

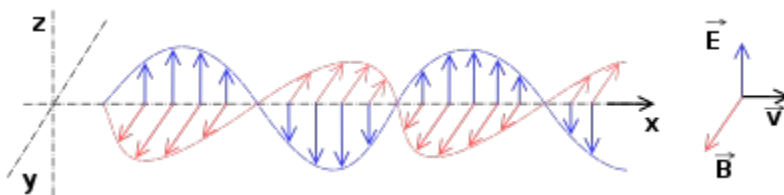
Radijski signali

Namen vaje

Spoznati osnove radijske komunikacije in razumeti osnovne pojme na tem področju, kot so elektromagnetno valovanje, polarizacija, modulacija in demodulacija, Fourierova transformacija, frekvenčni prostor, pasovna širina, frekvenčno mešanje, vmesna frekvenca ... Pogledali si bomo tudi najpreprostejše oblike modulacije in s pomočjo SDR (programirljivega radija) poslušali nekaj radijskih postaj, pogledali, kako deluje daljinec za vhodno rampo, in opazovali oddajanje plovil preko sistema AIS.

Radijski valovi

Pod tem poglavjem bomo pod pojmom radijski valovi razumeli njegov najbolj splošen pomen, to je vsako elektromagnetno valovanje, ki ga lahko uporabimo za elektrotehniško komunikacijo. To obsega valovanje v frekvenčnem področju od približno 100kHz do 10GHz. Kot pri vsakem elektromagnetnem valovanju tudi pri radijskih valovih nihata električno in magnetno polje v smeri pravokotni na smer razširjanja (transverzalna smer). V vsakem trenutku sta električno in magnetno polje pravokotna drug na drugega. Poleg tega sta električno in magnetno polje vedno sorazmerna (faktor je enak kvadratu svetlobne hitrosti). Vse povedano seveda ne velja splošno, ampak samo za valovanje v vakuumu. V snovi so stvari nekoliko bolj zapletene. EM valovanje v zraku se ne razlikuje bistveno od tistega v vakuumu, in ker radijski valovi potujejo pretežno po zraku, bomo privzetke brez zadržkov uporabili.



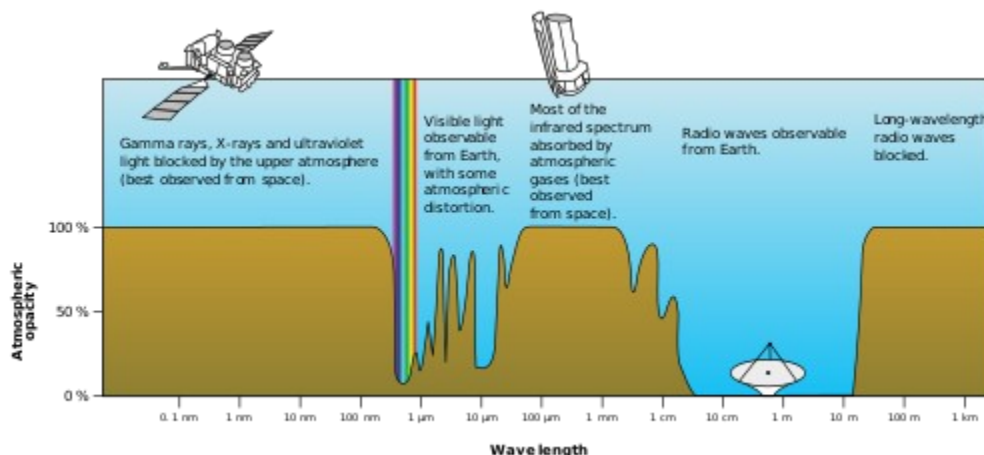
Slika 1: Primer polarizacije elektromagnetnega vala.

Električno polje niha v smeri osi z , magnetno pa v smeri osi y .

Na sliki 1 vidimo primer nihanja polja. Valovanje se širi v smeri osi x , električno polje niha v ravnini xz , magnetno pa v xy . Seveda bi lahko bili ravnini valovanja obeh polj zamenjani. Podobno bi lahko tvorili valovanje v poljubni smeri (pod poljubnim kotom), vendar se da tako valovanje zapisati kot linearno kombinacijo prvih dveh. Ravnina, v kateri polje niha (vseeno je katerega izberemo za izhodišče, ampak po navadi izberemo električnega), nam določa polarizacijo valovanja. Poleg tega je lahko polarizacija v vsaki točki širjenja, drugačna. Tako lahko dobimo krožni polarizaciji (levo- in desnoročna). Pri teh se polje širi po vijačnici. Tako polarizacijo uporabljamo pri signalih, kjer želimo minimizirati vpliv odbojev (npr. GPS). Pri odboju se namreč ročnost krožne polarizacije spremeni.

Vsako elektromagnetno valovanje ni primerno za komunikacijo. Pri nizkih frekvencah potrebujemo zelo velike antene, da lahko sploh učinkovito oddajamo in sprejemamo, pri

visokih pa je težava, da morajo biti dimenzije vezja (vsaj njegovega radijskega dela) zadosti majhne v primerjavi z valovno dolžino. Poleg tega je pomemben faktor absorpcija EM valovanja v atmosferi. Na sliki 2 vidimo, da so za prenos signala najbolj primerna valovanja frekvenc med 30MHz in 10GHz. Treba pa je poudariti, da ne absorbirajo vse plasti enako. Radijski valovi v območju približno 1MHz se lahko dobro širijo po nizki atmosferi, v ionosferi pa se odbijajo. To omogoča prenos nekaterih nizkofrekvenčnih signalov preko vidnega polja.



Slika 2: Atmosferska absorpcija EMV v odvisnosti od valovne dolžine.

Spekter EM valovanja

Vsak signal se da opisati kot sprememba neke količine (v našem primeru električnega oziroma magnetnega polja) po času in je torej ta količina z matematičnega stališča funkcija časa. Tak način je nazoren, ni pa vselej tudi najbolj priročen. V radijski tehniki se radi poslužujemo opisa v frekvenčnem prostoru. Da se namreč pokazati, da se vsak signal da zapisati kot linearna kombinacija (po domače povedano vsota z nekim številom pomnoženih) kotnih funkcij sinus in kosinus določenih frekvenc. Namesto, da opisujemo, kako se količina spreminja s časom, povemo, koliko je v danem signalu zastopan sinus oziroma kosinus pri dani frekvenci (argument obeh kotnih funkcij je seveda $2\pi ft$, kjer je f frekvenca t pa čas). Oba zapisa sta popolnoma ekvivalentna. Iz enega v drugega pa prehajamo s t. i. Fourierovo transformacijo. V matematične podrobnosti slednje se ne bomo spuščali.

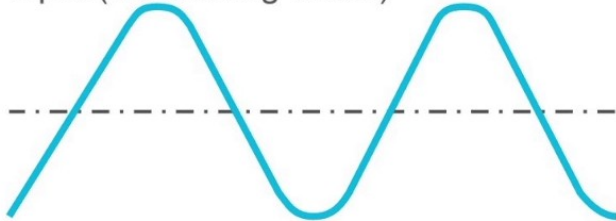
Frekvenco lahko ostro določimo, samo če je signal konstanten in traja v nedolged. Pri komunikacijah je to seveda nesmiselno, ker moramo signal na dani frekvenci spreminjati, če želimo sploh kaj smiselnega oddajati. Zato se bo signal razmazal in bomo poleg nosilne frekvence dobili še cel kup bližnjih frekvenc. V splošnem velja, da hitreje kot spreminjamo podatke, bolj se porazdelitev razmaže okrog centralne frekvence in širši frekvenčni pas potrebujemo za prenos.

Modulacija

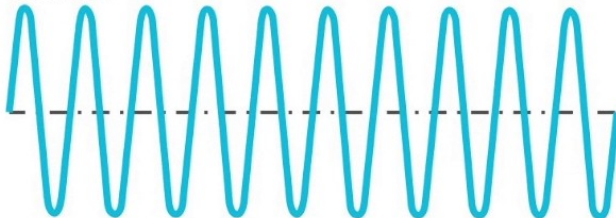
Modulacija je način oddajanja želenega signala preko elektromagnetnih valov. Pogledali si bomo najpreprostejši modulaciji. To sta amplitudna (AM) in frekvenčna (FM) modulacija. Pri prvi se amplituda nihanja nosilnega signala spreminja s signalom, ki ga želimo prenašati. Pri drugi pa se spreminja frekvenca. Na sliki 3 vidimo primer, kako moduliramo sinus. Jasno je, da mora v obeh primerih biti frekvenca nosilnega signala dosti večja od signala, ki ga želimo prenesti.

Amplitude Modulation (AM)

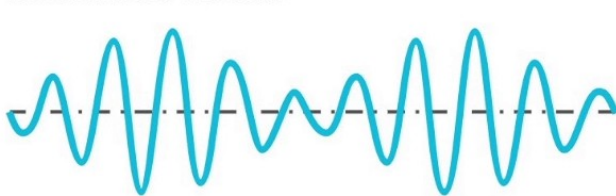
Input (Modulating Wave)



Carrier

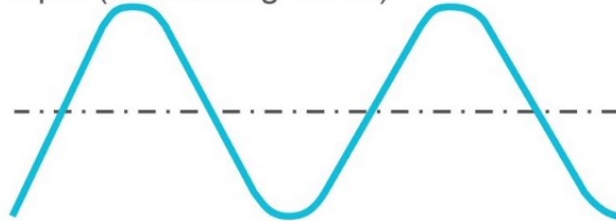


Modulated Result

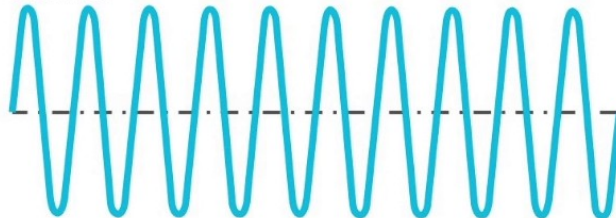


Frequency Modulation (FM)

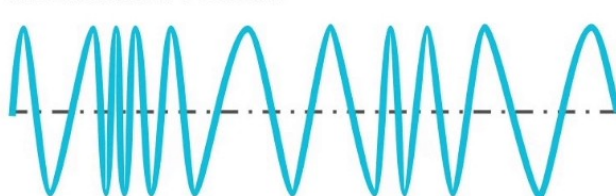
Input (Modulating Wave)



Carrier



Modulated Result



Slika 3: Primer amplitudne (levo) in frekvenčne (desno) modulacije sinusnega signala.

Sprejem signala z mešanjem

Zaradi visokih frekvenc, ki so prisotne pri radijskih signalih, si ne moremo privoščiti njihove direktne obdelave. Zato uporabimo tehniko mešanja. Preden opišemo, kaj to je, bomo naredili krajši matematični uvod. Za izhodišče si prikličemo nekaj trigonometrijskih relacij:

$$\sin a \sin b = (\cos(a-b) - \cos(a+b))/2$$

$$\cos a \cos b = (\cos(a-b) + \cos(a+b))/2$$

$$\sin a \cos b = (\sin(a-b) + \sin(a+b))/2$$

Te relacije nam pomagajo pri zajemu signala na dani frekvenci. Radijski signal z antene pomnožimo s sinusnim oziroma kosinusnim nihanjem (pomembno je, da je fazni zamik med obema signaloma 90°) lokalnega oscilatorja, ki niha na dani frekvenci, ki ji pravimo vmesna frekvenca in jo bomo označevali z f_0 . Vemo, da lahko signal na anteni opisujemo kot vsoto sinusnih nihanj. Ko pomnožimo celoten signal z nihanjem na vmesni frekvenci, se vsaka komponenta na frekvenci f spremeni tako:

$$\sin(2\pi ft) \sin(2\pi f_0 t) = (\cos(2\pi(f-f_0)t) - \cos(2\pi(f+f_0)t))/2.$$

Če je vmesna frekvenca približno enaka nosilni frekvenci, bo izraz v prvem kosinusu nihal počasi, v drugem pa s približno dvakratnikom vmesne frekvence. Slednjega se lahko znebimo z nizkopasovnim filtrom. Tako dobimo signale, ki nihajo s frekvencami primerljivimi s frekvencami signala, ki smo ga hoteli prenesti. Podoben razmislek velja za kosinusne komponente radijskega signala in za kosinusno komponento na lokalnem oscilatorju.

Signalu dobljenem iz sinusa pravimo sofazni signal (ang. in-phase signal) in ga označujemo z $i(t)$, tistega iz kosinusa pa kvadrturni (quadrature) in ga označujemo s $q(t)$. Z obdelavo obeh, lahko rekonstruiramo originalni radijski signal v frekvenčnem območju okrog vmesne frekvence in ga obdelujemo pri nizkih frekvencah.

Programirljivi radio (SDR)

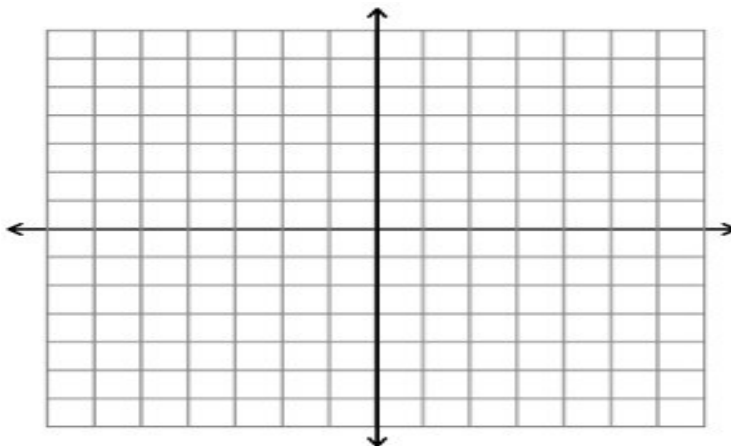
Programirljivi radio ali SDR (software defined radio) je koncept radija, kjer se sprejem na anteni skupaj z mešanjem izvaja na za tem določenem vezju, obdelava sofaznega in kvadraturnega signala pa poteka na računalniku. Ti signali so namreč zadosti počasni, da jih lahko prenesemo na računalnik (preko vmesnika USB, mrežnega vmesnika ...) in jih tam obdelujemo. Tak koncept nam omogoča, da lahko z isto opremo zajemamo (obstajajo podobne različice, ki tudi oddajajo) zelo različne radijske signale in jih obdelujemo.

Za začetek si bomo pogledali radijske postaje v frekvenčnem območju od 88-108MHz. Kot najbrž že veste, so te postaje modulirane frekvenčno. Zato bomo signala i in q tudi demodulirali frekvenčno. Za to opravilo bomo uporabili orodje GNUradio, ki je programski paket, kjer posamezne komponente zlagamo kot grafične bloke (lahko pa z njim tudi programiramo v okolju python).

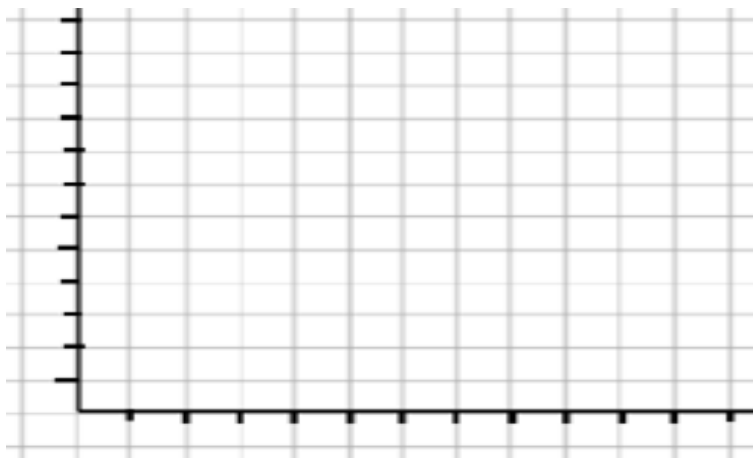
Poiščite nekaj radijskih postaj, jih vpišite v tabelo in sproti zapišite jakost signala.

[illegible]

Izmed naštetih postaj si izberite najmočnejšo in njen spekter vrišite v spodnji graf.



Pri isti postaji si izberite dani trenutek in izrišite spekter poslanega signala.



Naslednjo stvar si bomo pogledali oddajanje daljinca za vhodno rampo. Ti po navadi oddajajo v prostem (v smislu nealociranem) pasu okrog 433MHz, natančneje na 433,92MHz. Vmesno frekvenco bomo nastavili na 433,5MHz in opazovali signal na vodnem slapu. Potem bomo signal analizirali. Ali lahko iz dobljene slike določite časovno in frekvenčno ločljivost?

$\delta t =$ _____

$\delta f =$ _____

Kolikšen je produkt obeh?

$\delta f \delta t =$ _____

Kakšna mora biti minimalna časovna ločljivost, da lahko signal verodostojno razberemo? Kakšna je takrat frekvenčna ločljivost?

$\delta t =$ _____

$\delta f =$ _____

Privzamimo za kratek signal digitalno 0 in za dolgega 1. Zapišite zaporedje, ki ga oddaja izmerjeni

daljinec:

Za konec si bomo pogledali še oddajanje plovil v sistemu AIS. AIS je sistem za identifikacijo plovil, ki je obvezen za vsa večja plovila, prisoten pa je tudi v nekaterih manjših. Vsako plovilo mora v nekem časovnem intervalu oddajati podatke o svoji legi, hitrosti, smeri premikanja, pa še nekaj o svoji identifikaciji. Sistem deluje na dveh kanalih (eden na 161,975MHz, drugi na 192,025MHz). Posamezen prenos traja 26,6ms. Podatki so modulirani z GMSK modulacijo. Ne bomo se spuščali v podrobnosti, kaj ta modulacija je, povejmo le, da je njeno raztezanje okrog nosilno frekvence zelo majhno (precej blizu teoretični meji), najbolj popularna pa je, ker se uporablja pri prenosu mobilne telefonije po sistemu GSM.