

ATNC za Ne-Brezhibni Protokol

Osvetljevalna naprava

Instrument z vrtljivo tuljavico

Reflow iz domače delavnice

Baterije in akumulatorji

Društvo in aktivnosti

Društvo elektronikov Slovenije
Poljanska cesta 20/a, 1000 Ljubljana
Web: www.drustvo-elektronikov.si
Matična številka: 4014987
Davčna številka: SI96410540
TRR: 03171-1000914013 pri SKB d.d.



Naš skupni projekt - izdelava napajalnika je te dni tik pred realizacijo. Z nekaj truda bomo prve kit complete razdelili na ARM seminarju, ki je prav tako lep zalogaj.

Med tem je bila tudi skupščina društva. Predstavili smo delo društva in finančno situacijo, sprejeli sklepe za naprej in dobil sem "žegen", da moram delati to kar počnem. Škoda, le ker je bilo malo udeležencev. Očitno je večina spregledala predavanja, ki so sledila uradnemu delu.

Poziv v prejšnji reviji je zalegel in tako imamo tokrat članek o izdelavi osvetljevalne naprave. Ob tej priliki bi še enkrat pozval, da vsi, ki ste karkoli naredili to objavite v reviji. Ni namreč pomembno kaj naredite, pomembno je, da drugi vedo, da to znate.

Urednik

♦ Revija o elektroniki in računalništvu je občasnik Društva elektronikov Slovenije.

♦ Glavni in odgovorni urednik: Darko Volk.

♦ Lektor: Aljaž Ogrin

♦ Uredniški odbor: moderatorski team foruma www.elektronik.si

♦ Slika na naslovnici: Marko Pavlin

♦ Revija je v elektronski obliki, praviloma v pdf formatu. Sestavni deli revije so lahko tudi druge datoteke, ki predstavljajo source programske opreme objavljene v reviji.

♦ Vsi sestavni deli revije so zapakirani v ZIP format.

♦ Revija objavljena na internetu je dostopna vsem uporabnikom www.elektronik.si, ki je javni forum. Cena revije je 0 eur.

♦ Avtorstvo člankov objavljenih v tej reviji je izključna last avtorjev.

♦ Revija si ne jemlje nikakršne pravice glede objavljanja člankov v drugih medijih, če je le naveden vir in avtor.

♦ Izdelava projektov objavljenih v reviji je dovoljena zgolj za lastno uporabo. Za izdelavo v komercialne namene je potrebno pisno soglasje avtorjev.

♦ Uredniški odbor ne odgovarja za morebitno škodo nastalo pri in zaradi izdelave v reviji objavljenih projektov oziroma zaradi nestrokovne uporabe le teh.

Kazalo po reviji:**ATNC za nebrezhibni protokol**

Dr.Matjaž Vidmar

Digitalije

Osvetljevalna naprava

Luka Penger

Orodja

Instrument z vrtljivo tuljavico

Darko Volk

Meritve

Reflow iz domače delavnice

Simon Skočir

Orodja

Baterije in akumulatorji

Gregor Maček

Napajanje

ISSN 1855-6868

ATNC za Ne-Brezhibni Protokol

1. Zasnova ATNCja s sodobnimi gradniki

Ne-Brezhibni Protokol je samo mrtva črka na papirju oziroma v PDFju brez ustrezne strojne in programske opreme. Napravo, vozliščni računalnik, ki je pred tridesetimi leti ponesla protokol AX.25 v širni svet, so njeni ustvarjalci poimenovali Terminal Node Controller ali s kratico TNC. Čeprav se kratica TNC uporablja še za marsikaj drugega (na primer družina koaksialnih vtičnic), se je v okolju digitalnih radijskih zvez tako uveljavila, da danes skoraj ne moremo več brez nje. Vmesnik za novi protokol sem zato poimenoval ATNC, kar naj bi pomenilo Advanced-TNC, to se pravi napredni naslednik TNCja. Lahko tudi Arm-TNC, saj je zasnovana na mikrokrmilnikih s procesorskim jedrom ARM.

Izvorni TNC za AX.25 je bil za svoje čase (1980) sodobno načrtovan mikroračunalnik s številnimi gradniki: mikroprocesorjem, pomnilnikoma EPROM in RAM, UARTom in HDLC čipom. Takšna zasnova gradnje je kljubovala času skoraj dve desetletji kljub uvajanju SMD gradnikov in novejšim mikroračunalnikom in pomnilnikom. Kar moram izrecno poudariti, tu ne gre za starokopitnost načrtovalcev ali uporabnikov niti odvisnost od stare programske opreme ali protokola, pač pa drugačnih, bistveno boljših gradnikov pred letom 2000 preprosto ni bilo na razpolago.

Šele v novem tisočletju se je marsikaj spremenilo. Industrija telefonov in računalnikov je uspela stlačiti v en sam čip cel GSM telefon. Razvoj takšnega čipa niti zdaleč ni poceni, saj izdelava enega samega seta mask za fotolitografijo čipa stane okoli 5 milijonov dolarjev. Če takšen čip vgradimo v milijon telefonov, je to še vedno 5 dolarjev za vsak telefon in to samo za en čip in samo za zagon proizvodnje brez serijske izdelave. V primeru načrtovalskih napak ali popravkov je treba tistih 5 milijonov še pomnožiti s številom ponavljanj!

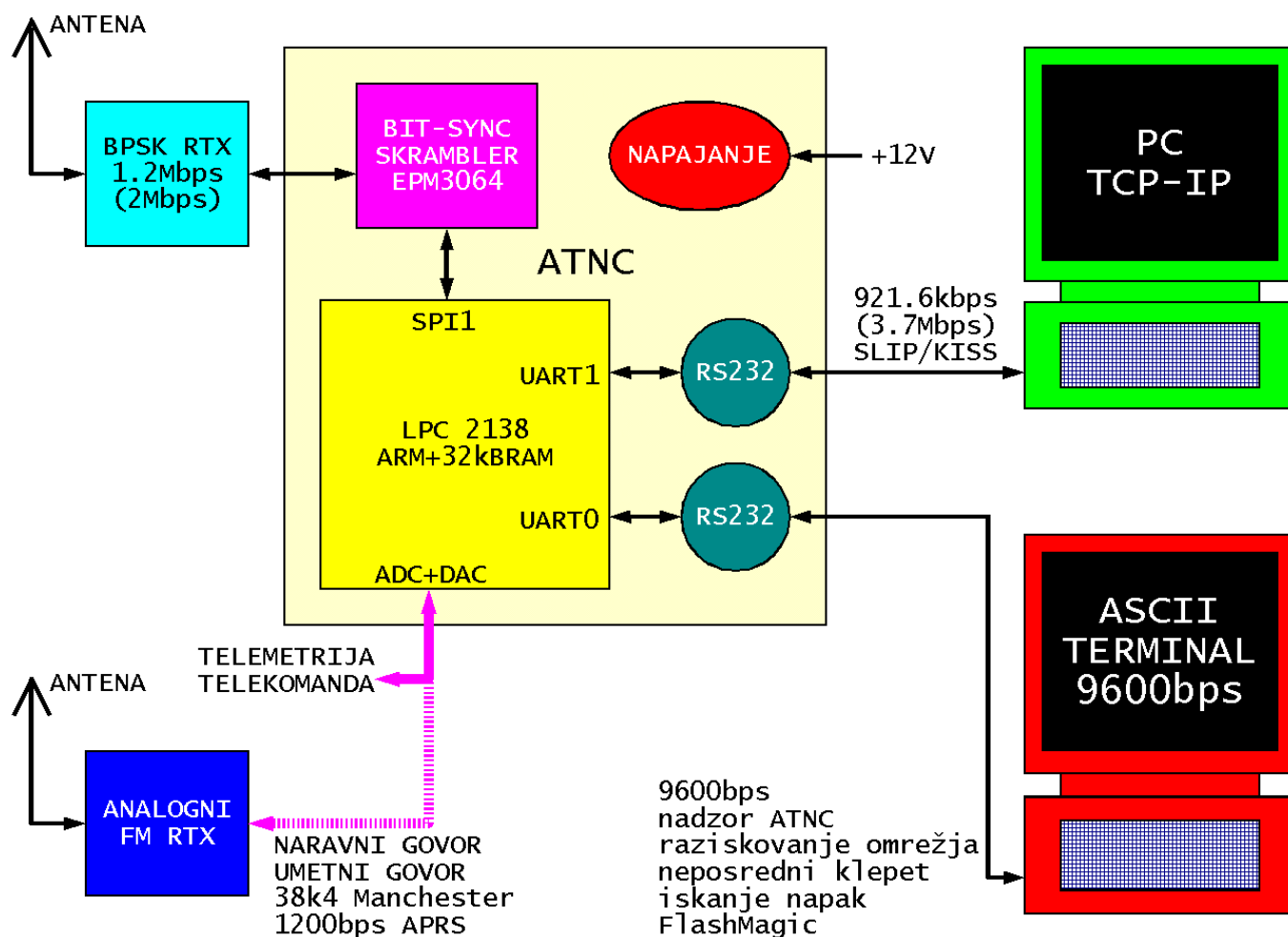
Rešitve z integracijo celotnega izdelka v en sam čip so danes sicer možne tudi za najzahtevnejša analogna visokofrekvenčna vezja. Izredno visoka cena razvoja takšnih čipov omejuje področje uporabe na izdelke v milijonskih serijah, kot so mobilni telefoni ali domači računalniki. Povsod drugod se bo treba znajti na drugačen način: uporabiti več preprostejših, a cenejših čipov v bolj kompliciranem vezju. Končni izdelek bo sicer večji in dražji od čudes sodobne širokopotrošne elektronike, ampak druge poti za zahtevano nalogo preprosto ni!

Kaj torej ponuja tržišče polprevodnikov danes za našo samogradnjo? Neusmiljena konkurenca je v desetletju 2000-2010 povzročila padec cen vseh polprevodnikov za faktor 10-krat in več. Slaba programska orodja in neznanje programerjev so privedle polprevodniško industrijo do tega, da ponuja kar 32-bitne mikrokrmilnike tudi za najbolj preproste naloge, recimo odpiranje in zapiranje okenskega stekla na avtomobilskih vratih. Logična vezja različnih družin 74xx uspešno nadomeščajo vezja programirljive logike različnih velikosti: PAL, GAL, CPLD, FPGA. Meja med nizkofrekvenčno širokopotrošno elektroniko in visokofrekvenčno profesionalno elektroniko je izginila: danes preprosto dobi-

mo vse visokofrekvenčne in mikrovalovne gradnike in to po smešno nizkih cenah.

Širokopotrošni nasledniki vseh digitalnih radijskih omrežij so danes WLAN ali WiFi omrežja. Velikoserijska industrija je uspela integrirati v en sam čip dvojno radijsko postajo za pas 5-6GHz vključno z 200mW oddajnikom, zelo zahteven in zmogljiv OFDM modem, vozliščni računalnik (TNC) in Ethernet vmesnik. Povsem jasno si kaj takšnega ne moremo privoščiti v samogradnji.

Ko nam WLAN-WiFi oprema ne ustreza niti zadošča, bo treba še vedno graditi ločeno radijsko postajo, ločen modem in ločen TNC. Če nam je to všeč ali ne, cilj največkrat pogojuje sredstvo: do cilja na oddaljenosti 1km lahko gremo peš, do cilja na oddaljenosti 100km gremo s komplicirano in drago napravo z imenom avtomobil, ki povrhu še onesnažuje okolje!



Slika 1 - Zasnova ATNCja.

Kot radijska postaja ostaja smiselna izbira BPSK z ničelno medfrekvenco (ZIF). Tu niso profesionalci izumili nič boljšega, le ZIF-PSK so v določenih izdelkih uspeli stlačiti v en sam čip. Tudi notranja zgradba TNCja ostaja enaka: ATNC prav tako vsebuje mikroprocesor, pomnilnike, različne zaporedne vmesnike in pripadajoče "modeme": skrambler in

bitno sinhronizacijo za PSK radijsko postajo, RS232 krmilnike za UARTE in Ethernet-PHY v EATNCju. Dobro zamisli iz starih TNCjev za AX.25 je vsekakor smiselno uporabiti tudi v novem ATNCju.

Kako načrtovati ATNC, seveda zavisi od razpoložljivih gradnikov in možnosti njihove vgradnje. Prvi ATNCji za Ne-Brezhibni Protokol so zasnovani na "avtomobilskih" 32-bitnih mikrokrmilnikih z jedrom ARM iz družine LPC2xxx. Ne glede na procesorsko jedro današnje mikrokrmilnike preprosto delimo na dve veliki družini glede na področje uporabe: avtomobilske in telefonske.

"Avtomobilski" mikrokrmilniki vsebujejo jedro ARM7 ali podobno s taktno frekvenco okoli 50MHz in ohišjem QFP (quad-flat-pack ali poštna znamka). Ohišje QFP ima sicer goste drobne nogice na vseh štirih stranicah, ki prevzamejo toplotne raztezke v širokem razponu. Zanesljivost delovanja določenih sklopov avtomobilske elektronike, recimo zavor, je vsekakor na prvem mestu! Ohišje QFP je razmeroma preprosto prispajkati na enostransko tiskano vezje tudi v domači delavnici in prenese marsikatero neprimerno grobo ravnanje.

"Telefonski" mikrokrmilniki vsebujejo sicer zmogljivejše jedro ARM9 ali podobno s taktno frekvenco okoli 200MHz, večjim pomnilnikom in ohišjem BGA (ball-grid array). Ohišje BGA je še manjše. Gosti priključki zahtevajo večslojno tiskano vezje. Ohišje BGA ne prenese večjih raztezkov, zato temperaturne spremembe ali mehanske obremenitve pogosto potrgajo povezave do BGA čipa. Mikrokrmilniki BGA so sicer zelo poceni, samo 5 evrov za kos. A kaj nam to pomaga, ko bomo za primerno večslojno tiskanino v malo-serijski proizvodnji plačali 500 evrov za kos!

V nasprotju z ostalimi gradniki cena izdelave tiskanih vezij stalno narašča. Pred 20 leti smo seštevali cene polprevodnikov naše gradnje. Danes predstavlja tiskano vezje daleč največji strošek samogradnje. Povrh SMD gradniki nimajo nogic, torej tudi najbolj zankrno dvostransko tiskano vezje potrebuje metalizirane luknje. Nekoč zelo priljubljenih "kit" sestavljanek danes skoraj ne dobimo več, ker bi bile predrage kljub smešno nizkim cenam polprevodnikov!

Samogradnja danes ni tako brezupna, kot to izgleda na prvi pogled. Večja integracija gradnikov pomeni manjše število zunanjih povezav. Mikrokrmilnik ima na primer notranje pomnilnike in notranja vodila, navzven so napeljani le priključki vhodno/izhodnih enot in napajanje. Celotno vezje bitne sinhronizacije in skramblerja lahko sprogramiramo v en sam čip programirljive logike (CPLD) in spet je zunanjih povezav razmeroma malo.

Malo povezav pomeni, da bo naše tiskano vezje le pajek, ki drobcene priključke QFP poštnih znamk (mikrokrmilnik, CPLD ali kaj drugega) razpelje ven na nam dostopne vtičnice. Takšno tiskano vezje je lahko tudi enostransko, torej preprosto izvedljivo v domači delavnici. Preostali gradniki so večinoma SMD kondenzatorji in upori. Na enostranski tiskanini seveda ne bo šlo brez mostičkov. Kratki skoki so lahko SMD mostički "000" ali "0R" velikosti 1206.

Daljši skoki zahtevajo luknjice in žice. Pameten načrtovalec bo namesto žičnih mostičkov tja rajši vgradil navadne (ne SMD) upore oziroma dušilke, če so v danem vezju potrebni in na ta način koristno izrabil še drugo stran enostranske tiskanine. Marsikateri gradnik z nogicami na drugi strani tiskanine nam lahko prihrani veliko prostora: trimer, kvarc, DIL integrirano vezje, konektor itd. Takšna kombinirana gradnja, SMD na eni strani in običajni gradniki z nogicami na drugi strani enostranske tiskanine se je v praksi izkazala kot poceni, učinkovita in hkrati varčna s prostorom!

Za običajna DIL (dual-in-line) ohišja integriranih vezij je bil značilen razpored priključkov v razmaku desetinko col ali 2.54mm. SMD gradniki so te izmere zmanjšali najprej na polovico, ohišja SOIC imajo razmak med nogicami 1.27mm. Nadaljnje manjšanje izmer je prineslo še dodatno zmešnjavo: razmak nogic se po novem meri v milimetrih in ne več v colah. Torej 0.8mm, 0.65mm in nazadnje še 0.5mm. Manj kot 0.5mm je tudi z najsodobnejšimi stroji težko spajkati, omejitev so fizikalne lastnosti same spajke.

Majhnim gradnikom bo treba prilagoditi vsa orodja in tehnike dela. Vsaj z enostranskimi tiskanimi vezji ni težav: tako običajni foto-postopek kot neposredni prenos tonerja z laminatorjem dajeta zadovoljive rezultate tudi za gradnike z razmakom nogic 0.5mm. Za domačo izdelavo priporočam enostranski vitoplast z bakreno folijo debeline 17 mikrometrov ali celo še manj, da je izpodjedkavanje dovolj majhno. Običajni vitoplast ima 35 mikrometrov bakra ali dvakrat več!

Običajna spajka svinec-kositer je povsem primerna tudi za sodobne gradnike, da le uporabimo dovolj drobno spajkalno žico premera 0.4mm do 0.5mm. Obratno so s spajko brez svinca same težave, zato je uporaba spajke brez svinca prepovedana povsod tam, kjer je od nje odvisno človeško življenje: medicina, avionika, vesoljska in vojaška tehnika. Pred vgradnjo SMDjev obvezno pocinimo celotno površino tiskanega vezja s pomočjo obilice stearina.

Tehnika ročnega (ne strojnega) spajkanja drobnih priključkov v razmaku manj kot 1mm se zelo razlikuje od običajnega spajkanja. Glavni trik je v temu, da dodajamo le zelo majhno količino spajke v obilico fluksa. Površinska napetost raztaljene spajke tedaj poskrbi za pravilno razporeditev spajke. Debelina konice spajkalnika pri tem ne igra nobene vloge in je celo lažje delati z debelejšo konico.

Glavni trik je v pravilni izbiri fluksa. Kolofonija je pregosta in je neuporabna za SMD gradnike. Proizvajalci kemikalij zato ponujajo najrazličnejše tekoče flukse. Jaz prisegam na stearin (vosek), ki v staljenem stanju zelo dobro omoči priključke in ga po končanem spajkanju preprosto odstranimo z acetonom.

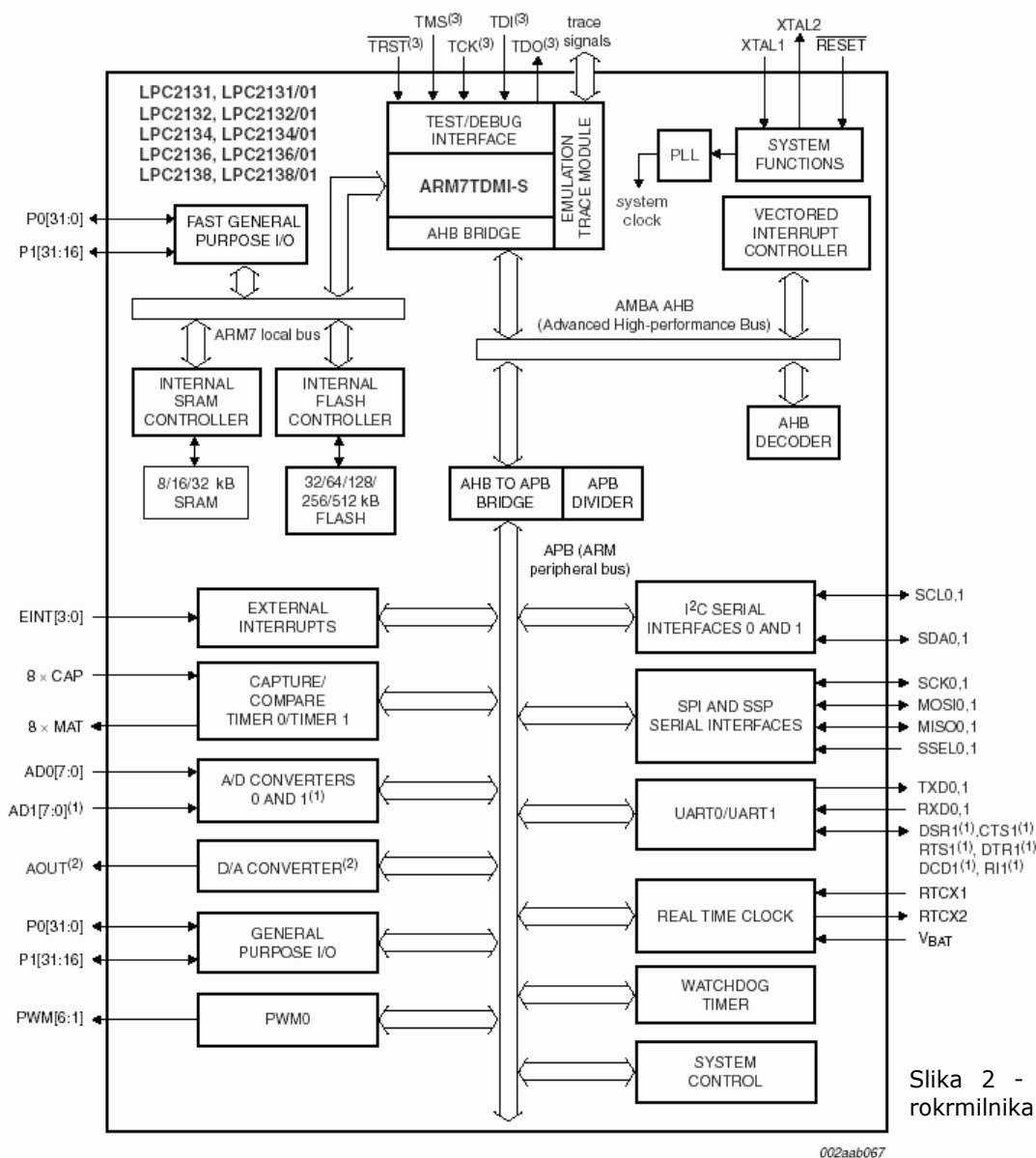
Pri delu s SMD gradniki si bo treba omisliti še dva pripomočka za iskanje napak in popravljanje naše samogradnje. Večina napak so kratki stiki med gostimi priključki: iskanje takšnih napak brez dobrega stereo mikroskopa ne bo šlo. Vsakdo, ki je vsaj malo razmišljal vnaprej, si je pred desetletjem kupil dober ruski mikroskop za majhne denarje na radioamaterskih boljših sejmih. Pri nakupu mikroskopa pazimo na dvoje: povečava

in delovni prostor. Povečava naj bo med 10 in 100. Delovni prostor določa razdalja med opazovanim predmetom in objektivom mikroskopa. Ta naj bo čimvečja, da lahko tudi spajkamo pod mikroskopom.

SMD upor ali kondenzator lahko z malo spretnosti odspajkamo z navadnim spajkalnikom. Lažje gre seveda z dvema spajkalnikoma hkrati na obeh koncih upora ali kondenzatorja. Za odspajkanje sestavnega dela, ki ima več priključkov (QFP poštne znamke jih imajo tudi preko 200) pa potrebujemo spajkalno postajo z vročim zrakom. Na srečo so danes kitajske spajkalne postaje z vročim zrakom dosegljive za razmeroma majhno ceno.

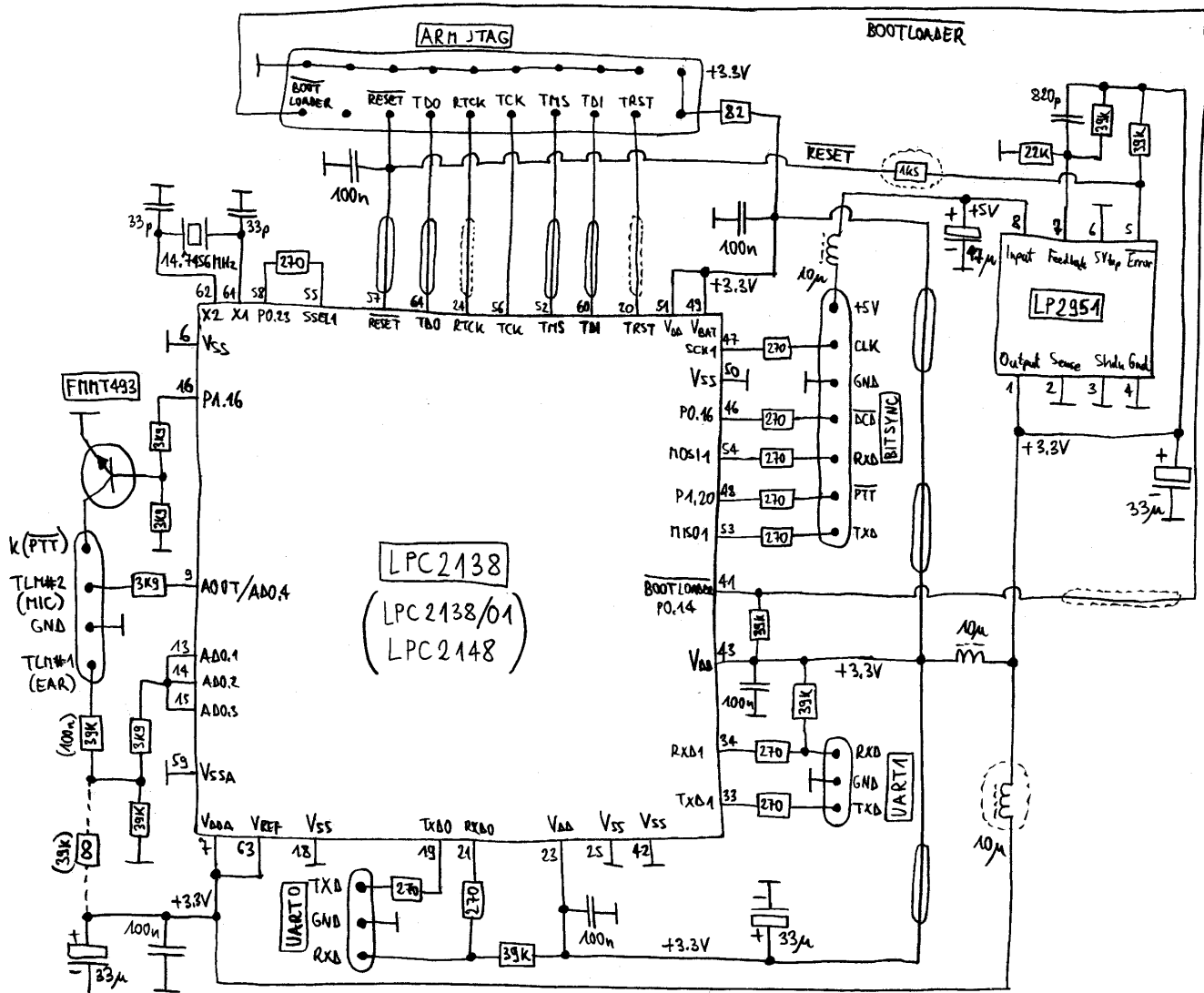
2. Osrednji mikroračunalnik ATNCja

Osrednji mikroračunalnik ATNCja je izveden v celoti z mikrokrmilnikom LPC2138 (Philips ali NXP):



LPC2138 vsebuje zmogljivo 32-bitno procesorsko jedro ARM7TDMI z lastnim izvorom takta in zanesljivim vezjem za "brown-out" RESET, 500kbyte pomnilnika FLASH za program (EEPROM lahko električno brišemo in ponovno vpišemo), 32kbyte pomnilnika RAM za podatke (sicer malo ampak dovolj za TNC) in spremenljivke ter številne vmesnike: dva UARTa za komunikacijo, A/D in D/A pretvornike in celo hardverski pes čuvaj, če bi se naš program nekje zataknil.

Edino, kar manjka v LPC2138 in večini podobnih mikrokrmilnikov drugih proizvajalcev, je zaporedni vmesnik HDLC (X.25) ali podoben, ki bi bil primeren za radijsko prenosno pot. Programski HDLC sicer izkorišča vgrajeni SPI vmesnik, mora pa zaznavati HDLC zastavice, izločati vrinjene ničle ter računati CRC. Vhodni in izhodni signali programskega HDLC vmesnika so izvedeni tako, da so popolnoma enakovredni znanim hardverskim vmesnikom Z8530 ali SAB82532 iz TNCjev za AX.25. Programski HDLC lahko seveda popolnoma prilagodimo radijski prenosni poti, kar za "žične" HDLC Z8530 ali SAB82532 zagotovo ne velja!

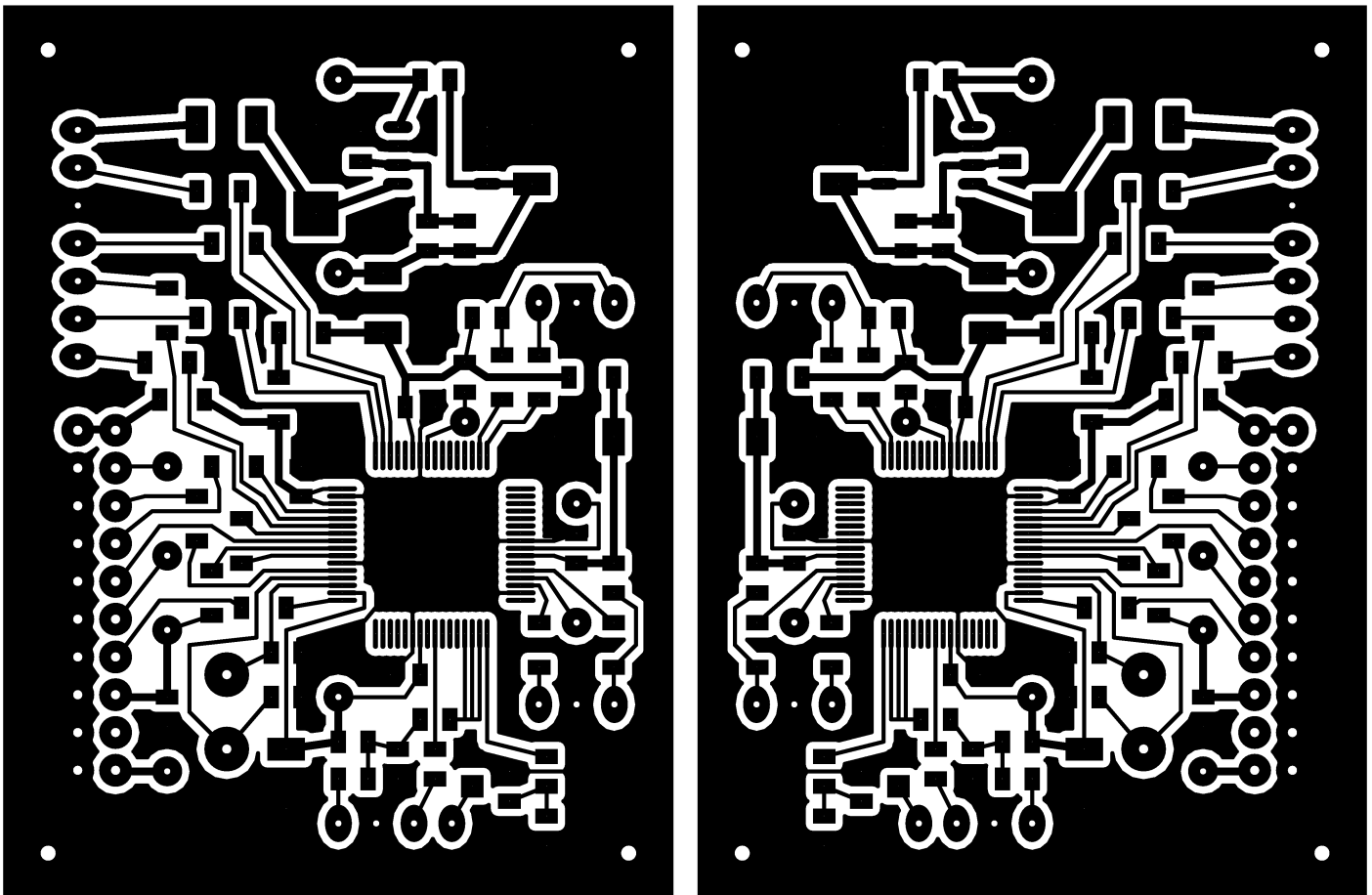


Slika 3 - Električni načrt ATNCja z LPC2138.

Električni načrt ATNCja hitro pove, da je to samo "pajek", ki goste priključke QFP mikrokrmilnika razširi na vtičnice ter poskrbi za napajanje in RESET mikrokrmilnika. Vsi hitri signali imajo zaporedne dušilne upore, ki preprečujejo radijske motnje kot tudi številne napake zaradi "zvonjenja" vodil. Ker vsebuje LPC2138 notranji pomnilnik FLASH, je poleg signalnih vtičnic predvidena še vtičnica za ARM-JTAG programator.

ARM procesor in pomnilniki v notranjosti LPC2138 delajo z napajalno napetostjo +1.8V. Čip mikrokrmilnika vsebuje notranji regulator za +1.8V in ta napetost od zunaj sploh ni dostopna. Zunanje napajanje LPC2138 je +3.3V, blokirano s številnimi kondenzatorji, ki poleg notranjega regulatorja oskrbuje tudi vse vhodno/izhodne stopnje: TTL in analogne. A/D in D/A pretvorniki imajo ločeno napajanje +3.3V, da naj bi bile motnje manjše. Zunanje napajanje tiskanega vezja je +5V, kar regulator LP2951 spusti na +3.3V. LP2951 vsebuje tudi dodatno vezje za reset mikrokrmilnika preko izhoda /Error.

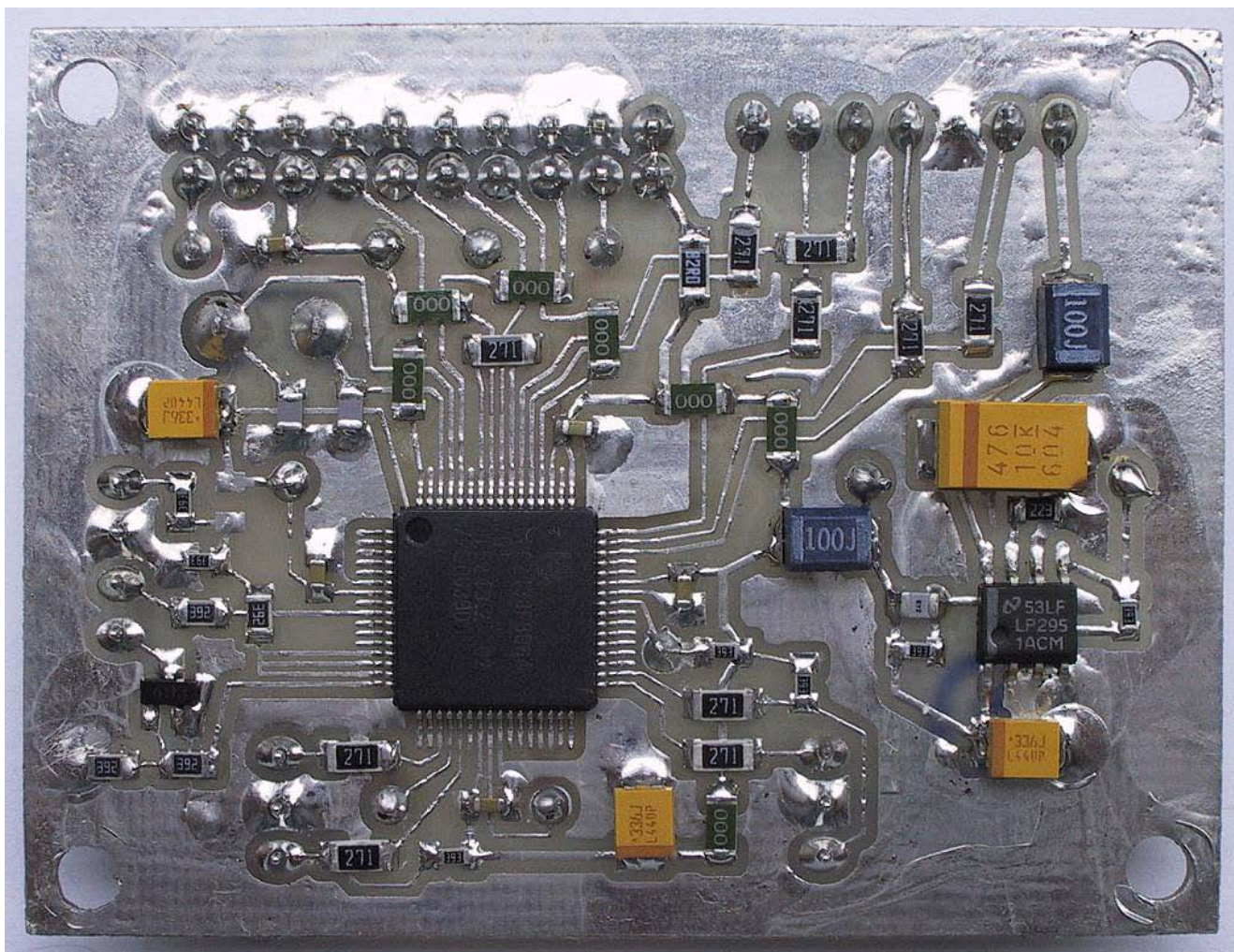
Končno vsebuje mikrokrmilnik LPC2138 tudi dva A/D pretvornika s številnimi vhodi ter en D/A pretvornik. Sedanja inačica programske opreme podpira en A/D pretvornik za dva analogna telemetrijska kanala ter en digitalni izhod za telekomando. Preko istih vmesnikov je seveda možno krmiljenje analognih radijskih postaj na različne načine (gradniki v oklepajih na načrtu), vključno z analognim govorom oziroma s programskimi DSP modemi za APRS ali Manchester.



Slika 4 - Enostransko tiskano vezje ATNCja z LPC2138. Levo - normalno; desno - zrcaljeno

Osrednji mikroračunalnik ATNCja je zgrajen na enostranskem tiskanem vezju z izmerami 45mmX60mm. Na isto tiskano vezje lahko prispajkamo tri različne mikrokrmilnike: poleg izvirnega LPC2138 še novejšo različico LPC2138/01 in mikrokrmilnik LPC2148. LPC2138/01 vsebuje izboljšana A/D pretvornika. LPC2148 vsebuje še USB vmesnik in dodatnih 8kbyte RAM, česar pa programska oprema za ATNC (še) ne zna izkoriščati.

Notranji PLL v mikrokrmilniku je sprogramiran tako, da frekvenco zunanjega kristala za takt pomnoži s štiri. Z nazivnim kristalom 14.7456MHz bo takt procesorja približno 59MHz. Stari LPC2138 (Philips) sicer delajo do približno 80MHz (kristal za 20MHz), novejši LPC2138/01 (NXP) in LPC2148 pa pridejo tudi do 100MHz (kristal za 25MHz). Proizvajalec sicer navaja gornjo frekvenčno mejo 60MHz za vse navedene mikrokrmilnike.

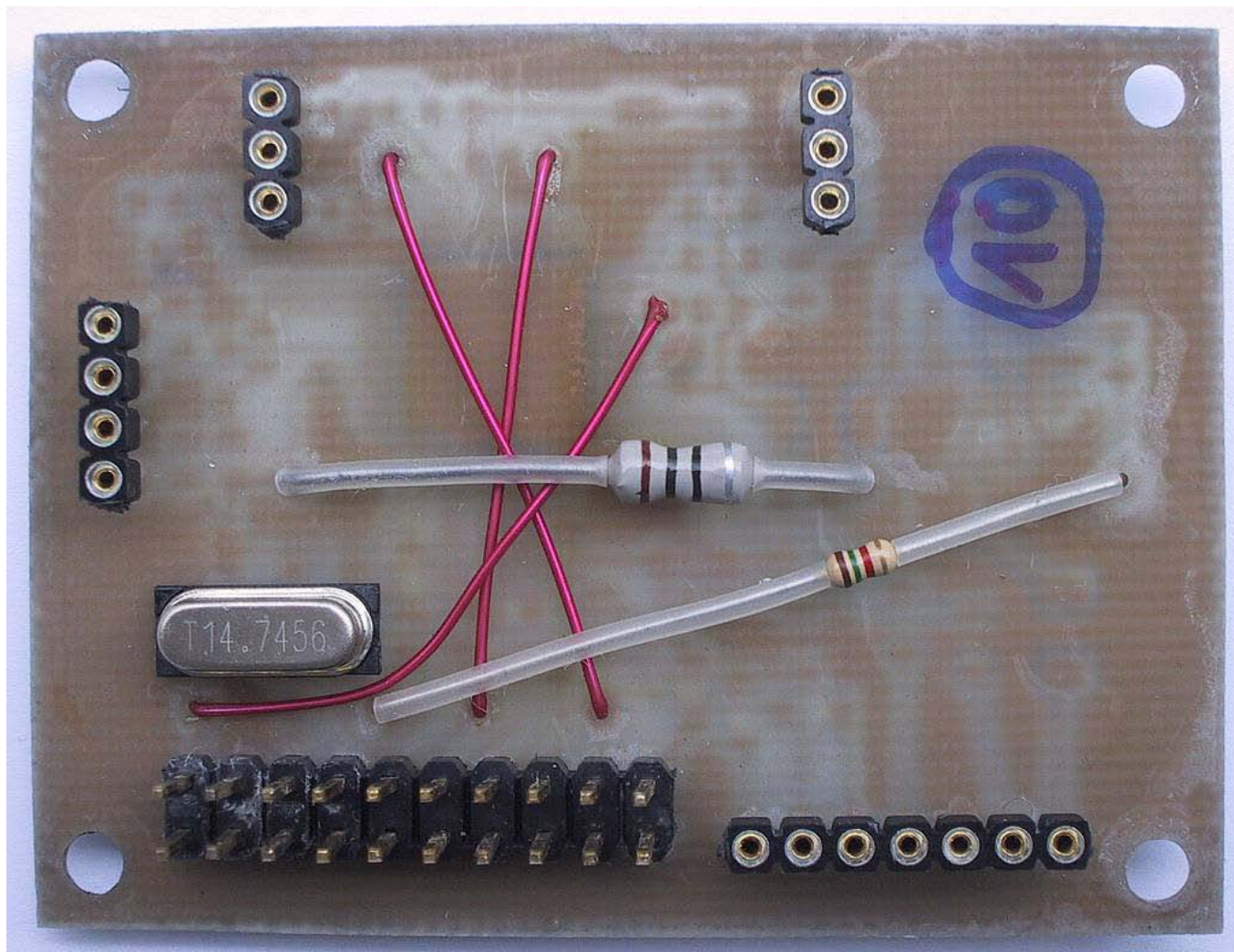


Slika 5 - Spodnja stran tiskanine ATNCja.

Večina gradnikov je SMD in so vgrajeni na spodnjo stran tiskanine. Kot je razvidno iz slike, niso vsi SMD gradniki enako veliki! Upori velikosti 1206 so uporabljeni hkrati kot mostički. Povsod tam, kjer preskok vezice ni potreben, so vgrajeni upori in kondenzatorji velikosti 0603 ali 0805. Dušilke in tantalovi elektrolitski kondenzatorji so seveda največji gradniki.

Gradnjo ATNCja v vsakem primeru začnemo z najzahtevnejšim gradnikom, to je z mikrokrmilnikom LPC2138. Tega moramo najprej pravilno poravnati na vzorec tiskanega vezja, zacimo le dve vogalni tački in poravnavo preverimo pod mikroskopom. Šele nato zacimo ostale tačke, saj je edina pot nazaj zelo zamudna s postajo na vroč zrak!

Ko smo pod mikroskopom preverili, da je vseh 64 tačk pravilno pricinenih brez hladnih spojev in brez kratkih stikov med sosednjimi tačkami, nadaljujemo z ostalimi SMD gradniki. Ko so zacinjeni vsi SMD gradniki, se lotimo še gornje strani tiskanine: najprej trije žični mostički, potem upor, dušilka, kristal in končno pet vtičnic.

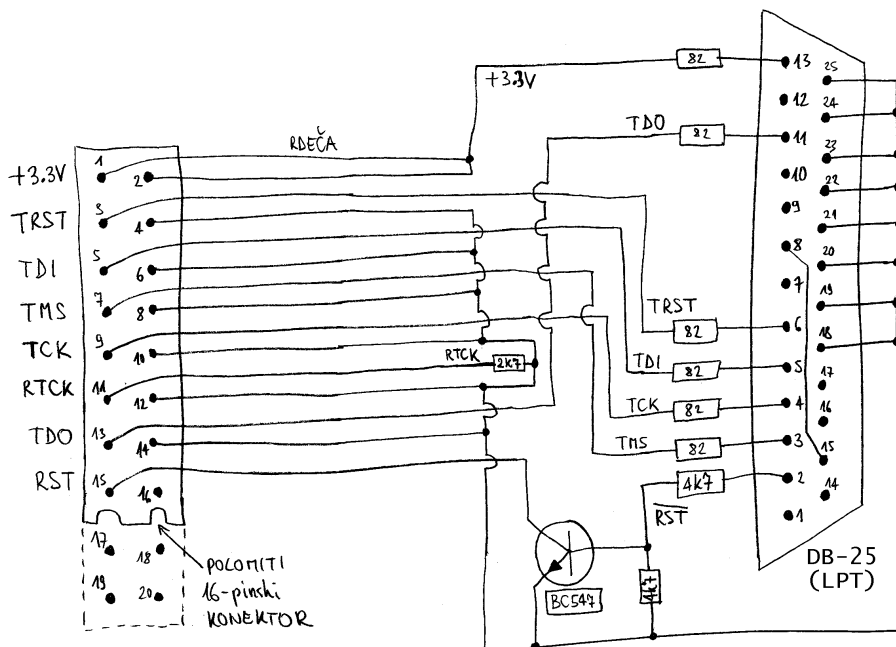


Slika 6 - Zgornja stran tiskanine ATNCja.

Gradnja ATNCja tu sploh še ni končana. Manjka še najpomembnejši del: vpis programa v pomnilnik FLASH. Sodobne mikrokrmilnike običajno programiramo kar v napravi, kamor so vgrajeni. Torej nič več UV žarnice za brisanje pomnilnikov in nič več posebnih programatorjev s "Textool" podnožji, saj za QFP poštna znamke uporabna podnožja sploh ne obstajajo!

Proizvajalci čipov so šli še korak dlje: postopka programiranja pomnilnika FLASH ali EEPROM sploh ne objavljajo več, pač pa v del pomnilnika že v tovarni zapečejo program z imenom "BOOTLOADER", ki se pogovarja z zunanjim svetom na eni strani ter se ukvarja s programiranjem pomnilnika v notranjosti čipa. Na ta način lahko tehnologijo izdelave čipa in natančen postopek programiranja z leti posodobijo, a uporabnik tega sploh ne opazi in še vedno uporablja enak vmesnik: UART (RS232), SPI, USB ali JTAG (glede na proizvajalca in vrsto čipa) z isto programsko opremo.

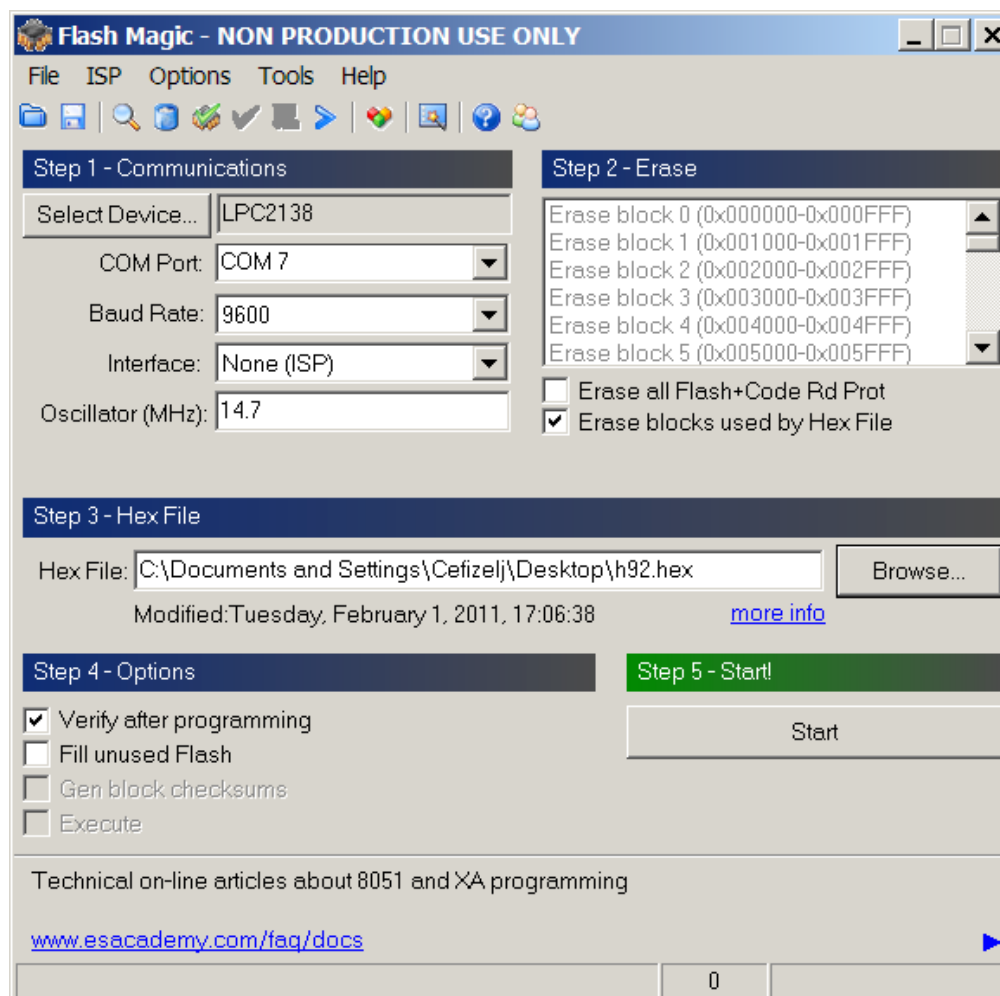
Z "BOOTLOADER"jem mikrokrmilnikov iz družine LPC2xxx se lahko pogovarjamo preko vmesnikov UART0 oziroma JTAG. V obeh primerih potrebuje mikrokrmilnik delujoč takt in RESET. Pri LPC2138 oziroma LPC2148 se iste nogice za JTAG lahko uporabljajo tudi v druge namene. Njihovo točno nalogo določa stanje nogice 24 ali RTCK ob RESETu. RTCK ima vgrajen notranji pull-up upor, visoko stanje ob RESETu izključi JTAG. (Pozor, to ne velja za vse mikrokrmilnike družine LPC2xxx, vsak od njih ima svoj postopek vklopa JTAG!)



Slika 7 - Preprost ARM-JTAG programator "Cigotag".

Preprost programator za LPC2138 zato vsebuje upor 2.7kΩ na maso iz signala RTCK. Upor je potreben zato, ker RTCK postane izhod JTAG vodila! "Cigotag" je tak preprost programator za vodilo JTAG, ki ga priključimo med DB-25 izhod PC računalnika za tiskalnik in JTAG priključek ATNCja. Pripadajoča programska oprema je kitajski "H-JTAG", ki ga dobimo zastonj na spletu. Razen najnovejših inč tega programa vse ostale (od V0.5.0 do V0.9.2) podpirajo vmesnik "Wiggler" na priključku tiskalnika.

Pri vseh mikrokrmilnikih družine LPC2xxx priključimo "BOOTLOADER" na vmesniku UART0 tako, da med RESETom sklenemo določeno nogico na maso. Pri LPC2138 in LPC2148 je to nogica 41 ali P0.14. Nogico 41 običajno drži neaktivno pull-up upor 39kΩ. P0.14 je napeljana na neizkoriščen priključek JTAG vtičnice, kar za programiranje sklenemo na maso z mostičkom. Pripadajoči programator je "FlashMagic", ki ga je napisal sam proizvajalec čipov NXP ter nam ga ponuja zastonj na spletu.



Slika 8 - Program FlashMagic.

Po RESETu "BOOTLOADER" najprej izvede "autobaud" na UART0, da se takoj prilagodi hitrosti prenosa, izbrane v programu "FlashMagic" in to ne glede na takt mikrokontrolnika. Takt mikrokontrolnika sicer moramo vnesti v "FlashMagic" oziroma v "H-Flasher" (del programa "H-JTAG"), da programator pravilno izračuna časovne konstante za vpis v FLASH pomnilnik.

"FlashMagic" je zaradi počasnejšega RS232 nekoliko počasnejši od "H-JTAG" na priključku JTAG, sicer pa sta oba načina programiranja popolnoma enakovredna! Programator "Cigotag" zato pride prav predvsem pri razvoju nove programske opreme, ko pogosto menjamo program v pomnilniku. Prednost "FlashMagic" je v tem, da deluje pravilno prav na vseh PC računalnikih (DB-25 za tiskalnik žal izginja!) in prav na vseh COM priključkih, vključno z najbolj zanikrnimi kitajskimi USB/COM kabli in pretvorniki.

Vsem začetnikom zato priporočam "FlashMagic". "Cigotag" in pripadajoči program "H-JTAG" zahtevajo kar nekaj več nastavitev. Žal se ne moremo kar tako znebiti priključka JTAG, saj ga potrebujemo za vklop "BOOTLOADER"ja na UART0. Sama programska oprema za ATNC izkorišča vsaj še en mostiček (lahko do štiri neodvisne mostičke) na prazni JTAG vtičnici, ko je JTAG vmesnik izključen (odprt RTCK).

Programska oprema za ATNC je napisana v zbirniku ARM, da v ATNCju izkoristimo procesor prav do zadnje kaplje! Zapis z izvornim programom v zbirniku ARM prepoznamo po končnici ".s". Zbirnik prevedemo v izvedljivo strojno kodo z zaporednim izvajanjem dveh programov: ARMASM in ARMLINK. Oba programa sta licenčna. Seveda obstaja tudi podoben preprost prevajalnik ARMC, ki dela skupaj z ARMLINK.

ARMASM naredi najprej vmesni prevod s končnico ".o", ARMLINK pa dokončno strojno kodo v formatu ELF s končnico ".axf". Zapis v obliki ELF je sicer dobro zasnovan, poleg dvojiške strojne kode vsebuje tudi naslove, kam ta koda sodi. Žal se ni uveljavil in ga ne pozna prav noben programator! Zato potrebujemo še program FROMELF, ki iz ELF naredi kaj bolj čitljivega, recimo INTEL-HEX.

Vsi znani programatorji delajo z zapisi v obliki INTEL-HEX (končnica ".hex"), vključno s "H-JTAG" in "FlashMagic". INTEL-HEX vsebuje vse, kar ima ELF, le da je zapisano malo bolj na široko v človeku bolj čitljivi heksadecimalni kodi. Kakršenkoli INTEL-HEX lahko odpremo in takoj pregledamo s kakršnimkoli urejevalnikom besedila, recimo Notepad v Windows.

Če moramo samo sprogramirati mikrokrmilnik enega samega ATNCja z znanim programom, potem potrebujemo samo "FlashMagic" in prevedeni program v obliki INTEL-HEX. Če pa bi radi razvijali lastno različico programa, je zgodba bolj zapletena. Predvsem se moramo najprej izogniti strahotno kompliciranim programskim orodjem, razhroščevalnikom itd, ki nam jih vsiljujejo trgovci s programsko opremo. Te stvari so popolnoma neuporabne!

Če se lotimo mikrokrmilnika, je treba najprej preštudirati njegovo jedro oziroma procesor. V primeru procesorja ARM literature ne manjka in jo z lahkoto najdemo na spletu. Podjetje ARM nam bo na našo zahtevo zastonj poslalo po pošti celo zgoščenko PDF-jev o zgradbi najrazličnejših procesorjev ARM, njihovem naboru ukazov in pripadajočih programskih orodjih.

Nato je treba preštudirati mikrokrmilnik. Bolj točno delovanje pomnilnikov, vezij za takt in RESET ter številnih vmesnikov, ki so vgrajeni v mikrokrmilnik. V primeru mikrokrmilnikov proizvajalca NXP (bivši Philips) moramo za določen izdelek poiskati na spletu PDF "User Manual" za njegovo družino mikrokrmilnikov. Žal je spletna stran proizvajalca NXP slabo urejena in pot do pravega "User Manual" ni vedno samo po sebi umevna. Na isti strani sicer dobimo tudi PDF "Data Sheet", ki je pa skoraj neuporaben!

Končno si moramo urediti naš prevajalnik. Sam sem ARMASM in ARMLINK preprosto izluščil iz enega od onih gromozanskih orodij za programiranje vključno s programom za licenco. Povsem jasno delovanje prevajalnika preverimo na preprostih zgledih, preden se lotimo zahtevnejše naloge.

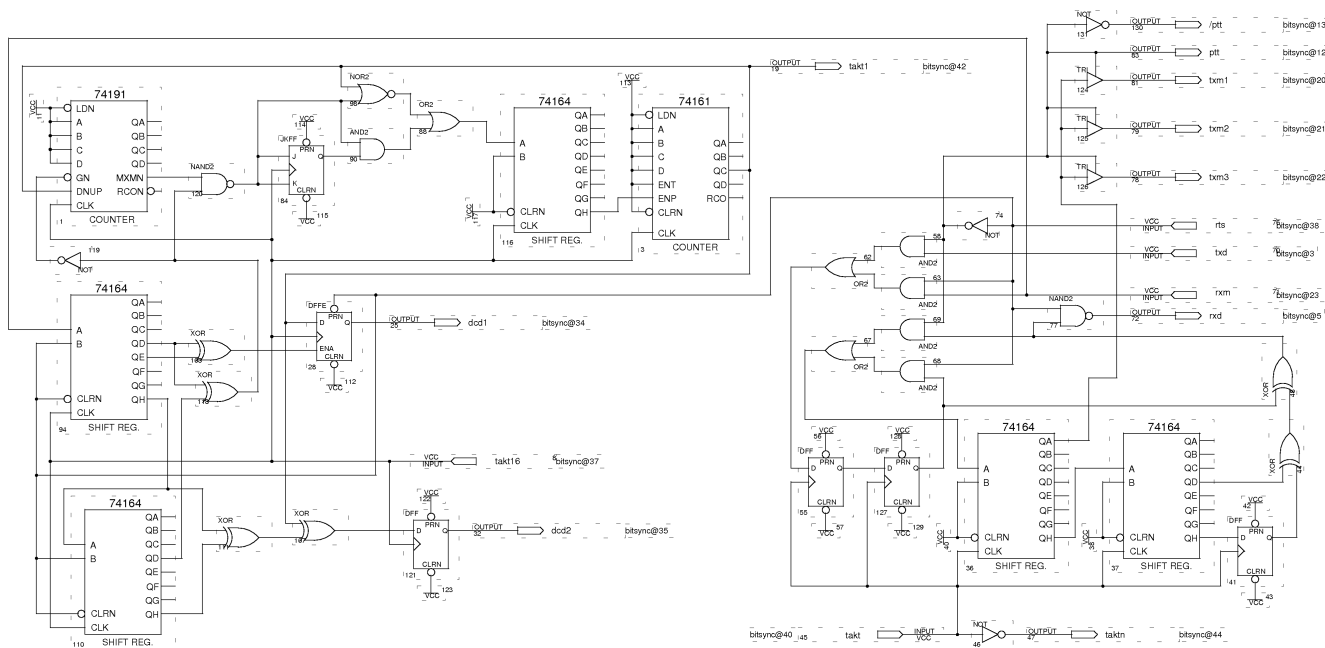
Mikrokrmilnik LPC2138 ni zadnji krik tehnike. Pri uporabi v ATNCju sta očitni dve pomanjkljivosti: razmeroma majhen pomnilnik RAM, samo 32kbyte komaj zadošča za ATNC in odsotnost kakršnekoli podpore za Ethernet. Obe pomanjkljivosti rešujejo novejši

predstavniki družine LPC2xxx, ki vsebujejo enako procesorsko jedro ARM in enake vhodno/izhodne enote se celo nahajajo na istih naslovih. Priredba programa na novejši mikrokrmilnik je zato razmeroma preprosta, še posebno če je iz iste družine istega proizvajalca.

3. Bitna sinhronizacija in skrambler

Današnji 32-bitni mikrokrmilniki s taktno frekvenco 50MHz bi zmogli v celoti obdelati medfrekvenčni (ZIF) BPSK signal do hitrosti prenosa kakšnih 100kbit/s. Smiselna rešitev za višje hitrosti so še vedno namenska vezja. Torej goli BPSK demodulator vgrajen v radijsko postajo, posebno vezje za bitno sinhronizacijo, za skrambler in končno HDLC vmesnik.

HDLC vmesnik je v ATNCju že izveden programsko, torej brez namenskih vezij. Tudi skrambler bi se dal izvesti programsko, a bi precej obremenjeval procesor. Še večjo obremenitev bi za procesor predstavljala bitna sinhronizacija. S ciljem čim lažjega uvajanja novega protokola sem se odločil, da zadržim združljivost s staro opremo za megabitni AX.25 na vseh ravneh. Nova bitna sinhronizacija in skrambler torej opravljata povsem enake naloge kot vezje iz gradnikov 74HCxxx pred poldrugim desetletjem.

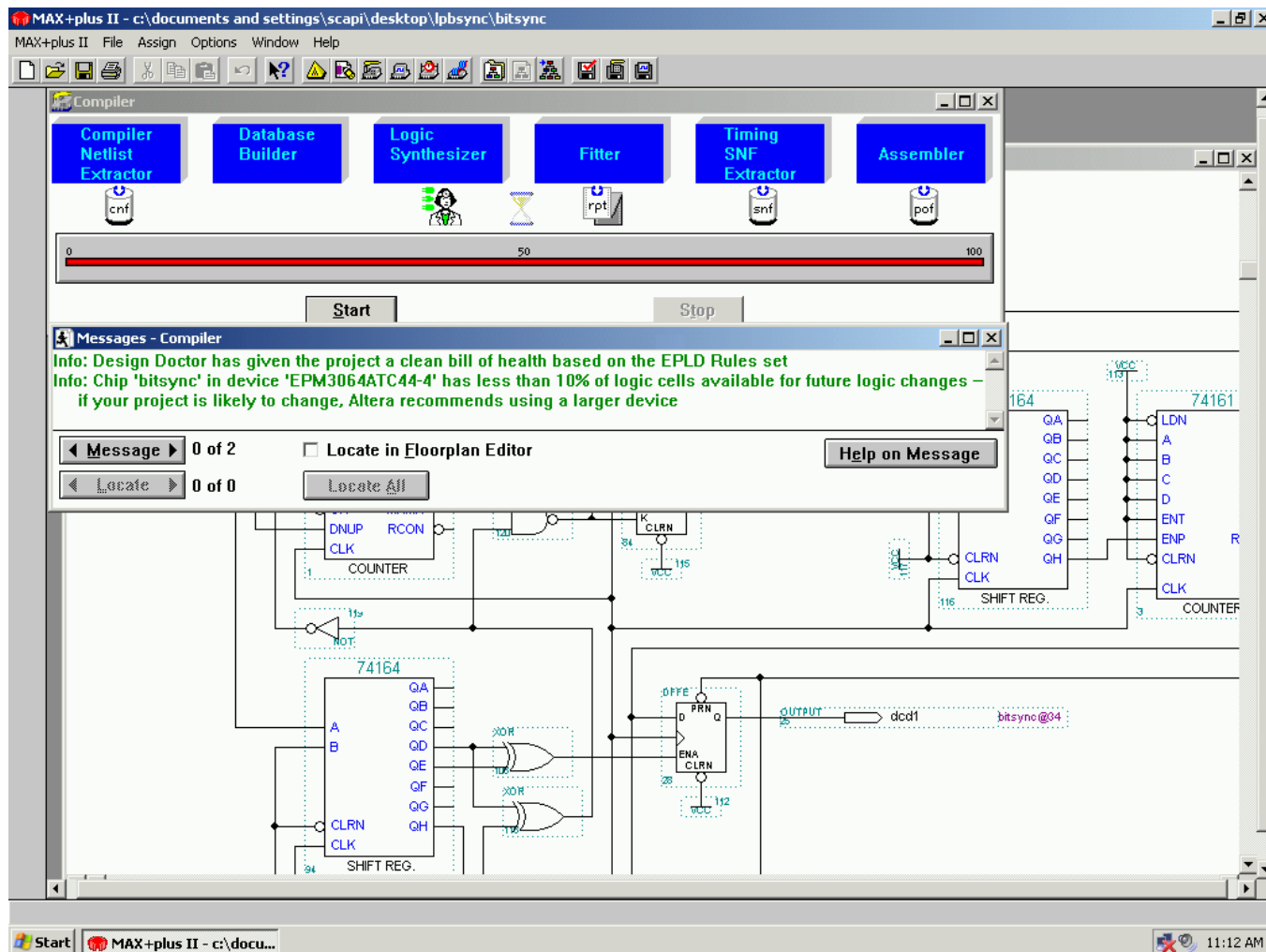


Slika 9 - Vezje bitne sinhronizacije in skramblerja.

Seveda sem skušal novo bitno sinhronizacijo izboljšati. Nova inačica dela s 16-kratnim taktom, vsebuje izboljššan DPLL in poleg starega (izhod dcd1) še izboljšano vezje za DCD (izhod dcd2). Skrambler ostaja polinomski $1+X^{12}+X^{17}$, povsem enak kot v modemih K9NG/G3RUH oziroma v starem megabitnem skramblerju. Novost je tri-state izhod TXM proti radijski postaji. Novi TXM je na sprejemu neaktiven v visoko-impedančnem stanju,

kar omogoča preprosto vzporedno vezavo več različnih naprav: ATNC, megabitni AX.25 TNC, SuperVozelj na eno in isto PSK radijsko postajo.

Načrt na sliki 9 vsebuje prevaro: na prvi pogled izgleda vezje izdelano iz staromodnih gradnikov 74xxx. V resnici je ta načrt samo uporabniški vmesnik programa "MAX+plusII", ki bo narisano vezje prevedel v program in ga zapekel v en sam CPLD čip programirljive logike EPM3064ATC44. Torej ena sama QFP poštna znamka s 44 priključki v razmaku 0.8mm, ki vsebuje v svoji notranjosti 64 programirljivih makrocelic. Vsaka logična makrocelica vsebuje obsežen multiplekser na vhodu, en D-flip-flop in tri-state izhod.

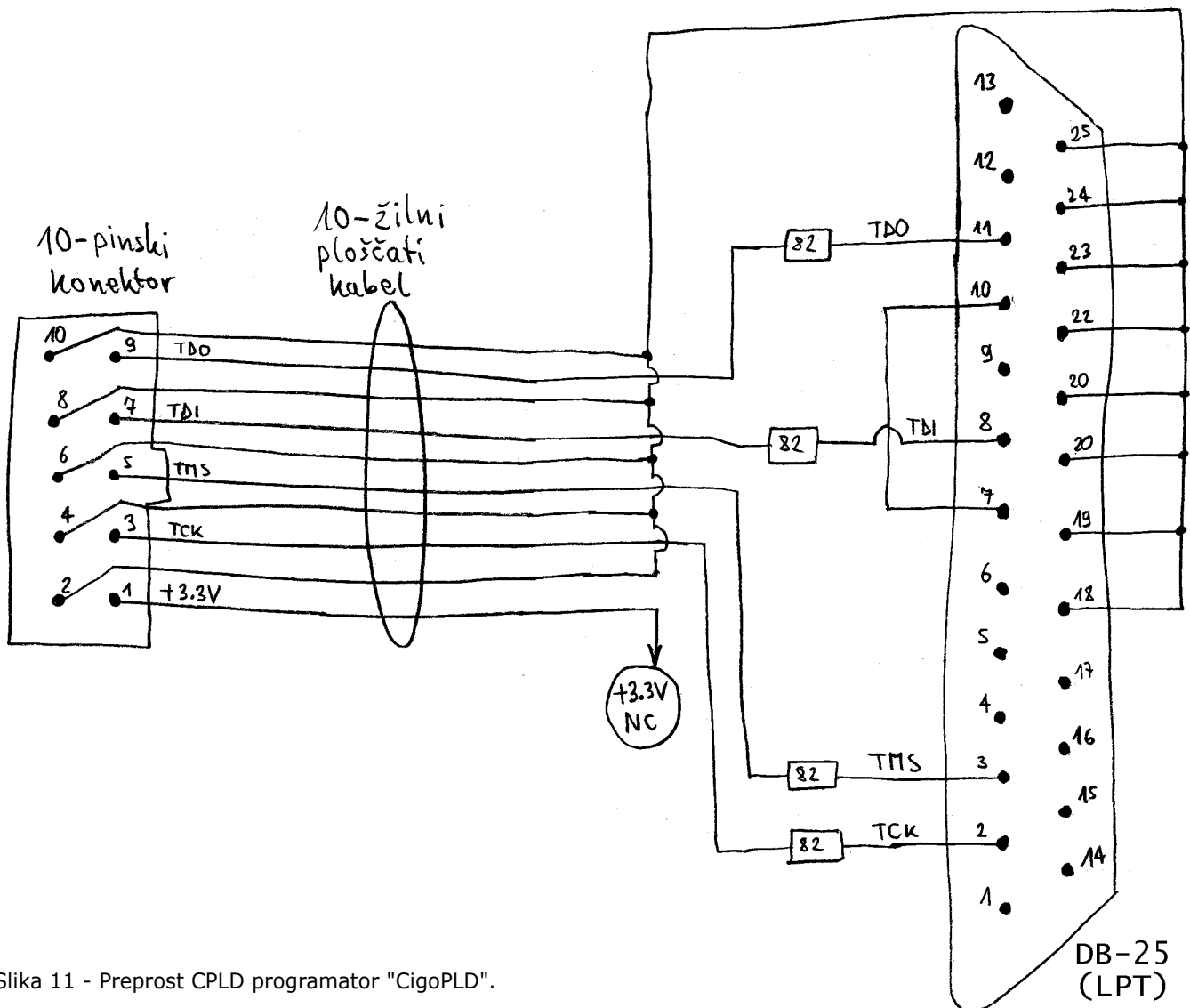


Slika 10 - Programsko orodje "MAX+plusII".

CPLD programirljivo logiko danes izdeluje več različnih proizvajalcev: Xilinx, Altera, Lattice itd. Vsak proizvajalec ponuja na svoji spletni strani tudi razvojna orodja za programiranje svojih izdelkov. Na isti spletni strani dobimo tudi licenčne kode, ki so za okrnjene, študentske ipd. inačice razvojnih orodij običajno zastonj. Razvojno orodje omogoča načrtovanje in preverjanje vezja, njegov prevod v programirljivo logiko in končno samo programiranje FLASH pomnilnika v CPLD vezju.

"MAX+PlusII" je najpreprostejše orodje proizvajalca Altera, ki povsem zadošča našim potrebam. V orodju odpremo "projekt" s številnimi zapisi, od katerih pa sta v resnici potrebna le dva: končnica ".gdf" za električni načrt našega vezja in končnica ".acf" za izbiro CPLD vezja in dodelitev njegovih priključkov našim signalom. Zapis s končnim prevodom ima končnico ".pof" in ga zapečemo v FLASH CPLDja.

Proizvajalec Altera ponuja za svoje CPLD čipe najrazličnejše programatorje, ki niso ravno poceni. Ker za QFP pošne znamke ni praktičnih podnožij, moramo izbrati programator, ki zna zapeči CPLD v samem vezju preko JTAG vmesnika. Altera JTAG jasno ni združljiv z ARM JTAG kljub podobnim imenom signalov, kar pomeni, da bo treba narediti nov kabel "CigoPLD" za povezavo do priključka za tiskalnik našega PC računalnika.

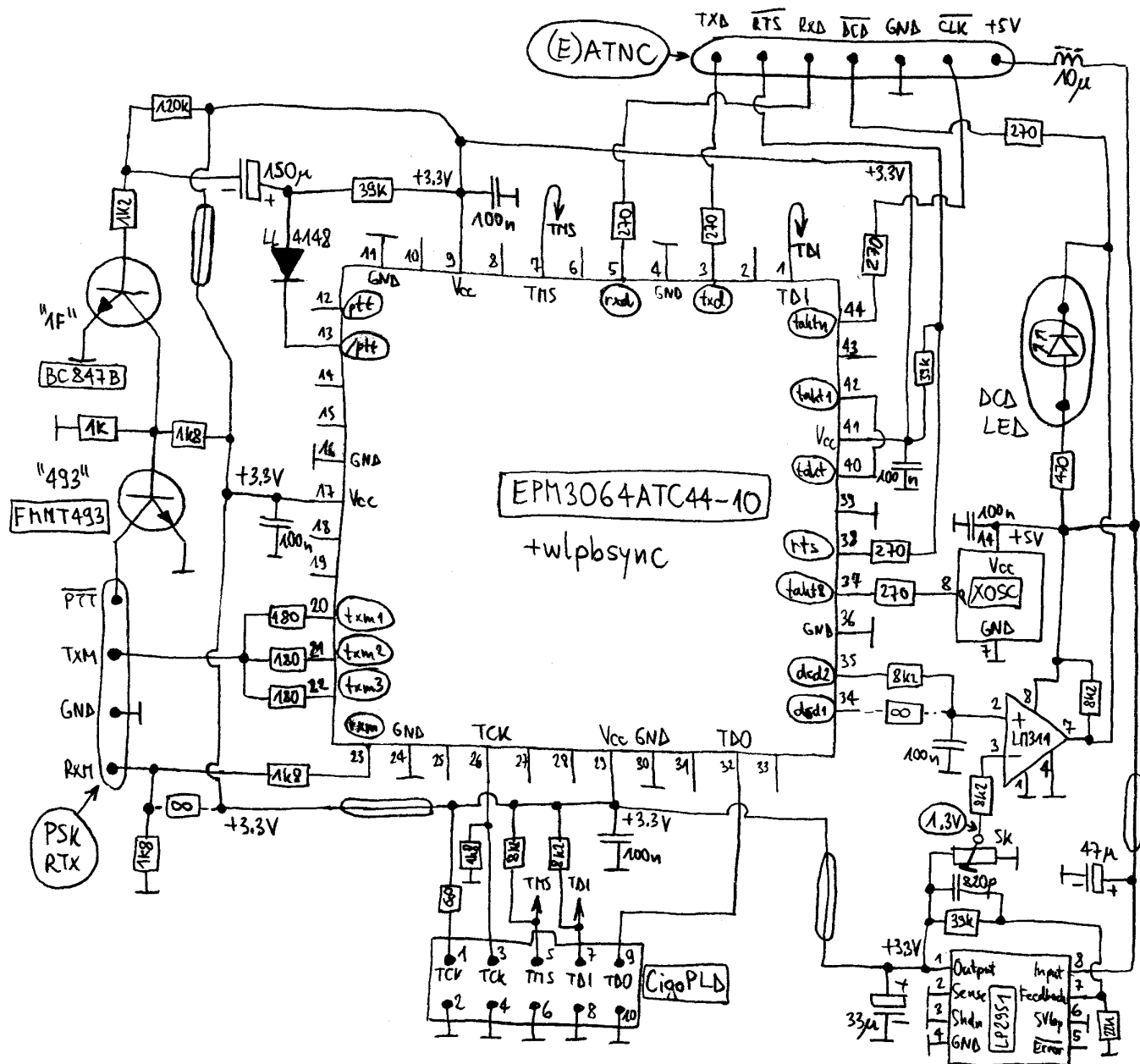


Slika 11 - Preprost CPLD programator "CigoPLD".

Na stani PC računalnika je "CigoPLD" popolnoma združljiv z izvornima programatorjema "ByteBlasterII" oziroma "ByteBlasterMV" proizvajalca Altera. Na strani JTAG priključka ima "CigoPLD" sicer enak 10-polni vtikač kot izvorni programatorji proizvajalca, a so posamezni JTAG signali vezani DRUGAČE, da so medsebojne motnje manjše

in je načrt lahko preprostejši, brez TTL vezij. Pozor! "MAX+plusII" v Win98 ne potrebuje posebne inštalacije programatorja, ampak v WinXP je treba natančno preučiti navodila "MAX+plusII", kako inštalirati gonilnik za kakršenkoli "ByteBlaster".

Če PC računalnik nima več priključka za tiskalnik, bo treba kupiti izvorni USB programator od proizvajalca Altera (zelo drag) oziroma njegov kitajski ponaredek. V obeh primerih bo treba prevezati 10-polni vtikač oziroma narediti adapter. Pozor! "MAX+plusII" ne zna krmiliti čudnih USB vmesnikov, zato različni "ByteBlaster" oziroma "CigoPLD" NE DELAJO z USB adapterji za tiskalnike!

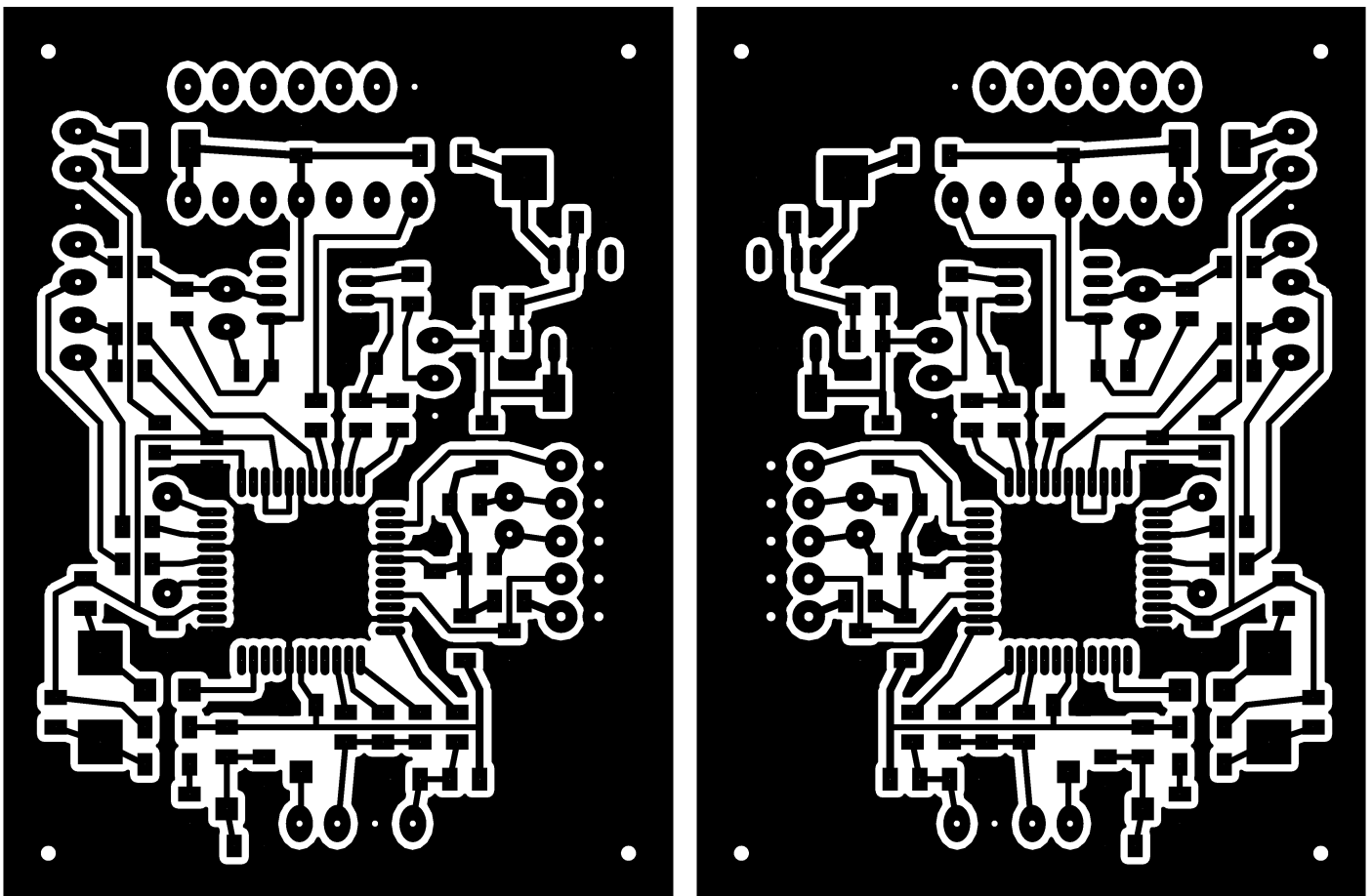


Slika 12 - Električni načrt bitne sinhronizacije z EPM3064.

Podobno kot LPC2138 potrebuje tudi EPM3064ATC44 svoje tiskano vezje s konektorji, napajanjem, taktom in nekaj analognimi drobnarijami. Vhodi in izhodi EPM3064 so sicer združljivi s TTL, a napajanje čipa je +3.3V, za kar poskrbi regulator LP2951 iz razpoložljivih +5V. Sicer obstaja tudi starejša družina CPLDjev istega proizvajalca Altera EPM70xx z napajanjem +5V, ki jo je pa že težje najti na tržišču!

DPLL bitne sinhronizacije potrebuje 16-kratni takt, ki ga proizvaja TTL kristalni oscilator. Za bitno hitrost 1.2288Mbit/s torej potrebujemo oscilator za 19.6608MHz. Vezje za DCD vsebuje tudi zunanji RC integrator in komparator LM311. Prag DCDja nastavimo na približno 1.55V s trimmerjem 5k Ω oziroma toliko, da LED ravno zanesljivo ugasne, ko je na vhodu BPSK sprejemnika prisoten samo šum brez veljavnega signala.

Prenovljena bitna sinhronizacija ima dodan hardverski pes čuvaj za oddajnik. Čuvaj je narejen z bipolarnimi tranzistorji, ker se CMOS vezja vključno z EPM3064 lahko zataknejo ob prenapetostih, recimo ob udaru strele! Časovno konstanto psa čuvaja določa tantalov elektrolitski kondenzator 150 μ F. Upora 39k Ω in 120k Ω omejujeta delež oddaje na približno 70%.

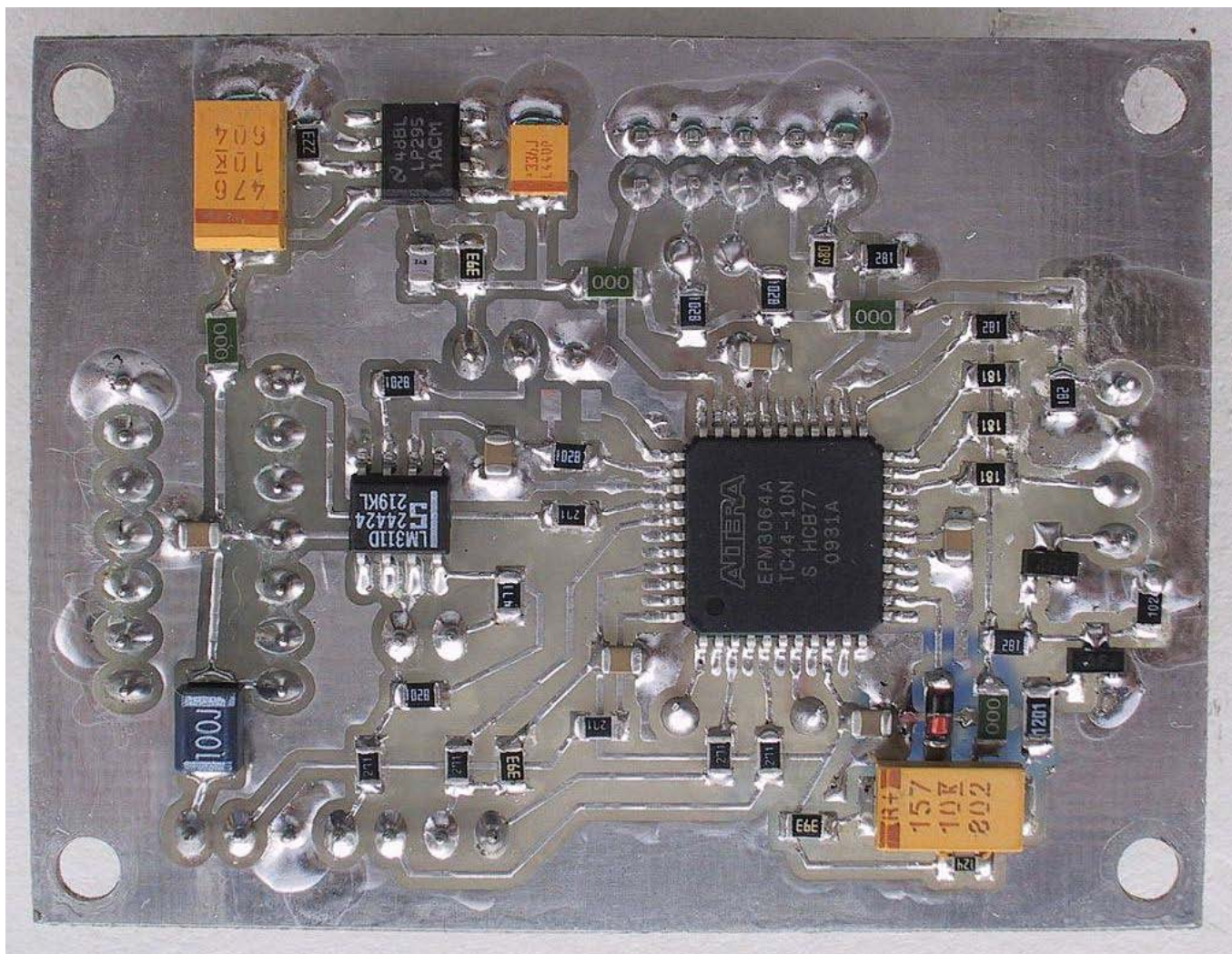


Slika 13 - Enostransko tiskano vezje bitne sinhronizacije z EPM3064. Levo - normalno; desno - zrcaljeno

Prenovljena bitna sinhronizacija in skrambler sta zgrajena na enostranskem tiskanem vezju z izmerami 45mmX60mm. Tudi tu začnemo z vgradnjo QFP poštna znamke EPM3064ATC44, ki jo je zaradi večjega razmaka 0.8mm med priključki nekoliko lažje priciniti od LPC2138. V bitni sinhronizaciji zadošča najcenejša različica EPM3064ATC44-10 (zakasnitev 10ns oziroma takt 100MHz).

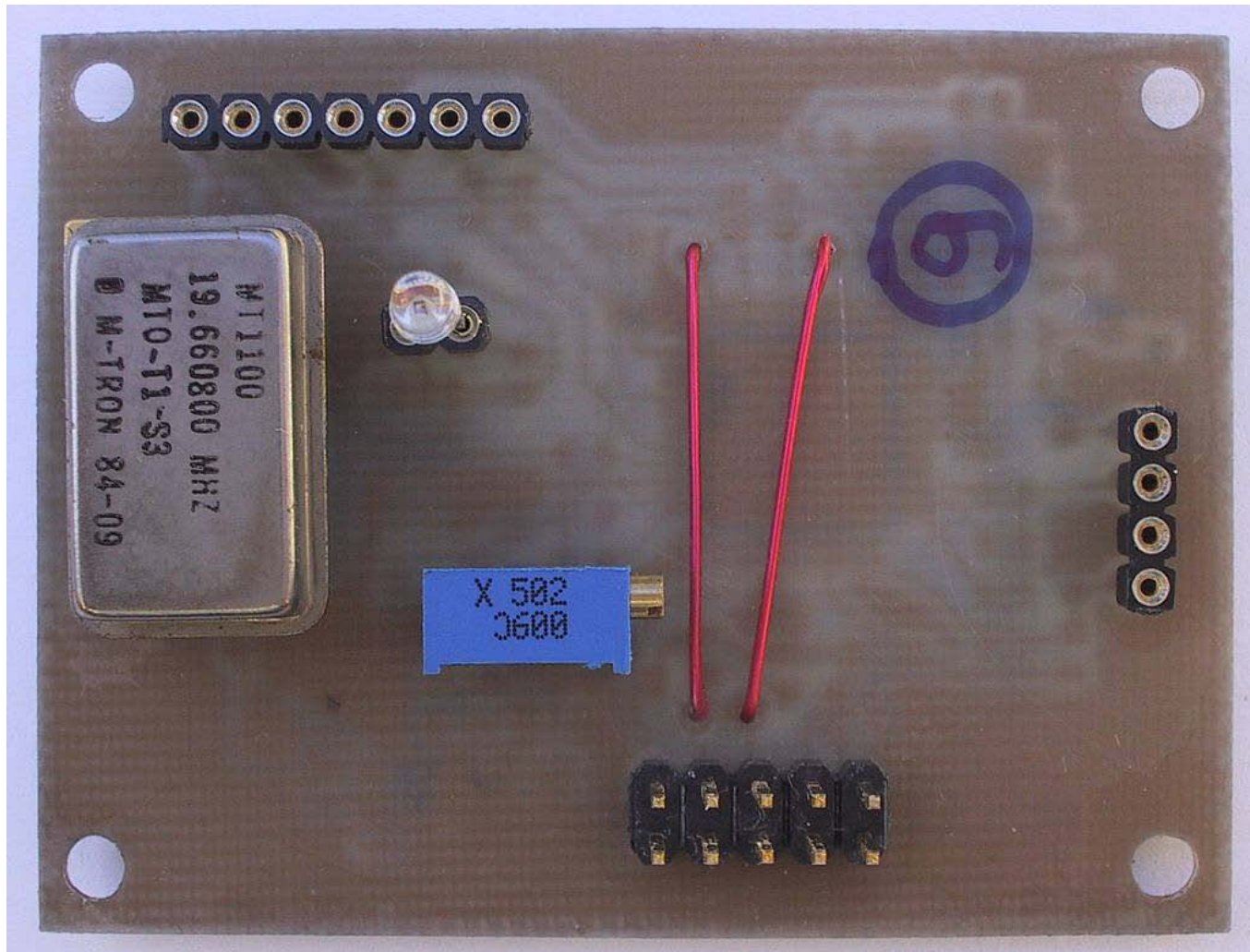
Seveda vezje deluje brezhibno tudi z dražjima različicama "-7" in "-4", ki so pa še vedno dosti cenejše od kopice TTL vezij družine 74HCxxx. V programskem orodju "MAX+plusII" namenoma zapečemo CPLD v varčevalni režim, kar dodatno upočasni delovanje vezja, a hkrati razpolovi porabo električne energije in segrevanje čipa.

Večina gradnikov bitne sinhronizacije in skramblerja je SMD in jih vgradimo na spodnjo stran tiskanine, jasno po uspešno zaključeni vgradnji EPM3064ATC44, kar obvezno preverimo pod mikroskopom! Poleg štirih SMD mostičkov "000" velikosti 1206 so za preskoke vezic uporabljeni tudi večji gradniki: upor 1.2k Ω , dioda LL4148, dušilka 10 μ H in tantalov elektrolitski kondenzator 150 μ F. Neizkoriščeni izhod "dcd1" je povezan na prazna očesca za SMD gradnik (upor).



Slika 14 - Spodnja stran tiskanine bitne sinhronizacije.

Ko so zacinjeni vsi SMD gradniki, se lotimo še gornje strani tiskanine: najprej dva žična mostička, potem podnožje za kristalni oscilator, trimer za DCD in končno štiri vtičnice. Končno v EPM3064ATC44 vpišemo vezje s programskim orodjem "MAX+plusII" in "CigoPLD". Ker "CigoPLD" niti drugi JTAG vmesniki nimajo lastnega napajanja, moramo med programiranjem poskrbeti za napajanje vezja bitne sinhronizacije.



Slika 15 - Zgornja stran tiskanine bitne sinhronizacije.

Proizvajalec CPLD vezij Altera nam sicer ponuja novejša orodja "Quartus" kot posodobljena zamenjava za "MAX+plusII". Novo orodje "Quartus" je gromozansko in ga še nisem preizkusil. "Quartus" sicer zna prečitati načrta, ki smo jih narisali v "MAX+plusII". Končno obstaja še okrnjena inačica "MAX+plusII", ki ne omogoča načrtovanja, pač pa deluje le kot programator: "Altera Stand-Alone Programmer".

4. Krmilnik RS232

Asinhroni zaporedni vmesnik so izumili še pred pojavom elektronike, v davnih časih mehanskih teleprinterjev, v kraljestvu vzvodov, osov, vzmeti, vztrajnikov in zobatih koles. Mehanski teleprinterji so kot električni vmesnik uporabljali tokovno zanko. Naslednik tokovne zanke je vmesnik RS232 v svetu računalnikov. Vsi veliki računalničarji so že zdavnaj klicali smrt RS232, ampak RS232 noče umreti, ravno obratno, čedalje več se uporablja!

RS232 je opisan zelo preprosto: logična enica je negativna napetost od -3V do -15V (vključen tok v zanki teleprinterja), logična ničla pa pozitivna napetost od +3V do +15V (prekinjena zanka teleprinterja). RS232 zaporedni asinhroni vmesnik je prav tako preprost: logična ničla za start, dogovorjeno število bitov za podatek in enica za stop, ki mora biti daljša od enega bita, je pa lahko poljubno dolga.

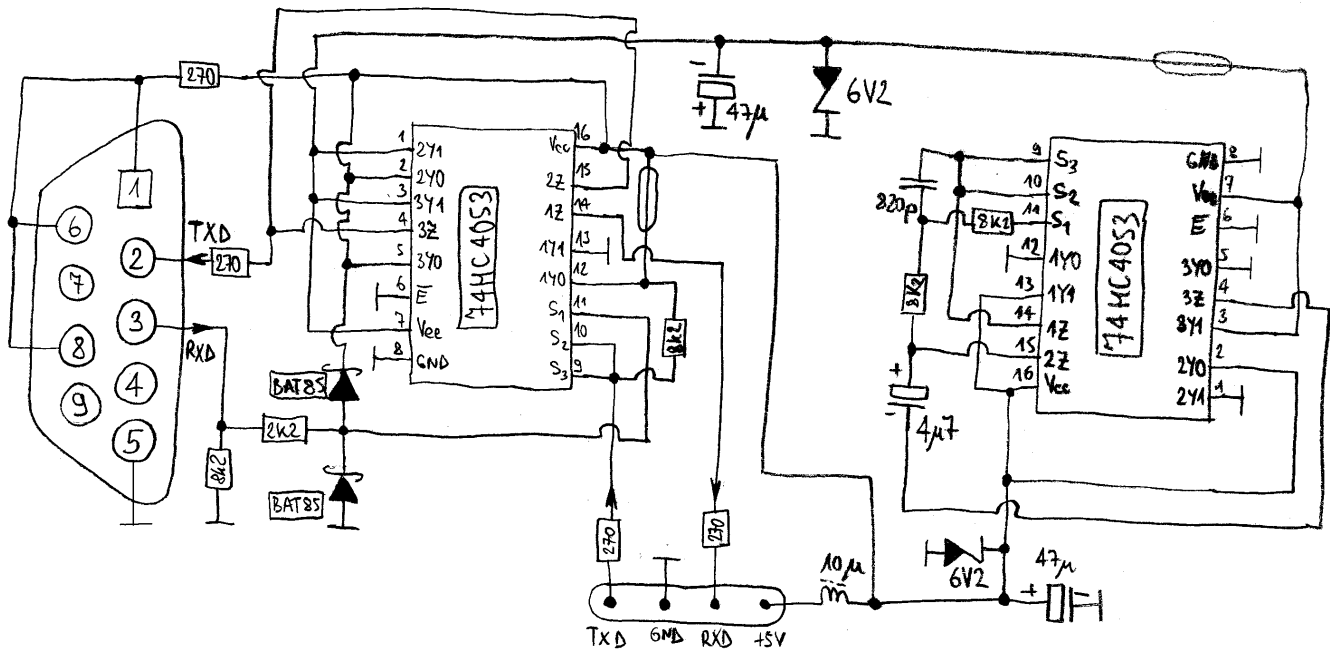
Velika moč RS232 je prav v njegovi enostavnosti: ni nam potrebno poznati naslova sogovornika niti stanja številnih protokolskih spremenljivk niti ne potrebuje posebnega gonilnika kot USB. Celotna komunikacija lahko teče po eni sami žici! Edina neznanka je dogovorjeni čas trajanja enega bita in tu nas rešuje "autobaud", ki ga poznajo vsi sodobni asinhroni vmesniki (UART).

RS232 najprej potrebujemo za programiranje z "BOOTLOADER"jem vseh sodobnih mikrokrmilnikov, saj je vgrajeni RC oscilator zadosti točen le za "autobaud" na RS232. Preko RS232 nato vstopamo v naš uporabniški program, kjer moramo nastaviti vsaj naslov za kakšen višji protokol, recimo Ethernet MAC številko. Nenazadnje pride RS232 zelo prav pri resničnem razhroščevanju, ko višji protokoli odpovejo. Zakaj potemtakem ne bi uporabljali RS232 tudi za čisto vsakdanje reči, ko brez njega itak ne moremo nič narediti?

Hiba RS232 je uporaba razmeroma visokih napetosti (okoli 12V) in po vrhu še obeh polaritet, pozitivnih in negativnih. Tudi do navadnih TTL vezij potrebujemo krmilnike v obe smeri. Najbolj znana čipa sta zagotovo RS232 oddajnik 1488 in RS232 sprejemnik 1489. Vsi RS232 krmilniki obračajo polariteto signala, da se +12V RS232 logična ničla pretvori v 0V TTL in -12V RS232 logična enica v +3.3V TTL ali več.

Čedalje višje hitrosti delovanja RS232 ter visoke napetosti so prinesle preplah pred sevanjem radijskih motenj. Posledica preplaha je predpis, ki omejuje hitrost delovanja sodobnih RS232 oddajnikov na 115kbit/s, recimo znano vezje MAX232. Predpisu v posmeh delujejo druga vodila, na primer RS422, RS423, RS485, USB, CAN, Ethernet še z dosti višjimi hitrostmi prenosa po neoklopljenih vodnikih. Stari RS232 oddajniki, na primer 1488, pridejo tudi čez 500kbit/s.

Ker niti najhitrejši predpisani RS232 oddajniki ne presežejo 1.2Mbit/s, je kljub množici namenskih čipov na tržišču še kako smiselno razviti in izdelati lasten krmilnik RS232. Kot osnovni gradniki se dobro obnesejo CMOS preklopniki 74HC4053, ki znajo delati v celotnem razponu napetosti od negativnega napajanja $V_{ee} = -5V$ do pozitivnega napajanja $V_{cc} = +5V$.



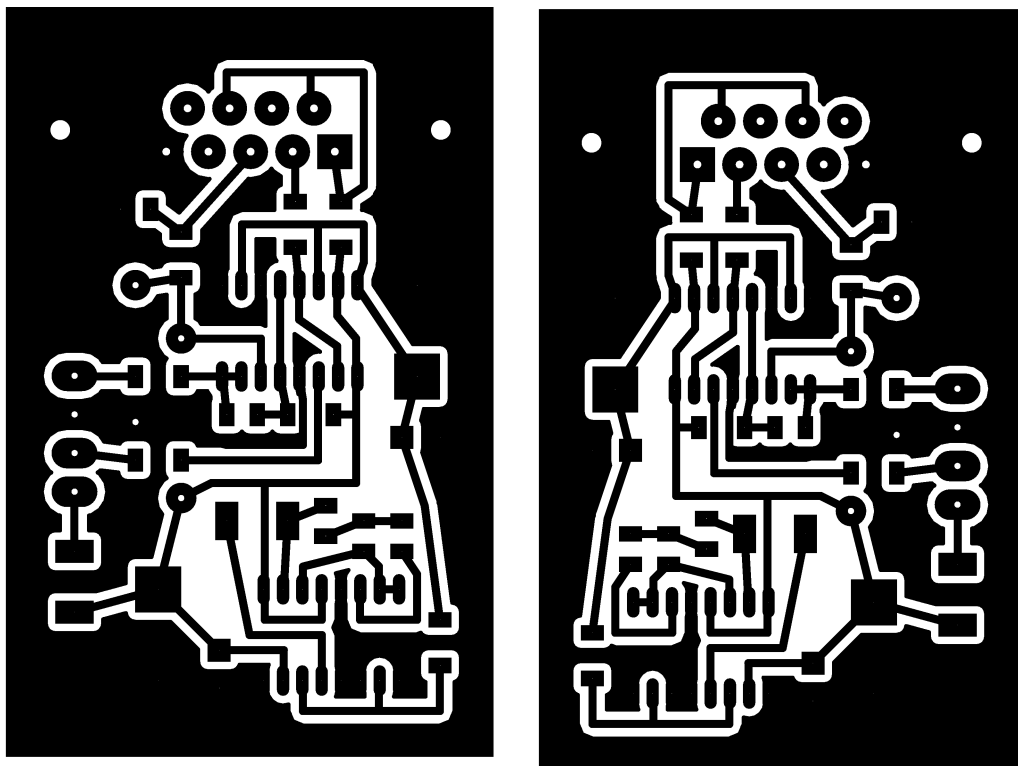
Slika 16 - Električni načrt krmilnika RS232.

En 74HC4053 vsebuje tri analogne CMOS preklopnike. Dva preklopnika sta vezana vzporedno za RS232 oddajnik, kar omogoča razpon izhodne napetosti $\pm 5V$. Tretji preklopnik dela kot RS232 sprejemnik. Vhod sprejemnika je zaščiteno z dvema Schottky diodama BAT85, ker predpis RS232 zahteva odpornost na vhodne signale vse do $\pm 25V$! Kontrolni izhodi DB-9 vtičnice RS232 so vezani kar na $+5V$ preko zaščitnega upora, kontrolni vhodi pa so puščeni odprti, saj jih v ATNCju ne potrebujemo.

Drugi 74HC4053 je uporabljen kot napetostni pretvornik, ki iz zunanjega napajanja $+5V$ naredi negativno napetost $-5V$ za RS232 oddajnik. Dva CMOS preklopnika sta pri tem vezana v močnostni 70kHz oscilator, napajan s $+5V$. Preostali tretji CMOS preklopnik dela kot sinhroni usmernik za $-5V$ enako kot v znanem vezju ICL7660, le da je 74HC4053 cenejša zamenjava. Glavna prednost sinhronnega usmernika je v manjšem padcu napetosti od diodnih usmernikov. Dve Zener diodi za 6.2V ščitita opisani krmilnik in ostala vezja ATNCja pred višjimi napetostmi, ki lahko zaidejo v ATNC preko vtičnice DB-9 iz drugih naprav z vmesniki RS232.

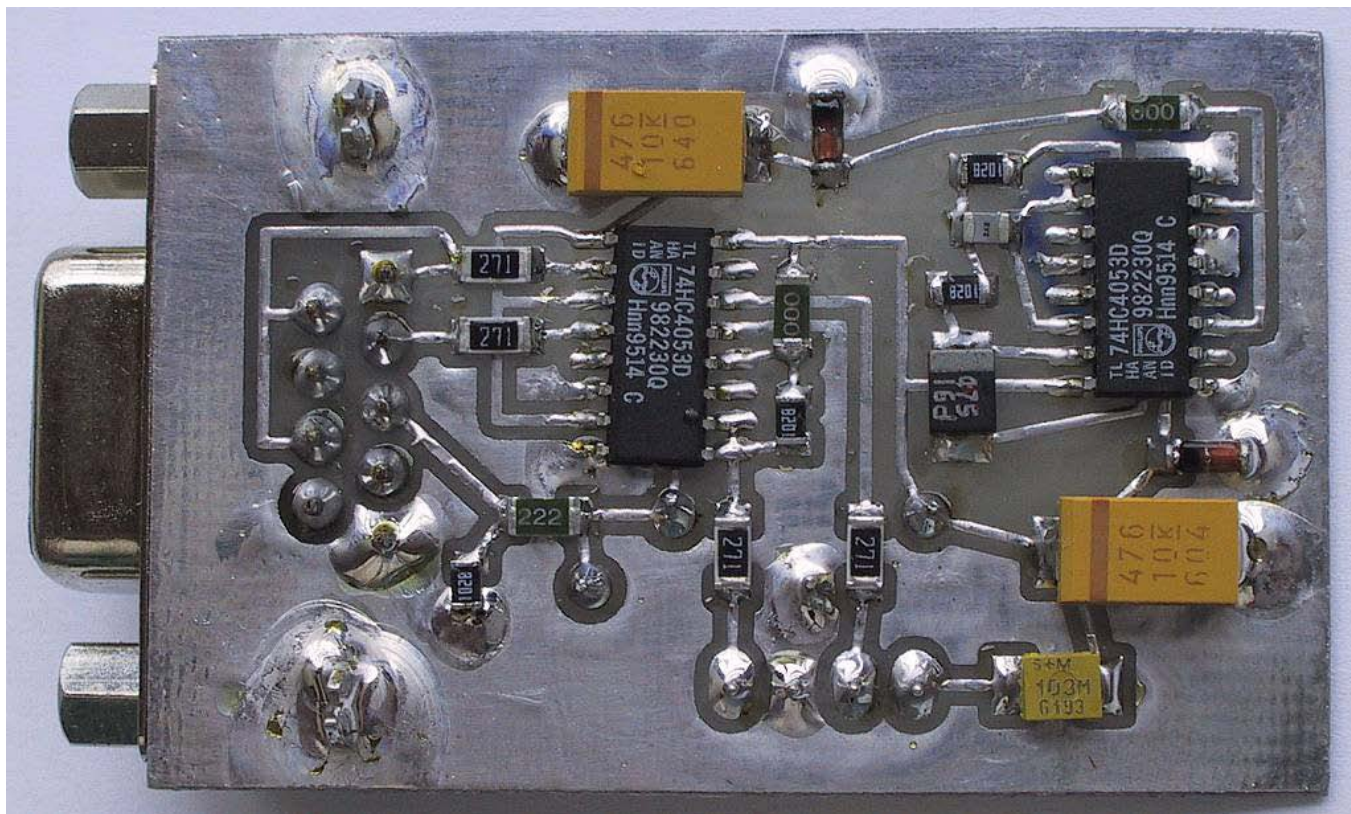
Opisani krmilnik RS232 je uspešno preizkušen vse do hitrosti 921.6kbit/s z najrazličnejšimi vmesniki RS232: različna COM vrata osebnih računalnikov, različni zunanji USB/COM pretvorniki (FTDI in Prolific) in krmilniki 1488/1489 v megabitnih TNCjih za AX.25.

V medsebojni zvezi dveh ali več enakih udeležencev je opisani krmilnik RS232 uspešno preizkušen do 4Mbit/s, kar je omejitev ATNCja pri vezavi več ATNCjev v vozlišče ASV. Prav hitrost lokalne zanke je ozko grlo ASVja, zato preprosto ni nobene zamenjave za opisano vezje, če želimo ostati združljivi z RS232. Povsem jasno bi morali krmilniki za RS422, RS423 oziroma RS485 delati vse do 10Mbit/s.

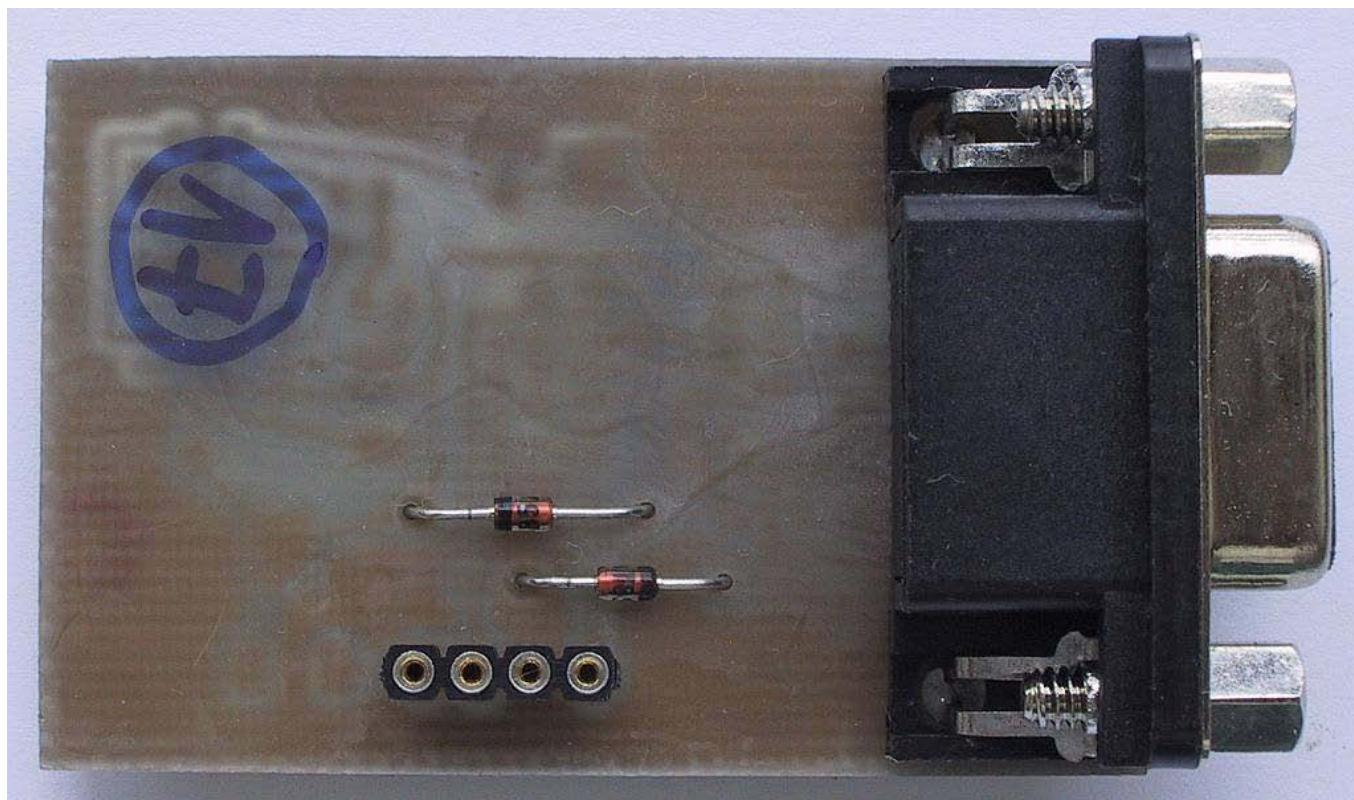


Slika 17 - Tiskano vezje krmilnika RS232.
Levo - normalno; desno - zrcaljeno

Krmilnik RS232 je zgrajen na enostranskem tiskanem vezju z izmerami 32mmX-50mm. Večina gradnikov je SMD in so vgrajeni na spodnjo stran tiskanine.



Slika 18 - Spodnja stran tiskanine krmilnika RS232.



Slika 19 - Zgornja stran tiskanine krmilnika RS232.

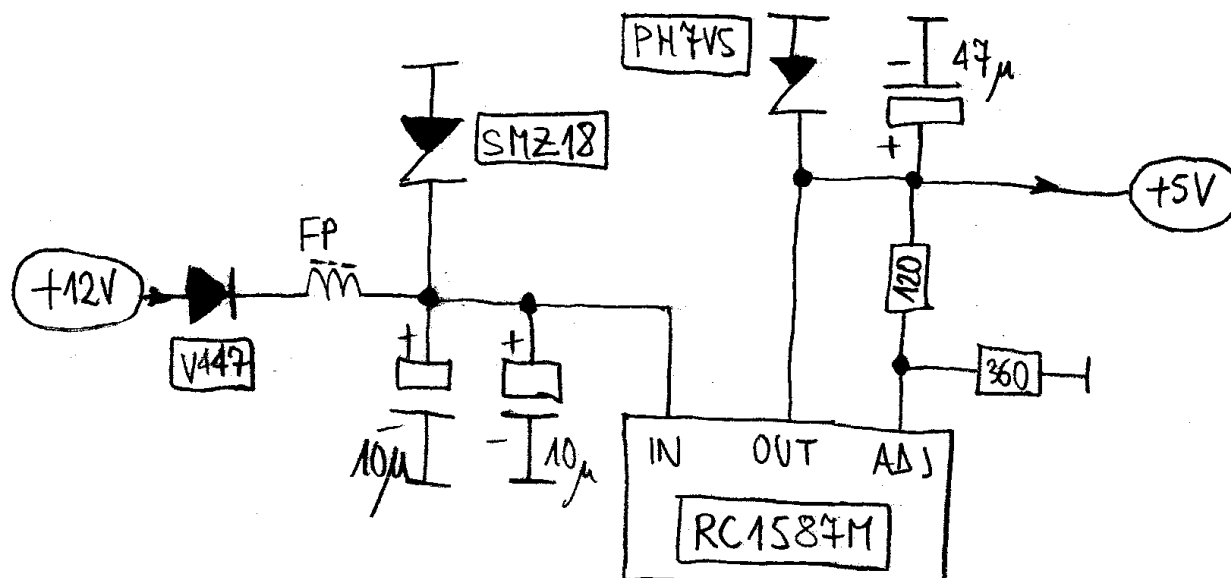
Na gornji strani tiskanine sta vgrajeni le dve Schottky diodi BAT85 in obe vtičnici.

5. Napajanje in ohišje ATNCja

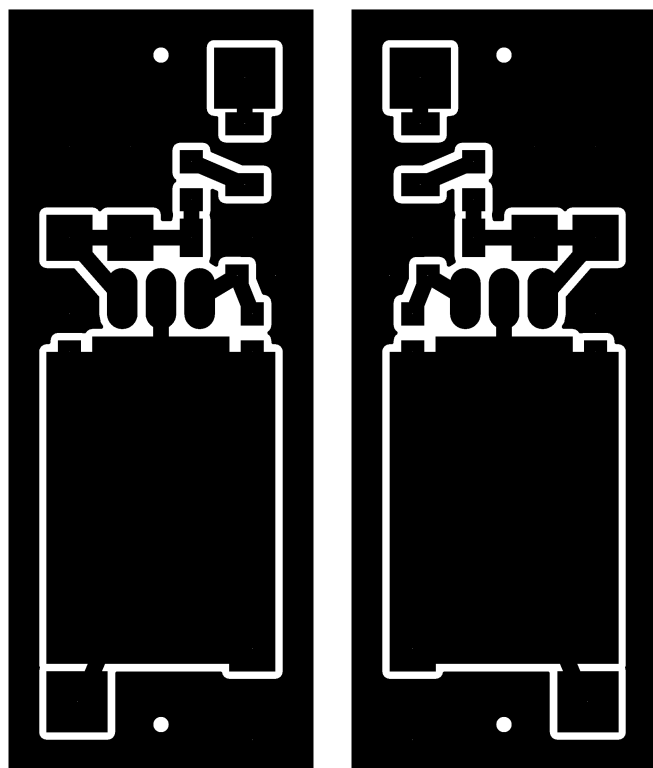
Vse enote ATNCja potrebujejo napajanje +5V. Skupna poraba znaša dobrih 100mA, odvisno od izbranih taktnih frekvenc različnih CMOS gradnikov. Preprosta rešitev je regulator 7805, izvedba v ohišju TO-220. Tak 7805 se privije na pločevino ohišja, kamor odvaja slab 1W toplote pri zunanjem napajanju 13.8V. Regulator 7805 seveda potrebuje blokirna kondenzatorja na vходу in na izhodu. Tudi kakšna zaščitna dioda ni odveč. Torej kar nekaj gradnikov v zraku?

Kakršenkoli napetostni regulator vgradimo, tistih nekaj dodatnih kondenzatorjev in diod bo treba vedno vgraditi zraven. Doma sem imel večjo količino SMD regulatorjev RC1587M (podobni LM317), zato sem napravil zanj majhno tiskano vezje s tistimi nekaj dodatnimi gradniki. Električni načrt mojega napajalnika je seveda neobvezujoč!

Napajalnik je zgrajen na enostranskem tiskanem vezju z izmerami 20mmX50mm. Vsi gradniki so SMD, zato ima tiskanina le dve pritrdilni luknji na razdalji 44mm. Tiskanina se pritrdi tesno ob dno pločevinaste škatle ATNCja. Za boljše odvajanje toplote priporočam uporabo vitroplasta debeline samo 0.8mm ali še tanjšega, med tiskano in aluminij pa malo silikonske masti.



Slika 20 - Električni načrt napajalnika z RC1587M.

Slika 21 - Tiskano vezje napajalnika z RC1587M.
Levo - normalno; desno - zrcaljeno

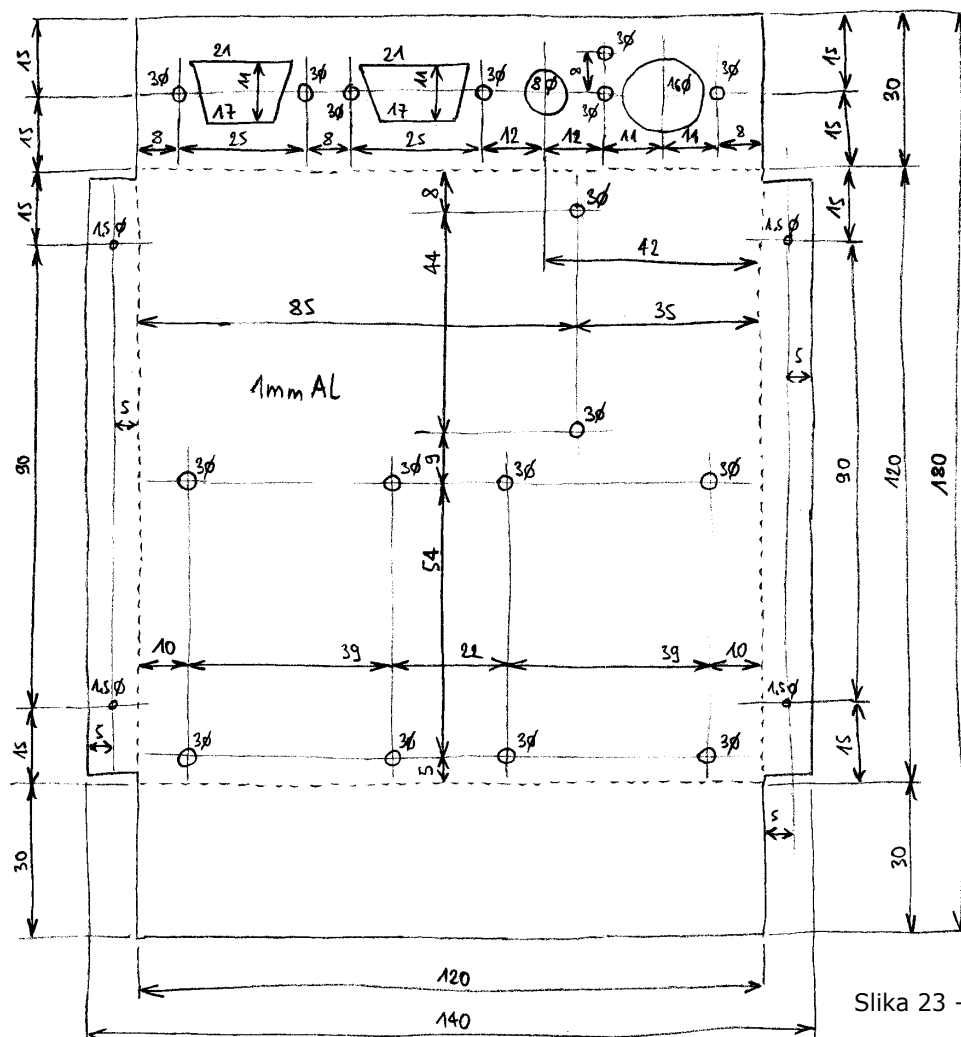
Ker je ATNC predviden za delo z radijskimi postajami in tudi sam vsebuje vezja, ki delajo s takti v področju radijskih frekvenc, priporočam vgradnjo vseh enot ATNCja v oklopljeno kovinsko ohišje. V eno kovinsko ohišje lahko vgradimo en sam ATNC ali pa več ATNCjev, ki so že znotraj ohišja povezani v vozlišče ASV. Ploščici ASVja in bitne sinhronizacije imata enako nameščeni 7-polni vtičnici, da ju lahko vgradimo eno nad drugo in prihranimo s prostorom. Torej je različnih možnost vgradnje in ožičenja res veliko.

Za prve poskuse priporočam preprosto ohišje iz nepobarvanega aluminija, kjer so vse enote nameščene "na široko" v eni ravnini. Pri načrtovanju ohišja seveda ne smemo pozabiti na število vtičnic in prostor, ki ga zavzamejo.

jo. ATNC potrebuje štiri vtičnice: PSK radijska postaja, 12V napajanje in dve vtičnici DB-9 za dva priključka RS232: upravljanje ATNCja na 9600bit/s in SLIP/KISS povezava na PC računalnik. Poleg vtičnic sodi na prednjo ploščo še svetleča dioda za DCD.



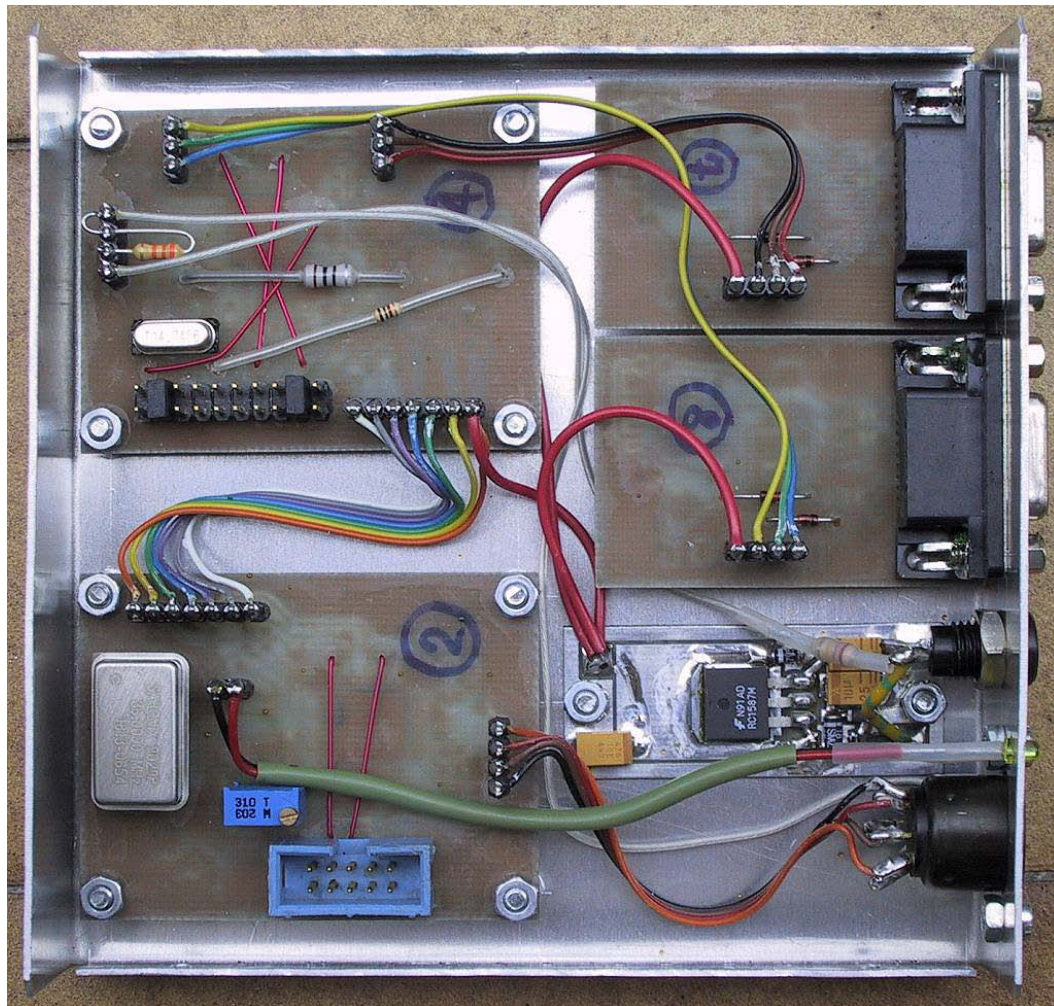
Slika 22 - Izgled napajalnika z RC1587M.



Slika 23 - Dno ohišja za preprost ATNC.

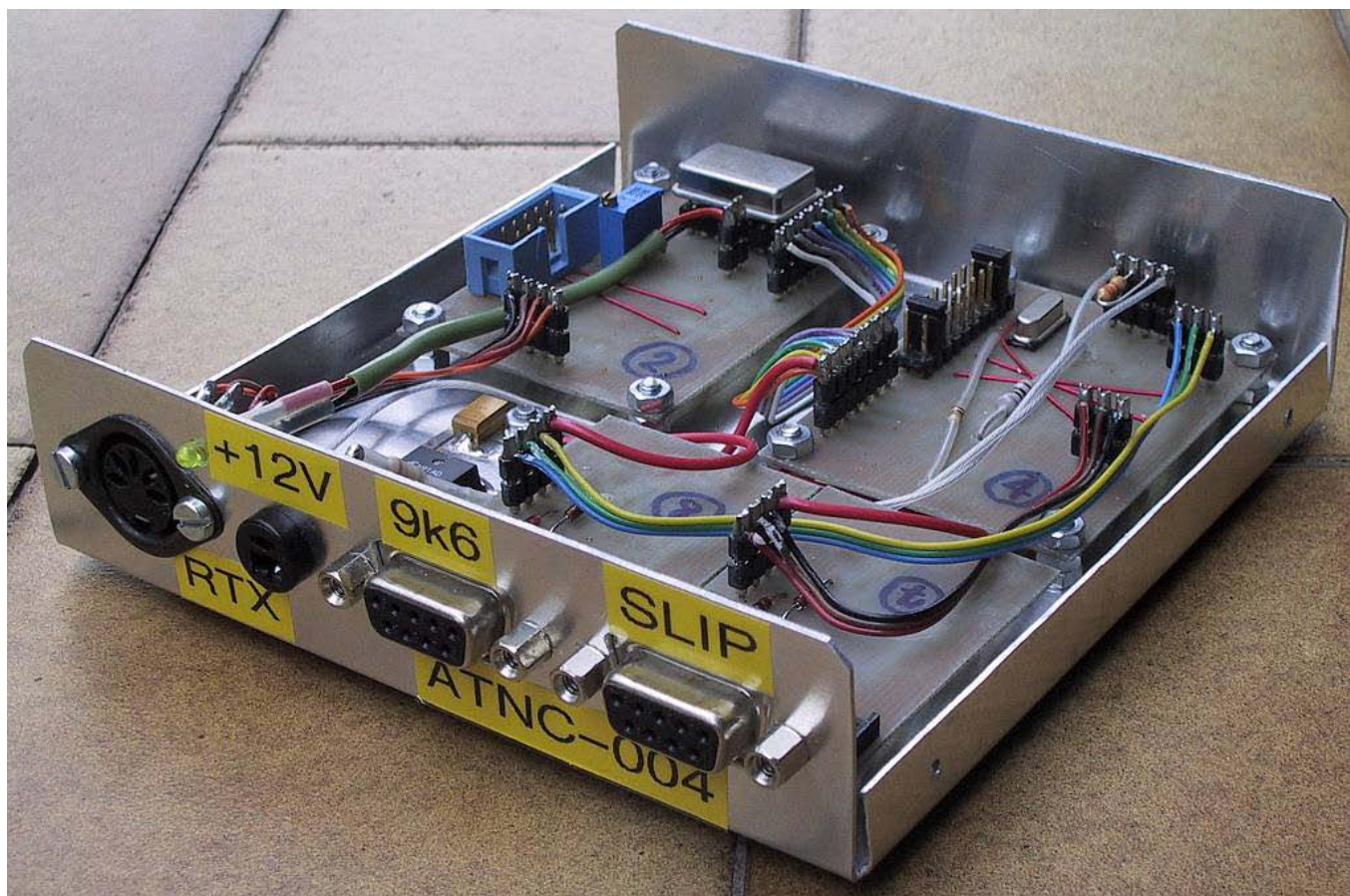
Dno ohišja je izdelano iz 1mm debele aluminijeve pločevine, ki jo še pred krivljenjem izvrtamo po predlaganem načrtu. Pokrov je samo "U" iz tanjše Al pločevine 0.6mm, ki se pritrdi na ušesa dna s štirimi samoreznimi vijaki 2.2x6.5mm. Končno prilepim na dno štiri samolepljive tačke iz klobučevine, da glave vijakov ne drgnejo po podlagi.

Tiskani vezji mikroračunalnika ATNCja in bitne sinhronizacije sta pritrjeni na dno s po štirimi vijaki M3X10mm. Na vsakem vijaku so tri matice M3. Dve prideta med dno in tiskanino, da določata razdaljo. Oba krmilnika RS232 sta pritrjena le na prednjo ploščo z vijaki vtičnic DB-9.



Slika 24 - Razporeditev in ožičenje enot ATNCja.

Ožičenje enot ATNCja je najlepše razvidno iz fotografij. Kar iz načrtov ni razvidno, kam povezati telemetrijo in telekomando? Vhod TLM#1 je povezan na AGC izhod ZIF-BPSK radijske postaje. Vhod TLM#2 preko uporovnega delilnika $270\text{k}\Omega + 33\text{k}\Omega$ meri napajalno napetost +12V neposredno na vtičnici. Izhod K ni uporabljen: je povezan vzporedno s TLM#2 le zato, da lahko preprosto preverimo delovanje ukazov.



Slika 25 - Vtičnice na prednji plošči ATNCja.

6. Nadaljni razvoj ATNCja

ATNC je prvi in najpreprostejši vmesnik, ki omogoča praktični preizkus in uporabo Ne-Brezhibnega Protokola. Ta članek izključno opisuje hardver ATNCja. Programska oprema ATNCja in njegovih naslednikov zahteva ločen, zelo obsežen članek. Na kratko, ATNC podpira tri zaporedne vmesnike: HDLC za radijsko zvezo in dva UARTa, eden za nadzor z navadnim terminalom za 9600bit/s in drugi za velike količine podatkov po protokolih SLIP, KISS ali lokalni zanki ASVja (Advanced ali Arm SuperVozelj).

Poleg zasnove ATNCja se članek ukvarja z vrsto novotarij za večino samograditeljev:

- 1) kako spajkati sodobne SMD gradnike z gostimi priključki?
- 2) kakšna je najprimernejša tehnika tiskanih vezij s SMD gradniki?
- 3) kako praktično programirati sodobne mikrokrmilnike?
- 4) kako uporabljati CPLD programirljivo logiko namesto TTL vezij?

Ko enkrat osvojimo preskok na nove gradnike in tehnike dela z njimi je nadaljnji razvoj preprost!

Industrija ne razvija vedno tistega, kar bi uporabniki želeli. Priključek RS232 je na sodobnih računalnikih že redkost in je povrh namenoma zatrt pri hitrosti delovanja.

Vprašanje hitrosti rešuje dober krmilnik RS232, na primer takšen, kot je opisan v tem članku. Pomanjkanje priključkov RS232 oziroma COM rešujeta tovarni FTDI in Prolific, ki izdelujeta čipe za USB/COM pretvornike. Sandi S54S je že razvil pretvornik s čipom FT232R za en UART ATNCja, Bojan S56FPW pa dvojni pretvornik s čipom FT2232D za oba UARTa ATNCja.

Komunikacija sodobnih računalnikov gre preko Ethernet priključka. Ethernet prinaša spet celo vrsto novih pojmov in tehnik dela. Opis EATNCja, ki je zasnovan na sodobnejšem mikrokrmilniku LPC2387, zato zahteva svoj ločen in kar obsežen članek. Podobno opis pretvornika Ethernet<>SLIP, ki ga je razvil Sandi S54S.

Nadaljnji razvoj ATNCja, EATNCja, ASVja naj bi šel v smeri višjih hitrosti prenosa. Mogoče se bo dalo kaj narediti z mikrokrmilniki ARM9, mogoče doseči 10Mbit/s? Žal so razvijalci v podjetju ARM krenili nekoliko na stranpot z razvojem procesorjev CORTEX. Na srečo konkurenca ne počiva in že ponuja primernejše čipe za naslednike ATNCja.



Osvetljevalna naprava za tiskana vezja



O izdelavi osvetljevalne naprave je bilo že veliko govora, zato sem se odločil, da jo izdelam tudi sam. Osvetljevalna naprava je uporabna za izdelavo tiskanih vezij s foto postopkom. Pri izdelovanju tiskanih vezij imamo velikokrat opravka z nevarnimi kemikalijami, zato moramo biti pri postopku izredno previdni.

Zakaj sem se jaz odločil za foto postopek?

Za izdelavo tiskanih vezij s foto postopkom sem se odločil predvsem zaradi natančnosti in izdelave kvalitetnih in večjih tiskanih vezij. Slabost foto postopka je velika izguba časa pri lakiranju, sušenju in razvijanju.

Postopek izdelave tiskanega vezja:

1. Pripravljanje ploščice:

Ploščico dobro očistimo s finim vodoodpornim brusnim papirjem pod vodo, nato jo moramo polakirati z foto lakom. Lak se na zraku suši 24 ur, vendar lahko proces pospešimo tako, da ploščico po lakiranju pustimo 20 minut in jo potem damo v pečico za 15 minut. Temperatura mora biti med 60 in 70°C.

2. Izdelava filma:

Preden osvetljujemo ploščico, potrebujemo film vezja, ki ga želimo izdelati. Vezje, ki smo ga narisali na računalniku, moramo prezrcaljeno natisniti na prozorno folijo.

3. Osvetljevanje ploščice:

Ploščico osvetljujemo z UV (ultravijolično) svetlobo. Tukaj uporabimo osvetljevalno napravo.

4. Razvijanje vezja:

Vezje je po osvetljevanju treba razviti. Razvijamo lahko v raztopini NaOH + H₂O ali uporabimo ročni razvijalec P-76. Vezje potopimo v raztopino in počakamo, da se pokaže slika vezja, pomagamo si lahko s premikanjem posode. Napake lahko popravimo z alkoholnim flomastrom.

5. Jedkanje:

Ko je vezje razvito, ga moramo še zjedkati (kemijsko odstranjevanje bakra). Uporabimo mešanico HCl – solna kislina 35%, H₂O₂ – vodikov peroksid 15% in H₂O – voda 50%. Vezje potopimo v raztopino. Ko je ploščica zjedkana končano (raztopina se neha peniti), potopimo ploščico v vodo. Vezje še očistimo z razredčilom, da odstranimo foto lak.

Sedaj pa nadaljujmo z izdelavo osvetljevalne naprave.

Najprej sem dobil idejo, da bi uporabil star kovček, ki sem ga uporabljal za modelarstvo v šoli.

Ampak za osvetljevanje rabimo še vir svetlobe.

S čim osvetljevati tiskano vezje?

Odločal sem se med UV LED diodami in UV fluorescenčnimi sijalkami (FC sijalke). Ker so FC sijalke močnejše in bolj uporabne za osvetljevanje, sem uporabil 4x UV FC sijalke TL 8 W (8 eur/kos), kupil sem jih v trgovini ES svetila v Ljubljani. Tam sem kupil tudi nosilce za sijalke, starterje in starterje za paralelno vezavo.

Sijalke naj bodo primerne velikosti za v kovček. Dušilke (balast) sem vzel iz stare luči, uporabil sem 2 dušilki, vsako dušilko sem vezal na 2 sijalki.

Pri osvetljevalni napravi lahko uporabimo pleksi steklo, kvarčno steklo ali navadno steklo. Navadnega stekla ne priporočam, ker zaduši UV svetlobo za približno 50%, to pomeni, da bo za osvetljevanje vezja potrebno več časa. Čas pa je odvisen tudi od razdalje med sijalkami in tiskanim vezjem. Uporabil sem pleksi steklo debeline

2 mm. Za nosilnost pleksi stekla sem uporabil kotnike. Paziti je potrebno, da je vse dobro izolirano, da ne pride do kratkega stika in morebitnih električnih potencialov na ohišju – okovju kovčka. Za dobro izolacijo žic uporabimo termo skrčljive cevke. Kondenzator uporabimo za odpravljanje motenj; uporabil sem $250\text{ V} \sim 0,033\text{ }\mu\text{F}$ kondenzator. Pod sijalkami sem uporabil pločevino, da se svetloba bolj razporedi in odbija. V kovček sem namestil gobo debeline 3 cm, da ko osvetljujem, goba pritisne vezje in folijo ob pleksi steklo.

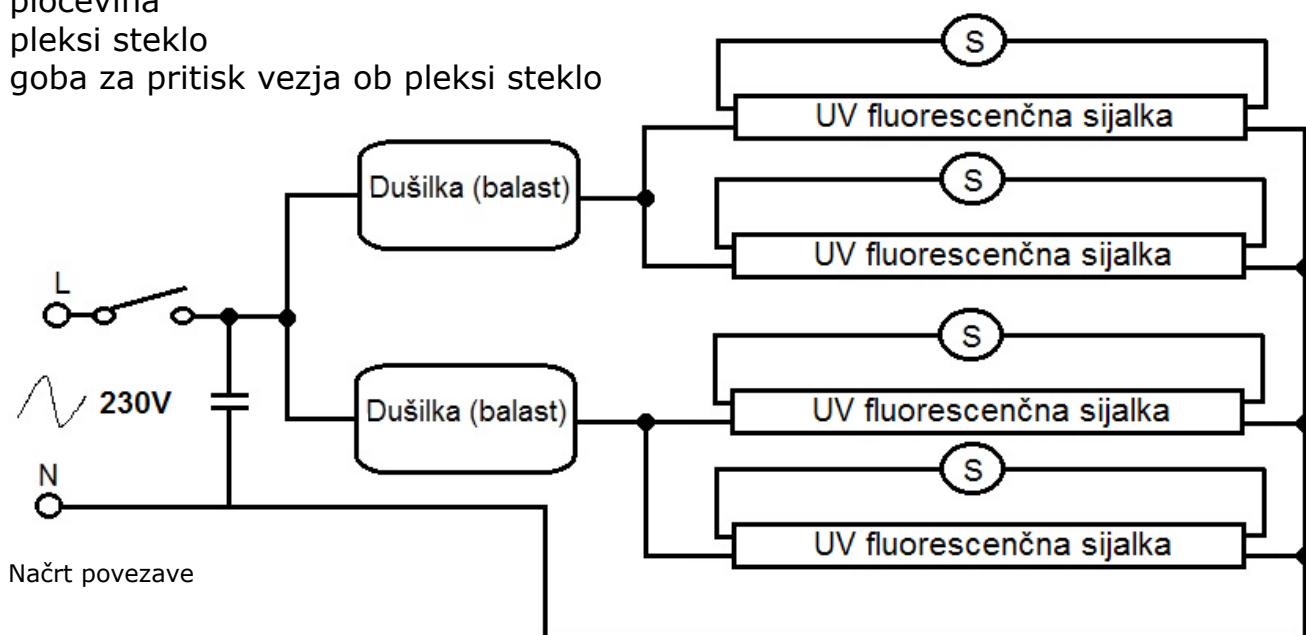
Čas osvetljevanja: 1 min – 2 min
(razdalja med sijalkami in vezjem: 3 cm)

Slabost:

Pozor! Prisotna je omrežna napetost 230 V!

Material, ki je potreben za izdelavo:

- kovček
- UV fluorescenčne sijalke TL 8 W
- nosilci za sijalke
- nosilci za starterje
- kabli za povezovanje
- priključne sponke
- termo skrčljive cevke (požirke)
- vijaki
- kondenzator $230\text{ V} \sim$
- napajalni kabel 230 V
- konektor EURO ženski
- stikalo 230 V (klecno)
- kotniki
- pločevina
- pleksi steklo
- goba za pritisk vezja ob pleksi steklo

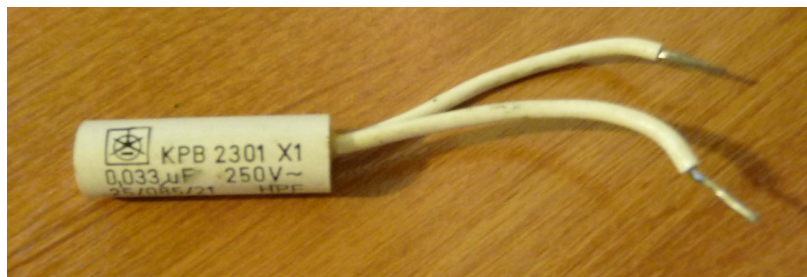


Kovček



UV fluorescenčne sijalke TL 8 W

Kondenzator 230 V ~



Starterji za paralelno vezavo



Izgled nosilcev



Analogni instrument z vrtljivo tuljavico (AVO meter)

Zgodovina in problemi

Verjetno bo marsikdo rekel, kaj se sploh dajem s tem, ko pa imamo dandanes poceni in dostopne digitalne instrumente. Res je, svet postaja vse bolj digitalen in povsod velja le še ali si prvi ali pa te ni.

Sam se z omenjeno filozofijo sicer ne strinjam, a če si Volk moraš z volkovi tuliti. In ravno zato sem kot človek, ki mu je analogna tehnika zelo všeč, hitro našel kup področij, kjer je analogni instrument prvi, in mu digitalni instrumenti ne sežejo niti do vtičnice.

Nedvomno so to meritve, ker potrebujemo nekaj nastavljanja, saj se z analognimi instrumenti v realnem času lepo vidi, ali se vrednost veča ali manjša, za razliko od digitalnih, kjer razen spreminjanja številke ne izvemo ničesar. Pri meritvi z digitalnimi instrumenti se vedno pojavi časovna zakasnitev (tipične vrednosti so od pol do ene sekunde). Če je ta nezaželjena ali je sploh ne sme biti, so analogni instrumenti še vedno na prvem mestu.

Nepogrešljivi so tudi ob preizkusih svetlečih diod ali pa pri hitrem preverjanju delovanja MOSFET tranzistorjev.

Pa saj analogni instrumenti z vrtečo tuljavico niso od včeraj. To so praktično prvi instrumenti za merjenje električnega toka.

Včasih so bili ti instrumenti res prilagojeni potrebam uporabnikov. Merilna območja so bila temu ustrezna in tako pogosto vidimo merilna območja vse do 1000 V. To je bila doba, ko so v elektroniki vladale elektronke. V teh časih so anodne napetosti močnejših elektronk dosegale nekaj 1000 V in elektroniki so se pogovarjali o visokonapetostnih sondah.

Ti časi so krepko mimo in v elektroniki se tako visoke napetosti uporabljajo le še izjemoma. Že zdavnaj so na "oblasti" polprevodniki, ki potrebujejo bistveno nižje napetosti. V zadnjih letih je trend, da se napajalne napetosti konstantno znižujejo. Če smo še pred desetletjem poznali le 5 V logiko, se danes uporablja skoraj povsod 3,3 V. V mnogih primerih pa tudi 2,5V in še manj.

Instrumenti, oziroma proizvajalci instrumentov, se temu trendu niso prav nič prilagodili, še vedno izdelujejo instrumente z merilnim območjem 1000 V. S stališča uporabnika to sicer ni nič narobe, a se pri tem pojavi problem, kako tak instrument prodati znotraj EU. Razdalje, ki so še varne zaradi preboja in evropski predpisi si tu nasprotujejo.

Še bolj problematično je, da ti instrumenti zelo slabo pokrivajo potrebe današnjih

elektronikov. V prospektih, ki jih uspemo dobiti o takem instrumentu, je merilno območje največkrat navedeno kar od 0,3 V do 1000 V. Ja, v redu, a za odločitev pri nakupu je potrebno poznati tudi vrednosti posameznih nastavitvenih območij.

Nekaj malega o instrumentih s kazalci

Pri vsaki meritvi se moramo vedno vprašati o tem, kakšna je zanesljivost podatka, ki ga z meritvijo dobimo. Zanesljivost meritve je skupek napak, ki nastanejo zaradi uporabe instrumenta določenega točnostnega razreda, napak zaradi odčitovanja, ter napak zaradi neupoštevanja uporabljene merilne metode.

Točnostni razred instrumenta

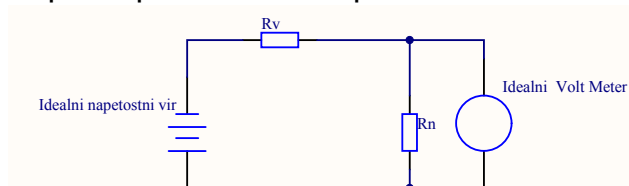
Točnostni razred instrumenta je podan v procentih in pove kolikšen je največji merilni pogrešek danega instrumenta pri merjenju. Opisuje pravzaprav kup lastnosti instrumenta v eni sami številki. Te lastnosti so: debelina kazalca, ujemanje skale in odklona kazalca, tolerance uporabljenih elementov. Podatek velja za polni odklon merilnega kazalca.

Napake zaradi odčitovanja

Te napake nastanejo zaradi tega, ker ne moremo dovolj dobro oceniti pozicije kazalca. Razlog je lahko v debelini kazalca, lahko pa do napake pri odčitovanju pride tudi zaradi tega, ker na instrument gledamo pod nepravilnim kotom. Razdalja med kazalcem in skalo v tem primeru zagotovi napačen odčitek. Pojav se imenuje paralaksa. Izognemo se mu tako, da zagotovimo pravokoten pogled na skalo instrumenta. Zrcalo na skali instrumenta torej ni zato, da instrument izgleda bolj "fensi", temveč zato, da v tem zrcalu pogledamo sliko kazalca, ki se mora skriti za dejanskim kazalcem. Takrat bo napaka paralakse minimalna.

Napake zaradi neupoštevanja merilne metode

Želim prikazati kakšna sploh je tovrstna napaka. Zato se bom omejil na prikaz napake pri meritvi napetosti na visokoohmskem napetostnem izvoru.



Slika1: Meritev napetosti visokoohmskega vira

instrumenta. Do pravega rezultata seveda lahko pridemo s pomočjo nekaj matematike, a moramo seveda poznati notranjo upornost vira. Tega žal največkrat ne vemo. Iz povedanega lahko hitro zaključimo, da je zaželjena čim višja notranja upornost instrumenta. Običajna vrednost za instrumente z vrtljivo tuljavico se giblje okrog 20 kΩ/V. Pri čemer "V" predstavlja vrednost polnega odklona instrumenta. Vsekakor je podatek o notranji upornosti instrumenta pomemben in ga moramo poznati.

R_N predstavlja notranjo upornost instrumenta in skupaj z upornostjo vira tvori napetostni delilnik. Pri tem seveda merimo le napetost na sponkah instrumenta. Napaka meritve je večja, če je večja notranja upornost vira in če je manjša notranja upornost

Merjenje v zadnji tretjini skale

Na ilustrativnem primeru si poglejmo, kakšen vpliv ima že en sam dejavnik na točnost meritve. Za primer vzemimo vpliv debeline kazalca. Če je kazalec širok 0,2 mm in merimo na začetku skale, ko je odklon kazalca 1 cm, je napaka odčitka 0,2 mm + napaka paralakse 0,2 mm, skupno 0,4 mm. To delimo z odklonom kazalca od začetka skale in dobimo dejansko vrednost napake, ki je 4 %. Če merimo na koncu skale, ko je odklon kazalca recimo 10 cm, ostane od te napake le še 0,4 %!

Iz vsega zgoraj povedanega je povsem jasno, da je naša želja meriti napetost pri čim večjem odklonu.

Merilna območja

Pregledal sem res veliko instrumentov, a sem vedno naletel na precej nesmiselna merilna območja, ki gredo nekako takole:

3 / 30 / 120 / 300 / 600 V	(Unimer 35)
3 / 30 / 120 / 300 / 600 / 1000 V	(MI7045)
0,5 / 2 / 10 / 50 / 200 / 500 / 1000 V	(Unimer 33)
0,3 / 1 / 3 / 10 / 30 / 100 / 300 / 1000 V	(Unigor A43)
0,5 / 2,5 / 10 / 50 / 250 / 1000 V	(SAMWA YX360)

Če sedaj pogledamo, kaj elektroniki najpogosteje merimo, bomo hitro ugotovili, da so stvari precej neugodne. Najpogosteje merjene napetosti so:

0,6 V	(napetostni prag diode, baza-emiter tranzistorja)
1,2 V; 1,5 V	(napetost enega baterijskega člena)
2,5 V; 3 V; 3,3V	(napajalna napetost sodobnih digitalnih čipov)
5 V	(napetost napajanja logičnih čipov)
13,8 V	(povprečna napetost avtomobilskega akumulatorja)
14,4 V	(štirje členi Li-xx baterij)
27 V	(napetost akumulatorja pri tovornjaku)
48 do 60 V	(napetosti PTT naprav)
325 V	(vršna napetost po usmerjanju 230 VAC)

Mogoče sem glede na različne interese in dejavnosti kaj izpustil, a večina je prav gotovo zajeta.

Zanimivo je, da elektroniki znamo narediti neverjetno domiselne naprave, ki ljudem olajšajo vsakodnevna opravila in naloge, sebe pa poskušamo mazohistično mučiti. Večino zgoraj navedenih napetosti je namreč nemogoče meriti v zadnji tretjini skale.

Pa pojdimo po vrsti:

0,5 V območje je premajhno, da bi bilo uporabno za merjenje praga tranzistorja, razen če imamo prastare germanijeve tranzistorje. Napetost enega člena baterije seže le do polovice skale, ali še manj, če je le ta NiCd ali NiMH (1,2 V). Še slabše je z napetostmi sodobnih digitalnih čipov. Tudi s 5 V območjem je križ, saj pridemo zopet le do polovice skale. Nič bolje ni z napetostjo akumulatorjev, razen če imaš tovornjak. Teh so se načrtovalci instrumentov izgleda še najbolj bali. Tudi precej zagamani telefonisti je niso kaj dosti bolje odnesli. Večina njihovega območja namreč pade v skalo, ki ima končno vrednost 100 ali celo 120 V.

Povsem enako velja za usmerjeno in glajeno 230 V izmenično, ki nam da 325 V. Zanimivo je, da je tudi stara 220 V izmenična po usmerjanju in glajenju dala preko 300 V enosmerne.

Ob naštetih dejstvih se človek upravičeno vpraša, če nas kdo namerno muči? No, videti je, da nisem edini, ki je odkril ta dejstva. Žal se je najstarejša in najpogostejša pritožba – meritev akumulatorja – pri ponudbi instrumentov manifestirala tako, da so naredili 12V merino območje, kar je pogovorno napetost akumulatorja. Na internetu sem namreč zasledil instrumente z 12 V območjem. Žal so seveda tudi ti neuporabni, saj ima poln akumulator več kot 12,0 V.

Ostane nam torej, da si primeren instrument naredimo sami. Povsem nesmiselno je začeti z nule, saj je primernih ohišij in instrumentov dovolj. Ugotoviti je potrebno tudi, če je taka predelava ekonomsko upravičena. Meni je namreč ostal v spominu skurjen upor na merilnem območju $\Omega \times 1$, ko sem z njim meril 220 V direkt. Za ta upor tolerance 1 % sem plačal tedaj ohoho denarja. Hiter pregled situacije na Farnell-u je vrnil razveseljivo dejstvo, da upor tolerance 0,1 % stane manj kot pol eura.

Kakšen instrument pravzaprav potrebujemo

Vprašanje, ki je na prvi pogled enostavno, se lahko izkaže za precej bolj zahtevno. Pa ne pri napetostnih območjih, temveč drugje. O tem kasneje.

Za določitev napetostnih območij sem se po zgornji analizi zelo hitro odločil.
0,6 / 1,5 / 3,5 / 6 / 15 / 35 / 60 / 150 / 350 VDC

Navedena območja rešujejo praktično vse zgoraj naštete probleme. To torej potrebujemo v realnem svetu. Kaj je naslednja stvar? Predvsem je število pozicij preklopnika odvisno od izbire instrumenta, ki ga imamo namen predelati. Temu se moramo prilagoditi. Sam sem si za predelavo izbral en zelo zdelan Unimer 43. Ohišje omogoča 21 pozicij pretikala in po kratkem premisleku sem zgornjim območjem dodal še območje 150 mV.

Ostalo mi je še 11 pozicij, zato sem v enakem stilu nadaljeval z razdelitvijo tokovnih območij.

0,6 / 6 / 30 / 150 / 600 mA in 3 A

V preostale pozicije pretikala sem sprva razmišljal razporediti območja za merjenje upornosti $\times 1$ / $\times 10$ / $\times 100$ / $\times 1k$ / $\times 10k$.

Kmalu pa sem uvidel, da bodo z območjem $\times 10k$ težave. Ker območje pri današnji rabi ni tako pomembno, sem se ga odločil opustiti. Pri načrtovanju meritve upornosti sem se seveda ukvarjal tudi s problemom napetosti, ki naj jo tak instrument pri tem uporablja. Mnogi instrumenti namreč delujejo na eno samo 1,5 V baterijo. Ker elektronski instrument radi koristimo tudi kot napetostni ali tokovni vir, je izbira 1,5 V precej neprimerna, saj s tem ne moremo prižgati niti rdeče LED diode, kaj šele belo ali celo odpreti MOSFET tranzistor. Razmišljal sem torej o višji napetosti. 9 V baterija je premajhna in se prehitro izprazni. Tako sem odkril še eno pomanjkljivost običajnih instrumentov. Torej prava smer je uporaba sodobne Li-xx baterije. Omenjene baterije imajo kar precej dobrih lastnosti, ki jih v takem instrumentu potrebujemo. 3 do 4 V je ravno primerna napetost, da lahko sveti bela in modra LED. Tudi večino MOSFET tranzistorjev se da dobro odpreti. Istočasno pa ima majhen samopraznilni tok.

Za zadnjo še prosto pozicijo sem se odločil narediti merilnik kolenske napetosti diode v prevodni smeri. Pri raznih aplikacijah se potrebuje schottky diode s čim nižjim padcem napetosti v prevodni smeri. S tako funkcijo instrumenta lahko hitro izberemo najustreznejšo.

Po kake pol ure ogledovanja drobovja originalnega instrumenta sem ugotovil, da je tiskano vezje uničeno do te mere, da bo treba narediti novega. Pa to ni bil največji problem. Bolj me je skrbela izdelava skale in oznak pri preklopniku.

Risanje skale analognega instrumenta

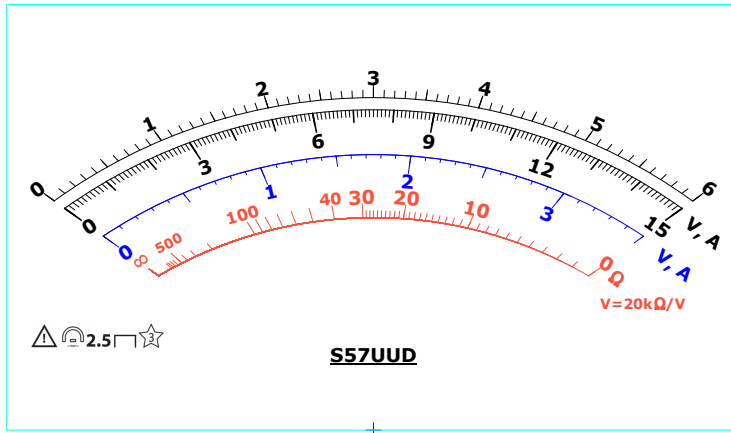
Ogledoval sem si skale obstoječih instrumentov in ugotovil kar nekaj stvari, o katerih prej nisem kaj dosti razmišljal. Ena takih je recimo dejstvo, da je center loka skale precej nižje, kot je center vrtljive tuljavice. Na ta način postane skala bolj "ravna" in zato bolj pregledna.

Nekaj časa sem si razbijal glavo, kako narisati skalo, nato pa sem pogledal po internetu, če kaj takega že obstaja. Naletel sem na dva programa (MeterBasic in Galvo 1.85) in si izbral Galvo. Bil je nekako prijaznejši in sem se odločil, da se poglobim vanj do te mere, da si narišem ustrezno skalo.

Galvo je neke vrste interpreter, ki izvaja naše ukaze. Še najbolj je podoben Basicu. Avtor je francoz, zato so ključne besede francoske. To sicer ni ravno prijazno,

a moti tudi ne preveč.

Program zna dobro izrisovati linearne skale. Prav tako lahko izriše logaritemske skale. Žal samo v določenih mejah. Funkcije $1/x$, ki jo potrebujemo za izris skale pri merjenju upornosti, pa ne pozna. To sicer ne pomeni, da se tega ne da narediti, a se udobje tega programa tu konča. Funkcijo sem si torej moral sprogramirati sam.



Slika2: Skala instrumenta
približek dovolj dober.

Rezultat tega početja je skala, ki jo vidite na sliki 2.

Ni pa to prva skala, ki sem jo izrisal. Ker sem hotel izkoristiti prednost ogledala pri izničenju napake paralakse, sem moral zamakniti center loka za enako vrednost, kot je bila na originalni skali. Ker vrednosti nisem poznal, izmeriti dovolj natančno pa se je ne da, sem se za dve lotil z metodo poskusov. Imel sem kar nekaj sreče saj je bil že peti

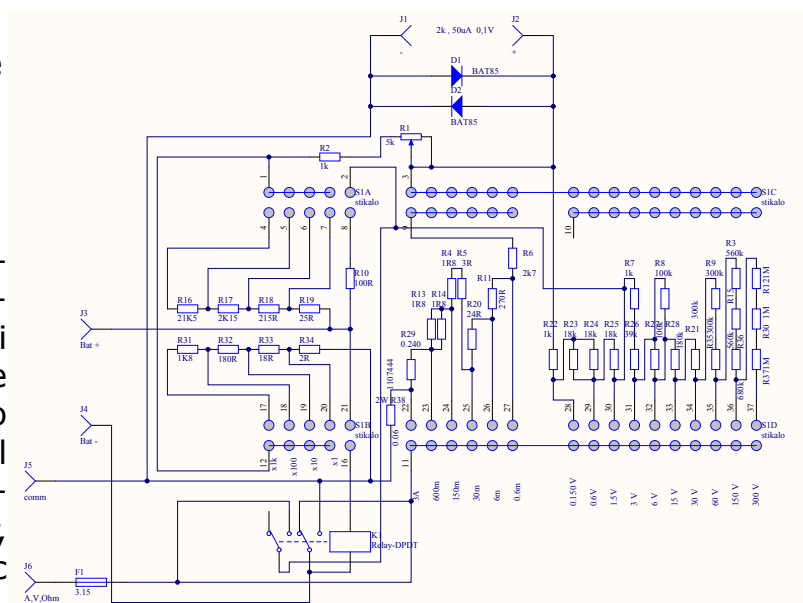
Preko originalne skale sem torej nalepil skalo, ki sem jo natisnil kar na običajni papir. Rešitev se je pokazala kot izjemno slaba, saj se je papir navzel vlage in se raztegnil. Lotil sem se torej iskanja primerne materiala. In sem ga tudi našel. To so nalepke od Zweckform z oznako J4775. Nalepke imajo za tovrstno uporabo imenitne lastnosti. Nanje se tiska z inkjet tiskalniki, torej barvni tisk. Najlepše pa je, da se prav nič ne raztezajo, saj so iz neke posebne plastike. Kar je še bolj zanimivo, ko so enkrat potiskane, se tisk na njih ne razmaže.

Izdelava novih oznak pri preklopniku instrumenta

Pravzaprav ni kaj dosti za dodati, teriala za skalo. Ostane nam le še preklopnika.

Načrt instrumenta

Na sliki 3 vidimo načrt instrumenta. Načrt ni kaj hudo posebnega. Podobne načrte se da dobiti vse povsod. Posebnost je mogoče le meritev diod. Tu sem stvar malo skompliciral. Uporabiti sem moral celo mini rele. Baterija v instrumentu namreč služi kot generator, s pomočjo katerega merimo padec



Slika3: Načrt instrumenta

napetosti na diodi. Omejiti velja, da instrument v tej poziciji stalno troši energijo, zato se priporoča po uporabi premakniti stikalo v kako drugo pozicijo.

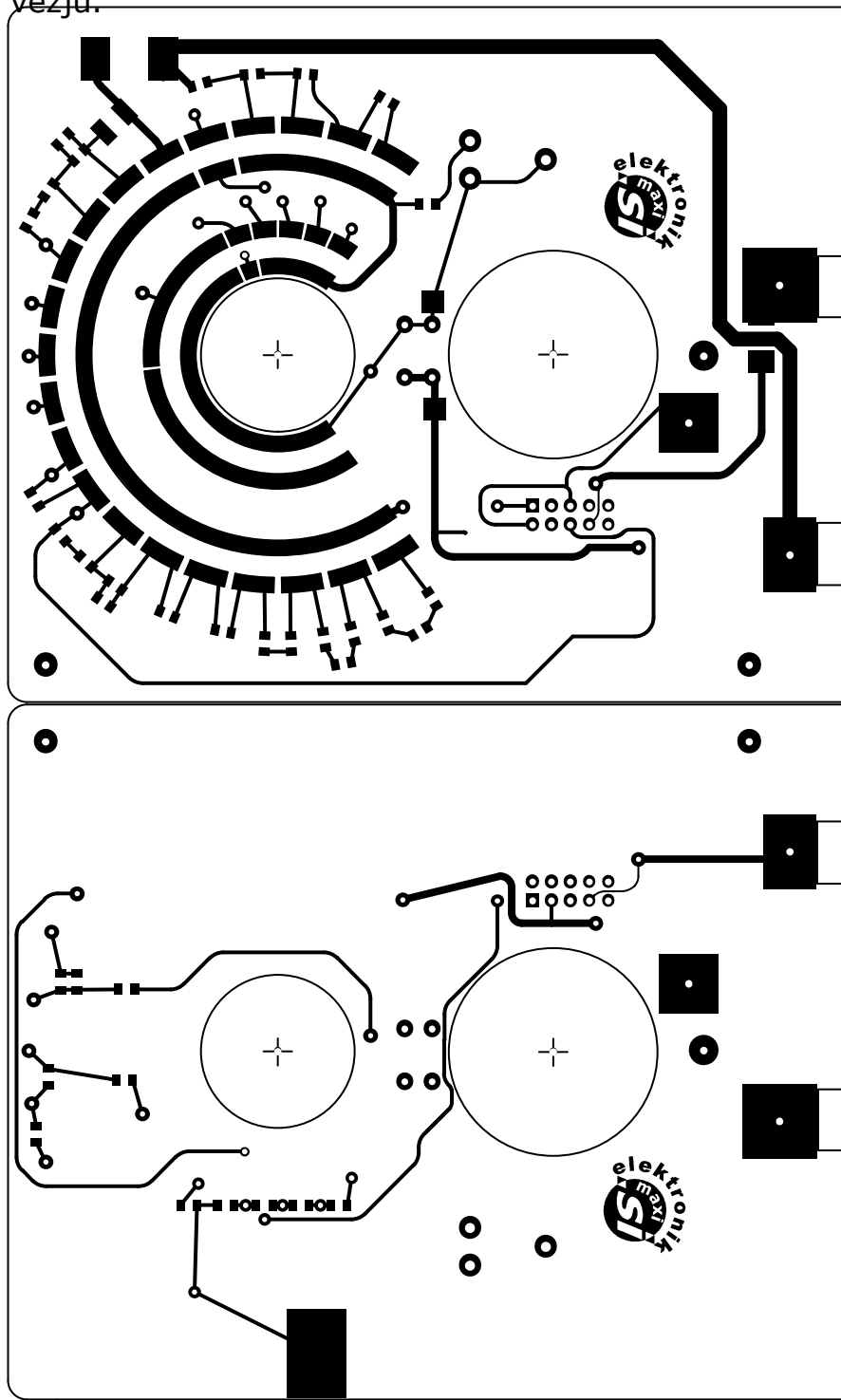
Naslednjo pozornost gre posvetiti uporabi R38. V načrtu je sicer napisano, da je njegova vrednost 60 m Ω . V resnici pa je potrebno prispajkati 56 m Ω . Dodatne m Ω dobimo z vezmi na tiskanem vezju.

Tiskano vezje

Obliko vezja pravzaprav v največji meri določa uporabljeno ohišje in s tem preklopnik. Ostali elementi so pač smiselno razporejeni po tiskanem vezju, ki je dvostransko. Trimer za nastavitev nule pri meritvah upornosti mora biti tak, ki ima šesterokotno luknjo, da se vanj usede zato predviden plastičen vzvod v škatli. Površine, kjer drsi drsnik, bi morale biti pozlačene, a sem se za prototip zadovoljil s srebrnimi, ki se povsem solidno obnesejo. Ne vem sicer kako dolgo bodo vzdržale, vsekakor pa bi bilo bolje, če bi bile pozlačene. Zlato namreč ne oksidira in je kontakt s preklopnikom vedno zanesljiv.

Zaključek

Vsekakor si dopadljiv instrument brez velikih stroškov lahko naredimo sami. Ko govorimo o stroških, moram seveda povedati, da s Kitajci ne bom primerjal, saj se njihove "škatlice" lahko dobi že za 5 €. Vprašanje je le, če se tistemu sploh lahko



Slika 4: Tiskano vezje; spodnja in zgornja stran. Zrcalno vezje je priloženo v posebni datoteki.

reče instrument.

Če želimo, lahko k uporom ki so že na vezju (SMD upori so res priročni za to) paralelno dodajamo še upore, ki so za razred 1000 večji od osnovne vrednosti in s tem instrument "kalibriramo" - izničimo neidealno risanje in lepljenje skale. Vsekakor pa lahko naredimo dober in unikaten instrument, ki zdaleč prekaša vse, kar se dobi na sejnih po Evropi.



Slika 5: Izdelan in delujoč instrument

Specialna nagrada za tistega, ki prvi pove kako sem prišel do oznake instrumenta.



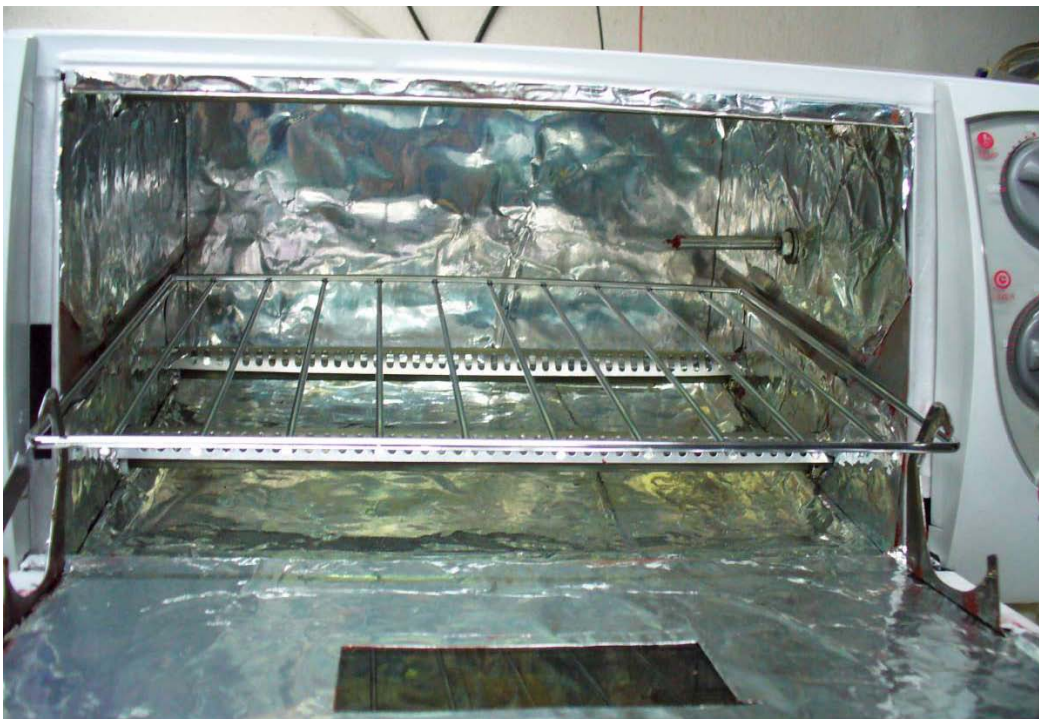
REFLOW peč iz domače delavnice

Pred časom je nanoslo, da sem moral sestaviti 20 identičnih tiskanic. Torej sedi za mizo in gremo. Po treh urah, ko še niti na pol nisem bil, sem že imel privide. No, cinjenje uporov je ena stvar, ampak čipov z rastrom 10 mils (0,25 mm) pa je že druga zgodba. Potem, ko nisi več tako zbran, napraviš tudi več napak, pa tudi končni izgled malce trpi. Kdor je to že prakticiral, ve o čem govorim.

Šola za drugič. Obrtniki ti seveda to z veseljem izdelajo in tudi izgled je profesionalen. AMPAK!!!! Samo za pripravo te oberejo od 150 € naprej. Zelo enostavna matematika pove, da se za male serije to ne izplača. Sedaj pa imaš... Ročno ne bo šlo, obtniki so predragi. Kaj storiti? Izdelava peči za cinjenje (angl. reflow)? Ja, zakaj pa ne!

Izbira peči

Malo brskam po netu in naletim na kar nekaj strani z uporabnimi podatki o tem. Grem iskati nizko proračunsko žrtev (pečico). V neki italijanski trgovini kupim prvo žrtev. 25 L pečica z ventilatorjem in 1500 W grelci. Premamila me je moč grelcev ter ventilacija, ki zna biti koristna za bolj enakomerno temperaturo po prostoru. Prvi testi pokažejo, da je ventilator povsem neuporaben. Pečica ima grozno slabo izolacijo in kroženje zraka le še poveča izgube. Enako velja tudi za volumen. No, kakorkoli že, peč mi je zaplenila draga za kuhinjske potrebe. Treba je bilo poiskati novo. Tokrat izberem dosti manjšo 10 L pečico s 1350 W grelci. Diagram segrevanja je zelo podoben prejšnji, večji, z močnejši grelci. Verjetno bo treba vgraditi močnejše grelce. Fantje

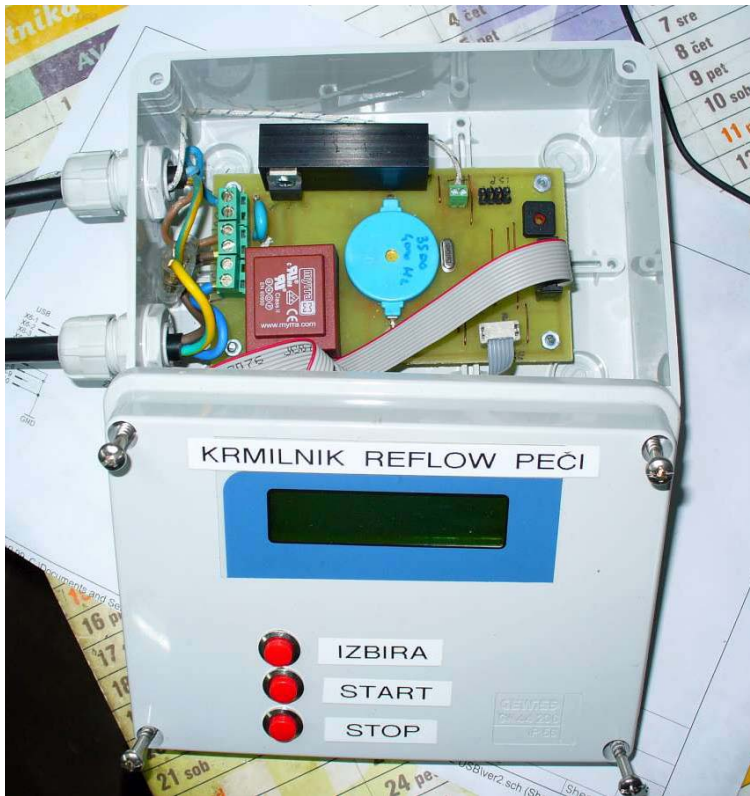


Izolacija z Alu folijo

predlagajo "izolacijo" z Al foljo. Peč sem razdrl, odstranil vse "nepotrebne" dele in vse notranje površine (vključno s steklom na sprednji strani) in prevlekel z Al foljo, ki mi jo je poslal Slowfly (še enkrat hvala). Na sprednji strani sem pustil majhno okno, da vidim, kaj se notri dogaja. Rezultati so neverjetno boljši. Pečka v manj kot 2 min segreje iz 20 na 300 °C. Torej je razmišljanje o močnejših grelcih brez smisla.

Izbira krmilnika

Na netu prav tako obstaja kup krmilnikov za te peči. Nekateri so celo "uporabni". Po daljšem razmisleku sem se le odločil za samogradnjo. Za merjenje temperature sem izbral K-tip sonde, ki jo zelo dobro poznam. Izbira mikrokrmilnika pa je pojem zase. Sam zadnje čase dosti delam s cypresovimi CY8xxx. So zelo enostavni za delo, in tudi nekaj periferije bi prihranil, ampak so med amaterji dokaj nepoznani. OK, vzamem bolj znan NXP LPC2138 - vsaj ostali ne bodo imeli težav. Za pretvorbo temperature nisem preveč kompliciral in sem uporabil kar čip MAX6675, ki je sicer drag, ampak prihrani kar nekaj dela.



Izdelan krmilnik

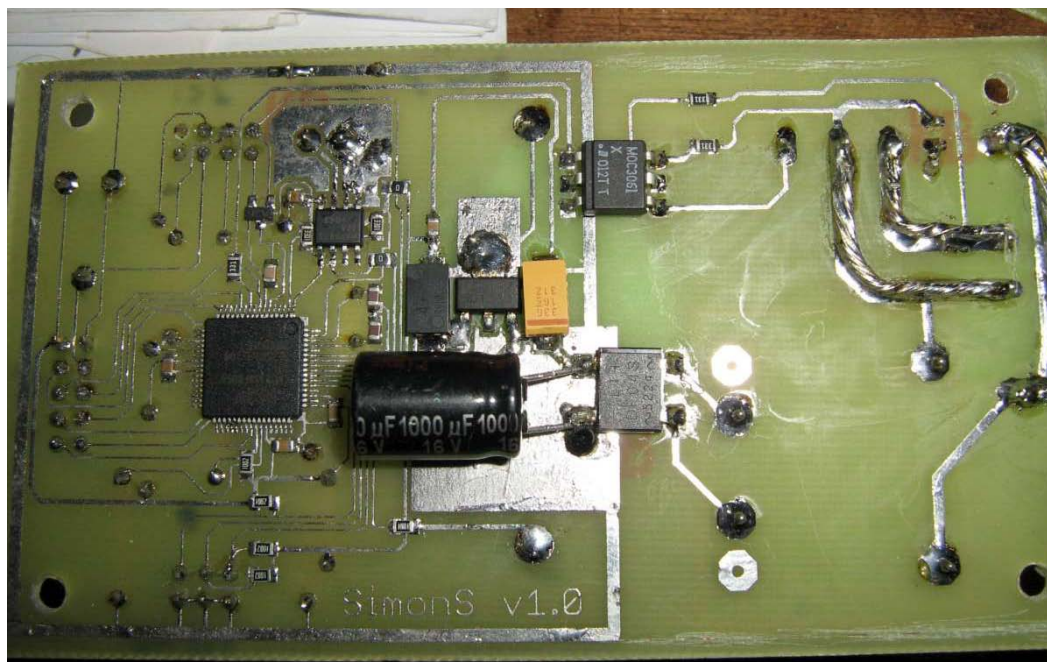
Na tiskanini je še konektor za ISP programiranje mikrokrmilnika. Sama tiskanina je zaradi enostavnejše izdelave enostranska. Na ta račun je treba na zgornji strani napraviti nekaj prevezav.

Program

Pogoj za dobro delovanje peči je seveda ustrezen program. Po netu sem opazil, da imajo več ali manj vsi en sam ali največ dva programa (temperaturna profila). Dobro, za prvo silo je. Hec pa je, ker različne cin paste zahtevajo različne temper-

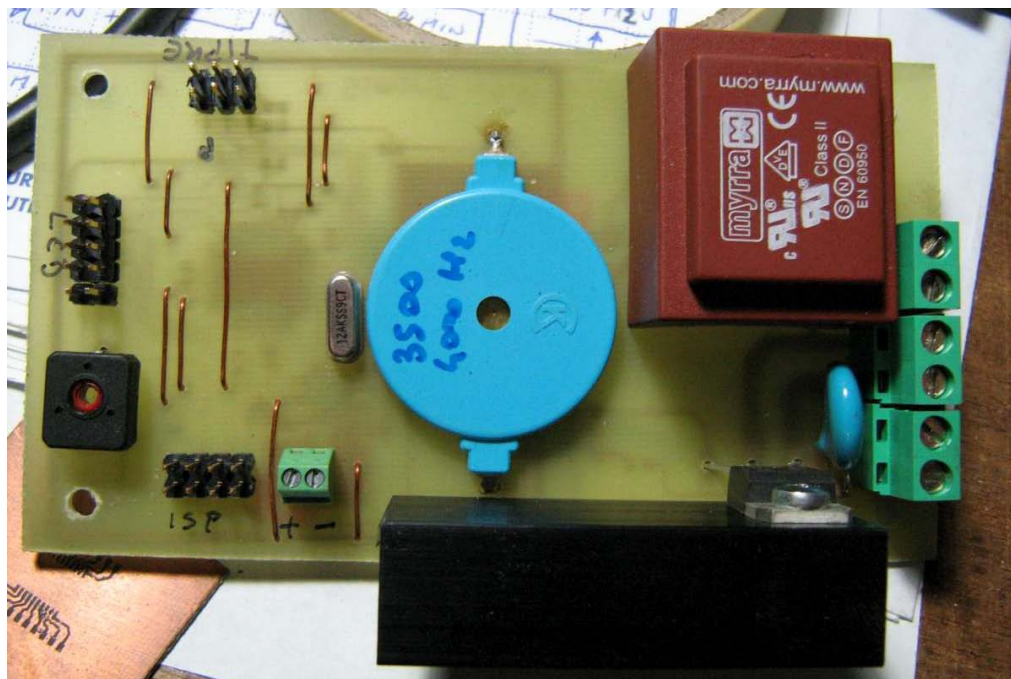
Tiskana ploščica

Odločitev je padla, da bodo 3 tipke povsem dovolj. Za prikaz pa sem uporabil 2x16 LCD. Pri tem je treba paziti pri izbiri le-tega. Mora delovati na 3,3 V! Tipke in LCD pridejo montirani zunaj. Na napake in konec programa opozarja piskač. Ta je malce "čudne" oblike, ampak jih je pri meni dovolj na zalogi za vse samograditelje. Grelce vklaplja triac BTA16. Ta se sicer malenkostno greje in zato rabi manjše hladilno rebro. Uporaba releja je tukaj povsem brez smisla, saj grelce krmim s PWM, kar pomeni veliko število vklopov/izklopov in temu primerno kratka bi bila življenjska doba releja. Da o iskrenji in motnjah niti ne govorimo.



Tiskano vezje spodaj

aturne profile. Prav tako nekateri elementi hočejo prav posebne profile. No, tu pa se že konča veselje. Moj program ima 8 profilov in za vsak profil lahko vpišemo do 10 faz. Faza pomeni premica dviga/spusta temperature na časovno obdobje. Vse profile in faze lahko spreminjamo preko tip. Podatki se shranijo v flash mikrokrmilnika.



Tiskano vezje zgoraj

Glede na sorazmerno visoko natančnost profilov, tu pride definitivno v poštev PWM PID način upravljanja grelca. Program vsako sekundo prebere dejansko temperaturo in jo primerja z izračunom premice. Podatke o odstopanju se vnesejo v PID regulator in tako dobimo optimalno moč grelca, ki se ga krmili s PWM. Tak način krmiljenja se je v testiranjih odlično obnesel. Malo težav je le, ko so grelci hladni, ter na vrhu, ko morajo grelci delati na polno. Tu je treba paziti, da ne prestopimo gornje meje (vsaj

ne preveč). Tu so seveda pomembni parametri PIDa, ki jih lahko prav tako nastavimo s tipkami in se shranijo v flash mikrokrmilnika.

Delovanje peči

Ko peč vklopimo, se na zaslonu izpiše glavni menu. Tu z tipko "IZBOR" izberemo profil. Izbiro potrdimo z tipko "START". Program lahko v kateremkoli trenutku prekinemo s tipko "STOP", ki nas vrne v glavni menu.

Ko poženemo program, se zgoraj levo izpiše čas trenutne faze v sekundah ter v desnam vogalu v kateri fazi je program. Spodaj levo je izpisana "Td" dejanska temperatura in na desni "Tn" izračunana (nastavljena) temperatura. Na koncu nas kratek pisk opozori o končanem programu. Tu je zelo priporočljivo DELNO odpreti vrata pečice, da se TIV hitreje ohladi (ampak ne prehitro).

Program zaznava tudi prisotnost sonde. Če sonde ni, ali je v okvari, nas pro-

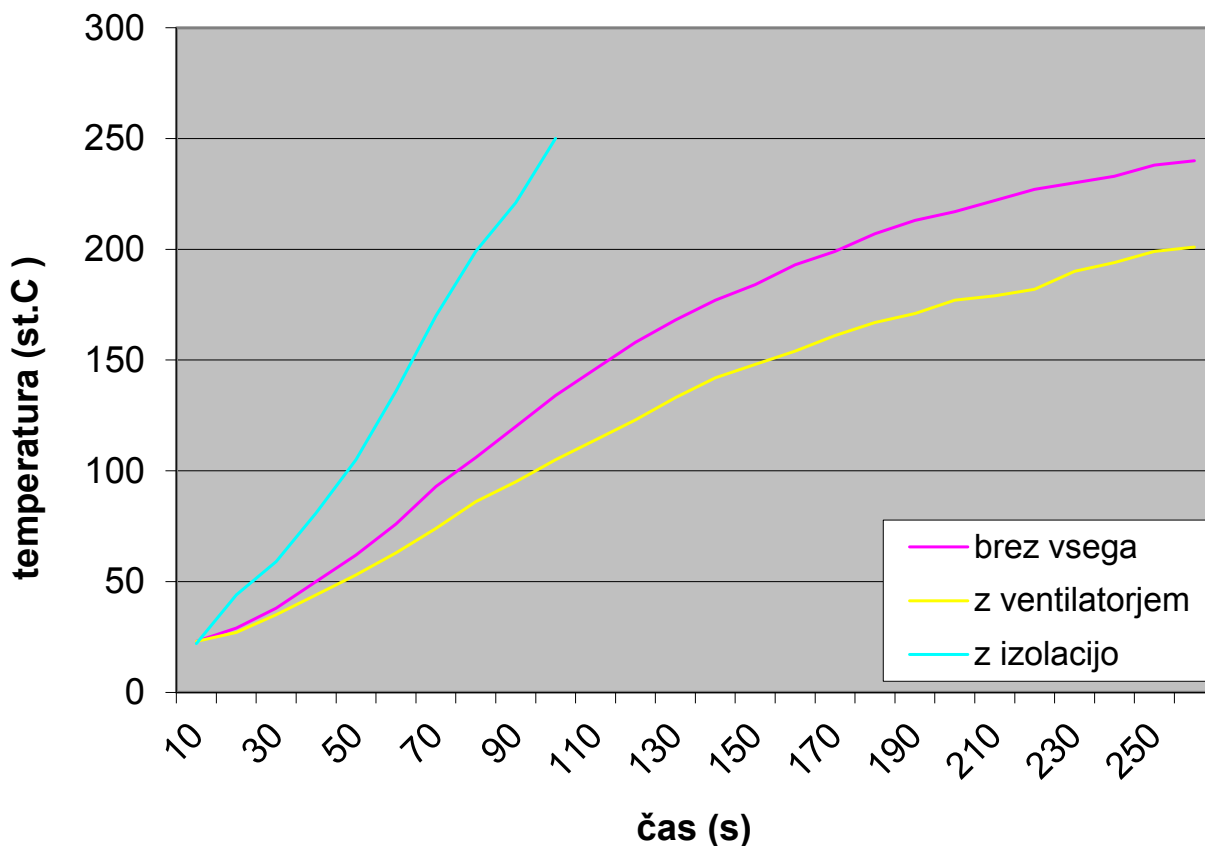


Diagram temperatur v peči

gram opozori z dolgim piskom.

Originalen program ima že vpisanih nekaj profilov. Profil se seveda lahko tudi spremeni. To storimo tako, da stisnemo tipko "IZBOR" in vklopimo napajanje. Sedaj ima tipka "START" pomen "-" ter tipka "STOP" pomen "+".

S tipkama + in - izberemo profil, ki ga želimo spremeniti, in potrdimo izbiro. Najprej spremenimo ime profila. Vnesemo lahko največ 10 črk. Sledi izbor prve faze.

Nastavimo temperaturo, ki jo želimo ob koncu faze, ter čas v sekundah, v katerem želimo doseči to temperaturo. Temperatura in čas sta omejena na največ 255 °C ter 255 sekund. Če vpišemo čas 0, to pomeni, da je konec profila. Lahko vpišemo do 10 faz. Po zaključenem profilu se nastavitve shranijo.

Če držimo tipko "START" in vklopimo napajanje, pridemo v dodatni menu, kjer nastavimo parametre za PID. Postopek je enak, kot za spreminjanje profila.

Zaključek

Ko sem peč prvič pognal sem bil zelo razočaran. Na testnem vezju je čip dobesedno pomodrel, čeprav je temperatura zelo lepo rasla po krivulji. Čudilo me je, ker se je cin že lepo raztopil pri 160 °C. Ponovil sem test, le da sem na TIV prilepil zunanjo sondo ter meril dejansko temperaturo. Saj ne moreš verjeti. Kitajska sonda je linearna le do 50 °C, naprej pa je obup. Sedaj se je ponudilo vprašanje ali uporabiti to sondo in jo programsko linearizirati, ali kupiti novo boljšo sondo... Izbral sem prvo opcijo. Tako je program dobil še malo tabelo za korekcijo sonde. Program, ki ga prilagam, te korekcije ne vsebuje. Kdor to rabi, naj me kontaktira.

Drugi poizkus reflowa je bil bistveno boljši. Elementi so se zelo lepo pricinili. Nekateri elementi sem nalašč postavil malce postrani, da vidim, če jih bo potegnilo na pravo mesto (kapilarni efekt). Malce se še lovim z doziranjem cin paste, kar se vidi iz slike, drugače pa so rezultati presenetljivo dobri.

Napravil sem tudi časovno primerjavo. Za ročno cinjenje TIV (postavi element, zacini element) sem porabil 15 minut. Za reflow pa le 8 minut (ročni nanos paste, ki mi vzame največ časa, postavitev elementov, cinjenje v peči). Kvaliteta izdelka pa je bistveno boljša iz peči.

Sprva sem imel namen uporabljati peč le za male serije, ampak imam občutek, da bom tudi posamična vezja z malo več elementi cinil tu.

Na youtube sem pripel tudi moj prvi poizkus cinjenja. Posnetek res ni vrhunski, ampak nekaj pa se vseeno vidi. <http://www.youtube.com/watch?v=gFWAiRm0xO4> Na koncu tudi nisem odprl vrat, kar se lepo vidi v porastu temperature, čeprav so grelci izklopljeni.

Opozorilo

Verjetno ni potrebno posebej opozarjati, da gre tu za visoko napetost 230 V, ki je smrtno nevarna. Druga stvar pa je, da je tudi dim same cin paste nevarna zadeva in da je pametno peč uporabljati v dobro prezračenih prostorih. Prav tako naj bo **takšna peč namenjena izključno cinjenju in ne pripravi hrane !!!**



Baterije in akumulatorji

1. Uvod

Ko nanese beseda na baterije ali akumulatorje, se nam zdi to trivialna tematika, češ tu pa res ni več nič novega za povedati. Pa je to res? Nove in nove tehnologije celic se rojevajo iz meseca v mesec, pa tudi stare tehnologije se izboljšujejo z uporabo novih tehnologij (predvsem je zadnje čase popularna t.i. nano tehnologija) in materialov.

V osnovi celice lahko razdelimo v dve skupini: primarne in sekundarne celice. Enostavno povedano, primarne celice po uporabi zavržemo in jih ne moremo ponovno napolniti (navadno jim rečemo "baterije"), sekundarne pa po uporabi lahko ponovno napolnimo in uporabimo večkrat (navadno jim rečemo "akumulatorji"). Tu bi rad poudaril še to, da imamo Slovenci dokaj enoznačno poimenovanje primarnih in sekundarnih celic (baterije/akumulatorji), dočim v angleščini je vse skupaj "battery" in šele iz podrobnejšega opisa lahko razberemo, za kakšen tip celice gre.

2. Ločitev celic na primarne (baterije) in sekundarne (akumulatorji)

2.1 Zgodovina primarnih celic, opis delovanja, najpogostejši tipi

Primarna celica energijo jemlje iz razpada ene od elektrod. Ko elektroda razpade, je baterija "prazna" in se je ne da ponovno napolniti, saj ene elektrode praktično ni več. Ko elektroda razpade, lahko elektrolit včasih tudi izteče iz same celice in poškoduje okolico. Zato je bila razvita t.i. alkalna baterija, ki ima elektrolit na bazični osnovi (manj agresiven), sama celica pa je "oblečena" v posebno "srajčko", ki ščiti pred morebitnim izlitjem elektrolita. No, vsaj naj bi ščitili, čeprav iz prakse



Slika 1: Razslojena baterija z označenimi sestavnimi deli

vsi poznamo tudi primere izlitja takšnih baterij, sploh neznanih znamk, čeprav tudi boljše znamke niso povsem imune na to (meni osebno, pa tudi sodelavcu, so "stekle" AA baterije ene zelo znane znamke).

Najpogostejši tip primarnih baterij, uporabljen dandanes, je t.i. Leclanchejeva celica (in njena novejša izvedenka: cink-ogljje), ki jo lahko najdemo praktično povsod. Razviti so bili tudi drugi tipi primarnih celic z višjo kapaciteto npr. cink-mangan, cink-zrak (gumbne baterije za slušne aparate), litijeve baterije (ne smemo jih zamenjati z litijevimi akumulatorji!), ki so ravno tako v uporabi v veliko napravah, s katerimi se srečujemo vsak dan...

Večina primarnih celic je znana po nizkem samopraznjenju ter relativno visoki notranji upornosti, kar pomeni, da so zelo primerne za porabnike z nizko porabo (ure, daljinski upravljalniki,...), niso pa primerne za močnejše porabnike, saj zaradi velike notranje upornosti ne zmorejo zagotavljati visokih praznilnih tokov.

Uporaba primarnih celic za pogon električnega vozila ali drugega, cikličnega porabnika, bi prej ali slej pomenila finančni bankrot, saj bi morali kupiti vsakič nov baterijski paket, zato se v ta namen vedno uporablja akumulatorje – sekundarne celice.

No, da pa temu ni vedno tako, dokazuje starejša gospa, ki je tedensko hodila kupovat baterijo za mobilni telefon. No, čez nekaj tednov se je le potožila prodajalcu, da si ni mislila, da je telefoniranje tako drag špas, in prodajalec jo je takrat podučil, da se da mobilni telefon tudi napolniti...

2.2 Prednosti in slabosti primarnih celic

Prednosti

Nizko samopraznjenje – možnost dolgotrajnega hranjenja brez bistvene izgube kapacitete

Cenenost

Visoka kapaciteta glede na maso in volumen

Dobra zmogljivost tudi ob nizkih temperaturah

Slabosti

Visoka notranja upornost – nezmožnost zagotavljanja visokih praznilnih tokov

Možnost zgolj enkratne uporabe

3. Sekundarne celice

3.1 Tipi sekundarnih celic, opisanih v članku

Poznamo več tipov sekundarnih celic in poskušal bom zaobjeti večino dandanes uporabljenih celic ter opisati njihove prednosti in slabosti. V štartu pa moramo vedeti, da idealne celice ni. Ko se odločamo, kakšen tip celice bomo uporabili za našo aplikacijo, moramo vedno delati kompromise med različnimi možnostmi, ki se ponavadi izključujejo med seboj.

Dandanes se največ uporablja naslednje tipe sekundarnih celic, ki jih bom tudi obdelal v tem članku:

Svinčev akumulator (kislinski) (Pb, SLA)
Svinec-gel akumulator (PbGel, AGM, VRLA)
Nikelj-kadmij celice (NiCd)
Nikelj-kovinski hidrid celice (NiMH, LSD NiMH)
Litij-ion celice (LiIon)
Litij-polimer celice (LiPoly)
Litij-železov-fosfat celice (LiFePO4)
Drugi, bolj eksotični tipi celic

3.2 Svinčev (Pb, SLA) in svinec-gel (PbGel, AGM, VRLA) akumulator

3.2.1 Zgodovina celice

Svinčev akumulator je leta 1859 odkril francoski raziskovalec G. Plante in je najstarejša polnilna celica, ki je bila izumljena, in tudi praktično uporabljana. Svinčeve celice imajo praviloma zelo nizko notranjo upornost, kar zagotavlja visoke praznilne tokove (in dobro razmerje moč/teža). Posledično je ta tip akumulatorjev zelo popularen in ga najdemo v skoraj vsakem avtomobilu kot zagonski akumulator.

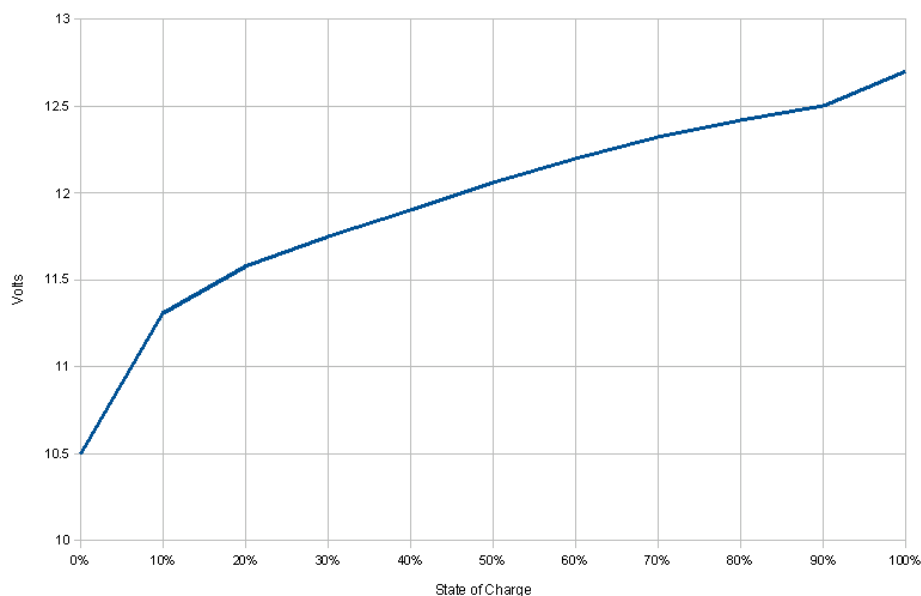


Slika 2: Pb avtomobilski akumulator

Kot je že razvidno iz imena, je svinčev akumulator grajen iz svinčevih plošč, ki služijo kot elektrode, in žveplene kisline, ki služi kot elektrolit. Približno 60 % teže akumulatorja odpade na svinčene plošče, preostalih 40 % pa na ohišje, elektrolit, priključke itd. Svinec spada med težke kovine in že majhne vrednosti svinca lahko, sploh pri otrocih, povzročajo poškodbe možganov, sluha,... Zato je potrebno poskrbeti, da svinčevih akumulatorjev ne odlagamo sku-

paj z navadnimi odpadki, temveč jih recikliramo ali pa odložimo v poseben zabojnik za zbiranje nevarnih snovi.

3.2.2 Opis delovanja

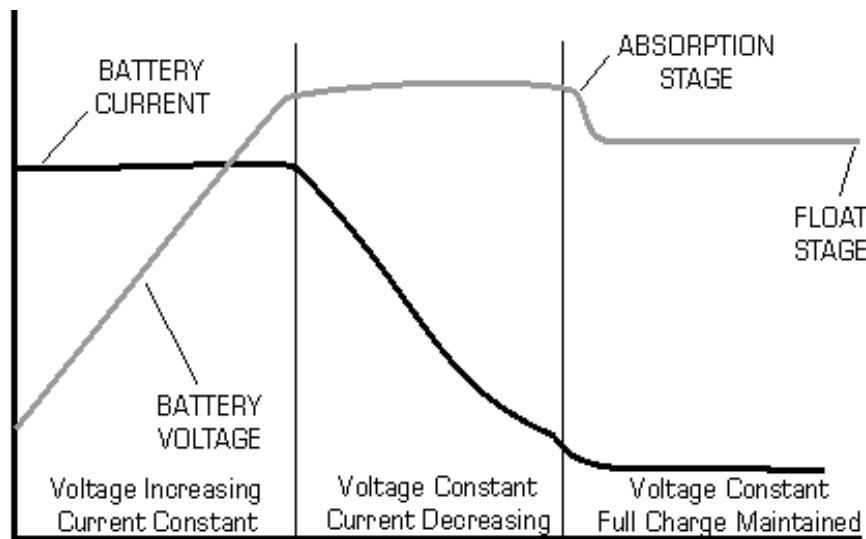


Slika 3: Graf praznjenja Pb akumulatorja U/t]

3.2.3 Prednosti in slabosti

Ob izbiri svinčevega akumulatorja za pogon električnega vozila moramo vedeti, da bo življenska doba akumulatorja precej kratka, sploh če bodo tokovi višji od priporočenih (kar praviloma bodo). Tako se na prvi pogled "poceni" akumulatorji ob redni uporabi izkažejo za enako drage kot naprednejši (litijeve), če ne celo dražji. Drug problem so tresljaji, ki lahko ob postavitvi akumulatorja tako, da svinčene plošče "ležijo" (kar si niti ne smemo privoščiti pri vseh tipih akumulatorjev!), kmalu uniči akumulator, če sunek povzroči, da se svinčeni plošči zaradi sunka pričnega dotikati (določeni akumulatorji so zaščiteni tudi pred tem s posebnim ogradjem).

3.2.4 Princip polnjenja



Slika 4: Graf polnjenja Pb akumulatorja (UI/t)

Polnjenje svinčevega akumulatorja je "napetostno": akumulatorju dovajamo fiksno napetost (odvisna od tipa in načina delovanja akumulatorja (ciklično, stand-by), navadno med 13,8 in 14,4 V) in akumulator se polni najprej z maksimalnim tokom, ki ga je zmožen zagotoviti polnilec. Tu je treba paziti, da ne presežemo največjega dovoljenega toka za polnjenje samega akumulatorja, ki je pri SLA akumulatorjih bistveno višji kot pri cikličnih akumulatorjih in je naveden v dokumentaciji posameznega akumulatorja ali celo na nalepki na njem. Ko akumulator doseže nastavljeno napetost, se tok prične počasi zmanjševati in navadno, ko tok pade pod 1/20 začetnega, smatramo, da je akumulator poln. V izogib sulfatizaciji – pojav, ko se na svinčenih ploščah tvorijo "obloge", ki zmanjšujejo kapaciteto in tokovno zmogljivost – boljši polnilci občasno (približno enkrat tedensko) napetost za krajši čas dvignejo tudi nad "običajno" mejo (npr. na 15,5 V). To je posebej pomembno pri cikličnih sistemih (UPS, fotovoltaika,...), saj na ta način bistveno podaljšamo življensko dobo ter uporabno kapaciteto takšnega akumulatorja.

3.2.5 Tipi celic

Obstaja več različnih tipov svinčevih akumulatorjev, glede na namen uporabe (SLA / ciklični-trakcijski) in samo tehnologijo (kisliniski / gel).

SLA akumulatorji lahko zagotavljajo visok tok, a ne prenašajo dobro cikličnega praznjenja in polnjenja, trakcijski akumulatorji pa omogočajo prav to, a ne zagotavljajo tako visokega toka.

Ker pa ima svinčev (kisliniski) akumulator kar nekaj pomanjkljivosti (predvsem potrebo po vzdrževanju – kontroliranju nivoja elektrolita ter tipu montaže – le pokončna), je bil "nadgrajen" s t.i. gel izvedbo (tudi VRLA, AGM), kjer je žvepleno kislino kot elektrolit zamenjala posebna "gel" izvedba elektrolita.



Slika 5: Pb-gel akumulator

Posledično tak akumulator ne potrebuje vzdrževanja (smatra se kot "zaprt", čeprav ima vseeno varnostni ventil za primer izpusta plinov ob pretiranem polnjenju) in je lahko montiran v poljubni legi (pokončno, ležeče ...) ter se dandanes široko uporablja v raznih "backup" aplikacijah (alarmni sistemi, UPS enote), pa tudi v določenih električnih vozilih. Tokovna zmogljivost gel akumulatorja je praviloma nižja od kislinskega, kar velja pri izbiri vzeti v zakup.

Ne glede na to, je svinčev akumulator tip akumulatorja, ki se danes uporablja v številnih (sploh cenejših) električnih vozilih (vozički za golf, invalidski vozički, nekateri poceni električni skiroji, kolesa itd.).

3.3 NiCd in NiMH akumulatorji

3.3.1 Zgodovina celic

Nikelj-kadmij (NiCd) akumulator je bil odkrit praktično istočasno s svinčevim (1899) in po kar nekaj izboljšavah se je kapaciteta močno zvišala (skoraj na polovico kapacitete primerljivo velike in težke primarne celice), kar je bistven napredek napram svinčevemu akumulatorju.

NiCd celice s bile dolgo časa uporabljane kot nadomestek za baterije standardnih velikosti (AAA, AA, C, D,...), a so imele določene pomankljivosti in zato niso mogle povsem nadomestiti navadnih, nepolnilnih baterij.



Slika 6: NiCd AA celica

Na podlagi slabosti NiCd celic (kapaciteta, spominski efekt, vsebnost težkih kovin) so bile razvite NiMH celice, kjer je strupen kadmij zamenjal kovinski hidrid. Tovrstne celice imajo tudi bistveno višjo kapaciteto napram NiCd celicam in sicer kar 2 do 3-kratno. Spominski efekt je sicer opazen, vendar bistveno manj kot pri NiCd celicah.

NiMH celice so vsestransko uporabne kot nadomestek za primarne celice (AA, AAA, C, D,...), saj ponujajo dobro zmogljivost za rela-

tivno ugodno ceno. Tudi nekaj bolj ali manj znanih električnih vozil ima za osnovo NiMH celice, kot so npr. Toyota Prius, Honda Insight, Honda Civic Hybrid, Ford Escape Hybrid etc.

V letu 2005 je Sanyo z velikim pompom oznanil novo serijo NiMH celic, imenovanih Eneloop. Te celice naj bi kombinirale dobre lastnosti primarnih celic (nizko samopraznjenje, dobre zmogljivosti ob nizkih temperaturah) z dobrimi lastnostmi NiMH akumulatorjev (polnjenje, nizka notranja upornost). Po letu dni takšne celice obdržijo okrog 70-85 % začetne kapacitete, zaradi česar so zelo primerne tudi za nizko-tokovne porabnike, precej dobro pa se obnesejo tudi ob nizkih temperaturah. Glede na razvoj dogodkov v preteklih letih lahko rečem, da so s tem tipom celic pri Sanyu dobro uspeli, saj so tovrstni akumulatorji postali zelo popularni – tako med amaterji kot med profesionalnimi uporabniki (npr. raziskava med ameriški profesionalnimi fotografi je pokazala, da Sanyo Eneloop uporablja čez 80 % fotografov,

predvsem za napajanje bliskavic, saj se dobro obnesejo tudi v hladnejših pogojih in jih ni treba polniti tik pred uporabo).



Slika 7: Eneloop AA celice

Seveda so to tehnologijo "zavohala" tudi druga podjetja, ki izdelujejo akumulatorje in taisto funkcionalnost sedaj ponujajo pod drugimi komercialnimi imeni (skupni imenovalec pa je low-self-discharge (LSD) besedna zveza).

3.3.2 Prednosti in slabosti

Prednosti:

- Višja kapaciteta napram svinčevim akumulatorjem, tako glede na težo, kot na volumen, ki ga celice zasedajo.
- Podobna napetostna krivulja kot standardno uporabljane primarne celice (baterije), posledično možna enostavna zamenjava klasičnih bat-

erij s ponovno uporabnimi akumulatorji (AAA, AA, C, D,...)

- Relativno enostaven osnovni princip polnjenja (tokovno, $1/10 - 1/15$ C)
- Dokaj varne za uporabo - tudi ob pretiranem polnjenju ali praznjenju se celice sicer lahko poškodujejo, ne bo pa takšno ravnanje povzročilo npr. požara (kot se lahko zgodi pri določenih litijevih akumulatorjih)
- Robustnost - sploh NiCd celice so zelo robustne in jih je težko uničiti, tudi če jih dejansko zlorablamo čez vse dovoljene in nedovoljene meje.
- Tokovna zmogljivost - celice sicer niso tako tokovno zmogljive kot npr. SLA ali litij-polimer akumulatorji, jih pa po drugi strani lahko močno obremenimo, brez da bi tvegali hujše poškodbe celic. Obstajajo tudi (modelarske) izvedbe NiCd in NiMH celic z izredno nizko notranjo upornostjo in posledično odlično tokovno zmogljivostjo. Notranja upornost NiCd in NiMH celic se s segrevanjem niža, tako da, če potrebujemo veliko tokovno zmogljivost, lahko celice pred uporabo ogrejemo na $40 - 50$ °C.

Slabosti

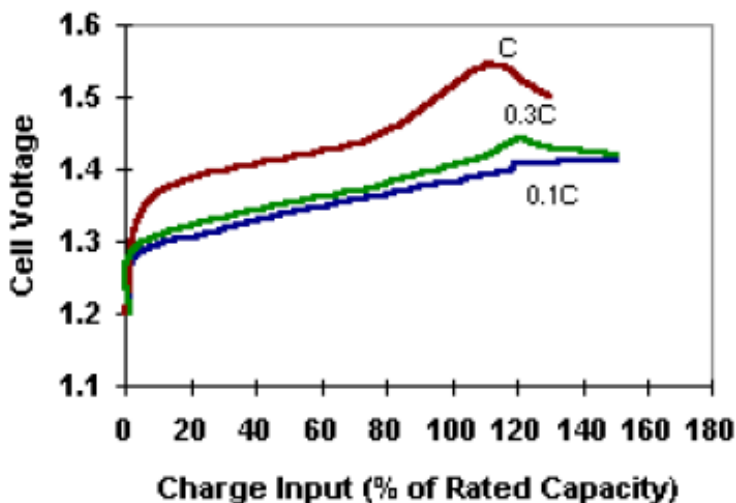
- Visoko samopraznjenje - NiCd celice so znane po relativno visokem odstotku samopraznjenja. To ni problem, če takšne celice uporabljamo v napravah z višjo porabo, kjer jih pogosto polnimo. Niso pa takšne celice primerne za uporabo z nizko-tokovnimi porabniki, saj je samopraznjenje celice pogosto večje od priklopljenega porabnika. Navadno višja tokovna zmogljivost NiCd celice pomeni tudi višje samopraznjenje. NiMH celice so glede samopraznjenja primerljive NiCd (razen v nadaljevanju opisanega LSD tipa).
- Spominski efekt - če NiCd celice večkrat izpraznimo le do določene meje (ne do konca), si celica to mejo "zapomni" in čez nekaj takšnih ciklov bo celica imela le še to kapaciteto, nato pa bo napetost drastično padla. Temu se izognemo, če celice pred

polnjenjem izpraznimo do konca (kar pa spet lahko vodi do obrata polaritete). NiMH celice imajo nekoliko manj izrazit spominski efekt, niso pa brez njega, kot je ponekod zmotno zaslediti oz. je bilo pompozno oglaševano ob pojavu NiMH celic.

- Obrat polaritete - če imamo več celic vezanih zaporedno, navadno nimajo vse povsem iste napetosti. Ko jih globoko praznimo, slej ko prej ena od celic pade na 0 V, ostale celice pa imajo še nekaj napetosti. Če paket praznimo naprej, se pri tej celici zgodi, da se ji polariteta obrne, kar ireverzibilno poškoduje celico = veliko zmanjšanje kapacitete. Ob nadaljni uporabi se ta problem še povečuje (saj je ta celica vedno prva prazna in vedno pride do obrata polaritete prav na njej) in čez čas celica odpove (sploh ne prevaja več), kar vidimo kot odpoved celotnega paketa.

Okoljska nevarnost (kadmij) - NiCd akumulatorji vsebujejo med 6% (industrijski akumulatorji) in 18% (komercialno dobavljivi akumulatorji) kadmija, ki je strupena težka kovina. Zaradi tega moramo NiCd akumulatorje ločeno odlagati, saj pomenijo precejšnje tveganje za okolje. Pri NiMH celicah je ta problem bistveno manjši, vseeno pa tudi NiMH celice spadajo v posebne odpadke.

3.3.3 Princip polnjenja



Slika 8: Graf polnjenja UI/t

NiCd in NiMh celice polnimo po istem postopku – s tokovno omejitvijo. Polniti začnemo z nizkim tokom (nekaj 10 mA) nekaj minut (temu pravimo formiranje), potem pa tok povečujemo do dovoljene meje (odvisno od tipa celic, navadno 1-2 C) in polnimo pri stalnem toku. Temu načinu pravimo polnjenje s konstantnim tokom.

Napetost na celicah pri polnjenju stalno raste, ko pa so celice polne, napetost na celicah pade za približno 1 % (15 mV / celico). Ta padec napetosti uporabimo za indikacijo končanja polnjenja (t. i. delta-peak metoda). Pri NiMH celicah ta je padec napetosti manjši (0,5 %), zato mora biti odčitavanje napetosti izvedeno natančnejše in posledično s polnilcem za NiCd ne smemo polniti NiMH celic. Problem pri detekciji napolnjenosti se lahko pojavi tudi ob polnjenju več zaporedno vezanih celic, saj v primeru okvare ene od celic v paketu padec napetosti ni tako očiten. Zato se navadno pri hitrih polnilcih za NiCd in NiMH uporablja tudi časovna in temperaturna omejitev, ki izklopi polnjenje v kolikor delta-peak metoda izklopa ne reagira pravočasno.

Polnjenje celic z visokimi polnilnimi tokovi je sicer pri veliki večini celic dovoljeno, a dokazano skrajšuje življensko dobo celic, zato priporočamo polnjenje s tokom 1 C ali manj - razen za celice, ki so med uporabo obremenjene z visokimi tokovi. Počasno polnjenje takšnih celic lahko celice "poleni" in jim zviša notranjo upornost. Še en, enostaven in v praksi pogosto uporabljen princip polnjenja pa je polnjenje s konstantnim tokom $1/10$ do $1/15$ C "v nedogled". Tako nizek tok navadno celice ne poškoduje, tudi če jo z njim polnimo dalj časa, saj odvečno energijo celica brez hujših poškodb odvaža kot toploto. Ta metoda za same celice ni najboljša (jim skrajšuje življensko dobo), ampak je zaradi svoje enostavnosti vseeno precej pogosta rešitev v enostavnih napravah, sploh pri NiCd celicah, ki so nekoliko bolj "robustne" in neobčutljive kot NiMH celice.

V preteklosti so se pojavljali tudi "naprednejši" tipi polnjenja (npr. refleksno), ki pa so sedaj, s pojavom novejših celic, precej zamrli in praktično ne dobimo več polnilcev, ki bi to omogočali.

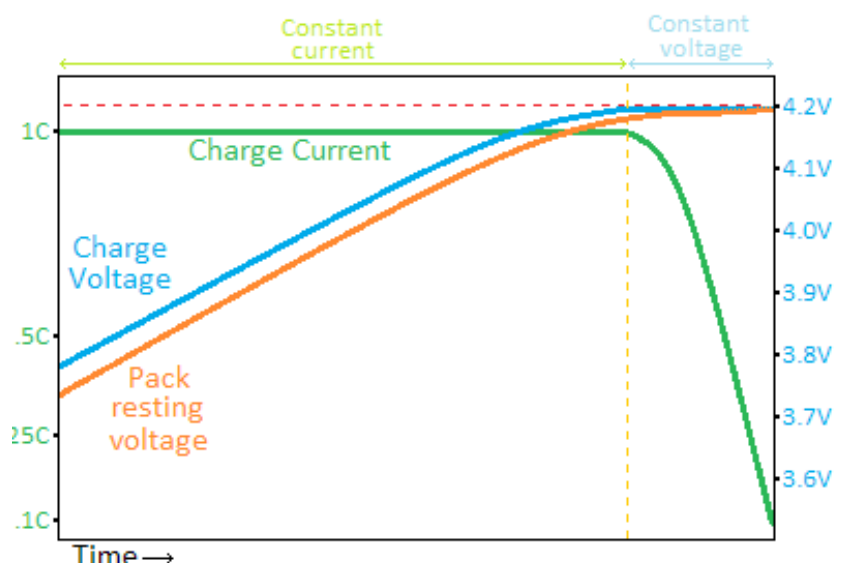
3.4 Litijevi akumulatorji

3.4.1 Zgodovina celic, opis raznolikosti

Akumulatorji na osnovi litija so danes uporabljani v veliko napravah (prenosni računalniki, predvajalniki, telefoni), obstaja pa več izvedb teh celic (litij-ion, litij-polimer, LiFePO_4) in zanje lahko rečemo, da so trenutno najbolj popularen tip akumulatorjev. Imajo daleč največjo zmogljivost akumuliranja električne energije, ne kažejo znakov spominskega efekta, imajo nizko samopraznjenje ter zagotavljajo zadosten tok (relativno nizka notranja upornost).

Poleg pogoste uporabe v napravah za široko potrošnjo so litijevii akumulatorji uporabljani tudi v vojaških ter vesoljskih aplikacijah, pa seveda tudi za pogon električnih vozil. Litijevih akumulatorjev (sekundarna celica) ne smemo zamenjevati z litijevimi baterijami (primarna celica), saj gre za povsem različen tip baterije, čeprav je v obeh primerih uporabljen litij kot del celice.

3.4.2 Princip polnjenja



Slika 9: Graf polnjenja LiPoly

Vse litijeve celice polnimo najprej s konstantnim tokom, ko pa je dosežena določena napetost (to se zgodi pri cca. 80% napolnjenosti), pa s konstantno napetostjo, pri čemer tok počasi pada proti nič. V osnovi je takšno polnjenje podobno polnjenju svinčevega akumulatorja, pri čemer pa je potrebno biti bistveno bolj natančen pri definiciji najvišje napetosti, ki nikakor ne sme biti presežena.

Kot je že omenjeno, se v prvem delu polnilnega cikla v celico pretoči okrog 80% elektrine, pri čemer pa sta časovno oba dela cikla približno enako dolga. To pomeni, da lahko v polovici polnilnega časa celico napolnimo na 80%, polnjenje preostalih 20% pa traja še enkrat toliko.

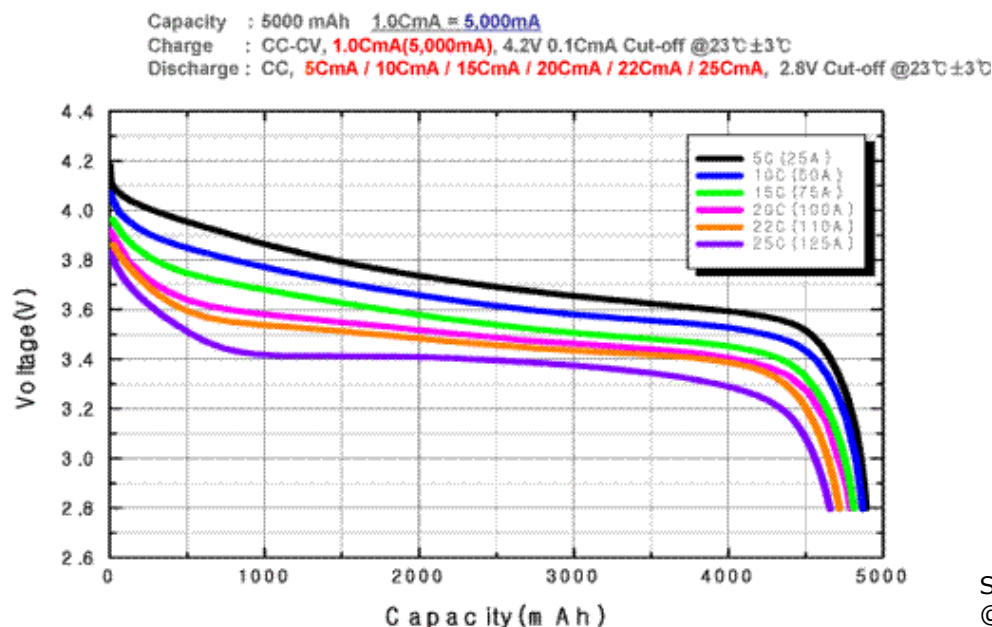
Litij-ion in litij-polimer celice navadno polnimo s tokom 1 C (dandanes so na voljo že tudi litij-polimer celice, ki jih je mogoče polniti z višjimi tokovi 2-3C), LiFe-PO4 celice pa lahko brez poškodb polnimo tudi z višjimi polnilnimi tokovi.

3.4.3 Življenska doba, nasveti za podaljševanje

Na hitro rečeno, glede življenske dobe je danes zmagovalec LiFePO4 celica. Napram Li-ion ali Li-polimer celicam mogoča višje število ciklov in daljšo življensko dobo (do 10 let), pa tudi višji polnilni tok.

Če primerjamo Litij-polimer celico z Litij-ionsko, lahko rečemo, da ima Litij-polimer celica načeloma krajšo življensko dobo: nekje 500 ciklov do 80 % nazivne kapacitete in 1000 ciklov do 65% nazivne kapacitete, pri čemer pa lahko za podaljšanje življenske dobe veliko naredimo tudi uporabniki sami. Posebna izvedba litij-polimer celic ("thin film rechargable lithium battery") pa je pokazala življensko dobo nad 10.000 ciklov, a je žal šele v laboratorijski fazi.

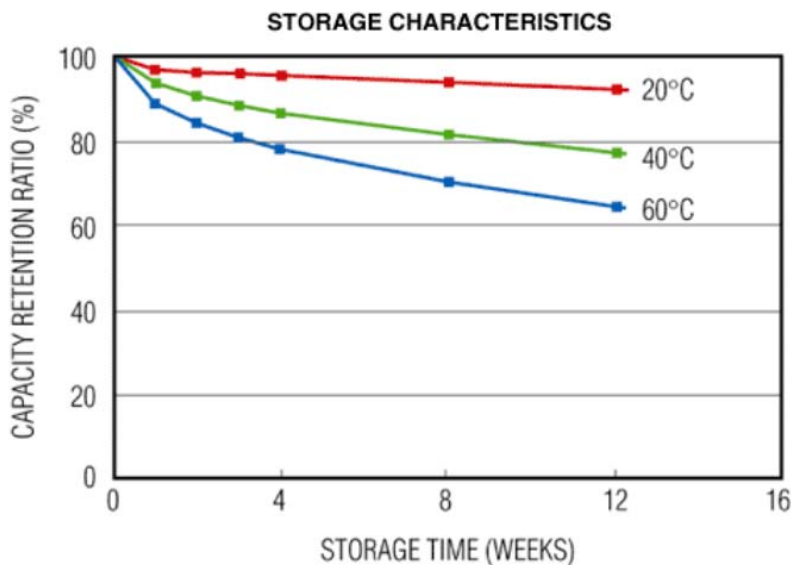
Izpraznjenje celic pod skrajno dovoljeno spodnjo mejo (odvisno od tipa) lahko celico poškoduje do te mere, da sploh ne prevaja več (praznjenje pod dovoljeno mejo in nad skrajno spodnjo mejo pa se odraža v zmanjševanju kapacitete celice). V tem primeru lahko včasih celico oživimo z zelo dolgotrajnim polnjenjem z zelo majhnim tokom – vendar pa je kapaciteta takšne celice potem bistveno zmanjšana, življenska doba pa vprašljiva.



Slika 10: Praznjenje LiPo
 @1/2/5/10/20 C

Življenska doba litij-ion celic je močno odvisna od shranjevanja: shranjujmo jih na hladnem in napolnjene na polovico (3,6 - 3,7 V na celico – shranjevanje 100% napolnjenih litij-ion celic za daljši čas jih uničuje). Pri litij-polimer celicah stopnja napolnjenosti shranjenih celic ni tako pomembna, za daljša obdobja pa se vseeno priporoča shranjevanje pri napetosti okrog 3,8 V na celico. Za LiFePO₄ celice stopnja napolnjenosti načeloma ni tako pomembna, vseeno pa večina proizvajalcev priporoča hranjenje pri polovici kapacitete (3,3 V na celico).

Notranja upornost litijevih celic se z nižanjem temperature viša, tako da imajo mrzle celice manjšo tokovno zmogljivost. Po drugi strani pa celicam škodi tudi pretirano gretje, tako da je najoptimalnejša temperatura za delovanje litijevih celic okrog sobne (20-30 °C).



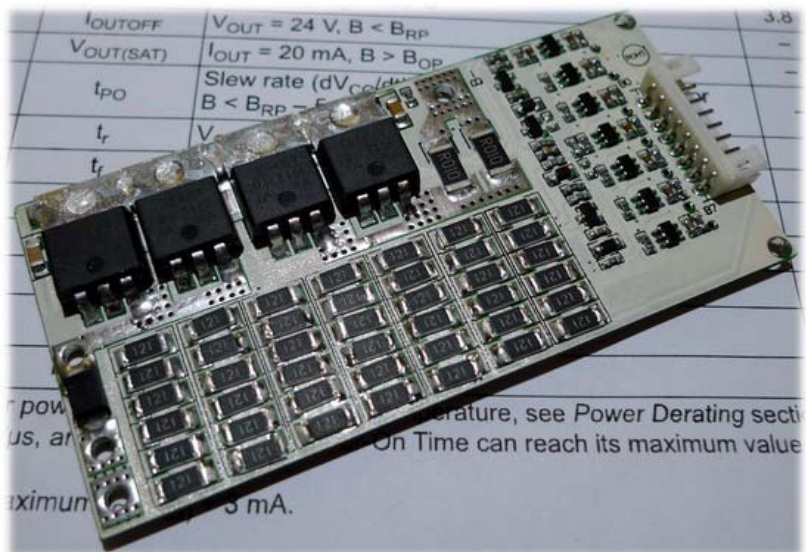
Slika 11: Graf vpliva temperature na kapaciteto

Z zaščitno elektroniko je paket zaščitn pred pretiranim izpraznjenjem oz. prenapolnjenjem ter na ta način ščiti vsako posamezno celico pred prenizko ali previsoko napetostjo, po drugi strani pa nas omejuje na kapaciteto najšibkejše celice v paketu.

Balansiranje oziroma izenačevanje celic pomeni to, da posebna elektronika skrbi, da imajo posamezne celice v paketu enako napetost, kar je še posebej pomembno pri polnjenju, ko celica ne sme preseči maksimalne dovoljene napeto-

3.4.4 Vezava celic, BMS

Litijeve celice v večini primerov (zaporedna vezava) zahtevajo zaščitno elektroniko (BMS - Battery Management System), ki meri napetost vsake posamezne (zaporedno vezane) celice in izklopi paket, če je napetost ene (katerakoli) od celic izven dovoljenih meja. Nekatere BMS enote nadzorujejo tudi temperaturo celic in skrbijo za balansiranje – izenačevanje celic.



Slika 12: BMS

sti. Običajno je vezje za balansiranje narejeno tako, da nadzira napetost posameznih celic in ko ena od celic doseže prednastavljeno napetost, le-to prazni preko uporov (ostale celice pa se med tem še vedno polnijo). Bolj napredne verzije omogočajo izenačevanje tudi med praznjenjem ali skozi celoten potek polnjenja.

3.4.5 Li-ion celice

3.4.4.1 Splošni opis

Glavne komponente litij-ion celice so anoda (navadno ogljena), katoda (navadno kovinski oksid) in elektrolit (litijeva sol v organskem topilu). Litij-ion celice so sicer dražje kot NiCd ali NiMH celice, vendar nudijo širše temperaturno območje delovanja in seveda bistveno večjo kapaciteto glede na maso / prostornino. Slaba stran (praktično vseh) litijevih akumulatorjev je občutljivost na pretirano polnjenje oz. izpraznjenje ter cena.



Slika 13: Litij-ion celica

3.4.4.2 Prednosti in slabosti

Prednosti

- Velika izbira različnih dimenzij, oblik in kapacitet.
- Bistveno boljše razmerje kapaciteta / teža kot pri NiCd in NiMH akumulatorjih.
- Visoka napetost posamezne celice – potrebnih manj celic za zagotovitev želene napetosti.
- Brez spominskega efekta.
- Nižje samopraznjenje (cca. 5-10 % na mesec) napram klasičnim NiCd / NiMH celicam (čez 30 % na mesec). Glede na podatke določenih proizvajalcev pri Li-Ion tehnologiji samopraznjenja skoraj ni, se pa niža kapaciteta glede na življensko dobo, svoj (sic-

er majhen) del porabe pa gre pripisati tudi zaščitni elektroniki, ki jo takšne celice potrebujejo.

- Komponente so ekološko bistveno bolj neoporečne (ni težkih kovin).

Slabosti

- Življenska doba celic.
- Pri vsakem polnjenju se zaradi spreminjanja notranje oblike kapaciteta celic nekoliko zmanjša. Poveča se tudi notranja upornost celic in posledično zmanjša tokovna zmogljivost celic. Ta problem je bolj občuten pri aplikacijah, kjer potrebujemo večji tok.
- Polnjenje pri visokih temperaturah skrajšuje življensko dobo celic (zmanjšanje kapacitete).

- Standardna Litij-ion celica napolnjena pri 25 °C nepovratno izgubi cca. 20 % kapacitete na leto. Slaba postavitev (pregrevanje celic) lahko to pospeši: 6 % izguba pri 0 °C, 20 % pri 25 °C in 35 % pri 40 °C. Če celico shranjujemo napolnjeno na 40-60 %, je ta izguba bistveno zmanjšana (2 / 4 / 15 %), zato Li-Ion in Li-Po celice vedno (na daljše časovno obdobje) shranjujmo napol polne (ne pa prazne, saj jih lahko to uniči). Za razliko od Li-Ion in Li-Po celic, življenska doba LiFePO_4 celic ni odvisna od stanja napolnjenosti.

- Notranja upornost (povprečnih) Litij-Ion celic je višja napram (povprečnim) NiMH, NiCd, LiPoly in LiFePO_4 celicam. Notranja upornost pa se z uporabo še povečuje, kar povzroči padanje napetosti akumulatorja pod večjo obremenitvijo. V praksi to pomeni zmanjšanje kapacitete oz. zgodnje prenehanje delovanja naprav, ki potrebujejo visoke tokovne konice.

- Varnost - če celico polnimo čez dovoljeno napetost, se celica lahko močno segreje oz. v skrajnih primerih celo eksplodira (nenormalno visok polnilni tok). Tudi globoko praznjenje (pod 3,0 V na celico) vodi do nepovratne poškodbe celic, ki lahko povzročijo tudi nepravilnosti pri ponovnem polnjenju. Zato so Litij-ion celice običajno opremljene z zaščitno elektroniko, ki preprečuje delovanje celic, če napetost ni znotraj dovoljenega območja (3,0 – 4,2 V). Pri dolgotrajnem shranjevanju celice lahko (sicer minimalna) poraba zaščitne elektronike celico izprazni pod dovoljeno napetost in jo ne moremo več napolniti. Veliko celic tudi ne smemo polniti pri nizkih temperaturah (pod 0 °C)

3.4.4.3 Specifični nasveti

Kot je bilo že opisano, se Litij-ion celic ne sme shranjevati napolnjenih, sicer nepovratno izgubljajo kapaciteto, kar je lepo videti pri prenosnih računalnikih, ki stojijo stalno priklopljeni na napajanje in ki jim kot po pravilu celice odpovejo po nekaj letih kljub temu, da uporabniki zatrjujejo "saj akumulatorja skoraj nisem uporabljal/a". Žal elektronika v teh akumulatorjih ni naravnana "uporabniško" (možnost nastavitve računalnika na tip "namizni", kjer bi bil akumulator napolnjen le do 50%), temveč komercialno (kupi nov akumulator, pa bo).

Druga zadeva, vredna omembe, je shranjevanje Litij-ionskih celic, kjer močno pomaga, da celico shranjujemo v hladnem (hladilnik). Vendar to velja zgolj za shranjevanje, ob uporabi naj bodo celice na sobni temperaturi, saj imajo mrzle višjo notranjo upornost in posledično slabšo tokovno zmogljivost.

BMS sistem je pri tem tipu celic nujen in precej akumulatorjev za mobilne naprave ima BMS že vgrajen v samo celico. Če pa izdelujemo "custom" paket, pa na uporabo BMSa nikakor ne smemo pozabiti, saj lahko nepravilno polnjenje privede do nesreče, pretirano izpraznjenje pa do poškodbe akumulatorskega paketa.

3.4.6 Li-polymer celice

3.4.6.1 Splošni opis

Ta tip celic izhaja iz tehnologije Litij-ion celic in je uporabljan v praksi nekje od leta 1996 naprej. Prednosti napram Litij-ion celicam so nižja cena izdelave, poljubna oblika celice in višja kapaciteta pri isti masi. Dobro so se uveljavile v modelarskem

svetu, saj ponujajo izvrstno razmerje moč-masa, pa tudi kapaciteta-masa, najdemo pa jih tudi v številnih napravah iz sveta zabavne elektronike.



Slika 14: Litij-polimer celica

Za razliko od Litij-ion celic, ki imajo trdno kovinsko ogrodje, imajo litij-polimer celice ohišje iz posebne plastične folije, kar pomeni, da so precej bolj občutljive na mehanske poškodbe (udarci, predrtje ...), kar moramo pri izbiri vzeti v zakup. Smo pa na ta način pridobili cca. 20-30 % kapacitete pri isti teži (pa tudi na tokovni zmogljivosti) in možnost vgradnje celice na manjši prostor. V vsakem primeru pa mora Litij-polymer paket biti zaščiten pred možnimi udarci z ustreznim ohišjem.

3.4.6.2 Prednosti in slabosti

Prednosti

- Najboljše razmerje moč-masa, izjemno nizka notranja upornost
- Najboljše razmerje kapaciteta-masa in kapaciteta-volumen
- Možne poljubne oblike celic in s tem optimizacija dimenzij končnega izdelka
- Lahko jih hranimo napolnjene na 100% brez zmanjšanja kapacitete

Slabosti

- Občutljivost na pretirano izpraznjenje – možno uničenje celic
- Občutljivost na prenapolnjenje – možno uničenje celic, pa tudi ogenj, eksplozija ...
- Občutljivost na mehanske poškodbe (celica nima trdnega ogrodja)
- V primeru vezave več celic zaporedno potreba po izenačevanju celic
- Življenska doba je omejena tako glede na število ciklov kot časovno
- Občutljivost na nizke in visoke temperature

3.4.6.3 Specifični nasveti

Kot je opisano že v poglavju o življenski dobi litijevih celic, lahko s pravilno nego litijevih celic izredno veliko vplivamo na samo življensko dobo. Celice, ki bodo primerno vzdrževane, nam bodo služile kar nekaj časa, po drugi strani pa lahko s samo enkratno nepazljivostjo celice brez pretiranega truda uničimo že s tem, da jih preveč izpraznimo. Zato je uporaba primerne BMS sistema zelo zaželenja, če ne celo nujna.

Dostikrat se celica po dolgem času uporabe tudi brez pravega razloga "napihne" (kar se sicer rado zgodi, če celico preveč napolnimo, izpraznimo ali je podvržena močnemu mehanskemu udarcu), kar pomeni, da se ji življenje počasi izteka. Je pa res, da takšna "napihnjena" celica še ni uničena, saj ima še vedno lahko kar nekaj uporabne kapacitete, ne svetujem pa uporabe takšnih celic v "kritičnih" aplikacijah (npr. letalski ali heli model).

3.4.7 LiFePO₄ celice

3.4.7.1 Splošni opis

LiFePO₄ celica je bila odkrita v sklopu raziskovalne skupine teksaške univerze leta 1996. Takratna celica je imela velik problem z visoko notranjo upornostjo, tako da so dejansko uspešne (in uporabne) celice luč sveta (tržno) ugledale šele v letu 2007 in se danes uporabljajo v kvalitetnejšem ročnem orodju (DeWalt, Black&Decker ...) kot tudi v prototipih električnih vozil (GeneralMotors, Chervolet, Daimler itd.)



Slika 15: LiFePO₄ celice

LiFePO₄ ima sicer nižjo napetost in manjšo zmožnost shranjevanja energije na enoto mase in volumna napram litij-polimer celicam, vendar pa se ta razlika z razvojem celic in uporabo (živiljsko dobo) vztrajno manjša. Velja pa upoštevati, da so LiFePO₄ celice bistveno manj občutljive na zlorabo, pa tudi tekom uporabe se zaradi padanja kapacitete litij-ion in litij-polimer celicam tehnica vse bolj nagiba na stran LiFePO₄.

3.4.7.2 Prednosti in slabosti

Prednosti:

- LiFePO₄ celica deluje na podobni tehnologiji kot Litij-ion in Litij-polimer celice in si tako z njimi deli del prednosti in slabosti – ima pa tudi nekaj lastnosti, po katerih, z uporabniškega stališča, presega druge litijeve celice: odlična termična in kemična stabilnost, ki omogoča varno rekovanje ter tudi izredno dolgo življensko dobo, neodvisno od časa uporabe.
- Omogoča višje število ciklov in daljšo življensko dobo (do 10 let) napram LiIon in LiPo.
- Uporaba fosfata zmanjša strošek izdelave ter poveča okoljsko varnost celice (v litij-ion in litij-polimer celicah se v manjših količinah uporablja tudi kobalt)
- Omogočajo relativno visoke tokove (nizka notranja upornost)
- So relativno neobčutljive na "zlorabe" (pretirano polnjenje, praznjenje pod dovoljeno mejo)

Slabosti:

- Razmerje shranjene energije v enoti volumna je nižje kot pri litij-ion in predvsem litij-polimer celicah.
- Večina LiFePO₄ celic je tokovno slabše zmogljiva kot primerljive druge celice. Ker pa se razvoj teh celic intenzivno nadaljuje, lahko tu pričakujemo še napredek – npr. A123 celice že omogočajo kratkotrajne praznilne tokove do 100C, kar je povsem primerljivo najboljšim litij-polimer celicam!
- Nižja napetost na posamezno celico napram litij-ion in litij-polimer celicam.

3.4.7.3 Specifični nasveti

Tudi LiFePO₄ celice v paketu, kjer je vezanih več celic zaporedno, čez čas nimajo več enake napetosti, kar uspešno rešujemo z balanserjem. Pri polnjenju moramo paziti, da ne presežemo najvišje dovoljene napetosti, čeprav posledice niso tako uničujoče kot npr. pri litij-polimerni celici, kjer lahko pride do požara. Celico pa s takšnim polnjenjem vseeno poškodujemo. Zato priporočam uporabo BMS enote tudi pri tem tipu celic, čeprav je ponekod zaslediti, da BMS za LiFePO₄ tehnologijo ni potreben. Res ni, v kolikor uporabljamo manjše pakete (2S, 3S) in v kolikor imamo "inteligentni polnilca", ki med polnjenjem nadzira vsako posamezno celico in skrbi za balansiranje (tipična "modelarska" uporaba, ko želimo težo spraviti na minimum). Če pa "inteligentnega" polnilca z balanserjem nimamo, pa je BMS praktično nujen!

3.4.8 Drugi tipi litijevih celic

Obstajajo tudi druge variacije litijevih akumulatorjev kot npr Litij-manganov oksid (LiMn₂O₄) in Litij-nikelj oksid (LiNiO₂), ki pa niso prav pogoste v široki potrošnji. Celico se imenuje po tipu materiala, ki je uporabljen za katodo, anoda je ponavadi ogljikova, uporabljeni elektroliti pa zelo različni od proizvajalca do proizvajalca.

Na voljo je tudi kar nekaj bolj eksotičnih tipov celic, ampak trenutno lahko rečemo, da so še bolj v eksperimentalni fazi in niso uporabljane v trenutnih serijskih aplikacijah. Še največ upanja za uporabo v električnih vozilih je v t.i. "hitro-polnilnih" celicah, ki jih lahko do kapacitete 80 % in več napolnimo v nekaj minutah (kot bi tankali bencin).

	Pb	Pb-gel	NiCd	NiMH	LiIon	LiPoly	LiFePO ₄
Specifična energija [Wh / kg]	30-40	30-40	40-60	50-80	100-180	130-200	90-140
Specifična energija [Wh / L]	60-75	55-70	50-150	140-300	250-420	300	220
Specifična moč [W / kg]	180	130	200-800	250-1000	900	5000	2000
Izkoristek enega cikla(1) [%]	50-90	60-90	50-70	60-70	80-99	95-99	80-90
Samopraznjenje [% na mesec]	3-20	5-15	25-35	25-40	5-10	5	8-15
Življenska doba [cikli]	400-800	300-800	500-1000	500-700 ⁽²⁾	400-1200	1000	2000
Življenska doba [mesece]	36-60	36-60	N/A	N/A	N/A	24-48	120
Nominalna napetost celice [V]	2,105	2,105	1,2	1,2	3,6	3,7	3,3

(1) Izkoristek cikla pomeni, koliko energije dobimo nazaj iz akumulatorja, ko ga napolnimo in nato praznimo s tokom 0,5 C.

(2) Nekateri proizvajalci LSD NiMH obljublajo življensko dobo tudi 1000+ ciklov

4. Primerjalna tabela posameznih sekundarnih celic

Za boljši pregled je navedena tabela z opisanimi tipi celic ter primerjalnimi vrednostmi. Vrednosti so informativne in vzete iz trenutno dostopnih virov, ker pa se celice razvijajo iz dneva v dan, se podatki seveda lahko spreminjajo.

5. Slovarček izrazov

Praznilni ali polnilni tok "C"

Je definiran kot polnilni ali praznilni tok, enak kapaciteti merjene celice:

Tok "5C" za celico s kapaciteto 5000 mAh = $5 \times 5000 \text{ mAh} = 25 \text{ A}$ (25.000 mAh).

Tok "5C" za celico s kapaciteto 1000 mAh = $5 \times 1000 \text{ mAh} = 5 \text{ A}$ (5.000 mAh).

Specifična energija

je definirana kot energija, ki jo lahko zagotovi 1 kg izbranega tipa celic.

Specifična gostota energije

Je definirana kot energija, ki jo lahko zagotovi 1 kubični decimeter izbranega tipa celic.

Specifična moč

Je definirana kot največja moč, ki jo (kratkotrajno) lahko zagotovi 1 kg izbranega tipa celic.

Izkoristek enega cikla

Je izmerjena vrednost, ki jo dobimo iz enega celotnega cikla (polnjenje-praznjenje):

Ko prazno celico napolnimo s 5000 mAh in iz nje pri praznjenju s tokom 0,5 C lahko dobimo 4000 mAh, je izkoristek takšne celice 80%.

Življenska doba celice

Življenska doba celic se deli na število ciklov ter samo časovno življensko dobo (od takrat, ko celice začnemo uporabljati).

6. Zaključek

Dandanes imamo na voljo razne tipe sekundarnih celic, vsak od njih pa ima svoje prednosti in slabosti.

Mogoče "na papirju" še najbolj izgleda LiFePO₄ tehnologija, čeprav imajo te celice v realnem okolju še vedno precej "porodnih krčev" – sploh proizvajalci, ki so se izdelave teh celic lotili relativno pozno. Tako je na trgu kup "kvazi" LiFePO₄ celic s katastrofalno slabimi karakteristikami, da kratke življenske dobe (navkljub sicer drugačnim obljubam in papirnim specifikacijam) niti ne omenjam. Po drugi strani pa obstaja tudi kar nekaj odličnih (a žal ne najcenejših) celic kot so npr. originalne (na ebayu je večina teh celic ponaredkov!!) A123 26650 celice ali pa Thundersky "blok"

celice. Sam sem testiral 12 paketov za pogon e-koles, kupljenih preko ebay-a, in žal moram reči, da niti eden od paketov ni od sebe dal tega, kar so obljubljale specifikacije, 2 pa sta imela eno uničeno celico že po mesecu dni uporabe.

Druga alternativa je uporaba kvalitetnih litij-polimer ali litij-ion celic, ki so nekoliko "starejša" in zato tudi bolj preizkušena tehnologija, ki pa ima žal slabo stran: relativno omejeno življensko dobo (ki pa jo lahko s skrbnim ravnanjem bistveno podaljšamo!) in tudi veliko občutljivost na preizpraznjenje in prenapolnjenje, ki lahko v skrajnih primerih vodi celo do samovžiga ali eksplozije celice (YouTube - "lipo fire"). Uporaba kvalitetnega BMS-a je pri uporabi litij-ion in litij-polimer celic vsekakor obvezna!

Še enkrat bi na tem mestu želel opozoriti na kupovanje celic preko interneta (ebay in druge spletne trgovine), kjer so kupljene celice (LiPo, LiIon in LiFePO4) navadno zelo slabe kvalitete in nikakor ne ustrezajo "deklarirani" kapaciteti in tokovni zmogljivosti, pa tudi življenska doba je vprašljiva (v kleti imam kar nekaj takšnih nedelujočih "večnih" LiFePO4 paketov). Še za najzanesljivejši se je izkazal nakup celic preko modelarskih trgovin (npr. hobbyking.com), dočim nakup raznih "setov" celic za predelavo koles ali skuterjev glede na lastne izkušnje odsvetujem. V štartu je investicija tako nekoliko višja, a se kmalu povrne, saj kvalitetne celice delujejo boljše in precej dalj časa.

V nekaterih cenениh kitajskih električnih kolesih ali skirojih najdemo tudi še svinčeve celice, ampak – realno gledano – so za uporabnika te najslabša možna izbira. Poleg velike teže so tudi zelo nevzdržljive in jih je potrebno ob redni uporabi menjavati vsaj 2-3x letno. Ko to vzamemo v zakup, naenkrat niso več tako poceni ...

7. Viri

http://en.wikipedia.org/wiki/Lead-acid_battery

http://www.windsun.com/Batteries/Battery_FAQ.htm

http://en.wikipedia.org/wiki/VRLA_battery

http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel-cadmium_battery

http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel-metal_hydride_battery

http://en.wikipedia.org/wiki/Low_self-discharge_NiMH_battery

http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery

http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_polymer_battery

http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery

