



Comunicatii prin satelit - cursul 3 -

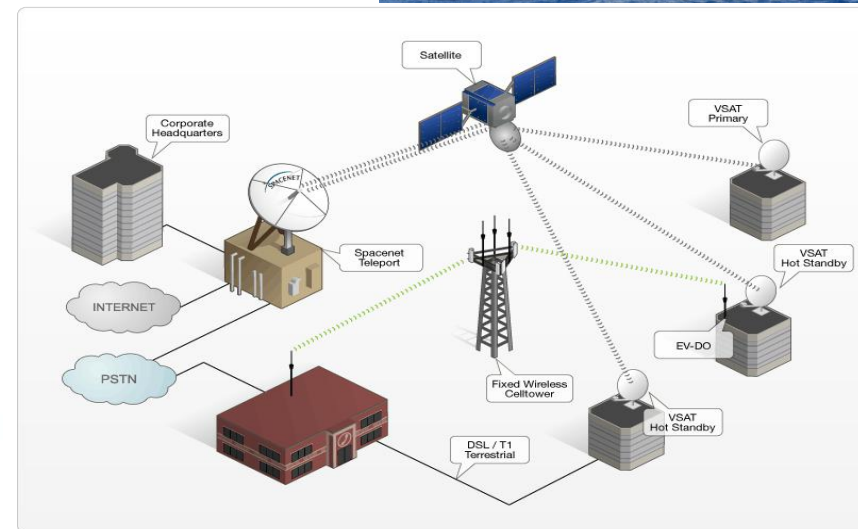
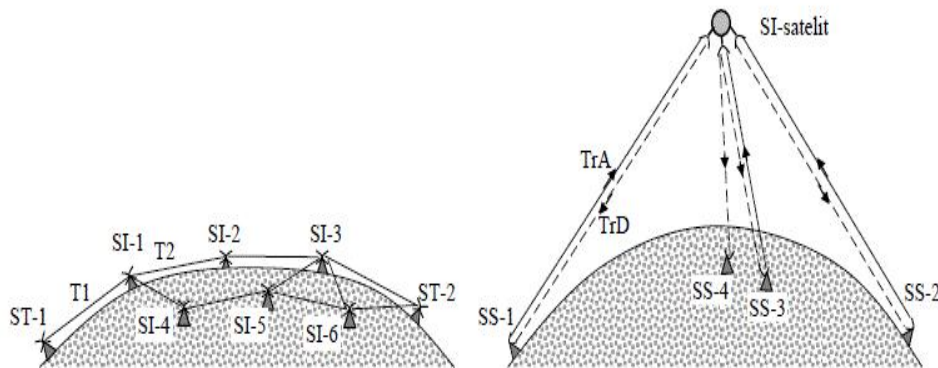
Prof. univ. dr. ing. Irinel Casian-Botez

Sef lucrari dr. ing. Daniel Matasaru

Continutul cursului anterior

Arhitecturi de retele de comunicatii prin satelit.

- 1) Comparatie intre radiorelee si sistemele de comunicatii prin satelit.
- 2) Componentele unui sistem de comunicatii prin satelit.
- 3) Conectivitatea punct la punct.
- 4) Conectivitatea punct la multipunct (broadcast).
- 5) Conectivitatea multipunct interactiv.



Ingineria legaturii de microunde

Decibelul – semnificatie si utilizare

Propagarea intre segmentul terestru si segmentul spatial

- Propagarea microundelor
- Radiatorul izotrop
- Proprietati directive ale antenelor
- Polarizare liniara si polarizare circulara
- Pierderi de propagare

Emitatoare si receptoare de microunde

- Statia de emisie
- Statia de receptie
- Transponderul

Calitatea per-ansamblu a linkului de comunicatii

- *Zgomot si interferente*
- *Raportul semnal zgomot*
- *Analiza bugetului legaturii*

Decibelul – semnificatie si utilizare

Puterea in microunde este masurata in **Watts**, similar cu puterea electrica.

Atat cresterea cat si reducerea acestei puteri se exprima utilizand termeni ca **dB, dBW, dBm, dBu** – acestia sunt unitati logaritmice care exprima **reprezentarea relativa a puterii** prin raportarea **valorii absolute** dintr-un punct al circuitului sau in anumite conditii la o **valoare de referinta**, din alt punct sau din anumite conditii de referinta.

$$A[\text{dB}] = 10\log_{10}(a[\text{W}]), \text{ unde } a > 0, a = P_{\text{out}}/P_{\text{in}}$$

Inginerii prefera sa lucreze cu dB pentru ca este mai simplu de calculat - se folosesc operatiuni de adunare si scadere in loc de inmultire si impartire.

Power Ratio	% Increase	dB
1.0	0	0
1.12	12	0.5
1.26	26	1.0
1.41	41	1.5
1.59	58	2.0
1.78	78	2.5
2.00	100	3.0
2.24	124	3.5
2.51	151	4.0
2.82	182	4.5
3.16	216	5.0
3.55	255	5.5
3.98	298	6.0
4.47	347	6.5
5.01	401	7.0
5.62	462	7.5
6.31	531	8.0
7.08	608	8.5
7.94	694	9.0
8.91	791	9.5
10.0	900	10.0
20		13.0
50		17.0
100		20.0
200		23.0
500		27.0
1000		30.0

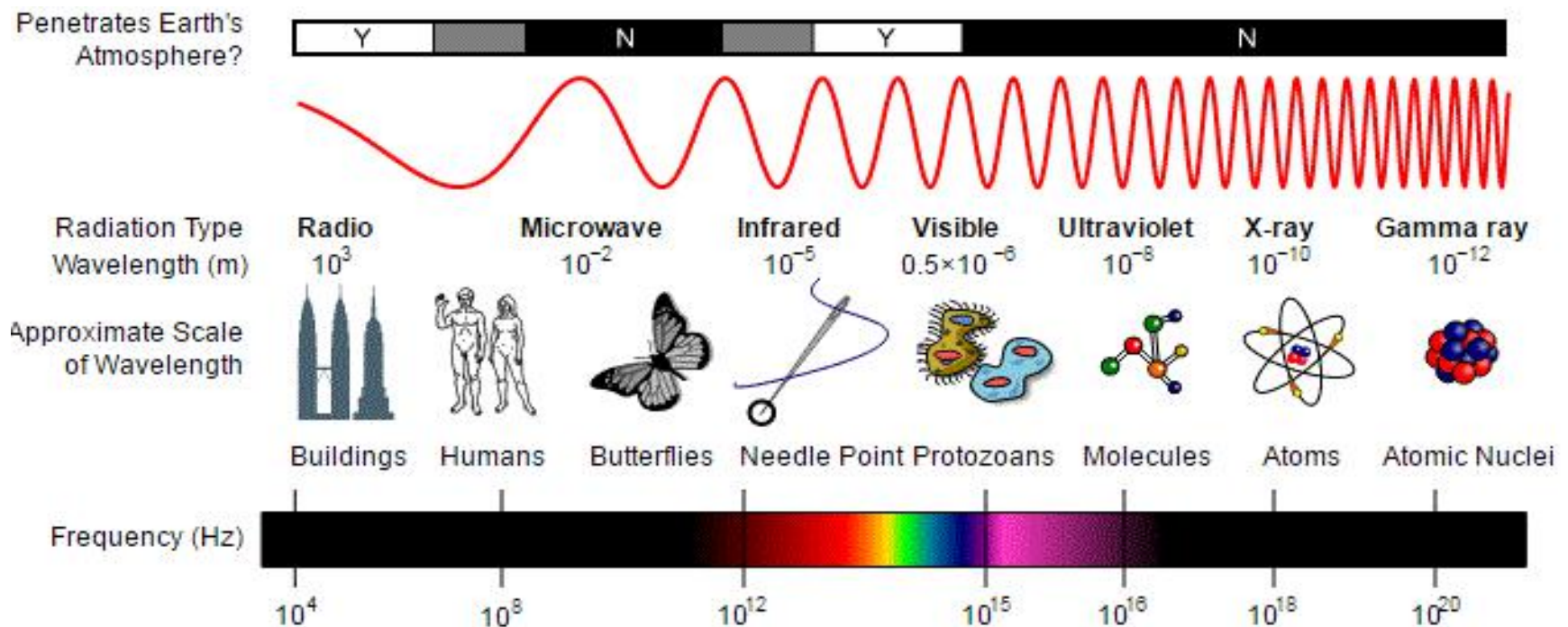
Atunci cand raportul $P_{\text{out}}/P_{\text{in}} = 1$, valoarea in dB este 0. Dublarea raportului este echivalenta cu o crestere de 3dB, iar injumatatirea sa cu o scadere de 3dB.

Propagarea intre segmentul terestru si segmentul spatial

Procesul prin care undele radio plecate din statia de emisie ajung la antena de receptie se numeste **propagarea undelor radio**.

Undele radio reprezinta o parte a spectrului electromagnetic, alaturi de infrarosu, spectrul vizibil, ultraviolet, razele X si Gamma.

Zona de interes din spectru pentru comunicatiile prin satelit este 1-60 GHz.

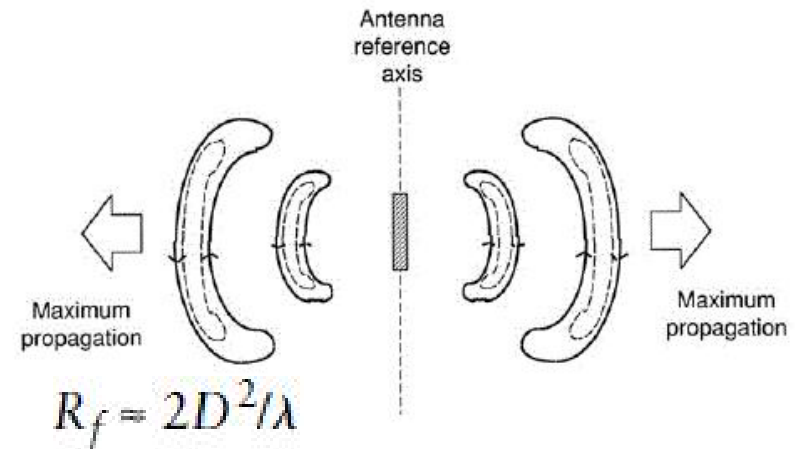
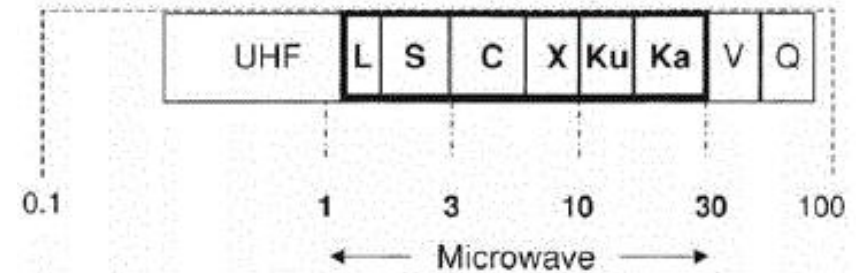


Propagarea intre segmentul terestru si segmentul spatial

Energia microundelor se propaga radial si **scade in intensitate i.p. cu patrutul distantei**, acestea putand fi absorbite, imprastiate, deviate si reflectate atunci cand in calea lor apar diverse forme ale materiei.

Unda electromagnetica este rezultatul vibratiei de inalta frecventa a electronilor intr-un conductor metalic. Curentul alternativ de la emitator face ca electronii sa vibreze inainte si inapoi iar acestia, necurgand continuu intr-o singura directie, isi pierde energia “aruncand-o” in spatiu.

La distanta mica de antena (*near-field region*), energia inca variaza in intensitate, dar la distanta suficient de mare (*far-field region*) campul de radiatie are forma unui fascicul asociat cu structura antenei .



O antena parabolica reflector are un fascicul bine conturat si indreptat catre satelit, tranzitia dintre cele 2 regiuni fiind data de relatia de mai sus.

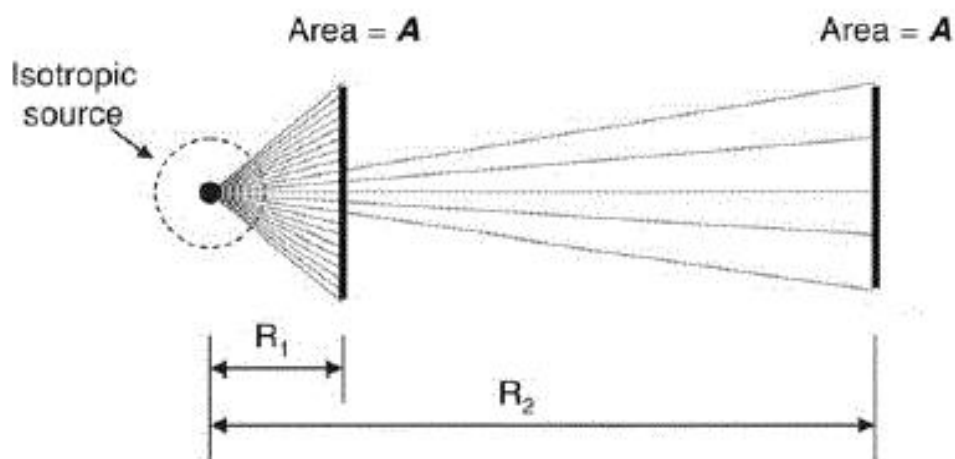
Nota! *Distanta spre tranzitie creste cu frecventa, astfel ca o antena reflector in banda Ku necesita ca sursa sa fie la distanta mai mare decat daca antena ar opera in banda C.*

Radiatorul izotrop

Cel mai vechi tip de antena radio este sursa izotropa, care este asemenea unui bec ce radiaza energie in toate directiile (*sfera*) cu aceeaasi intensitate.

Puterea RF a sursei izotrope produce o densitate de putere constanta la o distanta fixa, aceasta scazand cu $1/R \cdot R$ pe masura ce distanta creste.

Uzual se calculeaza intensitatea semnalului masurata in W/mp ca fiind puterea sursei izotrope raportata la aria sferei. $P/A = P_t/4\pi R^2$, W/m²



Daca 2 antene de receptie de arie egala se afla la distante diferite fata de sursa, se observa ca antena mai apropiata intercepteaza considerabil mai multa putere decat cea aflata mai departe, aceasta demonstrand ca semnalul radio devine mai slab pe masura ce receptorul se indeparteaza.

Eficienta antenei se defineste ca raportul intre aria efectiva pe care antena receptioneaza aceeaasi cantitate de energie si aria sa fizica. Tipic aceasta este 50-70%, dar exista configuratii ca antena horn care pot atinge 90% eficienta.

Proprietati directive ale antenelor

Antena izotropa nu este nici practica (*caracteristica sa ideala nu poate fi realizata cu o structura fizica simpla*), nici utila pentru sateliti (*castigul este scazut iar semnalul este de interes doar intr-o anumita directie*).

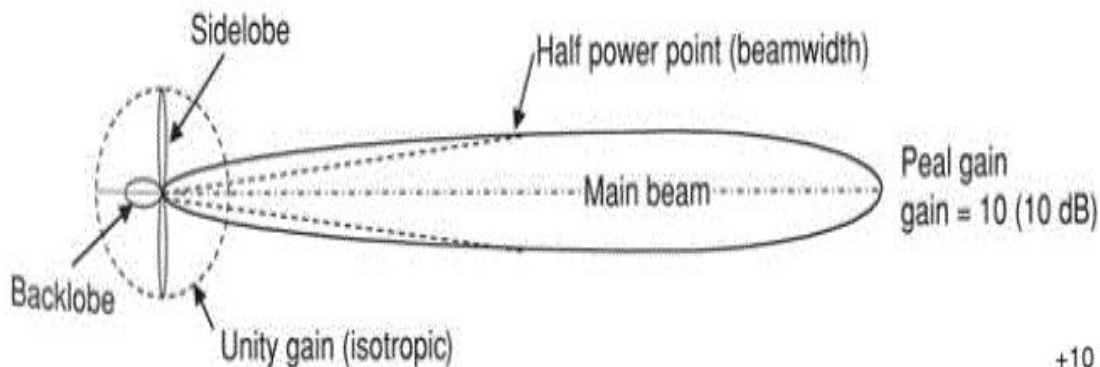
Conceptul de **directivitate** se refera la abilitatea unei antene de a concentra energia in anumite directii, mai exact energia care ar fi fost radiata in directii inutile in jurul sferei este concentrata de structura antenei si redirectionata pentru a creste intensitatea in directia dorita.

Directivitatea intr-o directie data poate fi exprimata ca raportul intre semnalul masurat in acea directie si semnalul maxim masurat in directia de varf . La varf, directivitatea este 0 dB, ea avand valoare negativa pentru toate celelalte unghiuri.

Castigul unei antene (*masurat in dBi*) este o marime absoluta si se obtine comparand semnalul pe antena cu cel al unui radiator izotrop ($G=0$ dBi).

Proprietati directive ale antenelor

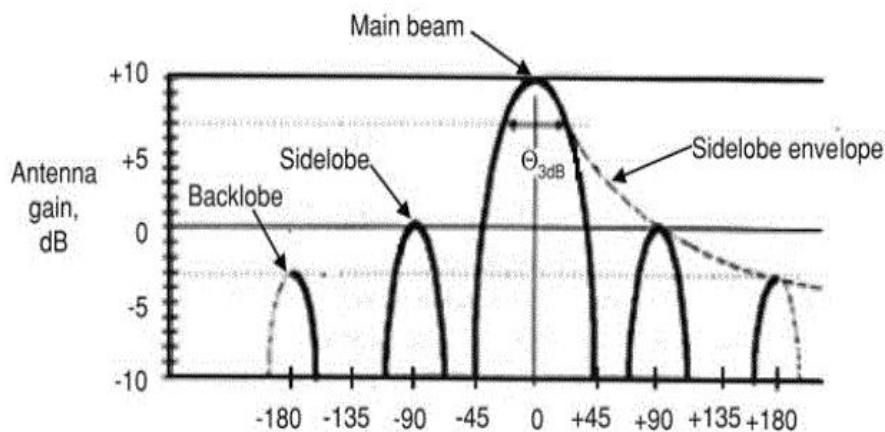
Reciprocitatea se refera la faptul ca directivitatea si castigul la o frecventa data sunt identice indiferent daca antena este folosita la emisie sau receptie.



Un parametru de interes este si punctul in care castigul antenei este la jumatate (**half-power beamwidth**).

Presupunand ca linkul de microunde inca functioneaza la scaderea puterii cu 3dB, acest parametru defineste marja unghiulara in care antena sau satelitul se pot misca.

Orice antena directionala opereaza si in directii nedorite, in afara fascicului principal , de interes.



Loburile laterale si cel din spate sunt importante cand se iau in calcul interferente la emisie sau receptie (RFI)

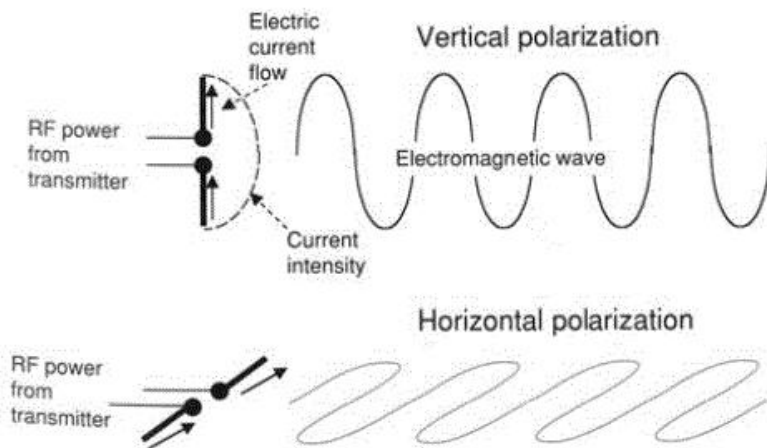
Polarizare liniara si polarizare circulara

Polarizarea este o proprietate a undei electromagnetice care depinde de orientarea antenei de emisie.

Polarizarea liniara

Curentul electric de la emitator circula prin antena dipol mai intai in sus si apoi in jos, osciland pe frecventa de transmisie (la 4GHz, rata oscilatiei este de 4 milioane de ori pe secunda). Aceasta alternanta a curentului produce o unda electromagnetica ce se propaga in spatiu.

Componenta electrica a undei electromagnetice va fi fix aliniata in aceeaasi directie cu cea a dipolului, acest tip de polarizare fiind **polarizare liniara**.



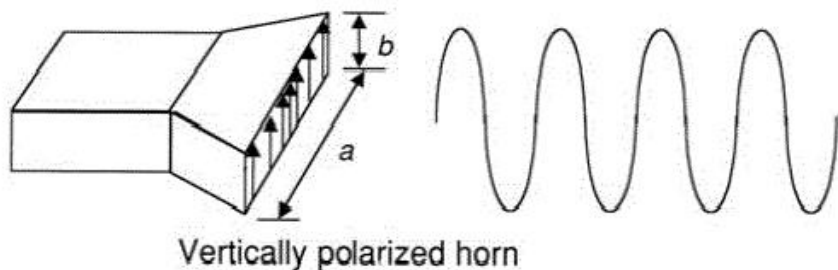
Polarizarea liniara orizontala se obtine cand dipolul este rotit cu 90 grade.

Receptia se face cand componenta electrica a undei electromagnetice produce curent in antena de receptie, lucru care nu este posibil daca dipolul acesteia este perpendicular pe directia de polarizare care ajunge la el.

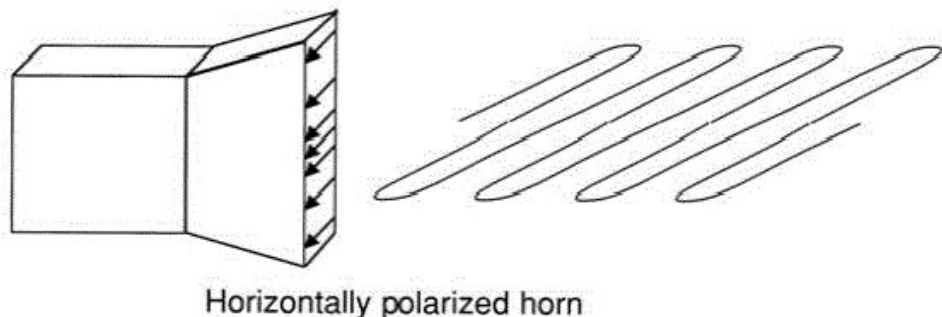
Polarizare liniara si polarizare circulara

Antenele de microunde folosesc de obicei structuri de tip ghid de unda si suprafete de reflexie consistente pentru ca sunt mai eficiente decat dipolul.

O antena dipol introdusa intr-o cutie metalica poate alimenta un ghid de unda.



Componenta electrica este verticala pentru orientarea data (dimensiunea b), iar componenta magnetica este perpendiculara pe cea electrica in orice punct de-a lungul ghidului de unda.



Dimensiunea orizontala a peretilor antenei (dimensiunea a) trebuie sa fie mai mare decat jumătate din lungimea de unda la frecventa de operare.

Maximul de putere receptionata este cand semnalele antenelor horn de la emisie si receptie sunt co-polarizate.

Nota! Componenta electrica este maxima in centru si tinde la 0 catre margini

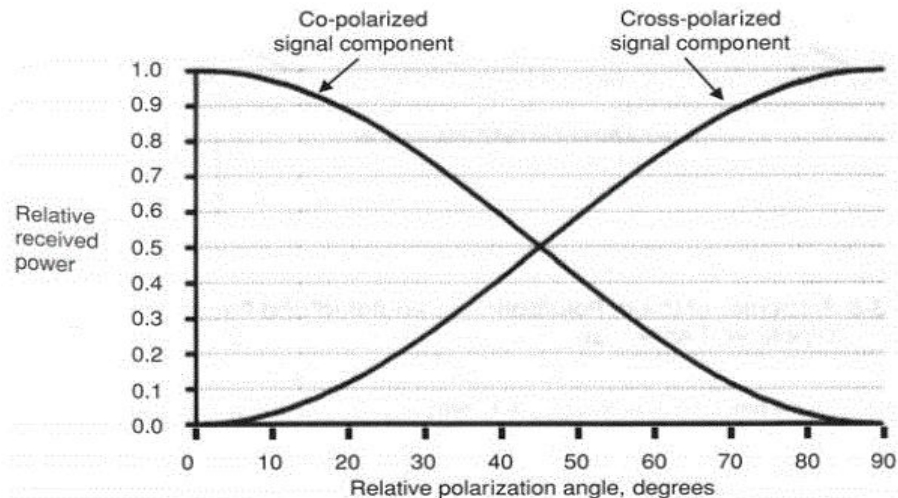
Polarizare liniara si polarizare circulara

Performanta polarizarii liniare in puncte intermediare urmeaza o regula simpla: energia relativa cuplata este egala cu patrutul cosinusului unghiului.

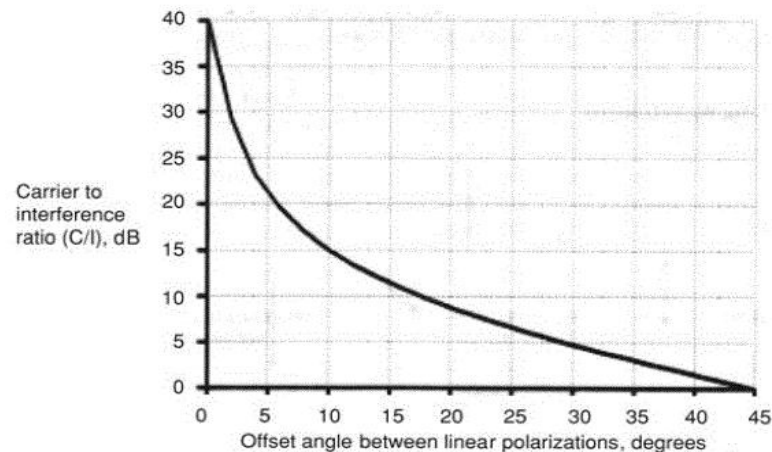
Din grafic observam ca semnalul maxim receptionat este cand componentele de semnal sunt co-polarizate si minim (0 sau -40dB) cand semnalele sunt cross-polarizate.

Cea mai importanta aplicatie a polarizarii este in reutilizarea frecventelor, in care 2 semnale cross-polarizate sunt transmise simultan pe aceeasi frecventa.

Rotatia Faraday cauzata de ionosfera poate altera polarizarea cu 6 grade.



Separarea de polarizare este un termen care exprima diferenta intre polarizarile dorite si cele nedorite, ea fiind maxima cand diferenta de unghi (offset angle) dintre semnale de polarizari opuse este 0.



Polarizare liniara si polarizare circulara

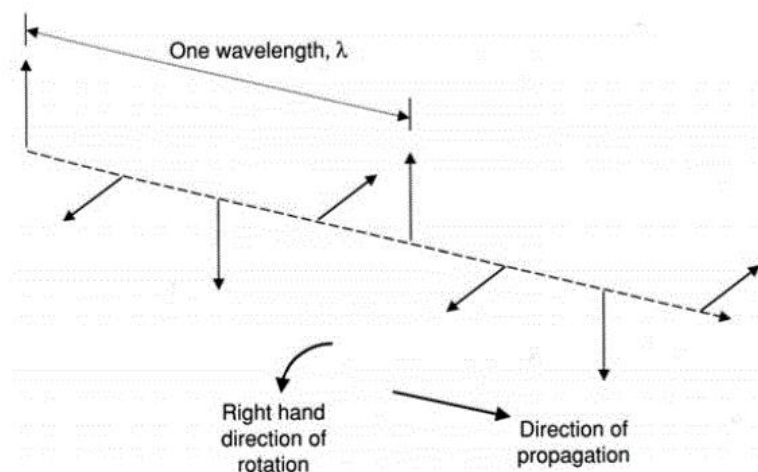
Polarizarea circulara

La acest tip de polarizare antena de receptie nu se mai aliniaza cu polarizarea antenei de emisie, ceea ce ele trebuie sa aiba in comun fiind sensul de polarizare al semnalului.

Practic, este o combinatie a 2 unde polarizate liniar care sunt cross-polarizate una in raport cu cealalta.

Semnalul de transmis se separa la emisie in 2 parti iar una din componente este intarziata cu un sfert de perioada inainte de a radia semnalul printr-un element de dual-polarizare al antenei.

Vectorul rezultat se roteste ca un tirbuson pe masura ce se propaga in spatiu, sensul polarizarii fiind fie prin rotatie la dreapta (RCP), fie la stanga (LCP) in directia de propagare. Si aici reutilizarea frecventei este posibila, unde RCP si LCP fiind polarizate opus.



Pierderi de propagare

Sunt 2 mari tipuri de probleme care produc pierderi pe un link de comunicatii prin satelit: cele care apar constant (predictibile) si cele aleatoare sau variabile in timp (pot fi estimate statistic). Toate duc la scaderea puterii semnalului la receptie si pot face ca nivelul acestuia sa varieze in timp pana la disparitie.

Diferenta in dB intre nivelul mediu al semnalului si pragul la care semnalul devine inutilizabil comunicatiei poarta numele de **marja legaturii** (*link margin*).

Principalele surse de pierderi

- Pierderile in spatiul liber
- Absorbția
- Atenuarea din cauza ploii
- Refractia
- Imprastierea, difractia si umbrirea
- Atenuarea de cale multipla

Pierderi de propagare – pierderile in spatiul liber

Pierderile in spatiul liber diminueaza puterea semnalului pe masura ce distanta creste.

Pentru 1mp de arie efectiva a antenei, energia captata este $P_r = P_t / 4\pi R^2$, unde P_t - puterea radiata in W, R – distanta in m.

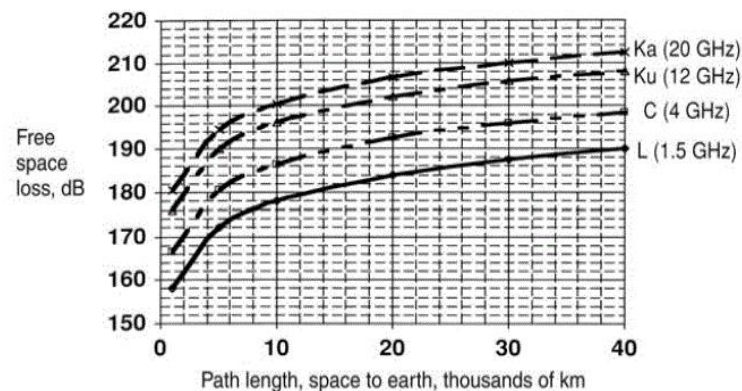
Atenuarea va fi $a_0 = (4\pi R/\lambda)^2$, unde λ = lungimea de unda in m, R – lungimea cail in m.

Inlocuind frecventa cu lungimea de unda ($f=c/\lambda$) si convertind in dB. obtinem pierderea in spatiul liber ca:

$$A_0 \text{ [dB]} = 183.5 + 20\log(f) + 20\log(R/35788)$$

f – frecventa in GHz

R – lungimea cail in km



Se observa o diferenta fundamentala de 30dB intre satelitii LEO si GEO

Pierderi de propagare – absorbtia

Energia RF este absorbita si convertita in caldura pe masura ce unda trece prin aer, vapori de apa si smog.

Impactul frecventei de operare se vede in graficul de mai jos (statie de sol cu unghi de elevatie 90°), absorbtia fiind o constanta sub 1 dB in benzile C si Ku.

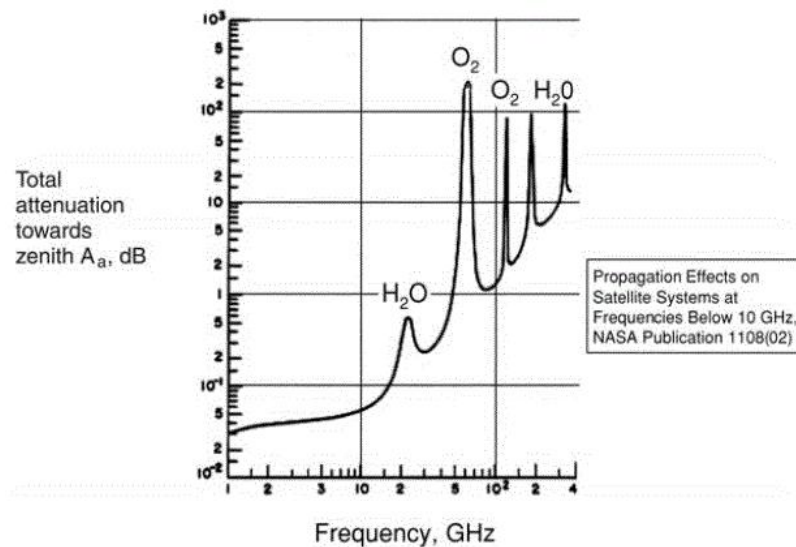
Pentru unghiuri de elevatie sub 90° absorbtia creste deoarece patura atmosferica va fi mai groasa.

Sub 10° absorbtia este foarte sensibila la fading multicale din cauza reflexiilor de sol.

Pentru unghiuri de elevatie de peste 10° calculam absorbtia ca:

$$A_a \sim (8a_o + 2a_{H_2O}) / \sin(\theta)$$

unde a_o , a_{H_2O} – absorbtiiile din cauza oxigenului si vaporilor de apa



La frecvente peste 15 GHz, particulele din atmosfera ajung la rezonanta si absorbtia poate deveni totala. Benzile de frecvente din jurul a 22GHz si 66GHz corespund rezonantei pentru vaporii de apa, respectiv oxigen si nu sunt utilizate.

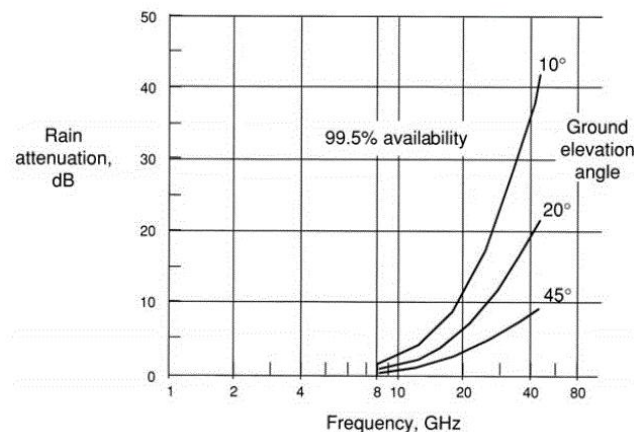
Pierderi de propagare – atenuarea din cauza ploii

Atenuarea din cauza ploii nu este predictibila instantaneu, dar estimari statistice pot fi luate in calcul la proiectare.

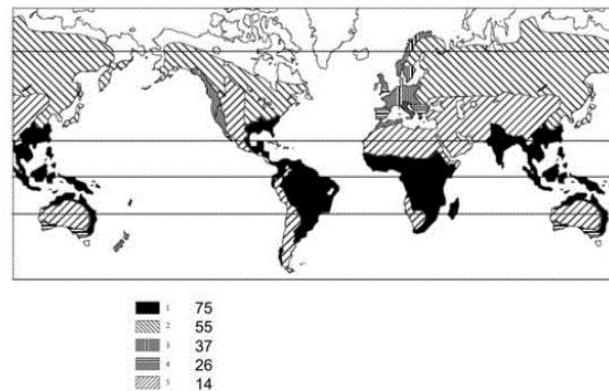
Exista zone terestre uscate si sezoane secetoase in regiuni de pe glob, dar si zone cu ploi abundente - cele din urma impun un link margin mai mare.

Ploile intense sunt continute in celule de ploaie care au o arie geografica limitata, relatia statistica intre ploaia locala si atenuarea din cauza acesteia la o anumita frecventa de microunde este un complex de mai multi factori.

ITU a adoptat un model de propagare a ploii (DAH) care leaga atenuarea cauzata de ploaie de frecventa si pentru un climat temperat ca in NE SUA sau W Europei – SatMaster un software de calcul pe baza acestui model.



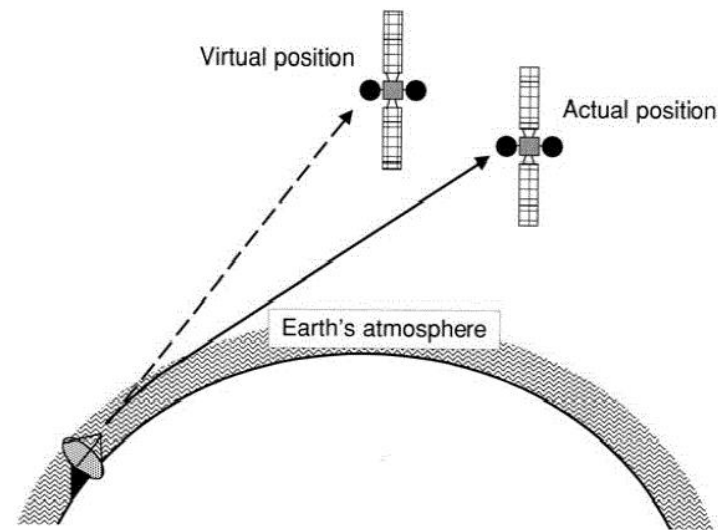
Cu cat unghiul de elevatie este mai mic, cu atat atenuarea creste. Ploaia intensa afecteaza polarizarea undei, mai ales peste 15GHz



Regiunile corespund cu 5 zone climatice care depasesc ratele indicate in mm/ora doar 0.01% din timp

Pierderi de propagare – refractia

Portiunea mai joasa a atmosferei, troposfera, scade in densitate pe masura ce distanta la sol creste. In consecinta, undele electromagnetice sunt deviate, aspect ce este luat in calcul doar la proiectarea sistemelor terestre de microunde (raza Terrei este crescuta cu factorul $4/3$ in calcule), la linkurile de satelit nefiind relevant datorita unghiului mult mai mare in raport cu Pamantul.



Refractia semnalului de microunde la trecerea prin straturile atmosferei, fapt ce face ca satelitul sa aiba o pozitie virtuala usor peste pozitia sa reala.

Stratul de particule ionizate de la circa 150 km inaltime (*ionosfera*) reflecta complet frecventele de la 0.1 la 30 MHz, fapt ce permite transmisiilor pe unde scurte sa acopere distante mari.

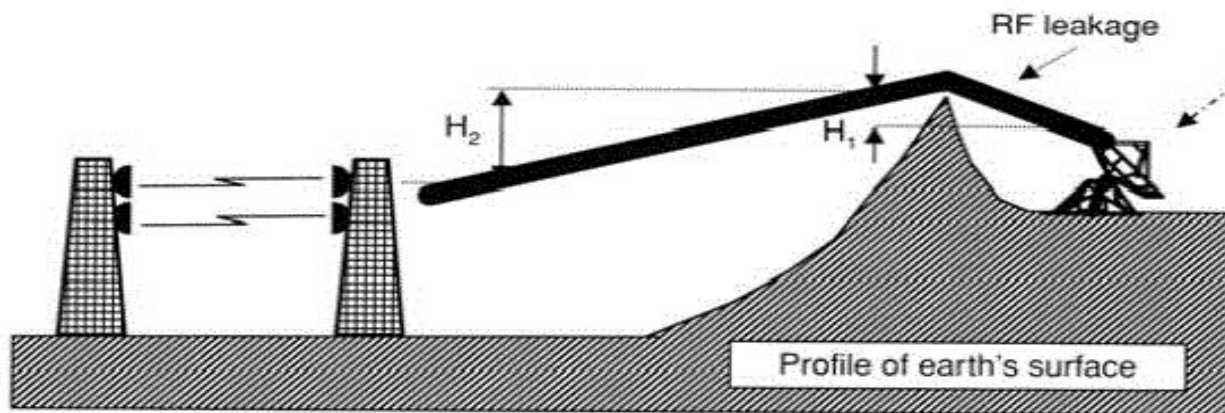
Pe langa refractie, in ionosfera apare si efectul Faraday, care afecteaza polarizarea liniara a transmisiilor pe microunde sub Ku.

Pierderi de propagare – imprastierea, difractia si umbrirea

Picaturile de apa imprastie semnalele de microunde, ceea ce face ca o parte din energia unde sa revina catre sursa ca RFI pt receptoarele terestre de microunde.

Difractia apare cand microundele intalnesc un obstacol fizic cum ar fi o cladire sau un munte.

Natura de tip “vizibilitate directa” a microundelor face ca orice blocaj sa reduca nivelul semnalului sub prag. Umbrirea poate fi tolerata doar daca este produsa de copaci aflati la distanta relativ mare, in rest situatia ramane aceeaasi.



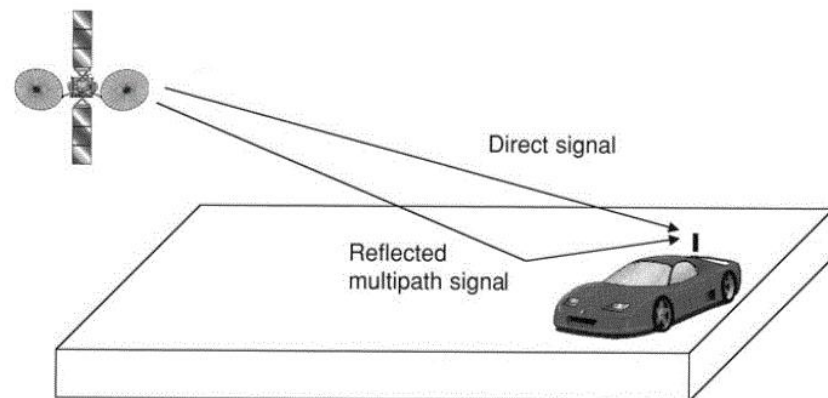
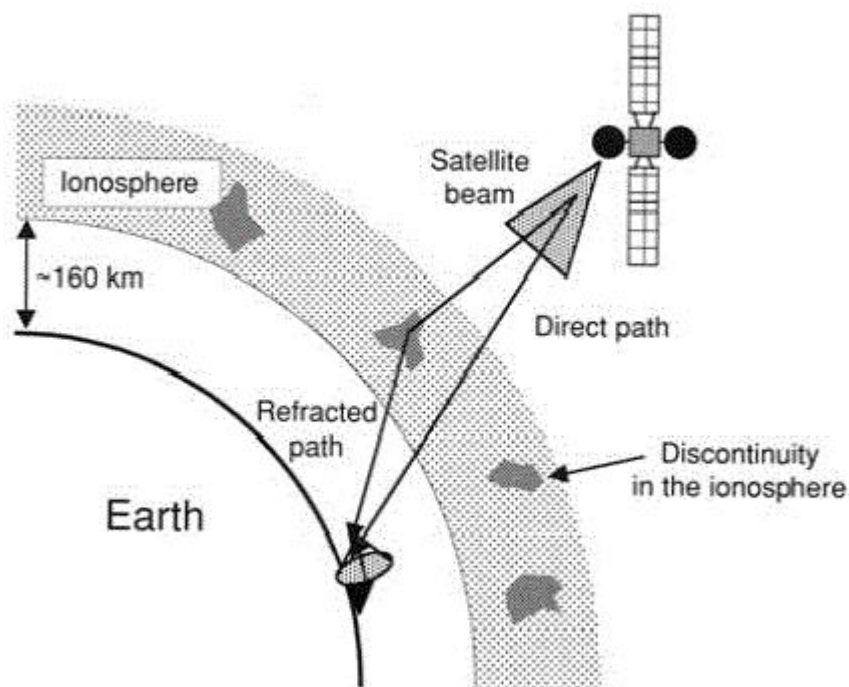
Utilizarea terenului pentru ecranare si blocajul RFI intre o statie de sol si un link de microunde terestru.

Daca avem vizibilitate directa ($H_1 = H_2 = 0$) intre acestea, pierderea de difractie este 6dB.

Pierderi de propagare – atenuarea de cale multipla

Atenuarea de cale multipla este rezultatul aceluasi semnal RF care implica atat calea directa, cat si o cale refractata usor mai lunga, semnalul refractat ajungand la antena de receptie usor intarziat fata de cel original.

Ea apare din cauza discontinuitatilor din ionosfera sau cand sunt conditii de umbrire, putand fie imbunatati, fie diminua semnalul.



Serviciile radio mobile terestre folosesc fenomenul multipath pentru a asigura acoperire in zonele cu blocaje din cauza terenului. Linkurile satelit nu permit un link margin de 30dB, astfel ca utilizatorul mobil va avea parte mai degraba de fading decat de imbunatatirea semnalului.