

# BPSK transverter za 2360MHz

Matjaž Vidmar, S53MV

## 1. Stare BPSK radijske postaje in novi mikrovalovni gradniki

Packet radio ni ena sama naprava, pač pa obširno omrežje, ki ga sestavljajo številni uporabniki in vozlišča. Pri razvoju in gradnji takšnih obširnih omrežij smo vezani na zgodovino. Prve BPSK radijske postaje [1] so leta 1995 sicer predstavljale pomembno prelomnico, megabitno hitrost prenosa in hkrati učinkovito modulacijo, a so se hkrati v celoti navezovalе na staro omrežje NBFM in WBFM radijskih postaj.

Danes se Ne-Brezhibni Protokol prav tako navezuje na številne obstoječe radijske postaje, antene, inštalacije, vozlišča, ki so bila nekoč zgrajena za AX.25. Hrbtenica omrežja je tudi danes še vedno v frekvenčnem pasu 2.3GHz (13cm), največkrat kar 2360MHz, povsem enako kot prve BPSK postaje.

Prav stare BPSK radijske postaje [1] kljub številnim izboljšavam [2] predstavljajo danes ozko grlo omrežja. Preklopni čas na oddajo določa zagon kristalnega oscilatorja na dobro milisekundo. Milisekunda je bila zanemarljivo malo za stare AX.25 SuperVozlje, ampak je grozljivo počasna za sodobne ATNCje in EATNCje.

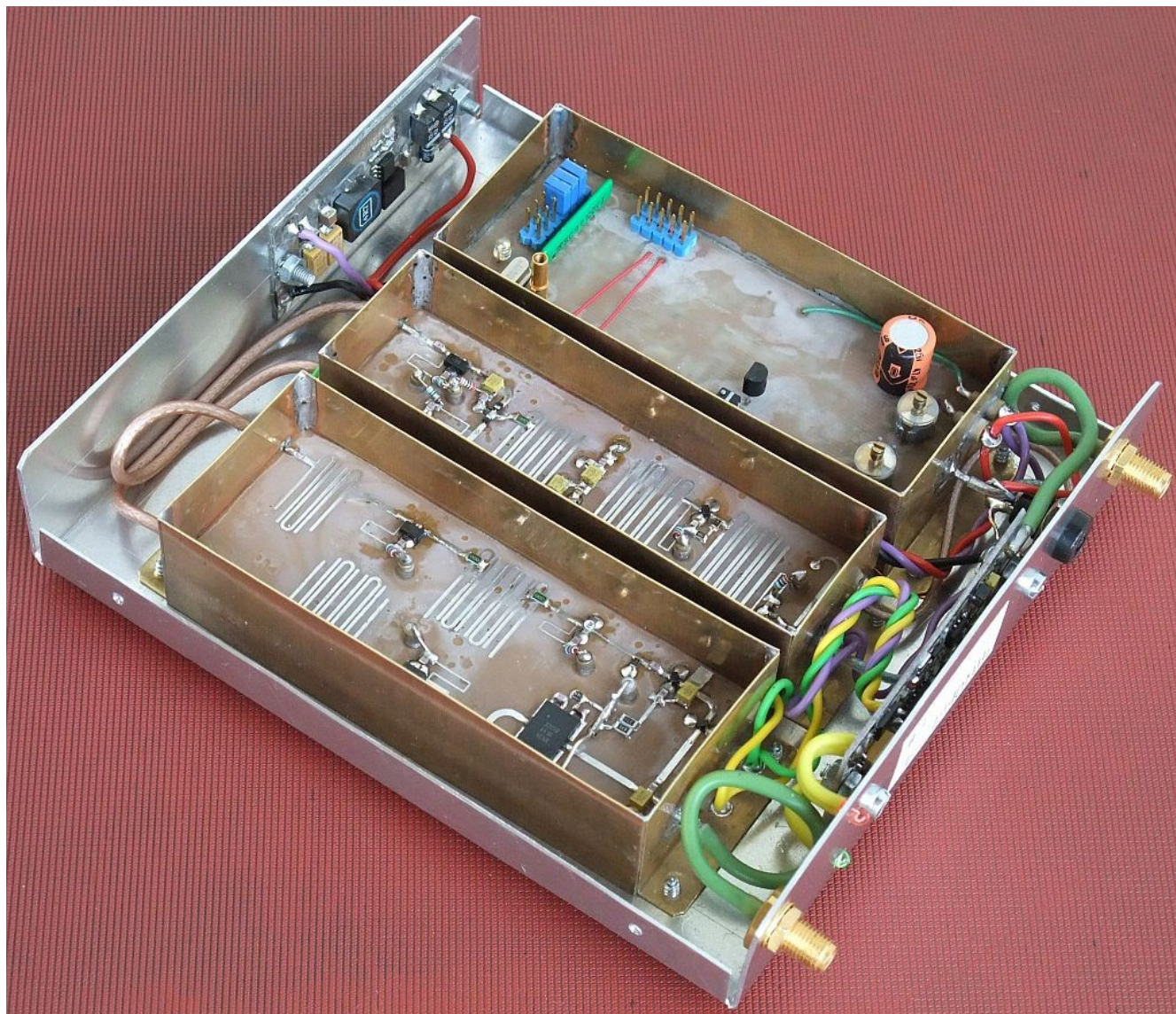
Na srečo postaje z ničelno medfrekvenco (ZIF) [3], [4] te omejitve ne poznajo in jih lahko posodobimo na raven opreme NBP. Vsi članki o megabitnih BPSK radijskih postajah so sicer zbrani v knjigi "Digitalni mostovi" [5], ki je dostopna v obliki PDF na spletu.

Moči oddajnikov in dobitki anten v frekvenčnem pasu 2.3GHz bi največkrat omogočali kaj več kot 1.2288Mbps. Predelava starih BPSK postaj [1] za drugačno bitno hitrost je silno nerodna. Višjo bitno hitrost je dosti lažje nastaviti v ZIF radijski postaji [3], [4]. EATNC sicer zmore vsaj 2Mbps, ATNC pa vsaj 2.5Mbps s smiselno rezervo.

Končno pestijo vse naše stare BPSK postaje zastareli gradniki: kje danes najti mešalne diode BAT14-099R in kje izhodni tranzistor CLY2? Povrhu je bil CLY2 vgrajen v zelo majhno, nestandardno ohišje MW6, pod katerim je na amatersko izdelanem tiskanem vezju rad popokal cin, da prihaja do prekinjajočih odpovedi delovanja na teflonski tiskanini prvih BPSK postaj [1]!

V članku "Mala BPSK radijska postaja za 420MHz" [6] sem razložil zasnovo radijske postaje z ločeno (zunanjo) visokofrekvenčno zunanjo enoto (transverterjem) in notranjo medfrekvenco z modemom za podatkovne zveze. Nič posebno novega, profesionalci to počnejo že vrsto let. Glede na potrebe po zamenjavi starajočih se in čedalje bolj izrabljenih BPSK radijskih postaj v našem omrežju je najbolj nujna nova visokofrekvenčna zunanja enota oziroma BPSK transverter za pas 2.3GHz (13cm, največkrat 2360MHz), ki jo bom opisal v tem

članku.



Na področju visokofrekvenčnih gradnikov za frekvenčni pas od 1GHz do 4GHz se je v zadnjih 20 letih zgodilo marsikaj. Najbolj na grobo povedano, velikoserijska proizvodnja mobilnih telefonov in pripadajočih baznih postaj je povzročila znaten padec cen in hkrati občuten dvig kakovosti izdelkov. Kar se polprevodnikov tiče, so preživele vse znane tehnologije kot silicij ali GaAs, pridružile pa so se jim še nove: SiGe, SiC, InGaP, GaN itd.

Pri tem so gradniki za mobilne telefone previsoko integrirani in preveč namenski, da bi jih lahko uporabili v amaterskih gradnjah. Povsem drugačni gradniki so se uveljavili za bazne postaje. Gradnike za bazne postaje lahko s pridom uporabimo v amaterskih gradnjah in poljubnih visokofrekvenčnih napravah. Poleg večjih izmer imajo gradniki za bazne postaje žal tudi večjo porabo električne energije.

Osnovni gradnik je verjetno MMIC ojačevalnik, za preproste ljudi Darlington dveh dveh bipolarnih tranzistorjev z vgrajeno povratno

vezavo, da sta vhod in izhod ojačevalnika zaključena na  $50\Omega$ . Takšen ojačevalnik ima med 10dB in 20dB ojačanja in pasovno širino med 1GHz in 10GHz odvisno od vrste polprevodnika in tehnologije izdelave.

Vgrajena povratna vezava preprečuje, da bi MMIC Darlington samo-osciliral ali drugače divjal v večini naših vezij. Idealni gradnik? Zagotovo ne, preprostost vezja plačamo s porabo energije! MMIC Darlington kuri dvakrat do petkrat več elektrike od Si NPN ali GaAsFETA v podobnem vezju. Povrhu upori povratne vezave povečujejo šum...

Silicijevi MMIC ojačevalniki izpred dveh desetletij s frekvenčno mejo 1GHz in ojačanjem manj kot 10dB so bili za amaterske gradnje skoraj neuporabni. SiGe in InGaP sta dvignila frekvenčno mejo, proizvajalci pa so po nerazumno dolgem oklevanju končno izbrali primerno SMD ohišje SOT-89. SOT-89 ni sicer prav nič novega, omogoča pa hkrati dobre visokofrekvenčne lastnosti in dobro odvajanje toplote.

Manj novosti je pri mešalnikih. Schottky diode rabijo nerodna simetrična vezja s transformatorji. Preprostejši in boljši so pasivni mešalniki z GaAsFETi oziroma HEMTi, ki jih lahko izdelamo sami oziroma kupimo v obliki integriranih vezij. Gilbert-cell mešalnik (slavni S042P) se sicer na veliko uporablja znotraj kompliciranih integriranih vezij, kot samostojen gradnik pa ni požel uspeha.

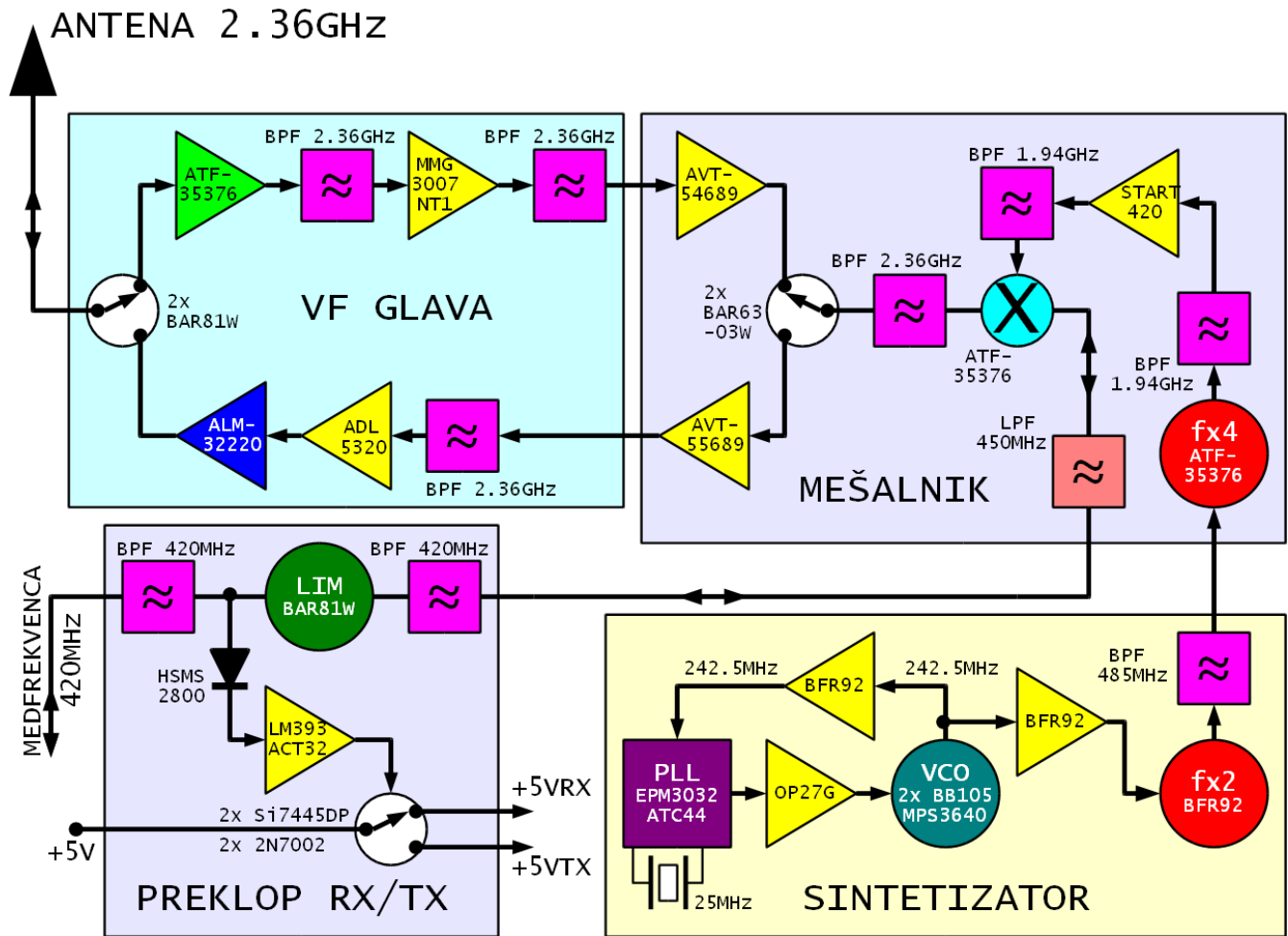
V antenskih preklopnikih so silicijeve PIN diode ponekod izpodrinila integrirana stikala z GaAsFETi. Integrirana stikala so sicer preprostejša za uporabo, so pa zelo omejena z visokofrekvenčno močjo. Za moči nad 10W niti danes silicijeve PIN diode še nimajo zamenjave. Kar se tiče vstavitvenega slabljenja in presluha med zelo različnimi tehnologijami ni večjih razlik.

V izhodnih stopnjah oddajnikov velikih moči se je končno po 60 letih našla zamenjava za slavno in trdoživo elektronko 2C39. Na frekvencah do 3GHz danes dajejo podobne moči do 100W in podobna ojačanja do 15dB silicijevi LDMOS tranzistorji (napajanje 28V), na še višjih frekvencah pa HEMTi iz GaN (galijev nitrid) z napajanjem do 50V. Za manjše moči do nekaj W proizvajalci ponujajo celo množico integriranih vezij v najrazličnejših polprevodniških tehnologijah.

Osnovni gradnik vsakega transverterja je mešalnik. V radijskih postajah, ki izmenično sprejemajo ali oddajajo na isti frekvenci, sprejemna in oddajna veriga načeloma potrebujeta povsem enak mešalnik, ki je lahko tudi skupen. Pasivni mešalniki z diodami oziroma poljskimi tranzistorji so recipročna vezja, da lahko isti mešalnik preprosto uporabimo na sprejemu in na oddaji.

Sodobne gradnike in pripadajoča načela gradnje sem skušal uporabiti tudi v opisani visokofrekvenčni zunanji enoti za 13cm. Skupni HEMT mešalnik za sprejem in oddajo v opisanem BPSK transverterju (ATF-35376) izkorišča isti lokalni oscilator. Tudi frekvenčna pasovna sita na visokofrekvenčni in medfrekvenčni strani so lahko skupna. Razlika je seveda v smeri ojačanja signalov.

Sprejemnik potrebuje nizkošumni ojačevalnik. V prvi stopnji je HEMT (ATF-35376) še vedno najboljša izbira, sledi veriga MMICjev (MMG3007NT1 in AVT-54689). Oddajna veriga MMICjev (AVT-55689 in ADL5320) se zaključuje z močnostnim ojačevalnikom (ALM-32220). Preklapljanje visokofrekvenčnih signalov je povsod izvedeno s silicijevimi PIN diodami: dve BAR81W pri anteni in dve BAR63-03W pri mešalniku.



kot lokalni oscilator sem uporabil kar PLL sintetizator, ki sem ga razvil in temeljito preizkusil v BPSK radijski postaji za 430MHz [7]. Vezje sintetizatorja je predelano na nekoliko višjo izhodno frekvenco 485MHz. Sintetizatorju sledi še množilnik x4 (ATF-35376, START420 in pripadajoča sita), ki proizvaja lokalni oscilator za mešanje 1940MHz.

Končno potrebuje zunanja visokofrekvenčna enota še nekaj dodatnih vezij, da jo lahko preprosto povežemo po enem samem koaksialnem kablu do notranje medfrekvenca z modemom. Na prvem mestu je tu samodejni preklop sprejem/oddaja, ko zunanja enota zazna oddajni signal medfrekvenca. Jakost oddajnega signala je treba prilagoditi mešalniku v primeru odstopanj jakosti medfrekvenca oziroma spremenljivih izgub v povezovalnem kablu. Za BPSK signal s skoraj konstantno ovojnico je omejevalnik s PIN diodo (BAR81W) preprosta in učinkovita rešitev.



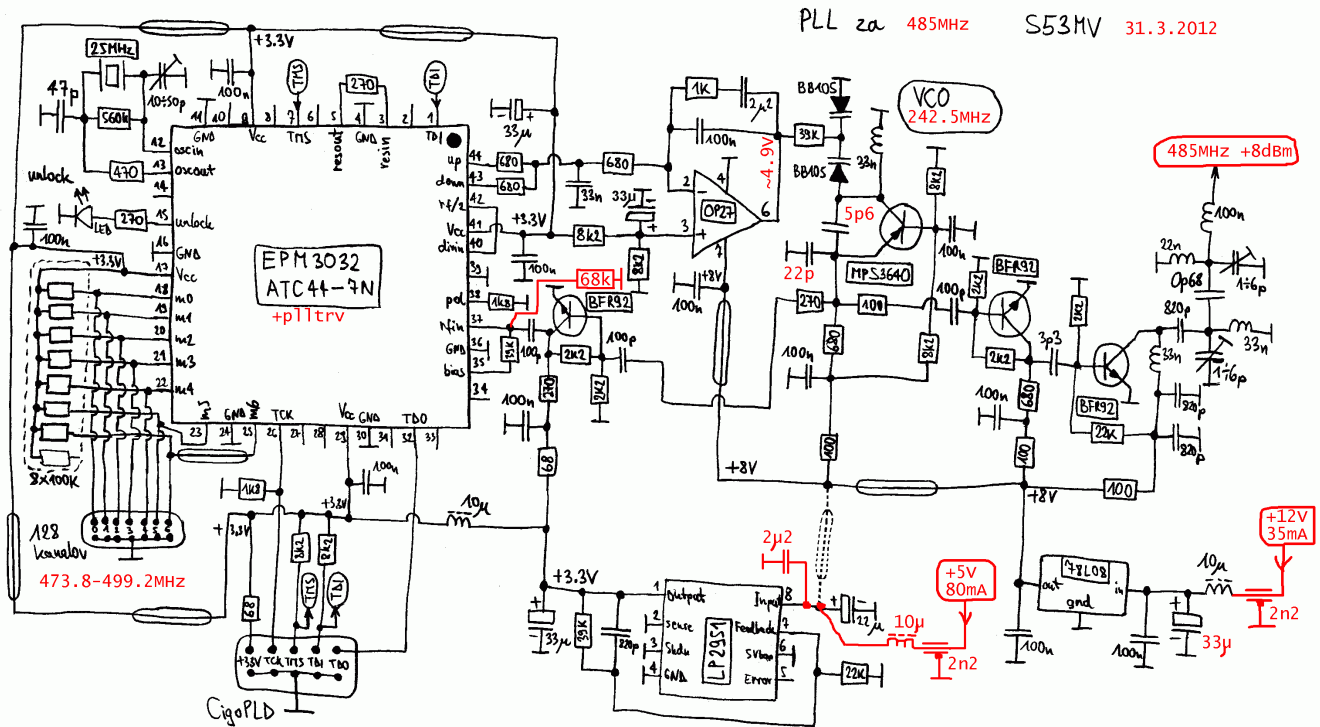
Celotno vezje BPSK transverterja za 2360MHz vsebuje pet enot. Mešalnik in visokofrekvenčna glava sta izdelana kot mikrotrakasta vezja na dvostranskem FR4 debeline 0.6mm. Sintetizator, preklop RX/TX in stikalni napajalnik, ki ni prikazan na osnovnem načrtu, so izdelani na treh običajnih enostranskih tiskanih vezjih.

Ojačanje sprejemne verige BPSK transverterja za 2360MHz se giblje med 25dB in 30dB vključno z izgubami antenskega preklopa, izgubami številnih pasovnih sit, slabljenjem mešalnika in izgubami omejevalnika na izhodu 420MHz. Oddajnik proizvede na antenskem priključku okoli 2W (+33dBm) moči na 2360MHz. Pri tem potrebuje krmiljenje z močjo med 20mw (+13dBm) in 200mw (+23dBm) na medfrekvenca 420MHz.

Zunanje napajanje BPSK transverterja je nazivno +12V. Večina vezij v notranjosti se napaja s +5V iz stikalnega napajalnika. Edino del frekvenčnega sintetizatorja potrebuje +8V iz lastnega napajalnika. Kretnica za napajanje po istem medfrekvenčnem kablu namenoma ni vgrajena, da lahko v medfrekvenčni vod vstavljamo slabilce oziroma sklopnike za več različnih medfrekvenčnih enot. Kretnico za napajanje po medfrekvenčnem kablu lahko seveda dogradimo zunaj.

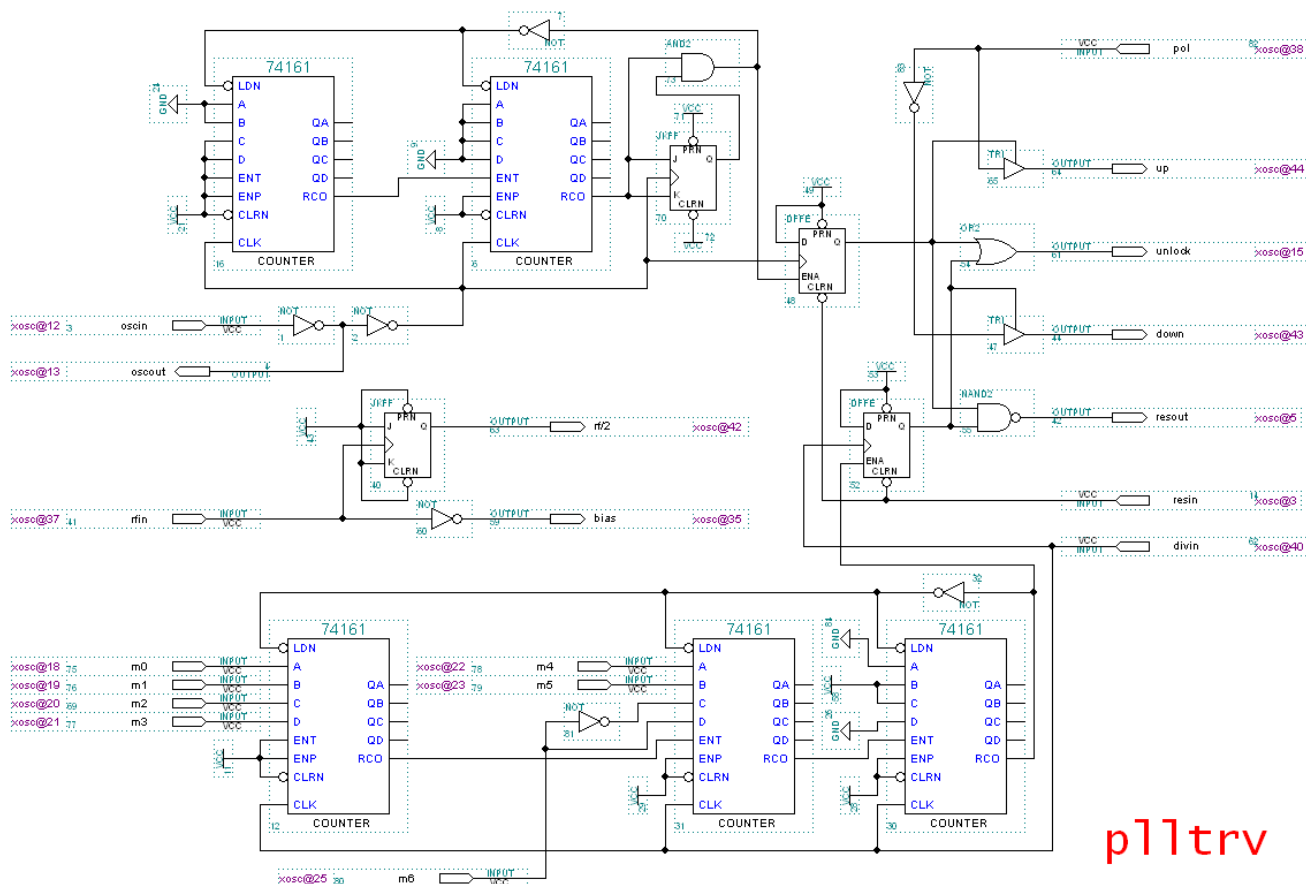
## 2. PLL frekvenčni sintetizator

PLL frekvenčni sintetizator je skoraj popolnoma enak tistemu v izvorni inačici BPSK radijske postaje za 430MHz [7]. Načrt vsebuje le nekaj manjših sprememb za delovanje na nekoliko višji frekvenci okoli 485MHz. Množilnik x4 na 1940MHz sledi v enoti mešalnika. vse spremembe so vpisane z rdečo barvo:



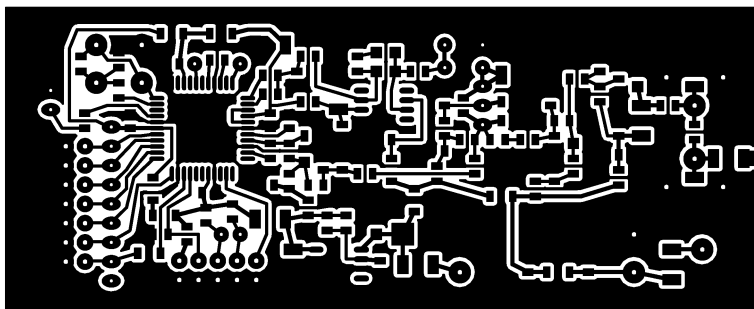
Najpomembnejša sprememba je drugačen modulo deljenja PLLja zaradi višje frekvence delovanja. V programirljivo logiko EPM3032ATC44 torej vpišemo program "plltrv" s programsko opremo proizvajalca Altera "MAX+plusII" in vmesnikom "CigoPLD", ki omogoča delovanje sintetizatorja v frekvenčnem pasu od 473.8MHz do 499.2MHz. Dodatno popravimo frekvenčno območje VCOja s kondenzatorji 5.6pF in 22pF, da bo enosmerna napetost na varikap diodah čim bližja 4V pri delovanju VCOja na osrednji frekvenci 242.5MHz.

Programirljivo logiko EPM3032ATC44 priporočam vsaj različico 7ns, boljše 4ns! Tudi najhitrejša različica EPM3032ATC44-4 ima na frekvencah nad 240MHz težave. Vhodna stopnja sicer dela odlično, prav tako jedrna logika, težave so s prepočasnimi izhodi. Nad 240MHz povratna vezava za enosmerno delovno točko (upor 39kΩ med nogicama 35 in 37) ne dela več pravilno: nesimetrija izhodne stopnje nastavi previsoko napetost. Preprost protiukrep je dodatni upor 68kΩ iz nogice 37 na maso. Pozor, vrednost tega upora je odvisna od frekvenčnega področja, ki ga pokriva VCO!



plltrv

Dodatna predelava sta dve ločeni zunanji napajalni napetosti +5V in +12V, ki jih enota sintetizatorja v svoji notranjosti stabilizira na +3.3V in +8V. Ločeni napajanja omogočata nižjo skupno porabo, ko je v transverterju na razpolago učinkovit skupni stikalni napajalnik iz +12V na +5V. Predelavam je prirejeno novo tiskano vezje, ki sem ga že predstavil v opisu [6]:

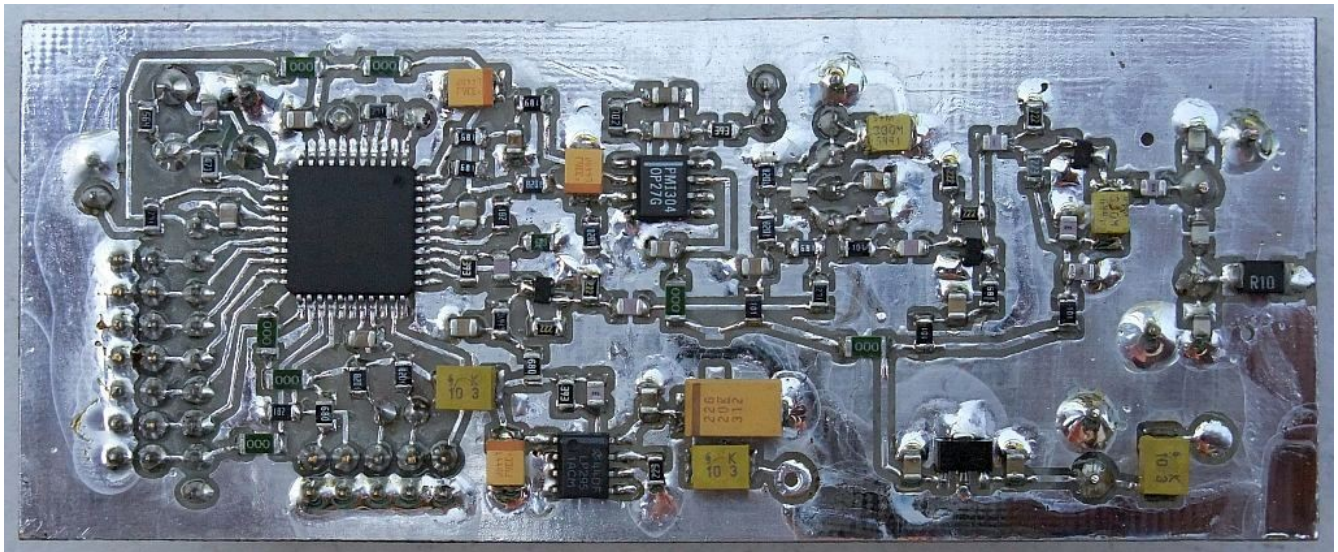
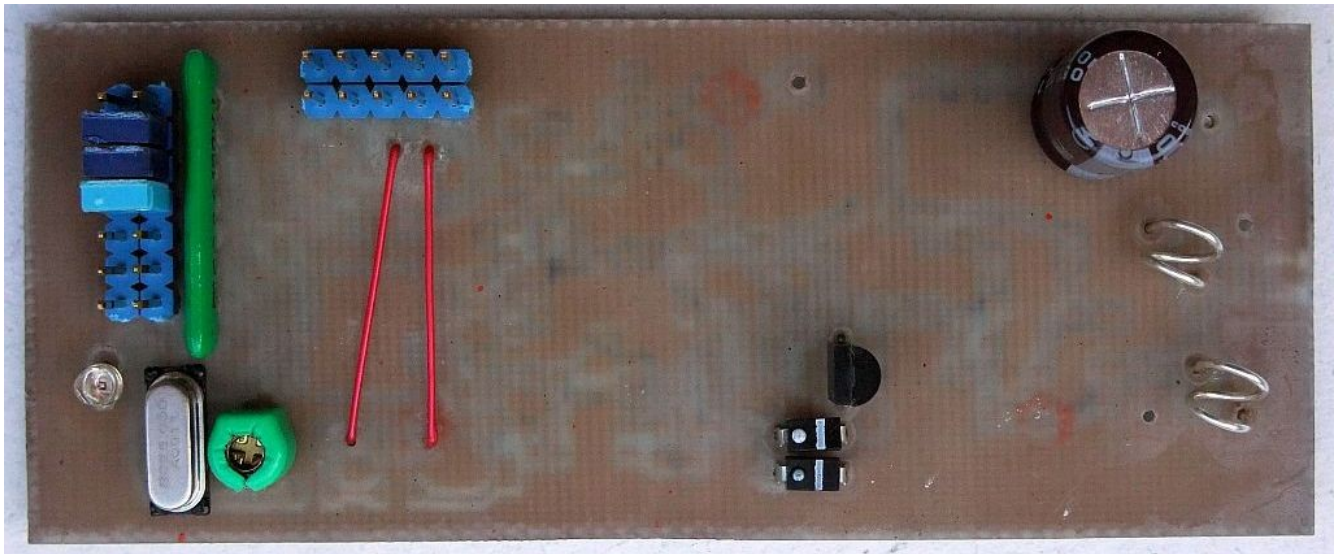


Kljub temu, da se bo sintetizator za 485MHz uporabljal v transverterju, priporočam dobro oklapljanje celotnega PLLja kot v prvotni inačici radijske postaje. Neželjena frekvenčna modulacija zaradi nezadostnega oklapljanja je zelo zahrbtna napaka, ki jo je težko odkriti in še težje zdraviti! Torej tiskano vezje zacimimo v okvir iz 0.5mm medenine. Okvir zapremo z dvema pokrovoma, gornji in spodnji, iz 0.2mm bakra. Napajanje preko dveh kondenzatorjev skozi skozniki. Izhod po teflonskem kabelčku do enote mešalnika.





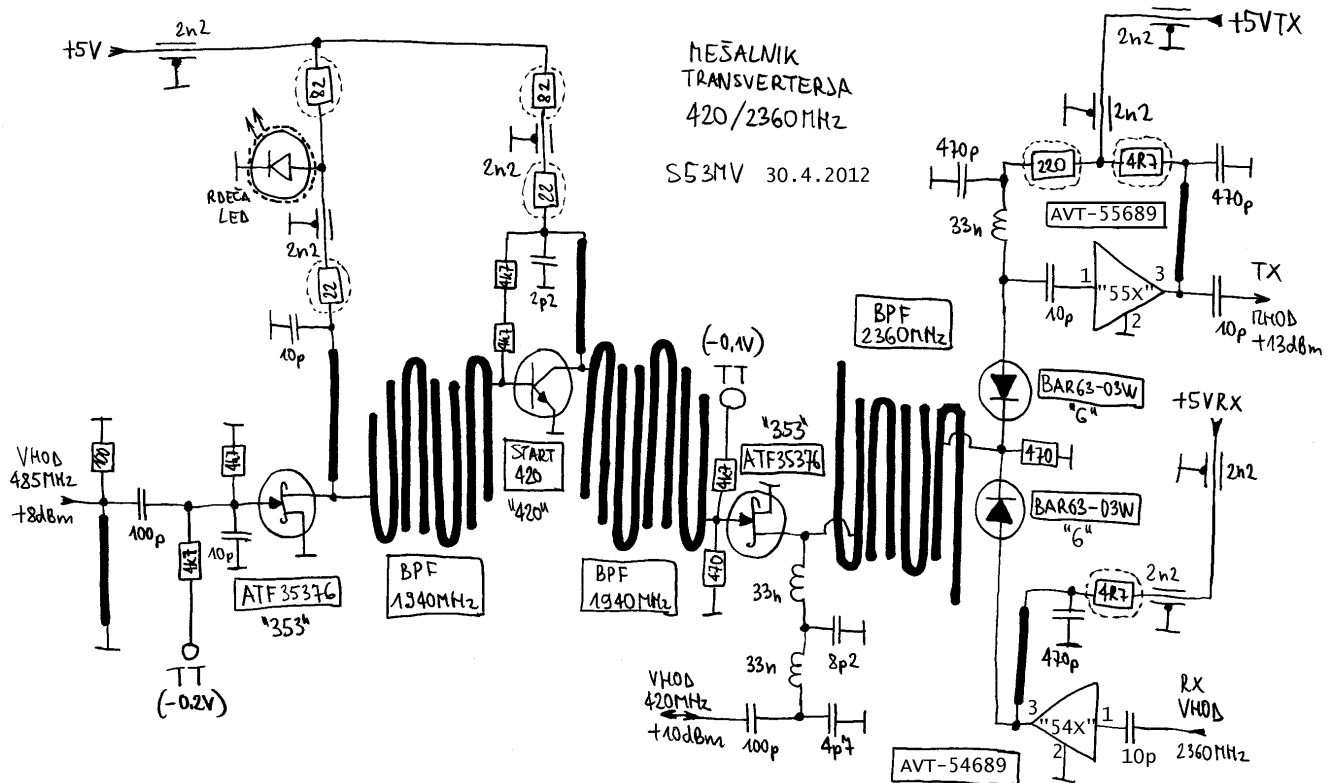




Obe inačici PLL sintetizatorja, s kapacitivnimi trimerji in z raztegljivimi tuljavami, dosejata enako izhodno moč okoli +8dBm na frekvenci 485MHz. V obeh inačicah znaša dušenje vhodne frekvence množilnika 242.5MHz okoli 50dB. Pri gradnji katerekoli inačice seveda veljajo vsa navodila iz opisa izvorne BPSK radijske postaje za 430MHz [7].

### 3. Mešalnik transverterja 420MHz/2360MHz

Srce transverterja je mešalnik. Za mešanje iz 420MHz na 2360MHz na oddaji oziroma obratno na sprejemu potrebujemo lokalni oscilator 1940MHz. Enota mešalnika vsebuje množilnik iz 485MHz na 1940MHz, skupni mešalnik za sprejem in oddajo, pripadajoča pasovna sita ter po eno visokofrekvenčno stopnjo sprejemnika (zadnja) in oddajnika (prva):



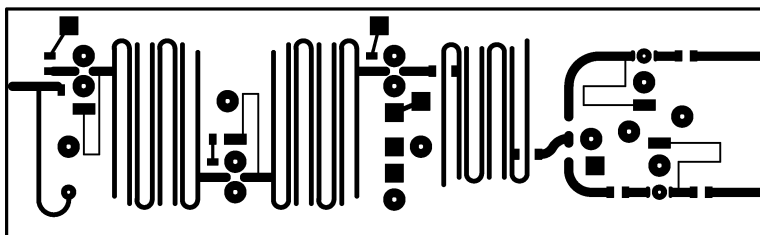
Kot množilnik x4 je uporabljen HEMT ATF-35376. Sledita dve pasovni siti na 1940MHz. Ker znaša vstavitevno slabljenje vsakega sita posebej okoli 5dB, je potrebna še ojačevalna stopnja s tranzistorjem START420. Obe pasovni siti za 1940MHz sta načrtovani za nesimetričen odziv, da čimbolj dušita neželeni peti harmonik lokalnega oscilatorja na 2425MHz. Signal lokalnega oscilatorja na 1940MHz mora biti zadosti močen (okoli 3mW ali +5dBm), da krmili HEMT mešalnika v nelinearno področje delovanja.

Mešalnik s HEMTOM ATF-35376 je popolnoma pasiven, to se pravi brez enosmernega napajanja! HEMT se obnaša kot krmiljeno stikalo. Medfrekvenco 420MHz izlušči preprosto nizkoprepustno sito s SMD tuljavami in kondenzatorji. Visokofrekvenčni signal na 2360MHz izlušči pasovno sito, ki je namenoma načrtovano za nesimetrični odziv tako, da čimbolj duši signal lokalnega oscilatorja na 1940MHz. Žal takšno sito zahteva dva SMD mostička velikosti 1206 na tiskanini!

Zadnja ojačevalna stopnja sprejemnika je izvedena z InGaP MMIC ojačevalnikom AVT-54689, ki daje dobrih 15dB ojačanja. Podoben, a

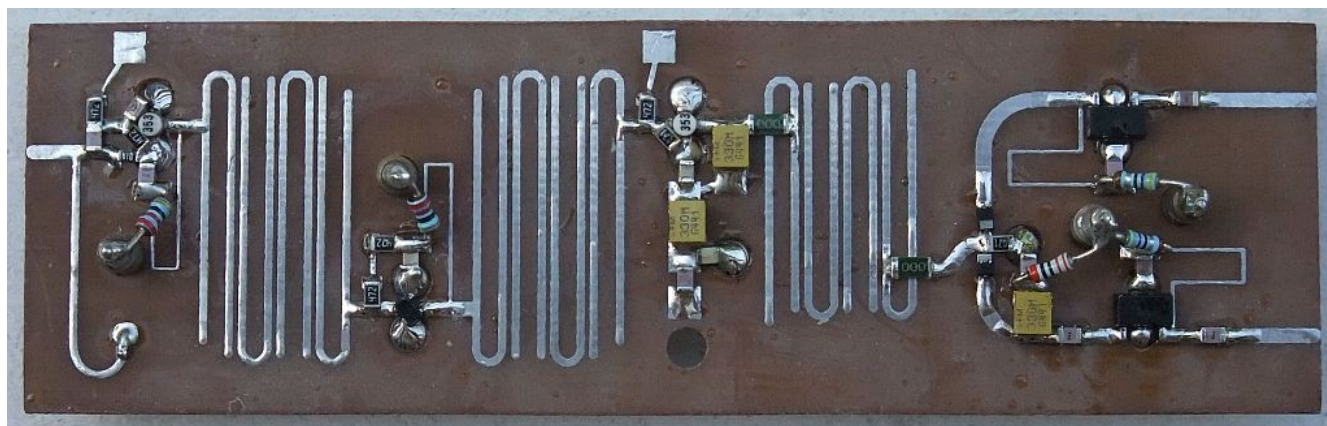


nekoliko močnejši MMIC ojačevalnik AVT-55689 je uporabljen v prvi stopnji oddajne verige in daje na svojem izhodu okoli 20mW (+13dBm). Preklop sprejem/oddaja je izveden z dvema PIN diodama BAR63-03W. Ojačanje sprejemne in oddajne verige sta sicer dovolj visoki, da preklopnik niti ni nujno potreben. Zadoščala bi vzporedna vezava izhoda sprejemne verige in vhoda oddajne verige preko primernega sklopnika.



Mešalnik transverterja 420MHz/2360MHz je izveden v tehniki mikrotrakastih vodov na podlagi FR4 nazivne debeline 0.6mm z izmerami 30mmX100mm. Prikazana je samo gornja stran tiskanega vezja, saj spodnja stran ni jedkana. Uporabljeni laminat je imel nanos bakra 17.5 $\mu$ m na obeh straneh. Izmerjena debelina golega laminata je malo večja od 550 $\mu$ m.

Razen uporabljenega laminata je ponovljivost še najbolj odvisna od izvedbe povezav na maso na drugi strani tiskanine. Vsa pasovna sita so zato namenoma načrtovana tako, da takšnih "via" povezav nimajo! Polprevodniki so ozemljeni preko izvrtin premera 2mm oziroma 3.2mm. Na strani mase izvrtine najprej pokrijemo z 0.1mm debelo, pocinjeno bakreno pločevino, luknjice napolnimo s cinom in šele nazadnje zacinjimo polprevodnik. Vhodna tuljava množilnika je ozemljena s koščkom bakrene žice premera 0.6mm.



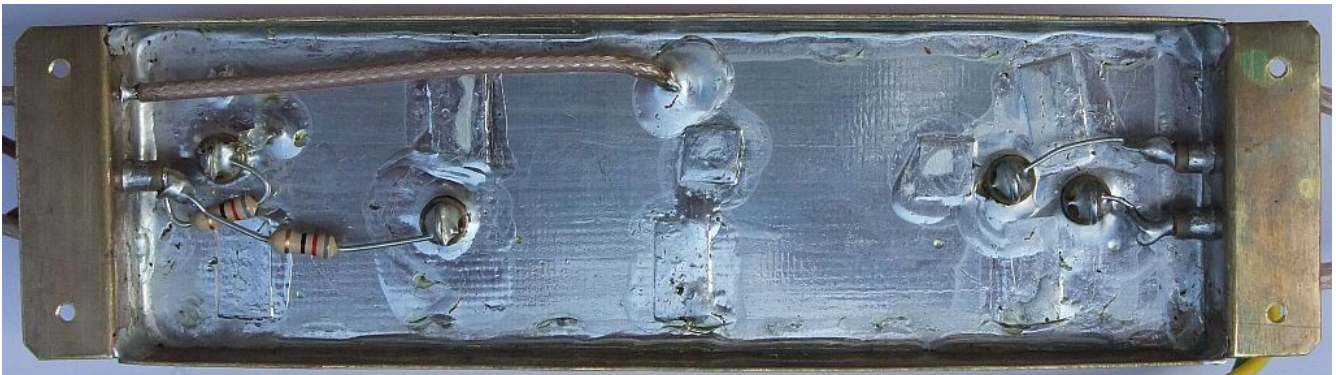
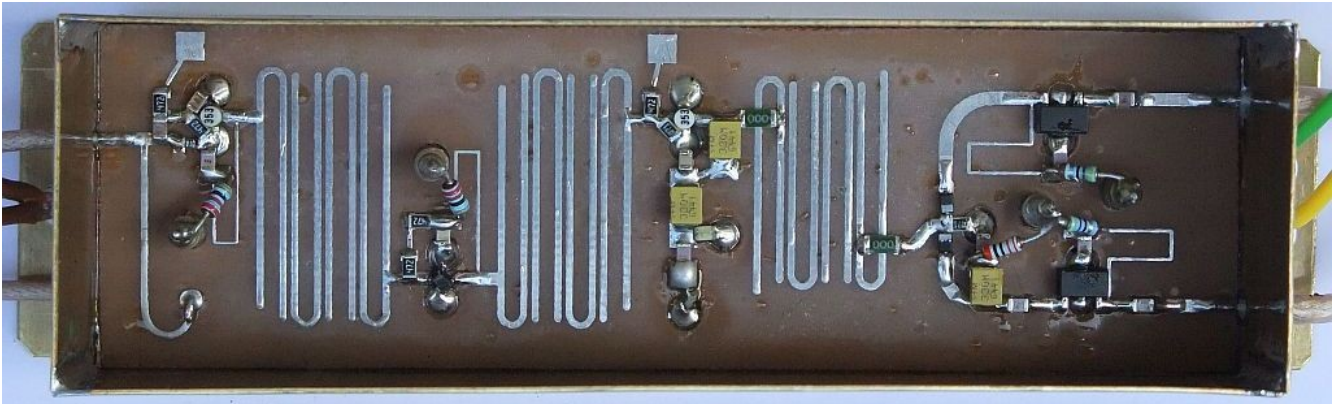
ATF-35376 lahko zamenjamo s katerikoli HEMT-om, ki ima  $I_{dss}$  med 20mA in 30mA. Uporabni so skoraj vsi HEMTi iz starih SAT-TV konverterjev, tudi v plastičnih ohišjih. Pravilno raven signalov pomerimo kot enosmerno napetost na dveh testnih točkah, saj mora za nelinearno delovanje HEMT-a Schottky spoj GS (vrata-izvor) tudi usmerjati.

START420 je samo ponaredek bolj znanega tranzistorja BFP420. Oba MMIC ojačevalnika lahko zamenjamo s številnimi drugimi podobnimi



izdelki v enakem ohišju SOT-89. Pri MMIC ojačevalnikih pazimo na pravilen delovni tok in pravilno napajalno napetost. Če InGaP ojačevalnike zamenjamo s SiGe ojačevalniki, moramo obvezno povečati zaporedni upor v napajanju, saj SiGe ojačevalniki delujejo pri nižjih napetostih!

Ko smo preverili delovanje množilne verige in mešalnika, mikrotrakasto vezje vgradimo v okvir iz medeninaste pločevine. Ravnina mase mikrotrakastega vezja bo delovala tudi kot spodnja stranica oklopa. Gornji oklop bo dodaten pokrovček iz tanke bakrene pločevine. Oblika mešalnika je namenoma podolgovata, da se izognemo resonancam ohišja.



Pri tem pazimo na pravilno spajkanje teflonskih koaksialnih kabelčkov. Nepravilna oziroma nemarna vgradnja kabelčkov zagotavlja nedelovanje transverterja!



ojačevalniki za 2.4GHz je razmeroma veliko ohišje. Ohišje ALM-32220 lahko odvaja več kot 8W toplote! Ohišja vseh drugih polprevodnikov so dosti manjša. Obljubljeno moč sicer lahko proizvedejo, vendar ne za dolgo časa, saj so namenjeni le pulznemu delovanju oziroma delovanju v časovnem multipleksu. Po drugi strani je ALM-32220 povsem brezskrbno 100% časa na oddaji!

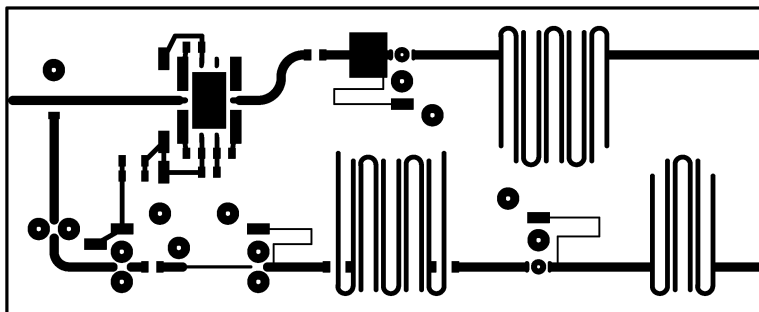
ALM-32220 se običajno uporablja v razredu "A" zaradi zahtev profesionalcev za visoko linearnost. V opisanem transverterju je delovna točka ALM-32220 postavljena v razred "AB" z uporom  $470\Omega$  na priključku 20, kar znižuje mirovni tok na dobrih 300mA in zmanjšuje segrevanje celotnega transverterja. Končno se je v praksi ALM-32220 izkazal kot stabilen in zanesljiv gradnik.

ALM-32220 je hkrati tudi del antenskega preklopnika. Na sprejemu je izhodna impedanca ALM-32220 v odsotnosti napajanja povsem jalova. Mikrotrakasti vod primerne dolžine preslika to impedanco v odprte sponke na spojišču sprejemnika. Obratno je treba na oddaji še vedno zaščititi vhod sprejemnika pred močjo oddajnika. Z upoštevanjem izgub vseh gradnikov in tiskanega vezja ostane okoli 2W moči na antenskem priključku oziroma 6..7dB več od tistega, kar zmore CLY2.

Načeloma bi za zaščito sprejemnika zadoščala ena BAR81W, ki vključena zagotavlja 26dB slabljenja. To pomeni, da od 2W oddajnika ostane 5mW na vhodu sprejemnika. Ker je prag poškodbe HEMTa okoli 10mW, sem se odločil za zaporedno vezavo dveh stikal z dvema diodama BAR81W. Dodatna dioda prinese dodatnih 0.7dB slabljenja, ampak v resničnem svetu brez slabljenja ne gre!

Rešitev z dvema BAR81W se mi zdi smiselna glede na zahteve načrtovanja transverterja. Niti antenska stikala v drugih tehnologijah (GaAsFET) niso kaj dosti boljša. Radioamaterskim gobcem brez možganov je treba takoj povedati, da samo koaksialni kabli do najboljšega koaksialnega releja v naši galaksiji izgubijo več!

Sprejemni ojačevalnik ima v prvi stopnji HEMT ATF-35376 in v drugi stopnji InGaP MMIC ojačevalnik MMG3007NT1. Vsaka stopnja sprejemne verige daje okoli 15dB ojačanja. Skupno slabljenje obeh pasovnih sit je okoli 8dB. V drugo stopnjo je vgrajen MMIC ojačevalnik, ker se je v prvih dveh prototipih ojačevalnik s si NPN tranzistorjem START420 izkazal nestabilen. Ojačevalnik MMG3007NT1 je bil izbran predvsem zaradi manjše porabe.

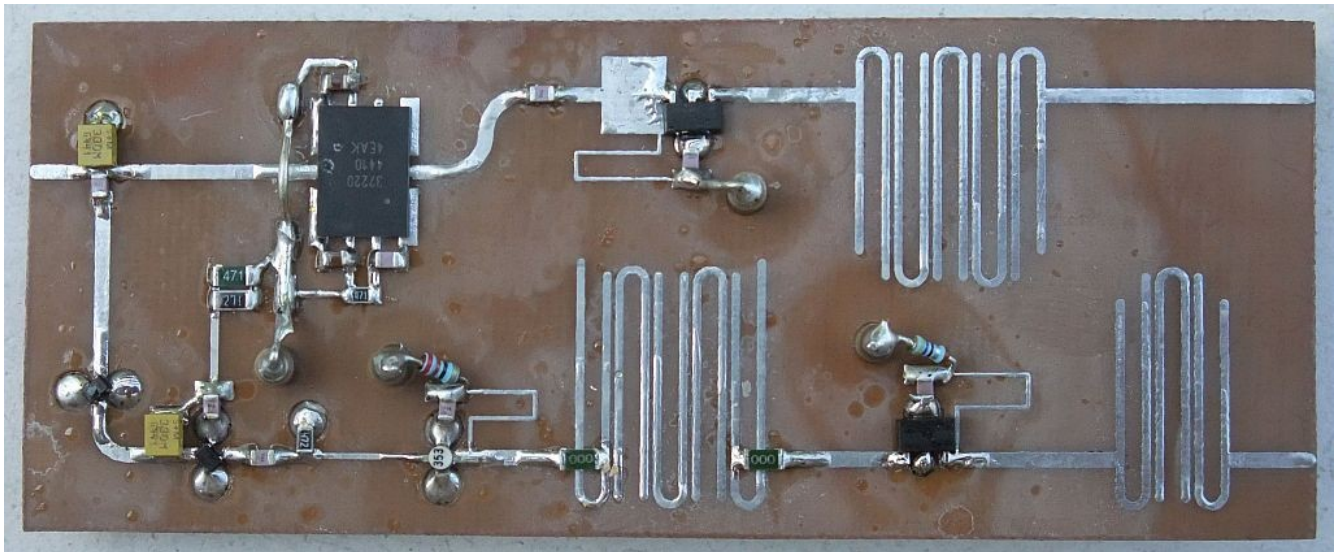


Visokofrekvenčna glava je izdelana na mikrotrakastem tiskanem vezju z izmerami 40mmX100mm. Podlaga je enaka kot v mešalniku: FR4

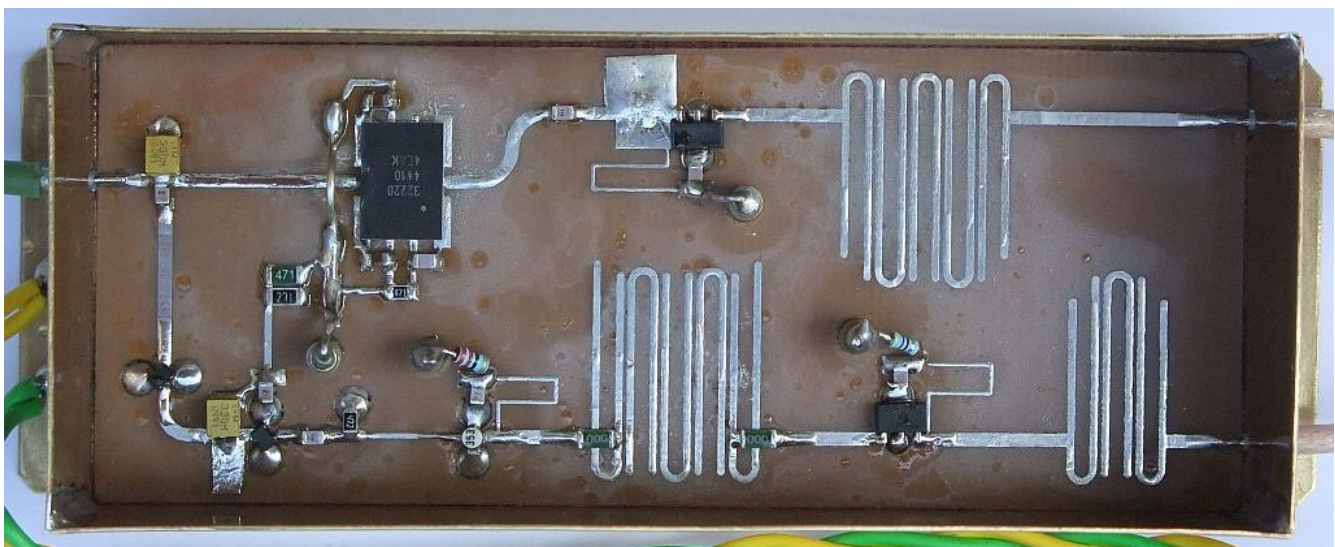


debeline 0.6mm z dvostranskim nanosom bakra 17.5 $\mu$ m. Malosignalni polprevodniki so ozemljeni enako kot v mešalniku skozi izvrtine premera 2mm ali 3.2mm in 0.1mm debelo pocinjeno bakreno pločevino na drugi strani. Prvo sito sprejemnika zahteva dva SMD mostička 1206. ALM-32220 potrebuje še zračni mostiček za napajanje.

Vgradnja ALM-32220 je bolj zahtevna zaradi hlajenja. v tiskanem vezju je treba najprej izrezkati označeno pravokotno odprtino. Nato na strani mase tiskanega vezja zacimo košček 22mmx30mm pocinjene bakrene pločevine debeline 0.2mm, ki ima prav tako izrezano pravokotno odprtino. Potem natančno nastavimo ALM-32220 in zacimo obrobne priključke s pomočjo obilice stearina. Končno zapolnimo pravokotno luknjo pod ALM-32220 s cinom.

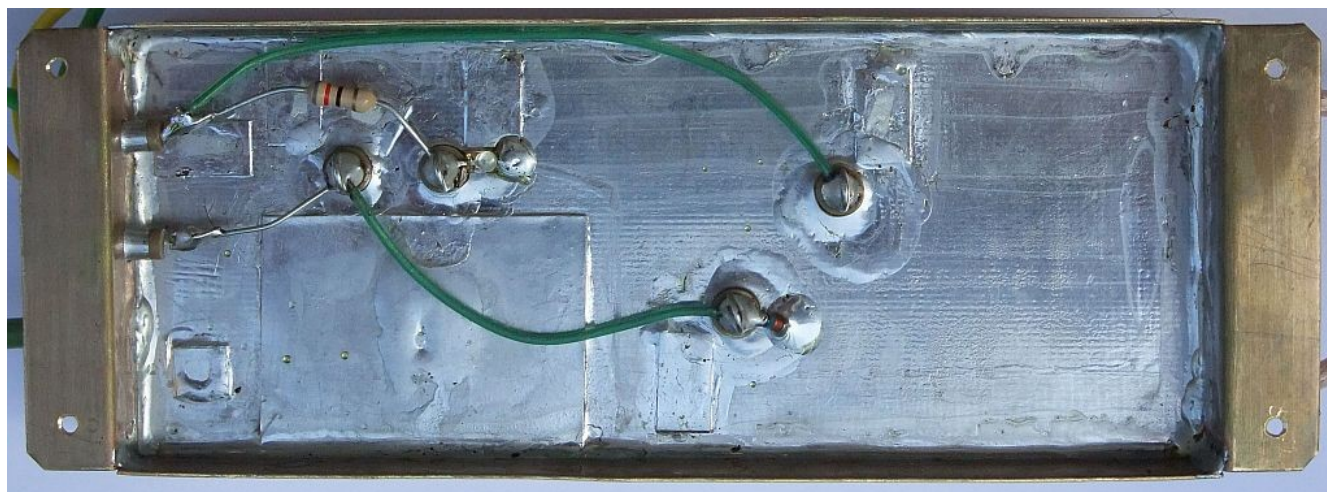


Preverjeno (enosmerno in visokofrekvenčno) mikrotrakasto vezje vgradimo v okvir iz medeninaste pločevine. Ravnina mase mikrotrakastega vezja bo delovala tudi kot spodnja stranica oklopa. Gornji oklop bo dodaten pokrovček iz tanke bakrene pločevine. Tudi oblika visokofrekvenčne glave je namenoma podolgovata, da se izognemo resonancam ohišja.





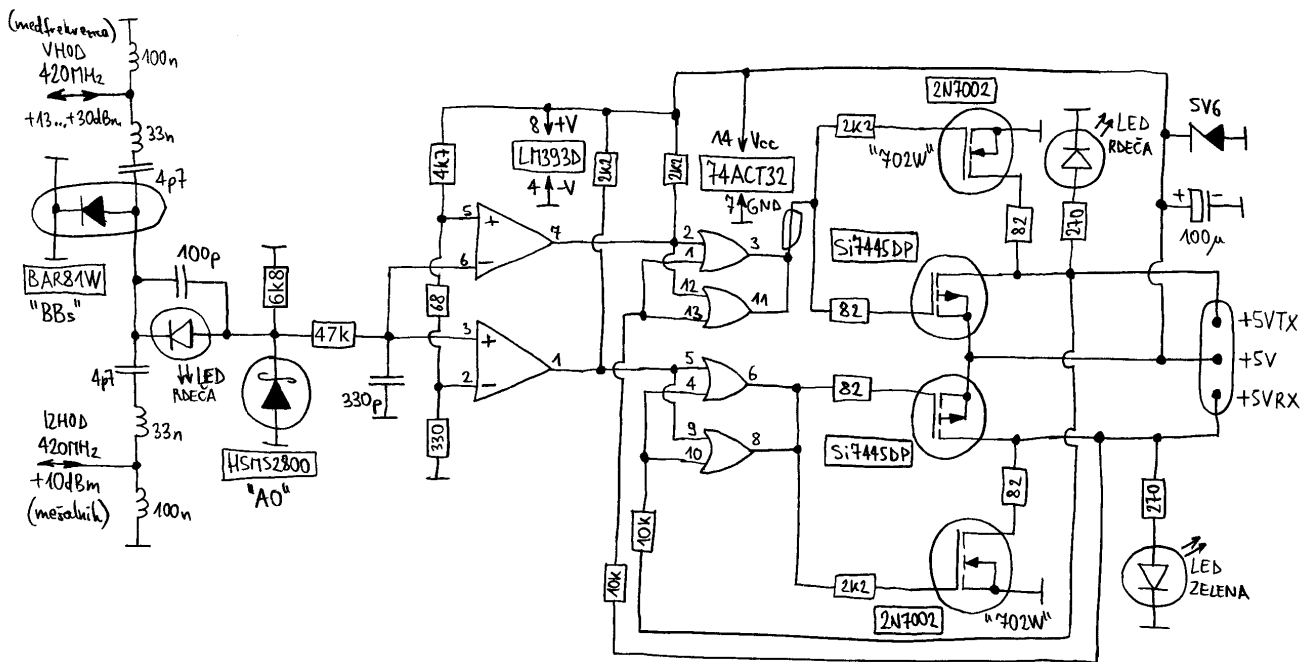
Na spodnji strani ne pozabiti na Zener diodo 5V6 za zaščito polprevodnikov oddajnika!



## 5. Omejevalnik in preklon sprejem/oddaja

Enota omejevalnik in preklon sprejem/oddaja je pravzaprav vmesnik med medfrekvenco in transverterjem. Omejevalnik s PIN diodo BAR81W poskrbi za pravilno krmiljenje mešalnika na oddaji. Hkrati omejevalnik preprečuje poškodbe mešalnika zaradi premočnega krmilnega signala kot tudi udarov strele in podobno.

Medfrecvenčni oddajni signal krmili tudi preklon transverterja iz sprejemnega v oddajni način delovanja, da dodatne povezave med medfrekvenco in transverterjem niso potrebne. Ker je transverter namenjen podatkovni zvezi, se mora izvršiti preklon iz sprejema na oddajo in obratno čim hitreje, to se pravi v nekaj mikrosekundah! Hitrost preklopa postavlja dodatne zahteve za vsa vezja transverterja, največ seveda za sam preklonik:



Omejevalnik + preklon RX/TX S53MV 30/4/2012

Opisani transverter uporablja dvosmeren mešalnik, ki deluje na sprejemu in na oddaji. Med mešalnik in medfrekvenco je treba vstaviti nastavljivi slabilec, ki naj primerno oslabi krmilni signal na oddaji, na sprejemu pa naj bo njegovo slabljenje čim manjše. Slabilec je izveden s PIN diodo BAR81W, ki jo krmili detektor s Schottky diodo HSMS2800. Dodatna dioda, rdeča LED uporabljena kot Zener za približno 1.8V, določa prag jakosti medfrecvenčnega signala, ko slabilec začne omejevati krmiljenje mešalnika.

BPSK signal v našem packet radio omrežju je v frekvenčnem pasu 2.3GHz nefiltriran in ima skoraj konstantno ovojnico. Časovna konstanta krmiljenja slabilca je zato namenoma zelo kratka. Pasovni siti pred in za slabilcem izločata neželjene harmonike, ki se tvorijo v PIN diodi. Hkrati pasovni siti preprečujeta, da bi na

delovanje slabilca vplivale druge motnje iz medfrekvenčnega kabla, na primer prenos napajanja.

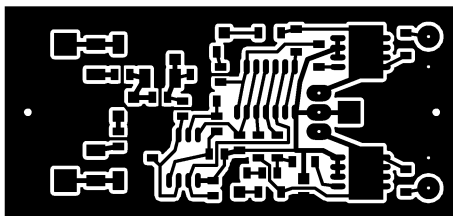
Isti detektor s Schottky diodo HSMS2800 krmili tudi preklop transverterja sprejem/oddaja. Preklopno vezje mora pri tem zagotoviti, da oddajni in sprejemni del transverterja nista v nobenem trenutku vključena hkrati. Sočasno delovanje obeh vej pomeni zagotovo samoosciliranje, oddajo motenj in v najhujšem primeru bi se transverter v takšnem stanju lahko celo zataknil brez krmiljenja medfrekvence.

Prvi protiukrep proti istočasemu sprejemu in oddaji sta dva ločena primerjalnika v vezju LM393D. Uporovna veriga je tako nastavljena, da se pri vklopu medfrekvenčnega krmiljenja najprej ugasne sprejem in šele nato vklopi oddaja pri medfrekvenčnem signalu jakosti okoli 5mw (+7dBm). Obratno se pri izgubi krmiljenja najprej ugasne oddaja in šele nato vključi sprejem.

Drugi protiukrep proti istočasemu sprejemu in oddaji je logika z ALI vrati 74ACT32. Logika dovoljuje vklop sprejema ali oddaje šele takrat, ko napajalna napetost prejšnjega stanja upade pod prag vrat družine 74ACTxx, to se pravi pod 1.5V. Pri napajalni napetosti pod 1.5V običajni MMIC ojačevalniki zanesljivo ne delujejo več.

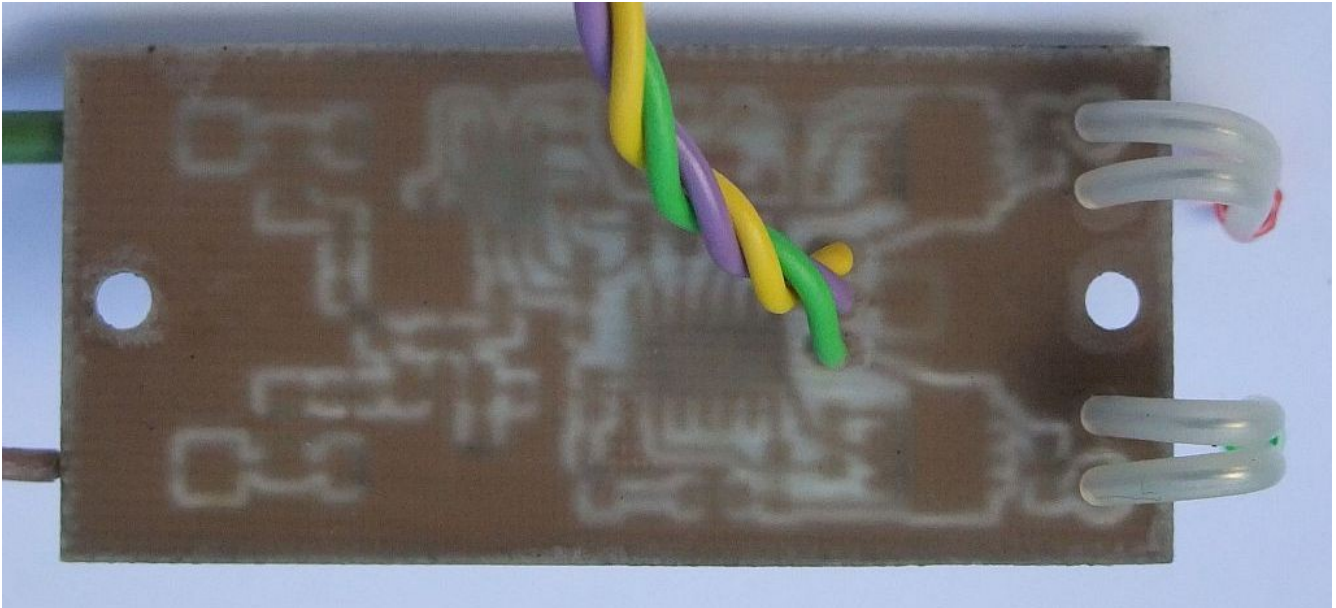
Napajalni napetosti +5VRX in +5VTX se preklapljata s PMOS tranzistorjema Si7445DP (20V, 12A). Tako močni tranzistorji so potrebni zato, da je upornost v vključenem stanju manjša od 8mΩ. Pri napetosti samo 5V in tokovih, večjih od 1A, se vsakršna upornost še kako pozna! Tranzistorji Si7445DP ali podobni imajo precejšnje kapacitivnosti, kar zahteva nizko-impedančno krmiljenje z vrati družine 74ACTxx.

Še večje kondenzatorje uporabljajo sprejemna in oddajna vezja transverterja za blokiranje napajanj +5VRX in +5VTX. Preklop sprejem/oddaja oziroma obratno pospešimo tako, da vse kondenzatorje v sprejemni oziroma oddajni izpraznimo z dvema dodatnima NMOS tranzistorjema 2N7002. Vsi opisani ukrepi omogočajo zanesljiv preklop sprejem/oddaja oziroma oddaja/sprejem v samo par mikrosekundah in to brez prepovedanega sočasnega delovanja sprejemne in oddajne verige!

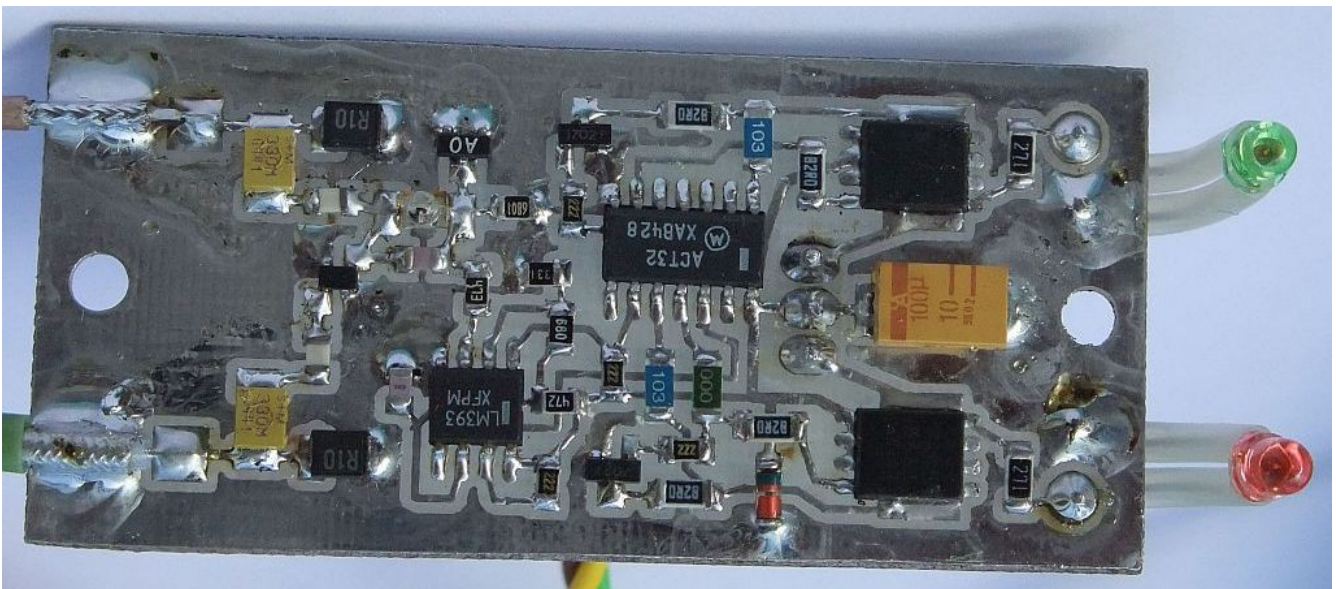


Omejevalnik in preklop RX/TX sta izdelana na enostranskem tiskanem vezju z izmerami 28mmx60mm. Tiskano vezje nosi tudi dve svetleči diodi za prikaz delovanja sprejemnika oziroma oddajnika in je namenjeno vgradnji na prednjo ploščo transverterja. Pozor, svetleča dioda za napetostno referenco omejevalnika NI namenjena vgradnji na prednjo ploščo, saj sta oba njena priključka visokofrekvenčno "vroča"! Svetleča dioda omejevalnika sicer rahlo

brli v odvisnosti od jakosti medfrekvenčnega krmiljenja.



Svetleči diodi za sprejem (zelena) in oddajo (rdeča) sta zacinjeni z daljšimi priključnimi žicami, da jih lahko upognemo glede na odstopanje izvrtin na prednji plošči. Žice za napajalne napetosti +5V, +5VRX in +5VTX so neposredno zacinjene na tiskano vezje in primerne preseka za amperske tokove!



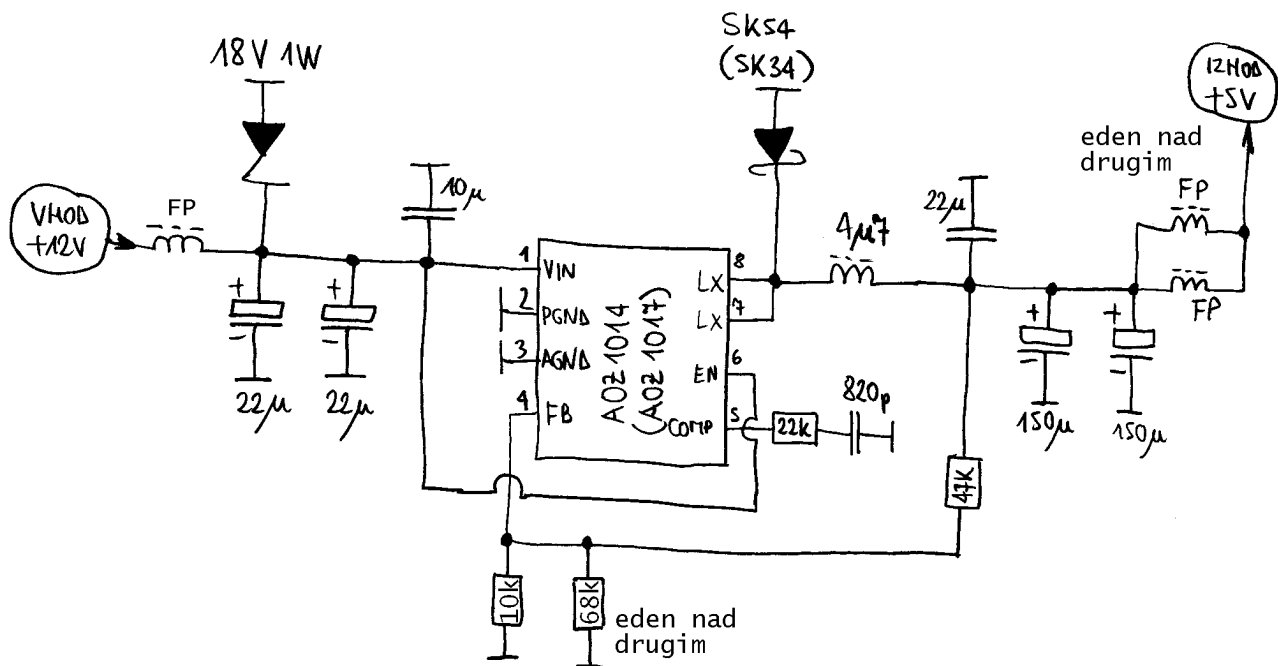


## 6. Stikalni napajalnik za +5V

V prva dva prototipa transverterja sem vgradil kar predelan PLL sintetizator BPSK postaje za 70cm z enim samim napajanjem +12V. Vsa ostala vezja transverterja sem napajal preko regulatorja 7805 z napetostjo +5V. Ohišje TO-220 regulatorja 7805 sem privil na osnovno ploščo aluminijaste škatle transverterja, ki je delovala kot hladilno rebro. Poskus s preprostimi linearnimi regulatorji je bil potreben pri razvoju transverterja, saj si pri številnih neznankah novega vezja nisem želel še motenji stikalnega napajalnika.

Poraba takšnega transverterja s preprostimi linearnimi napetostnimi regulatorji znaša 330mA na sprejemu in kar 1.35A na oddaji. Pri zunanjem napajanju 12..14V to pomeni 4W moči na sprejemu in kar 16W moči na oddaji. Večina te moči se pretvori v toploto, ki jo je zelo težko odvesti proč. Takšen transverter lahko uporabljamo le v prostoru z zmerno temperaturo, kar ni niti zaprta omara, še manj pa zaprta škatla na antenskem drogu.

Industrija polprevodnikov danes ponuja številne rešitve za stikalne napajalnike. Izbral sem preprosto tisto, kar sem imel pri roki, to je integrirano vezje AOZ1014 proizvajalca APLHA&OMEGA SEMICONDUCTOR. AOZ1014 vsebuje stikalni napajalnik za 5A s preklopno frekvenco 500kHz in učinkovitim močnostnim PMOS stikalom na samem čipu v drobcenem ohišju SOIC-8. Od zunanjih močnostnih gradnikov so potrebni le še Schottky dioda SK54, dušilka 4.7μH in kondenzatorji na vhodu in izhodu:

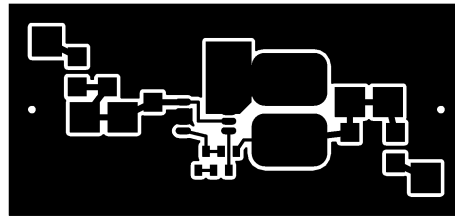


+5V PREKLOPNI NAPAJALNIK S53MV 12.6.2012

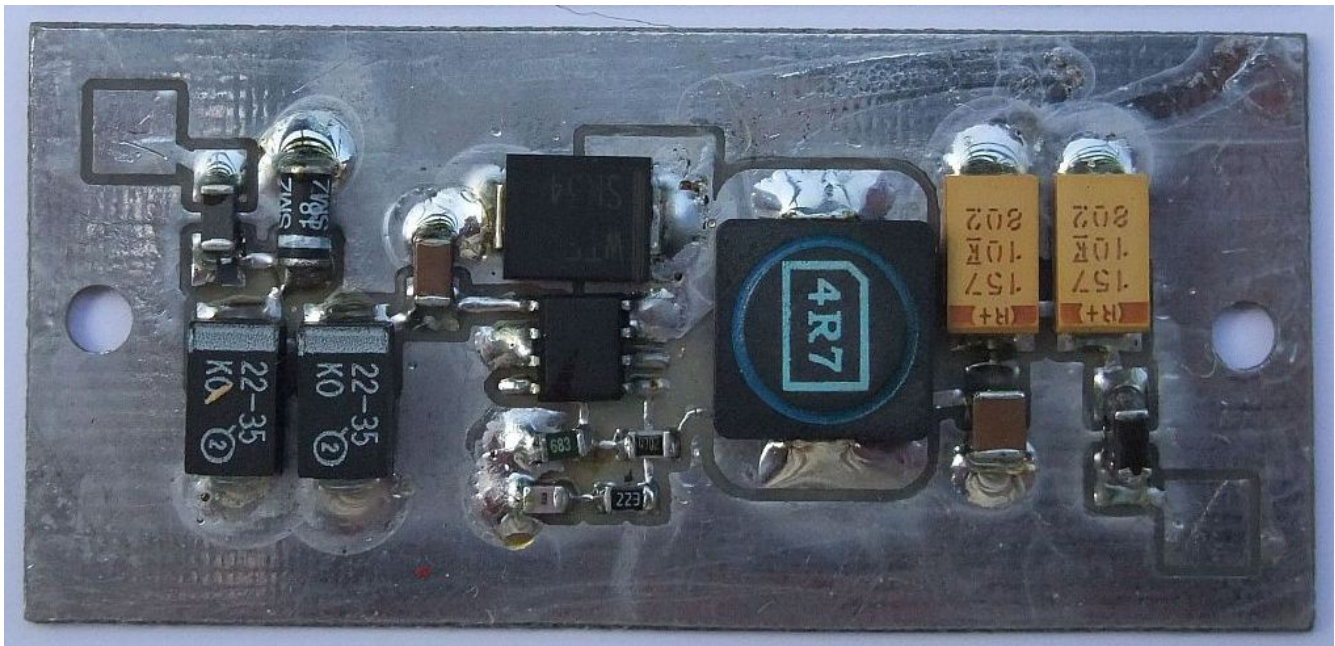
AOZ1014 ima notranjo referenčno napetost 0.8V. Izhodno napetost določa zunanji uporovni delilnik na nogico 4=FB. Če nimamo 1%

uporov, za enega od uporov delilnika preprosto uporabimo vzporedno vezavo dveh SMD uporov eden nad drugim, da dosežemo željeno izhodno napetost +5V. Na nogico 5=COMP povežemo RC člen za frekvenčno kompenzacijo povratne vezave regulatorja.

Vhod in izhod stikalnega napajalnika sta blokirana s keramičnimi kondenzatorji 10 $\mu$ F in 22 $\mu$ F ter tantalovimi kondenzatorji 2x22 $\mu$ F in 2x150 $\mu$ F. Zener 18V/1W ščiti vhod pred prenapetostjo in napačno polariteto. SMD feritne dušilke 1206 (feritne perlice FP) naj bi dušile motnje stikalnega napajalnika. Na izhodu napajalnika sta dve takšni dušilki zacinjeni ena nad drugo, da je padec napetosti manjši.



Stikalni napajalnik je izdelan na enostranskem tiskanem vezju z izmerami 28mmx60mm. Ob obeh vzdolžnih straneh sem pustil široke trakove mase, kamor bi se dalo zaciniti oklop. Na srečo se je tak oklop izkazal nepotreben.



Vsi gradniki stikalnega napajalnika so vgrajeni na isti strani tiskanega vezja. Takšno tiskano vezje privijemo neposredno na zadnjo stranico ohišja transverterja. Med tiskano vezje in alumunijasto stranico ohišja je smiselno dodati malo silikonske toplotno-prevodne masti za boljše odvajanje toplote.



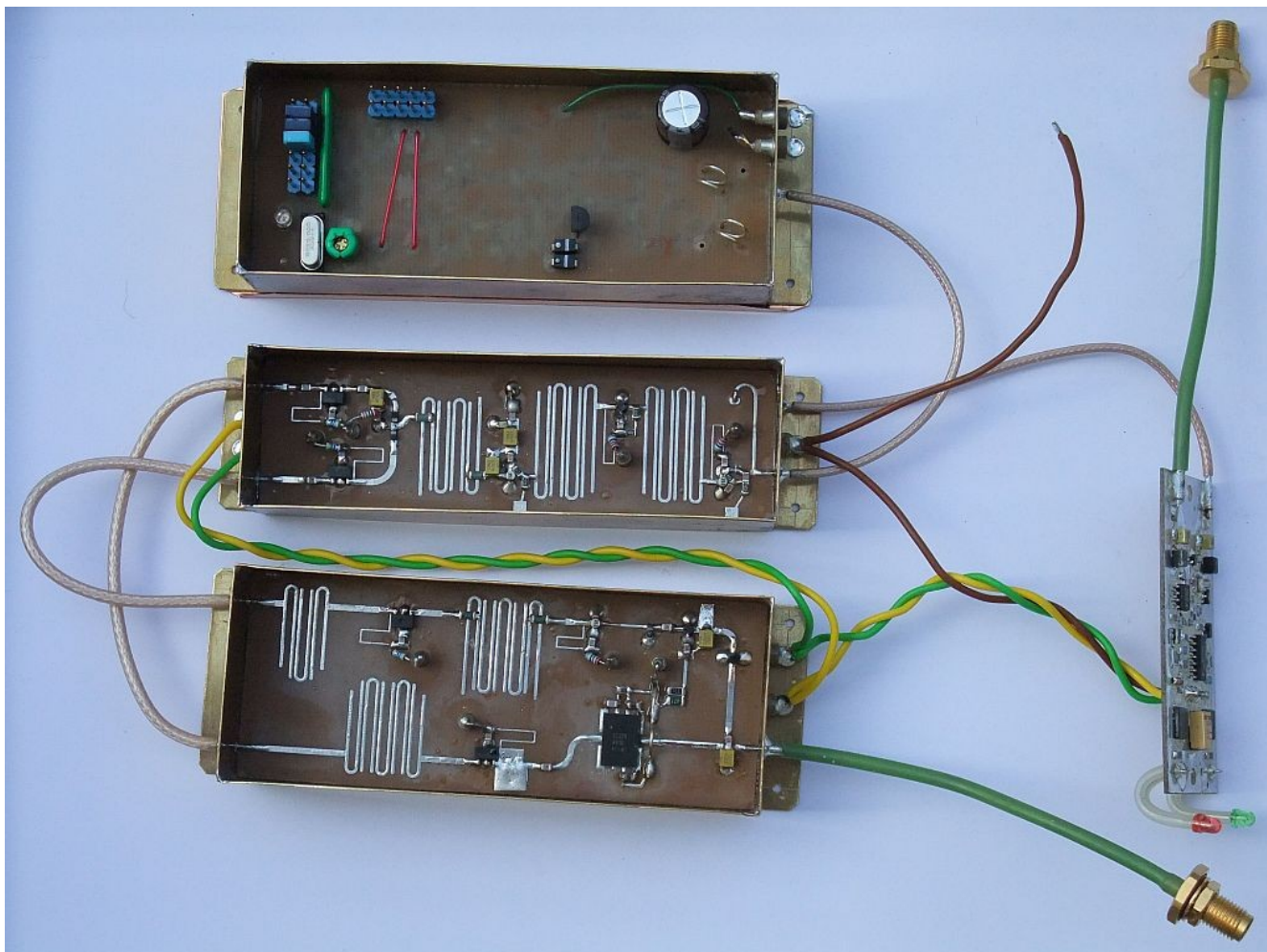
Z opisanim stikalnim napajalnikom se poraba transverterja približno razpolovi glede na linearni regulator 7805. Poraba transverterja s stikalnim napajalnikom znaša okoli 175mA na sprejemu in okoli 630mA na oddaji. Povsem jasno se razpolovi tudi segrevanje celotnega transverterja! Primerjava ni čisto poštena, ker sta imela prva dva prototipa v drugi stopnji sprejemnika še tranzistor START420 namesto bolj požrešnega MMICja, torej je resnični prihranek stikalnega napajalnika še večji.

Glede na porabo vezij transverterja lahko v opisanem stikalnem napajalniku uporabimo tudi nekoliko šibkejše gradnike. AOZ1017 je povsem enak stikalni napajalnik za 3A v enakem ohišju SOIC-8 z enakim razporedom priključkov. Prav tako je Schottky dioda SK34 nekoliko šibkejša inačica diode SK54.



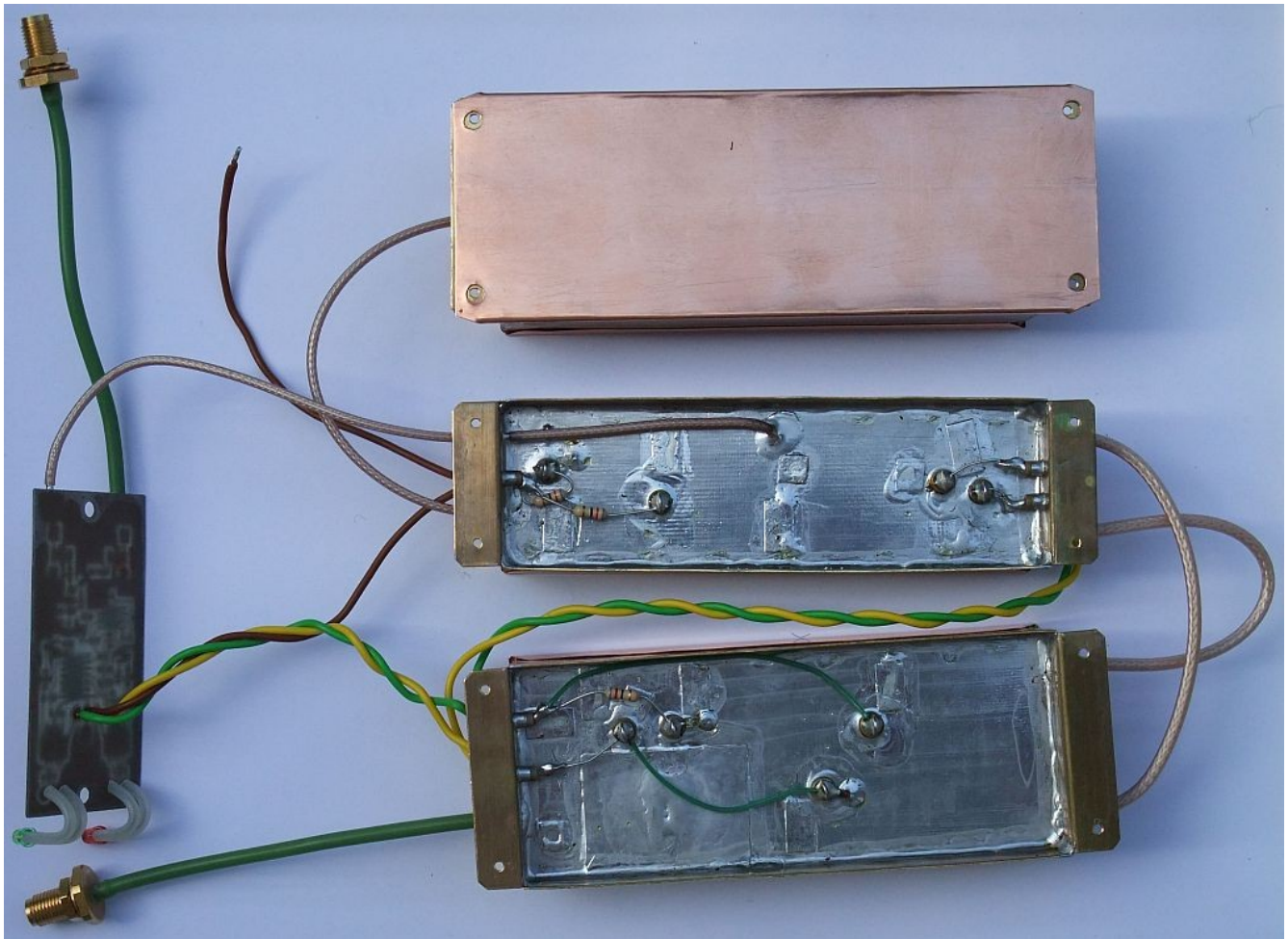


transverterja:



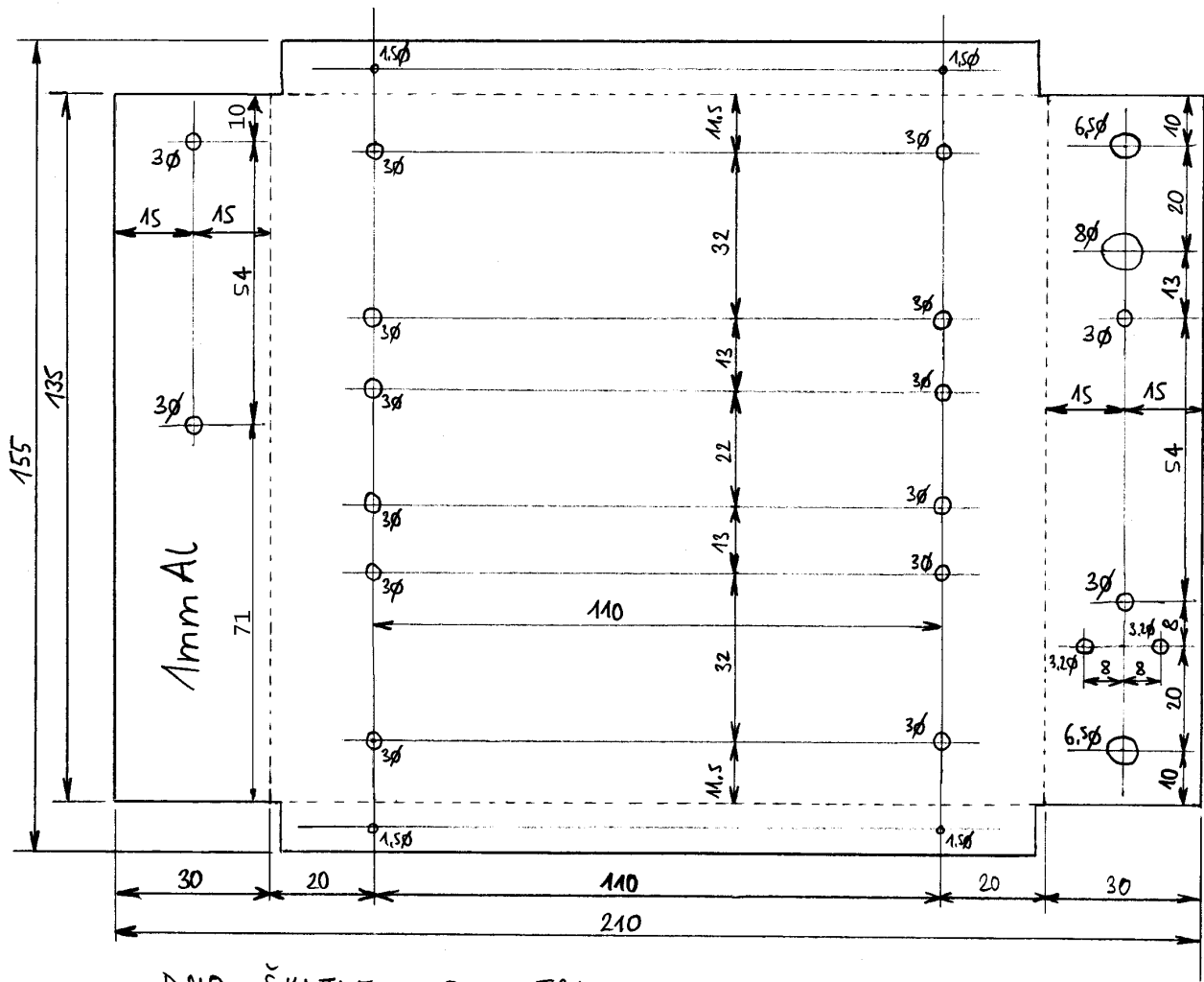
Poraba visokofrekvenčne glave na oddaji bi morala biti okoli 1A pri polni izhodni moči oziroma okoli 400mA brez medfrekvenčnega krmiljenja.

Oddajna veriga ima eno samo točko uglaševanja: listek pocinjene bakrene pločevine 0.1mm deluje kot kapacitivni trimer za prilagoditev izhodne impedance ADL5320. Sprejemna veriga ima eno samo točko uglaševanja čisto na začetku: pocinjen listek pri drugi diodi BAR81W, s katerim pridobimo 1..2dB ojačanja sprejemne verige.



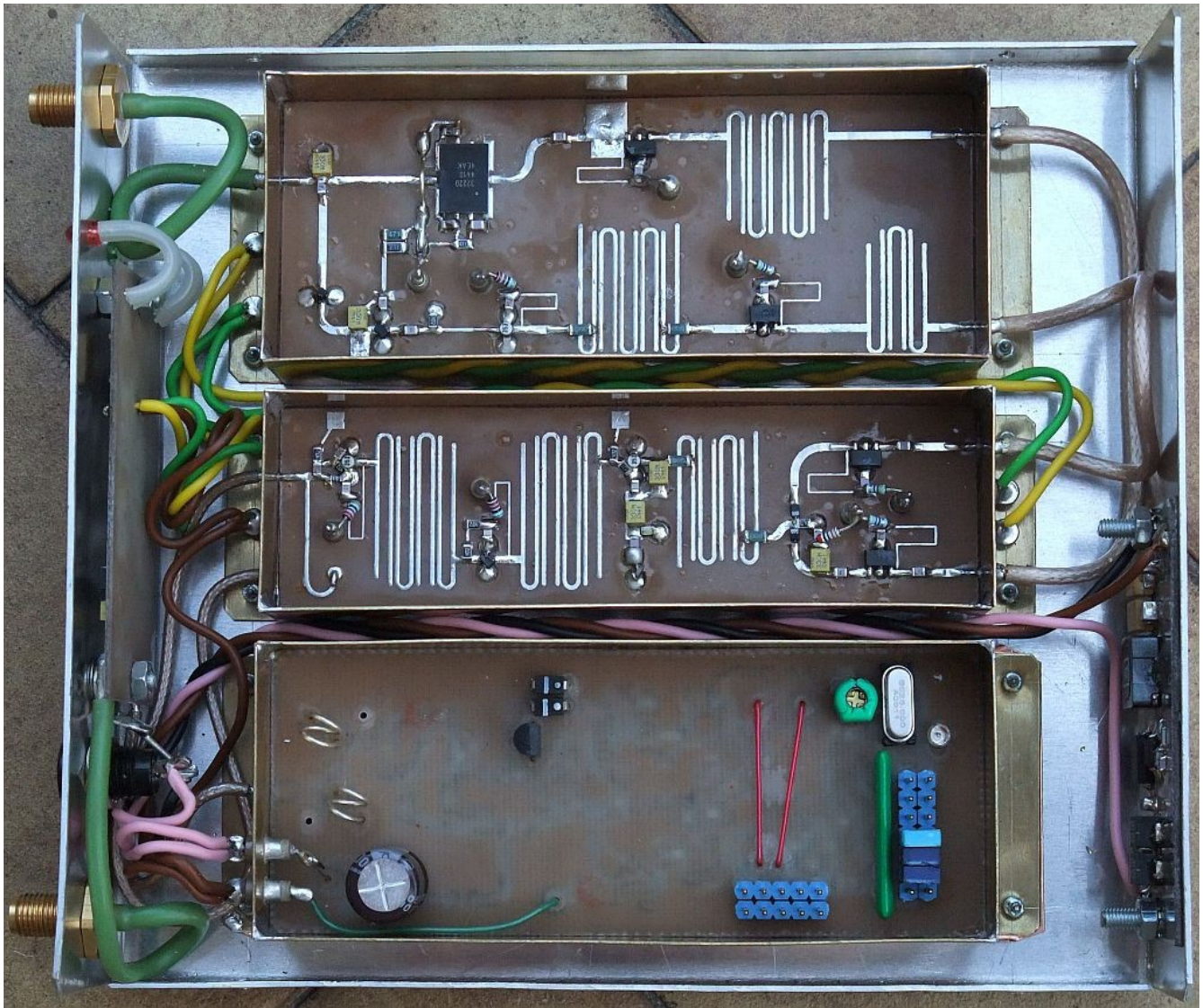
Stikalni napajalnik preizkusimo ločeno od ostalih enot. Nepravilno delovanje stikalnega napajalnika ima lahko katastrofalne posledice za visokofrekvenčna vezja!

Vse enote transverterja vgradimo v škatlo iz dveh "Ujev": 1mm aluminijeva pločevina za dno in 0.6mm aluminijeva pločevina za pokrov. Dno škatle naj ima širino 135mm, globino 150mm in višino 30mm kot v prototipu:



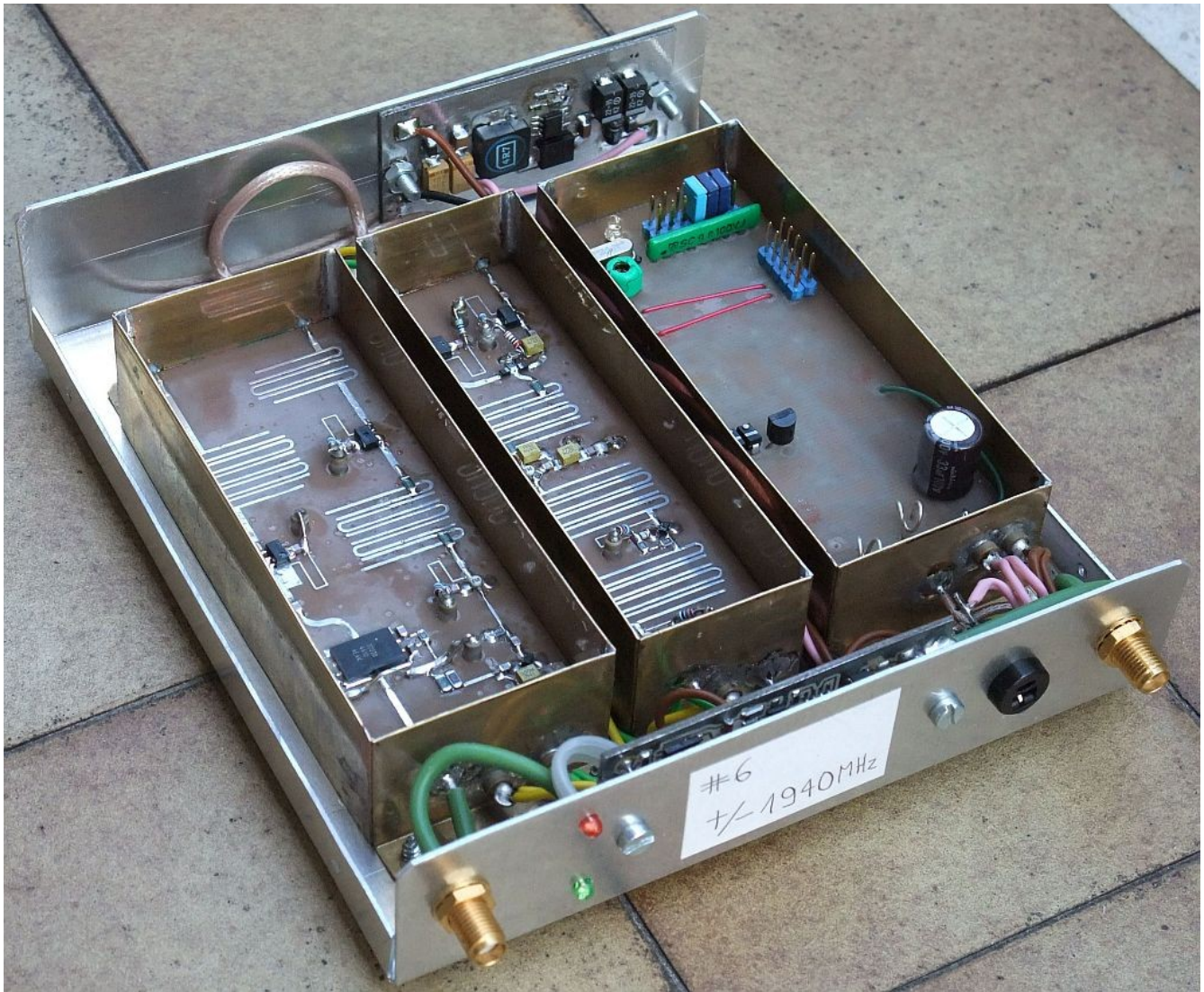
DNO ŠKATLE PSK TRANSVERTERJA 420/2360MHz 553MV 1.5.2012



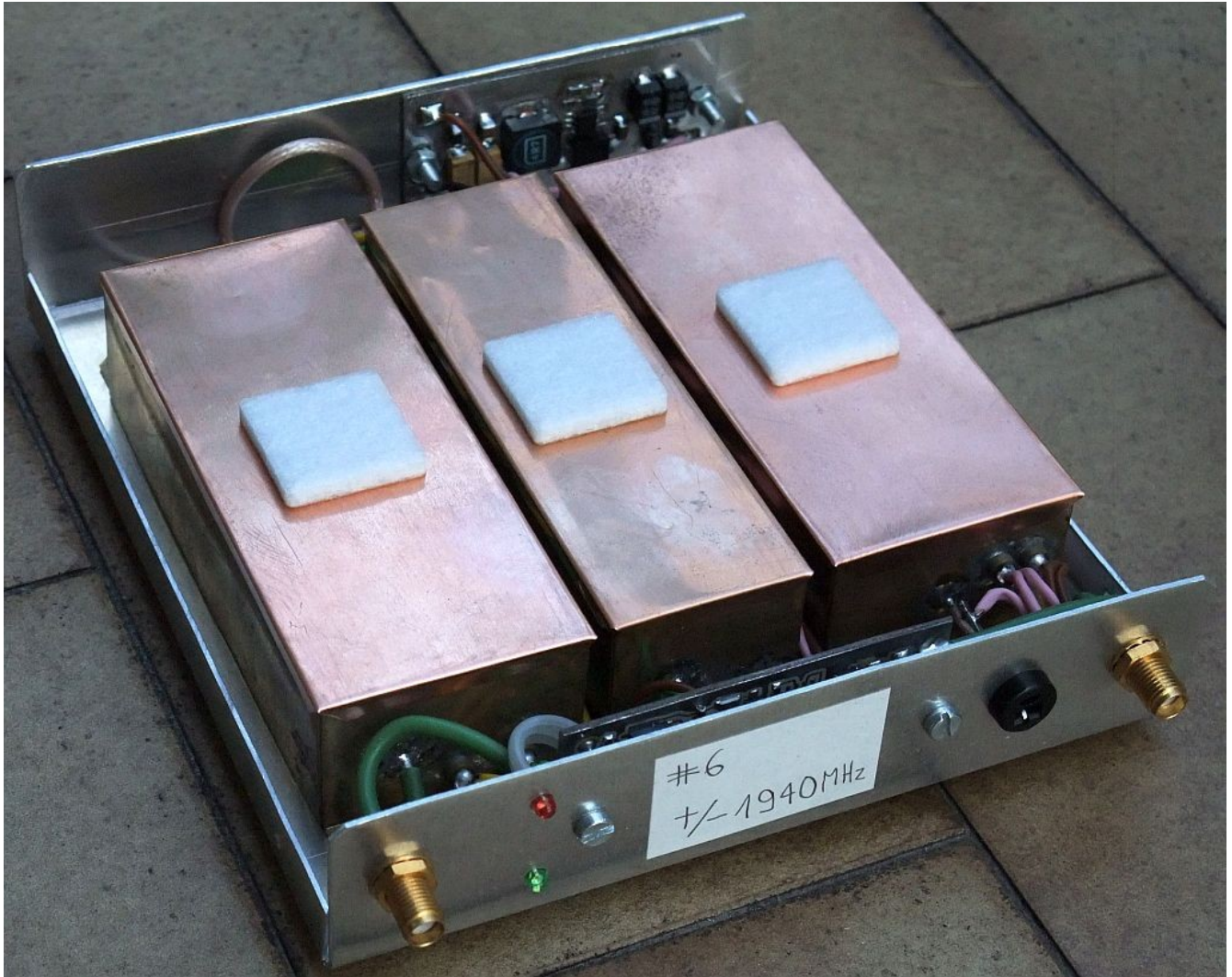


Na prednjo ploščo so nameščene vse tri vtičnice: antena, napajanje in medfrekvenca ter tiskano vezje preklopa RX/TX:





Na bakrene pokrove škatlic sintetizatorja, mešalnika in visokofrekvenčne glave so nameščeni samolepljivi filci, da pokrov škatle iz 0.6mm debele aluminijske pločevine zadržuje tudi male bakrene pokrovčke na svojih mestih:



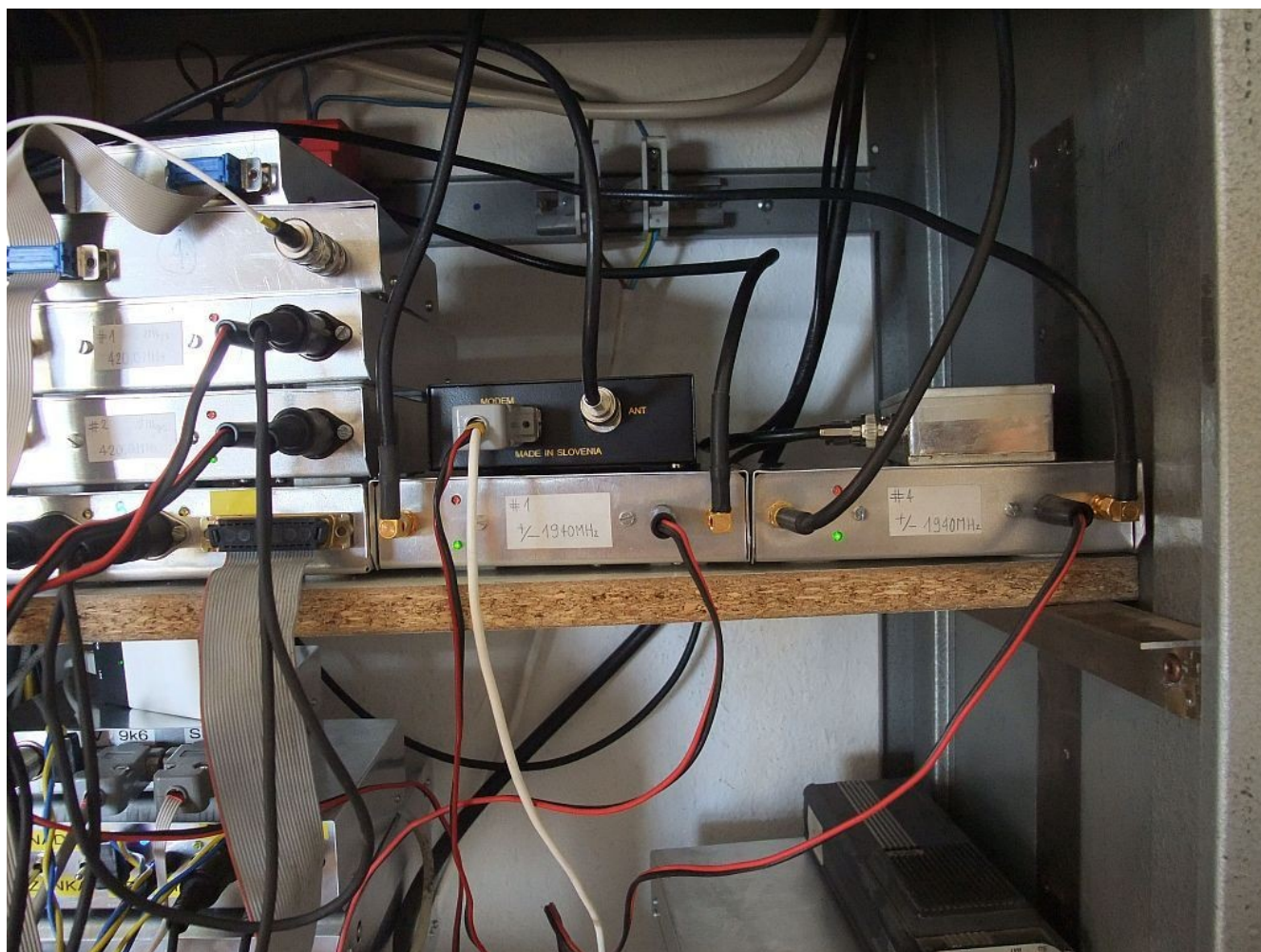


## 8. Poskusi z BPSK transverterji za 2360MHz

Pred objavo članka sem skušal transverterje za 2360MHz temeljito preizkusiti. Skupno sem izdelal šest prototipov. Še največ težav s ponovljivostjo gradnje je bilo s starimi HEMTi ATF-35376, kjer dva nista med sabo enaka, pač pa imata hudo različna  $I_{dss}$ . Vsi sodobni polprevodniki so bistveno boljši kar se tiče ponovljivosti: razlike v ojačanju oziroma izhodni moči so znotraj 0.5dB.

Izdelane transverterje sem najprej nekaj mesecev preizkušal doma. Vroče poletje 2012 je bilo za takšen poskus kot naročeno. Iskal sem predvsem počasne mehanizme staranja polprevodnikov, ki bi lahko v nekaj mesecih ali letih ogrozili delovanje naprav. Vsi transverterji so krmiljeni z enakimi medfrekvenčnimi BPSK postajami za 420MHz in vsi prištevajo oziroma odštevajo 1940MHz.

Prvi transverter in medfrekvenco sem vgradil v vozlišče S55YFH na lovski koči pri Renčah. Sledil je S55YNG na Sveti Gori nad Gorico. Končno sem vgradil dva transverterja in dve medfrekvenci v vozlišče S55YST na Kobariškem stolu:



Poskusi v vozliščih na planinskih vrhovih so potrdili, da povečana izhodna moč oddajnikov prinese obljubljenih 6..7dB več pri

rezervah radijskih zvez. Pri zamenjavi starih BPSK postaj [1], [2] na Kobariškem Stolu prinesejo novi transverterji celo 8..9dB več, ker so oddajniki starih postaj opešali zaradi hladnih spojev pod izhodnim tranzistorjem CLY2.

Mešanje na medfrekvenco pomeni tudi dodatno nevarnost motenj. Teh na planinskih vrhovih zaenkrat nisem opazil. Transverter se je obnašal povsem enako kot stara BPSK radijska postaja. Vstavljanje resonatorskega sita v antenski vod ni imelo merljivega učinka. Pač pa je resonatorsko sito dodatna zaščita pred strelo, kar ni zanemarljivo.

Vsi transverterji so zaenkrat vgrajeni poleg pripadajočih medfrekvenc kot zamenjava za prejšnjo BPSK radijsko postajo za 2360MHz. Vgradnje transverterja neposredno pri anteni še nisem preizkusil. Tudi napajanja transverterja po medfrekvenčnem kablu še nisem preizkusil.

Kar pa je učinkovito preizkušeno, dva transverterja na isti frekvenci se ne motita med sabo. Iz tega razloga na Kobariškem Stolu nisem mogel zamenjati starih BPSK postaj za 13cm z novejšimi ZIF že prej. Dve ZIF postaji na isti frekvenci zanesljivo motita med sabo na sprejemu, ker lokalni oscilator ene deluje kot motilec druge. Novi transverterji so razrešili vprašanje opreme takšnih vozlišč.

Izmerjene rezerve zvez so pokazale, da so novi transverterji na istih radijskih poteh obstoječega packet-radio omrežja uporabni tudi za višje bitne hitrosti. S smiselno in varno rezervo zvez se da doseči vsaj 10Mbps. Povsem jasno potrebuje 10Mbps predelavo medfrekvence in povsem nove TNCje.



## 9. Literatura:

[1] Matjaž Vidmar: "13cm PSK radijska postaja za hitri packet-radio", strani 18-31/4-95, CQ ZRS, ISSN 1318-5799.

[2] Matjaž Vidmar: "Popravki, predelave in preizkus 13cm PSK radijske postaje", strani 22-23/5-95, CQ ZRS, ISSN 1318-5799.

[3] Matjaž Vidmar: "Uporabniška 23cm PSK radijska postaja za 1.2Mbit/s", strani 23-37/2-96, CQ ZRS, ISSN 1318-5799.

[4] Matjaž Vidmar: "PSK radijska postaja za 13cm z ničelno medfrekvenco", strani 27-31/6-98, CQ ZRS, ISSN 1318-5799.

[5] 8. Jani Kovač (urednik), Štefan Barbarič, Draskovits Gabor, Jože Herman, Tomi Kacin, Marko Kovačevič, Mijo Kovačevič, Primož Lemut, Franci Mermal, Sine Mermal, Iztok Saje, Darko Volk: Projekt "Digitalni mostovi - hitri packet-radio", financiran s strani Evropske Unije, Program PHARE, 338 strani, COBISS-ID 45381121.

[6] Matjaž Vidmar: "Mala BPSK radijska postaja za 420MHz", strani 3-27, Elektronik.si #18, ISSN 1855-6868.

[7] Matjaž Vidmar: "Megabitna BPSK radijska postaja za 430MHz", strani 3-31, Elektronik.si #14, ISSN 1855-6868.

\* \* \* \* \*