

Spektralni analizator

Visokofrekvenčni spektralni analizator

Pri meritvah v visokofrekvenčnem področju imamo pogosto opraviti z množico različnih signalov, ki so hkrati prisotni na istem območju opazovanja. Meritev vsote vseh običajno ni zanimiva, navadno želimo izvedeti podatek o jakosti in frekvenci vsakega signala posebej. Signal, ki nas v tej množici zanima, ni nujno tudi najmočnejši. Še huje, lahko je več kot milijon krat šibkejši od drugih prisotnih signalov.

Meritev z osciloskopom (v časovnem prostoru) je žal neustrezna že zaradi premajhne dinamike merilnega inštrumenta. Na zaslonu osciloskopa ne moremo več opaziti signala, ki ima amplitudo manjšo od 1 % amplitude največjega prisotnega signala, kar pomeni dinamiko komaj 40 dB. Za meritev je smiselno uporabiti inštrument, ki lahko razloči signale s precej večjo dinamiko, hkrati pa jih namesto v časovnem prostoru prikaže v frekvenčnem. Taka meritev je smiselna tudi zato, ker se večina pojavov v radijskih zvezah lažje opazuje v frekvenčnem prostoru.

Ustrezen merilnik je torej selektivni sprejemnik. Podobno kot radijski sprejemnik v avtomobilu v svoji notranjosti vsebuje frekvenčna sita, da lahko razloči med različnimi, istočasno prisotnimi signali. Takšen merilni sprejemnik je tehnično izvedljiv in omogoča zelo velik razpon jakosti merjenih signalov: razmerje med merjenim signalom in šumom (dinamika merilnika) lahko preseže 100 dB.

Selektivni merilni sprejemnik, ki sam preiskuje želeno frekvenčno področje in izpisuje izmerjeni frekvenčni spekter na zaslonu, imenujemo spektralni analizator.

Spektralni analizator je običajno načrtovan kot merilnik s čim večjo dinamiko. Pri tem določa spodnjo mejo toplotni šum, gornjo mejo pa pojav nelinearnih popačenj v sprejemniku. Sodobni spektralni analizatorji dosegajo dinamiko okoli 120 dB (v odvisnosti od nastavitve in načina izvajanja meritev).

Poenostavljeno: spektralni analizator izvaja Fourierjevo transformacijo na vhodnem signalu, zato je lahko z uporabo FFT (hitra Fourierjeva transformacija) izdelan povsem digitalno, na signalu, ki ga v časovni domeni zajema A/D (analogno-digitalni) pretvornik. Sicer takšne digitalne merilne inštrumente močno omejujejo razpoložljivi A/D pretvorniki, zato ne dosegajo visokega dinamičnega območja, omejeni pa so le na meritev ozkega frekvenčnega področja.

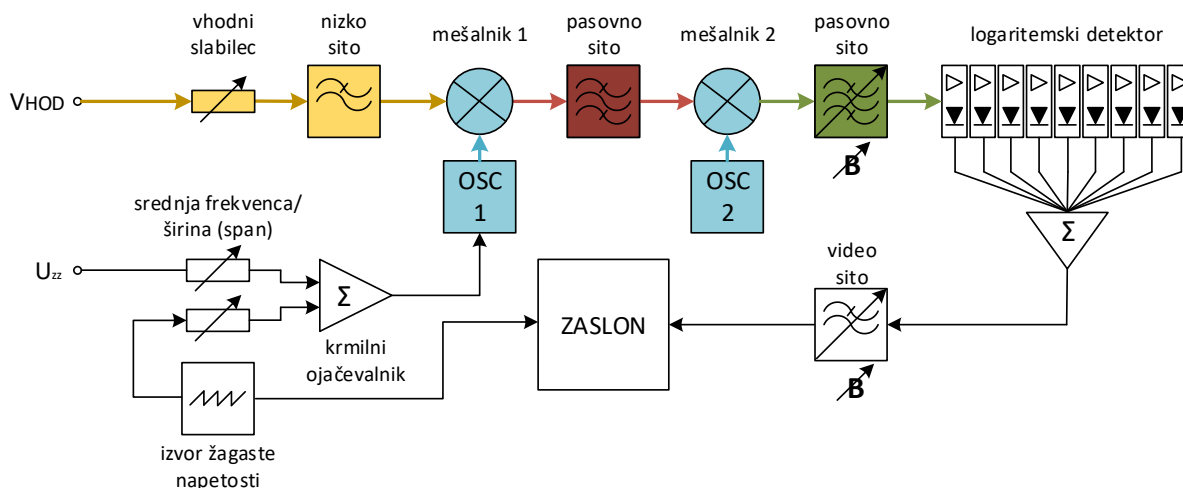
Druga (dražja) možnost je izdelava naprave, ki s pomočjo analognih sestavnih blokov (visokofrekvenčna sita, napetostno-krmiljeni izvori frekvence, detektorji moči, mešalniki, prikazovalniki) opravi enako nalogo, a veliko bolje.

Kako deluje spektralni analizator?

Zelo poenostavljeno shemo takšnega spektralnega analizatorja prikazuje Slika 1. Vhodni signal najprej vstopi v nastavljiv slabilnik. Ta nam omogoča slabljenje vhodnega signala do te mere, da morebitna prevelika moč ne poškoduje občutljivih sestavnih delov, ali pa povzroči nelinearne pojave. Za njim se nahaja nizkoprepustno sito, ki zaduši vse frekvence višje od načrtovane frekvence območja merjenja instrumenta.

Sledi prvi mešalnik s pripadajočim napetostno-krmiljenim oscilatorjem. Ta nam celotno frekvenčno področje vhodnega signala prestavi na višjo frekvenco. To na primer pomeni, da bo vhodni signal frekvence $f_{\text{vhod}} = 100\text{MHz}$ s pomočjo lokalnega oscilatorja preslikan na

frekvenco $f_{\text{izhod}} = 2100\text{MHz}$. Skupaj s pasovnim sitom, ki mu sledi, tvori selektivni sprejemnik. Pasovno sito spusti skozi le signale okoli izbrane osrednje frekvence, ostale pa zaduši. Frekvenca je navadno izbrana višje, kot je najvišja frekvenca vhodnega signala, ki jo merilnik še lahko izmeri. Če spektralni analizator krmili oscilator tako, da mu spreminja frekvenco, bo na neki točki naš 100 MHz signal preslikan ravno v območje, kjer ga pasovno sito spusti skozi. Tako selektivno izbira, kateri del spektra vhodnega signala merimo in opazujemo tisti hip.



Slika 1: Poenostavljena blokovna shema visokofrekvenčnega spektralnega analizatorja

Sedaj lahko opazujemo le delček spektra, a se ta nahaja na previsoki frekvenci, da bi ga na enostaven način analizirali in izmerili. Zato ga z drugim mešalnikom (ki vsebuje svoj oscilator na znani frekvenci) preslikamo navzdol. Tako bo prejšnji signal $f_{\text{izhod}} = 2100\text{MHz}$ preslikan na $f_{\text{med}} = 70\text{ MHz}$, če frekvenca drugega oscilatorja znaša $f_{\text{osc2}} = 2030\text{ MHz}$. Spektralnemu analizatorju nato dodamo nastavljivo pasovno sito. S spreminjanjem pasovne širine tega sita lahko večamo ali manjšamo frekvenčno ločljivost našega merilnega inštrumenta. Slabost ozkega sita je sicer počasen odziv, s tem pa počasno preletavanje celotnega frekvenčnega pasu in izvajanje meritev, zato navadno izbiramo med hitrim merjenjem in slabo ločljivostjo, ali pa počasnim merjenjem in večjo ločljivostjo. Na spektralnih analizatorjih to nastavitve najdemo kot RBW (ang. **R**esolution **B**and**W**idth).

Signal izmerimo z merilnikom moči, ki je največkrat izveden kot logaritemski detektor. Njegova zasnova omogoča visoko dinamično območje meritve. Naključni signal z logaritemskega detektorja povprečimo z video sitom VBW (ang. **V**ideo **B**and**W**idth) in ga prikažemo na zaslonu. Video sito uporabljamo za točne meritve povprečne vrednosti naključnih signalov, na primer toplotnega šuma.

Čas enega preleta je odvisen od širine spektra, ki ga opazujemo (Δf), izbrane pasovne širine pasovnega sita (B_{RBW}) in širine video sita (B_{VBW}). Pri tem velja:

$$\text{Čas preleta} \geq \frac{\Delta f}{B_{RBW}^2} \rightarrow \text{če } B_{VBW} \geq B_{RBW}$$

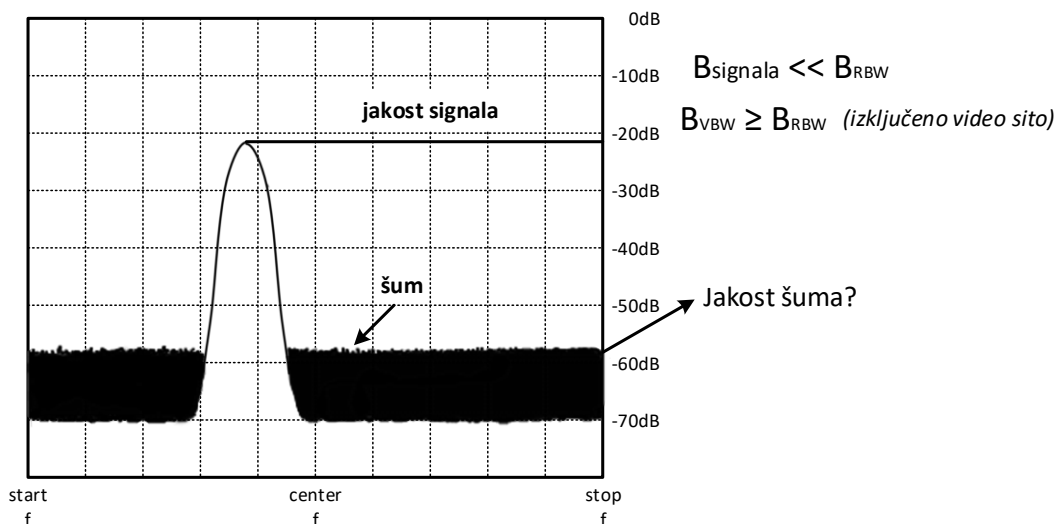
$$\text{Čas preleta} \geq \frac{\Delta f}{B_{RBW} B_{VBW}} \rightarrow \text{če } B_{VBW} \geq B_{RBW}$$

Čas preleta pri digitalnih prikazovalnikih sicer ne povzroča večjih nevšečnosti, saj sliko računalnik vedno v celoti drži prikazano na zaslonu.

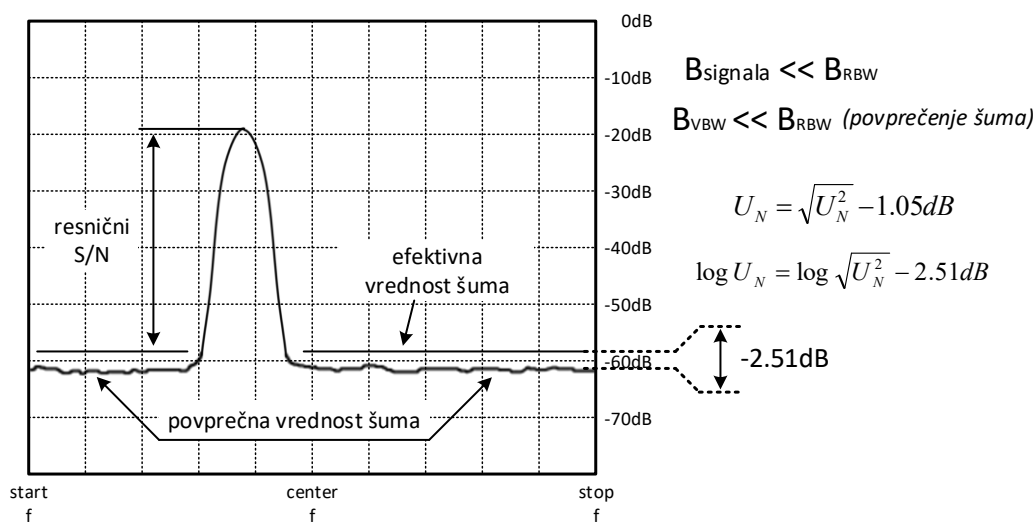
Kako merimo jakost in frekvenco signala s spektralnim analizatorjem?

Kadar odčitavamo vrednosti signala z zaslona spektralnega analizatorja, moramo najprej poznati lastnosti njegove skale. X-os je frekvenčna skala. Navadno ne opazujemo celotnega spektra, ki ga lahko izmeri merilna naprava (ang. Full span), ampak le delček. Takrat nam frekvenco, ki se nahaja na sredini zaslona, označuje nastavev osrednje frekvence (ang. Central frequency). Poleg tega moramo vedeti, kolikšen premik frekvence označuje en razdelek, kar je navadno določeno z MHz/razdelek (ang. MHz/div).

Y-os je amplitudna skala. Tu en razdelek navadno pomeni 10 dB, vedeti pa moramo kje se nahaja referenčna vrednost moči in koliko znaša. Pri merjenju jakosti signalov moramo upoštevati način povprečenja v samem spektralnem analizatorju. Pri meritvi ozkopasovnih (sinusnih) signalov, kjer je $B_{\text{signala}} \ll B_{\text{RBW}}$ spektralnega analizatorja, lahko jakost signala neposredno odčitamo na zaslonu, kot je to prikazano na Sliki 2. Video sita v tem slučaju ne potrebujemo, ker povprečenje ni potrebno.



Slika 2: Meritev jakosti ozkopasovnih (sinusnih) signalov



Slika 3: Meritev jakosti šuma in razmerja signal/šum.

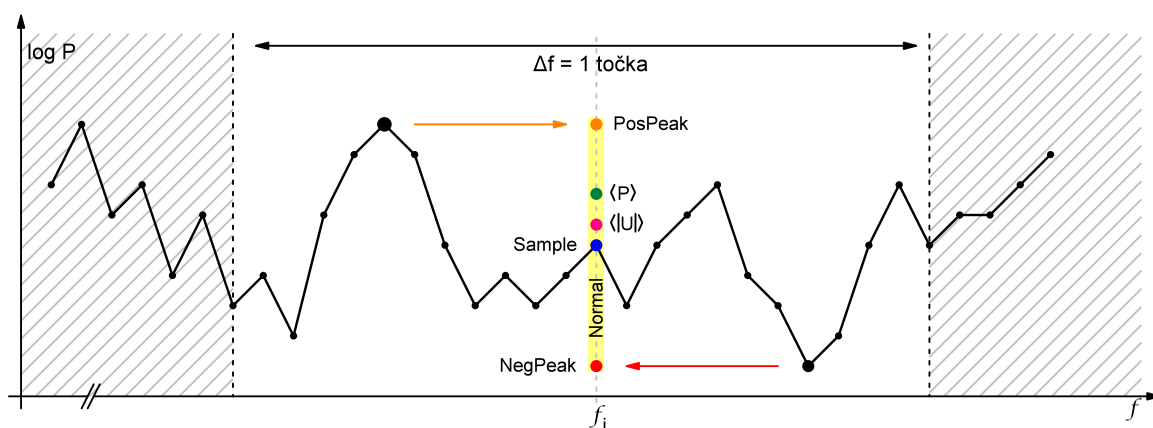
Povprečenje potrebujemo pri meritvi jakosti šuma oziroma jakosti širokopasovnih signalov. Povprečenje vključimo z video sitom, ki je ožje od medfrekvenčnega sita ($B_{\text{VBW}} \ll B_{\text{RBW}}$). Pri

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 3.

Če upoštevamo Rayleigh-jevo porazdelitev amplitude šuma, ugotovimo, da v slučaju linearnega detektorja izmerimo jakost šuma, ki je za 1,05 dB nižja od povprečne moči šuma. V slučaju logaritemskega detektorja (ki ga uporablja večina spektralnih analizatorjev) je razlika še večja, saj je logaritemsko povprečje za 2,51 dB nižje od povprečne moči šuma. Pri meritvi razmerja signal/šum moramo zato upoštevati teh 2,51 dB, 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-jevo porazdelitev amplitude šuma znotraj pasovne širine spektralnega analizatorja, kar daje faktor -2,51 dB. Ker pri širokopasovnem signalu izmerimo le gostoto moči signala na enoto frekvenčnega spektra, moramo končni rezultat pomnožiti z (efektivno) pasovno širino signala.

Pozor! Pri uporabi novejših (digitalnih) spektralnih analizatorjev moramo biti pazljivi pri meritvah povprečnega šuma oziroma širokopasovnih signalov, saj je odčitek moči (preko značke-markerja) že zapisan z upoštevanjem faktorja 2,51 dB. Druga težava je izbira tipa detektorja, ki spremeni zgolj način prikaza na LCD zaslonu. Zaslona ima omejeno ločljivost, točk meritve pa je precej več (lahko tudi $100 \times$ več). Program se mora zato odločiti kako nariše vrednost naših točk, ki padejo pod isto točko ali stolpec na zaslonu.



Slika 4: Tip detektorja.

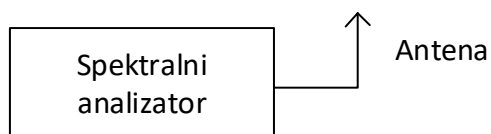
Privzeto se večina spektralnih analizatorjev postavi v način PosPeak, kjer se nariše najvišja vrednost signala znotraj širine stolpca. Izbira je primerna za odkrivanje ozkopasovnih motilnikov, nikakor pa ni primerna za merjenje širokopasovnih signalov ali šuma. V tem primeru je boljša nastavev Normal (ki riše pokončno črto od najmanjše do največje vrednosti) ali možnost Sample, ki vedno vzame točko na sredini vseh izvedenih meritev. Ostale možnosti se uporabljajo zelo redko, večinoma pri certificiranju izdelkov.

Seznam potrebnih pripomočkov

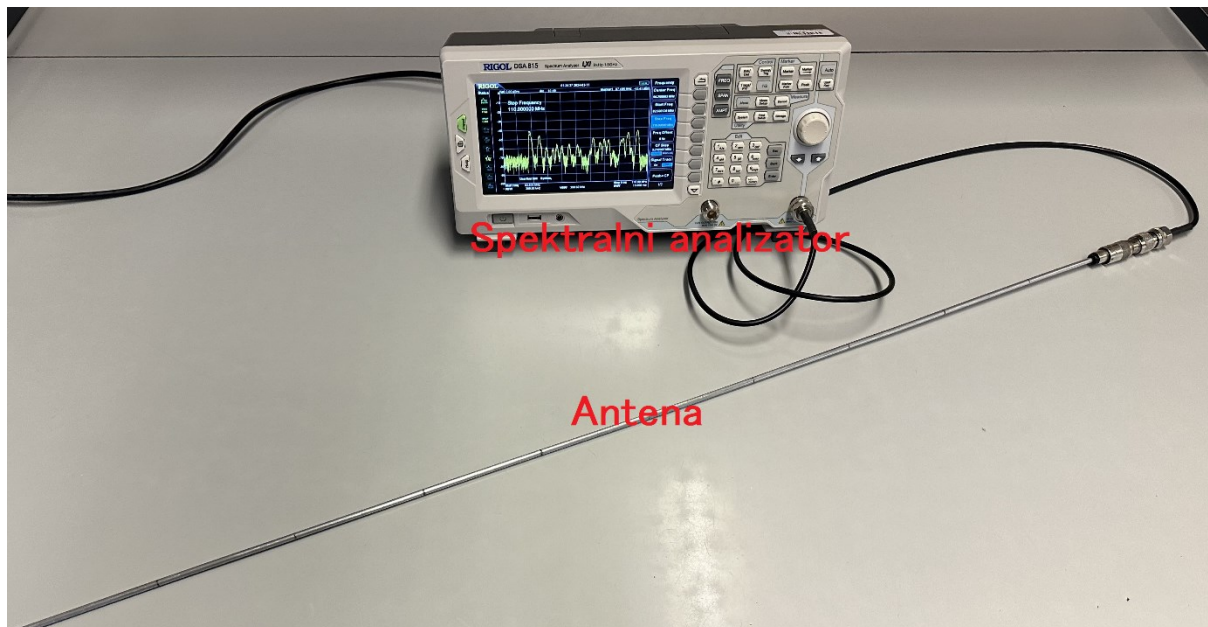
Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Visokofrekvenčni spektralni analizator 0 – 1.5 GHz
- Antena za področje FM

Postavitev merilnih pripomočkov prikazuje Slika 5, razporeditev pa Slika 6.



Slika 5: Skica vezave merilnih pripomočkov



Slika 6: Slika vezave merilnih pripomočkov

Opis poteka vaje

Cilj vaje je opazovanje signalov na spektralnem analizatorju in njegovo upravljanje. Sledite navodilom za upravljanje instrumenta, ki so zapisane na zbirnem listu.

Prvi del vaje: Določite moč in frekvenco za vse radijske postaje znotraj 5 MHz področja, ki jih sprejemate s preprosto anteno. Pazite, da anteno med izvajanjem meritev ne premikate, saj lahko s tem spremenite delovne razmere. Postaje vnesite na zbirni list (naziv postaje glede na izmerjeno frekvenco poiščite na spletu), za vsak signal pa pripišite frekvenco in moč.

Frekvenco in moč lahko izmerite s pomočjo markerja.

Drugi del vaje: Poglejte si območje frekvenc LTE. Izmerite širino uporabljenega spektra.

Naloga

1. Izmerite frekvenco in moč FM radijskih postaj, ki se nahajajo znotraj izbranega 5 MHz območja. Postaje zapišite na zbirni list.
2. Izmerite širino spektra, kjer se nahaja sistem LTE.
3. Izpolnite zbirni list z zahtevanimi podatki.