

Šumomer

Matjaž Vidmar - S53MV

1. Električni šum kot merilni signal

Skoraj vsak opis gradnje visokofrekvenčne naprave se zaključuje z opisom preizkušanja in uglaševanja. Za preizkus in uglaševanje seveda potrebujemo izvor primernega signala, ki bo krmilil novozgrajeno napravo, ter merilnik na izhodu, ki bo izmeril odziv naprave. Potrebe po merilnih inštrumentih naraščajo zelo hitro s kompliciranostjo naprave, spisek želja postane hitro tako dolg, da si ga ne morejo privoščiti niti profesionalci, kaj šele radioamaterji.

Občutljivost vseh sodobnih sprejemnikov je tako velika, da lahko v vsakem slučaju zaznamo prisotnost šuma, ki edini omejuje domet dobro načrtovane naprave. Šum imenujemo povsem naključen električni signal, ki je običajno toplotnega izvora, bodisi v sestavnih delih naprave same (šum ojačevalnikov in drugih, predvsem aktivnih stopenj), bodisi šum, ki ga ujame antena. Če je šum v vsakem slučaju škodljiv pojav v radijski zvezi, ker omejuje domet zveze, ga lahko vsaj izkoristimo za meritve. Šum oziroma signali, ki ustrezajo šumu, so lahko odlični preizkusni signal za sprejemnik.

Meritve s šumom kot preizkusnim signalom seveda zahtevajo ustrezno, posebno izdelano, a razmeroma enostavno in ceneno merilno opremo. Čeprav obstajajo ustrezni merilniki, šumomerji oziroma merilniki šumnega števila že dolgo vrsto let na tržišču profesionalne merilne opreme, jih profesionalci uporabljajo bolj poredko. Vzrok je predvsem v njihovem tehničnem nepoznavanju meritev s šumom kot signalom. Profesionalci običajno nadomestijo svoje tehnično neznanje z denarnico in nakupijo najrazličnejše generatorje signalov, le šumomerja se pridno izogibljujejo. Temu seveda potem povsem ustrezajo opisi uglaševanja v navodilih profesionalnih naprav.

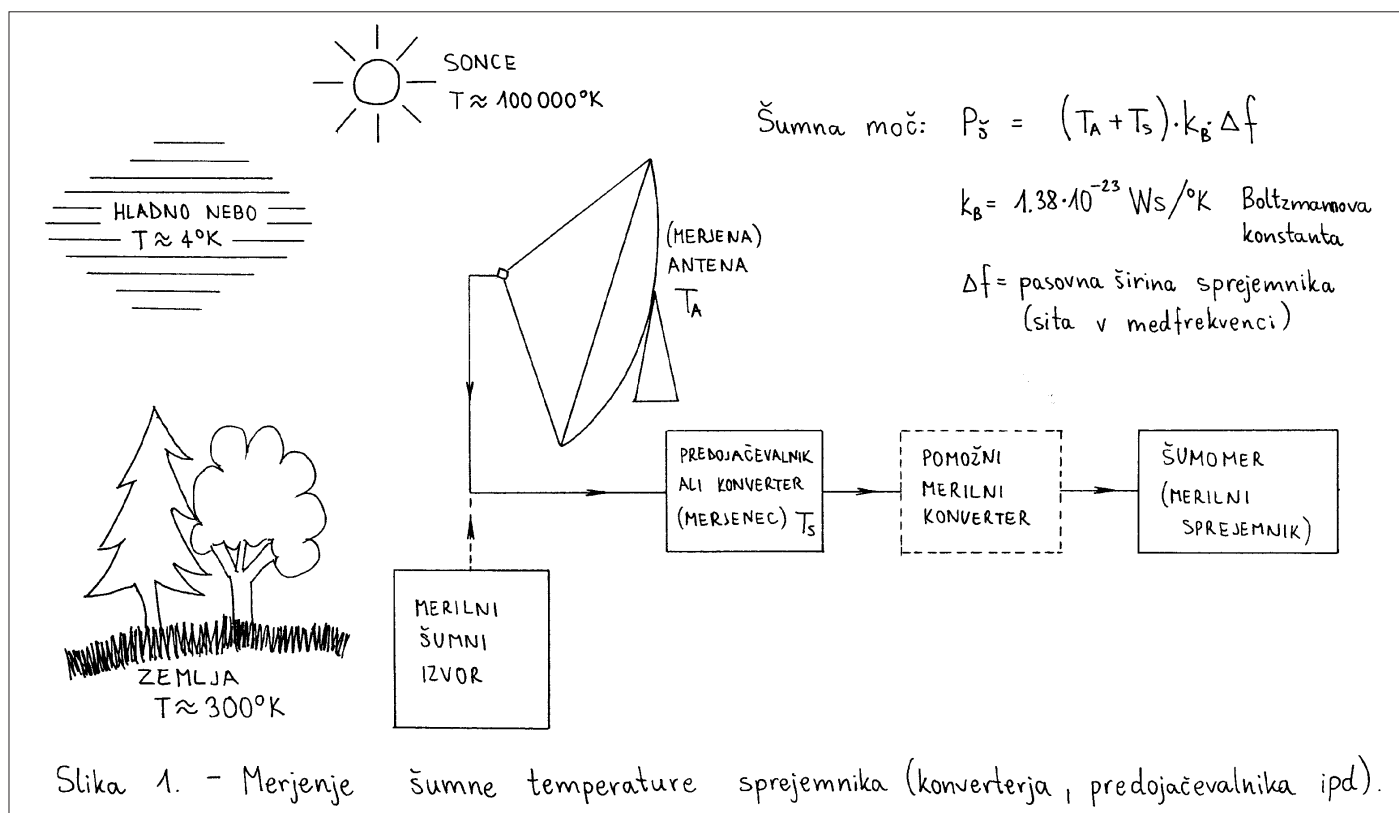
Radioamaterji si dragih merilnih priprav ne moremo privoščiti, zato se meritvam šuma skoraj ne moremo izogniti. Navsezadnje vsaj zaenkrat še ni treba nikomur plačevati prispevkov ali davkov za šum, ki ga seva naravno okolje: Zenlja, Sonce in ostalo nebo. Kot je razvidno iz Slike 1., nam lahko naravni izvori šuma oziroma enostaven šumni generator s plazovno diodo nadomestijo drag signal generator.

Težave nastanejo na drugem

koncu. Večina naših sprejemnikov je sicer opremljena s S-metrom oziroma drugim podobnim merilnikom jakosti signala, vendar je občutljivost teh naprav daleč nezadostna za našo meritve. Območje S-metra je za meritve šuma enostavno preveliko: če znaša celotna skala 80 ali 100dB, je na njej povsem nemogoče opaziti razliko 0.5dB ali tudi manj, ki nastane, ko anteno obrnemo iz hladnega neba v toplo Zemljo. Opisano težavo bi rešili edino z odklopom vezja samodejne nastavitve ojačenja sprejemnika in dodatkom ustreznega merilnika (izmeničnega voltmetra) na NF izhod sprejemnika, kar pa je v sodobnih sprejemnikih z integriranimi vezji v medfrekvenci skoraj neizvedljivo.

Tudi običajni profesionalni merilni inštrumenti, tu mislim predvsem spektralni analizator, za meritve šuma niso najbolj primerni. Na zaslonu spektralnega analizatorja se šum predstavi kot naključna "trava" višine kakšnih 10dB, na kateri prav gotovo ne moremo oceniti sprememb, manjših od 1dB! Prava rešitev je seveda ustrezen merilni sprejemnik, ki ga priključimo na merjeno vezje.

Pri meritvah s šumom je treba



najprej doumeti, da je šum širokopasoven in naključen signal. Razpoložljiva šumna moč je premo sorazmerna pasovni širini sprejemnika, se pravi širini sata v medfrekvenci. Jakost šuma zato enostavneje opišemo z navidezno šumno temperaturo T , to je absolutno temperaturo, na katero bi morali segreti upor, da bi proizvajal enako šumno moč v istem vezju. Ker je šum povsem naključen signal, se pri povezovanju različnih izvorov šuma vedno seštevajo le moči oziroma šumne temperature. Računanje s šumi je torej lahko tudi enostavnejše od računov s čistimi sinusnimi signali, vendar je treba nalogo poznati in razumeti.

Pri uglasenju sprejemnika lahko najprej izkoristimo šum vhodnih ojačevalnih stopenj za uglasenjanje ostalih delov sprejemnika. Če tega šuma ni dovolj, si lahko vedno pomagamo s cenenim izvorom šuma s plazovno diodo. Ker je izvor šuma sam po sebi širokopasoven izvor, moramo seveda paziti, da uglasujemo na pravo frekvenco. Tu nam lepo pomagajo sestavni deli, ki so že tovarniško nastavljeni na pravo frekvenco, naprimer kristalna ali keramična sata v sprejemniku.

Končni preizkus sprejemnika z anteno vred spet naredimo z meritvijo šuma, kot je to prikazano na Sliki 1. Antena je znan izvor šuma, če jo usmerimo proti predmetom z znano temperaturo. Naprimer, na mikrovalovnih frekvencah nad 1GHz je nebo zelo hladno, komaj 4 stopinje K, Zemlja in predmeti na njej in to predvsem tisti, ki dobro vpijajo mikrovalove (drevesa in drugo gosto zelenje) pa sevajo s svojo temperaturo v velikostnem razredu 300 stopinj K. Če anteno obrnemo najprej v zelenje, potem pa v hladno nebo in izmerimo razmerje sprejetih moči šuma, lahko iz obeh znanih temperatur antene T_a določimo temperaturo sprejemnika T_s in iz te izračunamo šumno število sprejemnika.

Zelo močen izvor šuma je tudi Sonce. Kot skoraj točkast izvor bi nam lahko pomagal pri določevanju dobitka antene, žal pa se jakost sevanja Sonca v področju radijskih frekvenc od dneva do dneva zelo spreminja skladno z dogajanjem na Soncu. Jakost Sončevega radijskega šuma tudi hitro upada s frekvenco. Sonca zato ne moremo uporabiti kot izvor šuma znane jakosti, pač ap le kot močen točkast izvor, s katerim lahko preverimo, če je s smernim

diagramom naše antene vse v redu ali ne.

2. Zasnova in izvedba šumomerja

Šumomer ni v svoji osnovi prav nič drugega kot zelo občutljiv in natančen S-meter, ki ga priključimo na merjeni sprejemnik. Šumomer mora zato vsebovati vsaj svoj lasten medfrekvenčni ojačevalnik in amplitudni demodulator, da lahko z njim merimo jakosti šumnih signalov. Seveda se mora šumomer prilagoditi medfrekvenci oziroma frekvenci delovanja merjenja.

Dodatno spremenljivka je pasovna širina. Šumne meritve so točnejše v večji pasovni širini, ker potrebujemo manj ojačenja pred detektorjem in hitreje določimo povprečno jakost signala. Velika pasovna širina seveda pomeni večjo občutljivost na motnje. Idealni šumomer naj bi zato svojo pasovno širino lahko prilagajal glede na različne slučaje merjenja.

Zasnova opisanega šumomerja je prikazana na Sliki 2. Šumomer vsebuje širokopasoven ojačevalnik od 1 do 100MHz z nastavljivim ojačenjem ter kvadratični detektor. V sam šumomer se po potrebi vključi še 10MHz nizkoprepustno sito, da omeji pasovno širino v medfrekvenci. Šumomer lahko seveda izkoristi tudi pasovno sito v medfrekvenci merjenja oziroma kombinacijo obeh pasovnih sit.

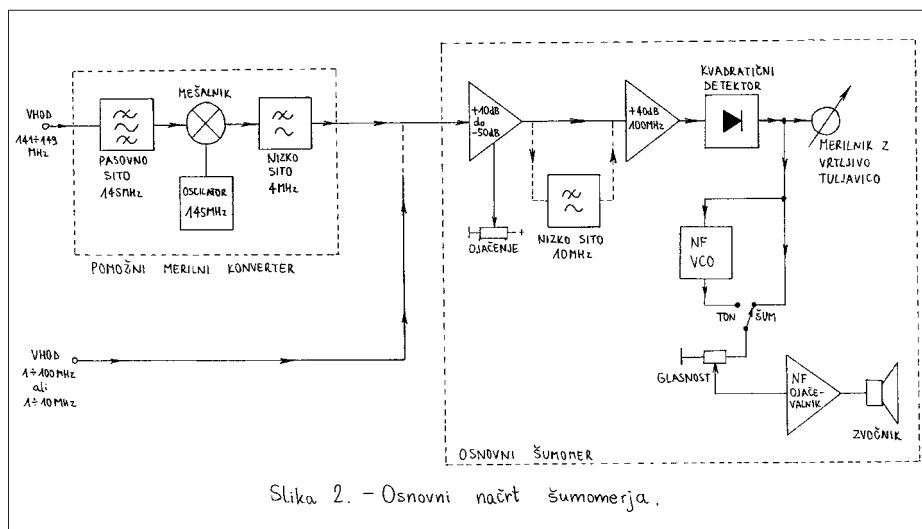
Ker večina radioamaterskih transverterjev in konverterjev uporablja kot medfrekvenco področje 145MHz, ima šumomer še poseben merilni konverter za 145MHz. Ta merilni konverter vsebuje pasovna sito, da meritve ne bi motil lokalni oscilator transverterja (90 do 120MHz, običajno 96MHz). Po potrebi lahko

seveda dodamo še drugačne merilne konverterje oziroma uporabimo obstoječi transverter kot merilni konverter, naprimer za meritve na mikrovalovnih predojačevalnikih.

Osnovni šumomer je opremljen s kvadratičnim detektorjem, da je izhodna enosmerna napetost sorazmerna moči vhodnega signala. V profesionalnih šumomerjih odčitamo izhodni signal le na analognem ali digitalnem voltmetru. V slučaju brezhibne meritve to sicer zadošča, v praksi pa se je izkazalo, da na ta način nikakor ne moremo odkriti motenj, samooscilacij ali drugih izvorov napak pri meritvi. Zato ima opisani šumomer dodan še nizkofrekvenčni ojačevalnik z zvočnikom, da lahko takoj slišimo, če sploh merimo šum ali kaj drugega.

Pri iskanju minimumov ali maksimumov pri uglasenju naprave oziroma uporabi grid-dip metra ali Lecherjevega voda je lahko odčitavanje vrednosti s skale instrumenta zelo nerodno. Tudi človeško uho težko zazna spremembo jakosti šuma, ker je šum že sam po sebi naključen signal. Opisani šumomer ima zato vgrajen še nizkofrekvenčni piskač, izhodna napetost detektorja pa krmili višino tona piskača, na kar je človeško uho še posebno občutljivo.

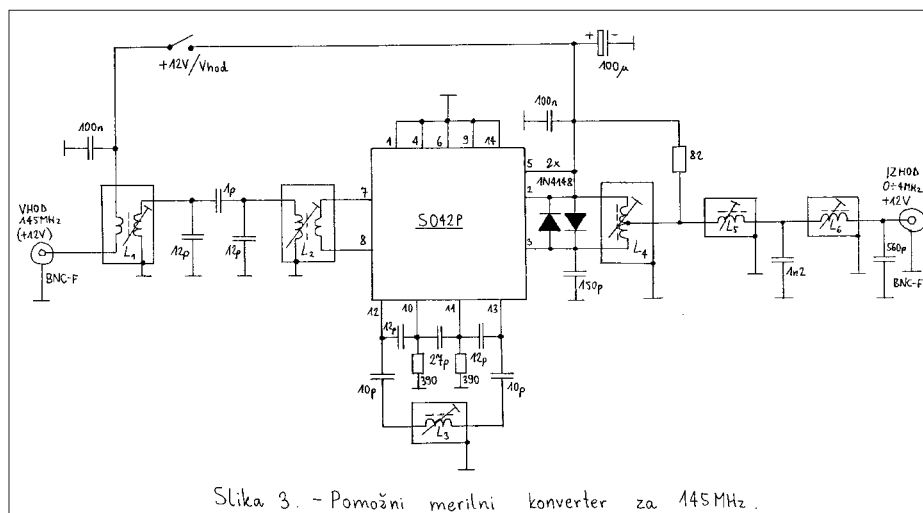
Končno ima opisani šumomer dodatek, ki običajno zelo prav pride pri uglasenju predojačevalcev in konverterjev. Marsikateri preojačevallec dobi napajalno napetost kar po izhodnem visokofrekvenčnem kablu, zato so ustrezna napajalna vezja vgrajena v sam šumomer in v merilni konverter. Napajalna vezja lahko seveda izključimo, če merjenec ne predvideva napajanja po kablu oziroma ima celo izhodne sponke v kratkem stiku za enosmerni tok.



Slika 2. - Osnovni načrt šumomerja.

3. Merilni konverter za 145MHz

Električni načrt pomožnega merilnega konverterja za 145MHz je prikazan na Sliki 3. Vezje je zasnovano na mešalniku S042P, ki vsebuje lasten lokalni oscilator. Lokalni oscilator dela na vhodni frekvenci 145MHz, ki se zato preslika v vrednost medfrekvence nič! Mešalniku sledi nizko sito z mejno frekvenco 4MHz, kar pomeni, da bo opisani konverter preslikal vhodni pas od 141MHz do 149MHz v medfrekvenčni pas od 0 do 4MHz.



Slika 3. - Pomožni merilni konverter za 145MHz.

Vhodna nihajna kroga s tuljavama L1 in L2 ne predstavljata nobenega znatnega dušenja za zrcalno frekvenco, saj konverter preslika oba pasova 141-145MHz in 145-149MHz v isti medfrekvenčni pas. V slučaju meritev šuma zrcalna frekvenca torej nikakor ne moti meritve. Naloga vhodnih krogov je predvsem izločanje parazitnih frekvenc, predvsem neželjenih harmonikov lokalnih oscilatorjev transverterjev, ki so v sprejemnih konverterjih običajno dosti močnejši od merjenih signalov.

konverter napajalno napetost preko istega konektorja.

Merilni konverter je zgrajen na enostranski tiskanini dimenzij 40mmX80mm, ki je prikazana na Sliki 4. Ustrezna razporeditev sestavnih delov je prikazana na Sliki 5. Tiskano vezje nima nikakršnih pritrilnih lukenj. Ploščica iz vitroplasta je enostavno zacinjena v okvir iz medeninaste pločevine, na katerega pricininimo tudi ohišji obeh BNC konektorjev, ki se s srednjima žilama naravnost dotikata ustreznih vezi na

tiskanini.

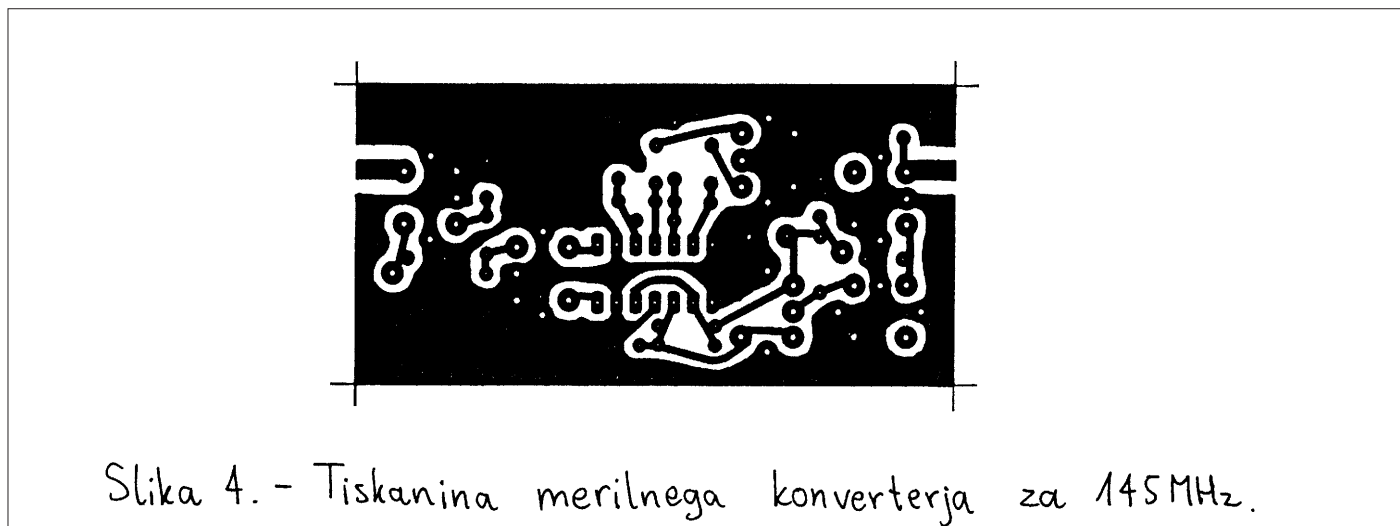
Vseh šest tuljav v merilnem konverterju je navitih na oklopljenih podstavkih televizijskih MF transformatorjev za 36MHz. L1, L2 in L3 imajo plastično kapico, iz ferita je le vijak in ta kljub neprimernemu feritnemu materialu bistveno ne moti delovanja na 145MHz. L1 in L2 imajo po 3 ovoje vsaka, žica 0.35mm CuL v gornjem prekatu podstavka, link pa ima po en ovoj v sosednjem prekatu. L3 ima 6 ovojev iste žice, navitih v vrhnjih dveh prekatih podstavka. S pomočjo jedra L3 pripeljemo oscilator na željeno delovno frekvenco 145MHz, z L1 in L2 pa poiščemo maksimum signala na dokončanem šumomerju, ko uporabimo kot izvor šuma generator s plazovno diodo.

L4, L5 in L6 delajo na znatno nižjih frekvencah, zato imajo vse tri feritno kapico in vijak. L4 ima 36+36ovojev, bifilarno navitje z žico 0.15CuL, L5 in L6 pa po 17ovojev iste žice. L5 in L6 naj bi imele okoli 5uH. Vse tri tuljave L4, L5 in L6 običajno ne zahtevajo nikakršnega uglaševanja.

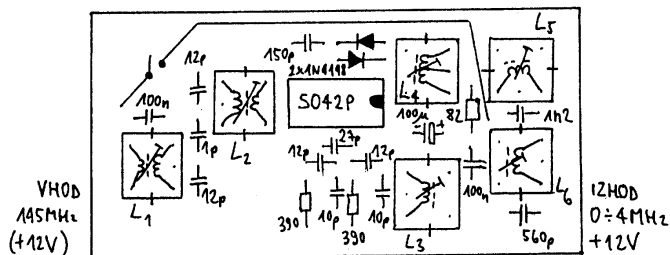
4. Vezja osnovnega šumomerja

Osnovni šumomer vsebuje nastavljeni slabilec na vходу, ojačevalnik za pas 1-100MHz, kvadratični detektor, merilnik z vrtljivo tuljavico, nizkofrekvenčni ojačevalnik ter nekaj pomožnih vezij: 10MHz nizko sito in nizkofrekvenčni VCO. Posamezne stopnje šumomerja so smiselno zbrane na treh tiskanih vezjih: slabilec, medfrekvenčni del in nizkofrekvenčni del.

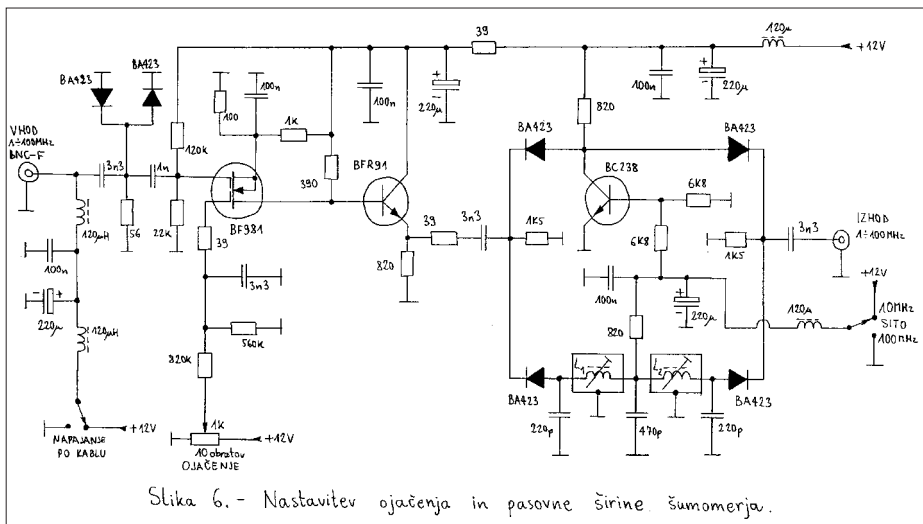
Električni načrt prvega modula, nastavitve ojačenja in pasovne širine šumomerja, je prikazan na Sliki 6. Vhodno vezje omogoča napajanje merjenja preko VF koaksialnega



Slika 4. - Tiskanina merilnega konverterja za 145MHz.



Slika 5. - Razporeditev sestavnih delov merilnega konverterja za 145MHz.



Slika 6. - Nastavitev ojačenja in pasovne širine šumomerja.

kabla z napetostjo +12V, sicer pa je vhod zaščiteno z diodama BA423. Kot nastavljivi slabilec je uporabljen MOSFET z dvojnimi vrati, ojačenje oziroma slabljenje mu nastavljamo z enosmerno napetostjo na drugih vratih. Natančno nastavljanje ojačenja šumomerja omogoča žični potenciometer na 10 obratov (helipot) za upravno napetost MOSFETA.

MOSFET BF981 da skupaj z emitorskim sledilnikom BFR91 tudi malenkostno ojačenje, čeprav je

glavna naloga te stopnje zvezno ter zelo fino nastavljivo slabljenje. Nastavljivemu slabilcu sledi nizkoprepustno sito (L1 in L2), ki ga po potrebi vključimo v vezje z diodnim preklopnikom z diodami BA423 (BA243 ali BA244).

Nastavljivi slabilec in sito sta nameščena na enostranski tiskanini dimenzij 40mmX120mm, ki je prikazana na Sliki 7. Ustrezna razporeditev sestavnih delov je prikazana na Sliki 8. Ploščica ima v vogalih štiri

pritrtilne luknje za vijake M3, vse povezave pa so speljane preko dveh 7-polnih vtičnic na obeh koncih ploščice, izdelanih iz kvalitetnega podnožja za integrirana vezja. Dušilke 120uH so tovarniško izdelane, v obliki upora 1/2W. Tuljavi L1 in L2 sta naviti na podstavkih 10.7MHz MF transformatorjev, po 10 ovojev žice 0.15mm CuL, kar da induktivnost okoli 2uH. Tuljavi L1 in L2 sicer ne potrebuje uglaševanja, nastavitev bi potrebovali le upori okoli MOSFETA BF981 v slučaju, če so tolerance MOSFETA prevelike.

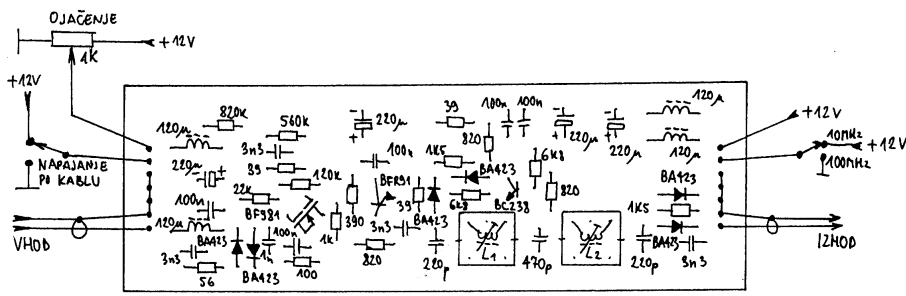
Električni načrt medfrekvenčnega dela je prikazan na Sliki 9. Kot medfrekvenčni ojačevalnik je uporabljen uA733 (ali NE592), ki daje v opisani vezavi ojačenje 40dB do frekvenca okoli 100MHz. Nad to frekvenco ojačenje uA733 strmo pada, spodnjo frekvenčno mejo 1MHz pa določajo sklopni kondenzatorji in dušilke v napajanju. uA733 ali NE592 je sicer možno povezati tudi za drugačno ojačenje s prevezavo nožic 3, 4, 11 in 12, kar je tudi predvideno na tiskanini.

Šumomer potrebuje kvaliteten detektor. Vrsta odziva detektorja, to je premica (linearna), kvadratična (močnostna) ali logaritemska sicer ni pomembna, vendar jo moramo natančno poznati, da lahko izračunamo točno razmerje ter iz razmerja dobimo iskane merjene veličine. V šumomerju je dodatna težava še v tem, da ne delamo s sinusnimi signali, pač pa s povsem naključnimi signali.

Kot detektor sem izbral vezje balančnega mešalnika SO42P. Vhodni signal se privede na oba vhoda mešalnika, da dela vezje SO42P kot kvadratični detektor. Izhodna napetost takšnega detektorja je zato



Slika 7. - Tiskanina nastavitve ojačenja in pasovne širine šumomerja.



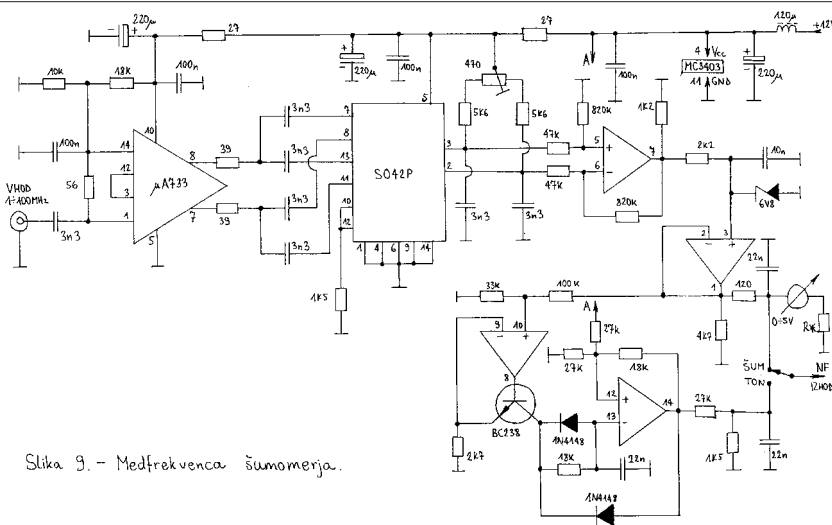
Slika 8. - Razporeditev sestavnih delov nastavitve ojačenja in pasovne širine šumomerja.

sorazmerna moči vhodnega signala, kar je za računanje s šumi še posebno ugodno. Ker se pojavi izhodni signal kot razlika napetosti med nožicama 2 in 3 vezja S042P, dobimo izhodni signal s pomočjo dodatnega operacijskega ojačevalnika (1/4 MC3403). Prednost vezja S042P je tudi v tem, da dela z vhodnimi signali komaj nekaj mV in potrebuje zato dosti manj medfrekvenčnega ojačenja (nevarnost samooscilacij) od raznih diodnih detektorjev.

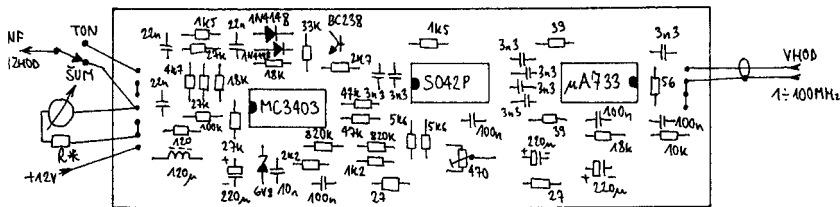
Ostali trije operacijski ojačevalniki MC3403 so uporabljeni kot nizko sito na izhodu detektorja ter kot nizkofrekvenčni VCO. Zener dioda 6V8 predvsem omejuje udarce kazalca merilnika ob konec skale. Zaporedni upor inštrumenta z vrtljivo tuljavo izberemo tako, da ustreza poln odklon izhodni napetosti približno 5V. Operacijski ojačevalnik MC3403 je sicer izboljšana inačica bolj znane LM324.

Tudi medfrekvenca šumomerja je zgrajena na enostranski tiskanini dimenzij 40mmX120mm, ki je prikazana na Sliki 10. Ustrezna razporeditev sestavnih delov je prikazana na Sliki 11. Pritrditev ploščice in povezave so izvedene enako kot pri slabilcu, le da ima medfrekvenca 4-polno vtičnico na vходу ter 7-polno vtičnico na izhodu. Medfrekvenca šumomerja vsebuje en sam nastavljeni sestavni del, trimmer 470ohm, s katerim nastavimo ničlo kvadratnega detektorja.

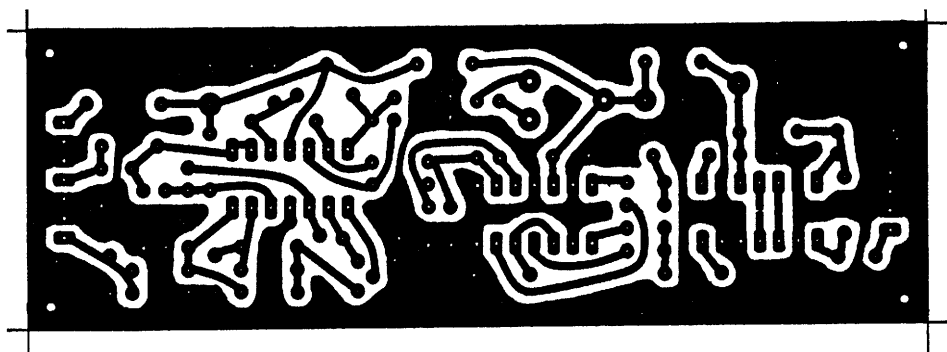
Osnovni šumomer vsebuje še nizkofrekvenčni ojačevalnik, ki je prikazan na Sliki 12. Nizkofrekvenčni ojačevalnik je zgrajen okoli vezja TAA611 na tiskanini dimenzij 40mmX60mm, ki je prikazana na Sliki 13. Ustrezna razporeditev sestavnih delov je prikazana na Sliki 14. Vezje TAA611 sicer ni med najnovejšimi integriranimi vezji za to



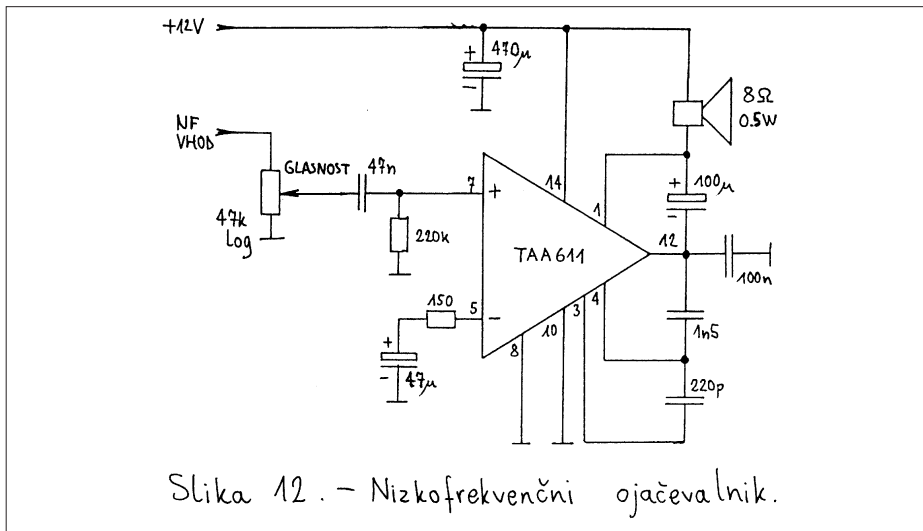
Slika 9. - Medfrekvenca šumomerja.



Slika 11. - Razporeditev sestavnih delov medfrekvenca šumomerja.



Slika 10. - Tiskanina medfrekvenca šumomerja.



nalogo, ima pa majhno porabo in predvsem malo moti visokofrekvenčna vezja šumomerja. Pri zamenjavi z novejšim NF ojačevalnikom zato priporočam previdnost oziroma po potrebi dodatno filtriranje ali blokiranje napajanja.

Osnovni šumomer je vgrajen v oklopljeno škatlo iz aluminijaste pločevine z dimenzijami 220mmX180mmX40mm, ki vsebuje tudi zvočnik in inštrument z vrtljivo tuljavico. Za šumomer priporočam analogni merilnik s čimvečjo skalo, da lažje odčitamo majhne spremembe. Digitalni merilnik bi bil sicer točnejši, ampak je za kakršnokoli uglasovanje, iskanje maksimumov ali minimumov popolnoma neuporaben. Razen tega lahko digitalni merilnik povzroča visokofrekvenčne motnje občutljivim vezjem šumomerja. Bolj smiselna rešitev je dostop do izhodnega signala preko dodatne vtičnice, preko katere lahko vgrajenemu merilniku vzporedno priključimo poljuben zunanji voltmeter.

