

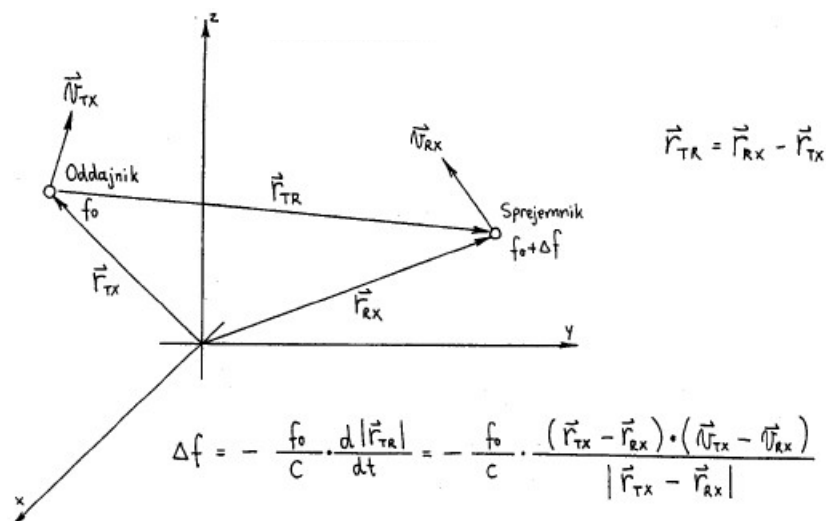
VAJA 7: Merjenje hitrosti z Doppler-jevim radarjem

1. Merjenje hitrosti z elektromagnetnim valovanjem

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 oddaljujeta drug od drugega, se frekvenca v sprejemni točki seveda 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 osnovnih načel relativnostne teorije, ki pravi, da lahko izmerimo le relativno (linearno) hitrost, nikakor pa ne moremo izmeriti absolutne hitrosti.

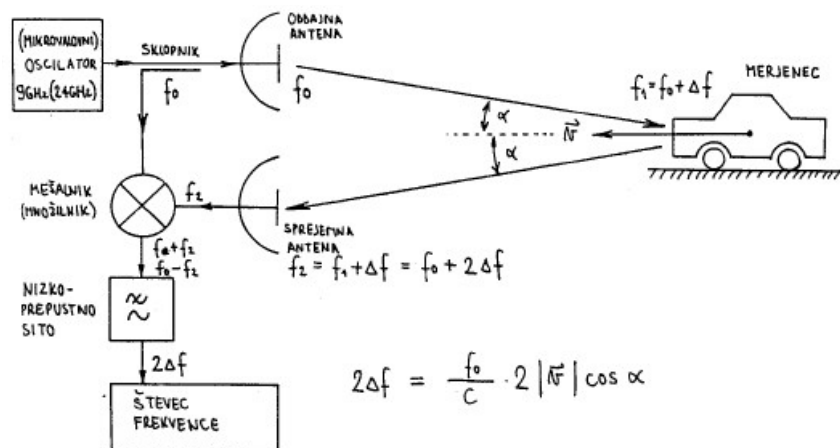
Doppler-jev pomik za elektromagnetno valovanje v praznem prostoru opišemo z enačbo na Sliki 1. Negativni predznak pomeni, da se pri naraščanju razdalje (oddaljevanju) frekvenca valovanja v sprejemni točki zniža. Ker je hitrost razširjanja elektromagnetnega valovanja v praznem prostoru zelo velika (c je okoli 300000 km/s), je Doppler-jev pomik frekvence običajno razmeroma majhen v primerjavi s frekvenco valovanja.



Slika 1: Doppler-jev pomik frekvence sprejetega signala

Kljub temu, da je Doppler-jev pomik razmeroma majhen, je lahko nadležen pojav v radijskih zvezah na visokih frekvencah, še posebno v slučaju vesoljskih zvez, kjer so hitrosti nekaj velikostnih razredov višje. Po drugi strani pa lahko Doppler-jev pojav izkoristimo za merjenje hitrosti oziroma za razlikovanje različnih signalov glede na različne hitrosti izvorov oziroma odbojnikov valovanja. Ker je pomik frekvence skalarna veličina, lahko s pomočjo Doppler-jevega pojava merimo le eno komponento vektorja hitrosti, bolj točno komponento v smeri proti drugi anteni radijske zveze.

Običajna izvedba Doppler-jevega radarja za merjenje hitrosti (vozil) je prikazana na Sliki 2. Oddajnik stalno oddaja nemoduliran (*angl. Continuous Wave – CW*) nosilec s frekvenco f_0 . Če se merjenec premika proti oddajni anteni, se na mestu odboja frekvenca navidezno poveča na f_1 za vrednost Doppler-jevega pomika. Ker pa se odbojnik valovanja približuje tudi sprejemni anteni, se frekvenca še enkrat poveča za Doppler-jev pomik na vrednost f_2 .



Slika 2: Običajna izvedba Doppler-jevega radarja

Frekvenca sprejetega valovanja f_2 torej vsebuje dvakratni Doppler-jev pomik glede na frekvenco oddajnika. Kljub temu neposredna meritev f_2 ni smiselna, saj je tudi dvakratni pomik še vedno razmeroma majhen (manj kot ena milijoninka) glede na frekvenco oddajnika f_0 . Doppler-jev radar zato vsebuje mešalnik (množilnik) iz katerega dobimo vsoto $f_0 + f_2$ in razliko $f_0 - f_2$ obeh frekvenc. Razliko izluščimo z nizkoprepustnim sitom in jo peljemo na števec frekvence.

Ker merimo razliko frekvenc, se majhna odstopanja frekvence oddajnika f_0 v približku prvega reda odštejejo in bistveno ne kazijo točnosti meritve. Namesto sklopnika za signal oddajnika f_0 pogosto zadošča že presluh med sprejemno in oddajno anteno oziroma presluh v cirkulatorju, ko za oddajo in sprejem uporabimo kar isto anteno. Mešalnik je običajno kar mikrovalovna dioda, ki deluje v kvadratičnem režimu kot množilnik.

Z uporabo dveh mešalnikov (dveh množilnikov ali dveh diod), ki delujejo s faznim zamikom četrt periode, lahko razlikujemo tudi smer Doppler-jevega pomika, to se pravi ugotovimo, ali je frekvenca f_2 višja ali nižja od frekvence f_0 . Pojav koristno izrabimo na primer v radarskem detektorju za samodejno odpiranje vrat (vrata se odpirajo samo takrat, ko se nekdo približuje in ostanejo zaprta, ko se oddaljuje), oziroma za razlikovanje smeri vožnje vozil na cesti.

Doppler-jev pomik lahko izkoristimo tudi v impulznih radarjih. Na ta način lahko na primer razločimo med šibkim odbojem od premikajočega se letala in dosti močnejšim odbojem od mirujočega hriba. Ker je Doppler-jev pomik kljub temu manjši od frekvence ponavljanja impulzov, impulzno-Doppler-jev radar potrebuje oddajnik z zelo stabilno frekvenco in zahtevno obdelavo signalov odmevov več zaporednih impulzov.

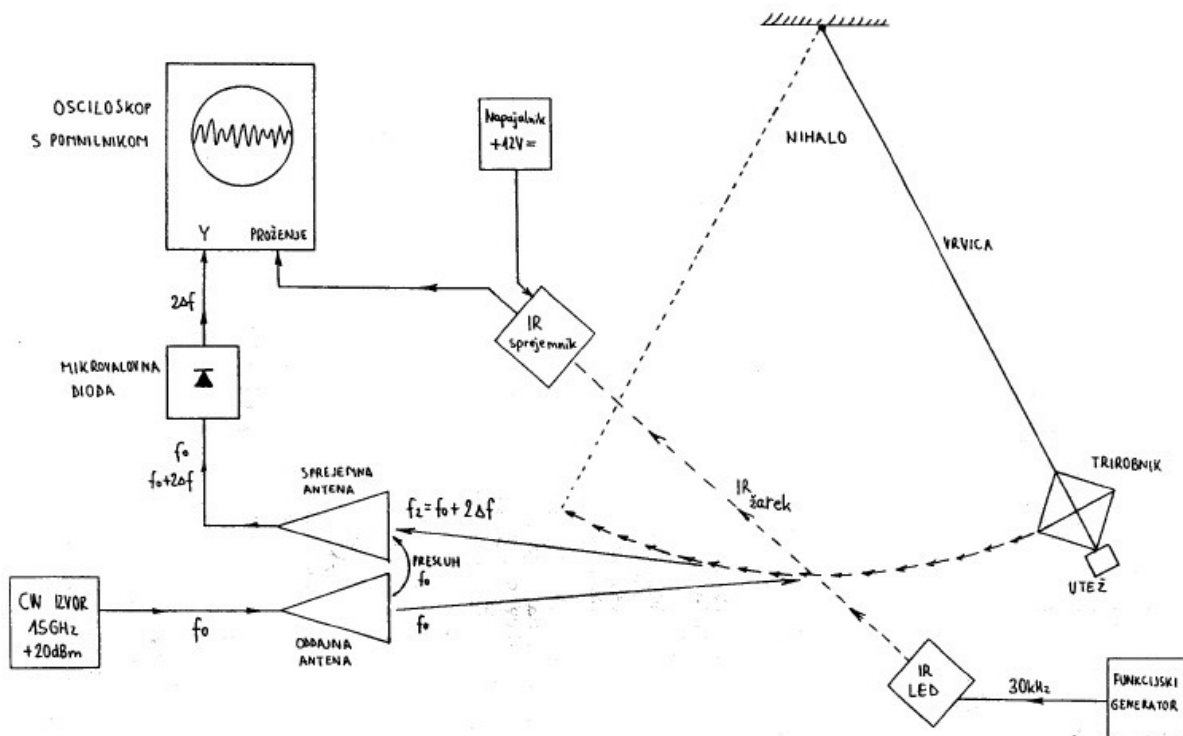
2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Nemodulirani (CW) mikrovalovni izvor 15 GHz, +20 dBm (100 mW).
- Dva piramidna lijaka za 15 GHz z dobitkom vsaj 20 dBi.
- Nihalo z utežjo in trirobnikom.
- Meter za merjenje odmika nihala.
- Mikrovalovno detektorsko diodo v ohišju.
- Modulirani IR oddajnik (LED in funkcijski generator).
- IR sprejemnik z napajalnikom.

- Osciloskop s pomnilnikom.
- Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na Sliki 3.



Slika 3: Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov

3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Za vajo izmerimo Doppler-jev pomik na odboju od tarče z znano hitrostjo. Kot premikajočo tarčo uporabimo matematično nihalo, kjer razmeroma enostavno in točno določimo hitrost uteži iz odmika nihala. Odboj radijskih valov od uteži povečamo tako, da na utež namestimo triobrnik.

Poskus izvedemo v sobnih razmerah na čim višji frekvenci, kjer je Doppler-jev pomik večji in so izmere anten ter odbojnika sorazmerno manjše. Praktična izbira je frekvenca 15 GHz oziroma valovna dolžina 2 cm. Na tej frekvenci razpolagamo z razmeroma močnimi (100 mW) polprevodniškimi izvori, ki jih lahko uporabimo kot oddajnik radarja.

Zaradi enostavnosti izvedemo poskus z ločenima sprejemno in oddajno anteno. Sklopnika za signal s frekvenco oddajnika ne potrebujemo, saj zadošča presluh med antenama oziroma bolj točno odboji od številnih mirujočih predmetov v sobi. Ker sta valovodna lijaka linearno polarizirana, ju moramo namestiti tako, da imata oba enako polarizacijo.

Kot mešalnik uporabimo mikrovalovno detektorsko diodo. Ker dioda ne ojačuje signalov, bo izhodni signal razmeroma majhen, v velikostnem razredu nekaj milivoltov. Mikrovalovne diode so običajno izdelane kot negativni detektorji, se pravi ima usmerjena izhodna napetost negativen predznak glede na maso (ohišje diode). Nizkoprepustno sito je vgrajeno v samo ohišje diode, da dobimo na izhodu le razliko frekvenc.

Produkt mešanja, ki ustreza dvojnemu Doppler-jevemu pomiku frekvence, najlažje opazujemo na osciloskopu. Osciloskop sam že vsebuje ojačevalnik z dovolj velikim ojačenjem, da lahko merimo milivolte na izhodu detektorske diode. Na osciloskopu seveda ne moremo

opazovati frekvence oddajnika 15 GHz kot tudi ne vsote frekvenc, saj je gornja frekvenčna meja osciloscopa za vsaj tri velikostne razrede prenizka.

Ker odbojnik (tarča) niha, se njegova hitrost stalno spreminja, kar lahko takoj opazimo tudi na osciloskopu. Da izmerimo hitrost odbojnika v takšnih razmerah, osciloskop prožimo v točno določeni točki nihanja nihala, ko nihalo preseka pot infrardečemu žarku med LED in IR sprejemnikom. LED krmilimo s frekvenco 30 kHz iz funkcijskega generatorja, da lahko IR sprejemnik razloči šibko sevanje LED od močne sobne svetlobe.

4. Prikaz značilnih rezultatov

Za vajo izmerimo hitrost nihala na dva načina in na koncu primerjamo rezultate. Hitrost v obeh slučajih določamo v najnižji točki nihala, ko je ta največja. Pri matematičnem nihalu hitrost preprosto izračunamo iz odmika nihala, saj se potencialna energija uteži povsem pretvori v kinetično energijo. Zračni upor upoštevamo tako, da izmerimo upadanje amplitude v enem celem nihaju in potem vzamemo povprečno vrednost za energijo.

Hitrost lahko seveda izračunamo tudi iz odčitka dvojnega Doppler-jevega pomika na osciloskopu. En nihaj dvojne Doppler-jeve razlike ustreza poti ene polovice valovne dolžine odbojnika v prostoru. Pri valovni dolžini 2 cm torej en nihaj dvojne razlike usteza poti 1 cm. Časovno periodo razlike natančneje izmerimo na osciloskopu tako, da povprečimo vsaj deset zaporednih nihajev dvojnega Doppler-jevega pomika.

Končni rezultat vaje pripravimo v obliki tabele. Za pet različnih odmikov nihala izračunamo oziroma izmerimo hitrost na oba načina. Iz dobljenih rezultatov nato ocenimo točnost meritve hitrosti z Doppler-jevim radarjem.