

# VF spektralni analizator 0...1750MHz

Matjaž Vidmar - S53MV

## 1. Osnovni načrt spektralnega analizatorja

V tem članku bom skušal opisati samogradnjo spektralnega analizatorja. Ker gre za samogradnjo zahtevnejše naprave, bojo vsi opisi temu ustrezno krajši, saj so namenjeni konstruktorjem, ki že imajo nekaj izkušenj z gradnjo visokofrekvenčnih naprav. Oživiljanje spektralnega analizatorja sicer olajšuje dejstvo, da so vse napake takoj vidne na zaslonu prikazovalnika, oziroma uporabimo za uglaševanje kar isti spektralni analizator in enostavne merilne pripomočke, kot so grid-dip meter, digitalni frekvencometer in unimer.

Pri načrtovanju nove samogradnje spektralnega analizatorja sem si zastavil nekaj ciljev, ki pogojujejo osnovni načrt naprave, prikazan na sliki 1. Najpomembnejši sestavni del je vsekakor VCO za prvo mešanje. S sodobnimi sestavnimi deli, tranzistorji in varikap diodami, se da pokriti področje 2...3.9GHz v enem zamahu. Z upoštevanjem toleranc pri gradnji merilnika je smiselno izbrati prvo medfrekvenco 2.1GHz in omejiti področje pokrivanja na 0...1750MHz.

Spektralni analizator je seveda sprejemnik z večkratnim mešanjem, saj je vrednost prve medfrekvence 2.1GHz kar visoka. Vrednost zadnje medfrekvence pogojujejo zahtevane širine medfrekvenčnih pasovnih sit. Uporaba kristalnih sit narekuje zadnjo medfrekvenco okoli 10MHz (oziroma 10.7MHz). Zadnja medfrekvenca 10MHz še vedno omogoča največjo širino MF sita okoli 4MHz, ki jo zahteva omejena ločljivost katodne cevi pri preletu celotnega področja 0...1750MHz.

Na drugi strani je najožje medfrekvenčno sito omejeno na približno 10kHz iz več razlogov. Še ožja sita zahtevajo že zelo počasne prelete frekvenčnega področja, kar daje utripajočo sliko oziroma počasno obnavljanje slikovnega pomnilnika in se v praksi redko uporablja. Omejitev predstavlja tudi fazni šum uporabljenih oscilatorjev, ki bi potrebovali dodatno stabilizacijo frekvence za ločljivost nižjo od 10kHz.

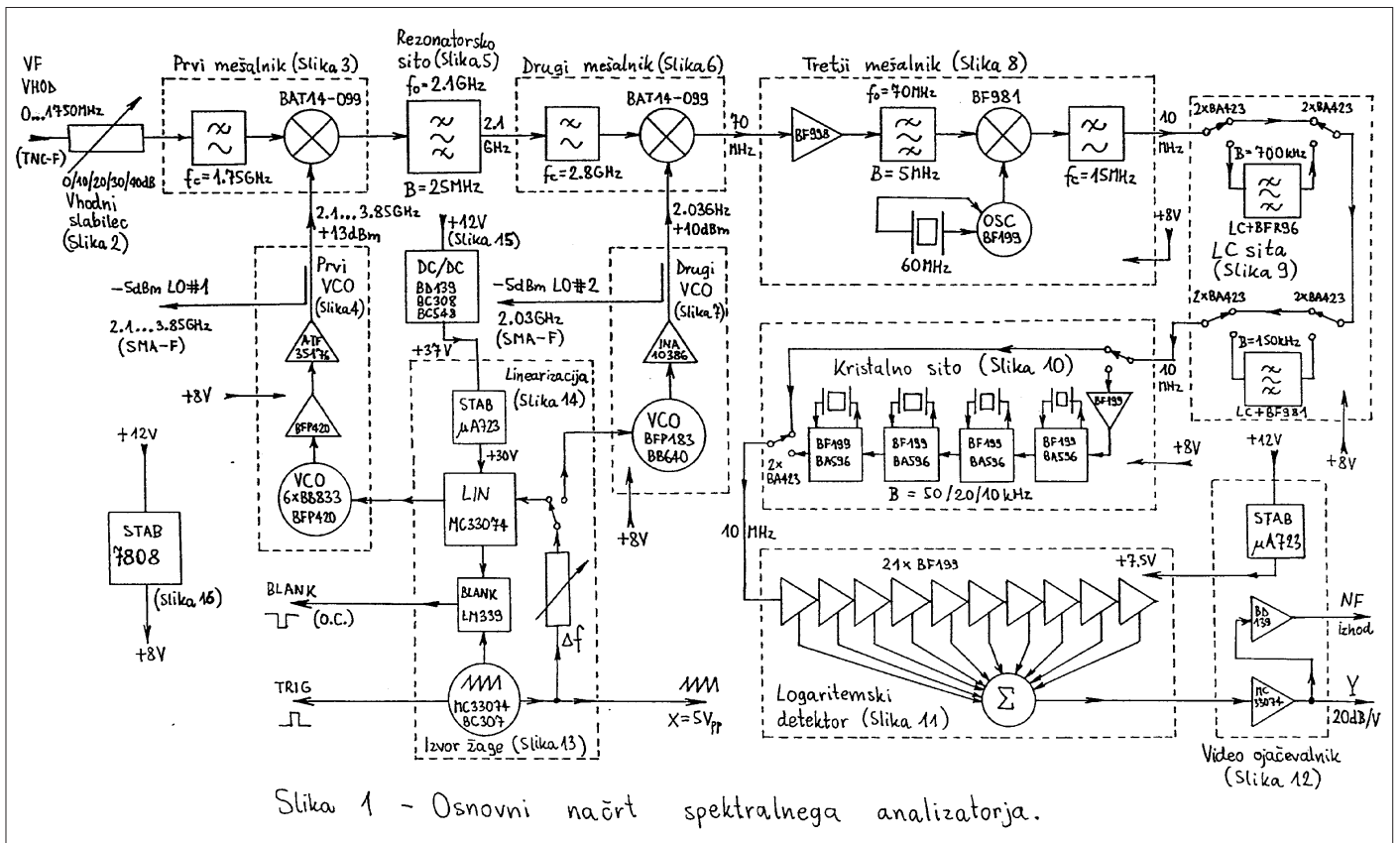
Ker je skok iz 2.1GHz na samo 10MHz prevelik, je potrebna še vmesna medfrekvenca na okoli 70MHz. Celoten spektralni analizator je torej sprejemnik s trojnim mešanjem in

medfrekvencami 2.1GHz, 70MHz in 10MHz. Pri tem je vrednost druge medfrekvence 70MHz izbrana tako, da so zrcalne frekvence in ostali neželeni produkti številnih mešanj čimbolj zadušeni.

Zelo pomemben podatek spektralnega analizatorja je tudi dinamika merjenja vhodnih signalov. Gornjo mejo dinamike določa popačenje vhodnega mešalnika na -20dBm do -10dBm. Spodnja meja je določena s toplotnim šumom. Ker znaša šumno število vhodnega mešalnika širokopasovnega sprejemnika 15...20dB, bo jakost šuma v pasovni širini 150kHz okoli -107dBm do -102dBm.

Pričakovana dinamika celotnega merilnika bo torej v velikostnem razredu 90dB pri pasovni širini B medfrekvenčnega sita 150kHz. Pri ožjih medfrekvenčnih sitih se sicer zmanjšuje jakost toplotnega šuma, vendar dinamiko pokvari fazni šum lokalnih oscilatorjev. Pri širših sitih je dinamika seveda ustrezno manjša, kar lahko opazimo pri vseh resnih spektralnih analizatorjih.

Osnovni načrt spektralnega analizatorja sicer zahteva spremenljivo frekvenco lokalnega oscilatorja le za



Slika 1 - Osnovni načrt spektralnega analizatorja.

prvo mešanje. Pri praktični uporabi spektralnega analizatorja pa se izkaže koristno, da v razmeroma ozkem frekvenčnem pasu (okoli 20MHz) nastavljam tudi frekvenco drugega oscilatorja. Na ta način se lahko naprimer izognemo nekaterim neželjenim produktom iz prvega mešalnika, naprimer harmonikom vhodnih signalov, ki padejo v prvo medfrekvenco.

Krmiljenje oscilatorjev je zasnovano tako, da se pri širokih preletih (od 1MHz/div do 200MHz/div) krmili z žago le prvi oscilator. Pri ozkih preletih (od 50kHz/div do 500kHz/div) pa se krmili z žago le drugi oscilator, krmilna napetost prvega oscilatorja pa se dodatno stabilizira, da se na ta način zmanjša fazni šum. Krmiljenje prvega, širokopasovnega VCOja seveda zahteva vezje za linearizacijo, ki dodatno oblikuje krmilni signal žagaste oblike, da je nazadnje frekvenčni potek spet linearen.

Opisani spektralni analizator lahko uporablja kot prikazovalnik katerikoli osciloskop. Izhod za pokončni (Y) odklon daje 1V napetosti za 20dB prirastka signala. Običajni prikaz 10dB/div zato dobimo pri vhodni občutljivosti osciloskopa 500mV/div. Za večjo občutljivost, naprimer pri natančnih uglaševanjih, preprosto preklapimo vhodno občutljivost osciloskopa. Občutljivost 100mV/div naprimer omogoča prikaz 2dB/div.

Ker spektralni analizator vsebuje svoj lastni izvor žage, je seveda zaželeno, da osciloskop zmore XY način delovanja. Vodravni (X) odklon tedaj krmilimo z žago iz spektralnega analizatorja. Če osciloskop ne zmore XY načina delovanja, potem lahko vodravni odklon prožimo z izhodom TRIG. Časovno bazo osciloskopa v tem slučaju nastavimo na 2ms/div ali več.

Pri spektralnem analizatorju je v vsakem slučaju pomembno gašenje žarka (BLANK) in to v dveh slučajih: pri povratku žarka na začetek slike in takrat, ko nastavljeno frekvenčno področje presega možnosti prvega VCOja. Če osciloskop ne razpolaga z vhodom za gašenje žarka (ponavadi z imenom Z-os), potem lahko izhod BLANK (odprti kolektor) preprosto vezemo vzporedno z izhodom Y, da odmakne žarek izven vidnega polja na zaslonu.

Razen priključka za osciloskop razpolaga spektralni analizator še z NF izhodom za slušalke. Če ustavimo preletavanje obeh VCOjev (zero

span), lahko uporabimo spektralni analizator kot običajni radijski sprejemnik. Logaritemski detektor omogoča razmeroma dobro demodulacijo AM signalov. S primerno izbiro širine medfrekvenčnega sita in uglasitev na bok lahko seveda demoduliramo tudi FM signale. Demodulirane signale lahko seveda v vsakem slučaju opazujemo tudi na osciloskopu.

Zunanje napajanje spektralnega analizatorja je nazivno 12V (10...15V) enosmerne, minus na masi. Poraba celotne naprave (brez osciloskopa) se giblje od 350mA do 500mA glede na število vključenih medfrekvenčnih sit. Za prenosni spektralni analizator seveda potrebujemo tudi prenosni osciloskop z baterijskim napajanjem.

## 2. Vhodni slabilec

Vhodni slabilec je sicer enostaven, a zahteven in pomemben sestavni del kljub temu, da načrtovalci kompliciranega spektralnega analizatorja nanj marsikdaj pozabijo. Glavna naloga slabilca je znižanje jakosti vhodnih signalov pod takšno mejo, da deluje prvi mešalnik v povsem linearnem režimu. Vhodni slabilec naj bi zato vseboval le upore, ki ne popačijo vhodnega signala.

Osnovno vezje slabilca je enostavno: upore primernih vrednosti vezemo v "PI" ali v "T" četverpol. Vrednosti uporov izberemo tako, da dobimo hkrati predpisano slabljenje ter sta vhod in izhod vedno zaključena na pravilno impedanco. Ker imamo na razpolago tri spremenljivke (vrednosti treh uporov), lahko nastavimo tri veličine vezja: slabljenje ter vhodno in izhodno impedanco.

Profesionalci običajno nimajo težav s slabilci, saj jih namensko proizvaja marsikatera tovarna. S primerno izbiro geometrijske oblike uporov delujejo takšni slabilci brezhibno vse do 18GHz in celo več, odvisno od vrste koaksialnih priključkov. Slabilce

vgrajujejo tudi v namensko načrtovane preklapnike, ki naj ne bi vnašali večjih neprilagoditev.

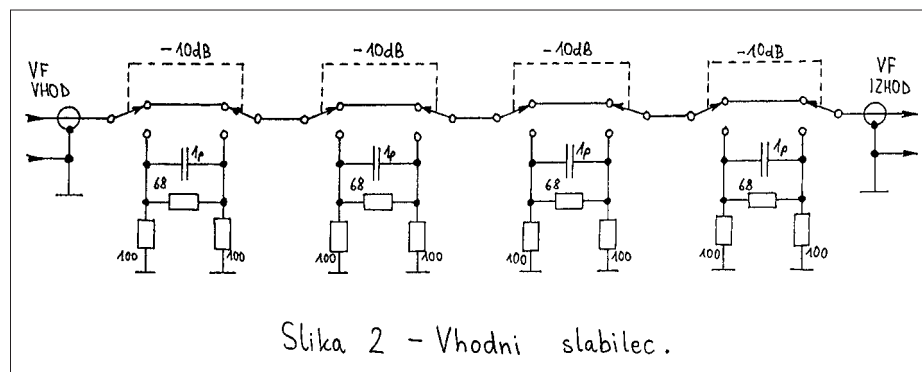
Amaterji smo pri gradnji stabilcev v težavah. Navadni upori z žičnimi izvodi so uporabni le do kakšnih 500MHz, pri višjih frekvencah pa prevladajo induktivnosti in kapacitivnosti izvodov nad ohmsko uporabnostjo. SMD upori so precej boljši zaradi manjših izmer ter so uporabni do 2...5GHz glede na velikost SMD ohišja. Še dosti hujši problem so za nas radioamaterje neprimerni preklapniki, ki imajo velike parazitne induktivnosti izvodov ter velike kapacitivnosti med odprtimi kontakti.

Načrt slabilca, kot je prikazan na sliki 2, zato sam po sebi ne pove kaj dosti. Sestavljajo ga štiri slabilci po 10dB, ki se po želji vključujejo v vezje s preklapniki 2X2. Sami slabilci so izdelani s standardnimi SMD upori velikosti 0805, kar vsekakor zadošča za spektralni analizator do 2GHz.

Glavni problem amaterskega slabilca so (ne)primerna stikala. V prototipih sem uporabil mala klečna stikala 2X2, vendar je odziv takšnih stikal s frekvenco upadal. Upadanje odziva se je na srečo dalo kompenzirati s kondenzatorji 1pF, ki so zacinjeni kar čez upore 68ohm. Ohišja stikal so sicer vgrajena med dve tiskanini, da je impedanca vodov bližja 50ohm, kar bo točneje opisano v poglavju o gradnji spektralnega analizatorja.

S skrbno gradnjo in primerno kompenzacijo se da zadržati frekvenčni odziv slabilca v mejah +/-1dB do 1GHz oziroma +/-2dB do 2GHz od nazivne nastavljene vrednosti slabljenja. SMD upori so sicer predvideni za moč 1/8W, kar pomeni vhodno moč do 250mW (+24dBm). Pri največjem slabljenju 40dB (vsi slabilci vstavljeni) to pomeni moč -16dBm na vходу prvega mešalnika.

Pri merjenju spektra oddajnikov zato vedno potrebujemo še zunanji močnostni slabilec oziroma sklopnik,



Slika 2 - Vhodni slabilec.

preko katerega pripeljemo le delček moči oddajnika do spektralnega analizatorja. Naloga vhodnega slabilca na spektralcu je le fina prilagoditev jakosti vhodnega signala oziroma ugotavljanje izvora brkov: merjenec (resnični brki) ali prekmiljen merilnik? Opisani vhodni slabilec tudi ni zaščiten pred enosmerno napetostjo, ki jo pogosto srečamo v merjenih visokofrekvenčnih vezjih.

**3. Prvi mešalnik**

Lastnosti merilnega sprejemnika določa v dobršnji meri prvi mešalnik s svojim šumnim številom (izgubami) na spodnjem koncu in s svojim popačenjem signalov (intermodulacijo) na gornjem koncu dinamičnega področja spektralnega analizatorja. Hkrati je prvi mešalnik tudi najbolj izpostavljen sestavni del, ki ga z lahkoto uničimo z nepravilnim roko-

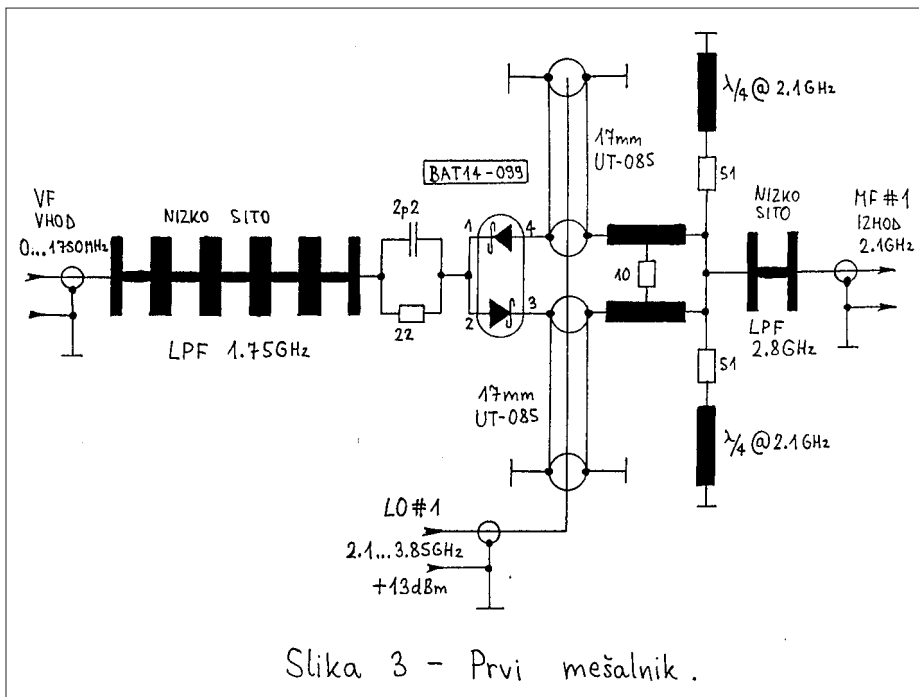
V opisanem spektralnem analizatorju sem se zato odločil za dvojno diodo BAT14-099, ki je poceni in v razmeroma lahko dosegljiva. Simetrični transformator je izdelan iz poltrdega koaksialnega kabla UT-085, ki ima prekinjen oklop, kot je to prikazano na sliki 3. Simetrična konstrukcija mešalnika zagotavlja simetrijo vsaj 30dB, ki jo lahko izboljšamo na več kot 45dB s preprostim dodajanjem kapljic cina na oklop kabla UT-085. V komercialnem mešalniku tega seveda ne moremo storiti, saj je celoten mešalnik zaprt v hermetično ohišje.

Dobra simetrija mešalnika je sicer potrebna iz več razlogov. Simetrični mešalnik preprečuje, da bi šum lokalnega oscilatorja neposredno končal v medfrekvenco. Simetrični mešalnik tudi zaduši nekatere neželjene produkte mešanja višjih redov. V opisanem primeru z dvojno diodo je predvsem pomembno dušenje popa-

čenja drugega reda, da s spektralnem analizatorjem sploh lahko merimo jakost drugega harmonika oddajnikov.

Sestavna enota prvega mešalnika ima na vходу vgrajeno nizkoprepustno sito z mejno frekvenco približno 1.75GHz, ki preprečuje neželen odziv spektralnega analizatorja na mikrovalovnih frekvencah. Slabljenje sita znaša okoli 45dB na prvi medfrekvenci 2.1GHz in dodatno narašča na višjih frekvencah. Situ sledi še RC člen, ki malo ublaži upadanje občutljivosti merilnika na višjih frekvencah.

Mešalni diodi BAT14-099 sledi cela vrsta sestavnih delov za prilagoditev impedanc in dušenje neželenih rezonanc. Mrtvi rokav kabla UT-085 je naprimer uporabljen tudi kot sklopni kondenzator med žilo in oklopom. Upora 51ohm in pripadajoča četrtvalovna voda zaključujeta pot za zrcalno frekvenco, ki jo v dobršnjem delu frekvenčnega pasu zaustavi še nizkoprepustno sito za 2.8GHz.



Slika 3 - Prvi mešalnik.

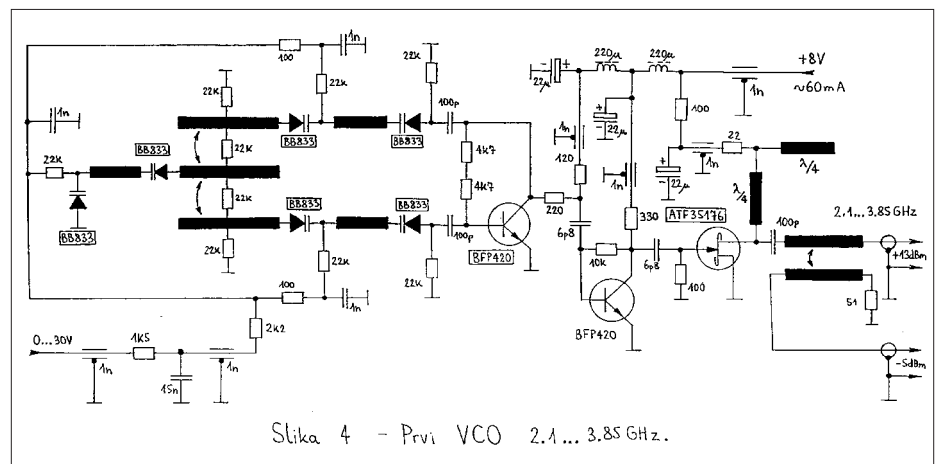
**4. Prvi VCO 2.1...3.85GHz**

Ključni del samogradnje spektralnega analizatorja je vsekakor prvi VCO. Od izvedbe prvega VCOja namreč zavisi frekvenčno pokrivanje in izbira prve medfrekvence spektralnega analizatorja. Hkrati je širokopasovni VCO manj stabilen od ozkopasovnih oscilatorjev, tako dolgoročno (drsenje frekvence s segrevanjem) kot kratkoročno (fazni šum).

Prav nestabilnost VCOja oziroma njegov fazni šum omeujeta največjo frekvenčno ločljivost spektralnega analizatorja in s tem dinamiko merjenja signalov. Fazni šum običajnih YIG oscilatorjev omejuje ločljivost spektralnega analizatorja na približno 1kHz. Dobro načrtovani VCOji

vanjem s spektralnem analizatorjem (prevelika visokofrekvenčna vhodna moč, enosmerna napetost na vходу ali celo preboj statične elektrike).

Pri izbiri vezja prvega mešalnika moramo zato paziti ne samo na električne lastnosti pri majhnih signalih, pač pa tudi na možnost hitrega in učinkovitega popravila v slučaju okvare. Iz omenjenih razlogov ni smiselna vgradnja komercialnega hibridnega mešalnika z vencem schottky diod in feritnimi simetričnimi transformatorji, saj so takšni mešalniki še vedno zelo dragi (nad 100\$) in v razmeroma težko dobavljivi.



Slika 4 - Prvi VCO 2.1...3.85 GHz.

z varikap diodami so približno desetkrat slabši oziroma omogočajo ločljivost okoli 10kHz (pri vrednosti prve medfrekvence v razredu 2GHz). Višjo ločljivost lahko dosežemo le s hitro PLL zanko, ki poskrbi za dodatno stabilizacijo frekvence VCOja.

Načrtovanje vseh enot opisanega spektralnega analizatorja določa prav VCO z varikap diodami, ki je prikazan na sliki 4. Povratna vezava oscilatorja vsebuje mikrotrakasto pasovno sito, ki se uglašuje s šestimi varikap diodami BB833. Takšna konstrukcija oscilatorja je na prvi pogled sicer komplicirana, vendar je gradnja povsem ponovljiva s standardnimi SMD sestavnimi deli velikosti 0805.

Interdigitalno sito in predvsem varikap diode z nizko kvaliteto Q (velika zaporedna upornost) vnašajo precejšnje visokofrekvenčne izgube, zato oscilator potrebuje tranzistor z velikim ojačenjem (BFP420). Varikap diode dobijo enosmerno prednapetost preko številnih uporov 22kohm, ki žal dodajajo kar nekaj šuma v vezje. Boljša rešitev bi bile primerne visokofrekvenčne dušilke brez parazitnih rezonanc v delovnem frekvenčnem področju. Ker je takšne dušilke težko najti, sem zaradi ponovljivosti gradnje rajši ostal pri uporih. Tudi dodatna stabilizacija delovne točke tranzistorja BFP420 v oscilatorju bi prinesla zmanjšanje faznega šuma.

Pri uporabi nizkošumnega VCOja moramo seveda paziti, da dobrih lastnosti samega oscilatorja ne pokvarimo z motnjami, ki se prebijejo preko napajalne napetosti, krmilne napetosti ali visokofrekvenčnega izhoda. Napajalna napetost mora biti jasno dobro stabilizirana in filtrirana. Težje je izsejati motnje na krmilni napetosti za varikap diode, saj tu pripeljemo izmenični signal žage.

Nizkošumni VCO seveda potrebuje učinkovit ločilni ojačevalnik na izhodu, da spremembe bremena oziroma motnje iz mešalnika ne pokvarijo stabilnosti oscilatorja. Ločilni ojačevalnik vsebuje dve stopnji. V prvi stopnji sem najprej poskusil uporabiti integrirano vezje INA03184, ki je zaradi prevelikega ojačenja rado zdivjalo. Dosti boljša rešitev se je izkazal še en BFP420 z uporom 10kohm med B in C. Druga stopnja vsebuje HEMT ATF35176, saj mora razen ojačenja poskrbeti tudi za zadostno izhodno moč za krmiljenje mešalnika.

Izhodna moč ločilnega ojače-

valnika se giblje okoli +13dBm, kar pomeni, da lahko doseže na sredini pasu tudi +15dBm in upade na obeh koncih na samo +10dBm. Izhodna moč opisanega oscilatorja sicer narašča s frekvenco, kar delno kompenzira upadanje ojačenja ločilnega ojačevalnika z BFP420 in ATF35176. Na izhod ločilnega ojačevalnika je priključen še sklopnik, ki odvaja delček moči (okoli -5dBm) na dodatni izhod za sledilni izvor, frekvencometer ipd.

### 5. Rezonatorsko sito 2.1GHz

V kateremkoli širokopasovnem sprejemniku sledi prvemu mešalniku čim boljše pasovno sito. V kratkovalovnih sprejemnikih za frekvenčni pas 0-30MHz je to običajno kristalno sito širine 15kHz za osrednjo frekvenco 45MHz ali 70MHz. Spektralni analizator deluje podobno, le frekvence so višje. Pri vrednosti prve medfrekvence 2.1GHz je izbira vrste sita omejena na votlinske rezonatorje, ki edini omogočajo visoko selektivnost in majhno vstavitevno slabljenje.

Votlinski rezonatorji so na prvi pogled sicer enostavne naprave, ki pa običajno zahtevajo veliko dela in posebna orodja za izdelavo, kot so stružnica ali rezkar. Za opisani spektralni analizator sem zato poskušal poiskati takšno izvedbo rezonatorskega sita, ki se da izdelati v nekaj urah tudi doma z uporabo enostavnega in poceni orodja kot so žaga, vrtalni stroj ali navojni svedri.

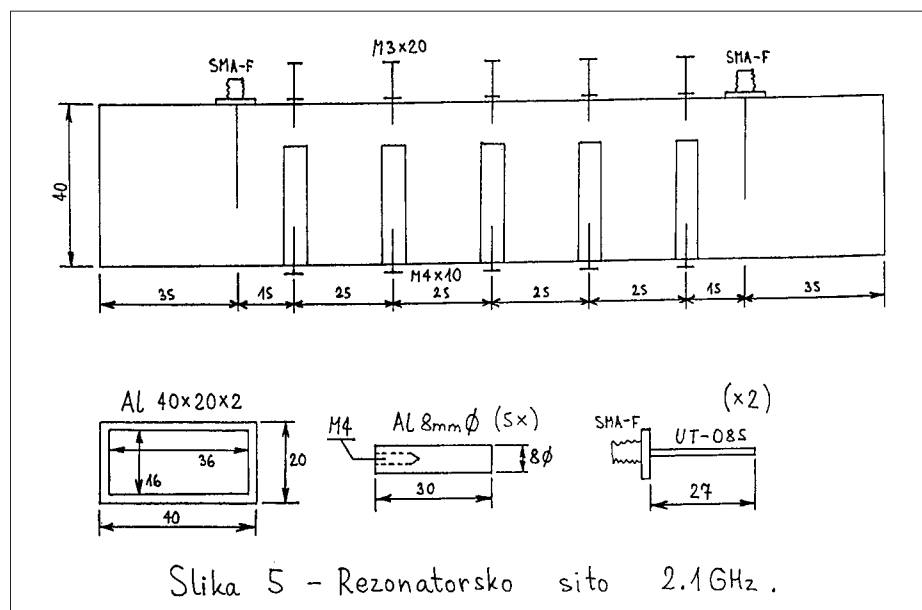
Celotno rezonatorsko sito je izdelano v aluminijasti cevi (profilu) pravokotnega prereza z zunanji

izmerami 40mmX20mm in debelino stene 2mm. Takšna pravokotna cev se da kupiti v naših železninah kot tudi v sosednjih državah. Za naše rezonatorsko sito so seveda pomembne notranje izmere cevi, ki znašajo 16mmX36mm.

Izvedba rezonatorskega sita je prikazana na sliki 5. Sito vsebuje pet četrtvalovnih rezonatorjev iz polne aluminijeve palčke premera 8mm. Vseh pet rezonatorjev je obrnjenih v isto smer (sito vrste "glavnik"), ker je na ta način sklop med rezonatorji nekoliko manjši in so tudi celotne izmere sita manjše od interdigitalne izvedbe (rezonatorji izmenično z ene in druge strani).

Vhod in izhod sita sta sklopljena preko dveh paličastih antenic, ki ju nosita kar SMA vtičnici na ožji steni cevi. Vhodni in izhodni sklop je nastavljen z dolžino antenic (okoli 27mm) iz tanke bakrene cevke (oklopa kabla UT-085). Sklop med posameznimi rezonatorji je določen z razdaljo 25mm in postavlja pasovno širino sita na približno 25MHz. Fino nastavitev frekvence posameznih rezonatorjev omogočajo uglaševalni vijaki M3X20mm, ki jih privijemo v nasprotno steno cevi in po končanem uglaševanju utrdimo s protimatico.

Izmere aluminijaste cevi so izbrane tako, da elektromagnetno polje zelo hitro upada na obeh koncih cevi. Za samo električno delovanje sita zato nista potrebna pokrova pri navedeni dolžini cevi. Pokrova sta potrebna le zato, da v občutljivejše predele sita ne zaidejo prah, žuželke ali druge smeti. Pokrova smeta brez škode segati približno 10mm v notranjost cevi oziroma vsaj 25mm proč od sklopnih antenic.



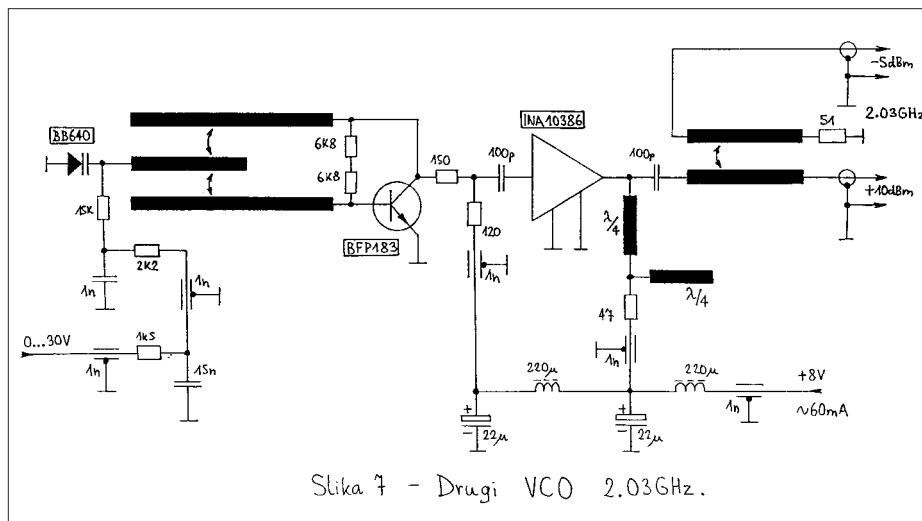
Slika 5 - Rezonatorsko sito 2.1GHz.

Opisano rezonatorsko sito zagotavlja dušenje druge zrcalne frekvence (približno 1.94GHz) vsaj 100dB. Vstavitveno slabljenje sita sicer znaša komaj 2dB na nazivni frekvenci in več kot 100dB izven prepustnega pasu kjerkoli v pasu od 0 do približno 4GHz. Nad 4GHz se pojavijo višje rezonance oziroma se aluminijasta cev začne obnašati kot valovod. Samo rezonatorsko sito zato kljub dobrim lastnostim še ne zadošča in potrebuje dodatni nizkoprepustni siti na vходу in izhodu, ki sta izdelani v mikrotrakasti tehniki na tiskanih vezjih mešalnikov.

Opisana izvedba sita bi omogočala tudi ožji frekvenčni pas širine komaj nekaj MHz z nekoliko manjšim sklopom med rezonatorji. Pas širine 25MHz sicer omogoča manjše spremembe vrednosti prve medfrekvence, da se lahko izognemo nekaterim neželenim produktom iz prvega mešalnika oziroma dopušča ustrezno odstopanje frekvence drugega VCOja.

## 6. Drugi mešalnik

Električne zahteve za drugi mešalnik so manj hude kot za prvi mešalnik, saj je večino "nesnage" odstranilo že rezonatorsko pasovno sito. Tudi jakosti signalov so nižje za vstavitveno slabljenje prvega mešalnika in rezonatorskega sita, se pravi okoli -10dB. Račun in poskusi pokažejo, da med obema mešalnikoma niso potrebni ojačevalniki, če želimo doseči kar največjo možno dinamiko.



Električni načrt drugega mešalnika je zelo podoben prvemu mešalniku, le da sta vhod in izhod zamenjana med sabo, kot je to prikazano na sliki 6. Drugi mešalnik prav tako uporablja dvojno diodo BAT14-099 in simetrični transformator iz poltrdega kabla UT-085. Ker deluje drugi mešalnik v razmeroma ozkem frekvenčnem področju, dušilni upori in kompenzacija frekvenčnega poteka niso potrebni.

Enota drugega mešalnika sicer vsebuje nizkoprepustna sita na vходу in izhodu. Nizkoprepustno sito na vходу ima zaporno frekvenco 2.8GHz in mora predvsem dušiti neželjene odzive rezonatorskega sita na frekvencah nad 4GHz. Izhodno nizkoprepustno sito pa preprečuje, da bi ostanki drugega lokalnega oscilatorja in ostali neželeni ostanki mešanja dosegli tretji mešalnik.

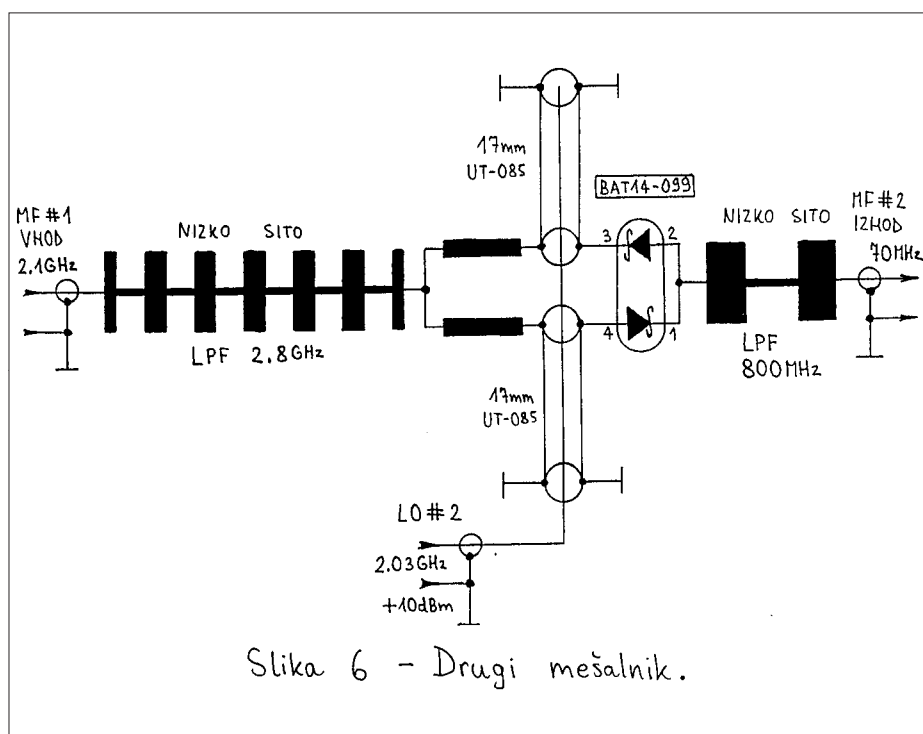
## 7. Drugi VCO 2.03GHz

Pokrivanje drugega VCOja je frekvenčno omejeno na pas +/-10MHz okoli osrednje frekvence 2.03GHz, da preslikamo prepustni pas 2.1GHz rezonatorskega sita na drugo (fiksno) medfrekvenco 70MHz. Frekvenčni pas samega VCOja mora biti seveda nekoliko širši, da pokrije tudi tolerance izdelave in odstopanje frekvence samega VCOja zaradi temperaturnih sprememb.

Tudi drugi VCO je izdelan v mikrotrakasti tehniki in uporablja interdigitalno sito za povratno vezavo, kot je to prikazano na sliki 7. Zaradi ozkega področja pokrivanja zadošča ena sama varikap dioda za uglaševanje interdigitalnega sita. Kljub eni sami varikap diodi BB640 prikazani VCO običajno pokrije področje od 1.85GHz do 2.2GHz. V spektralnem analizatorju seveda uporabljamo le delček tega področja od 2.02GHz do 2.04GHz.

Tudi drugi VCO zahteva skrbno filtriranje napajanja in krmilne napetosti. Kot ločilni ojačevalnik zadošča eno samo integrirano vezje INA10386, ki daje hkrati visoko ojačenje in izhodno moč v razredu +10dBm. Oscilator je sicer izdelan s tranzistorjem BFP183, ki ima primerno veliko ojačenje za delovanje v ozkem pasu okoli 2GHz.

Podobno kot prvi VCO je tudi drugi VCO opremljen s sklopnikom na izhodu, ki odvaja delček moči (okoli -5dBm) na izhod za sledilni izvor, frekvencometer ipd. Ker v opisanem spektralnem analizatorju spreminjamo frekvenco prvih dveh lokalnih oscilatorjev, potrebuje sledilni izvor signale iz obeh oscilatorjev, da lahko iz njih sestavi signal, ki natančno



sledi trenutni sprejemni frekvenci spektralnega analizatorja.

**8. Tretji mešalnik**

Ker je skok iz 2.1GHz na 10MHz le prevelik, je potreben še tretji mešalnik iz druge medfrekvence 70MHz na tretjo medfrekvenco 10MHz. Glede na razmoroma nizke frekvence električne zahteve za tretji mešalnik niso posebno hude. Dodatna zahteva je le največja pasovna širina  $B=4\text{MHz}$ . Tej zadnji zahtevi je razmeroma lahko zadostiti na drugi medfrekvenci na 70MHz, na tretji medfrekvenci na 10MHz pa je že treba paziti na širokopasovne prilagoditve impedance ipd.

Enota tretjega mešalnika, ki je prikazana na sliki 8, vsebuje nizkošumni ojačevalnik za drugo medfrekvenco 70MHz, ki mu sledi LC pasovno sito za 70MHz ter mešalnik z MOSFETom z dvojnimi vrati, ki ga krmili kristalni oscilator na 60MHz. Nizkošumni ojačevalnik na 70MHz z BF998 je sploh edina prava visokofrekvenčna ojačevalna stopnja v celotnem spektralnem analizatorju. Ojačenje te stopnje v glavnem na-

domesti izgube v mešalnikih. Kaj več ojačenja bi bilo celo škodljivo, saj bi omejili dinamično področje spektralnega analizatorja.

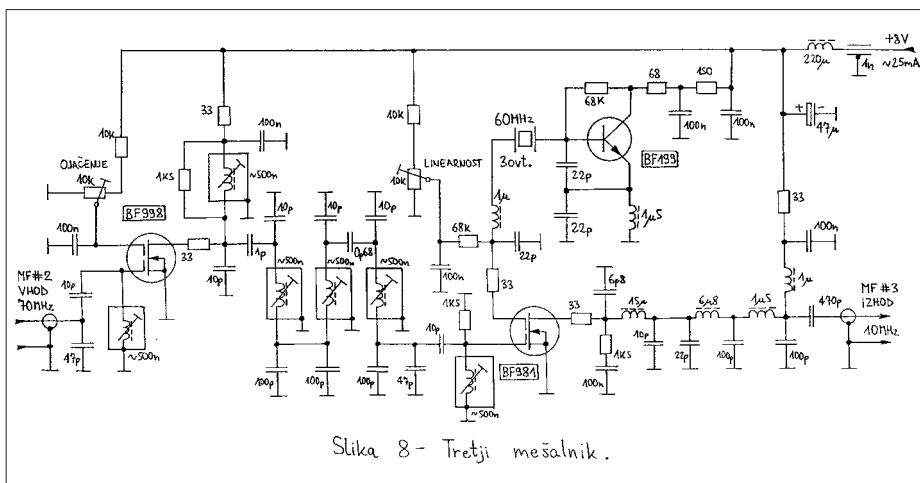
LC pasovno sito na 70MHz ima dve nalogi. Najprej mora zadušiti zrcalno frekvenco tretjega mešalnika v pasu okoli 50MHz. Nadalje LC pasovno sito na 70MHz tudi določa največjo pasovno širino spektralnega analizatorja. Pasovna širina samega sita je okoli 5MHz, kar daje skupno z odzivom vseh ostalih vezij največjo pasovno širino okoli 4MHz. LC pasovno sito uporablja nastavljive tuljavnice z nazivno vrednostjo okoli 500nH, navite na podstavkih za medfrekvenčne transformatorje. Sito je sicer preračunano za vhodno in izhodno impedanco 1.5kohm, kar ustreza MOSFET tranzistorjem v ojačevalniku in v mešalniku.

Tretji mešalnik uporablja MOSFET BF981. Vhodni signal 70MHz gre na prva vrata, lokalni oscilator 60MHz pa na druga vrata tranzistorja. Mešalniku sledi nizkoprepustno sito, ki mora predvsem odstraniti vse ostanke lokalnega oscilatorja na 60MHz in druge neželjene ostanke mešanja. Dodatna naloga nizkoprepustnega sita je prilagoditev razmeroma visoke

izhodne impedance MOSFET mešalnika na nazivno vrednost 50ohm.

Načrtovanje ustreznega nizkoprepustnega sita otežuje zahteva, da vezje prepušča razmeroma širok frekvenčni pas okoli osrednje frekvence 10MHz. Prilagoditev impedance je zato izvedena postopoma v več korakih z LC členi. Prikazano vezje omogoča prilagoditev impedance znotraj celotnega pasu 6-15MHz in hkrati dobro slabljenje lokalnega oscilatorja na 60MHz. Vezje uporablja fiksne tuljavnice v obliki 1/4W ali 1/2W uprovov.

Tretji lokalni oscilator vsebuje tranzistor BF199 in overtonski kristal za 60MHz. Nihanje kristala na tretjem overtoneu zagotavlja dušilka 1.5uH v emitorju BF199. Kristal je hkrati uporabljen tudi kot sito za izhodni signal, ki krmili mešalnik. Isto nalogo ima tudi zaporedna tuljava 1uH, sicer bi harmoniki lokalnega oscilatorja povzročili vrsto neželenih odzivov mešalnika. Neželjene odzive mešalnika se sicer da zmanjšati s skrbno izbiro delovne točke MOSFETA, ki jo nastavimo s trimerjem "LINEARNOST". S trimerjem "OJAČENJE" seveda znižamo ojačenje BF998 na najnižjo vrednost, ki nam še ne kazi šumnega števila celotnega sprejemnika.



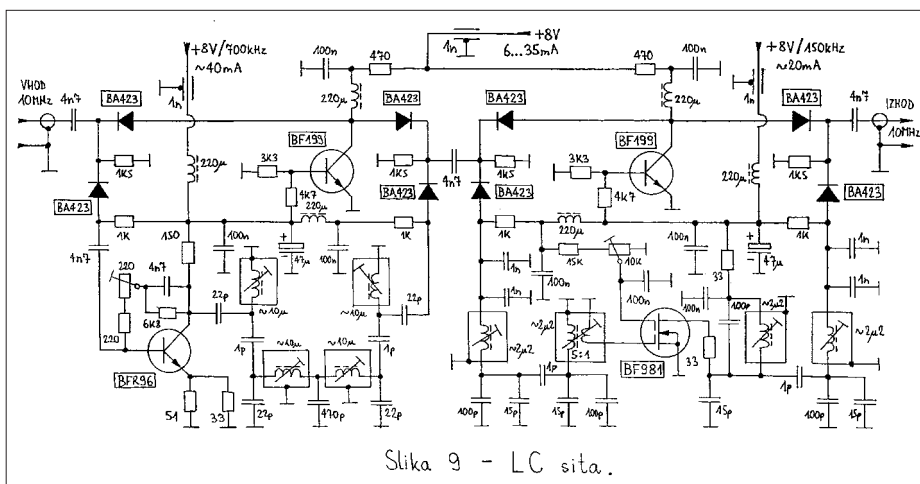
Slika 8 - Tretji mešalnik.

**9. LC sito**

Izhod tretjega mešalnika lahko priključimo neposredno na vhod logaritmskega detektorja. Če pri določeni meritvi potrebujemo večjo ločljivost oziroma manjšo širino sita v medfrekvenci, moramo med tretji mešalnik in detektor dodati še druga pasovna sita. Za pasovne širine nad 100kHz zadoščajo LC sita, za ožje pasovne širine pa potrebujemo kristalna sita.

Merilnik mora seveda razpolagati s primernim naborom sit, ki jih po potrebi vključujemo v medfrekvenco. Preklapljanja sit ne moremo izvesti z navadnimi stikali, saj zahtevamo slabljenje preko 100dB izven prepustnega pasu sit. Smiselna tehnična rešitev je vstavljanje posameznih sit z elektronskimi preklopniki z več PIN diodami. Vsako sito naj vsebuje tudi ojačevalnik, ki nadomesti izgube v situ, da ostane pri preklopu sit jakost signalov na zaslonu spektralnega analizatorja nespremenjena.

Profesionalni spektralni analizatorji običajno razpolgajo z naborom pasovnih širin v razmerju 1:3:10 itn. Pri



Slika 9 - LC sito.

praktični uporabi spektralnega analizatorja se izkaže, da zadošča pri velikih pasovnih širinah nad 100kHz tudi redkejši nabor. Obratno bi želeli gostejši nabor pri ožjih pasovnih širinah, kjer širina medfrekvenčnega sита določa čas preleta žarka preko zaslona oziroma čas obnavljanja slike.

V opisanem merilniku sem se odločil za dodatna LC pasovna sита širine približno 700kHz in 150kHz. Pasovna širina kristalnega sита je sicer nastavljiva v manjših korakih in sicer 50kHz, 20kHz in končno 10kHz. Brez vstavljenih sit znaša pasovna širina merilnika okoli 4MHz, kar daje skupno možnost merjenja s šestimi različnimi pasovnimi širinami.

Dodatna LC pasovna sита so prikazana na sliki 9. Vsako sito razpolaga s preklopnikom s štirimi diodami BA423, ki enostavno vstavi sito v vezje ob vklopu ustrezne napajalne napetosti +8V. Tranzistor BF199 pri tem prekine neposredno pot iz izhoda na vhod in pomaga zmanjšati neželjeni presluh.

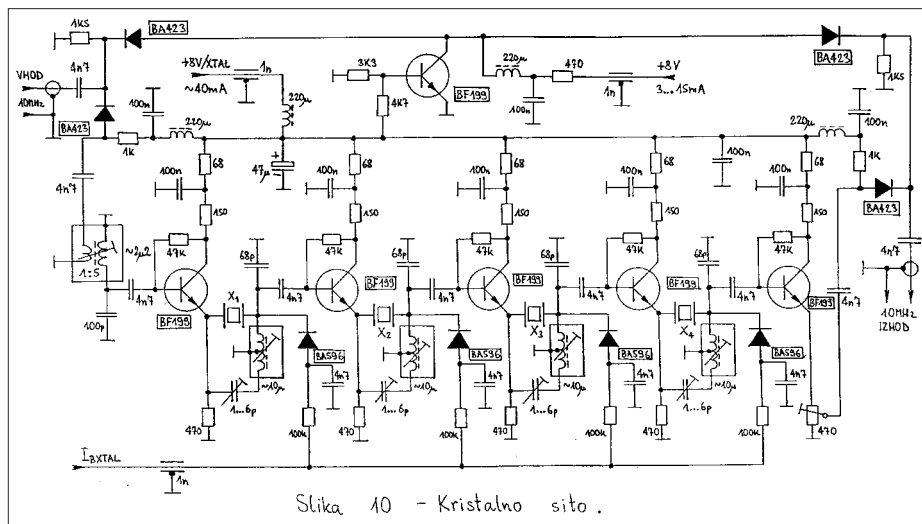
LC sito za širino 700kHz vsebuje štiri nastavljive tuljavice za približno 10uH, navite na malih podstavkih za medfrekvenčne transformatorje. Vstavitveno slabljenje sита nadomesti ojačevalnik s tranzistorjem BFR96. Potrebno ojačenje seveda zavisi od izgub v tuljavicah in ga natančno nastavimo trimerjem 220ohm.

LC sito za širino 150kHz v bistvu sestavljata dve ločeni LC síti s po dvema nihajnim krogoma vsako. Induktivnost tuljav je nižja, okoli 2.2uH, in so navite na nekoliko večjih podstavkih za medfrekvenčne transformatorje, da dosežejo neobremenjeni Q okoli 100. Izgube v obeh polovičnih sítih nadomesti ojačevalnik z MOSFETom BF981. Ojačenje te stopnje nastavimo z napetostjo na drugih vratih preko trimerja 10kohm.

Enota z LC síti potrebuje tri različne napajalne oziroma krmilne napetosti. +8V mora biti stalno prisoten, da enota prepušča signal tudi pri izključenih sítih. Z napetostjo +8V/700kHz vstavimo sito za 700 kHz, z napetostjo +8V/150kHz pa sito za 150kHz. 10MHz vhod in izhod enote sta seveda predvidena za zaključitveno impedanco 50ohm.

## 10. Kristalno sito

Spektralni analizator zahteva v medfrekveni nekoliko drugačna sít



Slika 10 - Kristalno sito.

od tistih, ki jih vgrajujemo v običajne (komunikacijske) radijske sprejemnike. V komunikacijskih sprejemnikih uporabljamo sít, ki imajo čimbolj raven oziroma ploščat prepustni pas (da modulacija ni popačena) ter zelo strme boke (da zadušimo motnje iz sosednjega kanala). Takšna sít so za spektralni analizator neprimerna, ker imajo razmeroma počasen odziv (zvonjenje sít) glede na svojo pasovno širino.

Zvonjenje oziroma počasnost odziva sít se še posebno pozna pri majhnih pasovnih širinah, ko čas odziva sít določa čas preleta žarka preko zaslona. Tovarniška kristalna in keramična sít so zato v spektralnem analizatorju skoraj povsem neuporabna. Primerno kristalno sito oziroma nabor sit za spektralni analizator moramo zato izdelati sami. Sito za spektralni analizator mora imeti "trikotni" frekvenčni odziv z ošiljenim vrhom in lepimi, počasi in simetrično padajočimi boki. V praksi to pomeni, da moramo izbirati sít s podkritično sklopljenimi rezonatorji oziroma moramo vezati sít v verigo tako, da ni povratnega vpliva med rezonatorji.

Kristalno sito, ki je prikazano na sliki 10, vsebuje zaporedno vezavo štirih neodvisnih sit, ki so med sabo ločena z emitorskimi sledilniki s tranzistorji BF199. Vsako posamezno sito vsebuje en sam kremenčev kristal v mostični vezavi, da s trimerjem v nasprotni veji izničimo vpliv kapacitivnosti kristala. Tuljava s srednjim odcepom in celotno induktivnostjo okoli 10uH je rezonančna s kondenzatorjem 68pF in kompenzira tudi ostale parazitne kapacitivnosti v vezju.

Pasovna širina takšnega kristalnega sít zavisi v glavnem od impedance izvora in bremena. Izvor je emitorski

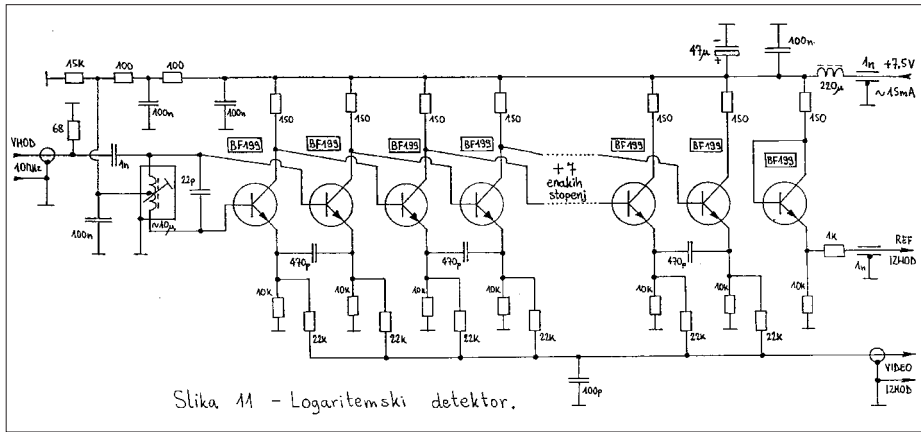
sledilnik prejšnje stopnje, torej nizka impedanca. Breme je vhod v emitorski sledilnik naslednje stopnje, torej impedanca v razredu 10kohm. Impedanco bremena lahko poljubno zmanjšamo z vzporedno vezano PIN diodo BA596 in na ta način nastavimo pasovno širino sít. Impedanca PIN diode seveda zavisi od enosmernega toka skozi diodo, kar nastavljamo preko vhoda IBXTAL.

Enota kristalnega sít seveda vsebuje povsem enak preklopnik s PIN diodami BA423. Napajalna napetost +8V je stalno prisotna, z napajalno napetostjo +8V/XTAL pa vključimo kristalno sito in ga vstavimo v vezje. Izgube v posameznih kristalnih sítih večinoma nadomestijo emitorski sledilniki, dodatno ojačenje pa daje prva stopnja skupaj z medfrekvenčnim transformatorjem s prestavnim razmerjem 1:5. Celotno ojačenje vezja nastavimo s trimerjem 470ohm na koncu verige.

## 11. Logaritemski detektor in video ojačevalnik

Spektralni analizator se razlikuje od komunikacijskih sprejemnikov tudi po vrsti detektorja. Pri spektralnem analizatorju se običajno uporablja logaritemski prikaz jakosti signalov v zelo širokem razponu 80...100dB, medtem ko so komunikacijski sprejemniki opremljeni z linearnimi detektorji. Prikaz spektralnega analizatorja bi torej bolj ustrezal skali S-metra komunikacijskega sprejemnika.

Nekateri ceneni spektralci (Hameg) oziroma večina amaterskih gradenj uporabljajo kot logaritemski detektor kar izhod za S-meter običajnega FM medfrekvenčnega čipa. Takšna rešitev je zelo slaba, ker je odziv večine



Slika 11 - Logaritemski detektor.

čipov zelo netočen in močno odstopa od idealne logaritemske krivulje. Tudi dinamično območje čipov običajno ne presega 70dB. Čipi z večjim dinamičnim območjem so primerni le za ozkopasovne medfrekvence (na 455kHz) oziroma so sestavljeni iz dveh zaporednih logaritemskih detektorjev, med katera moramo vezati dodatno pasovno sito, da omejimo širokopasovni šum.

Logaritemski detektor za resen spektralni analizator moramo zato izdelati sami iz kopice tranzistorjev, uporov in kondenzatorjev, kot je to prikazano na sliki 11. Prikazani logaritemski detektor vsebuje zaporedno vezavo desetih enakih stopenj, ki delujejo hkrati kot linearni detektorji in kot ojačevalniki. Izvedba ojačevalnikov je povsem simetrična in omogoča visoko ojačenje verige brez samooscilacij ter točno določeno obnašanje v zasičenju. Logaritemski odziv dobimo kot vsoto linearnih odzivov ojačevalnikov, ko grejo posamezne stopnje v zasičenje, če je ojačenje posamezne stopnje dovolj majhno in ne preseže 10...12dB.

Podobne verige simetričnih ojačevalnikov se uporabljajo kot FM omejevalniki v vseh znanih integriranih vezjih. Bistvena razlika med integriranimi vezji ter vezjem na sliki 11 je v sklopu med posameznimi

stopnjami. Vezje na sliki 11 vsebuje sklopne kondenzatorje 470pF med emitorji tranzistorjev, ki jih v integrirano vezje ne moremo vgraditi. Sklopni kondenzatorji omogočajo zelo enostavno nastavitve delovne točke in osrednje frekvence delovanja logaritemskega detektorja.

Ker opisani detektor ne ojačuje zelo nizkih frekvenc, kjer prevladuje šum vrste 1/f, pridobimo do 20dB na dinamiki. Jakost šuma opisanega detektorja se giblje okoli -105dBm, logaritemski odziv pa je uporaben vse do -10dBm, kar pomeni vsaj 95dB dinamike. Dodatna dobra lastnost predstavljenega detektorja je v tem, da pri prevelikih vhodnih signalih izhod še nadaljnjih 10...15dB ne gre v zasičenje, pač pa odziv prekorači logaritemsko krivuljo. Na zaslonu spektralnega analizatorja zato dobro vidimo, da je nekaj narobe.

Slaba lastnost opisanega vezja je nizka izhodna napetost, komaj desetina volta za dinamično področje skoraj 100dB. Izhodni signal je sicer definiran glede na referenčno napetost, ki jo proizvaja enaindvajseti tranzistor BF199 v povsem enaki vezavi in obremenjen z enakim tokom kot ostalih dvajset "ojačevalnih" BF199. Brez takšne kompenzacije se izhod spremeni za 2mV oziroma kar za 2dB za vsako stopinjo razlike v

temperaturi.

Logaritemski detektor zato potrebuje video ojačevalnik, prikazan na sliki 12. Celotno napetostno ojačenje je v velikostnem razredu 50 in je porazdeljeno med tri operacijske ojačevalnike iz vezja MC33074 zaradi čimvečje pasovne širine. Četrty operacijski ojačevalnik poskrbi za referenčno napetost. MC33074 vsebuje razmeroma hitre operacijske ojačevalnike s pasovno širino 4MHz (enotno ojačenje), kar v predstavljeni vezavi omogoča pasovno širino video signala okoli 500kHz.

Video ojačevalnik sicer vsebuje trimerja za položaj (enosmerno komponento) in ojačenje. Ojačenje je smiselno nastaviti tako, da dobimo izhod 20dB/V. Na izhod je priključeno še enostavno video sito, ki lahko omeji video pas na 20kHz oziroma 1kHz. Dodatni izhod za slušalke je izveden z emitorskim sledilnikom z BD139. Enota video ojačevalnika vsebuje še stabilizator z uA723 za napajanje logaritemskega detektorja.

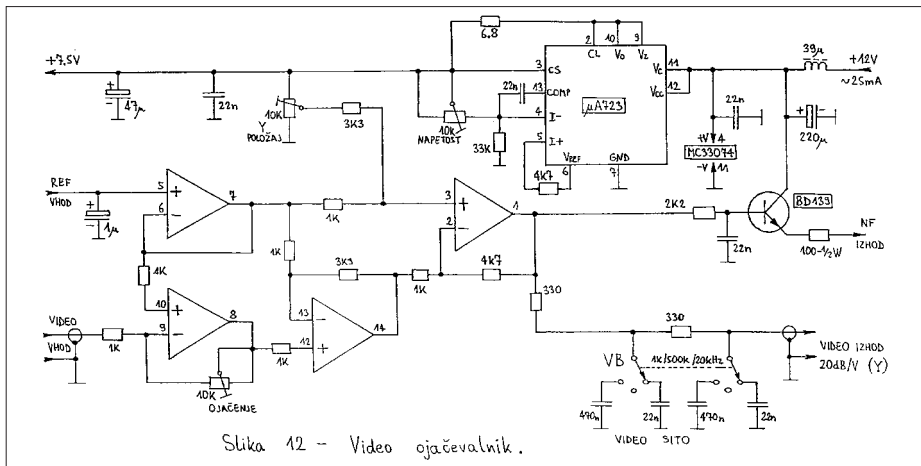
## 12. Izvor žage in linearizacija

Predstavljeni spektralni analizator lahko uporablja kot prikazovalnik katerikoli osciloskop. Večina osciloskopov sicer razpolaga z lastnim izvorom žage, vendar je to notranji signal v osciloskopu in običajno ni dostopen na zunanjih sponkah. Spektralni analizator mora zato razpolagati z lastnim izvorom žage, ki potem krmili osciloskop v načinu XY oziroma sinhronizira notranji izvor žage v osciloskopu.

Izvor žage spektralnega analizatorja je prikazan na sliki 13. Najmanjša perioda žage znaša malenkost več kot 20ms oziroma jo nastavimo tako, da odklon ustreza 2ms/div. S potenciometrom "sweep-time" 220klog lahko periodo žage do dvajsetkrat povečamo, čprav slika takrat že zelo počasi utripa. Krajša perioda od 20ms tudi ni smiselna v slučaju spektralnega analizatorja.

Izvor žage je izdelan s štirikratnim operacijskim ojačevalnikom MC33074, ki poskrbi za različne naloge: izvor konstantnega toka, histerezo in ojačenje izhodnih signalov: žaga za VCOje, žaga za X odklon in prožilni impulzi. Napajanje celotnega vezja je stabilizirano na 30V z integriranim vezjem uA723 in tranzistorjem BD139.

Signal žage lahko krmili samo prvi



Slika 12 - Video ojačevalnik.



VCO, samo drugi VCO oziroma nobenega izmed njih, ko uporabljamo spektralni analizator kot navaden radijski sprejemnik. Z amplitudo žage, ki jo dovajamo VCOju, seveda določimo široko področja pokrivanja. Razen širine področja moramo seveda nastaviti tudi obe osrednji frekvenci obeh VCOjev.

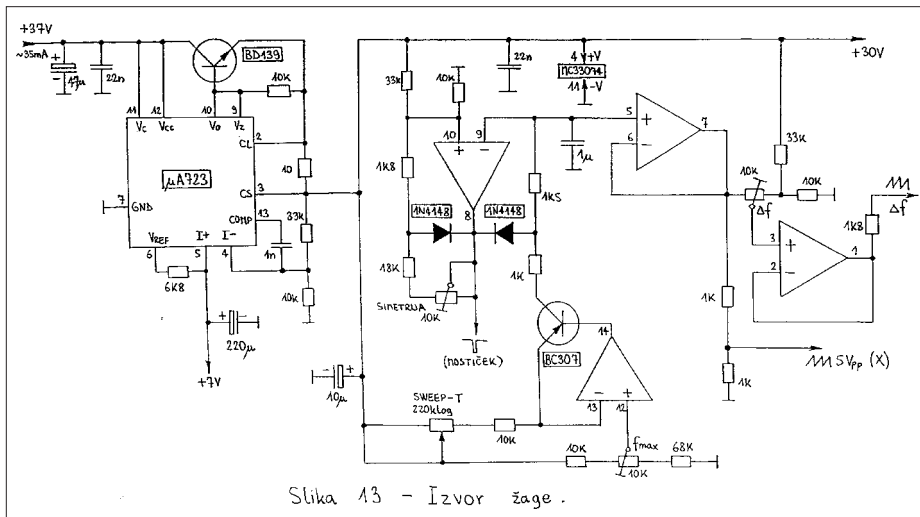
Vse opisane naloge zahtevajo kar nekaj stikal, preklopnikov in potenciometrov na prednji plošči spektralnega analizatorja, ki so skupaj z vezjem linearizacije prvega VCOja ter vezjem za gašenje prikazani na sliki 14. Obe osrednji frekvenci nastavljamo s Helipot potenciometroma na 10 obratov. Širino preleta nastavimo v korakih 1/2/5/10 itd z ustreznim preklopnikom. Pri preletih 500kHz/div ali manj žaga krmili drugi VCO, zato lahko s stikalom dodatno stabiliziramo frekvenco prvega VCOja. Z drugim stikalom s tremi preklopnimi kontakti lahko popolnoma prekinemo krmiljenje z žago in hkrati priključimo dva kondenzatorja po 47uF vzporedno obema krmilnima vodoma VCOjev.

Pri načrtovanju vezja za linearizacijo prvega VCOja moramo najprej poznati odziv samega VCOja. Odziv opisanega VCOja s šestimi diodami BB833 je zelo nelinearen. Krivulja odziva doseže največjo strmino okoli 120MHz/V pri krmilni napetosti okoli 7V. Pri nižjih napetostih strmina počasi upada na približno 90MHz/V na spodnjem koncu. Na gornjem koncu je še dosti bolj nelinearna in strmina upade na manj kot 10MHz/V.

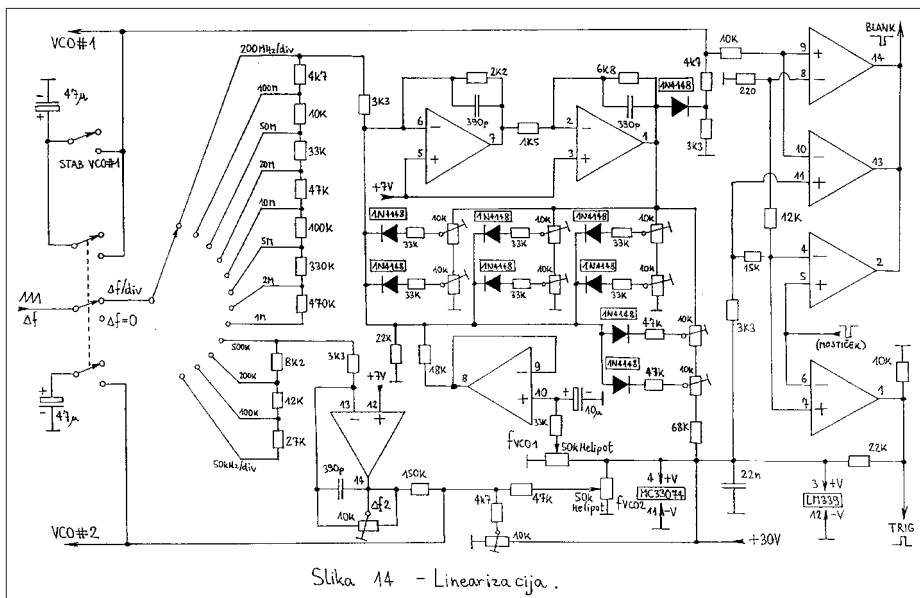
Vezje linearizacije vsebuje dva operacijska ojačevalnika, ki jim negativna povratna vezava določa najmanjše ojačenje pri izhodni napetosti okoli 7V. Pri nižjih oziroma pri višjih izhodnih napetostih se preko upornih delilnikov (trimerji 10kohm) in diod vključuje pozitivna povratna vezava, ki počasi kompenzira negativno povratno vezavo in postopoma zvišuje ojačenje.

Ker se drugi VCO uporablja v razmeroma ozkem frekvenčnem pasu, linearizacija ni potrebna. Za krmiljenje drugega VCOja zato zadošča en sam operacijski ojačevalnik v običajni vezavi. Zaradi postopka mešanja frekvenc je treba seveda obrniti fazo žage, ki krmili drugi VCO. Seveda je hkrati smiselno povezati Helipot drugega VCOja z zamenjanim začetkom in koncem (+30V na začetek in masa na konec upora).

Vezje za gašenje žarka vsebuje



Slika 13 - Izvor žage.



Slika 14 - Linearizacija.

štirikratni primerjalnik LM339. Dva primerjalnika sta sicer uporabljena le kot ojačevalnika prožilnih impulzov iz izvora žage. Druga dva primerjalnika pa ugotavljata, če je krmilna napetost prvega VCOja v smiselnih mejah. Primerjalniki iz vezja LM339 imajo izhode z odprtim kolektorjem, ki jih lahko enostavno vezemo vzporedno.

Tudi vezja linearizacije in gašenja se napajajo s stabilizirano napetostjo +30V iz istega stabilizatorja kot izvor žage. Dobro stabilizirana in filtrirana referenčna napetost +7V za operacijske ojačevalnike pride kar iz regulatorja uA723 na istem tiskanem vezju.

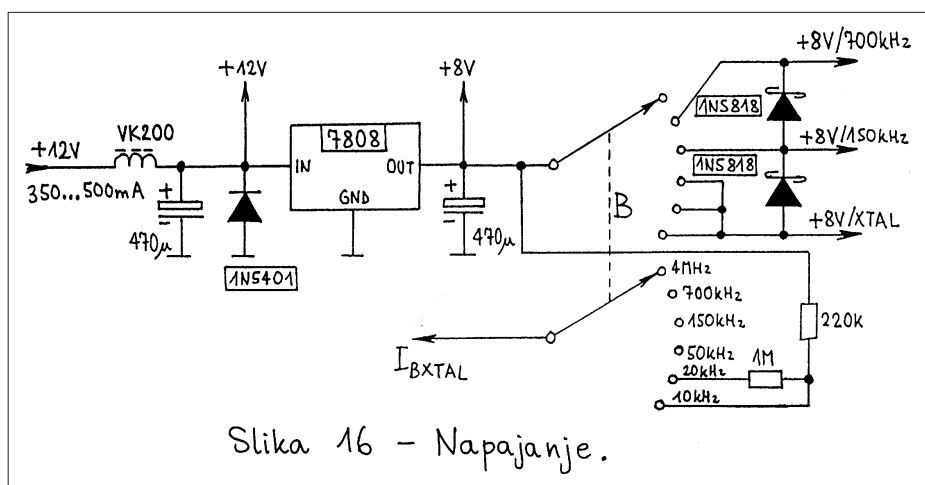
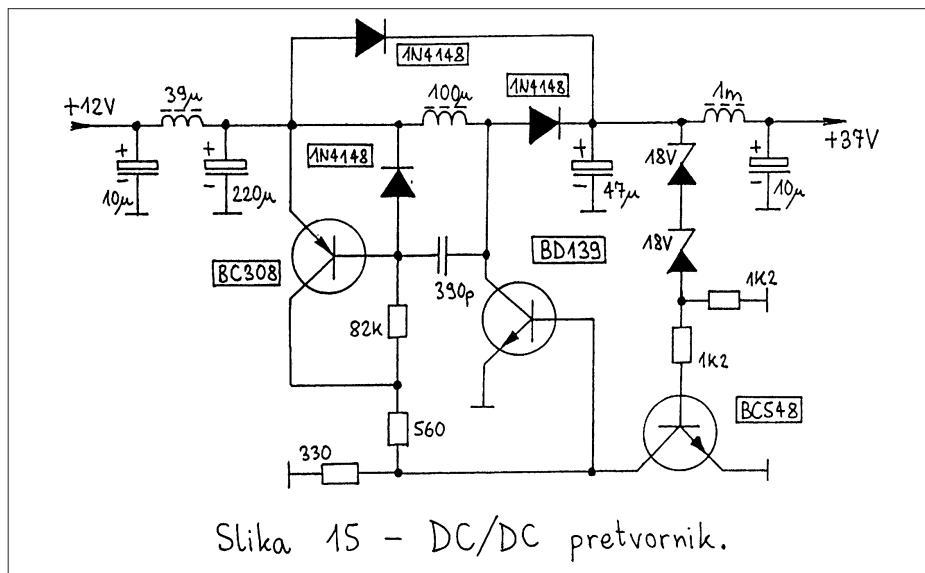
### 13. Napajanje

Zunanje napajanje celotnega spektralnega analizatorja je nazivno 12V enosmerna v smiselnih mejah (10...15V). Spektralni analizator seveda potrebuje celo vrsto različnih

napetosti v svoji notranjosti. Razlike so tudi v zahtevah po stabilizaciji: nekatere sestavne enote zahtevajo zelo stabilne in dobro filtrirane napetosti, druge pa so manj zahtevne.

Varikap diode in ustrezna krmilna vezja zahtevajo napetost +30V. Če temu prištejemo še padec napetosti v regulatorju uA723 in tranzistorju BD193, potem potrebuje spektralni analizator DC/DC pretvornik z izhodno napetostjo +37V, ki je prikazan na sliki 15. Pretvornik vsebuje oscilator s tranzistorjema BC308 in BD139. Špice napetosti v dušilki 100uH usmerja dioda 1N4148 in polni kondenzator 47uF. Ko napetost na kondenzatorju doseže +37V, zener diodi 18V vključita tranzistor BC548, ki zaduši delovanje oscilatorja.

DC/DC pretvornik je seveda potencialni izvor motenj, vgrajen v občutljiv merilni instrument. Vhod in izhod DC/DC pretvornika sta zato dodatno očiščena z dušilkama 39uH in 1mH ter elektrolitskimi kondenzatorji. Iz istega razloga je pretvornik



zgrajen na samostojnem tiskanem vezju, ki je vgrajeno daleč proč od občutljivih sestavnih delov spektralnega analizatorja. Sam DC/DC pretvornik se sicer napaja z nestabilizirano vhodno napajalno napetostjo +12V.

Napajanje ostalih stopenj je prikazano na sliki 16. Vhodna napetost 12V gre najprej skozi dušilko VK200, od tu pa na neposredne porabnike +12V: DC/DC pretvornik, video ojačevalnik in regulator 7808. Regulator 7808 potem napaja večino vezij spektralnega analizatorja s stabilizirano napetostjo +8V. Regulator 7808 je zaradi hlajenja pravit na osnovno ploščo ohišja v neposredni bližini vtičnice za napajanje, kamor so vgrajeni tudi dušilka VK200, zaščitna dioda in oba elektrolitska kondenzatorja 470µF.

Na sliki 16 je prikazano tudi preklapljanje pasovne širine spektralnega analizatorja. V ta namen je uporabljen dvojni preklopnik na 6 položajev. En odsek preklopnika vključuje napajanja različnim sitom. Schottky diodi 1N5818 poskrbita za-

to, da ostanejo predhodna sita vključena. Drugi odsek preklopnika nastavlja tok skozi PIN diode v kristalnem situ.

#### 14. Izdelava spektralnega analizatorja

Pri izdelavi spektralnega analizatorja se moramo zavedati, da sestavljamo občutljiv merilni inštrument, ki deluje v zelo širokem frekvenčnem pasu. Spektralni analizator zato zahteva kvalitetno izdelana oklopljena ohišja za razmeroma majhne sklope. Oklapanja je bistveno več kot v enakovredni radijski postaji. Razen oklopov so potrebni tudi mikrovalovni absorberji znotraj in zunaj samih škatlic.

Sestavne enote spektralnega analizatorja lahko razdelimo v tri večje skupine: (1) mikrovalovne enote izdelane na mikrotrakastih dvostranskih tiskaninah, (2) medfrekvenčne enote na enostranskih tiskaninah, vgrajene v oklopljena ohišja in (3) nizkofrekvenčne enote, ki ne

zahtevajo posebnega oklapanja.

Mikrotrakaste tiskanine so prikazane na sliki 17. Vse so izdelane na dvostranskem, 0.8mm debelem vitroplastu FR4. Na sliki 17 je prikazana le gornja stran, saj spodnja stran ni jedkana, da deluje kot ravnina mase. Na mikrotrakaste tiskanine se vgrajujejo SMD sestavni deli velikosti 0805 ali manjši. Sestavni deli so ozemljeni skozi izvrtine premera 2.5mm, ki jih na strani mase prekrjemo z 0.1mm debelo pocinjeno bakreno folijo in napolnimo s cinom pred vgradnjo sestavnih delov.

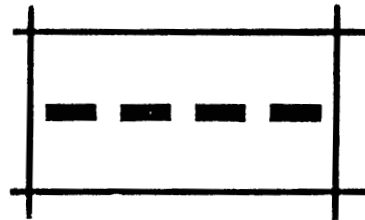
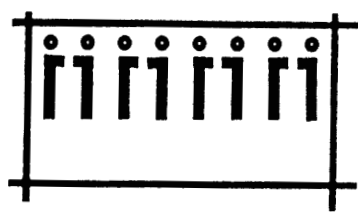
Napajanja pridejo preko skoznikov v izvrtinah premera 3.2mm. Skoznike seveda povežemo na obeh straneh tiskanine z običajnimi sestavnimi deli z žičnimi izvodi. Na spodnjo stran tiskanine vgradimo dušilke in elektrolitske kondenzatorje za filtracijo napajanja. Končno vgradimo zgrajene in preizkušene mikrotrakaste tiskanine v medeninaste okvirje. Okvirji potrebujejo le gornji pokrov, pod katerega obvezno vstavimo vsaj 1cm debelo peno mikrovalovnega absorberja.

Medfrekvenčne tiskanine so prikazane na sliki 18. Vse so izdelane na enostranskem, 0.8mm debelem vitroplastu FR4. Na medfrekvenčne tiskanine najprej vgradimo SMD sestavne dele: upore, kondenzatorje in polprevodnike. Tiskanine so prirejene tako, da sprejmejo dele velikosti 0805 oziroma 1206. Tuljave, medfrekvenčni lončki, trimmerji, tranzistorji BF199, diode BA423, kristali in elektrolitski kondenzatorji so seveda običajne izvedbe z žičnimi izvodi in se vgradijo z druge strani.

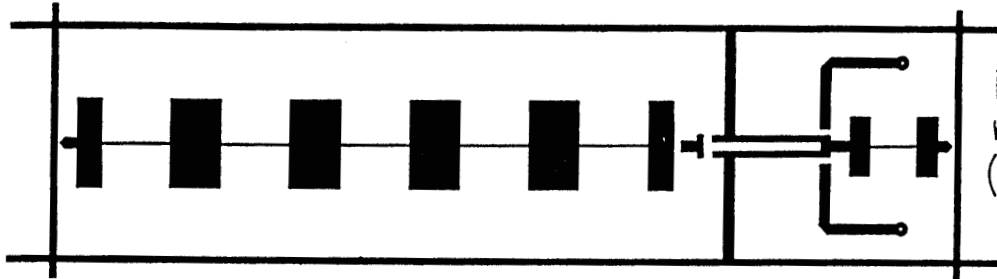
Tudi medfrekvenčne tiskanine so vgrajene v medeninaste okvirje in imajo le gornji pokrov ter skoznike za napajanja v ozkih stanicah. Medfrekvenčne tiskanine seveda ne potrebujejo mikrovalovnega absorberja znotraj medeninaste škatlice.

Nizkofrekvenčne tiskanine so prikazane na sliki 19 in so izdelane na enostranskem vitroplastu FR4 debeline 1.6mm. Vsi vgrajeni sestavni deli so običajne izvedbe z žičnimi izvodi, ki so na ploščici izvora žage in linearizacije vgrajeni pokončno zaradi varčevanja s prostorom. Nizkofrekvenčne tiskanine ne zahtevajo posebnih oklopov in so pritrjene na osnovno ploščo ohišja s štirimi vijaki M3 v vogalih. Vse povezave grejo preko malih vtičnic, ki jih izdelamo sami iz kvalitetnih podnožij za integrirana vezja.

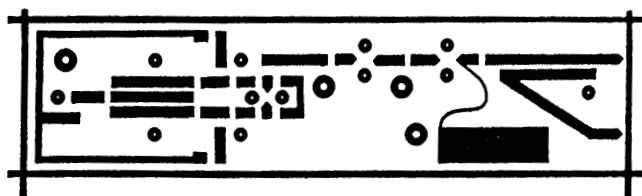
Oklopljena ohišja mikrovalovnih in



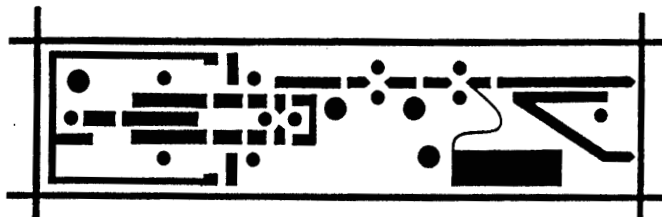
Vhodni  
slabilec  
(dve 20x40)



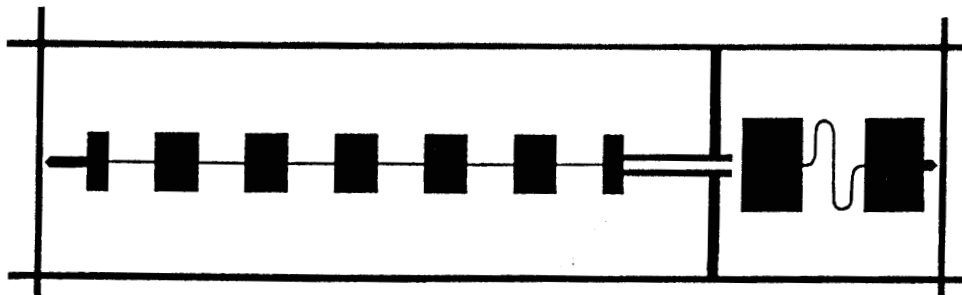
Prvi  
mešalnik  
(120x30)



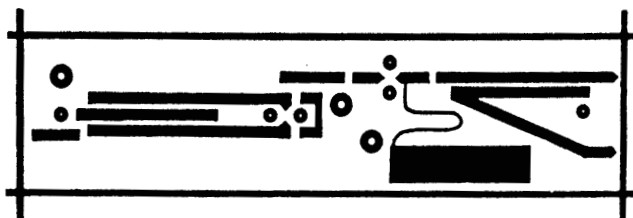
Prvi VCO -  
- ozka izvedba  
(80 x 20)



Prvi VCO  
- široka izvedba  
(80 x 20)

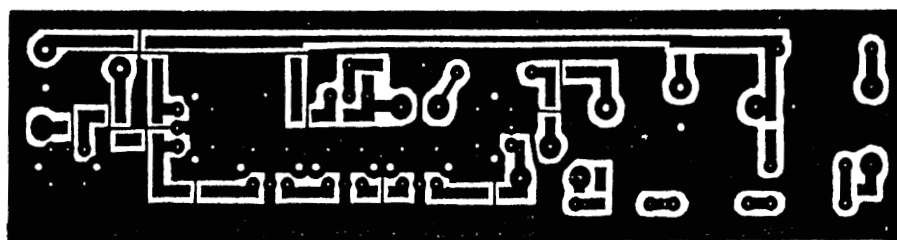


Drugi  
mešalnik  
(120x30)

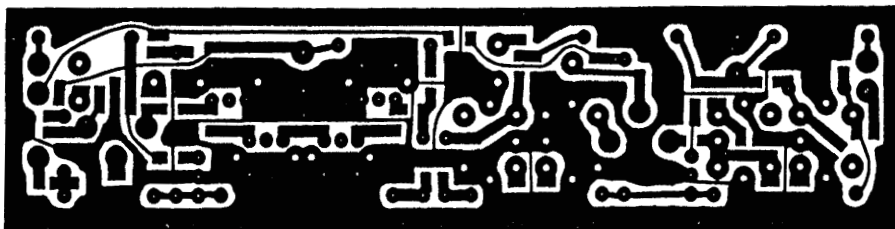


Drugi VCO  
(80 x 20)

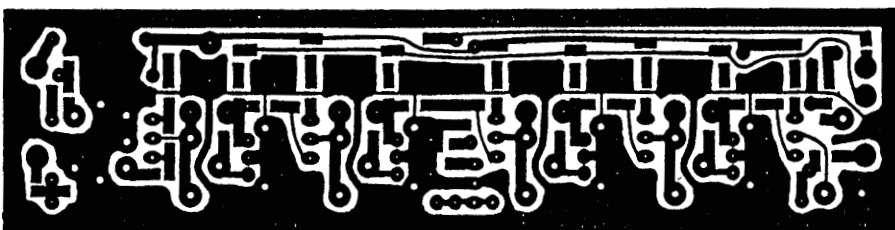
Slika 17 - Mikrotrakaste tiskanine.



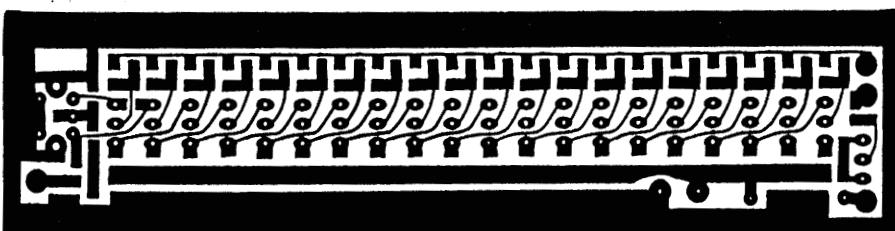
Tretji  
mešalnik  
(120 × 30)



LCsita  
(120 × 30)



Kristalno  
sito  
(120 × 30)



Logaritemski  
detektor  
(120 × 30)

Slika 18 - Medfrekvenčne tiskanine.

medfrekvenčnih enot so prikazana na sliki 20. Posebnost je vhodni slabilec, kjer so mala klecna stikala 2X2 vgrajena v sendvič med dve mikrotrakasti tiskanini. Mikrotrakasti tiskanini sta zacinjani v U iz 0.5mm debele medenine z izmerami 40mmX20mmX20mm. V dolgi stranici Uja so še štiri izvrtine premera 5mm za klecna stikala 2X2, v kratkih stranicah pa v vsaki po ena izvrtina premera 3.2mm za koaksialni kabel. Vhodni slabilec ne potrebuje pokrova.

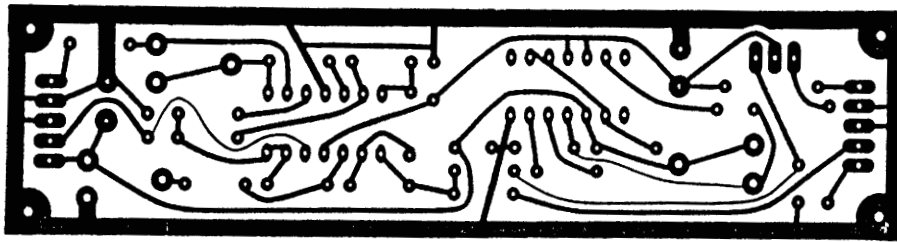
Oba mikrovalovna mešalnika in vse štiri medfrekvenčne enote so vgrajene v medeninast okvir z izmerami

120mmX30mm, le oba VCOja gresta v manjšo škatlico 80mmX20mm. Obe vrsti škatlic imajo samo gornje pokrove, kot je to prikazano na sliki 20. Za okvirje priporočam medenino debeline 0.5mm, medtem ko za pokrove zadošča 0.4mm ali 0.3mm. V mikrovalovnih enotah je pod pokrov vgrajen še absorber.

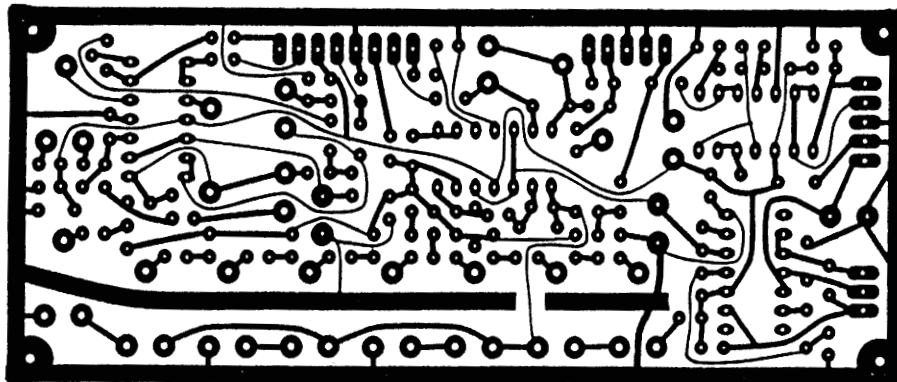
Škatlici mikrovalovnih mešalnikov sicer prečno prebada poltrdi kabelček UT-085, ki tvori simetrični transformator mešalnika. Pred vgradnjo plašč kabelčka najprej pocinimo v dolžini približno 35mm, da se teflon razleze, kolikor pač hoče. Nato oklop zarezemo 17mm od konca,

prelomimo in razpoko raztegnemo na približno 1mm. Tako pripravljen kabelček zacinjimo na tiskano vezje ter poskrbimo za dober spajkan spoj z obema dolgima stranicama medeninastega okvirja. Zacinjeni kabelček štrli na eni strani za približno 2mm iz okvirja, na drugi strani pa kabelček odpeljemo do VCOja.

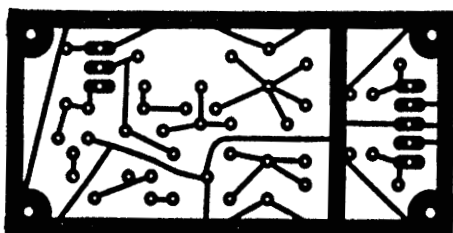
Razporeditev enot spektralnega analizatorja je prikazana na sliki 21. Škatla spektralnega analizatorja ima izmere: širina 220mm, globina 240mm in višina 65mm. Sredi škatle je vgrajena nosilna plošča debeline 1mm, tako da ostane zgoraj in spodaj na vsaki strani po 32mm koristne



Video  
ojačevalnik  
(120 x 30)



Izvor žage  
in linearizacija  
(120 x 50)



DC/DC pretvornik  
(60 x 30)

Slika 19 - Nizkofrekvenčne tiskanine.

višine za sestavne enote. Za dušenje rezonanc celotne škatle se je izkazal najbolj učinkovit kos absorberja med drugim in tretjim mešalnikom.

Pri razporejanju enot je treba seveda paziti, da so vijaki za pritrditev enot na eni strani dostopni tudi z druge strani. Rezonatorsko sito je pritrjeno na obeh koncih, da pritrilni vijaki ne motijo "vročih" delov sita. Prednjo ploščo vežejo na ogrodje kar TNC konektor, klečna stikala in Helipot potenciometra. Zadnja plošča je dodatno pritrjena na ogrodje s štirimi vijaki M3, saj dve SMA vtičnici ne zadoščata.

Končno, oživljanje in popravilo spektralnega analizatorja bo veliko

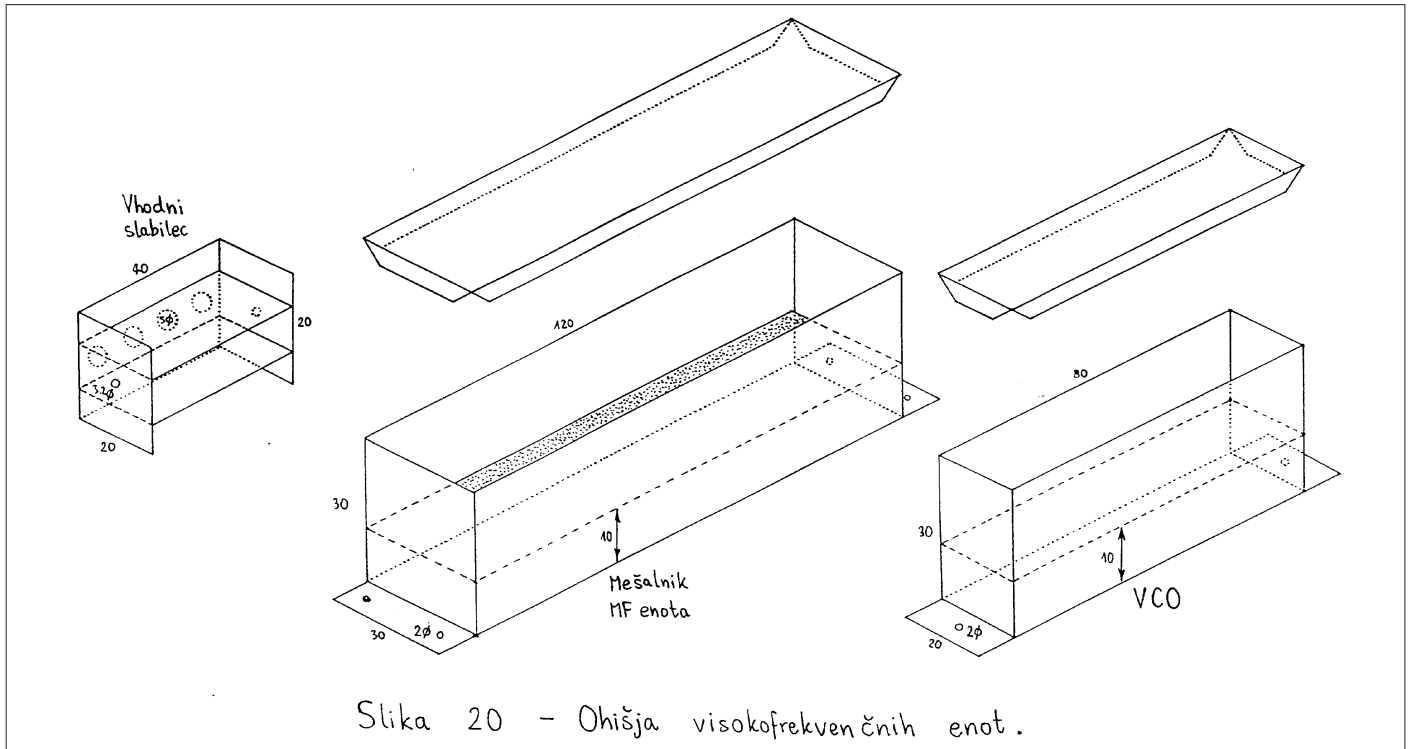
enostavnejše, če so vtičnice za prikazovalnik enake in enako povezane. Priporočam 6-polno DIN vtičnico s priključki v loku 270 stopinj, povezano kot kaže slika 22. Opisana vtičnica omogoča tudi enostavno priključitev slikovnega pomnilnika.

### 15. Oživljanje spektralnega analizatorja

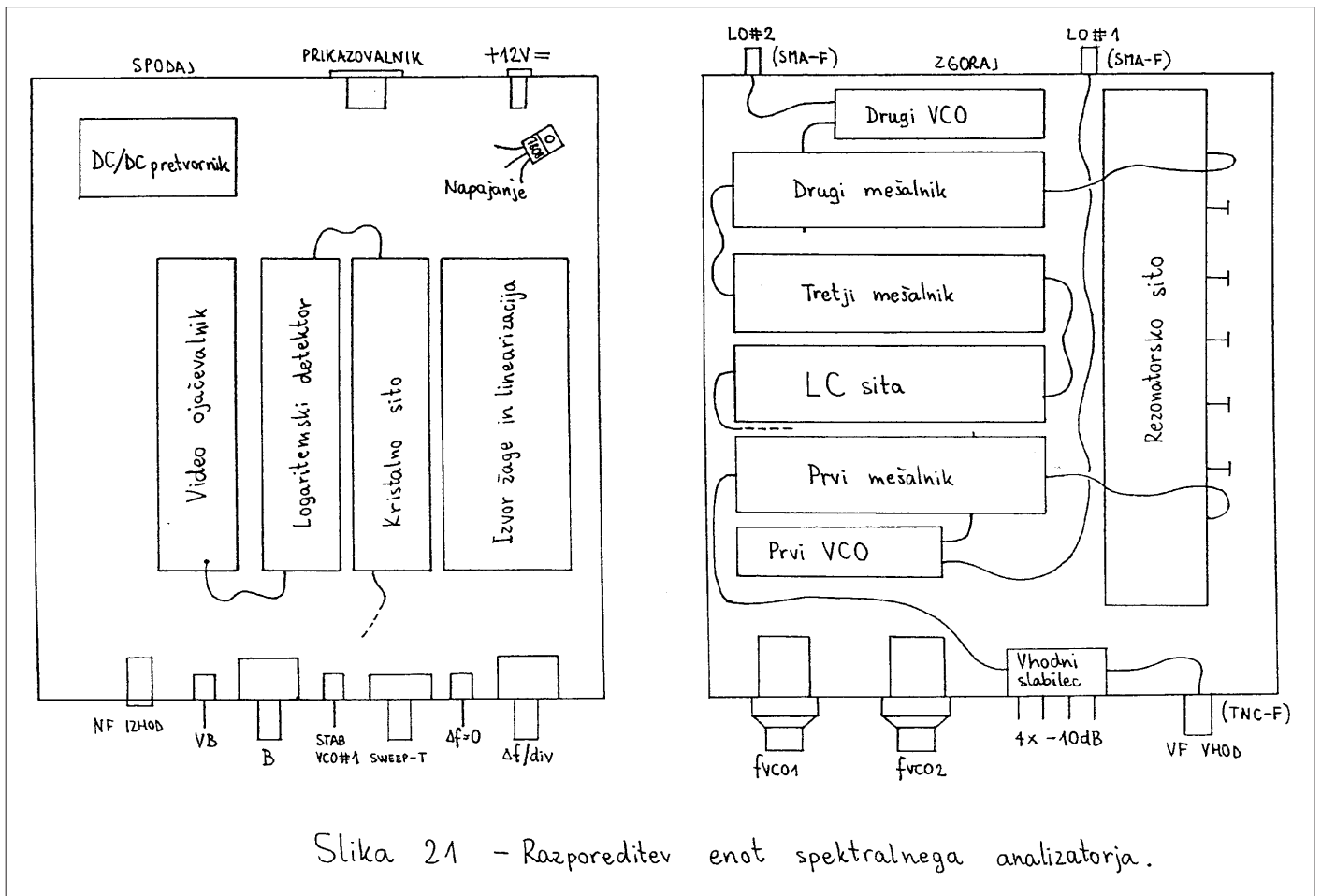
Preden začnemo z gradnjo spektralnega analizatorja je pametno razmisliti o vrstnem redu gradnje in potrebnih merilnih pripomočkih. Za merilne pripomočke ne zadošča, da jih samo imamo, pač pa da jih tudi

znamo uporabljati. Od merilnih pripomočkov vsekakor potrebujemo unimer in to takšen z analogno skalo (digitalni je neuporaben), grid-dip meter, digitalni frekvencometer s preskalerjem do vsaj 4GHz (glej članek S52ZB v CQ ZRS 2/98) in sondo za merjenje VF moči (glej članek S53KS v CQ ZRS 3/98). Na koncu ne smemo pozabiti na osciloskop, ki bo postal sestavni del spektralnega analizatorja.

Gradnjo spektralnega analizatorja vsekakor začnemo z obema mikrovalovnima VCOjema. Pri obeh VCOjih moramo vsekakor preveriti frekvenčno področje delovanja. Prvi VCO je najzahtevnejši in zanj sta



Slika 20 - Ohišja visokofrekvenčnih enot.



Slika 21 - Razporeditev enot spektralnega analizatorja.

predvideni dve različni tiskanini glede na tolerance razpoložljivih diod BB833. Tiskanina s širšimi rezonatorji sicer pokrije širši frekvenčni pas, vendar z nekaterimi BB833 noče nihati v celem pasu. Obratno tiskanina z ožjimi rezonatorji vedno

niha, vendar je z nekaterimi drugimi BB833 frekvenčno pokrivanje nezadostno.

Ko oba VCOja delujeta, se lahko lotimo ostalih enot z izjemo LC in kristalnih sit. Delovanje logaritemskega detektorja z video ojače-

valnikom in tretjega mešalnika lahko zaenkrat preverimo in poglasimo z grid-dip metrom. Delovanje izvora žage, linearizacije in številnih preklopnikov in potenciometrov preverimo kar z osciloskopom, ki ga bomo uporabili kot prikazovalnik. Vse drs-

nike trimerjev v linearizaciji zaenkrat nastavimo na hladni konec uporov.

Brez kompliciranih merilnih instrumentov je verjetno najtežje uglašiti rezonatorsko sito. Uglaševalne vijake tega sita nastavimo tako, da so približno 1...2mm nad vročim koncem aluminijastih valjčkov. S frekvencometrom in trimerji nato nastavimo drugi VCO na predpisano frekvenco 2.03GHz, s prvim VCOjem pa preletavamo celotno frekvenčno področje. Seveda iščemo "enosmerni špik", ki je značilen za vse visokofrekvenčne spektralce, in nanj poglasimo rezonatorsko sito.

Ko smo našli enosmerni špik in za silo poglasili rezonatorsko sito, se lahko lotimo osnovnih preizkusov spektralca. Ko na vhod priključimo krajšo antenico, bo prav gotovo vidno šavje FM radiodifuznih postaj okoli 100MHz. Še več nam bo povedal enostaven izvor 100MHz z ECL oscilatorjem (slika 23), ki ga priključimo na vhod preko nastavljivega slabilca.

Za nastavev linearizacije seveda potrebujemo več signalov na znanih frekvencah. Najprimernejši je izvor hamonikov, prikazan na sliki 24, ki ga krmilimo z izvorom 100MHz. Na zaslonu spektralca bomo videli zgoščene črte v pasu od 700 do 1000MHz, izven tega pasu pa se razdalje med črtami povečujejo. Osem trimerjev v linearizaciji moramo poglasiti enostavno tako, da so razdalje med črtami čimbolj enake.

Ko nam spektralni analizator za silo deluje s pasovno širino 4MHz, se lotimo gradnje LC in kristalnih sit. Za kristalno sito moramo najprej najti prave kristale. Računalniški kristali oziroma vsi tisti, ki jih lahko poceni kupimo v trgovinah, so se izkazali povsem neuporabni zaradi množice parazitnih resonanc. Te resonanze sicer niso vidne v ozkem SSB situ, v širokem situ za spektralni analizator (B=50kHz) pa naredijo pravo katastrofo.

Edini kristali, ki so se izkazali res uporabni, so kristali iz starih FM sit za pasovno širino 30kHz. Takšne kristale običajno dobimo za frekvenco 10.7MHz. Bolj točno, v enem situ dobimo štiri različne pare kristalov. Najti moramo dve enaki siti, iz katerih bomo lahko izdelali štiri spektralne analizatorje.

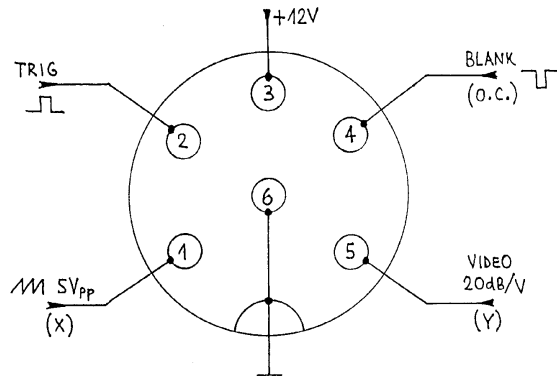
Kristalna in LC sita enostavno uglašujemo na enosmerni špik, ko nam ostanek spektralnega analizatorja vsaj za silo pravilno deluje. Uglaševanje LC sit je običajno enostavno in hitro pridemo do željenega

odziva. Obratno moramo uglaševati vsako stopnjo posebej v kristalnem situ tako, da kratko staknemo ostale tri kristale. S kapacitivnim trimerjem nato poiščemo simetrični odziv, z jedrom tuljave pa čim širše teme krivulje. Postopek večkrat ponovimo za vsak kristal posebej, medtem ko so ostali kristali kratkostaknjeni z upori 100ohm.

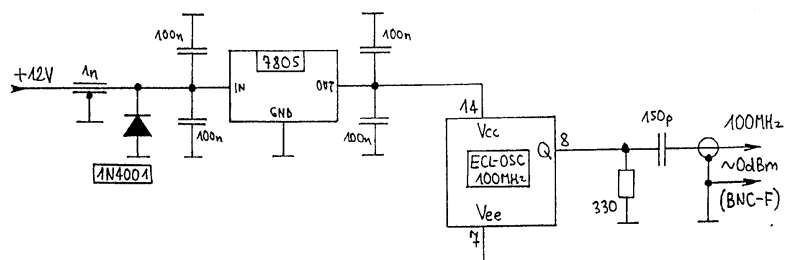
Ko LC in kristalna sita delujejo, lahko dokončno nastavimo linearnost in ojačenje v tretjem mešalniku. Za nastavev linearnosti privedemo na prvi mešalnik razmeroma močen signal (okoli -10dBm), pasovno širino sita izberemo 150kHz in s trimerjem za linearnost skušamo čimbolj zadržati brke v pasu +/-2MHz okoli opazovanega signala. Ojačenje nastavimo tako, da z istim sitom 150kHz šum visokofrekvenčnega dela spektralnega analizatorja ravno še prekrije šum detektorja.

Končno nas pri spektralnem analizatorju čakajo še fine nastavitve. Vsa pasovna sita moramo nastaviti na isto frekvenco. Izenačiti moramo tudi vstavljena slabljenja posameznih sit. Če nas moti "dvigovanje šuma", bo treba popraviti simetrijo prvega mešalnika s kapljicami cina na simetričnem transformatorju. Nenazadnje je treba nastaviti še preostale trimerje v linearizaciji, da pokrivanje VCOjev v resnici ustreza oznakam na preklopniku.

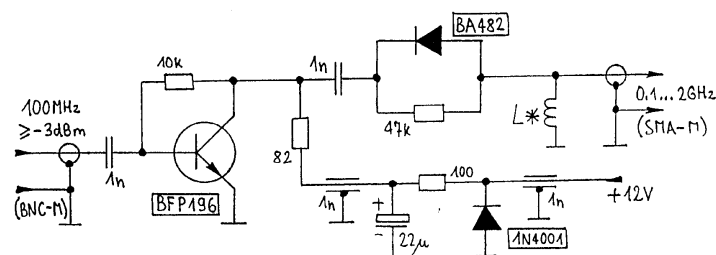
Celo vrsto finih nastavev lahko seveda opravimo šele za tem, ko določen čas uporabljamo spektralni analizator in opazimo napako. Za nekatere nastavitve je potreben sledilni izvor, naprimer za fino prilagoditev impedance mešalnika na prvi VCO, s katero zmanjšamo globino lukenj v frekvenčnem odzivu spektralnega analizatorja.



Slika 22 - Vezava vtičnice prikazovalnika.



Slika 23 - Izvor 100MHz.



Slika 24 - Izvor harmonikov do 2GHz.

