

Tehnika in konstruktorstvo

Ureja: Matjaž Vidmar, SS3MV, Sergeja Mašere 21, 5000 Nova Gorica, Telefon doma: 065 26-717

Kako se lotiti napajalnika?

Matjaž Vidmar, SS3MV

Pri iskanju člankov pogosto naletimo na oviro, da je bil ravno najpotembnejši članek objavljen že pred mnogimi leti v časopisu, ki ga je težko dobiti. Med takšne časopise spadajo tudi prvi širje letniki CQ ZRS v malem formatu A5. Fotokopiranje starih izvodov ne pride v poštov, saj je vseh člankov enostavno preveč. Stare članke s še vedno svežo vsebinijo pa zato najbolj pametno zbrati in objaviti v knjigi.

Lani smo uspeli sestaviti zbornik BEACON99, ki vsebuje vse članke iz CQ ZRS na temo mikrovalovnih SSB postaj, anten in meriteln tehnik. Letos načrtujemo podobno knjigo o packet radiu. Vse stvari seveda ne grejo samo v knjige in za nekaj najpotembnejših člankov so me uspeli prepričati, da jih ponovno objavim v CQ ZRS.

Prvi takšen članek je opis napajalnika, ki je bil prvič objavljen točno pred sedmimi leti v CQ ZRS 2/1993. Vsebina je še vedno sveža in kljub natančnemu pregledu besedila sem komaj našel kakšen popravek ter dodal par vrstic.

1. Mr. Murphy in napajalniki

Nezmotljivi gospod Murphy trdi v zbirki svojih slavnih pravil, da bo v elektronskih napravah prav gotovo najprej crknil napajalnik, ker se da na tak način povzročiti kar največja škoda. Matematičnega dokaza za to trditev sicer ne vem, sem se pa večkrat lahko sam prepričal o veljavnosti te trditev.

Če se gospod Murphy ne sprašuje, zakaj crkne napajalnik, pa sem sam opazil, da napajalnik le redkokdaj crkne zaradi "zunanjih" vzrokov, kot so prenapetosti v omrežju, udari strele, sušenje cunj na hladilnih rebrih napajalnika ali uporaba "Made in Napoli" tranzistorjev in integriranih vezij v napajalniku. Največkrat se izkaže, da je "napaka" drugje, verjetno v načrtovanju samega napajalnika. Besedo "napaka" tu pišem med navednicami, saj ni nujno nenamerna.

Vsi primer dobro vemo, da so napajalniki v vseh sodobnih barvnih televizorjih načrtovani tako, da se pokvarijo natančno v določenem času, se pravi v dveh do treh letih. Ker predstavljajo te okvare poglavitni vir zasluga raznih kvazimojstrov in serviserjev, jih ne moremo kar tako preprosto odpraviti. Televizorji so seveda mojstrovina sodobnega načrtovanja in "napake" v napajalniku so tako prefijnjene, da se jih ne da izločiti s preprosto vgradnjo močnejših sestavnih delov: kvazimojstri so lahko brez skrbi za svoje delovno mesto!

Radioamaterji imamo za naše naprave seveda svoje napajalnike in tudi svojevrstne težave. Poraba naših naprav je lahko skoraj nespremenljiva (računalnik) do zelo spremenljiva (SSB oddajnik). Razen tega naše naprave pogosto prevczujemo med različnimi napajalniki, baterijami in akumulatorji, pa še močna visokofrekvenčna polja naših oddajnikov so zraven!

Seveda si nihče kaj dosti ne pričakuje od "ZetaGi the best for CB" napajalnika. Na prednji plošči sicer piše "POWER SUPPLY 13.8V 3A", v notranjosti škatlice pa najdemo omrežni transformator, ki ima sekundar navit s CuL žico 0.5mm fi, ki jo lahko obremenimo le do 500mA brez pretiranega segrevanja.

Da lahko takšen napajalnik da tudi 3A izhodnega toka, je sekundar omrežnega transformatorja navit za 30V, za znižanje in stabilizacijo izhodne napetosti pa poskrbita 2N3055 in uA723 skupaj z minimumom sestavnih delov, da uA723 ne samooscilira. Takšen napajalnik verjetno res da na izhodu tudi 3A pri 13.8V, vprašanje je le, koliko časa to deluje. Ker nobena od dimenzijskih škatle ne presega 10cm in stena škatle služi tudi kot hladilno rebro za 2N3055, se bo stvar zelo hitro pregrela, 2N3055 bo prebil v kratki stik in porabnik bo namesto 13.8V dobil tudi do 30V...

Po drugi strani človek nchote zaupa napajalnikom znanih proizvajalcev laboratorijske opreme, na primer tovarne Hewlett-Packard, ko dobi zraven še debelo knjigo navodil o vseh možnih zaščitah napajalnika in ravnanju z

njimi. Čeprav proizvajalec ni skoparil s sestavnimi deli in njihovim dimensioniranjem, tudi tu ne gre brez težav! Če s takšnim "supernapajalnikom" napajate vaš toki-voki, bo vse ok, dokler bo toki-voki priključen na meritnik moči z umetnim bremenom.

Nikar pa ne poskusite toki-vokija z njegovo "gumi" anteno: po nepotrebni skomplizirana elektronika napajalnika bo v močnem visokofrekvenčnem polju ponorela, napajalnik bo na izhodu namesto željenih 12V dal tudi 40V in, če bo vsaj napajalnik to preživel, od vašega toki-vokija ne bo dosti ostalo!

Od vseh nevščnosti so verjetno najbolj zopri "nepredvideni" dogodki: naprimjer, kaj se zgodi, če izhode dveh napajalnikov povezemo vzporedno, s sicer pravilno polariteto? Ali če pomočoma priključimo vzporedno izhodu napajalnika akumulator ali celo samo nabit elektrolitski kondenzator? Iz marsikaterega napajalnika nastane tedaj "dimna škatla", še posebno v primeru, če je napajalnik izključen...

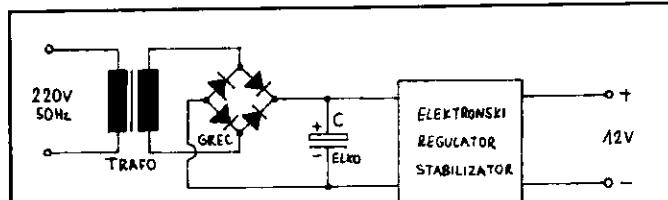
Ta dolgi uvod se mi je zdel potreben, ker sem tudi sam napravil precej škode in uničil precej sestavnih delov z napačnim načrtovanjem napajalnika. S tem nočem reči, da načrtovanje in izdelava napajalnika ni primerna za začetnike, pač pa da napajalnik, tako kot vsaka druga naprava, zahteva pri načrtovanju določeno previdnost! V tem članku bom zato skušal opisati, kako se lotiti načrtovanja in potem izdelave napajalnika, da ne bo ob prvih ugodnih prilikih iz našega izdelka nastala dimna škatla, ognjemeti ali kaj podobnega, saj smo navsezadnjie radioamatertji in ne pirotehnični.

2. Načrtovanje napajalnika

V tem članku se bom omejil na navadne napajalnike, to je takšne s transformatorjem, ki dela na omrežni frekvenci 50Hz, usmernikom in linearnim elektronskim regulatorjem - - stabilizatorjem izhodne napetosti (ne "switcherjem") in to za nizke izhodne napetosti (v razredu 12V), kar potrebuje večina naših radioamaterskih naprav. Visokonapetostni napajalniki so seveda poglavje zase. Tudi o bolj kompliziranih preklopnih napajalnikih (switcherjih), ki uporabljajo dušilke in transformatorje na frekvencah nad 20kHz in tako dosegajo boljši izkoristek, v tem članku ne bom govoril.

Osnovni načrt napajalnika je prikazan na sliki 1. Omrežno napetost 220V najprej pretvorimo s transformatorjem na bolj primerno vrednost, usmerimo s širimi diodami v grecovem spoju, grobo gladimo, filtriramo z elektrolitskim kondenzatorjem in končno reguliramo, fino gladimo in stabiliziramo z elektronskim regulatorjem. Če se komu zdi stabilizacija izhodne napetosti nepotreben luksuz, naj takoj dodam, da stane elektronsko fino glajenje enosmerne napetosti danes dosti manj od sicer potrebnih velikih elektrolitskih kondenzatorjev in še bolj nerodnih dušilk. Če potem to isto vezje izhodno napetost hkrati stabilizira in vsbuje še kakšno zaščito, ni nič narobe...

Elektronski regulator - stabilizator dobimo danes v obliki enega samega integriranega vezja, na primer družine 78xx za regulator v pozitivni veji (negativni pol skupen) oziroma 79xx za regulator v negativni veji (pozitivni pol skupen). Za enostaven napajalnik in za tokove do 1A je to enostavna



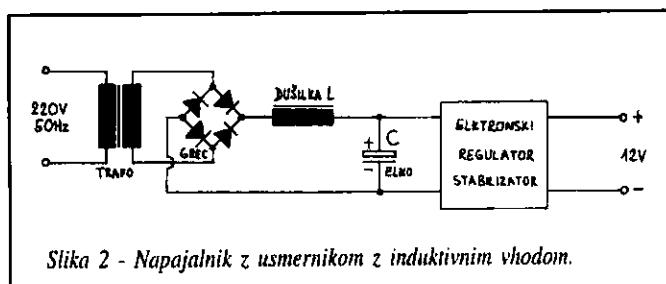
Slika 1 - Napajalnik z usmernikom s kapacitivnim vhodom.

in poceni rešitev. Integrirana vezja za večje tokove (nad 2A) je težje dobiti in so zelo draga, vzporedna vezava pa ni možna. Še več, integrirana vezja 78xx ali 79xx lahko z vzporedno vezavo z drugim napajalnikom zelo hitro uničimo. Integrirana vezja družin 78xx in 79xx imajo tudi zelo slab izkoristek, saj vedno potrebujejo 5mA za lastno delovanje in padec napetosti preko vezja najmanj 3V, da pravilno delujejo. 12V napajalnik zato rabi najmanj 15V iz usmernika!

Za izhodne tokove nad 2A se zato ze z vidika izkoristka (dimenzijske dragih hladilnih reber) splača sestaviti regulator - stabilizator iz navadnih tranzistorjev in NE iz integriranih vezij! Za izhodne tokove nad 2A je treba smiseln izbrati tudi ustrezen moč in izhodno napetost transformatorja. Od pravilne izbire izhodne napetosti zavisi izgube na hladilnih rebrih tranzistorjev. Za 12V (13.8V) napajalnik se običajno odločimo za 16 do 17Veff na sekundarju transformatorja, kar da po usmerjanju in glajenju s kondenzatorjem srednjo enosmerno napetost okoli 19 do 20V. Za omogočanje delovanja regulatorja je seveda važna trenutna minimalna napetost, če upoštevamo nihanje efektivne vrednosti omrežja in valovitost napetosti na elektrolitskem kondenzatorju.

Ustrezen moč transformatorja je težje določiti. Pri usmerniku s kapacitivnim vhodom (na grec je naravnost priključen kondenzator za glajenje) ima tok v transformatorju obliko ozkih impulzov, ki za enako srednjo vrednost toka bistveno bolj segrevajo navitja transformatorja od izmeničnega toka sinusne oblike. Zaradi večjega segrevanja smemo v takšnem režimu delovanja obremeniti usmernik z enosmernim tokom, ki znaša komaj 60 do 80% nazivne efektivne vrednosti sekundarnega toka transformatorja.

Bistveno boljše lahko izkoristimo transformator z usmernikom z induktivnim vhodom vezja za glajenje, kot je to prikazano na sliki 2. V usmerniku z induktivnim vhodom poskrbi za prvo grobo glajenje usmerjenega toka dušilka, ki shranjeno energijo vrača porabniku v času med obema polperiodama. V teoriji dodatni kondenzator za glajenje sploh ni potreben, v praksi pa je zaradi neidealnosti dušilke vendarle potreben tudi kondenzator, čeprav približno petkrat manjši kot pa v usmerniku s kapacitivnim vhodom (slika 1.)



Slika 2 - Napajalnik z usmernikom z induktivnim vhodom.

Ker dušilka gladi usmerjeni tok, je tok skozi navitje transformatorja pravokotne oblike, usmerjeni tok pa je tedaj po velikosti lahko enak nazivni vrednosti efektivnega toka sekundarja transformatorja. Nazadnje ima usmernik z induktivnim vhodom še to prednost, da se izhodna napetost manj spreminja z obremenitvijo, zato sta padec napetosti in s tem izgube (hlajenje!) v elektronskem regulatorju - stabilizatorju manjše.

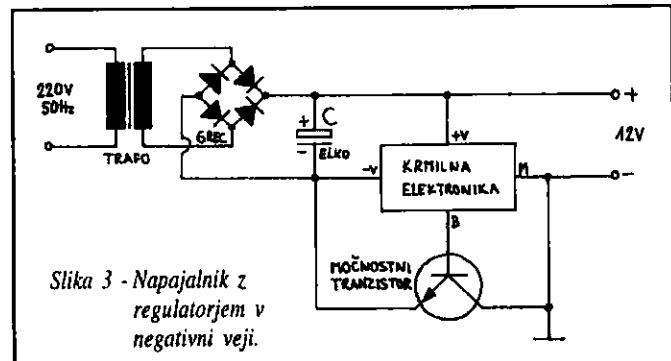
Katero vrsto usmernika bomo izbrali, s kapacitivnim vhodom ali z induktivnim vezja za glajenje, najbolj zavisi od velikosti napajalnika. V napajalniku za tok manjši od 3A pri 12V z uporabo dušilke skoraj nič ne prihranimo, uporaba usmernika z induktivnim glajenjem pa je skoraj obvezna v napajalnikih za tokove večje od 15A pri 12V. Edina nerodnost dušilke za glajenje je v tem, da po dimenzijsah in ceni ni dosti manjša od omrežnega transformatorja, današnji gospodje radioamaterji pa vsi smrtno sovražijo vsakršno navijanje.

Ko smo se že odločili za vrsto usmernika, se je treba odločiti še za polaritet elektronskega regulatorja. Ker danes ni več nobene razlike v tehničnih karakteristikah in ceni, lahko uporabimo močnostne tranzistorje obeh polaritet: PNP ali NPN. Nadalje, ne glede na polaritet močnostnega tranzistorja lahko le tega vstavimo v pozitivno vojo ali pa v negativno vojo za usmernikom. Skupaj imamo torej štiri različne možnosti... Kvazimojstri tudi o tem vprašanju ne razmišljajo, pač pa potegnejo na dan prvi načrt za

napajalnik, ki jim pride pod roko, in vgradijo NPN ali PNP tranzistor v pozitivno vojo.

Sam razmišljjam o polariteti takole: večina naših naprav je zgrajena za 12V napajanje iz avtomobilskega akumulatorja, se pravi ima negativni pol napajanja speljan na ohišje. Zato je smiselno, da ima tudi napajalnik speljan negativni pol, in sicer izhodno sponko, na ohišje, da preprečimo kratke stike. Od vseh sestavnih delov napajalnika je najtežje izolirati od ohišja prav močnostne tranzistorje, ki jih je treba pritrdirti na velika hladilna rebra.

Ker je tehnološko pogojeno, da je pri vseh močnostnih tranzistorjih speljan na ohišje kolektor (bipolarni) ali ponor (močnostni MOSFETi), je v regulatorju napajalnika smiselno uporabiti NPN močnostni tranzistor ali N-kanalni FET in sicer v negativni voji usmernika, kot je to prikazano na sliki 3, saj edino v tem slučaju ni potrebno izolirati ohišja tranzistorjev od hladilnega rebra oziroma ohišja napajalnika.



Slika 3 - Napajalnik z regulatorjem v negativni voji.

Pri izbiri polaritete regulatorja se ne ozirajmo na krmilno elektroniko: to se da vedno prilagoditi na poljubno vrsto, polariteto in vezavo močnostnih tranzistorjev. En mali tranzistor več v krmilni elektroniki nas stane dosti manj od številnih izolacijskih potrebsčin za močnostne tranzistorje, ki v vsakem slučaju le slabšajo učinkovitost hladilnega rebra.

Napajalniki z elektronsko regulacijo imajo običajno vgrajeno vsaj toliko zaščito. Ta naj bi ščitila močnostne tranzistorje pred trenutnim uničenjem, čeprav gospod Murphy vztraja, da so tranzistorji sami najboljša varovalka. Za tokovno zaščito naj bi seveda delovali čisto navadni talilni vložki - varovalke, na primarni strani omrežnega transformatorja.

Bolj komplikirana vrsta tokovne zaščite je "foldback" (prepogni nazaj) tokovna zaščita. Pri takšni tokovni zaščiti je izhodni tok preobremenjenega napajalnika funkcija izhodne napetosti: z nižanjem napetosti se izhodni tok manjša in doseže ob popolnem kratkem stiku le delček običajnega toka, ki ga lahko daje napajalnik. Na ta način omejimo izgubno moč na močnostnih tranzistorjih ob kratkem stiku in hladilna rebra so zato lahko manjša. "Fold-back" zaščita ima tudi svoje slabe strani: napajalnik ima lahko težave z bremenji, ki niso ohmska oziroma imajo celo negativno diferencialno uporost.

Ko v napajalniku crkajo močnostni tranzistorji, prebijajo vedno v kratki stik in na izhodu napajalnika dobimo polno napetost iz usmernika, se pravi okoli 20V v smislu načrtovanem 12V napajalniku. Ta napetost je že zadost velika, da poškoduje marsikateri 12V porabnik. V tem slučaju naj bi porabnik rešila "crowbar" zaščita. "Crowbar" zaščita je sestavljena iz močnega tiristorja in zener diode za njegovo proženje ter je priključena naravnost na izhodne sponke napajalnika. V slučaju previsoke izhodne napetosti, zaradi preboja močnostnih tranzistorjev, okvarje krmilne elektronike ali česa drugega, se preko zener diode prižge tiristor in kratko stakne izhod napajalnika. To naj bi zaščitilo porabnike, vse dokler ne pregorijo talilni vložki v napajalniku.

Nazadnje je za nas radioamaterje nujno omeniti še najvažnejšo zaščito, zaščito proti vdoru visoke frekvence naših oddajnikov v krmilno elektroniko napajalnika! Vdoru visoke frekvence se najlaže izognemo s smotrnim načrtovanjem krmilne elektronike, predvsem pa NE KOMPLICIRAJMO z načrtom! Integriranim vezjem se rajši izognimo, saj v napajalniku z njimi res nič ne privarčujemo. Med drugim, uA723 in podobna integrirana vezja se niso nikoli uporabljala v resnih profesionalnih napravah... V enostavnem vezju z navadnimi tranzistorji je zelo lahko najti točke, ki jih je treba

blokirati za visoko frekvenco, za integrirano vezje pa to običajno ne velja, saj ne poznamo točnega notranjega načrta in vse točke v vezju tudi niso navzven dostopne.

3. Praktičen primer napajalnika

Pri načrtovanju napajalnika je treba seveda paziti še na kopico podrobnosti, ki jih v prejšnji razlagi nisem mogel vseh omeniti. Zato se mi zdi najbolj enostavno stvari opisati na praktičnem primeru načrtovanja napajalnika, kjer bom skušal opisati, za vsak sestavni del posebej, njegovo nalogo v napajalniku. Električni načrt izdelanega napajalnika je prikazan na sliki 4.

Za enostaven napajalnik bomo verjetno najprej izbrali transformator. Pri nas je običajno najlažje najti omrežne transformatorje različnih moči za izhodno napetost 24V. Takšnemu transformatorju je treba seveda previti sekundar za 16 ali 17V (če gradimo 12V napajalnik), oziroma vsaj odviti odvečne navoje s sekundarja ali napraviti ustrezni odcep. Sam sem izbral 200W transformator, ki se ga da previti za 17V/12A. Če samo odvijemo ovoje, bo dopustna obremenitev nekoliko manjša, okoli 10A. Ustrezno transformatorju potem izberemo varovalke (F1 in F2) na primarni strani.

V usmerniku za 10A bo vsaka od diod v grecu D1, D2, D3 ali D4, proizvajala približno 5W topote. Diode moramo torej v vsakem slučaju vgraditi na hladilno rebro, ne glede na to, če uporabimo posamične diode ali že sestavljen grec v enem kosu. Za prototip sem izbral sestavljen grec v kvadratatem aluminijskem ohišju za 40V 25A. Ker so posamične diode v takšnem grecu izolirane od kovinskega ohišja, grec enostavno privijemo na hladilno rebro.

Za usmernik z gladilnim členom s kapacitivnim vhodom potrebujemo v napajalniku za 12V okoli 3000uF za vsak amper toka, se pravi skupno okoli 30000uF. V usmernik sem zato vgradil dva elektrolitska kondenzatorja za 18000uF 25V (C1 in C2) povezana vzporedno.

Pri 10A in padcu napetosti 8V bojo izgube v regulatorju okoli 80W. V kratkem stiku se poveča padec napetosti na 20V, zaščita pa začne delovati nekje okoli 16A, kar da izgubno moč 320W v močnostnem tranzistorju regulatorja. Jasno je, da tako velike moči ne zdrži noben tranzistor in je potrebna vzporedna vezava več tranzistorjev. Za moj usmernik sem se odločil za vzporedno vezavo štirih darlington tranzistorjev TIP141 (80V, 10A, 125W ob idealnem hlajenju). Darlington tranzistorji imajo sicer nekoliko večji padec v nasičenju, okoli 1V, glede na navadne tranzistorjev (okoli 0.3V), imajo pa dosti večje tokovno ojačanje (minimalni beta 500)

od navadnih tranzistorjev in od krmilne elektronike zahtevajo le majhne tokove (max 20mA krmiljenja za izhodni tok 10A).

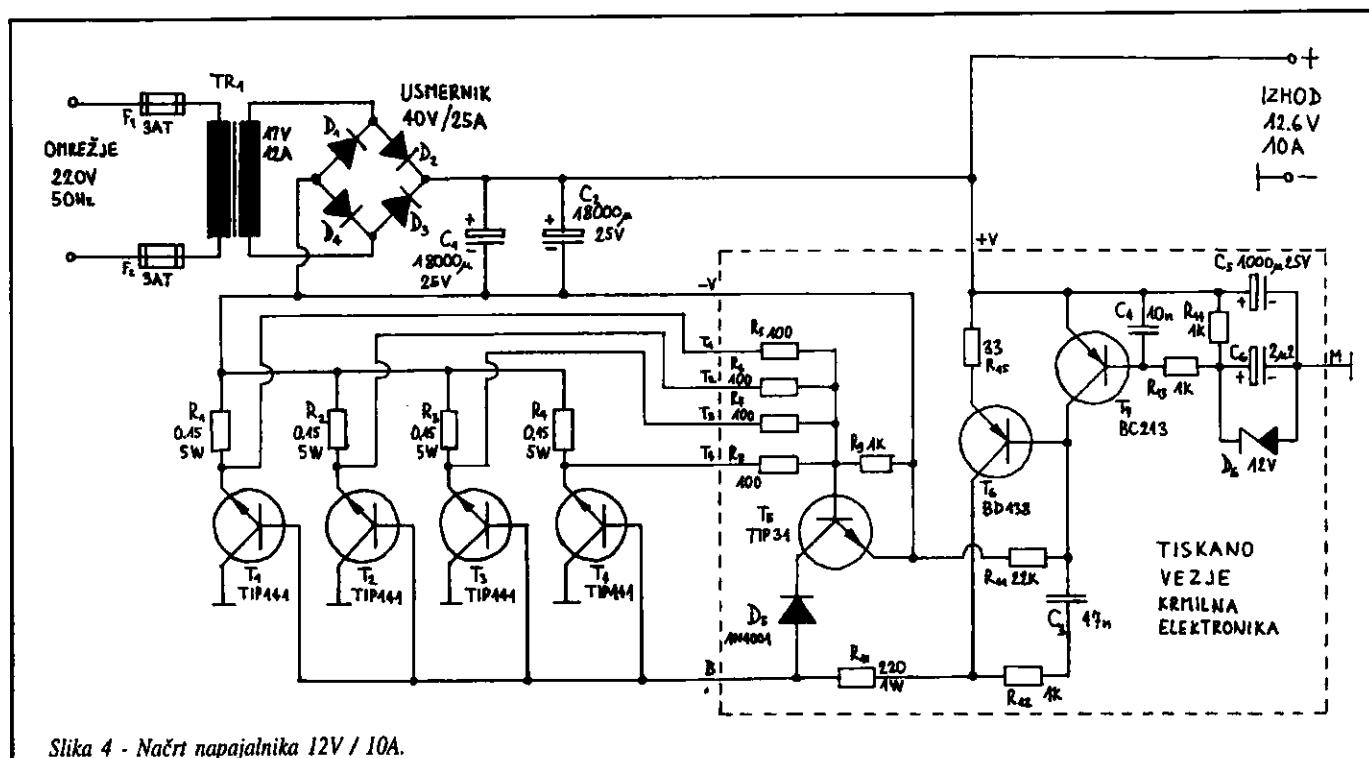
Pri vzporedni vezavi štirih tranzistorjev T1, T2, T3 in T4 je treba dodatno zagotoviti, da se izhodni tok napajalnika enakomerno porazdeli med vsemi tranzistorji. Za to poskrbijo štiri enaki emitorski upori R1, R2, R3 in R4, vsi 0.15ohm 5W. Na teh uporih imamo sicer nepotreben in nezaželen padec napetosti, zato te iste upore izkoristimo še za tokovno zaščito. Srednjo vrednost padca na teh uporih dobimo preko uporov R5, R6, R7 in R8 (vsi 100ohm). Ti upori hkrati ščitijo tranzistor T5 pred uničenjem, če bi na emitorskih uporih R1, R2, R3 ali R4 slučajno nastal prevelik padec napetosti. Končno, z uporom R9 točno nastavimo tok, ko se priže T5 in odreže krmiljenje darlingtonom T1, T2, T3 in T4.

Z navedenimi sestavnimi deli se zaščita sproži takrat, ko padec napetosti na emitorskih uporih R1, R2, R3 ali R4 doseže 0.7 do 0.8V. Ker so vrednosti teh uporov majhne in upornosti povezovalnih žic niso zanemarljive, se to zgodi pri toku 16 do 18A. Povsem jasno je, da takšna zaščita ščiti napajalnik le pred kratkotrajnimi preobremenitvami, saj omrežni transformator tega ne bi dolgo zdržal.

V vezju za zaščito je kot T5 uporabljen močnostni tranzistor TIP31 (60V, 3A, 40W) samo zaradi zanesljivosti, saj pri normalnem delovanju napajalnika tok skozi ta tranzistor ne preseže 100mA. Povsem drugače pa je takrat, ko izhod napajalnika vežemo vzporedno z drugim napajalnikom ali akumulatorjem! V tem slučaju je za zaščito samega T5 potrebna se zaščitna dioda D5. Darlington tranzistorji T1, T2, T3 in T4 imajo sicer že vgrajeno povratno diodo, ki jih v tem slučaju ščiti pred unčenjem.

Sama krmilna elektronika je izdelana s tranzistorji T6 (BD138, 60V, 1.5A, 12.5W) in T7 (BC213). Izhodno napetost napajalnika določa zener dioda D6 (12V). Kondenzator C6 (2.2uF) vzporedno z zener diodo omejuje šum, ki ga proizvaja sama zener dioda - ta bi sicer lahko motil naše občutljive radioamaterske sprejemnike. Upor R14 (1kohm) določa tok skozi zener diodo D6, saj ta deluje pravilno le v določenem območju vrednosti toka. R13 (1kohm) ima dve nalogi: ščiti tranzistor T7 pred prenapetostmi na izhodu (vzporedna vezava vec napajalnikov!) in je hkrati visokofrekvenčna dušilka, da visoka frekvensa naših odajnikov ne doseže občutljive baze tranzistorja T7, ostanke visoke frekvence pa poreže še kondenzator C4 (10nF).

Ker tranzistorji T6, T7 in močnostni darlingtoni sestavljajo ojačevalnik s povratno vezavo, je takšna naprava potencialno nestabilna in lahko prične samooscilirati. Da se to ne zgodi, je ojačenje ojačevalnika načrtno zmanj-



Slika 4 - Načrt napajalnika 12V / 10A.

šano z uporom R15 (33ohm), frekvenčni potek pa kompenziran z RC členom R12 / C3 (1kohm / 47nF). Končno, R11 (22kohm) poskrbi za polarizacijo baze T6, R10 (220ohm 1W) pa omejuje tok skozi T6 v slučaju delovanja tokovne zaščite. Vzporedno z izhodnimi sponkami napajalnika je vezan še C5 (1000uF 25V), ki ublažuje spremembe izhodne napetosti ob hitrem spremenjanju bремена.

Načrt napajalnika na sliki 4 seveda dopušča opisane dodatke: izgube v transformatorju bi precej zmanjšala dušilko v gladišnem členu. Dušilko izdelamo tako, da navijemo kar čimveč ovojev CuL žice ustreznega premera (okoli 3mm) na jedro z zračno režo. Primerno je jedro za dušilko za VTFE žarnico 125W, ki ga je zelo lahko najti. Dušilko vstavimo v poljubno vejo (pozitivno ali negativno) za grecem, a pred elektrolitskimi kondenzatorji C1 in C2. Z dušilko zadošča že skupna kapacitivnost manj kot 10000uF. Sekundar omrežnega transformatorja navijemo v tem slučaju za malenkost višjo napetost (17 do 18Veff).

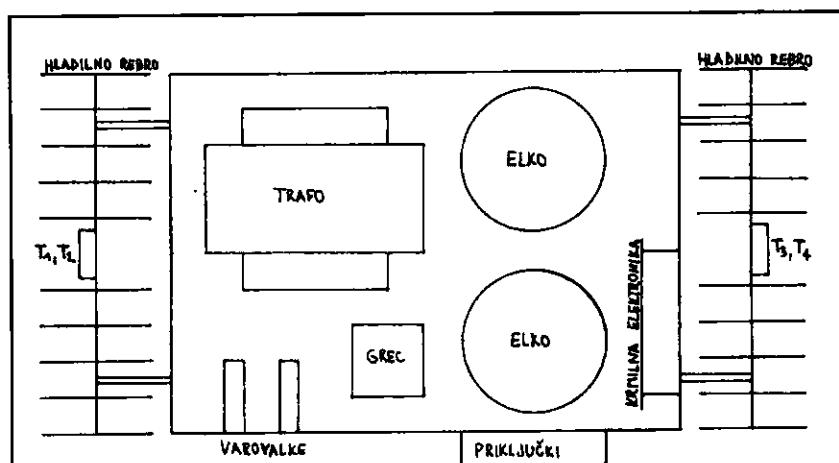
Opisani napajalnik uporabljam z UKV oddajniki. Za te frekvence so 25A diode v grecu praktično kratek stik. Če pa isti napajalnik uporabljamo za KV oddajnik, je včasih treba premostiti vsako od štirih diod v grecu z blokirkim kondenzatorjem (okoli 10nF), da preprečimo modulacijo naše oddaje z brmenjem, ko visoka frekvenca zaide v napajalnik.

4. Izdelava napajalnika

Čeprav izdelava napajalnika še zdaleč ni tako zahtevna, kot pa izdelava visokofrekvenčnih naprav, je treba vendarle upoštevati določena pravila. V napajalniku imamo več sestavnih delov, ki sproščajo velike količine toplotne in jim je treba zato omogočiti ustrezno hlajenje. V opisanem napajalniku so tudi tokovi veliki, sestavne dele je zato treba povezati z žicami ustreznega prereza.

Ker so močnostni sestavni deli vgrajeni naravnost na hladilna rebra ali pritrjeni na ohišje napajalnika, vgradimo le sestavne dele krmilne elektronike na majhno tiskano vezje, kot je to prikazano na sliki 5. Za moj napajalnik sem to tiskano vezje narisal naravnost s flomastrom na ploščico iz vitroplasta, saj je vezje zadosti enostavno, da res ne rabimo fotopostopka. Razen upora 220ohm 1W so vsi upori v krmilni elektroniki moči 1/2W, tranzistorja BD138 in TIP31 pa ne potrebujejo nobenega hladilnega rebra, saj skoznja tečejo le majhni tokovi.

Primer razmestitve velikih sestavnih delov napajalnika je prikazan na



Slika 6 - Razporeditev sestavnih delov napajalnika.

sliki 6. Za opisani napajnik naj ima škatla izmere vsaj 200mm (dolžina) X 150mm (širina) X 120mm (višina). Hladilna rebra za močnostne tranzistorje T1, T2, T3 in T4 je nujno postaviti izven škatle! Če bi jih vgradili v samo škatlo, bi bila njihova učinkovitost enaka ničli, saj bi se vsa toplota prenašala iz reber najprej na steno škatle in šele iz stene škatle na okolico: to pomeni, da bi bilo v tem primeru bolj pametno pridržiti močnostne tranzistorje na steno škatle kot pa na hladilno rebro!

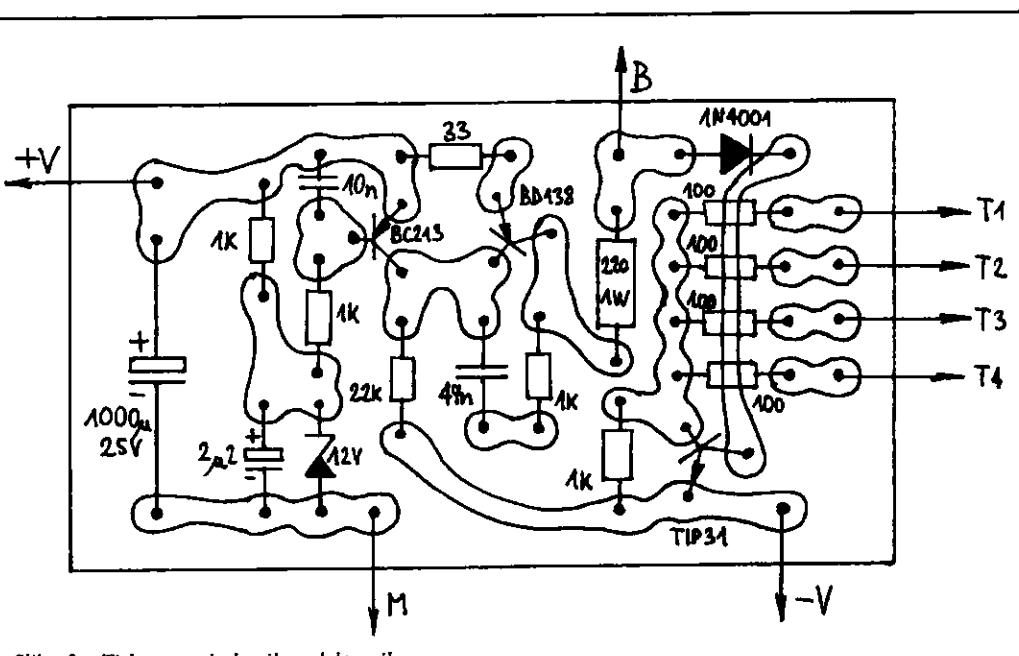
Da se hladijo tudi sestavni deli, ki so vgrajeni v škatlo, je treba v pokrovu škatle izvrati čimveč luknji velikega premera in to tako, da od spodaj vstopa hladen zrak in zgoraj izstopa segret zrak. Škatla sama lahko sicer služi kot hladilno rebro le za manjše izvore toplotne, na primer grec. Iz istega razloga, zagotoviti ustrezno kroženje zraka, morajo hladilna rebra stati pokonci, saj je njihovo delovanje povsem enako radiatorju centralne kurjave.

Kroženje zraka in s tem učinkovitost hlajenja vseh sestavnih delov lahko pospešimo tudi z vgradnjeno ventilatorja. Ventilatorja ne priporočam iz dveh razlogov: ker posega vse mogoče smeti in prah v napajalnik in ker proizvaja ropot, ki je pri stalno vključenem napajalniku še kako nadležen. Od ostalih sestavnih delov brinjo še omrežni transformator in dušilko gladišnega člena z induktivnim vhodom. Ker mora imeti ta dušilko zračno režo v jedru, je njeno brnenje običajno težko povsem odpraviti.

Sestavljeni napajalnik moramo pred uporabo temeljito preizkusiti, od

praznega teka in najmanjših bremen do največjega bremena in popolnega kratkega stika na izhodu. Ne bojte se preizkusiti s kratkim stikom: škoda bo dosti manjša, če crknci tranzistor v napajalniku med preizkusom, kot če prebije tranzistor v napajalniku takrat, ko z njim napajamo dragoceno izhodno stopnjo našega oddajnika!

Končno preizkusimo napajalnik še v visokofrekvenčnem polju naših oddajnikov: ti ne smejo imeti vpliva na izhodno napetost napajalnika, sicer je treba dovodne žice v napajalnik dodatno blokirati. Pri tem zadnjem poskušu seveda pazimo, če oddajniki v resnicu vplivajo na elektroniko napajalnika, saj večina univerzalnih merilnih instrumentov ni imuna na močna visokofrekvenčna polja!



Slika 5 - Tiskano vezje krmilna elektronika.

Dodatne merilne naprave spektralnega analizatorja (2)

Darko Volk, S57UUD

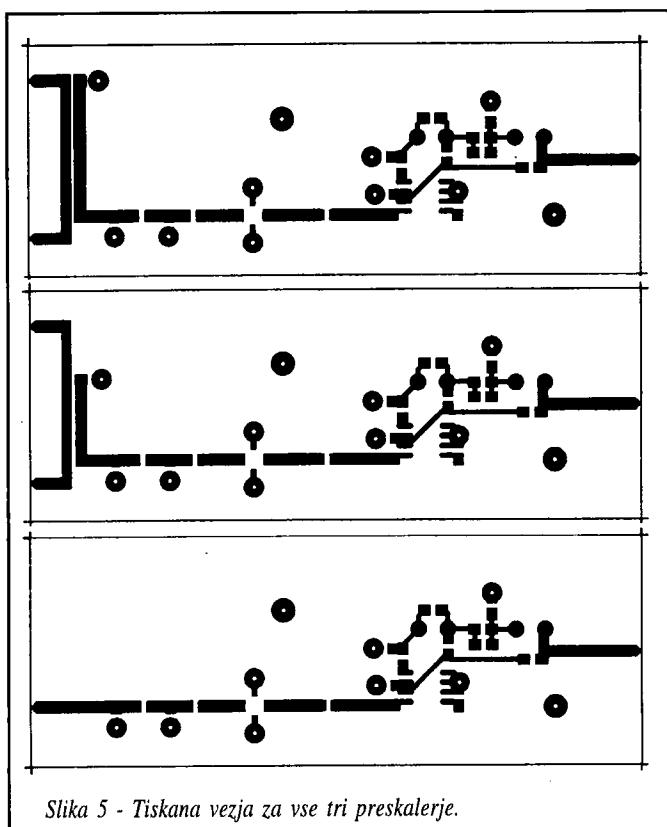
V prejšnji številki CQ ZRS je bila opisana teorija in blokovna shema merilnika frekvence za spektralni analizator, v tem nadaljevanju pa si bomo posamezne sklope ogledali bolj natančno.

Preskalerji

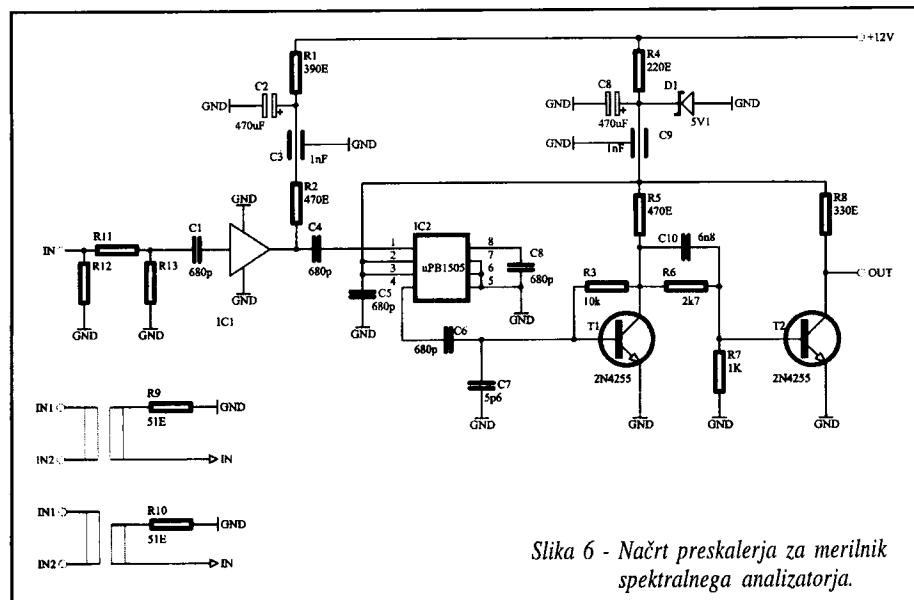
Merilnik frekvence za spektralni analizator je sklop, ki vsebuje mikroprocesor in ostala digitalna C-MOS vezja. Zgornja frekvenčna meja, pri kateri taka vezja še delujejo, izjemoma lahko presega tudi 100MHz. Vsekakor pa je to za meritve VCO1 in VCO2 spektralnega analizatorja premalo. V te namene sem naredil preskalersko vezje s cenovno zelo zanimivim preskalerjem uPB 1505. Moram poudariti, da je uPB 1505 kljub svoji nizki ceni pravi biser v svojem razredu. Naredil sem tri preskalerje, ki se minimalno razlikujejo, glede na namen uporabe. Izvedba vseh treh preskalerjev je sicer enaka, le odvzem signalov je prilagojen njihovemu namenu. Signale VCO1 in VCO2 spektralnega analizatorja potrebujemo tudi v sledilnem izvoru, torej moramo signal za meritve odvzeti s smernim sklopnikom. Sklopniki pa so različni za VCO1 in VCO2. Prvi je dimenzioniran za frekvence okrog 3GHz, tako da pokrije celoten obseg od 2 do 4GHz. Drugi sklopnik odvzema signal z VCO2 in ni kritičen, saj se VCO2 giblje v mnogo ožjem področju okrog 2GHz. Smerni sklopniki imajo od 15 do 20 dB slabljenja, odvisno od frekvence, zato je dodatno ojačanje pred preskalerjem nujno. Tretji preskaler signalu ne odvzema, ampak ga meri direktno. Tu dodatno ojačanje ni potrebno, vendar je uporaba ločilnega ojačevalnika smiselna, saj je preskaler dražji in teže dobavljiv element. Od tu dalje so vsi preskalerji enaki. Sestavljeni so iz slabilnega člena, ki za ceno 2db slabljenja, precej dobro prilagodi vhodno stopnijo naslednjega ojačevalnika z INA03184. Ta ojačevalnik ima namreč to slabo lastnost, da pri prevelikih nivojih, slabi prilagoditvi in nekaj večjih tokovih začne deliti frekvenco z 2. Tu zato priporočam nekaj manjše tokove. V prvotni verziji je ta ojačevalnik imel 330 ohm upor. Ko je enak merilnik naredil še Stojan-S51WI, se je pokazalo, da so nivoji pri njegovem SA za 4 db večji. To je povzročilo deljenje frekvence z 2. Iz tega razloga je bil upor povečan na 470 ohm, v preskaler pa je bil dodan tudi slabilni člen za boljšo prilagoditev. V tretjem preskalerju, ki signal dobiva direktno in ne preko smernega sklopnika, ki vnaša vsaj 10 db slabljenja, ta ojačevalnik ni nujen, je pa še kako dobrodošel, saj je INA03184 lažje dobavljiva, pa tudi zamenjati jo je neprimerno lažje kot pa uPB1505. Naslednja stopnja je preskakerski čip. Faktor deljenja je nastavljen na 128. Nastavimo ga s komandnimi nožicami, ki jih ustrezno ozemljimo oziroma postavimo na +5V. Celotno okolje preskalerja mora biti dobro ozemljeno. Vse nožice, ki niso uporabljene, so ozemljene za izmenične signale. Sklopni kondenzatorji so SMD tipa NPO. Izogibajmo se XR7 kondenzatorjev. V tem vezju niso uporabni. NPO kondenzatorji so praviloma iz bele oziroma rahlo modro-sive keramike. Ker govorimo o frekvencah reda 4GHz in smo si zbrali faktor deljenja 128, bo izhodna frekvencia reda 30MHz. Za preskalerjem potrebujemo še stopnjo, ki bo signal, ki ni TTL oblike, prilagodila TTL standardom. Glede na napake, ki so jih premnogi avtorji že zagrešili, ko so reševali ta problem, sem se odločil za stopnjo z dvema tranzistorjem. Uporabil sem dva 2N4255 tranzistorja, preizkusil pa sem tudi tranzistorje BF199. Preskaler, ki nima smernega sklopnika, je sicer namenjen merjenju frekvence oscilatorja v harmonskem konverterju, ali pa frekvence sledilnega izvora, vendar z njim lahko merimo bilo kakšen izvor signalov od 10MHz vse do 4GHz, kar je prav za prav kar velik razpon. Zaradi načina meritve, ki ga uporablja merilnik frekvence za spektralni analizator, je rastek take meritve relativno slab,

ker je seveda povečan za faktor preskalerja. Preskalerji so vgrajeni v medinaste škatlice standardne velikosti 3x8cm in višine 3cm. Posebna ugaševanja niso potrebna, razen pri preskalerju, ki obravnava VCO 1. Tu se frekvence gibljejo od 2 do 4GHz. Sklop je na zgornjem in spodnjem delu obsega nekoliko slabši in ga je včasih potrebno dodatno povečati. To naredimo tako, da v sklop prispajkamo kondenzator 2.2 pF približno na sredino sklopa. Vsi elementi so SMD izvedbe; velikost ni kritična, lahko je 1206, lahko pa so tudi manjši. Biti pa moramo pozorni na pravilno orientacijo preskakerskega čipa.

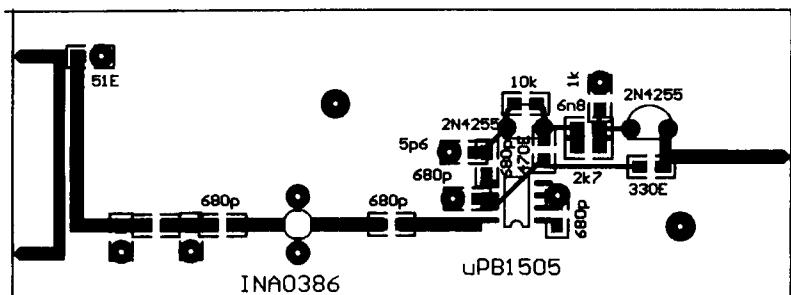
Tiskana vezja so prikazana v merilu 1:1, vsa tri na sliki 5. Uporabljen



Slika 5 - Tiskana vezja za vse tri preskalerje.



Slika 6 - Načrt preskalerja za merilnik spektralnega analizatorja.



Slika 7 - Razporeditev elementov na preskalerjih (povečano merilo zaradi SMD komponent).

je dvostranski FR4 debeline 0.7mm, pri čemer je druga stran masa. Ker so preskalerji zelo podobni, je njihov električni načrt prikazan na skupni sliki 6. Slabilni člen za prilagoditev je sestavljen iz dveh enakih uporov R12 in R13 (220E) in R11 (27E). Razpored elementov je na vseh treh tiskanih vezjih adekvaten in prikazan na sliki 7.

Pretvorba analognega signala na TTL nivo in vhodni ojačevalnik

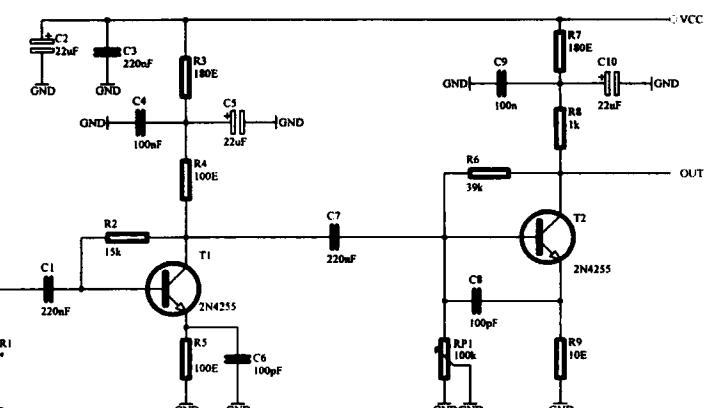
Ker merilnik frekvence za spektralni analizator omogoča merjenje frekvence na štirih vhodih, priključene imamo pa le 3 preskalerje, sem preskalerju podobno vezje, vendar brez delilnika frekvence, naredil za merjenje v frekvenčnem obsegu od približno 100kHz pa do 50MHz. Tu je raster meritve za 128-krat boljši. Uporabljeni tranzistorji so isti kot v prilagodilnem vezju 2N4255, lahko tudi BF199. Sklopni kondenzatorji so tu večji 100 ali 220 nF zato, da dosežemo čim nižjo spodnjo frekvenčno mejo. V cilju doseganja višje frekvenčne meje sem uporabil frekvenčno kompenzacijo v prvi stopnji. To je kondenzator 100 pF z emiterja tranzistorja proti masi. Kondenzator 100 pF med bazo in emiterjem v naslednji stopnji služi

izboljšanju hitrosti prehoda signala z minimuma na maksimum. Števec 74HC590, ki je v merilniku frekvence spektralnega analizatorja je sicer deklariran na 60MHz. V praksi se je pokazalo, da še vedno ustrezno deluje tudi preko 70MHz. Testiral sem tri primerke različnega izvora, žal istega proizvajalca. Predojačevalnik sam pa ne daje zadostne občutljivosti na zgornjih frekvenčnih mejah. Verjetno bi se poizkus s kakšnimi hitrejšimi tranzistorji obrestoval. Slednji vhod bo zelo dobrodošel pri KV projektih, saj omogoča ustrezni raster meritve. Še posebej je dobrodošel, če ga priključimo na izhod sledilnega generatorja. Načrt pretvornika je na sliki 8. Vrednost upora R1 definira vhodno impedanco, ki je pri vrednosti upora med 82 in 100E, približno 50E. Vezje je realizirano na enostransko tiskanih ploščicah debeline 0.7mm, material pa je FR4. Izgled tiskanega vezja prikazuje slika 9, razporeditev elementov pa je prikazana na sliki 10.

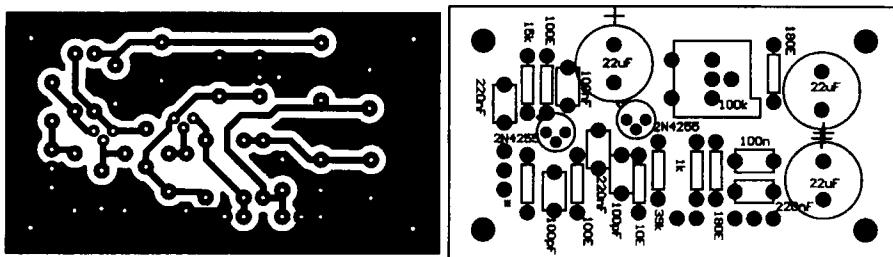
Generator merilnega impulza

Generator merilnega impulza in marker generator nam omogočata natanko meritev. Predvsem mora biti dolžina merilnega impulza zelo točno definirana. To je narejeno s pomočjo kvarčnega oscilatorja frekvence 10.240 MHz (glej sliko 11). Signal, ki nastane v oscilatorju U7A (74HC00), delimo s primernimi delilniki U6B (74HC74). JP1 omogoča izbiro med tem signalom in signalom mnogo točnejšega TCXO. Nadaljnje deljenje signala je izvedeno z U17 (74HC4040). Z U5 (74HC153) izberemo čas trajanja merilnega impulza. Generator merilnega impulza torej omogoča, da lahko naredimo tudi impulze, ki trajajo štirikrat ali celo dvainštiridesetkrat več časa. Tako povečamo natančnost meritve, na žalost pa tudi čas meritve. Funkcijo nadzoruje mikroprocesor. U8A (LM393) določi točko presečišča žagaste napetosti in enosmerne napetosti, ki jo pripeljemo v večobratnega potenciometra. Merilni impulz se ne začne točno ob presečišču žage z enosmerno napetostjo, pač pa sinhrono z prvim impulzom iz oscilatorja, kontroliranega s kvarcem. Na ta način dosežemo, da je širina impulza vedno enaka. Pri meritvi frekvence, ko naprava meri z natančnostjo štirih do petih mest, to niti ni tako pomembno. Če pa želimo natančnejše merjenje frekvence ne glede na pozicijo markerja (instrument v tem režimu deluje kot običajen merilnik frekvence), je natančen čas trajanja merilnega impulza izredno pomemben. Za to poskrbijo vezja U2B, U6A, U1, U4 in U3. Z običajnim kvarčnim oscilatorjem je točnost na osem decimalnih mest zagotovljena, deveto mesto pa si moramo izboriti z temperaturno kompenziranim kristalnim oscilatorjem (TCXO). Uporabil sem TCXO, ki deluje na 5.6MHz. So pa (z ustrezno predelavo programa v mikroprocesorju) uporabni tudi oscilatorji, ki delujejo na drugih frekvencah.

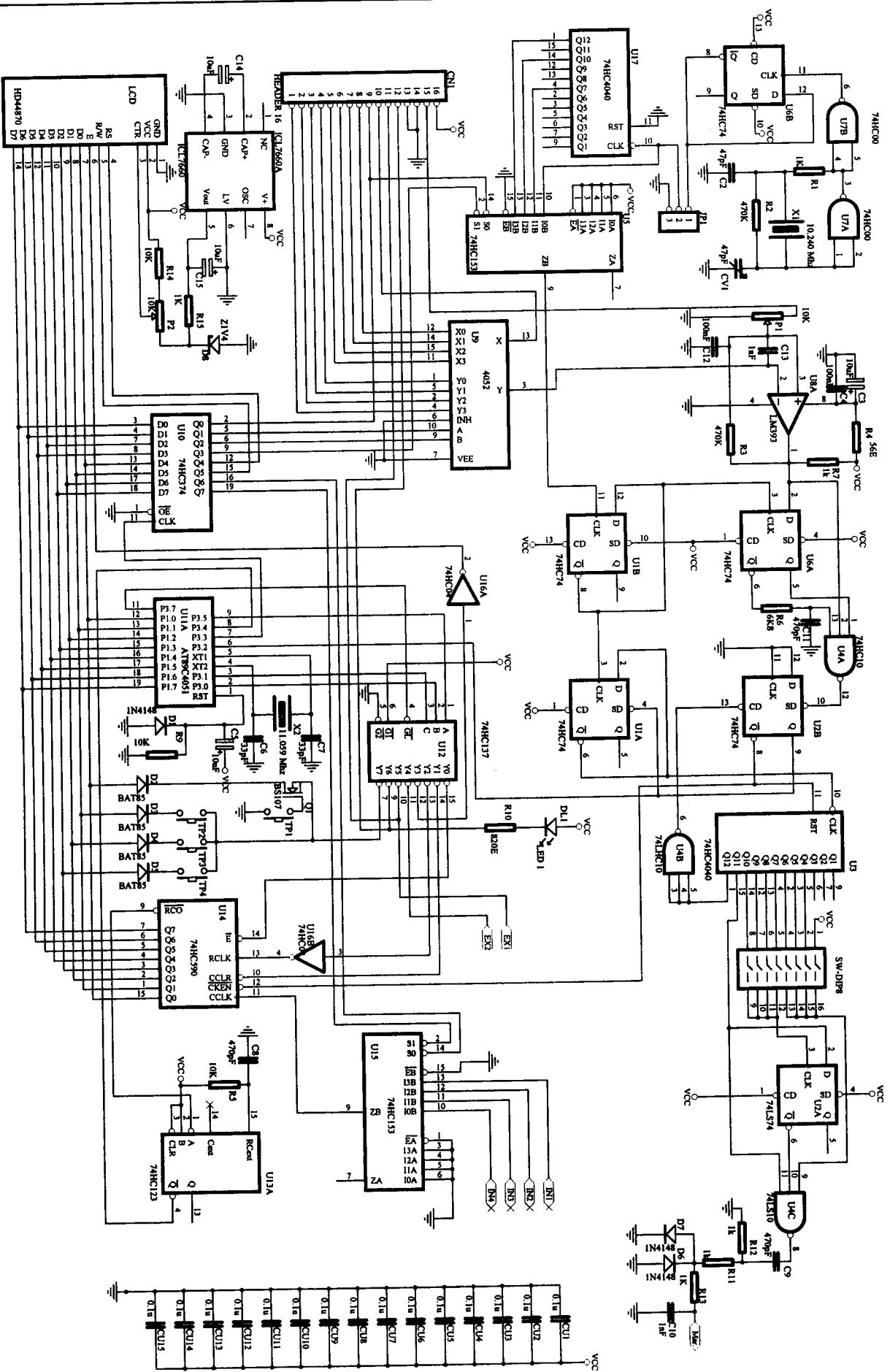
V času polovice trajanja merilnega impulza pa s pomočjo U2A in U4C naredimo še impulz za marker. S stikali lahko nastavljamo širino marker impulza in število prehodov žarka v tej širini. Opcija ni ravno brezpredmetna, kot na prvi pogled izgleda. Vse je odvisno od tega, kakšen monitor ali osciloskop uporabljamo. Zelo kratek impulz in en sam prehod daje zelo dobro točnost odčitkov frekvence. To se najbolj pozna, ko merimo posamezne signale na zelo velikem območju, kjer želimo videti več harmonikov. Takrat so signali izredno strmi in en sam prehod omogoči točnejšo nastavitev na frekvenco. Žal je tak zelo ozek marker pri obi-



Slika 8 - Načrt predajačevalnika in konverterja iz analognega v TTL signal.



Slika 9 / slika 10 - Tiskano vezje za predajačevalnik in konverterj / razporeditev elementov.



Slika 11 - Načrt marker generatorja in merilnika frekvence za spektralni analizator.

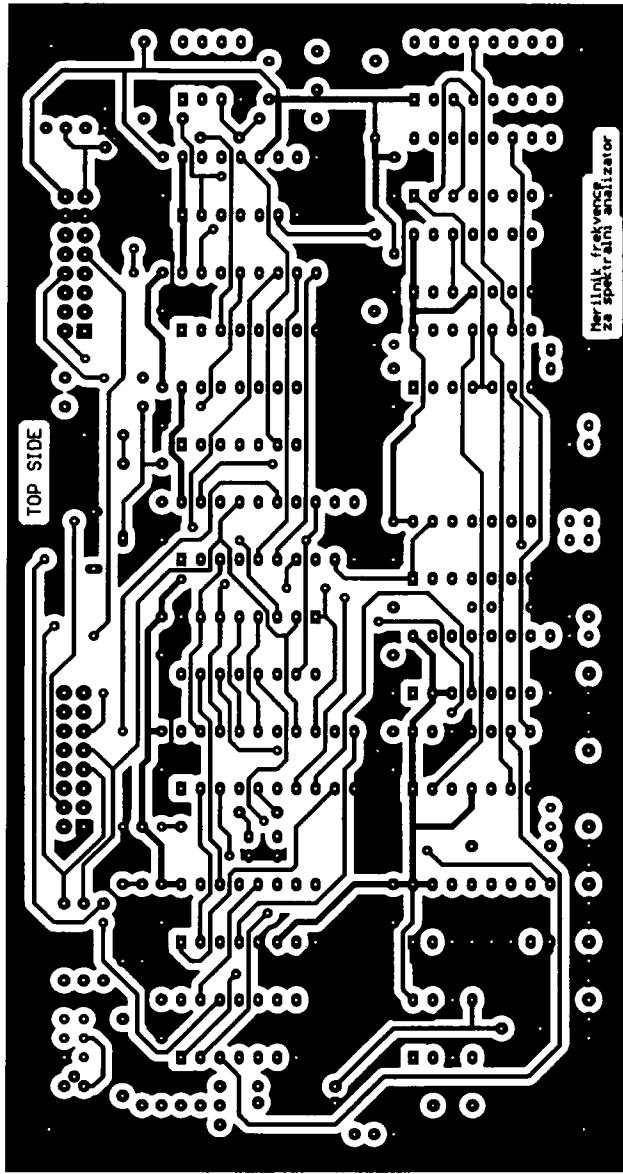
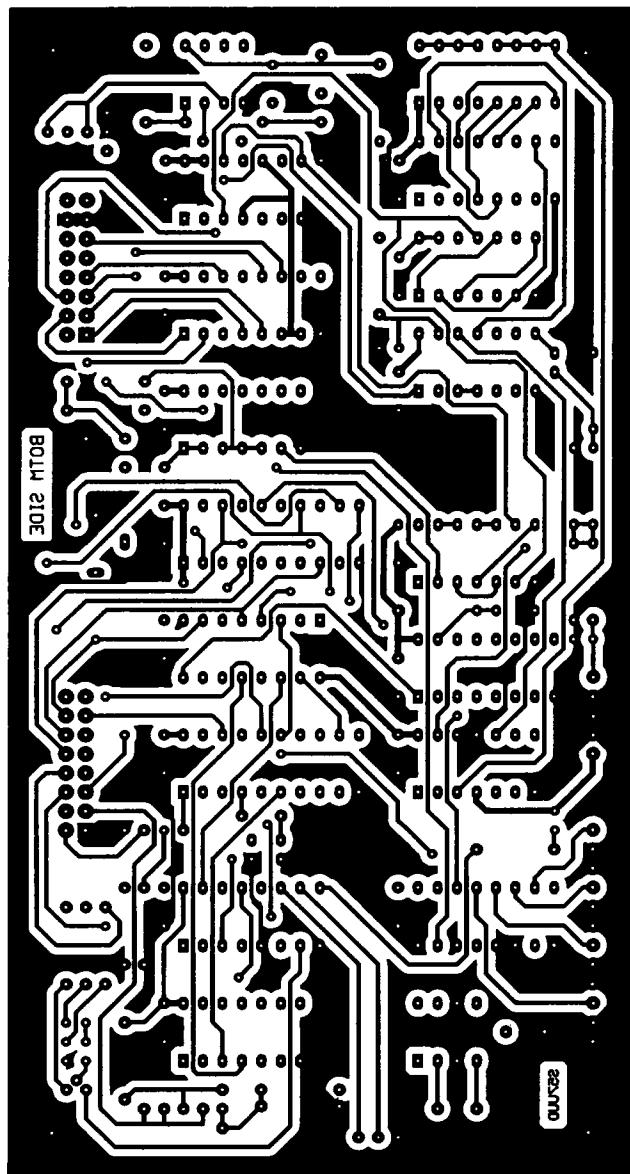
čajnem delu zelo slabo viden. Generator merilnega impulza in mikroprocesor sta realizirana na istem tiskanem vezju. Veze je dvostransko z kar precej »via-mi« in je komajda še primerno za izdelavo v domači delavnici. Tudi shema je v skupnem sklopu prikazana na sliki 11.

Mikroprocesor in merjenje frekvence

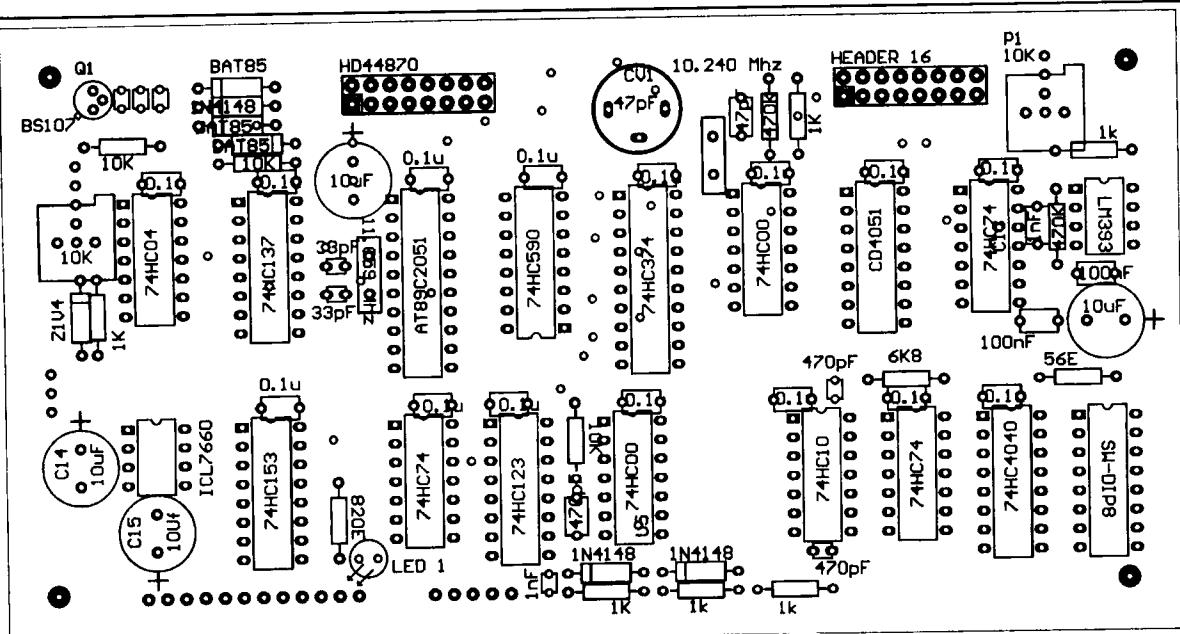
V prvotni izvedbi je bil uporabljen mikroprocesor 89C2051. Za merilnik frekvence spektralnega analizatorja bi tudi popolnoma zadostoval. Ker pa sem kaj hitro videl, da se z obstoječim vezjem da narediti tudi precisen merilnik frekvence zunanjih signalov in ne samo signalov spektralnega analizatorja, je seveda prostor za program (2048by) postal premajhen. 89C4051 je popoln mlajši brat prejšnjega procesorja z še enkrat več prostora namenjenega programu (4096by).

Mikroprocesor 89C4051 sicer vsebuje števec, s pomočjo katerega je mogoče narediti merilnik frekvence, vendar je zmogljivost takega merilnika preskromna v vsaj dveh lastnostih. Zgornja frekvenčna meja je nekaj pod 1MHz (pri uri 12MHz), tudi raster (16 bitni števec) ne ustreza. Oba problema sem rešil z U14 (74HC590) števcem in U13A (74HC123). Slednji podaljša čas trajanja »overflow« impulza, saj je ta pri višjih frekvencah prekratek, da bi ga mikroprocesor zaznal. Po končanem merilnem impulzu mikroprocesor odčita še stanje števca v 74HC590 in tako dobimo 24-bitni rezultat, kar je vsekakor dovolj natančno. Procesor krmili tudi potrebeno

logiko U15 (74HC153), ki določi na katerem od štirih merilnih vhodov se trenutno meri frekvenca. Na tak način zbrani podatki se še dodatno obdelajo (množenje, deljenje, odštevanje, pretvorba formatov...), nato pa se vsi rezultati izpišejo na LCD displeju velikosti 4 x 20 znakov. Celotno vezje je pravi mali računalnik. Narejeno je tako, da selektor U12 (74HC137) odpira pot mikroprocesorja do posameznih naprav. Za mikroprocesor pa so naprave lahko: LCD displej, drug krmilnik, števec impulzov 74HC590, tipke in celo LED dioda. Selektor omogoča, da je izbrano eno samo vezje oziroma naprava, do katere dostopa procesor, ali pa naprava pošilja podatke procesorju. Na ta način sem se že na nivoju vezja izognil zmediji pri potovanju informacij med posameznimi deli vezja. Program pa še dodatno poskrbi, da je po končani uporabi bilo katere naprave izbrana LED dioda. Pri razvoju programa je povedana filozofija pripomogla k lažjemu odkrivanju napak. V delujoči verziji programa pa nam LED na ta način prikazuje nezasedenost procesorja. Dioda namreč skoraj stalno sveti, le tu in tam rahlo utripne. Iz načrta je vidno, da imamo pri napravah še nekaj rezerve. Signala EX1 in EX2 ponujata možnost priključitve še dveh zunanjih naprav. Preko teh signalov je narejen prenos podatkov v napravo, ki jo imenujem AD-DA-RS232 pretvornik. U10 (74HC374) služi kot dodaten pomnilnik za pomnenje stanja izbire merilnega vhoda, faktorja deljenja časovne baze, za nameček pa poskrbi še za pravilno delovanje LCD prikazovalnika. ICL 7660 zagotavlja kontrastno sliko tudi pri tipih LCD prikazovalnikov,



Slika 12 - Tiskano vezje za marker generator in merilnik frekvence (dvostransko, spodnja in zgornja stran).



Slika 13 - Razporeditev elementov na tiskanem vezju za marker generator in merilnik frekvence.

Vezje, ki definira merilno območje

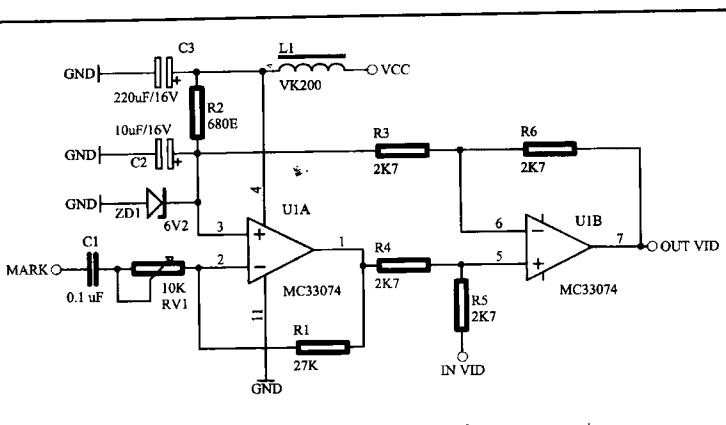
Vezje samo po sebi ni nič posebnega. Generira nam dve stabilni enosmerni napetosti, ki naj imata čim manj šuma. Napetosti morata biti: ena večja od najnižje napetosti žage, druga pa manjša od najvišje napetosti žage. Merilno območje torej nastavljamo glede na velikost žagaste napetosti, ki se v vezju generatorja merilnega impulza primerja s tem dvoema napetostima. S tem dvoema napetostima določimo torej skrajno levo (spodnjo) in skrajno desno (zgornjo) mejo, na kateri se meritev še izvaja. Nepravilno nastavljeni napetosti (izven mej) povzročijo, da merilnik ne deluje.

Seštevalnik video signala in signala marker generatorja

Seštevalnik (mešalnik) je realiziran z enim samim integriranim vezjem MC33074, v katerem pa je več operacijskih ojačevalnikov. Za vzor sem imel vezje, ki ga je Matjaž-S53MV uporabil v video pomnilniku. Ker je poraba celotnega merilnika precejšnja, sem predvidel stikalo za izklop. Pri povezovanju moramo biti previdni, ker mora seštevalnik video signala s signalom marker generatorja ostati pod napetostjo, čeprav je ostali del merilnika izključen. S tem je zagotovljeno, da video signal skozi merilnik potuje tudi, ko je le ta izključen.

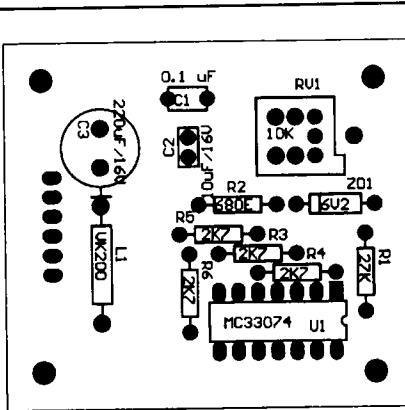
Ostali deli naprave

Za delovanje naprave potrebujemo še 5V napetost. Napajalnik z 7805 je v celoti narejen po zgledu na S53MV napajalnik pri slikovnem pomnilniku za spektralni analizator, zato ga tu ne bom posebej opisoval. Omenim naj le, da isti napajalnik služi tudi za napajanje analogno digitalnega pretvornika s prenosom slike na PC računalnik, ki bo objavljen v naslednji številki CQ ZRS. Ker je skupna poraba obeh vezij precejšnja, priporočam uporabo 78M05. Display je štirivrstični, v vsaki vrstici pa naj bo 20 znakov. Z rahlimi spremembami programa je mogoče uporabiti tudi display 4x16 znakov. Vsekakor pa priporočam nabavo display-a z dodatno osvetlitvijo. V tem primeru je potrebno P2 na sliki 11 montirati kot potenciometer na čelno ploščo, saj segrevanje povzroča velike spremembe kontrasta. Velikost display-a določa dimenzije čel-

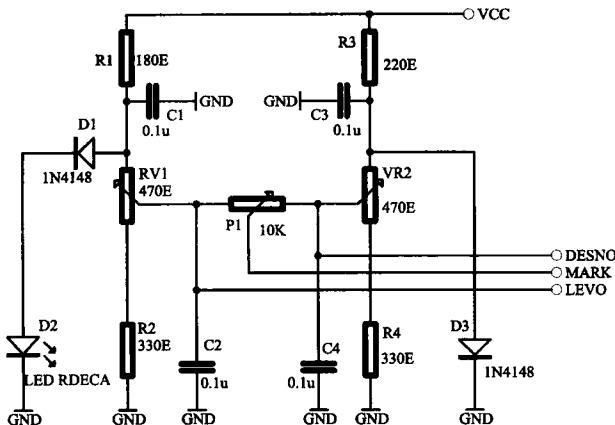


Slika 14 - Načrt mešalnika video signala in marker generatorja.

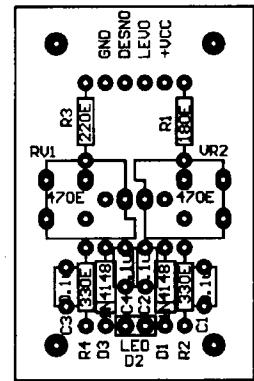
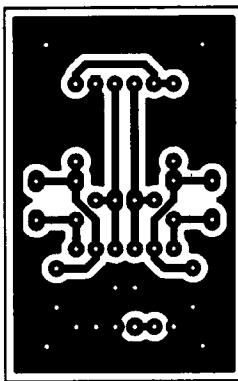
ki za svoje pravilno delovanje zahtevajo rahlo negativno napetost na CTR nožiči. Če razpolagamo z prikazovalnikom novejšega tipa, ki tu potrebuje pozitivno napetost, lahko namesto D8 naredimo mostiček, ICL 7660 pa preprosto izpustimo. Ostane nam še U9 (4052), ki služi kot analogno stikalo in preklaplja med napetostmi, ki predstavljajo spodnjo in zgornjo mejo območja meritve, ter med napetostjo, ki določa, v kateri točki merimo frekvenco.



Slika 15 - Tiskano vezje in razporeditev elementov za mešalnik video signala in marker generatorja.



Slika 16 - Načrt za vezje, ki definira merilno območje.



Slika 17 - Tiskano vezje in razporeditev elementov za vezje, ki definira merilno območje.

ne plošče. Celotno ohišje, v katerem sta obe napravi, je po dimenzijah enako ohišju za spektralni analizator.

Merilnik frekvence in vsa spremljajoča vezja so montirana v spodnjem delu ohišja. V zgornjem delu je le napajalnik in prostor za analogno digitalni pretvornik.

Oživljanje

Najprej ločeno preizkusimo delovanje posameznih preskalerjev. Pri tem si pomagamo z osciloskopom in spektralnim analizatorjem samim. Tudi predajačevalnik in konverter iz analognega v TTL nivo bi ne smel biti prehudo problem. Preden priključimo še mikroprocesorsko ploščo, moramo preveriti stanje dip stikal pri marker generatorju. Na 1 postavimo le eno stikalo iz skupine prvih štirih in eno iz skupine drugih štirih stikal. Sedaj bi že morali v signalu spektralnega analizatorja videti marker signal, če tega ni, je potrebno nastaviti napetost leve in desne meje. Do tu shajamo še brez 89AT4051. Vsa diagnostika delovanja in napak od tu dalje pa je

narejena s pomočjo programov, ki jih zapečemo v mikroprocesor. Več o programih, ki so vsi dani v javno last, pa v prihodnji številki CQ ZRS, saj je prav od programske opreme izredno odvisna kvaliteta instrumenta. In prav zaradi tega je ta naprava dobila tudi ime NESY (Never Ended StorY). Programi se torej še vedno dograjujejo, odkrivajo in popravljajo se »bug-i«. Predvsem je še dela na programih za diagnostiko napak pri sestavljanju merilnika.

Posamezne verzije programov so na razpolago tudi v izvorni obliki pri meni. Nekatere verzije in izvorne oblike pa so tudi na LJUBBS. Vsi, ki bi jih naprava zanimala, se lahko obrnejo na spodnje naslove:

HAM: S57UUD@S50BOX.SVN.EU

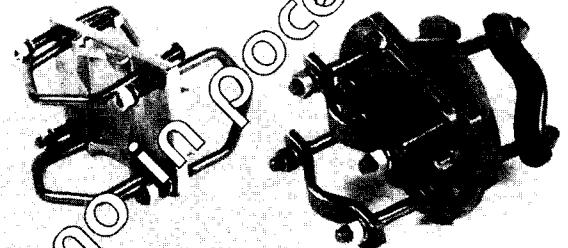
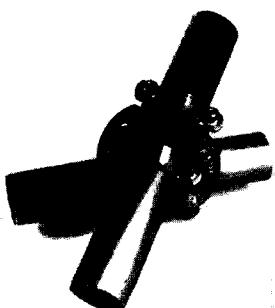
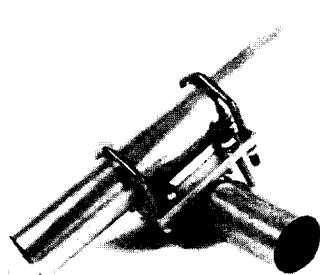
E-mail: darko.volk@siol.net

Tel.: +386 67 201-911

Vir.: Spektralni analizator, S53MV-Matjaž Vidmar.

Reference manual 89C2051, Atmel

Cevna križna in vrtljiva spojka



- Spajanje cevnih konstrukcij brez varjenja
- Cevni profili premera 35 do 50 mm
- Kota 90° ali 180° pri križni spojki
- Koti od 0° do 360° pri vrtljivi spojki

Informacije in prodaja:

ELTEH Kranj

Razvoj, proizvodnja, inženiring, d.o.o.
Tomažičeva 3, 4000 KRANJ, tel: (064) 331 482