

Malošumni predojačevalnik za 144 MHz

Robert Vilhar - S53WW

1. Uvod

Ko teče beseda o tranzistorjih, ki se uporabljajo v malošumnih predojačevalnikih za radioamatersko dvo-metrsko področje, skoraj vedno pomislimo na mikrovalovne GAAS FET-e. Temu botruje njihova nizka cena, tako da je marsikateremu VHF amaterju izpod časti uporabiti kakšen drugačen tranzistor. Skoraj vsi so že pozabili na FET z dvema vrati - BF981, ki je bil zelo popularen pred desetimi leti. Njegova cena je danes do 10-krat nižja od raznih GAAS FET-ov, v električnih lastnostih pa ne zaostaja prav veliko. Nasprotno, na 144 MHz ima BF981 vsaj dve prednosti: večji dinamični obseg in boljšo stabilnost. S FET-om BF981 je bilo objavljenih veliko načrtov, tako da tu predstavljena shema ne predstavlja nobene "inovacije". Pomembnejši naj bi bil spremeni tekst, ki obravnava dinamično območje sprejemnika. Poskusil bom tudi razložiti (čeprav se zavedam, da je to bolj jalovo početje!) dejstvo, da **na 144 MHz ne potrebujemo sprejemnika s skupnim šumnim številom manjšim kot 2,2 dB!**

2. Nekaj besed o dinamičnem območju sprejemnika

kljub temu, da je v biltenu CQ ZRS že tekla beseda o dinamičnem obsegu sprejemnika (št. 4/93), pa v vsakodnevnikih razgovorih z radioamaterji opažam, da nekaterim zadeva ni povsem jasna. Dinamični obseg sprejemnika na spodnji meji določa lasten šum in zunanji šum, ki ga sprejemamo z anteno. Običajno se ta meja podaja s šumnim številom (redkeje z ekvivalentno šumno temperaturo) ali pa z občutljivostjo (angl. sensitivity). Z razvojem malošumnih tranzistorjev nimamo več problemov z doseganjem skoraj idealne občutljivosti sprejemnikov. Najprej moramo razumeti, da dobimo na antenskem konektorju tako želeni signal kakor tudi šum. Ta šum nima nič opraviti s kakovostjo običajne amaterske antene (in v prvem približku tudi ni odvisen od njenega ojačenja). To je naravni šum in je močno frekvenčno odvisen. Tako je

na primer naravni šum na kratkovalovnih področjih tudi do 10000-krat večji od šuma na 144 MHz (zato na KV ne potrebujemo predojačevalcev!). Torej imamo na vhodu sprejemnika popolnoma določeno razmerje signal/šum (S/N), ki ga na noben način ne moremo izboljšati. Idealen sprejemnik bi to razmerje ohranil, v praksi pa ga vedno le poslabšamo. Če nam na primer vezje sprejemnika (antenski kabel, predojačevalnik, mešalnik ipd.) doda ravno toliko šuma kot ga sprejemamo iz okolice, potem se razmerje S/N zmanjša na polovico, to je za 3 dB. Pri običajnih zemeljskih zvezah na 144 MHz (včasih pa tudi pri EME zvezah), je nihanje sprejemanega signala zaradi fadinga precej večje kot pa 3 dB. **Zato za sprejemni sistem za zemeljske zveze povsem zadošča zahteva, da naj ne pokvari razmerja signal/šum za več kot 3 dB. To v praksi pomeni, da je zadostno šumno število sprejemnega sistema na 144 MHz tisto, ki je manjše ali enako 2,2 dB.** Tu se pogovarjamo o zelo konkretnem sprejemnem sistemu, ki je sestavljen iz:

- antenskega vodnika od antenskega konektorja do predojačevalnika, ki ima L1 dB izgub,
- predojačevalnika s šumnim številom F dB in ojačenjem G dB,
- antenskega vodnika od predojačevalnika do sprejemnika, ki ima L2 dB izgub in
- sprejemnika s šumnim številom F dB.

F ŠdB]	T ŠK]
0,5	35
1,0	75
1,5	120
1,8	149
2,0	170
2,2	191
2,5	226
3,0	289
6,0	865

Ker je s šumnim številom zelo težko računati, vpeljimo veliko bolj uporabno mero za opis šumnih lastnosti vezij; to je ekvivalentna šumna

temperatura. Beseda "ekvivalentna" pomeni, da ta temperatura nima nobene zveze s fizično temperaturo vezja. Zveza med šumno temperaturo in šumnim številom je:

$$T = 290(10^{F/10} - 1) \quad [\text{K}]$$

$$F = 10 \text{LOG}(1 + \frac{T}{290}) \quad [\text{dB}]$$

Nekaj vrednosti je podanih v tabeli 1. Ravno tako podajamo šum, ki ga sprejema antena iz okolice z ekvivalentno šumno temperaturo antene. Najnižja šumna temperatura antene na 144 MHz je okoli 400 K, čeprav se pri EME zvezah včasih zgodi (pri pravi konstelaciji zvezd!), da je le ta okrog 200 K. Sredi ali v bližini večjega mesta pa seveda dobimo 400 K le redkokdaj (v nedeljo zjutraj, naprimer), ker prevlada industrijski šum (čez 1000 K na 144 MHz). Samo za primerjavo; minimalna šumna temp. antene na 14 MHz je okrog 100.000 K, na 1296 MHz pa okrog 20 K.

Ekvivalentno šumno temperaturo sprejemnega sistema izračunamo tako:

$$T_{\text{sys}} = 290 * (L_1 - 1) + T + 290 * (L_2 - 1) / G + T_{\text{rx}} / G * L_2,$$

kjer so L1, L2 in G dani kot faktorji in ne v decibelih.

Primer: prvi kabel naj ima 0,1 dB izgub, drugi kabel pa 2 dB izgub. Predojačevalnik naj ima šumno število 1,5 dB in 10 dB ojačenja. Šumno število sprejemnika pa je 3 dB. Torej imamo:

- L1=0,1 dB ali 1,0233
- L2=2,0 dB ali 1,5849
- F=1,5 dB oz. T=120 K
- G=10 dB ali 10
- Frx=3 dB oz. Trx=289 K

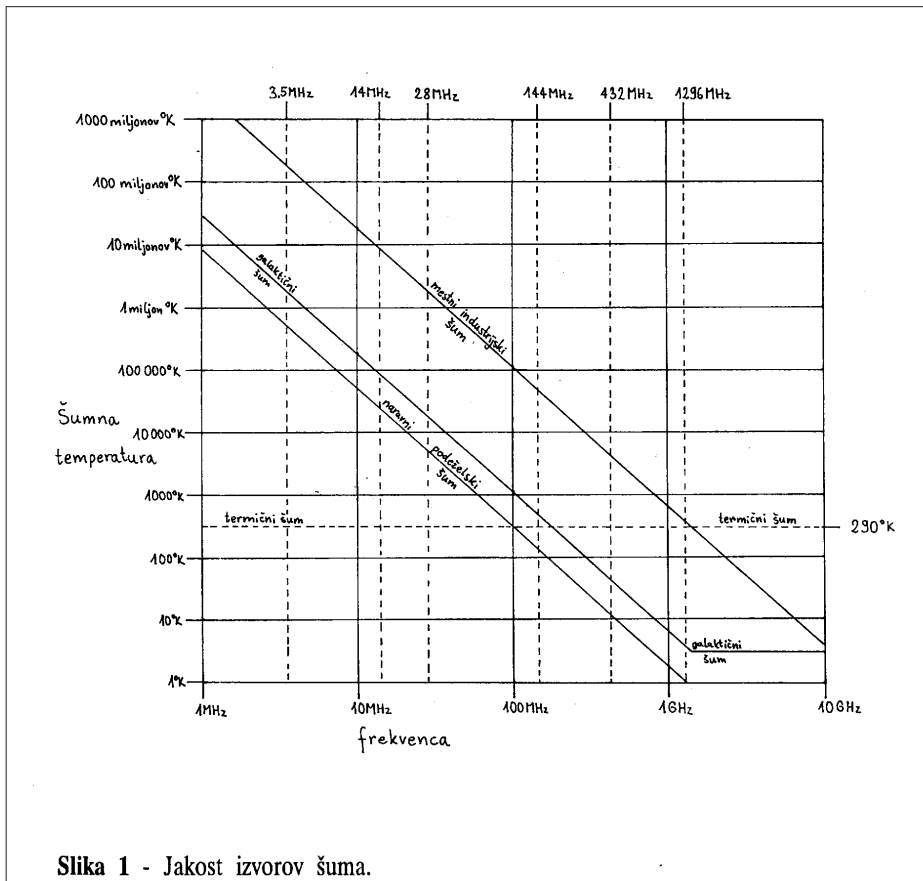
Gornja enačba se glasi:

$$T_{\text{sys}} = 290 * (1.0233 - 1) + 120 + 290 * (1.5849 - 1) / 10 + 289 / 10 * 1.5849 = 6.8 + 120 + 17.0 + 45.8 = 190 \text{ K}$$

Vidimo, da k šumu sprejemnega sistema prispeva največ šum predojačevalnika. Ostali prispevki so zanemarljivi. Poglejmo, kaj se zgodi, če ima predojačevalnik 20 dB ojačenja (to je 100):

$$T_{\text{sys}} = 290 * (1.0233 - 1) + 120 + 290 * (1.5849 - 1) / 100 + 289 / 100 * 1.5849 = 6.8 + 120 + 1.7 + 4.6 = 135 \text{ K}$$

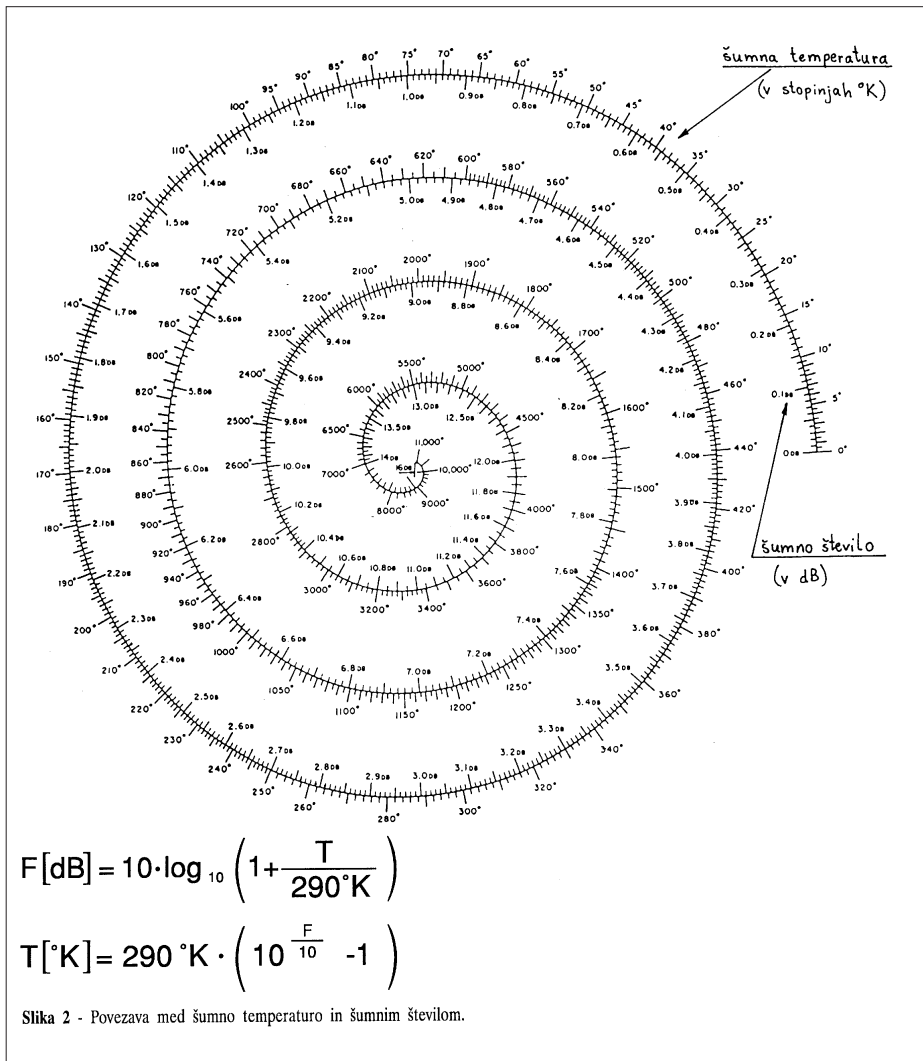
Mogoče izgleda pridobitev 55 K velik dosežek (šumno število 2,2 dB



Slika 1 - Jakost izvorov šuma.

proti 1,7 dB), vendar v resnici ni tako. Minimalna možna šumna temperatura okolice na 144 MHz je 200 K (veliko bolj verjetna šumna temperatura pa je od 400 K do 1000 K). Torej je celotna šumna temperatura sprejemnika v prvem primeru 390 K, v drugem pa 335 K. Razmerje signal/šum je sorazmerno jakosti signala in obratno sorazmerno šumni temperaturi. Torej smo v danem primeru pridobili na razmerju S/N le borih $10\text{LOG}(390/335) = 0,66 \text{ dB}$. S prostim ušesom ni mogoče zaznati tako majhne razlike v razmerju S/N. Smo pa zato v drugem primeru za 10 dB zmanjšali odpornost sprejemnika na močne signale. Praktično gledano, če nas je prej motila postaja z močjo 1kW, nas bo sedaj enako motila ta ista postaja s 100 W. Če so nas prej motile postaje v povprečnem radiju 20 km, se sedaj ta radij poveča na 60 km. Torej se zlahka zgodi, da s povečanjem ojačenja predojačevalnika v tekmovanju ne bomo slišali več šibkih signalov, temveč manj!

Zgornjo mejo dinamičnega območja določa obnašanje sprejemnika pri močnih signalih. Naj omenim le dva najvažnejša efekta, ki povzročata popačenje v sprejemniku. To sta preobremenitev in intermodulacija. Preobremenitev nastopi, ko se na vходу pojavi izredno močan signal, ki spravi v nasičenje eno ali več stopenj sprejemnika. Posledica je tako imenovana desenzitizacija sprejemnika - sprejemnik postane neobčutljiv, oz. popolnoma ogluš. Pri tem sploh ni potrebno, da je to signal, ki ga želimo sprejemati. Še več, motilni signal se lahko nahaja izven amaterskega območja. Lahko je to signal radijskega oddajnika, ki oddaja nekje okrog 100 MHz, naš sprejemnik pa nima zadostnega VF filtra. V takem primeru je lahko v nasičenju že prvi ojačevalnik in pomaga edino pasovnopropustni filter na vходу sprejemnika. Intermodulacijsko popačenje pa povzročita dva ali več relativno močnih signalov na vходу (glej CQ ZRS 3/93). Recimo, da sprejemamo močna signala dveh postaj na 144,250 MHz in 144.300 MHz. Eden od intermodulacijskih produktov tretjega reda se nahaja na 144.200 MHz. In če na tej frekvenci oddaja neka tretja postaja, je jasno, da jo bomo sprejemali v motnjah. Velikost teh motenj zavisi od jakosti tega produkta, ta pa je odvisna od linearnosti celotnega sprejemnika. Najboljša mera za linearnost sprejemnika je presečna točka inter-

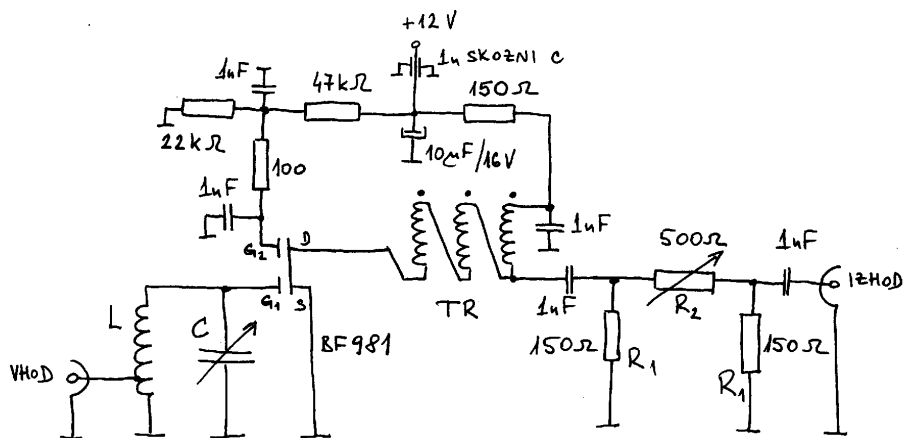


Slika 2 - Povezava med šumno temperaturo in šumnim številom.

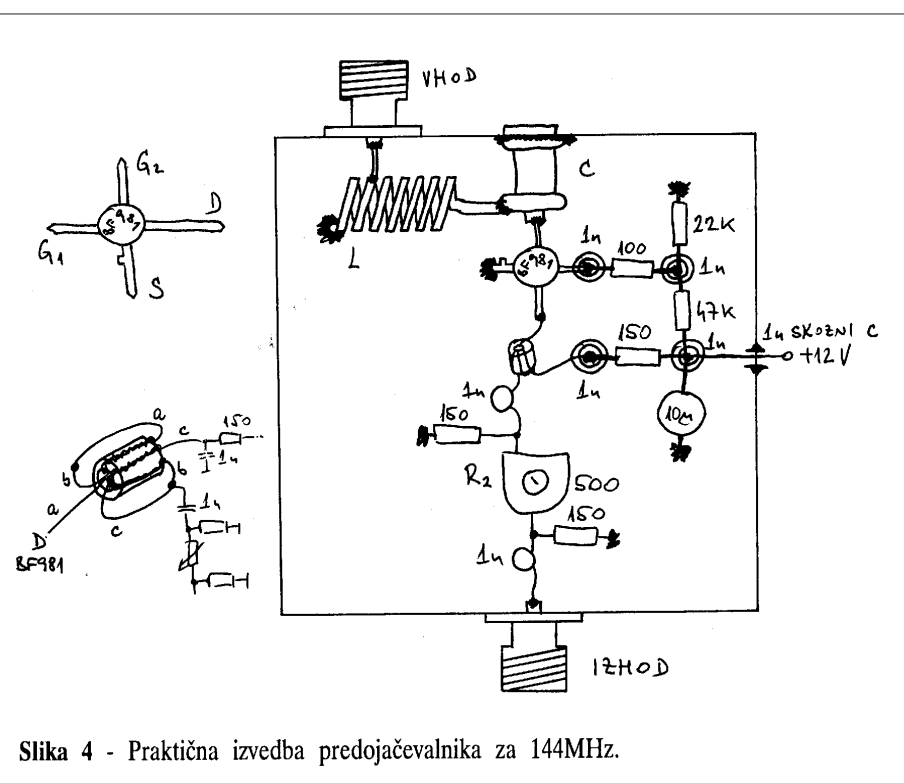
modulacije tretjega reda IP3 (angl. third order intercept point), ki jo podajamo v dBm. Čim višji je IP3, tem boljši je naš sprejemnik. Vsako aktivno vezje ima svoj IP3 (pa tudi nekatera pasivna!) in povsem jasno je, da bo popačenje manjše, če bodo signali šibkejši (manj ojačenja). Praktično pa IP3 celotnega sprejemnika določa ojačevalna stopnja pred mešalnikom, mešalnik in ojačevalna stopnja za mešalnikom. Največjo omejitev prinaša mešalnik in vsako nepotrebno ojačenje pred mešalnikom le še dodatno poveča njegovo intermodulacijsko popačenje. Ker imajo mešalniki skupaj s filtrom relativno visoko šumno število (okrog 10 dB), potrebujemo predojačevalnik, da popravimo spodnjo mejo dinamičnega območja (občutljivost). Vendar mora biti tega ojačenja ravno dovolj, da preveč ne pokvarimo zgornje meje. In koliko je to? Toliko, da ima celoten sprejemnik takšno šumno temperaturo, kot je šumna temperatura okolice. Zato na KV področju ne potrebujemo predojačevalnika, ker je šum okolice precej večji od šuma mešalnika s preselektorjem. Novejše KV postaje vsebujejo tudi predojačevalnik in magično tipko AIP, s katero povečamo IP3 tako, da predojačevalnik izključimo.

3. Opis sheme in gradnje predojačevalnika

Shemo predojačevalnika vidimo na sliki 3. Vezje za prilagoditev vhoda na najmanjši šum sestavljata vzporedno vezana tuljava L z odcepom in kondenzator C. Izhod prilagodimo s transformatorjem TR, ki optimalno izhodno upornost FET-a transformira v razmerju 9:1. Transformatorju sledi slabilnik z nastavljivim slabljenjem (R1, R2). Ostale komponente služijo za nastavitev delovne točke. Najbolj kritična komponenta je feritno jedro za transformator TR (ljubljske "štacune z el. kramo" jih ne držijo). Uporabimo kar feritne obročke (perle, angl. ferit bead), ki služijo za dušenje in filtriranje VF motilnih signalov ter samooscilacij na napajalnih žicah in medsebojnih žičnih povezavah v visokofrekvenčnih vezjih (obroček je nataknjen na žico, nogo kondenzatorja ali tuljave ipd.). V poštev pridejo obročki z zunanjim premerom 4 - 8 mm. V vsakem TV tunerju je mogoče najti več takšnih feritnih obročkov, ki povsem



Slika 3 - Načrt malošumnega predojačevalnika za 144MHz.



Slika 4 - Praktična izvedba predojačevalnika za 144MHz.

ustrezajo tej uporabi.

Vezje najlažje in najhitreje zgradimo v "lebdeči" tehniki na ploščici iz vetronita ali medenine, ki istočasno služi za spodnjo stranico ohišja (glej sliko 4). Oporni elementi za "lebdenje" so blokirni kondenzatorji. Ti naj bodo keramični, vrednosti okrog 1 nF. Še najboljše se obnesejo disk keramični kondenzatorji (brez priključnih žičk), ki pa se malo težje dobijo v naših krajih (nikakor pa ne smemo uporabiti raznih čip kondenzatorjev, razen če nismo prepričani, da so namenjeni za VF rabo). Če uporabljamo običajne kondenzatorje, potem je smiselno oporne elemente narediti iz vetronita - kva-

dratki 5x5mm. Razpored elementov ne igra posebne vloge in tudi pregrada med vhodnim in izhodnim vezjem ni potrebna (lahko pa jo vgradimo). Kondenzator C mora imeti visoko kvaliteto. Najbolje se obnesejo zračni spremenljivi kondenzatorji, bodisi v koaksialni izvedbi ("multi-turn") ali pa "metuljčki". Vrednost tega kondenzatorja mora biti nastavljiva nekje med 1 pF in 10 pF. Tuljavo L navijemo s posrebrano lakirano bakreno žico, se bo šumno število poslabšalo le za 0,1 do 0,2 dB) na tuljavniku premera 7,5 mm. Tuljava naj ima 6,5 ovoja in razmak med ovoji naj bo 1 mm. Odcep za

vhod je 1,5 ovoja od ozemljenega konca tuljave. Tuljavo montiramo položno, 2 - 3 mm nad maso vezja. Tuljava naj bo od stranskih stranic ohišja oddaljena vsaj 1 cm. Ker sta tuljava L in kondenzator C največji komponenti vezja, pričnemno gradnjo z njuno namestitvijo. Če uporabljamo koaksialni kondenzator, potem najprej v nosilno ploščico (ali stransko stranico ohišja) zvrtaemo luknjo ustrezne velikosti. Montiramo kondenzator in zalotamo tuljavo. Nadaljujemo s tranzistorjem in oporniki-kondenzatorji ter ostalim vezjem za nastavitev delovne točke. Nato dodamo slabilnik in na koncu zalotamo transformator. Transformator navijemo trifilarno, kar pomeni: vzamemo tri konce lakirane bakrene žice premera 0,1 do 0,5 mm in dolžine 45 mm. Žicam na koncih odstranimo lak v dolžini 5 mm in konce pocinimo. Vse tri žice nasukamo tako, da dobimo eno samo žico s tremi žičkami (žic ne prepletamo). To žico potem navijemo na feritni obroček. Normalno bi morali dobiti 3 ali pa 4 ovoje, odvisno pač od velikosti (dolžine) obročka. Če je naš obroček prevelik (premajhen) in dobimo manj (več) kot 3 (4) ovoje (en ovoj na obročku je en pretik žice skozenj!), potem vzamemo toliko dolgo žico, da dobimo 3 (4) ovoje. S pomočjo ohmmetra najdemo prave pare. Mogoče ni slabo, če začetno žičko označimo (npr. s koščkom lepilnega traku). Nato ustrezne pare zalotamo tako, kot je to prikazano na sliki 4. Pred lotanjem še enkrat preverimo, če je to pravi par! Če transformatorja ne vgradimo takoj potem, ko smo ga navili, je pametno označiti še izhodni priključek (to bosta dve žički).

4. Uglasitev predojačevalnika

Preden predojačevalnik prvič priključimo na napetost, nastavimo potenciometer R2 v slabilniku na maksimum, vhod pa zaključimo s 50 ohmskim bremenom (ne z anteno!). Predoj. priključimo preko ampermetra. Teči mora okrog 12 mA toka

(Idss). Po podatkih proizvajalca je Idss lahko med 4 mA in 25 mA, vendar je srednja vrednost 11 mA. S stališča zgornje meje dinamičnega območja so boljši FET-i z višjim Idss, bodo pa tudi malce bolj šumeli. FET-e z Idss manjšim kot 10 mA raje ne uporabimo. Prav tako zamenjajmo tranzistor, če je Idss večji od 20 mA, ker se v tem primeru FET preveč greje! Če je torej vse OK, priključimo predoj. med anteno in SSB (ali FM) sprejemnik. Šum se le malo poveča, ker je R2 maksimalen in ker vhodni krog še ni uglasen. Najprej R2 zmanjšamo na minimum in nato kond. C nastavimo na največji šum (ali signal radijskega svetilnika na maksimum). Tako je predoj. uglasen na največje ojačenje, ki mora biti 15 dB (+ 4 ali - 1 dB - odvisno od ferita za TR). To zlahka preverimo na poljubnem signalu, le da ne smemo povsem verjeti S metru sprejemnika. Z vrtenjem R2 manjšamo ojačenje, kar se mora lepo videti na S metru. Pri vrednosti R2 okoli 500 ohmov, je ojačenje le še slabe 3 dB. Če predoj. kaže znake nestabilnosti (brez pokrova škatle), potem je verjetno nekaj narobe s transformatorjem. Če predoj. zaniha takrat, ko ga pokrijemo s pokrovom, potem bo pomagala pregrada med vhodnim in izhodnim vezjem ali pa košček mikrovalovnega absorberja, prilepljen na del pokrova, ki pokriva izhodno vezje.

Sledi uglasitev predojačevalnika na najmanjši šum in nastavitev potrebnega ojačenja. To najlažje naredimo s pomočjo merilnika šuma, ki pa večini radioamaterjev ni dosegljiv. Vsako uglasovanje sprejemnika na najmanjši šum je v bistvu uglasovanje na največje razmerje signal/šum. Zelo težko je izvesti takšno uglasovanje "na uho". Zato izkoristimo lastnost FM demodulacije in skvelč vezja. Meja med odličnim in zanič demoduliranim FM signalom nastopi v zelo ozkem pasu okoli razmerja signal/šum 10 dB (pred demodulatorjem). Z nastavitvijo skvelča določimo pri kakšnem razmerju S/N demoduliranega signala se sprejemnik "odpre". To lastnost FM demodulacije lahko uporabimo pri

uglaševanju sprejemnika na največje razmerje S/N. Potrebujemo šibak FM signal, ki ga lahko "poberemo" tudi kje z "banda". V tem primeru bomo pri uglasovanju samodejno upoštevali tudi šumne lastnosti okolja (zato je najbolje, če uglasujemo v nedeljo zjutraj). Jakost tega signala z vključenim predojačevalcem (nastavljenim na največje ojačenje!) mora biti tolikšna, da je kvaliteta komaj sprejemljiva (težko razumljiv FM signal v šumu). Postopek uglasovanja je sledeč:

- nastavimo skvelč na mejno vrednost, tako da ga signal ravno še odpira,
- počasi zavrtimo C v smeri povečanja (!) kapacitivnosti, dokler se signal ne izboljša,
- ko gremo s C preko te točke, se signal zopet slabša in skvelč ga začne "sekati",
- ponovno zavrtimo C nazaj, tako da je signal najboljši.

To je vse. V praksi je najlažje izvesti uglasovanje tako, da z vrtenjem C poiščemo dve točki, kjer je signal enako slab (na vsaki strani optimalne točke eno). Optimalna nastavitev je na sredini med obema točkama (položajema kondenzatorja C). Pri opisanem ojačevalniku je vrednost kondenzatorja C pri uglasitvi na najmanjši šum večja, kot pri uglasitvi na največje ojačenje (frekvenca, kjer je ojačenje največje se pomakne navzdol). Tako uglasen predojačevalnik ima šumno temperaturo okoli 75 K (NF=1,0 dB).

Na popolnoma enak način nastavimo najmanjše potrebno ojačenje. Upor R2 v slabilniku večamo toliko časa, dokler se kakovost signala ne prične slabšati (zapiranje skvelča). Nato R2 toliko zmanjšamo, da ne opazimo več razlike v izboljšanju signala.

Na ta način smo naš sprejemni sistem poglasili na največji dinamični obseg; z uglasitvijo predojačevalnika na najmanjši šum smo določili njegovo spodnjo mejo, z uglasitvijo na najmanjše potrebno ojačenje pa minimalno pokvarili njegovo zgornjo mejo.