

Tehnika in konstruktorstvo

Ureja: **Matjaž Vidmar, S53MV**, Sergeja Mašere 21, 5000 Nova Gorica, e-mail: S53MV@uni-mb.si

NIZKOŠUMNI ANTENSKI OJAČEVALNIK ZA 432MHz

Dragoslav Debrlič, YU1AW (prevod in priredba S53MV)

1. Povzetek

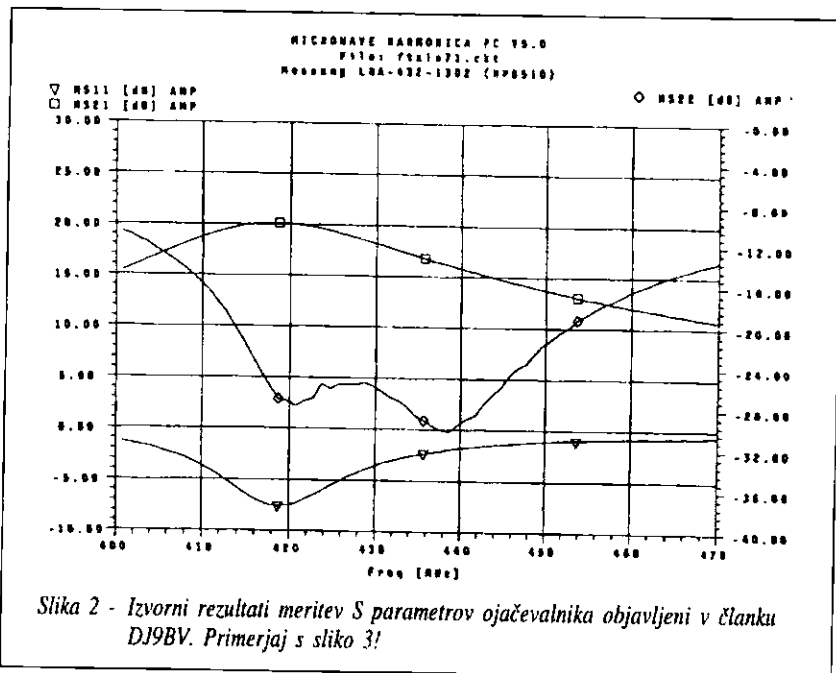
V članku so poleg splošnega pregleda kompenzacije GaAs poljskih tranzistorjev opisani rezultati računalniške simulacije nizkošumnega GaAsFET predojačevalnika za 432MHz, ki ga je predlagal DJ9BV. Raziskani so vzroki težnje po samoosciliranju v SHF področju, kar je bilo opaženo pri izdelanih ojačevalnikih. V nadaljevanju je predlagana drugačna rešitev in opisana celotna gradnja takšnega ojačevalnika.

2. Uvod

V članku (1), (2) so natančno obdelani tehnični in s tem povezani zgodovinski vidiki gradnje nizkošumnih predojačevalnikov z GaAs poljskimi tranzistorji, s posebnim poudarkom na brezpogojni stabilnosti izdelanih ojačevalnikov. Ker so GaAsFET-i samo pogojno stabilni, še posebno tip MGF1302, na frekvencah pod približno 8GHz, se je pokazalo, da problem brezpogojne stabilnosti ojačevalnika še zdaleč ni tako enostavno rešljiv, kot to izgleda na prvi pogled. Problem stabilnosti v področju 144MHz je natančno obdelan, prikazane so težave in pomanjkljivosti objavljenih gradenj ter predlagane rešitve za njihovo odpravljanje. Predojačevalnik za 432MHz, ki ga je objavil DJ9BV v (4), (5) ima isti problem stabilnosti v SHF področju kot predojačevalnik istega avtorja za 144MHz. Problem stabilnosti je natančno opisan v (1), (2) in ga bom zaradi razumljivosti le na kratko obdelal v tem članku.

3. Poskus rešitve s povratno vezavo v izvoru

Rešitev, ki jo predlaga DJ9BV (4), je kompenzacija tranzistorja z uvedbo negativne povratne vezave v izvoru s pomočjo natančno izračunane induktivnosti. Induktivnost je praktično izdelana kot 3mm dolgi nožici izvora tranzistorja. Avtor DJ9BV je uporabljal računalnik za simulacijo in natančen izračun sestavnih delov, da bi dosegel brezpogojno stabilnost, kot je to



Slika 2 - Izvorni rezultati meritev S parametrov ojačevalnika objavljeni v članku DJ9BV. Primerjaj s sliko 3!

prikazano na slikah 1 in 2. Žal so že v samem besedilu izvornega članka omenjene težave s samoosciliranjem na približno 8-10GHz v izdelanih primerkih ojačevalnikov in to prav zaradi uporabe induktivnosti v izvoru. Avtor je v svojem članku opozoril na možnost samoosciliranja in kot rešitev predlagal mikrovalovni absorber v vhodnem rezonatorju (4), (5). Sam sem se dolgo vrsto let ukvarjal s istimi problemi (3). Preučil sem tudi težave ojačevalca istega avtorja za 144MHz (1), (2). Podobna analiza predojačevalnika za 432MHz z računalniško simulacijo me je zato zelo privlačila, saj ima ta ojačevalnik iste težave s samoosciliranjem in predlagana rešitev sicer priznanega avtorja samo delno rešuje problem stabilnosti nizkošumnih GaAsFET predojačevalnikov.

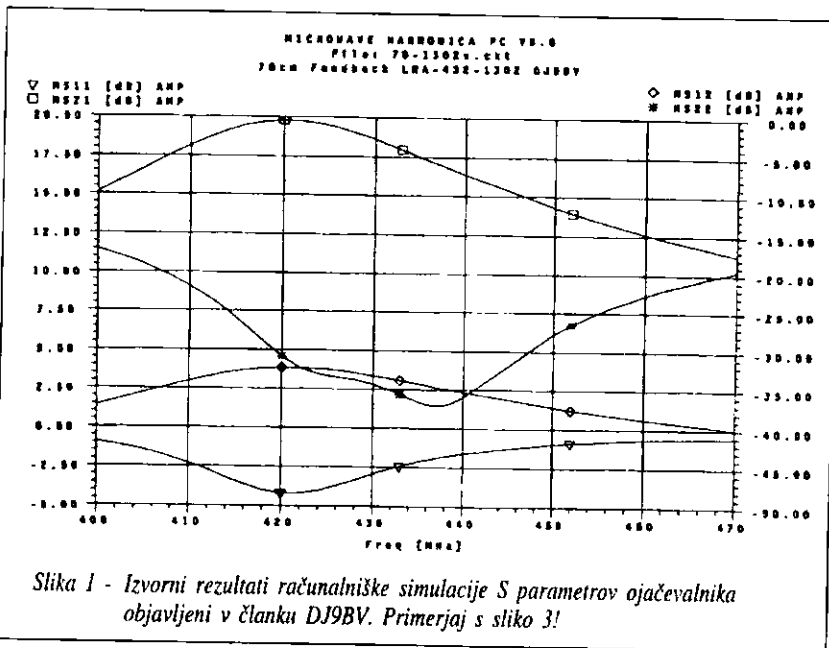
4. Analiza predojačevalnika

V ta namen sem uporabil računalnik s profesionalnim programom za analizo in simulacijo električnih vezij. Najprej sem napravil simulacijo predlagane rešitve natančno tako, kot je to opisano v članku (4). Dobljeni rezultati so zelo podobni tistim, ki jih je dobil in objavil avtor. Rezultati simulacije na sliki 3 so zelo podobni simulaciji avtorja na sliki 1 kot tudi rezultatom avtorjevih meritev na sliki 2. Na prvi pogled je torej vse v redu: grobe napake so na ta način izločene, točnost simulacije lahko takoj ocenimo.

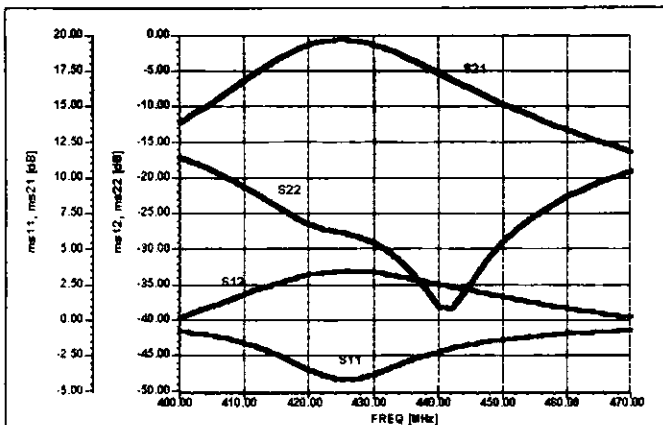
5. Ojačevalnik postane oscilator

Ko se predlagana rešitev ojačevalnika, ki je zelo podobna rešitvi v predojačevalcu za 144MHz, bolj natančno preučim, se pokaže, da je tudi v tem slučaju problem isti. Če si natančneje ogledamo potek faktorja stabilnosti K za predlagano izvedbo predojačevalca (s tiskanem vezjem), opazimo, da K hitro pada pod enoto na frekvencah približno 8-10GHz, kar v praksi pomeni samooscilacije v tem frekvenčnem pasu (slika 4).

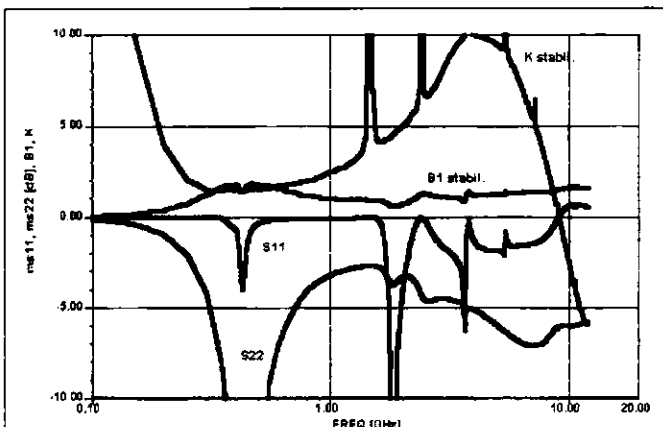
Oporišče na tiskanem vezju vnaša kapacitivnost okoli



Slika 1 - Izvorni rezultati računalniške simulacije S parametrov ojačevalnika objavljeni v članku DJ9BV. Primerjaj s sliko 3!



Slika 3 - Rezultati računalniške simulacije S parametrov DJ9BV ojačevalnika po načrtu iz članka. Primerjaj s slikama 1 in 2!



Slika 4 - Rezultati računalniške simulacije S parametrov in K faktorja stabilnosti DJ9BV ojačevalnika s tiskanim vezjem.

0.3pF in daje skupno z induktivnostjo nožice ponora GaAsFET-a ter upora R1 (skupaj okoli 3mm) spoj Clapp oscilatorja na frekvenci okoli 9GHz. Majhne parazitne kapacitivnosti in induktivnosti verjetno niso bile upoštevane v računalniški simulaciji, ki sicer pri frekvenci okoli 9GHz pokaže hiter padec faktorja K pod enoto in S11 večji od cnote (pozitivno število v decibelih), kar je zanesljiv znak, da je ojačevalnik postal oscilator (glej sliko 4).

Kot že omenjeno je negativna povratna vezava z induktivnostjo v izvoru dvorez meč. Po eni strani je razmeroma enostavno doseči $K > 1$ na nižjih frekvencah (pod okoli 3GHz). Po drugi strani se vezje nevarno približuje oscilatorju na frekvencah 8-10GHz! To je tudi razloga za mikrovalovni absorber, prevodno peno v prostoru vhodnega rezonatorja, ki ga je avtor predlagal za preprečevanje teh samooscilacij; glej (4) ali (5).

Mikrovalovni absorber je v vhodnem rezonatorju nezaželen, saj malenkost duši signale in povečuje šum tudi na 432MHz. Predvsem pa gradnja ni povsem ponovljiva, saj so si prevodne pene zelo različne po električnih lastnostih. V tem članku je zato prikazana drugačna rešitev in drugačen pristop gradnje nizkošumnega ojačevalnika, ki naj bi rešil problem brezpogojne stabilnosti.

6. Predlog rešitve z uporabo kompenzacije v ponoru

S preučevanjem vrednosti S parametrov in faktorja stabilnosti K tranzistorja MGF1302 v celotnem frekvenčnem pasu od nizkih frekvenc do mikrovalov sem ugotovil, da razmeroma enostavna kompenzacija s kombinirano uporovno obremenitvijo ponora omogoča zelo dobro rešitev problema stabilnosti. Pretekle izkušnje z uporovno kompenzacijo v ponoru kot tudi očitno dejstvo, da moramo izvesti kompenzacijo v dveh razmeroma oddaljenih frekvenčnih območjih, so mi narekovali, da se izogibljem kom-

penzaciji z reaktivnimi (brezizgubnimi) sestavnimi deli in poskusim s čisto uporovno (izgubno) kompenzacijo.

Celoten problem doseganja brezpogojne stabilnosti se prevede na doseganje vrednosti faktorja stabilnosti $K > 1$ v dveh razmeroma oddaljenih frekvenčnih območjih. Prvo območje je 200-500MHz in drugo območje 8-10GHz. Prvi problem mogoče izgleda pomembnejši, vendar je doseganje brezpogojne stabilnosti v frekvenčnem pasu 200-500MHz razmeroma enostavno in se ga da rešiti na različne načine, od katerih ima vsak svoje dobre in slabe strani.

Dosti težji problem predstavlja stabilnost v frekvenčnem pasu 8-10GHz, ker je tu težko nadzirati vse parazitne reaktanse (kapacitivnosti, induktivnosti), ki pri praktični izvedbi naredijo iz ojačevalnika oscilator. Preučevanje vezja me je privedlo do prepričanja, da mora katerakoli rešitev predojačevalnika z GaAsFET-om resno upoštevati prav vse parazitne reaktanse, ki lahko privedejo do samoosciliranja na mikrovalovnih frekvencah. Med njimi so vsekakor najvažnejše: dolžina nožice izvora in ponora ter v slučaju, ko so te dolžine prevelike, parazitna kapacitivnost ponora proti masi!

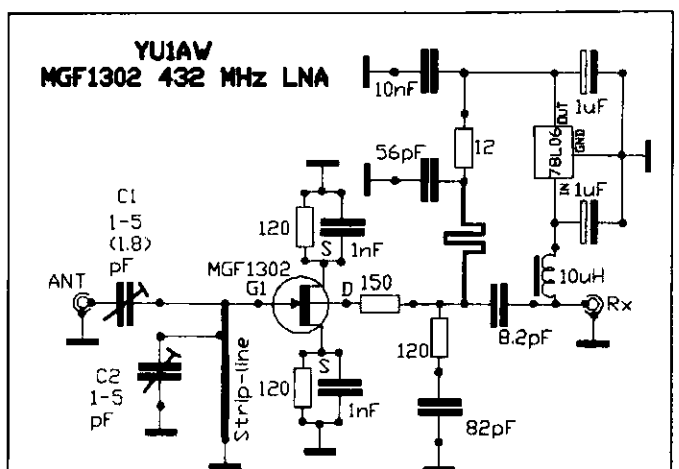
Z uporabo prednosti računalnika in možnosti zelo natančne analize in simulacije sem poskušal s dodajanjem enostavne uporovne kompenzacije S parametrov v ponoru tranzistorja, s ciljem dobiti brezpogojno stabilen ojačevalnik s tranzistorjem MGF1302. Obremenitev ponora je dvignila K na nizkih frekvencah in hkrati izločila problem vpliva parazitnih kapacitivnosti, ampak zahteva po čimkrajših nožicah izvora in ponora (pod 1mm!) ostaja še naprej zelo pomembna.

Pri gradnji je treba strogo upoštevati vsa pravila gradnje ojačevalnikov za SHF področje, ker gre za problem stabilnosti na zelo visokih frekvencah okoli desetine GHz! Če želimo brezpogojno stabilnost v celotnem delovnem področju GaAsFET-a, moramo graditi ojačevalnike z upoštevanjem vseh zakonitosti gradnje za tako visoke frekvence kot je to 10 ali 12GHz, ne glede na to, da ojačevalnik uporabljamo na "komaj" 144MHz ali 432MHz! Vsi, ki tega ne upoštevajo, ne morejo računati na optimalne lastnosti v pogledu šuma niti na brezpogojno stabilnost svojih nemarno izdelanih ojačevalnikov!

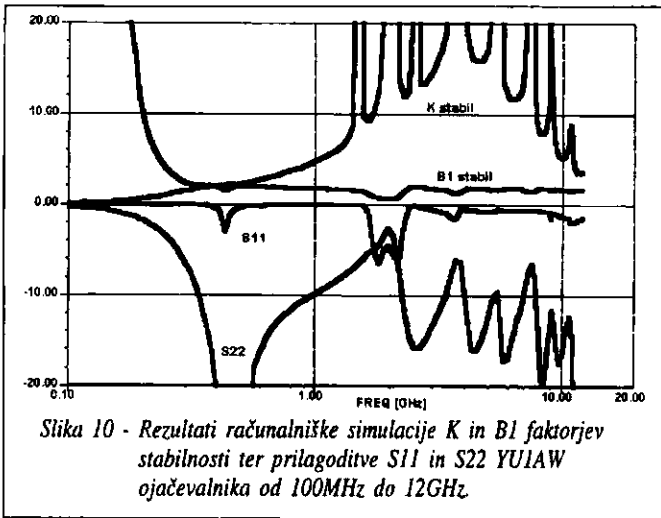
Dobljeno vrednost izhodne impedanace "predelane" tranzistorja z uporovno kompenzacijo prilagodimo na izhod s pomočjo enostavnega "L" člena, ki hkrati privede enosmerno napajanje ter loči enosmerno napetost na izhodu (glej električni načrt na sliki 5). Prilagoditev vsebuje tiskano tuljavo v obliki mikrotrakastega voda proti napajanju in SMD kondenzator proti izhodu, kar zagotavlja ponovljivost gradnje v večjem številu primerkov.

Glavnino kompenzacije stabilnosti na visokih frekvencah predstavljata zaporedni upor 150ohm in vzporedni upor 120ohm v ponoru tranzistorja. Kompenzacija je nadalje optimizirana z uporom 12ohm zaporedno z mikrotrakasto tuljavo ter natančnim izborom vrednosti kondenzatorjev 82pF in 56pF.

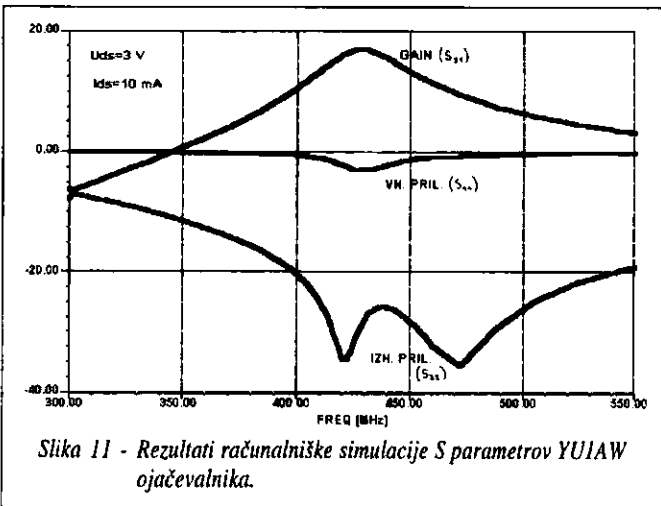
Vhodno vezje je izvedeno kot trakasti vod z zračnim dielektrikom, ker so rezultati z njim le malenkost slabši od koaksialnega rezonatorja z istimi izmerami, kot je to opisano v (4). Praktična izdelava zračnega trakastega



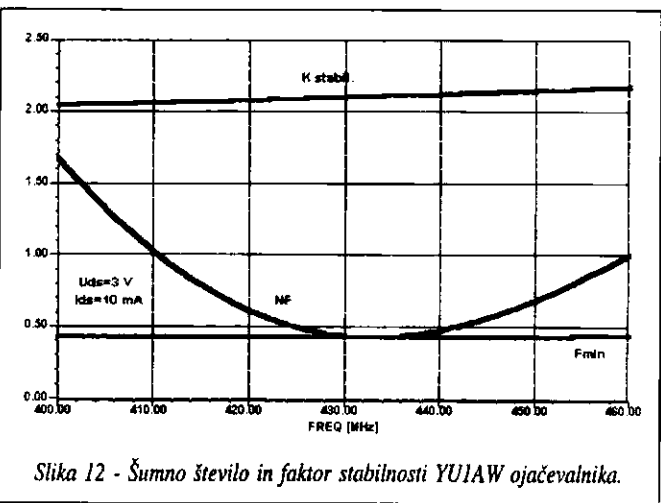
Slika 5 - Električni načrt ojačevalnika za 432MHz.



Slika 10 - Rezultati računalniške simulacije K in B1 faktorjev stabilnosti ter prilagoditve S11 in S22 YUIAW ojačevalnika od 100MHz do 12GHz.



Slika 11 - Rezultati računalniške simulacije S parametrov YUIAW ojačevalnika.



Slika 12 - Šumno število in faktor stabilnosti YUIAW ojačevalnika.

vse ostale sestavne dele, je hkrati pregrada, ki deli škatlo na vhodni in izhodni del. Stran tiskanega vezja, ki gleda vhodni del škatle, ni jedkana, pač pa je v njej edino luknjica, skozi katero so spojena vrata tranzistorja na vhodni rezonator. Takšna konfiguracija je enostavna za izdelavo in ima hkrati vse odlike dobro prilagojenega, brezpogojno stabilnega nizkošumnega ojačevalnika.

Vrednosti vseh sestavnih delov vezja so optimizirane tudi v statističnem smislu, z upoštevanjem odstopanja nazivnih vrednosti delov in pričakovanih odstopanj pri gradnji ojačevalnika, da se dosežejo zares optimalni rezultati in visoka ponovljivost gradnje. Na slikah 10, 11 in 12 so prikazani rezultati za takšno rešitev predojačevalnika. Potrebni in zadostni pogoji za stabilnost: $K > 1$ in $B1 > 0$ kot tudi $S11 < 0dB$ in $S22 < 0dB$ so izpolnjeni v celotnem frekvenčnem območju od 50MHz do 12GHz, kjer so bili na razpolago S parametri za tranzistor MGF1302 (slika 10).

Dobljene vrednosti ojačenja in izhodne prilagoditve so celo nekoliko boljše od predhodnih rešitev. Vhodna prilagoditev je načrtovana za najmanjši šum in ne za največje ojačenje, kar je običajno za nizkošumne predojačevalnike. Zaradi tega je vhodna prilagoditev razmeroma slaba, komaj -3dB. Dobljeno šumno število ojačevalnika je praktično minimalno možno za ta tip tranzistorja (slika 12), kar skupno z omenjenimi faktorji stabilnosti kaže na kvaliteto predlagane rešitve.

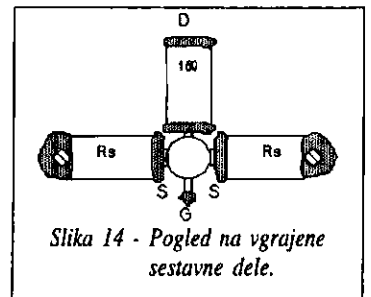
7. Praktična izvedba in rezultati

Ohišje ojačevalnika je načrtovano tako, da predstavlja pokrov le eno stranico nad rezonatorjem. Na ta način je vpliv pokrova najmanjši in tudi izgube zaradi njegovega nezanesljivega stika z ostalimi deli so najmanjše. Razen tega takšna izvedba pokrova omogoča, da se pokrov odpre in se pri tem ojačevalnik kaj dosti ne razglasi. Po drugi strani vgradnja tiskanega vezja kot pregrade, ki je na svoji nejedkani strani na vseh treh straneh zacinjena na ohišje, zagotavlja stabilno delovanje ojačevalnika.

Sklop antene z rezonatorjem je izveden s pomočjo trimerja iste vrste kot za uglaševanje rezonatorja: Tekelec 5200 ali podoben. Trimer omogoča natančno uglaševanje za najnižji šum s pomočjo šumnega izvora. Sklop se lahko izvede tudi s fiksnim kondenzatorjem $C1 = 1.8pF$, da bi preprečili napačno uglaševanje "na uho" (brez šumnega izvora), kar vodi v napačno uglaševanje za največje ojačenje namesto na najmanjši šum, kar je natančno opisano v (3). Keramični kondenzator ima sicer malenkost nižji Q od Tekelec trimerja, vendar je vpliv na šum ojačevalnika zelo majhen.

Podobno kot v nekaterih predhodnih mehanskih rešitvah ojačevalnika je tudi v tem slučaju uporabljeno ohišje iz tanke posrebrene bakrene ali medeninate pločevine s tiskanim vezjem kot pregrado v sredini. Uporaba bele pločevine (pokositrana železna pločevina) se nikakor ne priporoča zaradi povečanih izgub vhodnega rezonatorja in s tem povečanja šuma!

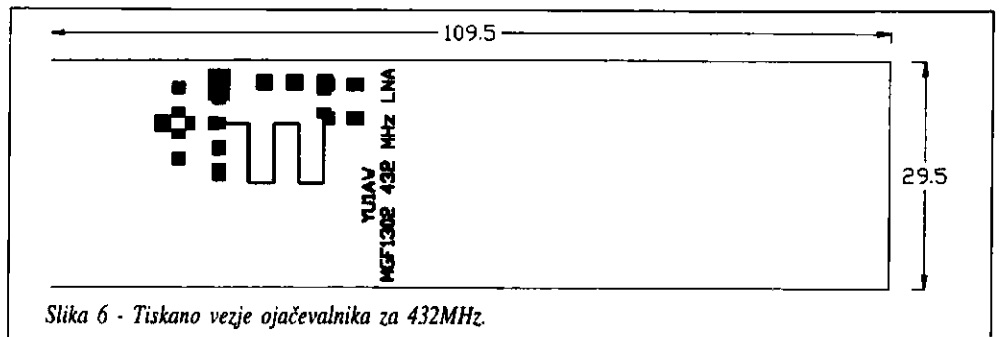
Enosmerno delovno točko, tok skozi tranzistor, nastavimo z zamenjavo enega od obeh SMD uporov z izvora na maso. Možna je sicer vgradnja trimerpotencimetra. Ker pa delovno točko nastavimo enkrat za vselej, je trimer v resnici nepotreben in se je takšnemu nezanesljivemu sestavnemu delu boljše izogniti.



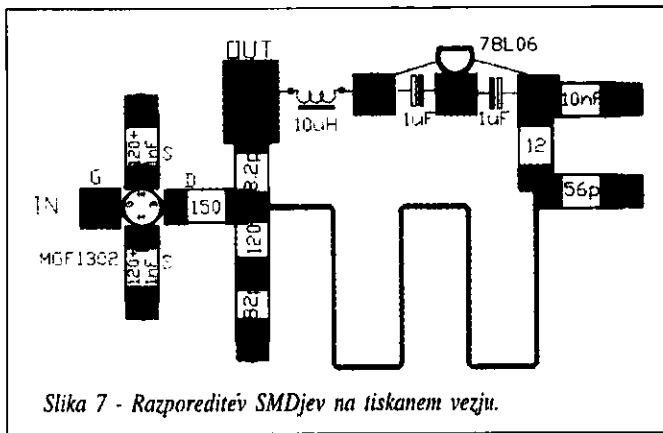
Slika 14 - Pogled na vgrajene sestavne dele.

voda je seveda neprimerno enostavnejša od koaksialnega rezonatorja. Izmere trakastega rezonatorja so izbrane za čimmanjše izgube in s tem čimmanjši šum ojačevalnika. Karakteristična impedanca trakastega voda je okoli 77ohm skupno z vplivom pokrova, kar daje minimalne izgube. Trimerji za nastavitvev antenskega sklopa in rezonančne frekvence so Tekelec ali Johanson tipa 5200/5800 ali podobni.

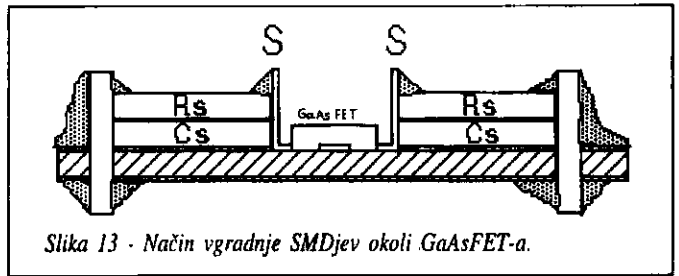
Dvostransko tiskano vezje, ki nosi



Slika 6 - Tiskano vezje ojačevalnika za 432MHz.



Slika 7 - Razporeditev SMDjev na tiskanem vezju.



Slika 13 - Način vgradnje SMDjev okoli GaAsFET-a.

8. Sestavljanje in uglaševanje

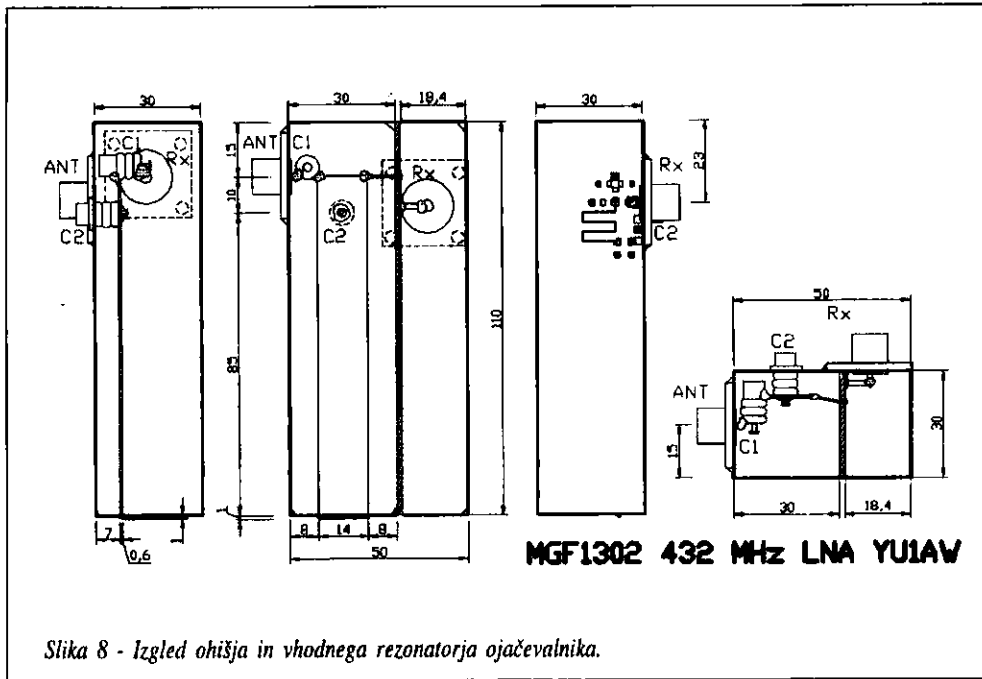
Večina sestavnih delov predojačevalnika je vgrajena na dvostransko tiskano vezje na 1.6mm debelem vitroplastu. Ena stran vitroplasta ni jedkana, da deluje kot ravnina mase za mikrotrakaste vode na drugi strani in hkrati kot oklop ter ena od stranic ohišja vhodnega rezonatorja. Mikrotrakasti vodi so izjedkani na drugi strani vitroplasta, kot je to prikazano na sliki 6. Pripadajoča razporeditev SMDjev je prikazana na sliki 7. Točke, označene s krogci, je treba prevrtati in vse, razen oporišča za vrata tranzistorja, spojitii na maso s koščkom žice, kot je to prikazano na slikah 13 in 14.

Najprej se na ploščico zaspajkajo vsi sestavni deli po električnem načrtu. Vsi sestavni deli razen stabilizatorja napetosti 78L06, feritne dušilke 10uH (lahko je tudi VK200: ferit s šestimi luknjicami) in tantalovih kondenzatorjev 1uF/25V so SMD izvedbc. Sestavljeno tiskano vezje še enkrat preverimo in začasno spojimo vrata tranzistorja na maso, da lahko nastavimo delovno točko še pred vgradnjo tiskanine v ohišje.

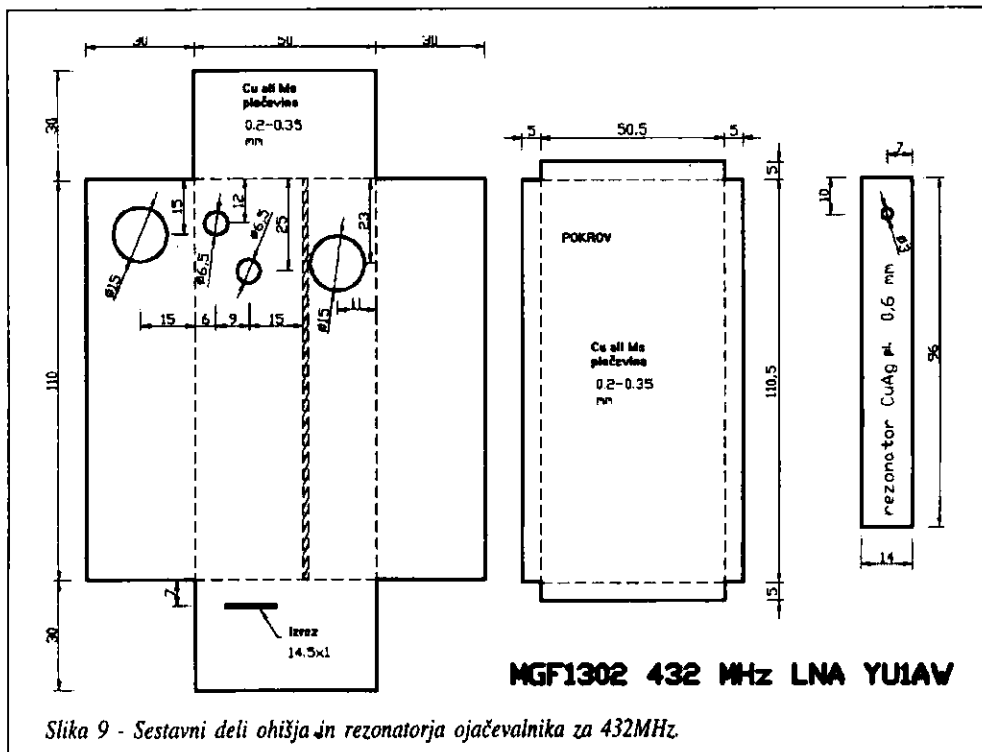
Če je vse prav zvezano, bi morala biti delovna točka zelo blizu željenih vrednosti napetosti in toka skozi tranzistor. Vrednost toka lahko popravimo z zamenjavo vrednosti upora v izvoru. Če je tok prevelik, moramo enega od uporov (redko oba) povečati. Obratno, če je tok premajhen, moramo zmanjšati upor ali pa mu vzporedno vezati še en upor, da bo skupna upornost manjša.

Tok ponora moramo nastaviti na vrednost med 10 in 20mA. Točna vrednost ni kritična, na spodnji meji dobimo malenkost nižji šum, na gornji pa malo večjo odpornost na močne signale. Ko nastavimo tok na željeno vrednost, moramo preveriti napetost izvor-ponor (pozor, izvor ni na masi!). Napetost izvor-ponor mora biti med 2.7V in 3.2V. Če je napetost izven predpisanih mej, popravimo vrednost upora 12ohm v napanjanju. V ta namen ne smemo spreminjati upora 150ohm v ponoru, ker ima ta upor nalogo stabilizacije in bi njegova sprememba privedla do samoosciliranja!

V izvoru smemo namesto SMD kondenzatorjev vgraditi keramične disk kondenzatorje brez priključnih žic iste vrednosti. Disk kondenzatorje moramo vgraditi nad upora Rs (upora se v tem slučaju vgradi prva) in po nastavlja-



Slika 8 - Izgled ohišja in vhodnega rezonatorja ojačevalnika.



Slika 9 - Sestavni deli ohišja in rezonatorja ojačevalnika za 432MHz.

nju delovne točke!

Ko je tiskano vezje dokončano in je delovna točka nastavljena, ga vgradimo v ohišje ojačevalnika in zaspajkamo, kot je to prikazano na slikah 8 in 9. Zadnja stran ploščice ni jedkana in deluje kot masa za mikrotrakaste vode ter kot stena vhodnega rezonatorja. Maso tiskanine moramo zato dobro zaciniti na ohišje vzdolž vseh treh robov, ki nalegajo na ohišje, da ne bi pokvarili kvalitete vhodnega rezonatorja. Stran tiskanine s SMD sestavnimi deli je seveda obrnjena proti izhodu ojačevalnika.

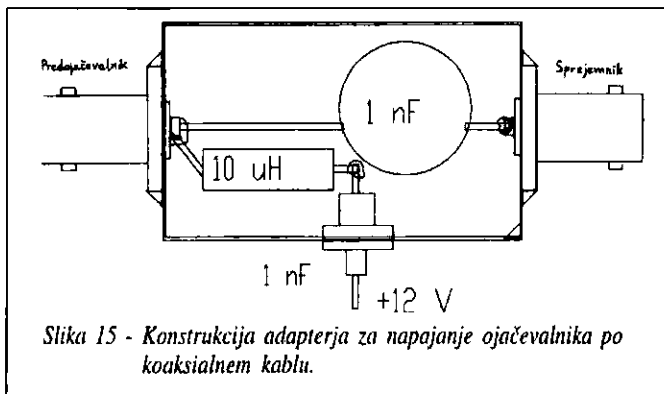
Izvrtno za vrata moramo na strani mase povrtati z malo večjim sve-drom, da odstranimo kolobar bakrene folije in tako preprečimo kratek stik žice, ki povezuje rezonator z vrati tranzistorja na drugi strani tiskanine. Debelina te žice ni kritična in lahko uporabimo odrezek nožice upora ali kondenzatorja (pocinjena bakrena žica 0.5-0.6mm). Na koncu moramo spo-jiti še izhodni N konektor (OUT) na tiskanino.

Ko je vse povezano in preverjeno, lahko ojačevalnik vključimo in po-novno preverimo napetosti in tok. Potem ojačevalnik priključimo na anteno in sprejemnik ter s trimernjem C2 nastavimo frekvenco rezonatorja za naj-večje ojačenje, se pravi največjo jakost nekega šibkega vhodnega signala. Rezonanco moramo doseči pri nastavitvi trimernja C2 blizu minimalne vred-nosti (okoli 1pF), ko vhod sklopimo s fiksnim kondenzatorjem C1=1.8pF.

Če imate generator šuma, lahko fiksni kondenzator C1 zamenjate s trimernjem in uglaste oba trimernja C1 in C2 za minimalni šum. S tem je celotno uglaševanje zaključeno in ojačevalnik doseže lastnosti, ki so zelo blizu objavljenim.

9. Adapter za napajanje

Nizkošumni ojačevalnik popolnoma izkoristimo le, če ga vgradimo v neposredni bližini antene. Da lahko ojačevalnik napajamo po koaksialnem kablu, ki vodi do sprejemnika, moramo pri sprejemniku dodati adapter (glej sliko 15). Adapter ima nalogo, da doda enosmerno napetost napajanja in hkrati ne moti visokofrekvenčnih signalov, ki potujejo po kablu. Adapter vgradimo pri sprejemniku. Adapter ne vsebuje kritičnih sestavnih delov in moramo paziti le, da pri sestavljanju ne napravimo kratkega stika žile kabla na maso.



Slika 15 - Konstrukcija adapterja za napajanje ojačevalnika po koaksialnem kablu.

Pri anteni moramo vgraditi koaksialni rele, ki preklaplja anteno med oddajnikom in predojačevalcem. Kokasialni rele povežemo do oddajnika z enim kablom, z drugim ločenim kablom pa povežemo izhod predojačevalca do sprejemnika. Sprejemni kabel je lahko tanjši, ker izgube niso tako pomembne. V radijski postaji moramo imeti na razpolago ločena priključka za sprejemnik in oddajnik ali pa uporabiti še en koaksialni rele.

Koaksialni rele pri anteni vezemo tako, da je v mirovnem položaju (brez napajanja) antena priključena na oddajnik! Torej obratno od običajne vezave! Razlog je v zaščiti predojačevalca pred razelektritvami v ozračju, ko je radijska postaja izključena! Ta ukrep vam lahko prihrani dosti dela in denarja za nove GaAsFET-e. Pravilna vezava koaksialnih relejev in njihovo zaporedje preklapljanja so posebna tema, ki prekoračuje okvir tega članka.

10. Zaključek

Problem stabilnosti GaAsFET ojačevalnikov v področju 432MHz je zelo podoben onemu, ki ga poznamo z nižjih frekvenčnih področij. Kom-

penzacija tranzistorja in doseganje brezpogojne stabilnosti je za odtenek manj težavno, kar omogoča tudi enostavnejše vezje za kompenzacijo. Po drugi strani je zaradi višje delovne frekvence vpliv parazitnih reaktans in kvalitete uporabljenih sestavnih delov dosti večji na končne lastnosti izdelanega ojačevalnika.

Rešitev avtorja DJ9BV je pazljivo analizirana z ustreznim računalniškim programom. Samooscilacije v frekvenčnem pasu 8-10GHz zavisijo od dolžine nožic izvora in ponora GaAsFET-a in ostalih parazitnih reaktans v neposredni bližini. Samooscilacije so posledica induktivne kompenzacije v izvoru, ki v SHF področju skupaj z ostalimi parazitnimi reaktansami tvorijo Clapp-ov oscilator. Sam avtor DJ9BV je opozoril na možnost samooscilacij in predlagal kot protiužek mikrovalovni absorber v obliki prevodne pene v vhodnem rezonatorju.

Računalniška analiza je pokazala, da je induktivna kompenzacija zelo tvegana in da je v praksi, na visokih frekvencah, zelo težko nadzirati vse parazitne reaktanse, ki lahko privedejo do samooscilacij v SHF področju. Na osnovi opisane analize sem razvil in izdelal ojačevalnik, ki vsebuje novo rešitev problema stabilnosti in ima zelo dobre lastnosti, ki so se v praksi izkazale tudi ponovljive pri večjem številu izdelanih primerkov.

Pri gradnji takšnega ojačevalnika se moramo strogo držati pravil za gradnjo na zelo visokih frekvencah (SHF), če želimo dobiti res vrhunski ojačevalnik za 144MHz ali 432MHz z GaAsFET-om. Razlog je v tem, ker GaAsFET-i zelo lahko zanihajo na frekvencah deset in več GHz. Tiskano vezje je pri tem v veliko pomoč, saj točno določa postopek gradnje in so grobe napake malo verjetne. Če se graditelj drži danih navodil, preprosto mora dobiti ojačevalnik z vrhunskimi lastnostmi.

Na koncu se želim zahvaliti vsem, ki so mi pomagali pri praktični izdelavi opisanega ojačevalnika.

Literatura:

1. Dragoslav Dobričić, YU1AW: "Niskošumni antenski pojačavač za 144 MHz", Radioamater 10/1998, strani 12-14 in Radioamater 11/1998, strani 12-15. Tudi: "Niskošumni antenski pojačavač za 144 MHz", besedilo predavanja KKE, december 1998.
2. Dragoslav Dobričić, YU1AW, (prevod in priredba S53MV): "Niskošumni antenski predojačevalnik za 144MHz", CQ ZRS 6/1999, strani 26-31.
3. Dragoslav Dobričić, YU1AW: "Bezuslovno stabilni niskošumni GaAs FET prepojačavači", (I del) Radioamater 4/1989, strani 102-104 in (II del) Radioamater 5/1989, strani 139-142. Tudi: "Absolut stabile, rauscharme GaAs-FET-Vorverstärker", UKW-Berichte 2/1990, strani 118-126 in UKW-Berichte 3/1990, strani 138-146.
4. Rainer Bertelsmeier, DJ9BV: "Unconditional Stable LNA for 432MHz", DUBUS 2/1993, strani 29-40.
5. Rainer Bertelsmeier, DJ9BV, (prevod YU1AU): "Pretpojačavač za 432MHz", Radioamater 12/1997, strani 10-12.

