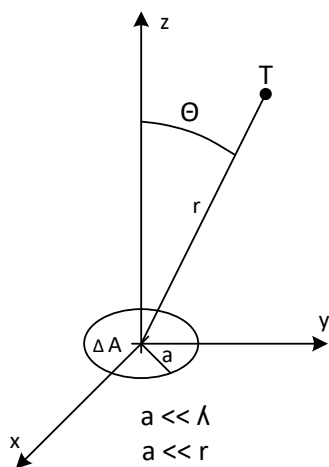


## Bližnje in daljne polje tokovne zankice

### Polje tokovne zankice

Odnose med bližnjim in daljnim poljem si najlažje ogledamo na primeru polja najenostavnejših izvorov: tokovnega elementa in njemu dualnega izvora tokovne zankice. Ker je tokovna zankica tehnično lažje izvedljiva od tokovnega elementa, si za praktični poizkus izberemo tokovno zankico.

Električno in magnetno polje tokovne zankice sta prikazana na Sliki 1. Izrazi so izpeljani za majhno zankico: dimenzije zankice morajo biti majhne v primerjavi z valovno dolžino, zankica pa mora biti tudi dosti manjša od oddaljenosti do točke, kjer merimo polje.



$$\vec{E} = \vec{I}_\varphi \frac{\omega \mu I \Delta A}{j 4\pi r} e^{-jkr} \left( jk + \frac{1}{r} \right) \sin \Theta$$

$$\vec{H} = \frac{I \Delta A}{4\pi r} e^{-jkr} \left[ \vec{I}_r \left( \frac{2jk}{r} + \frac{2}{r^2} \right) \cos \Theta + \vec{I}_\Theta \left( -k^2 + \frac{jk}{r} + \frac{1}{r^2} \right) \sin \Theta \right]$$

Slika 1: Električno in magnetno polje tokovne zankice.

Izrazi za električno in magnetno polje vsebujejo več členov, ki z oddaljenostjo različno hitro upadajo. Členi, ki upadajo s tretjo potenco oddaljenosti od zankice, predstavljajo statično magnetno polje zankice (magnetnega dipola). Ti členi ne dependirajo od frekvence in jih v izrazu za električno polje ni, ker magnetni dipol nima statičnega električnega polja.

Členi, ki upadajo linearno z razdaljo, predstavljajo sevano polje zankice. V razdalji večji od nekaj valovnih dolžin ti členi povsem prevladajo in so hkrati edini, ki prispevajo k pretoku delovne moči.

$$\text{Zankice v isti ravnini: } U_2 = \frac{j\omega\mu I_1 \Delta A_1 \Delta A_2}{4\pi r} e^{-jkr} \left( -k^2 + \frac{jk}{r} + \frac{1}{r^2} \right)$$

$$\text{Zankice z isto osjo: } U_2 = \frac{j\omega\mu I_1 \Delta A_1 \Delta A_2}{4\pi r} e^{-jkr} \left( \frac{2jk}{r} + \frac{2}{r^2} \right)$$

Slika 2: Inducirana napetost v drugi zanki (magnetna sonda).

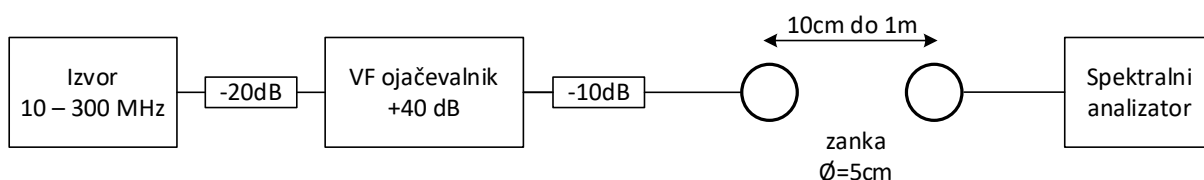
Za meritev potrebujemo še sondo za polje. Najlažje je meriti magnetno polje in to s še eno enako zankico. Inducirana napetost v drugi zankici je prikazana na Sliki 2 za dva najbolj zanimiva primera: ko se zankici nahajata v isti ravnini (samo theta komponenta polja) in ko se zankici nahajata na isti osi (samo radialna komponenta polja).

## Seznam potrebnih pripomočkov

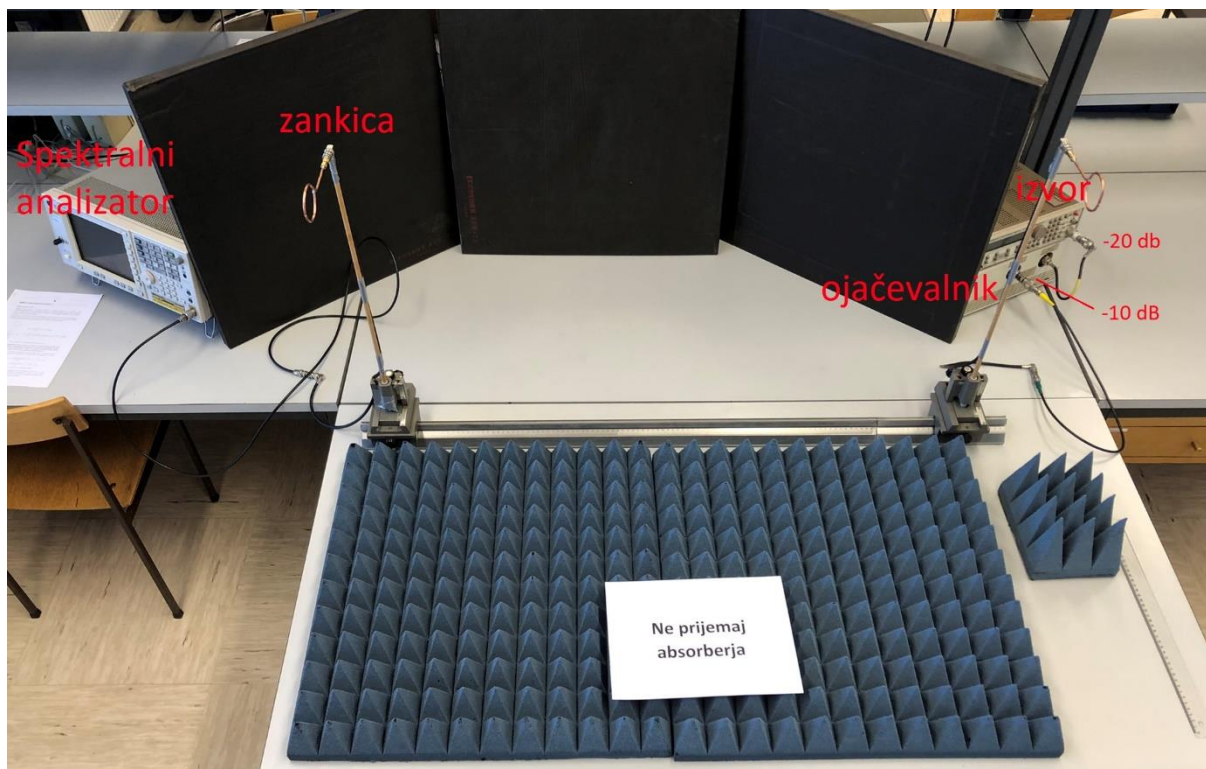
Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Izvor (oddajnik) za frekvenčno področje od 10 MHz do 300 MHz.
- Spektralni analizator z možnostjo meritve signalov do -110 dBm.
- Dve zankici, premera okoli 5 cm, na lesenih stojalih, s priključnimi kablji.
- Močnisti visokofrekvenčni ojačevalnik z izhodno močjo vsaj +20 dBm.
- Slabilci.
- Tirnica s podstavki, merilnim trakom in metrom.
- Kabli za 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 meritvi polja moramo v oddajni zankici vsiliti želeni tok in izmeriti inducirano napetost v sprejemni zankici. Pri tem impedanca zankice ni dobro poznana, vemo le, da je pri nizkih frekvencah zelo majhna. Pri najvišji frekvenci meritve znaša premer zankice približno 1/20

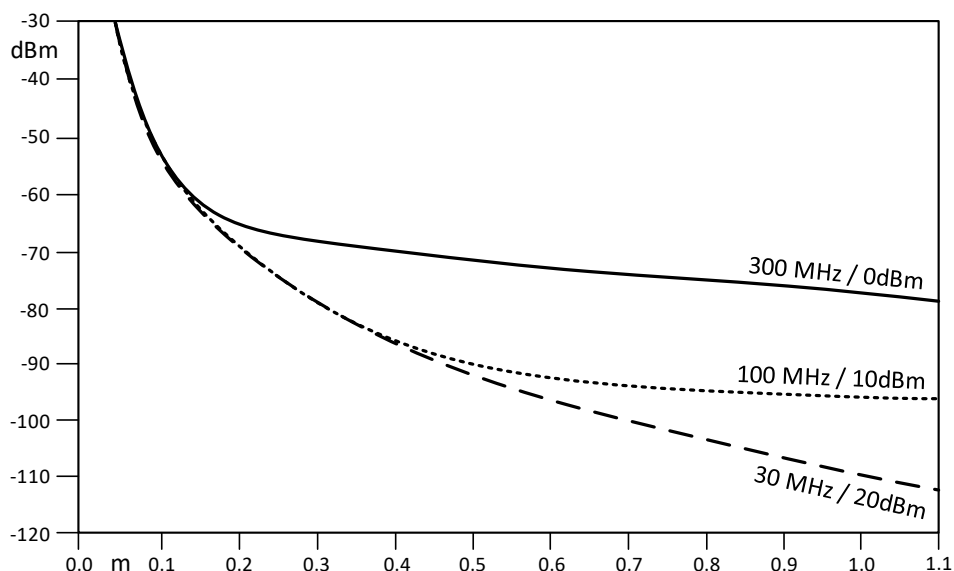
valovne dolžine, obseg pa  $1/6$  valovne dolžine. Impedanca zankice je zato vedno dosti manjša od karakteristične impedanca  $50 \Omega$ , za katero so izdelani vsi merilni inštrumenti. Zato upoštevamo oddajno zankico kot kratkostično breme, sprejemno zankico pa kot generator z majhno notranjo impedanco pri računanju slabljenja med zankicama.

Večina izvorov, ki so na voljo za delo v laboratoriju, na svojem izhodu ne more proizvesti zadostne moči, zato v sistem dodamo močnisti ojačevalnik, ki naj bo možen na svojem izhodu zagotavljati vsaj 20 dBm moči (100 mW). Vhod v ojačevalnik pred previsoko močjo zaščitimo z ustreznimi slabilci, na njegov izhod pa namestimo vsaj 10 dB slabilec, zaradi impedančne neprilagojenosti naše zanke, ki bi lahko uničila ojačevalnik. Iz podatka ojačevalnika o ojačenju in upoštevanju vseh slabilcev v sistemu izračunamo potrebno vhodno moč v ojačevalnik, za željeno izhodno moč pri dani frekvenci.

Za izvajanje meritev potrebujemo občutljiv sprejemnik. Za vajo je najprimernejši spektralni analizator oziroma kakšen drug selektivni sprejemnik (da izločimo motnje ostalih oddajnikov) z občutljivostjo med -90 in -120 dBm.

Najbolj zanimiv rezultat opisane vaje je opazovanje prehoda med bližnjim in daljnim poljem tokovne zankice. Zato meritev opravimo na treh frekvencah: 300 MHz, 100 MHz in 30 MHz, kar ustreza valovnim dolžinam 1 m, 3 m in 10 m. Prehod med bližnjim in daljnim poljem bo opazen na razdaljah, ki ustrezajo obratni vrednosti valovne konstante  $k$ , valovne dolžine deljene z  $2\pi$ .

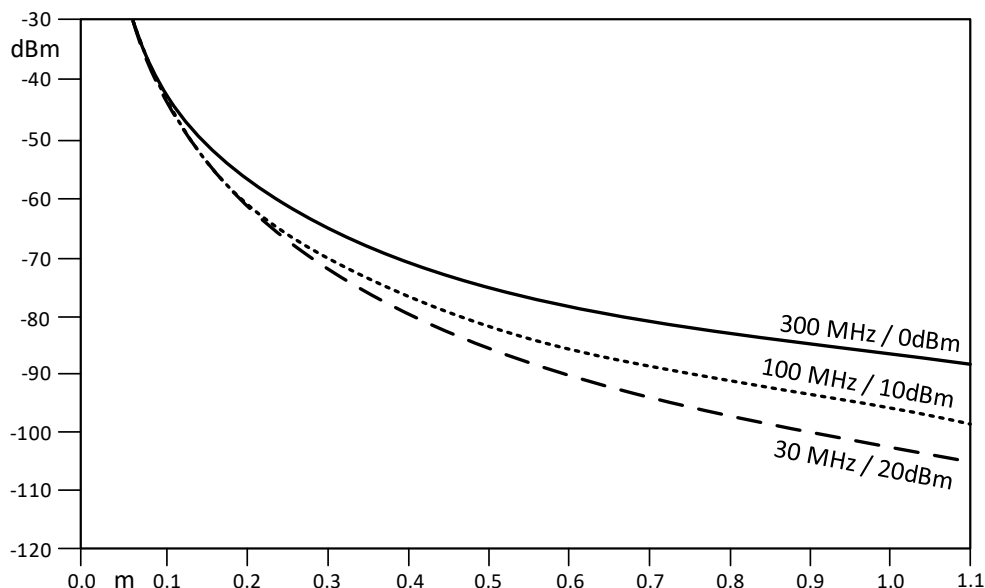
Na Sliki 4 je prikazan teoretski rezultat za zankice v isti ravnini, se pravi za theta komponento polja. Theta komponenta nastopa v bližnjem in daljnem polju, zato na diagramu lahko opazimo prehod, ko začne polje počasneje upadati. V diagramih na Sliki 4 je na nižjih frekvencah ustrezno povečana moč oddajnika, da lahko na grafu primerjamo rezultat: na 100 MHz je moč oddajnika 10-krat večja (približno trikrat večji tok v zankici) in na 30 MHz je moč oddajnika 100-krat večja (10-krat večji tok v zankici).



Slika 4: Slabljenje med zankicama v isti ravnini.

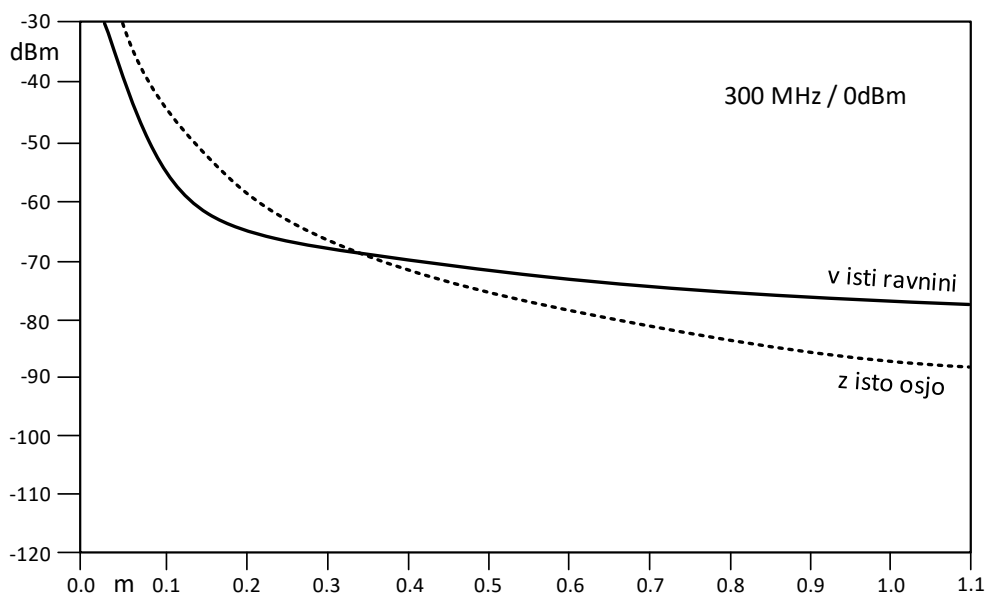
Na Sliki 5 je prikazan teoretski rezultat za zankice z isto osjo, torej za radialno komponento polja. Radialna komponenta ne daje daljnega (sevanega) polja, zato med meritvami na različnih frekvencah ni tako velikih razlik in ni prehoda v daljne polje.

Vsi diagrami so risani v logaritemski skali za amplitudo (dBm), da lažje prikažemo signale v zelo velikem razponu. Taka skala tudi ustreza tisti, ki jo imamo na razpolago na spektralnem analizatorju.



Slika 5: Slabljenje med zankicama z isto osjo.

Na Sliki 6 je končno prikazana primerjava med obema komponentama magnetnega polja tokovne zankice za najvišjo frekvenco (300 MHz): theta komponenta je v bližnjem polju sicer manjša od radialne, zato pa počasneje upada in prevlada v daljnem polju.



Slika 6: Primerjava med različnima orientacijama.

Vajo izpeljemo za obe komponenti magnetnega polja: pri meritvi radialne komponente sta zankici v isti osi, pri meritvi theta komponente pa sta zankici v isti ravnini. Hkrati z obračanjem zankice preverimo, ali ima polje še kakšno drugo komponento, kar nam da oceno za napako pri meritvi. Za vsako komponento polja (orientacijo zankic) izmerimo potek naraščanja slabljenja pri treh različnih frekvencah.

Meritev se lotimo pri 300 MHz. Oddajnik nastavimo na najvišjo dopustno moč tako, da ga peljemo v nasičenje. Zankice razmaknemo na začetno razdaljo 10 cm. Na spektralnem analizatorju izberemo ustrezno frekvenco in jo postavimo na sredino zaslona. Na naš signal namestimo marker, kar nam omogoča lažjo meritev sprejete moči. Preverimo sprejeto moč kadar se zankici na razdalji 10 cm nahajata v isti ravnini in v isti osi, pri največji možni oddajni moči, ter si izberimo tisto orientacijo, ki nam da najmanjšo sprejeto moč. Izmerjena moč pri izbrani orientaciji zankic bo začetna točka (referenčna vrednost) vseh preostalih meritev na nižjih frekvencah. Ko pričnemo z meritvijo na drugi frekvenci, zankice zopet postavimo na razdaljo 10 cm, moč oddajnika pa spremenimo tako, da na sprejemu izmerimo referenčno vrednost. To velja tudi za drugačno orientacijo zankic. Rezultate narišemo v tabelo in izrišemo zahtevane grafe. Po zaključku vaje poskrbimo, da je izhod visokofrekvenčnega vira ugasnjen (RF off).

### Naloga

1. Izmerite radialno in theta komponento magnetnega polja na razdalji med 10 cm in 110 cm za frekvence 300 MHz, 100 MHz, ter 30 MHz.
2. Meritve izrišite na graf.
3. Za frekvenco 300 MHz na isti graf izrišite tako radialno kot theta komponento.