

Izboljšani BPSK demodulator za 1.2Mbit/s PSK RTX

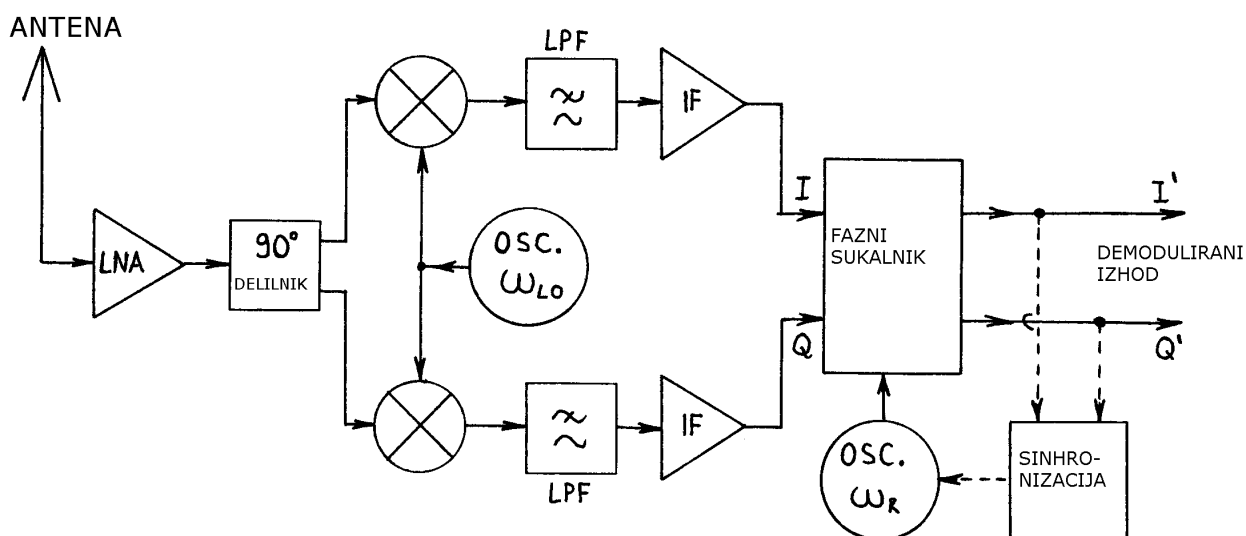
Matjaž Vidmar, S53MV

1. Načrtovanje in lastnosti PSK radijskih postaj

Učinkovit prenos podatkov po radijski zvezi zahteva učinkovito modulacijo. Pri hitrostih nad približno 100kbit/s si ne moremo več privoščiti preprostih modemov in potratne frekvenčne modulacije, saj bo domet radijskih postaj premajhen ob hkratni veliki porabi frekvenčnega spektra. Za zahtevnejše podatkovne zveze nam torej ostane ena od oblik fazne modulacije (PSK) in koherentni detektor v sprejemniku, podobno kot v govornih zvezah neučinkovito frekvenčno modulacijo nadomesti SSB.

Najpreprostejša oblika PSK je dvofazna PSK ali BPSK (Biphase-PSK). Večfazne modulacije imajo sicer lahko boljše spektralno učinkovitost, a zahtevajo še dosti bolj komplicirane radijske postaje. Že BPSK radijska postaja se po kompliciranosti primerja s SSB radijsko postajo in prve megabitne PSK radijske postaje v našem omrežju so bile načrtovane na povsem enak način (1). Drugod po svetu, z nekaj svetlimi izjemami, so radioamaterji žal vrgli puško v koruzo in svoja packet-radio omrežja pokopali z neučinkovitimi tovarniškimi FM postajami.

Tehnika ničelne medfrekvence (Zero-IF ali ZIF) je prinesla poenostavitve tako v profesionalni tehniki (GSM telefoni) kot v radioamaterskih postajah. Zasnova sprejemnika z ničelno medfrekvenco sicer izgleda bolj komplicirana (slika 1), vendar so posamezne enote razmeroma enostavne za gradnjo in večina vezij dela na razmeroma nizkih frekvencah. Megabitne PSK postaje z ničelno medfrekvenco so se hitro uveljavile na 23cm (2) za širne množice uporabnikov in potem še na 13cm (3) kot zamenjava za dotrajane prvotne PSK postaje.

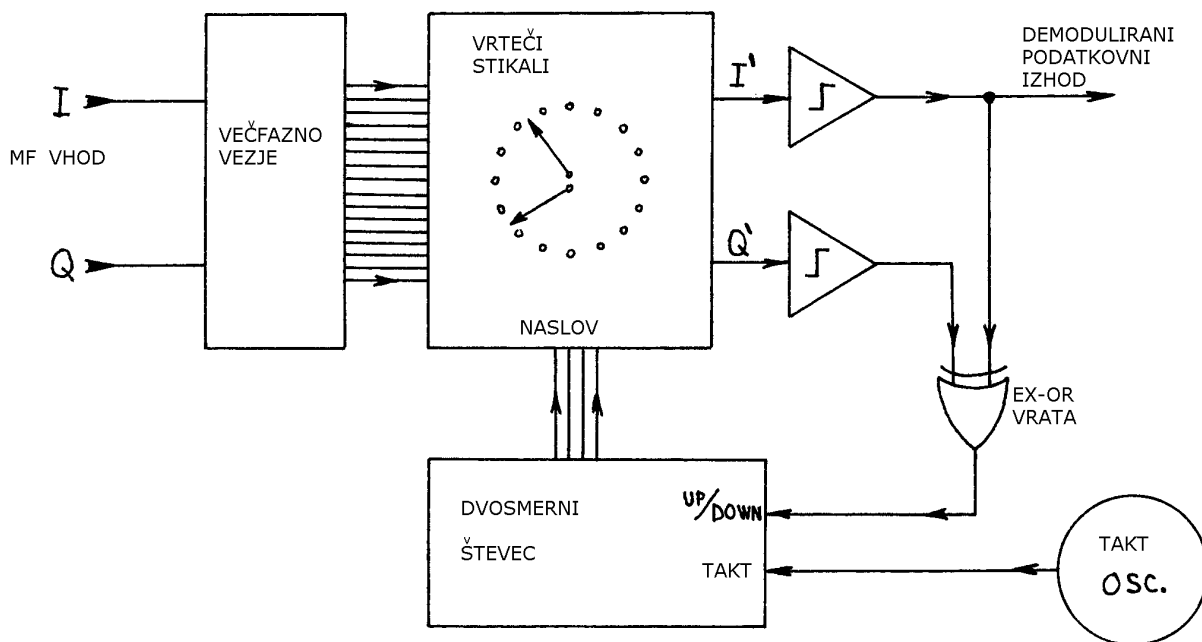


Slika 1 - Zasnova sprejemnika z ničelno medfrekvenco.

Ko bi bil lokalni oscilator sprejemnika točno sinhroniziran z oddajnikom, bi bil PSK sprejemnik silno enostaven, saj bi

predstavlja razlika frekvenc sprejetega signala in oscilatorja kar demodulirane podatke. Ker faza in frekvenca sprejemnika odstopata, mora sprejemnik z ničelno medfrekvenco vsebovati dva mešalnika in dve medfrekvenčni verigi z medsebojnim faznim zamikom 90 stopinj. Iz izhodov dveh medfrekvenčnih verig lahko potem sestavimo kazalec s poljubno fazo ali z drugimi besedami popravimo odstopanje lokalnega oscilatorja.

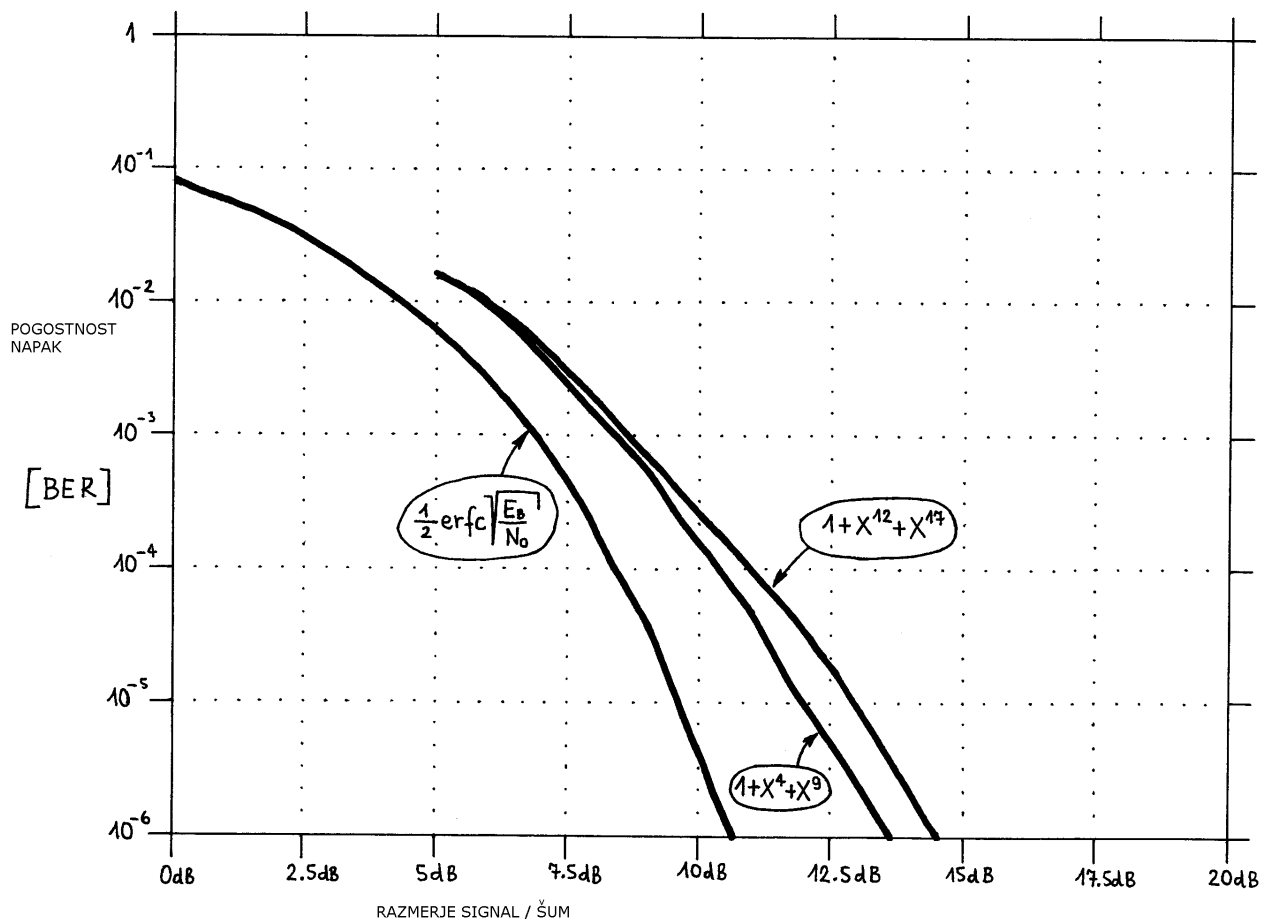
Demodulator PSK sprejemnika z ničelno medfrekvenco zato vsebuje fazni sukalknik in primerno vezje za njegovo krmiljenje. Povratno vezavo običajno imenujemo po njenem izumitelju Costas-ova zanka. V preprosti ZIF-PSK postaji (2) je Costas-ov demodulator izveden z vrtečimi stikali in preprostimi logičnimi vezji, da je izdelava postaje karseda poenostavljena (slika 2). Fazni sukalknik je izveden z analognimi stikali 74HC4067 in šele izhoda stikal se ojačujeta na TTL logične nivoje.



Slika 2 - Costas-ov BPSK demodulator z vrtečimi stikali.

Kakovost podatkovnega sprejemnika ocenimo glede na pogostnost napak (Bit-Error Rate ali BER) pri določenem razmerju signal/šum na vходу demodulatorja v sprejemniku. Na sliki 3 je prikazana teoretska krivulja za idealni sprejemnik in dve izmerjeni krivulji za 23cm PSK radijsko postajo z ničelno medfrekvenco (2). Odstopanje med idealno in izmerjeno krivuljo imenujemo izguba demodulatorja, ki je v dobro načrtovanem sprejemniku v velikostnem razredu 2dB v smislu vhodnega razmerja signal/šum.

Izmerjena izguba demodulatorja ZIF-PSK postaje (2) je nekoliko višja in znaša 3...4dB. Z boljšim demodulatorjem lahko torej pridobimo 1...2dB na občutljivosti sprejemnika. ZIF-PSK postaja se sicer obnaša slabše pri daljših preizkusih zaporedjih (pseudonaključni generator s polinomom $1+x^{12}+x^{17}$) in, kar na sliki 3 ni narisano, ko sta frekvenci oscilatorjev oddajnika in sprejemnika zelo blizu. Oboje narekuje dva možna vzroka: popačenje signala v dvokanalnem MF ojačevalniku in motnje, ki jih ob preklopih dodajajo stikala 74HC4067.



Slika 3 - Izmerjena pogostnost napak BPSK demodulatorja.

V tem članku bom zato opisal izboljššan BPSK demodulator, ki je funkcijsko povsem enak staremu in lahko neposredno nadomesti stari BPSK demodulator. Novi demodulator dela z nižjimi vhodnimi signali, zato potrebuje manj ojačanja v medfrekvenci, kar prinese tudi manj popačenja signala. V obstoječih ZIF-PSK postajah se zato splača predelati vgrajeni dvokanalni MF ojačevalnik, za novogradnje pa sem razvil nov, enostavnejši dvokanalni MF ojačevalnik.

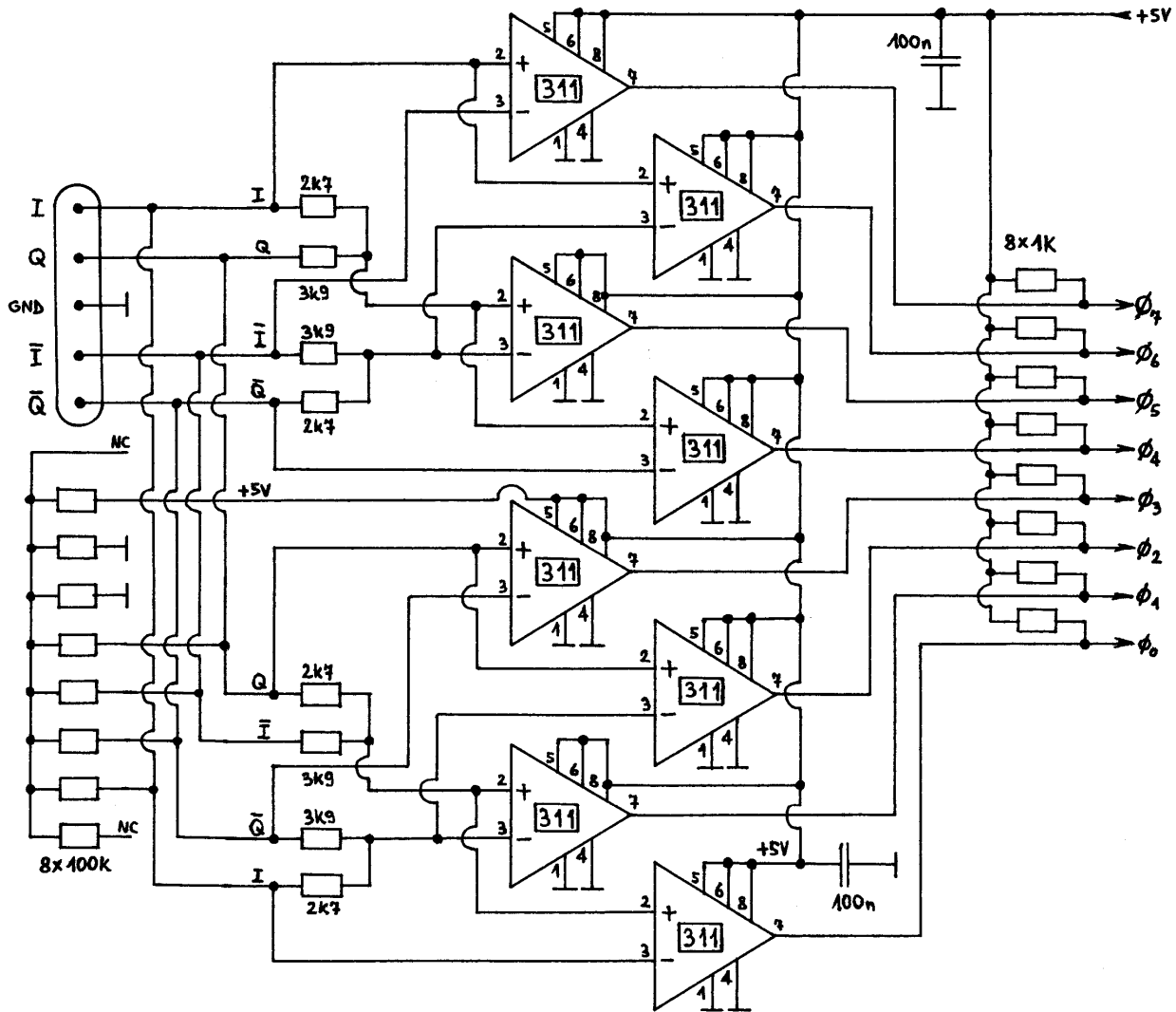
2. Izboljšani BPSK demodulator

Delovanje novega BPSK demodulatorja prav tako sloni na faznem sukalku z vrtečimi stikali z osnovnim načrtom zelo podobnim sliki 2. Bistvena razlika je v mestu pretvorbe signalov na logične nivoje. V novem BPSK demodulatorju večfazno uporabno vezje neposredno krmili skupino ojačevalnikov-omejevalnikov, ki krmilijo vrteči stikali z digitalnimi signali. Motnje, ki jih vnašajo stikala ob preklopu, lahko potem preprosto izločimo z D-flip-flop-i.

Vrtenje kazalca v 16 korakih načeloma zahteva 16 ojačevalnikov-omejevalnikov in 16-položajni stikali. Vezje lahko poenostavimo ob upoštevanju, da je samo 8 signalov v resnici med sabo neodvisnih, ostalih 8 pa lahko dobimo z obračanjem faze prvih 8 signalov. Resnični demodulator torej potrebuje le 8 ojačevalnikov-omejevalnikov, ki jim sledita dve 8-položajni

stikali, končno obračanje faze pa izvedemo z enimi samimi EXOR vrati.

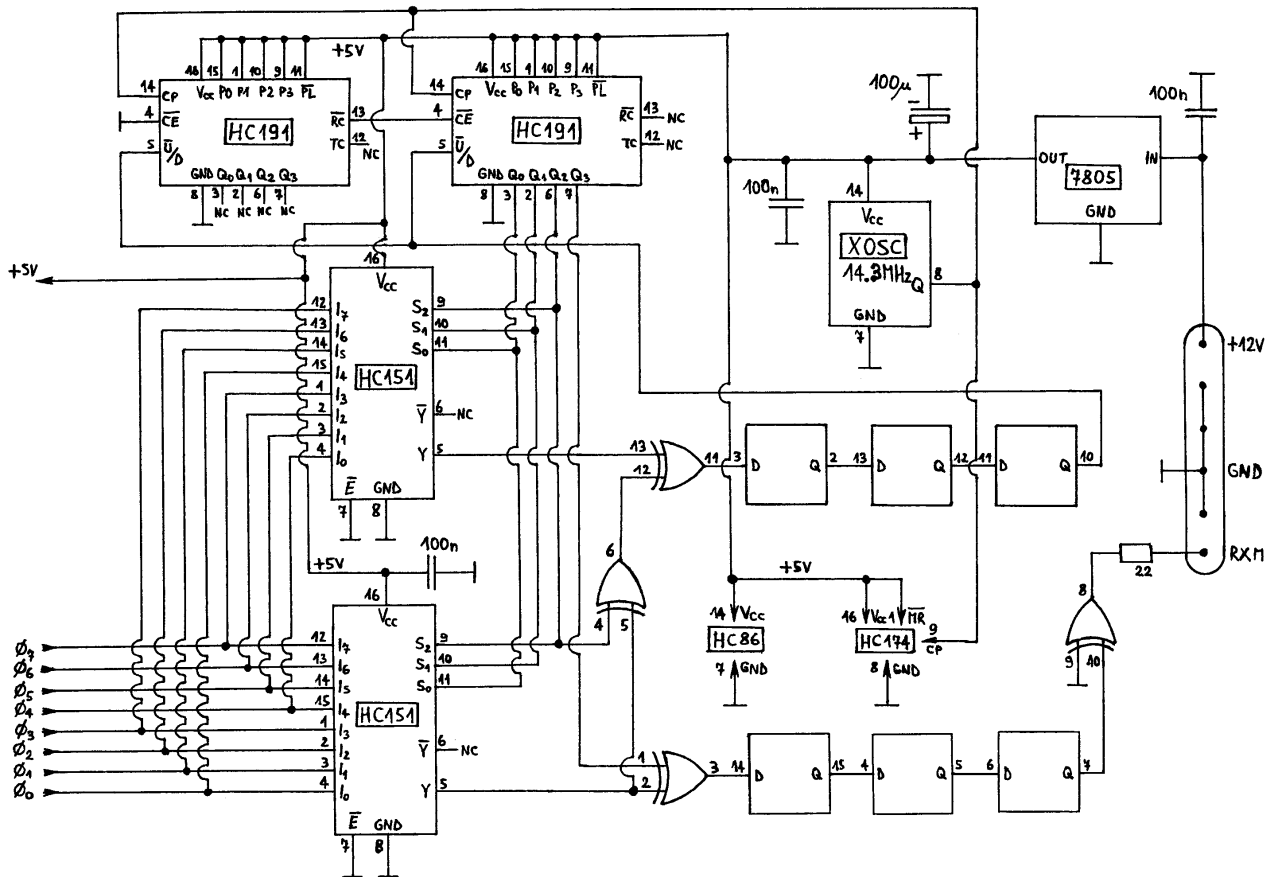
Analogni del izboljššanega BPSK demodulatorja je prikazan na sliki 4. Medfrekvenčna signala I in Q ter njuni obrnjeni inačici krmilijo uporovno večfazno vezje. Osem napetostnih primerjalnikov LM311 dela kot ojačevalniki-omejevalniki. Odcepi na uporovnem vezju so izbrani tako, da dobimo osem signalov s fazami 0, 22.5, 45, 67.5, 90, 112.5, 135 in 157.5 stopinj.



Slika 4 - Analogni del demodulatorja: 8-fazna medfrekvenca.

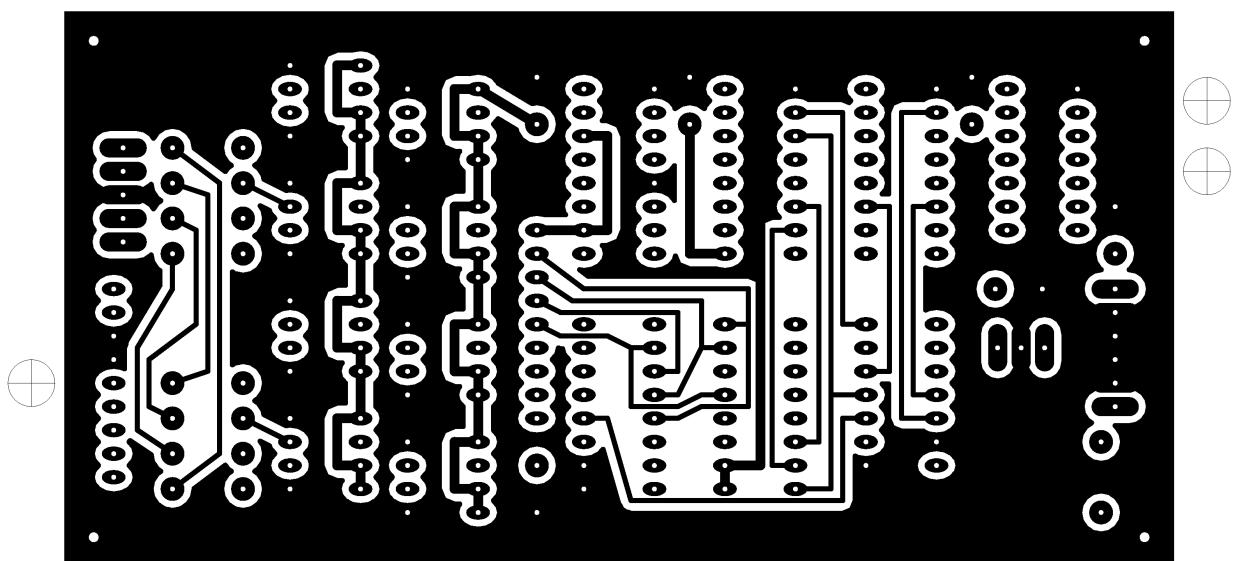
Digitalni del izboljššanega BPSK demodulatorja je prikazan na sliki 5. Dva multiplekserja 74HC151 sta uporabljena kot vrteči stikali z medsebojnim faznim zamikom 90 stopinj. Fazo izhodnega signala dodatno obračata EXOR vrati (74HC86 tačke 1,2,3 in 4,5,6). Motnje ob preklopih odstranjujejo D-flip-flop-i vezja 74HC174. EXOR vrata (74HC86 tačke 11,12,13) so uporabljena tudi za množenje signalov v povratni vezavi Costas-ove zanke.

Dvosmerni števec je enak kot v starem BPSK demodulatorju in je izdelan z dvema vezjema 74HC191. Celotno vezje deluje zanesljivo do taktne frekvence 20MHz. Ker preklopne motnje popolnoma odstranijo D-flip-flop-i, lahko taktno frekvenco zvišamo iz 6.144MHz na 14.3MHz, kar pomeni razširitev dopustnega območja odstopanja visokofrekvenčnega nosilca iz +/-24kHz na približno +/-56kHz.

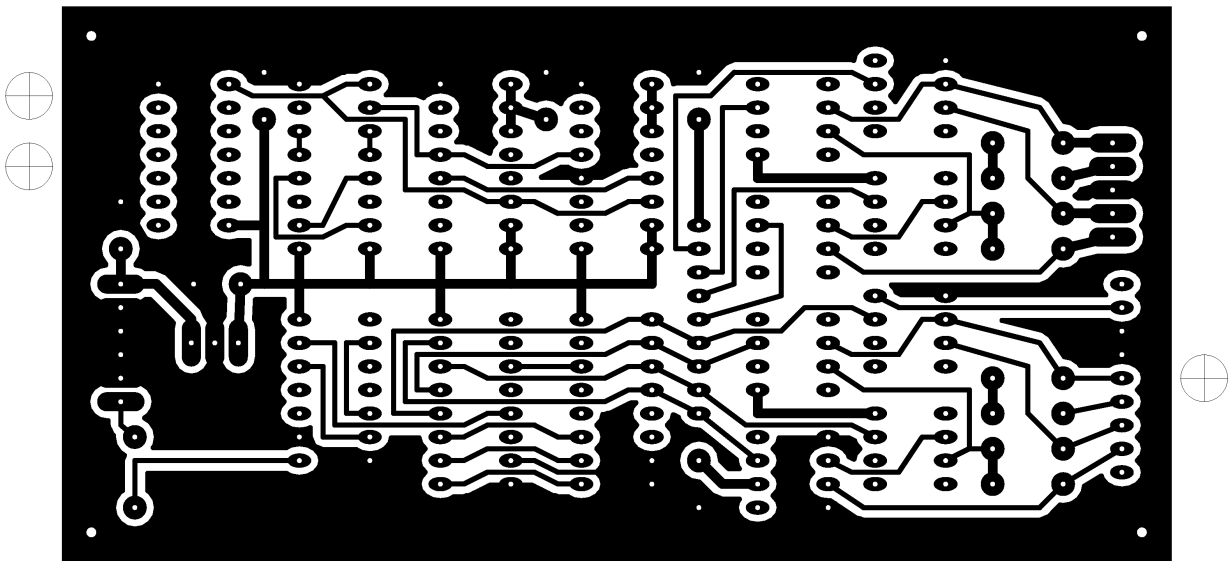


Slika 5 - Digitalni del demodulatorja: Costas-ova zanka.

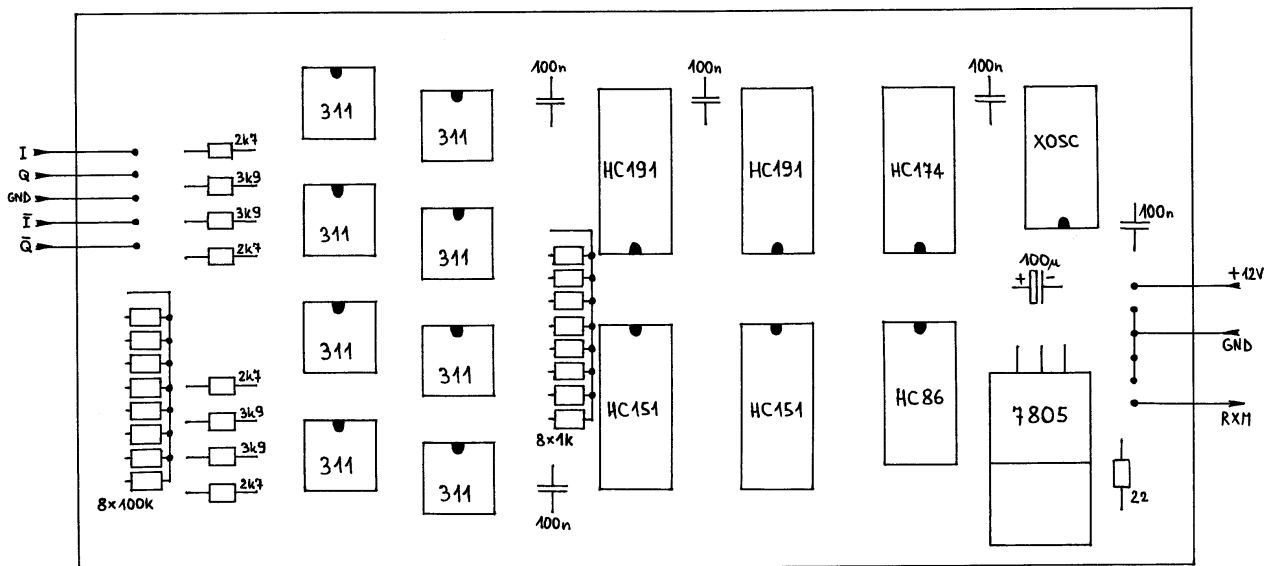
Novi BPSK demodulator je zgrajen na dvostranski tiskanini z izmerami 60mmx120mm. Gornja stran tiskanine je prikazana na sliki 6, spodnja stran tiskanine pa na sliki 7. Pripadajoča razporeditev sestavnih delov je prikazana na sliki 8. Novi BPSK demodulator ima iste izmere in iste električne priključke kot njegov predhodnik, kar omogoča neposredno zamenjavo.



Slika 6 - Gornja stran tiskanine demodulatorja.



Slika 7 - Spodnja stran tiskanine demodulatorja.



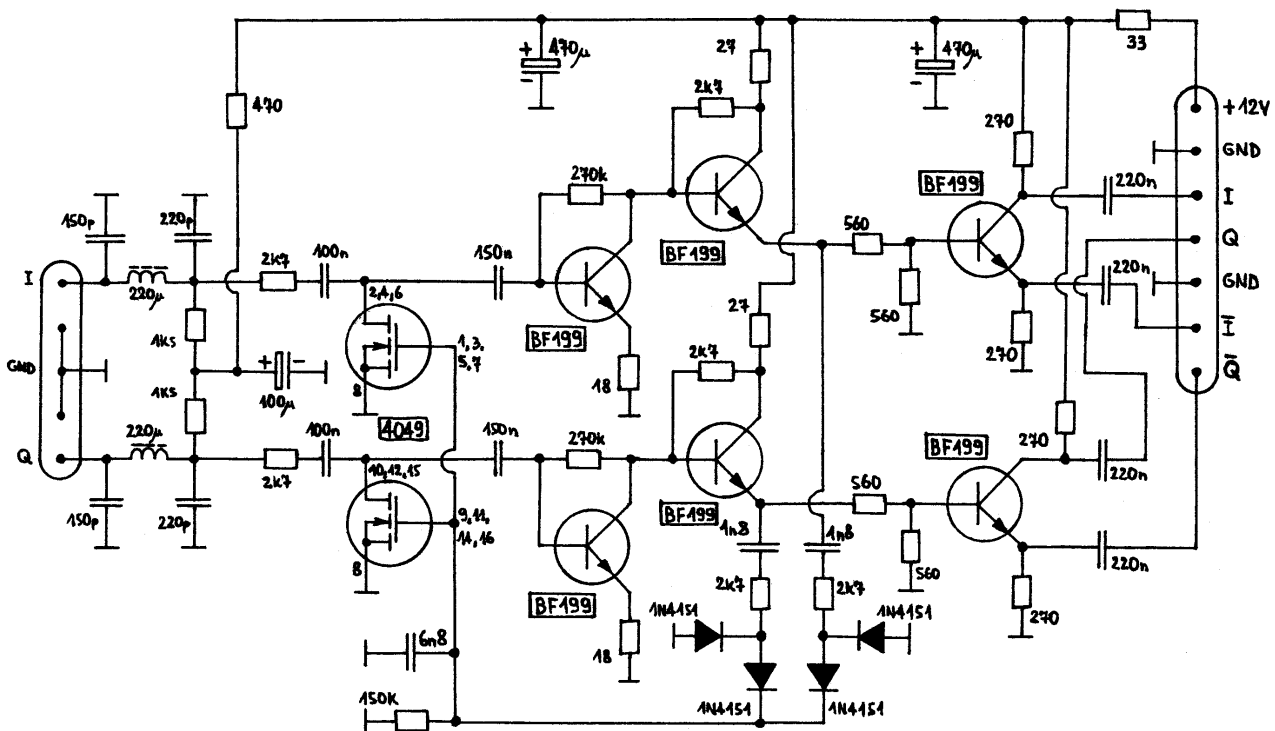
Slika 8 - Razporeditev delov demodulatorja.

Vezje izboljšane BPSK demodulatorja popolnoma izloči preklopne motnje in dopušča večje odstopanje frekvenc nosilcev oziroma postavlja manj stroge zahteve za oscilatorje v visokofrekvenčnem delu postaje. Razen tega dopušča novi BPSK demodulator precej širše področje jakosti vhodnih signalov: izboljšani BPSK demodulator deluje brezhibno v območju vhodnih signalov od 30mV (vrh-vrh) vse do 3V (vrh-vrh), kar pomeni dinamično področje 40dB. Za primerjavo preklopne motnje starega BPSK demodulatorja povečujejo pogostnost napak že pod približno 1V (vrh-vrh), kar pomeni dinamično področje komaj 10dB.

3. Predelava dvokanalnega MF ojačevalnika

Izboljšani BPSK demodulator sam po sebi ne prinese bistvenih izboljšav lastnosti sprejemnika, saj večina popačenj signala nastane v dvokanalnem MF ojačevalniku. Ker pa ima novi BPSK demodulator precej izboljšano občutljivost in dinamično področje, lahko ustrezno zmanjšamo ojačanje in območje avtomatske regulacije ojačanja (ARO) medfrekvenčne verige. Manj medfrekvenčne obdelave seveda pomeni manj popačenja.

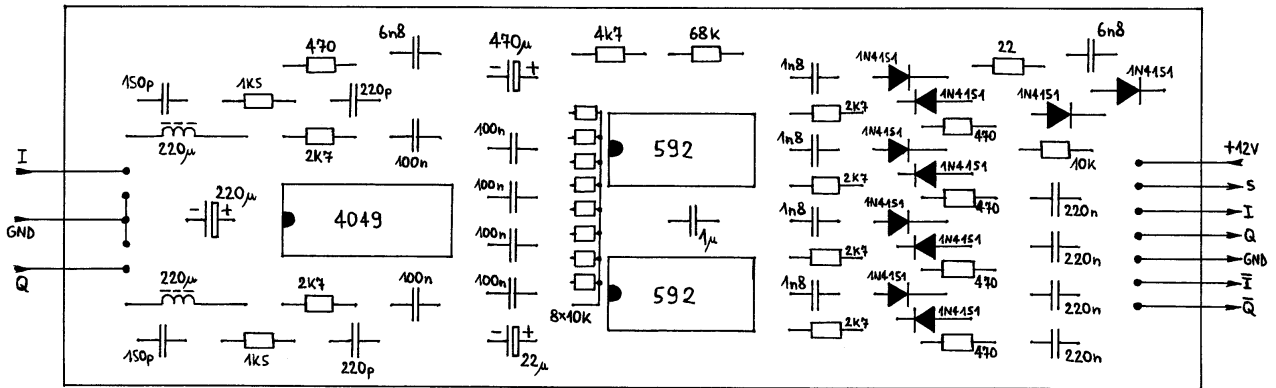
Najenostavnejša rešitev je predelava izvirnega MF ojačevalnika, kot je to prikazano na sliki 9. Izvirni MF ojačevalnik vsebuje verigo treh dvokanalnih ojačevalnih stopenj, novemu demodulatorju pa zadošča že ena sama dvokanalna stopnja. Razširjeno dinamično območje novega BPSK demodulatorja pri tem omogoča, da ostane ARO, ki je eden glavnih krivcev za popačenje signala, neaktiven pri sprejemu šibkih signalov.



Slika 9 - Predelani dvokanalni MF ojačevalnik.

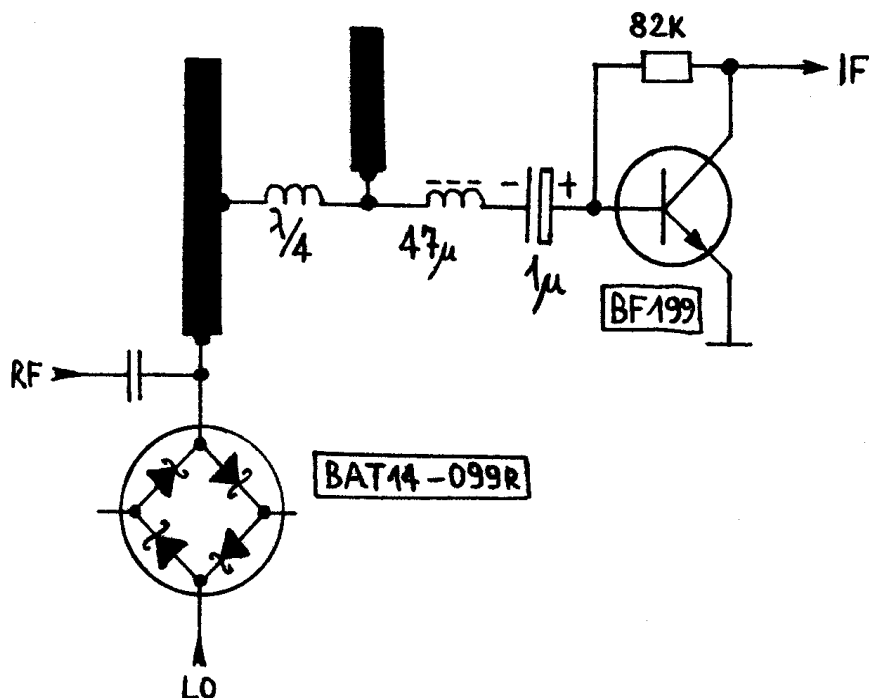
Predelani dvokanalni MF ojačevalnik lahko zgradimo na isti tiskanini, tako da dve ojačevalni stopnji izločimo in premostimo. Seveda lahko tudi predelamo obstoječi ojačevalnik s tremi stopnjami. Pri predelavi moramo v vsakem slučaju paziti na zadostno filtracijo napajanja, saj dela vhodna stopnja še vedno z enako šibkimi signali kot v izvorni postaji, izhodna stopnja pa krmili BPSK demodulator s precej šibkimi signali!

Boljša rešitev je nova izvedba dvokanalnega MF ojačevalnika, prikazana na sliki 10. Kot ojačevalnika sta uporabljeni dve integrirani vezji NE592 (ali uA733), ki že razpolagata s simetričnima izhodoma, kot to zahteva BPSK demodulator. Novi MF ojačevalnik je opremljen s hitrejšim detektorjem za ARO. ARO napetost je na razpolago na izhodni vtičnici za krmiljenje visokoohmskega S-metra (>50kohm), kar prav pride pri preizkusu postaje ter iskanju napak ali izvora radijskih



Slika 12 - Razporeditev delov novega MF ojačevalnika.

Končno, natančen pregled načrtov v tem članku pokaže manjše spremembe vrednosti sklopnih kondenzatorjev v celotni medfrekvenčni verigi. Vrednosti vseh kondenzatorjev sem poskusil izbrati kot najboljši kompromis med popačenjem signala na eni strani in hitrostjo preklopa sprejem/oddaja in nazaj na drugi. Na sliki 13 je prikazana še predelava MF predojačevalnikov v visokofrekvenčnem delu postaje. Četrtovalovni dušilki L19 in L20 sta zamenjani z dušilkama 47uH, sklopna kondenzatorja 4.7uF pa sta zmanjšana na 1uF.



Slika 13 - Predelava MF predojačevalnika.

4. Razvoj PSK radijskih postaj

PSK radijske postaje so osnova megabitnega packet-radio omrežja pri nas, kar drugod po svetu (z nekaj svetlimi izjemami) izgleda nočejo razumeti. Naše prve PSK radijske postaje so bile sicer komplicirane (1). Kmalu smo našli poenostavitve v obliki postaj z ničelno medfrekvenco (2), (3).

Hkrati z razvojem postaj smo seveda skušali povečati učinkovitost omrežja. Prvi SuperVozlji s procesorjem 68010 in DMA vezjem 68450 sploh niso omogočali bistveno večjih prenosnih zmogljivosti z megabitnimi postajami v primerjavi s starimi WBFM postajami za 38.4kbit/s. Še sreča, da so se PSK postaje izkazale veliko bolj zanesljive od WBFM postaj in na ta način rešile marsikatero zvezo, ki nam je prej nagajala zaradi slabih radijskih postaj.

Danes izboljšana vozlišča preprečujejo izgubo okvirjev in s tem nepotrebna ponavljanja. Boljši komunikacijski protokoli s povečano dolžino okvirjev prav tako omogočajo hitrejši prenos podatkov. Kljub vsem tem ukrepom se naše megabitno omrežje bliža zasičenju, zato je vsaka, še tako majhna izboljšava, še kako dobrodošla. Skrb za antene in vgradnja antenskih sit tam, kjer nam nagajajo motnje, so vsekakor na prvem mestu.

Nekaj lahko naredimo takoj z obstoječimi PSK radijskimi postajami. Stare 13cm PSK postaje z ločenim sprejemnikom in oddajnikom počasi zamenjujemo z ZIF postajami. Tudi če se ne odločimo za zamenjavo BPSK demodulatorja, se v ZIF postajah splača izločiti eno od treh dvokanalnih medfrekvenčnih stopenj. Za stari BPSK demodulator z vezji 74HC4067 preverjeno zadoščata dve dvokanalni medfrekvenčni ojačevalni stopnji. Prav izločena MF stopnja je tista, ki zaradi aktivne ARO najbolj popači signal.

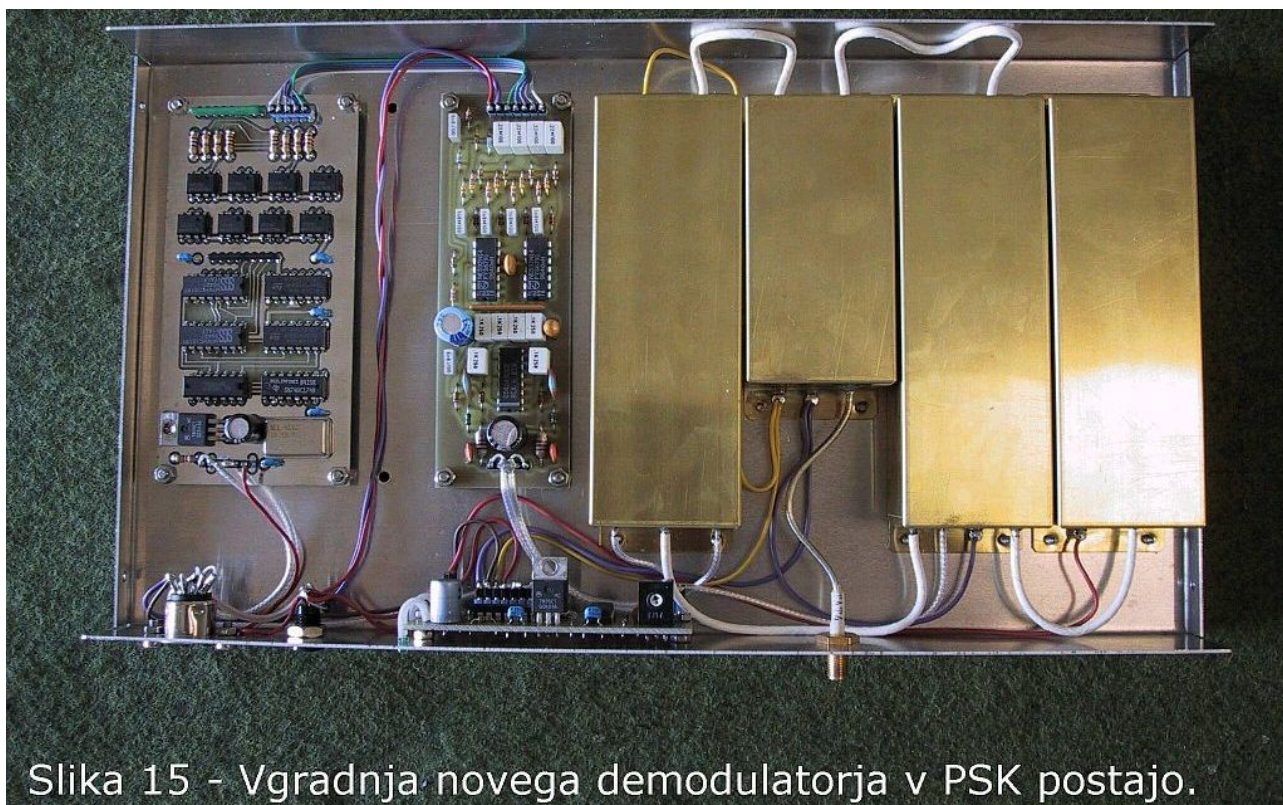


Slika 14 - Izgled izboljšanega BPSK demodulatorja.

Naslednji korak je seveda zamenjava BPSK demodulatorja in

predelava ali pa zamenjava medfrekvenčne verige. To se verjetno splača narediti na postajah na vozliščih, saj tam izboljšava koristi velikemu številu uporabnikov. Napake pri prenosu podatkov namreč postanejo zelo nadležne pri daljših okvirjih (MTU 1500 za internet) in pri uporabi protokolov, ki so sicer učinkoviti, vendar zelo dovzetni za izgubljene okvirje (datagramski način pri internetu).

Predelava obstoječih radijskih postaj navsezadnje ni zahtevna. Novi BPSK demodulator je že na pogled (slika 14) enostavnejši od svojega predhodnika in ne vsebuje težko dobavljivih sestavnih delov, saj v njemu ni več stika 74HC4067. Če vgradimo tudi novo medfrekvenčno verigo, potem v obstoječi skatli radijske postaje izkoristimo preostali prostor za boljše razdvajanje medfrekvenčne verige od demodulatorja, kot je to prikazano na sliki 15.



Slika 15 - Vgradnja novega demodulatorja v PSK postajo.

Seveda se ne moremo in ne smemo ustaviti pri sedanji hitrosti 1.2288Mbit/s. Naslednji smiselni korak je verjetno 10Mbit/s, če upoštevamo razpoložljivo moč oddajnikov, dobitke anten in razpoložljivo pasovno širino na amaterskih mikrovalovnih frekvenčnih področjih. Poskusni TNC z zmogljivim zaporednim vmesnikom SAB82532 že deluje na 10Mbit/s. 10Mbit/s naj bi bil dosegljiv tudi z vozlji z MC68360, čeprav bo treba tudi za vozlje kmalu najti zmogljivejše nadomestilo.

Kakšne radijske postaje izdelati za 10Mbit/s? BPSK postaje sicer poznamo, vendar postane BPSK modulacija nekoliko potratna s frekvenčnim spektrom, ko višamo prenosno hitrost. QPSK (štirifazna PSK) ali MSK (GSM telefon) sta sicer učinkovitejši, a zahtevata še bolj komplicirane radijske postaje. O modulacijah in njihovi učinkovitosti se seveda največ naučimo, ko preizkušamo različne zasnove radijskih postaj in predvsem različne demodulatorje.

Literatura:

(1) Matjaž Vidmar: "13cm PSK radijska postaja za hitri packet-radio", CQ ZRS 4/1995, strani 18-31.

(2) Matjaž Vidmar: "Uporabniška 23cm PSK radijska postaja za 1.2Mbit/s", CQ ZRS 2/1996, strani 23-37.

(3) Matjaž Vidmar: "PSK radijska postaja za 13cm z ničelno medfrekvenco", CQ ZRS 6/1998, strani 27-31.

* * * * *