

# Sledilni izvor za spektralni analizator 100kHz...1750MHz

Matjaž Vidmar - S53MV

## 1. Osnovni načrt sledilnega izvora

Eden osnovnih in zelo uporabnih dodatkov k spektralnemu analizatorju je sledilni izvor (tracking generator). Sledilni izvor proizvaja visokofrekvenčni signal točno na tisti frekvenci, kjer takrat sprejema spektralni analizator. Sledilni izvor zato omogoča meritve odziva posameznih sklopov (sita, ojačevalniki ipd), ki sami od sebe ne proizvajajo visokofrekvenčnih signalov. Z dodatnim smernim sklopnikom ali mostičkom lahko merimo tudi prilagojenost oziroma impedanco v celotnem frekvenčnem pasu spektralnega analizatorja.

Skoraj vsi proizvajalci spektralnih analizatorjev nudijo sledilne izvore že vgrajene v sam spektralni analizator ali pa kot dodatno opremo. Ker sledilni izvor običajno ne vsebuje zelo dragih sestavnih delov, proizvajalci pa kljub temu zanj zahtevajo četrtno cene spektralnega analizatorja ali celo več, ga radioamaterji pogosto izdelamo sami tudi za kupljene, tovarniške spektralne analizatorje.

V tem sestavku bom opisal sledilni izvor, ki je načrtovan za delovanje s spektralnim analizatorjem, objavljenim na prejšnjih straneh. Ker večina tovarniških spektralnih analizatorjev uporablja podobne vrednosti prve medfrekvence v pasu 2...3GHz, je verjetno večina vezij predstavljenega sledilnega izvora uporabnih tudi v povezavi s tovarniškimi spektralnimi analizatorji. Točno vezje sledilnega izvora je seveda treba prilagoditi VCOjem in mešalnikom v uporabljenem spektralnemu analizatorju.

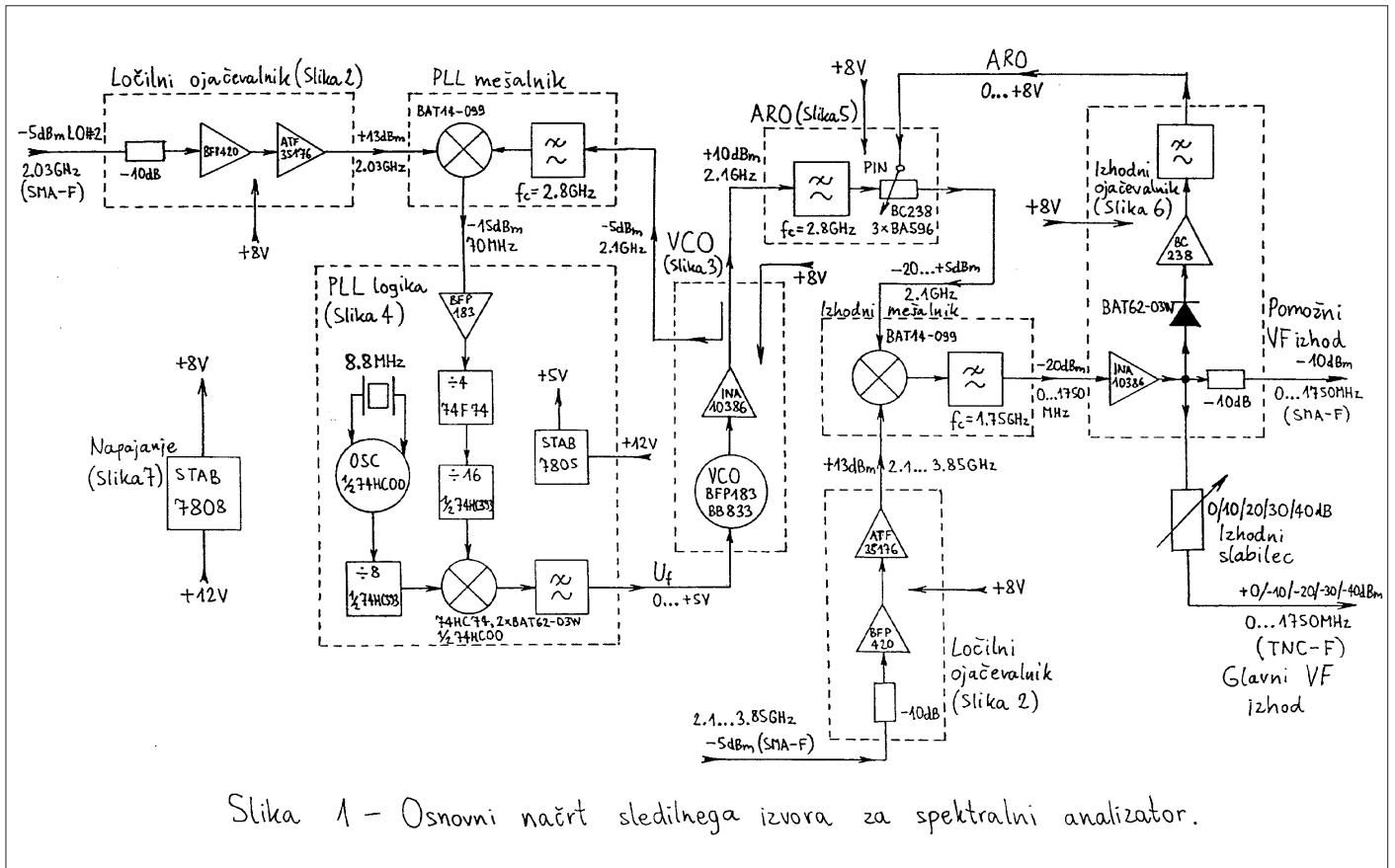
Sledilni izvor mora pravzaprav sestaviti izhodni signal točno v obratnem vrstnem redu, kot potekajo mešanja frekvenc v spektralnemu analizatorju. Sledilni izvor zato potrebuje vse signale spremenljivih oscilatorjev (VCOjev) iz spektralnega analizatorja. Spektralni analizatorji so v ta namen opremljeni z VF izhodi prvega, drugega ali celo tretjega VCOja.

Spektralni analizator vsebuje dva spremenljiva oscilatorja (VCOja) za prvo in drugo mešanje. Takšnemu postopku mešanja signalov je prirejen tudi osnovni načrt sledilnega

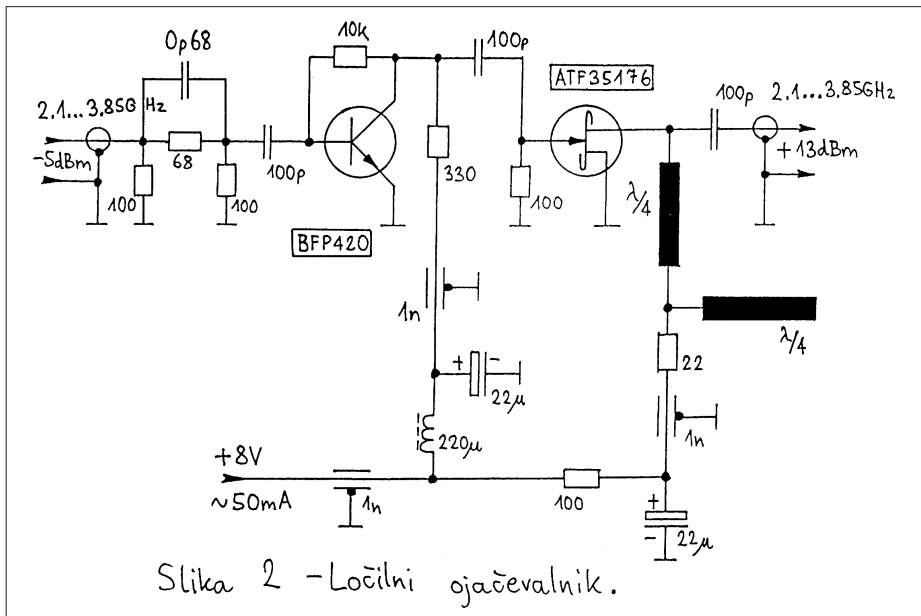
izvora, prikazan na sliki 1. Sledilni izvor mora najprej prišteti vrednost druge, nespremenljive medfrekvence 70MHz signalu drugega VCOja na 2.03GHz (+/-10MHz). Vsota daje prvo medfrekvenco okoli 2.1GHz, ki se nato odšteje od frekvence prvega VCOja 2.1...3.85GHz. Avtomatska regulacija ojačenja (ARO) poskrbi, da se jakost izhodnega signala čimmanj spreminja v celotnem pasu 0...1750MHz.

Seštevanja in odštevanja frekvenc so lahko izvedena na različne načine: mešalniki in sita oziroma fazno-sklenjene zanke (PLL). V sledilnem izvoru so vsi signali razmeroma močni in moramo vedno paziti na neželjene proizvode mešanja. Na drugi strani pa toplotni šum niti zdaleč ni tako nadležen kot v spektralnemu analizatorju in drugih sprejemnikih. Končno moramo pri načrtovanju sledilnega izvora preprečiti potovanje signalom po neželjenih poteh s primernim oklapanjem enot in uporabo ločilnih ojačevalnikov.

V prikazanem sledilnem izvoru je prvo seštevanje frekvenc 70MHz in 2.03GHz izvedeno s fazno-sklenjeno



Slika 1 - Osnovni načrt sledilnega izvora za spektralni analizator.



zanko (PLL), drugo seštevanje (odštevanje)  $2.1 \dots 3.85\text{GHz}$  manj  $2.1\text{GHz}$  pa z mešalnikom in nizkoprepustnim sitom na izhodu. Dva ločilna ojačevalnika zapirata pot neželenim signalom iz sledilnega izvora nazaj v VCOja v spektralnem analizatorju. ARO nastavi jakost izhodnega signala na  $1\text{mW}$  ( $+0\text{dBm}$ ), ki jo s slabilcem po želji znižamo do  $-40\text{dBm}$ . Pomožni izhod  $-10\text{dBm}$  je predviden za frekvencometer.

Opisani sledilni izvor je sestavljen iz devetih oklopljenih visokofrekvenčnih enot in napajalnika. Nekatere enote so popolnoma enake tistim iz spektralnega analizatorja: mešalnik v PLLju je enak drugemu mešalniku v spektralnem analizatorju, izhodni mešalnik z nizkoprepustnim sitom pa prvemu mešalniku v spektralnem analizatorju. Tudi izhodni slabilec s koraki po  $10\text{dB}$  je izdelan povsem enako kot slabilec na vходу spektralnega analizatorja. Opisa vseh teh enot v tem sestavku seveda ne bom ponavljal.

## 2. Ločilna ojačevalnika

Sledilni izvor vsebuje dva enaka ločilna ojačevalnika za signala obeh VCOjev v spektralnem analizatorju. Ločilna ojačevalnika imata dve nalogi: ojačiti signala VCOjev na približno  $20\text{mW}$  ( $+13\text{dBm}$ ) za krmiljenje mešalnikov in preprečiti motilnim signalom pot nazaj v VCOja ter od tam naprej v oba mešalnika v samem spektralnem analizatorju.

Načrt (enega) ločilnega ojačevalnika je prikazan na sliki 2. Ločilni ojačevalnik vsebuje  $-10\text{dB}$  slabilec in dve ojačevalni stopnji.

Slabilec zagotavlja dobro prilagoditev impedance na vrodu tudi takrat, ko je celoten sledilni izvor izključen in ostaneta ločilna ojačevalnika brez napajanja. Ob vklopu sledilnega izvora se impedanca le malenkost spremeni, kar pomeni majhen povratni vpliv na frekvenco VCOja v spektralnem analizatorju.

Vhodnemu slabilcu sledi enostavna ojačevalna stopnja s tranzistorjem BFP420. Upadanje ojačenja te stopnje na visokih frekvencah delno kompenzira kondenzator  $0.68\text{pF}$  preko upora  $68\text{ohm}$  v slabilcu. Izhodna stopnja ločilnega ojačevalnika je zaradi potrebne izhodne moči izvedena s HEMTom ATF35176. Izhod ločilnega ojačevalnika je priključen preko kratkega kosa poltrdega teflonskega kabelčka UT-085, ki hkrati deluje kot simetrični vod za napajanje diod v mešalniku.

Obe ojačevalni stopnji se napajata s stabilizirano napetostjo  $+8\text{V}$  preko ustreznih uporov in kondenzatorjev skoznikov. Delovna točka izhodne

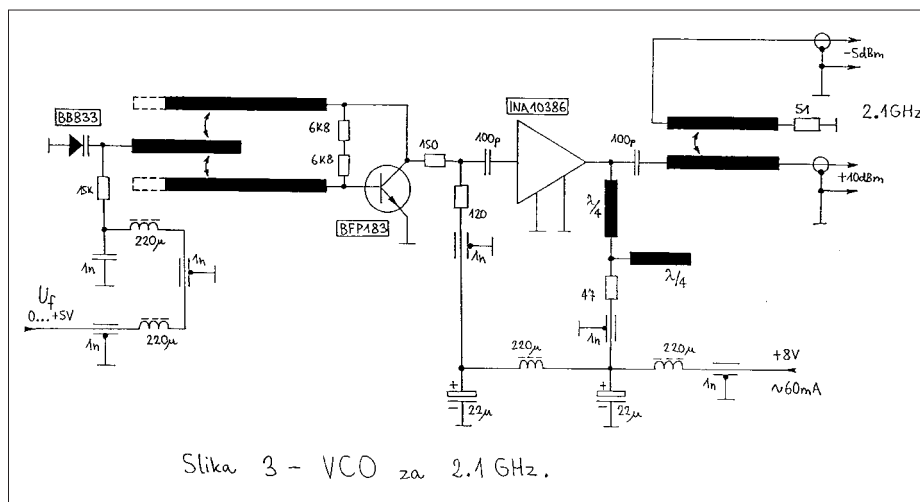
stopnje lahko sicer precej odstopa zaradi toleranc  $I_{\text{dss}}$  tranzistorja ATF35176, vendar to ne moti delovanja ojačevalnika. Odstopanje napetosti ponora ( $U_{\text{ds}}$ ) v mejah  $2 \dots 3.5\text{V}$  je povsem običajno.

## 3. PLL za $2.1\text{GHz}$

Prvi korak obdelave signalov v sledilnem izvoru je seštevanje frekvenc drugega VCOja in druge medfrekvence. Sledilni izvor mora seveda sam vsebovati oscilator, ki proizvaja natančno vrednost druge medfrekvence (približno  $70\text{MHz}$ ). Seštevanje  $70\text{MHz}$  in  $2.03\text{GHz}$  bi sicer lahko enostavno izvedli z mešalnikom, le izsejati neželjene produkte mešanja (predvsem zrcalno na  $1.96\text{GHz}$  in ostanke  $2.03\text{GHz}$ ) ni prav enostavno: potrebovali bi veliko in komplicirano rezonatorsko sito za  $2.1\text{GHz}$  kot v prvi medfrekvenci spektralnega analizatorja ter avtomatsko regulacijo ojačenja, da mešalnika ne bi prekrmilili.

Isto nalogo enostavneje in boljše opravi fazno-sklenjena zanka (PLL) s svojim lastnim VCOjem. VCO te zanke niha na izhodni frekvenci  $2.1\text{GHz}$ . Delček signala na  $2.1\text{GHz}$  mešamo s signalom drugega VCOja spektralca na  $2.03\text{GHz}$ , razliko primerjamo z željeno vrednostjo  $70\text{MHz}$  ter glede na rezultat primerjave popravljamo frekvenco VCOja na  $2.1\text{GHz}$ . Tako dobljeni signal na  $2.1\text{GHz}$  je spektralno zelo čist brez uporabe zahtevnih (gradnja in uglaševanje) rezonatorskih sit. Seveda moramo PLL načrtovati tako, da se zanesljivo ujame in dovolj hitro sledi spremembam, ko je drugi VCOja spektralca krmiljen z izvorom žagaste napetosti.

VCO za  $2.1\text{GHz}$  je prikazan na sliki 3 in je zelo podoben drugemu VCOju



na 2.03GHz v spektralnem analizatorju. Tudi VCO na 2.1GHz je ozkopasoven in vsebuje le eno varikap diodo BB833, mikrotrakasto interdigitalno sito v povratni vezavi tranzistorja BFP183 ter izhodni ločilni ojačevalnik z integriranim vezjem INA10386. Del izhodnega signala na 2.1GHz (okoli -5dBm) se odcepi preko sklopnika za krmiljenje PLL mešalnika.

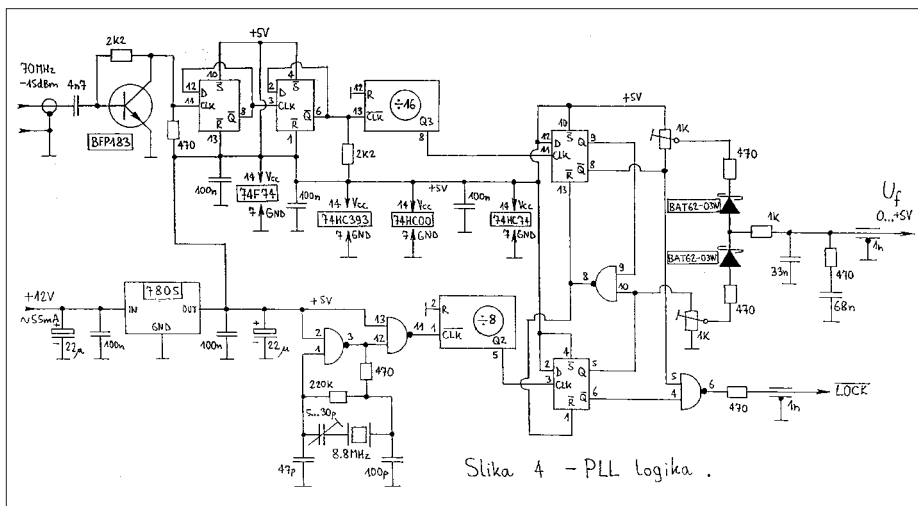
VCO na 2.1GHz je izdelan na povsem enakem tiskanem vezju kot drugi VCO spektralca. Zaradi višje frekvence delovanja sta oba trakasta voda v bazi in kolektorju BFP183 skrajšana po 2mm vsak (na odprtem koncu). Uporabljena je tudi drugačna varikap dioda, predvsem pa je spremenjeno nizkoprepustno sito za krmilno napetost, saj mora frekvenčno/fazni primerjalnik razmeroma hitro krmiliti varikap diodo.

Kot mešalnik je v PLLju uporabljeno kar enako vezje kot za drugi mešalnik v spektralnem analizatorju. Izhod VCOja na 2.1GHz je priključen na nizkoprepustno sito z mejno frekvenco 2.8GHz. Ločilni ojačevalnik je priključen na simetrični člen namesto drugega VCOja. Razliko obeh frekvenc (70MHz) dobimo preko nizkoprepustnega sita z mejno frekvenco 800MHz.

Za primerjavo med nazivno vrednostjo 70MHz in dobljeno razliko ter krmiljenje VCOja na 2.1GHz poskrbi PLL logika, ki je prikazana na sliki 4. Vezje PLL logike je pravzaprav le izboljšana izvedba zelo zanesljivega PLLja iz WBFM postaje za paket-radio (CQ ZRS 3/93) z uporabo novejših sestavnih delov. Vezje vsebuje kristalni oscilator, dva delilnika za merjeni in referenčni signal ter frekvenčno/fazni primerjalnik.

Pred uklenitvijo PLLja lahko frekvenca razlike mešanja močno odstopa od nazivnih 70MHz. Gornjo mejo postavlja vhodni delilnik 74F74, ki s prikazanim krmilnikom (BFP183) zanesljivo deli frekvence vse do 140MHz. Frekvenca razlike mešanja se deli s 64, referenčna frekvenca kristalnega oscilatorja na 8.8MHz pa z 8. Primerjalna frekvenca zato znaša 1.1MHz, kar omogoča hitro zasledovanje frekvence drugega VCOja spektralca, ko tega krmili žagasta napetost.

Frekvenca referenčnega kristalnega oscilatorja je izbrana tako, da njen osmi harmonik ustreza drugi medfrekvenci spektralnega analizatorja. Točna vrednost torej zavisi od kristalov v tretjem mešanju (običajno



Slika 4 - PLL logika .

60.000MHz) in kristalnem situ (običajno 10.700MHz) spektralnega analizatorja. Za nazivno vrednost medfrekvence 70.700MHz naj bi kristalni oscilator nihal na 8837.5kHz, kar se običajno da doseči s CB kristalom za 26.510MHz na svoji osnovni rezonančni frekvenci.

Območje izhodne napetosti frekvenčno/faznega primerjalnika je največ 0...5V, a še to je za delovanje PLLja preveč, saj lahko frekvenca razlike mešanja naraste preko 140MHz. Območje izhodne napetosti je zato nastavljivo z dvema trimmerjema 1kohm, da je frekvenca razlike mešanja omejena na vrednost, ki jo PLL logika zanesljivo zmora obdelati. "Charge-pump" vezju z diodama BAT62-03W sledi običajno RC nizkoprepustno sito, ki določa čas vnihanja in stabilnost fazno-sklenjene zanke.

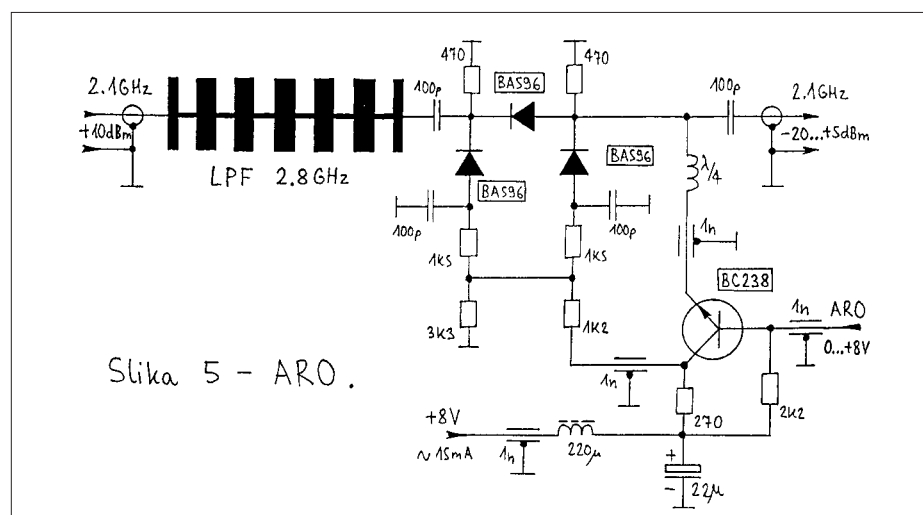
#### 4. Izhodni mešalnik z ojačevalnikom in ARO

Drugi korak obdelave signalov v sledilnem izvoru je odštevanje frek-

vence signala na 2.1GHz (prva medfrekvenca spektralca) od frekvence prvega VCOja spektralnega analizatorja 2.1...3.85GHz. Pri pravilno načrtovanem izhodnem mešalniku lahko vse neželjene proizvode mešanja preprosto odstranimo z nizkoprepustnim sitom na izhodu, kjer ostane le željeni signal v pasu 0...1750MHz. V tako širokem razponu izhodnih frekvenc je fazno-sklenjena zanka dosti težje izvedljiva.

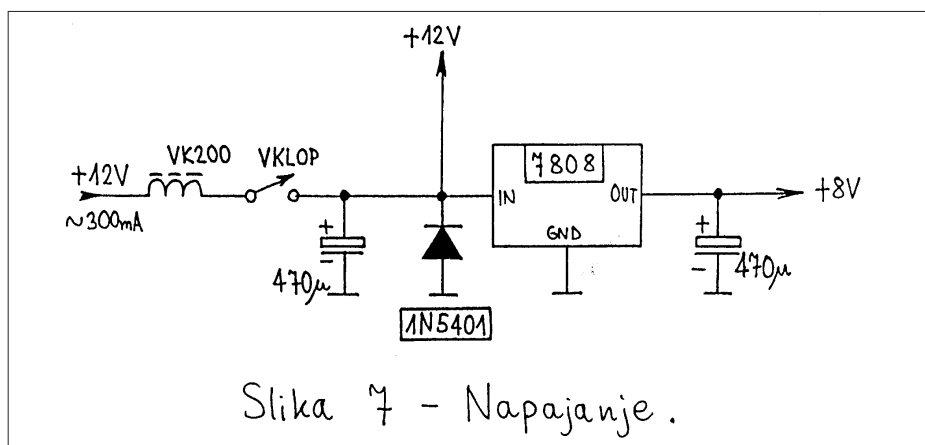
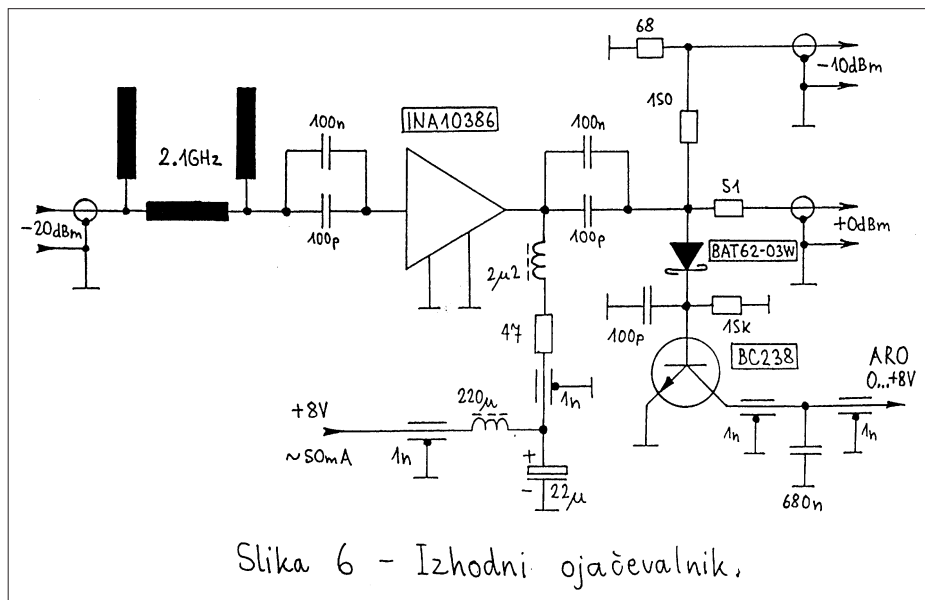
Kot izhodni mešalnik je v sledilni izvor vgrajena kar enota prvega mešalnika spektralnega analizatorja, ki vsebuje tudi nizkoprepustno sito z mejno frekvenco 1.75GHz. Signal prvega VCOja v pasu 2.1...3.85GHz gre preko ločilnega ojačevalnika na simetrični člen mešalnika brez kakšne posebne obdelave. Harmoniki prvega VCOja oziroma prekrmljenje mešalnika s signalom prvega VCOja spektralca namreč ni škodljivo, saj ne povzroča nobenih neželenih proizvodov mešanja, ki se jih ne bi dalo izsejati z enostavnim nizkoprepustnim sitom.

Signal 2.1GHz, ki prihaja iz fazno-sklenjene zanke, zahteva dosti



Slika 5 - ARO .





bolj skrbno obdelavo. Harmoniki 2.1GHz oziroma prekrmljenje izhodnega mešalnika s tem signalom naredijo kopico neželenih produktov mešanja, ki padejo v izhodni frekvenčni pas 0...1750MHz. Pri uporabi sledilnega izvora s spektralnim analizatorjem kot selektivnim merilnim sprejemnikom opisani neželeni izhodni signali sicer niso zelo nevarni, vendar lahko povzročijo neželjene odzive merjenca, če tudi ta vsebuje nelinearne sestavne dele.

Iz izhodnega signala fazno-sklenjene zanke na 2.1GHz odstrani neželjene harmonike nizkoprepustno sito, jakost signala pa nastavi slabilec s PIN diodami. Obe omenjeni vezji sestavljata enoto ARO, ki je prikazana na sliki 5. Enota ARO zagotavlja, da dobi izhodni mešalnik res čist signal na 2.1GHz in ni s tem signalom nikoli prekrmljen.

Nizkoprepustno sito ima mejno frekvenco 2.8GHz. Podobno, vendar krajše sito je vgrajeno še v enoto izhodnega mešalnika. Nastavljeni slabilec je PI vezje iz treh PIN diod, ki jim z enosmernim tokom nas-

tavljamo upornost za visoke frekvence. Tranzistor BC238 poskrbi za to, da dobijo vse tri PIN diode pravilne enosmerne tokove glede na vhodno krmilno napetost 0...+8V. Pri tem krmilna napetost +8V ustreza najmanjšemu slabljenju, krmilna napetost 0V pa največjemu slabljenju.

Ker izhodnega mešalnika ne smemo prekrmliti, je tudi izhodni signal mešalnika razmeroma slaboten, okoli 10µW ali -20dBm. Ker zahtevata večina meritev s sledilnim izvorom kot tudi ARO detektor precej močnejše signale, je na izhod mešalnika priključen še dodaten izhodni ojačevalnik, ki je prikazan na sliki 6.

Izhodni ojačevalnik je izdelan z integriranim vezjem INA10386, ki omogoča ojačenje 26dB in izhodno moč preko 10mW (+10dBm) v celotnem frekvenčnem pasu do 1750 MHz. Ojačevalnik INA10386 seveda potrebuje sklopna kondenzatorja na vходу in izhodu, ki omejujeta navzdol frekvenčno področje sledilnega izvora na približno 100kHz. Vsak sklopni kondenzator je sestavljen iz vzporedne vezave dveh

SMD kondenzatorjev: 100pF (NP0) za visoke frekvence in preko njega zacinjeni 100nF (Z5U) za nizke frekvence.

Neposredno na izhod ojačevalnika je priključen ARO detektor z diodo BAT62-03W, ki krmili ARO ojačevalnik s tranzistorjem BC238. Kondenzator 680nF določa časovno konstanto ARO. Zaradi velikega ojačenja zanke ARO se izhod ojačevalnika obnaša kot izvor z majhno notranjo impedanco. Glavni 50-ohmski izhod (+0dBm) ima zato zaporedno vezan upor 51ohm. Upora 150ohm in 68ohm omogočata pomožni izhod -10dBm in hkrati poskrbita za enosmerno zaključitev tokokroga ARO detektorja.

Na glavni izhod sledilnega izvora je povezan še izhodni slabilec s štirimi preklopniki, s katerimi nastavljamo izhodno moč sledilnega izvora od -40dBm do +0dBm v korakih po 10-dB. Slabilec je izdelan povsem enako kot vhodni slabilec spektralnega analizatorja, zato tu opisa ne ponavljam.

## 5. Izdelava sledilnega izvora

Sledilni izvor je izdelan v enaki tehniki gradnje kot pripadajoči spektralni analizator. Vse enote sledilnega izvora so vgrajene v oklopljena ohišja iz 0.5mm debele medeninaste pločevine. Za napajanje +8V večine enot poskrbi stabilizator 7808, prikazan na sliki 7. Le PLL logika ima svoj lastni regulator 7805, ki se napaja neposredno z napetostjo +12V. Sledilni izvor je smiselno opremiti s stikalom za vklop na prednji plošči, da lahko takoj preverimo poreklo signalov na zaslonu spektralnega analizatorja.

Z izjemo PLL logike vsebuje sledilni izvor le mikrotrakaste tiskanine, ki so prikazane na sliki 8. Mikrotrakaste tiskanine so izdelane iz dvostranskega vitroplasta FR4 debeline 0.8mm povsem enako kot v spektralnem analizatorju. Tiskanina PLL logike je prikazana na sliki 9 in je izdelana na enostranskem vitroplastu FR4 debeline 0.8mm.

Mikrovalovni absorber (črna pena) je vgrajen le v dve enoti: v ločilni ojačevalnik za signal prvega VCOja 2.1...3.85GHz in v izhodni mešalnik. Ostale enote sledilnega izvora običajno ne potrebujejo absorberja v svojih škatlicah. Mikrovalovni absorber tudi ni potreben v prostoru med posameznimi medeninastimi škatlicami.

Razporeditev enot sledilnega izvora je prikazana na sliki 10. Škatla sledilnega izvora ima enako globino (240mm) in širino (220mm) kot spektralni analizator, tako da jo lahko enostavno postavimo pod ali nad spektralni analizator. Višina škatle sledilnega izvora je samo 32mm, saj so vse enote razporejene v eni sami ravnini. Dno škatle je preprosto kos pločevine, upognjen v obliko črke U z nosilnimi ušesi za pokrov, ki je prav tako kos pločevine, upognjen v obliko črke U.

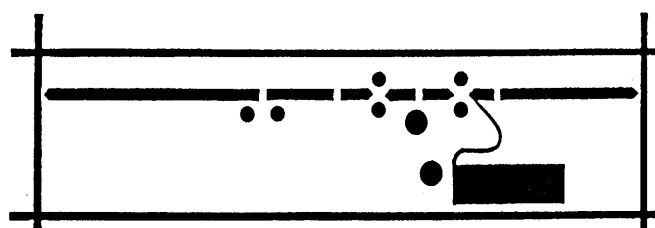
### 6. Oživljanje sledilnega izvora

Sledilni izvor je dosti bolj enostavna naprava od spektralnega analizatorja, zato je tudi njegovo oživljanje enostavnejše. Seveda potrebujemo za oživljanje spektralni analizator, ki bo sledilnemu izvoru dovajal potrebna signala obeh spremenljivih lokalnih oscilatorjev prvega in drugega mešanja. Pred izdelavo ožičenja med posameznimi enotami sledilnega izvora je seveda smiselno preizkusiti vsaj nekatere enote

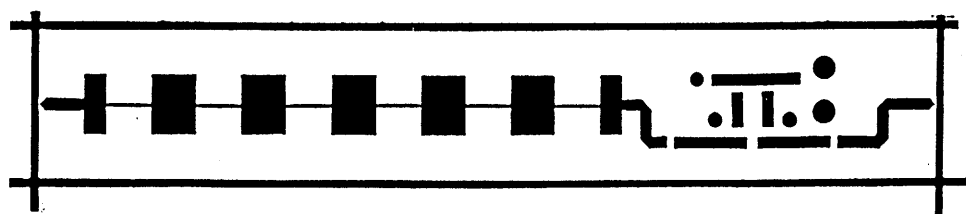
posamezno.

V vseh enotah je smiselno preveriti enosmerne delovne točke polprevodnikov. Na ta način izločimo večino grobih napak. Nato lahko začnemo z visokofrekvenčnim preizkusom enot. Oba ločilna ojačevalnika enostavno preizkusimo tako, da na vhod pripeljemo signal ustreznega VCOja ter pomerimo moč na izhodu.

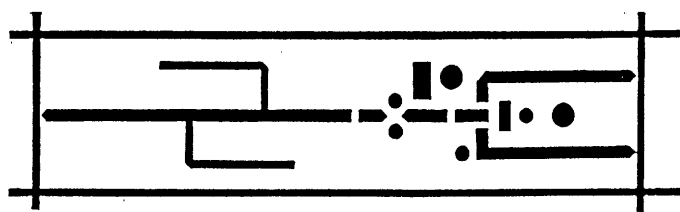
Pri VCOju za 2.1GHz ne smemo pozabiti skrajšati trakcev na tiskanini, saj je tiskanina sicer prirejena delovanju na nižji frekvenci. Pri



Ločilni ojačevalnik  
(dve enaki 20x80)

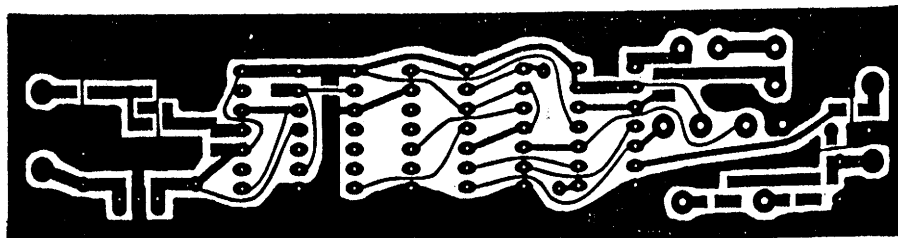


ARO  
(20x120)



Izhodni ojačevalnik  
(20x80)

Slika 8 - Mikrotrakaste tiskanine.



Slika 9 - Tiskanina PLL logike (30x120).

krajšanju trakcev seveda sproti preverjamo pokrivanje VCOja pri krmljenju z napetostjo 0...5V na varikap diodi. Nazivno frekvenco 2100 MHz bi morali doseči pri napetosti 3...3.5V, ko imajo trakci pravilne dolžine. Po potrebi pri tem malenkost skrajšamo tudi srednji trakec, večina skrajšanja pa seveda doleti krajna trakca interdigitalnega sita.

V enoti PLL logike najprej preverimo frekvenco kristalnega oscilatorja. Drsnika obeh trimerjev nastavimo na vroči konec, da bo razpon izhodnih napetosti največji. Brez vhodnega signala se mora izhodna napetost  $U_f$  povzpeti na +5V. Če na vhod preko majhne zankice sklopimo grid-dip meter in vsilimo frekvenco nad 70.7MHz, mora izhodna napetost  $U_f$  upasti na 0V.

Iz preizkušenih enot nato sestavimo fazno-sklenjeno zanko in preverimo njeno delovanje. Pri uklenjeni zanki mora napetost na merilni točki LOCK (ni nikamor povezana) upasti na zelo majhno vrednost (pod 0.2V). Trimerja v PLL logiki končno nastavimo tako, da napetost  $U_f$  ne more zapeljati VCOja več kot +/-60MHz od nazivne frekvence 2100MHz. Pri preizkusu PLLja seveda pazimo, da je glavni izhod VCOja zaključen na breme oziroma ga preko slabilca odpeljemo na frekvencmeter.

Ko je PLL preizkušen, povežemo še ostale enote sledilnega izvora. V teh enotah sploh ni nobene nastavitve in moramo le preveriti njihovo delovanje. Spektralni analizator nastavimo tako, da preletava celotno področje 0...1750MHz in ustrezno izberemo največjo možno širino sita v medfrekveni (4MHz). Ko priključimo izhod sledilnega izvora na vhod spektralnega analizatorja, se mora dvigniti celotna črta od 0 do konca področja. Črta bo verjetno precej nagubana, ampak to bomo reševali kasneje.

Kot prvi poskus preklonimo spektralni analizator na ožje sito v medfrekveni. Pri 700kHz se črta verjetno še ne premakne, pri ožjih sitih pa začne padati. Črto dvignemo nazaj na svoje mesto s trimerjem pri kristalu v PLL logiki, da na ta način natančno pociljamo drugo medfrekvenco spektralnega analizatorja. Če trimer zaporedno s kristalom ne zadošča, dodamo vzporedni kondenzator ali celo trimer zamenjamo z nastavljivo tuljavo. V skrajnem slučaju, če 60MHz kristal v tretjem mešanju spektralca preveč odstopa,

moramo poiskati drugačen kristal.

Nato preverimo delovanje ARO. Y vhod osciloskopa, ki ga uporabljamo kot prikazovalnik spektralca, odklopimo in priključimo na ARO napetost v sledilnem izvoru. ARO napetost se v skrajnih mejah giblje pasu 0...8V, v pravilno delujočem sledilnem izvoru pa v pasu 1...3V. Prenizka oziroma previsoka ARO napetost nam tudi pove, kaj je narobe z vezji sledilnega izvora. Pri preizkusu ARO mora biti seveda vsaj glavni izhod pravilno zaključen. Pri nezaključenem izhodu bo potek ARO napetosti precej bolj valovit in lahko izpade iz zahtevanega področja 1...3V.

Preizkus sledilnega izvora je z meritvijo napetosti ARO zaključen, čakajo nas le še fine nastavitve tako v spektralnem analizatorju kot v sledilnem izvoru. Predvsem želimo izenačiti odziv spektralnega analizatorja na različnih frekvencah. Sledilni izvor bi moral narediti na zaslonu spektralnega analizatorja ravno črto, v resnici pa dobimo komplicirano vijugo, ki lahko odstopa tudi +/-5dB od srednje vrednosti.

Glavni krivec za neenakomeren odziv spektralnega analizatorja je prvi mešalnik in impedance, na katere je zaključen. S prilagoditvijo impedanc lahko krivuljo odziva precej poravnamo, oziroma premaknemo luknje tja, kjer se kompenzirajo z navzgorjnimi bunkami. Nekateri zobčki se precej premaknejo, če spre-

menimo dolžino kabla med prvim mešalnikom in rezonatorskim sitom. Še večje spremembe dosežemo z majhnimi koščki bakrene pločevine, ki jih prispajkamo na izhodni vod prvega VCOja in tako popravimo prilagoditev impedance na mešalnik.

Precejšnjo neprilagoditev impedance, predvsem na frekvencah nad 1GHz, vnašata tudi oba nastavljiva slabilca z malimi klecnimi stikali. Pri točnejših meritvah zato rajši uporabimo pomožni izhod sledilnega izvora, ki se izogne vsaj enemu slabilcu na klecna stikala. Še bolj ploščat odziv dosežemo tako, da med sledilni izvor in spektralni analizator vstavimo kvaliteten mikrovalovni slabilec za 10dB ali več.

Če je odziv dokončanega merilnika v mejah +/-2dB v frekvenčnem pasu od 0 do 1.6GHz, smo z rezultatom uglaševanja lahko zadovoljni. Nad 1.6GHz začne odziv upadati že zaradi nizkoprepustnega sita na vhodu. Točnost meritve +/-2dB je sicer primerljiva s tistim, kar nudijo dosti dražji tovarniški merilniki.

Točnejše meritve bi omogočal slikovni pomnilnik, ki prikaže razliko merjenega in shranjenega (referenčnega) odziva. Takšno enoto lahko dokupimo za večino tovarniških merilnikov oziroma zgradimo sami iz cenenih integriranih vezij za naš spektralni analizator s sledilnim izvorom domače izdelave.

