

Radio talasi



SADRŽAJ

Elektromagnetni talasi

Prostiranje Radio signala

EM polje antena

Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

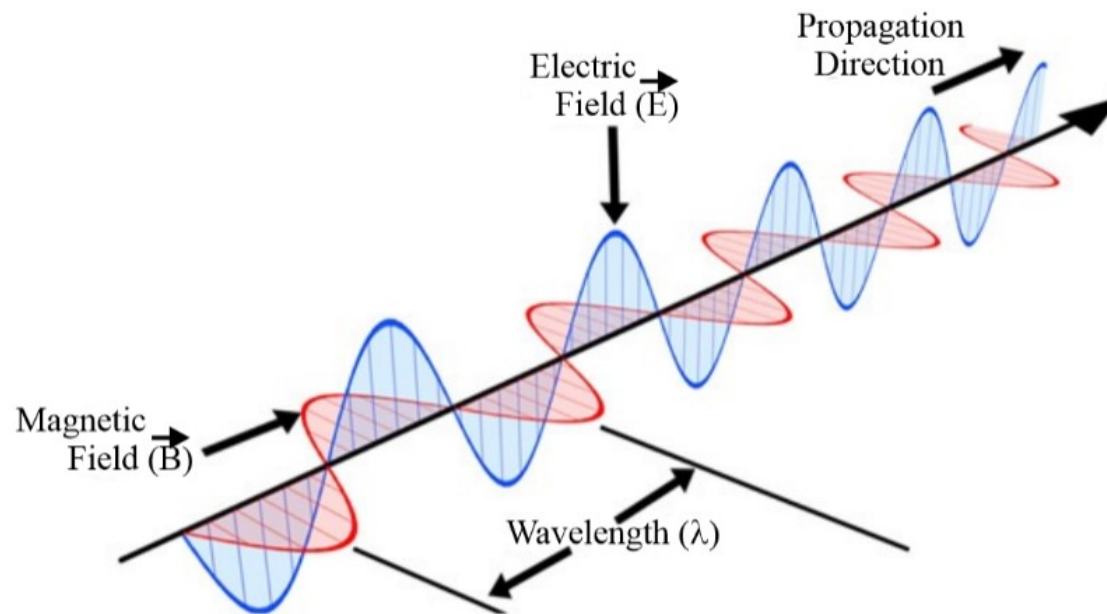
- Refleksija
- Difrakcija
- Rasejanje
- Polarizacija

Frenelove zone

Elektromagnetni talasi

Elektromagnetni talasi, takođe nazivani **elektromagnetnim zračenjem**, definišu se kao **oscilacije električnog i magnetnog polja** u prostoru, sa pravcem prostiranja koji je normalan na oba polja. Električno i magnetno polje su u međusobno normalnim ravnima.

Pravac širenja ovih talasa je normalan na pravac sile koju uzaziva bilo koje od ovih polja.



Prostiranje Radio signala

Prostiranje u slobodnom prostoru - uvek kao svetlost (pravolinijski).

Put radio talasa između predajnika i prijemnika može biti **pravolinijski** ukoliko postoji opticka vidljivost (LOS – Line Of Site), ili **krivolinijski** u slucaju kad postoji ometanje od objekata (zgrade, planine, drvece, lišće ...)

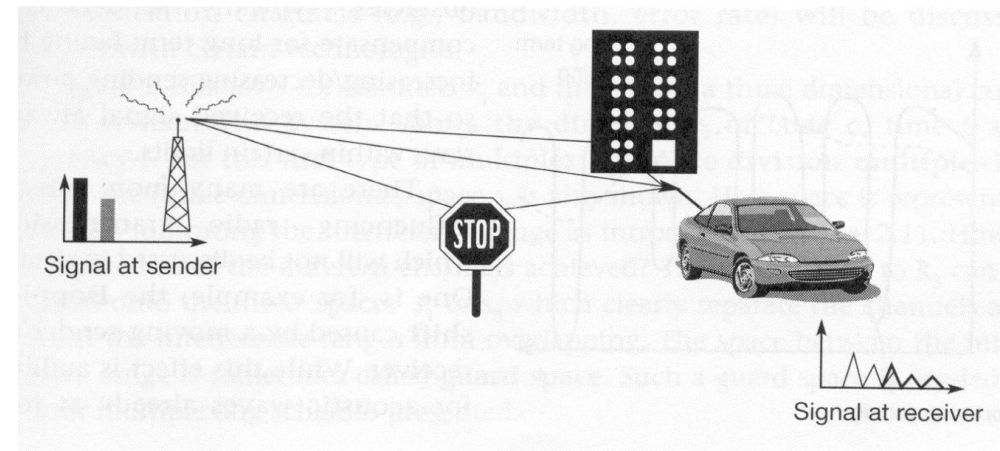
Na nivo signala utiču efekti pri prostiranju: **slabljenje** usled povećanja daljine, **refleksija**, **difrakcija**, **rasipanje**, brzina kretanja mobilnog terminala.

Modeli propagacije se koriste za predviđanje srednje vrednosti snage primljenih signala na datoj udaljenosti od predajnika:

a. Modeli prostiranja velikih razmera: koriste se za procenu karakteristike radio signala za velike udaljenosti između prijemnika i predajnika (T-R).

b. Modeli “fedinga” malih razmera: modeli koji opisuju brzo promenljiv prijemni signala u situaciji kada se predajnik i prijemnik nalaze na kratkom rastojanju.

Signal na mestu prijema predstvalja zbir većeg broja talasa koji dolaze iz različitih pravaca i u zaisnosti od interferencije može biti pojačan ili oslabljen. Kako se mobilni telefoni kreću na veoma malim udaljenostima od bazne stanice, zbog gore navedenog, trenutna jačina prijemnog signala može da (varira) fluktuira, što se naziva fedingom.



Prostiranje Radio signala

Model prostiranja (propagacije) u slobodnom prostoru - Friis-ova jednačina

Model prostiranja u slobodnom prostoru se koristi za predviđanje snage prijemnog signala kada predajnik i prijemnik imaju optičku vidljivost bez postojanja prepreka.

Po ovom modelu snaga signala na prijemu opada sa kvadratom rastojanja između predajnika i prijemnika

"Friis-ova jednačina slobodnog prostora" je izraz koji se koristi za opisivanje veze između snage signala, udaljenosti između antena i frekvencije signala u bežičnim komunikacijama. Ova jednačina se često koristi za procenu propagacije elektromagnetnih talasa u otvorenom prostoru (bez prepreka) i pruža osnovu za razumevanje kako se snaga signala menja sa udaljenošću i frekvencijom.

Matematički izraženo, Friis-ova jednačina slobodnog prostora glasi:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{L} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Prostiranje Radio signala

Gde su:

Pr- Snaga signala na prijemu (W)

Pt - Snaga signala predajnika (W)

Gt – Pojačanje (Gain) antene predajnika (u linearnoj skali, ne u dB)

Gr - Pojačanje (Gain) antene prijemnika (u linearnoj skali, ne u dB)

λ - Talasna dužina signala (u metrima)

d - Udaljenost između antena (u metrima)

L - Gubici u sistemu

Pojačanje antene je povezano sa njenom efektivnom aperturom A_e prema formuli:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$$

Efektivna apertura A_e je povezana sa fizičkom veličinom antene, a λ je povezan sa nosećom frekvencijom prema formuli:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2\pi c}{\omega_c}$$

Prostiranje Radio signala

Gde su:

f – frekvencija nosioca [Hz],

ω_c – kružna frekvencija nosioca [rad/s],

c - brzina svetlosti ($\approx 3 \times 10^8$ m/s).

Vrednosti za P_t i P_r moraju biti izražene u istim jedinicama (najčešće W).

G_t i G_r su bezdimenzionalne veličine. Pojačanje antene se često predstavlja u dB.

$$G \text{ (dB)} = 10 \log (G)$$

Gubici L ($L \geq 1$) obično su uzrokovani gubicima u **linijama prenosa**, gubicima u **filterima**, gubicima u **kablovima** i gubicima u **antenama** u sistemu komunikacije. Vrednost $L = 1$ ukazuje na odsustvo gubitaka u hardveru sistema.

Prostiranje Radio signala

Zbog velikog dinamičkog opsega primljenih nivoa snage, često se koriste dBm ili dBW jedinice za izražavanje nivoa primljene snage. dBm (Decibel - milivati) je nivo snage u decibelima (dB) gde se za referenti nivo uzima snaga od 1 mW. dBW je nivo snage u decibelima (dB) gde se za referenti nivo uzima snaga od 1 W. Na primer, ako je P_r u jedinicama W, P_r u dBm i dBW bi iznosila:

$$P_r \text{ (dBm)} = 10 \log [P_r(\text{mW}) / (1\text{mW})]$$

$$P_r \text{ (dBW)} = 10 \log [P_r(\text{W}) / (1\text{W})]$$

Kada ovo primenimo na Friisovu jednačinu dobijamo da snaga na prijemu u dBm u odnosu na snagu izmerenu u nekoj tački na rastojanju d_0 od predajnika iznosi:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{L} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{L} \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right)^2 \left(\frac{d_0}{d} \right)^2$$

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{d} \right)^2$$

$$P_r(d) \text{ dBm} = 10 \log \left[\frac{P_r(d_0)}{0.001 \text{ W}} \right] + 20 \log \left(\frac{d_0}{d} \right) = P_r(d_0) \text{ dBm} + 20 \log \left(\frac{d_0}{d} \right)$$

Prostiranje Radio signala

Model Friisovog slobodnog prostora daje validne vrednosti za P_r (primljenu snagu) samo za vrednosti d koje se nalaze u dalekom polju (far-field) predajne antene.

Ova jednačina se koristi za procenu snage signala koja se može očekivati na prijemu u odnosu na snagu signala koja je poslata sa predajnika, uzimajući u obzir udaljenost, frekvenciju i karakteristike antena.

Gubitak na putu (path loss) predstavlja slabljenje signala (kao pozitivna veličina) u dB i definiše se kao razlika (odnos) između predajne snage i primljene snage.

$$PL(dB) = -20 \log \left(\frac{\lambda}{4 \pi d} \right)$$

Prostiranje Radio signala

Primer 1

Odrediti gubitak na putu u slobodnom prostoru pri emitovanoj frekvenciji od 4 GHz na rastojanju od 3,5 km između predajnika i prijemnika.

Rešenje:

Prostiranje Radio signala

Primer 1

Odrediti gubitak na putu u slobodnom prostoru pri emitovanoj frekvenciji od 4 GHz na rastojanju od 3,5 km između predajnika i prijemnika.

Rešenje:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^9} = 0.075 \text{ m}$$

$$PL(dB) = -20 \log \left(\frac{0.075}{4\pi \times 3.5 \times 10^3} \right) = 115.4 \text{ dB}$$

Prostiranje Radio signala

Primer 2

Predajnik emituje signal snage 50 W, ima antenu sa jediničnim pojačanjem sa frekvencijom nosioca od 900 MHz- Izraziti snagu predajnika u jedinicama

- a. dBm,
- b. dBW.
- c. Odrediti snagu signala na prijemu u dBm na udaljenosti od 100 m od antene ovog predajnika u slobodnom prostoru.
- d. Izračunati P_r (10 km) u dBm

Pretpostavimo jedinično pojačanje za antenu prijemnika. Gubici sistema su jednaki 1.

Prostiranje Radio signala

Primer 2

Predajnik emituje signal snage 50 W, ima antenu sa jediničnim pojačanjem sa frekvencijom nosioca od 900 MHz- Izraziti snagu predajnika u jedinicama

- a. dBm,
- b. dBW.
- c. Odrediti snagu signala na prijemu u dBm na udaljenosti od 100 m od antene ovog predajnika u slobodnom prostoru.
- d. Izračunati Pr (10 km)

Pretpostavimo jedinično pojačanje za antenu prijemnika. Gubici sistema su jednaki 1.

Rešenje:

Podaci:

$P_t = 50 \text{ W}$, $f=900 \text{ MHz}$

a. $P_t(\text{dBm}) = 10 \log [P_t(\text{mW}) / (1 \text{ mW})] = 10 \log [50 \times 10^3] = 47 \text{ dBm}$

b. $P_t(\text{dBW}) = 10 \log [P_t(\text{W}) / (1 \text{ W})] = 10 \log [50] = 17 \text{ dBW}$

Prostiranje Radio signala

c. Snaga na prijemu je:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{L} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$P_r(d) = \frac{50 \times 1 \times 1}{1} \left(\frac{0.33}{4\pi \times 100} \right)^2 = 3.5 \times 10^{-6} W = 3.5 \times 10^{-3} mW$$

$$P_r(dBm) = 10 \log P_r(mW) = 10 \log (3.5 \times 10^{-3} mW) = -24.5 dBm$$

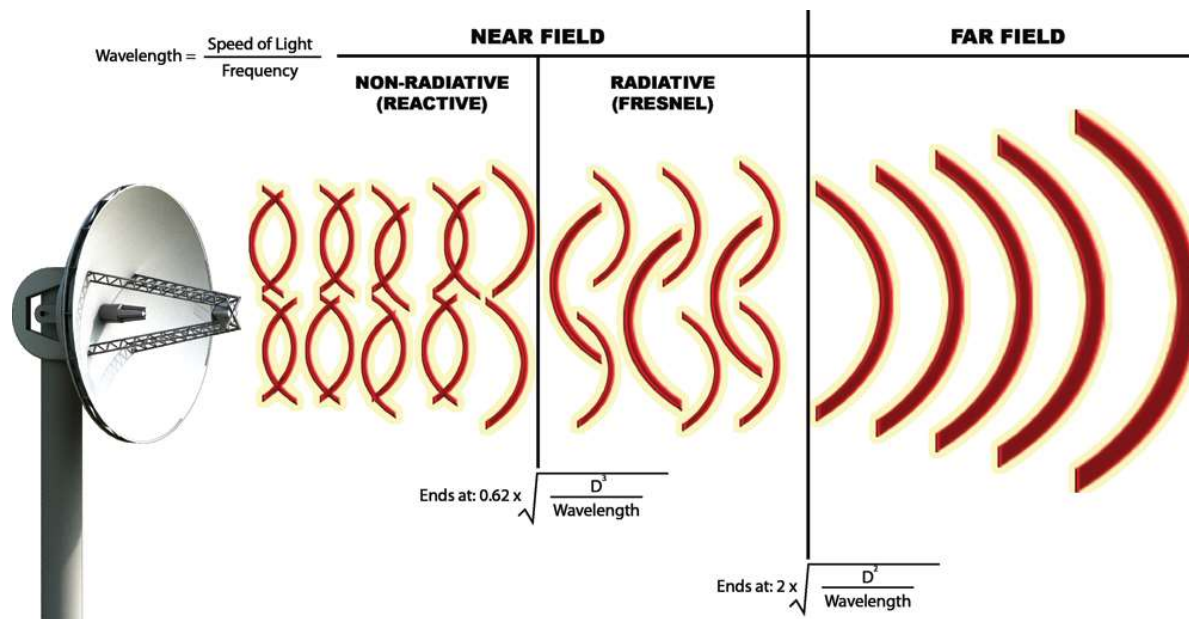
d. Snaga na prijemu na 10km od predajnika u dBm se može izraziti na sledeći način:

$$P_r(10 km) = P_r(100) + 20 \log \left(\frac{100}{10000} \right) = -24.5 dBm - 40 dB = -64.5 dBm$$

EM polje antena

Antene – blisko i daleko polje

Kada struja visoke frekvencije teče kroz antenu, ona u okolnom prostoru generiše visokofrekventno elektromagnetno polje. Precizna struktura ovog polja na malim udaljenostima od antene obično je prilično kompleksna i zavisi od oblika antene. Moguće je opisati model polja u blizini antene samo u nekim jednostavnim akademskim slučajevima. U realnim slučajevima modelovanje bi zahtevalo složena numerička izračunavanja. Na sreću, sa udaljavanjem od antene, polje sve više počinje da ima oblik sfernih talasa. Što je veća udaljenost, to je sličnost sa sfernim talasima veća. Sferni talasi su zahvalni jer mnoga izračunavanja se mogu obaviti pomoću jednostavnih jednačina.



EM polje antena

Reaktivno blisko polje (reactive near field)

Interakcija sa sredinom (npr. zbog kapacitivnosti tela) može uzrokovati vraćanje energije ka izvoru što se dešava u reaktivnom bliskom polju. Ova zona je otprilike unutar $1/6$ talasne dužine najbliže površine antene.

Blisko polje je postalo sve zanimljivije, posebno u razvoju tehnologija baziranih na kapacitivnim senzorima, kao što su one koje se koriste u ekranima osetljivim na dodir kod pametnih telefona i tablet računara. Iako je daleko polje uobičajeno područje funkcije antene za prenos signala, postoje određeni uređaji koji se nazivaju antenama, ali su specijalizovani za komunikaciju u bliskom polju.

Radijaciono blisko polje (radiative near field) – Frenelov region (Fresnel region)

Na nešto većim udaljenostima od antene nemamo povrađaj energije nazad ka izvoru, ali je distorzija u elektromagnetnom talasu takva da polje značajno odstupa od onog koja se nalazi u slobodnom prostoru. U ovoj zoni mogu se postaviti pasivni reflektirajući elementi (antene) u cilju formiranja snopa, kao što je slučaj sa Yagi–Uda antenama.

Daleko polje

Daleko polje je oblast koja se nalazi na velikoj udaljenosti od antene. U dalekom polju, oblik elektromagnetnog polja antene se ne menja značajno kako se udaljenost od antene povećava. Ovo znači da se u dalekom polju elektromagnetni talasi koje antena zrači ponašaju kao da su sferni talasi, i njihova svojstva su relativno konzistentna sa udaljenošću.

EM polje antena

$$\text{Reactive Near Field} \leq 0.62 \times \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

$$\text{Radiating Near Field (Fresnel Region)} \leq \frac{2D^2}{\lambda}$$

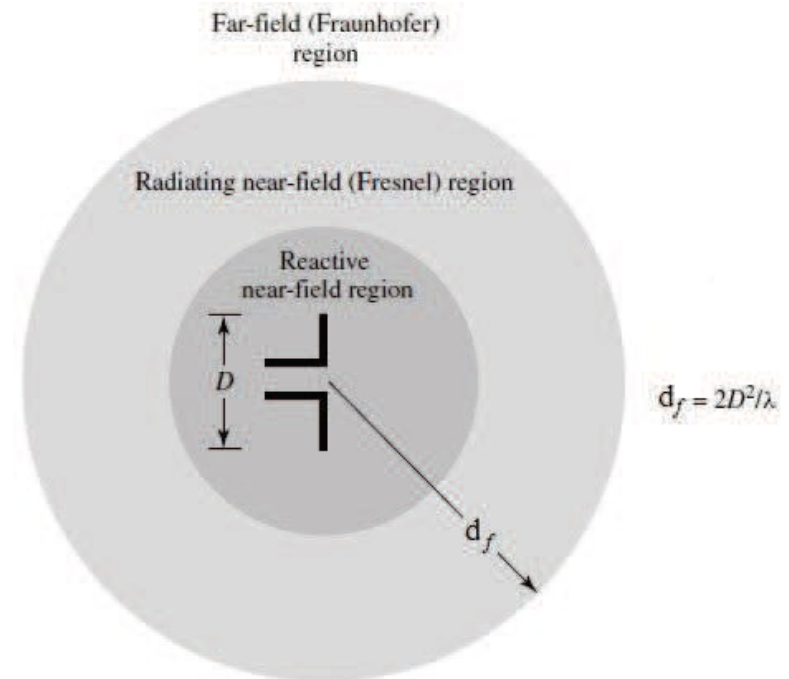
$$\text{Far Field} \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{\text{Speed of Light}}{\text{Frequency}}$$

Rastojanje dalekog polja se daje kao:

$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

gde je D najveća fizička linearna dimenzija antene, a λ je talasna dužina.



EM polje antena

Friis-ova jednačina ne važi za $d = 0$. Iz tog razloga, pri praktičnoj upotrebi modela prostiranja na velikoj udaljenosti koristi se poznata referentna tačka za primljenu snagu na nekom rastojanju d_0 .

Primljena snaga, $P_r(d)$, na bilo kojoj udaljenosti $d > d_0$, može se povezati sa P_r na d_0 .

Vrednost $P_r(d_0)$ se može predvideti pomoću Friis-ove jednačine ili može biti izmerena uzimanjem prosečne primljene snage u više tačaka koje se nalaze na radijalnoj udaljenosti d_0 od transmitera.

Referentna udaljenost mora biti odabrana tako da se nalazi u oblasti dalekog polja, odnosno $d_0 \geq d_f$, i d_0 se bira da bude manja od bilo koje praktične udaljenosti koja se koristi u mobilnom komunikacionom sistemu. Dakle, koristeći Friisovu jednačinu, primljena snaga u slobodnom prostoru na udaljenosti većoj od d_0 se daje kao:

$$P_r(d) = P_r(d_0) \left(\frac{d_0}{d} \right)^2$$

Gde je $d \geq d_0 \geq d_f$

EM polje antena

Primer 3

Odrediti rastojanje dalekog polja za antenu maksimalne dimenzije od 1m za radnu frekvencijom od 900 MHz.

EM polje antena

Primer 3

Odrediti rastojanje dalekog polja za antenu maksimalne dimenzije od 1m za radnu frekvencijom od 900 MHz.

Rešenje

Podaci:

Najveća dimenzija antene, $D = 1\text{m}$,

Radna frekvencija, $f = 900\text{ MHz}$,

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{900 \times 10^6} = 0.33\text{m}$$

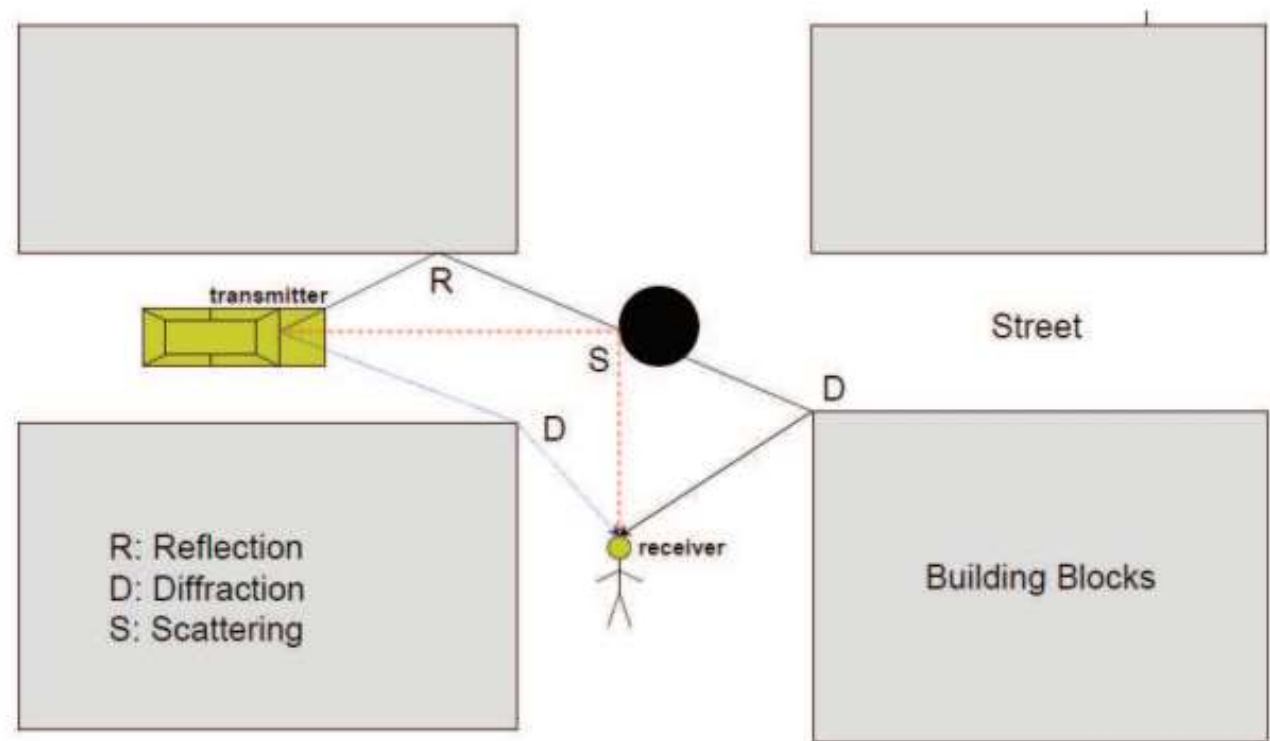
$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2(1)^2}{0.33} = 6\text{m}$$

Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

Osnovni mehanizmi prostiranja

Fizički mehanizmi koji utiču na prostiranje radio talasa su složeni i različite su prirode, ali se generalno uzimaju u obzir sledeća tri faktora:

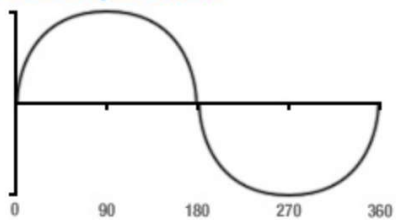
1. Refleksija
2. Difrakcija
3. Rasipanje



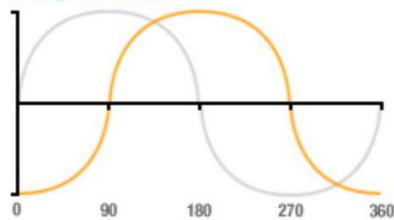
Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

1. Refleksija nastaje kada talasi **nađu na prepreku** koja je mnogo veća u poređenju sa talasnom dužinom signala. Primer: refleksije sa zemlje i zgrada. Refleksije mogu da interaguju sa originalnim signalom **konstruktivno** ili **destruktivno**. Pri interakciji reflektovanog sa originalnim talasom dolazi do interferencije. Obzirom da reflektovani talas prelazi drugačiji put od originalnog talasa velika je verovatnoća da se faze talasa razlikuju tj da postoji fazna razlika. U zavisnosti od fazne razlike zbirni talas može biti većeg (konstruktivno dejstvo) ili manjeg (destruktivno dejstvo) intenziteta.

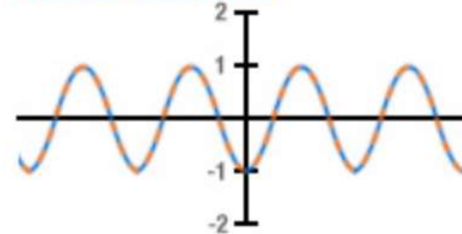
0 or 360 degrees In-Phase



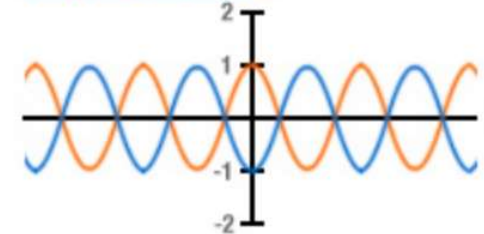
90 degrees Out-of-Phase



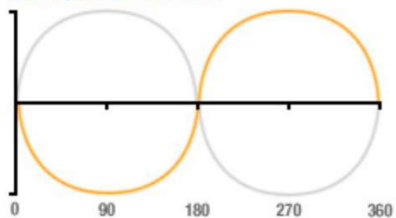
Complete Construction



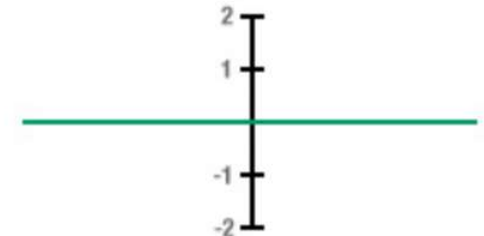
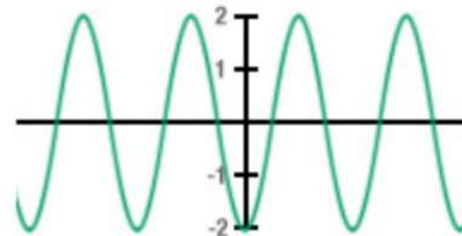
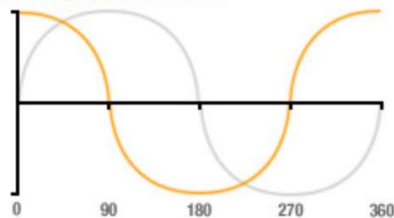
Complete Destruction



180 degrees Out-of-Phase



270 degrees Out-of-Phase



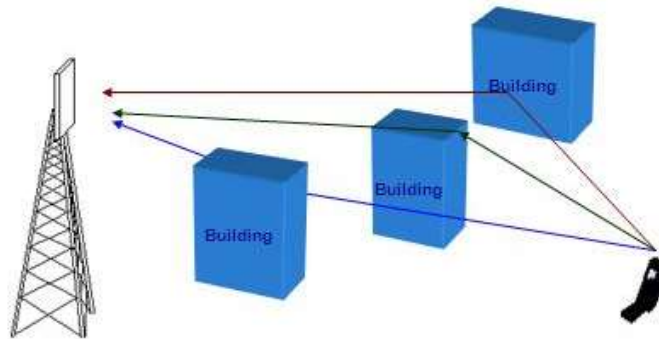
Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

2. **Difrakcija** se javlja kada **talas naiđe** na, za talase, “neprobojno” **telo sa oštrim** neravninama (**ivicama**). Tom prilikom dolazi do promene pravca prostiranja talasa.

3. **Rasipanje** se javlja kada radio signal nailazi na **objekte čije su veličine reda veličine talasne dužine** ili manje i takođe kada je broj prepreka velik. Neke karakteristike:

- Proizvode ih mali predmeti, grube površine i druge nepravilnosti
- Važe isti principi kao za difrakciju iako su suštinski različite pojave
- Uzrokuje da se energija predajnika emituje u više pravca koji imaju manju energiju
- Stubovi za rasvetu, lišće, ulični znakovi mogu izazvati rasipanje

Ovim pojavama se objašnjava kako **radio signali mogu da se prostiru** u urbanim i ruralnim sredinama u uslovima gde **ne postoji optička vidljivost** između predajnika i prijemnika. Iako pri svakoj interakciji sa objektima iz sredine dolazi do slabljenja talasa (jer deo energije biva apsorbovan) ove pojave su korisne za prenos signala u uslovima bez optičke vidljivosti.



Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

Refleksija

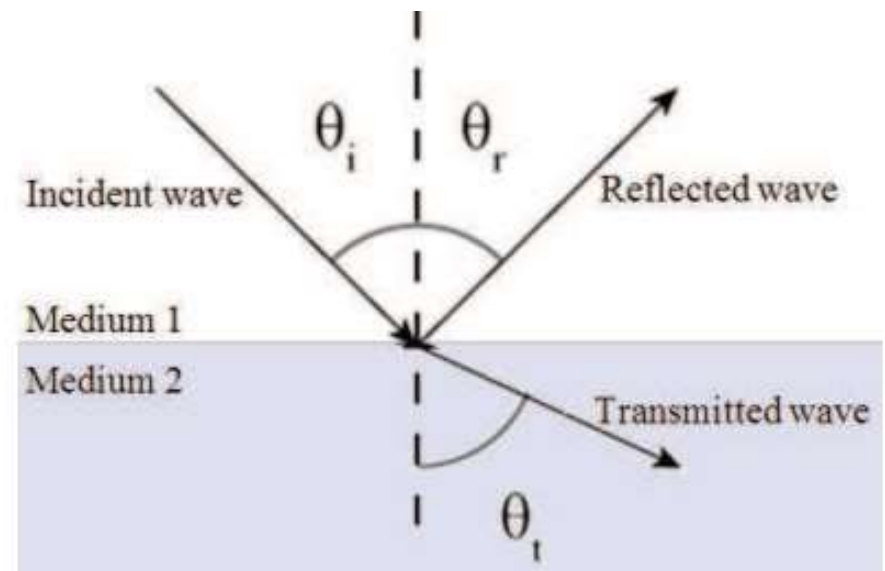
Interakcija elektromagnetnih (EM) talasa **sa materijalima koji imaju drugačija električna svojstva** od materijala kroz koji talas putuje dovodi do prenošenja energije.

Kada radio talas padne na drugi medijum koji ima različite električne struje svojstva, deo se kroz njega prenosi, dok se deo energije reflektuje nazad.

Ako je medijum dielektrik, deo energije se reflektuje nazad, a deo energije prenosi.

Ako je medijum savršen provodnik, sva energija se reflektuje nazad u prvu sredinu.

Količina energije koja se reflektuje nazad zavisi od polarizacije EM talasa.



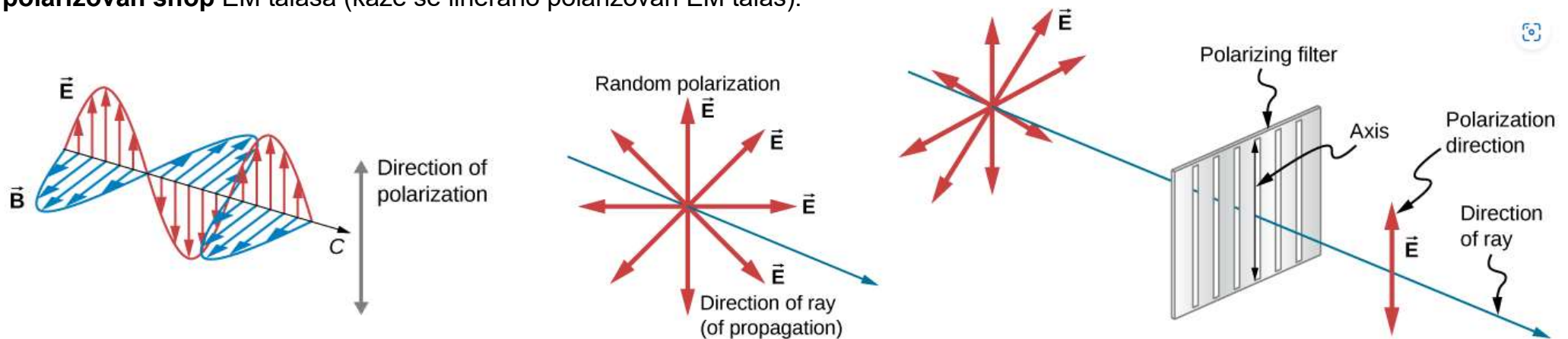
Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

Polarizacija EM talasa

EM talasi se sastoje od električnog i magnetnog polja koja osciluju normalno na pravac prostiranja. Međutim, generalno, ne postoje određeni pravci za oscilacije električnog i magnetnog polja; oni vibriraju u bilo kojoj nasumično orijentisanoj ravni upravnoj na pravac prostiranja.

Polarizacija je pojava da **oscilacije talasa zauzimaju** određeni (ne nasumični) **položaj u odnosu na pravac prostiranja talasa**. Za EM talas, pravac polarizacije definišemo kao pravac vektora električnog polja. Dakle, možemo smatrati da strelice električnog polja pokazuju pravac polarizacije.

Sunce, antene i mnogi drugi izvori EM talasa proizvode talase koji imaju električna polja u **nasumičnim pravcima**. Za takav snop EM talasa se kaže da je **nepolarizovan**, jer je sastavljen od mnogo talasa sa svim mogućim pravcima polarizacije. Polaroidni materijali deluju kao polarizacioni prorez za EM talase, dozvoljavajući da prođu samo talasi sa polarizacijom u jednom pravcu. Tako se dobija tzv. **linarno polarizovan snop** EM talasa (kaže se linarno polarizovan EM talas).

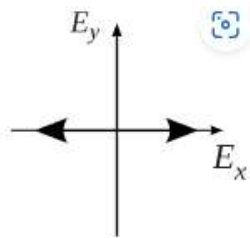
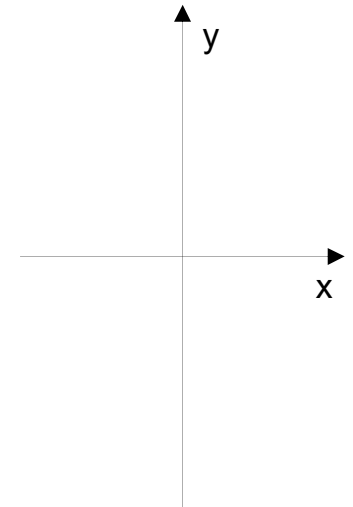


Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

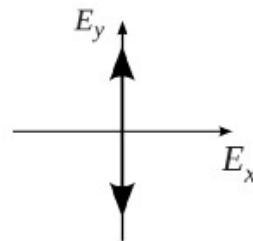
Polarizacija se najbolje razume tako što se najpre razmatra samo koherentni sinusoidni talas na nekoj frekvenciji. Vektor u susednom dijagramu bi mogao da opiše oscilaciju električnog polja koje emituje monohromatski laser (čija bi frekvencija oscilovanja bila tipično 10^{15} puta veća). Električno polje osciluje u ravni stranice (x-y ravan), pri čemu se talas prostire u pravcu normalnom na stranicu (z osa).

Da bi se modelovala polarizacija, snop EM talasa se posmatra kao superpozicija (zbir) dva talasa takva da im vektori električnog polja osciluju u dve međusobno normalne ravni (tako da npr. vektor el. polja jednog talasa osciluje po y osi a drugog po x osi). Intenzitete vektora električnog polja ovih talasa predstavljamo sa E_x i E_y .

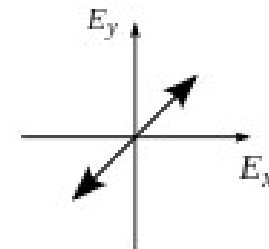
Prva tri grafika ispod, prikazuju vektor električnog polja linearno polarizovanog EM talasa. Svaki od njih se smatra posebnim stanjem polarizacije. Linearna polarizacija od 45° se može posmatrati kao zbir horizontalno linearno polarizovanog talasa i vertikalno polarizovanog talasa iste amplitude u i istoj fazi.



Horizontalna linearna polarizacija. $E_y = 0$



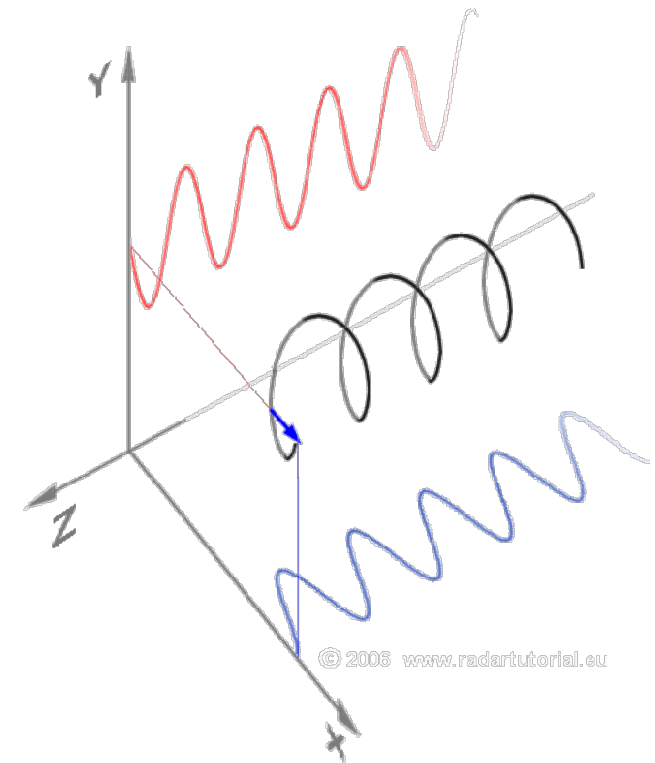
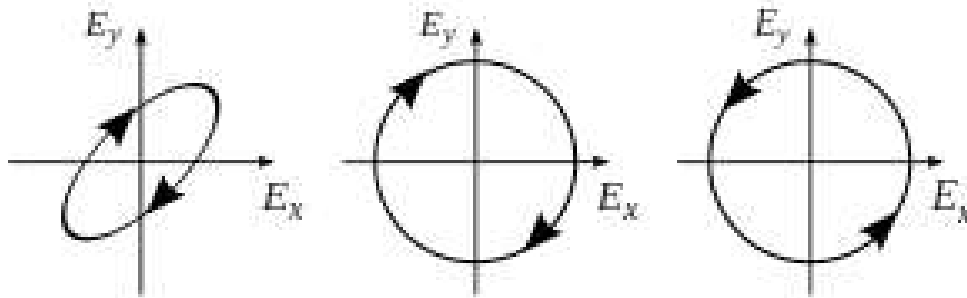
Vertikalna linearna polarizacija. $E_x = 0$



Linearna polarizacija od 45° . $E_x = E_y$

Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

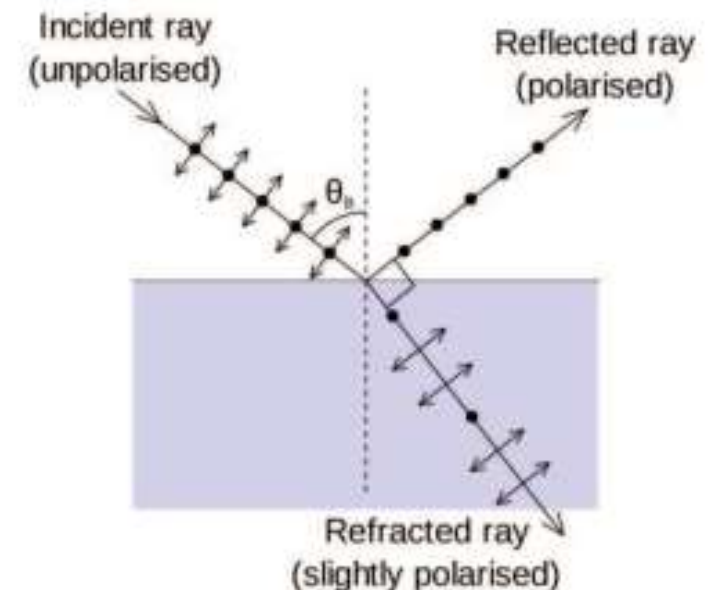
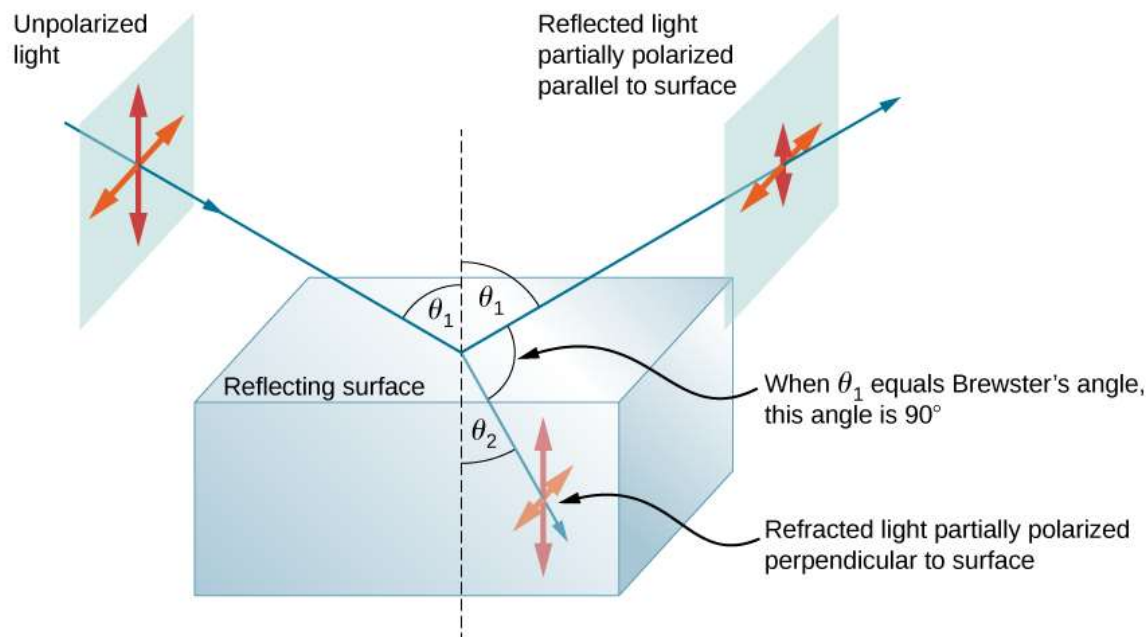
Ako postoji **fazna razlika između horizontalne i vertikalne** komponente vektora električnog polja, u najopštijem slučaju bi se dobila **elipsoidna polarizacija**. Specijalni slučaj eliptične polarizacije je kada je fazna razlika tačno $\pm 90^\circ$. Tada nastaje **kružna polarizacija**. Vrh vektora električnog polja u ovom slučaju, posmatrano u jednoj ravni opisuje kružnicu dok posmatrano trodimenzionalno opisuje spiralu (helikoidu). I kružna ili eliptična polarizacija mogu imati **rotaciju polja** u smeru kazaljke na satu ili u suprotnom smeru.



Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

Kada se nepolarizovani snop EM talasa (statistički sa istom koncentracijom horizontalno i vertikalno polarizovanih talasa) reflektuje (odbija) od površine, vertikalno polarizovani deo EM snopa se prvenstveno prelama i prolazi kroz površinu u novu sredinu, tako da odbijeni (reflektovani) snop EM talasa sadrži više horizontalno polarizovanih talasa. Dakle nakon refleksije prelomljeni snop sadrži više vertikalno polarizovanih dok reflektovani snop sadrži više horizontalno polarizovanih talasa.

Brusterov (Brewster) ugao (poznat i kao **ugao polarizacije**) je upadni ugao pri kojem se talas sa vertikalnom polarizacijom savršeno prenosi kroz dielektričnu površinu, bez refleksije (koeficijent refleksije je jednak nuli za vertikalno polarizovane talase).



Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

Model **refleksije od tla** (Two ray model)

Direktno prostiranje između bazne stanice i mobilnog telefona je u realnosti retka pojava.

Model refleksije od tla je koristan model propagacije koji se zasniva na geometrijskoj optici, a uzima u obzir putanju direktnog i talasa reflektovanog od zemlje između predajnika i prijemnika.

Ovaj model ima prihvatljivu tačnost pri računanju (proceni) snage signala kako kod prenosa većih razmera na udaljenostima od nekoliko kilometara za mobilne radio sisteme koji koriste antene na velikim visinama (visine preko 50m), tako i kod mikroćelijskih prenosa u urbanim sredinama u slučaju optičke vidljivosti (tzv. LOS (Line Of Sight) prenos).

U većini mobilnih komunikacionih sistema, maksimalna T-R udaljenost je svega nekoliko desetina kilometara, a takođe se za potrebe modelovanja može pretpostaviti da je zemljina površina ravna.

Ukupno primljeno E-polje (E_{TOT}) je rezultat superpozicije direktne LOS komponente (E_{LOS}) i komponente koja se odbija od zemlje (E_g).

h_t je visina predajnika,

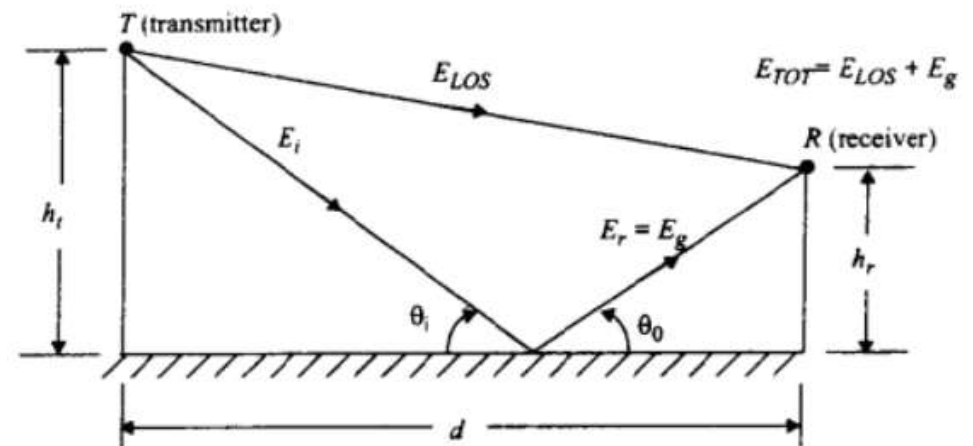
h_r je visina prijemnika.

d je horizontalno rastojanje između prijemnika i predajnika

Dva talasa koji se prostiru do prijemnika:

Direktni talas (LOS) koji prelazi rastojanje d'

Odbijeni talas koji relazi rastojanje d'' .



Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

Intenzitet električnog polja na prijemu se aproksimira sa:

$$E_{TOT}(d) \approx \frac{2E_0 d_0}{d} \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \approx \frac{k}{d^2} \text{ V/m}$$

E_0 je intenzitet električnog polja izmeren na rastojanju d_0 .

Snaga signala na prijemu se računa na osnovu jednačine:

$$P_r = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4}$$

Na mnogo većim razdaljinama u tzv. u dalekom polju, gde je $d^2 \gg h_t \cdot h_r$ dobija se da snaga opada sa četvrtim stepenom rastojanja što je mnogo (na kvadrat) više od slabljenja u slobodnom prostoru. Ovo se objašnjava **destruktivnom kombinacijom direktnih i reflektovanih talasa**, kada su im amplitude približno iste, a fazna razlika iznosi 180° .

Takođe, na osnovu ovog modela se može zaključiti da snaga i slabljenje na rastojanjima postaju nezavisni od frekvencije.

Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

Primer 4

Mobilni uređaj se nalazi na rastojanju od 5 km od bazne stanice. Za prijem radio signala mobilne mreže uređaj je opremljen vertikalnom $\lambda/4$ monopol antenom čiji je gain 2.55 dB. Izmereni intenzitet E- polja na 1km udaljenosti je 10^{-3} V/m. Noseća frekvencija sistema je 900 MHz.

- a) Odrediti dužinu i linearnu vrednost gain-a prijemne antene mobilnog uređaja.
- b) Odrediti jačinu E- polja na prijemu mobilnog uređaja koristeći model refleksije od tla sa dva zraka. Uzeti u obzir da se antena predajnika nalazi na visini od 50m a antene mobilnog uređaja na visini od 1.5 m iznad tla.

Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

Primer 4

Mobilni uređaj se nalazi na rastojanju od 5 km od bazne stanice. Za prijem radio signala mobilne mreže uređaj je opremljen vertikalnom $\lambda/4$ monopol antenom čiji je gain 2.55 dB. Izmereni intenzitet E- polja na 1km udaljenosti je 10^{-3} V/m. Noseća frekvencija sistema je 900 MHz.

- a) Odrediti dužinu i gain prijemne antene mobilnog uređaja.
- b) Odrediti jačinu E- polja na prijemu mobilnog uređaja koristeći model refleksije od tla sa dva zraka. Uzeti u obzir da se antena predajnika nalazi na visini od 50m a antene mobilnog uređaja na visini od 1.5 m iznad tla.

Rešenje:

Podaci:

T-R pravolinijsko rastojanje po tlu $d = 5$ km

Jačina E- polja na rastojanju $d_0 = 1$ km od predajnika $E_0 = 10^{-3}$ V/m

Noseća frekvencija $f = 900$ MHz

a)
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{900 \times 10^6} = 0.333m$$

dužina prijemne antene mobilnog uređaja:

$$L = \lambda/4 = 0.333/4 = 0.0833m = 8.33cm.$$

Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

a) Gain antene:

$$G \text{ (dB)} = 10 \log G \Rightarrow G = 10^{(G(\text{dB})/10)} = 10^{(2.55/10)} = 10^{(0.255)} = 1.8$$

b) Na osnovu modela refleksije od tla sa dva zraka intenzitet E- polja je:

$$E_{TOT}(d) \approx \frac{2E_0 d_0}{d} \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} = \frac{2 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3}{5 \times 10^3} \left[\frac{2\pi \times 50 \times 1.5}{0.333 \times 5 \times 10^3} \right] = 113.1 \times 10^{-6} \text{ V/m}$$

Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

Difrakcija

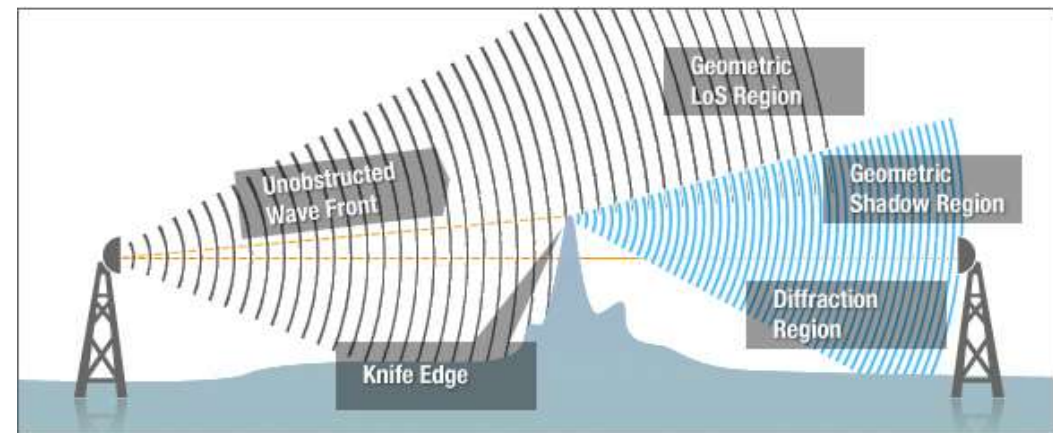
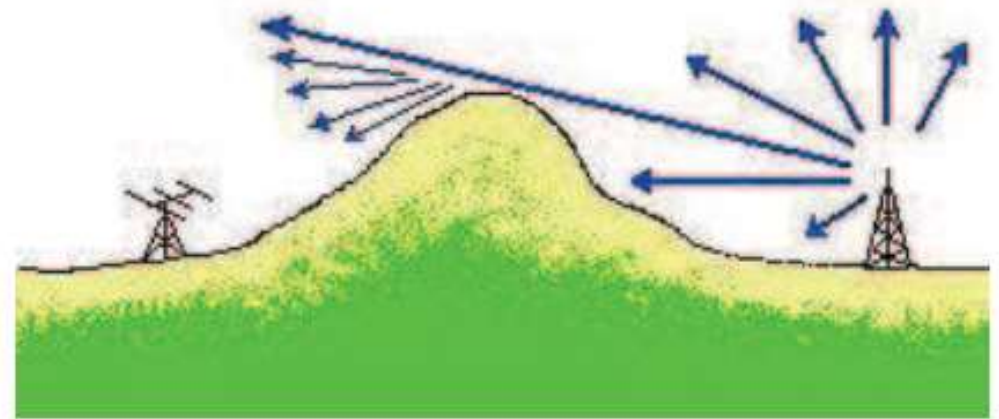
Difrakcija je pojava koja nastaje kada EM talasi naiđu na prepreku koja ima oštre neravnine (ivice).

Tada nastaje **sekundarni talas** koji ima drugačiji pravac prostiranja tj. odstupa od pravolinijskog pravca prostiranja i „skeće“ u tzv. zonu senke iza prepreke. Ovaj talas ima drugačiju amplitudu i fazu od incidentnog talasa.

Difrakcija se objašnjava **Higins-Frenelovim** (Huygens-Fresnel) **principom** po kome sve tačke prostora pogođene talasnim frontom postaju izvor novih sekundarnih talasa koji se superponiraju i stvaraju novi talasni front.

Jednostavno rečeno, ako talas udari u tačku objekta u prostoru, stvara talase koji se prostiru dalje kroz prostor.

Na visokim učestanostima difrakcija kao i refleksija zavisi od geometrije objekta kao i od amplitude, faze i polarizacije incidentnog (upadnog) talasa.

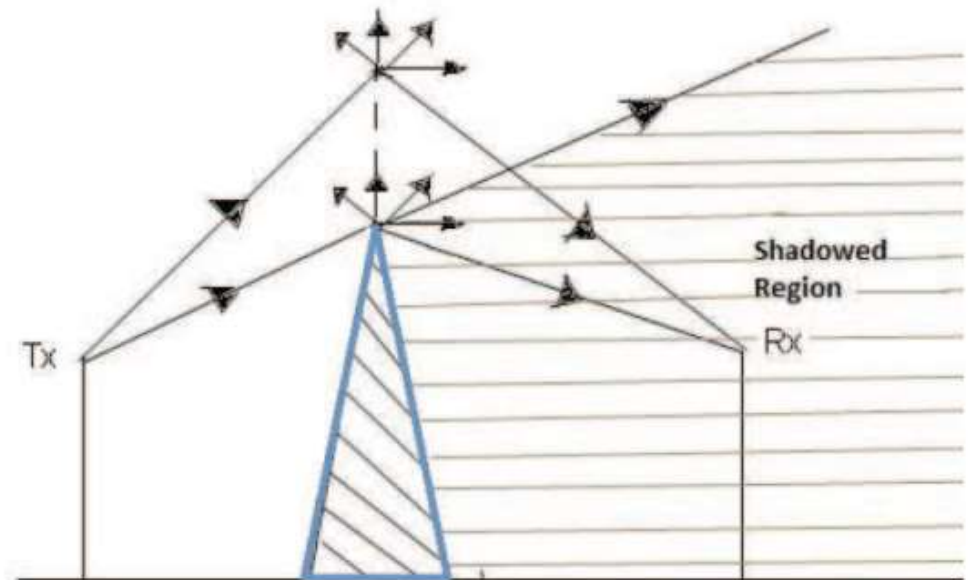


Osnovni mehanizmi prostiranja radio talasa

Rasipanje

Stvarna primljena snaga na prijemniku je većeg nivoa nego na osnovu modela koji uzima u obzir refleksiju i direktnu propagaciju. Uzrok je što se EM talasi rasejavaju od drveća, zgrada, znakova, stubovi za svetiljke i drugih objekata, te dolazi do rasipanja energije u svim pravcima. Ovo obezbeđuje dodatnu energiju na prijemniku koja nije obuhvaćena modelom.

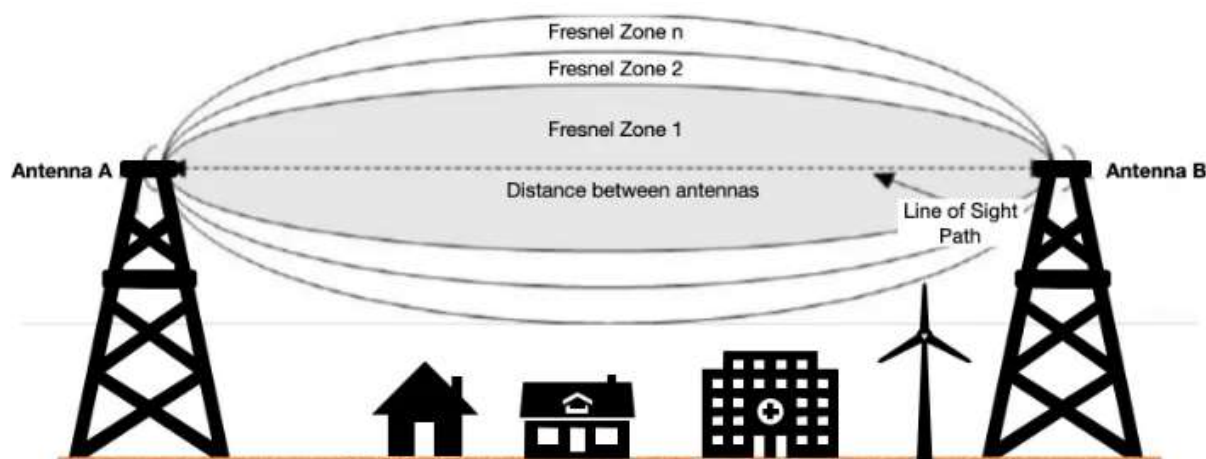
U mobilnim komunikacijama difrakcija, rasipanje i refleksija mogu da imaju pozitivan efekat jer zahvaljujući ovim pojavama prijemnik može da detektuje signal iako ne postoji optička vidljivost između njega i predajnika.



Frenelove zone

Frenelove (Fresnel) zone

U bežičnim komunikacijama, može se definisati trodimenzionalna elipsoidna oblast između antene predajnika i antene prijemnika. Ova oblast zavisi od udaljenosti između antena i frekvencije EM talasa. Naziva se Frenelova zona i prikazana je na slici:



U Frenelovoj zoni, najduža osa elipsoida predstavlja direktnu putanju između predajnika i prijemnika. Potrebno je obezbediti da ova putanja ne bude blokirana objektom kako bi postojao dobar prenos signala. Međutim, čak i kad prepreke ne blokiraju direktnu putanju između antena postoje gubici u prenosu i mogu biti takvi da je prenos neostvariv.

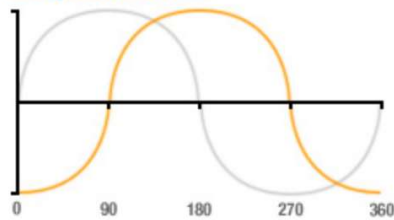
Frenelove zone

Bežične antene šalju talase u različitim pravcima. Neki talasi će stići direktno do prijemnika - to su **direktni snopovi** talasa - dok će drugi stići nakon refleksije, difrakcije ili rasejanja od drugih površina - nazivamo ih **indirektnim snopovima**. Takvi indirektni snopovi putuju dužim putem, što znači da im se fazni ugao pomera u odnosu na direktni snop. Na mestu prijema imamo interferenciju direktnih i indirektnih snopova. Kada se fazni ugao pomeri za pola talasne dužine, dolazi do **destruktivne interferencije**, što znači da se signali poništavaju.

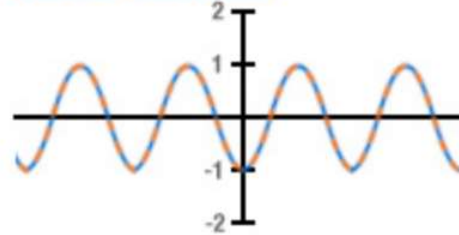
0 or 360 degrees In-Phase



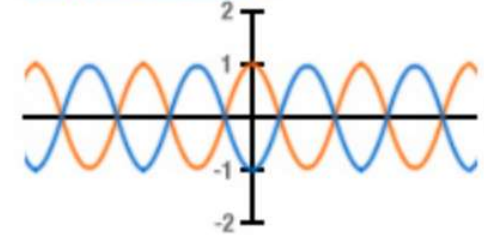
90 degrees Out-of-Phase



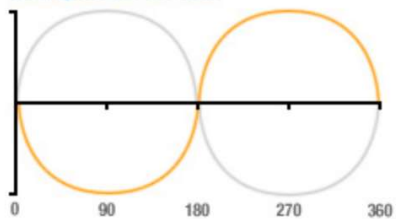
Complete Construction



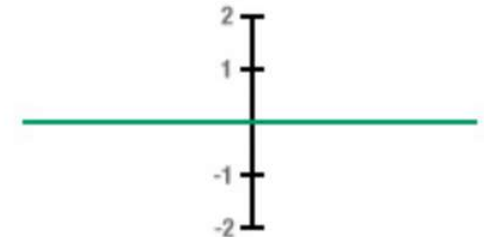
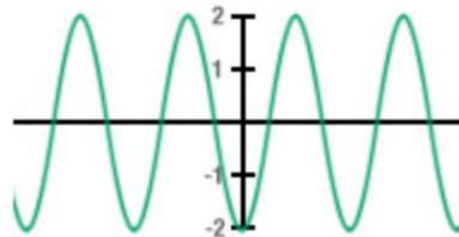
Complete Destruction



180 degrees Out-of-Phase



270 degrees Out-of-Phase



Frenelove zone

Početak 19. veka, francuski naučnik Augustin-Jean Fresnel stvorio je metod za računanje procene uticaja prepreka na prenos EM signala i tom prilikom definisao zone uticaja koje su kasnije nazvane Frenelovim zonama.

Da bi se **maksimizirala snaga signala**, potrebno je **minimizirati efekat gubitka zbog prepreka** tako što će se ukloniti prepreke i iz direktnog optičkog puta između predajne i prijemne antene ali i iz okoline u primarnoj Fresnelovoj zoni. Najjači signali nalaze se na direktnoj liniji između predajnika i prijemnika i uvek se nalaze u prvoj Fresnelovoj zoni.

Postoji **beskonačan broj** izračunatih Frenelovih zona, ali Frenelova zona koja najviše utiče na performanse bežične mreže je prva Frenelova zona. Ako postoje prepreke, kao što su zgrade, drveće ili brda, smeštene u ovoj prvoj Fresnelovoj zoni, signal će biti ometen njima i stoga će biti oslabljen pri prijemu. Kao opšte pravilo, prilikom planiranja bežičnih konekcija, prva Frenelova zona uvek treba da bude slobodna od prepreka. Međutim ovo može biti neizvodljivo u praksi pa se pri planiranju koristi pravilo **da bi 60% prve Frenelove zone trebalo da bude slobodno**. Ipak, uvek gde je to moguće preporučuje se da za optimalne performanse treba planirati sa 80% ili više.

Prepreke u prvoj Frenelovoj zoni stvaraju signale koji će biti fazno pomereni od 0 do 90 stepeni, u drugoj od 90 do 270 stepeni, od 270 do 450 stepeni u trećoj zoni i tako dalje. Ovo znači da interferencija signala u neparnim Frenelovim zonama ima konstruktivan uticaj, a u parnim destruktivan uticaj na rezultujući signal.

Za udaljenosti veće od 10 km, zakrivljenost Zemlje postaje nezanemarljiva i može postati prepreka u Frenelovoj zoni, uzrokujući gubitak signala. To je zato što sa porastom udaljenosti između predajnika i prijemnika, rastu radijusi Fresnelovih zona. Stoga visine predajnika i prijemnika postaju važan faktor za veze na dužim udaljenostima kako bi se osigurala dovoljna razdaljina iznad nivoa tla radi maksimalne jačine signala.

Frenelove zone

Formule za Frenelove zone

Formula za računanje poluprečnika n-te Frenelove zone glasi:

$$r_n = \sqrt{(n * \lambda * d_1 * d_2 / (d_1 + d_2))},$$

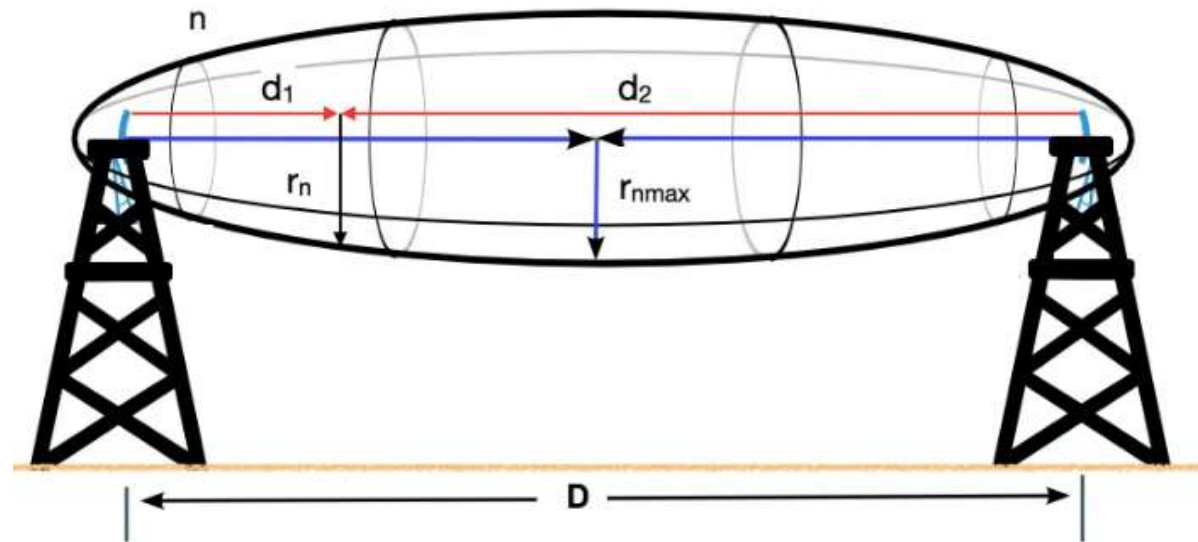
Gde je:

λ talasna dužina EM talasa;

d_1 , d_2 , r_n su definisani kao na slici

Ako želimo izračunati najveći poluprečnik Fresnelove zone (r_{nmax}), tj. poluprečnik u centru elipsoida tada imamo $d_1 = d_2 = D / 2$, pa gore navedena formula se pojednostavljuje na:

$$r_{nmax} = \sqrt{(n * \lambda * D / 4)}$$



Frenelove zone

Formule za prvu Frenelovu zonu

Konkretno, ako želimo odrediti poluprečnik na bilo kojoj tački u prvoj Fresnelovoj zoni, koristili bismo sledeću formulu:

$$r = \sqrt{(\lambda * d1 * d2 / (d1 + d2))}$$

Za najveći poluprečnik prve Fresnelove zone imamo:

$$r_{1\max} = \sqrt{(\lambda * D / 4)}$$

Sada, ako koristimo formulu za talasnu dužinu $\lambda = c/f$, dobijamo:

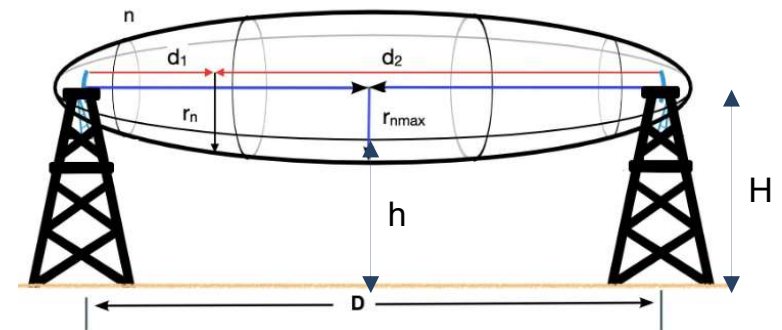
$$r_{1\max} = \sqrt{(c * D / (4 * f))},$$

gde f predstavlja frekvenciju EM talasa.

Frenelove zone

Primer 5:

- a) Izračunati maksimalni radijus prve Frenelove zone na 500m - om linku koji radi na nosećoj frekvenciji od 5.5GHz (5GHz 802.11n kanal 100). Prijemna i predajna antena nalaze na visini od 10m od tla.
- b) Takođe odrediti na kom rastojanju od tla se nalazi prva Frenelova zona u svom najširem delu
- c) Ustanoviti koja je maksimalna visina objekta u oblasti ispod ovog linka ukoliko je zahtevani procenat slobodnog prostora prve Frenelove zone 100%.
- d) Ustanoviti koja je maksimalna visina objekta u oblasti ispod ovog linka ukoliko je zahtevani procenat slobodnog prostora prve Frenelove zone 60%. procenat



Frenelove zone

Primer 5:

- a) Izračunati maksimalni radijus prve Frenelove zone na 500m - om linku koji radi na nosećoj frekvenciji od 5.5GHz (5GHz 802.11n kanal 100). Prijemna i predajna antena nalaze na visini od 10m od tla.
- b) Takođe odrediti na kom rastojanju od tla se nalazi prva Frenelova zona u svom najširem delu
- c) Ustanoviti koja je maksimalna visina objekta u oblasti ispod ovog linka ukoliko je zahtevani procenat slobodnog prostora prve Frenelove zone 100%.
- d) Ustanoviti koja je maksimalna visina objekta u oblasti ispod ovog linka ukoliko je zahtevani procenat slobodnog prostora prve Frenelove zone 60%. procenat

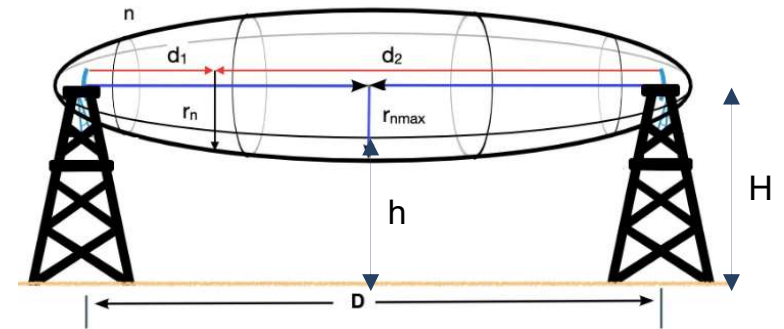
Rešenje:

- a) Za najveći poluprečnik prve Fresnelove zone imamo:

$$r_{1\max} = \sqrt{(\lambda * D / 4)} = \sqrt{(c * D / (4 * f))} = \sqrt{(3*10^8\text{m/s} * 500\text{m} / (4 * 5.5*10^9\text{Hz}))} = 2.61\text{m}$$

- b) rastojanje „trbuha“ prve Frenelove zone od tla:

$$h = H - r_{1\max} = 7.39\text{m}$$



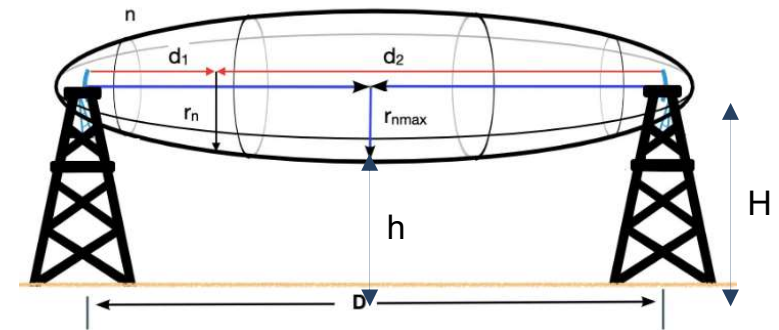
Frenelove zone

c) maksimalna visina objekta za 100% slobodnog prostora prve Frenelove zone:

$$h = H - r_{1\max} * 1 = 7.39\text{m}$$

d) U ovom slučaju 60% slobodnog prostora prve Frenelove zone se modelira sa 60% maksimalnog radijusa zone. Tako da maksimalna visina objekta za 60% slobodnog prostora prve Frenelove zone iznosi:

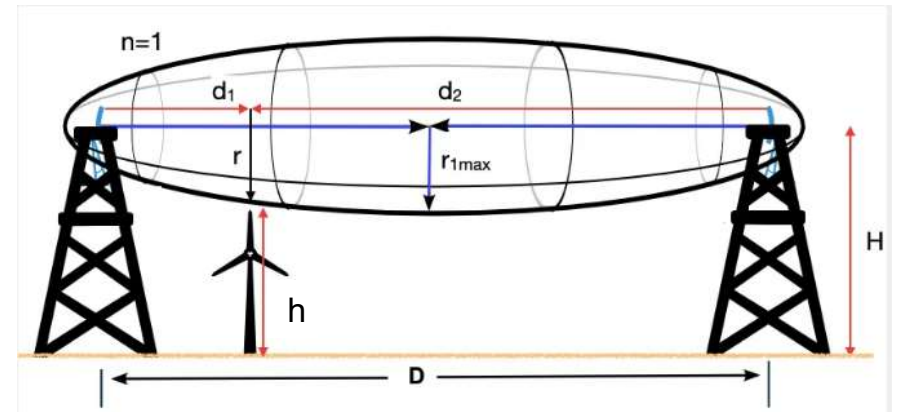
$$h = H - r_{1\max} * 0.6 = 8.43\text{m}$$



Frenelove zone

Primer 6:

Izračunati maksimalnu visinu vetrogeneratora u oblasti ispod predajnika i prijemnika koji se nalaze na rastojanju od 2km i operišu na nosećoj frekvenciji od 2.437GHz . Prijemna i predajna antena nalaze na visini od 50m od tla. Lokacija za vetrogenerator se nalazi na rastojanju od 500m od predajne antene. Zahtevani procenat slobodnog prostora prve Frenelove zone je 80%.



Frenelove zone

Primer 6:

Izračunati maksimalnu visinu vetrogeneratora u oblasti ispod predajnika i prijemnika koji se nalaze na rastojanju od 2km i operišu na nosećoj frekvenciji od 2.437GHz . Prijemna i predajna antena nalaze na visini od 50m od tla. Lokacija za vetrogenerator se nalazi na rastojanju od 500m od predajne antene. Zahtevani procenat slobodnog prostora prve Frenelove zone je 80%.

Rešenje:

$$r = \sqrt{(\lambda * d_1 * d_2 / (d_1 + d_2))} = \sqrt{(c * d_1 * d_2 / f * (d_1 + d_2))}$$

$$d_1 = 500\text{m}$$

$$d_2 = D - d_1 = 1500\text{m}$$

$$r = \sqrt{3 \cdot 10^8 \text{m/s} * 500\text{m} * 1500\text{m} / (2.437 \cdot 10^9 \text{Hz} * 2000\text{m})}$$

$$r = 6.79\text{m}$$

$$h = H - r * 0.8 = 44.57\text{m}$$

Maksimalna visina vetrogeneratora je 44.57m.

