

VAJA 28. - PREČNA KOHERENCA RADIJSKEGA SEVANJA SONCA

=====

1. Prečna koherenca porazdeljenih izvorov

Električne izvore običajno opišemo s frekvenčnim spektrom signala, ki ga dobimo na izhodnih sponkah izvora. Takšen opis zadošča za izvore, ki so opremljeni s priključkom, po katerem se lahko razširja en sam rod valovanja. Če izvor razpolaga s priključkom, po katerem se lahko širi več različnih rodov valovanja, moramo opisati spekter vsakega rodu posebej, ker so to med sabo neodvisne veličine.

Ker se v praznem prostoru lahko širi (zvezno) neskončno mnogo rodov valovanja, postane takšen opis neuporaben za izvore sevanja, ki moč oddajajo v obliki sevanja v vse smeri prostora. Porazdeljene izvore sevanja zato najenostavneje opišemo še s podatkom o prečni koherenci izvora. Pri tem privzamemo, da je frekvenčni spekter različnih rodov iz neskončne množice rodov približno enak.

Merila za prečno koherenco porazdeljenega izvora so prikazana na sliki 1. Prečno koherenco lahko opišemo s stopnjo koherence γ_{12} med poljema E_1 in E_2 v različnih točkah prostora oziroma z vidljivostjo interferenčnega pojava V . Definicija stopnje koherence je izbrana tako, da je rezultat neodvisen od velikosti razmerja E_1/E_2 . Stopnja koherence postane enaka vidljivosti, ko sta polji E_1 in E_2 enako močni.

V slučaju koherentnega izvora sevanja je faza in jakost vsake točke svetila natančno določena in se s časom ne spreminja glede na ostale točke svetila. Stopnja koherence takšnega izvora je po velikosti vedno enaka 1, ne glede na razdaljo D med točkama opazovanja polj E_1 in E_2 . Primer koherentnega svetila je antena, ki jo napaja oddajnik z enim samim valovodnim rodом oziroma laser, ki niha na enem samem prečnem rodu.

V slučaju nekoherentnega izvora sevanja je faza vsake točke svetila povsem naključna glede na ostale točke svetila in se s časom lahko zelo hitro spreminja. Stopnja koherence takšnega izvora je po velikosti enaka 1 le pri zelo majhni razdalji D med točkama opazovanja in z naraščajočim D hitro upada. Primer nekoherentnega svetila je toplotno sevanje vroče ploskve oziroma sevanje svetleče diode.

Velikost stopnje koherence nekoherentnega izvora izračunamo s pomočjo VanCittert-Zernike-jevega izreka, kot je to prikazano na sliki 2. Stopnja prečne koherence je seveda odvisna od velikosti in oblike izvora sevanja, kot tudi od porazdelitve jakosti sevanja posameznih točk izvora $E_0(x', y')$, sevanje (faza) katerih je seveda med sabo nekorelirano.

Nekoherentni izvori sevanja imajo pogosto obliko krožne ploskve, ki jo opišemo s premerom d . Prav tako pogost je tudi slučaj, da vse točke svetila sevajo v povprečju enako močno, le njihova medsebojna faza je povsem nedoločena in se stalno spreminja. V tem pogostem slučaju nam VanCittert-Zernike-jev izrek da rezultat za prečno koherenco krožne ploskve, ki je prikazan na sliki 3.

Velikost prečne koherence enakomerno svetle krožne ploskve

je funkcija oblike $2 \cdot J_1(x)/x$, ki upade za -3dB (na 0.707) pri vrednosti argumenta $x=1.62$ in doseže prvo ničlo pri vrednosti argumenta $x=3.83$. Ker imamo marsikdaj podan le zorni kot alfa namesto premera svetila d in razdalje do svetila R , razmerje d/R preprosto nadomestimo s kotom alfa.

V slučaju Sonca znaša zorni kot (gledano z Zemlje) $\alpha=0.01\text{rd}$. Stopnja prečne koherence za vidno svetlobo ($\lambda=0.5\mu\text{m}$) upade za -3dB že na razdalji $D=26\mu\text{m}$ in izgine na razdalji $D=61\mu\text{m}$. Stopnja prečne koherence za radijsko sevanje Sonca na frekvenci 1.7GHz ($\lambda=17.7\text{cm}$) upade na -3dB na razdalji $D=9.1\text{m}$ in izgine na razdalji $D=22\text{m}$.

2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Dva linearno-polarizirana piramidna lijaka ($G>18\text{dBi}$) za frekvenčno področje 1.7GHz .
- (2) Dva premična podstavka na kolescih za anteni z nastavitvijo azimuta in elevacije anten.
- (3) Dva enaka nizkošumna predojačevalnika ($F<1\text{dB}$, $G>30\text{dB}$) za frekvenčno področje 1.7GHz z napajalnikoma.
- (4) Nastavljivi koaksialni vod (pozavna) dolžine 30cm .
- (5) Nastavljivi slabilec v korakih po 1dB .
- (6) Fiksni slabilec 6dB (10dB).
- (7) Sofazni delilnik/sklopnik za 1.7GHz .
- (8) Sprejemni konverter za frekvenčni pas 1.7GHz .
- (9) Merilni sprejemnik za merjenje jakosti šuma.
- (10) Meter za merjenje razdalje med antenama.
- (11) Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in povezava merilnih pripomočkov je prikazana na Sliki 4.

3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Pri izvedbi vaje se moramo predvsem zavedati omejitev, ki nam jih postavlja radijska tehnika. Prva omejitev je že izbira frekvenčnega področja. Sevanje Sonca (šumna temperatura površine Sonca) zelo hitro upada s frekvenco v radijskem delu spektra. Žal meritve ne moremo izvesti na frekvencah, nižjih od 1GHz , ker je tam obilica motenj močnih zemeljskih radijskih oddajnikov (televizija, GSM telefoni). Smiselna izbira je frekvenčni pas okoli 1.7GHz , ki je zaenkrat še razmeroma prost.

V frekvenčnem pasu 1.7GHz potrebujemo za opazovanje radijskega sevanja Sonca antene z dobitkom okoli 20dBi . Takšne antene so dovolj usmerjene, da lahko izločimo toplotno sevanje Zemlje, nebo za Soncem pa je radijsko dovolj hladno, da ne moti meritve. Česar ne moremo povsem izločiti, je toplotni šum sprejemnika.

Da toplotni šum radijskega sprejemnika čimbolj omejimo, vgradimo dva nizkošumna ojačevalnika na obe anteni, da izločimo izgube in s tem povezano toplotno sevanje priključnih kablov. Ojačevalnika dobita enosmerno napajanje preko istih dveh kablov, z kar poskrbita napajalna člena.

Izhoda ojačevalnikov moramo nato združiti tako, da lahko opazujemo interferenčni pojav. Če izhoda ojačevalnikov preprosto vežemo vzporedno, se koherentni signali seštevajo kot kazalci, pri nekoherentnih signalih pa se seštevajo moči. Če pri tem spreminjamo fazo (dolžino poti) enega od signalov,

se kazalčna vsota koherentnih signalov spreminja, vsota moči nekoherentnih signalov pa ostane nespremenjena.

Medsebojno fazo dveh anten lahko spreminjamo na dva načina: z vgradnjo koaksialnega kabla nastavljive dolžine ("pozavna") oziroma z vzdolžnim (glede na izvor valovanja) premikanjem ene od anten. Premikanje antene bo dalo točnejši rezultat meritve, ker ne spreminjamo prilagoditve impedanc.

Pri vzporedni vezavi dveh anten in dveh ojačevalnikov moramo seveda paziti na prilagoditve impedanc, sicer se bo z nastavljivim koaksialnim vodom spreminjalo tudi razmerje amplitud. V ta namen uporabimo sofazni sklopnik, izhodno impedanco ojačevalnikov pa dodatno popravimo z dvema slabilcema. Vsaj eden od obeh slabilcev naj bo nastavljiv, da z njim lahko popravimo manjše razlike v ojačenju obeh ojačevalnikov in tako povečamo vidljivost interferenčnega pojava.

Izhod sofaznega sklopnika vodimo na sprejemni konverter za frekvenčni pas 1.7GHz, od tu pa na merilni sprejemnik. Skala merilnega sprejemnika je kvadratična, se pravi sorazmerna moči vhodnega signala. Ojačenje sprejemnika nastavimo tako, da lahko na skali čimbolj natančno odčitamo vsa izmerjena razmerja signalov.

4. Prikaz značilnih rezultatov

S spreminjanjem faze enega od signalov nam jakost sprejema neposredno predstavlja interferenčni pojav. Če jakost sprejema niha od P_{min} do P_{max} , potem je vidljivost interferenčnega pojava dana z izrazom:

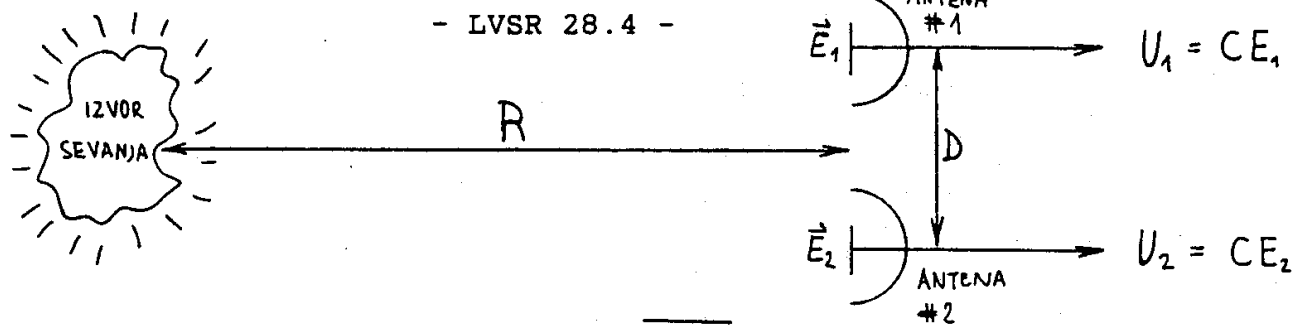
$$V = (P_{max} - P_{min}) / (P_{max} + P_{min})$$

Vidljivost interferenčnega pojava je v resnici večja, ker nastopa tako v P_{max} kot v P_{min} toplotni šum obeh ojačevalnikov, ki je povsem nekoreliran.

Zato moramo celotno napravo najprej umeriti tako, da obe anteni zasukamo v hladni del neba, kjer ne vidita Sonca. Moč, ki jo tedaj dobimo, predstavlja v glavnem moč toplotnega šuma sprejemnika. Za preizkus točnosti meritve spreminjamo medsebojno fazo anten. Izmerjena jakost signala se ne sme kaj dosti spreminjati. Če se jakost spreminja, so lahko vzrok radijske motnje zemeljskih oddajnikov, ki so zašle v obe anteni, oziroma neprilagoditev impedance pred in za nastavljivim vodom (samo če fazo spreminjamo s "pozavno").

Nato obe anteni zasukamo v Sonce. Anteni postavimo blizu skupaj in pazimo, da imata enako polarizacijo. Sprejeta moč se mora povečati, z nastavljivim vodom pa poiščemo minimum in maksimum. Anteni potem počasi razmikamo in vsakokrat poiščemo in zabeležimo P_{max} in P_{min} ter razdaljo med antenama.

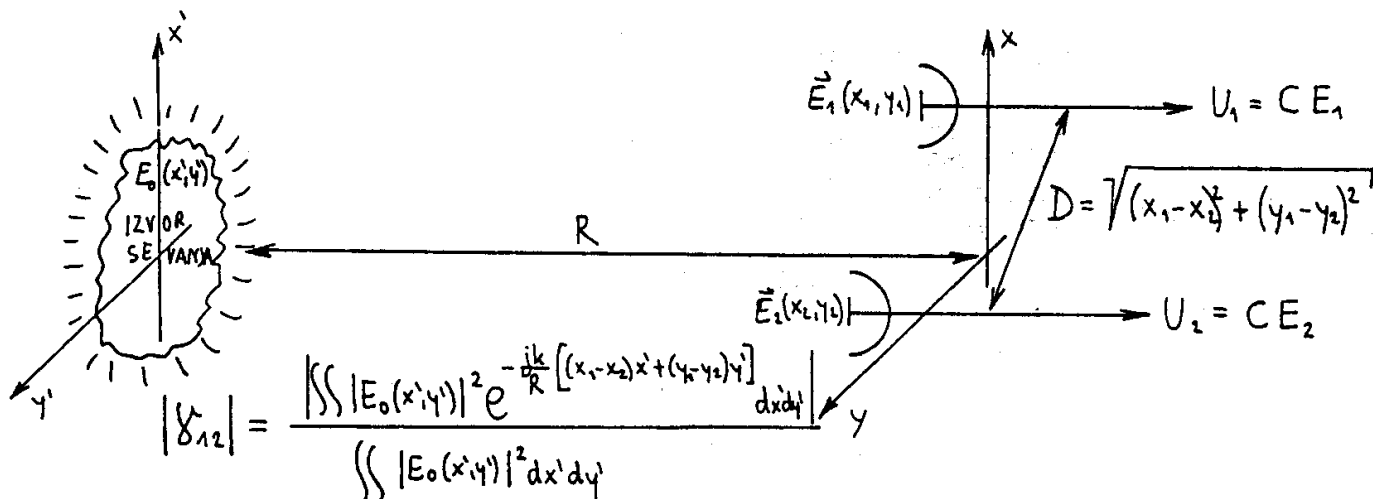
Končno anteni spet postavimo blizu skupaj, zasukani v Sonce, vendar postavimo polarizacijo ene antene pravokotno na drugo anteno in spet poiščemo P_{max} in P_{min} z nastavljivim vodom. V končnem rezultatu predstavimo izmerjeno vidljivost interferenčnega pojava kot funkcijo razdalje med antenama, potem ko smo od vseh P_{max} in P_{min} odšteli lastni šum sprejemnika.



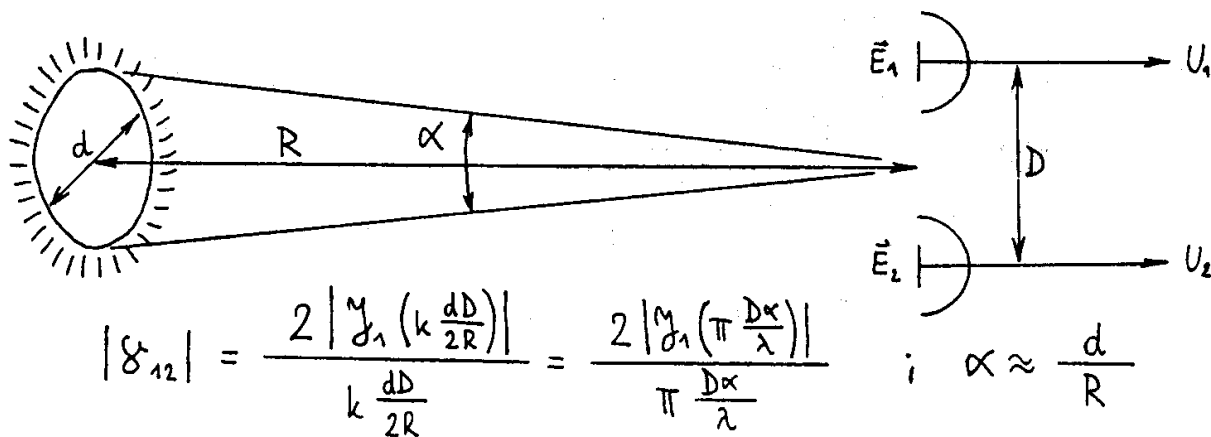
Stopnja koherence:
$$\gamma_{12} = \frac{\overline{E_1 E_2^*}}{\sqrt{\overline{E_1 E_1^*} \overline{E_2 E_2^*}}}$$

Vidljivost interferenčnega pojava:
$$V = \frac{2 |\overline{E_1 E_2^*}|}{\overline{E_1 E_1^*} + \overline{E_2 E_2^*}} = \frac{2 \sqrt{S_1 S_2}}{S_1 + S_2} |\gamma_{12}|$$

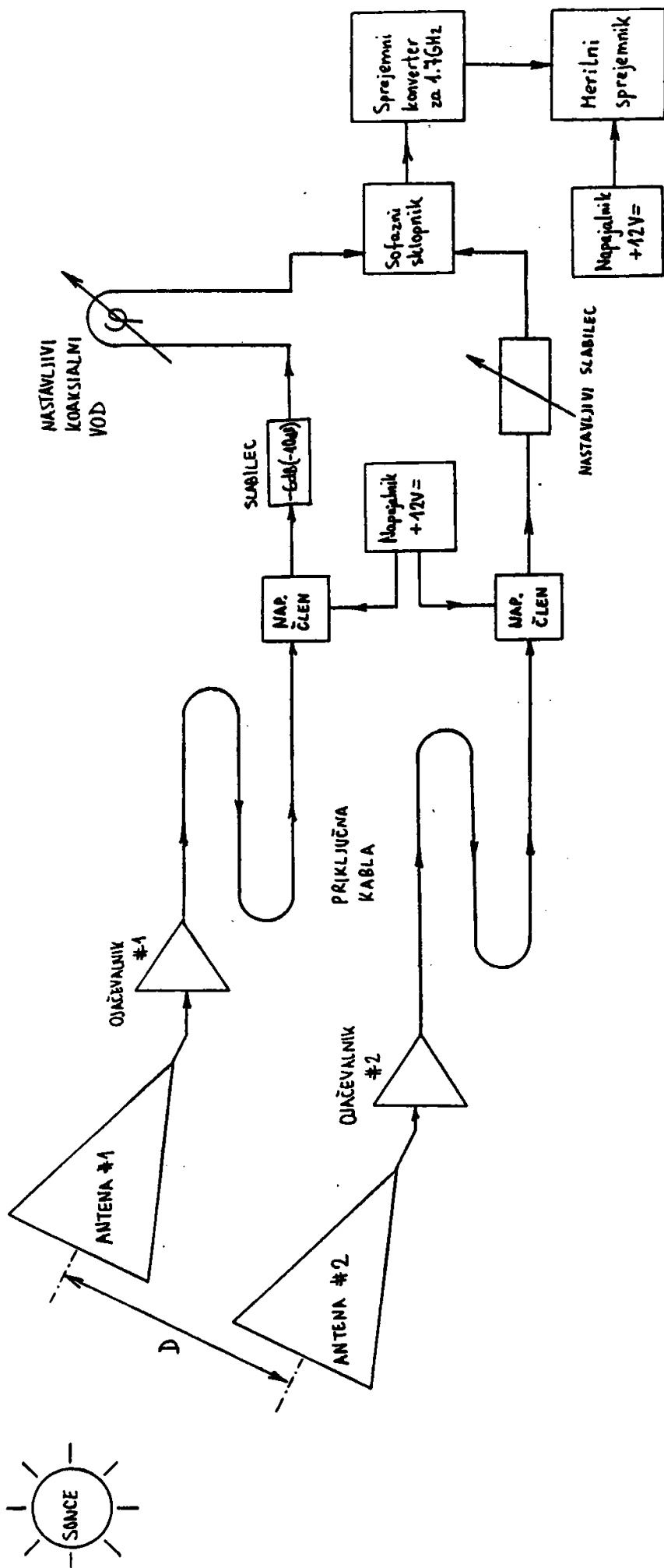
Slika 1 - Merila za prečno koherenco porazdeljenega izvora.



Slika 2 - Van Cittert - Zernike -jev izrek.



Slika 3 - Prečna koherenca krožne svetleče ploskve.



Slika 4 - Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov.