

# Dodatne merilne naprave spektralnega analizatorja

Darko Volk - S57UUD

Ob delu s spektralnim analizatorjem, ki ga je v publikacijah objavil Matjaž Vidmar, 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. Opis, ki tukaj sledi torej opisuje vsako napravo posebej.

## 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.

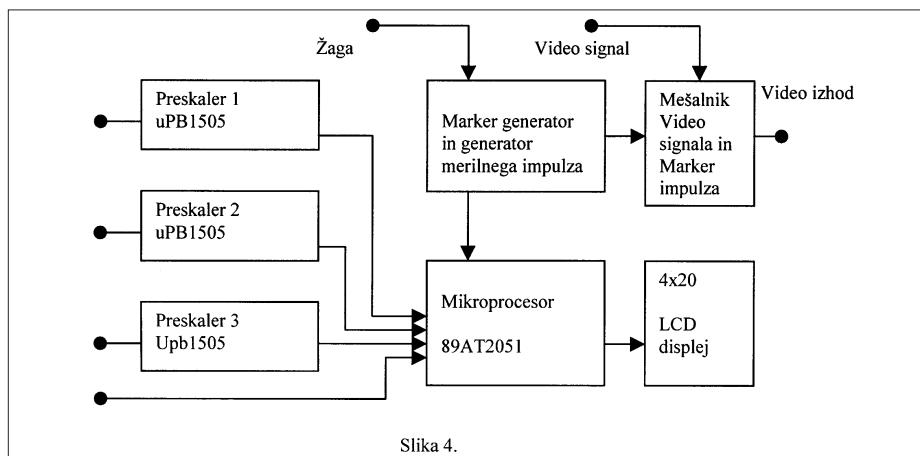
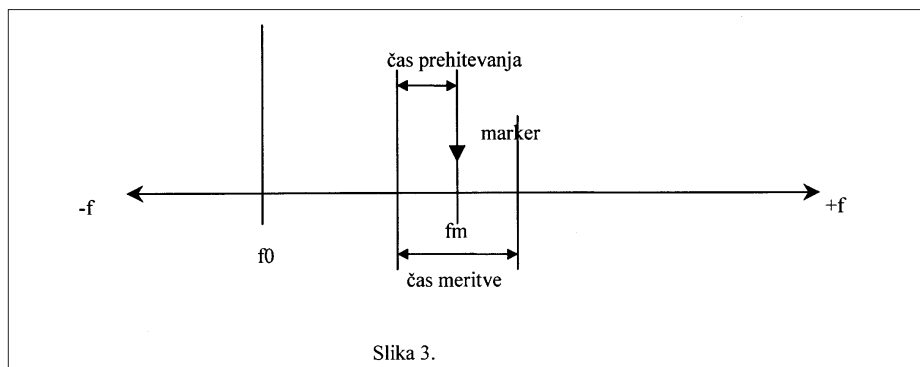
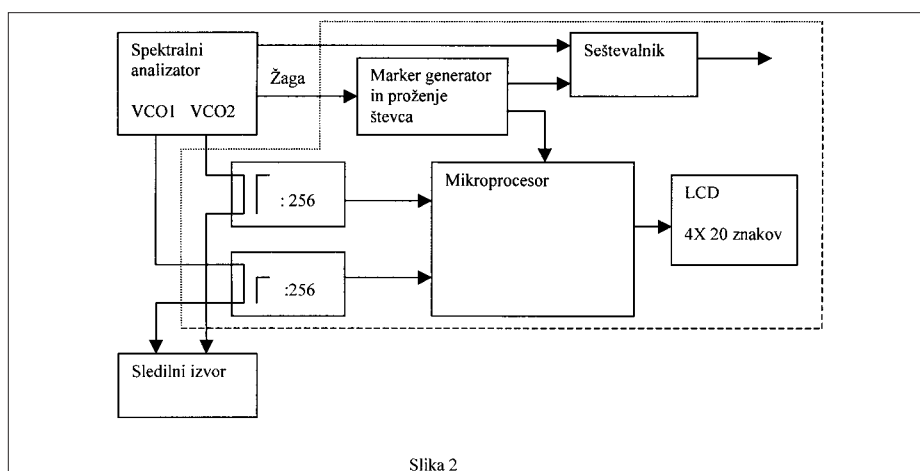
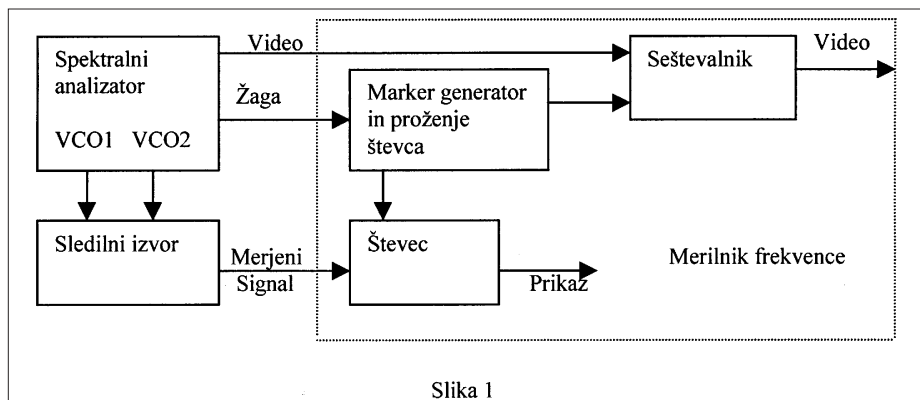
Meritev se vrši tako, da se v čisto določenem trenutku izmeri frekvenca sledilnega izvora spektralnega analizatorja. Glej sliko 1.

### 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 z 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 frek-



TA STRAN JE PRAZNA  
NAČRT JE PRI S57UUD

TA STRAN JE PRAZNA  
NAČRT JE PRI S57UUD

vence v času meritve ni nikoli čisto linearna, se nam napaka meritve večja 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 sto krat v sekundi, čas meritve pa naj bi bil recimo stotino celotnega preleta. Tako kratek čas pade v razred debeline osciloskopskega žarka in bi popolnoma ustrezal. Čas meritve je tako definiran na 0.1 ms, kar da natančnost  $\pm 10\text{kHz}$ , pred preskalerjem. Ker zaradi zanesljivosti delovanja, frekvence osnovnega števca 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 števca 7 Mhz. Z upoštevanjem faktorja deljenja 256 je natančnost meritve pri tako kratkem času, komajda  $\pm 2.5$  Mhz. Pri merjenju v mejah od 0 do 1.7 GHz je to izpod 0.15 %, kar sicer zadovoljuje, vendar se katastrofalno slabša z oženjem 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  $f_0$  zrcalna preslikava okrog  $f_0$ . 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  $f_0$ . Pri prvi metodi merjenja se meritvi  $f_0$  lahko samo približamo, izmeriti pa je nikakor ne moremo. Kako zelo se bomo  $f_0$  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 je pri večjih merilnih območjih v 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 zanemarljive, 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 medfrekvence spektralnega analizatorja. Pri tem načinu lahko natančno merimo tudi preko  $f_0$  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  $\pm 0,25$  MHz

VCO 2 je 2030.6 Mhz  $\pm 0,25$  MHz

MF 70.7 Mhz

Rezultat meritve :

2111,3-2030,6-70,7 Mhz  $\pm 0,5$  MHz = 10 Mhz  $\pm 0,5$  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.

### **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, 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 preskalerjem je možna meritev izhoda sledilnega izvora, rezultate je mogoče istočasno primerjati med seboj. Četrty merilni vhod nima preskalerja - z njim lahko merimo frekvence do 50 Mhz z teoretično natančnostjo  $\pm 1\text{kHz}$ . (najmanjša pasovna širina filtra v spektralnem analizatorju je 10kHz !!). Če pa na tretji preskaler pripeljemo signal iz harmonskega mešalnika, lahko z upoštevanjem pravilnega harmonika merimo frekvence vse do 24 GHz. Natančnost meritve je v tem primeru še nekaj slabša in znaša v odvisnosti od

harmonika do  $\pm 10$  Mhz, kar pa je v večini primerov boljše od 1 %, torej vnaša debelina osciloscopskega žarka v končni rezultat večjo napako, kot meritev sama.

Naprava ima možnost izbire več markerjev, meritve pa izvaja zaporedoma. Dva od osmih možnih markerjev zato koristimo za meritve 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 napetosti 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.

Izvedba vseh treh preskalerjev je sicer enaka, le odvzem signala je prilagojen njihovemu namenu. Preskalerja, ki merita signal VCO1 in VCO2 odvzemata signal preko smernega sklopnika. Sklopniki pa so različni za VCO1 in VCO2, prvi je dimenzioniran za frekvence okrog 3 Ghz, tako da pokrije celoten obseg od 2 do 4 Ghz. Drugi sklopnik odvzema signal z VCO2 in ni kritičen, saj se VCO2 giblje v mnogo ožjem področju okrog 2 Ghz. Smerni sklopniki imajo od 15 do 20 dB slabljenja, odvisno od frekvence, zato je dodatno ojačenje pred preskalerjem nujno. Tretji preskaler signala ne odvzema, ampak ga meri direktno. Tu dodatno ojačenje ni potrebno, vendar je uporaba ločilnega ojačevalnika smiselna, saj je preskaler dražji in težje dobavljiv element.

Generator merilnega impulza in marker generator nam omogočata natančno meritve. Predvsem mora biti dolžina merilnega impulza zelo točno definirana. To je narejeno z pomočjo kvarčnega oscilatorja frekvence 10.240 Mhz. Signal, ki nastane v oscilatorju (74HC00) delimo s primernimi delilniki (74HC74). V času polovice trajanja merilnega impulza, pa naredimo še impulz za marker. S stikali lahko nastavljamo širino marker impulza in število prehodov žarka v tej širini. Generator merilnega impulza omogoča, da lahko naredimo tudi dvakrat širše impulze. Tako povečamo natančnost meritve, na žalost pa tudi čas me-

ritve. Funkcijo nadzoruje mikroprocesor.

Merilni impulz se torej ne začne točno ob presečišču žage z enosmerno napetostjo, pač pa sinhrono z prvim impulzom iz oscilatorja, kontroliranega s kvarcem. Na ta način dosežemo, da je širina impulza vedno enaka.

Seštevalnik video signala in signala marker generatorja

Seštevalnik je realiziran z enim samim integriranim vezjem MC33074, v katerem pa je več operacijskih ojačevalnikov. Za vzor sem imel vezje, ki ga je Matjaž uporabil v video pomnilniku.

Mikroprocesor in merjenje frekvence

Mikroprocesor 89C2051 sicer vsebuje števec s pomočjo katerega je mogoče narediti merilnik frekvence, vendar je zmogljivost takega merilnika preskromna v vsaj dveh lastnostih. Zgornja frekvenčna meja je nekaj pod 1 Mhz, tudi raster (16 biten števec) ne ustreza. Oba problema sem rešil z 74HC590 števcem. Proizvajalci tega čipa zagotavljajo 60 Mhz za zgornjo frekvenco pri kateri števec še šteje. Po končanem merilnem impulzu mikroprocesor odčita še stanje števca v 74HC590 in tako dobimo 24 bitni rezultat, kar je vsekakor dovolj natančno. Procesor krmili tudi potrebno logiko, ki določi na katerem od štirih merilnih vhodih se trenutno meri frekvenca. Na tak način zbrani podatki se še dodatno obdelajo (množenje, deljenje, odštevanje, pretvorba formatov..) nato pa se vsi rezultati izpišejo na štiri vrstičnem LCD displeju. Celotno procesorsko vezje je narejeno tako, da imamo 74HC137 selektor, ki omogoča, da je izbrano eno samo vezje oziroma naprava, do katere dostopa procesor, ali pa naprava pošilja podatke procesorju.

### **AD-DA –RS232 pretvornik video signala.**

Razmišljanja o tem kako deluje video pomnilnik, ki ga je naredil Matjaž Vidmar (S53MV) me je privedlo do ideje kako prenesti sliko s spektralnega analizatorja na PC in kasneje še na printer. Njegov video pomnilnik sem križal s mikroprocesorjem in dobil napravo, ki zmore sledeče:

- Analogno digitalno pretvorbo video signala.
- Hranjenje video slike v enem od

štirih delov pomnilnika.

- Digitalno analogna pretvorba in prikaz shranjene slike zopet na osciloskopu
- Prenos podatkov slike s posameznih delov pomnilnika preko RS232 na PC.
- Prenos podatkov o sliki s PC v določen polnilnik in prikaz slike na osciloskopu
- Prenos podatkov z merilnika frekvence v pomnilnik. Tako so digitalizirane slike opremljene z podatki o območju meritve in frekvenco markerja.

Vse pretoke informacij seveda nadzira mikroprocesor.

### **Opis naprave**

AD in DA pretvornik ne bom posebej opisoval, saj je popolnoma enak kot pri pomnilniku video signala, le da posamezne signale nadzoruje mikroprocesor. Tokrat sem uporabil raje 89C53, ki se je ob razvoju programa izkazal kot nenadomestljiv. V končno verzijo naprave seveda lahko vgradimo cenejši 89C51. Pomnilnik je zgrajen z dvema 23512 integriranimi vezjema in je razdeljen na štiri logične dele. Mikroprocesor pa določa kateri od štirih delov je trenutno aktiven. Mikroprocesor seveda lahko dostopa do bilo katerega pomnilniškega naslova. Na tem naslovu lahko podatke vpisuje in – ali prečita. To je pomembno zato, ker se slika pred pošiljanjem na PC opremi še s podatki o merilnem frekvenčnem območju in o frekvenci markerja. Mikroprocesor dobi podatke po osem bitnem vodilu. Pošlje mu jih merilnik frekvence. Za časovno usklajenost poskrbita programa, ki sta v mikroprocesorjih.

Naprava video signal vzorči zelo hitro, zato ena slika zapolni 32k pomnilnika, pri čemer vsak By predstavlja eno točko na X osi. Pri shranjevanju slike na disk in kasneje vračanju in prikazovanju na osciloskopu, je tako velika količina podatkov smiselna, pri prikazovanju slike na PC monitorju in pri izpisovanju na tiskalnik pa nikakor ni potrebna. Te naprave namreč delujejo z mnogo manjšo ločljivostjo. Približno 600 točk po X osi običajno povsem zadovoljuje. To pa omogoča, da v treh segmentih spomina hranimo do 150 meritve, ki jih kasneje prenesemo na PC.

Prenos na PC je serijski, hitrost RS232 prenosa pa znaša 57600

baudov. Kabel za prenos ima le tri žice.

### Programska oprema

Bistven del obeh naprav je seveda programska oprema, saj so škatle brez nje popolnoma mrtve. Celoten sklop programske opreme pa je sestavljen iz dveh, pravzaprav iz treh delov – programov.

Program, ki se nahaja v merilniku frekvence in je prilagojen procesorju

AT89C2041 je popolnoma samostojen program, ki lahko krmili frekvenčni merilnik in ostalih naprav ne potrebuje za svoje normalno delovanje.

Program v AT89C53, ki je srce AD-RS232-DA pretvornika za svoje delovanje potrebuje tudi merilnik frekvence na eni strani in seveda najmanj terminalski program na strani PC. Boljša rešitev na PC strani pa je seveda nalašč za te potrebe pisan program, ki zmore grafični prikaz slike na VGA monitorju.

Podroben opis naprave bo verjetno objavljen v CQ ZRS. Programi so sicer že delujoči, vendar se še izpolnjujejo. Tudi navodila za uporabo še niso napisana. Posamezne verzije programov so na razpolago tudi v izvorni obliki pri meni. Nekatere verzije in izvorne oblike, pa so tudi na LJUBBS.

Vsi, ki bi jih naprava zanimala se lahko obrnejo na:

HAM : S57UUD @S50BOX.SVN.EU

E-mail: [darko.volk@siol.net](mailto:darko.volk@siol.net)

Tel.: +386 67 632-765

