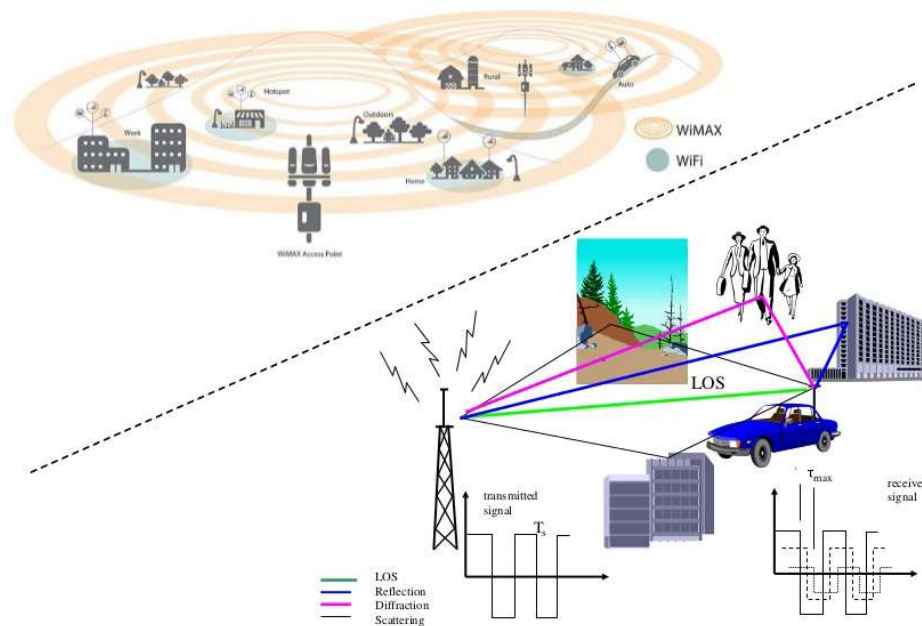


Bežični TK sistemi

Drugi čas



Definicija telekomunikacija

Tele - prefiks koji znači **na daljinu, u daljini, daleko**

+

komunikacije - **svi aspekti** razvoja nauke, inženjerstva, tehnologije i aplikacija primenjeni **u prenosu informacija** između udaljenih lokacija.

→ Multimedijalne telekomunikacije

→ Računarske telekomunikacije

Obuhvata sve tipove terminala, računara i procesora informacija; sve sisteme koji omogućavaju prenos informacija; prenosne medijume, komutirane i nekomutirane mreže, mrežne topologije, protokole i arhitekture.

Definicija telekomunikacija

Telekomunikacije predstavljaju granu ljudske delatnosti koja se bavi prenošenjem poruka, vesti ili saopštenja od jednog do drugog udaljenog mesta posredstvom elektromagnetnih talasa ili svetlosti, primenom elektronskih, odnosno optoelektronskih sistema.

Link:

https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation

Poruke koje se prenose od izvora do mesta prijema mogu biti u različitim formama: govor, muzika (audio), nepokretne i pokretne slike (video), podaci, tekst itd.

Organizacije za standardizaciju

Već u ranoj fazi razvoja telekomunikacija uočena je neophodnost međunarodne koordinacije u eksploataciji telekomunikacija, što je dovelo do osnivanja međunarodnih organizacija.

Međunarodna unija za telegrafiju osnovana je 1865. god u Parizu.

Međunarodne unija za telekomunikacije osnovana je 1932. god u Madridu. Ta organizacija od 1947. postaje specijalizovana organizacija UN, a sačinjavali su je Konsultativni komiteti za telefoniju i telegrafiju (CCITT) i za radio komunikacije (CCIR).



Organizacije za standardizaciju

International Telecommunication Union (ITU) ili Međunarodna unija za telekomunikacije sa sedištem u Ženevi, je specijalizovana agencija Ujedinjenih nacija koja ima tri sektora:

- ITU-R za radio-komunikacije,
- ITU-D razvojni sektor i
- ITU-T sektor za telekomunikacije.

Rad i donošenje preporuka je organizovan u okviru studijski grupa (SG) i do sada je usvojeno više od 3000 preporuka (ITU Recommendations).

Organizacije za standardizaciju

Značajnu ulogu u standardizaciji telekomunikacija i informatičkih tehnologija imaju i:

- Međunarodna organizacija za standardizaciju - ISO
- Evropski Institut za standardizaciju u telekomunikacijama - ETSI
- Udruženje inženjera elektrotehnike i elektronike - IEEE
- Američki nacionalni institut za standarde – ANSI
- Internacionalna elektrotehnička komisija – IEC
- Alijansa elektronske industrije – EIA
- Asocijacija telekomunikacione industrije – TIA

Tela za standardizaciju u oblasti Internet tehnologija su:

- IRTF (*Internet Research Task Force*) i
- IETF (*Internet Engineering Task Force*) itd.

Organizacije za standardizaciju

International organization for standardization (ISO) – međunarodna organizacija za brojne standarde. U oblasti komunikacija definiše standarde za povezivanje otvorenih sistema, kao npr. **OSI model**, ili standarde za bezbednost u informacionim tehnologijama, kao npr. ISO/IEC 27000 Information technology — Security techniques — Information security management systems.

Organizacije za standardizaciju

European Telecommunications Standards Institute (ETSI) – je zadužen za definisanje globalno primenljivih standarda za informaciono-komunikacione tehnologije (ICT), uključujući fiksne, mobilne, radio, broadcast i Internet tehnologije. Njihovi standardi kao što su **GSM**, DECT, Smart Cards i **elektronski potpis** (electronic signatures) su doprineli revoluciji savremenog življenja u celom svetu. Ovaj institut se smatra od strane Evropske unije za evropsku organizaciju za standarde.

Organizacije za standardizaciju

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) – najbrojnija međunarodna organizacija u oblasti elektrotehnike, elektronike i računarstva. Najpoznatiji standardi ove organizacije su: IEEE 802.3 Ethernet, IEEE 802.11 Wireless LAN (WLAN) & Mesh (Wi-Fi certification), IEEE 802.15 Wireless PAN i druge serije standarda.

American National Standard Institute (ANSI) – privatna nevladina organizacija. Postoji veliki broj ANSI standarda, npr.: **ASCII**, FDDI (Fiber Distributed Data Interface), **SONET** (Synchronous Optical Network) itd.

Organizacije za standardizaciju

International Electrotechnical Commission (IEC) – nevladina agencija koja definiše standarde za obradu podataka i interkonekcije. Uključena je u razvoj JPEG standarda. Neki standardi: IEC 60774 VHS/S-VHS video tape cassette system, IEC 61131 Programmable Logic Controllers, itd.

Electronic Industries Alliance (EIA) – članovi ove organizacije su kompanije koje se bave proizvodnjom telekomunikacione opreme. Jedan od njenih standarda je i RS-232 (poznat i kao EIA-232), standard za serijski prenos podataka.

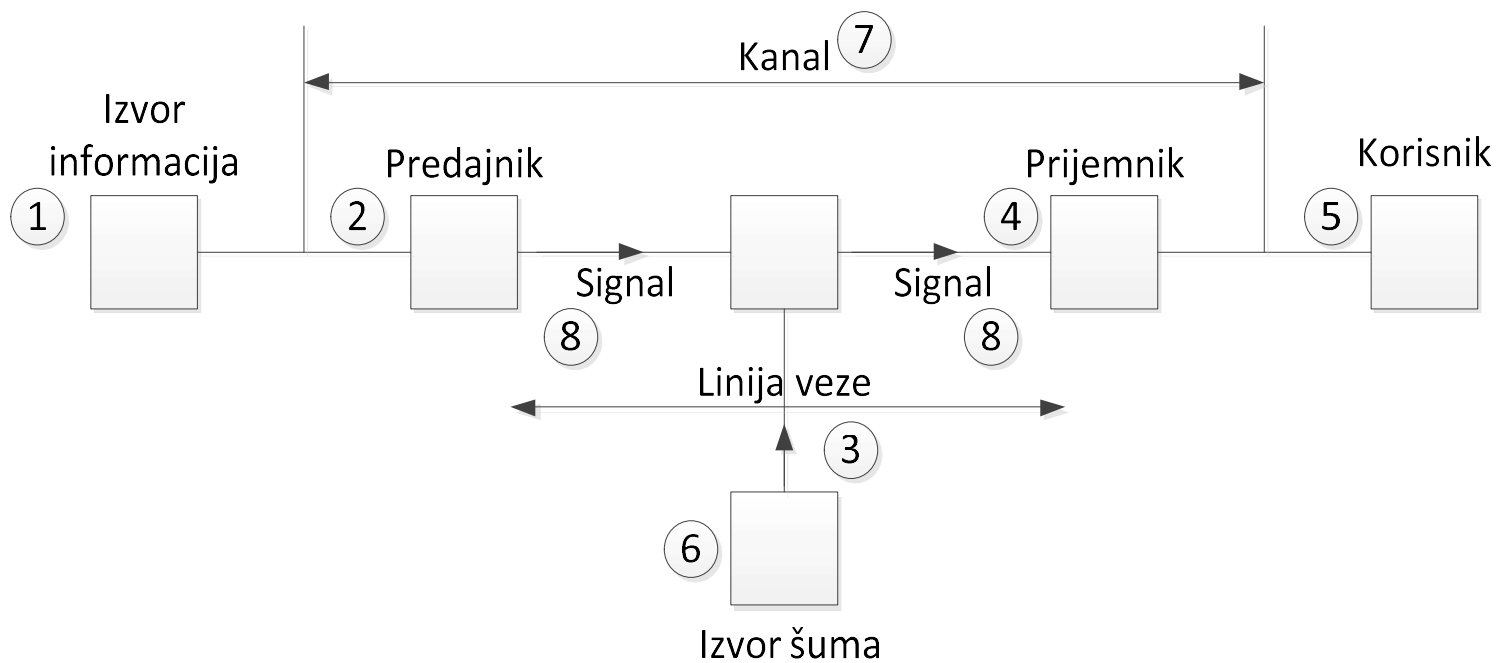
Telecommunication Industry Association (TIA) – organizacija koja se bavi razvojem standarda za telekomunikacione proizvode.

Organizacije za standardizaciju

Internet Engineering Task Force (IETF) – međunarodna organizacija podeljena u radne grupe razvijaju specifikacije koje postaju Internet standardi.

The Internet Research Task Force (IRTF) – promoviše istraživanje važnosti evolucije Interneta kroz rad specijalizovanih i usmerenih istraživačkih grupa (Research Group) koje rade na temama vezanih za Internet protokole, aplikacije, arhitekture i tehnologiju. Internet Research Task Force (IRTF) se fokusira na dugoročne istraživačke teme vezane za Internet dok se paralelna organizacija Internet Engineering Task Force (IETF), fokusira na kratkorične teme u oblasti stvaranja standarda. IRTF se sastoji od većeg broja istraživačkih grupa.

Opšti model komunikacionog sistema



Opšti model komunikacionog sistema

Elementi komunikacionog sistema:

Izvor informacija (1) generiše poruke koje se sastoje od skupa simbola (slova, brojke, note) ili od neke funkcije promenljive u vremenu (govor, muzika, slike).

Predajnik (2) pretvara poruku u signal podesan za prenos.

Signal (8) je električni ili svetlosni ekvivalent prenošene poruke.

Linija veze (3) predstavlja sredinu (medijum) kroz koji se signal prenosi od predajnika do prijemnika.

Prijemnik (4) transformiše primljeni signal u poruku.

Korisnik (5) je osoba, mašina ili objekat kome je poruka namenjena.

Opšti model komunikacionog sistema

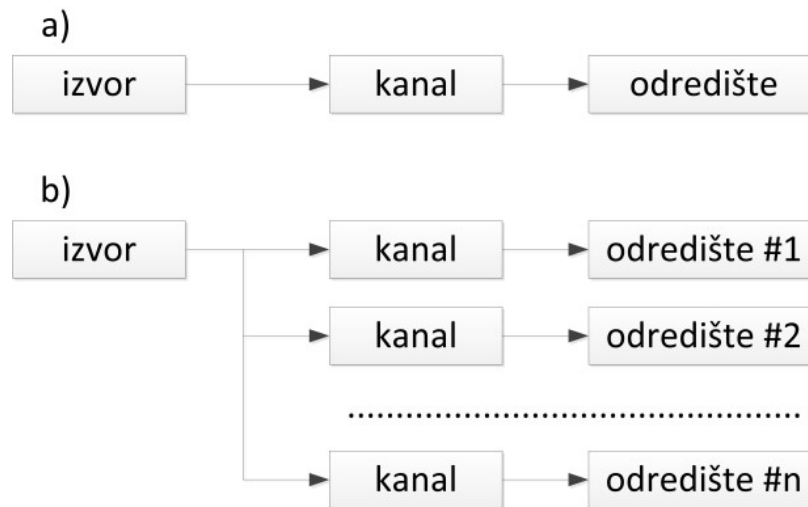
Šum (6) u opštem smislu predstavlja sve pojave koje degradiraju signal. Slično negativan uticaj na signal ima i **interferencija**.

Usled prisustva šuma, interferencije, kao i izobličenja signala na izlazu iz sistema dobija se procena poslatog signala.

Osnovni kriterijum za procenu kvaliteta prenosa je odnos signal/šum SNR ili S/N (Signal-to-Noise ratio) koji se definiše kao količnik srednje snage signala / srednje snaga šuma.

Opšti model komunikacionog sistema

Funkcionalna blok šema dva tipa prenosa: “**tačka-tačka**” ili point-to-point i “**tačka-više tačaka**” ili point-to-multipoint.

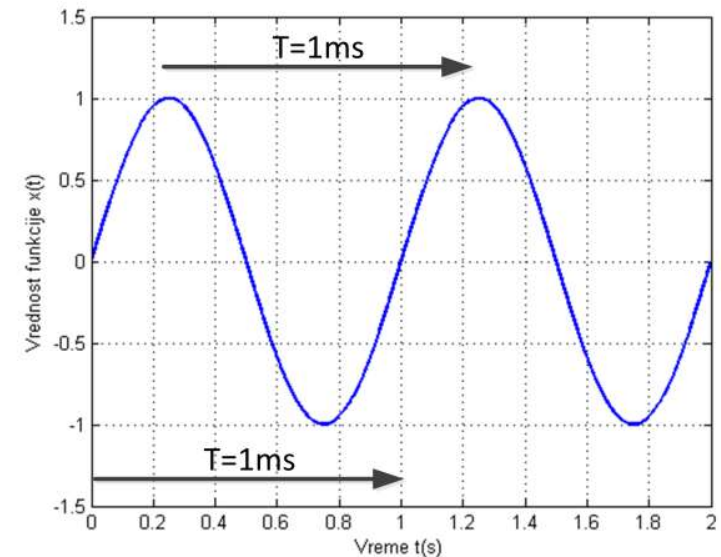


Koncept vremenskog i frekvencijskog domena signala

Periodični deterministički signali

Na slici je prikazana sinusoida sa:

- amplitudom $A=1$,
- nultom početnom fazom $\phi = 0$,
- periodom $T=1\text{ms}=10^{-3}\text{s}$ i
- frekvencijom (učestanošću) $f=1/T=1000\text{Hz}=1\text{kHz}$

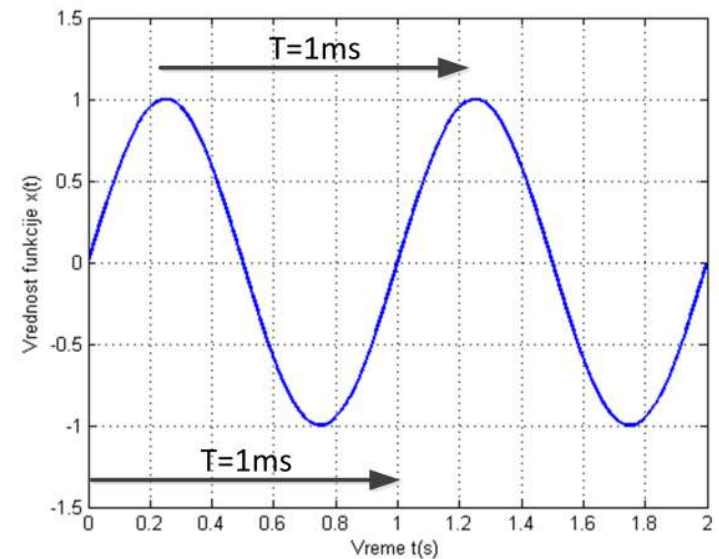


Periodični deterministički signal

Periodični deterministički signali

Program u Matlabu koji daje prikaz sledeće slike

```
clear all
close all
clc
A=1;
phi=0;
T=10^-3;
f=1;
t=0:0.001:2;
x=A*sin(2*pi*f*t+phi);
plot(t,x,'LineWidth',2)
xlabel('Vreme t(s)')
ylabel('Vrednost funkcije x(t)')
grid
axis([0 2 -1.5 1.5])
```



Periodični deterministički signal

Deterministički signali

Primer signala koji se dobija **zbirom tri sinusoide** dat je u nastavku:

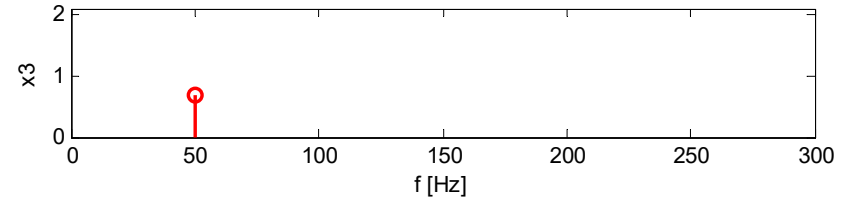
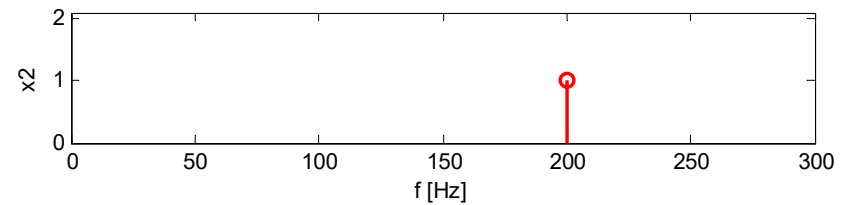
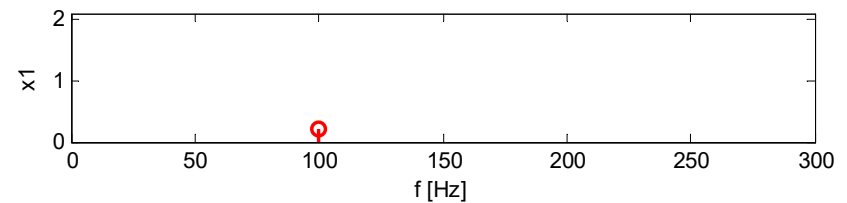
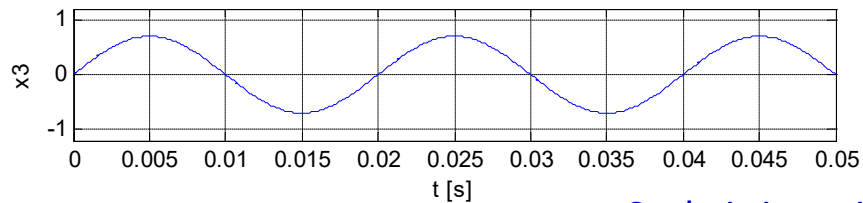
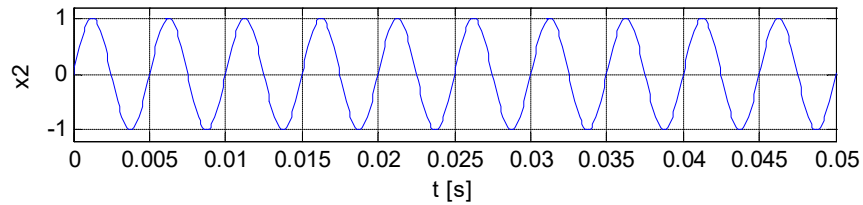
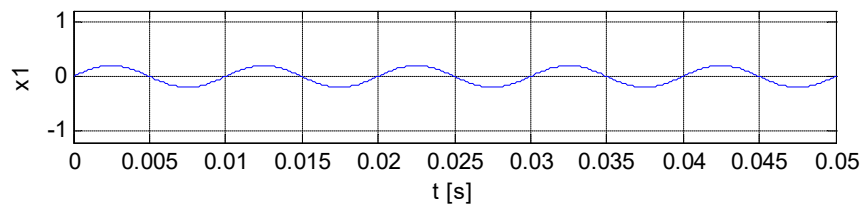
$$x(t) = A_1 \sin(2\pi f_1 t) + A_2 \sin(2\pi f_2 t) + A_3 \sin(2\pi f_3 t)$$

gde su amplitude sledećih vrednosti $A_1=0.2$, $A_2=1$ i $A_3=0.7$, a frekvencije $f_1=100\text{Hz}$, $f_2=200\text{Hz}$ i $f_3=50\text{Hz}$.

Deterministički signali

amplitude: $A_1=0.2$, $A_2=1$ i $A_3=0.7$

frekvencije: $f_1=100\text{Hz}$, $f_2=200\text{Hz}$ i $f_3=50\text{Hz}$

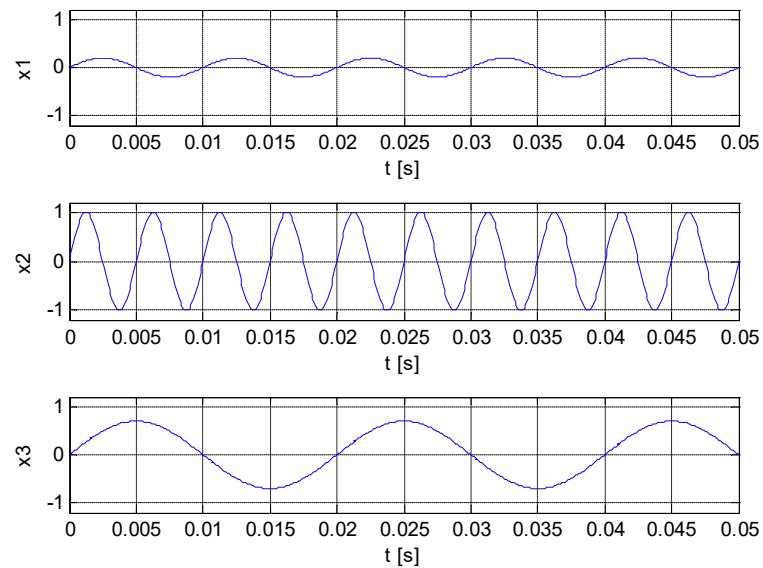


Svakoj sinusoidi odgovara po jedna komponenta u amplitudskom spektru (koja pokazuje koliko je sinusoida snažna).

Deterministički signali

Za prikaz signala na slici upotrebljen je sledeći Matlab kod

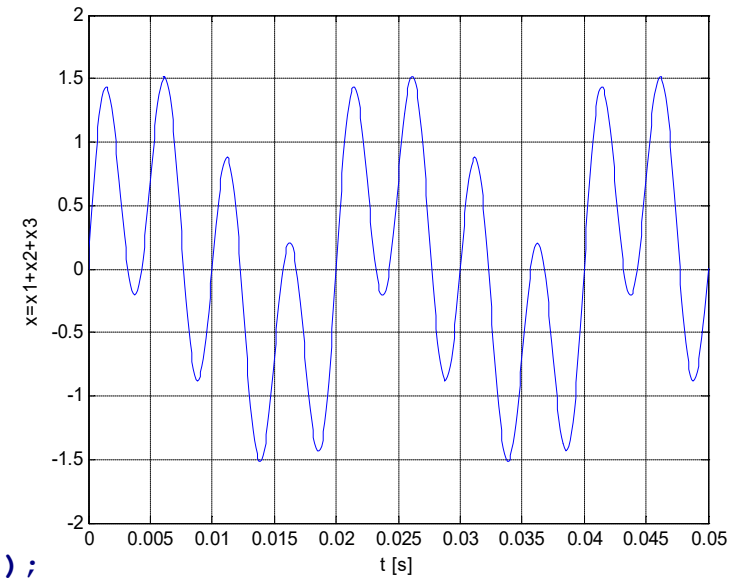
```
close all
clear all
clc
t = 0:0.001:0.05
f1 = 100;
f2 = 200;
f3 = 50;
x1 = 0.2*sin(2*pi*f1*t);
x2 = sin(2*pi*f2*t);
x3 = 0.7*sin(2*pi*f3*t);
subplot(3,1,1);
plot(t,x1);
axis([0 0.05 -1.2 1.2])
grid
subplot(3,1,2);
plot(t,x2);
axis([0 0.05 -1.2 1.2])
grid
subplot(3,1,3);
plot(t,x3);
axis([0 0.05 -1.2 1.2])
grid
```



Prikaz tri komponente signala $x(t)$ u vrem. domenu

Deterministički signali

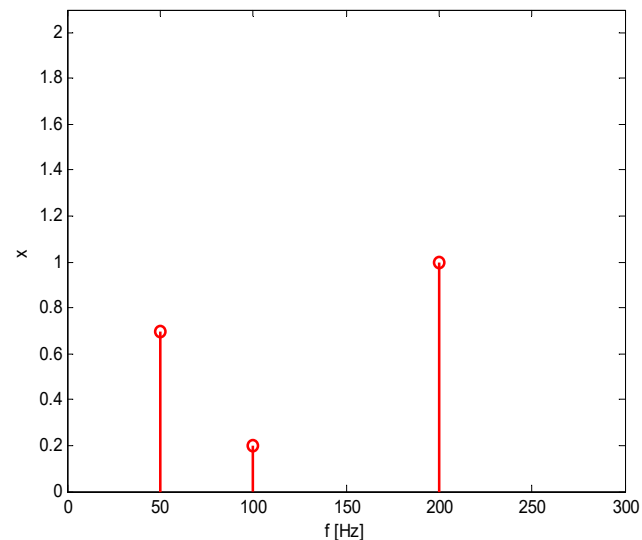
```
clear all
close all
clc
A1=0.2;
A2=1;
A3=0.7;
f1=100;
f2=200;
f3=50;
t=0:0.0001:0.05;
x=A1*sin(2*pi*f1*t)+A2*sin(2*pi*f2*t)+A3*sin(2*pi*f3*t);
figure
plot(t,x);
xlabel('t (s)')
ylabel('x=x1+x2+x3')
grid
axis([0 0.05 -2 2])
```



Deterministički signali

Za prikaz signala u frekvencijskom domenu upotrebljen je sledeći Matlab kod

```
figure
stem (f1,A1,'r','LineWidth',2)
ylabel('x1')
hold on
stem (f2,A2,'r','LineWidth',2)
ylabel('x2')
hold on
stem (f3,A3,'r','LineWidth',2)
ylabel('x')
xlabel('f [Hz]')
axis([0 300 0 2.1])
```



Prikaz tri komponente signala $x(t)$ u frekv. domenu

Deterministički signali

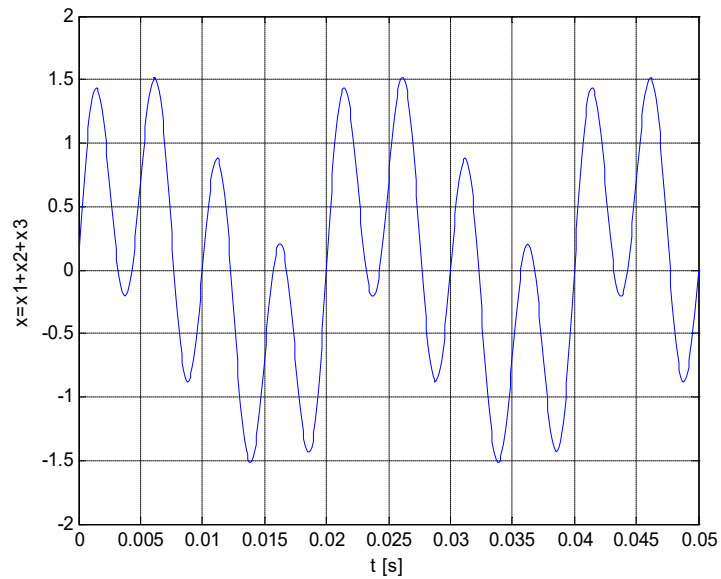
Spektar složenog signala ima tri komponente, a širina spektra posmatranog signala iznosi 150Hz (razlika 200Hz-50Hz, pogledati prethodnu sliku).

Signal koji se dobija zbirom konačnog broja sinusoida uvek je periodičan, sa periodom koja je određena zajedničkim deliocem učestanosti svih komponenata u spektru. Ona se naziva osnovnom učestanošću periodičnog signala i **označava se sa f_0** .

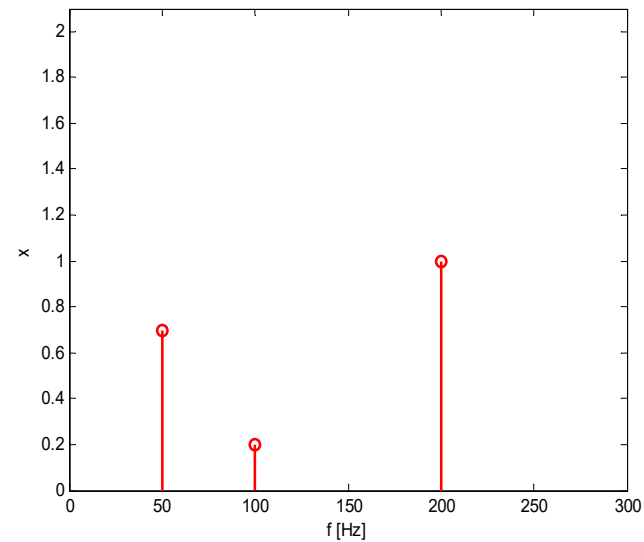
Koliko iznosi perioda signala $x(t)$?

$f_0=50\text{Hz}$, a perioda signala $T=1/50\text{Hz}=20\text{ms}$

Deterministički signali



Prikaz signala $x(t)$ u vremenskom domenu



Amplitudski spektar

$$x(t) = A_1 \sin(2\pi f_1 t) + A_2 \sin(2\pi f_2 t) + A_3 \sin(2\pi f_3 t)$$

Deterministički signali

Signal se može dobiti i zbirom kosinusoida, npr:

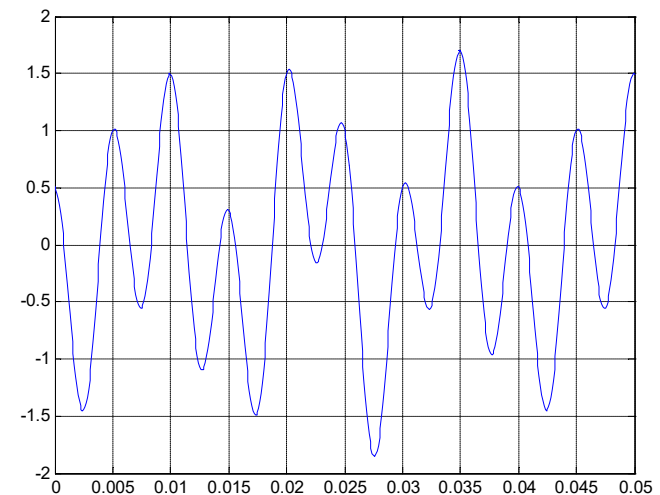
$$x(t) = 0.2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot t) + \cos\left(2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) + 0.7 \cos\left(2 \cdot \pi \cdot 75 \cdot t + \frac{5\pi}{4}\right)$$

Oblik signala bi se promenio jer na njega ne utiču samo frekvencije i amplitude, nego i fazni pomeraji. **Ovde je osnovna frekvencija 25MHz i ona ne odgovara najnižoj frekvenciji u spektru.**

Periodičan signal je potpuno opisan samo ako je poznat njegov amplitudski i fazni spektar. Vrednosti u faznom spektru se nalaze u opsegu od $(0, 2\pi)$ ili $(-\pi, \pi)$.

Deterministički signali

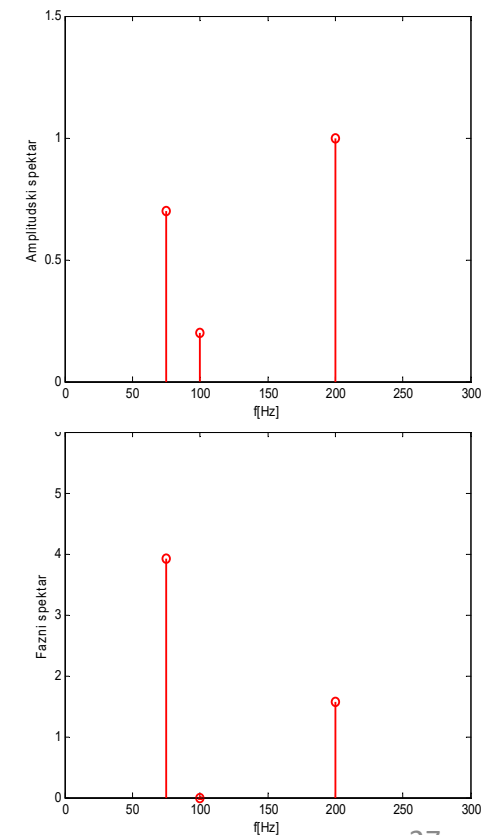
```
clear all
close all
clc
A1=0.2;
A2=1;
A3=0.7;
f1=100;
f2=200;
f3=75;
phi1=0;
phi2=pi/2;
phi3=5*pi/4;
t=0:0.0001:0.05;
x=A1*cos(2*pi*f1*t+phi1)+A2*cos(2*pi*f2*t+phi2)+A3*cos(2*pi*f3*t+phi3);
figure
plot(t,x);
xlabel('vreme (s)')
ylabel('x=x1+x2+x3')
grid
axis([0 0.05 -2 2])
```



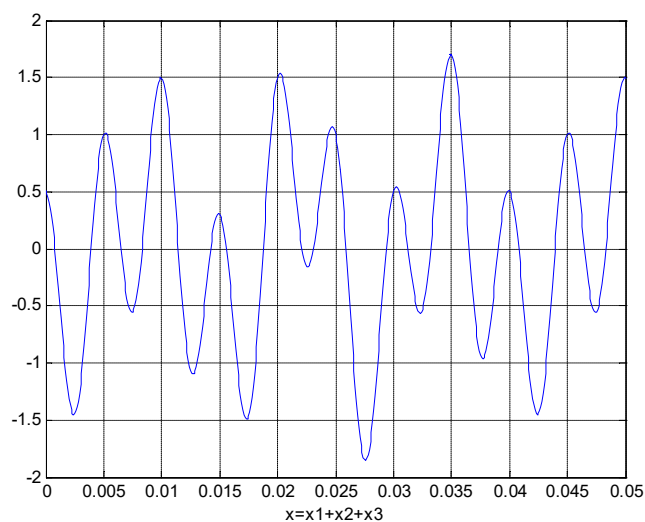
$$x(t) = 0.2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot t) + \cos\left(2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) + 0.7 \cos\left(2 \cdot \pi \cdot 75 \cdot t + \frac{5\pi}{4}\right)$$

Deterministički signali

```
figure
stem(f1,A1,'r','LineWidth',2);
hold on
stem(f2,A2,'r','LineWidth',2);
hold on
stem(f3,A3,'r','LineWidth',2);
axis ([0 300 0 1.5])
xlabel('f[Hz]')
ylabel('Amplitudski spektar');
figure
stem(f1,phi1,'r','LineWidth',2);
hold on
stem(f2,phi2,'r','LineWidth',2);
hold on
stem(f3,phi3,'r','LineWidth',2);
axis ([0 300 0 6])
xlabel('f[Hz]')
ylabel('Fazni spektar');
```

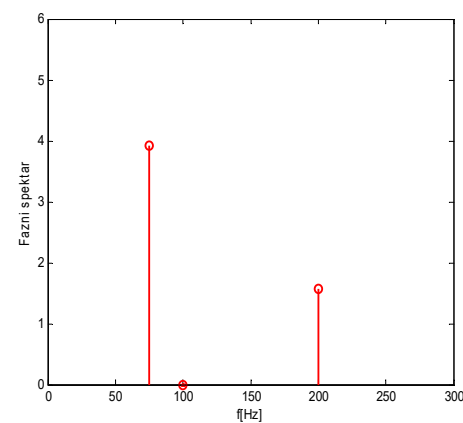
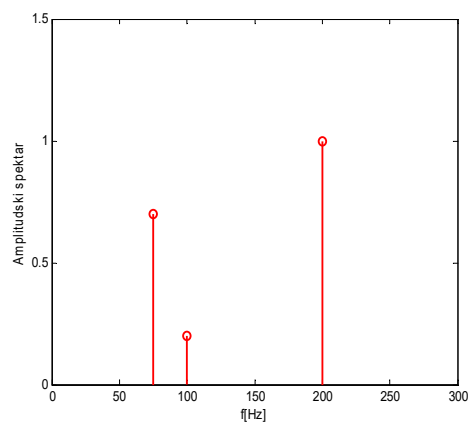
$$x(t) = 0.2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot t) + \cos\left(2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) + 0.7 \cos\left(2 \cdot \pi \cdot 75 \cdot t + \frac{5\pi}{4}\right)$$


Deterministički signali



Prikaz signala $x(t)$ u vremenskom domenu

$$x(t) = 0.2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot t) + \cos\left(2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) + 0.7 \cos\left(2 \cdot \pi \cdot 75 \cdot t + \frac{5\pi}{4}\right)$$



Amplitudski i fazni spektar signala $x(t)$

Prikaz signala $x(t)$ u frekvencijskom domenu

Deterministički signali

Promenom amplituda (samim time i snaga) znatno se menja vremenski oblik signala i pri istom broju komponenti.

I ovaj signal je deterministički (može se opisati matematičkom funkcijom) i periodičan.

Pri tom perioda signala $T=40\text{ms}$ ($1/25\text{Hz}$).

Koncept frekvencijskog domena

Signal koji se prenosi duž prenosnog puta funkcija je kako vremena tako i frekvencije. Zbog toga je neophodno poznavati oba domena, frekvencijski i vremenski, da bi se vršila odgovarajuća obrada signala. Upoznajmo koncept frekvencijskog domena.

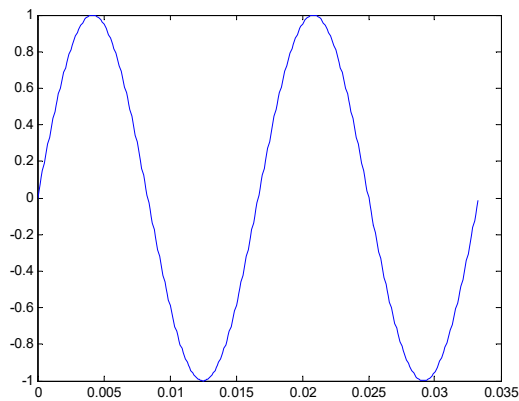
U suštini, razvojem u **Furijeov red** vidi se da se signal sastoji od većeg broja **komponenti** čije su frekvencije različite. Na primer, signal:

$$s(t) = \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) + \frac{1}{3} \sin(2 \cdot \pi \cdot (3 \cdot f) \cdot t) \dots$$

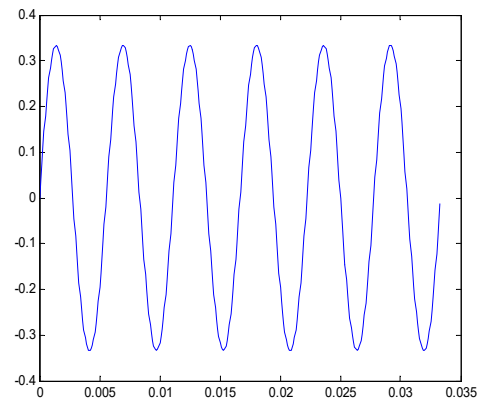
Komponente ovog signala su sinusni talasni oblici frekvencije f , $3f$ itd.

Koncept frekvencijskog domena

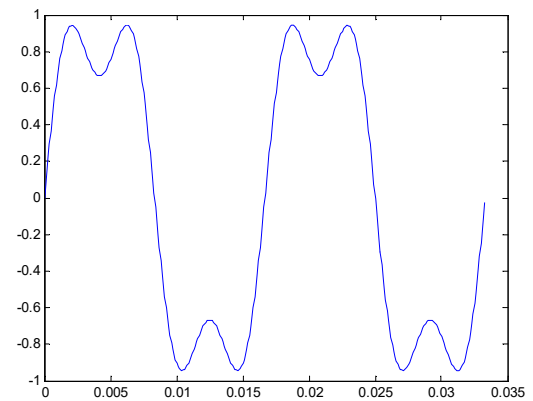
Na slikama a) i b) su prikazane dve komponente signala, a na slici c) signal $s(t)$



a)



b)



c)

Koncept frekvencijskog domena

1. **Treći harmonik** se nalazi na frekvenciji koja je je **celobrojni umnožak frekvencije prvog harmonika**. Kada su sve frekvencije svih komponenti signala celobrojni umnošci frekvencije **na kojoj se nalazi prvi harmonik, tu frekvenciju nazivamo osnovnom frekvencijom** (osnovni harmonik);
2. **Perioda ukupnog signala jednaka je periodi osnovnog harmonika**. Perioda komponente $2\pi ft$ je $T = 1/f$, a perioda $s(t)$ je takodje T .

Signal koji se dobija zbirom konačnog broja sinusoida uvek je periodičan, sa periodom koja je određena zajedničkim deliocem učestanosti svih komponenata u spektru. Ona se naziva osnovnom učestanošću periodičnog signala i označava se sa f_0 .

Koncept frekvencijskog domena

Spektar signala predstavlja opseg frekvencija koje taj spektar sadrži. Za signal sa slike c) spektar signala se nalazi izmedju f i $3f$. Apsolutni propusni opseg (*absolute bandwidth*) signala je onaj koji odgovara širini spektra.

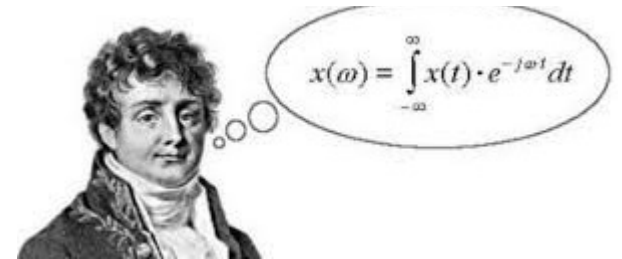
Za slučaj sa slike c) propusni opseg je $2f$.

Kod najvećeg broja signala propusni opseg je beskonačan. **Ipak najveći deo energije signala sadrži se u relativno uskom frekvencijskom opsegu.** Ovaj opseg je poznat kao **efektivni propusni opseg** (*effective bandwidth*), ili skraćeno propusni opseg.

Načini analize determinističkih signala

Osobine determinističkih signala ispituju se harmonijskom analizom funkcija kojima su predstavljeni takvi signali. **Harmonijska analiza** zasniva se na teoriji **Furijeovih redova i Furijeovih transformacija** u zavisnosti od toga da li se radi o periodičnim ili aperiodičnim signalima.

Harmonijska analiza je pogodna jer se periodične funkcije bez obzira na njihov talasni oblik mogu razložiti u Furijeov red. Na taj način umesto te funkcije predstavljene u **vremenskom domenu** dobijamo njenu sliku u **domenu učestanosti (frekvencijski domen)**. Treba naglasiti da od svih talasnih oblika koje možemo razlagati, najjednostavnije je to raditi sa sinusoidalnim formama.



Harmonijska analiza periodičnih signala

U prvoj polovini 19-og veka, francuski matematičar **Žan Batist Fourier (Jean-Baptiste Fourier)** dokazao je da se **svaka periodična funkcija**, npr. signal $x(t)$, sa periodom T , može **predstaviti kao suma (konačnog)** broja sinusnih i kosinusnih komponenata u obliku **Fourier-ovog reda**.

Ako **periodičan signal $x(t)$** zadovoljava **Dirichlet-ov uslov**:

$$\int_{-T/2}^{T/2} |x(t)| dt < \infty \text{ ili } \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt < \infty$$

što znači da je konačna veličina, tada se on može **predstaviti u obliku Fourier-ovog reda**, odnosno u obliku koji sledi

Harmonijska analiza periodičnih signala

I oblik:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t))$$

a_0 - konstanta

$f_0=1/T$ - osnovna učestanost određena periodom signala

a_n i b_n - sinusne i kosinusne amplitude n -tog harmonika, ili težinski koeficijenti (Fourier-ovi koeficijenti) određeni sledećim izrazima:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \cos(n\omega_0 t) dt, \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) \sin(n\omega_0 t) dt$$

Harmonijska analiza periodičnih signala

II oblik:

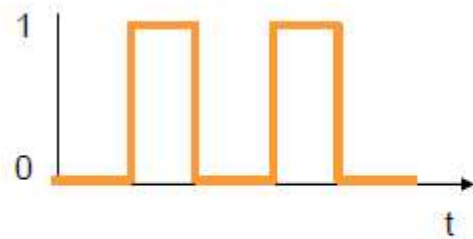
$$x(t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n), \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f_0$$

Periodična funkcija $x(t)$ predstavljena je sumom prostoperiodičnih oscilacija koji se nazivaju **harmonici funkcije $x(t)$** .

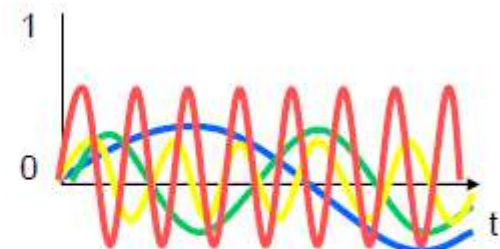
Oni imaju **amplitude C_n , fazni stav θ_n i učestanost ω** .

Koeficijent C_n predstavlja amplitudu n -tog harmonika signala $x(t)$, dok su θ_n njegova **faza**, tj. koeficijenti koji određuju početne faze kosinusoida koje treba sabrati da bi se dobio signal koji želimo da rastavimo na komponente. Koeficijent C_0 određuje nivo prisustva jednosmerne komponente.

$$C_0 = \frac{a_0}{2}, \quad C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad \theta_n = \arctg\left(-\frac{b_n}{a_n}\right)$$



idealni periodični
signal



realna kompozicija
(bazirana na harmonicima)

Harmonijska analiza periodičnih signala

III oblik:

Ako se koristi jednakost:

$$\cos(n\omega_0 t) = \frac{1}{2}(e^{jn\omega_0 t} + e^{-jn\omega_0 t}) \text{ i } \sin(n\omega_0 t) = \frac{1}{2j}(e^{jn\omega_0 t} - e^{-jn\omega_0 t})$$

Tada se **signal $x(t)$ može predstaviti u kompleksnom obliku:**

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_n e^{jn\omega_0 t}, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Harmonijska analiza periodičnih signala

Pri čemu su sa X_n predstavljeni kompleksni Furijeovi koeficijenti (kompleksni koeficijent *Fourier-ovog reda*) i oni predstavljaju spektar signala.

$$X_n = X(jn\omega_0) = \frac{a_n - jb_n}{2} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-jn\omega_0 t} dt, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$x(t)$ i X_n predstavljaju Furijeov transformacioni par za periodične funkcije

Spektar se deli na **amplitudni i fazni spektar**:

$$X_n = |X_n| e^{j\theta_n}$$

Harmonijska analiza periodičnih signala

Veličina X_n predstavlja Furijeovu transformaciju $x(t)$.

Na osnovu toga mogu se odrediti amplitude i fazni stavovi pojedinih harmonika. X_n su kompleksne veličine.

X_n - kompleksni spektar funkcije $x(t)$

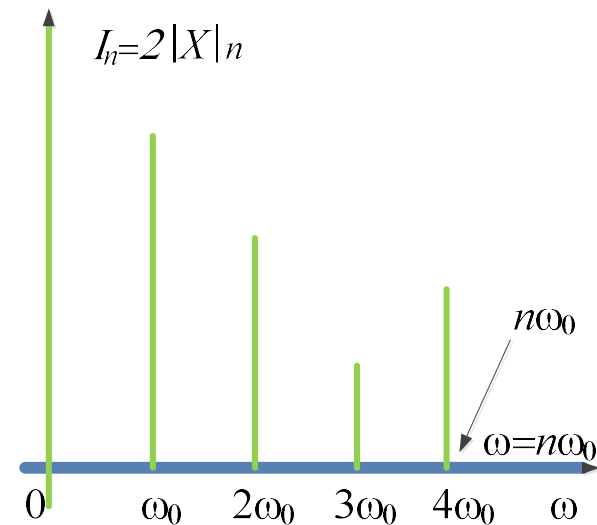
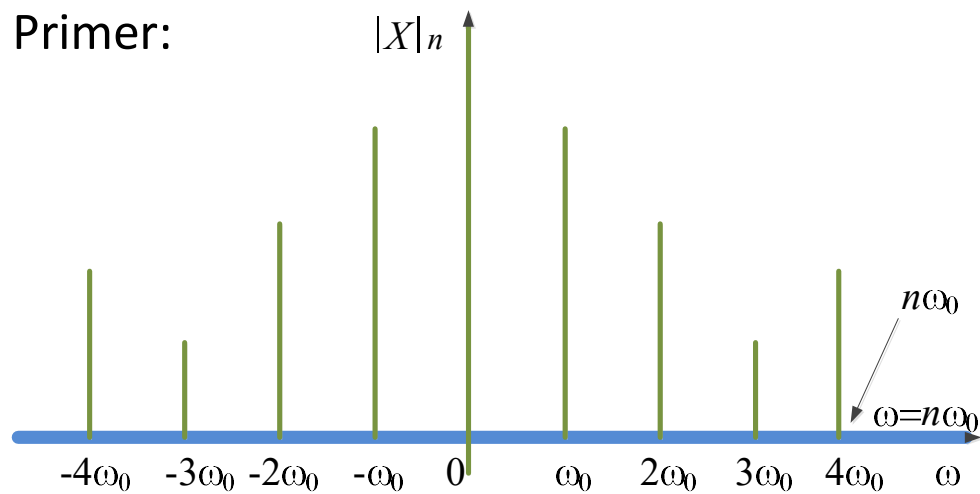
$|X_n|$ - amplitudski spektar $x(t)$

θ_n - fazni spektar $x(t)$

Harmonijska analiza periodičnih signala

Spektar periodičnih funkcija je diskretan ili linijski, komponente na pojedinim kružnim frekvencijama nazivaju se harmonici (prvi, drugi)

Primer:



Harmonijska analiza periodičnih signala

Fazni spektar je uvek neparna funkcija po učestanosti, tako da se uvek dobija jednoznačno rešenje za $-n$ i za $+n$. Dekompozicijom složenog signala dobijaju se prosti članovi na određenim učestanostima, koji obrazuju diskretan spektar (linijski spektar). Furijeova transformacija X_n predstavlja vernu sliku funkcije $x(t)$ iz vremenskog domena, u domenu učestanosti:

$$X_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-jn\omega_0 t} dt, n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

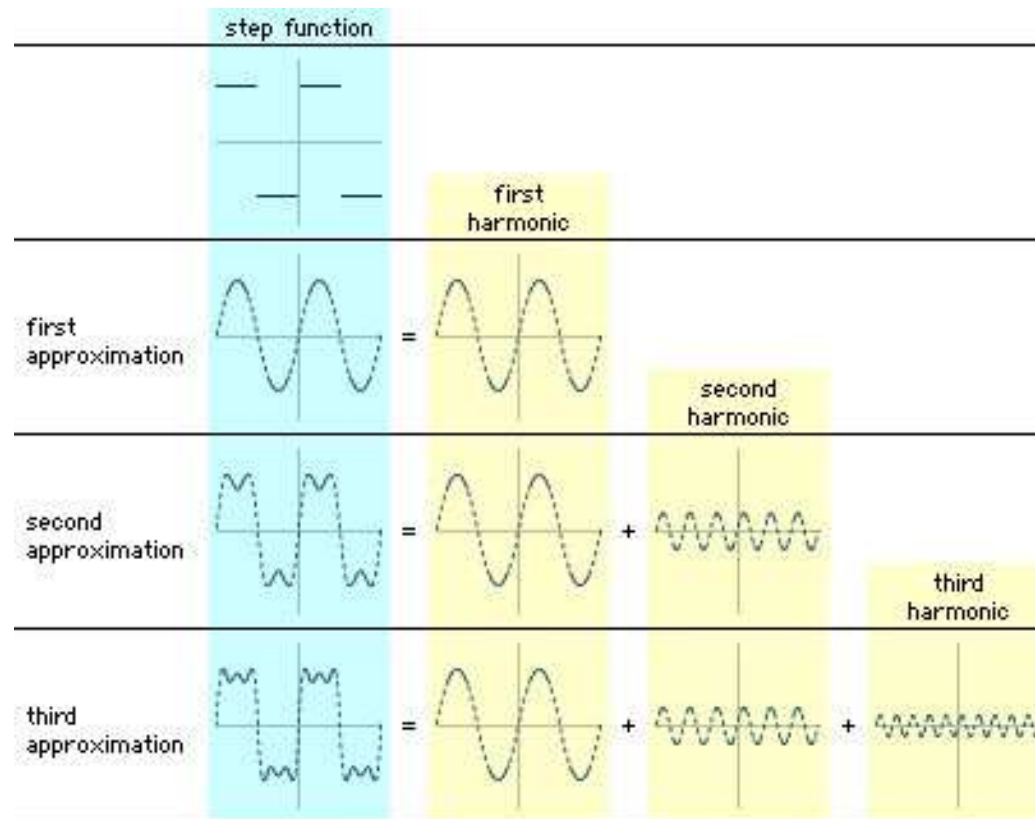
Harmonijska analiza periodičnih signala

Sa druge strane $x(t)$ predstavlja inverznu Furijeovu transformaciju kompleksnog spektra X_n .

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_n e^{jn\omega_0 t}, n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

Još jednom, $x(t)$ i X_n predstavljaju Furijeov transformacioni par za periodične funkcije.

Harmonijska analiza periodičnih signala



© 2000 Encyclopædia Britannica, Inc.

Parsevalova teorema

Neka je dat periodičan realan signal $x(t)$, periode T . Njegova srednja kvadratna vrednost iznosi:

$$\begin{aligned} P = E\{x^2(t)\} &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t) dt = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_n e^{jn\omega_0 t} dt \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_n \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{jn\omega_0 t} dt = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |X_n|^2 = \frac{a_0^2}{4} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{a_n^2 + b_n^2}{4}, n \neq 0 \end{aligned}$$

Pri čemu je signal $x(t)$ zamenjen kompleksnim *Fourier*-ovim redom. **Prema Parseval-ovoj teoremi, ukupna srednja snaga složenog periodičnog signala jednaka je zbiru kvadrata svih komponenti u amplitudskom spektru signala, tj. svih njegovih harmonika.**

Korelacija periodičnih signala

Korelacija pokazuje sličnost (stepen poklapanja) dva signala $x_1(t)$ i $x_2(t)$, koji imaju istu periodu T , i to kada je jedan od njih kasni za proizvoljni pomerač τ .

Definicija korelacije je:

$$R_{12}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x_1(t) x_2(t + \tau) dt$$

A Furijeov transformacioni par je:

$$R_{12}(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (X_n)_1^* (X_n)_2 e^{jn\omega_0\tau} \quad (X_n)_1^* (X_n)_2 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} R_{12}(\tau) e^{-jn\omega_0\tau} d\tau$$

Autokorelacija periodičnih signala

Autokorelacija pokazuje sličnost (stepen poklapanja) signala $x_1(t)$ koji ima periodu T , sa njegovom kopijom sa kašnjenjem u vremenu proizvoljni pomeraj τ .

Definicija autokorelacije je:

$$R_{11}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x_1(t)x_1(t + \tau)dt$$

A Furijeov transformacioni par je:

$$R_{11}(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |X_n|^2 e^{jnw_0\tau} \quad |X_n|^2 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} R_{11}(\tau) e^{-jnw_0\tau} d\tau$$

Konvolucija periodičnih signala

Konvolucija pokazuje stepen poklapanja signala $x_1(f)$ i $x_2(f)$, kada je umesto jednog od njih uzet njegov odraz u ogledalu zakašnjen za proizvoljni pomeraj τ .

Definicija konvolucije je:

$$\rho_{12}(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (X_n)_1 (X_n)_2 e^{jnw_0\tau}$$

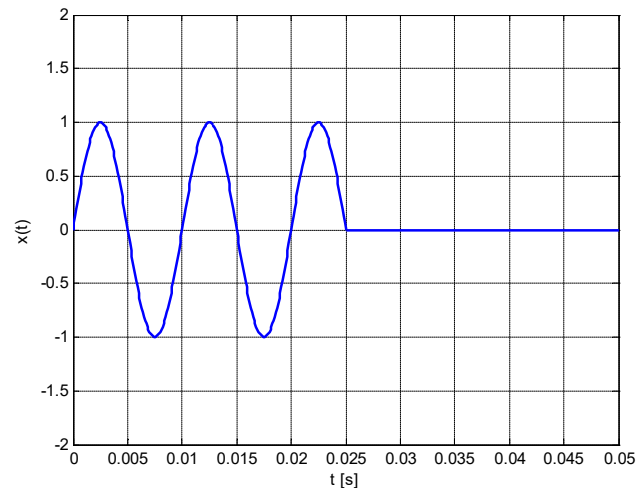
A Furijeov transformacioni par je:

$$\rho_{12}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x_1(t) x_2(\tau - t) dt \quad (X_n)_{21} (X_n)_2 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \rho_{12}(\tau) e^{-jnw_0\tau} d\tau$$

Harmonijska analiza aperiodičnih signala

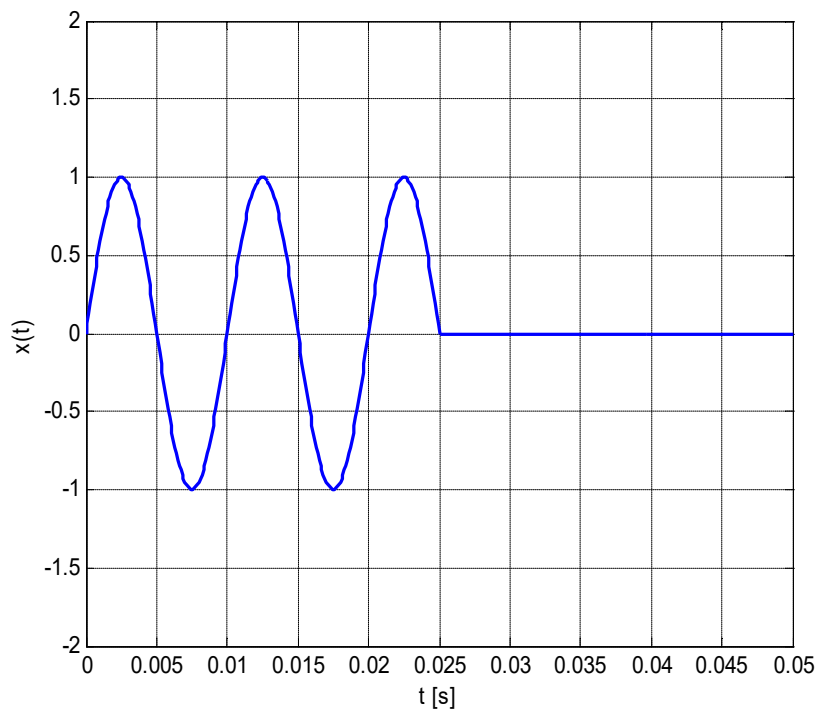
Harmonijska analiza signala koji su aperiodični je moguća. U nastavku će se dati primer signala koji su aperiodični, ali su deterministički tj. takvi da se mogu predstaviti matematičkom funkcijom. Amplituda ima vrednost 1, a $f=100\text{Hz}$.

$$x(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f t), & t \leq 0.5 / (2f) \\ 0 & \text{inače} \end{cases}$$



Harmonijska analiza aperiodičnih signala

```
close all
clear all
clc
f = 100;
t1 = 0:0.0001:0.5/(2*f);
A1 = 1;
A2 = 0;
x1 = A1*sin(2*pi*f*t1);
plot(t1,x1,'LineWidth',2)
axis([0 0.05 -2 2])
grid
xlabel('t [s]')
ylabel('x(t)')
t2 = 0.5/(2*f):0.0001:10/(2*f);
hold on
x2=A2*sin(2*pi*f*t2);
plot(t2,x2,'LineWidth',2)
```



Harmonijska analiza aperiodičnih signala

Ovi signali nisu periodični. Za njih ne postoji T , tako da je $x(t) \neq x(t+T)$. Može se smatrati da im je perioda beskonačna, tj. $f_0 = 1/T \rightarrow 0$.

Signal $x(t)$ se može predstaviti u obliku:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(j\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

$X(j\omega)$ predstavlja spektar signala:

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt$$

A spektar postoji pod uslovom da je

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)| dt < +\infty$$

Harmonijska analiza aperiodičnih signala

$$X(j\omega) = |X(j\omega)|e^{j\theta(\omega)}$$

Spektralna gustina amplituda, označen je sa $|X(j\omega)|$ a spektralna gustina faza sa $\theta(\omega)$

Pri čemu važi:

$$\theta(\omega) = \arg\{X(j\omega)\}$$

$$|X(-j\omega)| = |X(j\omega)|$$

$$\theta(-\omega) = -\theta(\omega)$$

Korelacija aperiodičnih signala

Korelacija pokazuje sličnost (stepen poklapanja) dva aperiodična signala $x_1(t)$ i $x_2(t)$, i to kada je jedan od njih kasni za proizvoljni pomerač τ .

Definicija korelacije je:

$$R_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x_1(t) x_2(t + \tau) dt$$

A Furijeov transformacioni par je:

$$R_{12}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X_1^*(j\omega) X_2(j\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad X_1^*(j\omega) X_2(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{12}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

Autokorelacija aperiodičnih signala

Autokorelacija pokazuje sličnost (stepen poklapanja) aperiodičnog signala $x_1(t)$, sa njegovom kopijom sa kašnjenjem u vremenu proizvoljni pomeraj τ .

Definicija autokorelacije je:

$$R_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x_1(t)x_1(t + \tau)dt$$

A Furijeov transformacioni par je:

$$R_{11}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |X(j\omega)|^2 e^{j\omega\tau} d\omega \qquad |X(j\omega)|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} R_{11}(\tau) e^{-jn\omega_0\tau} d\tau$$

Konvolucija aperiodičnih signala

Konvolucija pokazuje stepen poklapanja dva aperiodična signala $x_1(f)$ i $x_2(f)$, kada je umesto jednog od njih uzet njegov odraz u ogledalu zakašnjen za proizvoljni pomeraj τ .

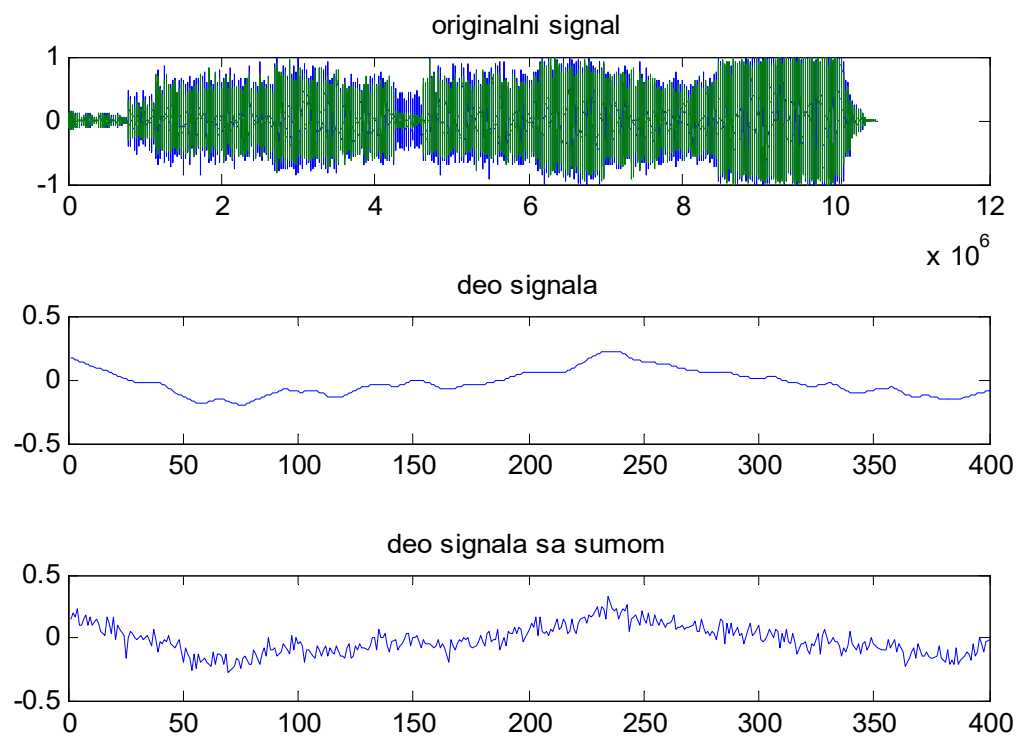
Definicija konvolucije je:

$$\rho_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x_1(t)x_2(\tau - t)dt$$

A Furijeov transformacioni par je:

$$\rho_{12}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X_1(j\omega)X_2(j\omega)e^{j\omega\tau}d\omega \quad X_1(j\omega)X_2(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_{12}(\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau$$

Signali u Matlabu-u



BEŽIČNI SISTEMI

U oblasti komunikacija danas u potpunosti preovlađuju sistemi koji za prenos koriste elektromagnetne talase zbog njihove veoma velike brzine prostiranja.

Takvi sistemi se mogu podeliti u dve osnovne kategorij po tipu talasa koji se koriste.

Tako postoje:

- sistemi sa **vođenim elektromagnetnim talasom** i
- sistemi sa **slobodnim elektromagnetnim talasom**.

Sistemi sa vođenim elektomagnetnim talasom imaju manje rasipanje elektromagnetne energije, ali je za njihovo funkcionisanje potrebno imati fizičku liniju ili vod između dve tačke komunikacije.

Drugu grupu predstavljaju sistemi radio veze, koji kao noseću veličinu koriste slobodan elektromagnetni talas (radio talas). Budući da se na ovaj način može uspostaviti bežična konekcija između predajnika i prijemnika ovi sistemi predstavljaju veoma efikasan i praktičan sistem povezivanja.

Za razliku od sistema sa vođenim talasom, slabije karakteristike ovih sistema su rasipanje energije u neželjenim pravcima.

Prednosti bežičnih sistema

1. Bežični komunikacioni sistemi se brzo i lako instaliraju, bez potrebe za obimnim građevinskim radovima i narušavanjem postojeće infrastrukture.
2. Instalacija bežičnih sistema je često znatno jeftinija od optičkih, posebno za sisteme manjeg kapaciteta.
3. Bežičnim sistemima može se rešavati problem tzv. „posljednje milje” (*last mile*). Naime, krajnji korisnici imaju potrebu za predajom i prijemom informacija velikim brzinama, što sadašnje bakarne parice u dovoljnoj meri ne omogućavaju.
4. Pored toga, bežični sistemi se ponekad instaliraju kao alternativa optičkim, jer su otporniji na prirodne katastrofe kao što su zemljotresi ili poplave.

RADIO KOMUNIKACIJE

Elektromagnetni talasi se mogu prostirati u širokom opsegu talasnih dužina odnosno frekvencija, ali **radio spektar** obuhvata opseg između 3 kHz i 3 THz.

U realnim sistemima koristi se opseg od 9 kHz do 300 GHz koji je obuhvaćen i regulativom od strane međunarodne organizacije za standardizaciju ITU (*International Telecommunication Union*).

Mikrotalasi obuhvataju opseg od 300 MHz do 300 GHz.

Međunarodno usaglašena nomenklatura radio spektra data je u tabeli.

NOMENKLATURA FREKVENCIJSKIH OPSEGA

Numerička oznaka opsega	Frekvencijski opseg – f	Skraćenica i pun naziv opsega	Talasna dužina λ	Metrička podela
-1	0.03 – 0.3 Hz	ELF (Extremely Low Frequency)	100,000 – 1,000 km	Gigametarski talasi
0	0.3-3 Hz			Hektomegametarski
1	3-30 Hz			Dekametarski
2	30-300 Hz			Megametarski
3	300-3,000 Hz	ULF (Ultra Low Frequency)	1,000-100 km	Hektokilometarski

NOMENKLATURA FREKVENCIJSKIH OPSEGA

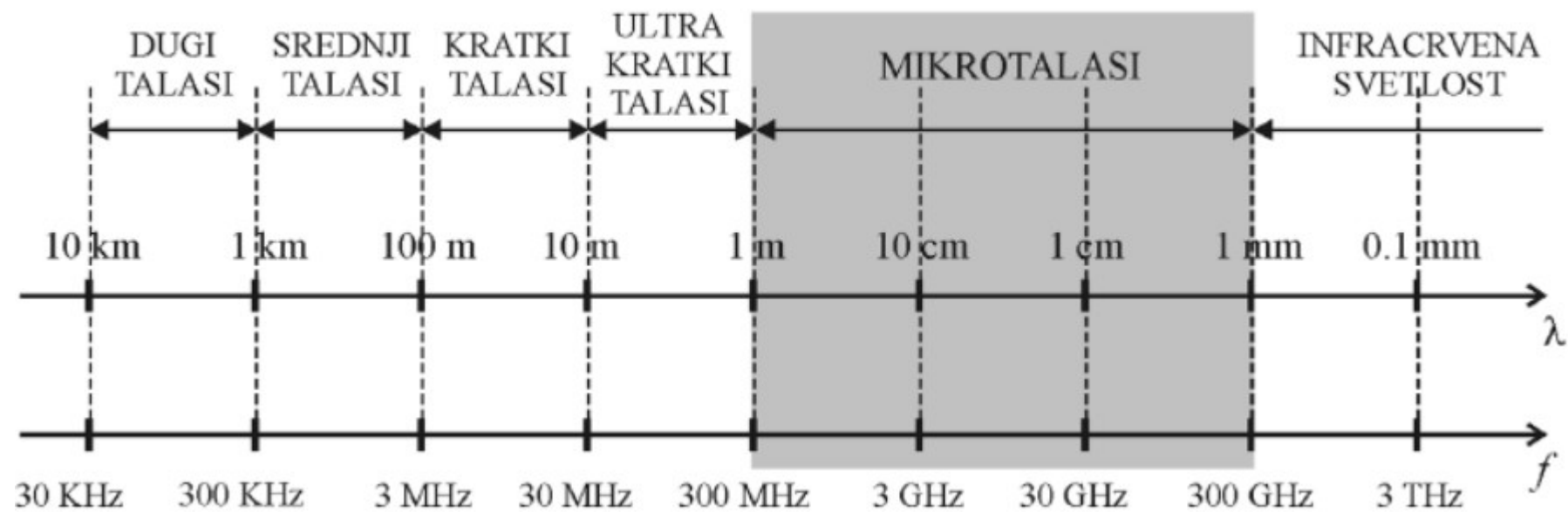
Numerička oznaka opsega	Frekvencijski opseg – f	Skraćenica i pun naziv opsega	Talasna dužina λ	Metrička podela
4	3-30 KHz	VLF (Very Low Frequency)	100-10 km	Vrlo dugi talasi
5	30-300 KHz	LF (Low Frequency)	10-1 km	Kilometarski (dugi talasi)
6	300-3,000 KHz	MF (Medium Frequency)	1-0,1 km	Hektometarski (srednji talasi)

NOMENKLATURA FREKVENCIJSKIH OPSEGA

Numerička oznaka opsega	Frekvencijski opseg – f	Skraćenica i pun naziv opsega	Talasna dužina λ	Metrička podela
7	3-30 MHz	HF (High Frequency)	100-10 m	Dekametarski (kratki talasi)
8	30-300 MHz	VHF (Very High Frequency)	10-1 m	Metarski (vrlo kratki talasi)
9	300-3,000 MHz	UHF (Ultra High Frequency)	1-0,1 m	Decimetarski (ultra kratki talasi)

NOMENKLATURA FREKVENCIJSKIH OPSEGA

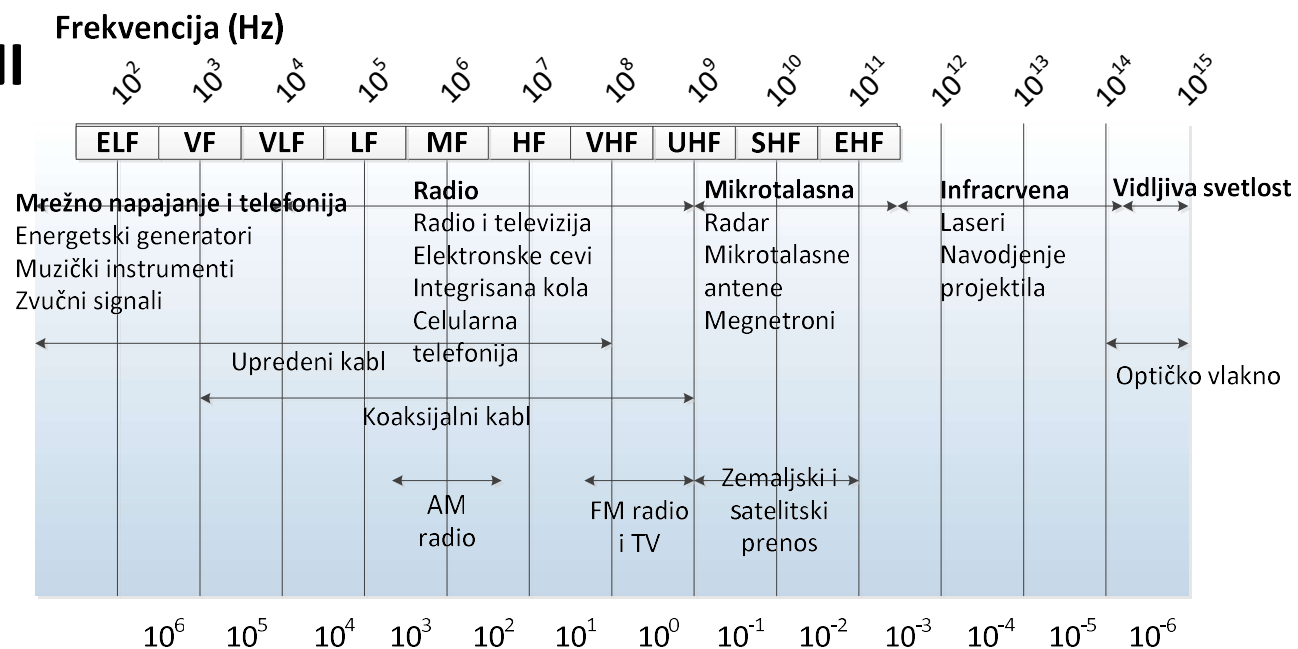
Numerička oznaka opsega	Frekvencijski opseg – f	Skraćenica i pun naziv opsega	Talasna dužina λ	Metrička podela
10	3-30 GHz	SHF (Super High Frequency)	10-1 cm	Centimetarski
11	30-300 GHz	EHF (Extremly High Frequency)	10-1mm	Milimetarski
12	300-3,000 GHz	THF (Terahertz ili Tremendously high frequency)	1-0,1 mm	Decimilimetarski
13	3–30 THz			Centimilimetarski
14	30–300 THz			Mikrometarski
15	300–3,000 THz			Decimikrometarski



IEEE podela radio frekvencija na opsege i primena

Frekvencijski opseg	Oznaka opsega	Naziv frekvencija	Tipična primena
3 - 30 kHz	VLF	vrlo niske	navigacija, telegrafija, sonar
30 - 300 kHz	LF	niske	dugotalasni radio, navigacija
300 - 3000 kHz	MF	srednje	AM radio difuzija ($f=535 - 1605$ kHz)
3 - 30 MHz	HF	visoke	kratkotalasni radio
30 - 300 MHz	VHF	vrlo visoke	FM radio difuzija ($f=88-108$ MHz), neki zemaljski i pomorski servisi, TV difuzija (2- 4. kanal: $f=54-72$ MHz, 5-6. kanal: $f=76-88$ MHz, 7-13. kanal: $f=174-216$ MHz)
300 - 3000 MHz	UHF	ultra visoke	mobilne komunikacije, radionavigacioni sistemi, TV difuzija (14. - 83. kanal: $f=470 - 890$ MHz), mikrotalasne pećnice ($f=2.45$ GHz)
3 - 30 GHz	SHF	super visoke	mikrotalasni linkovi, radari, satelitske komunikacije
30 - 300 GHz	EHF	ekstremno visoke	specijalni radiodifuzni sistemi, vojne primene

ELEKTROMAGNETNI SPEKTAR



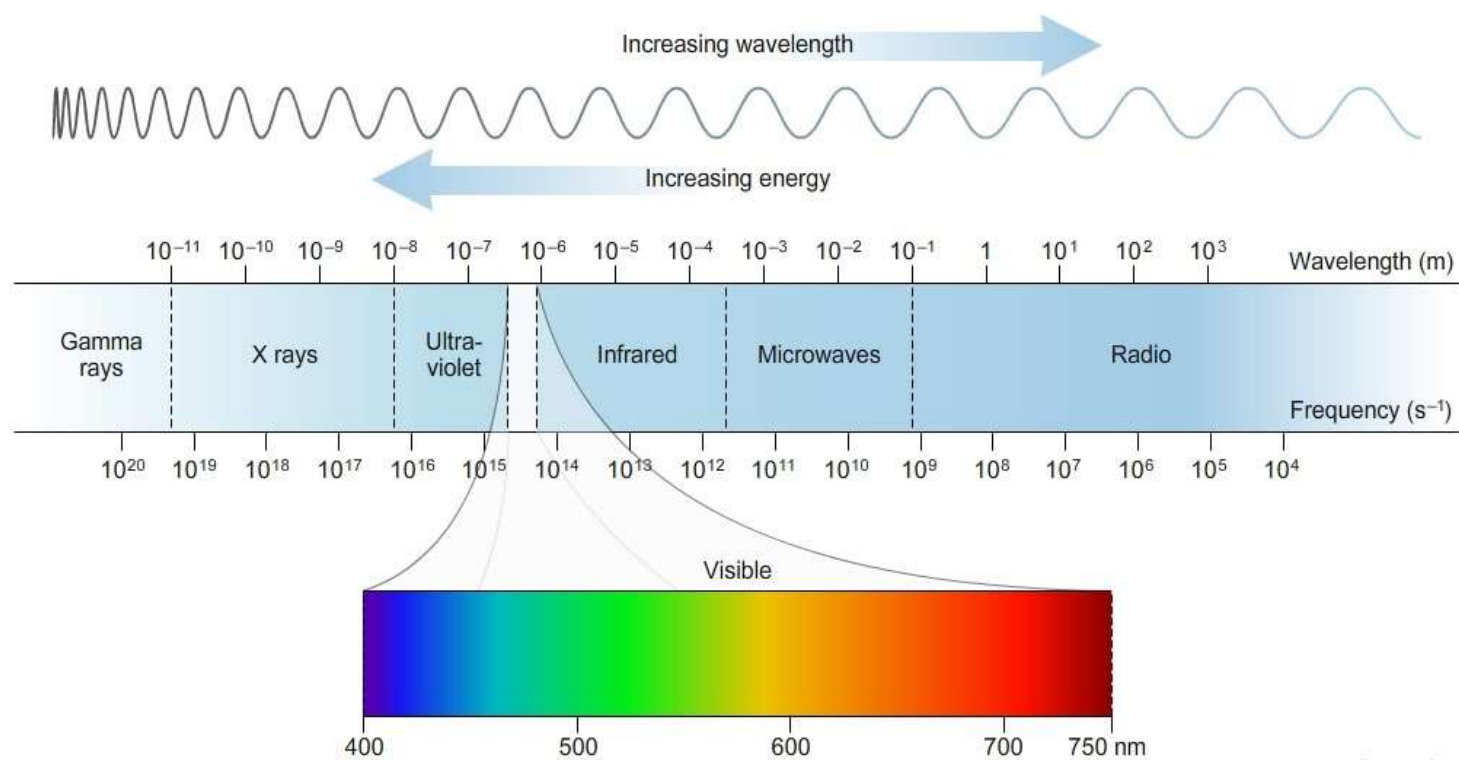
Talasna dužina u prostoru (m)

ELF = ekstremno niske frekvencije	MF = srednje frekvencije	UHF = ultra visoke frekvencije
VF = govorne frekvencije	HF = visoke frekvencije	SHF = super visoke frekvencije
VLF = vrlo niske frekvencije	VHF = vrlo visoke frekvencije	EHF = ekstremno visoke frekvencije
LF = niske frekvencije		

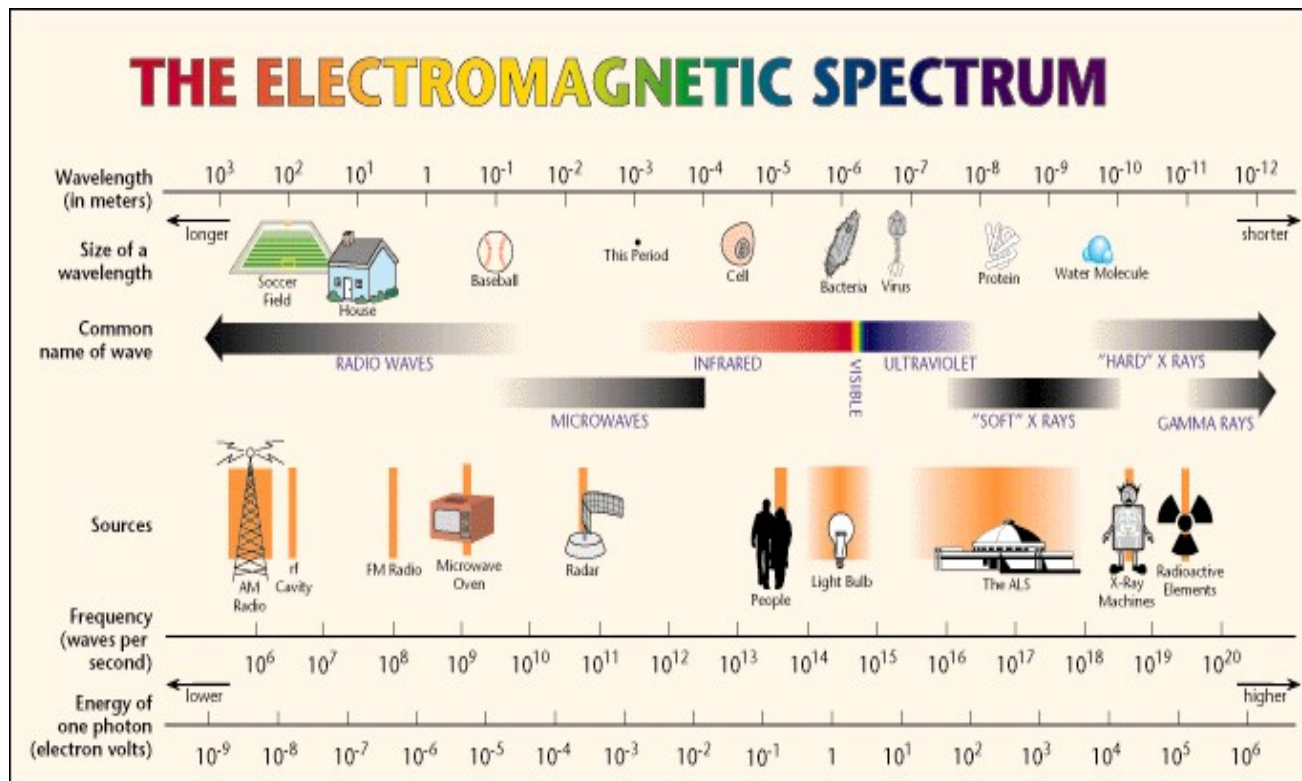
ELEKTROMAGNETNI SPEKTAR



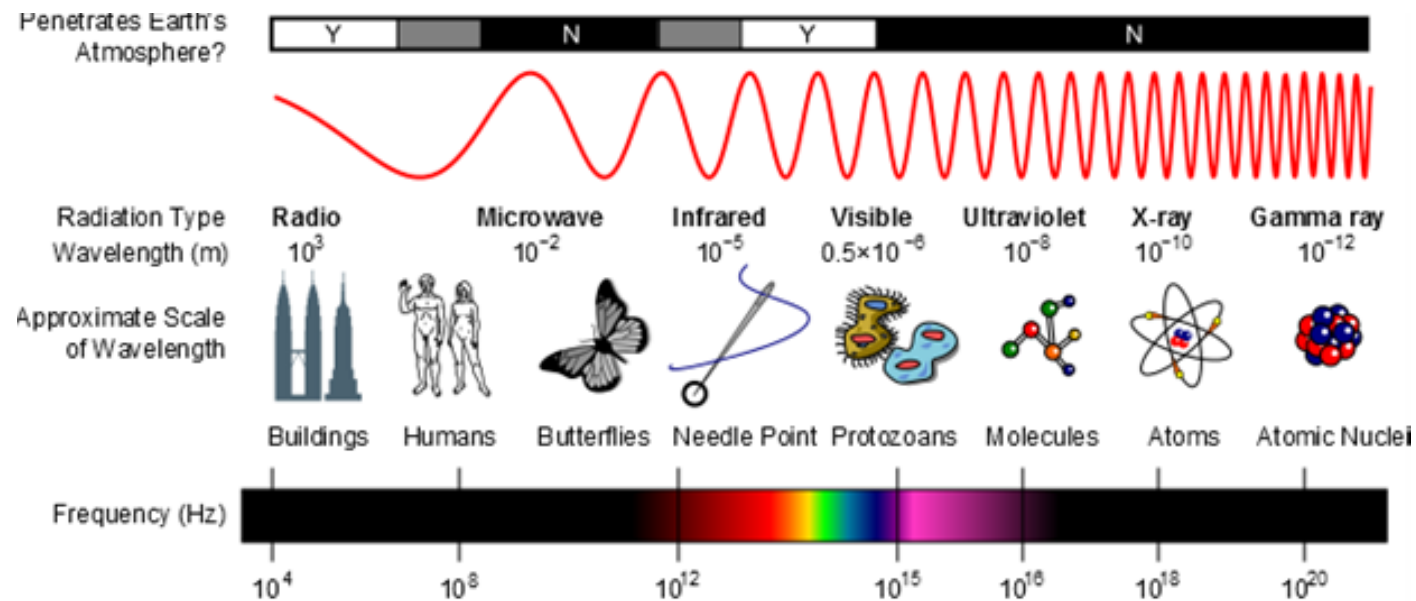
ELEKTROMAGNETNI SPEKTAR



ELEKTROMAGNETNI SPEKTAR



ELEKTROMAGNETNI SPEKTAR



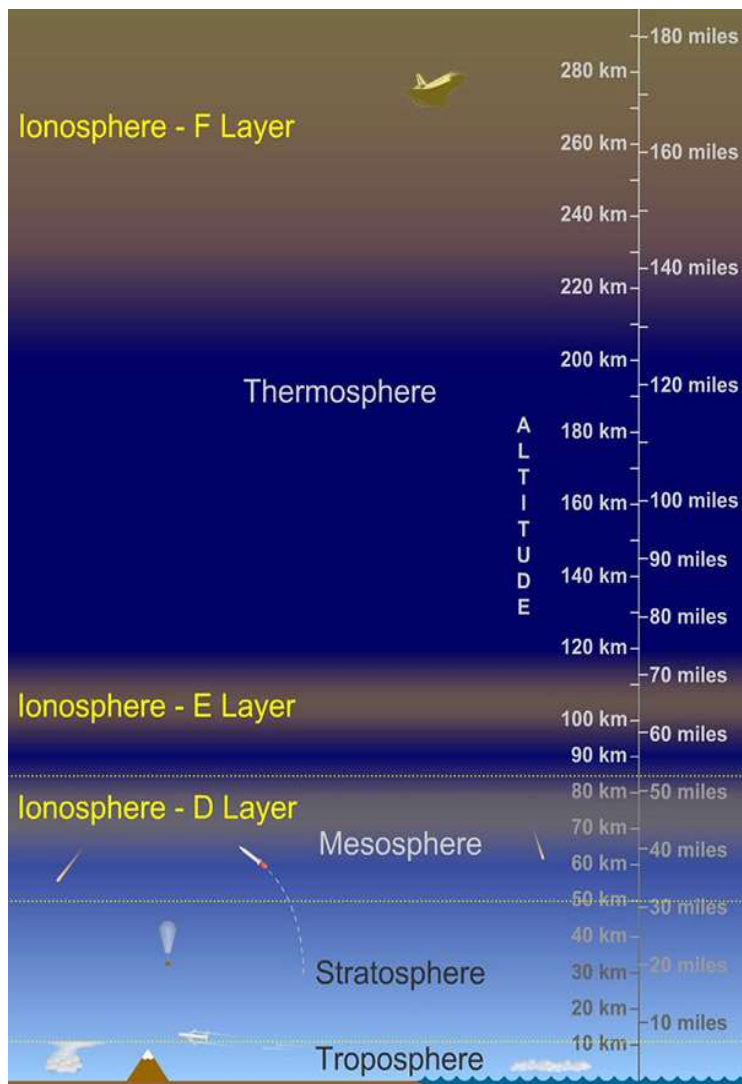
SISTEMI RADIO VEZA

Sistemi radio veza dele se na:

- fiksne radio veze: Radio-difuzija, radio relejne veze.
- mobilne radio veze: Pokretne jedna ili obe radio stanice.

Faktori koji utiču na prostiranje radio talasa:

- pojava sunčevih pega,
- intenzitet jonizacije jonosfere,
- vlažnost, temperatura, doba dana, godišnje doba,
- promene provodnosti tla,
- zakrivljenost zemljine površine.



Delovi atmosfere

1. troposfera: od površine Zemlje do 7 ili 17 km
2. stratosfera: od 7-17 km do oko 50 km
3. mezosfera: od oko 50 km do 80-85 km
4. termosfera: od 80-85 km do preko 650 km
5. egzosfera: od 800 km do 3000 km

Jonosfera

- Deo Zemljine atmosfere sa povećanom koncentracijom jona ili naelektrisanih čestica
- Bez postojanja slojeva sa povećanom koncentracijom jona bile bi nemoguće radio veze na velikim udaljenostima

Sloj D: visina oko 80 km

Sloj E: od 90 km do 120-150 km

Sloj F: od 200 km do 500 km

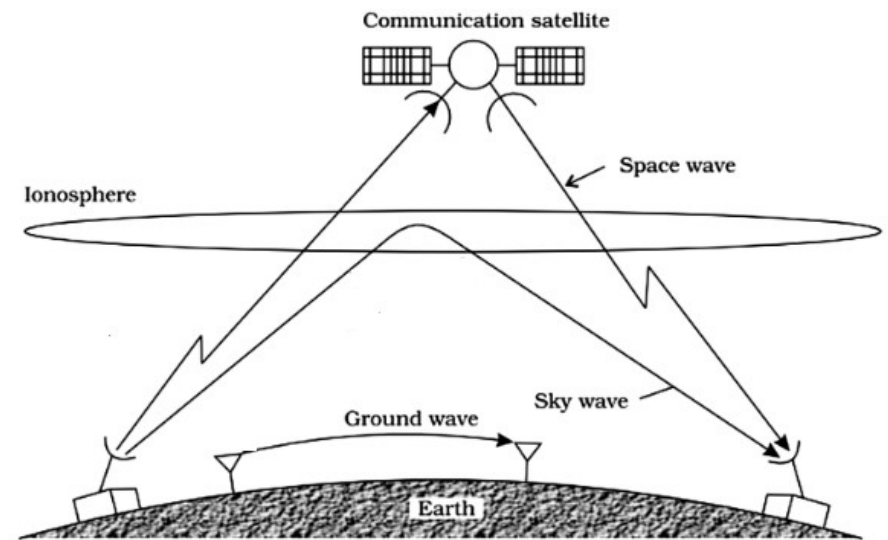
Vrste talasa u zavisnosti od putanje

- Sva elektromagnetna energija širi se od izvora elektromagnetnih talasa različitim putanjama, što zavisi od frekvencijskog opsega i karakteristika zračenja predajne antene.
- Zavisno od putanje u atmosferi kojom talasi pristižu do prijemne antene postoje sledeće vrste talasa: površinski, jonosferski i prostorni talasi.

Površinski (*surface, ground*) elektromagnetni talasi prostiru se uz samu površinu zemlje. To su talasi čije su frekvencije manje od par MHz.

Jonosferski ili nebeski (*sky*) elektromagnetni talasi prostiru se kroz visoke slojeve atmosfere u kojima jonosfera ima ulogu reflektora. To su talasi od nekoliko MHz do 30 MHz

Prostorni ili direktni (*space*) elektromagnetni talasi su talasi koji se prostiru pravolinijski od predajne do prijemne antene. Koriste frekvencije iznad 30 MHz i prolaze kroz jonosferu.

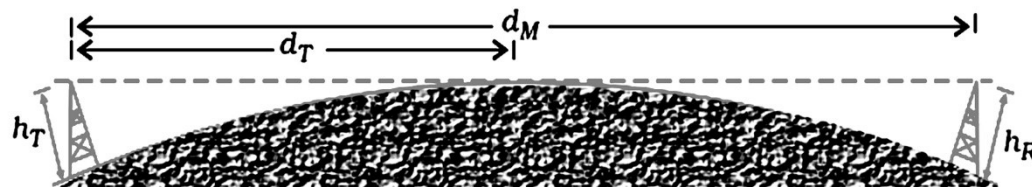
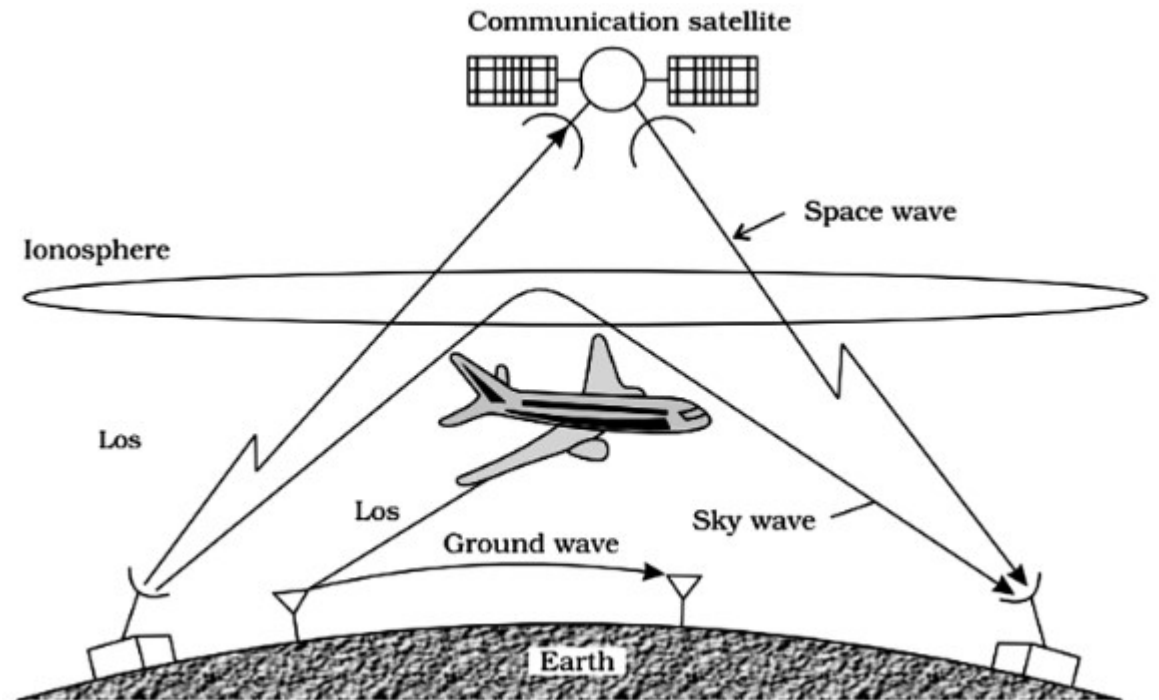


Radio veza koja se ostvaruje pomoću direktnih, tj. prostornih talasa se naziva **radio-relejna veza**, a ostvaruje se uz uslov optičke vidljivosti između predajne i prijemne antene radio-relejnih uređaja.

LoS – (*line of sight*) linija optičke vidljivosti

Dakle, LoS mod je ograničena na frekvencije veće od 30 MHz.

Domet u zemaljskim komunikacionim sistemima je određen zakrivljenošću Zemlje.



RADIO FREKVENCIJSKI OPSEZI (RF BANDS)

Classification Band	Initials	Frequency Range		Characteristics
Extremely low	ELF	< 300 Hz		Ground wave
Infra low	ILF	300 Hz - 3 kHz		
Very low	VLF	3 kHz - 30 kHz	Long-range radio navigation	
Low	LF	30 kHz - 300 kHz	Radio beacons and navigational locators	
Medium	MF	300 kHz - 3 MHz	AM radio	Ground/Sky wave
High	HF	3 MHz - 30 MHz	Citizens band (CB), ship/aircraft communication	Sky wave
Very high	VHF	30 MHz - 300 MHz	VHF TV, FM radio	Space wave
Ultra high	UHF	300 MHz - 3 GHz	UHF TV, cellular phones, paging, satellite	
Super high	SHF	3 GHz - 30 GHz	Satellite communication	
Extremely high	EHF	30 GHz - 300 GHz	Long-range radio navigation	
Tremendously high	THF	300 GHz - 3000 GHz		

