

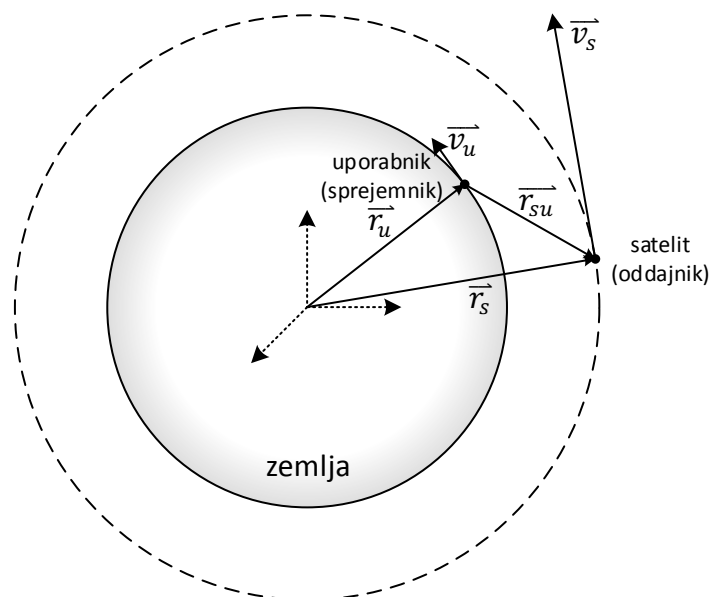
## Doppler-jev premik frekvence v satelitskih zvezah

### Doppler-jev pomik

Doppler-jev pomik imenujemo pojav, ko se zaradi premikanja sprejemnika, oddajnika ali obeh, spremeni navidezna frekvenca valovanja v sprejemni točki. Doppler-jev pomik je sorazmeren z razmerjem med hitrostjo premikanja sprejemnika/oddajnika ter hitrostjo razširjanja valovanja. Frekvenca valovanja se navidezno zviša, če se sprejemnik in oddajnik približujeta drug k drugemu, če se drug od drugega oddaljujeta, se frekvenca v sprejemni točki zniža.

Elektromagnetno (radijsko, svetlobno) valovanje se običajno razširja po skoraj povsem praznem prostoru. Doppler-jev pojav je tedaj izključno odvisen od medsebojne hitrosti sprejemnika in oddajnika, kar je eno od osnovnih načel relativnostne teorije, ki pravi, da lahko izmerimo le relativno (linearno) hitrost, nikakor pa ne moremo izmeriti absolutne hitrosti.

Doppler-jev pomik za elektromagnetno valovanje v praznem prostoru opišemo z enačbo na Sliki 1. Negativni predznak pomeni, da se pri naraščanju razdalje (oddaljevanju) frekvenca valovanja v sprejemni točki zniža. Če predpostavimo, da se lahko premikata oba, oddajnik in sprejemnik, potem v končnem rezultatu za odvod medsebojne razdalje po času nastopajo vektorja položaja in vektorja hitrosti oddajnika in sprejemnika. Vektorja hitrosti nujno nastopata izključno v razliki skladno z relativnostno teorijo.



$$\Delta f = -f_o \cdot \frac{1}{c} \cdot \frac{d|r_{su}|}{dt} = -\frac{f_o}{c} \cdot \frac{(\vec{r}_s - \vec{r}_u) \cdot (\vec{v}_s - \vec{v}_u)}{|\vec{r}_s - \vec{r}_u|}$$

Slika 1: Dopplerjev pomik frekvence sprejetega signala.

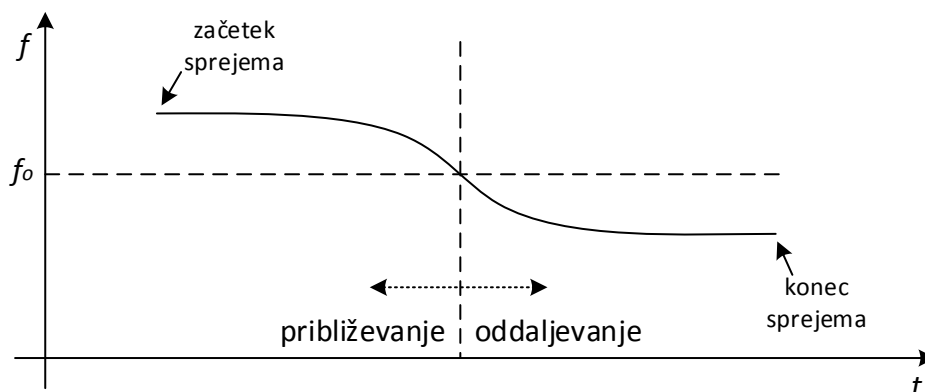
Ker je hitrost razširjanja elektromagnetnega valovanja v praznem prostoru zelo velika (približno 300.000 km/s), Doppler-jevega pomika običajno sploh ne opazimo v večini resničnih radijskih zvez, kjer so hitrosti oddajnikov in sprejemnikov razmeroma majhne. Že sama nestabilnost frekvence oddajnika ali sprejemnika oziroma širina ne modulirane spektralne črte je običajno za nekaj velikostnih razredov večja od Doppler-jevega pomika. Doppler-jev pomik

zlahka opazimo edino v napravah, ki uporabljajo isti izvor visokofrekvenčnega nihanja v oddajniku in v sprejemniku, na primer v enostavnem radarju za merjenje hitrosti.

Doppler-jev pomik lažje opazimo v mobilnih zvezah s hitrimi vozili, reaktivnimi letali ali umetnimi Zemljinimi sateliti. Hitrost satelita v zemeljski tirnici lahko preseže 10 km/s, kar v primerjavi s svetlobno hitrostjo znaša en del v 30000. Ker znaša stabilnost frekvence sodobnih radijskih oddajnikov in sprejemnikov en del v milijonu, je Doppler-jev pomik v satelitskih zvezah običajno lahko opazovati in natančno izmeriti.

Pri določanju Doppler-jevega pomika v radijski zvezi s satelitom moramo upoštevati premikanje obeh, satelita in zemeljske postaje (uporabnika). Hitrost satelita v nizki tirnici okoli Zemlje znaša približno 8 km/s, pri določanju hitrosti uporabnika pa ne smemo pozabiti na vrtenje Zemlje, ki hitrosti uporabnika dodaja do 465 m/s na ekvatorju.

Časovni potek Doppler-jevega pomika pri sprejemu satelita v nizki tirnici okoli Zemlje je prikazan na Sliki 2. Zaradi veliko večje hitrosti je prevladujoči vzrok Doppler-jevega pomika premikanje satelita. Na začetku sprejema signalov s satelita, ko se satelit ravno prikaže nad obzorjem, je frekvenca signala višja in le počasi upada. Hitrost upadanja frekvence doseže najvišjo vrednost ravno takrat, ko se nam satelit najbolj približa in doseže najvišjo elevacijo na vidnem delu neba. Z oddaljevanjem se hitrost upadanja frekvence spet niža vse dokler satelit ne zaide za naše obzorje.



Slika 2: Časovni potek Dopplerjevega pomika pri sprejemu satelita v nizki tirnici.

Doppler-jev pomik običajno obravnavamo kot škodljiv pojav v satelitskih komunikacijah, saj morajo biti sprejemniki in oddajniki načrtovani za sprotno popraviljanje Doppler-jevega pomika. Zaradi Doppler-jevega pomika satelitska oddaja navidezno zavzame širši frekvenčni pas. Po drugi strani pa je Doppler-jev pomik lahko zelo koristen pojav, ki ga izkoriščamo v satelitski navigaciji, to je za določanje položaja zemeljske postaje, točne tirnice satelita ali obeh.

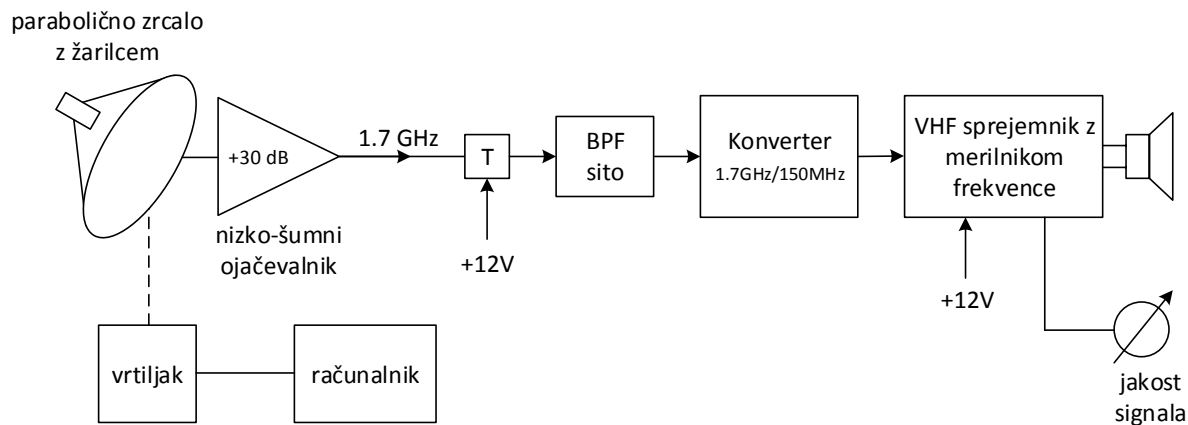
### Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

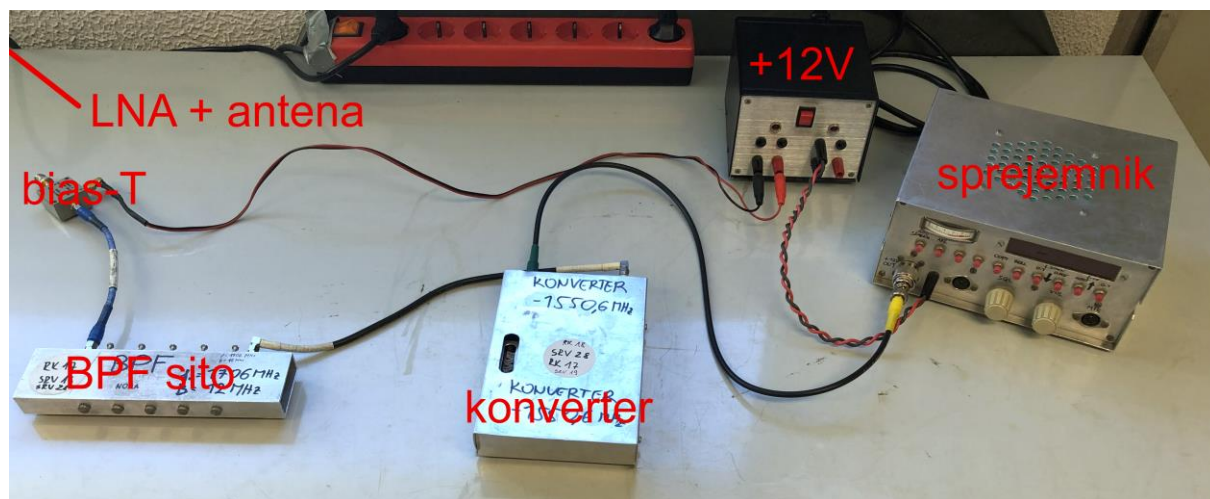
- Desno-krožno polariziran žarilec s paraboličnim zrcalom za področje 1,7 GHz.
- 30-dB nizko šumni ojačevalnik za frekvenčno področje 1,7GHz z bias-T členom.
- Pasovno prepustno sito za 1.7 GHz
- Sprejemni konverter za 1,7GHz in ustrezen FM sprejemnik z AFC vezjem, merilnikom frekvence in napajalnikom.

- Računalnik s programom za izračun tirnice satelita, kotomer ter kompas.
- Vrtiljak za anteno (po možnosti z vmesnikom za računalnik).
- Uro (štoparico) s prikazom minut in sekund.
- Priključne kable za vse povezave.

Postavitev merilnih pripomočkov prikazuje Slika 3, razporeditev pa Slika 4.



Slika 3: Skica vezave merilnih pripomočkov



Slika 4: Slika vezave merilnih pripomočkov

### Opis poteka vaje

Doppler-jev pomik najlažje izmerimo na ne-moduliranem nosilcu. Takšne oddaje običajno nimamo na razpolago, ker vsi sateliti modulirajo nosilec z informacijo, ki jo želijo prenašati do sprejemne postaje na Zemlji. Za meritev Doppler-jevega pomika moramo zato sprejeti signal najprej tako obdelati, da iz celotnega signala izluščimo samo nosilec.

Za šolsko meritev Doppler-jevega pomika so primerni ameriški vremenski sateliti vrste NOAA v nizkih polarnih tirnicah okoli Zemlje ( $h=800$  km) s periodo okoli 100 minut. Oddaja satelitov NOAA v frekvenčnem področju 1,7 GHz je digitalni prenos podatkov (vremenski slik) s hitrostjo 665,4 kbit/s. Podobne signale oddajajo tudi sateliti ORBVIEW in FENGYUN.

Pred začetkom meritve pustimo sprejemnik vključen najmanj pol ure, da meritve ne bi motila nestabilnost frekvence samega sprejemnika. Pred meritvijo si na računalniku s programom za izračun tirnice satelita ogledamo, kdaj in kakšen prelet bo imel satelit. S podatki iz računalnika

tudi vodimo (ročno ali avtomatsko) vrtiljak antene po azimutu in elevaciji, da z anteno sledimo premikanju satelita preko neba.

Nazivna frekvenca satelitov NOAA je 1698,000 MHz ali 1707,000 MHz. Od dveh oddajnikov je običajno vključen le eden. Pri uporabi konverterja pred sprejemnikom seveda upoštevamo frekvenčni premik konverterja, ki ga prištejemo številki, odčitani na LED prikazovalniku sprejemnika. Sprejemnik je sicer opremljen z AFC vezjem, ki zna sprejemnik samodejno nastaviti in obdržati na sprejemanem signalu.

Ko prvič ujameмо satelitski signal, si zabeležimo čas in frekvenco na skali sprejemnika, nato pritisnemo gumb AFC da sprejemnik samodejno nastavlja frekvenco sprejema. Nadalje beležimo premike frekvence in točen čas, ko se to zgodi. Z anteno seveda ves ta čas sledimo satelitu, ki se premika preko neba, in to tako, da poiščemo z anteno smer za najmočnejši sprejem. Pomagamo si s poslušanjem signala preko zvočnika. Kadar slišimo šum, smo z anteno izgubili oddajo s satelita. Končni rezultat meritve je krivulja podobna Sliki 2, s točno označeno časovno in frekvenčno skalo.

Po končani meritvi iz izrisane krivulje razberemo največji Dopplerjev premik in ocenimo hitrost satelita v tirnici. Sredina (prevoj) v krivulji ustreza točki, ko se nam je satelit najbolj približal in dosegel najvišjo točko na nebu. Pri tem je najbolj zanimiva primerjava s časom, ki ga je določil računalnik. Iz te primerjave lahko določimo, kolikšno je odstopanje podatkov o tirnici satelita, ki so shranjeni v računalniku.

### Naloga

1. Izmerite Dopplerjev pomik frekvence v satelitskih zvezah za en prelet satelita. Rezultat izrišite na graf kot funkcijo frekvence v odvisnosti od časa.
2. Iz rezultatov izberite največji Dopplerjev premik in ocenite hitrost satelita v tirnici.