

GRADNJA IN OŽIVLJANJE POSTAJ Z NIČELNO MEDFREKVENCO  
=====

Matjaž Vidmar, S53MV

1. Zakaj radijske postaje z ničelno medfrekvenco?  
-----

Isto vprašanje so si dosti časa pred nami amaterji zastavili že profesionalci. Ničelna medfrekvenca (Zero-IF) omogoča določene poenostavitve, predvsem v visokofrekvenčnem delu radijske postaje. Električni načrt postaje z ničelno medfrekvenco je sicer navidez bolj kompliciran, vendar po drugi strani ne vsebuje zahtevnih sestavnih delov, ki bi potrebovali zamudno in zato drago uglaševanje.

Razkorak med profesionalno in amatersko radijsko tehniko je danes še dosti večji kot kdajkoli prej. Če primerjamo radioamaterski toki-voki in GSM telefon, na prvi pogled med njima sicer ni razlike, saj sta oba izdelana iz plastike.

V svoji notranjosti pa GSM telefon vsebuje številsko (digitalno) radijsko postajo, izdelano v tehnologiji, ki je danes stara že kakšnih 5 (pet) let. V primerjavi je amaterski FM toki-voki izdelan v tehnologiji, ki se zadnjih 35 (petintrideset) let, od uvedbe tranzistorja, ni skoraj nič spremenila. Čeprav GSM telefon ne predstavlja viška sodobne tehnike, je še vedno 30 (trideset) let mlajši od najsodobnejše radioamaterske radijske postaje, ki je zaradi svoje muzejske vrednosti danes že precej dražja od cenenega in precej zmogljivejšega GSM telefona.

Če radioamaterji ne želimo skrčiti svojih vrst na nekaj zelo premožnih zanesenjakov, ki na svojem podstrešju zbirajo dragocene tehnološke starine iz prejšnjega stoletja oziroma še dražje nove ponaredke z daljnega vzhoda, moramo svoje razmišljanje temeljito spremeniti. Nove tehnologije omogočajo, da naprave naredimo boljše, učinkovitejše in predvsem CENEJŠE.

Pri tem moramo ukrepati predvsem sami, se pravi razviti, izdelati in preizkusiti nove radijske postaje kot tudi novo operatersko tehniko njihove uporabe. Pri tem ne pričakujemo kakršnihkoli novosti z daljnega vzhoda, saj so se tamkajšnji izdelovalci arheoloških ponaredkov že povsem prilagodili nezahtevnemu tržišču premožnih zbiralcev starin. Nazadnje ne smemo pozabiti, da za nas najpomembnejši mednarodni pravni akt, ITU Radio Regulations, namenja radioamaterska frekvenčna območja za eksperimentiranje in izobraževanje, nikakor pa zbiranju (pravih in ponarejenih) starin.

Zgodba o mikrovalovnih SSB radijskih postajah z ničelno medfrekvenco se začne na UKV srečanju spomladi 1996, ko sem v predavanju skušal predstaviti novejšo visokofrekvenčno polprevodnike in možnosti njihove uporabe v amaterskih radijskih postajah. Tedanji UKV manager ZRS, Branko S57C, me je takoj zagrabil za besedo in vprašal, kako izdelati cenene in enostavne mikrovalovne radijske postaje, s katerimi bi oživili dejavnost na mikrovalovnih frekvenčnih področjih.

Aktivne slovenske radijske postaje na frekvencah nad 2GHz smo tedaj lahko prešteli na prste ene roke. Kompliciranost tedanje opreme: transverterji iz neštetihih modulov, preklopi raznih pomožnih ojačevalnikov in osnovnih postaj, je doprinesla k temu, da v tekmovanju marsikateremu udeležencu ni vse delovalo. Tekmovalni dnevnik je bil zato

pogosto poln polovičnih zvez, ko je sogovorniku crknil sprejemnik ali oddajnik oziroma se mu je eden od nešteti mehanskih relejev zalepil v napačnem položaju.

Uspešna mikrovalovna radijska postaja mora biti ne samo poceni in enostavna za gradnjo, pač pa tudi zanesljiva in enostavna za uporabo. Na zunaj mora biti to ena sama škatla, ki ima samo štiri priključke: napajanje, antena, slušalke in mikrofona oziroma tipka. Samo takšna radijska postaja lahko oživi radioamatersko dejavnost na mikrovalovnih področjih s planinskih vrhov, za kar imamo v Sloveniji vsekakor odlične naravne možnosti.

Da bi se izognil načrtovanju še enega kompliciranega transverterja, sem poskusil z načrtovanjem postaje z ničelno medfrekvenco. Ničelna medfrekvenca ali ZIF sicer ni čarobna palčka, saj ima poleg dobrih tudi slabe lastnosti ter ni enako primerna za različne vrste modulacij. Z ničelno medfrekvenco sem imel nekaj izkušenj s PSK postajami za packet-radio (1). Ker je PSK modulacija v številskem (digitalnem) svetu sorodnik SSB modulacije v analognem svetu, se vsaj načeloma da izdelati SSB postajo s podobno ZIF tehniko gradnje kot PSK postajo za packet-radio (third-method SSB ali Weaver SSB).

Po nekaj neuspešnih poskusih sem uspel sestaviti mojo prvo SSB postajo z ničelno medfrekvenco za 1296MHz že spomladi 1997 (2), z uporabo nekaterih preizkušenih sestavnih delov PSK postaje za 23cm. Popravljen in izboljšano zasnovano sem potem uporabil tudi za frekvenčna področja 2.3GHz (3), 5.7GHz (4), 10GHz (5), 3.4GHz (6) in nazadnje celo 24GHz (še ni bila objavljena).

Da vse opisane postaje ne bi ostale le mrtve črke na papirju glasila CQ ZRS, me je Branko S57C prepričal, naj natančno zrišem vse mehanske podrobnosti (7). Radioamaterjem, ki doma nimajo opremljene mehanske delavnice, so pri Brankotu na voljo razen golih tiskanih vezij tudi vsa medenina in aluminijasta ohišja, ki so potrebna za gradnjo katerekoli od opisanih mikrovalovnih SSB postaj. S časom so se odzvali tudi trgovci z elektronskimi sestavnimi deli, tako da lahko danes skoraj vse potrebne dele radijske postaje kupimo doma.

Razpoložljivost primernega načrta in vsega potrebnega materiala seveda še ne zadošča, da bi tako zahtevna naloga, povečati število aktivnih postaj na mikrovalovnih področjih, tudi uspela. Večina amaterjev danes nima nobenih izkušenj z gradnjo zahtevnejših naprav, kot so to SSB radijske postaje. Zato smo 10. januarja 1998 organizirali seminar o izdelavi radijskih postaj z ničelno medfrekvenco na Fakulteti za Elektrotehniko v Ljubljani.

Za vse tiste, ki zadnjih pet let niso poprijeli za spajkalnik, oziroma jim je bila ena od opisanih SSB radijskih postaj prva zahtevnejša gradnja, predavanja s seminarja seveda ne zadoščajo. Da bi izdelane postaje usposobili, preizkusili in natančno premerili, smo se odločili organizirati servisno-merilne dneve.

Prvi takšen servisno-merilni dan smo organizirali na pobudo Brankota S57C in ob pomoči lokalnih radioamaterjev v Šolskem Centru Novo Mesto za vikend 11-12 septembra 1999. Skupaj z Darkotom S57UUD sva organizirala vsako svojo delavnico za popraviljanje napak in grobo uglasovanje radijskih postaj. Končne meritve in fino uglasovanje je za nama opravljala Robi S53WW. Seveda so vsi udeleženci in ostali prisotni pomagali pri delu, kjer so le mogli.

Udeleženci servisno-merilnega dne so prinesli s sabo radijske postaje v najrazličnejših stanjih: od takšnih, ki so potrebovale le kontrolo delovanja in nekaj finih nastavitvev, do takšnih, kjer je manjkalo preveč sestavnih delov ali celih modulov, da bi postajo lahko usposobili v nekaj urah dela.

Kljub vsemu se je servisno-merilni vikend zaključil uspešno, saj smo za delo uspeli usposobiti približno 25 različnih radijskih postaj za vsa področja med 1GHz in 10GHz.

Prvi servisno-merilni dan je bil velika izkušnja tudi za nas organizatorje. Pri oživljanju večjega števila enakih radijskih postaj hitro opazimo pomanjkljivosti načrta. Še bolj očitne postanejo pomanjkljivosti opisov gradnje, ko več različnih graditeljev ponavlja isto napako. Vse znane pomanjkljivosti in napake bom zato skušal opisati v tem članku, da bi preprečil ponavljanje podobnih napak pri novih graditeljih.

Trenutno ocenjujemo, da je v Sloveniji vsaj 50 (petdeset) delujočih ZIF-SSB postaj za različna mikrovalovna frekvenčna področja, ki se jim pridružuje še nekaj desetih zgrajenih postaj v sosednjih deželah, predvsem v Italiji. Seveda vsi upamo, da se bo število zgrajenih postaj in z njimi udeležba v mikrovalovnih tekomovanjih še povečala. Servisno-merilni dan bomo zato ponovili takoj, ko se bo spet izkazal potreben.

Razen radijskih postaj in ustreznih anten potrebuje mikrovalovna dejavnost še drugačno podporo. Na mikrovalovnih področjih ni vedno lahko najti sogovornika, zato so še kako pomembni svetilniki. Izdelavo in postavljanje mikrovalovnih svetilnikov je pri nas premaknil z mrtve točke evropski projekt Phare BEACON 99 pod vodstvom RTV kluba Murska Sobota (Jani S55HH in Jože S51ZO). Razen svetilnikov so fantje iz Murske Sobote zbrali in objavili skoraj vse zanimive tehnične članke iz CQ ZRS v istoimenski knjigi BEACON 99.

Še večji razmah radioamaterske dejavnosti si lahko obetamo od satelita AMSAT-P3D, če bo seveda uspešno izstreljen v predvideno visoko eliptično tirnico. Satelitska dejavnost bo seveda zahtevala tudi manjšo predelavo obstoječih postaj, saj se satelitski pasovi ne pokrivajo s frekvenčnimi pasovi za ozkopasovno zemeljsko delo. Frekvenčni pas opisanih radijskih postaj lahko razširimo z dvojnimi lokalnim oscilatorjem (8) oziroma s primernim sintetizatorjem, ki bi omogočal pokrivanje celotnega amaterskega mikrovalovnega področja.

## 2. Samogradnja mikrovalovne radijske postaje

-----

Samogradnja mikrovalovnih sprejemnikov in oddajnikov je nekoč veljala za višek radioamaterske tehnike, ki je dostopen samo najbolj izkušenim in opremljenim radioamaterjem. Enostavne SSB radijske postaje z ničelno medfrekvenco so to trditev v celoti ovrgle. Še več, rezultati merilnega dne so pokazali, da so tehniki ali celo osebe brez formalne tehnične izobrazbe včasih sposobni narediti dosti boljši izdelek od elektroinženirjev.

Pri gradnji sodobne radijske postaje se je seveda treba najprej naučiti in potem obvladati tehniko gradnje naprav s SMD (surface-mount device) sestavnimi deli, kot tudi spajkanja običajnih sestavnih delov z žičnimi izvodi (9). Pred gradnjo same radijske postaje je smiselno narediti nekaj poskusov s sestavnimi deli, ki jih imamo na razpolago.

SMD sestavni deli so navsezadnje zelo poceni: industrijska cena za 1000 (tisoč) kosov SMD uporov je komaj 5dm, za 1000 (tisoč) kosov enakih kondenzatorjev pa med 15dm in 30dm glede na izvedbo kondenzatorja (povzeto po ceniku tovarne Siemens). Celo vrhunski mikrovalovni SMD polprevodniki niso dragi, industrijska cena GaAsFETov je manj kot 3dm/kos. Upam, da se bojo iz teh številki tudi trgovci z elektronskimi sestavnimi deli za amaterje kaj naučili?

Hkrati bi bilo pametno osvežiti vsaj osnove delovanja visokofrekvenčnih in mikrovalovnih vezij (10). Večina pojavov,

ki jih izkoriščajo vezja radijske postaje, ima nazorno fizikalno predstavo, ki je vsekakor pomembnejša od natančnega, a zamegljenega matematičnega opisa.

Večina dobro načrtovanih mikrovalovnih naprav ne zahteva komplicirane merilne opreme. SSB radijske postaje z ničelno medfrekvenco so bile še posebej načrtovane tako, da je uglasovanje res enostavno oziroma v večini modulov sploh ni potrebno (no-tune design). Od merilnih pripomočkov seveda ne sme manjkati analogni univerzalni inštrument (AVO-meter), saj je digitalni za iskanje maksimuma pri uglasovanju silno neroden.

Ostale merilne pripomočke si amaterji lahko izdelamo sami. Pri uglasovanju oscilatorja in množilcev ter preizkusu oddajnika vsekakor potrebujemo visokofrekvenčno sondo za merjenje moči (11). Pri preizkusu sprejemnika je lahko v veliko pomoč enostaven izvor šuma (12). Digitalni frekvencmeter z mikrovalovnim preskalerjem danes ni več nedostopna naprava (13), (14), (15), (16). Obstoječi grid-dip metri žal frekvenčno ne "prilezejo" dovolj visoko, zato pa jih lahko uspešno nadomesti Lecher-jev vod (17) ali drugačna vrsta valomerja (18).

Komplicirani merilniki, kot so spektralni analizator ali celo vektorski analizator vezij, pri gradnji tako preprostih radijskih postaj niso nujno potrebni. Uporabo kompliciranih merilnikov zato prepustimo prijateljem strokovnjakom na merilnih dnevih. Da bi bilo napak pri gradnji čim manj in bi se na merilnih dnevih res lahko posvetili le končnemu "piljenju" izdelanih postaj, bom v nadaljevanju članka opisal najpogostejše napake pri gradnji postaj oziroma nejasnosti in pomanjkljivosti izvornih člankov, ki so do takšnih napak privedle.

### 3. Gradnja nizkofrekvenčnih tiskanin

-----  
Čeprav so nizkofrekvenčne sestavne enote SSB postaj z ničelno medfrekvenco izdelane v običajni tehniki enostranskih tiskanin vezij z luknjicami in sestavnimi deli z žičnimi izvodi, tudi v tem delu postaje preži cela vrsta možnih napak. Za nekaj napak je kriv tudi sam razvoj radijske postaje. Pred začetkom gradnje katerekoli radijske postaje z ničelno medfrekvenco zato svetujem vsem graditeljem, da si prečitajo vse članke na to temo, tudi za tista frekvenčna območja, ki jih trenutno ne zanimajo, saj so bili v istih člankih objavljeni tudi popravki in izboljšave predhodnih postaj!

Vrednosti nekaterih sestavnih delov v SSB/CW kvadraturem modulatorju in SSB kvadraturem medfrekvenčnem ojačevalniku so spremenjene glede na opis izvorne inačice postaje za 1296MHz (2). Točne oziroma izboljšane vrednosti sestavnih delov so objavljene v članku o postaji za 2304MHz (3) in veljajo za vse izvedbe postaj za vsa mikrovalovna frekvenčna območja vključno z 1296MHz!

Najpogostejša napaka v nizkofrekvenčnih enotah radijske postaje so vsekakor zamenjane vrednosti uporov in kondenzatorjev oziroma zamenjane nogice tranzistorjev. V množici sestavnih delov je takšen pojav povsem običajen, vendar proti njemu pomaga edino natančnost in zbranost pri gradnji postaje oziroma dobra mera potrpežljivosti pri iskanju napake.

Pri pokončni vgradnji uporov ne pozabimo na dejstvo, da s konico voltmetra enostavno izmerimo napetost le na gornjem priključku upora. Zaradi čim lažjega iskanja napak v vezju zato skušamo upore vgraditi tako, da imamo na gornjih priključkih dostopnih čim več različnih merilnih točk. Pri dušilkah VK200 seveda pretaknemo žico skozi vseh šest luknjic,

da popolnoma izkoristimo feritno jedro in sta oba priključka na spodnji strani pokonci vgrajene dušilke.

Pri izbiri kondenzatorjev moramo upoštevati zahteve vezja. Kondenzatorji se med sabo razlikujejo v električnih lastnostih, kar je na dolgo in široko opisano v (19), (20). Kondenzatorji v nizkofrekvenčnem delu postaje določajo odziv različnih sit, zato moramo za vrednosti pod 1 $\mu$ F posod uporabljati plastične folijske kondenzatorje. Kondenzatorji 1 $\mu$ F in več so aluminijevi elektrolitski kondenzatorji, vrednosti med 1 $\mu$ F in 10 $\mu$ F so lahko tudi tantalovi elektrolitski kondenzatorji.

Vse štiri nizkofrekvenčne enote: modulator, medfrekvenco, demodulator in preklop, obvezno opremimo s primernimi konektorji za vse zunanje priključke. Najprimernejši konektorji so enostavno koščki profesionalnih podnožij za integrirana vezja z okroglimi kontakti. Takšne kontakte dobimo tudi v obliki letvic, ki jih enostavno odlomimo za željeno število kontaktov. Za konektor seveda rabimo dva enaka dela. Enega zacínimo v tiskanino (ženski konektor), v drugega pa zacínimo žice ožičenja (moški konektor). Z malo sreče dobimo v trgovinah tudi letvice moških kontaktov, ki imajo na gornji strani spajkalna ušesa.

Konektorji so nujno potrebni zato, da lahko vsako enoto postaje preizkusimo samo zase oziroma hitro zamenjamo z enako enoto iz brezhibno delujoče radijske postaje. Konektorji tako bistveno skrajšajo čas iskanja in odpravljanja napake, ki nam vedno preži. V nizkofrekvenčnem delu postaje pogosto naletimo na šumeč primerek tranzistorja ali celo ponaredek, ki ga je treba najprej najti in potem še zamenjati.

#### 4. Gradnja in uglaševanje VCXO modula

-----

Modul VCXO in množilci je edina enota opisanih postaj z ničelno medfrekvenco, ki zahteva res natančno uglaševanje. Sam VCXO sicer določa tudi pokrivanje in frekvenčno stabilnost SSB radijske postaje na zelo visokih frekvencah, zato mu je treba posvetiti vso možno pozornost. Tudi množilci so zahtevne stopnje. Če je signala premalo, množilci preprosto ne delajo. Če pa je signala preveč, pogosto pride do trajnih okvar uporabljenih polprevodnikov.

Pred začetkom gradnje VCXO modula moramo vsekakor najprej izbrati ustrezen kristal. Pri kremenčevih kristalih smo pri tem močno pogojeni s tem, kakšen kristal se sploh da kupiti ali namensko izdelati (21), (22). V VCXOjih običajno uporabljamo kristale na osnovni rezonanci, ker tu dosežemo največji pomik frekvence kristala z dodatno varikap diodo. Le v postajah za višje frekvence (10GHz in 24GHz) si lahko privoščimo overtonski kristal, ki dopušča le manjše vlečenje frekvence, a je zato temperaturno bolj stabilen.

Ker so mikrovalovna amaterska frekvenčna področja večinoma mnogokratniki okroglih števil, lahko v VCXOju uporabimo cenen "računalniški" kristal. Stabilnost frekvence seveda ne bo najboljša in močno zavisi od proizvajalca. Tudi izdelki istega proizvajalca se včasih močno razlikujejo med sabo po dosegljivi stabilnosti. Sam imam razmeroma dobre izkušnje s proizvajalci "NDK" in "SEL", kristali brez oznake proizvajalca pa so običajno najslabši.

Najboljše rezultate stabilnosti seveda dosežemo z namensko izdelanimi kristali resnih proizvajalcev, naprimer nemški "KVG" ali beograjski "IMP". Če razpolagamo s kvalitetnim kristalom, si lahko privoščimo tudi drugačne faktorje množenja frekvence. Naprimer, v postaji za 2304MHz lahko uporabimo kristal za 18MHz (množenja X4, X2, X2 in X2 do 576MHz), kristal za 24MHz (množenja X3, X2, X2 in X2

do 576MHz) ali kristal za 16MHz (množenja X3, X3, X2 in X2 do 576MHz).

Razen samega kristala vpliva na stabilnost oscilatorja tudi zunanje vezje. V vezju oscilatorja moramo zato uporabiti le najkvalitetnejše kondenzatorje. Induktivnost zaporedne tuljave naj bo prav tako čim manjša, kar preprosto pomeni to, da moramo v množici razpoložljivih kristalov izbrati tistega, ki ima že začetno odstopanje frekvence najmanjše.

Tudi varikap dioda je zahteven sestavni del VCXOja. Najboljše rezultate da vsekakor dioda MV1404, ki pa jo je težko dobiti in ni poceni. MV1404 je v resnici potrebna le v postaji za 10GHz. V vseh ostalih postajah lahko uporabimo cenejše diode, naprimer BB409 ali BB640 (SMD) pod pogojem, da vežemo več cenениh diod vzporedno. Kapacitivnost varikap diode naj bo čim večja, ker na ta način znižamo visokofrekvenčno napetost na diodi, ki lahko povzroča usmerjanje in druge nelinearne pojave, kar vse kvira stabilnost oscilatorja.

Razen elektrolitov naj bojo vsi kondenzatorji v VCXO modulu keramični. Pri keramičnih kondenzatorjih običajno ni težav z nizkimi vrednostmi pod 47pF, saj so vsi izdelani iz kvalitetne keramike z nizkim temperaturnim koeficientom COG (NP0 ali N750) in visokim Q-faktorjem. Vrednosti nad 1nF so po drugi strani vedno izdelane iz X7R ali celo Z5U keramike, od katere si ne moremo pričakovati kaj dobrega (20) in to vsak načrtovalec že upošteva pri razvoju naprave.

Težave se največkrat pojavijo pri kondenzatorjih vmesnih vrednosti med 47pF in 1nF. Načrtovalec uporabi v prototipu kvalitetne kondenzatorje COG, nemarni graditelji pa namesto njih vgradijo ceneno X7R navlako. Da je mera polna, so kondenzatorji vmesnih vrednosti 100pF in 150pF uporabljeni ravno v najzahtevnejšem delu radijske postaje, v samem VCXOju! Pri izbiri kondenzatorjev za VCXO zato nujno poiščite dovolj velike kondenzatorje (majhni so gotovo X7R), ki imajo barvno oznako iz skupine COG (črna NP0, oranžna N150 ali vijolična N750).

Vsi keramični kondenzatorji naj bojo enoslojni, ker imajo nižjo upornost elektrod in višji Q-faktor od večslojnih kondenzatorjev. V VCXO modulu so še posebno zahtevni blokirni kondenzatorji 22nF. Točna vrednost sploh ni pomembna, pač pa izvedba kondenzatorja (enoslojni) in dolžina priključnih žic. Priključne žice morajo biti zelo kratke, saj so ti kondenzatorji sestavni deli nihajnih krogov. V ta namen pred vgradnjo očistimo in oblikujemo nožice kondenzatorja tako, da ob vgradnji telo kondenzatorja nalega na tiskanino.

Tranzistorji v VCXOju in množilnih stopnjah se proizvajajo že najmanj tri desetletja, zato preti resna nevarnost, da nam v trgovini namesto pravih tranzistorjev podtaknejo ponaredek ali izdelke neresnih proizvajalcev. Proti ponaredkom pomagajo edino izkušnje prekaljenega graditelja. Namesto BFX89 lahko vgradimo tudi boljši BFY90, če seveda dobimo pravi tranzistor in ne ponaredek.

V postaji za 10GHz je za prenizko jakost signala lahko kriv tudi kristal za 27MHz. V tem slučaju je treba povečati kondenzator v emitorju oscilatorja iz predpisanih 47pF na 56pF ali 68pF. Vrednosti kondenzatorja ne povečujemo po nepotrebnem, ker to kazi stabilnost oscilatorja!

Pri tranzistorjih BFX89 moramo paziti, da jih pri vgradnji porinemo čim globlje v tiskanino (osnovnica ohišja ne sme biti več kot 1mm nad tiskanino). Tranzistor s predolgimi nožicami bo dal manjše ojačenje oziroma nižjo učinkovitost množilnika, hkrati pa bo lahko divje nihal na neki neželjeni frekvenci. Trakcev tranzistorja BFR91 nič ne krivimo, pač pa jih skrajšamo na približno 3mm in potem tranzistor zaciniemo na

spodnjo stran tiskanine.

Sestavni deli VCXOja, ki zahtevajo največ dela, so tuljave L1, L2, L3, L4 in L5. L1 zavisi predvsem od uporabljenega kristala in jo moramo v določenih slučajih zamenjati z nastavljivim trimer-kondenzatorjem. Tudi L2 in L3 sta naviti na medfrekvenčnih podstavkih, poleg primernega jedra je pomembna le lastna induktivnost.

Največ preglavic povzročata izgleda samonoseči tuljavi L4 in L5. Ti dve tuljavi sta bili vzrok nepravilnega delovanja pri večini postaj, ki smo jih pregledali in usposobili na servisno-merilnem dnevu v Novem Mestu. Pri tuljavah L4 in L5 je razen lastne induktivnosti pomembna tudi medsebojna induktivnost, ki določa sklop med ustreznima nihajnima krogoma. Zato morata biti obe tuljavi izdelani natančno tako kot v prototipu.

Ker je kljub številnim pojasnilom večini izdelava teh tuljav še vedno nejasna, sem narisal skici na sliki 1. Žico CuL premera 1mm navijemo ovoj do ovoja na notranji premer 4mm in potem z obeh izvodov tuljave odstranimo lak ter ju dobro pocinimo. Izvodov tuljave dodatno ne krivimo, tako da ima sedaj tuljava približno četrtino ovoja manj.

Takšno tuljavo brez krivljenih izvodov vstavimo in zacinimo v tiskano vezje. Os tuljave tako zaklepa kot 45 stopinj glede na stranice tiskanine, kot je to prikazano na sliki 1. Pri tem je pomembno tudi to, dasta obe tuljavi naviti v isto smer (naprimer kot levi vijak na sliki 1). Samo v tem slučaju bomo dosegli pravilen magnetni sklop med tuljavama in pravilno delovanje množilnih stopenj.

Marsikateremu začetniku povzroča težave Helipot potenciometer na 10 obratov. Ker je obremenitev tega potenciometra le varikap dioda, je njegova vrednost lahko tudi različna (boljše večja) od nazivnih 10kohm. V člankih o postajah sem navedel vrednost 10kohm samo zato, ker so ti potenciometri ponavadi najcenejši. Pri nakupu ustreznega gumba s števcem obratov pazimo, da nam trgovec da vse potrebne pritikline (ponavadi še posebna dodatna podložka z dvema zobčkoma in ključ za vijak v glavi gumba). Pozor: vse izmere potenciometra so colske, zato na osovino ne moremo natakiniti običajnih gumbov!

Na vsakem potenciometru so tudi označeni priključki: začetek in konec upora ter drsnik, kot je to prikazano na sliki 2. Kljub temu je večina graditeljev naredila hudo napako pri ožičenju Helipota. Žica do Helipota sicer ni treba oklapljati, pač pa mora biti masa do začetka upora speljana posebej, izolirano od mase postaje. Začetek upora mora biti spojen na maso le na škatlici VCXOja, po možnosti čim bližje varikap diodi.

Če se tega navodila ne držimo in spojimo začetek potenciometra na katerokoli maso v postaji, potem hitro dobimo frekvenčno modulirano oddajo in nerazumljiv sprejem. Padec samo 10mV je nekaj povsem običajnega za ožičenje mase v radijski postaji, v vezju varikap diode pa takšna sprememba napetosti povzroči premik frekvenca približno 500Hz. Pri gradnji postaje torej obvezno preverimo, da je žica do začetka potenciometra spojena le na škatlico VCXOja, povsod drugod pa mora biti ta žica izolirana od katerekoli druge mase!

Množilne stopnje zahtevajo skrbno ugleševanje. Pri ugleševanju ne zadošča, da dosežemo pravo frekvenco in željeno izhodno moč, pač pa moramo tudi preveriti pravilno delovno točko vseh polprevodnikov. Pri množilcih s silicijevimi bipolarnimi tranzistorji je za učinkovito množenje frekvenca nujen pogoj usmerjanje v BE spoju tranzistorja. Usmerjanje preverimo tako, da pomerimo enosmerno napetost na bazi tranzistorja, ki z usmerjanjem vhodnega signala upade iz

mirovnih +0.7V na nič oziroma postane celo negativna glede na maso (emitor).

Enosmerna napetost na bazi nad +0.3V pomeni premajhen krmilni signal in zelo neučinkovito množenje. Enosmerna napetost na bazi pod -1V po drugi strani pomeni prevelik signal, ki sili BE spoj v preboj. Posledici preboja sta dve: proizvajanje dodatnega šuma in počasno zmanjševanje tokovnega ojačenja tranzistorja. Takšen prekrmljen tranzistor ne crkne v trenutku, pača pa je zmanjševanje ojačenja dolgotrajen pojav, ki ga včasih opazimo šele po tednu ali mesecu neprekinjenega delovanja.

Meritev delovne točke in uglaševanje množilnih stopenj sta prikazana na sliki 3. Najpomembnejša je napetost na bazi in to pomerimo preko primerne dušilke, najboljše upora 10kohm, ki ga vgradimo neposredno v konico voltmetra. Za frekvence nad 500MHz je celo kapacitivnost konice preveč in takrat uporabimo SMD upor velikosti 1206, ki ga pricinimo na vrh same konice.

Potem ko smo preverili velikostni razred napetosti na bazi z voltmetrom V1 in grobo uglasili vse nihajne kroge, pomerimo še enosmerno napetost V2 na kolektorju. Napetost na kolektorju in tok kolektorja sicer nista merodajna za delovno točko množilnika, toda včasih nam meritev na kolektorju vseeno lahko pomaga. Če vezje v bazi tranzistorja vsebuje tudi upor Rb2, potem lahko iščemo visokofrekvenčni maksimum kot minimum napetosti V2 na kolektorju. Na ta način lahko fino poglasimo le zadnji dve množilni stopnji v modulu VCXO.

Na podoben način lahko uglasimo oziroma izmerimo delovne pogoje GaAsFETA ali HEMTa. Tudi v tem slučaju spoj GS usmerja in enosmerna napetost V1 na vratih postane negativna. Tok ponora pa se v prisotnosti signala lahko poveča ali zmanjša. V slučaju močnega krmiljenja in negativne napetosti na vratih se tok ponora vsekakor zmanjša, kar pomeni zvišanje napetosti V2. V opisanih radijskih postajah množilne stopnje s HEMTi sicer niso predvidene za uglaševanje, pač pa z meritvijo delovne točke HEMTa nastavimo predhodni (zadnji) množilnik v modulu VCXOja.

Zadnji uporabnik signala iz verige množilnih stopenj je v vsakem slučaju mešalnik. V navodilih za gradnjo nemških transverterjev pogosto zasledimo napotek, da moramo za takšno meritev odciniti diode iz mešalnika oziroma odstraniti kar cel mešalnik in namesto njega priključiti visokofrekvenčno sondo za merjenje moči. Takšno navodilo je povsem jasno skregano z zdravo pametjo: ne samo, da je odcinjavanje občutljivih mikrovalovnih diod silno zamudno, pač pa je tudi naše uglaševanje prav gotovo napačno, saj množilnik uglasimo na impedanco sonde za merjenje moči, ki je ponavadi precej drugačna od impedance pravih mešalnih diod.

Meritev jakosti signala v mešalniku dosti lažje in predvsem točneje opravimo tako, kot je to prikazano na sliki 4. Na medfrekvenčni izhod mešalnika priključimo čisto navaden ohmmeter, najboljše analogni "unimer". Unimer preklopimo za začetno grobo uglaševanje v področje ohmX100 in za končno fino uglaševanje v ohmX10.

Brez signala lokalnega oscilatorja bo ohmmeter preprosto izmeril padec napetosti v prevodni smeri na dveh zaporedno vezanih diodah, ne glede na polariteto priključkov ohmmetra. Z večanjem jakosti signala lokalnega oscilatorja se padec napetosti na mešalniku znižuje, ker je usmerjanje v prevodno polariziranih diodah močnejše kot v zaporno polariziranih diodah. Zelo močen signal lokalnega oscilatorja privede padec napetosti ohmmetra proti nič.

Množilnik, ki krmili mešalnik, zato preprosto uglasimo tako, da na medfrekvenčni izhod priključimo ohmmeter in uglašujemo na najmanjšo izmerjeno upornost. Uglaševanje



začnemo z ohmmetrom na področju ohmX100 ali celo ohmX1000, da lahko zaznamo že zelo šibek signal lokalnega oscilatorja. S končnim finim uglasovanjem moramo dobiti dovolj močen signal, da izmerimo večkratno znižanje upornosti tudi na območju ohmmetra ohmX10 (kratkostični tok ohmmetra med 5mA in 10mA).

## 5. Gradnja in oživljanje mikrotrakastih tiskanin

-----

Mikrotrakaste tiskanine znatno oljšajo gradnjo mikrovalovne radijske postaje, saj je večina rezonatorjev, frekvenčnih sit in prilagodilnih vezij že izjedkana na sami ploščici. V dobro načrtovani postaji vsi ti sestavni deli ne potrebujejo več nikakršnega uglasovanja, kar bi moralo znatno poenostaviti gradnjo in oživljanje radijske postaje.

Po drugi strani imajo mikrotrakaste tiskanine celo vrsto zahtev, ki so drugačne od običajnih tiskanih vezij. Spodnja stran ponavadi ni nikjer jedkana, da deluje kot ravnina mase za mikrotrakaste vode. Gornja stran ne sme biti pokositrana ali pocinjena, saj kožni pojav prinaša znatno večje izgube v cinu kot pa v bakru.

Mikrotrakasto tiskanino moramo zato pred vgradnjo sestavnih delov najprej temeljito očistiti. Pri čiščenju vrhnje strani z izjedkanimi sestavnimi deli moramo biti posebno previdni, da jih pri čiščenju ne poškodujemo. Čiščenje opravimo z zelo finim brusnim papirjem ali še boljše z radirko "Swaty", elastičnim brusnim kamnom, ki vsebuje drobne delce abrazivne snovi. Pri čiščenju previdno odstranimo morebitne napake jedkanja (tanke bakrene sledi na robovih ploščice ali izvrtin v njej).

Po končanem čiščenju naj bo površina zrcalno gladka. Na frekvenci 5GHz znaša debelina kože, po kateri teče električni tok v bakru, komaj 1 (en) mikrometer. Kakršnakoli hrapavost podaljšuje pot toku in na ta način povečuje upornost vodnika za mikrovalove. Večja upornost pomeni večje izgube in nižjo kvaliteto mikrotrakastih rezonatorjev.

V radioamaterski literaturi pogosto zasledimo navodilo, da je treba vsa mikrovalovna vezja posrebriti. V opisanih mikrovalovnih postajah to ni potrebno in sam sem vedno odsvetoval srebrenje. Še več, na merilnem dnevu v Novem Mestu se je praktično izkazalo, da ima srebrenje KATASTROFALNE POSLEDICE na delovanje opisanih radijskih postaj. Točnega vzroka sicer ne poznam, sumim pa na večjo hrapavost površine in neželjene primesi v elektrolitskem nanosu, kar izredno poveča izgube v mikrotrakastih vezjih.

Praktično povedano, vse radijske postaje s posrebrenimi vezji so delovale slabše od postaj z običajnimi bakrenimi tiskaninami in to kljub mučnemu, večurnemu uglasovanju in praskanju za zadnjo desetinko decibela. Nobena od postaj s posrebrenimi vezji ni dosegla nazivne moči oddajnika, pa tudi občutljivost sprejemnika je bila zelo vprašljiva.

Po čiščenju moramo tiskanino takoj pociniti na vseh mestih, kjer bomo prispajkali sestavne dele ali priključke. Spodnjo, nejedkano ravnino mase lahko pocinimo v celoti. Na gornji strani pa poskusimo pociniti čim manj, da ne vnašamo nepotrebnih visokofrekvenčnih izgub s cinom. Predvsem ne smemo pociniti rezonatorjev in sit, ki so najbolj občutljivi na neželjene kovine. Pri pocinjavanju ploščice si pomagamo z zrnici stearina, ki ga po končanem pocinjavanju odstranimo s krpico, namočeno v acetonu.

Pri pocinjavanju ploščice odsvetujem uporabo kolofonije oziroma kolofonijskih premazov po celi površini ploščice. Pregreta kolofonija hitro izgubi svojo učinkovitost, zgoreli ostanki kolofonije pa zamažejo celo čiste dele ploščice. Ostanke kolofonije moramo po končanem spajkanju v vsakem

slučaju odstraniti s krpico, namočeno v navadnem (etilnem) alkoholu. Kolofonija predstavlja za mikrovalove izguben material. Pojava mogoče še ne opazimo na 1296MHz, na 24GHz pa čiščenje kolofonije v okolici enega samega tranzistorja prinese povečanje ojačenja za več decibelov!

Po čiščenju in pocinjavanju ploščice moramo najprej ozemljiti vse četrtvalovne rezonatorje, saj mikrotrakaste ploščice nimajo metaliziranih lukenj. Metaliziranim luknjam sem se namenoma izognil zato, ker imajo različni proizvajalci tiskanih vezij različne postopke metalizacije, ki lahko vnesejo zelo velike izgube ravno v točko, kjer v četrtvalovnem rezonatorju teče največji tok.

Ozemljitev četrtvalovnih rezonatorjev je prikazana na sliki 5. V izvrtino premera 1mm vstavimo približno 6mm dolg košček posrebrene bakrene žice premera 0.6mm (ena od sedmih žic v žili kabla RG-214). Žico zavijamo na obeh straneh tako, da leži vsaj 2mm vzporedno z ravnino ploščice. Pred cinjenjem žico stisnemo s kleščami, da stoji trdno na mestu. Na ta način zagotovimo, da cin omoči dovolj veliko površino žice. Če žice ne zavijamo, bo cinjeni spoj počil že zaradi toplotnih raztezkov vitroplasta.

Na mikrotrakaste tiskanine najprej vgradimo vse SMD sestavne dele. Pri mikrovalovnih tranzistorjih in PIN diodah moramo biti posebno pozorni na pravilno ozemljitev skupne elektrode, kot je to prikazano na sliki 6. Večina polprevodnikov je ozemljena skozi dve izvrtini premera 3.2mm. Izjema so le PIN diode in tranzistor CLY2, ki potrebujejo manjše izvrtine premera 2mm, ter tranzistor CLY5, ki potrebuje eno večjo izvrtino premera 5mm.

Izvrtine za maso moramo obdelati še pred vgradnjo kateregakoli sestavnega dela. Izvrtine najprej prekrijemo na strani mase s tanko bakreno folijo 0.1mm (ali malo več za hlajenje močnejšega CLY5). Nato izvrtine napolnimo s kapljicami cina tako, da vrhovi kapljic sovpadajo z gornjo površino tiskanine. Šele nato postavimo in zacínimo polprevodnike.

Pri vgradnji polprevodnikov moramo seveda paziti, da postavimo sestavni del točno na predvideno mesto. Zato najprej zacínimo ostala dva priključka, ki ne gresta na maso. Kot zadnja zacínimo priključka na maso in pri tem poskrbimo, da cin dobro omoči oba priključka. Ko smo zacínili vse priključke, obvezno preverimo odsotnost kratkih stikov z ohmmetrom, preden nadaljujemo z vgradnjo drugih sestavnih delov.

Induktivnost priključkov na maso je najbolj kritični parameter vseh mikrovalovnih polprevodnikov. Ojačenje z večanjem induktivnosti zelo hitro upada, pozna se celo debelina laminata, vitroplasta ali teflona! Hkrati narašča nevarnost samooscilacij. Če naprimer zacínimo samo enega od obeh priključkov izvora HEMTA ali pa nemarno zacínimo oba tako, da cin ne omoči popolnoma obeh priključkov, dobimo takoj oscilator za 15GHz!

Ostali SMD sestavni deli niso tako zahtevni, priporočam pa dele velikosti 0805 ali manjše. Pri kondenzatorjih seveda veljajo vsa načela izbire primerne materiala in oblike. Po vgradnji vseh SMD sestavnih delov še enkrat očistimo ploščico s krpico, namočeno v primerno topilo: alkohol za ostanke kolofonije oziroma aceton za ostanke stearina.

Nato vgradimo v ploščico skoznike, zacínimo upore 1/8W na gornji strani do mikrotrakastih vodov ter izdelamo vse žične  $\lambda/4$  dušilke. Na spodnji strani vgradimo vse sestavne dele, ki niso vezani na skoznike v medeninastem okvirju, to se pravi upore, zener diode, rdeče LEDike in kondenzatorje, ki so vezani iz skoznikov na maso.

Pri izbiri LEDik pazimo na vrsto polprevodnika. Starejše

rdeče LEDike so izdelane iz GaAsP polprevodnika in dajo padec približno 1.6V v prevodni smeri. Novejše rdeče LEDike z visokim izkoristkom so izdelane iz heterostrukture GaP-GaAsP in imajo zato večji padec okoli 2V. Vsa vezja opisanih postaj so načrtovana za novejše LEDike s padcem okoli 2V!

Praden vgradimo mikrotrakasto tiskanino v medeninasti okvir, je smiselno preveriti delovne točke vseh aktivnih polprevodnikov. Zamenjava pokvarjenega tranzistorja oziroma HEMTa s premajhnim ali prevelikim Idss je v tem trenutku znatno enostavnejša. Polprevodnike, ki imajo skupno elektrodo vezano na maso, najpreprosteje odstranimo tako, da najprej segrejemo bakreno folijo na spodnji strani tiskanine. Površinska napetost bo povlekla ves cin in osvobodila vsaj dva izvoda tranzistorja. Ostala dva izvoda potem preprosto odcinimo na običajen način.

Preizkušeno mikrotrakasto ploščico nato vgradimo v okvir. Pri vgradnji v medeninasti okvir moramo paziti na pravilno višino ploščice, da se mikrotrakasti vodi v isti ravnini nadaljujejo naprej v teflonski koaksialni kabelček, kot je to prikazano na sliki 7. Črte in izboljkline v okvirju so nam pri tem lahko v pomoč, vendar se ne smemo zanašati samo nanje. Bistveno je ujeti pravilno višino izvrtin za koaksialne kablečke. Gornja površina mikrotrakaste tiskanine mora biti točno sredi luknje premera 3.2mm za koaksialni kabel.

Notranje visokofrekvenčno ožičenje naredimo v vsakem slučaju s teflonskimi kabelčki, saj bi se polietilenski dielektrik običajnih kabelčkov zagotovo stalil med spajkanjem na velike površine medeninastih škatlic. Na nižjih frekvencah do 3GHz lahko uporabimo teflonske kabelčke z enojnim oklopom RG-188, RG-316 in podobne, na frekvencah nad 5GHz pa moramo obvezno uporabljati kabelčke z dvojnim pletenim oklopom oziroma poltrdi teflonski kabelček UT-085. Pri nabavi kabla pazimo, da nam trgovec ne podtakne 75-ohmskega kabelčka, ki ga spoznamo po zelo tanki srednji žili.

Konce kabelčkov moramo pred uporabo primerno obdelati. Priprava konca teflonskega kabelčka s pletenim oklopom je prikazana na sliki 8. Pri kabelčku najprej odstranimo zunanjo plastično zaščito v dolžini približno 5mm. Nato oklop pocinimo. Ko se spajka strdi, jo v sredini okoli zarežemo z ostrim rezilom ter odlomimo in odstranimo odvečni oklop.

Nato odstranimo približno 2mm dielektrika in dobro pocinimo tudi pletenico srednje žile kabelčka. Pred priključitvijo kabelčka na izdelani modul seveda dobro pocinimo medeninasto škatlico okoli vstopne luknje za kabel. Nato zacínimo najprej žilo kabla, nato pa v sklenjenem krogu oklop kabla na medeninasto steno škatlice. Oklop moramo res dobro zacíniti po celem obodu vstopne luknje, da mikrovalovi nikjer ne morejo "puščati".

## 6. Vgradnja dokončanih modulov v ohišje

-----

Pri gradnji SSB radijske postaje se moramo zavedati, da je celotno ojačenje naprave zelo visoko. Ojačenje SSB sprejemnika dosega kar 150dB med antensko vtičnico in priključkom za zvočnik. Za primerjavo ojačenje transverterja redkokdaj preseže 40dB, ojačenje ostalih radioamaterskih naprav pa je še dosti manjše. Visoko ojačenje v SSB radijski postaji pomeni preprosto to, da moramo pravilno izvesti oklpaljanja posameznih sestavnih enot, razporeditev enot in ožičenje med njimi, sicer nam preti samoosciliranje celotne naprave.

V radijskih postajah z ničelno medfrekvenco je večina ojačenja razporejena v nizkofrekvenčna vezja. Nizkofrekvenčna vezja ponavadi ne zahtevajo kompliciranega oklpljanja, pač

pa moramo pravilno izvesti ožičenje. Pri ožičenju pazimo predvsem na ozemljitvene zanke. Zahtevnejši vodi morajo imeti tudi lasten vodnik za maso, da se na ta način ne sklapljajo preko skupne mase z drugimi vezji.

Zahtevne nizkofrekvenčne povezave zato izvedemo s koaksialnim kabelčkom podobno kot visokofrekvenčne povezave. Oklopiti moramo tako vode s šibkimi signali, ki so občutljivi na motnje: od sprejemnega mešalnika do medfrekvenčnega ojačevalnika, kot tudi vode z močnimi signali, ki bi sicer sevali motnje drugam: izhod nizkofrekvenčnega ojačevalnika do vtičnice za zvočnik. Nekaterih nizkofrekvenčnih vodov ni treba oklapljati, naprimer povezave med medfrekvenčnim ojačevalnikom in demodulatorjem ali do potenciometra za glasnost, saj ti vodi niso niti preobčutljivi niti ne sevajo prehudih motenj.

Zvočnika ne smemo vgraditi v ohišje radijske postaje zaradi problema mikrofonije. Vzrok mikrofonije je nezadostno oklapljanje lokalnega oscilatorja in izredno visoko ojačenje v nizkofrekvenčnem delu, čemur se v postajah z neposrednim mešanjem ali ničelno frekvenco skoraj nikoli ne moremo v celoti izogniti. V pravilno zgrajeni in oklopljeni postaji je seveda problem mikrofonije dosti manjši kot v nemarnem izdelku.

Popravila in uglaševanje radijskih postaj na servisno-merilnih dnevih bi bili znatno enostavnejši in učinkovitejši, ko bi vsi graditelji uporabljali enake vtičnice za napajanje, zvočnik, slušalke, mikrofona, tipko in anteno. Za napajanje sem se pri vseh mojih napravah odločil za DIN vtičnico z okroglim in ploščatim kontaktom, ki je bila ponavadi namenjena za zvočnik. Ta DIN vtičnica se je izkazala kot zelo zanesljiva s kvalitetnimi kontakti (mogoče zato, ker je ne izdelujejo na daljnem vzhodu?) in je polariteto napajanja skoraj nemogoče obrniti.

Povezave mikrofona, zvočnika in tipke sem združil na 6-polni DIN vtičnici, ki se je včasih uporabljala za video naprave. Vezava vtičnice (pogled od spredaj na žensko vtičnico na prednji plošči postaje) je prikazana na sliki 9. Masa uporablja dva kontakta: srednji kontakt in jeziček za oklop. Na vtičnici za mikrofona/zvočnik je na razpolago tudi +12V napajanje za dodatne naprave: papigo (23) ali CW tipkač (24). Tudi 6-polna DIN vtičnica za mikrofona/zvočnik se je izkazala veliko bolj zanesljiva od kateregakoli izdelka z daljnega vzhoda.

Radijska postaja je sicer opremljena še z dvema "jack" vtičnicama (mono premera 6.3mm) za tipko in slušalke. Vtičnica za slušalke je vezana tako, da pri uporabi slušalk odklopi zvočnik. Vezja radijske postaje so sicer prirejene tako, da lahko isti zvočnik uporabimo tudi kot mikrofona. V ta namen preprosto vežemo vzporedno oba kontakta (4 in 5) v vtikaču mikrofona, drugi priključek zvočnika-mikrofona pa je spojen na maso.

Visokofrekvenčno ožičenje predstavljajo teflonski kabelčki med oklopljenimi visokofrekvenčnimi moduli in antensko vtičnico. Ker je te povezave zelo težko razdirati in spet sestavljati, moramo posamične module preizkusiti že prej. Tudi teflonske kabelčke moramo prispajkati pred vgradnjo modulov na aluminijasto osnovno ploščo ohišja, saj je zaradi odličnega odvajanja toplote spajkanje na vgrajenem modulu skoraj nemogoče.

Večina visokofrekvenčnih povezav med moduli je načrtovana tako, da lahko prisotnost kratkih stikov ugotovljamo kar z navadnim ohmmetrom. Pravzaprav je z ohmmetrom smiselno preveriti odsotnost kratkih stikov po spajkanju vsakega konca kabelčka posebej. Dolžine kabelčkov niso kritične z izjemo

kaabelčka med krmilno in končno stopnjo postaje za 1296MHz. Vse ostale kabelčke rajši pustimo nekoliko daljše, da lahko v slučaju popravila izvlečemo tudi eno samo oklopljeno enoto.

Pri vseh mikrovalovnih SSB radijskih postajah sem se namenoma odločil za uporabo kvalitetne SMA vtičnice za anteno. Pri SMA vtičnicah je namreč najlažje razlikovati med kakovostnimi izdelki in ponaredki z daljnega vzhoda. Ponarejene ženske SMA vtičnice imajo vse predebel srednji kontakt, kar tudi neizkušeno oko hitro opazi. Razmerje polmerov žile in oklopa je premajhno in taki konektorji imajo precej nižjo impedanco od nazivnih 50ohm.

Tudi ostale lastnosti ponarejenih visokofrekvenčnih konektorjev so obupne: srednji kontakt izgublja stik zaradi slabega materiala, dielektrik ima velike visokofrekvenčne izgube in se pri spajkanju stali, ohišje ima na določenih frekvencah nedovoljene rezonance, napačen navoj pa nam poškoduje dober konektor obratnega spola, ko ga skušamo spojiti s ponaredkom. Pri gradnji mikrovalovnih naprav se moramo zato čimprej naučiti prepoznati in takoj izločiti ponaredke, preden z njimi pokvarimo dobre konektorje!

Visokofrekvenčne konektorje vseh družin dobimo ponavadi v dveh izvedbah, kot je to za ženske SMA vtičnice prikazano na sliki 10. Vtičnica je lahko opremljena s spajkalnim ušesom za srednjo žilo oziroma je prilagojena za montažo na mehki (pleteti oklop) ali poltrdi (brezšivni cevasti oklop) teflonski koaksialni kabel. Vtičnice s spajkalnim ušesom običajno niso primerne za frekvence višje od 1GHz, saj ne moremo preprečiti skoka impedance pri priključitvi vezja. Vsi proizvajalci vtičnic zato zagotavljajo predpisano prilagoditev (SWR) le za vtičnice, ki jih vgradimo na poltrdi kabel.

V mikrovalovnih SSB radijskih postajah zato izključno uporabljamo vtičnice za montažo na tanek poltrdi kabel UT-085. Namesto SMA vtičnice lahko seveda uporabimo N ali TNC vtičnico primerljive kakovosti v izvedbi za montažo na poltrdi kabel. Kabel seveda ukrivimo tako, da ustreza vgradnji v ohišje radijske postaje. Pri tem poskrbimo za ohlapno krivino, da se kabel oziroma spoji ne strgajo pri mehanski obremenitvi ohišja radijske postaje.

Marsikateri samograditelj postaje me je pri tem vprašal, kakšna je UG oznaka SMA vtičnic. Kratica UG pomeni Utility Grade, se pravi vtičnica, ki jo lahko gospodinja sama nazaj zmontira na kabel, če se kabel slučajno strga. Z oznakami UG zato dobimo na tržišču nekatere izvedbe PL, BNC, N in TNC vtičnic, vendar so vse te vtičnice namenjene uporabi na nizkih frekvencah pod 1GHz. SMA vtičnice nikoli ne nosijo oznak UG, saj je njihova pravilna montaža na poltrdi kabel delo za strokovnjake.

Pri montaži SMA vtičnice moramo zagotoviti, da vse kontaktne površine nalegajo pravilno. Če naprimer zunanja kontaktna površina oklopa ne nalega pravilno (predolg teflonski izolator v vtičnici), dobi SMA vtičnica parazitno rezonanco okoli 5GHz. Radijska postaja za 5.7GHz se bo s takšno vtičnico obnašala zelo čudno. Večini težav se izognemo, če dobimo SMA vtičnico že zmontirano na košček poltredega kabla, vendar tudi tu kratki stiki in napake pri montaži niso izključeni!

## 7. Preizkus celotne SSB radijske postaje

SSB postaje imajo zanimivo lastnost: vezja sprejemnika in oddajnika so v glavnem linearna, edina obdelava signala je preslikava frekvenčnega spektra signala v mikrovalove in nazaj. Primankljaj pri izhodni moči oddajnika ali poslabšano občutljivost sprejemnika zato nepazljivi graditelj zlahka

spregleda, saj se tudi s takšno ohromljeno postajo da narediti precejšnje število zvez v tekmovanju. Stvar je mogoče opravičljiva ob začetnem navdušenju ob novozgrajeni postaji, kasneje pa je nujno privedi radijsko postajo v stanje brezhibnega delovanja.

Občutljivost vseh radijskih sprejemnikov omejuje toplotni šum. V zvočniku vseh radijskih sprejemnikov zato slišimo šum v odsotnosti vsakršnih signalov ali motenj. Pri preizkusu sprejemnika moramo predvsem ugotoviti, od kod izvira šum v zvočniku. Če večina šuma prihaja iz prve stopnje sprejemnika, večina vezij sprejemnika verjetno deluje povsem pravilno. Obratno, če se šum v zvočniku SSB sprejemnika prav nič ne spremeni, ko odklopimo napajanje prvi VF ojačevalni stopnji, je s sprejemnikom verjetno nekaj narobe.

Izvor šuma v sprejemniku poiščemo tako, da odklapljamo napajanja posameznim stopnjam. V nizkofrekvenčnem delu je izvor šuma lahko slab tranzistor. Šum mešalnikov prekomerno povečuje prevelika jakost signala lokalnega oscilatorja. V SSB radijskih postajah z ničelno medfrekvenco se kaj lahko zgodi, da je lokalni oscilator premočen zaradi odstopanj sestavnih delov, saj so vsa vezja nujno nekoliko predimenzionirana. V tem slučaju enostavno znižamo napajalno napetost zadnji stopnji v verigi množilcev.

Izvor dodatnega šuma je lahko tudi divjanje ene ali več visokofrekvenčnih stopenj, še posebno v postajah s HEMTi. Proti divjanju posamične stopnje pomaga predvsem pravilna vgradnja sestavnih delov. Proti divjanju celih enot pa pomaga mikrovalovni absorber, črna antistatična pena, ki jo moramo vgraditi pod pokrov VF enot na frekvencah nad 5GHz. Divjanje stopenj s HEMTi sicer hitro opazimo že po tem, da se svetloba LEDik za stabilizacijo napajanja spreminja, ko kaj premikamo v bližini.

V sprejemnikih z neposrednim mešanjem oziroma ničelno medfrekvenco je zelo moteč pojav mikrofonijske in zvončkljanja, ki ga največkrat povzroča uhajanje signala lokalnega oscilatorja. Tega pojava ne moremo nikoli popolnoma preprečiti, s skrbnim oklapljanjem pa ga lahko omejimo na neškodljivo mejo. Mahanje z roko pred anteno pravilno delujoče postaje z ničelno medfrekvenco se v vsakem slučaju sliši kot pisk v zvočniku.

Vzrok zvončkljanja je lahko tudi nizkofrekvenčni magnetni sklop med dušilkama 3.3mH v sprejemnem mešalniku in nizkofrekvenčnim izhodom postaje. Proti takšnemu zvončkljanju pomaga predvsem boljše ožičenje nizkofrekvenčnega dela in uporaba zvočnika z višjo nazivno upornostjo na večji razdalji od postaje. Dušilki 3.3mH lahko seveda tudi oklopimo z listom mumetala ali zamenjamo z nižjimi vrednostmi, saj sta v resnici potrebni le v postaji za 1296MHz.

Iz izkušenj servisno-merilnega dne sem ugotovil, da večina samograditeljev ne razume razreda delovanja izhodne stopnje oddajnika. Razredi delovanja izhodne stopnje oddajnika so zato prikazani na sliki 11. V SSB oddajniku se zadovoljujemo z linearnostjo ojačenja, ki jo dopušča "B" razred delovanja izhodne stopnje oddajnika. "B" razred pomeni preprosto to, da nastavimo mirovno delovno točko v koleno prenosne funkcije izhodnega ojačevalnika.

Ker ima prenosna funkcija običajnih ojačevalnikov dve kolena, obstajajo tudi dve možnosti za izbiro delovne točke v "B" razredu. V zlati dobi steklenih elektronk so tehniki prisegli le na gornjo točko "B" razreda ob zanemarljivem mirovnem toku in polni napajalni napetosti. Sodobni močnostni polprevodniki iz GaAs ali GaAlAs omogočajo delovanje v obeh možnih točkah "B" razreda.

Močnostni GaAsFETi se celo boljše počutijo v spodnji,

dualni "B" točki, ki ustreza majhni napetosti in velikemu toku. Trditev potrjujejo izkušnje s PSK postajami za packet-radio in tudi z opisanimi SSB postajami, kjer izhodni tranzistor običajno preživi tudi odsotnost antene, kar za običajni "B" razred prav gotovo ne velja. Poleg zanesljivega delovanja stopnje v dualnem "B" razredu je tudi samo vezje izhodne stopnje oddajnika enostavnejše.

Delovanje izhodne stopnje oddajnika v kateremkoli "B" razredu enostavno preverimo z merjenjem enosmernih veličin, napajalnega toka in napetosti. V pravilno delujočem SSB oddajniku bo napajalna napetost izhodne stopnje v dualnem "B" razredu zelo majhna brez modulacije. Pri polnem izkrmiljenju pa mora napajalna napetost izhodne stopnje v dualnem "B" razredu narasti na polno vrednost, ki jo določa zaščitna zener dioda preko napajanja.

Če se napajalna napetost izhodne stopnje obnaša pravilno, lahko sklepamo, da iz oddajnika dobimo vso visokofrekvenčno moč, ki jo zmore proizvesti izhodni tranzistor. Izhodna moč mora v vsakem slučaju doseči vsaj 75% nazivne moči radijske postaje. Prenizka izhodna moč oziroma prenizka napetost ob izkrmiljenju izhodne stopnje ponavadi pomeni nezadostno moč krmiljenja.

Vzrokov nezadostnega krmiljenja je lahko več. V vsakem slučaju moramo vzrok nezadostnega krmiljenja poiskati in odpraviti. V postaji za 1296MHz se splača poskusiti z dolžino kabelčka med krmilno in izhodno stopnjo. V postaji za 2304MHz je mogoče prenizek nivo lokalnega oscilatorja v oddajnem mešalniku: tu pomaga dodaten kondenzator okoli 1pF preko sklopnika v oddajnem mešalniku. V postajah za 5.7GHz in 10GHz preverimo delovne točke vseh HEMTov in šele potem poskusimo z dodajanjem uglaševalnih lističev.

Seveda ATF35376 ni edini tranzistor, s katerim se da izdelati postajo za 5.7GHz ali 10GHz. V teh postajah so uspešno preizkušeni različni tranzistorji in še naboljše, celo boljše kot ATF-ji, so se obnesli tranzistorji brez oznak iz starih konverterjev za satelitsko televizijo. Nekateri od teh starih tranzistorjev imajo precej višji Idss, kar pomeni ustrezno višjo izhodno moč oddajnika.

Končno nastavimo pri oddajniku jakost modulacije z ustreznim trimmerjem v modulatorju. Trimer nastavimo tako, da pri pritisnjeni CW tipki dobimo kakšnih 90% maksimalne moči. Zadnjih 10% moči namreč ne gre več v koristni signal, pač pa proizvaja motnje v pasu +/-100KHz okoli našega signala.

Pri oddajniku seveda preverimo dušenje nosilca v oddajnem mešalniku. Vzrok nezadostnega dušenja nosilca je lahko tudi premočen signal lokalnega oscilatorja, kar podobno kot v sprejemnem mešalniku popravimo z napajalno napetostjo (uporom) zadnje stopnje v verigi množilcev.

## 8. Literatura

Objavljeni seznam literature ni mišljen kot samohvala, pač pa kot seznam člankov, ki so neposredno vezani na samogradnjo mikrovalovnih radijskih postaj in bi morali biti dostopni vsem radioamaterjem v Sloveniji. Večina člankov je bila tudi ponatisnjena v knjigi BEACON 99. Seveda toplo priporočam primerjavo in pregled tuje literature, naprimer časopise VHF-Communications in Dubus ter knjige Dubus-Technik in razne VHF-UHF-SHF priročnike ameriške, angleške in nemške zveze radioamaterjev.

Slišimo se spet v mikrovalovnih tekmovanjih, vidimo pa na naslednjem servisno-merilnem dnevu, ki naj bo predvsem merilni in manj servisni, če bo ta maratonski članek, poln

dolgočasnega naštevanja vseh mogočih in nemogočih napak,  
le dosegel svoj namen...

- (1) Matjaž Vidmar, S53MV: 'Uporabniška 23cm PSK radijska postaja za 1.2Mbit/s', stran 23-37, CQ ZRS 2-96.
- (2) Matjaž Vidmar, S53MV: 'SSB/CW RTX za 1296MHz z ničelno medfrekvenco', stran 27-41, CQ ZRS 2-97.
- (3) Matjaž Vidmar, S53MV: 'SSB/CW RTX za 2304MHz z ničelno medfrekvenco', stran 24-33, CQ ZRS 3-97.
- (4) Matjaž Vidmar, S53MV: 'SSB/CW RTX za 5760MHz z ničelno medfrekvenco', stran 30-37, CQ ZRS 5-97.
- (5) Matjaž Vidmar, S53MV: 'SSB/CW RTX za 10GHz z ničelno medfrekvenco', stran 25-32, CQ ZRS 1-98.
- (6) Matjaž Vidmar, S53MV: 'SSB/CW RTX za 3400MHz z ničelno medfrekvenco', stran 27-33, CQ ZRS 5-98.
- (7) Matjaž Vidmar, S53MV: 'Ohišja SSB/CW mikrovalovnih postaj z ničelno medfrekvenco', stran 28-33, CQ ZRS 2-98.
- (8) Darko Volk, S57UUD: 'VCXO z dvema kristaloma in preklopom', stran 32-33, CQ ZRS 6-99.
- (9) Matjaž Vidmar, S53MV: 'Mehko spajkanje v elektroniki', stran 19-23, CQ ZRS 4-96.
- (10) Matjaž Vidmar, S53MV: 'Tehnika mikrotrakastih vodov', stran 25-33, CQ ZRS 1-97.
- (11) Primož Lemut, S53KS: 'Mikrovalovna sonda za merjenje moči', stran 42-44, CQ ZRS 3-97.
- (12) Matjaž Vidmar, S53MV: 'Električni šum in elektronski izvori šuma', stran 56-60, CQ ZRS 3-93.
- (13) Željko Božič, YT3ZB: 'Programabilni frekvencmeter', stran 32-38, CQ ZRS 3-92.
- (14) Željko Božič, S52ZB: 'UKV programabilni frekvencmeter', stran 54-58, CQ ZRS 6-92.
- (15) Željko Božič, S52ZB: '3.2GHz preskaler', stran 38-39, CQ ZRS 2-96.
- (16) Željko Božič, S52ZB: '6GHz preskaler', stran 23-24, CQ ZRS 2-98.
- (17) Matjaž Vidmar, S53MV: 'Lecherjev vod', stran 50-56, CQ ZRS 5-93.



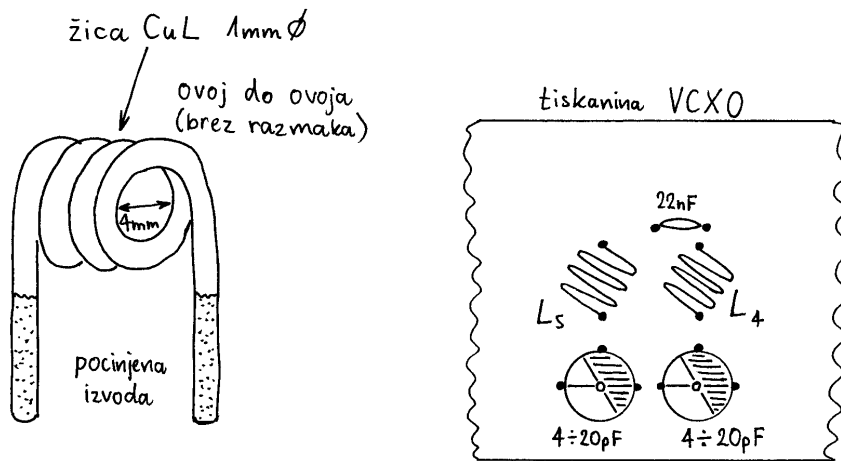
- (18) Lojze Poberaj, S51JN: 'Koaksialni valomer za UHF in SHF',  
stran 31-33, CQ ZRS 2-94.
- (19) Matjaž Vidmar, S53MV: 'Vrste kondenzatorjev in njihova  
pravilna izbira',  
stran 29-33, CQ ZRS 3-96.
- (20) Matjaž Vidmar, S53MV: 'Lastnosti in oznake keramičnih  
kondenzatorjev',  
stran 24-28, CQ ZRS 3-99.
- (21) Matjaž Vidmar, S53MV: 'Kremenčevi kristali, kristalna  
sita in oscilatorji',  
stran 24-30, CQ ZRS 6-94.
- (22) Matjaž Vidmar, S53MV: 'Kako naročiti kremenčev kristal?',  
stran 39-40, CQ ZRS 4-99.
- (23) Darko Volk, S57UUD: 'Voice Key - papagaj',  
stran 33-36, CQ ZRS 1-98.
- (24) Matjaž Vidmar, S53MV: 'CW tipkač',  
stran 35-37, CQ ZRS 4-98.

\*\*\*\*\*

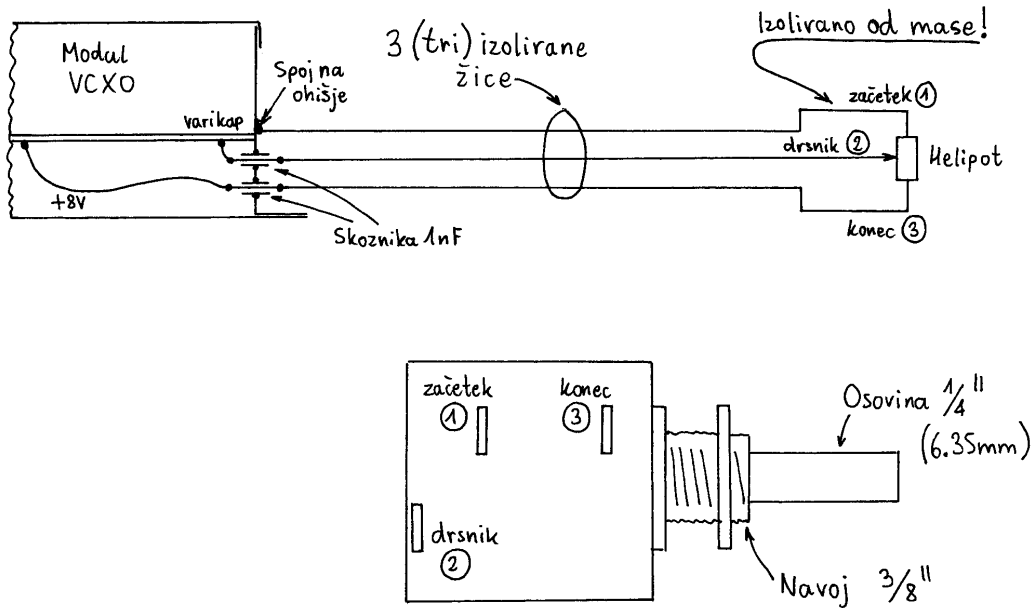
Seznam slik:

-----

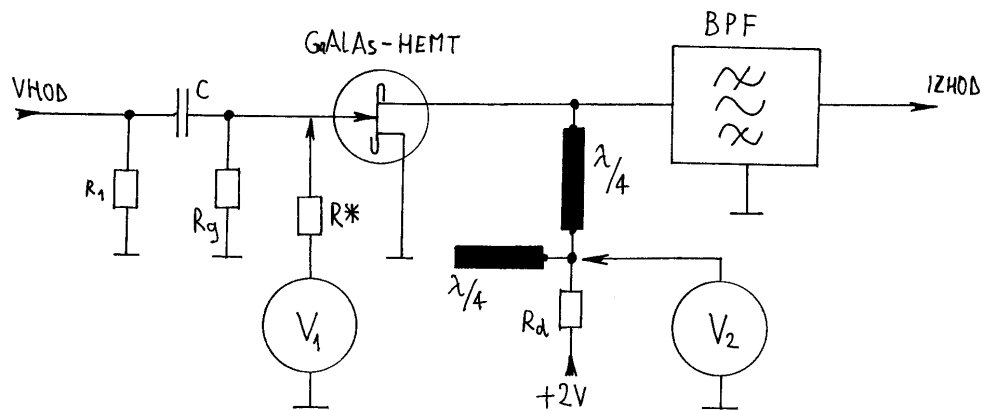
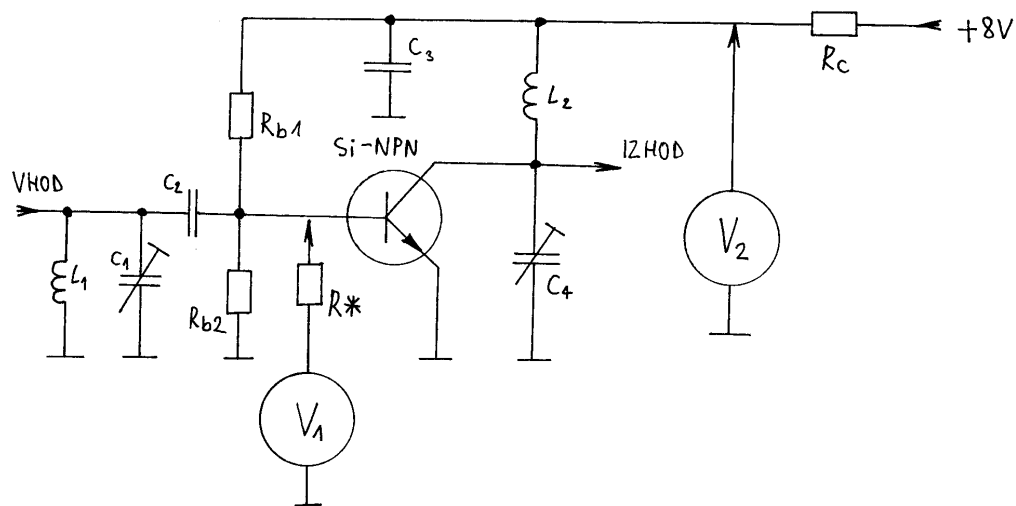
- Slika 1 - Navijanje in vgradnja tuljav L4 in L5.
- Slika 2 - Vezava Helipot potenciometra.
- Slika 3 - Uglaševanje množilnih stopenj.
- Slika 4 - Meritev jakosti oscilatorja v mešalniku.
- Slika 5 - Ozemljitev  $\lambda/4$  rezonatorjev.
- Slika 6 - Vgradnja in ozemljitev polprevodnikov.
- Slika 7 - Vgradnja mikrotrakaste tiskanine v okvir.
- Slika 8 - Priprava konca teflonskega kabelčka.
- Slika 9 - Vezava vtičnic napajanja in mikrofona/zvočnika.
- Slika 10 - Različne izvedbe SMA vtičnic.
- Slika 11 - Razredi delovanja izhodne stopnje oddajnika.



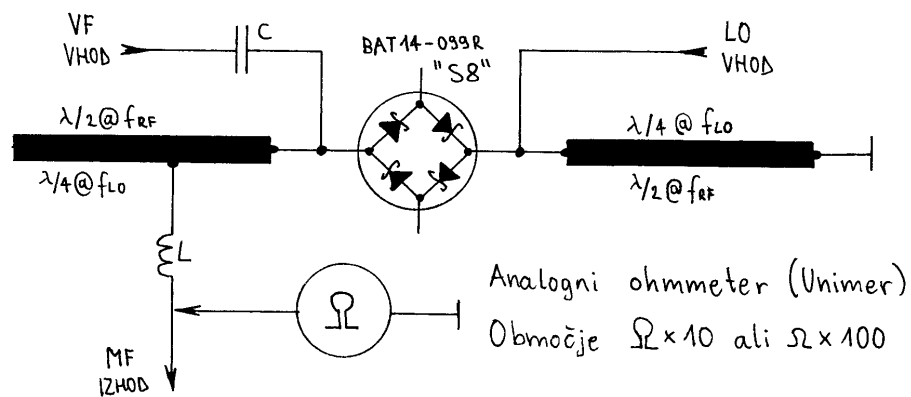
Slika 1 - Navijanje in vgradnja tuljav  $L_4$  in  $L_5$ .



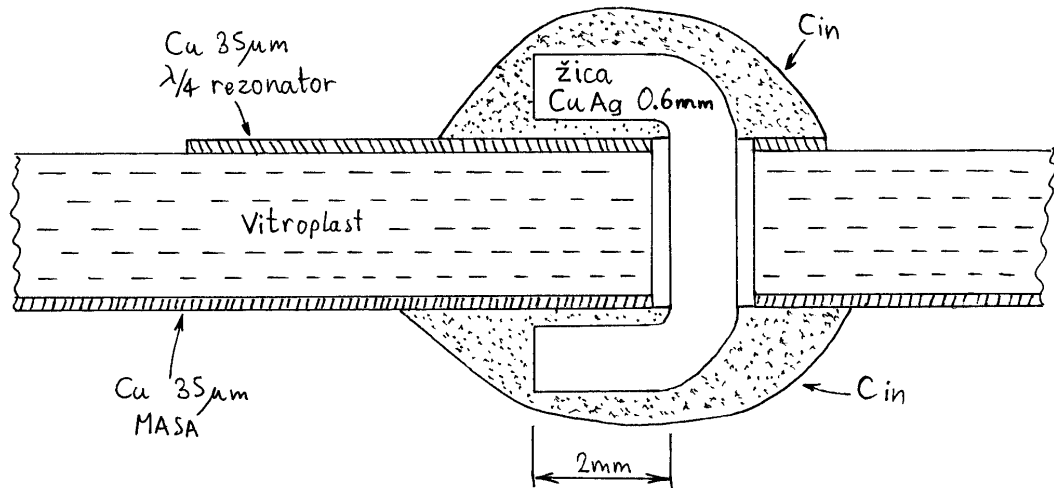
Slika 2 - Vezava Helipot potenciometra.



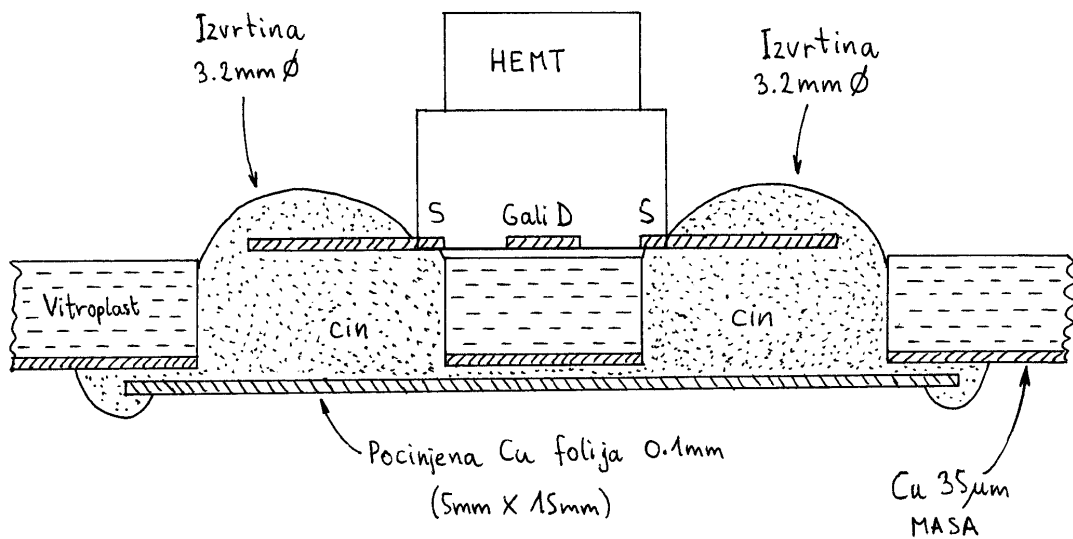
Slika 3 - Uglasaevanje mnozilnih stopenj.



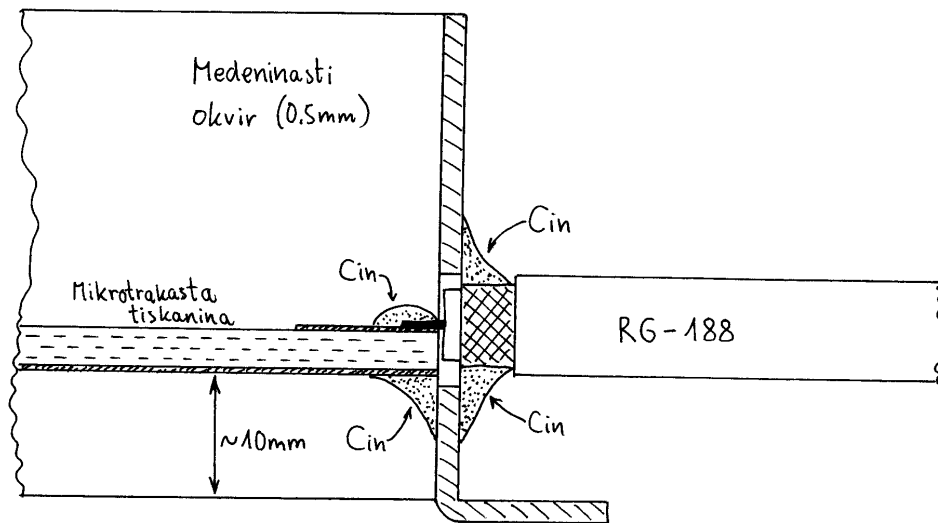
Slika 4 - Meritev jakosti oscilatorja v mešalniku.



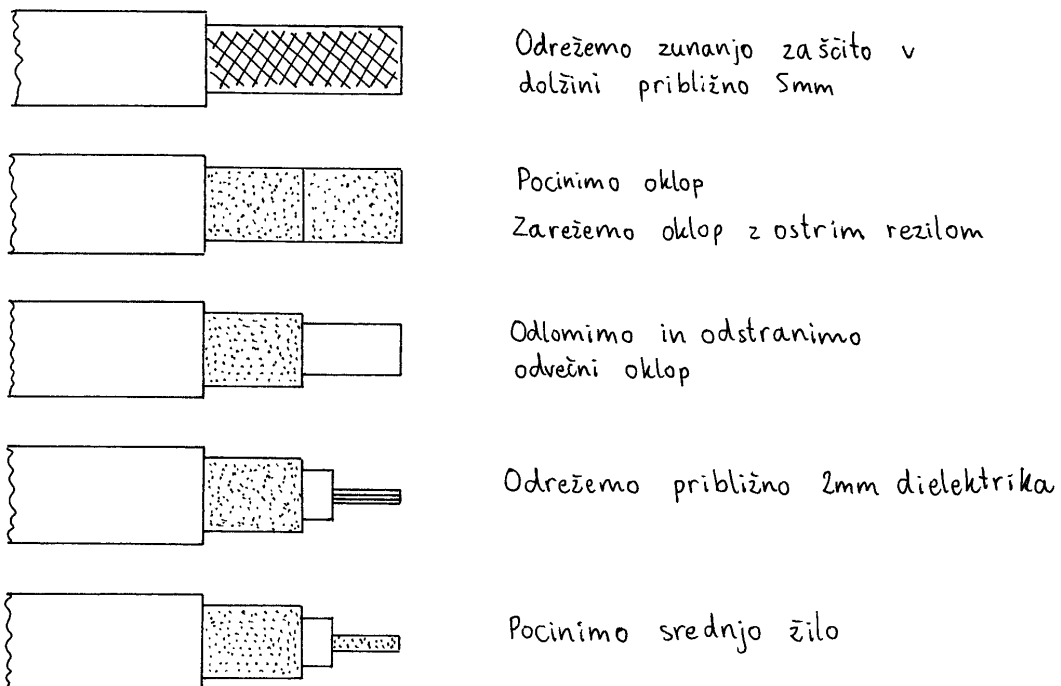
Slika 5 - Ozemljitev lambda/4 rezonatorjev.



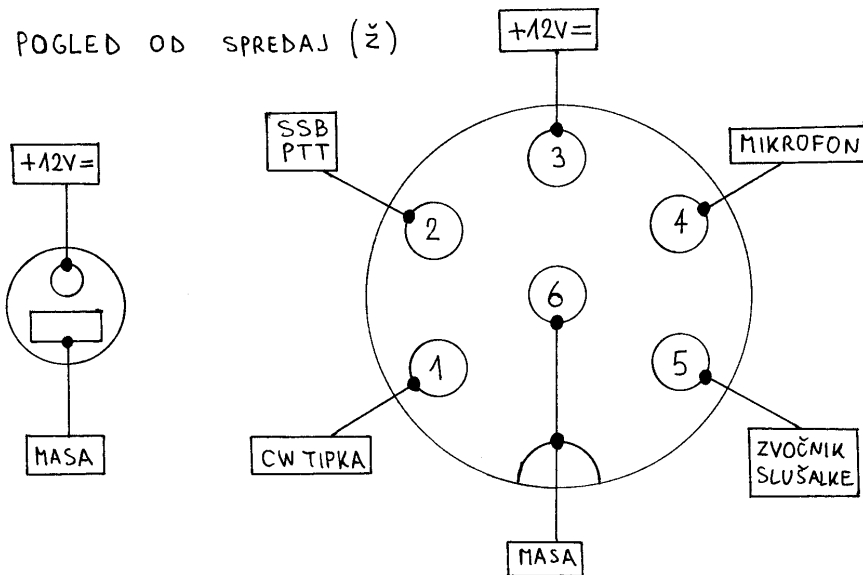
Slika 6 - Vgradnja in ozemljitev polprevodnikov.



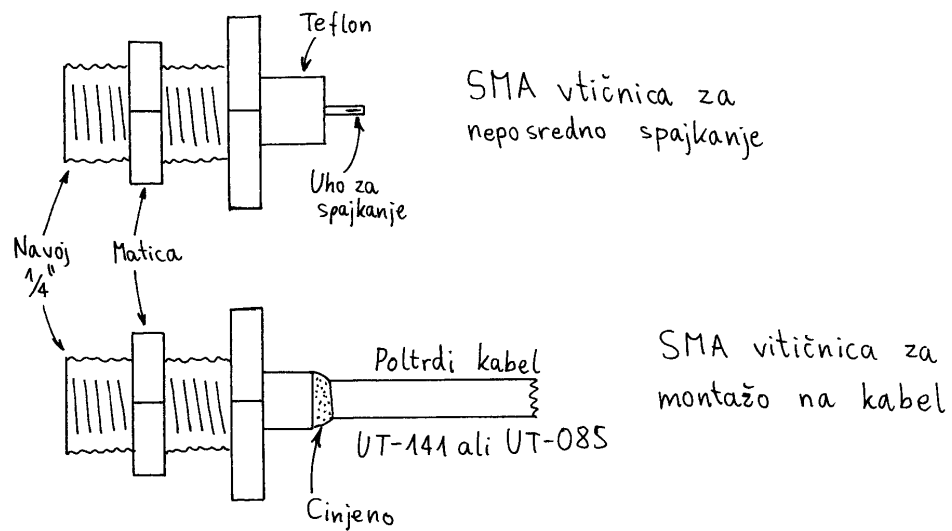
Slika 7 - Vgradnja mikrotrakaste tiskanine v okvir.



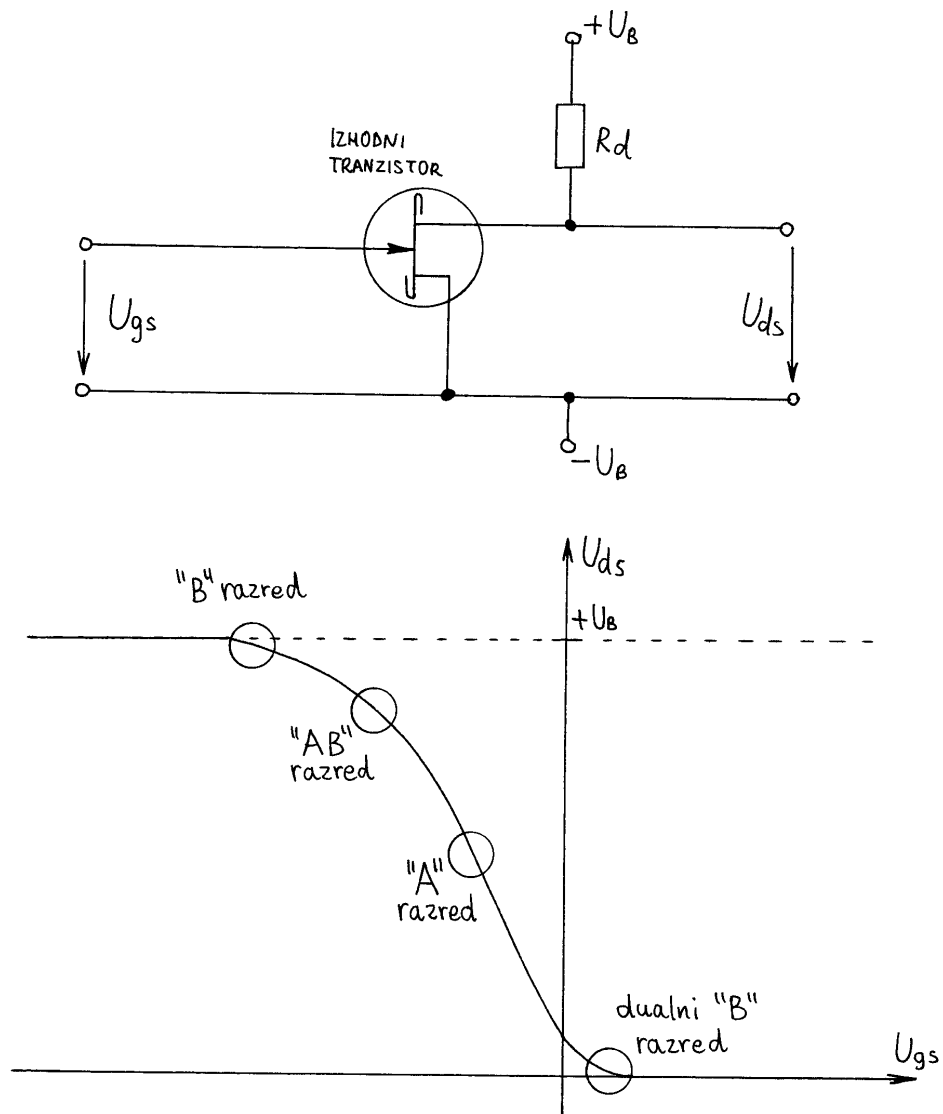
Slika 8 - Priprava konca teflonskega kabelčka.



Slika 9 - Vezava vtičnic napajanja in mikrofona/zvočnika.



Slika 10 - Različne izvedbe SMA vtičnic.



Slika 11 - Razredi delovanja izhodne stopnje oddajnika.