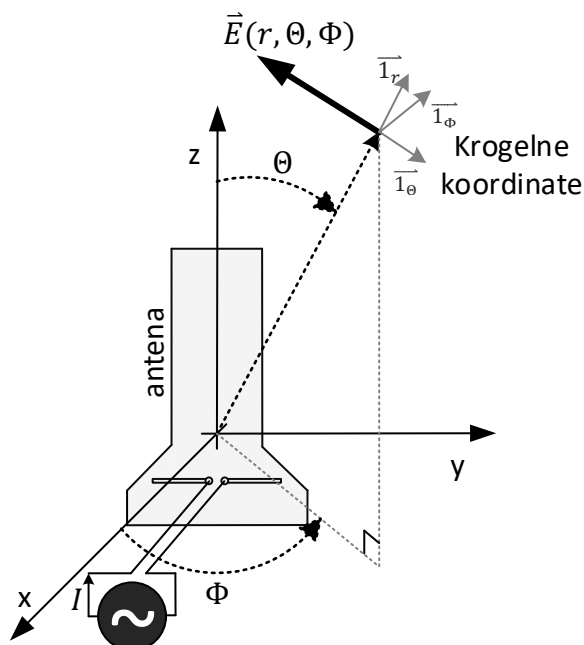


Merjenje smernega diagrama antene

Smerni diagram

Vsako anteno opisujeta dva pomembna podatka: smerni diagram $F(\theta, \Phi)$ in sevalni izkoristek η . Smerni diagram pove, v katero smer antena izseva moč, ki jo dovaja oddajnik oziroma iz katere smeri prihaja moč, ki jo antena daje sprejemniku. S preprostimi besedami: slednji pomeni, kam naj antena seva in kam naj antena ne seva. $F(\theta, \Phi)$ imenujemo tudi amplitudni smerni diagram, čeprav je to kompleksna funkcija, ki opisuje spreminjanje amplitude in faze polja v odvisnosti od smeri θ in Φ . Sevalni izkoristek pove, kolikšen delež moči oddajnika se koristno pretvori v valovanje v praznem prostoru oziroma kolikšen delež prispele moči iz praznega prostora konča v sprejemniku.

Smerni diagram običajno zapišemo v krogelnem koordinatnem sistemu, kjer je Φ zemljepisna dolžina, namesto zemljepisne širine pa uporabljamo polarno razdaljo θ .



$$\vec{E} = \vec{1}_p \propto I \frac{e^{-j2\pi \frac{r}{\lambda}}}{r} F(\theta, \Phi)$$

polarizacija

$$D = \frac{4\pi |F(\theta_{MAX}, \Phi_{MAX})|^2}{\oint_{4\pi} |F(\theta, \Phi)|^2 d\Omega}$$

$$F\left(\theta, \Phi = \frac{\pi}{2}\right) \equiv \text{Ravnina } \vec{E} \text{ (yz)}$$

$$F(\theta, \Phi = 0) \equiv \text{Ravnina } \vec{H} \text{ (xz)}$$

Slika 1: Smerni diagram antene

Anteno postavimo v koordinatno izhodišče. Sevano električno polje antene $\vec{E}$ je vektorska funkcija vseh treh koordinat: oddaljenosti od izhodišča r , polarne razdalje θ in zemljepisne dolžine Φ . Elektromagnetno valovanje je prečno valovanje: polarizacijo sevanega električnega polja opisuje smerni vektor $\vec{1}_p$. Električno polje je sorazmerno amplitudi in fazi toka izvora, ki vzbuja anteno. Pri dovolj veliki razdalji je odvisnost od razdalje za vse antene enaka. Amplituda polja upada obratno sorazmerno razdalji. Kompleksna eksponentna funkcija $\exp(-j2\pi \cdot r/\lambda)$ opisuje zakasnitev faze zaradi potovanja valovanja s hitrostjo svetlobe skozi prazen prostor. Če nam meritev daje drugačno odvisnost od razdalje, to preprosto pomeni, da merimo preblizu.

Pogosto zasledimo tudi drugačne oblike zapisa smernega diagrama. Močnostni smerni diagram $|F(\theta, \Phi)|^2$ je enak kvadratu absolutne vrednosti amplitudnega smernega diagrama

in opisuje odvisnost gostote pretoka sevanje moči od smeri. V logaritemskih merskih enotah zapišemo smerni diagram v decibelih kot $20 \log_{10} |F(\Theta, \Phi)|$. Smerni diagram je lahko normiran na enoto ali 0dB v smeri največjega sevanja, vendar to ni nujno potrebno. Ne glede na obliko zapisa je smerni diagram antene funkcija dveh spremenljivk, ki je ni lahko narisati, kaj šele na ta način primerjati različne antene med sabo.

Od številnih lastnosti antene nas najbolj zanima smernost D (angleško: directivity). Smernost je neimenovano razmerje, ki nam pove, kolikokrat višjo gostoto moči seva antena v željeni smeri v primerjavi s popolnoma neusmerjeno (izotropno) anteno pri enaki (nespremenjeni) skupni izsevani moči. Iz znanega smerne diagrama izračunamo smernost tako, da močnostni smerni diagram v smeri največjega sevanja $|F(\Theta_{MAX}, \Phi_{MAX})|^2$ delimo s celotno sevano močjo, to je seštevkom (integralom) močnostnega smerne diagrama $|F(\Theta, \Phi)|^2$ v vseh smereh v polnem prostorskem kotu 4π . Smernost pogosto preračunamo v decibele glede na izotropno anteno s pomočjo enačbe: $D_{dBi} = 10 \log_{10} D$.

Soroden pojem smernosti je dobitok G (angleško: gain). Dobitek antene je zmnožek sevalnega izkoristka in smernosti antene. Tudi dobitok je neimenovano razmerje, zato ga pogosto preračunamo v decibele glede na izotropno anteno $G_{dBi} = 10 \log_{10} G = 10 \log_{10} \eta + D_{dBi}$. Dobro načrtovane antene imajo sevalni izkoristek blizu enote. Pri takšnih antenah je dobitok zelo blizu smernosti. Dodatno zmedo povzroča merska enota $[dBd]$ oziroma decibeli glede na polvalovni dipol. Ker znaša smernost polvalovnega dipola $D_{dipola} = 2.15\text{dBi}$, je povezava med različnimi merskimi enotami smernosti oziroma dobitka poljubne antene $D_{dBd} = D_{dBi} - 2.15\text{dB}$ oziroma $G_{dBd} = G_{dBi} - 2.15\text{dB}$.

Ker je smerni diagram v katerikoli obliki funkcija dveh neodvisnih spremenljivk, kotov Θ in Φ , je meritev v vseh možnih smereh lahko izredno zamudna. Nalogo si poenostavimo tako, da izmerimo več skrbno izbranih prereзов smerne diagrama. Na primer, anteno vrtimo po polarni razdalji pri izbrani, konstanti zemljepisni dolžini Φ_1 . Isto meritev nato ponovimo pri drugačni zemljepisni dolžini Φ_2 in tako naprej. Dobimo N različnih prereзов smerne diagrama $F(\Theta, \Phi_1), F(\Theta, \Phi_2), F(\Theta, \Phi_3) \dots F(\Theta, \Phi_N)$.

Če predvidevamo rotacijsko simetričen smerni diagram, ki ni odvisen od zemljepisne dolžine Φ , v grobem zadošča že meritev enega samega prereza smerne diagrama, da iz njega določimo smernost antene D . Natančnejšo smernost D merjene antene dobimo tako, da izmerimo več različnih prereзов smerne diagrama. V primeru preproste antene izmerimo najmanj dva med sabo pravokotna prereza, na primer v ravnini vektorja električnega polja $\vec{E}$ in v ravnini vektorja magnetnega polja $\vec{H}$.

Iz N grobih ocen smernosti $D_1, D_2, D_3 \dots D_N$ v N različnih prerezih nato izračunamo dosti natančnejšo smernost D :

$$D = \frac{N}{\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} + \frac{1}{D_3} + \dots + \frac{1}{D_N}}$$

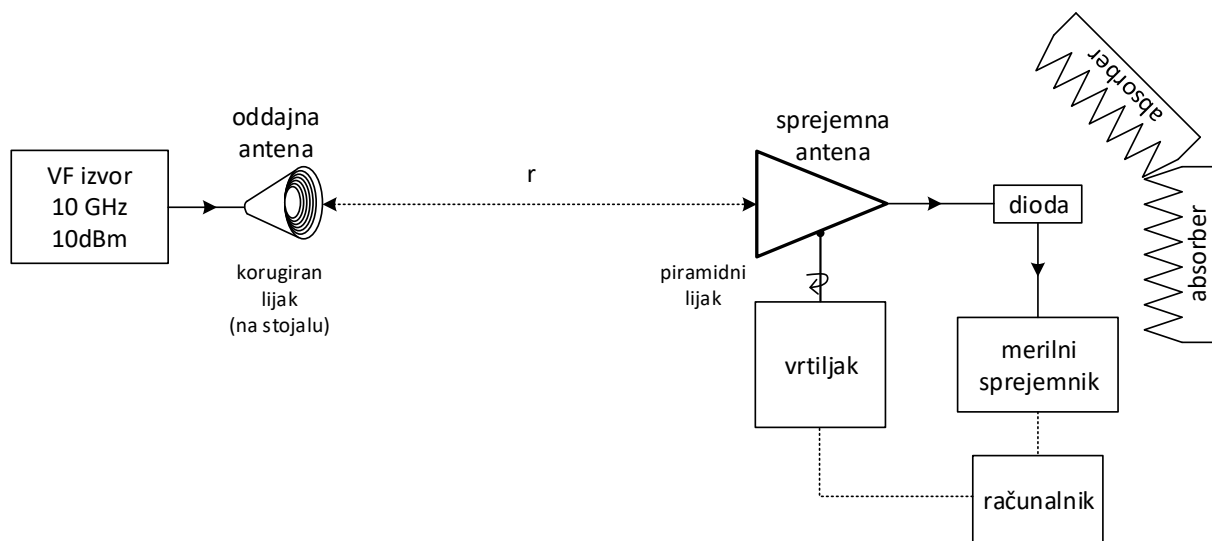
Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

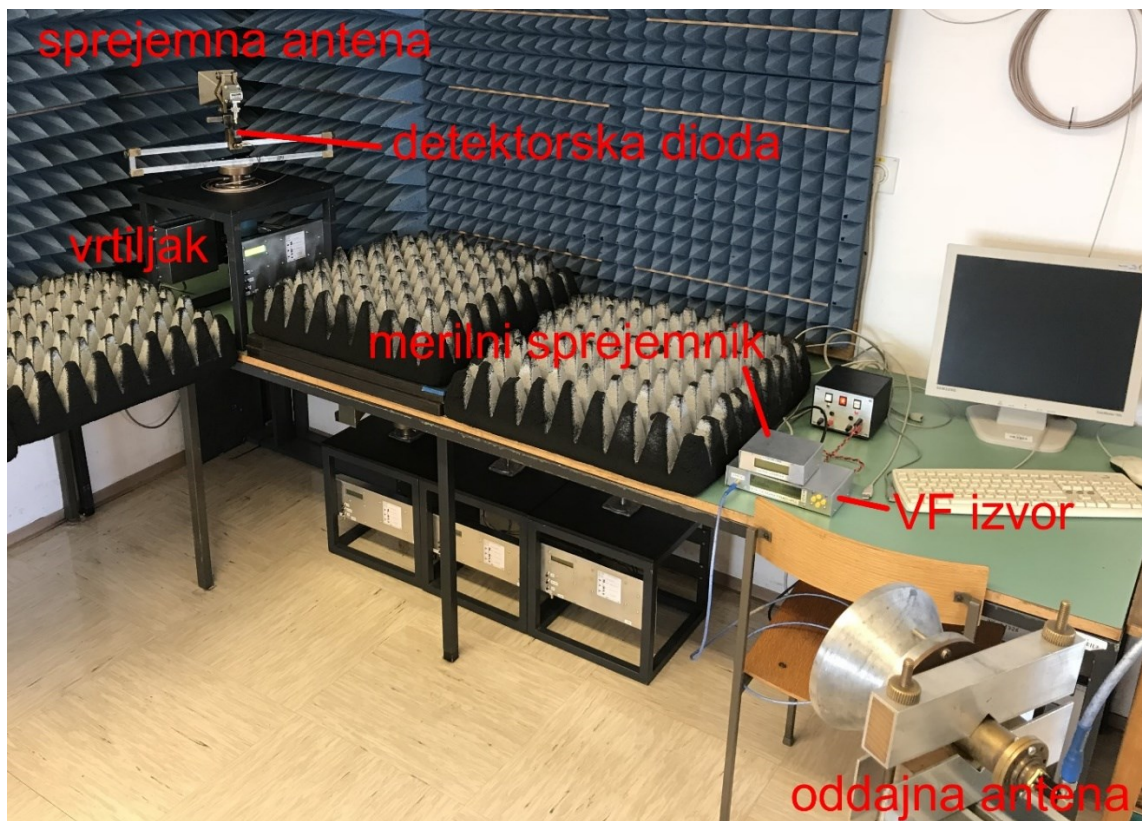
- Izvor (oddajnik) v frekvenčnem področju 1.5 GHz, z izhodno močjo do 10dBm (10mW) in možnostjo amplitudne modulacije z 1kHz pravokotnim signalom.

- Tri krožno polarizirane antene (spirala, keramika in PCB - linearna).
- Merilno diodo za 1.5 GHz z Lock-in sprejemnikom.
- Vrtiljak za eno anteno in nepremični podstavek za drugo.
- Računalnik s programom za merjenje anten.
- Nekaj plošč absorberja.
- Priključne kable za vse povezave.

Postavitev merilnih pripomočkov prikazuje Slika 2, razporeditev pa Slika 3.



Slika 2: Skica vezave merilnih pripomočkov



Slika 3: Slika vezave merilnih pripomočkov

Opis poteka vaje

Pri izvedbi vaje moramo najprej pomisliti na zahteve meritve in na omejitve merilnih inštrumentov. Pri meritvi smernega diagrama zahtevamo, da se anteni nahajata na dovolj veliki razdalji, v področju daljnega polja. Zahtevo moramo upoštevati za obe anteni, ki ju uporabljamo pri meritvi! Ker meritve ne moremo opraviti v povsem praznem prostoru, bodo rezultat meritve smernega diagrama v glavnem motili odbiti valovi od predmetov v bližnji okolici. Zato je treba ustrezno namestiti plošče iz snovi, ki vpija radijske valove dane frekvence. Glavna omejitev merilnih inštrumentov je občutljivost sprejemnika (diode). Zato ustrezno nastavimo izhodno moč oddajnika tako, da bomo diodo uporabljali v pravilnem režimu delovanja.

Pri merjeni anteni moramo določiti ali poiskati smer, v katero ta največ seva. Uporabljene antene sevajo polkrožno navzgor, pravokotno na ravnino XY. Koordinatni sistem si obrnemo tako, da tej smeri ustreza os Z.

Določiti moramo tudi prereze, v katerih bomo smerni diagram merili. Za antene dane oblike in dimenzij zadoščata dva prereza pod pravim kotom. Ker krožno polarizirane antene vrtijo smer polja E in H med obema prerezoma zgolj zagotovimo 90° , skladno z obliko same nosilne strukture. Prereza ustrezata dvema ravninama s konstantnim fi-jem v našem koordinatnem sistemu, anteno pa vrtimo po kotu theta.

Pred pričetkom meritve izklopimo napajanje vrtiljaka, da popusti električna zavora motorja. Poskrbimo, da imata tako oddajna kot sprejemna antena isto polarizacijo. Frekvenco oddajnika nastavimo na 1.575 GHz z 1 kHz amplitudne modulacije. Moč oddajnika ustrezno nastavimo tako, da z ročnim vrtenjem antene na Lock-in sprejemniku vidimo vsaj 45 dB dinamike (~15 dB kadar sprejemamo šum, ter vsaj 45 dB pri sprejemu glavnega snopa). Pri tem seveda pazimo, da s telesom popolnoma ne zakrivamo glavnega oddajnega snopa. Merilni sprejemnik omogoča tudi večji dinamični razpon, vendar se takrat že približujemo mejnim sposobnostim diodne glave. Ko določimo ustrezno oddajno moč, zavrtimo anteno v izhodišče tako, da glavni snop merjene antene gleda stran od oddajne antene, vklopimo napajanje vrtiljaka in opravimo testno meritev. Pri pravilni nastavitvi, se bo šum sprejema nahajal na dnu merilne skale.

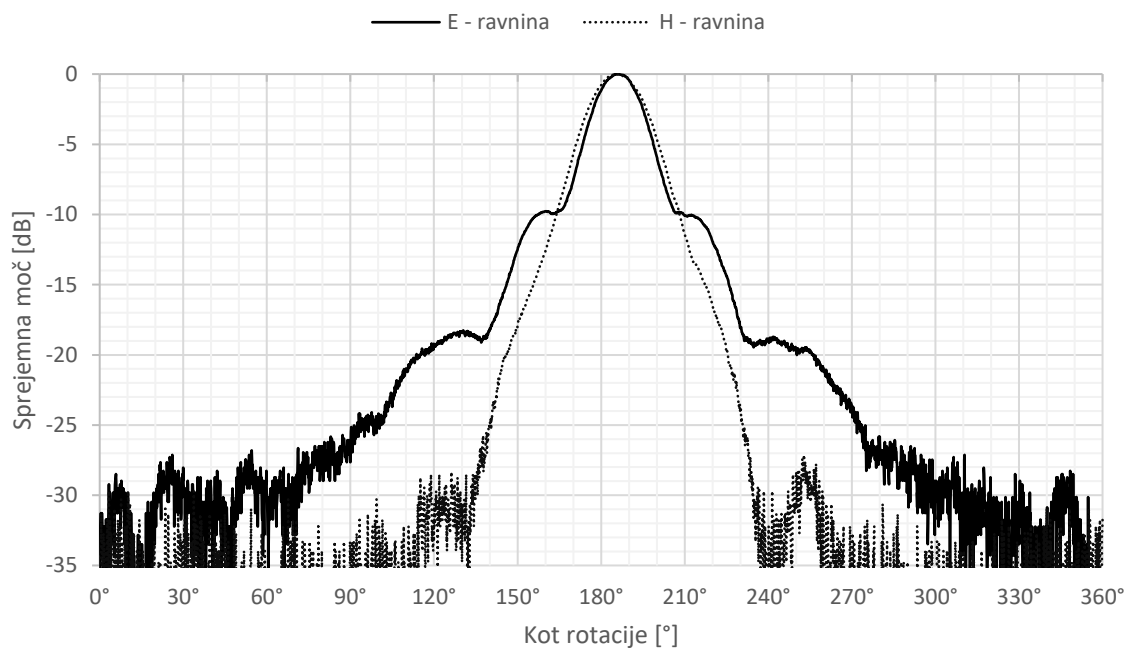
Anteno običajno zavrtimo v enem prerezu za polni kot (360 stopinj). Na ta način preverimo, če smo res zadeli maksimum smernega diagrama, če so stranski snopi simetrični in koliko motijo meritev odboji. Meritev ponovimo v drugem prerezu, oba izmerjena diagrama pa jasno označimo, za katero orientacijo antene sta bila izmerjena.

Vse meritve smernega diagrama, preračun smernosti in kot glavnega snopa za nas opravi računalniški program. Meritve si shranimo v zelenem izhodnem formatu in jih natisnemo.

V slučaju ročne integracije je treba paziti na vrsto uporabljenih skal narisane smernega diagrama. Amplitudna skala je po navadi logaritemska (v dB), koti pa so podani v stopinjah. Pri integraciji ne smemo pozabiti na člen $\sin(\theta)$! Grafično bi problem lahko rešili tako, da bi smerni diagram narisali z amplitudno skalo v linearnih enotah za moč, smer pa bi podali kot kosinus kota θ . Vrednost integrala je v tem slučaju sorazmerna ploščini lika pod krivuljo.

Primer izmerjenega smernega diagrama za linearno polarizirano anteno je prikazan na Sliki 4. Amplitudna skala je logaritemska in je izražena v dB. Na Sliki 4 vidimo tudi motilne pojave: mejo občutljivosti (šum) merilnega sprejemnika in (majhen) vpliv odbitih valov. Če želimo

opraviti ročno integracijo smernega diagrama je priporočljivo razširjeno izrisati vsaj osrednji del diagrama.



Slika 4: Primer meritve smernega diagrama piramidnega lijaka v dveh ravninah

Naloga

1. Izmerite smerni diagram krožno polarizirane spiralne antene za L1, za dva prereza med seboj razmaknjena 90°. Rezultat natisnite na en A4 list in graf jasno označite!
2. Izmerite smerni diagram krožno polarizirane keramične antene za L1, za dva prereza med seboj razmaknjena 90°. Rezultat natisnite na en A4 list in graf jasno označite!
3. Izmerite smerni diagram linearno polarizirane PCB antene za L1, za dva prereza med seboj razmaknjena 90°. Rezultat natisnite na en A4 list in graf jasno označite!