do 4000 V) koji se osigurava u bloku za napajanje. Tehničkim rješenjima je osigurano da magneton radi samo za vrijeme trajanja negativne poluperiode mrežnog napona napajanja. To znači da on u jednoj sekundi proizvede 50 impulsa. S obzirom da se u mikrovalnoj pećnici zagrijavanje odvija u dvije faze, u prvoj fazi stvaraju se grijna tijela i tada magneton radi neprekinuto stvarajući pakete mikrovalova, u drugoj fazi, kada magneton ne radi, grijna tijela konvekcijski provode toplinu.

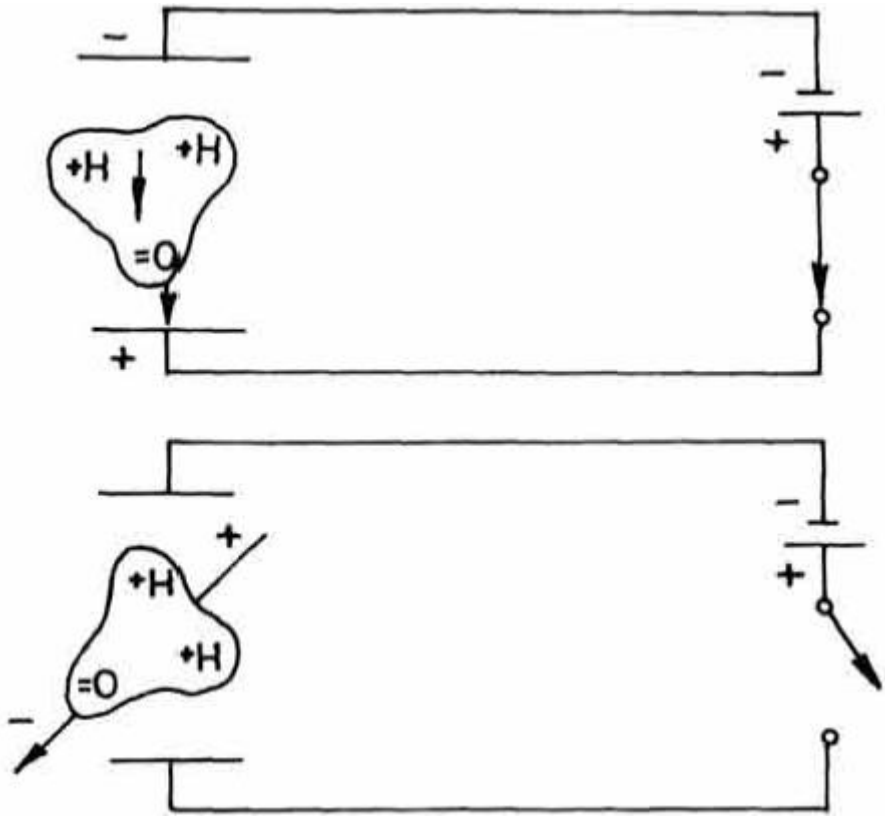
Mikrovalovi stvoreni u magnetonu do radnog prostora mikrovalne pećnice provode se valovodom. Valovod je metalna cijev pravokutnog presjeka. Kako se ne bi dogodilo da jedan dio hrane ostane neobuhvaćen mikrovalovima, važno je da se mijenja kut ulaska mikrovalova u radni prostor. Za to postoji rotacijski reflektor, koji može imati višestruku ulogu, a to je da sprječava da valovi reflektirani od unutrašnjosti radnog prostora i vruć zrak vrate putem valovoda do magnetona.

Radni prostor mikrovalne pećnice je opkoljen metalnim zidovima visoke provodnosti te omogućava da se energija mikrovalova, nakon jedne ili više refleksija od zidova utroši na zagrijavanje hrane. Osim toga metalni oklop sprječava izlazak mikrovalova iz pećnice kako oni ne bi ugrozili korisnika.

S prednje strane pećnice nalaze se vrata koja služe za unošenje i vađenje hrane. Ona imaju stakleni prozor s mrežicom od visokoprovodnog materijala koja ima otvore takve veličine da se kroz nju može vidjeti što se događa u radnome prostoru, a da mikrovalovi ne izlaze van. Kako bi se hrana ravnomjerno zagrijavala u pećnici se nalazi rotirajući pladanj.

4.4.1. Djelovanje mikrovalova na molekulu vode

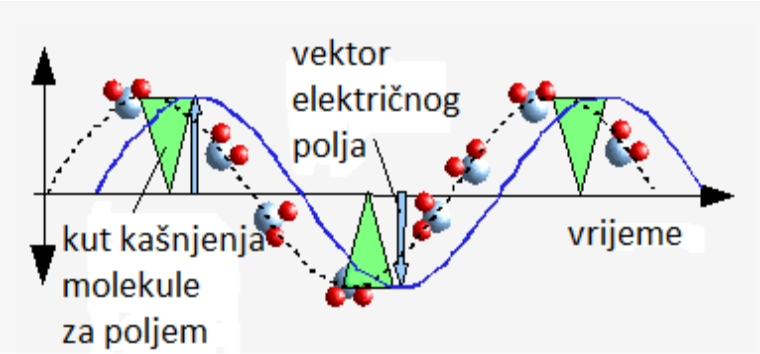
Ako se materijal koji posjeduje dielektrična svojstva podvrgne djelovanju promjenjivog elektromagnetskog polja, taj materijal apsorbira dio energije i pretvara ju u toplinsku energiju. Takva svojstva posjeduju materijali čije molekule djelovanjem elektromagnetskog polja, postaju električki nabijene, polariziraju se, ali zbog nedovoljne količine vodljivih elektrona ne provode električnu struju. Djelovanjem elektromagnetskog polja na dipole javlja se sila koja uzrokuje orijentaciju elementarnih dipola iz ranije nesređenog položaja u sređeni položaj. Pozitivan naboj orijentira se u smjeru polja, a negativan u suprotnom smjeru. Ako na te elementarne dipole (molekule vode) djelujemo visokofrekventnim valovima, dolazi do njihovog naizmjeničnog zakretanja brzinom koja ovisi o frekvenciji.



Slika 9. Djelovanje elektromagnetskog polja na molekulu vode [12]

Molekula vode sastoji se od jednog atoma kisika i dva atoma vodika. Za ponašanje molekule nije važan samo njen kemijski sastav već geometrija i raspored naboja. Kao što je već

spomenuto molekula vode je dipol što znači da iako nema vanjskih polja koja djeluju na dipol, ona na jednome kraju ima višak naboja, dok na drugome ima manjak. Ponašanje dipola u elektromagnetskom polju bitno se razlikuje od ponašanja jednoliko nabijene čestice gdje se djelovanje sile odražava kao privlačenje ili odbijanje. Kod dipola, polje stvar spreg sila koji s promjenom smjera polja izaziva rotaciju dipola.



Slika 10. Molekula vode kroz koju prolazi mikroval

Na Slici 10. prikazana je jedna molekula vode kroz koju prolazi mikroval. Smjer električnog polja, dok mikroval prolazi kroz molekulu, se mijenja i izaziva rotaciju molekule. Rotaciji se suprotstavlja tvar koja okružuje molekulu vode i zbog toga molekula kasni u promjeni smjera u odnosu na električno polje. Površina trokuta koja prikazuje kašnjenje proporcionalna je toplini koja se stvara trenjem molekule tijekom rotacije.

Molekule vode međusobno se povezuju zbog privlačenja suprotnih naboja, kraj s atomom kisika je negativan i on privlači pozitivno nabijen kraj gdje se nalaze atomi vodika. Takva veza se naziva vodikova veza. Pri sobnoj temperaturi, potrebno je vrlo malo mikrovalne energije da razbije takvu vezu i zarotira molekule.

Ne može svako promjenjivo elektromagnetsko polje zagrijati molekulu vode. Tako, polje valne duljine 0,3 mm (frekvencije veće od 1000 GHz) mijenja se prebrzo da bi molekule vode mogle pratiti tu promjenu, također polje vale duljine veće od 30 cm toliko sporo rotira molekule vode da ne dolazi do zagrijavanja. Za zagrijavanje molekula vode nije dovoljna samo njihova rotacija već je bitna i sredina u kojoj se nalaze. Ukoliko sredina u kojoj se nalazi molekula vode ne pruža otpor (vodena para) ne može doći do trenja te neće biti promjene temperature. Do trenja će dolaziti u tekućim i krutim tijelima.

5. **Zaključak**

Najznačajnije primjene mikrovalne tehnologije su bežične mreže i komunikacijski sustavi, radarski sustavi, sustavi za daljinska istraživanja, primjene u medicini i dr.. Mikrovalni komunikacijski sustavi su sveprisutni, napose danas bežično povezivanje omogućava „pristup podacima, bilo kome, bilo gdje u bilo koje vrijeme.“

Mikrovalna pećnica zagrijava hranu tako što mikrovalovi uzrokuju rotaciju molekula vode kojima se zbog trenja s okolinom povećava temperatura.

Dok s jedne strane mikrovalovi omogućavaju komunikaciju, s druge strane oni se koriste u termičkoj obradi hrane. Širok spektar frekvencija mikrovalova omogućava da nas korištenje mobilnih telefona ne „sprži“ kao što to mikrovalna pećnica čini hrani.

Literatura

[1] http://web.mit.edu/viz/EM/visualizations/coursenotes/modules/guide13.pdf (17.8.2016.)

[2] https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetsko_zra%C4%8Denje (17.8.2016.)

[3]https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ELEKTROMAGNETSKI_VALOVI.pdf (17.8.2016.)

[4] http://www.srh.noaa.gov/srh/jetstream/remote/remote_intro.html (17.8.2016.)

[5] http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/cavar/EMzracenje.htm (17.8.2016.)

[6]http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/diplome/drad_gorna_matonickin.pdf (17.8.2016.)

[7] https://sh.wikipedia.org/wiki/Mikro-valovi (13.8.2016.)

[8] Pozar, David M., Microwave Engineering, USA, John Wiley & Sons, 2012.

[9]https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HMAS_Adelaide_FFG01_main_radar_Dish.jpg (26.8.2016.)

[10] https://becomenzando.com/2015/09/07/on-the-radar-2 (26.8.2016.)

[11] http://www.emu.dk/sites/default/files/physics_of_microwave_oven.pdf (29.8.2016.)

[12] http://hrcak.srce.hr/file/171833 (29.8.2016.)

Životopis

Zovem se Igor Puharić. Rođen sam 28.11.1994.. Pohađao sam osnovnu školu Stjepana Radića u Čaglinu. Nakon osnovne škole pohađao sam Gimnaziju u Požegi opći smjer. Trenutno sam student Preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.