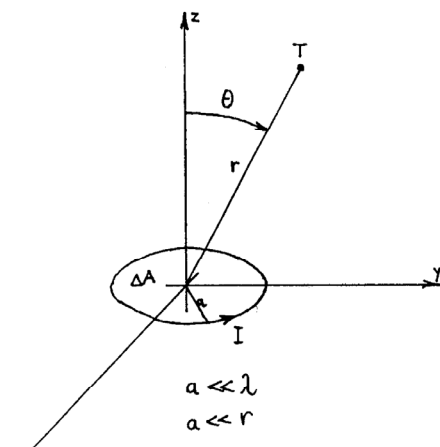


## VAJA 5: Bližnje in daljnje polje tokovne zankice

### 1. Polje tokovne zankice

Odnose med bližnjim in daljnjim poljem si najlažje ogledamo na primeru polja najenostavnejših izvorov: tokovnega elementa in njemu dualnega izvora tokovne zankice. Ker je tokovna zanka 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 od točke, kjer merimo polje.



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

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

$a \ll \lambda$   
 $a \ll r$

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 v izrazu za električno polje jih 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.

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).

Zankice v isti ravnini :

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

Zankice z isto osjo :

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

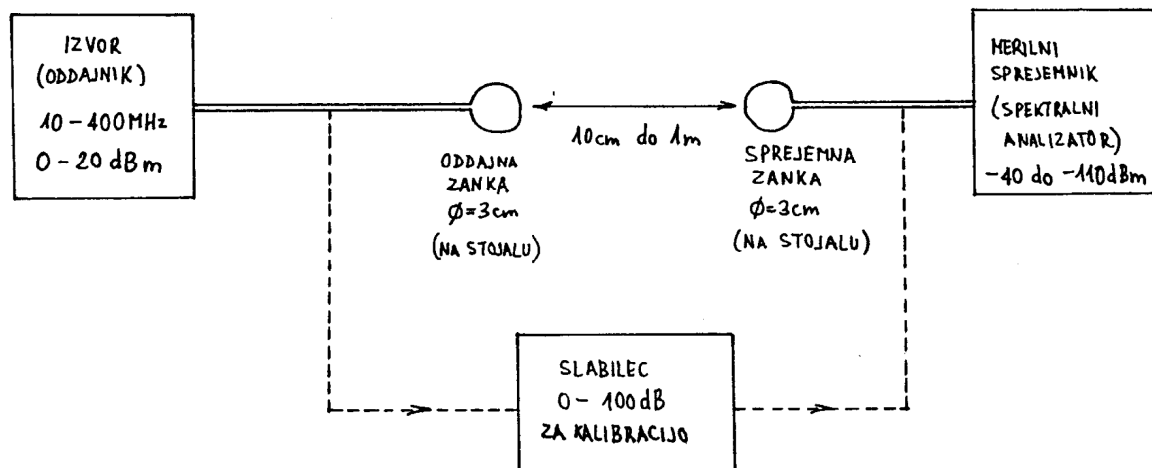
Slika 2: Inducirana napetost v drugi zanki (magnetna sonda)

## 2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Izvor (oddajnik) v frekvenčnem področju od 10 MHz do 400 MHz, z izhodno močjo do 20 dBm (100 mW) na 50-ohmskem bremenu.
- Občutljiv merilni sprejemnik, še najboljše spektralni analizator, za merjenje jakosti signalov v danem frekvenčnem območju v razponu od približno -40 dBm do -110 dBm.
- Dve zankici, premera okoli 3cm, na stojalih, s priključnimi kabli.
- Nastavljiv slabilec za kalibracijo merilnega sistema, do 100 dB v korakih po 10 dB.

Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na Sliki 3.



Slika 3: Vezava merilnih instrumentov

## 3. Obrazložitev in 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 majhna. Pri najvišji frekvenci meritve znaša premer zankice  $1/30$  valovne dolžine, obseg pa  $1/10$  valovne dolžine. Impedanca zankice je zato vedno dosti manjša od karakteristične impedance  $50\ \Omega$ , 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. Za boljšo točnost lahko vstavimo med izvor in oddajno zankico oziroma med sprejemnik in sprejemno zankico še dodaten slabilec (okoli 10 dB). Običajno sicer take slabilce merilni izvori in merilni sprejemniki že vsebujejo.

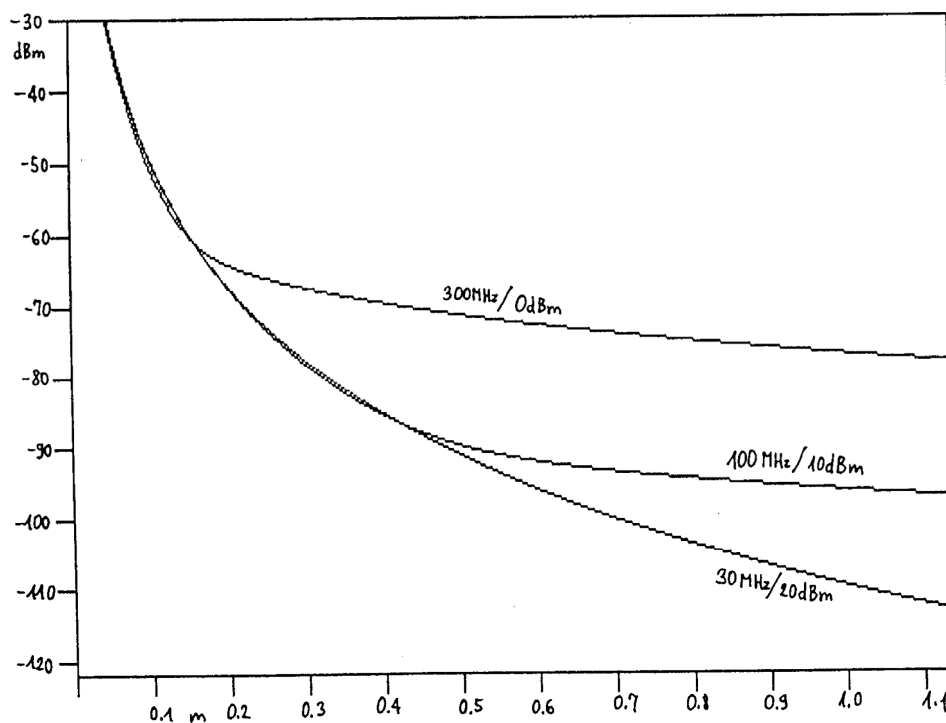
Glede na majhno razpoložljivo moč izvora (do 100 mW) potrebujemo občutljiv sprejemnik. Za vajo je najprimernejši spektralni analizator oziroma kakšen drug selektivni sprejemnik (da izločimo motnje ostalih oddajnikov) z občutljivostjo med -90 in -120 dBm. Sprejemnik kalibriramo tako, da njegov vhod priključimo preko merilnega slabilca naravnost na izvor.

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 še preverimo z obračanjem zankice, 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. Seveda je treba po nastavljanju izvora in uglaševanju sprejemnika spet kalibrirati sistem z merilnim slabilcem.

## 4. Prikaz značilnih rezultatov

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  $k$ , se pravi valovne dolžine deljene z  $2\pi$ .

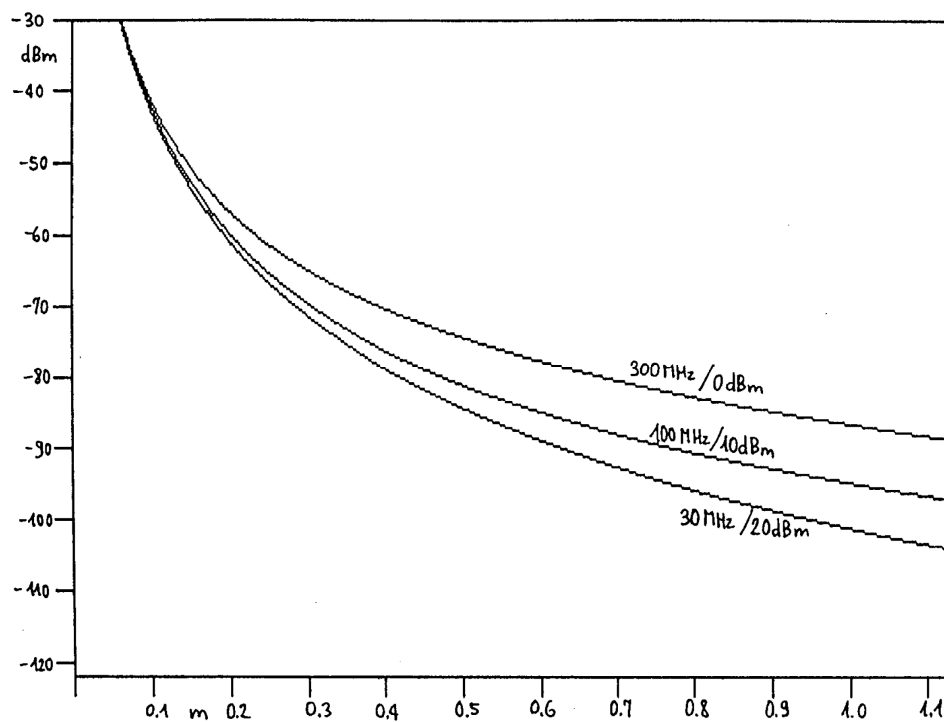
Na Sliki 4 je prikazan teoretski rezultat za zankice v isti ravnini, se pravi za theta komponento polja. Theta komponenta nastopa v bližnjem in daljnim polju, zato na diagramu lahko opazimo prehod, ko začne polje počasneje upadati. V diagramih na Sliki 4 je na nižjih frekvencah ustrezno povečana moč oddajnika, da lahko naravnost 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).



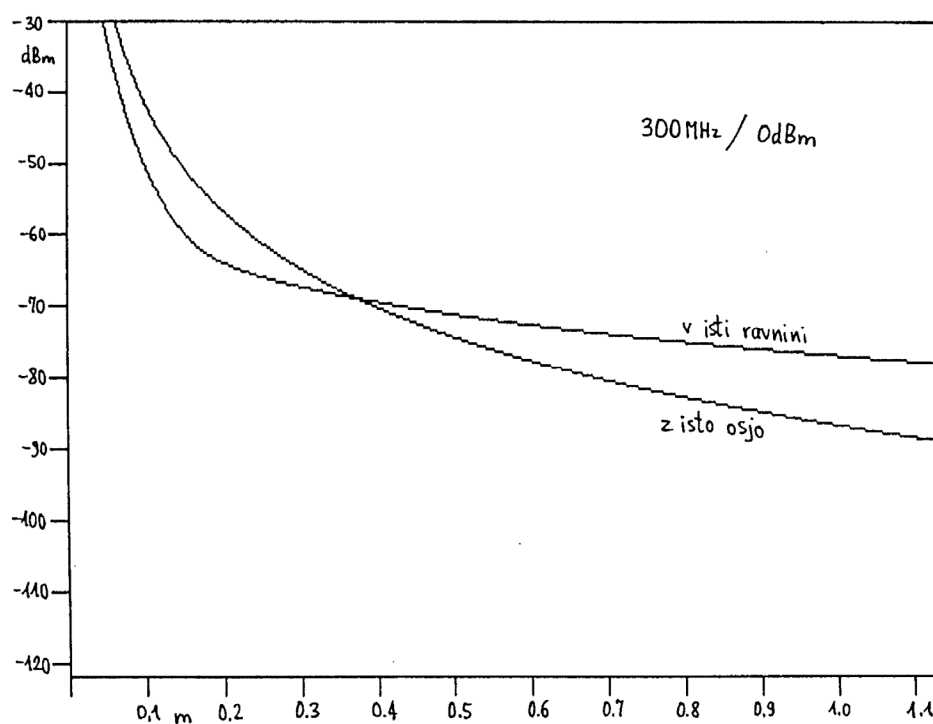
Slika 4: Slabljenje med zankicama v isti ravnini

Na Sliki 5 je prikazan teoretski rezultat za zankice z isto osjo, se pravi 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.

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 5: Slabljenje med zankicama z isto osjo



Slika 6: Primerjava med različnimi orientacijami