

VAJA 20. - MERITEV NERECIPROČNOSTI CIRKULATORJEV IN IZOLATORJEV  
=====1. Nerecipročni pasivni sestavni deli  
-----

Večina elektronskih sestavnih delov je recipročnih, ker so izdelani iz recipročnih snovi. Tudi pri meritvah anten si s pomočjo izreka o recipročnosti lahko poenostavimo marsikatero definicijo oziroma meritev lastnosti antene. Razen recipročnih sestavnih delov poznamo seveda tudi nerecipročne sestavne dele. Z ustrezno izdelavo sestavnih delov lahko nerecipročne lastnosti še posebej ojačimo, da jih lažje izkoristimo v željenem vezju.

Nerecipročnost sestavnih delov ima lahko različen izvor. V aktivnih elektronskih sestavnih delih (elektronke, tranzistorji) dosežemo nerecipročnost tako, da konduktivni električni tok najprej pretvorimo v drugačno fizikalno veličino (naprimer konvektivni tok nosilcev elektrine), ki se nato spet pretvori v konduktivni električni tok. Na ta način dosežemo ojačenje aktivnega sestavnega dela v eni sami smeri, to je v smeri, ki jo določa gibanje konvektivnega toka nosilcev elektrine.

Nerecipročnost lahko doseženo tudi v nekaterih snoveh tako, da postaneta dielektričnost ali permeabilnost tenzorja. Takšen primer je permeabilnost ferita, ki ga postavimo v enosmerno magnetno polje, kot je to prikazano na sliki 1. Iz nerecipročne snovi lahko potem izdelamo različne pasivne (ali aktivne) nerecipročne sestavne dele.

V visokofrekvenčni tehniki je najbolj razširjen nerecipročni sestavni del cirkulator. Zgradba in delovanje cirkulatorja s koaksialnimi priključki sta prikazana na sliki 2. Cirkulator ima tri priključke, ki napajajo krožen trakasti vod med feritnima ploščicama. Feritni ploščici sta vstavljeni med dva stalna magneta, ki poskrbita za nerecipročnost v feritu.

Osnova delovanja cirkulatorja je različna hitrost razširjanja valovanja v krožni ploščici v smeri urnega kazalca oziroma obratni smeri. Za delovanje cirkulatorja morata biti ti dve hitrosti,  $V_1$  in  $V_2$ , v točnem razmerju 1:2. Velikost krožnega trakastega voda mora biti nadalje izbrana tako, da ustreza pot med dvema sosednjima priključkoma eni celi valovni dolžini v eni smeri oziroma polovici valovne dolžine v drugi smeri.

Če pripeljemo na cirkulator vstopni val na vhod #1, se ta val razcepi v dva valova, ki potujeta v obeh smereh po krožnem vodu. Zaradi različnih hitrosti razširjanja se valova seštejeta le na vходу #2, kjer dobimo izstopni val. Na vходу #3 ne dobimo ničesar, ker se tam zaradi različnih hitrosti razširjanja valova natančno odštejeta.

Nerecipročnost naprave se kaže v tem, da se vstopni val iz vhoda #2 ne vrne na vhod #1, pač pa ga dobimo na vходу #3. Vhod #1 v tem slučaju ne dobi ničesar, ker se tedaj na njemu valova na krožnem vodu natančno odštejeta. Končno, če pripeljemo valovanje na vhod #3, dobimo izstopni val na vходу #1 in tedaj vhod #2 ne dobi ničesar.

Cirkulator je zelo uporaben visokofrekvenčni sestavni del. S pomočjo cirkulatorja lahko zelo enostavno povežemo na isto anteno sprejemnik in oddajnik, ki lahko delujeta istočasno, kot je to prikazano na sliki 3. S pomočjo cirkulatorja lahko zelo enostavno izmerimo odbojnost bremena, kot je to prikazano na sliki 4. Najbolj pogosta pa je vezava cirkulatorja kot izolator, da škodljivim odbitim valovom preprečimo pot nazaj, kot je to prikazano na sliki 5.

Glavna pomanjkljivost cirkulatorja je v tem, da je njegovo delovanje vezano na frekvenco (valovno dolžino), pri kateri se valova na krožnem vođu natančno seštejeta oziroma odštejeta na ostalih dveh vhidih cirkulatorja. Cirkulator zato zahteva (drago) natančno izdelavo in še bolj natančno prilagoditev impedance na vseh treh vhidih, delovanje cirkulatorja pa je omejeno na razmeroma ozek frekvenčni pas (običajno 10% osrednje delovne frekvence).

## 2. Seznam potrebnih pripomočkov

-----

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Nastavljivi izvor (oddajnik) v frekvenčnem področju 500MHz-2GHz z izhodno močjo približno +10dBm (10mW).
  - (2) Cirkulator (merjenec) za dano frekvenčno območje.
  - (3) Izolator (merjenec) za dano frekvenčno območje.
  - (4) Komplet analizatorja vezij s smernimi sklopniki, nastavljivim kompenzacijskim vodom, harmonskim konverterjem in vektorskim merilnim sprejemnikom s polarnim prikazovalnikom.
  - (5) Prilagojeno koaksialno breme in koaksialni kratek stik.
  - (6) Priključne kable in konektorske prehode za vse povezave.
- Vezava merilnih inštrumentov je prikazana na sliki 6.

## 3. Obrazložitev in opis poteka vaje

-----

Električne lastnosti cirkulatorja najenostavneje opišemo takrat, ko ga uporabljamo kot izolator, se pravi, ko je tretji vhod zaključen z dobro prilagojenim bremenom. Električne lastnosti izolatorja so popolnoma opisane s S matriko (matrika odbojnosti) za dvovhodno vezje. Pri tem sta vhodna odbojnost  $S_{11}$  in izhodna odbojnost  $S_{22}$  manj pomembni veličini, saj nas bolj zanima vstavitveno slabljenje  $S_{21}$  in povratno slabljenje  $S_{12}$ . Vstavitveno slabljenje izolatorja naj bi bilo čim nižje, običajno znaša 0.1-0.3dB. Povratno slabljenje  $S_{12}$  naj bi bilo čim višje, običajno znaša 20-30dB. Razen samega cirkulatorja povratno slabljenje določa tudi prilagojenost bremena na tretjem vhodu cirkulatorja.

V vaji izmerimo S matriko s pomočjo mikrovalovnega analizatorja vezij. Analizator vezij običajno potrebuje zunanji VF izvor moči okoli 10mW in kvocientni vektorski merilnik. Analizator vezij sicer vsebuje več smernih sklopnikov, da lahko z enostavnim preklapljanjem izmerimo vse štiri koeficiente S matrike.

Merilni sistem analizatorja vezij je treba seveda najprej umeriti. Za meritev vhodne in izhodne odbojnosti ( $S_{11}$  in  $S_{22}$ ) ga umerimo tako, da ga priključimo na breme z znano velikostjo in fazo odbojnosti. V ta namen uporabimo koaksialni kratkostičnik, ker je odbojnost kratkostičnika natančno enaka -1 in je mesto odboja natančno znano. Pri meritvi vstavitvenega slabljenja enostavno povežemo skupaj vhoda A in

B analizatorja vezij in tedaj mora veljati  $S_{21}=S_{12}=1$ . Faza vstavitvenega slabljenja nam pri tem pove, kako dolga je električna pot znotraj merjenca. V vseh slučajah, pri merjenju odbojnosti  $S_{11}$  in  $S_{22}$  in pri merjenju vstavitvenega slabljenja  $S_{21}$  in  $S_{12}$ , fazo kalibriramo s pomočjo nastavljivega kompenzacijskega voda v analizatorju vezij.

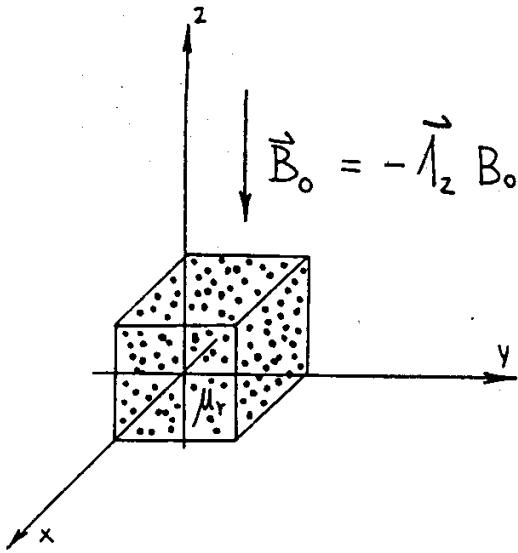
#### 4. Prikaz značilnih rezultatov

-----

Pri vaji najprej izmerimo velikost vstavitvenega in povratnega slabljenja za izolator z vgrajenim bremenom. Meritev opravimo na več frekvencah. Iz velikosti povratnega slabljenja je kmalu razvidno, v katerem frekvenčnem področju izolator pravilno deluje. Nato ponovimo isto meritev za cirkulator, ki mu na tretji vhod priključimo dobro prilagojeno breme. Tudi za cirkulator z zunanjim bremenom izmerimo potek vstavitvenega in povratnega slabljenja v širšem frekvenčnem pasu.

Nato cirkulatorju odstranimo breme tako, da je tretji vhod nezaključen in spet pomerimo vstavitveno in povratno slabljenje. Velikost vstavitvenega slabljenja bi morala biti zdaj enaka, v obeh smereh dobimo nizko slabljenje. Razlika je seveda v fazi. Če pred tem pravilno kalibriramo analizator vezij za meritev faze vstavitvenega slabljenja, lahko iz meritev faze izračunamo dolžini električnih poti v obeh smereh, ki sta zaradi neregularnosti vezja nujno različni.

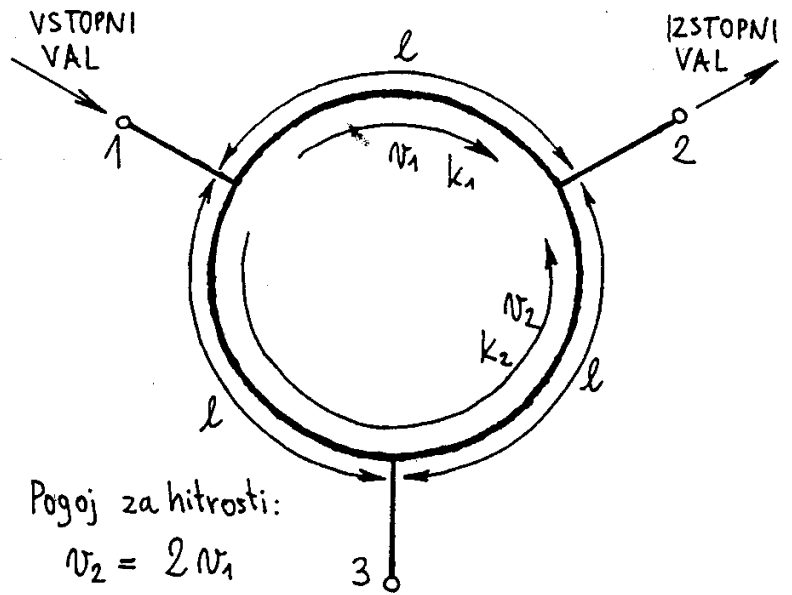
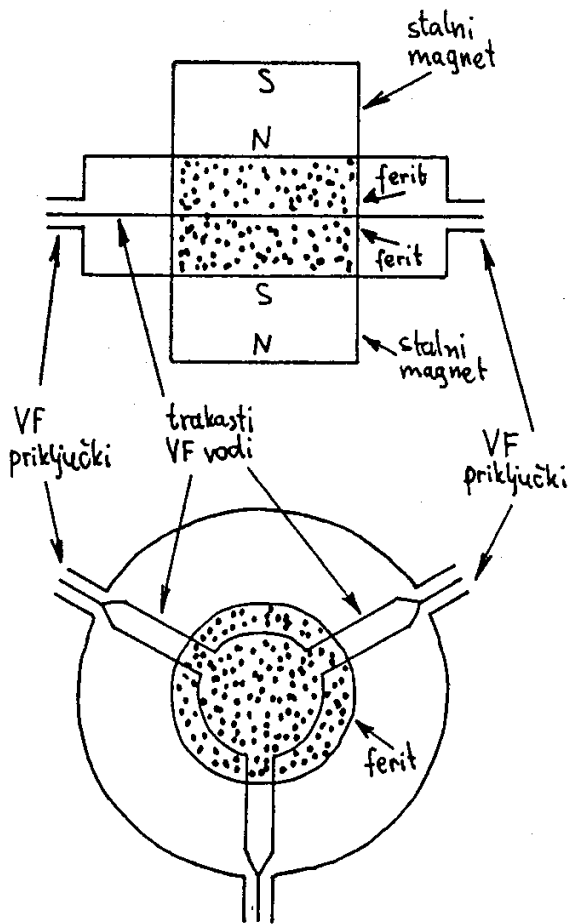
\*\*\*\*\*



$$\mu_r = \begin{bmatrix} \mu_1 & j\mu_2 & 0 \\ -j\mu_2 & \mu_1 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_3 \end{bmatrix}$$

$\mu_1, \mu_2, \mu_3 \equiv$  realni skalarji

Slika 1 - Tenzor permeabilnosti  $\mu_r$  v feritu v zunanjem enosmernem magnetnem polju  $\vec{B}_0$  v smeri osi z.



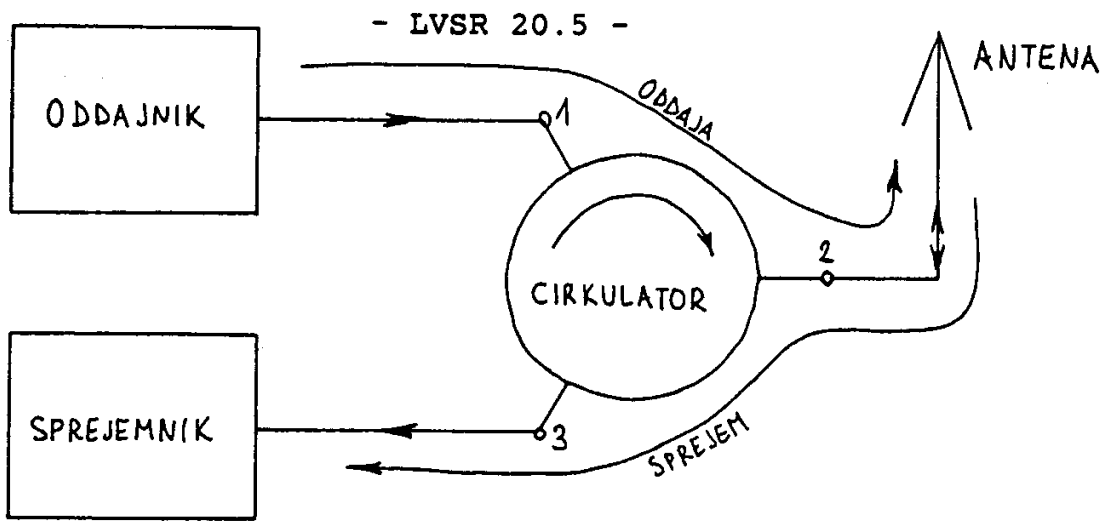
Pogoj za hitrosti:

$$v_2 = 2v_1$$

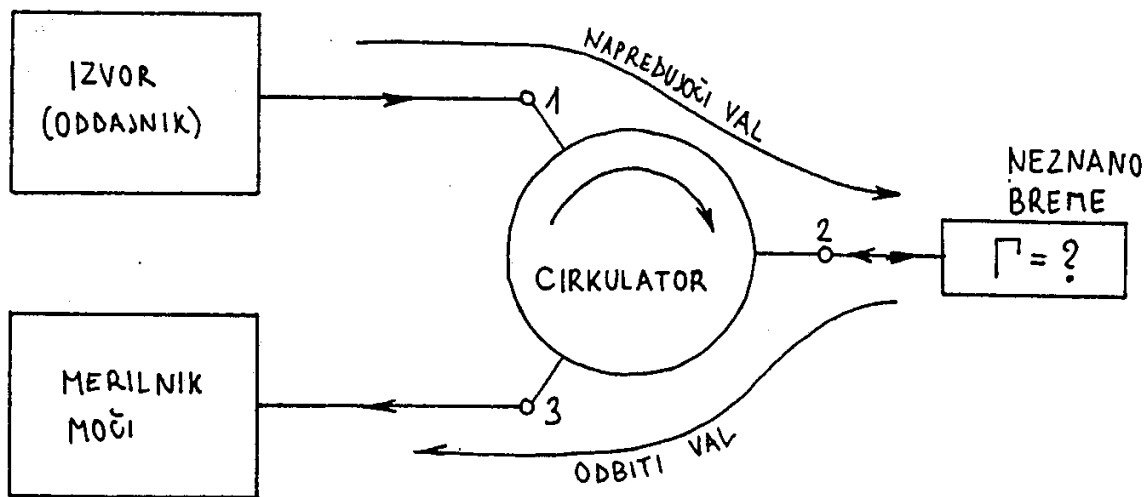
$$k_2 = \frac{1}{2} k_1$$

Pogoj za fazo:  $k_1 l = 2\pi$  ;  $k_2 l = \pi$

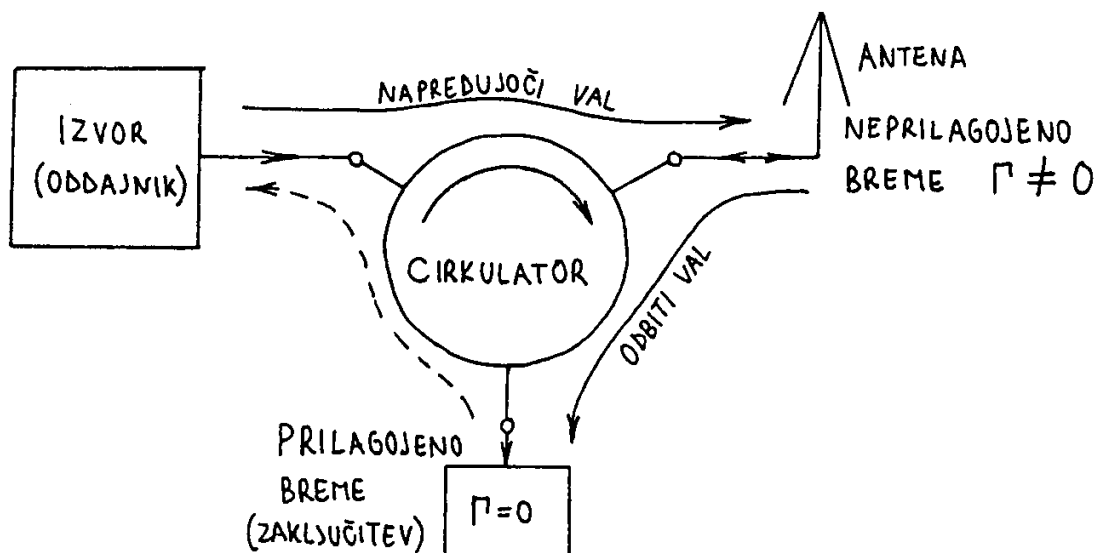
Slika 2 - Zgradba in delovanje cirkulatorja.



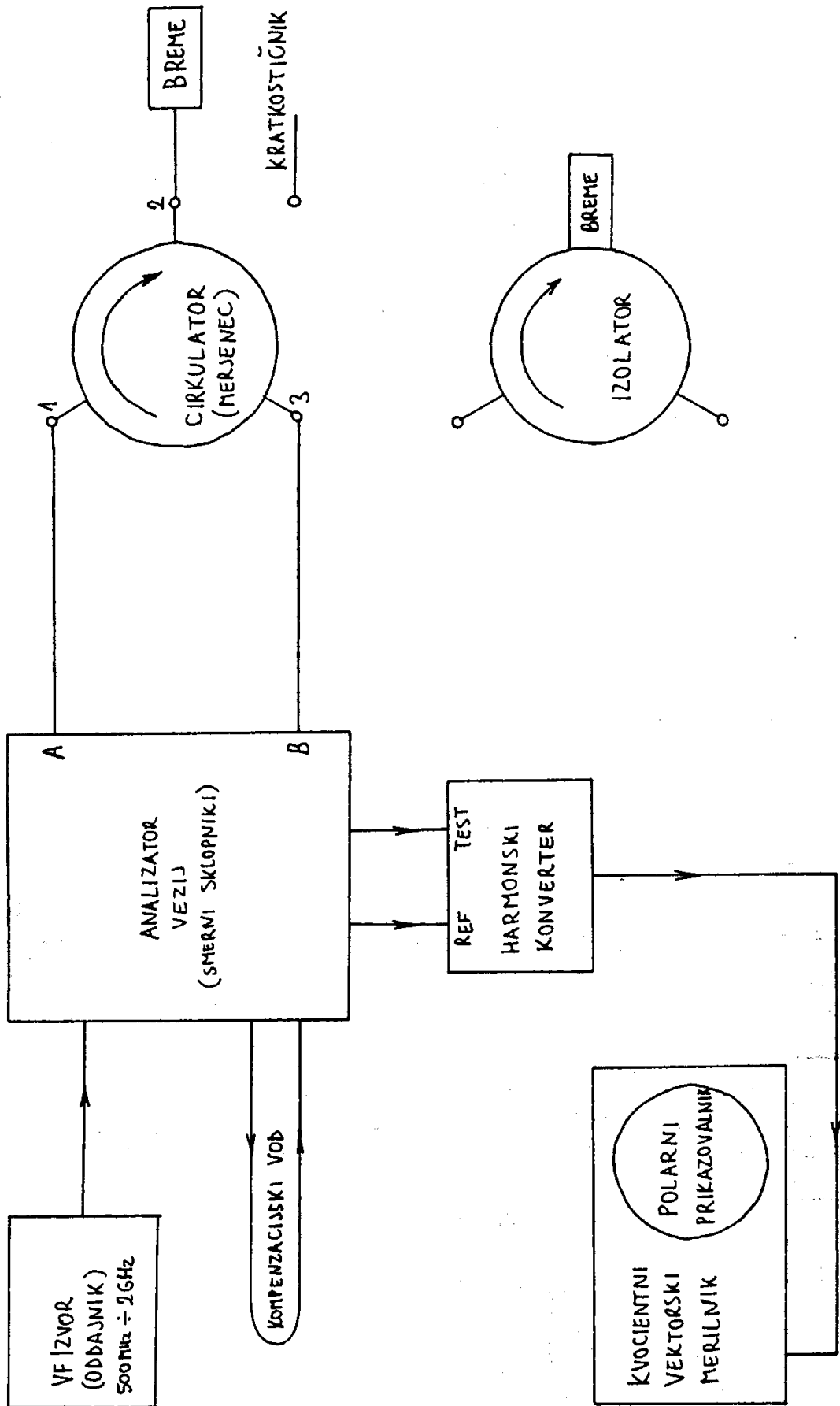
Slika 3 - Vezava oddajnika in sprejemnika na isto anteno s pomočjo cirkulatorja.



Slika 4 - Merjenje odbojnosti bremena s cirkulatorjem.



Slika 5 - Vezava cirkulatorja kot izolator.



Slika 6 - Vezava merilnih instrumentov.