

RTV KLUB MURSKA SOBOTA

DIGITALNI MOSTOVI

"HITRI PACKET RADIO"

Murska Sobota, september 2000

Uporabniška 23cm PSK radijska postaja za 1.2Mbit/s

Matjaž Vidmar, S53MV

1. Enostavnejši PSK RTX za uporabnike

V glasilu CQ ZRS 4/95 sem predstavil mojo prvo "megabitno" PSK radijsko postajo za packet-radio v frekvenčnem področju 13cm. Opisane 13cm postaje so se čez zimo dobro obnesle: nobenih okvar in nobenih izpadov zvez. Tudi takrat ne, ko so izpadle 70cm in 23cm zveze zaradi snega in ledu na antenah. Ko se privadiš na boljše radijske postaje in višje hitrosti, poti nazaj seveda ni več.

Naslednji smiselni korak je seveda megabitni packet-radio za uporabnike. Opisana 13cm radijska postaja sicer deluje brezhibno, zahteva pa ogromno dela pri sestavljanju in precej znanja za uglasovanje, kar je za običajnega uporabnika skoraj nedosegljivo. Cilj tega članka je torej poiskati enostavnejšo radijsko postajo, ki pa naj ohranja vse dobre lastnosti PSK modulacije.

Enostavnejšo PSK radijsko postajo lahko izdelamo z neposredno modulacijo v oddajniku in neposrednim mešanjem v sprejemniku, kot je to prikazano na sliki 1. Kot PSK mo-

dulator uporabimo mešalnik (množilnik) kar na končni frekvenci, kot PSK demodulator pa uporabimo Costas-ovo zanko. Takšna radijska postaja ima lahko nekatere stopnje skupne za sprejemnik in oddajnik, na primer kristalni oscilator in verigo množilnih stopenj, kar znatno poenostavlja celoten načrt radijske postaje.

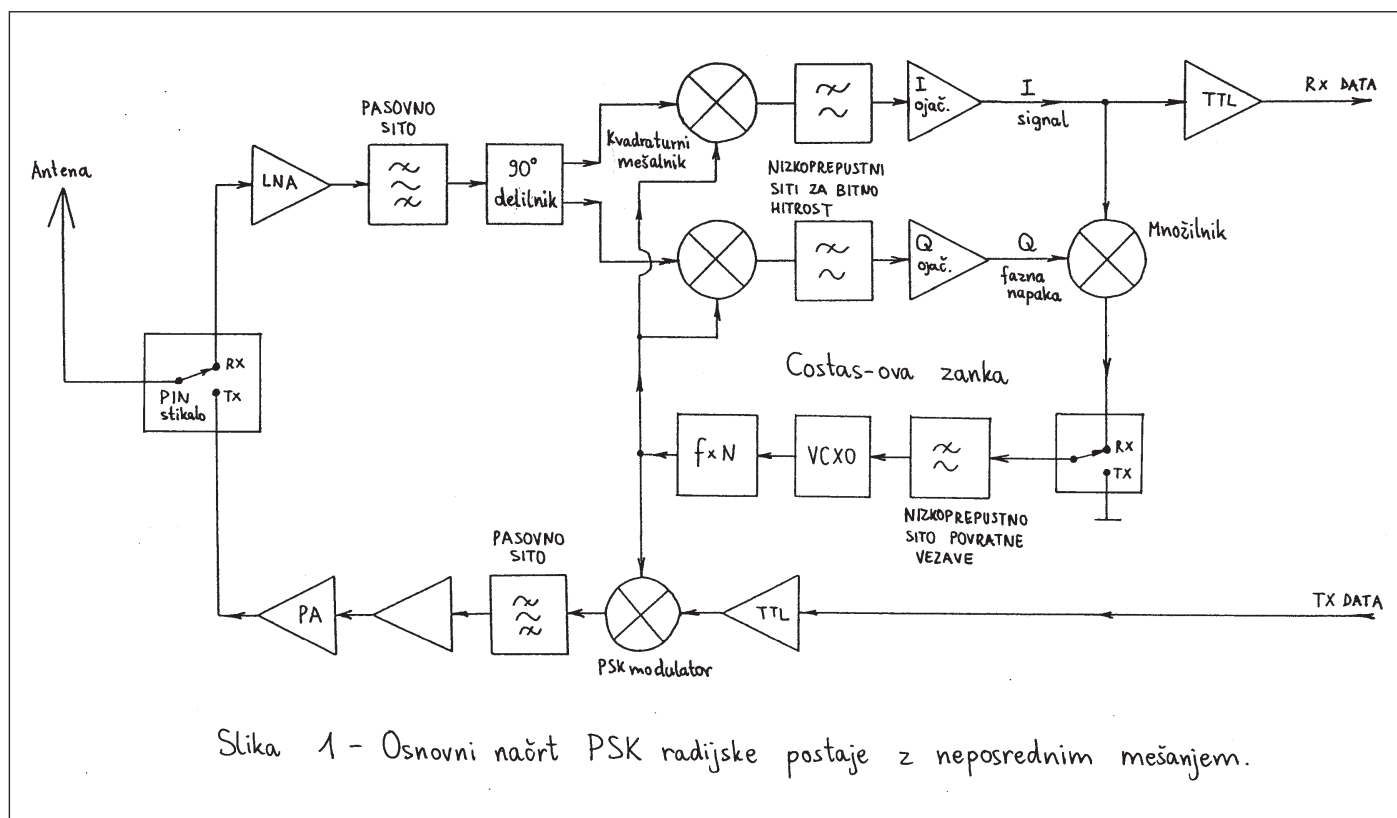
13cm PSK radijska postaja iz CQ ZRS 4/95 že vsebuje neposredno modulacijo na končni frekvenci oddajnika, le sprejemnik vsebuje dvojno mešanje, dve medfrekvenci in kopico medfrekvenčnih lončkov. V takšnem sprejemniku dosežemo večino ojačenja v medfrekvenci, demodulator pa deluje z razmeroma velikimi signali.

Obratno dosežemo večino ojačenja v nizkofrekvenčnem delu sprejemnika z neposrednim mešanjem, po opravljeni demodulaciji signala. Demodulator (mešalnik) deluje z zelo šibkimi signali, saj sprejemnik z neposrednim mešanjem vsebuje nizkošumni VF ojačevalnik (LNA) z majhnim ojačenjem, ki zadošča le za prekrivanje šuma mešalnika (demodulatorja).

Če bi poznali točno frekvenco in fazo nosilca oddajnika, bi potreboval sprejemnik z neposrednim mešanjem le en sam mešalnik za demodulacijo dvofaznega PSK (BPSK) signala. Ker frekvenca resničnega sprejemnika odstopa, potrebujemo povratno zanko, ki bo najprej popravila frekvenco sprejemnika in končno sinhronizirala fazo oscilatorja na nosilec oddajnika. Podatek o fazni napaki, ki bo krmilil povratno zanko, dobimo s pomočjo mešalnika, ki je zamaknjen za četrtno periode nosilca (90 stopinj) glede na demodulator.

V sprejemniku z neposrednim mešanjem delujeta oba mešalnika Costas-ove zanke, demodulator signala in demodulator fazne napake, z zelo nizkimi signali v velikostnem razredu mikrovoltov. Oba demodulirana nizkofrekvenčna signala moramo zato ojačiti vključno z njuno enosmerno komponento. Ker je problem ojačevanja enosmerne komponente težko rešljiv, enosmerno komponento izločimo že v oddajniku s pomočjo skrambliranja podatkov, kar počne enota bitne sinhronizacije, opisana v CQ ZRS 3/95.

Nizkofrekvenčna ojačevalnika sig-



nalov običajno poimenujemo z angleškima kraticama I (In-phase) in Q (Quadrature). Pri sprejemu digitalnih PSK signalov sta lahko oba ojačevalnika zelo enostavna, saj lahko dvonivojski digitalni signal omejemo brez vsakršnega popačenja. I signal pri tem predstavlja kar izhodni signal sprejemnika, produkt I in Q pa uporabimo za krmiljenje frekvenčno/fazne povratne zanke.

Tehnična izvedba opisanega sprejemnika ni prav enostavna. Povratna zanka vsebuje zelo visoko ojačenje (I in Q ojačevalnika), zato lahko postane nestabilna. Ko radijsko postajo preklonimo na oddajo, zanko seveda prekinemo, da niha oscilator na znani, točno določeni frekvenci.

Prototip takšnega sprejemnika z neposrednim mešanjem je sicer deloval povsem v redu, le v kristalnem oscilatorju sem naletel na nepremostljivo težavo. Kristalni oscilator se ne pusti kar tako frekvenčno modulirati, odziv na hitro modulacijo je precej popačen (kar dobro poznamo iz starih 23cm WBFM postaj z neposredno modulacijo kristala) in to onemogoča izdelavo dovolj hitre povratne zanke. Povedano drugače, takšen sprejemnik je dopuščal le majhno napako frekvence nosilca (kvečjemu +/- 2kHz), znaka pa je potrebovala tudi do nekaj sekund, preden se je ujela.

2. PSK radijska postaja z ničelno medfrekvenco

PSK sprejemnik lahko sicer izdelamo tudi drugače, na primer kot sprejemnik z ničelno medfrekvenco. Čeprav izgleda osnovni načrt takšnega sprejemnika dosti bolj kompliciran, kot je to prikazano na sliki 2, je v resnici takšen sprejemnik zelo podoben tako po načinu delovanja kot tudi po zahtevnosti in izvedbi električnih vezij sprejemniku z neposrednim mešanjem.

Tudi sprejemnik z ničelno medfrekvenco razpolaga le z majhnim ojačenjem v visokofrekvenčnem delu (LNA), ki mu sledi kvadraturni mešalnik in I/Q nizkofrekvenčni ojačevalnik. Razlika je v oscilatorju, ki deluje v sprejemniku z ničelno medfrekvenco na fiksni frekvenci. Frekvenca oscilatorja naj bi sicer bila čim bližje, ampak ne nujno povsem točno na frekvenci nosilca oddajnika.

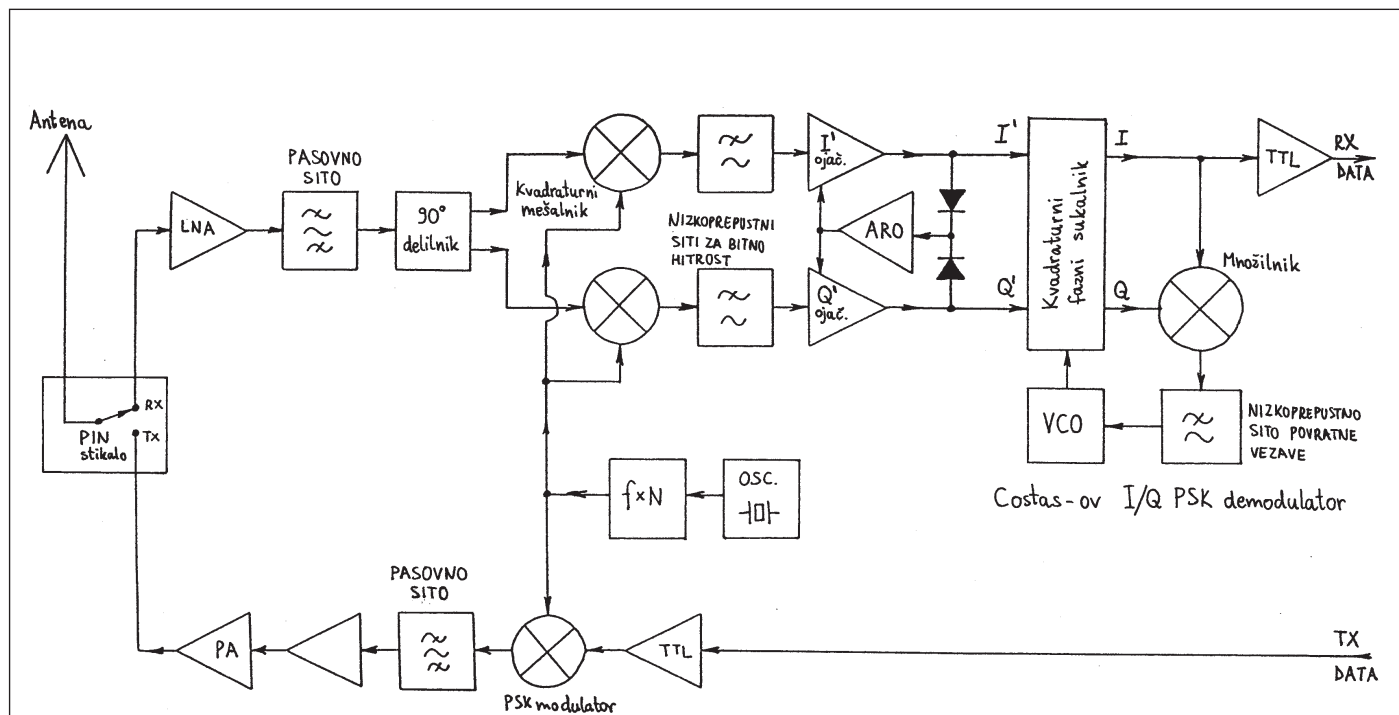
Kvadraturni mešalnik nam v tem slučaju proizvaja signala I' in Q', ki sicer vsebujeta celotno informacijo vstopnega visokofrekvenčnega signala, vendar ta signal še ni demoduliran. Dobljena signala I' in Q' smemo ojačevati le povsem linearno, nizkofrekvenčni ojačevalnik mora biti zato opremljen z učinkovito avtomatsko regulacijo ojačenja (ARO), ki je skupna za oba kanala I' in Q'.

Na koncu ojačevalne verige si je seveda treba postaviti vprašanje, kaj početi s signaloma I' in Q', oziroma kako iz njiju izvleči željene bitke? Vprašanje bi bilo silno enostavno, ko bi bil naš oscilator sinhroniziran z oddajnikom: tedaj bi signal I' kar predstavljal bitke, signal Q' pa bi izginil.

V resnici so stvari bolj žalostne in naš oscilator ni niti sinhroniziran v fazi, niti v frekvenci, z oscilatorjem oddajnika. Napaka v fazi pomeni to, da del signala konča v I vejo in del signala v Q vejo. Naš željeni signal torej dobimo nazaj tako, da naredimo ustrezno kazalčno vsoto signalov I' in Q'.

Napaka v frekvenci našega oscilatorja pomeni še to, da se dobljeni kazalec vrtili z razliko frekvenc sprejemnika in oddajnika. Demodulator v sprejemniku mora torej vsebovati vezje, ki bo iz signalov I' in Q' nazaj sestavilo željeni kazalec in ga hkrati znalo vrteti s pravilno hitrostjo v obratni smeri.

Naloga iskanja sinhronizacije nosilca in protivrtanja kazalca izgleda mogoče komplicirana, vendar gre za razmeroma nizke frekvence (manj kot 1MHz), ki jih lahko "obdelujemo" s ceneniimi integriranimi vezji. Celoten Costas-ov I/Q PSK demodulator se da na primer izdelati s peščico cenениh integriranih vezij iz



Slika 2 - Osnovni načrt PSK radijske postaje z ničelno medfrekvenco.

družine 74HCxxx, ki ne potrebujejo nobenega ugaševanja, pač pa delajo takoj, ko jih zaciniamo v tiskano vezje!

Prednosti sprejemnika z ničelno medfrekvenco bi sicer lahko uporabljali tudi v govornem SSB sprejemniku. Največje hibe SSB sprejemnikov z neposrednim mešanjem so nezadostno slabljenje neželenega bočnega pasu in hude zahteve za točnost nekaterih sestavnih delov, predvsem v nizkofrekvenčnih faznih sukalniki. SSB sprejemnik z ničelno medfrekvenco (bolj točno skoraj nič oziroma 1.5kHz) teh težav ne pozna, potrebuje le podobno vezje za protivrtenje kazalca v nizki frekvenci.

PSK radijska postaja z ničelno medfrekvenco je lahko zelo enostavna, predvsem pa ne potrebuje kaj dosti ugaševanja. V dobro načrtovani postaji moramo pravzaprav uglasiti le oscilator, ki krmili oddajnik in sprejemnik. Visokofrekvenčna vezja sprejemnika in oddajnika lahko izdelamo v širokopasovni tehniki, ki ne potrebuje ugaševanja, saj takšna radijska postaja ne pozna zrcalnih in drugih motilnih frekvenc. Ničelna medfrekvenca tudi ne potrebuje ugaševanja, saj selektivnost postaje določajo enostavna nizkoprepustna sita. Demodulator tudi ne potrebuje ugaševanja, saj je izdelan z digitalnimi vezji.

Opisane prednosti radijske postaje z ničelno medfrekvenco so že zdavnaj odkrili profesionalci in jih danes s pridom uporabljajo. Radijska postaja, ki ne potrebuje točnih sestavnih delov niti ugaševanja, omogoča

znatno pocenitev proizvodnje. Postaje z ničelno medfrekvenco se uporabljajo predvsem za prenos podatkov: brezžična računalniška omrežja in digitalni mobilni telefoni (na primer GSM).

V tem članku bom zato opisal poskus načrtovanja postaje za amaterski packet-radio, ki potrebuje res malo ugaševanja. Odločil sem se za frekvenčno področje 23cm, ker lahko v tem frekvenčnem področju izjedkamo večino selektivnih sestavnih delov na tiskanem vezju iz navadnega vitroplasta FR4. Frekvenčno področje 23cm se mi zdi tudi smiselna izbira za uporabniški dostop do packet omrežja z megabitnimi hitrostmi.

3. Kristalni oscilator in množilci

PSK radijska postaja z neposrednim mešanjem ali z ničelno medfrekvenco potrebuje en sam oscilator za sprejemnik in oddajnik. Frekvenca oscilatorja mora biti seveda dovolj stabilna za delovanje PSK radijske postaje. Razen tega so sprejemniki z neposrednim mešanjem ali zelo nizko medfrekvenco tudi zelo občutljivi na šum lokalnega oscilatorja.

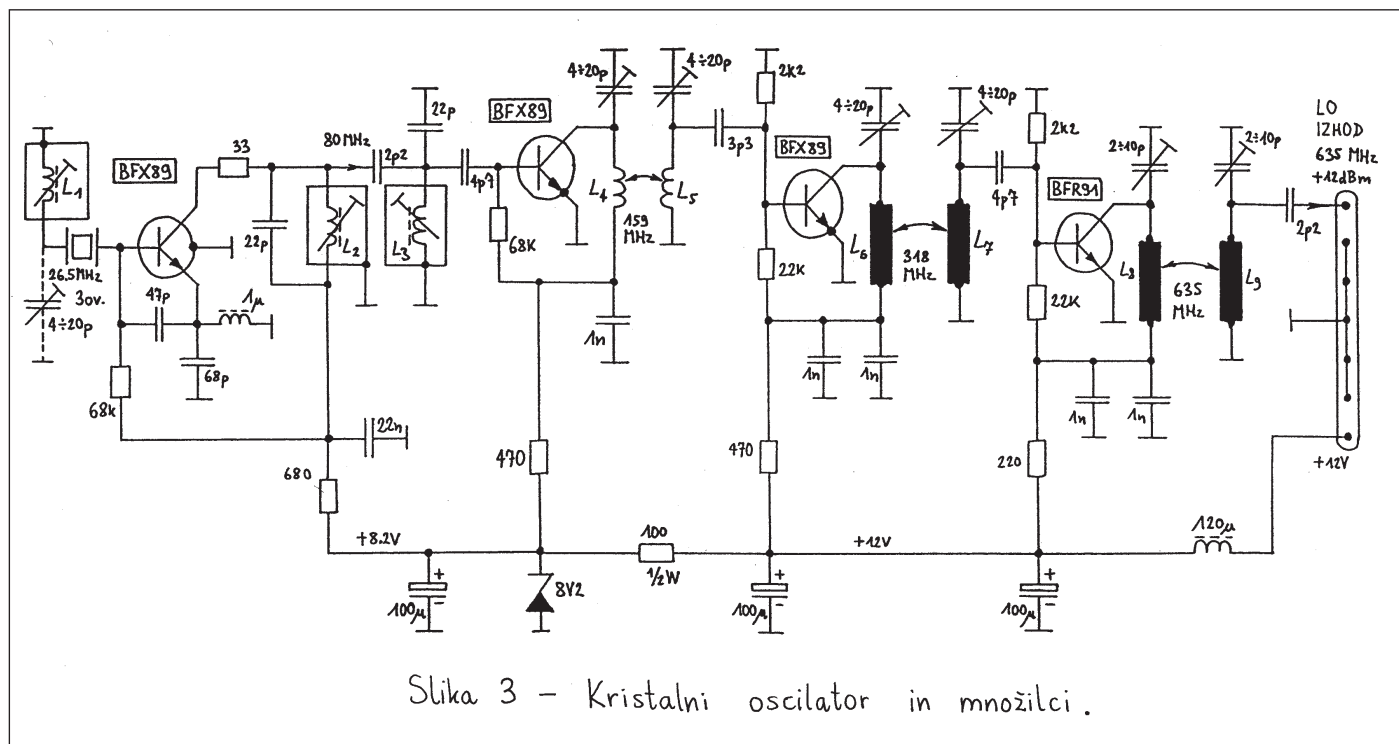
Opisana PSK radijska postaja uporablja v modulatorju oddajnika kot tudi v sprejemniku harmonske mešalnike, ki potrebujejo krmiljenje s polovično frekvenco. Za delovanje v področju 23cm (frekvenca 1.27GHz) torej potrebujeta oba, sprejemnik in oddajnik, lokalni oscilator okoli 635 MHz. Frekvence oscilatorja sicer ni

potrebno preklapljati pri prehodu oddajo oziroma nazaj na sprejem, kar dopušča precejšnjo svobodo pri izbiri vezij lokalnega oscilatorja.

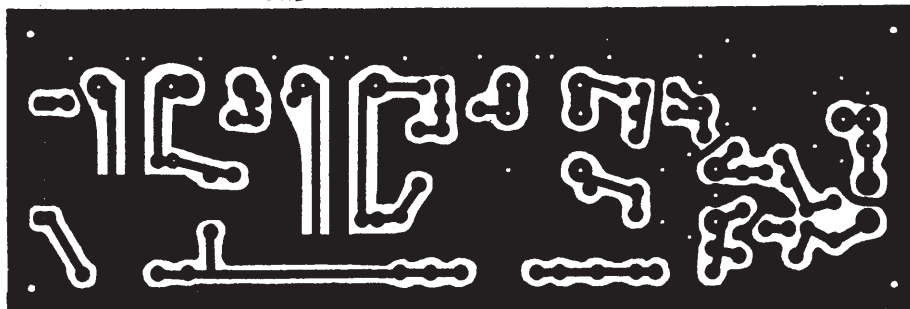
S stališča uporabnika bi bil seveda zaželen PLL sintetizator, ki bi dopuščal svobodno izbiro frekvence v celotnem 23cm področju. V opisani postaji ima PLL dve hibi, ki sicer nista neposredno vezani na delovanje PLL zanke. Prva hiba je povratni vpliv PSK modulatorja nazaj na VCO v PLL sintetizatorju, ki lahko povzroči neželeno FM modulacijo. Druga hiba je vezana na kristalni oscilator: PLL vezja običajno uporabljajo kristale v osnovnem načinu nihanja, ki so frekvenčno manj stabilni od overtonskih kristalov.

V opisani radijski postaji sem se zato odločil za preizkušeno rešitev: overtonski kristalni oscilator, ki mu sledi veriga množilcev frekvence. Načrt je prikazan na sliki 3. Overtonski kristal v frekvenčnem področju okoli 26.5MHz omogoča doseganje končne frekvence z ugodnimi faktorji množenja X3, X2, X2 in X2. Nihanje kristala na overtonski rezonanci zagotavlja 1uH dušilka v emitorju oscilatorja.

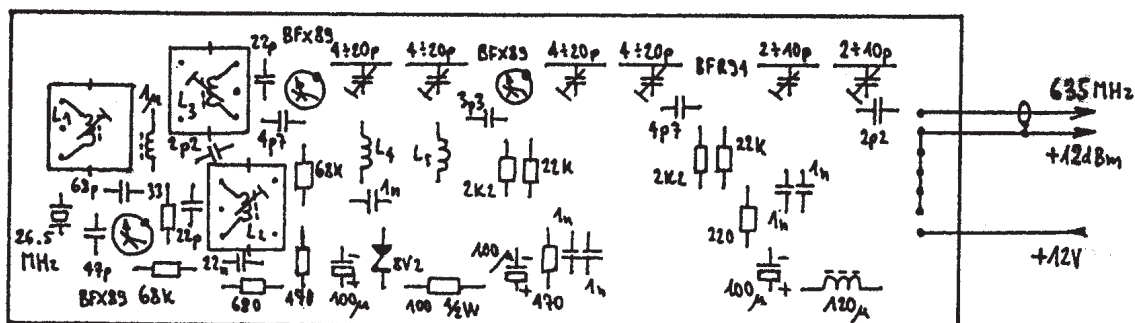
Skupni faktor množenja frekvence kristala znaša 24, oziroma 48 z upoštevanjem podvojevanja frekvence v harmonskih mešalnikih. Večji del amaterskega frekvenčnega področja 23cm lahko tako preprosto pokrijemo s CB kristali, v zgrajenih prototipih pa sem uporabil kristale za 26.6015 MHz (šestkratnik TV barvnega podnosilca), ki so vsekakor kvalitetnejši



enostranski FR4 debeline 0.8mm



Slika 4 - Tiskanina kristalnega oscilatorja in množilcev.



Slika 5 - Razporeditev sestavnih delov kristalnega oscilatorja in množilcev.

in bolj stabilni od CB kristalov.

Prvo množenje X3 opravi kar isti tranzistor oscilatorja, kateremu sledijo tri podobne frekvenčne podvojevalne stopnje, ki hkrati ojačijo signal na približno 16mW (+12dBm) na frekvenci 635MHz. Prva podvojevalna stopnja uporablja sito s samonosečima tuljavama L4 in L5, ostali dve podvojevalni stopnji pa sita s "tiskanimi" tuljavami L6, L7, L8 in L9. Napajanje oscilatorja in prve podvojevalne stopnje je stabilizirano z zener diodo 8V2, za dodatno čiščenje napajalne napetosti in s tem omejevanje šuma oscilatorja pa poskrbijo elektroliti 100µF in dušilka 120µH.

Kristalni oscilator in množilci so zgrajeni na enostranski tiskanini z izmerami 40mmX120mm, ki je prikazana na sliki 4. Tiskanina je iz enostranskega vitroplasta debeline komaj 0.8mm, da se znižajo parazitne induktivnosti izvodov sestavnih delov, ki prebadajo tiskanino. Razporeditev sestavnih delov kristalnega oscilatorja in množilcev je prikazana

na sliki 5.

Naloga tuljave L1 je natančna nastavitev frekvence kristalnega oscilatorja. Tuljavo lahko po potrebi zamenjamo tudi s kapacitivnim trimmerjem. Pri popravljanju frekvence kristala pa se je treba zavedati, da pomenijo veliki popravki tudi dosti višjo temperaturno odvisnost frekvence oscilatorja. Za L1 zato priporočam čim manjšo vrednost, nastavljiva tuljava s srednjo induktivnostjo 1µH bi morala povsem zadoščati (7 ovojev žice 0.15mm CuL na podstavku 10.7MHz medfrekvenčnega transformatorja z nepomičnim feritnim tulcem v sredini, nastavljivo feritno kapico in pokrovčkom 10mmX10mm).

Tuljavi L2 in L3 imata okoli 150nH in sta naviti na podstavkih TV medfrekvenčnih transformatorjev za 36 MHz z nastavljivim feritnim vijakom v sredini tulca s štirimi prekatami in plastično kapico ter pokrovčkom 10mmX10mm. L2 in L3 imata po 4 ovoje žice 0.25mm CuL v gornjem prekatu tulca. Tuljavi L4 in L5 sta

samonoseči in imata po 4 ovoje žice 1mm CuL, navite na notranjem premeru 4mm. Končno, tuljave L6, L7, L8 in L9 so izdelane na tiskanem vezju.

Kristalni oscilator in množilne stopnje predstavljajo edino enoto opisane PSK radijske postaje, ki potrebuje uglasjevanje. Množilne stopnje enostavno uglasimo za največjo izhodno moč. Posamezne stopnje uglasujemo tako, da dobimo na bazi naslednjega tranzistorja minimum napetosti, ki naj ne preseže -1V. Napetost na bazi seveda merimo preko ustrezne VF dušilke ali upora, da ne motimo delovanja VF vezja. Končno nastavimo še točno frekvenco kristalnega oscilatorja s tuljavo L1 oziroma ustreznim kapacitivnim trimmerjem.

4. 1270MHz PSK modulator

Načrt 1270MHz PSK modulatorja je prikazan na sliki 6. Razen modulatorja - mešalnika vsebuje enota

še smerni sklopnik in ojačevalnik za signal oscilatorja na 635MHz, sita za 635MHz in 1270MHz ter ojačevalno stopnjo, ki dvigne moč izhodnega PSK signala na približno 25mW (+14dBm). Vsa sita in ostali frekvenčno selektivni sestavni deli so izvedeni kot mikrotrakasti rezonatorji na dvostranskem, 0.8mm debelem vitroplastu FR4.

Ker potrebujeta sprejemnik in oddajnik signal istega oscilatorja, vsebuje enota PSK modulatorja tudi ustrezno preklopno vezje. Večji del signala iz enote oscilatorja pravzaprav le potuje skozi smerni sklopnik (L1) naprej v enoto kvadraturenega mešalnika sprejemnika. Sprejemna mešalnica tako stalno dobivata signal lokalnega oscilatorja, da je preklop sprejem/oddaja in predvsem nazaj čim hitrejši.

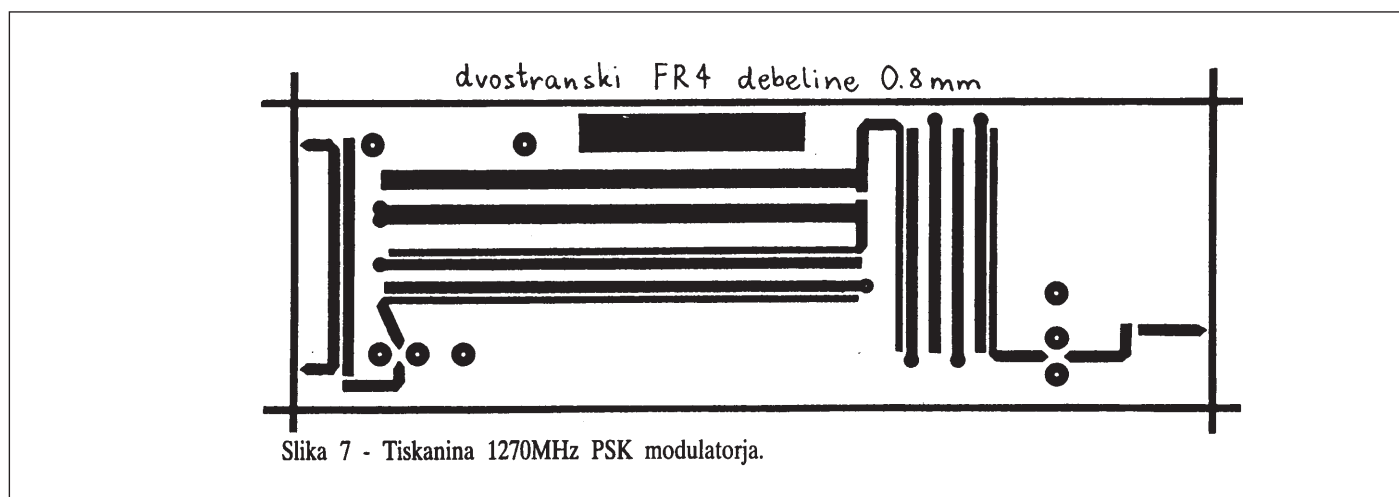
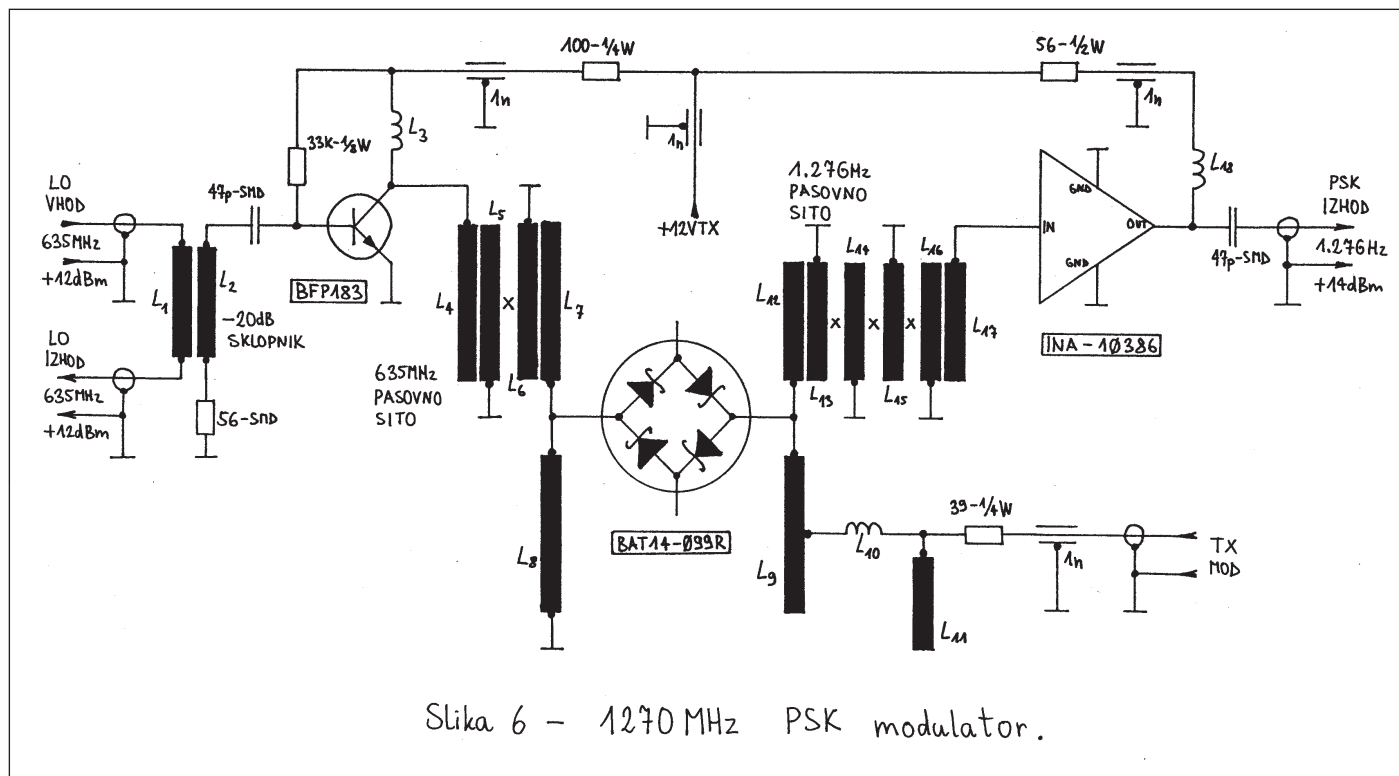
Majhen del signala oscilatorja (približno 1% moči) pride preko smernega sklopnika L1/L2 do ojačevalnika s tranzistorjem BFP183. Ta stopnja ima približno 20dB ojačenja oziroma približno nadomesti izgube v sklopniku. Takšna izvedba preklopa mogoče izgleda na prvi pogled komplicirana, vendar zahteva le en sam aktivni sestavni del (tranzistor BFP183), ostalo naredijo mikrotrakasti vodi na tiskanem vezju.

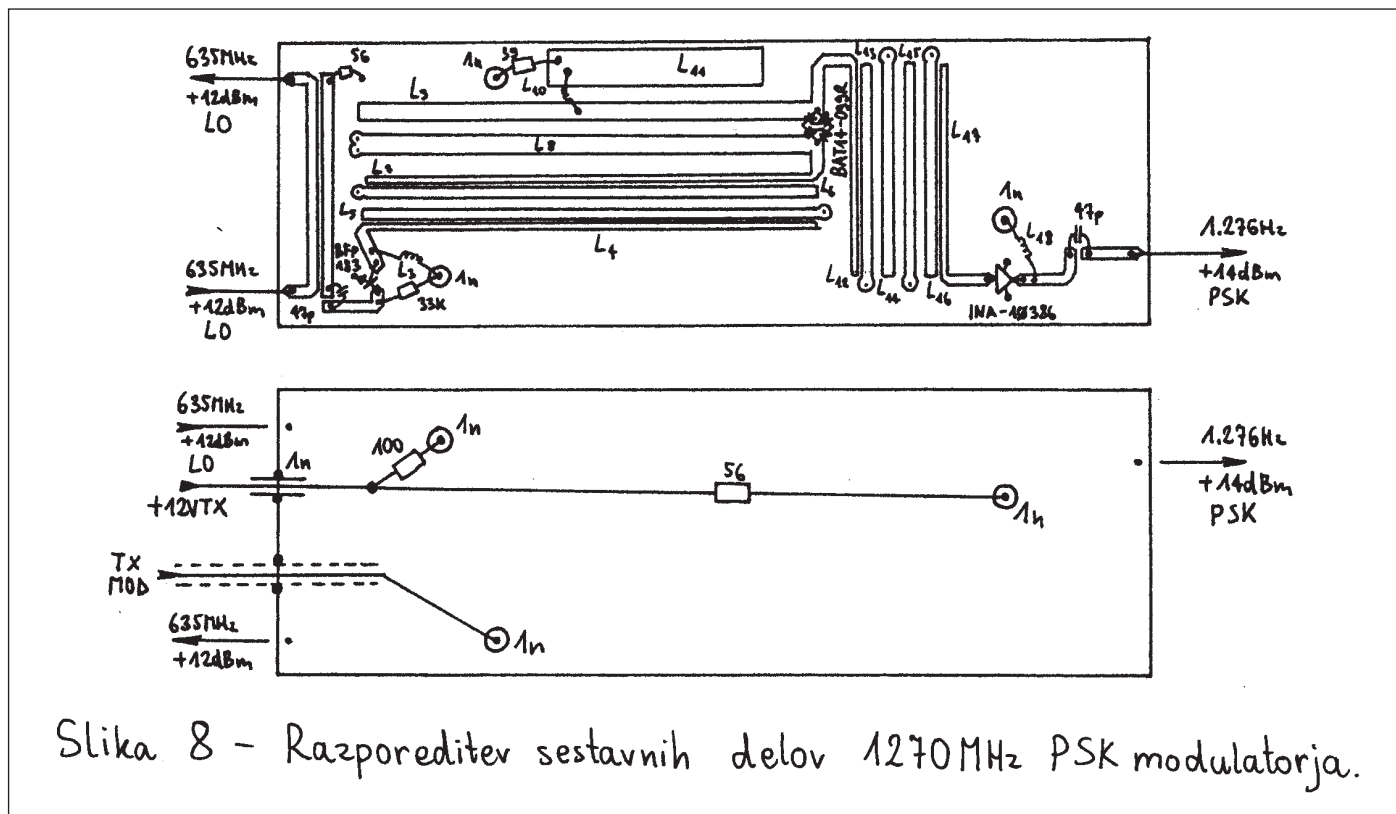
Pasovno sito na izhodu ojačevalnika z BFP183 (L4, L5, L6 in L7) ima prepustno širino približno 50 MHz pri osrednji frekvenci 635MHz. Naloga tega sita je predvsem dušenje drugega harmonika na 1.27GHz, ki nastane v tranzistorju BFP183. Drugi harmonik bi sicer porušil simetrijo mešalnika, rezultat pa bi bil popačena, nesimetrična PSK modu-

lacija. Dodatno sito na 635MHz sem vgradil predvsem iz izkušenj s 13cm PSK postajo, kjer je v podobnem vezju neželeni harmonik nezadostno dušen.

Kot modulator sem uporabil harmonski mešalnik ravno zato, ker je v tem vezju zelo enostavno doseči dobro simetrijo oziroma dobro dušenje preostalega nosilca (okoli 30dB) brez posebnega uglaševanja in brez dragih inštrumentov (spektralni analizator). Harmonski mešalnik uporablja četverček schottky diod BAT14-099R, ki so že v notranjosti SMD ohišja vezane v venec. Čeprav vezje mešalnika potrebuje le dve nasprotno vzporedno vezani diodi, dajo štiri diode višjo izhodno moč.

Mešalniku sledi pasovno sito za 1270MHz (L12, L13, L14, L15, L16 in L17), ki odstranjuje ostanek signala





Slika 8 - Razporeditev sestavnih delov 1270MHz PSK modulatorja.

na 635MHz in druge neželjene proizvode mešanja daleč proč od zelene frekvence. Modulirani PSK signal na 1270MHz, ki nastane v modulatorju, sicer ne potrebuje več nobenega pasovnega sita.

Ker je izhodna moč modulatorja zelo nizka, okoli 0.2mW ob upoštevanju izgub v pasovnem situ za 1270MHz, sledi ojačevalnik z integriranim vezjem INA-10386, ki izhodni signal ojača na približno 25 mW (+14dBm). Ojačenje integriranega vezja INA-10386 je sicer nekoliko previsoko in v tem vezju deluje ojačevalnik že na meji zasičenja.

Enota PSK modulatorja je izdelana na dvostranski tiskanini z izmerama 40mmX120mm. Gornja stran tiskanine je prikazana na sliki 7, spodnja stran pa ni jedkana, saj deluje kot ravnina mase za mikrotrakaste vode. Tiskanina je izdelana iz 0.8mm debelega vitroplasta FR4, ki ima na 1.3GHz že precejšnje visokofrekvenčne izgube. Razporeditev sestavnih delov na obeh straneh tiskanine je prikazana na sliki 8.

Čeprav je večina mikrotrakastih vodov izdelanih na tiskanem vezju, moramo tri četrtvalovne dušilke L3, L10 in L18 naviti kot male tuljavnice z žico 0.25mm CuL. L3 naj bo četrtvalovna dušilka na 635MHz (12cm žice), L18 naj bo četrtvalovna dušilka na 1270MHz (7cm žice), L10 pa naj bo nekje vmes (9cm žice), saj mora dušiti obe frekvenci. Oba konca žice

pocinimo v dolžini približno 5mm, lakirani ostanek pa navijemo kot samonosečo tuljavo na notranji premer 1mm.

Pri gradnji PSK modulatorja moramo paziti predvsem na pravilno ozemljitev mikrotrakastih vodov, upora 56ohm v smernem sklopniku, obeh emitorjev BFP183 ter ojačevalnika INA-10386. Mikrotrakaste rezonatorje ozemljimo s posrebreno bakreno žico premera 0.6mm (notranji vodnik kabla RG-214), ki jo vtaknemo v izvrtine premera 1mm na označenih mestih ter dobro zacimimo na obeh straneh tiskanine. Upor 56ohm in oba aktivna sestavna dela so ozemljeni preko izvrtin premera 3.2mm, ki jih najprej zapremo na strani ravnine mase s koščkom bakrene folije, nato pa napolnimo s cinom vse do priključka SMD upora ali polprevodnika.

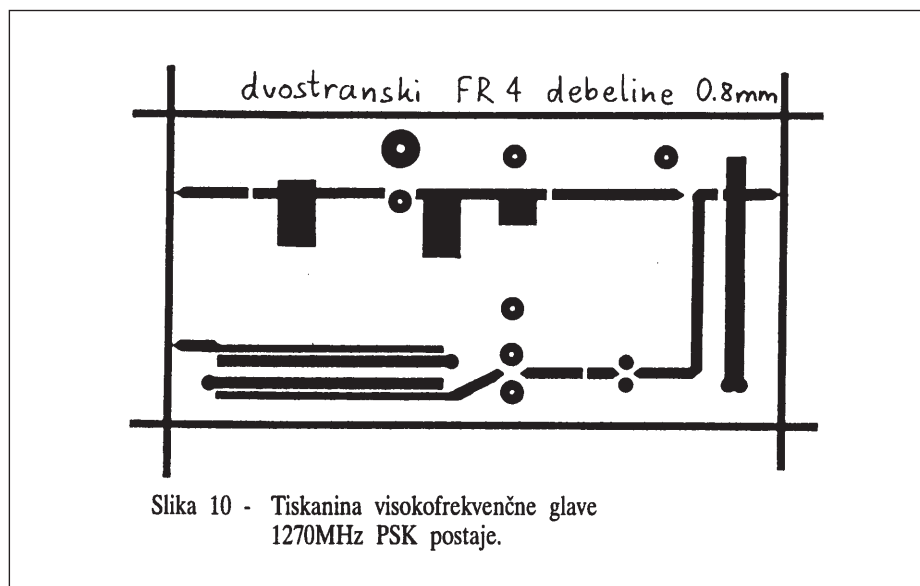
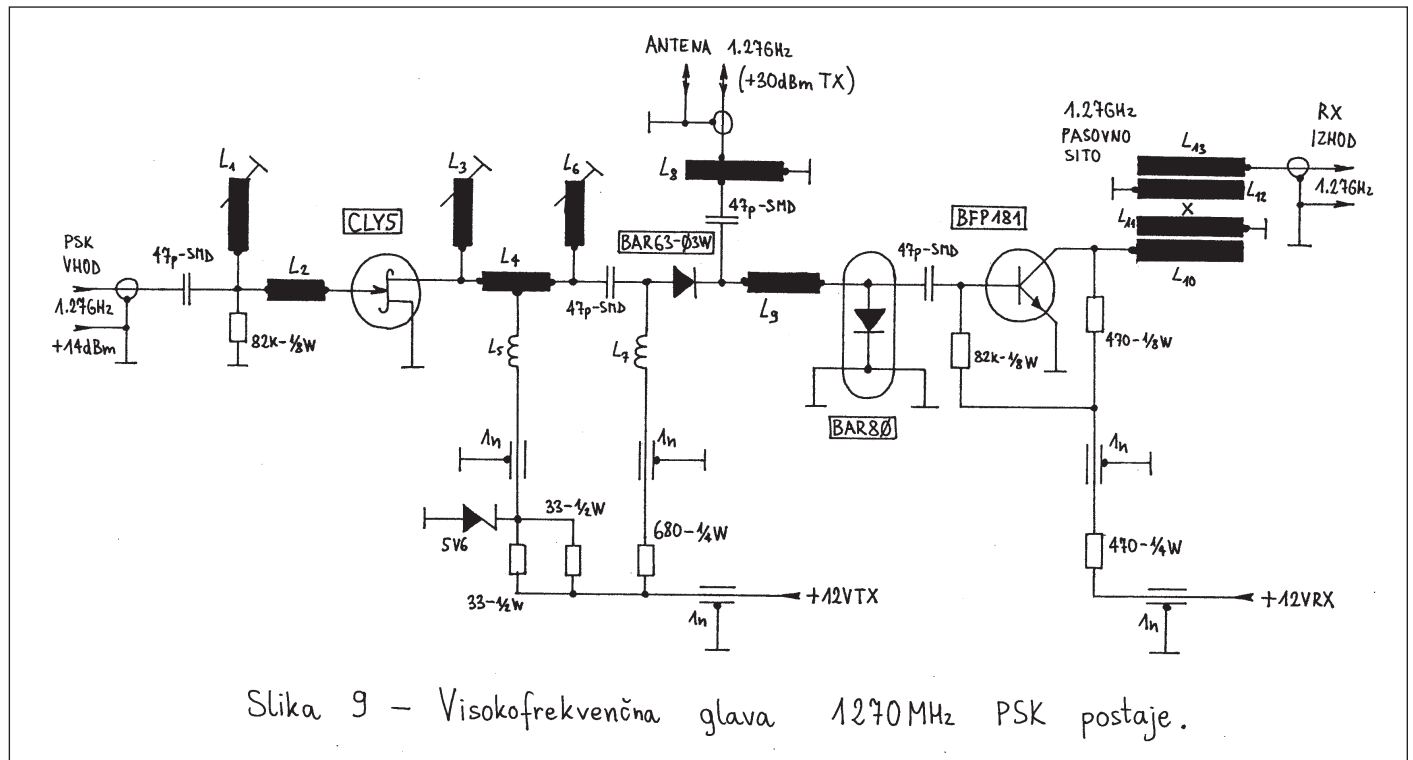
Opisani PSK modulator naj ne bi potreboval nobenega uglaševanja, če so le vsi mikrotrakasti vodi in polprevodniki pravilno ozemljeni. Na izhodu moramo doseči predpisano moč 25mW pri krmiljenju vezja z ustreznim signalom lokalnega oscilatorja ter primernim modulacijskim signalom. Izhodna moč se le blago spreminja z vrtenjem trimerja v enoti preklopa RX/TX predvsem zaradi rezerve ojačenja vezja INA-10386.

5. Visokofrekvenčna glava 1270MHz PSK postaje

Načrt visokofrekvenčne glave 1270 MHz PSK radijske postaje je prikazan na sliki 9. Visokofrekvenčna glava vsebuje izhodni, močnostni ojačevalnik oddajnika, predojačevalnik in visokofrekvenčno sito sprejemnika ter antenski preklopnik s PIN diodama. Tudi visokofrekvenčna glava je izdelana kot mikrotrakasto vezje na dvostranskem vitroplastu FR4 debeline 0.8mm.

Načrt visokofrekvenčne glave znatno poenostavljajo sodobni polprevodniki. V močnostnem ojačevalniku oddajnika je uporabljen en sam GaAs tranzistor CLY5, ki hkrati daje 16dB ojačenja in izhodno moč 1W (+30dBm). Enakovredno vezje v stari 23cm WBFM postaji vsebuje tri zaporedno vezane ojačevalne stopnje! CLY5 je sicer nizkonapetostni tranzistor, ki deluje z napetostjo ponora komaj 5.5V, negativno prednapetost na vratih pa si ustvari sam z usmerjanjem vhodnega signala.

Antenski preklopnik je izdelan z dvema različnima PIN diodama BAR63-03W in BAR80. Polprevodniška čipa teh dveh diod sta si sicer podobna, bistvena je razlika v ohišjih. BAR63-03W je vgrajena v ohišje z majhno parazitno kapacitivnostjo in se uporablja kot zaporedno visokofrekvenčno stikalo. Obratno je BAR80 vgrajena v ohišje z



minimalno parazitno induktivnostjo in se uporablja kot vzporedno stikalo ("shunt" dioda). Antenski preklopnik je izdelan tako, da sta obe stikali sklenjeni na oddaji. Četrvalovni vod L9 tedaj poskrbi za to, da se kratek stik iz diode BAR80 preslika v odprte sponke za oddajnik.

Visokofrekvenčna glava vsebuje tudi predojačevalnik in pasovno sito za sprejemnik. Predojačevalnik uporablja tranzistor BFP181, ki naj bi omogočal šumno število okoli 2dB in ojačenje okoli 15dB brez posebnega uglaševanja. Pasovno sito (L10, L11, L12 in L13) mora izločiti predvsem oddaljene motnje zelo močnih oddajnikov, da ne pride do neposredne amplitudne detekcije oziroma nežel-

jenih mešanj v kvadraturnem mešaniku. Pasovno sito ima širino okoli 100MHz ter vnaša približno 3dB izgub, ker je izdelano na navadnem laminatu FR4.

Visokofrekvenčna glava PSK postaje je izdelana na dvostranski tiskanini z izmerami 40mmX80mm. Gornja stran tiskanine je prikazana na sliki 10, spodnja stran pa ni jedkana, saj deluje kot ravnina mase za mikrotrakaste vode. Tiskanina je izdelana iz 0.8mm debelega vitroplasta FR4. Razporeditev sestavnih delov na obeh straneh tiskanine je prikazana na sliki 11.

Razen tiskanih vodov vsebuje visokofrekvenčna glava tudi dve samonoseči četrvalovni dušilki L5 in

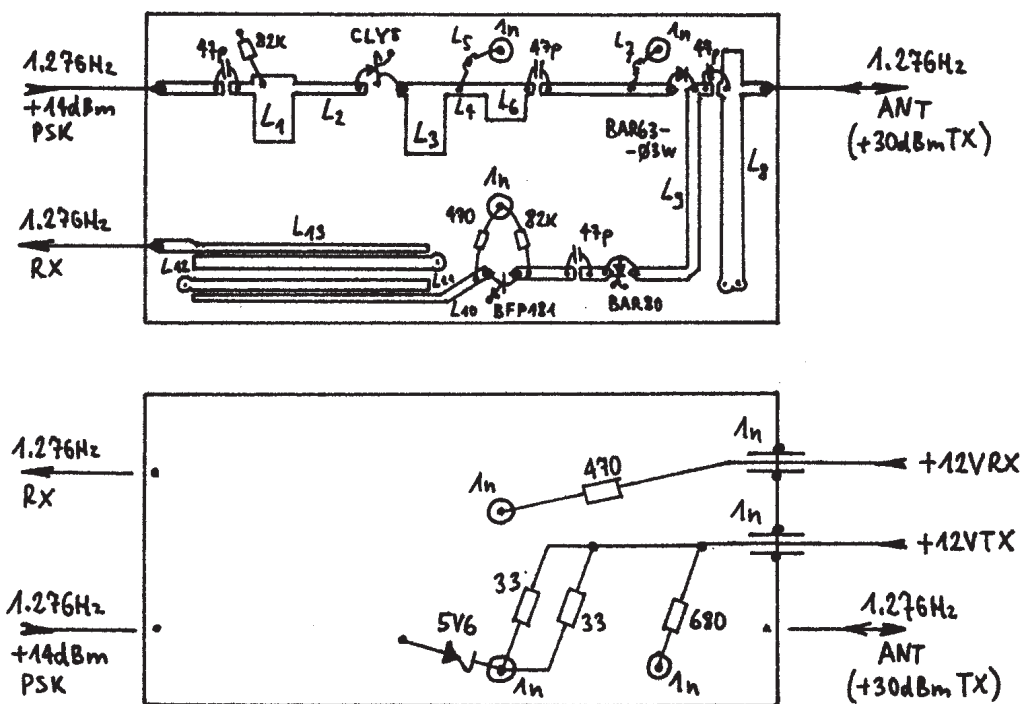
L7 za 1270MHz, ki sta izdelani iz 7cm dolgih koščkov žice 0.25mm CuL, pocinjenih za 5mm na obeh koncih, ostanek pa navit na notranji premer 1mm.

Pri gradnji visokofrekvenčne glave moramo paziti predvsem na pravilno ozemljitev mikrotrakastih rezonatorjev in polprevodnikov CLY5, BAR80 ter BFP181. Mikrotrakaste rezonatorje ozemljimo podobno kot v PSK modulatorju z žičkami premera 0.6 mm, polprevodnike pa s kapljicami cina v ustreznih izvrtinah. Pri tranzistorju CLY5 moramo dobro ozemljiti oba priključka izvora, preko njiju se tranzistor tudi ohlaja. Na drugi strani tiskanega vezja zato pricininimo medeninasto ploščico z izmerami 15 mmX15mmX0.5mm ter nato zapolnimo s cinom izvrtini premera 3.2mm in 5mm. Diodo BAR80 ozemljimo skozi izvrtini premera 2.5mm, tranzistor BFP181 pa skozi izvrtini premera 3.2mm.

Pravilno sestavljen oddajni del običajno daje moč večjo od 800mW, z uglaševanjem rezonatorjev L1, L3 in L6 pa lahko izmolvemo še zadnje milivate do nazivne izhodne moči 1W. Sprejemni del in antenski preklopnik običajno ne potrebuje nobenega uglaševanja.

6. Kvadraturni I/Q mešalnik za 1270MHz

Načrtovanje mešalnika za sprejemnik z neposrednim mešanjem ozi-



Slika 11 - Razporeditev sestavnih delov visokofrekvenčne glave 1270 MHz PSK postaje.

roma ničelno medfrekvenco se nekoliko razlikuje od načrtovanja običajnih mešalnikov. Zaradi zelo nizke vrednosti medfrekvence je treba računati z višjim šumnim številom. Sprejemnik z zelo nizko vrednostjo medfrekvence je občutljiv na šum lokalnega oscilatorja, kot tudi na neposredno amplitudno detekcijo neželenih vhodnih signalov v mešalniku.

Po drugi strani pa sprejemnik z neposrednim mešanjem ali ničelno medfrekvenco ne pozna motenj na zrcalni frekvenci, pa tudi drugih motilnih produktov mešanja je običajno manj. Takšni sprejemniki zato običajno ne potrebujejo velike selektivnosti v visokofrekvenčnem delu. Visokofrekvenčna sita služijo le za omejevanje močnih, a frekvenčno zelo oddaljenih motilcev. Pasovno širino sprejemnika določajo nizkoprepustna sita, ki sledijo mešalniku.

Načrt kvadraturnega I/Q mešalnika za 1270MHz je prikazan na sliki 12. Enota kvadraturnega mešalnika vsebuje dve pasovni siti za 1270MHz, visokofrekvenčni ojačevalnik z integriranim vezjem INA-03184, dva enaka harmonska mešalnika, ki delujeta s faznim zamikom 90 stopinj in dva enaka medfrekvenčna predojačevalnika s tranzistorjema BF199.

Tudi kvadraturni I/Q mešalnik je izdelan kot mikrotrakasto vezje na dvostranskem vitroplastu FR4 debeline 0.8mm.

Pasovni siti sta povsem enaki situ v visokofrekvenčni glavi, se pravi prepustni pas 100MHz in 3dB izgub zaradi cenene vitroplasta FR4. Za prekrivanje šumnega števila mešalnikov in izgub v sitih potrebujemo okoli 20dB ojačenja. Ojačenje INA-03184 je sicer nekoliko previsoko (25dB), ojačenje cenejšega tranzistorja BFP181 pa se je izkazalo premajhno (15dB) v opisanem vezju.

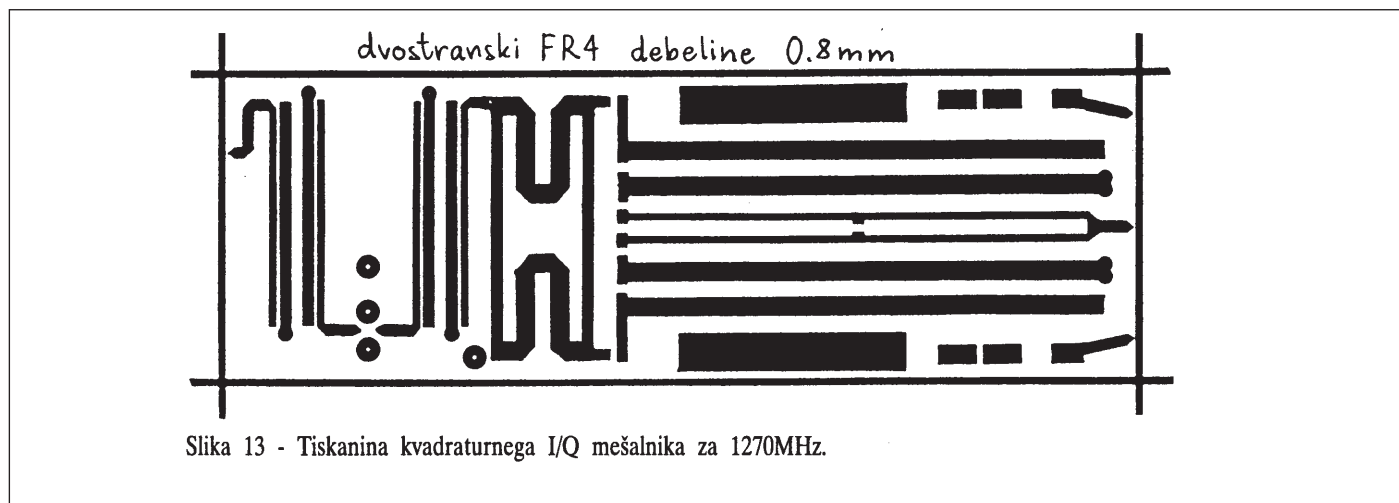
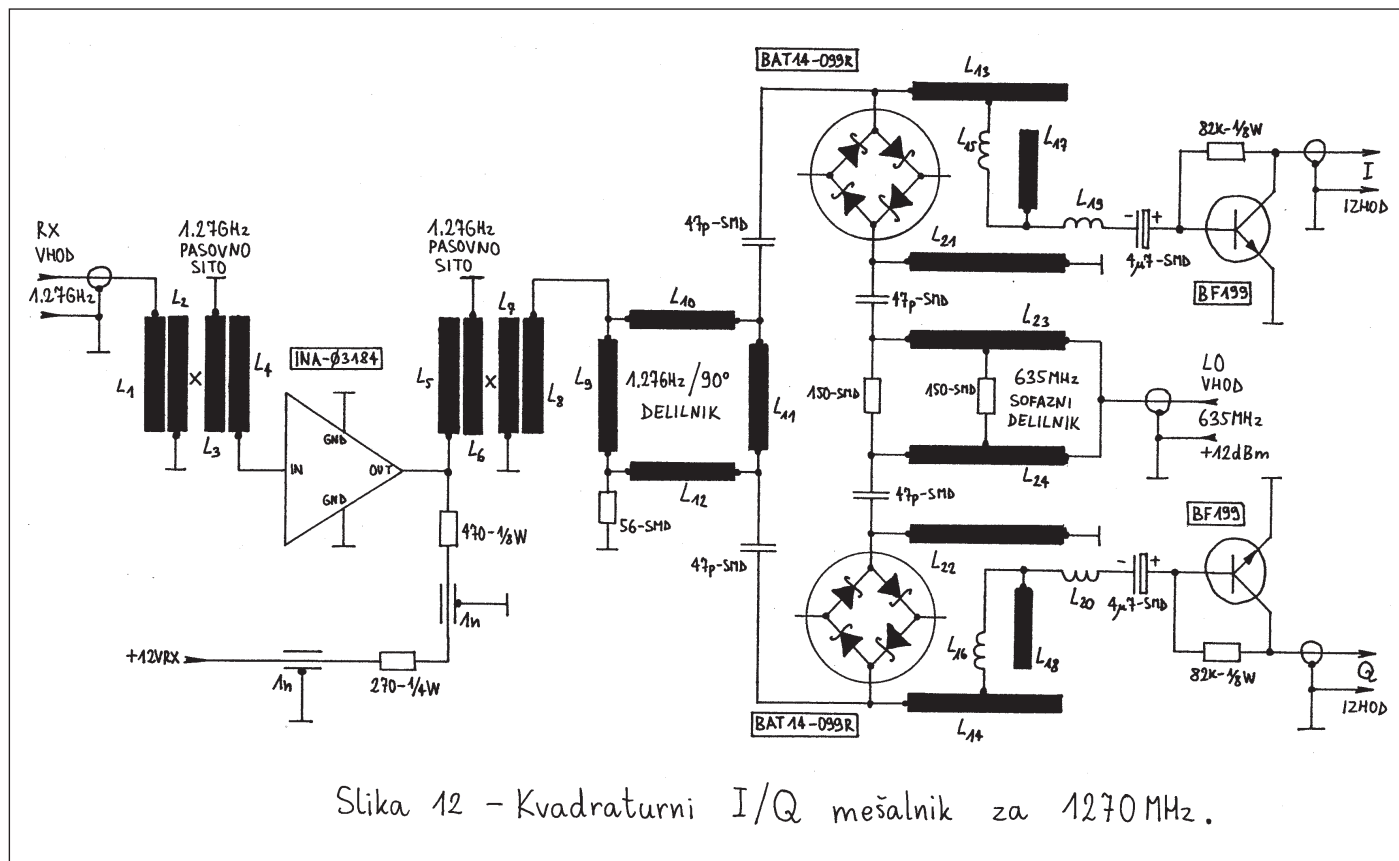
Kvadraturni I/Q mešalnik vsebuje dva harmonska mešalnika, ki sta po izvedbi povsem enaka modulatorju v oddajniku. Harmonska mešalnika sta se tu dobro obnesla iz več razlogov. Zaradi simetrične vezave diod takšna mešalnika zelo dobro dušita šum lokalnega oscilatorja in neposredno detekcijo močnih vhodnih VF signalov. Hkrati zahtevata signal lokalnega oscilatorja na polovični frekvenci, kar pomeni v postaji z ničelno medfrekvenco ali neposrednim mešanjem milejše zahteve za oklapanje posameznih stopenj in nenazadnje popolno kompatibilnost z mešalnikom v modulatorju oddajnika.

Kvadraturni I/Q mešalnik mora

sicer vsebovati dva popolnoma enaka mešalnika, ki delujeta s faznim zamikom natančno četrt periode oziroma 90 stopinj. Ker se impedanca diod v mešalnikih močno spreminja z jakostjo signala lokalnega oscilatorja, morajo biti delilniki načrtovani tako, da ohranjajo predpisani fazni zamik 90 stopinj in simetrijo ne glede na impedanco diod.

V opisanem kvadraturnem I/Q mešalniku se oba mešalnika napajata sofazno s signalom lokalnega oscilatorja, fazni zamik 90 stopinj pa vnaša delilnik vhodnega visokofrekvenčnega signala (L9, L10, L11 in L12). Oba delilnika sicer vsebujeta več uporov, ki zagotavljajo simetrijo in fazni zamik tudi ob spreminjajoči se impedanci mešalnih diod. Opisano vezje omogoča simetrijo napajanja mešalnikov boljšo od 5% in fazno napako manjšo od 5 stopinj brez kakršnegakoli uglaševanja.

Mešalnikom takoj sledita dva enaka medfrekvenčna predojačevalnika s tranzistorjema BF199. Predojačevalnika sta nameščena v enoti kvadraturnega mešalnika zato, da se izognemo motnjam in šumom. Predojačevalnika sicer dobta napajalno napetost iz naslednje enote kar preko izhodnih signalnih vodov.



Enota kvadratnega I/Q mešalnika za 1270MHz je izdelana na dvostranski tiskanini z izmerami 40 mmX120mm. Gornja stran tiskanine je prikazana na sliki 13, spodnja stran pa ni jedkana, saj deluje kot ravnina mase za mikrotrakaste vode. Tiskanina je izdelana iz 0.8mm debelega vitroplasta FR4. Razporeditev sestavnih delov na obeh straneh tiskanine je prikazana na sliki 14.

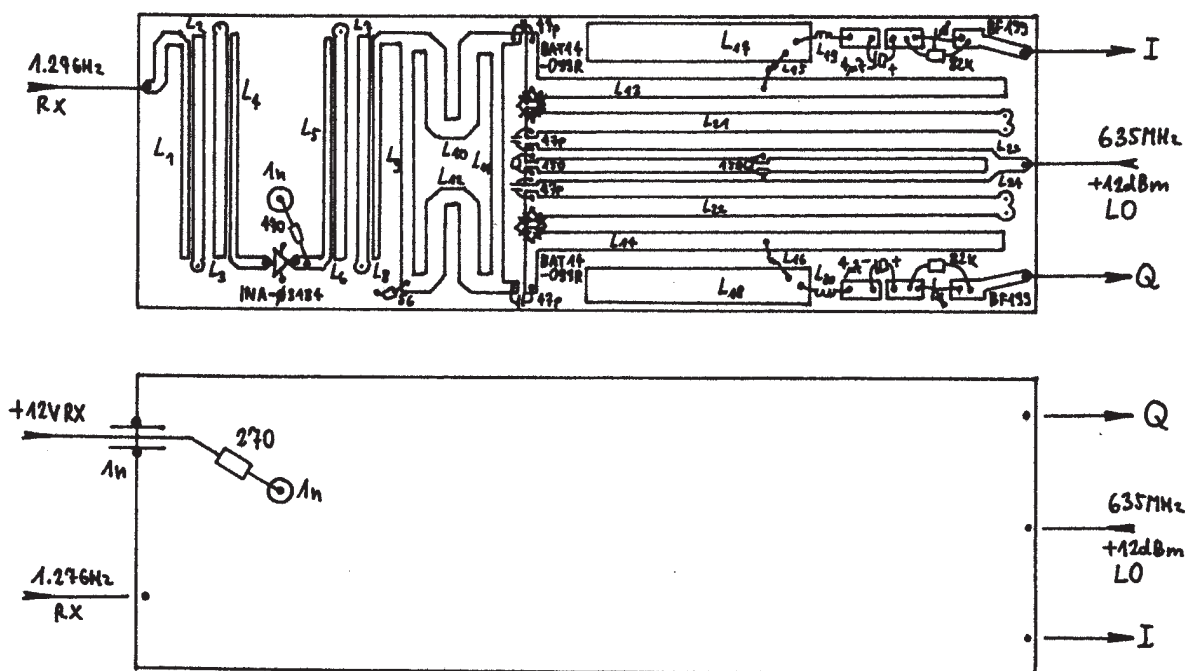
Čeprav je večina mikrotrakastih vodov izdelanih na na tiskanem vezju, moramo štiri četrtvalovne dušilke L15, L16, L19 in L20 naviti kot male tuljavice z žico 0.25mm CuL. Za vsako tuljavico odrežemo 9cm žice, oba konca žice pocinimo v dolžini

približno 5mm, lakirani ostanek pa navijemo kot samonosečo tuljavo na notranji premer 1mm.

Pri gradnji kvadratnega I/Q mešalnika moramo paziti predvsem na pravilno ozemljitev mikrotrakastih vodov, upora 56ohm v 90-stopinjskem delilniku ter ojačevalnika INA-03184. Mikrotrakaste rezonatorje ozemljimo s posrebreno bakreno žico premera 0.6mm (notranji vodnik kabla RG-214), ki jo vtaknemo v izvrtine premera 1mm na označenih mestih ter dobro zacimimo na obeh straneh tiskanine. Upor 56ohm in ojačevalnik INA-03184 sta ozemljena preko izvrtin premera 3.2mm, ki jih najprej zapremo na strani

ravnine mase s koščkom bakrene folije, nato pa napolnimo s cinom vse do priključka SMD upora ali polprevodnika.

Opisani kvadraturni I/Q mešalnik naj ne bi potreboval nobenega uglaševanja, če so le vsi mikrotrakasti vodi in polprevodniki pravilno ozemljeni. Simetrijo in fazni zamik mešalnikov najlažje preverimo z dvo-kanalnim osciloskopom na izhodih I in Q (ne pozabiti na napajanje iz naslednje enote!) tako, da privedemo na VF vhod nemoduliran signal na 1.27GHz. Opisana PSK radijska postaja dopušča nesimetrijo amplitud do 10% in fazno napako do 10 stopinj. Vzrok še večje fazne napake



Slika 14 - Razporeditev sestavnih delov kvadraturnega I/Q mešalnika za 1270 MHz.

ali nesimetrije je lahko edino pokvarjen sestavni del v kvadraturnem mešalniku, kar z uglasenjem ne moremo več popraviti.

7. Dvokanalni I/Q ojačevalnik s skupno stopenjsko ARO

Osnovna zamisel sprejemnikov z neposrednim mešanjem ali z ničelno medfrekvenco je v tem, da dosežemo glavnino ojačenja v enostavnem in cenemem nizkofrekvenčnem ojačevalniku, ki ne potrebuje uglasenja. Tudi selektivnost takšnega sprejemnika določajo preprosta nizkoprepustna siti, ki prav tako ne potrebujejo uglasenja. Načrt takšnega ojačevalnika je zato precej drugačen od običajnih medfrekvenčnih ojačevalnikov.

Sprejemnik z ničelno medfrekvenco seveda potrebuje dvokanalni ojačevalnik, saj moramo neodvisno ojačevati oba kanala I in Q pred demodulacijo. Kanala morata biti čim bolj enaka, zato morata imeti skupno avtomatsko regulacijo ojačenja (ARO), ki zagotavlja, da ostane razmerje amplitud signalov I in Q nespremenjeno.

Frekvenčni pas dvokanalnega I/Q ojačevalnika bi seveda moral zajemati vse frekvence od enosmerne

do najvišje modulacijske frekvence. Zahtevi po prenašanju enosmerne komponente se seveda skušamo izogniti na različne načine. V slučaju digitalnega prenosa (BPSK ali QPSK sprejemnik) podatke pred oddajo skrambliramo, da so vse frekvenčne komponente modulacijskega spektra približno enako močne.

V slučaju BPSK sprejemnika za 1.2Mbit/s bi moral dvokanalni I/Q ojačevalnik prepuščati vse frekvence od nič do polovice bitne hitrosti (600kHz). V resničnem sprejemniku je smiselno postaviti gornjo mejo nekoliko višje, nekje med 800kHz in 1MHz, da se izognemo pretiranemu popačenju oblike impulzov. Višja zgornja meja seveda pomeni večjo pasovno širino sprejemnika, ki zajame več toplotnega šuma.

Spodnja frekvenčna meja dvokanalnega I/Q ojačevalnika zavisi od tega, kakšno popačenja impulzov si še lahko privoščimo kljub skramblerju v oddajniku. Če skrambler poskrbi za zvezen modulacijski spekter, bo jakost popačenja kar sorazmerna moči signala, ki smo jo izrezali pod spodnjo frekvenčno mejo ojačevalnika. Pri hitrosti prenosa podatkov 1.2Mbit/s in spodnji frekvenčni meji 1kHz znaša dodatno popačenje približno 4% amplitude impulzov.

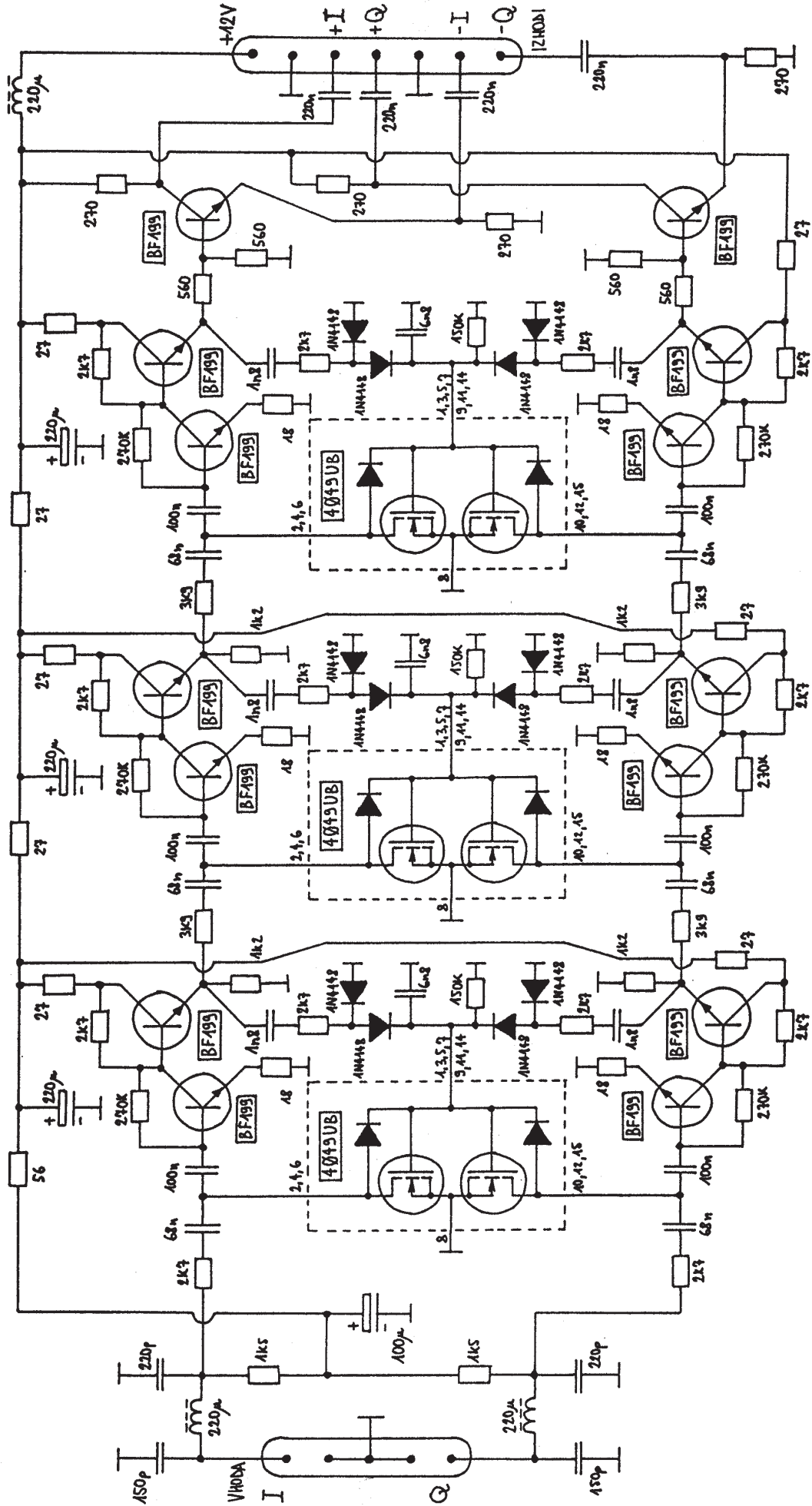
Načrt dvokanalnega I/Q ojače-

valnika s skupno stopenjsko ARO je prikazan na sliki 15. Ojačevalnik vsebuje dve enaki nizkoprepustni siti na vходу. Sitom sledijo tri enake dvokanalne ojačevalne stopnje, vsaka s svojo lastno regulacijo ojačenja (ARO). Končno sta na izhodu dodana še dva fazna obračalnika, ki proizvajata štirifazne izhodne signale +I, +Q, -I in -Q za krmiljenje demodulatorja.

Nizkoprepustni siti na vходу sta izdelani kot PI siti s po dvema kondenzatorjema in zaporedno dušilko 220uH. Prvi kondenzator je nekoliko manjši, saj se mu prišteva izhodna kapacitivnost predojačevalnika v kvadraturnem mešalniku in kapacitivnost oklopljenega voda. Bremenska upora 1.5kohm hkrati poskrbita za dovod enosmerne napajalne napetosti do obeh predojačevalnikov.

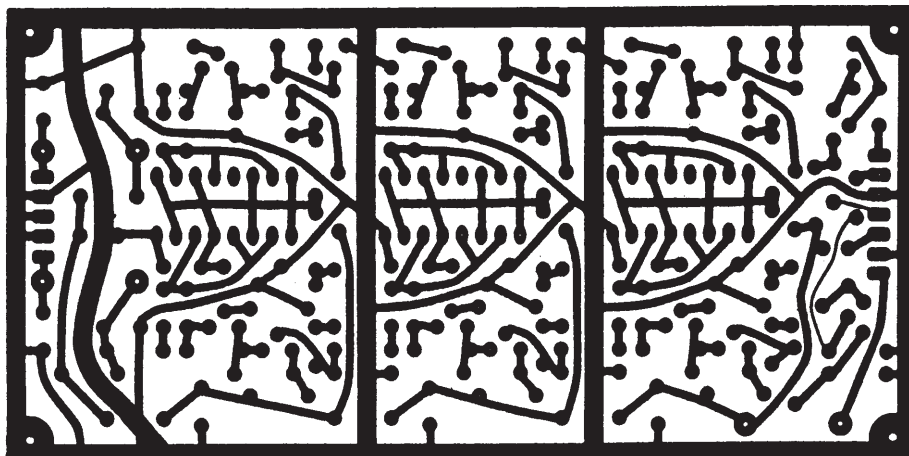
Pri načrtovanju ojačevalnih stopenj z ARO naletimo na nasprotujoče zahteve. Po eni strani sicer zahtevamo čim nižjo spodnjo frekvenčno mejo, po možnosti pod 1kHz, da omejimo popačenje impulzov. Po drugi strani pa zahtevamo kratke časovne konstante vključno z ARO, po možnosti pod 1ms, da bo prekop sprejem/oddaja in predvsem nazaj čim hitrejši.

Takšne zahteve lahko izpolnimo samo, če omejimo ojačenje v vseh

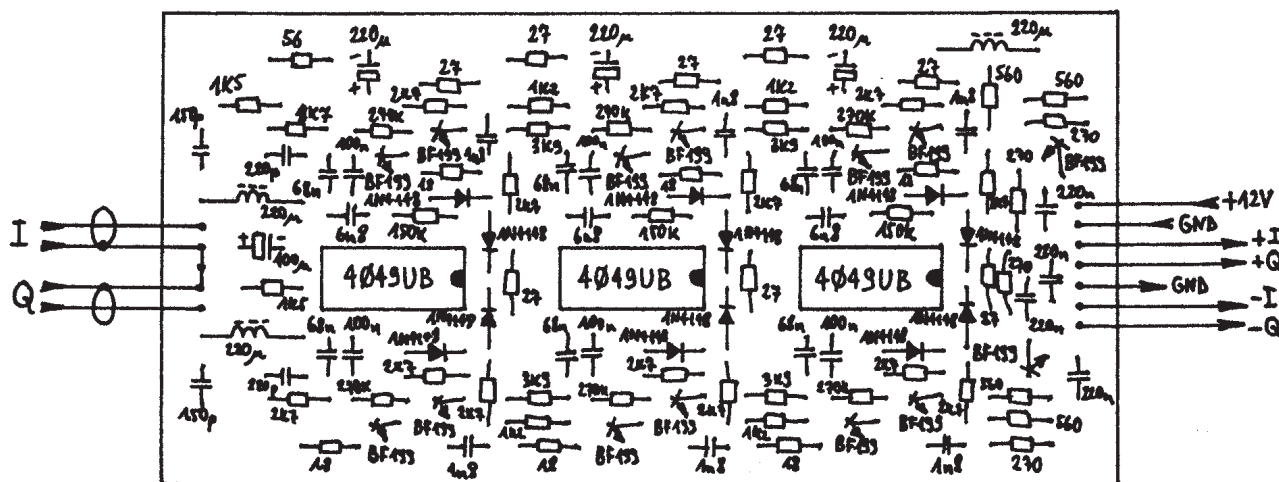


Slika 15 - Dvokanalni I/Q ojačevalnik s skupno stopenjsko ARO.

enostranski FR4 debeline 1.6mm



Slika 16 - Tiskanina dvokanalnega I/Q ojačevalnika.



Slika 17 - Razporeditev sestavnih delov dvokanalnega I/Q ojačevalnika.

povratnih zankah. Ojačevalnika zato ne moremo izdelati z eno samo ARO, ki bi delovala preko vseh stopenj, ker postane takšna povratna zanka nestabilna ob upoštevanju gornjih zahtev. Vsaka stopnja mora imeti svojo lastno, neodvisno ARO, saj lahko le tako dosežemo spodnjo frekvenčno mejo 1kHz in hkrati časovno konstanto ARO okoli 1ms.

Posamezne ojačevalne stopnje so izdelane s tranzistorji BF199, s katerimi brez težav dosežemo pasovno širino nekaj MHz. Vsaka ojačevalna stopnja vsebuje ojačevalni tranzistor, ki mu sledi emitorski sledilnik, da preprečimo neželjene medsebojne vplive, ko povežemo več takšnih sto-

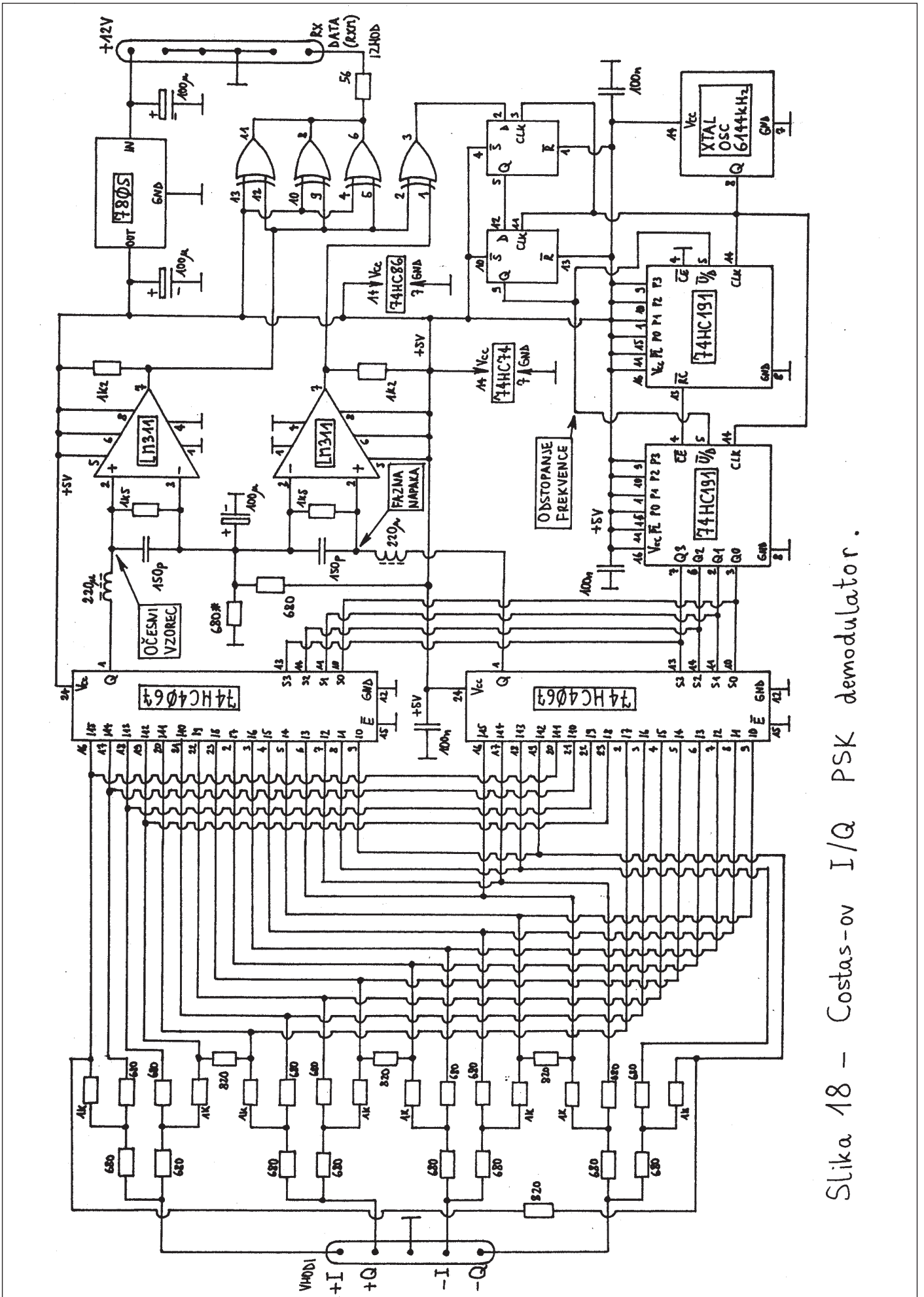
penj v verigo. Celotna enota vsebuje šest takšnih stopenj, po tri za vsak kanal.

ARO uporablja MOS tranzistorje kot spremenljive upore na vходу ojačevalnih stopenj. Enakost med I in Q kanaloma dosežemo tako, da uporabimo MOS tranzistorje iz istega integriranega vezja 4049UB. Digitalno CMOS vezje 4049UB je v tem slučaju uporabljeno na nekoliko neobičajen način, sicer pa se preostali sestavni deli iz vezja 4049UB obnašajo le kot diode, ki ne motijo delovanja ARO.

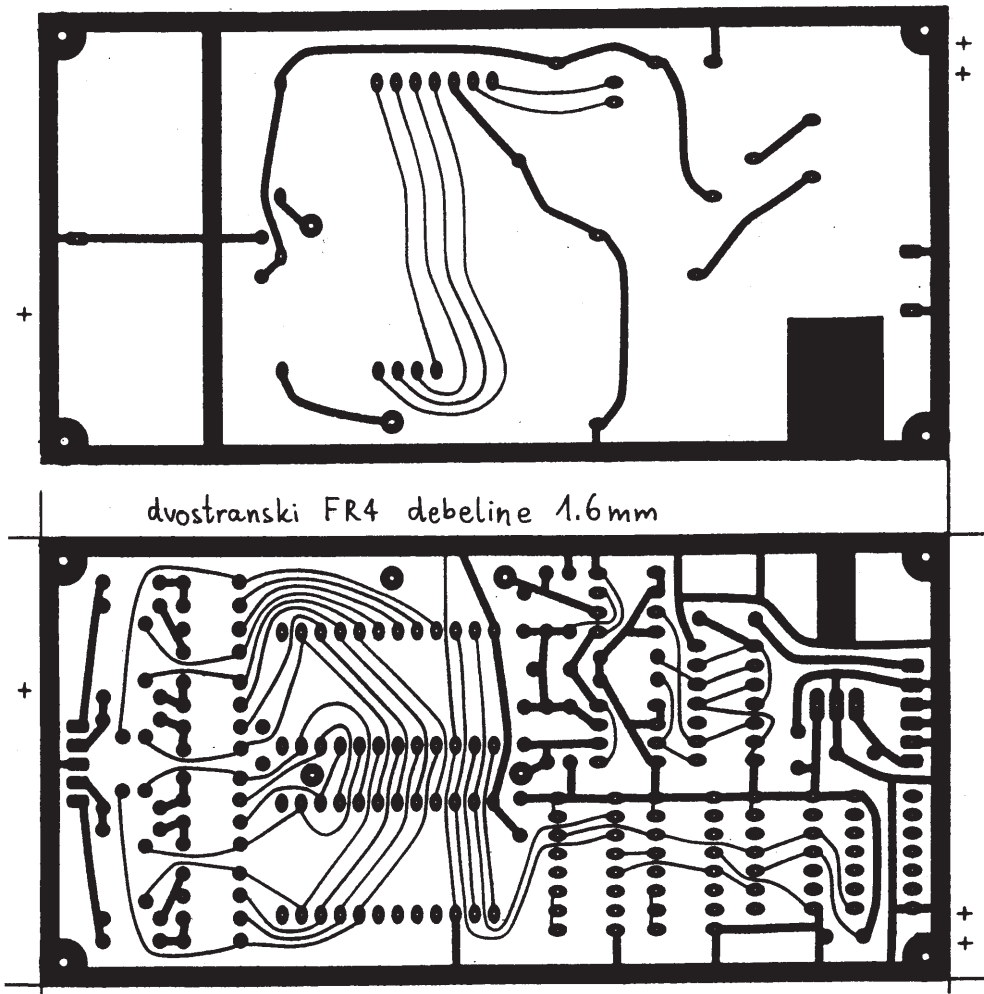
ARO krmilno napetost dobimo preko usmernikov z diodami 1N4148. Diode so povezane tako, da ARO

napetost določa preprosto tisti kanal, ki ima višjo amplitudo. Razmerje amplitud I/Q se pri tem ohranja, ker so tranzistorji znotraj istega integriranega vezja 4049UB med sabo povsem enaki.

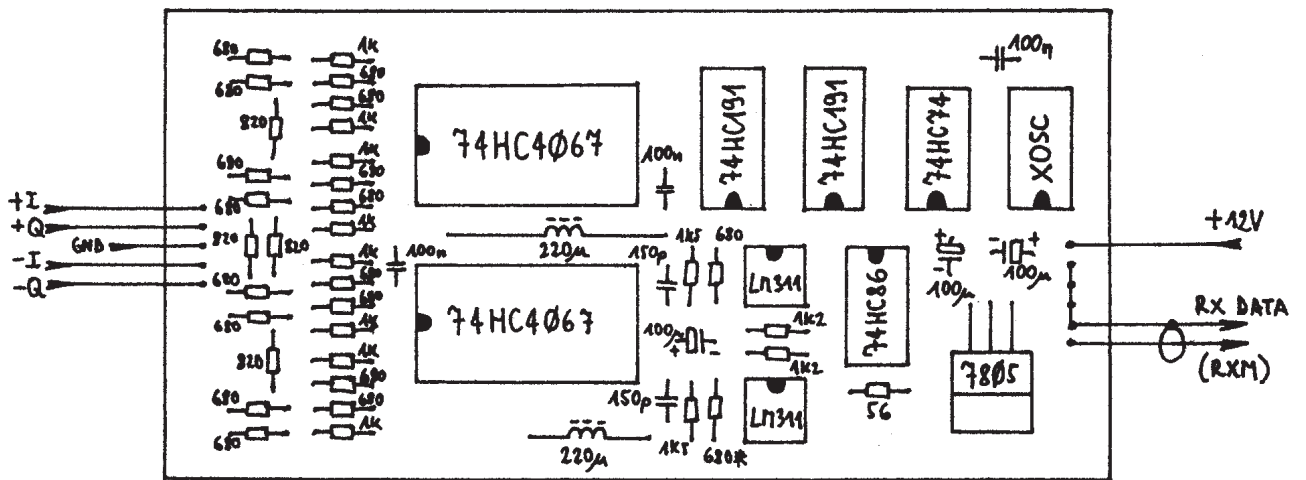
Dvokanalni I/Q ojačevalnik s skupno stopenjsko ARO je zgrajen na enostranski tiskanini iz 1.6mm debelega vitroplasta, ki je prikazana na sliki 16. Ustrezna razporeditev sestavnih delov je prikazana na sliki 17. Ker enota ne vsebuje nobenih nastavljivih sestavnih delov, moramo paziti na točnost vgrajenih sestavnih delov. Načeloma sicer zadoščajo 5% upori, 10% folijski kondenzatorji (nikakor ne keramični!) in običajni



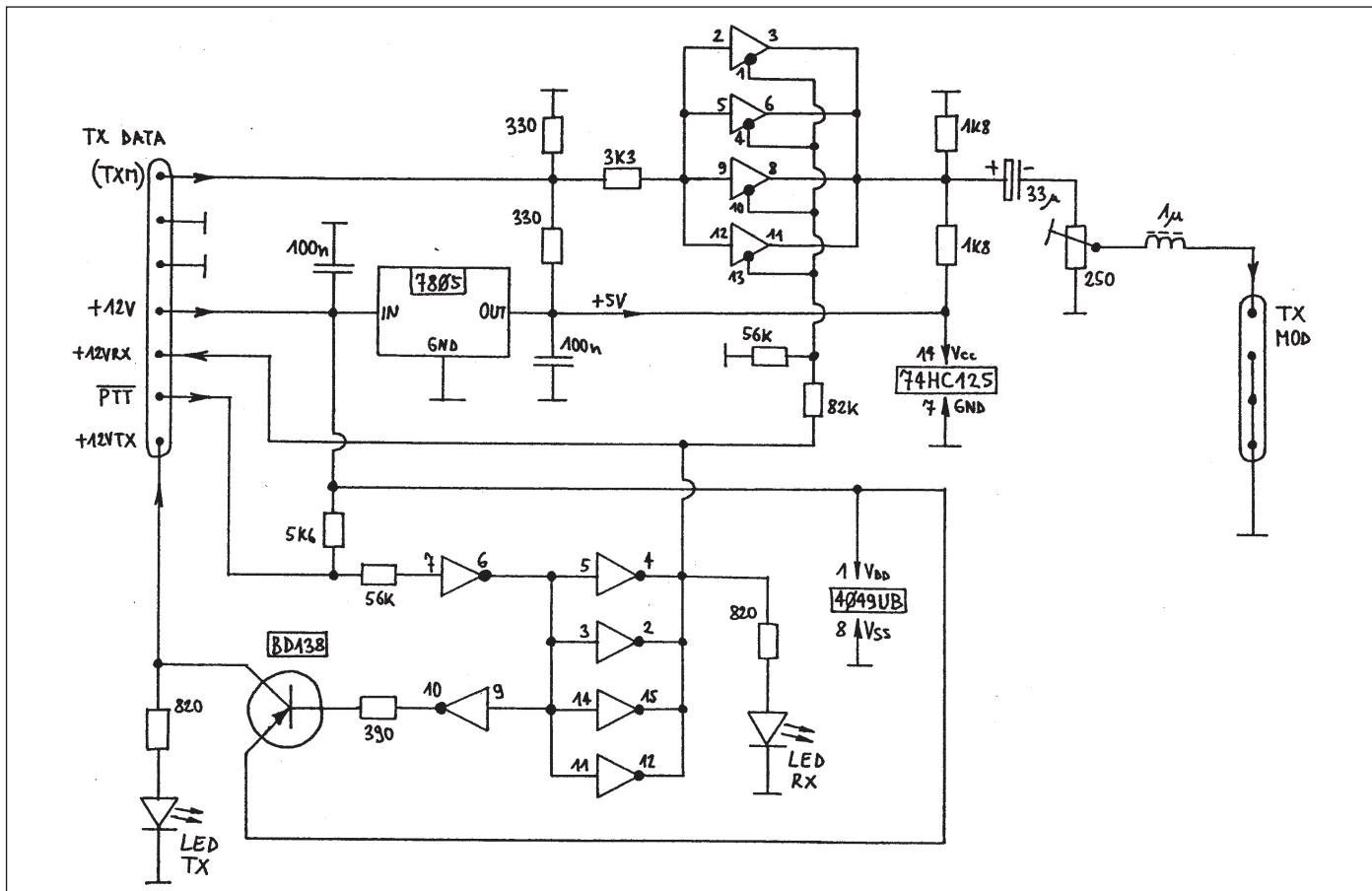
Slika 18 - Costas-ov I/Q PSK demodulator.



Slika 19 - Tiskanina Costas-ovega I/Q PSK demodulatorja.



Slika 20 - Razporeditev sestavnih delov Costas-ovega I/Q PSK demodulatorja.



Slika 21 - Preklop RX/TX.

BF199, saj se tolerance posameznih sestavnih delov najpogosteje ugodno odštejejo med sabo.

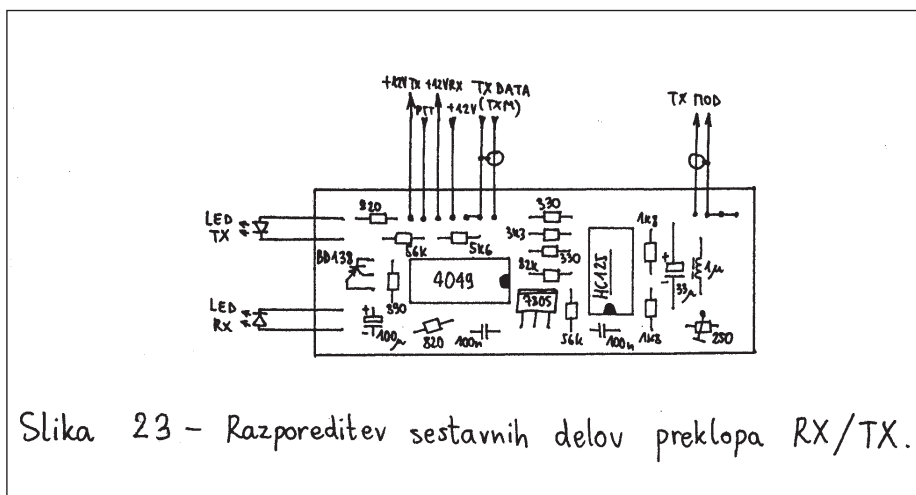
Pri sestavljeni enoti najprej preverimo enosmerne napetosti. Nato privedemo samo I oziroma samo Q signal in preverimo delovanje vseh treh ARO v obeh slučajih. Končno hkrati privedemo oba signala I in Q enake jakosti in preverimo še simetrijo delovanja ARO pri različnih jakostih vhodnega signala.



Slika 22 - Tiskanina preklopa RX/TX.

8. Costas-ov I/Q PSK demodulator

Nizkofrekvenčna signala I in Q, bolj točno I' in Q', sicer vsebujeta celotno informacijo, ki jo prenaša radijski signal, vendar ta signal še ni demoduliran. Pri dvofazni PSK modulaciji (BPSK) dobimo izhodni signal tako, da naredimo primerno uteženo vsoto signalov I' in Q'. Pri malenkostno različnih frekvencah sprejemnika in oddajnika se potrebne uteži periodično spreminjajo skladno z razliko frekvenc.



Slika 23 - Razporeditev sestavnih delov preklopa RX/TX.

V demodulatorju bi torej potrebovali dva množilnika in ustrezna krmilna vezja, kar bi lahko na primer izdelali s kopico običajnih integriranih vezij. Če si zastavljeno nalogo bolj natančno ogledamo, hitro najdemo enostavnejšo rešitev. Zaradi frekvenčne napake se kazalec sprejetega signala suče, v demodulatorju ga moramo zato le vrteti v obratni smeri.

Praktična rešitev opisane naloge izgleda takole: iz signalov I' in Q' naredimo večfazni sistem z velikim številom faz. To nalogo enostavno opravi primerno vezje uporov. Z analognim CMOS preklopnikom nato izberemo tisto fazo, kamor trenutno kaže kazalec sprejetega signala. Če izberemo najboljšo možno fazo izmed 16 faz, bo znašala fazna napaka kvečjemu 11.25 stopinje oziroma se razmerje signal/šum poslabša za največ 0.017dB!

Načrt takšnega PSK demodulatorja je prikazan na sliki 18. Iz dvokanalnega I/Q ojačevalnika dobimo štirifazne signale +I, +Q, -I in -Q, ki krmilijo uporovno vezje, sestavljeno iz 28 uporov. Uporovno vezje proizvaja 16 različnih faz, med katerimi lahko izbira elektronski preklopnik 74HC4067.

Preklopniku sledi nizkoprepustno

rijo izhodnega signala. Demodulirani signal nato LM311 ojači na TTL nivo. 74HC logična vrata nato poskrbijo za krmiljenje izhoda RX DATA (RXM), da lahko izhodni signal potuje do enote bitne sinhronizacije tudi po daljšem kosu 75-ohmskega koaksialnega kabla.

Elektronski preklopnik 74HC4067 je treba seveda ustrezno krmiliti, bolj točno vrteti z razliko frekvenc. Razliko frekvenc dobimo s pomočjo Costas-ove zanke. Razen omenjenega demodulatorja s preklopnikom 74HC4067 vsebuje vezje še en popolnoma enak preklopnik, ki deluje s faznim zamikom 90 stopinj oziroma štirih zaporednih faz v 16-faznem sistemu.

Izhodni signal drugega, kvadratnega demodulatorja, je sorazmeren fazni napaki. Če ga zmnožimo s pravim demoduliranim signalom, je produkt obeh že kar primeren za krmiljenje VCOja v fazno-sklenjeni zanki. Glede na predznak frekvenčne napake sprejemnika je treba seveda vrteti preklopnik 74HC4067 naprej ali nazaj. Od VCOja zato zahtevamo, da glede na potrebo proizvaja pozitivne ali negativne frekvence.

Ustrezno vezje VCOja je najlažje izdelati v povsem digitalni obliki. Digitalni VCO predstavljata števec

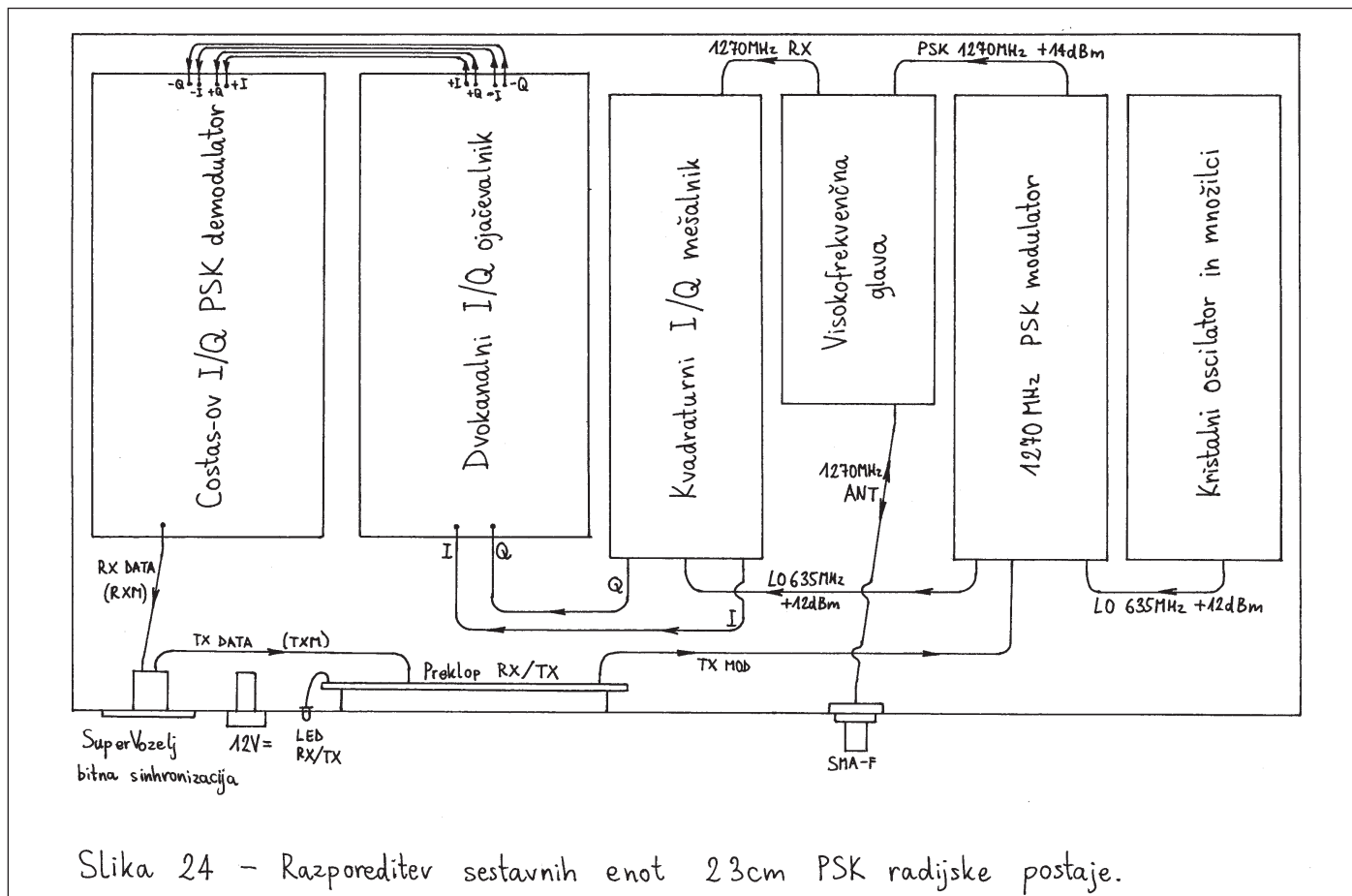
74HC191, ki lahko štejeta naprej ali nazaj s stalnim taktom 6144kHz. Krmilni signal VCOja je ravno vhod naprej/nazaj (up/down). Če je ta vhod na logični NIČLI, se preklopnika 74HC4067 vrtita NAPREJ s frekvenco 24kHz. Če pa je vhod na logični ENICI, se preklopnika 74HC4067 vrtita NAZAJ s frekvenco 24kHz.

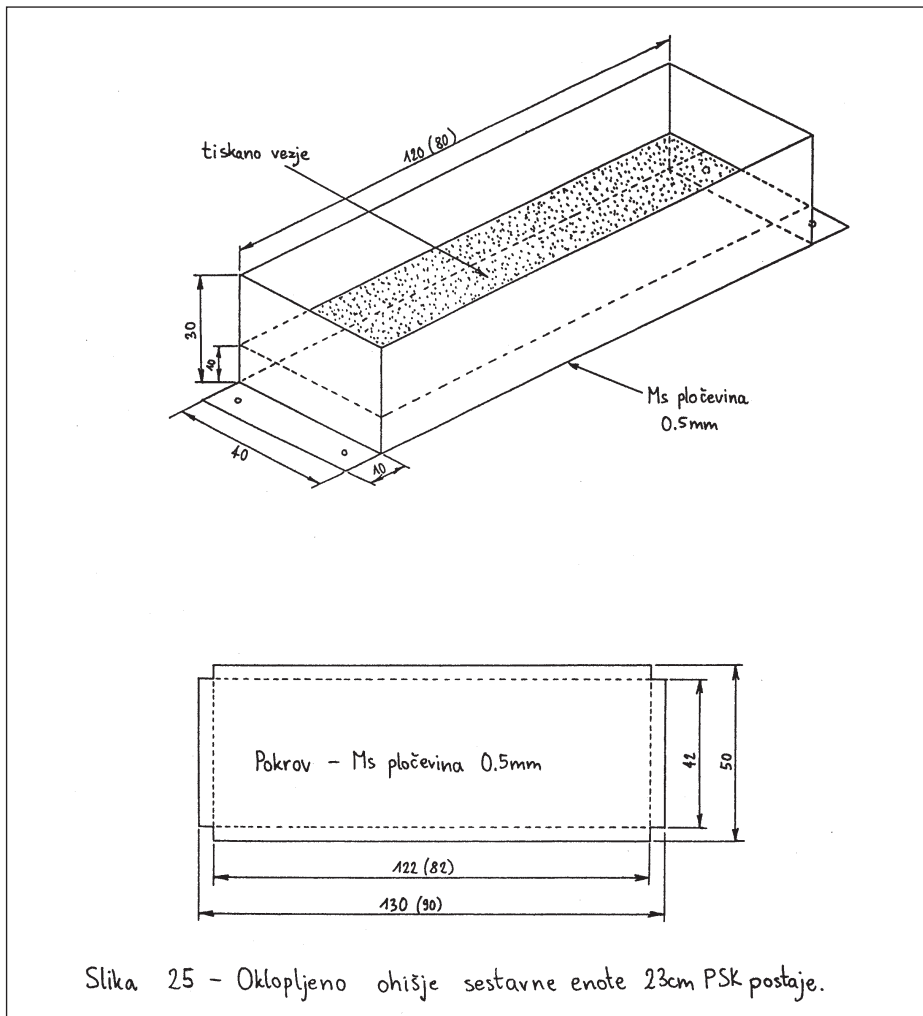
Če vhod naprej/nazaj menja logično stanje, se preklopnika vrtita z neko povprečno frekvenco, ki ustreza razmerju logičnih enic in ničel na vhodu naprej/nazaj. Pri razmerju pol/pol preklopnika mirujeta! Opisano vezje se torej obnaša kot VCO, ki pokriva frekvenčno področje od -24kHz do +24kHz.

Glede na to, da potrebuje VCO digitalen vhodni signal, opravijo množenje fazne napake z demoduliranim signalom kar EXOR vrata (74HC86 nožice 1, 2 in 3). Signal nato očistita dva D-flip-flop-a (74HC74), da števec 74HC191 ne zaideta v metastabilna stanja. Celotno vezje se obnaša kot PLL prvega reda, brez nizkoprepustnega sita v povratni vezavi.

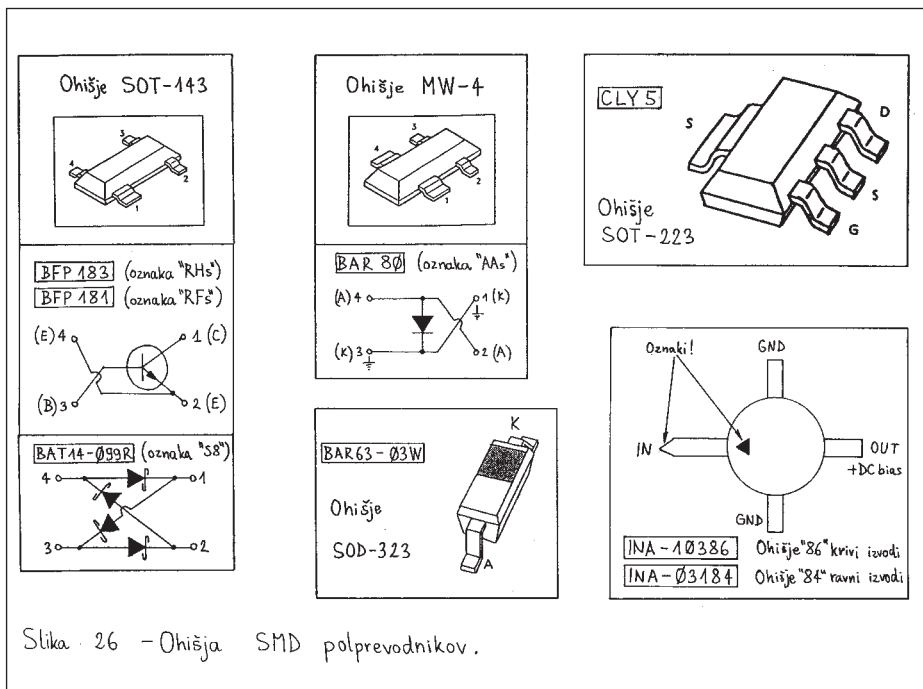
Če izvzamemo skrajnosti, lahko opisani demodulator popravi odstopanje frekvence sprejemnika do približno +/-15kHz, saj predstavlja +/-

s
it
o
,
d
a
š
p
i
c
e
o
b
p
r
e
k
l
a
p
l
j
a
n
j
u
n
e
p
o
k
v
a





Slika 25 - Oklopljeno ohišje sestavne enote 23cm PSK postaje.



Slika 26 - Ohišja SMD polprevodnikov.

p ustreznost razporeditev sestavnih delov pa na sliki 20. Za +5V napajanje digitalnih vezij poskrbi regulator i 7805, ki ima zaradi hlajenja prispajkano tudi "uho" na velik bakren pravokotnik na tiskanem vezju.

u CMOS stikala povzročajo motnje š ob preklapljanju, ki jih na zunaj opazimo kot trenuten kratek stik stikala n proti masi. Te motnje so v družini o 74HC40xx zelo majhne in bistveno p ne motijo delovanja vezja. CMOS r stikala iz stare družine 40xx imajo i desetkrat višjo parazitno upornost in t so tudi desetkrat počasnejša, zato so a tudi motnje ob preklapljanju tu dosti k bolj izražene.

t V opisanem vezju zato priporočam n uporabo predpisanih sestavnih delov, i to je CMOS preklopnikov 74HC4067. h Stari preklopniki 4067 se obnašajo f dosti slabše. V primeru uporabe r starih 4067 lahko delno omejimo e preklopne motnje tako, da znižamo k napetost enosmerne delovne točke v stikal. V ta namen zamenjamo upor e 680ohm, ki je označen na načrtih z n zvezdico "*", z ustrezno manjšim c uporom (okoli 100ohm).

a Costas-ov I/Q PSK demodulator je h skoraj povsem digitalno vezje, zato v ne potrebuje uglaševanja. Vezje d demodulatorja sicer vsebuje nekaj e koristnih merilnih točk, kjer lahko d preverimo delovanje demodulatorja o in ostalih vezij sprejemnika. Očesni 2 vzorec in fazno napako pomerimo z 0 osciloskopom, ki ga prožimo od zunaj s taktom iz enote bitne sinhronizacije. Pri tem moramo dobiti široko odprto oko, amplituda fazne napake pa mora biti več kot trikrat, bolj točno $1/\sin(22.5\text{stopinj})$, manjša od amplitude očesa.

Končno lahko pomerimo še odstopanje frekvence sprejemnika kot povprečno enosmerno napetost na vходу naprej/nazaj števec 74HC191. Kristalni oscilator potem enostavno nastavimo tako, da z običajnim voltmetrom izmerimo 2.5V, ko je na vходу sprejemnika prisoten moduliran PSK radijski signal.

9. Preklop RX/TX

Preklop napajanja in še nekaj dodatnih vezij je zbranih v enoti preklop RX/TX, ki je prikazana na sliki 21 in je povsem enaka istoimenski enoti v 13cm PSK postaji. Večina vezij sprejemnika se sicer stalno napaja z napetostjo +12V. Preklop zato vklaplja le vezja oddajnika (+12V TX) in istočasno izklaplja obe

24kHz teoretsko številko v odsotnosti vsakršnega šuma. Višja taktna frekvenca sicer omogoča širše področje odstopanja frekvence nosilca, hkrati pa se sorazmerno večja tudi ojačenje Costas-ov zanke in s tem občutljivost na šum. Vezje je sicer uspešno

MHz.

Costas-ov I/Q PSK demodulator je zgrajen na dvostranski tiskanini iz 1.6mm debelega vitroplasta z izmerami 60mmX120mm. Obe strani tiskanine sta prikazana na sliki 19,

visokofrekvenčni ojačevalni stopnji v sprejemniku (+12VRX). Preklopi so izvedeni s CMOS vezjem 4049UB, le vklop oddajnika potrebuje še PNP tranzistor BD138 zaradi večje porabe toka.

Krmiljenje preklopa gre preko PTT voda, ki je podobno kot pri običajnih radijskih postajah stikalo, ki se sklene na maso. Antenski preklopnik s PIN diodama se enostavno krmili z napetostjo +12V_{TX} in ne potrebuje posebnih krmilnih signalov.

Radijska postaja s sprejemnikom z ničelno medfrekvenco in Costas-ovim I/Q PSK demodulatorjem mora pravilno demodulirati tudi signal last-

razlikuje od običajnega režima delovanja vezij sprejemnika.

Enota preklon RX/TX vsebuje še krmilno vezje za PSK modulator oddajnika. Vhodni digitalni TTL signal se ojači z vezjem 74HC125, sledi trimer za nastavitvev jakosti modulacije in nizkoprepustno sito z dušilko 1uH. Jakost modulacije nastavimo ob ugaševanju PSK modulatorja enostavno tako, da dosežemo največjo izhodno moč oddajnika.

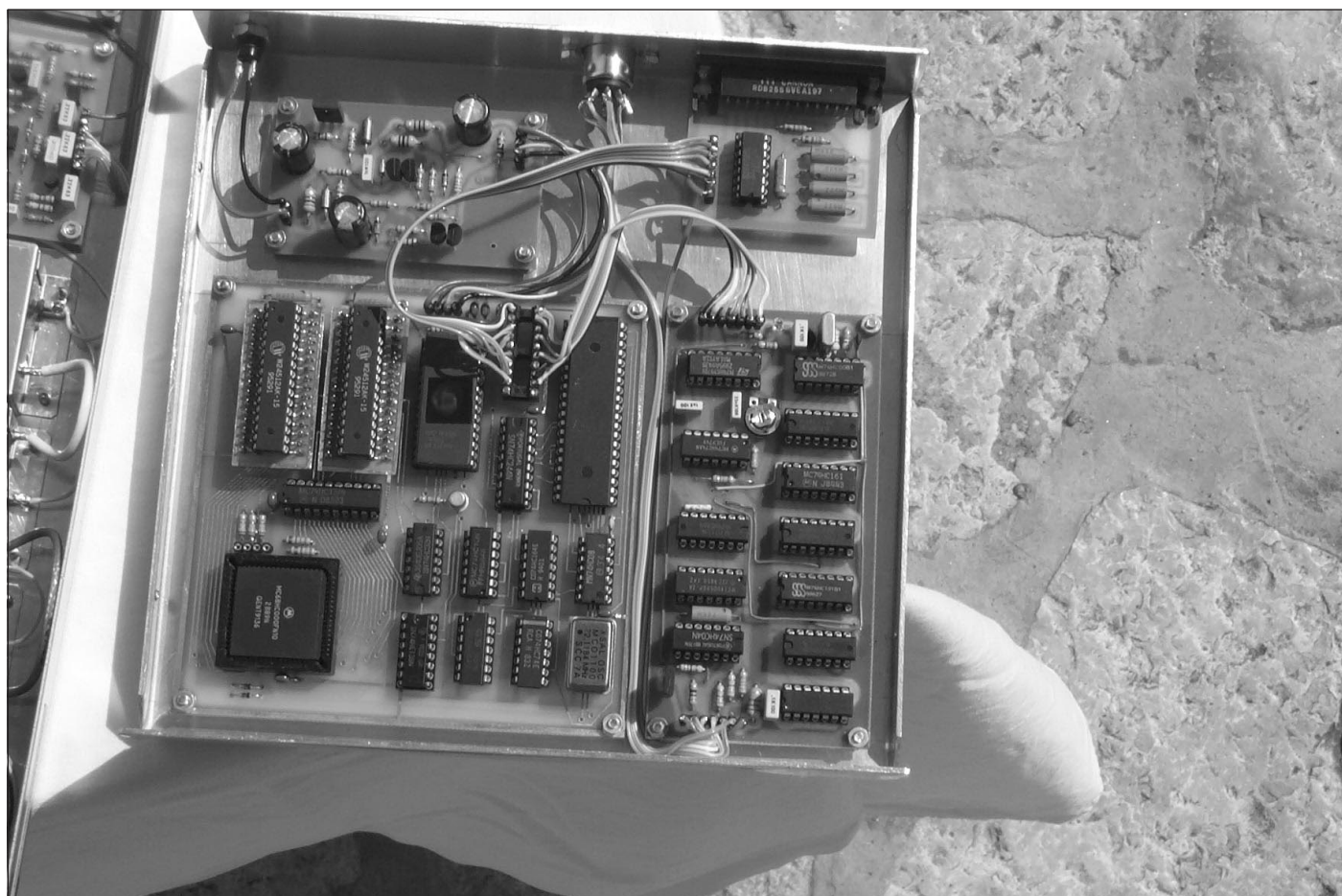
Vezje 74HC125 sicer dobiva napajalno napetost +5V tudi na sprejemu, izhodi tega vezja pa so tedaj onesposobljeni preko ustreznih krmilnih vhodov. Upora 1.8kohm

vgradnjo na prednjo ploščo radijske postaje in zato nosi obe lediki RX in TX.

10. Sestavljanje 23cm PSK radijske postaje

Izvedba 23cm PSK radijske postaje je zelo podobna 13cm postaji, opisani v CQ ZRS 4/95. Celotna postaja je vgrajena v aluminijasto ohišje, posamezne visokofrekvenčne enote pa so še dodatno oklopljene z medeninastimi škatlicami, tako da se na zunaj nova 23cm PSK postaja skoraj

n
e
g
a
o
d
d
a
j
n
i
k
a
.



Za razliko od 13cm PSK postaje, opisane v CQ ZRS 4/95, žal tega pojava ne moremo izkoristiti za zahtevnejši preizkus sprejemnika. V tem slučaju je razlika frekvenc sprejemnika in oddajnika nujno enaka nič, razmerje I/Q se ne spreminja in demodulator popravlja le statično fazno napako, kar se vse močno

poskrbita za to, da je tantalov sklopni kondenzator 33uF vedno naelektren na 2.5V, da je čas preklopa na oddajo čim manjši.

Preklop RX/TX je zgrajen na enostranski tiskanini z izmerami 30mmX80mm, ki je prikazana na sliki 22. Ustrezna razporeditev sestavnih delov je prikazana na sliki 23. Tiskana ploščica je predvidena za

ne razlikuje od svoje predhodnice za 13cm.

23cm PSK radijska postaja je vgrajena v ohišje z izmerami 320mm (širina) X 175mm (globina) X 32mm (višina). Razporeditev sestavnih enot 23cm radijske postaje je prikazana na sliki 24, vključno z vtičnicami in povezavami na prednji plošči. Ohišje je sestavljeno iz dveh "U"-jev iz

aluminijeve pločevine. Dno, prednja in zadnja plošča so iz 1mm debelega aluminija, pokrov in obe stranici pa iz 0.6mm debelega aluminija. Pri tem znaša globina pokrova 190mm, da sega po 7.5mm preko prednje in zadnje plošče.

Štiri visokofrekvenčne enote 23cm PSK radijske postaje so vgrajene v oklopljena ohišja iz medeninaste pločevine debeline 0.5mm. Posamezna tiskana vezja so zacinjena v okvir iz medeninaste pločevine, na katerega se natakne medeninast pokrov, kot je to prikazano na sliki 25. Ohišje posamične enote se potem pritrdi s štirimi samoreznimi vijaki za pločevino na dno ohišja postaje. Višina ohišja postaje je tako izbrana, da pokrov celotne postaje pritiska na pokrovčke posameznih enot, ki zato ne potrebujejo posebne pritrditve.

Seveda lahko dosežemo učinkovito oklapljanje posamičnih enot le s primerno izvedbo vseh električnih povezav. Napajanje je napeljeno skozi kondenzatorje skoznike (okoli 1nF) v krajših stranicah medeninastih škatlic.

Signalne povezave so izvedene s tankimi teflonskimi koaksialnimi kabelčki (RG-188 ipd), katerih oklop mora biti dobro zacinjjen na medeninasto pločevino pri vstopu v škatlico. Dolžine kabelčkov niso predpisane z izjemo povezave med izhodom PSK modulatorja in vhodom izhodne stopnje oddajnika, ki mora biti dolga natančno 12cm, merjeno od ene do druge medeninaste stene. Kabelčka za I in Q signala naj bosta enako dolga!

Opisana 23cm PSK radijska postaja uporablja več različnih SMD sestavnih delov. Najmanj težav je z upori, saj so vsi SMD upori običajno uporabni na zelo visokih frekvencah preko 10GHz. Povsem obraten slučaj so kondenzatorji: večslojni SMD kondenzatorji so običajno neprimerni za visoke frekvence. V opisani postaji sem se zato omejil na eno samo razmeroma nizko vrednost: 47pF. Namesto 4.7uF SMD tantalov lahko brez težav vgradimo tudi bolj običajne "kapljice".

Končno so na sliki 26 predstavljena ohišja in razporeditve priključkov uporabljenih polprevodnikov v opisani PSK radijski postaji. Pozor na točne tipske oznake polprevodnikov in na oznake na ohišjih, ki so zaradi pomanjkanja prostora nujno drugačne!

11. Rezultati poskusov

Opisana 23cm PSK radijska postaja z ničelno medfrekvenco vsebuje kopico novosti, zato še ni povsem jasno, kako se bo takšna postaja v praksi obnesla. Sprejemnik z ničelno medfrekvenco se je na primer izkazal nekoliko bolj občutljiv na motnje močnih UHF TV oddajnikov, ki delajo na polovični frekvenci (635MHz). Pri uporabi opisane postaje v neposredni bližini oddajnih TV anten je treba vgraditi dodatno antensko pasovno sito oziroma uporabiti oklopljeno ali valovodno anteno (na primer dipol v skodelici).

Po slabem mesecu preizkusov na resnični radijski poti dolžine sicer komaj 6km, a brez optične vidljivosti, se je nova 23cm PSK radijska postaja izkazala približno enakovredna stari 13cm PSK radijski postaji pri delovanju z antenami podobnih dimenzij (kar pomeni manjšim dobitkom na 23cm). Presihanje zveze je na 23cm nekoliko manj pogosto, zato pa so bolj pogoste motnje v primerjavi s 13cm področjem.

Pri opisani 23cm PSK radijski postaji preklonni čas sprejem/oddaja in obratno ni več vezan na nespremenljive konstante (čas vnihanja kristalnega oscilatorja pri 13cm oddajniku), pač pa preklonni čas določajo izbrane RC časovne konstante ARO in drugih vezij. Preklonni čas opisane 23cm PSK radijske postaje je zato v razredu 1ms oziroma dvakrat manjši od preklonnega časa 13cm postaje.

Najpomembnejša novost opisane 23cm postaje je močno poenostavljeno sestavljanje postaje. Nova 23cm postaja vsebuje le še štiri medeninaste škatlice namesto sedmih v 13cm postaji, pa tudi število navitih tuljav je zelo nizko. Čas sestavljanja nove 23cm postaje se zato skrajša na polovico časa, potrebnega za sestavljanje stare 13cm PSK postaje. Končno, nova 23cm PSK postaja skoraj ne potrebuje uglaševanja!

Večino opisanih sestavnih enot 23cm PSK postaje bi lahko uporabili tudi v SSB postaji za frekvenčno področje 23cm. Z dvema kvadraturama I/Q mešalnikoma in visokofrekvenčno glavo bi lahko sestavili SSB radijsko postajo z neposrednim mešanjem na sprejemu in na oddaji. Dvokanalni I/Q ojačevalnik in demodulator bi lahko uporabili v SSB radijski postaji z medfrekvenco 1.5 kHz, če bi ustrezno preračunali vse RC časovne konstante. Kristalni

oscilator bi seveda predelali v VXO, množilne stopnje pa lahko ostanejo takšne, kot so v PSK postaji.

V bodočnosti pričakujem še enostavnejše PSK in SSB radijske postaje. Kristalni oscilator in množilne stopnje bi zamenjal PLL sintetizator in tako povsem izločil kakršnokoli uglaševanje postaje. Visokofrekvenčne stopnje oddajnika in sprejemnika bi lahko združili na eni sami mikrotrakasti tiskanini in tako znatno poenostavili sestavljanje postaje. Prav tako bi lahko združili medfrekvenčni ojačevalnik, demodulator in preklon na eno tiskanino. Nenazadnje pa ne smemo pozabiti na navadne uporabnike, ki zdaj nujno potrebujejo primeren TNC ali kartico za v računalnik za packet-radio z megabitnimi hitrostmi!