

Dodatne merilne naprave spektralnega analizatorja (1)

Darke Volk, S57UUD

Ob delu s spektralnim analizatorjem, ki ga je v publikacijah objavil Matjaž Vidmar-S53MV, sem naletel na potrebo točnejše meritve frekvence, kasneje pa še možnosti dokumentiranja izmerjenih vrednosti in oblik odzivov. Tako je nastal Merilnik frekvence in analogno digitalni pretvornik signala s prenosom podatkov na osebni računalnik. To sta dve ločeni napravi. Med seboj sta povezani le toliko, kolikor je nujno potrebno za prenos podatkov na osebni računalnik. Ta sestavek opisuje merilnik frekvence, v nadaljevanju sledi druga naprava in morda še katera.

Merilnik frekvence

Izbira koncepta

Imel sem kar nekaj idej, kako tak merilnik realizirati, vendar je nekaj natančnejših izračunov pokazalo, da sta uporabni le dve od meni poznanih in dostopnih idej. Vsaka ima svoje prednosti in tudi slabosti.

Meritev s pomočjo sledilnega izvora

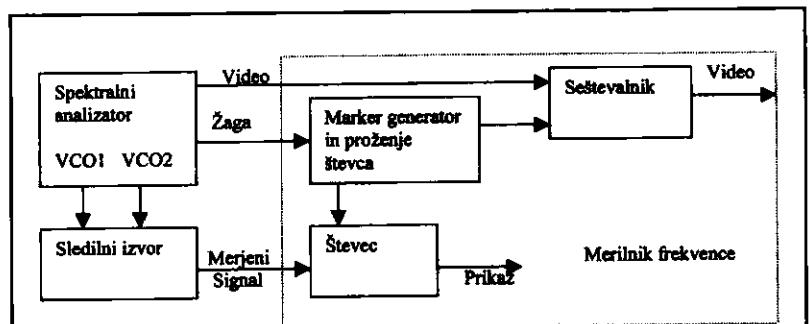
Meritev se vrši tako, da se v čisto določenem trenutku izmeri frekvenca sledilnega izvora spektralnega analizatorja. Glej sliko 1.

Meritev obeh VCO-jev spektralnega analizatorja

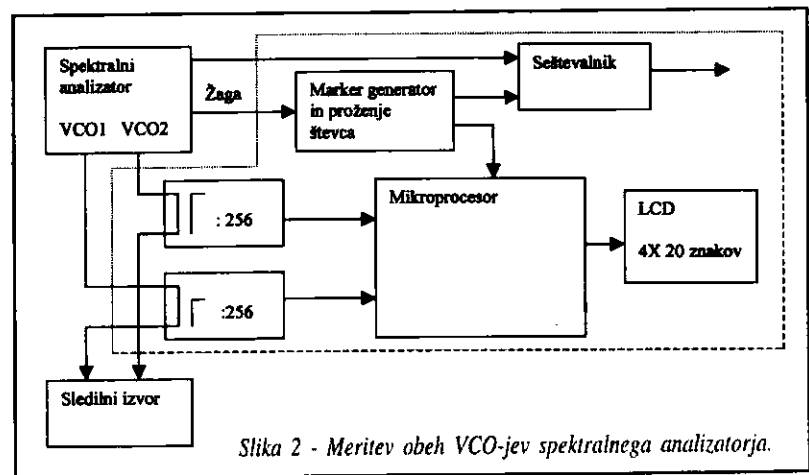
Meritev je zahtevnejša, predvideva namreč meritev frekvence obeh VCO v spektralnem analizatorju in nato izračun merjene frekvence z upoštevanjem medfrekvence spektralnega analizatorja. Glej sliko 2.

Problemi pri meritvah

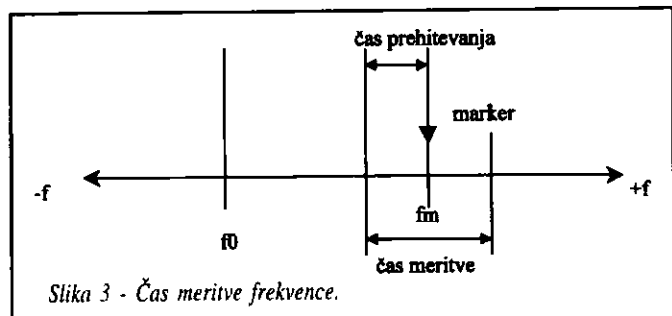
Ker se frekvence (f_m) nekega signala ne da izmeriti v neskončno majhnem času, moramo s startom meritve pričeti preden prikažemo oznako (marker). Čas meritve (glej sliko 3) pa mora biti ob predpostavki, da je sprememba frekvence v času meritve linearna, dvakrat večji času prehitevanja. Ker sprememba frekvence v času meritve ni nikoli čisto linearna, se nam napaka meritve veča z večanjem časa meritve. Iz povedanega sledi, da želimo imeti zelo kratke čase merjenja. Vendar prekratki merilni časi tudi prispevajo k nenatančnosti meritve. Pa si problem oglejmo podrobneje. Če računamo, da se prelet žarka izvrši stokrat v sekundi, čas meritve pa naj bi bil, recimo, stotino celotnega preleta. Tako kratek čas pade v razred debeline osciloskopskega žarka in bi popolnoma ustrežal. Čas meritve je tako definiran na 0.1 ms, kar da natančnost ± 10 kHz, pred preskalerjem. Ker zaradi zanesljivosti delovanja, frekvence osnovnega števec nima smisla navijati preko 15 MHz, je faktor deljenja preskalerja postavljen na najmanj 128. V praksi pa se je bolje obnesla vrednost 256 in zgornja meja števec



Slika 1 - Meritev s pomočjo sledilnega izvora.



Slika 2 - Meritev obeh VCO-jev spektralnega analizatorja.



Slika 3 - Čas meritve frekvence.

7 MHz. Z upoštevanjem faktorja deljenja 256 je natančnost meritve pri tako kratkem času komajda ± 2.5 MHz. Pri merjenju v mejah od 0 do 1.7 GHz je to izpod 0.15 %, kar sicer zadovoljuje, vendar se katastrofalno slabša z ožjenjem mej meritve. Pri razponu meritve 50 MHz je natančnost

že manjša od 5 % ! Tako zelo kratek čas meritve torej nikakor ni uporaben. Desetkrat daljši čas pa že daje čisto uporabne rezultate. Natančnost meritve lahko bistveno izboljšamo, če meritev ponovimo večkrat, izpišemo pa povprečen rezultat. Takšen postopek imenujemo povprečenje. Če pri upoštevanju izračuna povprečenja zanemarimo najvišji in najnižji rezultat, se natančnost še nekoliko izboljša.

Problemi pri meritvah s pomočjo sledilnega izvora

Območje meritve pri spektralnem analizatorju se seveda giblje od -f do +f , pri čemer so vse frekvence levo od f0 zrcalna preslikava okrog f0. Na enak način se obnaša tudi sledilni izvor. Ker merilnik frekvence ne more upoštevati faze oziroma predznaka frekvence, je meritev po metodi 1 napačna pod pogojem, da se start meritve prične pred f0. Pri prvi metodi merjenja se meritvi f0 lahko samo približamo, izmeriti pa je nikakor ne moremo. Kako zelo se bomo f0 lahko približali, pa je odvisno od tega, kako velik čas meritve si izberemo. Če si za meritev izberemo eno desetino časa preleta žarka, bo spodnja frekvenčna meja, ki jo je še mogoče izmeriti, pri večjih merilnih območjih in okviru 5% celotnega območja, pri majhnih območjih pa je odvisna kar od spodnje frekvenčne meje preskalerja, ki pri statičnih izvedbah doseže nekaj MHz. Ko meritve izvajamo samo v spodnjem delu frekvenčnega pasu, se temu problemu izognemo tako, da meritve opravimo brez priključenega preskalerja. S tem se tudi natančnost meritve poveča za faktor 256.

Povsem podoben problem natančnosti nastane v bližini +f, vendar tu ni tako pereč, saj se s pravilno izbiro območja meritve napaki lahko ognemo (razen na najvišjem območju 0-1700 MHz). Sicer pa tega problema tudi pri merjenju frekvence obeh VCO-jev ne rešimo. Vnaša pa tak način v meritev še en problem. Sledilni izvor namreč ne sledi spektralnemu analizatorju z absolutno natančnostjo. Razlike v primerjavi z ostalimi napakami so zane-marljive, vendar se je treba tega dejstva zavedati, saj napaka v delovanju ali priključitvi sledilnega izvora povzroči tudi napako v meritvi frekvence. Je pa sledilni izvor pri določenih meritvah hkrati lahko tudi izvor motilnega signala.

Problemi pri meritvah frekvence obeh VCO-jev

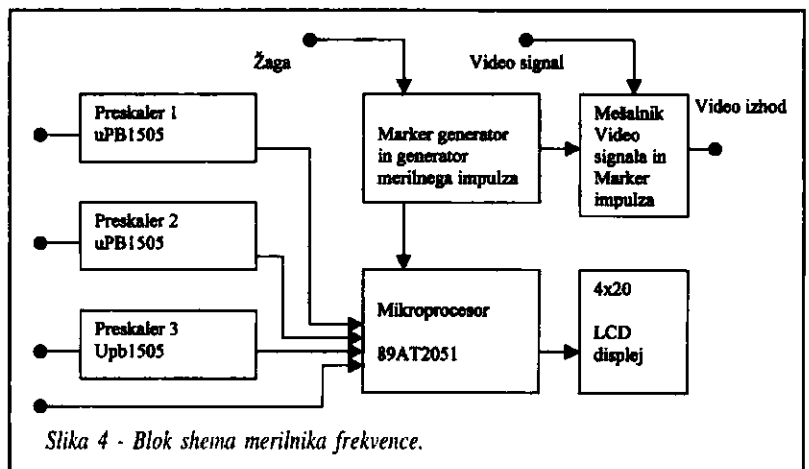
Pri tem načinu merjenja frekvence se moramo zavedati, da je potrebno za vsako meritev frekvence izmeriti pravzaprav dva vira signalov. To pa pomeni, da moramo na rezultat čakati še enkrat dlje kot v prvem primeru. Pri enkratni meritvi to sicer ni problem, se pa časovna odzivnost krepko pozna, ko merimo s povprečenjem. Povprečenje pa je vedno aktualno, saj za mikroprocesor algoritem ni zahteven, brez mikroprocesorja pa ne moremo, saj ni enostavnejšega vezja, ki bi izračunalo razliko VCO-jev in med-frekvence spektralnega analizatorja. Pri tem načinu lahko natančno merimo tudi preko f0 v negativno stran, če se le potrudimo narediti aritmetiko, ki upošteva predznak za dani mikroprocesor, saj v resnici merimo frekvence obeh VCO-jev. Tudi napaka meritve zaradi kratkega časa merjenja je tu teoretično dvakrat večja, saj moramo upoštevati najslabšo možnost, ki nastane takrat, ko pri obeh VCO-jih izmerimo najvišje oziroma najnižje vrednosti sočasno. V praksi pa je rezultat meritve mnogo bolj natančen, še posebej, če iz meritve pri povprečenju izločimo najnižje in najvišje izmerjene rezultate. Kljub temu so napake pri meritvah nizkih frekvenc relativno zelo velike. Razlog tiči v tem, da moramo pri tem načinu dva približno enaka zelo točno izmerjena rezultata med seboj odšteti, pri čemer dobimo zelo majhen rezultat, napake pa se pri tem seštevajo.

Primer: VCO 1 je 2110.8 MHz +0,25 MHz
 VCO 2 je 2030.6 MHz +0,25 MHz
 MF 70.7 MHz

Rezultat meritve: 2111,3-2030,6-70,7 Mhz +0,5 MHz = 10 MHz +0,5 MHz

Pri merjenju frekvence vsekakor nismo vajeni tako slabe točnosti, vendar pa je treba vedeti, da je že sama velikost markerja v razredu 1 %. No, na višjih frekvencah so točnosti meritve bistveno boljše.

Tak način meritve zahteva tudi precej zmogljive preskalerje. VCO1 se namreč giblje v razponu od 2-4 GHz, VCO2 pa je okrog 2 GHz.



Slika 4 - Blok shema merilnika frekvence.

Blokovna shema in opis

Ker ima vsak od zgoraj opisanih načinov merjenja svoje prednosti, sem se odločil zgraditi napravo, ki bo vsebovala možnosti obeh načinov merjenja. Na blok shemi (slika 4) lahko vidimo osnovne sestavne dele takega merilnika.

Merilnik vsebuje tri preskalerje, analogno digitalni pretvornik, mikroprocesorsko vezje, generator merilnega impulza, marker generator, vezje, ki definira merilno območje, analogni seštevalnik, ki meša video signal z signalom markerja, in LCD video displej.

Tako sestavljena naprava deluje na več načinov. Možna je meritev obeh VCO-jev in preračun frekvence z upoštevanjem medfrekvence spektralnega analizatorja, s tretjim preskalercjem je možna meritev izvoda sledilnega izvora, rezultate je mogoče istočasno primerjati med seboj. Četrti merilni vhod nima preskalerja - z njim lahko merimo frekvence do 50 MHz z teoretično natančnostjo +1kHz (najmanjša pasovna širina filtra v spektralnem analizatorju je 10kHz !!). Če pa na tretji preskaler pripeljemo signal iz harmonskega mešalnika, lahko z upoštevanjem pravih harmonika merimo frekvence vse do 24 GHz. Če meritev ponovimo vsaj dvakrat, s različno frekvenco harmonskega mešalnika, lahko natančno določimo, s katerim harmonikom se merjeni signal meša. Tako lahko natančno izmerimo frekvenco tudi z pomočjo harmonskega konverterja. Natančnost meritve je v tem primeru še nekaj slabša in znaša v odvisnosti od harmonika do +10 MHz, kar pa je v večini primerov bolje od 1 %, torej vnaša debelina osciloskopskega žarka v končni rezultat večjo napako kot meritev sama.

Naprava ima možnost izbire več markerjev, meritve pa izvaja zaporedoma. Dva od štirih možnih markerjev zato koristimo za meritev spodnje in zgornje frekvenčne meje - frekvenčni obseg. Ker je pozicija markerja definirana z presečiščem žagaste in enosmerne napetosti, spreminjamo pozicijo markerja kar z enosmerno napetostjo na potenciometru z desetimi obrati. Napetosti na obeh koncih tega potenciometra nastavimo tako, da z vrtenjem potenciometra z markerjem pokrijemo celotno frekvenčno območje. Če napetosti na obeh koncih potenciometra pripeljemo na prvi in drugi vhod za generiranje markerjev, bo naprava pravilno merila tudi frekvenčno območje spektralnega analizatorja. V praksi se je pokazalo, da en marker popolnoma zadovoljuje vse potrebe.

Že iz same blok sheme je razvidno, da je naprava pravzaprav sestavljena iz štirih merilnikov frekvence. Tako lahko torej na zunanjih vseh (preskaler 3 in direktni vhod) merimo frekvenco neodvisno od delovanja spektralnega analizatorja. Natančnost meritve je seveda odvisna od časa merjenja in od natančnosti generatorja merilnega impulza. Merilnik zmora prikaz na devet mest, pri čemer je natančnost meritve +2 na zadnjem mestu, čas meritve pa je 7.5 s. Za doseganje take natančnosti pa je v generator merilnega impulza potrebno vgraditi TCXO (Temperaturno stabiliziran kristalni oscilator). Naprava seveda nudi tudi izbiro krajših časov meritve, kar da seveda hitrejše obnavljanje rezultata, žal pa tudi manjše natančnosti merjenja. Ta merilnik deluje kot merilnik prehodov vhodnega signala in ga lahko v te namene tudi koristimo. To pomeni, da lahko merimo tudi število neperiodičnih pojavov (geigerjev števec!) v času, ki je izpisan na LCD prikazovalniku.