

RTV KLUB MURSKA SOBOTA

DIGITALNI MOSTOVI

"HITRI PACKET RADIO"

Murska Sobota, september 2000

13cm PSK radijska postaja za hitri packet-radio

Matjaž Vidmar, S53MV

1. Uvod

Če pri prenosu digitalnih podatkov nismo preveč zahtevni, potem lahko za prenos podatkov uporabimo katerokoli radijsko postajo. Med postajo in računalnik vtaknemo čudežno škatlo, imenovano "modem", ki naj bi poskrbela za brezhiben prenos podatkov preko radijske zveze. Z uporabo neustreznih radijskih postaj in cenениh modemov zveza sicer deluje, z učinkovitostjo takšnega prenosa podatkov pa se res ne moremo pohvaliti.

Tudi če se v resnici potrudimo in prilagodimo RTTY ali packet 1200bit/s AFSK modem na "govorno" SSB ali FM radijsko postajo, so številke zelo neugodne. Za prenos podatkov v tem slučaju uporabimo frekvenčni pas, ki je 10-krat do 30-krat širši od tistega, kar bi v resnici potrebovali. Tudi potrebna moč oddajnika je 30-krat do 100-krat večja, kar pomeni ustrezno manjši radijski domet. Zaradi grozovite neučinkovitosti modemov imajo povsem prav tisti radioamaterji, ki danes še vedno prisegajo na staromodno Morzejevo telegrafijo in sprejem na sluh, brez uporabe elektronskih pripomočkov.

Navkljub neučinkovitemu načinu prenosa podatkov se je packet-radio uveljavil med radioamaterji. Težave packet-radia se pojavijo s povečevanjem hitrosti prenosa podatkov. Višje hitrosti prenosa zahtevajo večje pasovne širine radijskih signalov, ki si jih lahko privoščimo le v mikrovalovnih frekvenčnih področjih. Na visokih frekvencah pa hitro upada razpoložljiva moč oddajnikov, kar spet omejuje domet radijskih zvez.

Sedanje slovensko packet-radio omrežje uporablja v glavnem širokopasovne FM radijske postaje in Manchester modeme pri hitrosti 38.4kbit/s. Glede na to, da je moč oddajnikov omejena na približno 1W in da potrebujemo domet okoli 100 km v praznem prostoru s smiselno rezervo (20dB), je omenjena hitrost prenosa podatkov gornja meja, kar lahko dosežemo z amaterjem dosegljivimi sredstvi.

Pri višjih hitrostih prenosa podatkov potrebujemo bolj učinkovite modeme oziroma primernejše ra-

dijske postaje. Občutno povečanje dometa zveze bi dosegli že z uporabo neposredne frekvenčne modulacije (FSK) namesto Manchester modemov, kar pa zahteva bolj komplicirane FM radijske postaje. Največji domet zveze omogoča koherentna detekcija. PSK prenos podatkov zato dosega okoli 5dB večji radijski domet od FSK prenosa podatkov in 10-15dB večji domet od Manchester modema, ki ga priključimo na FM radijsko postajo.

Koherentna demodulacija signalov zahteva bolj komplicirane radijske postaje in višjo stabilnost frekvence nosilca. Najbolj znan primer koherentne demodulacije je SSB sprejemnik. Izvedba in rokovanje s SSB radijsko postajo sta zato bolj komplicirana od FM postaje. Primerjava med govorno SSB postajo in PSK packet-radio postajo je zato povsem umestna.

Hitrost packet-radio omrežja je smiselno povečevati v primerno velikih korakih. Pred sedmimi leti smo se odločili za 38.4kbit/s, ker je bil to točen 32-kratnik hitrosti 1200bit/s. Danes je smiselna izbira hitrost 1.2288Mbit/s, ki je spet točen 32-kratnik hitrosti 38.4kbit/s. 1.2288 Mbit/s je še vedno v mejah zmožljivosti sedanje računalniške opreme, hkrati pa prehod iz Manchester/FM na PSK radijske postaje zagotavlja podoben radijski domet, kot ga imajo obstoječe 38.4kbit/s packet-radio zveze.

Kratka PSK sicer pomeni Phase Shift Keying, kar o sami vrsti modulacije še ne pove veliko. Razlikujemo več različnih vrst PSK modulacije. Najenostavnejša je dvofazna PSK modulacija, imenovana Biphase PSK ali BPSK. Enice in ničle tu ponazorimo s fazo nosilca 0 oziroma 180 stopinj. Štirifazna PSK, Quadrature PSK ali QPSK ima enak radijski domet kot BPSK, le da potrebuje dvakrat ožji frekvenčni pas za enako hitrost prenosa podatkov. Končno, večfazne zvrsti PSK modulacije omogočajo še ožji frekvenčni spekter za ceno zmanjšanega dometa radijske zveze.

Primerjava med BPSK in QPSK torej povsem ustreza primerjavi med DSB in SSB govorno modulacijo. Tudi vezja modulatorjev so si podobna:

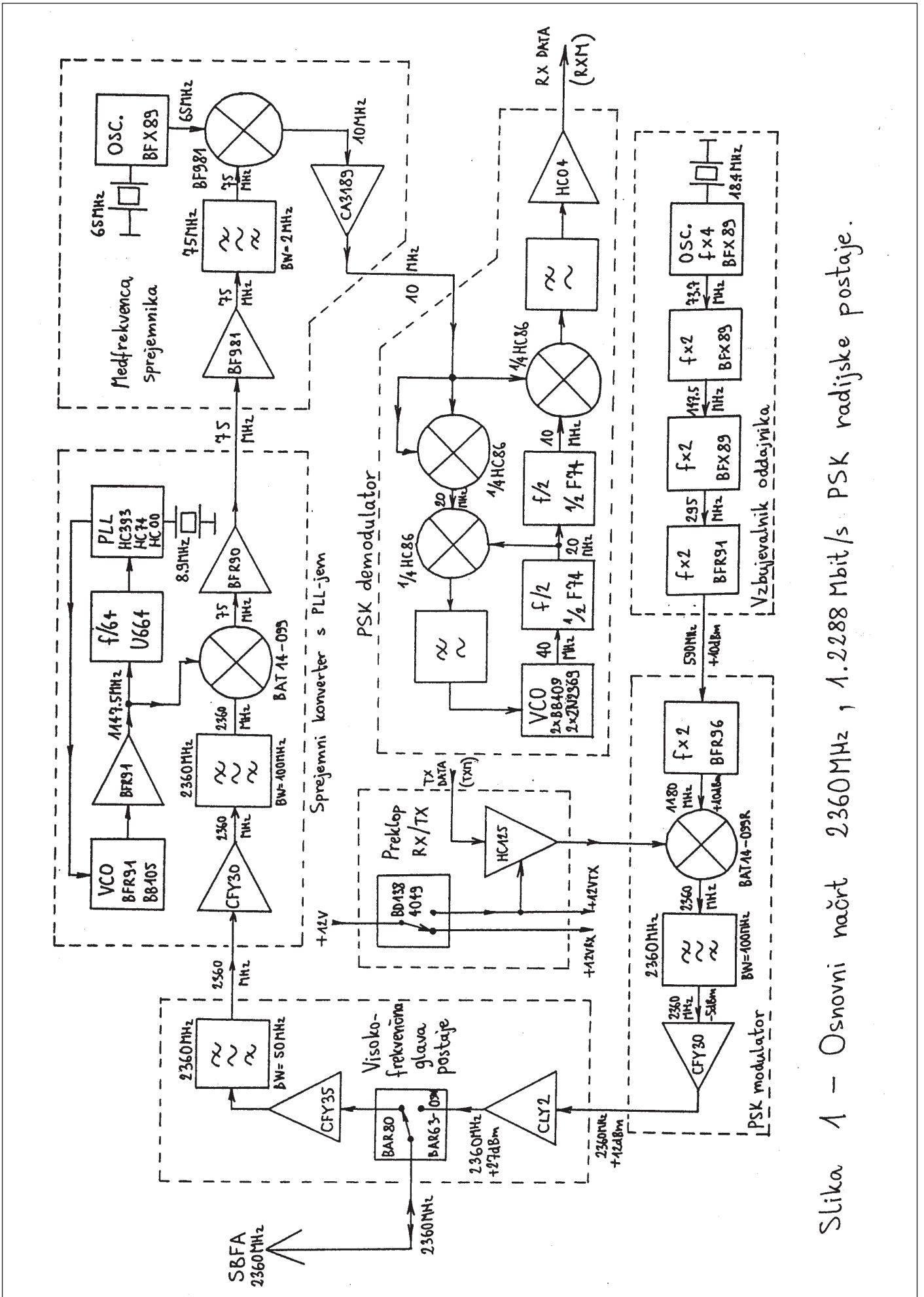
z DSB modulatorjem enostavno dobimo BPSK, s (kvadraturnim) SSB modulatorjem pa QPSK digitalno modulacijo. Pri tem dvofazna PSK modulacija v nasprotju z govorno DSB ne zahteva visoke linearnosti izhodne stopnje oddajnika. Radijski domet dvofazne PSK povsem odgovarja bolj komplicirani štirifazni PSK. Zato sem se odločil za enostavno dvofazno PSK modulacijo (v nadaljnjem besedilu označeno s kratico PSK).

2. Osnovni načrt PSK radijske postaje

Ker je PSK modulacija še razmeroma neraziskano področje za večino radioamaterjev, bo tu najprej opisan osnovni načrt PSK radijske postaje. Ista PSK modulacija sicer omogoča več različnih izvedb radijske postaje. PSK signal lahko proizvedemo v medfrekvencah in ga mešamo na končno oddajno frekvenco. PSK signal lahko seveda proizvedemo tudi neposredno na izhodni frekvenci oddajnika. Končno lahko PSK signal vodimo tudi skozi množilne stopnje, kjer pa ne smemo pozabiti, da se fazni koti PSK modulacije množijo z enakimi faktorji kot frekvenca nosilca.

PSK demodulator je lahko koherenten ali nekoherenten. Koherenten PSK demodulator mora v svoji notranjosti obnoviti nemoduliran nosilec, ki je natančno sinhroniziran s sprejetim PSK signalom. PSK signal se demodulira tako, da se v balančnem mešalniku množi z obnovljenim nosilcem. Obnova nosilca zahteva nelinearno obdelavo PSK signala (v slučaju dvofazne PSK je to lahko podvojevalnik frekvence) in ozko frekvenčno sito, ki je običajno izvedeno v obliki fazno sklenjene zanke (PLL).

PSK signal lahko sicer demoduliramo na ugodni vrednosti medfrekvence kot tudi neposredno na vhodni frekvenci sprejemnika. PSK sprejemnik lahko torej izdelamo kot sprejemnik z neposrednim mešanjem podobno kot SSB. Nosilec lahko izluščimo z množilno stopnjo (podvojevalno stopnjo v slučaju dvofazne PSK) oziroma s Costas-ovo



Slika 1 - Osnovni načrt 2360MHz, 1.2288 Mbit/s PSK radijske postaje.

zanko.

Podobno kot SSB je tudi PSK demodulator zelo občutljiv že na majhna odstopanja frekvence. Če odstopanje frekvence nosilca presega približno desetino bitne hitrosti, potrebuje PSK demodulator dodatno iskalno zanko za frekvenco nosilca. Iskalna zanka seveda zakomplicira vezje demodulatorja in povečuje čas začetne sinhronizacije sprejemnika, zato je v packet-radiu nezaželjena.

PSK modulacija je zato zelo nerodna pri nizkih hitrostih prenosa podatkov, ki zahtevajo visoko točnost frekvence. Na primer, pri sprejemu amaterskih packet-radio satelitov, ki oddajajo PSK s hitrostjo komaj 1200bit/s v področju 435MHz, moramo nastavljanje frekvence sprejemnika s točnostjo +/-100Hz, pri tem pa znaša Doppler-jev pomik več kot 15kHz v enem samem 10-minutnem preletu satelita. Zaradi nespametno načrtovanih packet-radio satelitov si je PSK modulacija po nepotrebnem pridobila zelo slab sloves med radio-amaterji.

Zahtevo po točnosti frekvence lahko omilimo, če povečamo hitrost prenosa podatkov. Pri hitrosti 1.2 Mbit/s si lahko privoščimo odstopanje frekvence nosilca v velikostnem razredu 100kHz brez potrebe po iskalni zanki za frekvenco nosilca. Omenjeno stabilnost frekvence nosilca zlahka dosežemo tudi na mikrovalovnih frekvenčnih področjih z uporabo oscilatorjev s kre-

menčevimi kristali, se pravi s tehniko, ki nam je z lahkoto dostopna.

Osnovni načrt opisane PSK radijske postaje je prikazan na Sliki 1. Oddajnik vsebuje kristalni oscilator, ki mu sledi veriga množilnih stopenj. PSK modulator - mešalnik deluje na končni frekvenci oddajnika in neposredno proizvaja željeni signal. Sodobni polprevodniki omogočajo visoko ojačenje v vsaki ojačevalni stopnji, zato sledita mešalniku le še dve ojačevalni stopnji na 2.36GHz, da oddajnik doseže izhodno moč okoli 0.5W.

Sprejemnik ima dvojno mešanje, vrednosti medfrekvenc znašata 75 MHz in 10MHz. PSK demodulator izlušči 10MHz nosilec s podvojevalno stopnjo in PLL zanko z ustreznim delilnikom frekvence. Antenski preklop je izveden s PIN diodama, preklop napajanja in vsi ostali preklopi RX/TX so povsem elektronski. Zakasnitev preklopa na oddajo znaša okoli 2ms in jo v glavnem določa vnihanje kristalnega oscilatorja oddajnika.

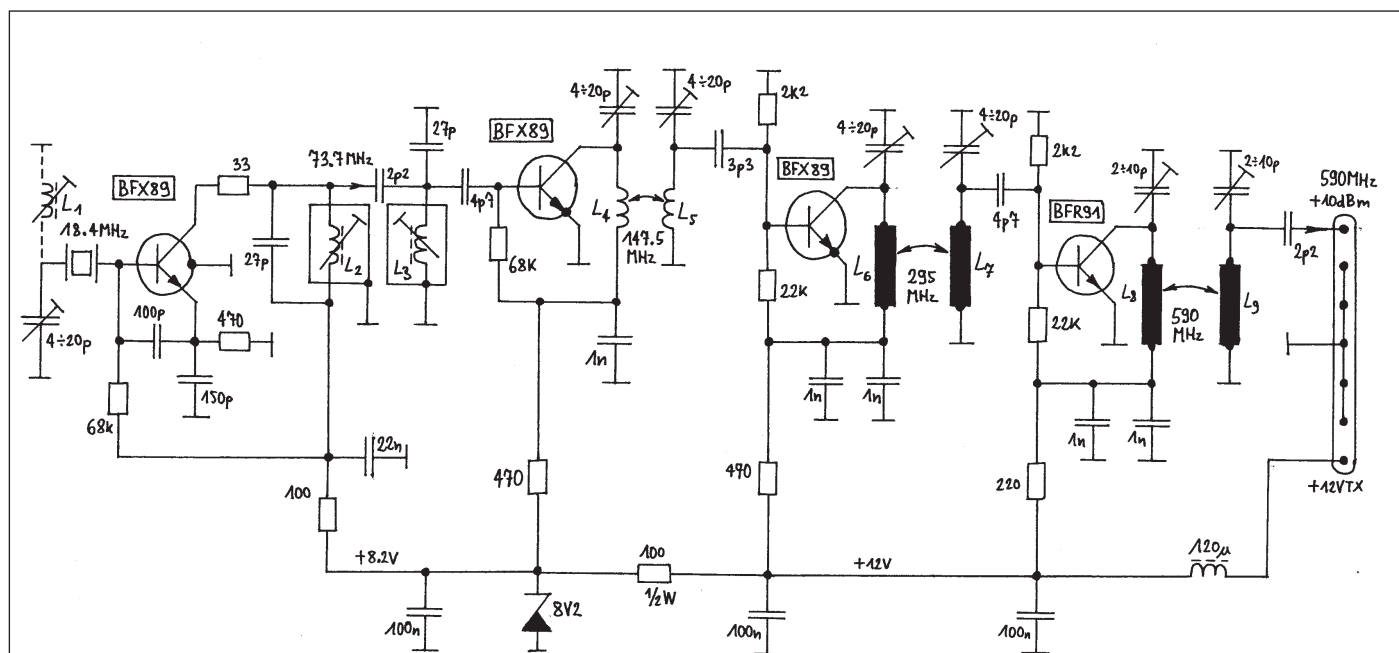
3. Vzbujevalnik oddajnika 590MHz / +10dBm

Načrt vzbujevalnika oddajnika je prikazan na Sliki 2. Vzbujevalnik vsebuje kristalni oscilator na frekvenci približno 18.4MHz, ki mu sledi veriga množilnih stopenj. Vzbujevalnik sam vsebuje množilne sto-

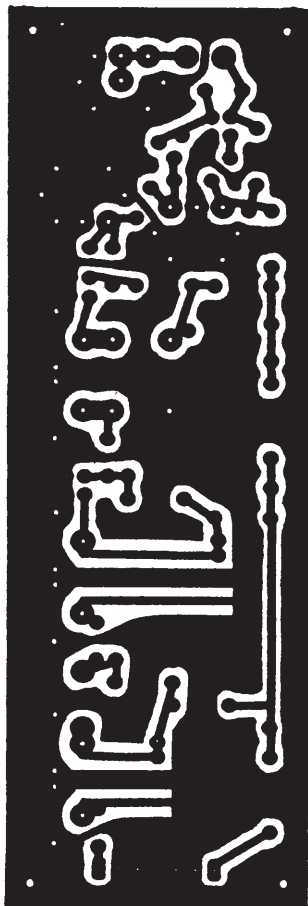
pnje do frekvence 590MHz. Sledeče množilne stopnje so vgrajene v naslednjo enoto, to je v PSK modulator, predvsem zaradi različne tehnike gradnje. PLL zanka se v vezju vzbujevalnika ni obnesla, ker PSK modulator preveč moti delovanje PLL zanke.

Kristal v oscilatorju niha v osnovnem načinu na frekvenci približno 18.4MHz. Ker je kvaliteta (Q) kristala v osnovnem načinu nižja od kvalitete overtonskih resonanc, se takšen kristalni oscilator hitreje vniha ob preklopu sprejem/oddaja. Na sprejemu ostane oscilator izključen, da njegov četrti harmonik ne bi motil 75MHz medfrekvence. Za frekvenco 2360MHz uporabimo računalniški kristal za 18.432MHz, ki ga točno nastavimo z zaporednim kapacitivnim trimerjem. Drugačna izbira frekvenc in kristalov lahko seveda zahteva zaporedno tuljavo L1, da privedemo kristalni oscilator na željeno frekvenco.

Tranzistor oscilatorja deluje hkrati kot prva frekvenčna množilna stopnja, saj sta nihajna kroga na izhodu (L2 in L3) uglašena na četrti harmonik kristala. Sledijo tri podobne frekvenčne podvojevalne stopnje, ki hkrati ojačijo izhodni signal na približno 10mW na frekvenci 590MHz. Prva podvojevalna stopnja uporablja sito s samonosečima tuljavama L4 in L5, ostali dve podvojevalni stopni pa sita s "tiskanimi" tuljavami L6, L7, L8 in L9. Napajanje



Slika 2 - Vzbujevalnik oddajnika 590MHz / +10dBm.



Slika 3 - Tiskanina vzbujevalnika oddajnika.
(enostranski FR4, debeline 0.8 mm)

oscilatorja in prve podvojevalne stopnje je stabilizirano z zener diodo 8V2.

Vzbujevalnik oddajnika je zgrajen na enostranski tiskanini z izmerami

40mmX120mm, ki je prikazana na Sliki 3. Tiskanina je iz enostranskega vitroplasta debeline komaj 0.8mm, da se znižajo parazitne induktivnosti izvodov sestavnih delov, ki prebadajo tiskanino. Razporeditev sestavnih delov vzbujevalnika oddajnika je prikazana na Sliki 4.

Tuljavi L2 in L3 sta naviti na podstavkih TV medfrekvenčnih transformatorjev za 36MHz z nastavljivim feritnim vijakom v sredini tulca s štirimi prekati 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.

Vzbujevalnik oddajnika enostavno uglasimo za največjo izhodno moč. Posamezne stopnje uglašujemo 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 z ustreznim kapacitivnim trimmerjem oziroma tuljavo L1.

4. 2360MHz PSK modulator

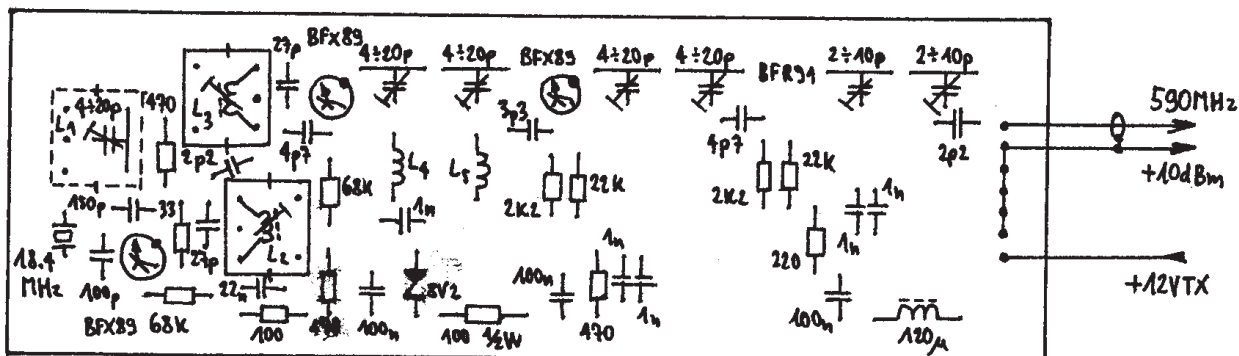
Načrt 2360MHz PSK modulatorja je prikazan na Sliki 5. Razen modulatorja - mešalnika vsebuje enota še zadnjo frekvenčno podvojevalno stopnjo, sita za 590MHz, 1180MHz in 2360MHz ter izhodno ojačevalno stopnjo, ki dvigne moč izhodnega

PSK signala na približno 15mW. Vsa sita in drugi frekvenčno selektivni sestavni deli so izvedeni kot mikrotrakasti rezonatorji na 1.6mm debelem vitroplastu FR4.

Rezonator na vходу vezja (L1) se hkrati obnaša kot odprte sponke za vhodno frekvenco 590MHz in kot kratek stik za izhodno frekvenco množilnika 1180MHz. Na ta način je delovanje množilnika neodvisno od dolžine kabla in točne izhodne impedance vzbujevalnika. Pasovno sito na izhodu množilnika (L3, L4, L5 in L6) mora dušiti razen osnovne frekvence 590MHz tudi četrti harmonik 2360MHz, sicer ta signal navidezno poruši simetrijo mešalnika in rezultat je popačena, nesimetrična PSK modulacija.

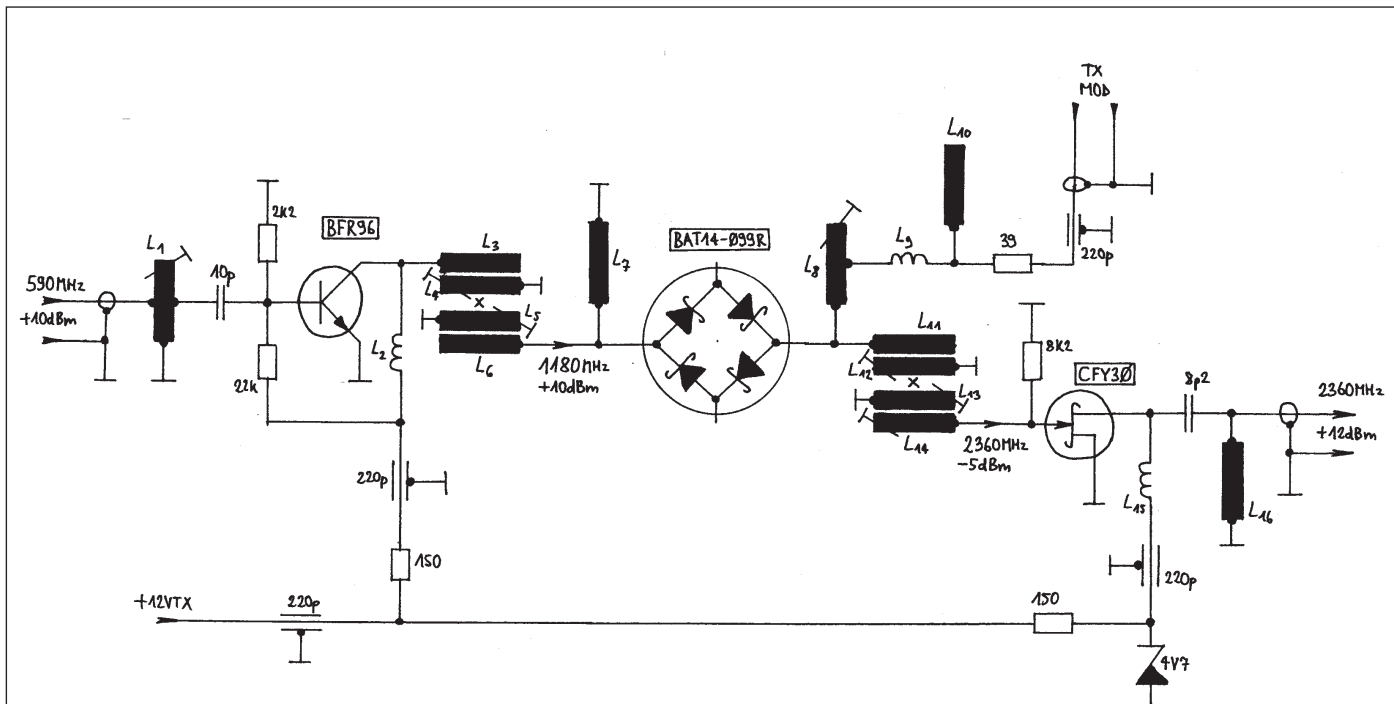
Kot modulator sem uporabil harmonski mešalnik ravno zato, ker je v tem vezju zelo enostavno doseči dobro simetrijo oziroma dobro dušenje preostalega nosilca (okoli 25dB) brez posebnega uglaševanja in brez dragih inštrumentov (spektralni analizator). Harmonski mešalnik uporablja četverček schottky diod 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 2360MHz (L11, L12, L13 in L14), ki odstranjuje ostanek signala na 1180MHz in druge neželjene proizvode mešanja daleč proč od željene frekvence. Modulirani PSK signal na 2360MHz, ki nastane v mešalniku modulatorju, sicer ne potrebuje več nobenega pasovnega sita. Ker je izhodna moč modulatorja zelo nizka,

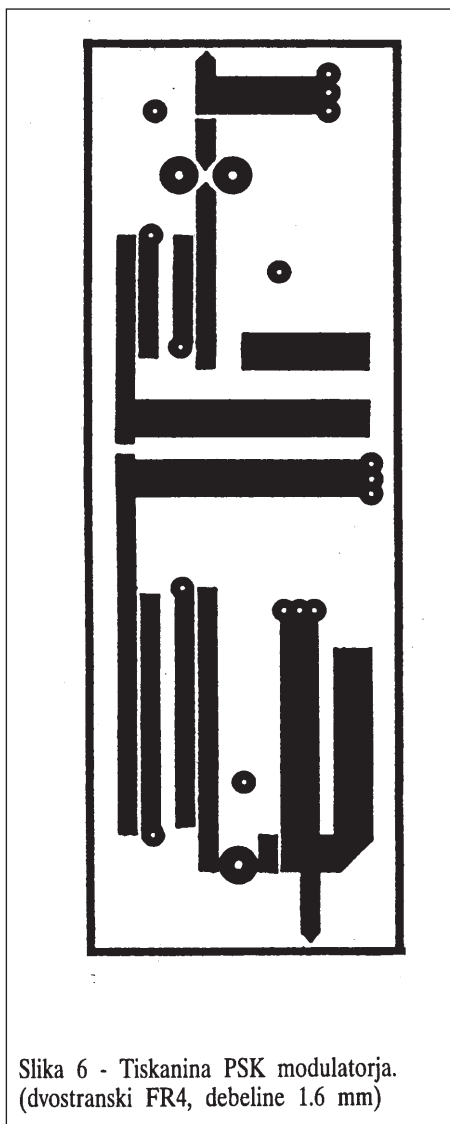


Slika 4

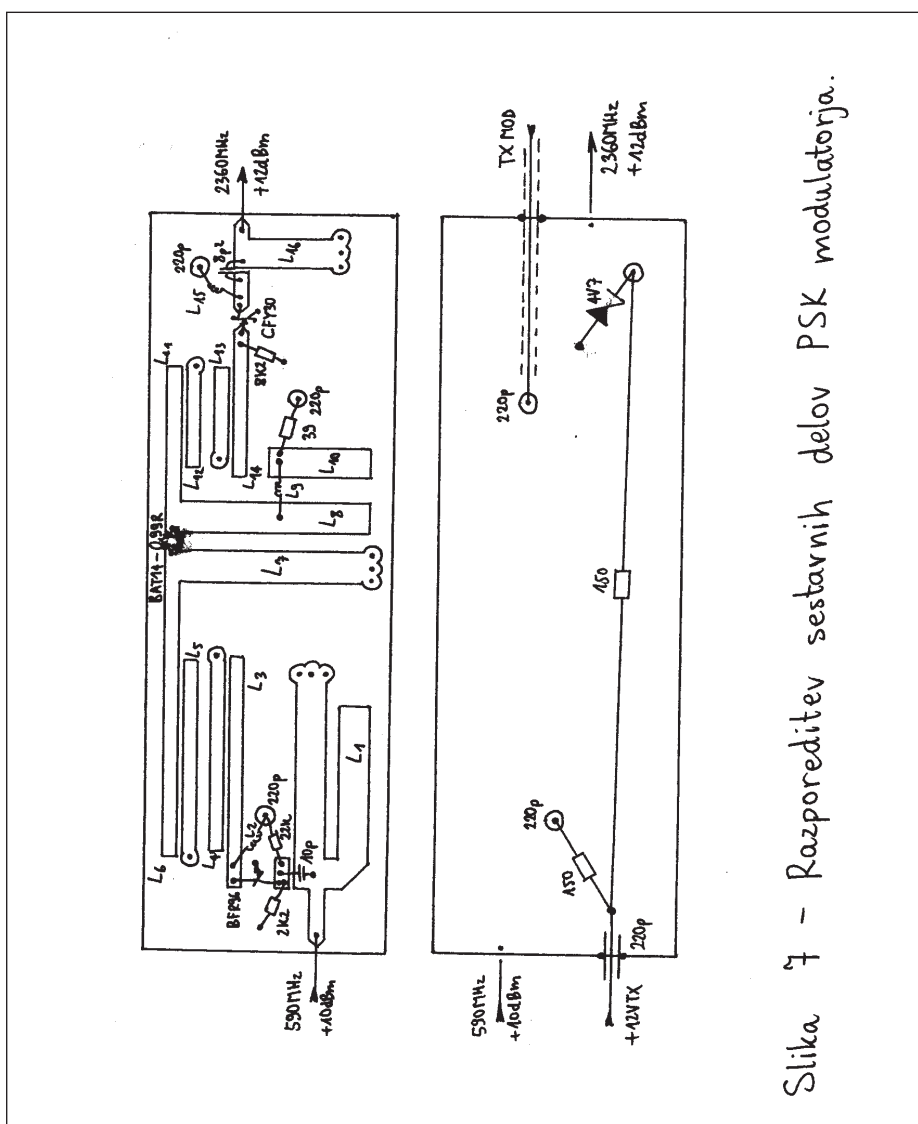
Razporeditev sestavnih delov vzbujevalnika oddajnika.



Slika 5 - 2360MHz PSK modulator.



Slika 6 - Tiskanina PSK modulatorja. (dvostranski FR4, debeline 1.6 mm)



Slika 7 - Razporeditev sestavnih delov PSK modulatorja.

okoli 0.3mW ob upoštevanju izgub v pasovnem situ za 2360MHz, sledi ojačevalnik z GaAs tranzistorjem CFY30, ki izhodni signal ojača na približno 15mW.

Enota PSK modulatorja je izdelana na dvostranski tiskanini z izmerami 40mmX120mm. Gornja stran tiskanine je prikazana na Sliki 6, spodnja stran pa ni jedkana, saj deluje kot ravnina mase za mikrotrakaste vode. Tiskanina je izdelana iz 1.6mm debelega vitroplasta FR4, ki ima na 2.4GHz že precejšnje visokofrekvenčne izgube. Razporeditev sestavnih delov na obeh straneh tiskanine je prikazana na Sliki 7. Čeprav je večina mikrotrakastih vodov izdelanih na tiskanem vezju, moramo tri četrtvalovne dušilke L2, L9 in L15 naviti kot male tuljavice. L2 naj bo četrtvalovna dušilka na 1180MHz, L15 naj bo četrtvalovna dušilka na 2360MHz, L9 pa naj bo nekje vmes (okoli 1700MHz), saj mora dušiti obe frekvenci.

Opisani PSK modulator enostavno uglasimo za največjo izhodno moč na 2360MHz. Razen signala vzbujevalnika na 590MHz moramo pri tem dovesti mešalniku tudi modulacijski signal primerne jakosti in frekvence. V ta namen je najbolje uporabiti kar vezje, ki bo tudi sicer krmililo PSK oddajnik (skrambler v bitni sinhronizaciji in modulacijsko vezje v preklopu RX/TX). Brez uglaševanja bo dal modulator komaj kašen mW izhodne moči. Po vsakem uglaševanju mikrotrakastih vodov potem ponovno poiščemo tisto jakost modu-

lacijskega signala, ki da največjo izhodno moč.

5. Visokofrekvenčna glava 2360MHz PSK postaje

Načrt visokofrekvenčne glave 2360 MHz PSK radijske postaje je prikazan na Sliki 8. Visokofrekvenčna glava vsebuje izhodni, močnostni ojačevalnik oddajnika, predojačevalnik in visokofrekvenčno sito sprejemnika ter antenski preklopnik s PIN diodama. Visokofrekvenčna glava je edina enota PSK radijske postaje, ki je zaradi čimmanjših izgub zgrajena kot mikrotrakasto vezje na teflonskem laminatu debeline 0.8mm z dielektričnostjo 2.5.

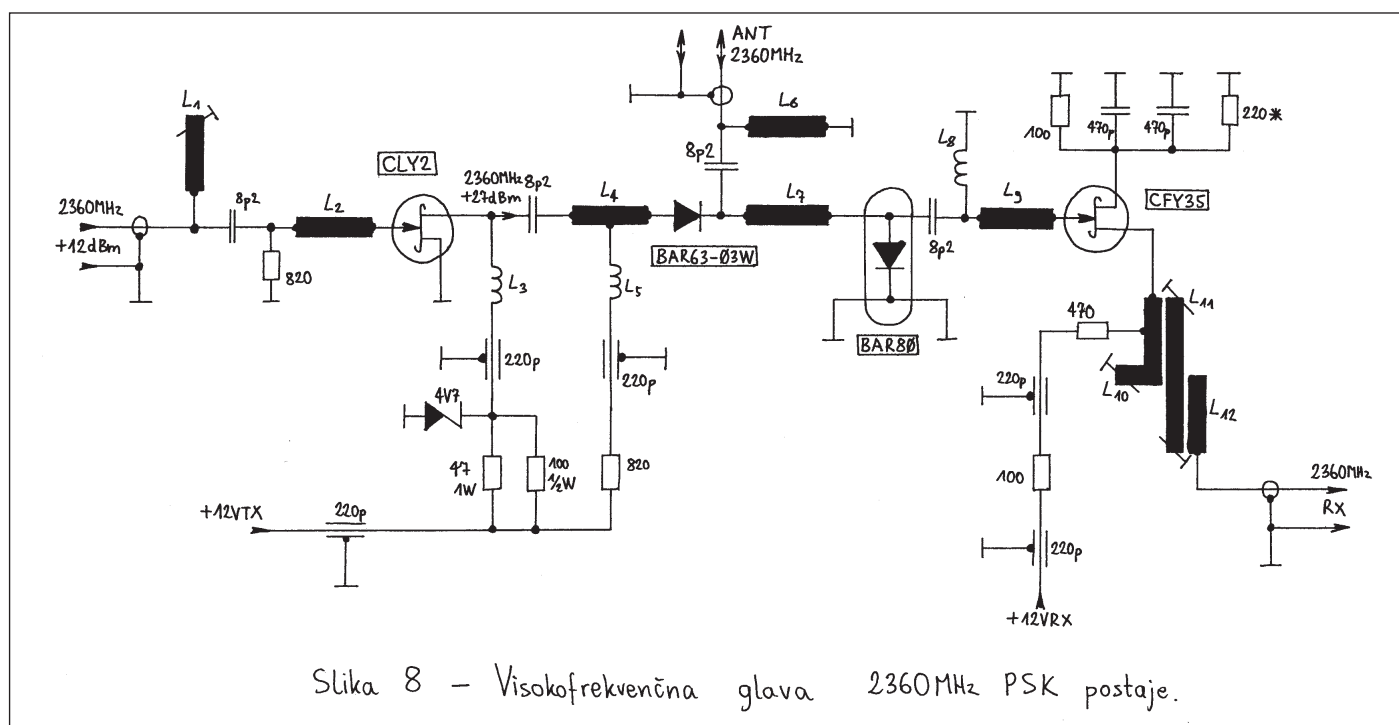
Načrt visokofrekvenčne glave znatno poenostavljajo sodobni polprevodniki. V močnostnem ojačevalniku oddajnika je uporabljen en sam GaAs tranzistor CLY2, ki hkrati daje 15dB ojačenja in izhodno moč več kot 500mW. Če bi enakovredno vezje izdelali s silicijevimi tranzistorji izpred 10 let, bi za isto nalogo potrebovali tri ali štiri zaporedno vezane ojačevalne stopnje! CLY2 je sicer nizkonapetostni tranzistor, ki deluje z napetostjo ponora komaj 4.5V, 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

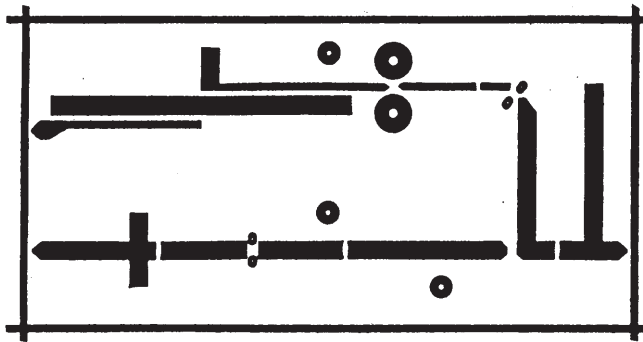
ohišjih. BAR63-03W je vgrajena v ohišje z majhno parazitno kapacitivnostjo in se uporablja kot zaporedno visokofrekvenčno stikalo. Obratno je BAR80 vgrajena v ohišje z minimalno parazitno induktivnostjo in se uporablja kot vzporedno stikalo ("shunt" dioda). Antenski preklopnik je izdelan tako, da sta obe stikali sklenjeni na oddaji. Četrtvalovni vod L7 tedaj poskrbi za to, da se kratek stik iz diode BAR80 preslika v odprte sponke za oddajnik.

Visokofrekvenčna glava vsebuje tudi predojačevalnik in sito za sprejemnik, ki nekoliko izboljšajo občutljivost in dušenje zrcalne frekvence sprejemnika. Predojačevalnik je izdelan z GaAs tranzistorjem CFY35, ki navkljub slabljenju antenskega preklopnika in izhodnega sita še vedno daje ojačenje okoli 11dB. Izhodno pasovno sito je potrebno zaradi razmeroma nizke vrednosti prve medfrekvence, komaj 75MHz, ki daje zrcalno frekvenco na 2210MHz.

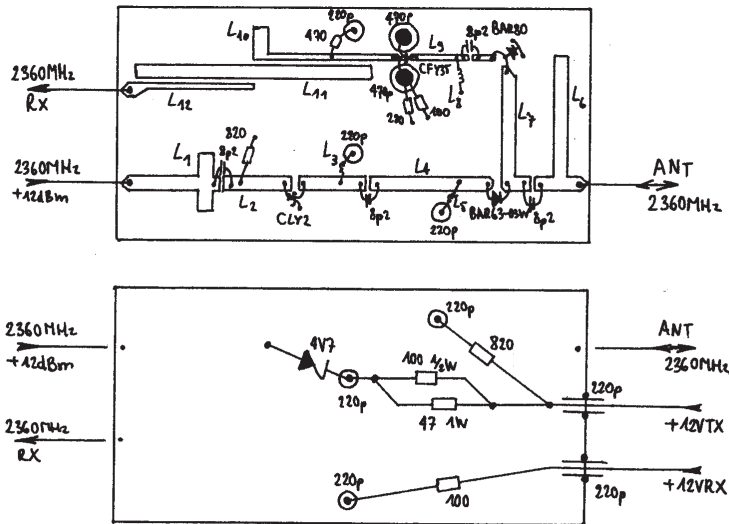
Visokofrekvenčna glava PSK postaje je izdelana na dvostranski teflonski tiskanini z izmerami 40mmX80mm. Gornja stran tiskanine je prikazana na Sliki 9, spodnja stran pa ni jedkana, saj deluje kot ravnina mase za mikrotrakaste vode. Tiskanina je izdelana iz 0.8mm debelega teflonskega laminata z relativno dielektrično konstanto 2.5. Razporeditev sestavnih delov na obeh straneh tiskanine je prikazana na Sliki 10. Razen tiskanih vodov vsebuje visokofrekvenčna glava tudi tri samonoseče četrtvalovne dušilke L3, L5 in



Slika 8 - Visokofrekvenčna glava 2360MHz PSK postaje.



Slika 9 - Tiskanina visokofrekvenčne glave.
(dvostranski teflon, debeline 0.8 mm)



Slika 10

Razporeditev sestavnih delov visokofrekvenčne glave.

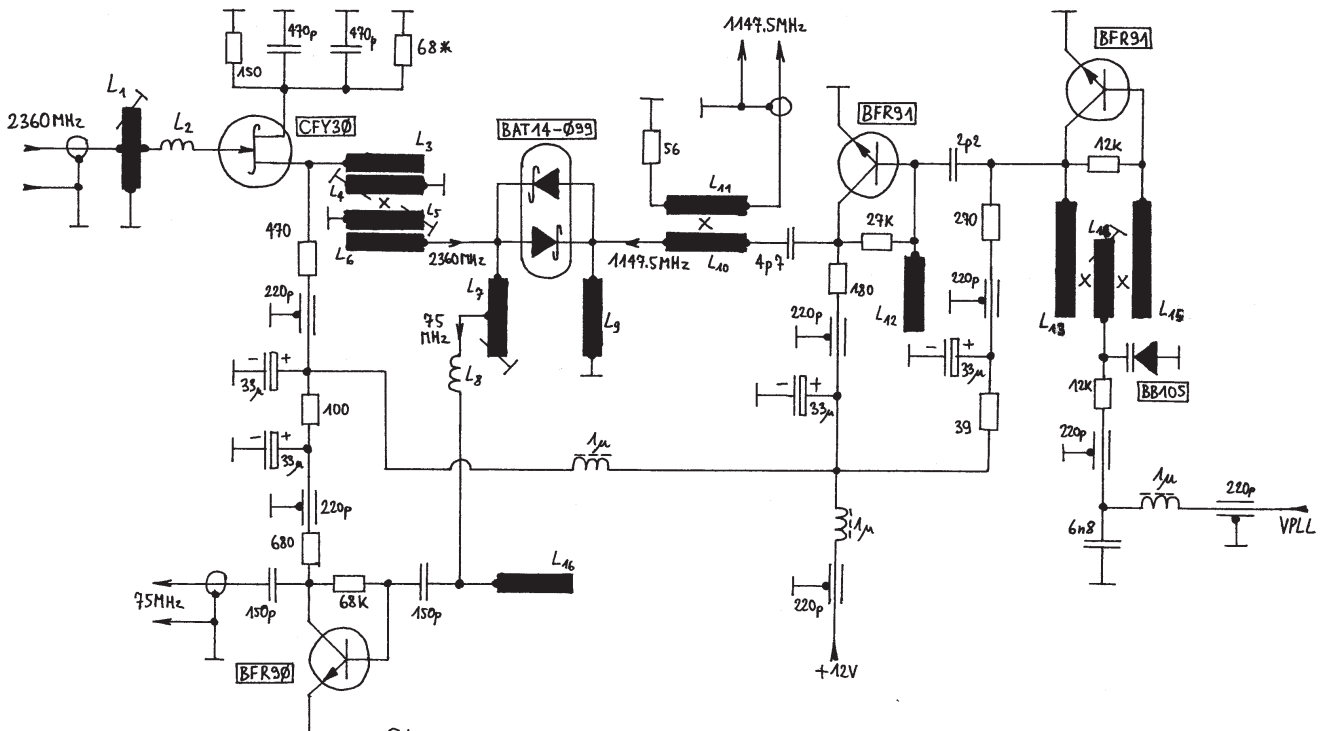
L8 za 2360MHz.

Pri gradnji visokofrekvenčne glave moramo paziti predvsem na pravilno ozemljitev mikrovalovnih polprevodnikov CLY2, BAR80 in CFY35. CLY2 in BAR80 povežemo z ravnino mase preko kapljic cina, ki potekajo skozi izvrtine premera 2mm v teflonskem laminatu (zelo zahtevno opravilo!) CFY35 je ozemljen preko dveh keramičnih disk kondenzatorjev brez izvodov, ki ju vgradimo v ustrezni izvrtini na tiskanem vezju. Končno, L6 je ozemljena s koščkom 2.5mm širokega bakrenega traku, ki ga vtaknemo v zarezo v teflonu.

Oddajni del uglasimo na največjo izhodno moč z dodajanjem kapacitivnosti (bakrenih lističev) rezonatorju L1. Bakrene lističe lahko sicer poskusimo dodati tudi drugje v vezju oddajnika, vendar je njihov učinek drugod običajno minimalen. Sprejemni predojačevalnik tudi uglasimo na največje ojačenje, vendar gre tu predvsem za točno uglasjevanje sita na izhodu. Z dolžino L11 nastavimo točno frekvenco sita, z L10 pa poiščemo najboljšo prilagoditev na izhodno impedanco tranzistorja CFY35. Pred VF uglasjevanjem seveda nastavimo delovno točko CFY35 z izbiro uporov v vezju izvora.

6. Sprejemni konverter s PLL-jem

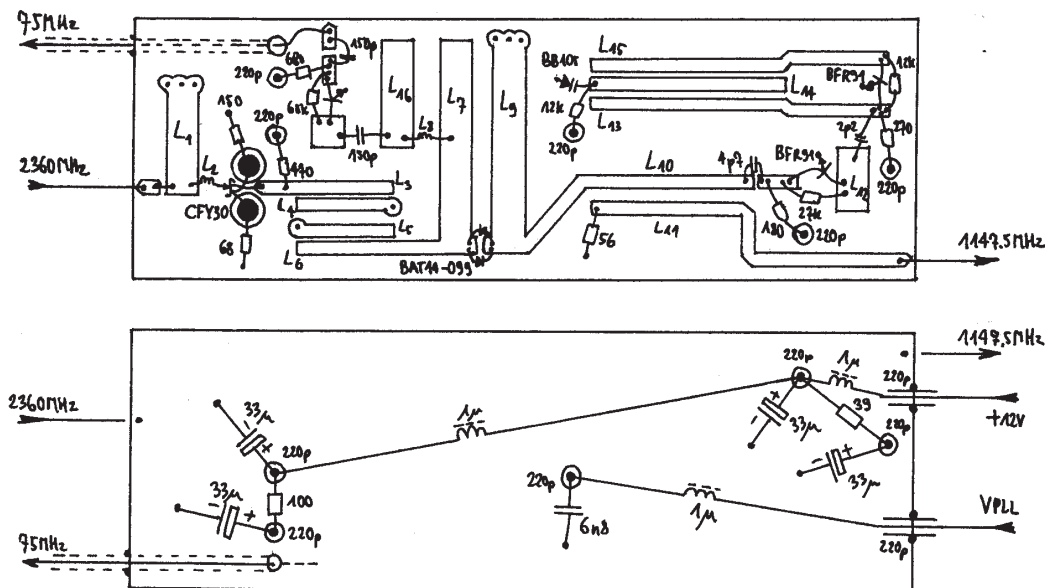
Enota sprejemnega konverterja s PLL-jem je skoraj povsem enaka



Slika 11 - Sprejemni konverter za 2360 MHz.



Slika 12 - Tiskanina sprejemnega konverterja (dvostranski FR4, debeline 1.6 mm)



Slika 13 - Razporeditev sestavnih delov sprejemnega konverterja.

konverterju za sprejem satelitov v frekvenčnem področju 2.4GHz, ki sem ga objavil v CQ ZRS 6-93, strani 34-51, zato bom tu opisal le najpomembnejše spremembe, predelave in izboljšave omenjenega načrta. Sprejemni konverter s PLL-jem sicer sestavljata dve enoti, sam sprejemni konverter za 2360MHz in PLL logika sprejemnika.

Električni načrt sprejemnega konverterja za 2360MHz je prikazan na Sliki 11. Poglavitna razlika je v vrednosti medfrekvence, ki je zdaj 75 MHz. Ker je konverter sestavni del radijske postaje, je prisotnost napajalne napetosti +12V na visokofrekvenčnem vhodu in izhodu povsem nepotrebna. Razen omenjenih sprememb sem zamenjal feritne perlice z dušilkami 1uH, ki omogočajo boljše dušenje motenj iz PLL-ja.

Sprejemni konverter za 2360MHz je zgrajen na dvostranski tiskanini z izmerami 40mmX120mm. Gornja stran tiskanine je prikazana na Sliki

12 in vsebuje nekaj manjših sprememb, ki olajšujejo uporabo SMD polprevodnikov. Spodnja stran tiskanine iz 1.6mm debelega vitroplasta FR4 ni jedkana, da deluje kot ravnina mase za mikrotrakaste vode. Spremenjena razporeditev sestavnih delov na obeh straneh tiskanine je prikazana na Sliki 13.

PLL logika sprejemnika je prikazana na Sliki 14. in vsebuje le malo sprememb. Dodatek je le dušilka 1uH na izhodu frekvenčno/faznega primerjalnika. Za sprejem 2360MHz z medfrekvenco 75MHz potrebujemo lokalni oscilator na 2285MHz oziroma polovični frekvenci 1147.5 MHz. To frekvenco najlažje dosežemo s CB kristalom za 26.770MHz (CB kanal 22 sprejem), ki na osnovni frekvenci niha zelo blizu željenih 8965kHz.

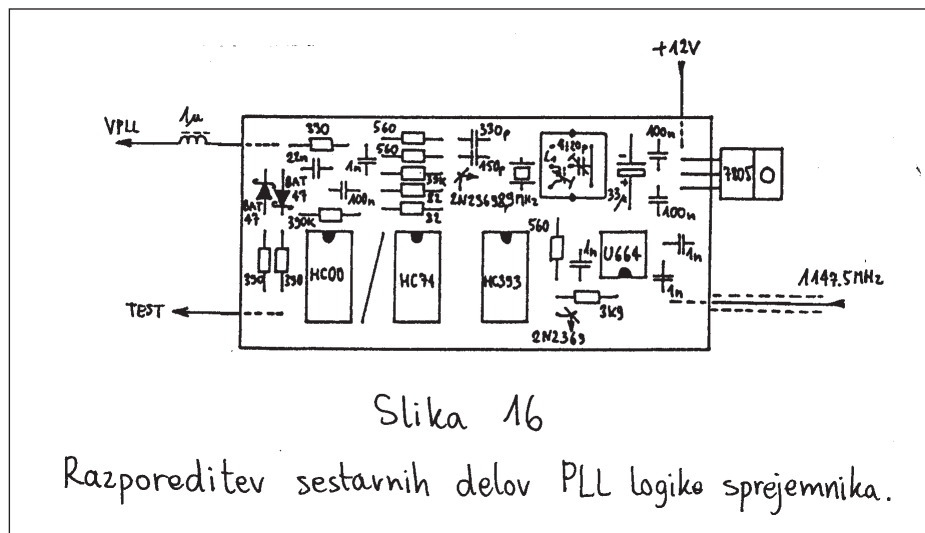
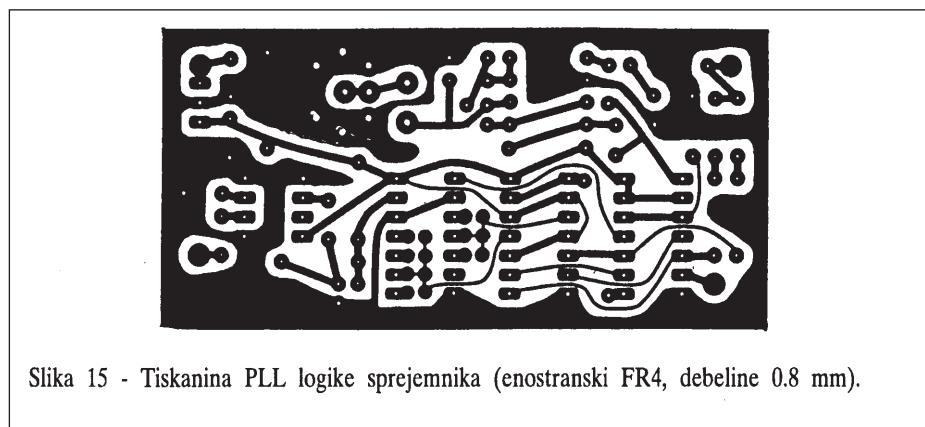
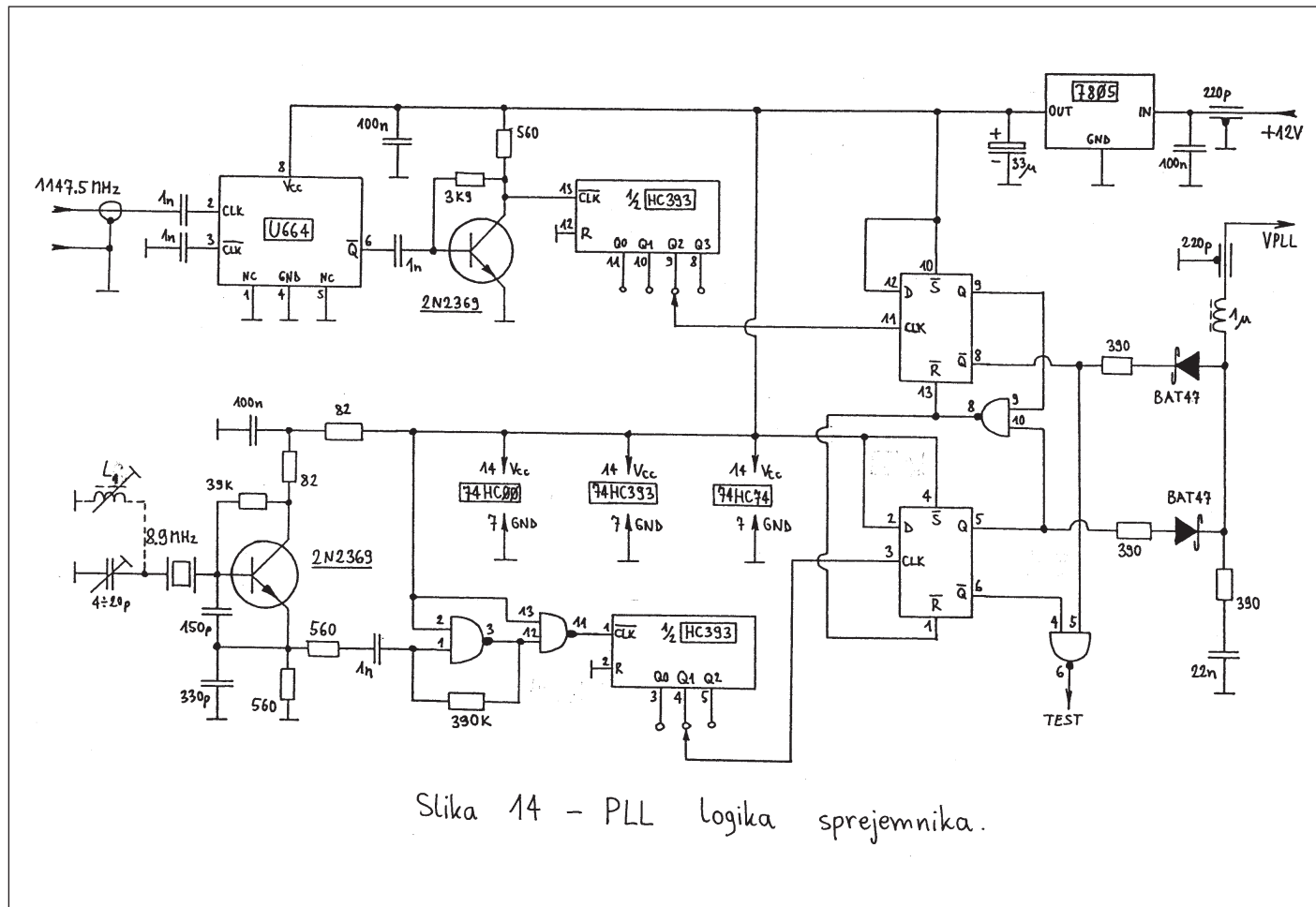
PLL logika je zgrajena na enostranski tiskanini z izmerami 40 mmX80mm, ki je prikazana na Sliki 15. Razporeditev sestavnih delov PLL

logike sprejemnika je skoraj nespremenjena, izjema je le dodana dušilka 1uH pod tiskanim vezjem, kot je to prikazano na Sliki 16.

Gradnja in uglaševanje sprejemnega konverterja za 13cm sta bila natančno opisana v CQ ZRS 6-93, zato tu opisa ne bom ponavljal. Pri medfrekvenci 75MHz ima konverter nekoliko slabše šumno število, pa tudi dušenje zrcalne frekvence ni več zadostno. K dušenju zrcalne frekvence sicer pripomore pasovno sito v visokofrekvenčni glavi. Po drugi strani pa lahko prav to sito povzroči samoosciliranje ojačevalnika s tranzistorjem CFY30. Proti takšnim samooscilacijam pomaga predvsem znižanje induktivnosti tuljave L2 na vratih CFY30.

7. Medfrekvenca sprejemnika 75/10MHz

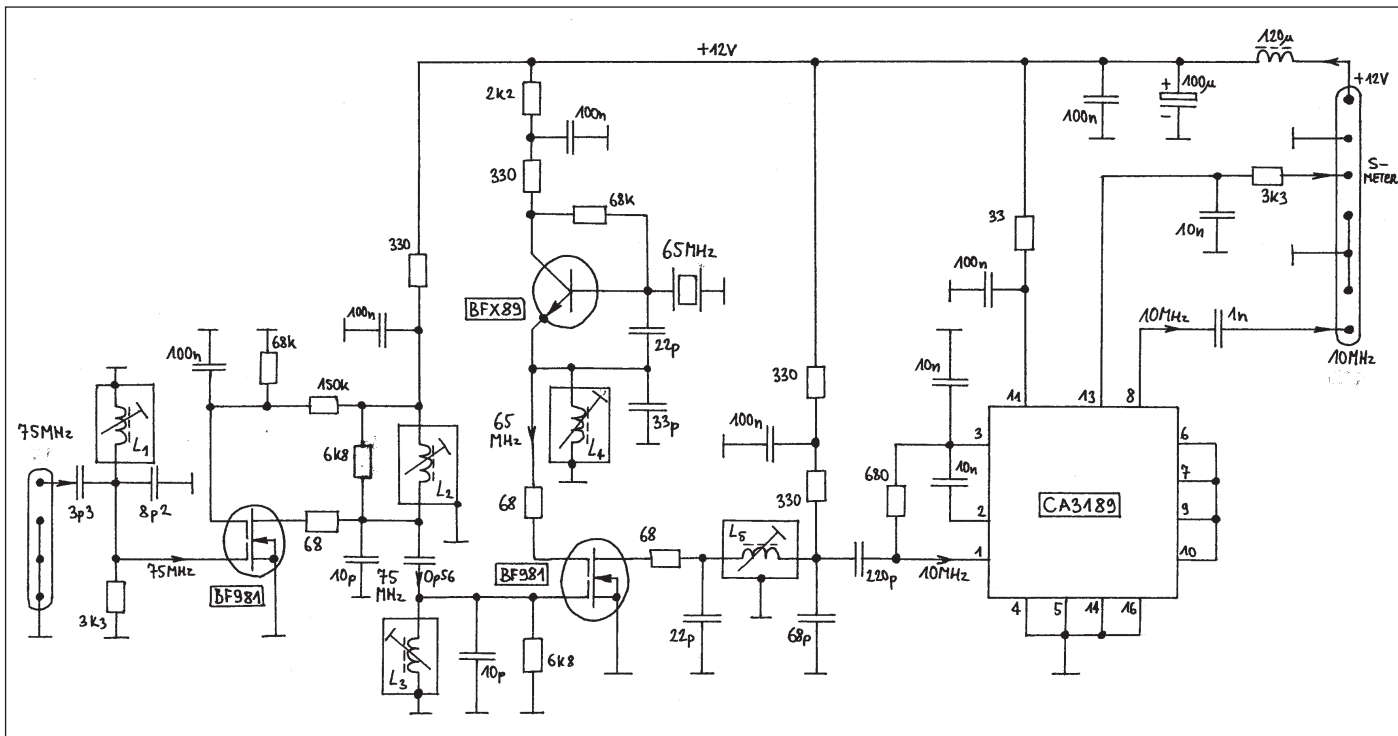
Električni načrt medfrekvence spre-



jemnika je prikazan na Sliki 17. Med-frekvenčni del sprejemnika sestavljajo MOSFET ojačevalnik na 75MHz, kristalni oscilator na 65MHz, drugi mešalnik s še enim MOSFET-om in končno 10MHz ojačevalnik z integriranim vezjem CA3189.

Za sprejem 1.2Mbit/s PSK signala potrebujemo medfrekvenčno sito širine približno 2MHz. Večino selektivnosti celotnega sprejemnika prispeva ojačevalnik na 75MHz, bolj točno sito med tem ojačevalnikom in drugim mešalnikom s tuljavama L2 in L3. Manjši del selektivnosti prispevata še nihajna kroga s tuljavama L1 na 75MHz in L5 na 10MHz, vendar je poglavitna naloga teh dveh nihajnih krogov dušenje motenj daleč proč od željenih signalov. Ojačenje celotne medfrekvenčne verige je celo nekoliko previsoko, vendar kljub temu veriga deluje stabilno. V oscilatorju je uporabljen overtonski kristal za 65MHz, ki ima osnovno resonanco okoli 13MHz. Tuljava L4 preprečuje nihanje kristala na osnovni frekvenci in na tretjem overtону okoli 39MHz.

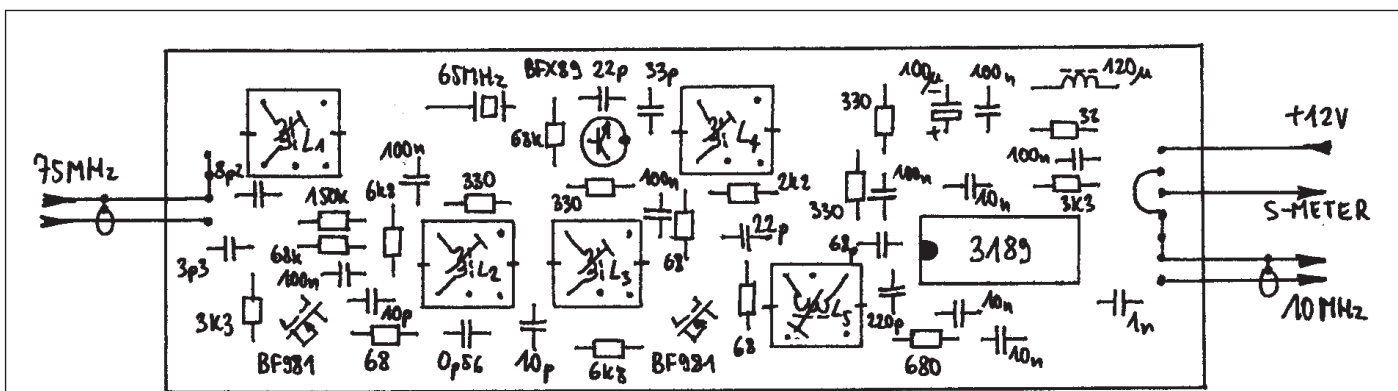
Integrirano vezje CA3189 vsebuje verigo ojačevalnih stopenj z zelo visokim ojačenjem na 10MHz. V opisani PSK postaji deluje CA3189



Slika 17 - Medfrekvenca sprejemnika 75/10 MHz.



Slika 18 - Tiskanina medfrekvence sprejemnika (enostranski FR4, debeline 1.6 mm).



Slika 19

Razporeditev sestavnih delov medfrekvence sprejemnika.

kot omejevalnik, saj omejevanje ne popačuje PSK signalov. Kljub temu, da ojačenje CA3189 hitro upada z rastočo frekvenco, moramo preprečiti, da preostali signal lokalnega oscilatorja na 65MHz na izhodu mešalnika ne prekmili 10MHz ojačevalnika, za kar poskrbi nizkoprepustno sito s tuljavo L5. CA3189 ima tudi izhod za S-meter z logaritmsko skalo, ki še posebno prav pride pri uglasčevanju sprejemnika.

Medfrekvenca sprejemnika je zgrajena na enostranski tiskanini z izmerami 40mmX120mm, ki je prikazana na Sliki 18. Ustrezna razporeditev sestavnih delov je prikazana na Sliki 19. Tuljave L1, L2, L3 in L4 so navite na podstavkih TV medfrekvenčnih transformatorjev za 36MHz z nastavljivim feritnim vijakom v sredini tulca s štirimi prekati in feritno kapico ter pokrovčkom 10mmX10mm.

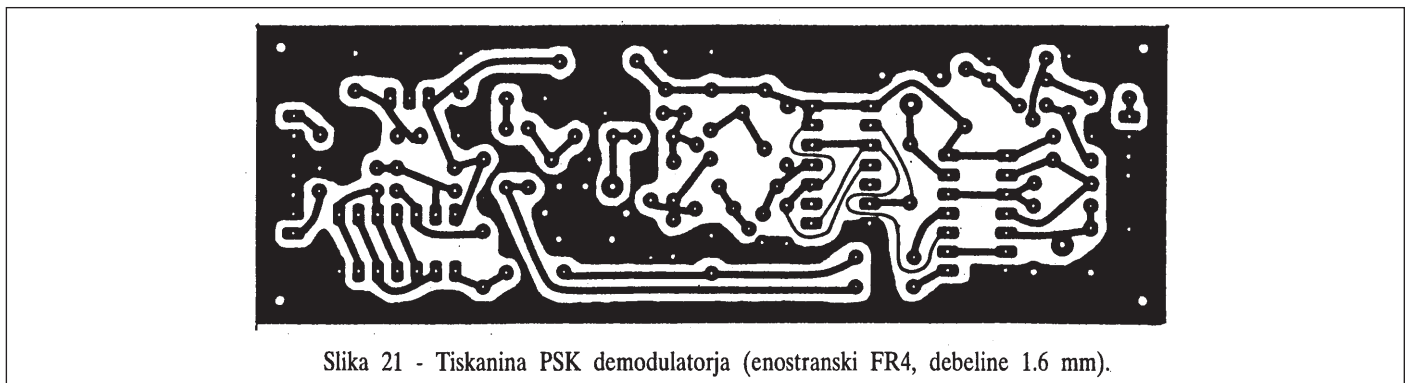
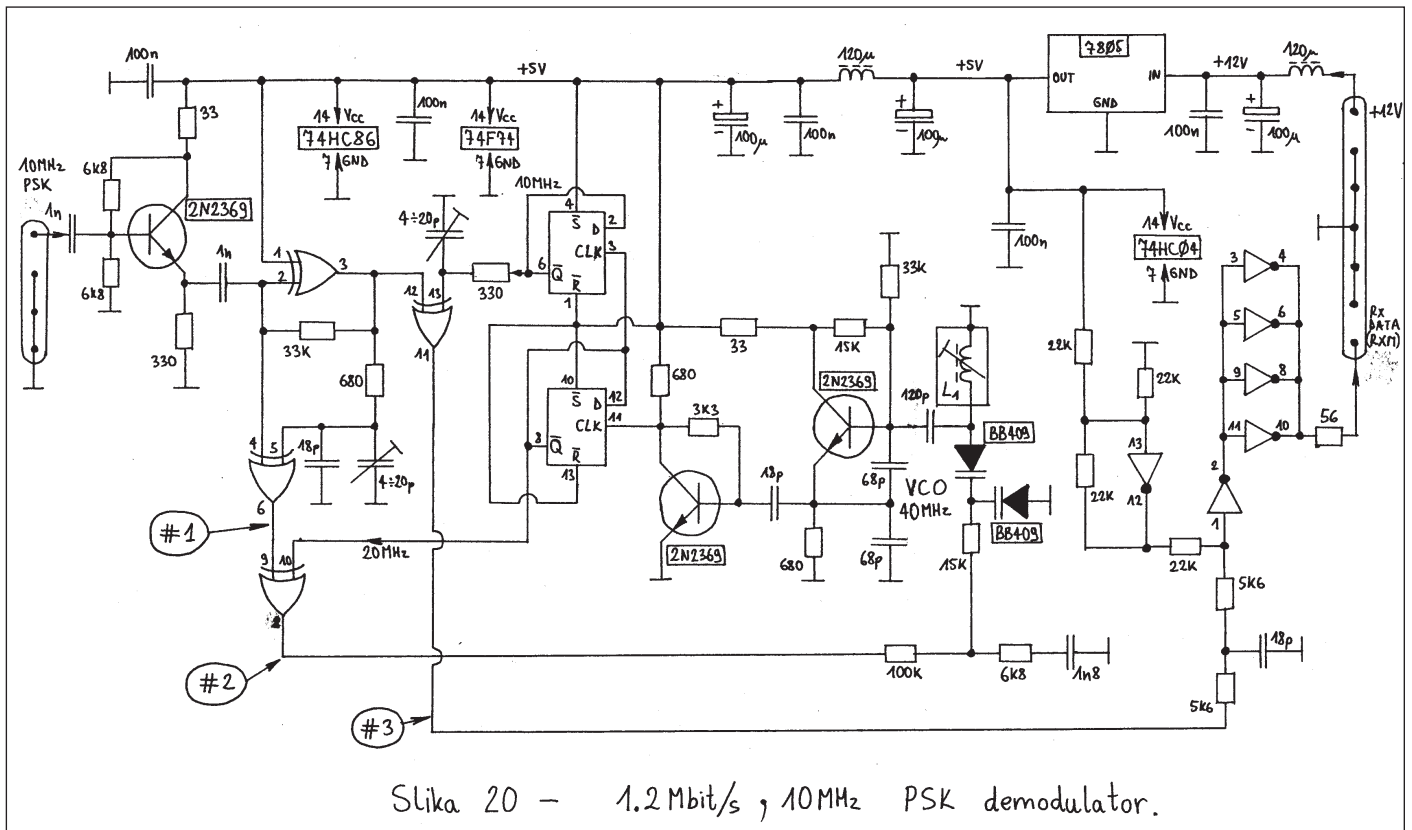
L1, L2, L3 in L4 imajo vsaka po 5 ovojev žice 0.15mm CuL v gornjem prekatu tulca. L5 ima 25 ovojev žice 0.15CuL na podstavku 10.7MHz medfrekvenčnega transformatorja z nepomičnim feritnim tulcem v sredini, nastavljivo feritno kapico in pokrovčkom 10mmX10mm.

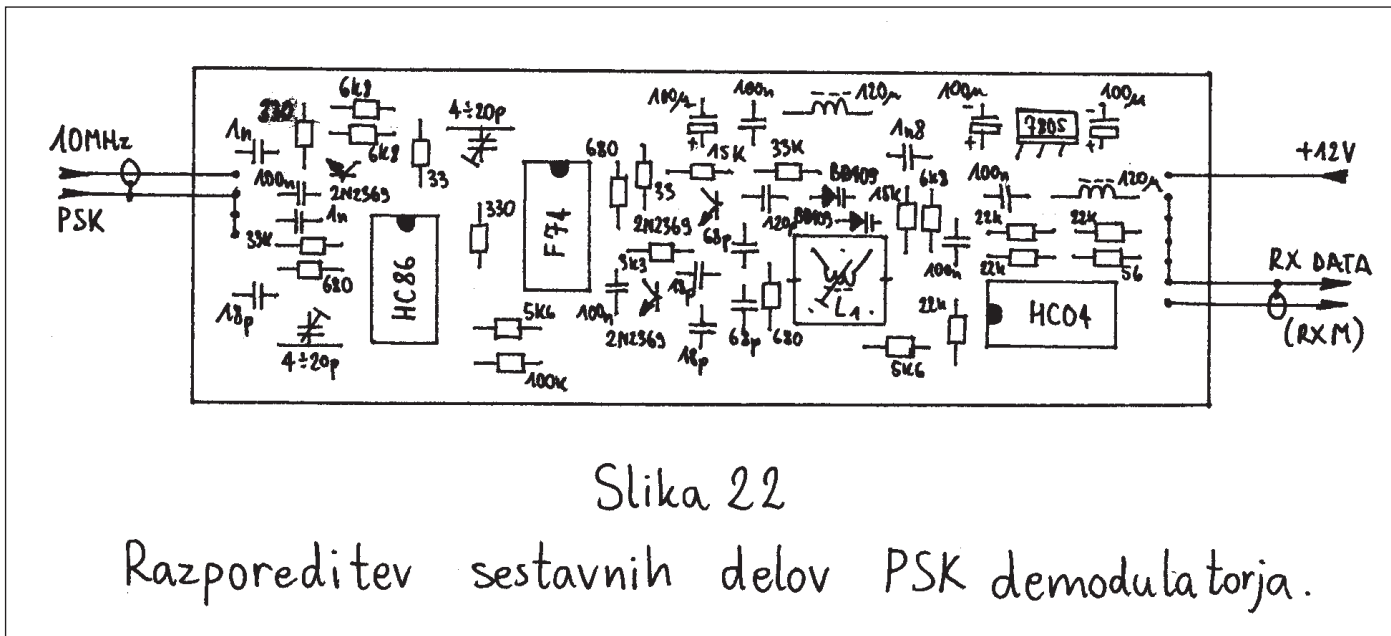
Pri uglasčevanju medfrekvenčne verige najprej preverimo delovanje kristalnega oscilatorja, ki mora nihati na 65MHz in ne na kakšni drugi rezonanci kristala, kar dosežemo z L4. Vse ostale nihajne kroge s tuljavami L1, L2, L3 in L5 nastavimo preprosto za največje ojačenje. Ker te iste tuljave določajo selektivnost sprejemnika, moramo opraviti nastavitve s primernim izvorom signala na 75MHz: signal generator ali grid-dip meter. Lastnega šuma postaje oziroma drugih šumnih izvorov ne moremo uporabiti v ta namen.

8. 1.2Mbit/s, 10MHz PSK demodulator

Od vseh sestavnih enot PSK radijske postaje je najmanj znano prav vezje PSK demodulatorja. Vezje PSK demodulatorja dopušča tudi številne različne tehnične rešitve. Vezje, prikazano na Sliki 20, je verjetno eden izmed najenostavnejših koherentnih PSK demodulatorjev. Po načinu delovanja je prikazani demodulator zanka s kvadriranjem signala (squaring loop), kot mešalniki pa so uporabljena EXOR vrata iz vezja 74HC86.

Vhodni medfrekvenčni signal na 10MHz je treba najprej ojačiti na TTL logični nivo, za kar najprej poskrbi emitorski sledilnik s tranzistorjem 2N2369, za njim pa ena od vrat vezja 74HC86 (nožice 1, 2 in 3). Nato medfrekvenčni signal množimo s svo-





Slika 22

Razporeditev sestavnih delov PSK demodulatorja.

jo zakasnjeno inačico (kvadriramo) v EXOR vratih z nožicami 4, 5 in 6. Zakasnitev signala dosežemo z RC vezjem. Na izhodu 6, merilna točka #1, dobimo dvakratno frekvenco nosilca brez PSK modulacije, ki je zaradi podvojevanja frekvence izginila. Fazni zasuk 180 stopinj se namreč pri podvojevanju frekvence pretvori v 360 stopinj oziroma povsem izgine.

Signal v točki #1 sicer vsebuje močno spektralno komponento na dvojni frekvenci nosilca 20MHz, a tudi veliko šavja in šuma. Kot frekvenčno pasovno sito uporabimo fazno sklenjeno zanko, ker je v takšni zanki fazni zamik med vhodnim in izhodnim signalom točno določen. Kot fazni primerjalnik uporabimo še en mešalnik, to je še ena EXOR vrata (nožice 8, 9 in 10). VCO deluje na frekvenci 40MHz, da dobimo po deljenju z dva (polovica vezja 74F74) na frekvenci 20MHz lepo oblikovan pravokotnik.

Obnovljeni nosilec PSK signala dobimo s še enim deljenjem frekvence z dva, kar opravi druga polovica vezja 74F74. Končno demodulacijo PSK signala opravijo preostala EXOR vrata vezja 74HC86 (nožice 11, 12 in 13). Zaradi deljenja z dva je faza obnovljenega nosilca nedoločena 0 ali 180 stopinj. Tej nedoločenosti faze nosilca oziroma polaritete izhodnega signala se pri 0/180 stopinjski PSK modulaciji ne moremo izogniti.

Na srečo uporabljamo v packet-radiu NRZI (diferencialno) kodiranje, kjer predstavljajo prehodi logičnega nivoja ničle, konstanten nivo pa enice. Polariteta signala je nepomembna, zato opisana hiba 0/180 PSK

modulacije ne predstavlja nikakršne omejitve za packet-radio zvezo. Omejitve moramo seveda upoštevati pri načrtovanju skramblerjev, deskramblerjev in drugih vezij, ki obdelujejo NRZI signal.

PSK demodulatorju sledi nizkoprepustno RC sito, ki odstrani še zadnje ostanke nosilca. Situ sledi ojačevalnik s 74HC04, ki demodulirani PSK signal ojači na TTL nivo in krmili 75-ohmski kabel do enote bitne sinhronizacije. PSK sprejemnik torej razpolaga le z digitalnim izhodom, zvočnika ali slušalke zato nima smisla priključiti na izhod.

PSK demodulator je zgrajen na enostranski tiskanini z izmerami 40mmX120mm, ki je prikazana na Sliki 21. Ustrezna razporeditev sestavnih delov je prikazana na Sliki 22. Pri izbiri sestavnih delov pazimo predvsem na to, kaj vgradimo v VCO. Kondenzatorji VCOja naj bodo po možnosti NPO keramični ali stirofleks z majhnim temperaturnim koeficientom. Tuljava VCO-ja L1 je navita na podstavku TV medfrekvenčnega transformatorja z nastavljivim feritnim vijakom sredi tulca s štirimi prekati in plastično kapico ter pokrovčkom 10mmX10mm. L1 ima 6 ovojev žice 0.15mm CuL v gornjem prekatu tulca.

Uglaševanje PSK demodulatorja začnemo z nastavitvijo zakasnitve podvojevalnika frekvence vhodnega signala. Na merilno točko #1 priključimo voltmeter preko VF dušilke. Kapacitivni trimerni na nožici 5 vezja 74HC86 nastavimo tako, da izmerimo 2.5V enosmerne napetosti na točki #1, ko je na vходу PSK demodulatorja prisoten šum sprejemnika ozi-

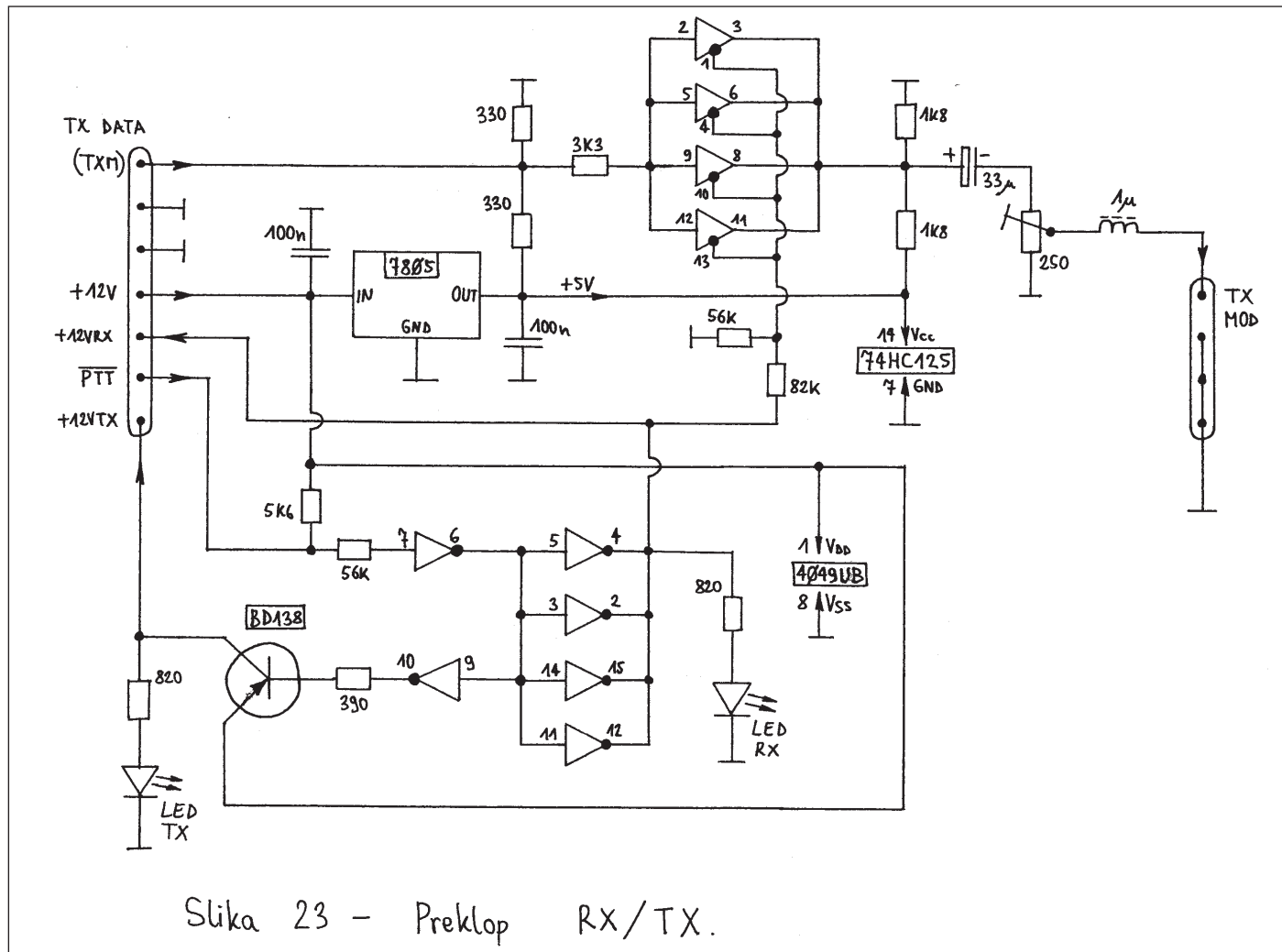
roma veljaven PSK signal.

Nato v grobem nastavimo L1 brez vhodnega signala tako, da VCO niha na 40MHz. Nato privedemo veljaven PSK signal in pomerimo enosmerno napetost na merilni točki #2, spet preko VF dušilke. Napetost na točki #2 mora slediti majhnim premikom jedra L1, ko je PLL ulovljen. Jedro L1 potem dokončno nastavimo tako, da dobimo v ujetem stanju v točki #2 natančno 2.5V oziroma povsem enako napetost, ko PLL ni ujet in je na vrodu prisoten le šum.

Končno nastavimo še fazo demodulatorja. Na točko #3 priključimo preko VF dušilke osciloskop in na vhod vezja privedemo veljaven PSK signal. Kapacitivni trimerni na nožici 13 vezja 74HC86 nastavimo tako, da dobimo na osciloskopu najvišjo amplitudo demoduliranega signala. Brez osciloskopa nastavimo fazo z voltmetrom na točki #3 tako, da demodulator krmilimo z nedomuliranim nosilcem in s trimernim na nožici 13 poiščemo maksimum ali minimum napetosti, odvisno pač od tega, kako se je ujel PLL.

9. Preklop RX/TX

Preklop napajanja in še nekaj dodatnih vezij je zbranih v enoti preklop RX/TX, ki je prikazana na Sliki 23. Večna vezij sprejemnika se sicer stalno napaja z napetostjo +12V. Preklop zato vklaplja le vezja oddajnika (+12VTX) in istočasno izklaplja le visokofrekvenčni predojačevalce sprejemnika (+12VRX). Preklopi so izvedeni s CMOS vezjem 4049UB, le vklop oddajnika potre-

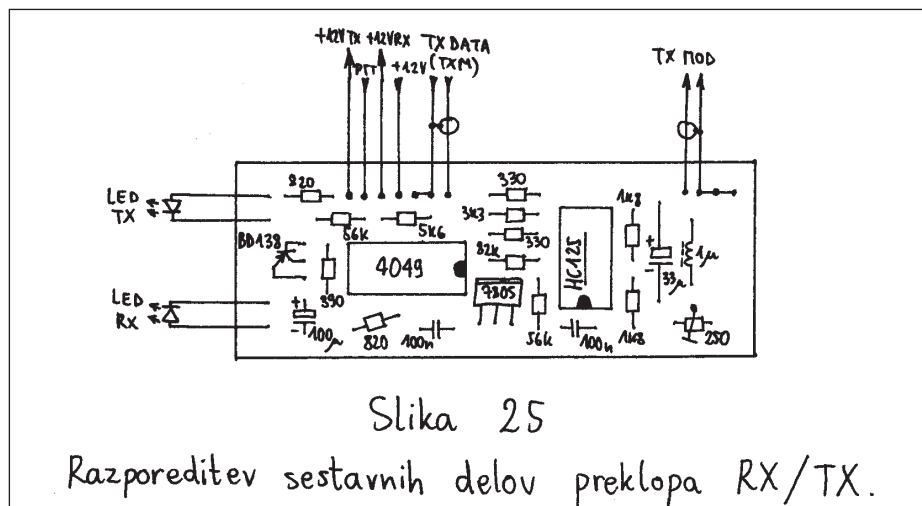


Slika 23 - Preklop RX/TX.



Slika 24

Tiskanina preklopa RX/TX (enostranski FR4, debeline 1.6 mm).



Slika 25

Razporeditev sestavnih delov preklopa RX/TX.

buje 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. Ker deluje večina vezij sprejemnika tudi na oddaji, lahko delovanje večine vezij sprejemnika (konverter s PLL-jem, PSK demodulator ipd) preizkusimo s signalom lastnega oddajnika, ki zaradi neizbežnega presluha prodre v vhod sprejemnika.

Enota preklop RX/TX vsebuje še krmilno vezje za PSK modulator oddajnika. Vhodni digitalni TTL signal se ojači z vezjem 74HC125, sledi trimer za nastavitev jakosti modulacije in nizkoprepustno sito z dušilko 1uH. Jakost modulacije nastavimo ob uglaševanju 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

poskrbita za to, da je tantalov sklopni kondenzator 33uF vedno naelektrjen na 2.5V, da je čas preklopa na oddajo čimmanjši. Kondenzator 33uF sicer predstavlja edini kapacitivni sklop za digitalni signal v celotni radijski postaji. Vsi ostali sklopi dopuščajo prenos enosmerne komponente digitalnega signala.

Preklop RX/TX je zgrajen na enostranski tiskanini z izmerami 30mmX80mm, ki je prikazana na Sliki 24. Ustrezna razporeditev sestavnih delov je prikazana na Sliki 25. Tiskana ploščica je predvidena za vgradnjo na prednjo ploščo radijske postaje in zato nosi obe lediki RX in TX.

10. Gradnja 13cm PSK radijske postaje

Gradnja PSK radijske postaje prav gotovo predstavlja nekaj novega za nas radioamaterje, mikrovalovne frekvence pa so še dodaten izvor težav. Razen skrbnega načrtovanja električnih vezij je zato treba že od vsega začetka razmišljati o mehanski konstrukciji posameznih enot in celotne radijske postaje. Zaradi slabih preteklih izkušenj sem pri opisani radijski postaji mogoče celo pretiraval v nasprotni smeri in kon-

strukcijo po nepotrebem zakomplical s številnimi oklopi, kondenzatorji skozniki ipd.

PSK radijska postaja je vgrajena v ohišje z izmerami 320mm (širina) X 175mm (globina) X 32mm (višina). Razporeditev sestavnih enot 13cm radijske postaje je prikazana na Sliki 26, 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.

Posamezne enote PSK radijske postaje so z izjemo preklopa RX/TX 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 27. 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.

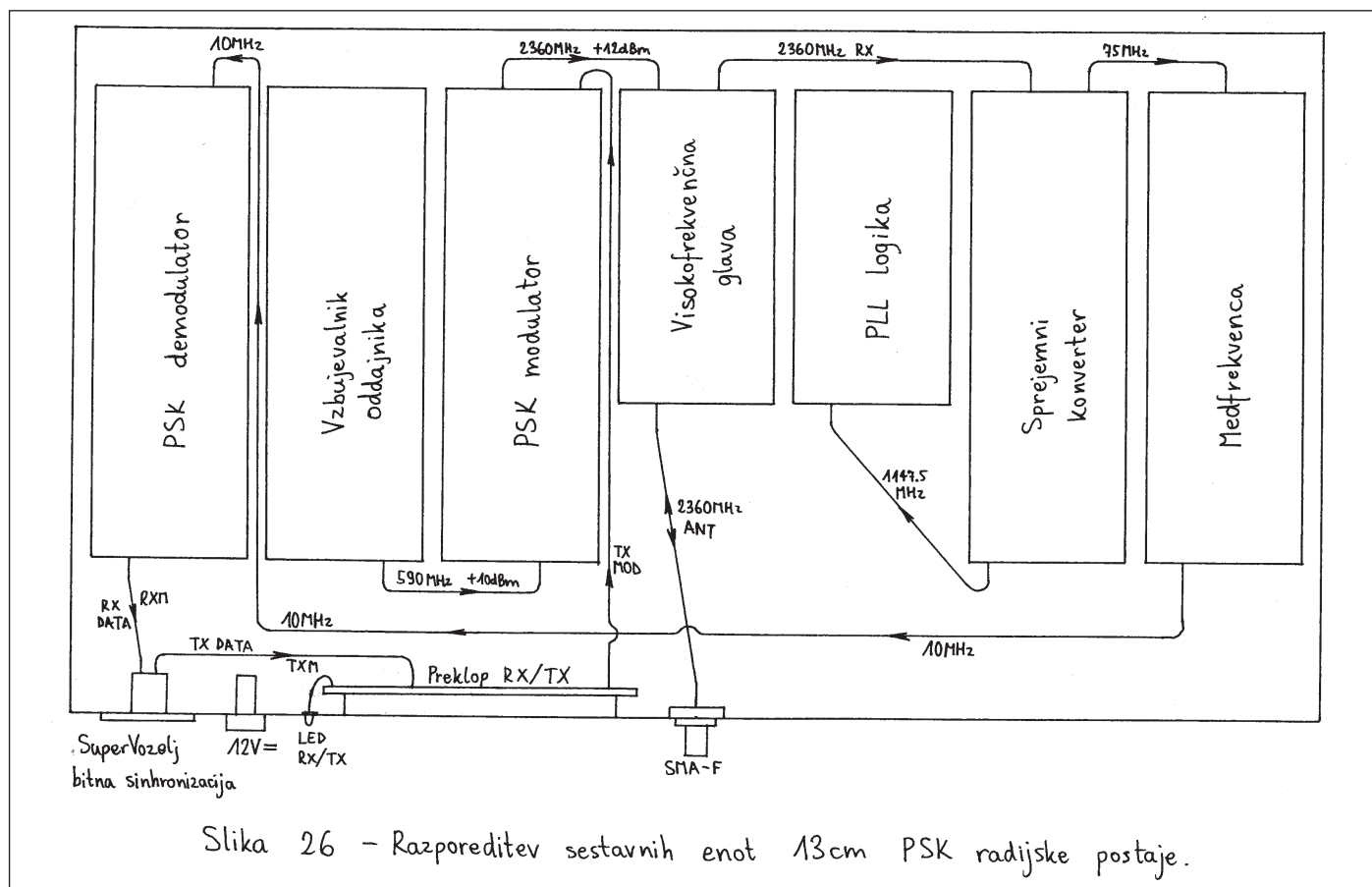
Seveda lahko dosežemo učinkovito

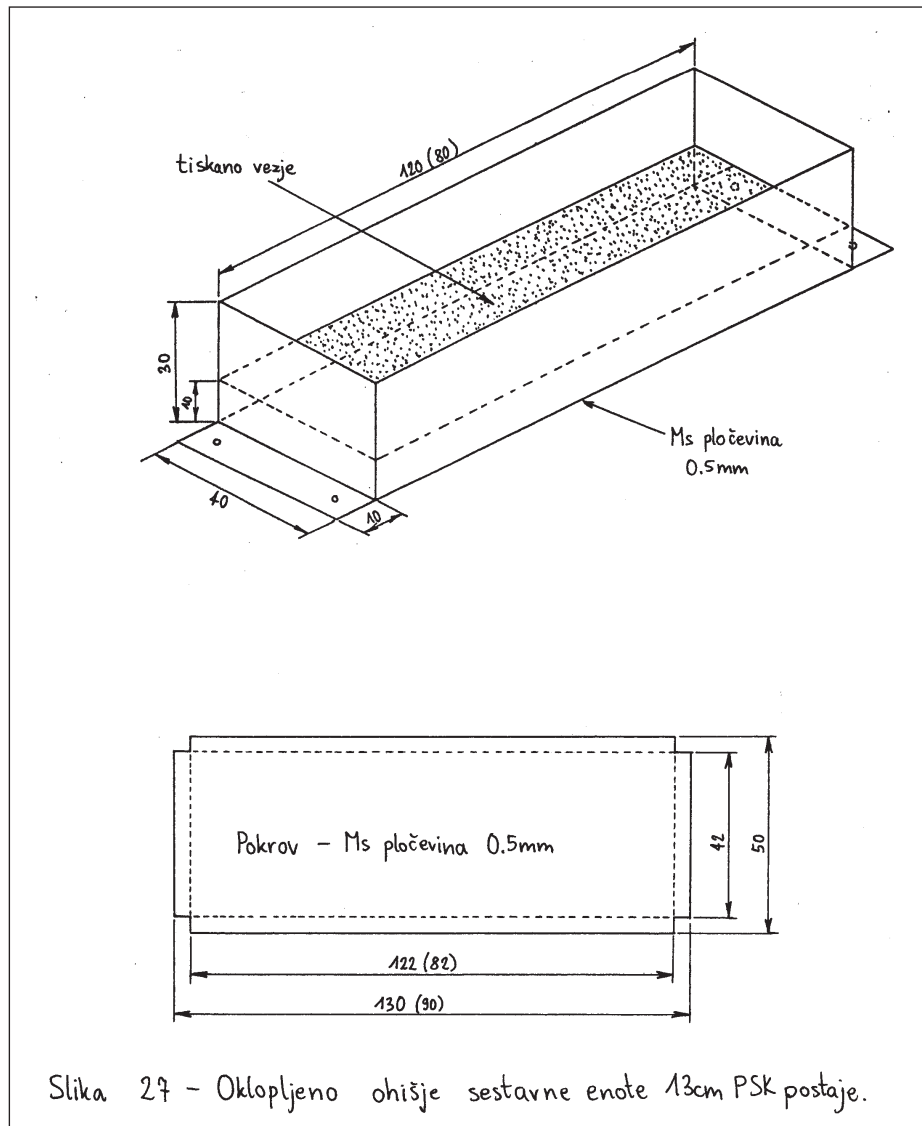
oklapanje posamičnih enot le s primerno izvedbo vseh električnih povezav. Napajanje in nizkofrekvenčne povezave so napeljani skozi kondenzatorje skoznike (220pF ali več) v krajših stranicah medeninastih škatlic. Visokofrekvenčne povezave so izvedene s tankimi teflonskimi koaksialnimi kabelčki (RG-188 ipd), katerih oklop mora biti dobro zacinjjen na medeninasto pločevino pri vstopu v škatlico.

Opisana PSK radijska postaja verjetno predstavlja tudi prvo resno srečanje s SMD sestavnimi deli. Žal drugače preprosto ne gre: dobre visokofrekvenčne lastnosti mikrovalovnih polprevodnikov lahko dosežemo edino v primerno MAJHNIH ohišjih. Na Sliki 28 so 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 zasnova PSK radijske postaje še zdaleč ni najenostavnejša in tudi ni tista, ki bi nudila najboljše lastnosti. Takšno zasnovo radijske postaje sem izbral predvsem zaradi zanesljivi-





Slika 27 - Oklopljeno ohišje sestavne enote 13cm PSK postaje.

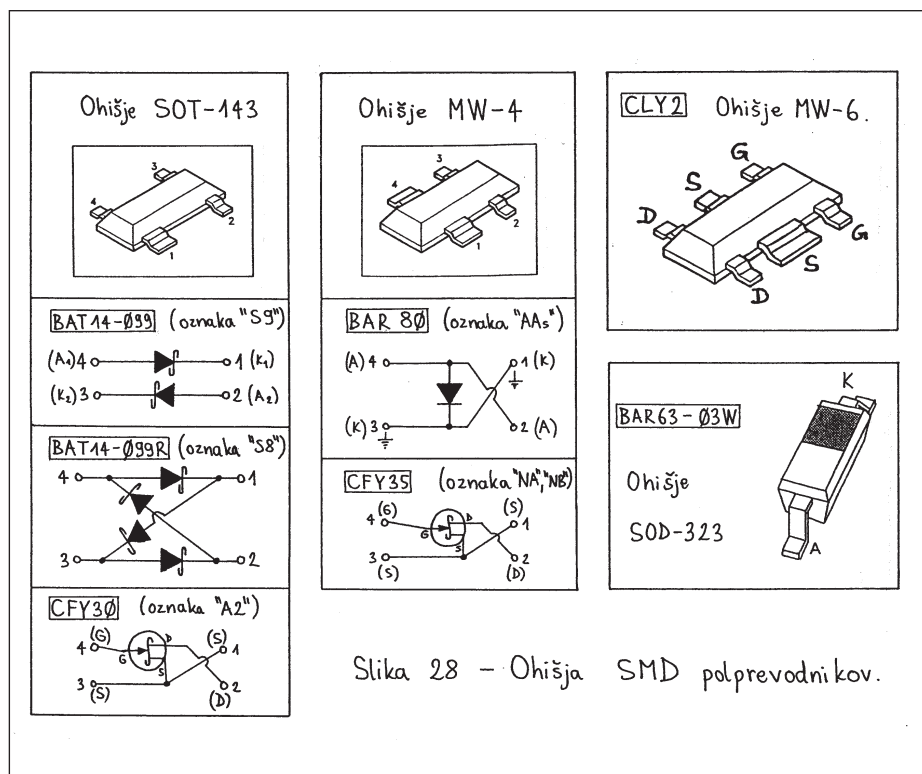
vosti delovanja in enostavnega ugleševanja, kar je pri uvajanju povsem nove

tehnike verjetno najpomembnejše. Po dobrem mesecu preizkusov na resnični radijski poti dolžine sicer komaj 6km, a brez optične vidljivosti (zakritost večja od desete Fresnelova cona) so se štiri zgrajene PSK postaje dobro izkazale. Zaradi številnih uklonov in odbojev zveza sicer ni stalna, a v takšnih pogojih je presih polja pričakovan pojav. Na isti radijski poti je sprejem UHF TV pretvornika zelo slab, ker številni odbiti valovi onemogočajo celo vrstično sinhronizacijo.

V bodočnosti pričakujem predvsem enostavnejše radijske postaje. PSK sprejemnik lahko izdelamo tudi kot sprejemnik z neposrednim mešanjem (direct conversion) brez kakršnekoli medfrekvence. Takšen sprejemnik je enostavnejši in lahko ima več skupnih mikrovalovnih vezij z oddajnikom, kar znatno poenostavi celotno radijsko postajo. Hiba sprejemnika z neposrednim mešanjem je, da ne more prenašati enosmerne komponente in torej nujno potrebuje skrambliranje podatkov pred oddajo in deskrambliranje na sprejemu, kar pa opisana enota bitne sinhronizacije (CQ ZRS 3/95) že zna narediti.

Končno, opisana PSK radijska postaja je "komaj" dosegla zastavljeni cilj: vzpostaviti packet-radio zvezo uporabne dolžine v resničnih pogojih razširjanja radijskih valov s hitrostjo višjo od 1Mbit/s, oziroma več kot stokrat hitreje od tistega, kar danes radioamaterji po svetu imenujejo hitri packet (9600bps G3RUH modem). Če se drugod po svetu večinoma niso ogreli za naš 38.4 kbit/s WBFM/ Manchester sistem packet radia, je razkorak v hitrosti prenosa podatkov, učinkovitosti izkoriščanja moči oddajnika in izkoriščanja radiofrekvenčnega spektra PSK radijske postaje tako velik, da bojo zagovorniki G3RUH modemov težko našli kakršenkoli izgovor.

Opisana PSK radijska postaja seveda niti zdaleč ni dokončana: pravi lov na napake in izboljšave sistema se šele začena. Vse brihtne glave, ki so že zdavnaj znale razložiti, kako narediti megabitni packet-radio, pa bi spomnili na slovenski pregovor, ki razlaga razliko med gospodom Skoraj, ki ni še nikoli ujel zajca, in gospodom Komaj, ki je zajca že ujel...



Slika 28 - Ohišja SMD polprevodnikov.