

RMII-ATNC za NBPv2 na 10Mbps in več

Matjaž Vidmar, S53MV

1. RMII in njegova uporaba v RATNC

Ne-Brezhibni Protokol (NBP) se je izkazal kot učinkovito sredstvo za gradnjo amaterskih radijskih omrežij. Žal pripadajoča strojna oprema, ATNC oziroma EATNC, ne dopušča kaj dosti višjih prenosnih hitrosti od približno 2Mbps. Naloga, kako povečati prenosno hitrost za vsaj en velikostni razred, ni enostavna.

Pri uporabi sodobnih mikrokrmilnikov naletimo na težavo. Procesorsko jedro postaja čedalje zmogljivejše: o kaj manj kot 32-bitnem jedru se nihče več ne pogovarja. Na drugi strani razvoj vgrajenih vmesnikov zaostaja. UARTi delajo samo v 8-bitnem načinu. Redkokateri vmesnik zmore več kot 16 bitov. Še slabše, vmesniki so slabo povezani do procesorja, pogosto ga ovirajo s premajhnim ali sploh neobstoječim FIFO pomnilnikom.

Kljub stomegaherčni uri sodobnih 32-bitnih mikrokrmilnikov je težko izvesti prenos podatkov z zunanjim svetom s hitrostjo, kaj dosti višjo od 1Mbps. Nekaj svetlih izjem obstaja: USB, SPI, Ethernet. USB je žal mišljen kot vodilo in za komunikacijo ni najprimernejši: tog protokol, premajhni okvirji, toga hierarhija udeležencev, počasen odziv na zahteve podrejenih.

SPI je načeloma zelo hiter v načinu "master", ko isti vmesnik v mikrokrmilniku tvori tudi takt zaporednega prenosa podatkov. Žal mora v komunikaciji vedno obstajati tudi podrejena stran ali "slave" na drugem koncu zveze. V načinu "slave" je SPI vseh znanih mikrokrmilnikov za en velikostni razred počasnejši, da se notranja logika SPI vmesnika zanesljivo sinhronizira na dovedeni zunanji takt brez meta-stabilnih stanj.

UARTi večine mikrokrmilnikov delajo s taktom 1/8 ali 1/16 ure procesorskega jedra, kar ni ravno hitro. Hitri sinhroni vmesniki, HDLC in podobni, so žal utonili v pozabo in se danes ne vgrajujejo več v mikrokrmilnike. Strojne podpore za AX.25 oziroma NBP torej danes ni več, HDLC okvirje lahko izdelamo samo še programsko v procesorju ali programirljivi logiki.

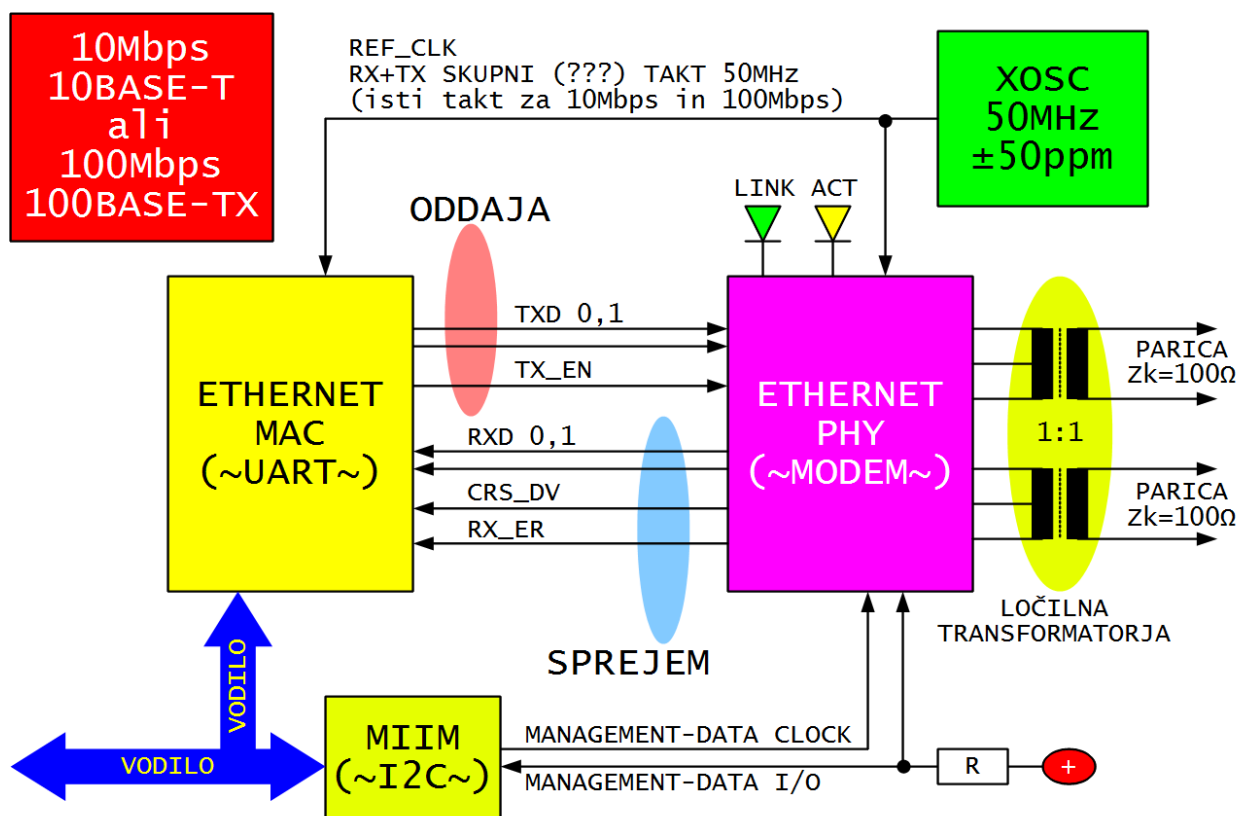
Ethernet je na prvi pogled silno tog za uporabo. Samo dve uporabni hitrosti 10Mbps in 100Mbps. Komplicirana in neučinkovita modulacija, prirejena za žične zveze. Časovni potek Ethernet zveze ne dopušča dodatnih mrtvih časov, na primer preklon radijske postaje iz sprejema na oddajo in obratno.

Na srečo je danes Ethernet vgrajen v mikrokrmilnike na tak način, da lahko isti vmesnik uporabimo tudi drugače. Bolj točno, Ethernet vmesnik vsebuje dva ločena sklopa, MAC in PHY. MAC je številski del, torej sestavljanje okvirjev, preverjanje naslovov in preračunavanje CRC. PHY je analogni del, torej linijsko kodiranje, modulacija, demodulacija in regeneracija takta.

Z uvedbo 100Mbps Etherneteta so se proizvajalci gradnikov dogovorili o vmesni povezavi med MAC in PHY. Prvi takšen dogovor je bil MII (Media-Independent Interface), kjer je "media" lahko koaksialni kabel, simetrična parica ali svetlobno vlakno. MII

uporablja 4-bitno (nibble) vzporedno vodilo v vsako smer s taktom 25MHz, kar pomeni skupno 15 signalnih žic, nerodno preveč za praktično uporabo! MII se zato danes večinoma uporablja znotraj integriranih vezij.

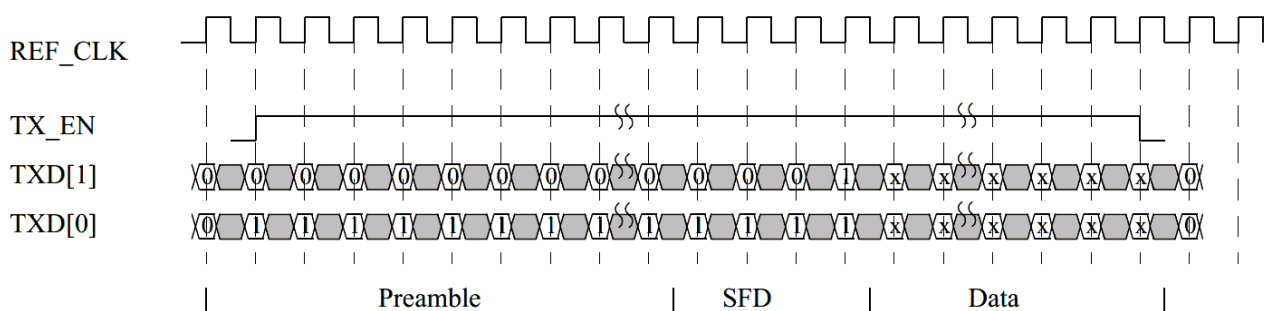
RMII ali Reduced Media-Independent Interface uporablja 2-bitno (dibit) vzporedno vodilo v vsako smer z enim skupnim taktom 50MHz, kar pomeni skupno 10 žic oziroma prihranek 5 žic glede na MII. RMII danes uporablja večina proizvajalcev integriranih vezij. Ethernet MAC z RMII vmesnikom je vgrajen v 32-bitne mikrokrmilnike z jedri ARM7, ARM9, MIPS in CORTEX. Ethernet PHY je običajno ločen čip, ker so zahteve analognih funkcij precej drugačne od digitalij in povrh energijsko požrešne:



VMESNIK RMII (Reduced Media-Independent Interface)

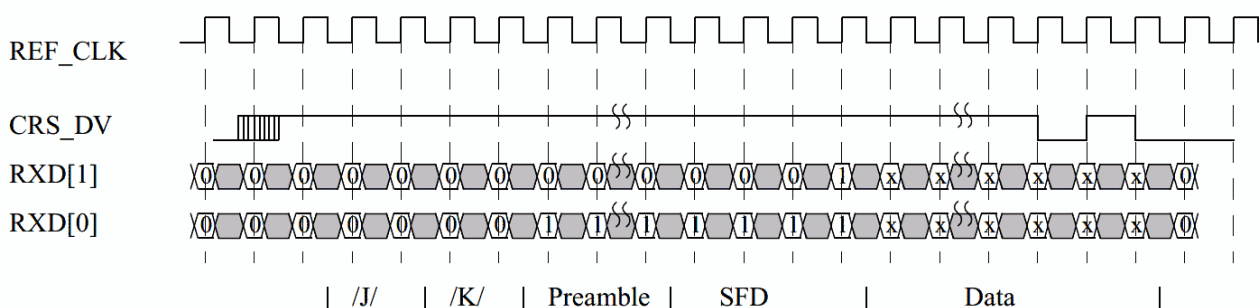
Po natančnem pregledu podatkovnih listov številnih različnih mikrokrmilnikov z vgrajenim Ethernet MAC sem prišel do zaključka, da je možno pripadajoči RMII vmesnik uporabiti še na vrsto drugih načinov. RMII takt, načeloma 50MHz, je vedno doveden od zunaj. Torej ga lahko priredimo željeni hitrosti prenosa podatkov in po potrebi začasno celo zaustavimo, na primer na zahtevo linijskega kodiranja. Pri tem nam je proizvajalec mikrokrmilnika že rešil težji del naloge: sinhronizirati zunanje podatke na notranjo uro mikrokrmilnika tako, da ne prožimo meta-stabilnih stanj v logiki.

Kar pri RMII manjka, je uokvirjanje podatkov, torej sestavina linijskega kodiranja v PHY. Dodatna tretja žica TX_EN (TX Enable) javlja, kdaj so podatki na žicah TXD0 in TXD1 veljavni oziroma kdaj se začne in kdaj se konča podatkovni okvir:



RMII oddaja 100Mbps

Na sprejemni strani RMII opravlja podobno nalogo žica CRS_DV (CaRrier Sense / Data Valid). CRS_DV javlja, kdaj so podatki na žicah RXD0 in RXD1 veljavni oziroma kdaj se začne in kdaj se konča podatkovni okvir:



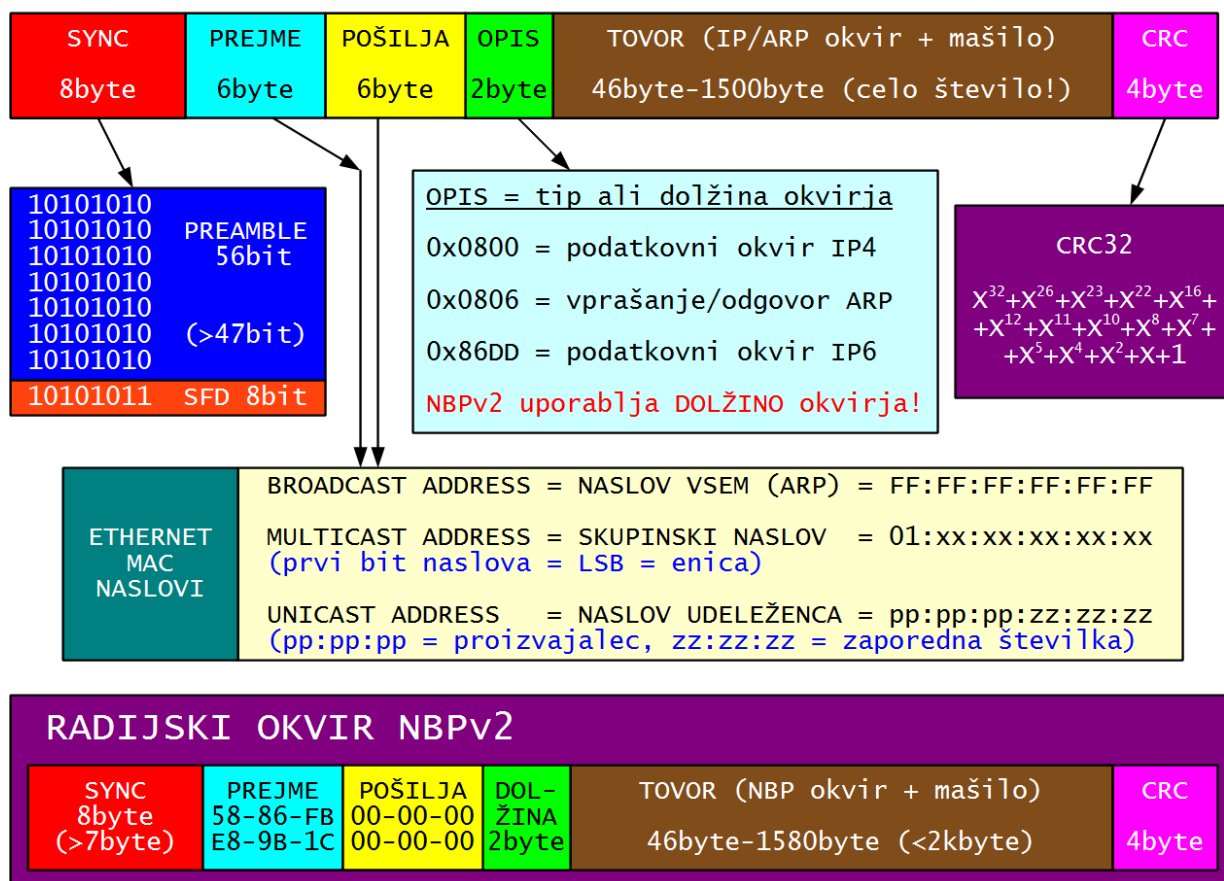
RMII sprejem 100Mbps brez napak

Preprosto zvezo med dvema (sicer neodvisnima) Ethernet MAC vmesnikoma vzpostavimo brez PHY ravni tako, da križno vežemo pripadajoče TXD in RXD ter pripadajoče TX_EN in CRS_DV. Jasno oba Ethernet MAC tedaj potrebujeta isti, skupni takt REF_CLK.

Neobvezen signal RMII je žica RX_ER (RX ERror). Tu lahko PHY oziroma vgrajeni modem javi, da je prišlo do napake pri prenosu podatkov. Nekateri MAC sploh nimajo RMII vhoda RX_ER. Če PHY nima izhoda RX_ER, pripadajoči vhod na MAC strani preprosto vežemo na logično ničlo.

RMII vodilo je običajno opremljeno še z žicama MDC in MDIO. (Management-Data Clock in Management-Data I/O). Preko tega vodila (podobno I2C) lahko mikrokrmilnik neposredno dostopa do registrov PHY: izbere hitrost in duplex oziroma preveri stanje Ethernet zveze. MDC in MDII nista obvezna in ne sodelujeta neposredno pri prenosu podatkov med MAC in PHY na RMII.

S smotrno uporabo RMII signalov RXD, TXD, CRS_DV in TX_EN si lahko privoščimo dvosmerno komunikacijo s hitrostjo vse do zavidljivih 100Mbps z vsemi mikrokrmilniki, ki so opremljeni z Ethernet MAC. Ethernet MAC seveda oddaja in sprejema podatke v obliki Ethernet okvirjev. Uporaba RMII Ethernet MAC vmesnika jasno zahteva natančno poznavanje zgradbe Ethernet okvirjev kot tudi zgodovine razvoja Etherneteta:



UPORABA ETHERNET OKVIRJA V NBPv2

Predpisana vsebina Ethernet okvirja, kot ga mora proizvesti MAC, je vezana na zastareli 10Mbps Ethernet z modulacijo Manchester. Tu je uokvirjanje rešeno slabo: začetek je SYNC polje 64 bitov, konec pa preprosto izklop oddajnika. Hitrejši Ethernet, 100Mbps in več, uporablja dodatno uokvirjanje na PHY ravni (simboli "JK" in "TR" linijske kode 4B5B pri 100Mbps) in SYNC polje sploh ni več potrebno, ampak Ethernet standard ga kljub temu zahteva!

SYNC polje sestavljata 56 bitov PREAMBLE (izmenično 28 enic in 28 enic) ter 8 bitov SFD (Start Frame Delimiter). Standard predpisuje, da se del PREAMBLE sme izgubiti ob vklopu oddajnika. Najmanjša predpisana dolžina PREAMBLE je 47 bitov, številni MAC sprejemniki v resnici zmorejo še manj. Pri uporabi RMIi vmesnika v drugačne namene se ta zahteva Ethernet standarda izkaže kot čudovita olajševalna okoliščina...

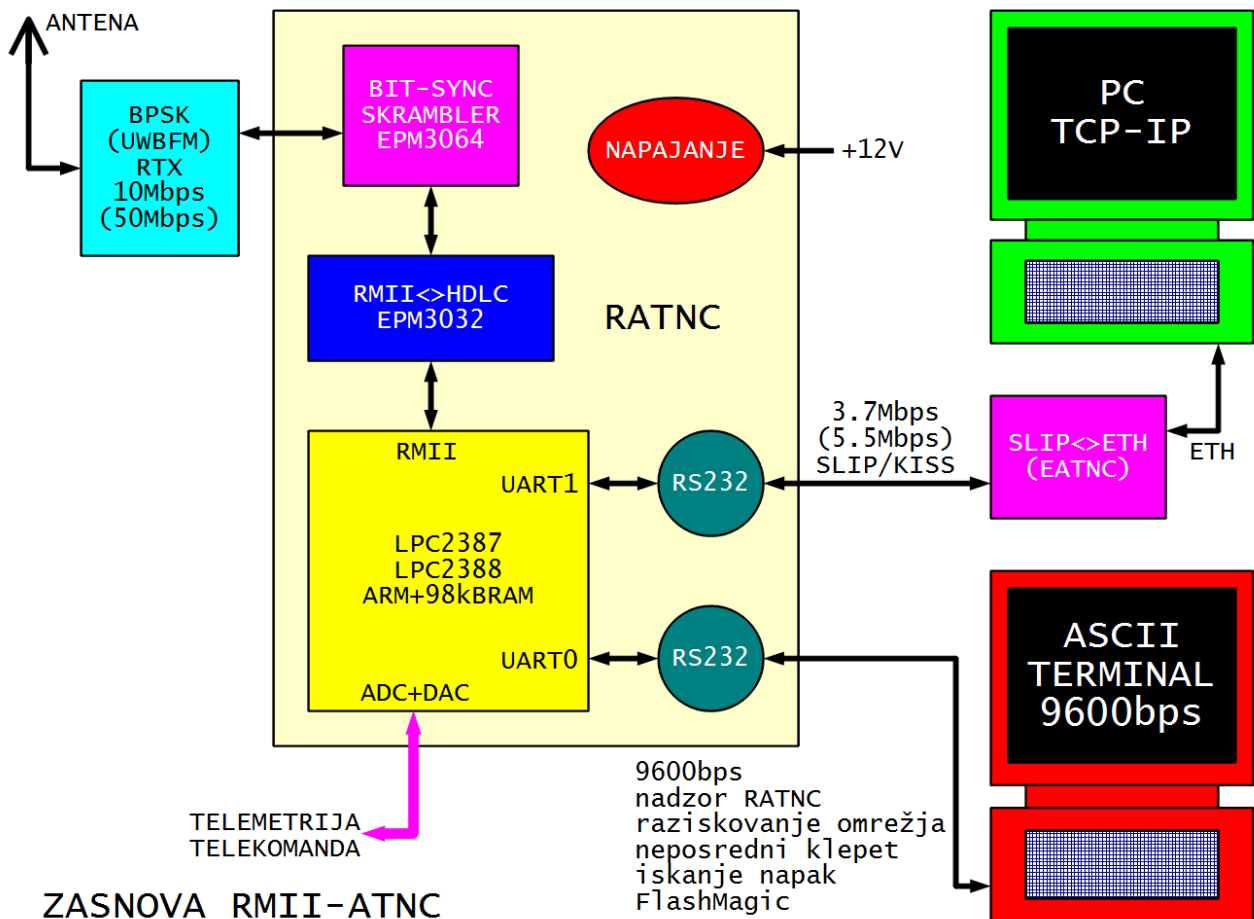
Zaradi sodostopa CSMA/CD (Carrier-Sense Multiple Access/ Collision Detect) do koaksialnega kabla (ki se že dve desetletji ne uporablja več za Ethernet...) je predpisan tudi najmanjši Ethernet okvir. Če je podatkov premalo, standard zahteva dodatek mašila (pad) iz samih ničel. Okvir mora v vsakem primeru doseči najmanjšo dovoljeno dolžino, kar zagotavlja zanesljivo delovanje Collision Detect! Prekratek okvir se v žargonu imenuje "runt frame". Večina obstoječe Ethernet čiparije žal ne zna pravilno obdelati takšen "runt frame" kljub pravilnemu CRCju na koncu!

Na drugi strani večina Ethernet čiparije nima težav s predolgimi okvirji. Razvoj Etherneta gre v smeri "huge frames" ali

"jumbo frames" dolžine tudi 8kbyte in več. Večina sodobne čiparije zna obdelati okvirje dolžine vsaj 2kbyte. Omejitev podatkovnega polja na 1500byte torej ni prav hudo zavezujoča. NBP omrežje danes uporablja okvirje dolžine do 1580byte in ti se prebijejo skozi vse uporabne Ethernet MAC.

Iz navedenih zahtev izhaja odločitev za radijski okvir nove inačice protokola NBPv2, ki obdrži predpisano obliko Ethernet okvirjev. Prejemnik je vedno isti naslov 58-86-FB-E8-9B-1C, izbran kot "unicast". Tako "žična" logika Ethernet MAC takoj zavrže večino slabih okvirjev, ki nastanejo iz šuma radijskega sprejemnika. Pošiljatelj je nepomemben, torej same ničle. Opis mora vsebovati dolžino koristnega tovora, saj so NBP okvirji lahko tudi krajši od predpisanega najkrajšega Ethernet okvirja.

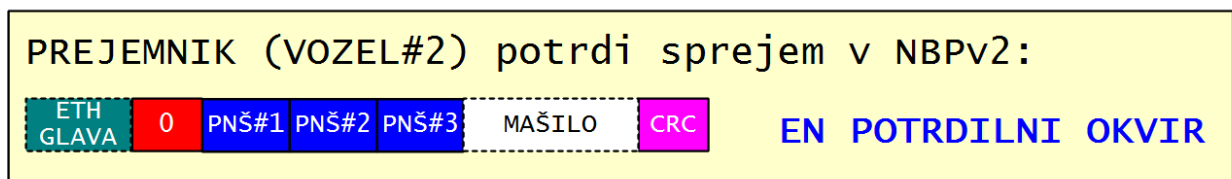
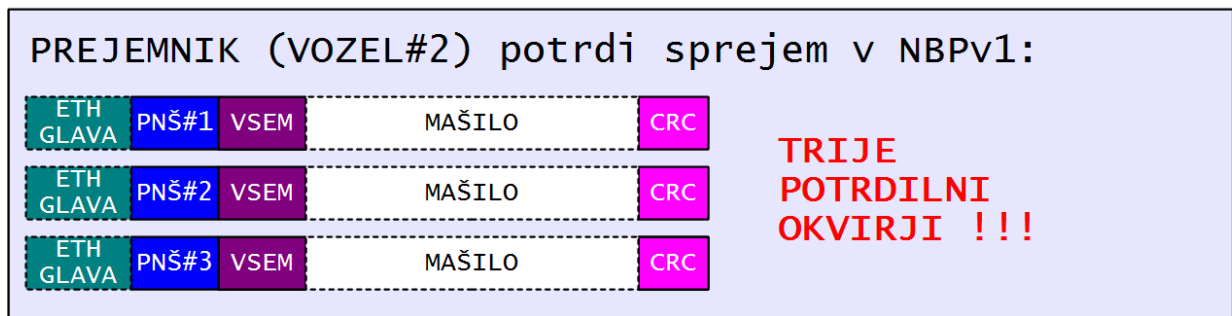
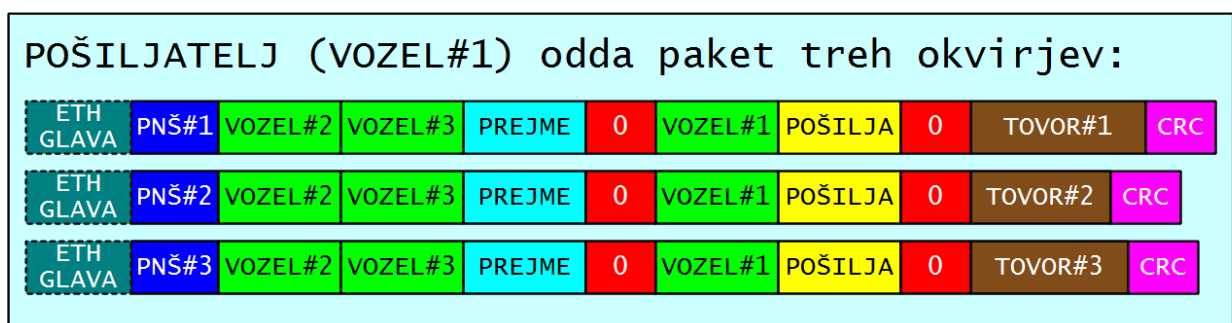
Novo napravo sem poimenoval RMII-ATNC ali skrajšano RATNC. RATNC naj bi znal vse tisto, kar zmore ATNC, ampak pri višjih prenosnih hitrostih 10Mbps (in več) na radijski zvezi. RATNC uporablja preizkušeno jedro EATNC z mikrokrmilnikom LPC2387 ali podobnim, le da Ethernet PHY vmesnik DP83848 zamenja novo vezje s programirljivo logiko EPM3032, ki RMII podatke uokvirja v HDLC:



Na radijski strani je načrtovanje preprosto: širša BPSK ali UWBFM radijska postaja za prenosno hitrost 10Mbps ter višji takt za bitno sinhronizacijo in skrambler, sicer vse že temeljito preizkušeno pri nižjih prenosnih hitrostih. Na računalniški strani žal Ethernet ni neposredno na razpolago, saj vsi mikrokrmilniki vsebujejo en sam RMII vmesnik, ki je že uporabljen na radijski strani.

RATNC potrebuje dodaten, zunanji pretvornik SLIP<>ETH (to pomeni dodaten EATNC) za učinkovito TCP/IP zvezo. Boljša rešitev bi bil Ethernet vmesnik na SPI mikrokontrolerju, saj primerni čipi obstajajo. Povsem jasno lahko RATNC vežemo v lokalno zanko vozlišča ASV v poljubno družbo ATNCjev, EATNCjev, MATNCjev in dodatnih RATNCjev. Eden od EATNCjev v lokalni zanki ASV tedaj poskrbi še za "okno v svet" Etherneta.

Kljub enakemu linijskemu kodiranju HDLC novi radijski okvirji NBPv2 niso združljivi s prvotno inačico NBP (NBPv1). Ethernet MAC nujno doda v okvirje NBP2 polja SYNC, ETH naslove in OPIS, skupaj 22byte. Prvotni NBP uporablja 16-bitni CRC povsem enako kot AX.25, Ethernet pa vsiljuje boljši 32-bitni CRC. Skupno torej dodatnih 24byte, kar se pri dolžini koristnega tovora 1500byte na srečo zelo malo pozna.



POTRJEVANJE SPREJEMA V NBPv1 IN NBPv2

NBPv2 postane neučinkovit pri potrjevanju sprejema. Potrdilni okvirji NBPv1 vsebujejo komaj 4byte koristne informacije. Z Ethernet glavo in mašilom bi se to razpihnilo v 68byte dolžine najkrajšega predpisanega Ethernet okvirja.

NBPv2 zato predpisuje drugačno potrjevanje sprejema. Vse potrditve za več pravilno sprejetih podatkovnih okvirjev potujejo v enem samem radijskem okvirju nazaj. Tak okvir je označen z 32-bitno ničlo na začetku, ki je sicer prepovedana vrednost psevdonaključnega števila (PNŠ) podatkovnega okvirja v NBP.

2. RMII<>HDLC pretvornik

Prenos podatkov pogosto zahteva linijsko kodiranje glede na omejitve poti, ki je lahko radijska zveza ali pa magnetni disk. Razlogov je več: izločanje enosmerne komponente, regeneracija takta v sprejemniku, izravnava frekvenčnega spektra, uokvirjanje podatkov itd.

Linijsko kodiranje je pri 10Mbps Ethernetu izvedeno slabo. Enosmerno komponento izloča Manchester, ki podvoji frekvenčno pasovno širino. Uokvirjanje rešujeta SYNC glava okvirja in skvelč sprejemnika. Nezanosljivo delovanje slednjega lahko privede do "dribble nibble", repek dodatnih 4 bitov na koncu okvirja. Repek naj bi odrezal Ethernet MAC zaradi zahteve, da je dolžina Ethernet okvirja vedno celo število byte.

100Mbps Ethernet uporablja 4B5B kodiranje za izločanje enosmerne, regeneracijo takta in uokvirjanje. Posebni 4B5B znaki se uporabljajo za začetek okvirja (JK), konec okvirja (TR) in praznino med okvirji "idle". Skrambler izravna frekvenčni spekter. 4B5B kodiranje pomeni 25% povečanje frekvenčne pasovne širine signala, kar v radijski zvezi ni zaželeno. Gigabitni Ethernet uporablja 8B10B kodiranje, ki ni prav nič bolj učinkovito.

Silno duhovito linijsko kodiranje je HDLC. Po vsaki skupini petih zaporednih enic v sporočilu oddajnik namenoma vrine ničlo. Sprejemnik briše dodano ničlo za vsako skupino petih zaporednih enic. Uokvirjanje je rešeno z zastavicami 01111110, ki imajo šest zaporednih enic, torej se takšno zaporedje ne more nikjer pojaviti v kodiranih podatkih. Privzeto je diferencialno kodiranje NRZI, da preskoki na ničlah (izvirnih in vrinjenih) zagotavljajo regeneracijo takta ne glede na prenesene podatke.

V primeru naključnih podatkov HDLC poveča frekvenčno pasovno širino za komaj nekaj odstotkov, v praksi zanemarljivo. Zelo podobno kodiranje HDLC uporablja tudi vodilo USB. Skrambler rešuje enosmerno komponento in poskrbi za izravnavo frekvenčnega spektra. HDLC linijsko kodiranje s primernim skramblerjem je preverjena rešitev AX.25 in NBP omrežij.

Žal je izvirni HDLC v profesionalni tehniki utonil v pozabo. Posledično ne moremo več kupiti učinkovitih HDLC vmesnikov, kot so bili nekoč Z80SIO/0, Z8530SCC ali SAB82532. HDLC linijsko kodiranje moramo izdelati sami v obliki programa za mikroprocesor oziroma programirljivo logiko.

Preprosto povedano, RATNC potrebuje RMII<>HDLC pretvornik. Sledni se mora obnašati kot Ethernet PHY v smeri proti RMII mikrokontrolerju in kot Z8530SCC ali podoben čip v smeri proti bitni sinhronizaciji in skramblerju.

RMII<>HDLC pretvornik opravlja pri oddaji naslednje naloge:

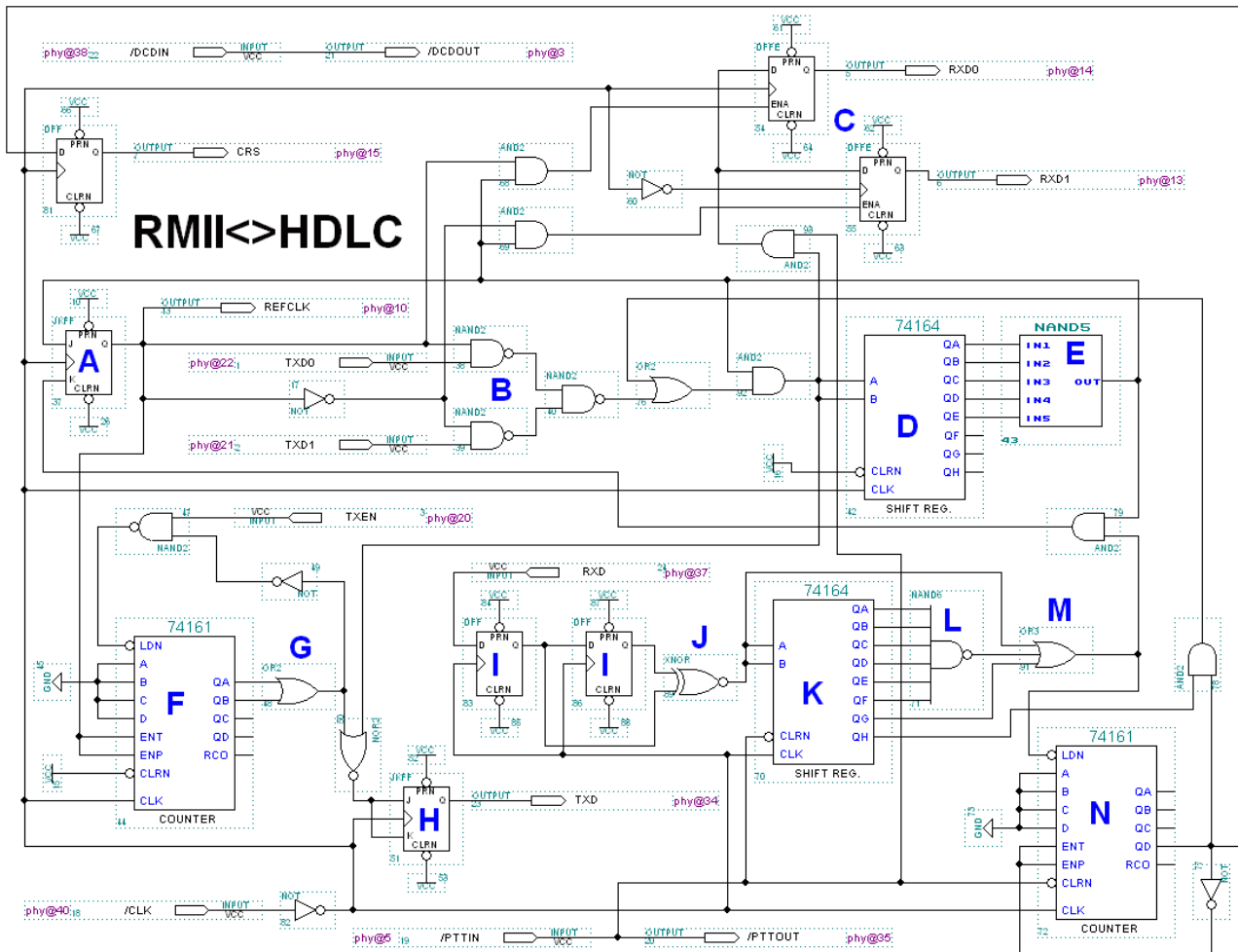
- (1) pretvorba vzporednega 2-bitnega vodila na zaporedno,
- (2) vrivanje ničel vsakih 5 zaporednih enic v podatkih,
- (3) zapolnjevanje praznine med okvirji z zastavicami in
- (4) diferencialno kodiranje NRZI.

Pri sprejemu so naloge RMII<>HDLC pretvornika obrnjene:

- (1) diferencialno dekodiranje NRZI,

- (2) detekcija zastavic, torej začetka in konca veljavnih okvirjev,
- (3) izločanje vrinjenih ničel v veljavnih podatkih,
- (4) pretvorba zaporednega vodila na 2-bitno vzporedno.

Preglavica vseh načrtovalcev Ethernet PHY je skupni takt RMII REF_CLK. Na srečo so BPSK in UBFM radijske postaje simpleksne, torej ne sprejemajo in oddajajo hkrati. Celotno vezje simpleksnega RMII<>HDLC pretvornika je izvedljivo v enem samem čipu programirljive logike EPM3032 z 32 makrocelicami:



Vezje RMII<>HDLC pretvornika poganja takt /CLK iz bitne sinhronizacije. JKFF (A) ta takt deli z dva, da iz njega nastane REFCLK za RMII. JKFF in posledično REFCLK se v določenih primerih zaustavita: vrivanje ničel pri oddaji, izločanje ničel pri sprejemu in sinhronizacija na sprejete zastavice.

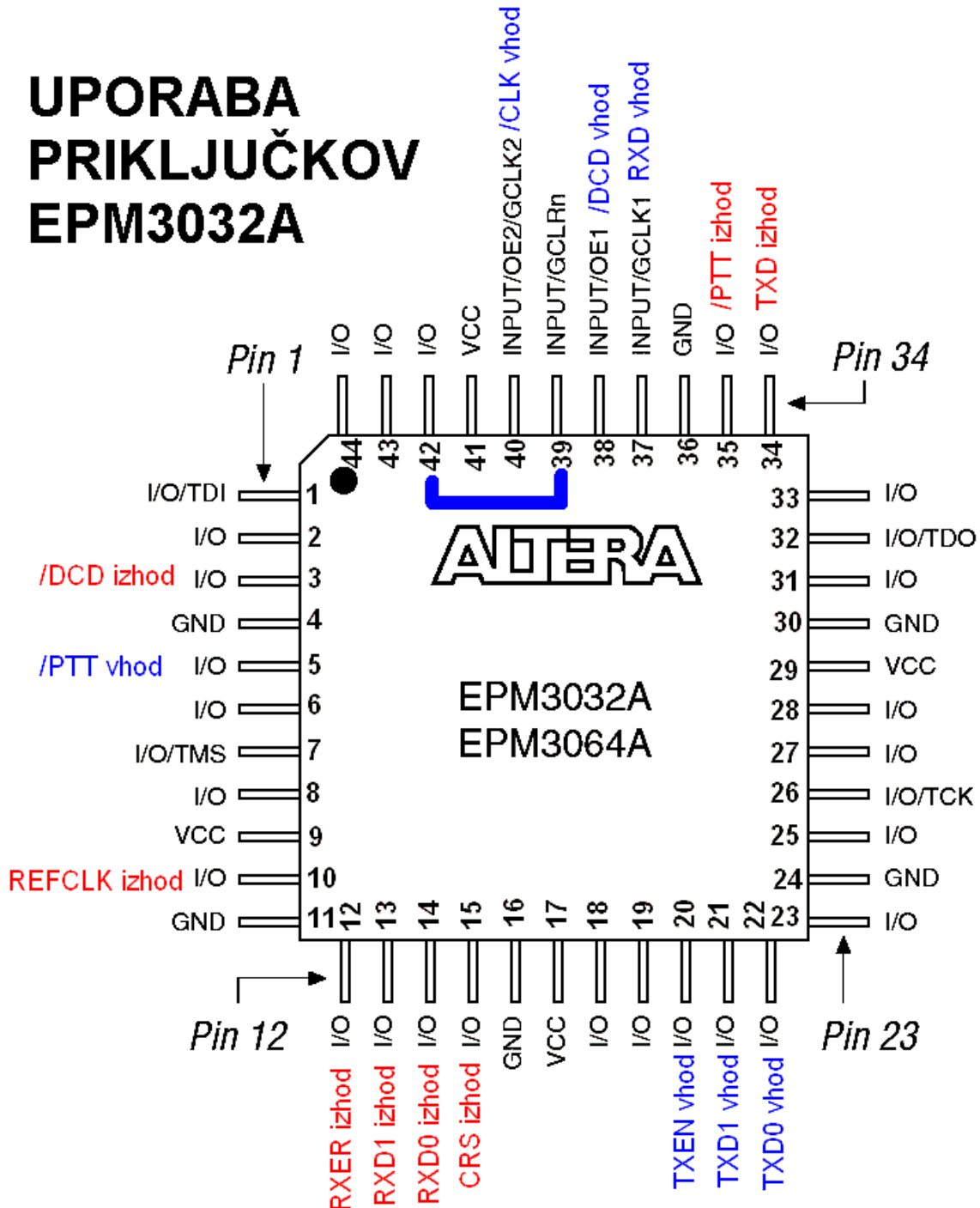
Oddajni podatki TXD 0,1 se preprosto multipleksirajo z vrati NAND2 (B). Sprejemni tok podatkov se demultipleksira z dvema DFFE (C) v RXD 0,1. Detektor petih zaporednih enic v podatkih je isti za oddajo in za sprejem: pomikalni register 74164 (D) in NAND5 (E). Ukrep je isti v obeh primerih: REFCLK zaustavi za eno periodo /CLK.

Zastavice na oddaji proizvajata števec 74161 (F) in OR2 (G). Odziv na začetek Ethernet okvirja lahko zamudi tudi do 6 bitov, da se zastavica pravilno zaključi. Pri tem se Ethernet PREAMBLE preprosto skrajša do 6 bitov, kar Ethernet standard dopušča! Končno JKFF (H) poskrbi za diferencialno kodiranje NRZI celotne

oddaje: okvirjev in zastavic.

Prva stopnja sprejemnika je diferencialni NRZI dekodeur s dvema DFF (I) in XNOR (J). Sledi detektor zastavic s pomikalnim registrom 74164 (K), NAND6 (L) in OR3 (M). Izhod detektorja zastavic (M) sinhronizira REFCLK tako, da po potrebi zaustavi JKFF (A). Časovnik s števcem 74161 (N) razširi trajanje zastavice na 8 bitov, kar obrnjeno pomeni veljaven okvir oziroma RMIi signal CRS.

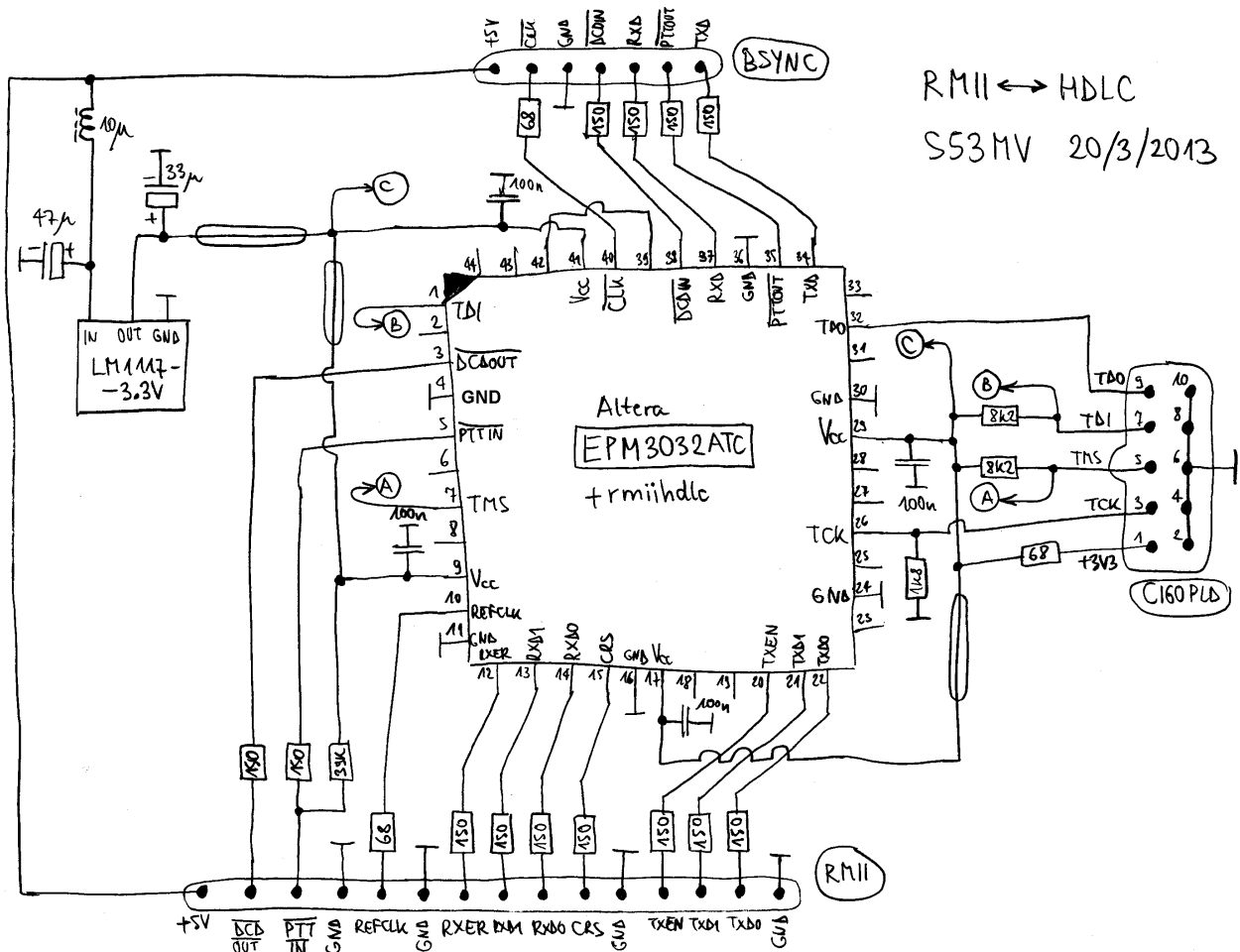
UPORABA PRIKLJUČKOV EPM3032A



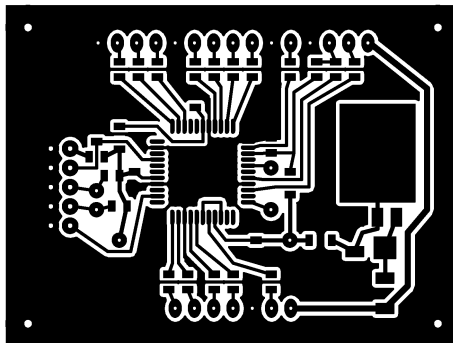
Skozi programirljivo logiko EPM3032 potujeta signala /DCD in /PTT. Signal /PTT je uporabljen za preklon RMIi<>HDLC pretvornika iz sprejemnega v oddajni način in obratno. Opisani RMIi<>HDLC pretvornik ne proizvaja RMIi signala RXER. Proizvajalec vezja EPM3032 in pripadajočega orodja za programiranje jamči, da

so neprogramirani priključki vedno izhodi v stanju logične ničle, torej neaktiven RXER.

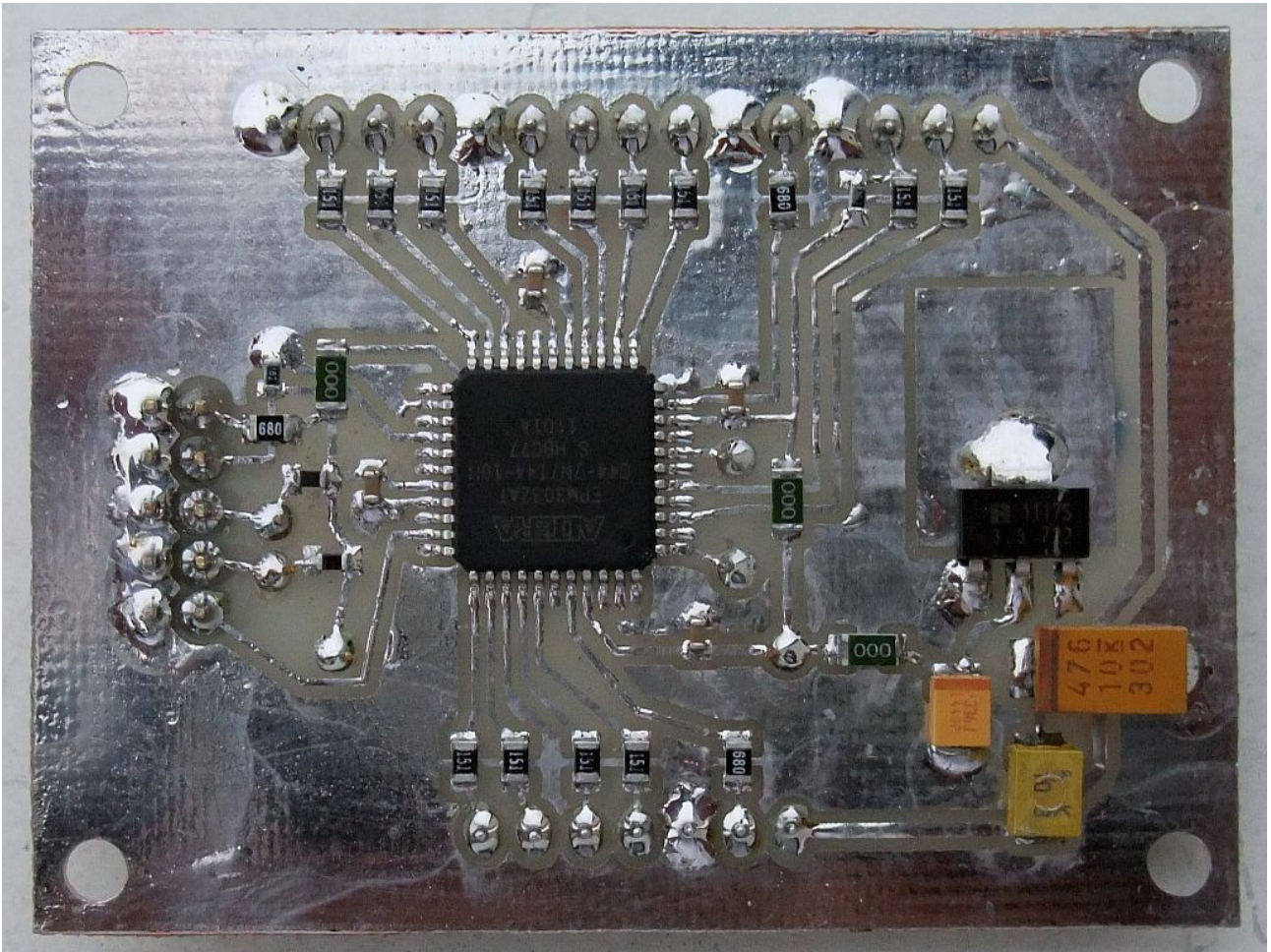
Celoten RMII<->HDLC pretvornik vsebuje še dušilne upore, blokirne kondenzatorje na napajanju, napajalnik LM1117 za 3.3V in tri konektorje: RMII, bitna sinhronizacija in programiranje EPM3032 s pomočjo kabla CIGOPLD:



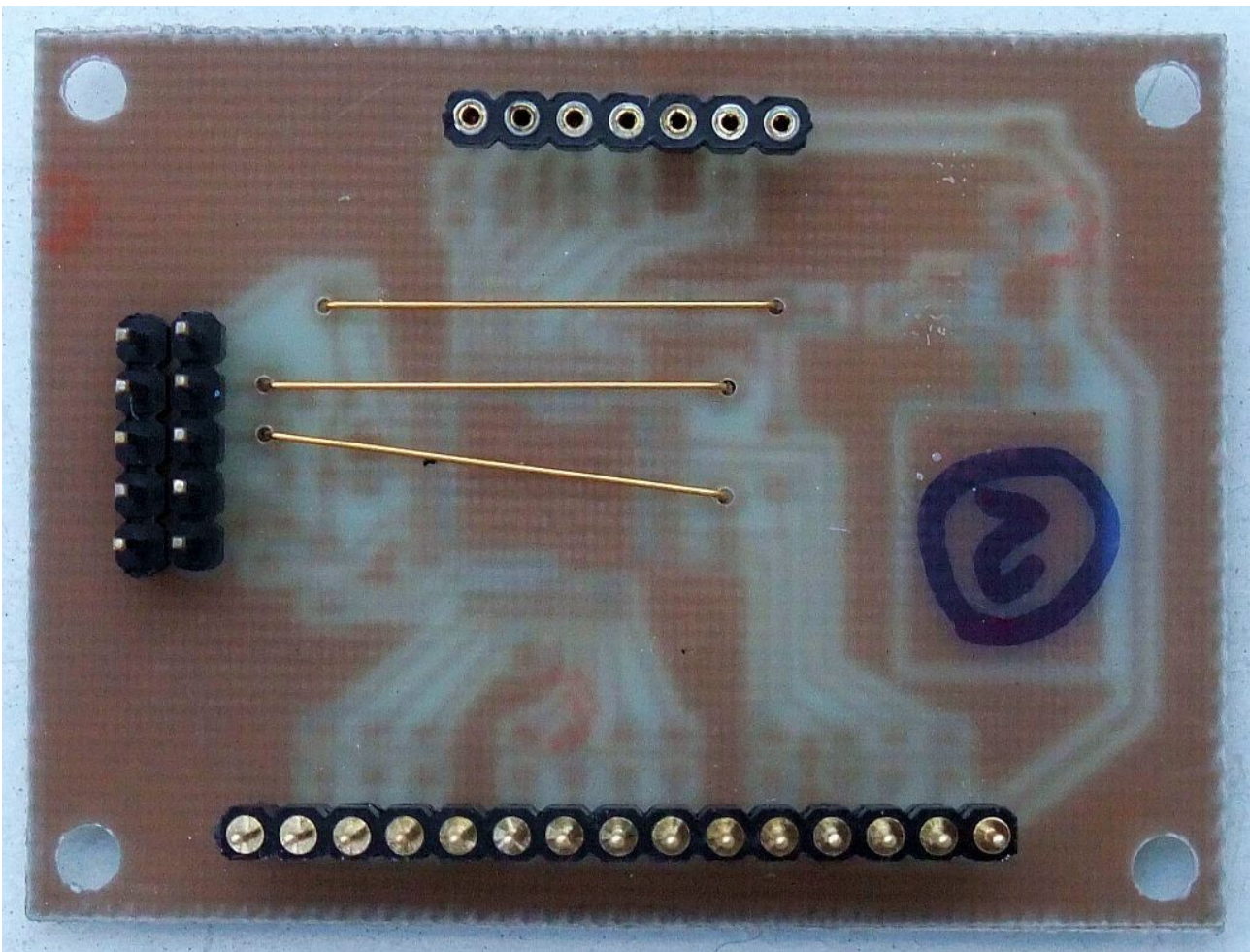
Priključki RMII so razporejeni tako, da natančno ustrezajo tiskanemu vezju mikrokrmilnika LPC2387 v EATNC. Vodiło MIIM s signaloma MDC in MDIO ni več potrebno v RATNC. Prripadajoča priključka LPC2387 sta v RATNC uporabljena za signale /DCD in /PTT. RMII<->HDLC pretvornik je izdelan na enostranskem tiskanem vezju z izmerami 45mmX60mm:



večina gradnikov je SMD na spodnji strani tiskanine:



Na gornji strani tiskanine so le trije konektorji in trije žični mostički:



Opisani RMII<->HDLC pretvornik je uspešno preizkušen vse do bitne hitrosti 56Mbps (takt /CLK 56MHz). Omejitev postane ARM7 procesor znotraj LPC2387, ki v resničnih razmerah zmore obdelati nekje 20Mbps do 30Mbps podatkov.

Omejitev hitrosti obstaja tudi na spodnjem koncu! RMII je v mikrokrmilnikih družine LPC23xx izveden kot stroj stanj, ki prevzame vodilo procesorja. RMII takt REF_CLK je torej eden od taktov mikrokrmilnika, z njegovim nižanjem se zaustavlja celoten mikrokrmilnik. Opisani RMII<->HDLC pretvornik občasno zaustavlja REF_CLK zaradi vrinjenih ničel HDLC oziroma sinhronizacije, kar dodatno zaustavlja mikrokrmilnik.

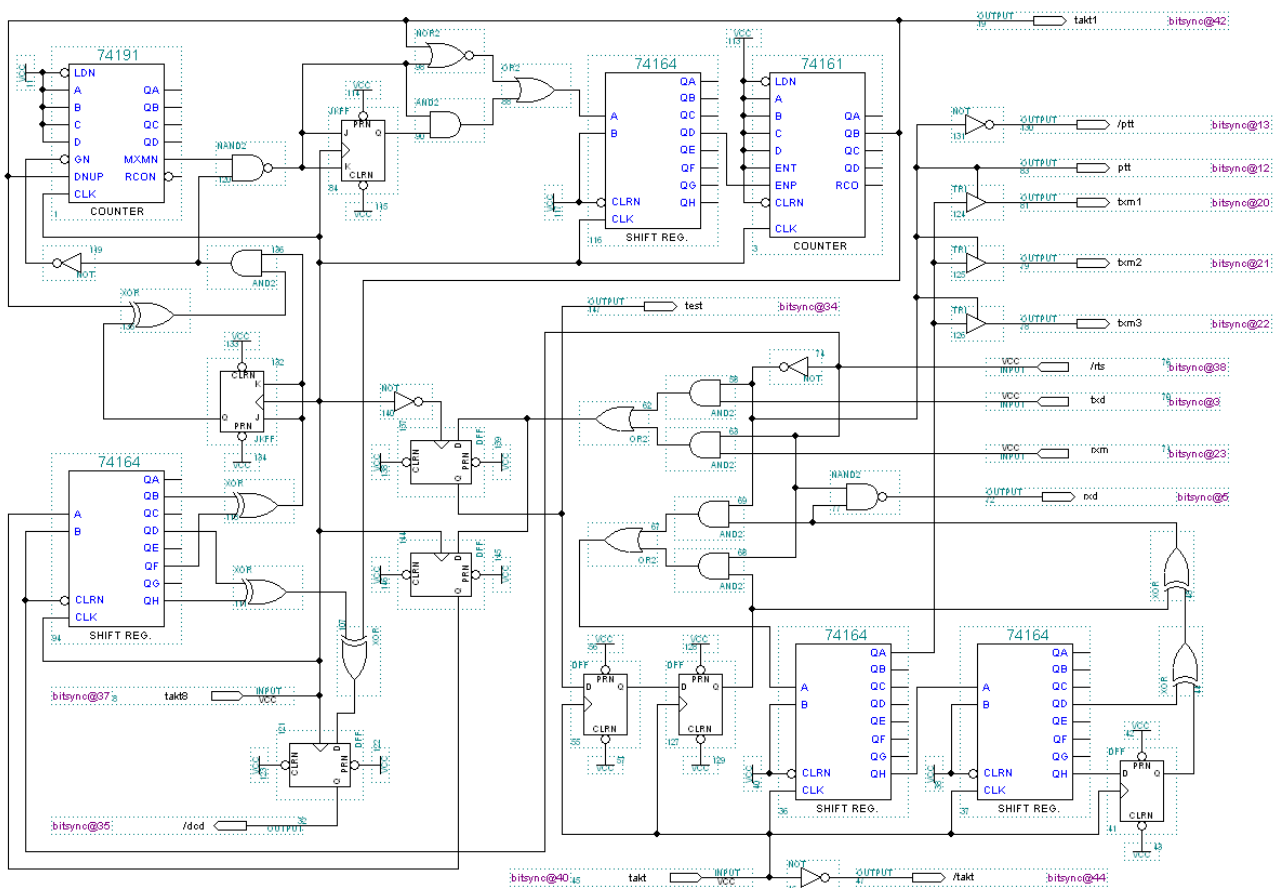
Poskusi so pokazali, da mikrokrmilnik uspešno deluje pri bitni hitrosti samo 2Mbps (takt /CLK 2MHz). Žal tedaj ni združljiv z NBPv1 zaradi uporabe drugačnih (Ethernet) okvirjev! Opisani RMII<->HDLC pretvornik tudi zavrže vse do 6 bitov PREABMLE (kar Ethernet dopušča), da ni treba zaustavljati REF_CLK za dolgih 6 period takta /CLK za sinhronizacijo zastavic na oddaji.

Končno, mikrokrmilnika niti RMII<->HDLC pretvornika ne moremo preizkušati posamično. Programirani mikrokrmilnik LPC2387 zahteva, da je REF_CLK vedno prisoten. Torej mora biti vedno prisoten tudi /CLK. Enote lahko preizkušamo edino v zaporedju, kot je napeljan takt. Najprej samo bitno sinhronizacijo. Nato RMII<->HDLC pretvornik povezan na bitno sinhronizacijo. Končno mikrokrmilnik, povezan na RMII<->HDLC pretvornik, ki je povezan na bitno sinhronizacijo, torej samo vse tri enote skupaj!

3. Bitna sinhronizacija in skrambler za 10Mbps

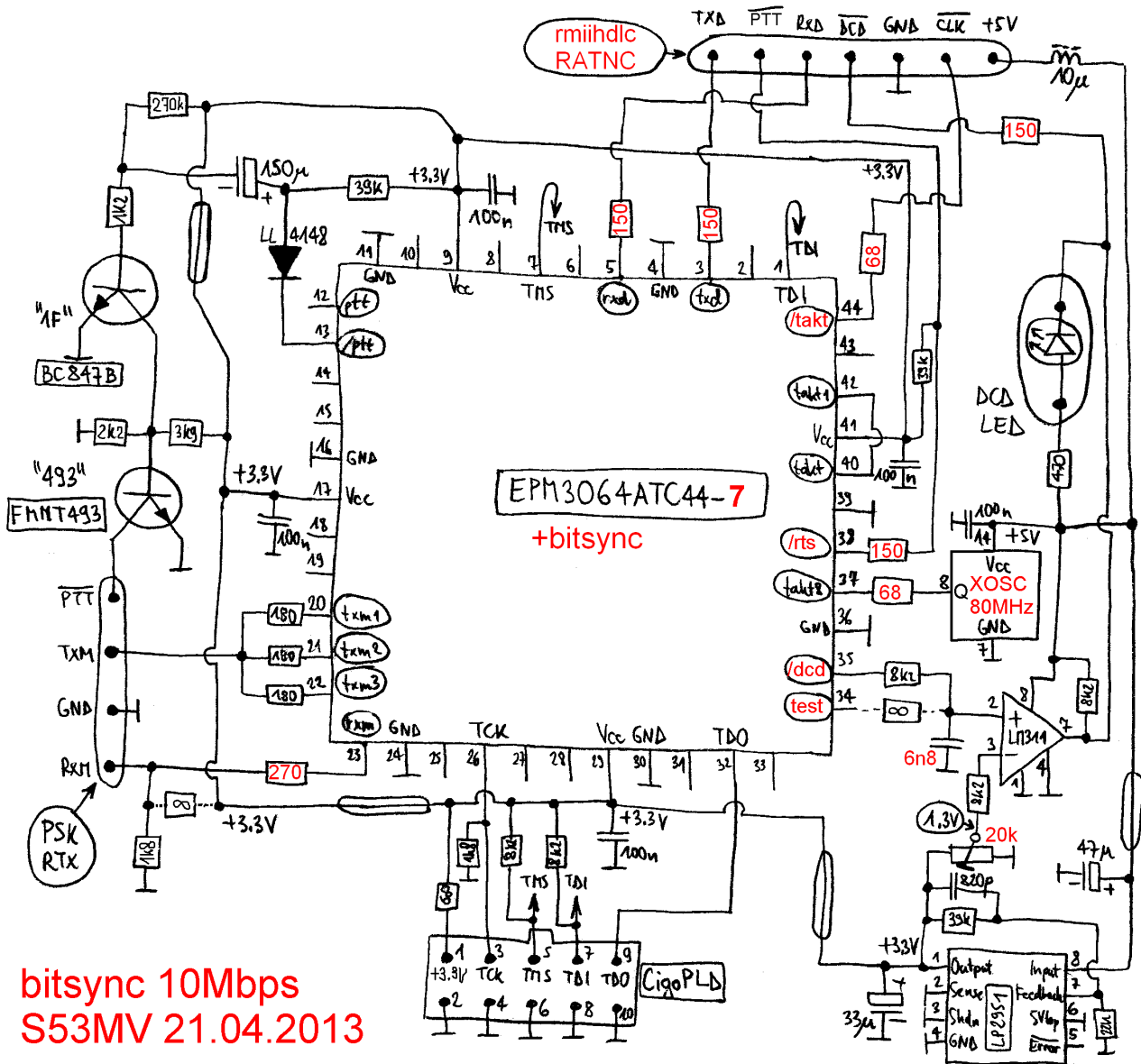
V RATNC bi načeloma lahko vgradili bitno sinhronizacijo in skrambler s TTL vezji družine 74xxx iz AX.25 TNCja za 10Mbps, zasnovanega z MC68HC000 in SAB82532 leta 2001. Bolj smiselno je izdelati enakovredno oziroma boljše vezje s sodobnimi gradniki, torej programirljivo logiko EPM3064 kot v ATNC.

V RATNC za 10Mbps si ne moremo privoščiti DPLL s taktom X16. 160MHz je že hud zalogaj za EPM3064. Povrhu oscilatorjev za 160MHz ni lahko najti. v bitni sinhronizaciji za 10Mbps sem se zato odločil za takt 80MHz, kar zahteva nov DPLL:

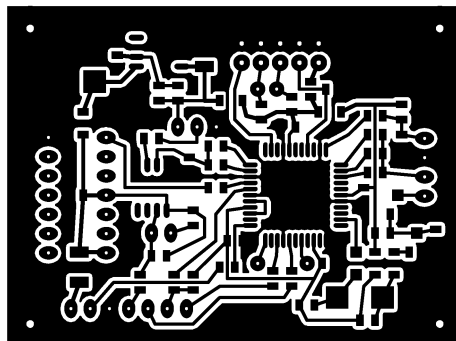


Novi DPLL je sicer še vedno /256, ampak bolj grobemu vzorčenju s taktom samo X8 se ne moremo izogniti. Nekaj malega pomaga vzorčenje podatkov na padajočem boku takta 80MHz, medtem ko DPLL dela na dvigajočem boku istega takta. Skrambler ostane povsem enak kot v vseh drugih bitnih sinhronizacijah, torej preverjeno vezje K9NG/G3RUH.

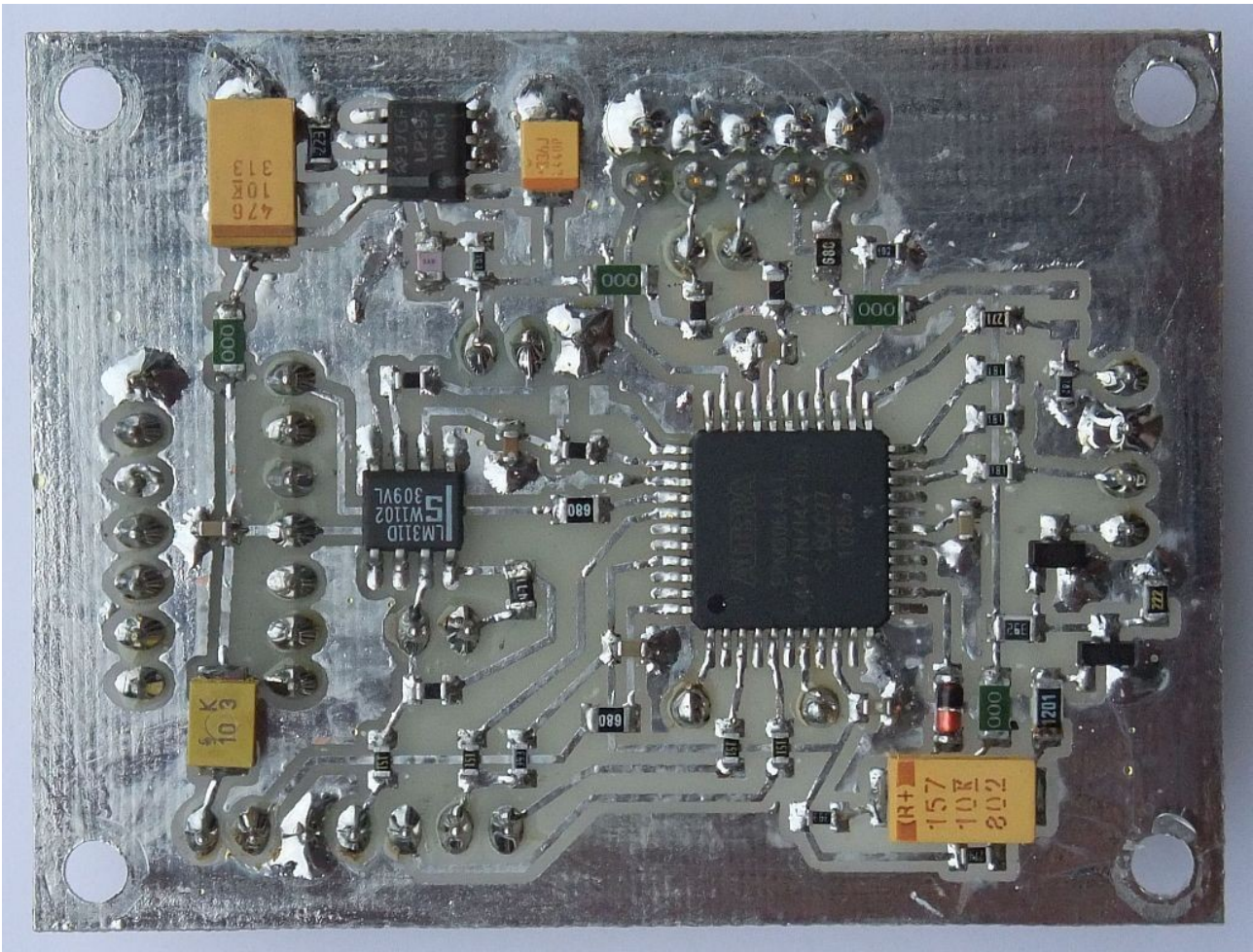
Vezje okoli EPM3064 je zelo podobno bitni sinhronizaciji ATNC. Glavne spremembe so: kristalni oscilator za 80MHz, nižje vrednosti dušilnih uporov, krajša časovna konstanta DCD in hitrejša inačica programirljive logike EPM3064ATC44-7 z novim programom "bitsync". Vse spremembe so označene z rdečo barvo na pripadajočem načrtu:



10Mbps bitna sinhronizacija za RATNC je izdelana na popolnoma enakem tiskanem z izmerami 45mmx60mm kot za ATNC:

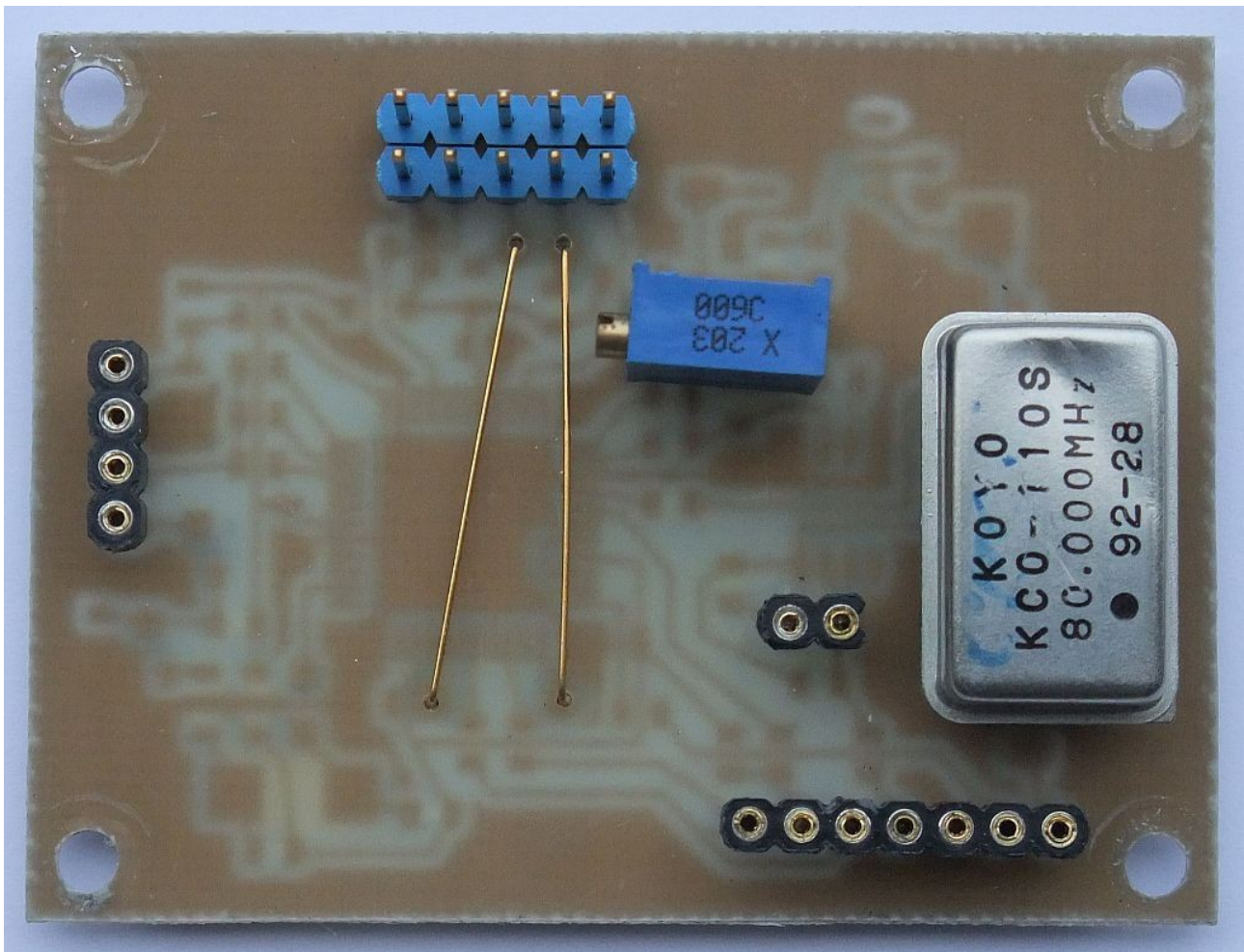


večina gradnikov je SMD na spodnji strani tiskanine:



Program "bitsync" za EPM3064 vsebuje samo eno res dobro vezje za DCD (nogica 35). Drugi izhod "test" (nogica 34) je predviden samo za preizkušanje delovanja bitne sinhronizacije z dovolj hitrim osciloskopom za 10Mbps. v praksi na ta izhod ne smemo nikoli zaciniti SMD upora proti LM311!

Na gornji strani tiskanine so le štirje konektorji (RTX, RMII<>HDLC, CIGOPLD in DCD-LED), dva žična mostička, kristalni oscilator za 80MHZ in trimer za DCD:



Opisano bitno sinhronizacijo povežemo na RMII<>HDLC pretvornik s 7-žilnim ploščatim kablom dolžine okoli 10cm. Razporeditev signalov je na obeh vtičnicah enaka. Masa in +5V sta postavljena tako, da poskrbita za oklapljanje kritičnega signala /CLK.

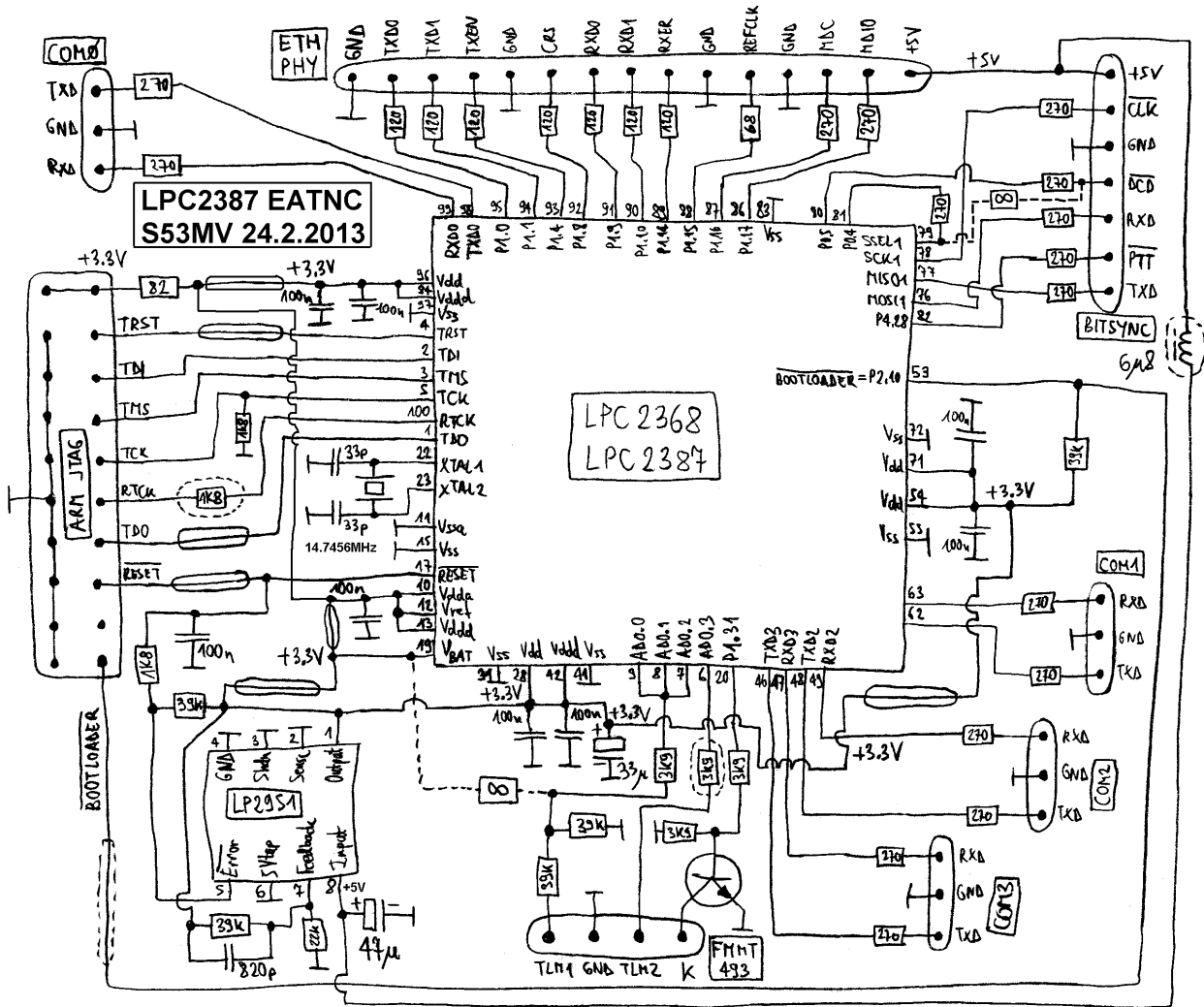
Navsezadnje bi lahko bitno sinhronizacijo, skrambler in RMII<>HDLC pretvornik izvedli v enem samem, večjem vezju programirljive logike. Iz meni nerazumljivih razlogov je takšen čip programirljive logike danes bistveno dražji od vsote EPM3064 in EPM3032. Pri uporabi dveh manjših čipov prihranimo tudi nekaj energije, ker dela RMII<>HDLC pretvornik z nižjim taktom.

Kristalni oscilator za 80MHz v kovinskem ohišju DIL z napajanjem +5V sicer ni najsodobnejši gradnik, a ga lahko danes še vedno kupimo. Večina nas ima zaloge takšnih oscilatorjev iz razdiranja starih 386 PC računalnikov pred dvema desetletjema.

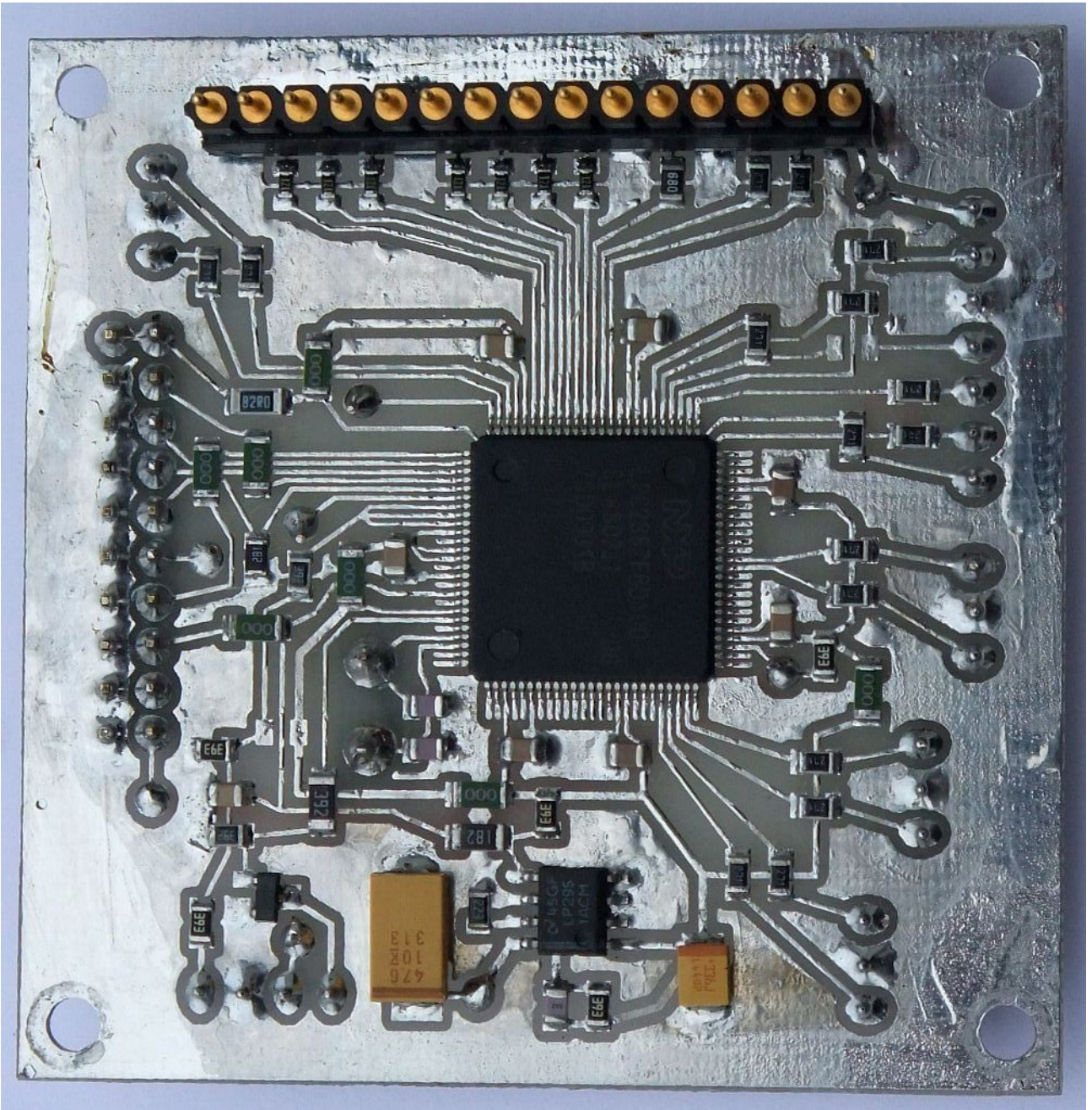
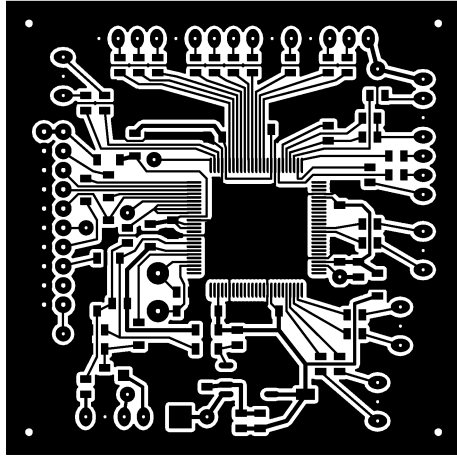
4. Mikrokrmilniki LPC2387 in LPC2388

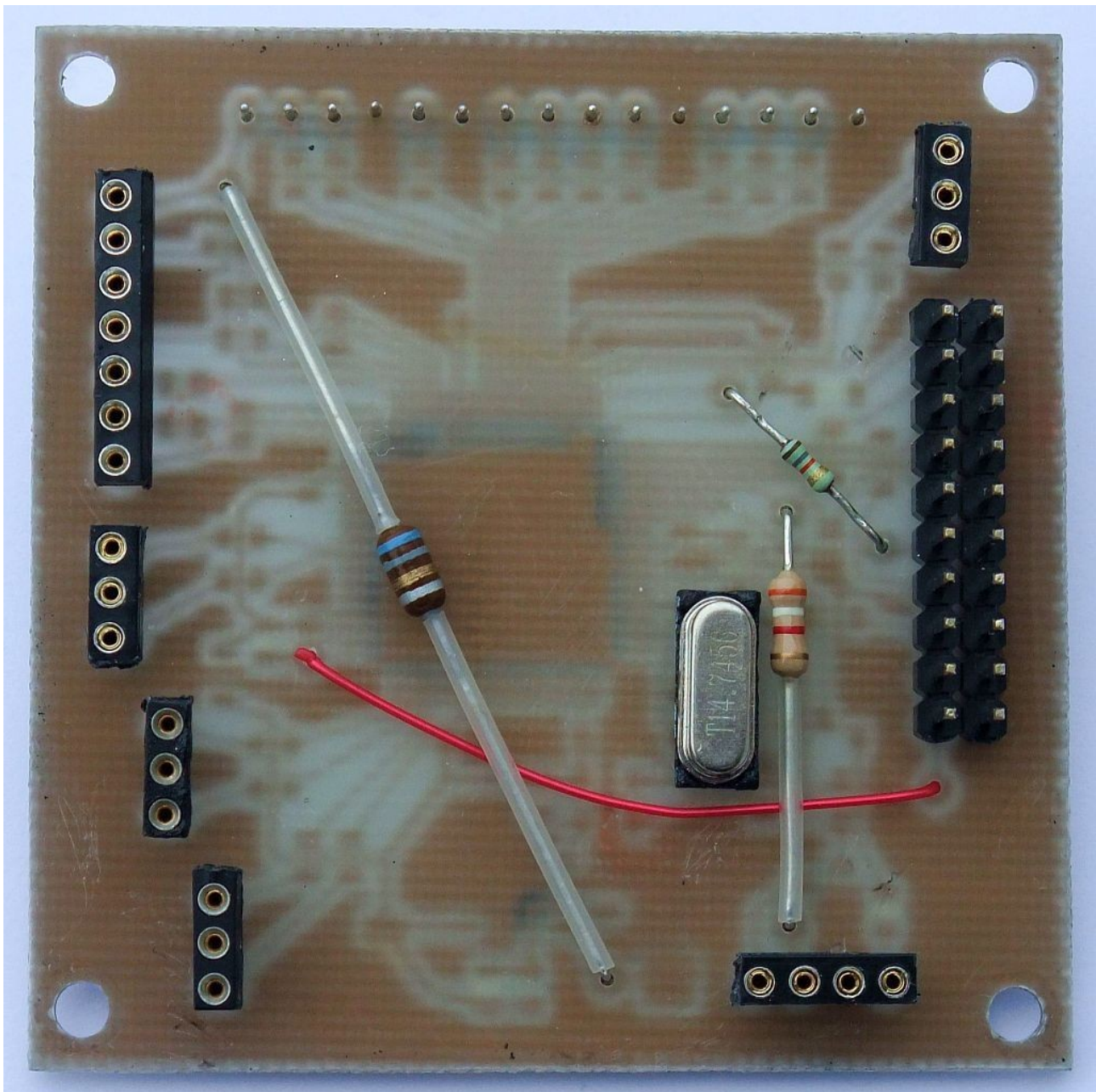
RMII<>HDLC pretvornik je načrtovan tako, da ga lahko neposredno povežemo oziroma nanj natakne tiskano vezje mikrokrmilnika LPC2387 iz EATNC. Prvotno tiskano vezje EATNC sicer deluje brezhibno tako v EATNC kot v novem RATNC, ima pa nekaj odvečnih gradnikov (prazna očesca), SMD upore različnih velikosti in kup mostičkov.

Popravljen načrt EATNC oziroma RATNC mikrokrmilnika s čipom LPC2368 ali LPC2387 naj bi rešil vsaj del teh težav:



Popravljen tiskano vezje za mikrokrmilnik LPC2368 ali LPC2387 naj bi imelo kakšen mostiček manj:

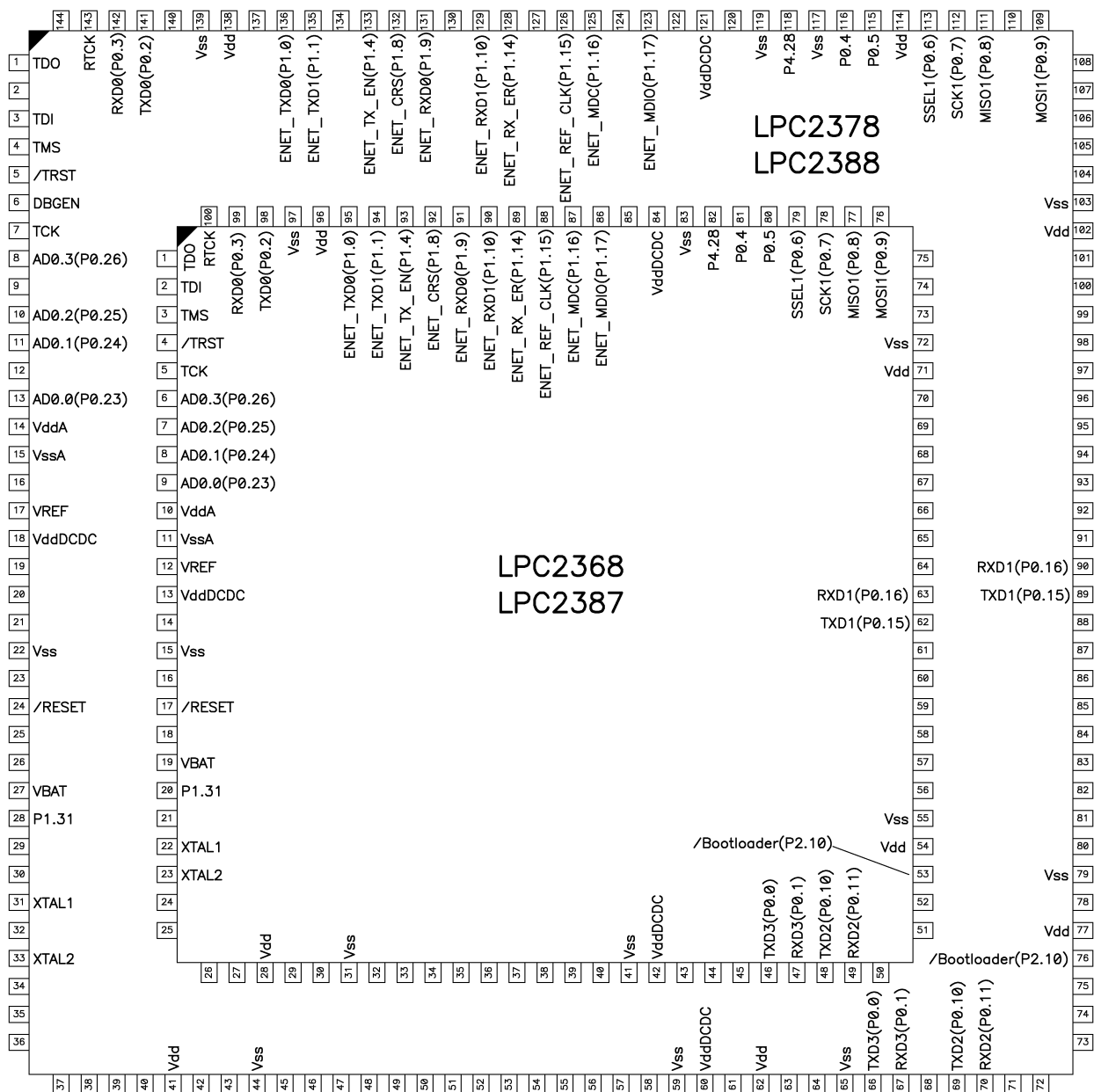




Zanimivo vprašanje je, ali lahko izdelamo EATNC oziroma RATNC še s kakšnim drugim mikrokontrolnikom. Natančen pregled podatkovnih listov pokaže, da so si vsi predstavniki družine LPC23xx neverjetno podobni med sabo. Vsi registri vmesnikov so na istih naslovih v vseh predstavnikih družine LPC23xx. Če ima določen predstavnik manj nogic, tistih registrov preprosto ni.

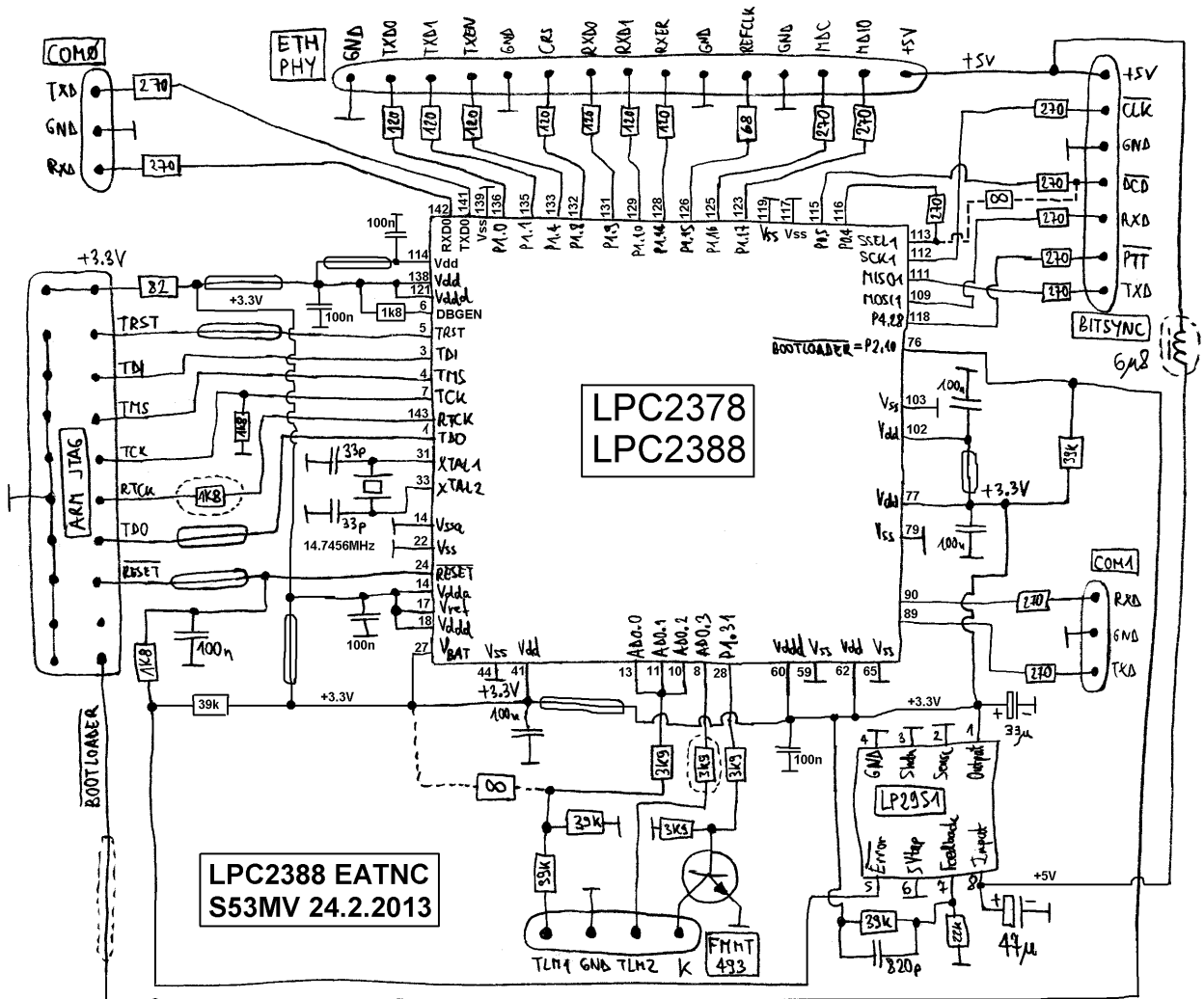
LPC2368 in LPC2387 sta vgrajena v ohišja s 100 priključki. Razlika med njima je v količini pomnilnika: 58kbyte RAM v LPC2368 oziroma 98kbyte RAM v LPC2387.

LPC2378 in LPC2388 sta vgrajena v ohišja s 144 priključki. Ponovno je razlika med njima v količini pomnilnika: 58kbyte RAM v LPC2378 oziroma 98kbyte RAM v LPC2388. Razporeditev priključkov na ohišjih TQFP (poštna znamka) je neverjetno podobna, kar daje misliti, da proizvajalec izdeluje en sam čip za vse štiri navedene mikrokontrolnike, le končno ohišje je drugačno:

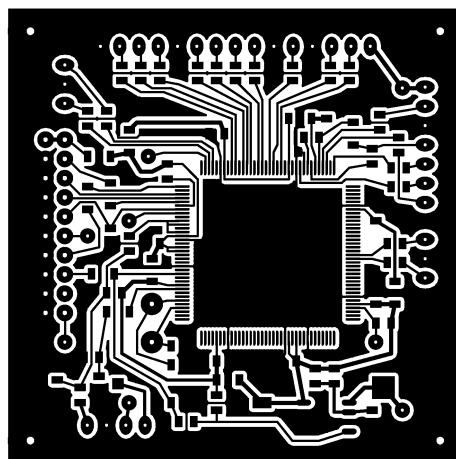


Praktični poskusi so potrdili, da je LPC2387 programsko popolnoma združljiv navzgor z LPC2388. Edini pomembni dodatek LPC2388 je vhod DBGEN, ki preklaplja JTAG vmesnik med notranjostjo mikrokontrolerja in "boundary scan" priključkov ohišja. DBGEN je opremljen z vgrajenim pull-up uporom, da se nepovezan obnaša povsem enako kot LPC2387 brez tega vhoda.

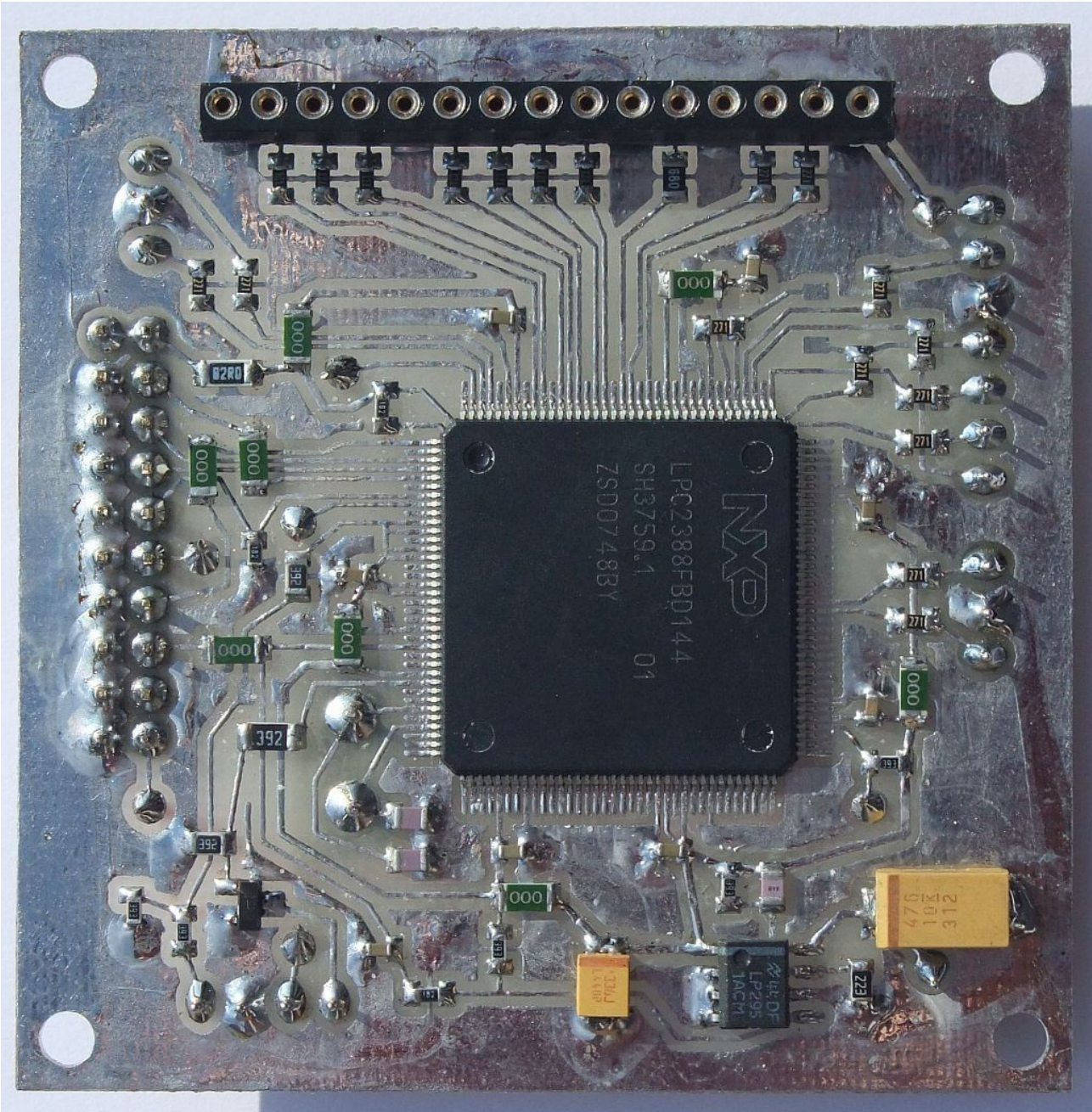
Na električnem načrtu vezave LPC2388 je dodatno predviden še zunanji pull-up upor na DBGEN. Pri mikrokontrolerju LPC2388 sem tudi opustil konektorje za UART2 in UART3, ki jih programska oprema za EATNC oziroma RATNC sploh ne uporablja:

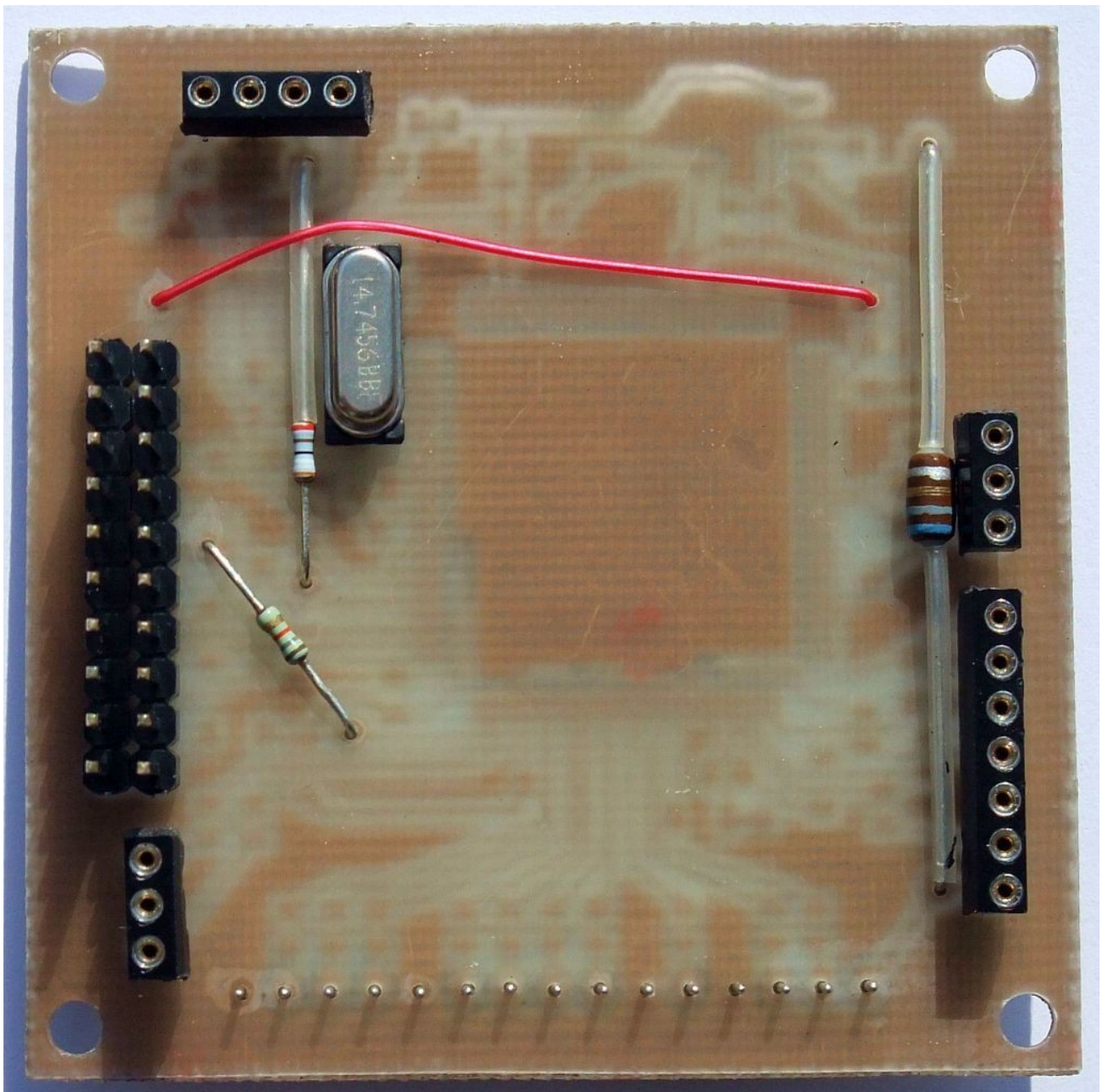


Tiskano vezje za mikrokrmilnik LPC2388 ima enake izmere 60mmX60mm in enak razpored priključkov kot njegov predhodnik za LPC2387:



Opisanega tiskanega vezja še nisem preizkusil z mikrokrmilnikom LPC2378. Sicer odsvetujem uporabo starejših mikrokrmilnikov LPC2368 in LPC2378, ker sta poleg manjše količine pomnilnika oba izdelana v starejši tehnologiji, torej zmoreta nižji takt in imata kakšno napako oziroma "errata" na čipu več!



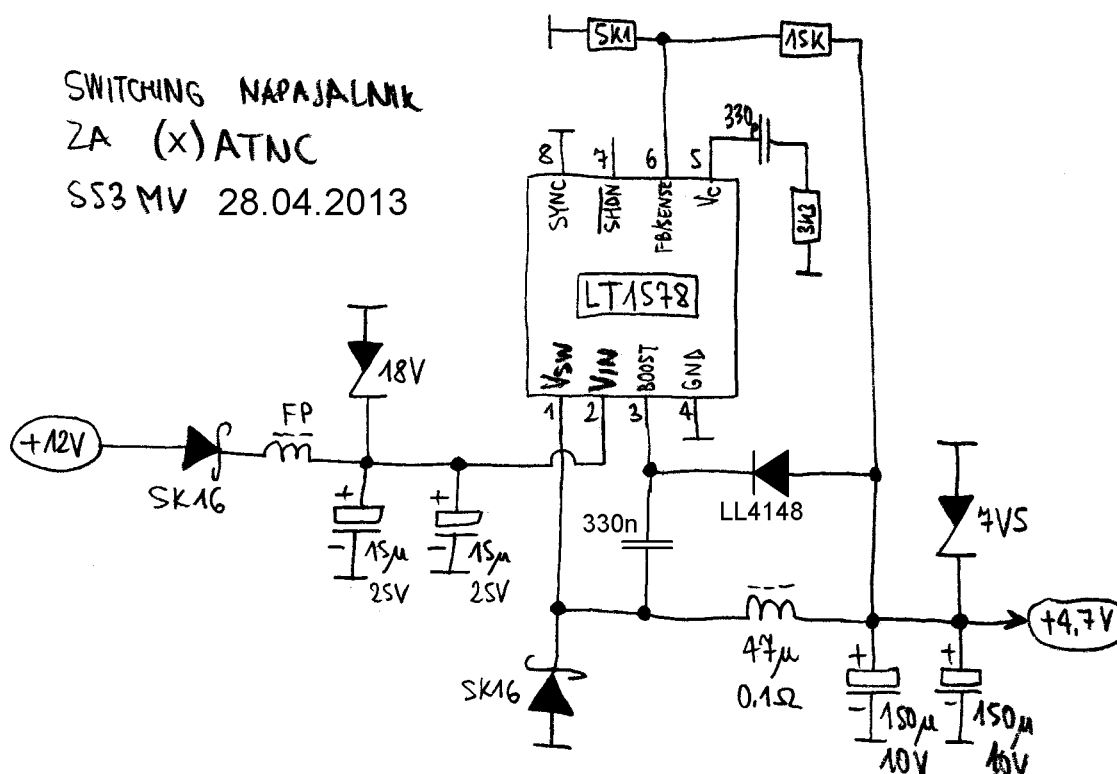


Vsi praktični poskusi so pokazali, da sta si LPC2387 in LPC2388 popolnoma enakovredna in programsko popolnoma združljiva v EATNC in RATNC. Izbira LPC2387 ali LPC2388 je torej prepuščena graditelju: kateri mikrokrmilnik se da kupiti ugodneje?

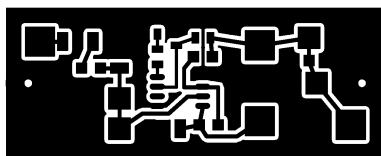
5. Napajalniki za RATNC

RATNC lahko dela s katerikoli napajalnikom za +5V, torej s preprostim linearnim regulatorjem RC1587M (opis ATNC) oziroma stikalnim napajalnikom MC33063 (opis EATNC). V nadaljevanju sta opisana še dva napajalnika, ki imata oba tiskano vezje enakih izmer in isto razporeditev priključkov, da ju lahko vgradimo v katerikoli ATNC, EATNC, MATNC, RATNC oziroma ASV.

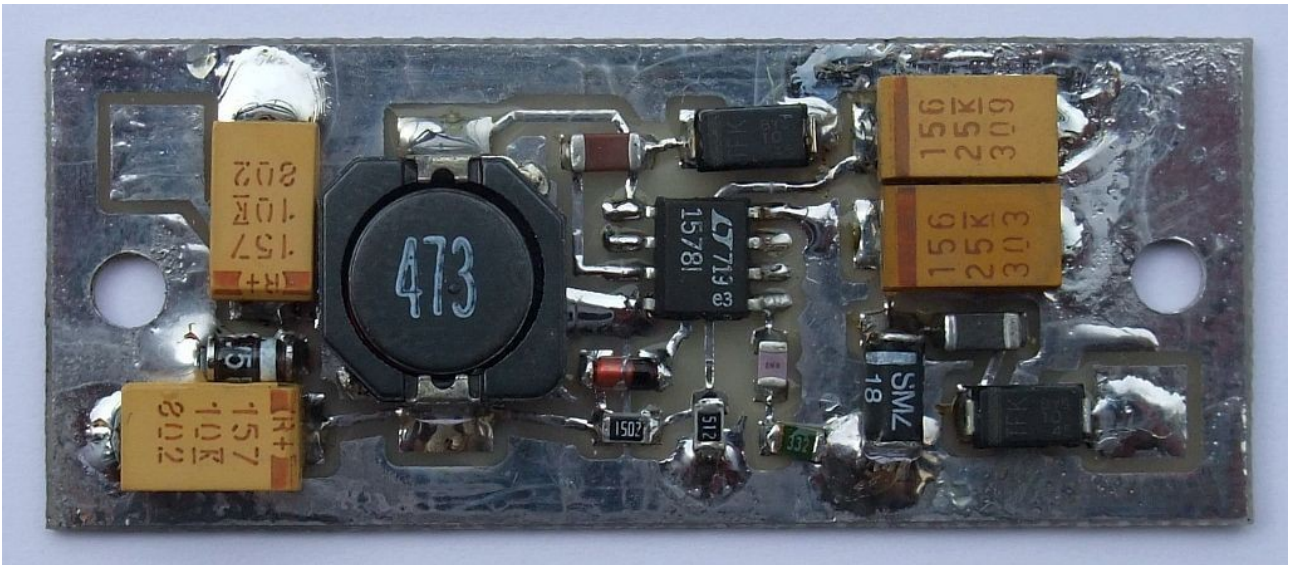
Integrirano vezje LT1578 omogoča višjo stikalno frekvenco 200kHz in manjšo tuljavo $47\mu\text{H}$ v primerjavi s starejšim MC33063 (40kHz in $220\mu\text{H}$). Posledica je boljši izkoristek, torej manj segrevanja celotne naprave:



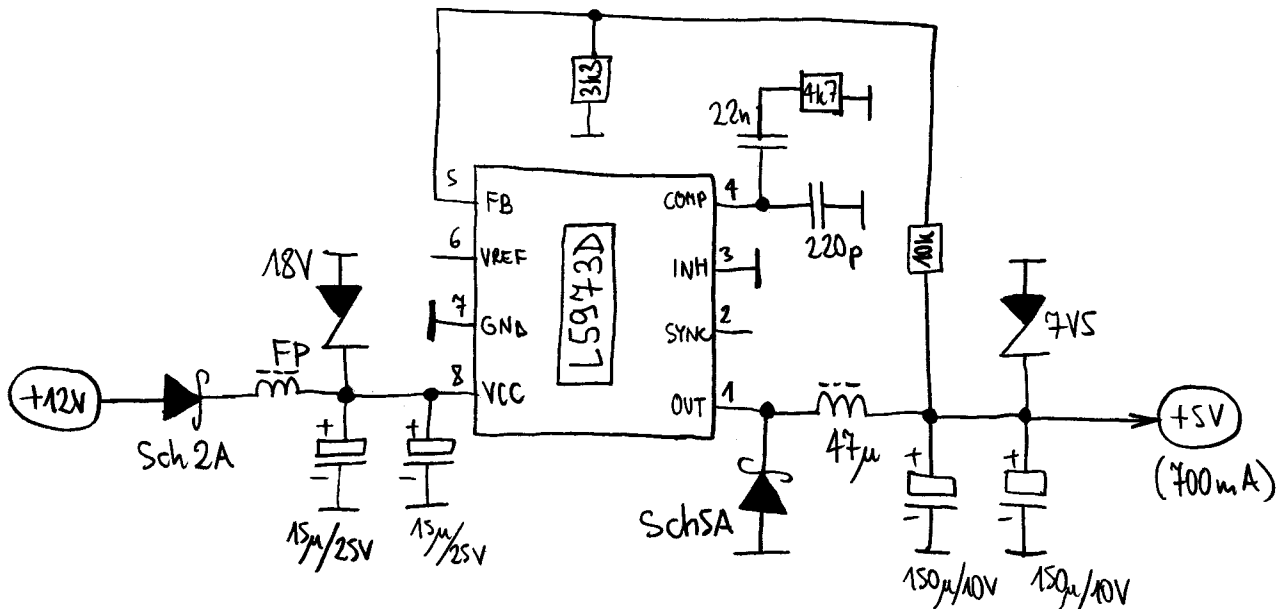
Enostransko tiskano vezje stikalnega napajalnika z LT1578 ima enake izmere 20mmx50mm kot vsi ostali napajalniki:



Vsi gradniki so SMD, da se tiskano vezje lahko prisloni ob dno ohišja za boljše odvajanje toplote:

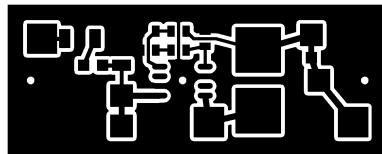


Integrirano vezje L5973D vsebuje učinkovito PMOS stikalo, ki pri frekvenci 250kHz omogoča še višji izkoristek oziroma dvakratni izhodni tok glede na vezja MC33063 oziroma LT1578:

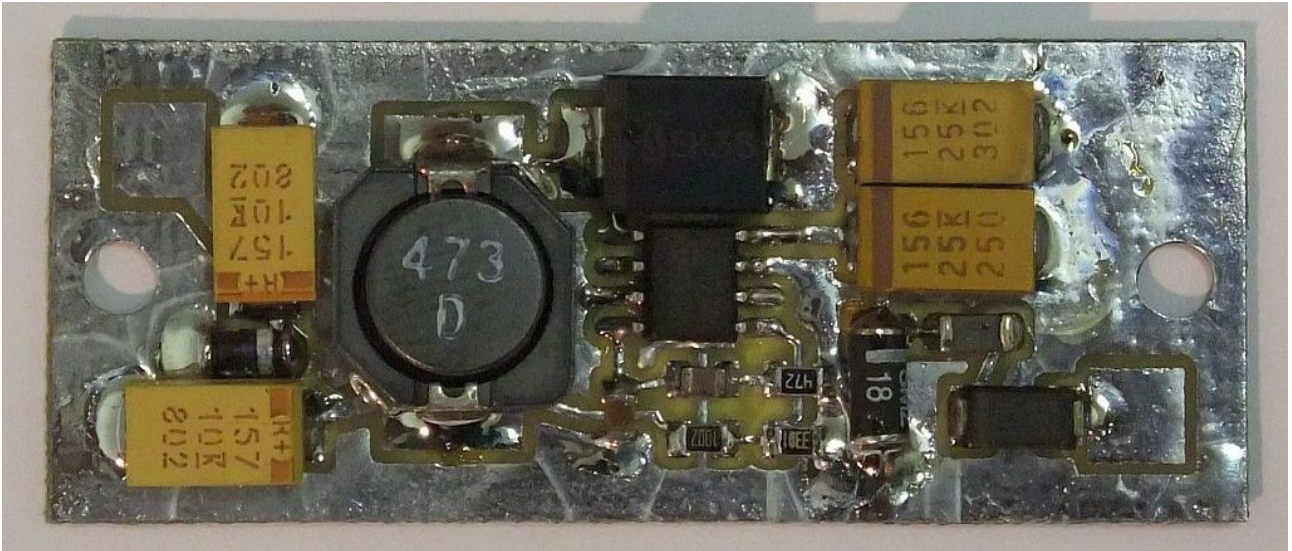


Napajalnik z L5973D 533MV 13/8/2011

Enostransko tiskano vezje stikalnega napajalnika z L5973D ima enake izmere 20mmx50mm kot vsi ostali napajalniki:



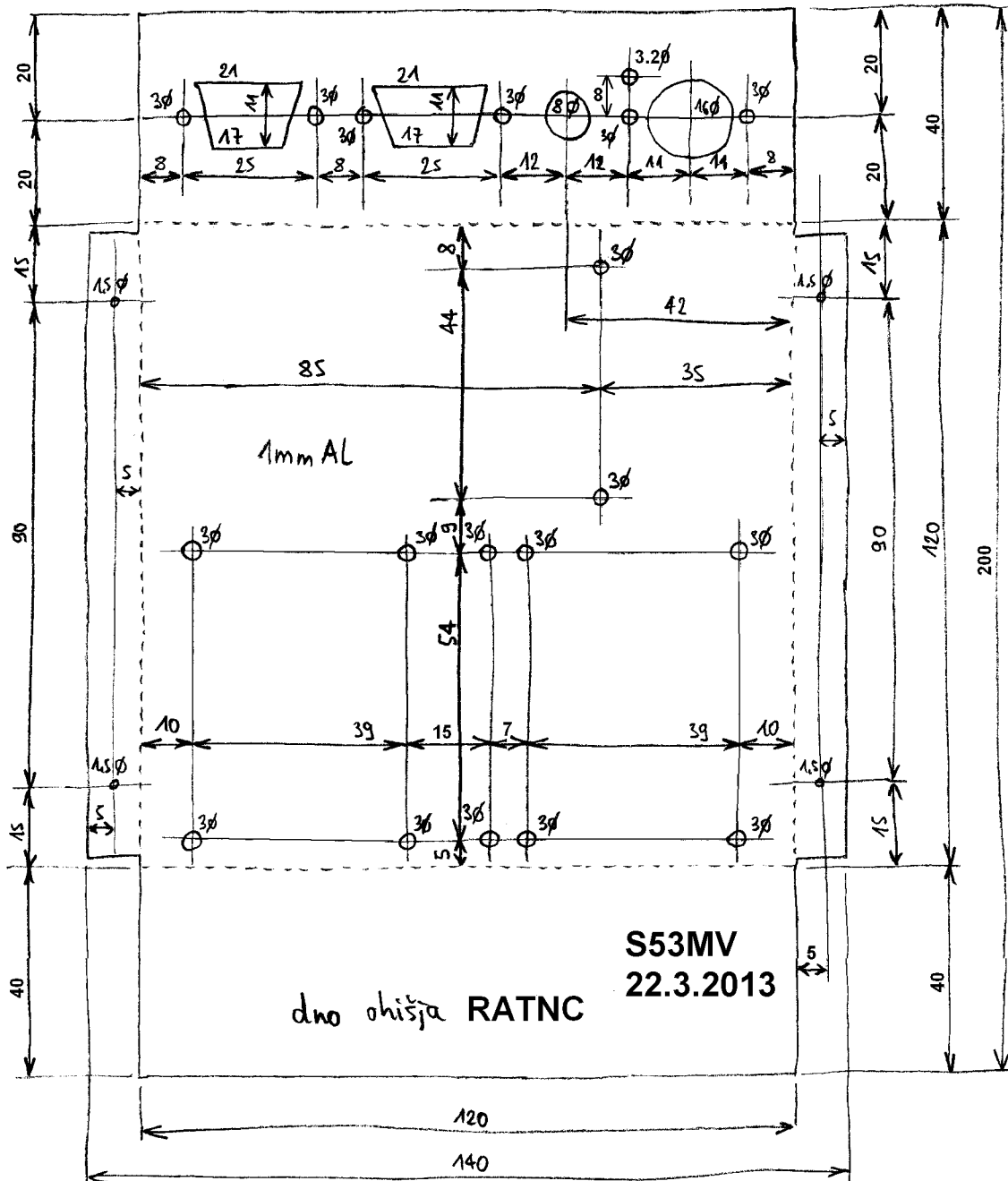
Pod integriranim vezjem L5973D je izvrtana luknja premera 2mm, da lahko prispajkamo tudi ploščico za odvajanje toplote sredi ohišja HSOP8. Vsi gradniki so SMD, da se tiskano vezje lahko prisloni ob dno ohišja za boljše odvajanje toplote:



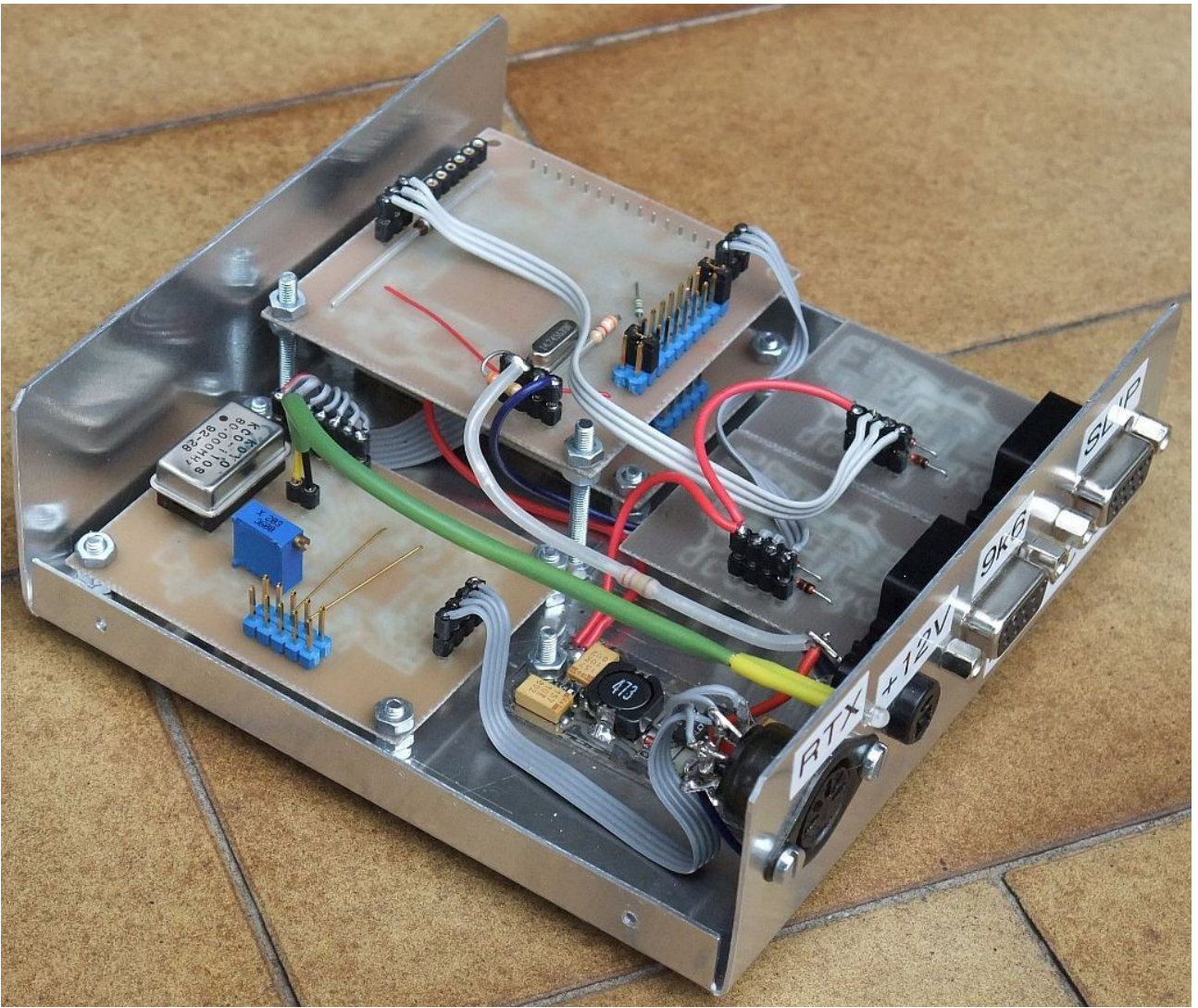
Napajalnik z L5973D je sicer predimenzioniran tudi za uporabo v ASV. Smiselno ga je uporabiti za močnejše porabnike +5V, kot so nekatere IP kamere oziroma (brezžični) usmerjevalniki.

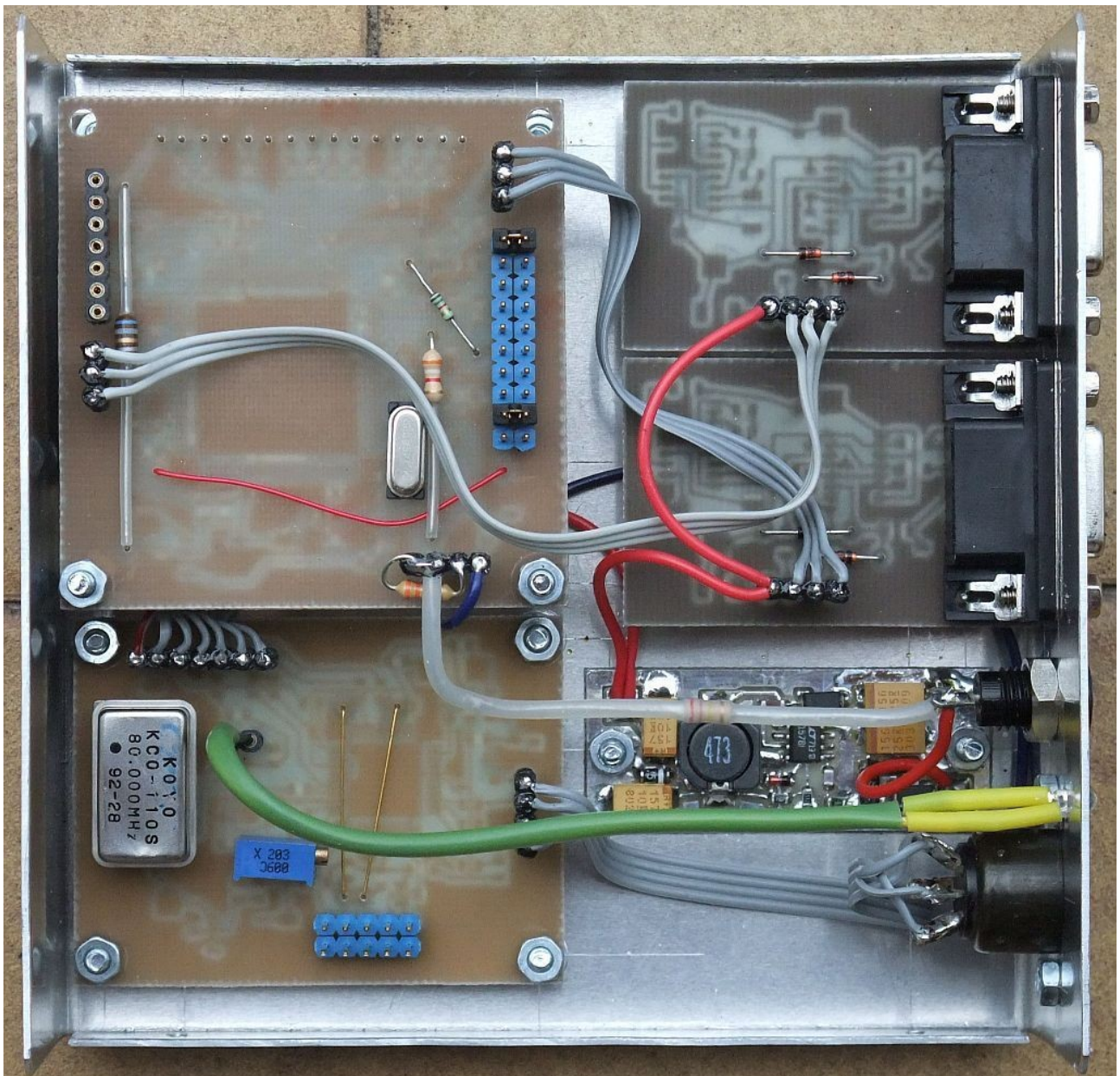
6. Izdelava RATNC

Za RATNC je treba izdelati še dva krmilnika RS-232, povsem enaka tistim iz ATNC, EATNC ali MATNC. Dno ohišja je izdelano iz aluminijeve pločevine debeline 1mm:



Napajalnik je pravit naravnost na dno ohišja. Vtičnici DB-9 nosita pripadajoča RS-232 krmilnika. Bitna sinhronizacija in RMI\leftrightarrowHDLC pretvornik sta pritrjena s po štirimi vijaki M3, kjer po dve matici M3 določata oddaljenost od dna ohišja. Končno se na RMI\leftrightarrowHDLC pretvornik natakne še tiskano vezje mikrokrmilnika in pritrži z dvema daljšimi (30mm) vijaki M3:





Pokrov je izdelan iz aluminijeve pločevine debeline 0.6mm in sega spredaj in zadaj 7mm preko robov dna ohišja. Na prednji plošči so DCD-LED in vse štiri vtičnice: radijska postaja, napajanje in dve RS-232:



7. Dosežki RATNC in nadaljnji razvoj

Uporabniški vmesnik oziroma ukazi RATNC (inačica programa "r17") so zasnovani tako, da bi bil RATNC čimbolj podoben svojemu predhodniku ATNC. Povsem jasno, vsi časovni parametri RATNC, izraženi v mikrosekundah, so pri 10Mbps za en velikostni razred krajši kot pri ATNC:

```
*** RMIi ArmTNC - S53MV 21.05.2013 ID=1800F935 ***
A 0
B 4608000
C 0
H 0
I
J: Rence JN65TU 250m 3405.00MHz 10Mbps
K 0
L S54YFH+S59YFH+S50YFH+S51YFH+S52YFH+S53YFH
M S53YFH
N *
O 0
P 22 1500 15
Q 14745600 5 73728000
S 50 50 10
T 10000 100
U 0
Y 0000004C 00000000 00000056 00000140 00000000 00000056
Z 0
*** RAM(RTCK)=1 /Bootloader(P2.10)=1 CLK=73728000Hz ***
```

NASTAVITVE RATNC

Nekaj manjših razlik zahtevajo RMIi okvirji in NBPv2 na radijski strani. Sinhronizacijska glava vsebuje za zastavicami še en slepi okvir z ničelno vsebino, da postavi RMIi sprejemnik na drugem koncu zveze v znano stanje. Brez tega slepega okvirja RMIi vmesnik družine LPC23xx izgubi tudi več kot 10% prispelih okvirjev, saj RMIi ni bil načrtovan za sprejem radijskega šuma! Končno, dolžina repa se nanaša le na zadnji okvir v paketu, razmak med posameznimi okvirji pa je določen z Ethernet standardom.

Prenosna hitrost 10Mbps se sicer imenitno sliši, ampak v praksi lahko to pomeni zelo malo. Takšen primer so bili AX.25 TNCji za 10Mbps. Zveza je sicer šla in to odlično, ampak prenos podatkov ni bil bistveno hitrejši od 1.2Mbps zvez. Nekaj je bil zagotovo kriv protokol AX.25, še dosti več pa gnila programska oprema na obeh koncih radijske zveze.

S tremi izdelanimi RATNCji in tremi UWBFM radijskimi postajami sem napravil številne poskuse: kaj zmorejo radijske zveze pri 10Mbps in NBPv2 v resničnem omrežju z več radijskimi postajami, tudi skritimi.

Dva RATNCja v neposredni zvezi omejuje predvsem hitrost SLIP na RS-232. Prenos gre od 330kbyte/s pri taktu mikrokrmilnika 59MHz in 3.7Mbps SLIP vse do 470kbyte/s pri taktu mikrokrmilnika 88MHz in 5.5Mbps SLIP. Ozko grlo je torej SLIP. Zaradi počasnosti SLIP je radijski protokol neučinkovit: radijski paketi vsebujejo po en sam okvir, torej velika izguba časa s preklopi sprejem/oddaja in obratno.

Učinkovitost radijske zveze sem meril tako, da sem zvezo napeljal trikrat cikcak med dvema RATNCjema. Izmerjena zmogljivost

radijske zveze je v velikostnem razredu 800kbyte/s oziroma trikrat višja od tistega, kar pokaže meritev na končni postaji:



Primerjava med protokoloma NBPv1 (posamezni potrditveni okvirji) in NBPv2 (en sam skupni potrditveni okvir) pokaže dobiček približno 3% z novim, učinkovitim skupnim potrditvenim okvirjem.

Kot zanimivost se zveza ne poruši, če sogovornika uporabljata nezdružljive protokole, NBPv1 na eni strani in NBPv2 na drugi. Vsi potrditveni okvirji so v tem primeru brez učinka, torej dosti nepotrebnih ponavljanj. Zmogljivost zveze upade na eno tretjino tistega, kar dajo skladni protokoli. Zaključek: postopna predelava starega omrežja ATNCjev in EATNCjev na NBPv2 (brez RMII okvirjev) sploh ne bi bila boleča!

NBPv2 in RATNCji so se odlično odrezali tudi v primeru skritih postaj, ko se končni postaji ne slišita med sabo. Zmogljivost radijskega kanala tedaj upade na 500kbyte/s. To pomeni 250kbyte/s za dve zaporedni zvezi preko vozlišča na hribu, torej primer resničnega radijskega omrežja.

Prvi RATNC sem vgradil na vozlišče S55YFH na lovski koči nad Renčami. Od tu preizkušam 10Mbps BPSK radijsko zvezo na frekvencah 2360MHz oziroma 3405MHz do moje domače postaje na razdalji 10km, žal brez optične vidljivosti (krošnje dreves). 10Mbps radijska zveza deluje z rezervo okoli 12dB pri moči oddajnikov okoli 2w, antene SBFA na obeh frekvencah. Zveza omogoča molčenje interneta preko WiFi omrežja Burja z zmogljivostjo okoli 300kbyte/s, da je le strežnik na drugem koncu zadosti hiter.

Za primerjavo, 2Mbps NBPv1 zveze na isti 10km radijski poti na frekvencah 1277MHz oziroma 2360MHz dosežejo zmogljivost največ 150kbyte/s, bolj običajno okoli 100kbyte/s. Rezerva 10Mbps zvez je izmerjena za 7dB do 8dB slabša od rezerve zvez s primernimi postajami za 2Mbps. Na isti 10km radijski poti WiFi Ubiquiti na 5.7GHz pozimi izpada in poleti ne dela več kljub usmerjenim antenam.

RATNCje sem potem vgradil še na vozlišča S55YNG, Sveta Gora nad Novo Gorico in S55YST, Kobariški Stol. Vsa tri vozlišča S55YFH, S55YNG in S55YST se slišijo med sabo na 10Mbps 2360MHz BPSK. Izmerjena rezerva najdaljše zveze S55YFH-S55YST je okoli 12dB z antenama SBFA na obeh koncih zveze dolžine 48km. Prenos IP kamere s Kobariškega Stola doseže 250kbyte/s preko vozlišča S55YFH do mene domov.

RATNCji so se izkazali izredno zanesljivi v nekaj mesecih delovanja. Pri telemetriji temperature več kot 55°C v notranjosti omare S55YFH v poletni vročini noben RATNC niti drug gradnik ASV še ni odpovedal kljub navitemu taktu na 73MHz.

Bodoči razvoj radioamaterskega packet-radio omrežja gre zagotovo v smeri uporabe RMI vmesnikov na radijski strani. Preprosto zato, ker nam industrija mikrokrmilnikov ne ponuja nič boljšega. Mikrokrmilniki LPC23xx zmorejo v celoti izkoristiti 10Mbps radijsko zvezo, za poskuse prenosa pa jih lahko uporabimo nekje do 40Mbps. Učinkovito 40Mbps omrežje seveda zahteva zmogljivejši procesor od ARM7.

Ozko grlo RATNC je zagotovo SLIP, ki v najboljšem primeru doseže 5.5Mbps in še to z nevarnim navijanjem takta mikrokrmilnika na 88MHz. Končnega uporabnika tu rešuje dodaten Ethernet vmesnik, mogoče priključen na SPI vodilo (SATNC) mikrokrmilnika.

Vozlišče potrebuje še več, saj je RS-232 lokalna zanka prepočasna. V vozlišču je potreben še nov protokol, da NBP okvirje napeljemo po žičnem Ethernetu med posameznimi enotami vozlišča.

* * * * *