

VAJA 1. - MERITVE VISOKOFREKVENČNIH SIGNALOV

1. Visokofrekvenčni spektralni analizator

Pri meritvah visokofrekvenčnih signalov imamo pogosto opraviti z množico signalov. Meritev vsote vseh signalov običajno ni zanimiva, navadno želimo meriti jakost, frekvenco itd vsakega signala posebej. Merjeni signal ni nujno najmočnejši signal, lahko je več kot milijonkrat šibkejši od drugih prisotnih signalov.

Glede na to, da so lastnosti sevanja anten in razširjanja radijskih valov vezane na frekvenco, je osnovna razdelitev radiofrekvenčnega spektra frekvenčni multipleks. Ustrezen merilnik je torej selektivni sprejemnik, ki vsebuje frekvenčna sita, da lahko razloči med različnimi, istočasno prisotnimi signali. Takšen merilni sprejemnik je tudi tehnično izvedljiv in omogoča zelo velik razpon jakosti merjenih signalov: razmerje med merjenim signalom in neželjenimi istočasno prisotnimi signali (dinamika merilnika) lahko preseže 100dB.

Meritev v časovnem prostoru (osciloskop) je neustrezna že zaradi premajhne dinamike takšnega načina meritve. Na zaslonu osciloskopa ne moremo opaziti signala, ki ima amplitudo manjšo od 1% največjega prisotnega signala, kar pomeni dinamiko komaj 40dB. Meritev v frekvenčnem prostoru je smiselna tudi zato, ker se večina pojavov v radijskih zvezah lažje opazuje v frekvenčnem prostoru.

Selektivni merilni sprejemnik, ki sam preiskuje željeno frekvenčno področje in izpisuje izmerjeni frekvenčni spekter na zaslonu katodne cevi, imenujemo panoramski sprejemnik ali spektralni analizator. Panoramski sprejemnik ima običajno boljšo občutljivost (nižje šumno število), a manjšo dinamiko in pokriva ožje frekvenčno področje od spektralnega analizatorja. Spektralni analizator omogoča tudi širši razpon nastavljanja ločljivosti glede na zahteve meritve in čas, potreben za izvedbo meritve.

Blokovni načrt tehnične izvedbe visokofrekvenčnega spektralnega analizatorja je prikazan na sliki 1. Spektralni analizator je izdelan kot sprejemnik z mešanjem s precej visoko prvo medfrekvenco 2GHz (novejši merilniki 1...5GHz). Za meritve na frekvencah nižjih od vrednosti medfrekvence tako zadošča že nizko sito na vhodu za dušenje vseh neželjenih produktov mešanja. Le za meritve v mikrovalovnem frekvenčnem področju sprejemnik uporablja za dušenje neželjenih produktov mešanja električno nastavljivo pasovno sito na vhodu.

Električno nastavljivo pasovno sito kot tudi električno nastavljivi oscilator (VCO) za prvo mešanje običajno uporabljajo YIG (Yttrium-Iron-Garnet) rezonatorje. YIG je mikrovalovni feritni material, ki ima v homogenem enosmernem magnetnem polju zelo izraženo rezonanco v mikrovalovnem frekvenčnem področju, rezonančna frekvenca pa je premosorazmerna jakosti enosmernega magnetnega polja. YIG ferit se brusi v kroglico premera okoli 1mm, ki se vstavi med podkvi elektromagneta.

Cenejši spektralni analizatorji za nižje frekvence oziroma ožja frekvenčna področja lahko uporabljajo tudi sita in oscilatorje z običajnimi nihajnimi krogi, ki jih uglašujemo z varikap (varaktorskimi) diodami. Slaba stran varikap diod je nizka kvaliteta nihajnih krogov, torej slabša selektivnost sit in večji fazni šum oscilatorjev glede na YIG izvedbe.

Pasovnemu situ prve medfrekvence 2GHz sledi dodatno mešanje na nižjo drugo ali celo tretjo medfrekvenco, kjer je lažje izdelati vsa potrebna pasovna sita za različne ločljivosti merilnika. Sitom sledi logaritemski ojačevalnik z detektorjem, ki daje na izhodu napetost sorazmerno logaritmu vhodne moči. Izhodni signal gre še skozi "video" nizko sito. Video sito uporabljamo za točne meritve povprečne vrednosti naključnih signalov, naprimer toplotnega šuma.

S preiskovanjem željenega frekvenčnega področja upravlja izvor žagaste napetosti, ki krmili električno nastavljivi oscilator ter vodoravni odklon žarka na katodni cevi. Merilnik seveda omogoča nastavljanje širine frekvenčnega področja kot tudi srednje frekvence. Frekvenco žagaste napetosti oziroma periodo ponavljanja meritev spremenimo le v slučaju zelo počasnih meritev z zelo ozkim medfrekvenčnim sitom.

Nizkofrekvenčni spektralni analizatorji so lahko izdelani tudi kot FFT analizatorji. Vhodni signal vzorčijo v časovnem prostoru z A/D pretvornikom, za pretvorbo v frekvenčni prostor pa poskrbi diskretna Fourier-jeva transformacija v obliki FFT algoritma na računalniku. Meritev s FFT spektralnim analizatorjem je bistveno hitrejša od panoramskega sprejemnika, žal pa frekvenčni pas in dinamično področje močno omejujejo razpoložljivi A/D pretvorniki.

Seveda je možna kombinacija obeh merilnikov: panoramski sprejemnik v visokofrekvenčni glavi in FFT v medfrekvenci, kar skupno daje hitro in točno meritev v zelo širokem razponu pasovnih širin in jakosti signalov. Za večino visokofrekvenčnih meritev sicer zadošča spektralni analizator v obliki panoramskega sprejemnika.

## 2. Seznam potrebnih pripomočkov

-----  
Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Log-periodično anteno za področje 100MHz-1GHz na vrtiljaku.
- (2) 50ohmski nastavljivi kalibrirani slabilec.
- (3) Malošumni širokopasovni ojačevalnik 40dB/1GHz.
- (4) Napajalnik za malošumni ojačevalnik.
- (5) Visokofrekvenčni spektralni analizator 0-1.8GHz s priborom nizkoprepustnih in pasovnih sit.
- (6) Sprejemnik z demodulatorjem in zvočnikom (če ni vgrajen v sam spektralni analizator).
- (7) Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in povezava merilnih pripomočkov je prikazana na sliki 2.

## 3. Obrazložitev in opis poteka vaje

-----  
Spektralni analizator je običajno načrtovan kot merilnik s čimvečjo dinamiko, to je razmerjem med najmanjšim in največjim merjenim signalom. Pri tem določa spodnjo mejo toplotni šum sprejemnika, gornjo mejo pa pojav nelinearnih popačenj v sprejemniku. Obe meji določa mešalnik na vhodu

s svojim šumnim številom in intermodulacijskim popačenjem.

Sodobni spektralni analizatorji dosegajo dinamiko 100dB v odvisnosti od pasovne širine medfrekvenčnega sita, šumno število pa znaša 15-20dB pri mešanju z osnovno frekvenco oscilatorja oziroma 30-40dB pri mešanju z višjimi harmoniki oscilatorja v harmonskem mešalniku. Spektralni analizator sam po sebi zato ni ravno najbolj občutljiv sprejemnik, še posebno v mikrovalovnem področju ne.

Pri meritvah radijskih signalov, ki jih ujame sprejemna antena daleč proč od oddajnikov, si zato pomagamo s širokopasovnim ojačevalnikom. Z dodatnim ojačevalnikom izboljšamo šumno število, a omejimo dinamiko spektralnega analizatorja. Med ojačevalnik in anteno dodamo še nastavljivi slabilec, da preprečimo prekrmljenje ojačevalnika s premočnimi signali.

#### 4. Prikaz značilnih rezultatov

-----

Za vajo si s pomočjo spektralnega analizatorja oglejmo uporabo frekvenčnega področja 100MHz do 1GHz in značilne vrste signalov, ki jih srečamo v tem frekvenčnem področju. Za vsak signal izberemo primerno ločljivost in primerno širino frekvenčnega področja, ki ga preiskuje spektralni analizator.

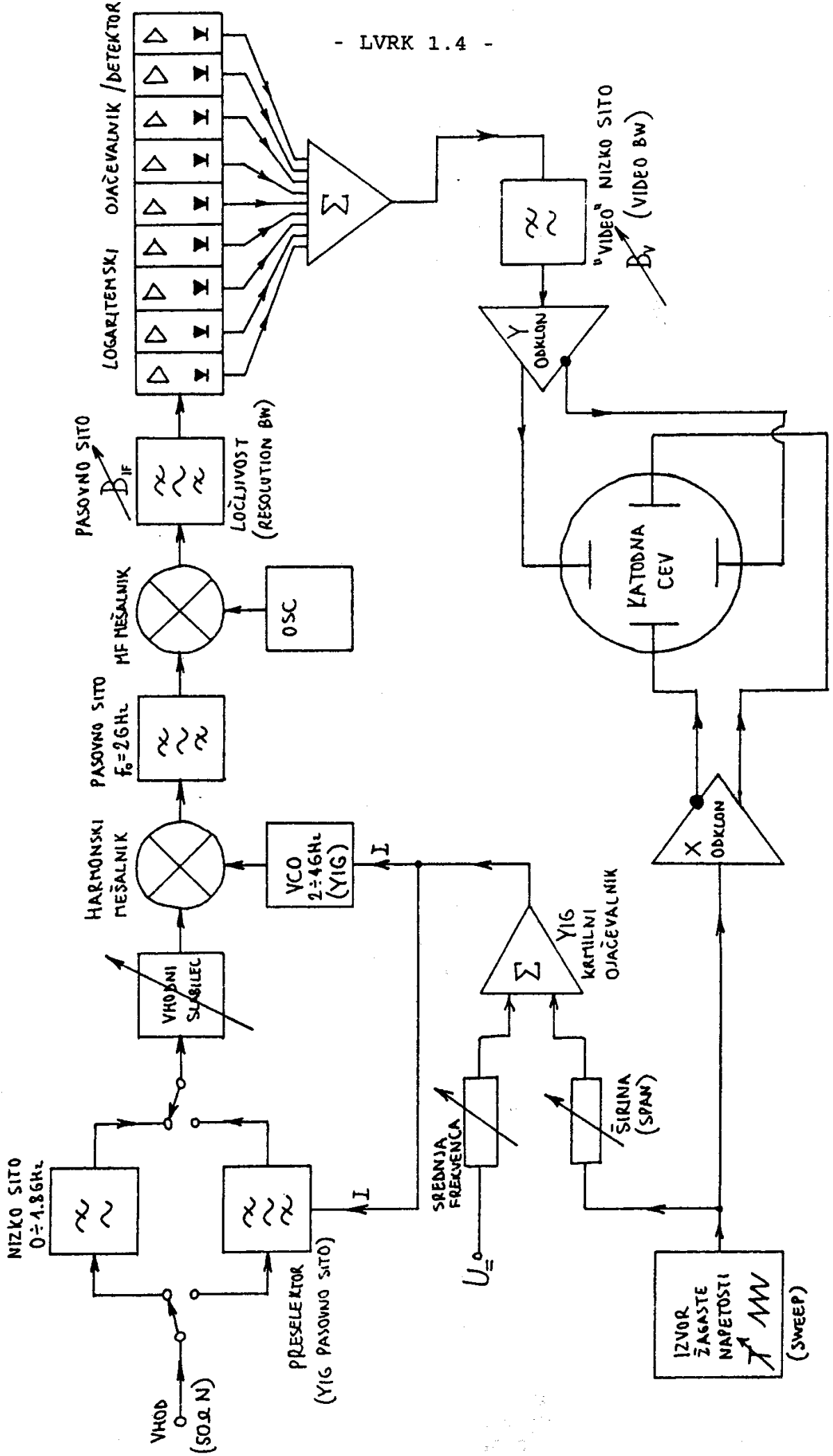
Iz slike na zaslonu potem skušamo razbrati pasovno širino posameznih signalov ter moč, ki jo dobimo na sponkah antene. Z nastavljivim slabilcem preverimo, da so merjeni signali resnični signali in ne slučajno proizvod intermodulacijskega popačenja v ojačevalniku ali spektralnem analizatorju.

Pri merjenju jakosti signalov moramo upoštevati tudi način povprečenja v samem spektralnem analizatorju. Pri meritvi ozkopasovnih (sinusnih) signalov, kjer je  $B_{\text{signala}} \ll B_{\text{if}}$  spektralnega analizatorja, lahko jakost signala neposredno odčitamo na zaslonu, kot je to prikazano na sliki 3. Video sita v tem slučaju ne potrebujemo, ker povprečenje ni potrebno.

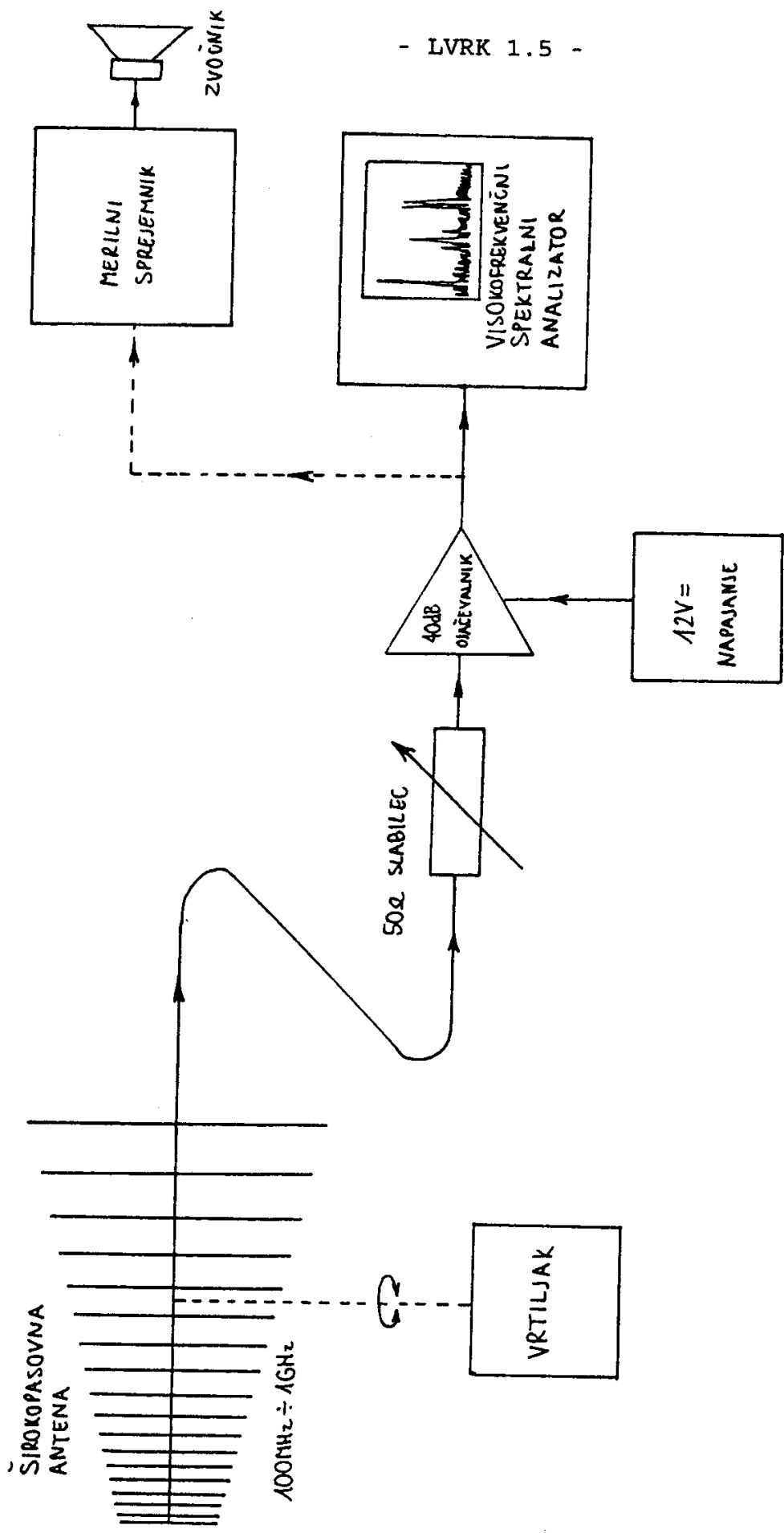
Povprečenje potrebujemo pri meritvi jakosti šuma oziroma jakosti širokopasovnih signalov. Povprečenje vključimo z video sitom, ki je ožje od medfrekvenčnega sita ( $B_{\text{v}} \ll B_{\text{if}}$ ). Pri uporabi povprečenja moramo poznati delovanje detektorja v spektralnem analizatorju, saj povprečje moči ni enako povprečju amplitud in oboje ni enako logaritemskemu (decibelskemu) povprečju, kot je to prikazano na sliki 4.

Če upoštevamo Rayleigh-ovo porazdelitev amplitude šuma, ugotovimo, da v slučaju linearnega detektorja izmerimo jakost šuma, ki je za -1.05dB nižja od povprečne moči šuma. V slučaju logaritemskega detektorja (ki ga uporablja večina spektralnih analizatorjev) je razlika še večja, saj je logaritemsko povprečje za -2.51dB nižje od povprečne moči šuma. Pri meritvi razmerja signal/šum moramo zato upoštevati teh -2.51dB kot tudi razliko med pasovno širino spektralnega analizatorja in pasovno širino sprejemnika, ki mu je signal namenjen.

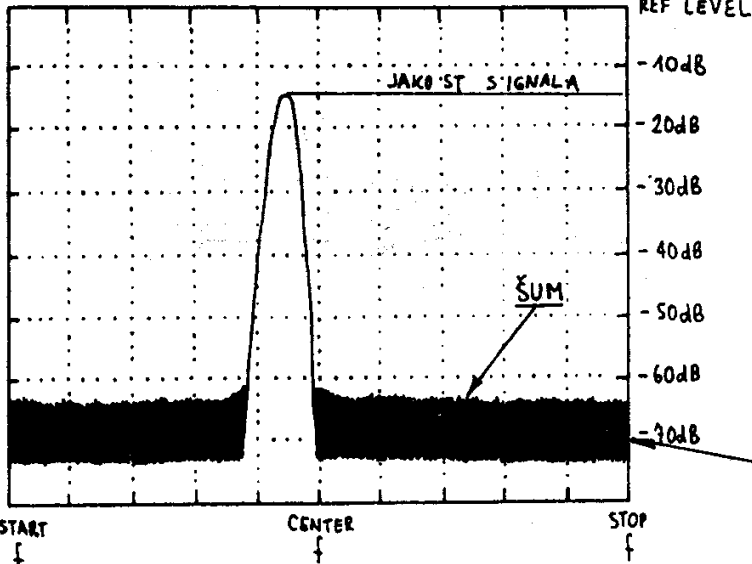
Končno, jakost širokopasovnih signalov merimo na povsem enak način kot jakost šuma. Tudi tu upoštevamo približno Rayleigh-ovo porazdelitev amplitude šuma znotraj pasovne širine spektralnega analizatorja, kar daje faktor -2.51dB. Ker pri širokopasovnem signalu izmerimo le gostoto moči signala na enoto frekvenčnega spektra, moramo končni rezultat pomnožiti z (efektivno) pasovno širino signala (glej sliko 5).



Slika 1 - Blokovi načrt visokofrekvenčnega spektralnega analizatorja.



Slika 2 - Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov.

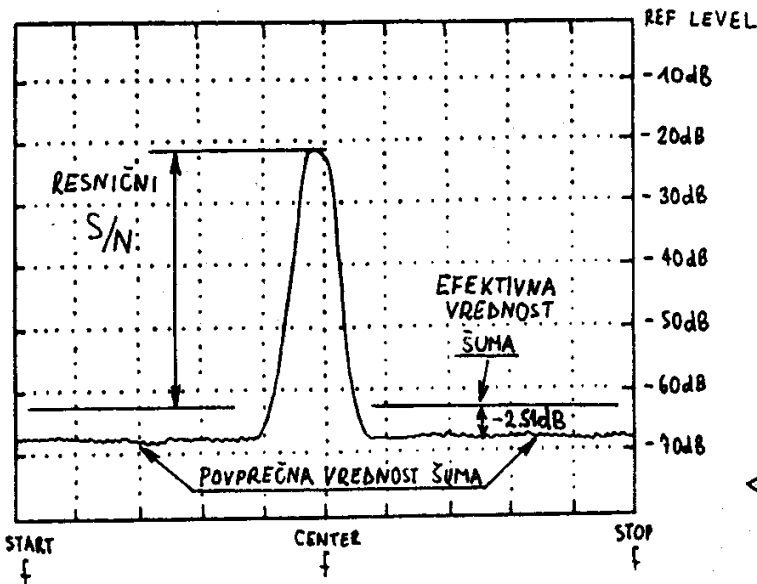


$$B_{\text{SIGNALA}} \ll B_{\text{IF}}$$

$$B_v \geq B_{\text{IF}} \text{ (izključeno video sito)}$$

Jakost šuma = ?

Slika 3 - Meritev jakosti ozkopasovnih (sinusnih) signalov.



$$B_{\text{SIGNALA}} \ll B_{\text{IF}}$$

$$B_v \ll B_{\text{IF}} \text{ (povprečenje šuma)}$$

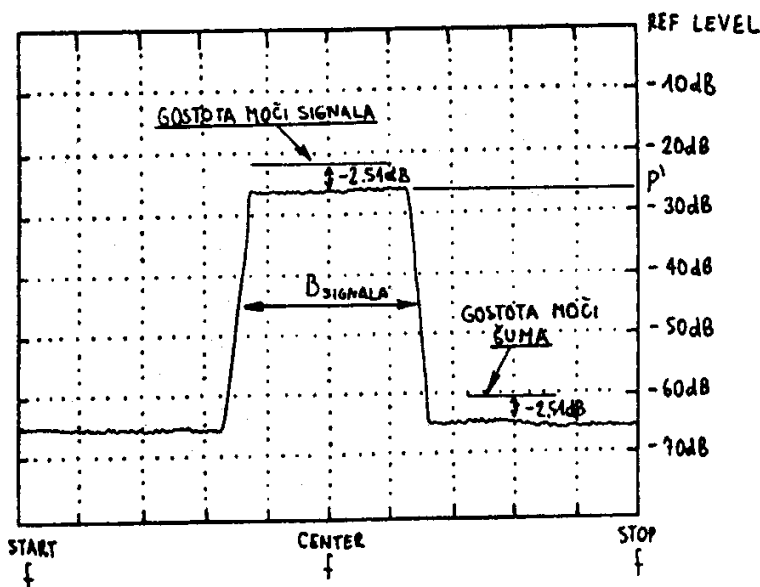
Linearni detektor:

$$\langle U_N \rangle = \sqrt{\langle U_N^2 \rangle} - 1.05 \text{ dB}$$

Logaritemski detektor:

$$\langle \log U_N \rangle = \log \sqrt{\langle U_N^2 \rangle} - 2.51 \text{ dB}$$

Slika 4 - Meritev jakosti šuma in razmerja signal/šum.



$$B_{\text{SIGNALA}} \gg B_{\text{IF}}$$

$$B_v \ll B_{\text{IF}} \text{ (povprečenje spektra signala in šuma)}$$

$$P_{\text{SIGNALA}} = \frac{B_{\text{SIGNALA}}}{B_{\text{IF}}} P' + 2.51 \text{ dB}$$

(logaritemski detektor)

Slika 5 - Meritev jakosti širokopasovnih signalov.