

RTV KLUB MURSKA SOBOTA

DIGITALNI MOSTOVI

"HITRI PACKET RADIO"

Murska Sobota, september 2000

SLIKOLOV

Matjaž Vidmar, S53MV

1. CCD televizijske kamere

Televizijska kamera je bila nekoč pojem drage in zamotane naprave. Čeprav so elektronke in tudi katodno cev izumili že v začetku tega stoletja, je moral razvoj televizije počakati skoraj 30 let, preden je najrazličnejše mehanske skanirne naprave zamenjala prva delujoča snemalna elektronka, ikonoskop. Prve televizijske kamere so bile silno neobčutljive in so zahtevale močno osvetlitev prizora predvsem zaradi zelo slabega izkoristka fotokatod tedanjih snemalnih cevi.

Bistveno višjo svetlobno občutljivost je omogočil vidikon, to je snemalna cev, ki ne uporablja več fotokatode, pač pa polprevodniško tarčo kot svetlobni senzor. Vidikon je tudi razmeroma majhna elektronka, s katero se da izdelati prenosno televizijsko kamero. Z vidikoni so bile opremljene tudi prve cenene televizijske kamere in kamkorderji za široko potrošnjo.

Vidikon sicer uporablja polprevodnik kot svetlobno tipalo, občutljivo površino pa preletava žarek elektronov, ki zahteva steklen balon z visokim vakuumom, elektronski top in zunanje tuljave za fokusiranje in odklanjanje žarka. Bistveno poenostavitev televizijske kamere zato lahko prinese le vgradnja vseh omenjenih nalog v isti kos polprevodnika v istem integriranem vezju.

Televizijsko sliko sestavlja od 300 do 1000 vrstic, kar pomeni nekje od stotisoč do milijon posameznih točkic oziroma enakovredno število sestavnih delov v polprevodniškem integriranem vezju. Tehnologija izdelave integriranih vezij je omogočila izdelavo tolikšnega števila sestavnih delov v enem samem vezju šele pred kakšnimi 15 leti.

Kot svetlobni senzor lahko uporabimo skoraj vsak polprevodniški PN usmerniški spoj. Nekoč smo amaterji sami izdelovali "fototranzistorje" iz povsem običajnih tranzistorjev tako, da smo jim preprosto odžagali ali odpilili kovinski pokrov. Iz dinamičnih RAM pomnilnikov se na ta način celo da izdelati enostaven slikovni senzor, saj dinamični pomnilniki vsebujejo množico diod, ki kot kondenzatorji hranijo informacijo v

obliki električnega naboja in so pravilno razvrščene v vrstice in stolpce na samem čipu.

Boljše rezultate dobimo seveda s primernejšim električnim vezjem. Za čitanje vrstice slike potrebujemo analogni pomikalni register in tega je najlažje izdelati kot CCD (Charge-Coupled Device) strukturo v integriranem vezju. CCD integrirana vezja so bila sicer v začetku mišljena predvsem kot računalniški pomnilniki in analogni kasnilni vodi, vendar se v te namene niso obnesla.

CCD vezja so se po drugi strani odlično obnesla kot vrstični in ploskovni svetlobni senzorji. Vrstični CCD senzorji vsebujejo do desetisoč fotodiod razvrščenih v eno samo vrstico in se uporabljajo za merjenje razdalj in za mehansko skaniranje nepremičnih slik z visoko ločljivostjo. Ploskovni CCD senzorji vsebujejo pravokotno polje desetisoč do deset milijonov fotodiod in se uporabljajo v različnih televizijskih kamerah.

Prve CCD kamere so imele nizko ločljivost. Slika je bila sestavljena iz komaj 150X200 točk, pa še vse točke niso bile enako občutljive. Prve CCD kamere so imele tudi po več sto popolnoma "slepih" točk. Prve CCD kamere so imele tudi zelo ozko dinamično področje in so potrebovale mehansko zaslonko za nastavitev pravilne osvetlitve slike. V tem pogledu so bile še dosti slabše od muhastih vidikonov, ki omogočajo razmeroma enostavno nastavljanje občutljivosti s spreminjanjem enosmerne prednapetosti na tarči.

Sodobne CCD kamere dosegajo ločljivost tudi 4000X4000 točk, visoka občutljivost pa omogoča celo astronomska opazovanja. Za običajno televizijsko sliko sicer zadošča ločljivost 500X500 točk, kar se da izdelati s sodobno tehnologijo integriranih vezij na zelo majhnem in zato cenemem koščku silicija. Majhen slikovni senzor hkrati omogoča objektiv z zelo kratko goriščno razdaljo, komaj 5mm za CCD z diagonalo 1/3". Majhne leče v objektivu seveda dodatno pocenijo TV kamero.

Žal na tržišču ne moremo kupiti samih CCD integriranih vezij, da bi iz njih sami izdelali TV kamero. Cena sestavljene CCD TV kamere je sicer zelo nizka. Na radioamaterskem sej-

mu v Friedrichshafnu smo letos (1996) lahko kupili novo črno-belo CCD TV kamero z ločljivostjo večjo od 500X500 točk za komaj 130dem. Slika sodobnih cenениh CCD TV kamer je presenetljivo kvalitetna brez kakršnihkoli slepih točk ali motečih vzorcev, ki so bili značilni za prve CCD kamere.

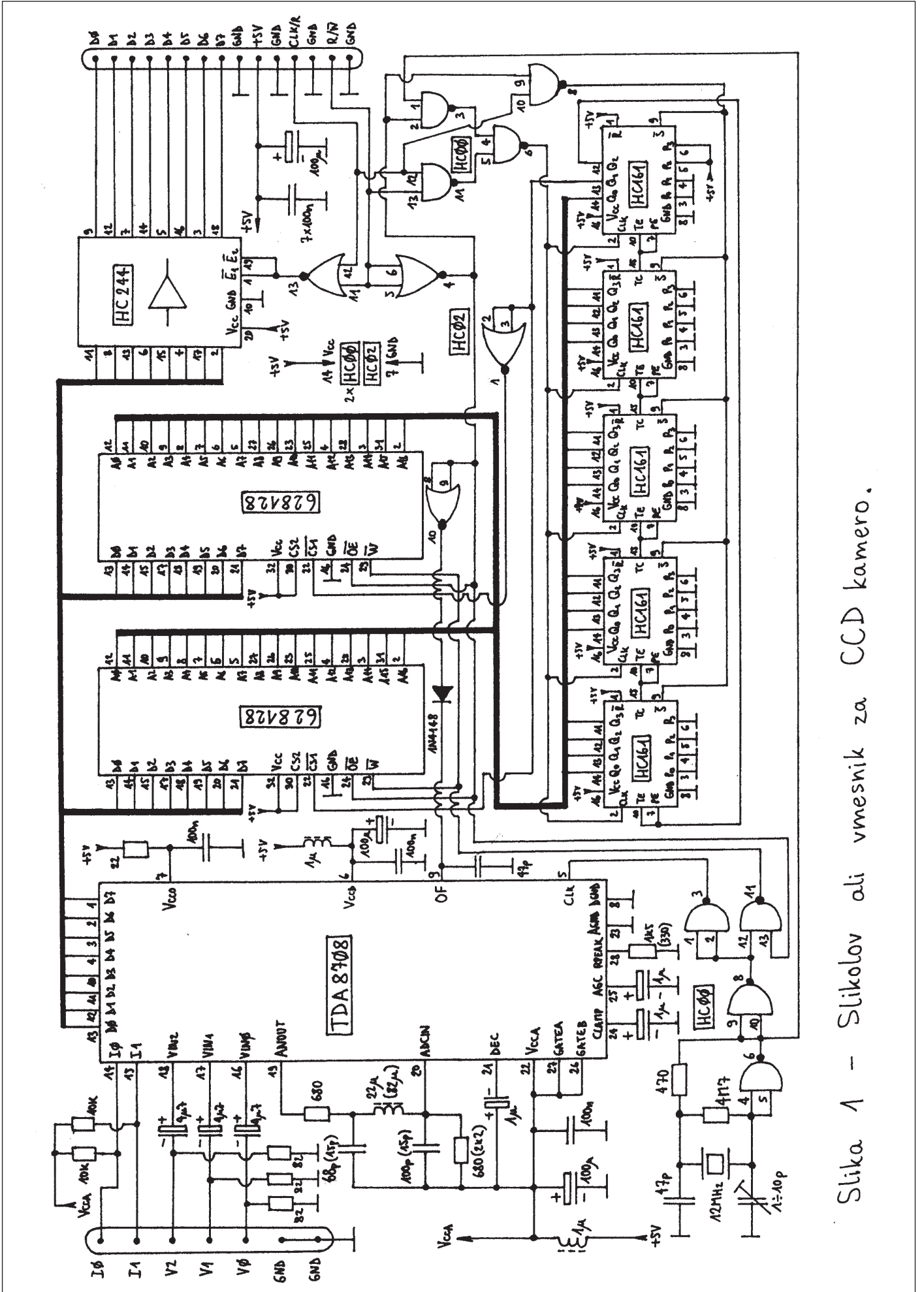
Cenene CCD TV kamere imajo le preprost objektiv brez nastavljive zaslonke. Dinamično področje sodobnih CCD senzorjev omogoča pravilno delovanje kamere v zelo širokem razponu osvetlitve, od dnevne svetlobe do zatemnjene sobe, brez nastavljanja zaslonke. Ker so cenene TV kamere v glavnem namenjene za elektronsko varovanje, jih dobimo opremljene s širokokotnimi objektivmi v dveh izvedbah: z majhno zaslonko "pinhole" oziroma z nezaslonjeno lečo. "Pinhole" izvedba je nekoliko manj občutljiva, vendar tudi pri močni dnevni svetlobi ne pride v nasičenje.

2. Računalniški vmesniki za TV kamere

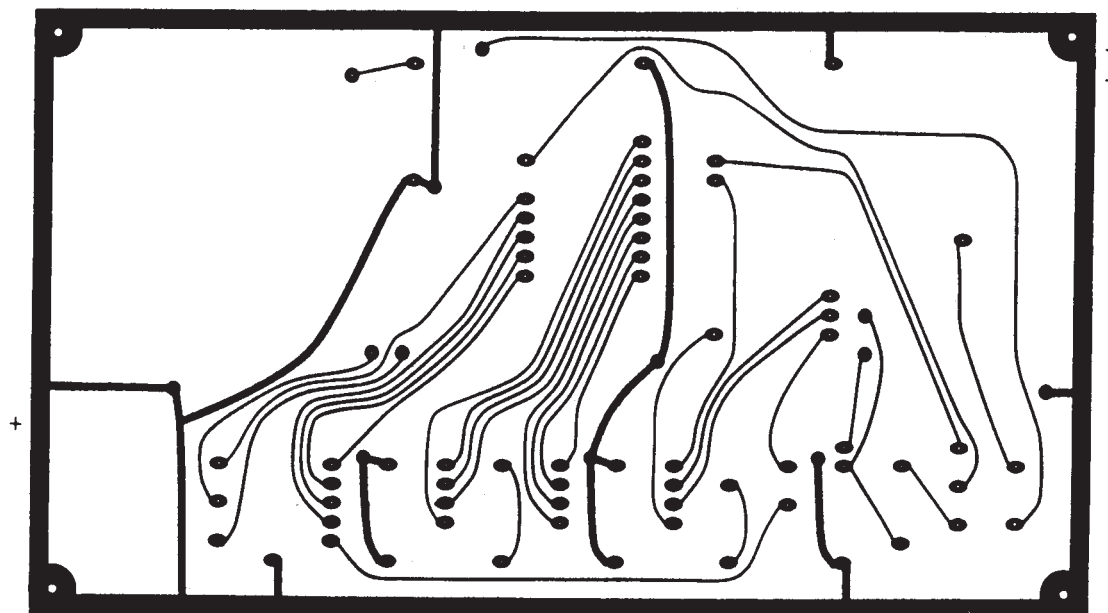
Cenena CCD TV kamera proizvaja standardni CCIR video signal s 625 vrsticami in 50 polslikami v sekundi ter standardnimi sinhroimpulzi. Takšno TV kamero lahko neposredno priključimo na ATV oddajnik in prenašamo živo sliko. V vseh ostalih slučajih (SSTV, FAX, packet, astronomija itd) bi želeli drugačen, običajno počasnejši prenos slike.

Z izjemo astronomije, kjer potrebujemo počasnejše odčitavanje slike za doseganje višje občutljivosti CCD kamere, si lahko pomagamo s primernim računalniškim vmesnikom. Vmesnik pretvori televizijsko sliko v digitalno obliko in jo shrani v računalniški pomnilnik, od koder jo lahko poljubno počasi čitamo. Takšen vmesnik ponavadi imenujemo s tujko "frame grabber" ali po naše slikolov.

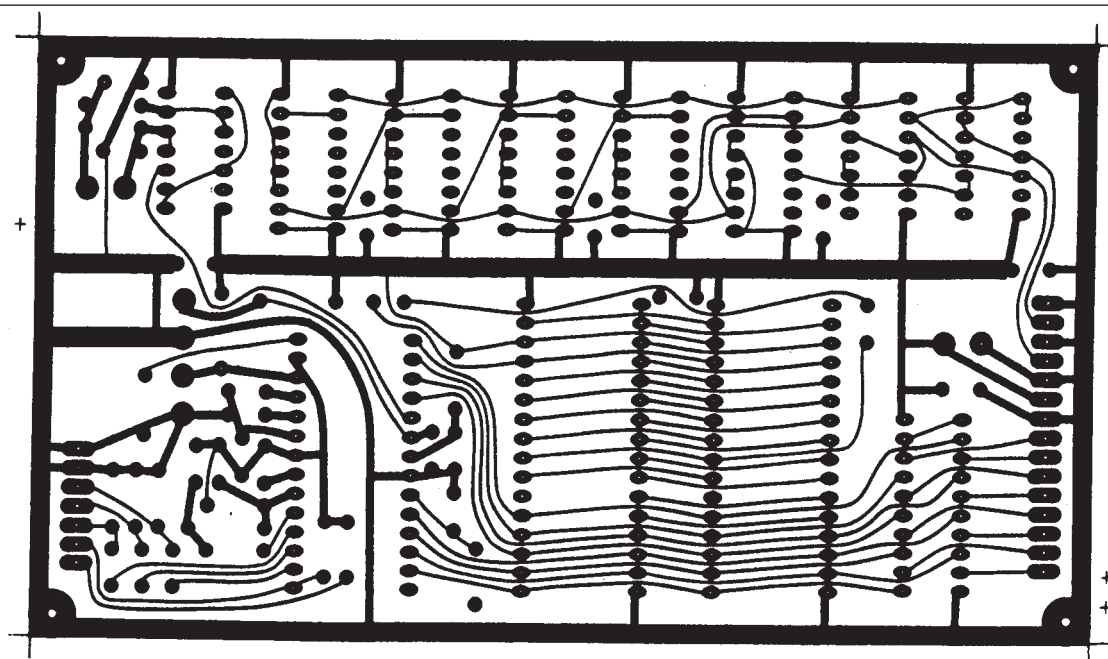
Z uporabo računalniškega vmesnika ali slikolova se izognemo razdiranju oziroma predelavi CCD kamere. Pri sodobnih CCD kamerah je predelava skoraj nemogoča, saj zraven kamere ne dobimo načrta, integrirana vezja in ostali SMD sestavni deli pa večinoma ne nosijo



Slika 1 - Slikolov ali vmesnik za CCD kamero.



Slika 2 - Gornja stran tiskanine slikolova (dvostranski FR4).



Slika 3 - Spodnja stran tiskanine slikolova (dvostranski FR4).

nobenih oznak. Tudi modeli kamer se hitro spreminjajo, na tržišču zato kmalu dobimo nove, manjše in predvsem boljše CCD TV kamere, ki jih lahko uporabljamo skupaj z istim starim računalniškim slikolovom.

Obstaja več različnih vrst računalniških vmesnikov. Najenostavnejši slikolovi vsebujejo le počasen A/D pretvornik in v vsaki vrstici televizijske slike vzorčijo le eno samo točko. Na podoben način so delovale tudi prve SSTV kamere v dobi, ko še nismo poznali hišnih računalnikov. Frekvenca vzorcev je enaka vrstični frekvenci (15625Hz) in je torej

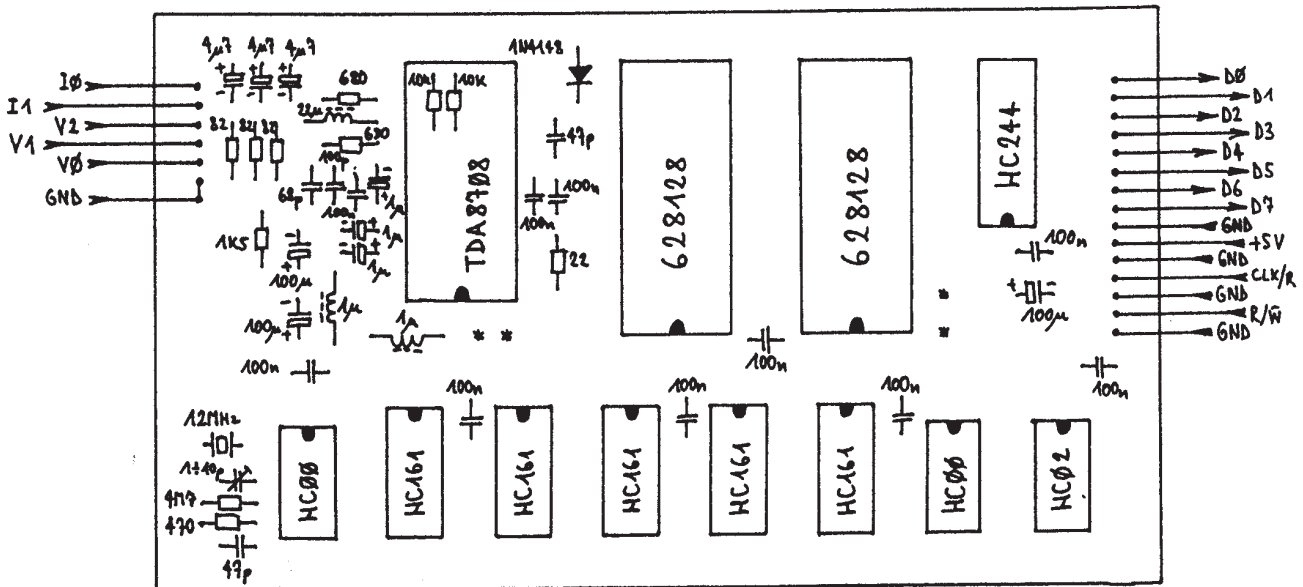
zadosti nizka, da računalnik sproti obdeluje vzorce. Vzorčenje celotne slike je zelo počasno in traja od 10 do 20 sekund, v vsem tem času pa mora prizor pred kamero mirovati!

Boljši slikolovi vsebujejo hiter A/D pretvornik, ki dela s taktno frekvenco 10 do 20MHz in digitalizirano sliko shrani v vmesnem pomnilniku, kjer je potem na razpolago računalniku. Vzorčenje slike je tu zelo hitro in traja 20 ali 40 milisekund (ena ali obe polsliki), hitrost branja vsebine vmesnega pomnilnika pa seveda zavisi od zmogljivosti računalnika.

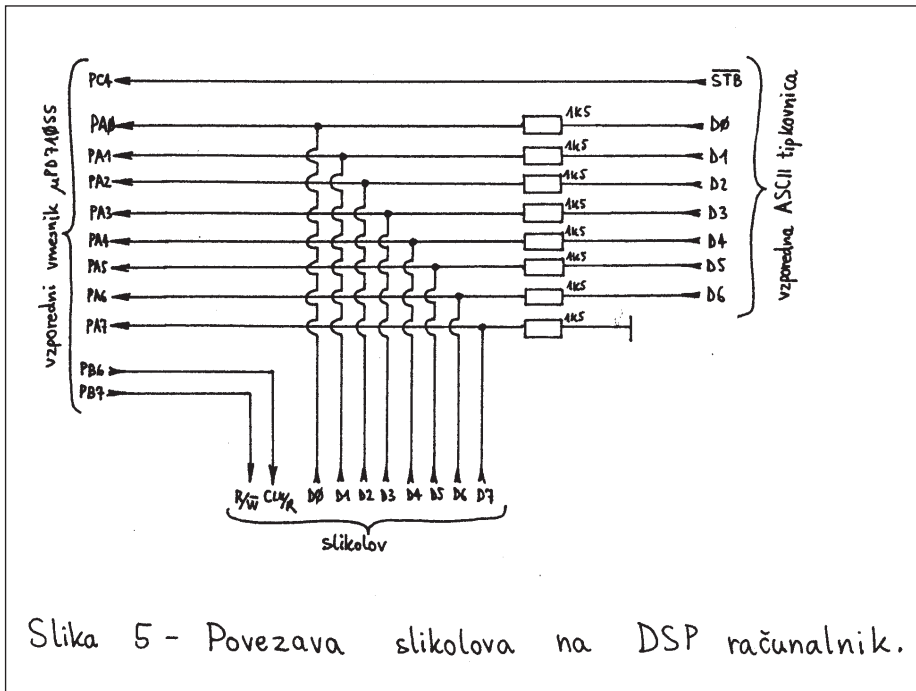
Najboljši slikolovi ("video blaster"

kartice) omogočajo prenos žive slike neposredno s kamere na video kartico računalnika. Tudi obdelava video signala, mešanje video signalov iz več izvorov, kompresija in dekompresija slike ipd se vrši v namenskih vezjih na sami kartici. Računalnik v tem primeru le nadzira delovanje vezij na kartici.

Opisani slikolovi imajo eno veliko pomanjkljivost: s svojimi priloženimi programi sicer zelo lepo delajo, žal pa nam proizvajalci teh kartic nočejo dostaviti natančnejših opisov njihovega notranjega delovanja. Sami zato ne moremo pisati programov za bolj



Slika 4 - Razporeditev sestavnih delov slikolova.



Slika 5 - Povezava slikolova na DSP računalnik.

komplicirane "video blaster" kartice, da bi jih prilagodili našim radio-amaterskim potrebam, priloženi programi pa so pogosto zelo nerodni za uporabo.

Na primer, sliko moramo najprej vzorčiti s priloženim programom, nato komprimirati z drugim programom, pretvoriti v primerno obliko za packet-radio s tretjim programom in končno naložiti na packet-radio BBS s četrtnim programom. Pri pobiranju slike je postopek obraten, predvsem pa nima manj korakov in za vsako sliko zahteva kar nekaj tipkanja oziroma vožnje z miško po raznih menu-

jih, se pravi ogromno duhamornega dela za eno samo sliko?

3. Načrt slikolova

Glede na vse omenjene težave s tovarniškimi slikolovi sem se odločil, da sam izdelam enostaven slikolov, ki ga lahko priključim na katerikoli računalnik in predvsem ga lahko sam programiram. Električni načrt slikolova je prikazan na sliki 1 in vsebuje hitri video A/D pretvornik TDA8708, 256kbajtov vmesnega pomnilnika ter števec za pisanje in

čitanje pomnilnika. Prikazani slikolov se lahko priključi na katerikoli vzporedni računalniški vmesnik, ki ima vsaj dva izhodna voda ter 8 vhodnih vodov.

Integrirano veže TDA8708 vsebuje razen hitrega A/D pretvornika (najvišja taktna frekvenca 30MHz) tudi preklopnik za tri ločene vhode in video ojačevalnik s samodejno nastavitvijo črnega nivoja in ojačenja. Tri video vhode izbiramo s kontrolnima vhodoma I0 in I1. Ko upora 10kohm držita vhoda I0 in I1 na logični enici, je aktiven vhod V2.

Samodejna nastavitvev črnega nivoja in ojačenja deluje preko A/D pretvornika. Ko sta vhoda GATEA in GATEB povezana na logično enico, bo TDA8708 polnil oziroma praznil kondenzatorja na nožicah 24 in 25 tako, da bo najnižjemu nivoju ustrezalo izhodno število 0, najvišjemu nivoju pa izhodno število 255. Celotno območje 8-bitnega A/D pretvornika bo v tem slučaju polno izkoriščeno. Tok polnjenja/praznjenja kondenzatorjev avtomatike določa upor na nožici 28 (RPEAK).

Takt vzorčenja je določen s kristalnim oscilatorjem. Vrednost 12 MHz je povsem primerna za črno-belo sliko, temu ustrezno pa je izbrana mejna frekvenca nizkoprepustnega video sita med nožicama 19 (ANOUT) in 20 (ADCIN) okoli 5.5 MHz. Točna vrednost vzorčne frekvence je v teoriji sicer nepomembna. V praksi je obdelava slike veliko enostavnejša, ko je vzorčna

frekvenca točen mnogokratnik vrstične frekvence 15625Hz.

Pri takti frekvenci 12MHz dobimo v času trajanja ene polslike (20ms) kar 240000 vzorcev. Vsi vzorci seveda ne vsebujejo koristne informacije, saj so tu tudi vrstični in slikovni sinhroimpulzi ter vrstični in slikovni povratki. Ker pa bi bil prihranek pomnilnika razmeroma majhen, opisano vezje preprosto shrani kar vse vzorce v vmesni pomnilnik. Na ta način je krmilna logika enostavnejša, slikovno in vrstično sinhronizacijo pa enostavneje opravimo z računalniškim programom, ki obdela vzorčeno sliko.

Kot vmesni pomnilnik sta uporabljena dva 128kbajtna statična CMOS pomnilnika 628128. Pri takti frekvenci 12MHz traja en cikel vpisovanja komaj 83ns, vendar je prototip deloval povsem zanesljivo celo s 100ns pomnilniki pri takti frekvenci 15MHz. Pri krmiljenju pomnilnikov na sami hitrostni meji je treba seveda paziti na izenačitev vseh zakasnitev, zato naslovni števec uporablja sinhrono števec 74HC161.

Računalnik upravlja s slikolovom preko dveh krmilnih vodov: R/W in CLK/R. Ko je vhod R/W na logični ničli, slikolov vpisuje sliko v vmesni pomnilnik. Signal CLK/R ima tedaj vlogo RESETa za sinhroni števec. CLK/R na visokem nivoju postavi števec na začetek pomnilnika. CLK/R na nizkem nivoju sprosti števec, slika se vpiše v pomnilnik, na koncu pomnilnika pa se števec preko ustrezne povratne vezave sam ustavi.

Računalnik potem prečita sliko iz vmesnega pomnilnika tako, da najprej resetira števec s tem, da spet postavi CLK/R na logično enico. Nato postavi še signal R/W na logično enico in prečita podatkovni bajt na osmih izhodnih vodih D0-D7. Naslednji bajt prečita računalnik tako, da s taktim impulzom na vodu CLK/R pomakne naslovni števec za eno mesto naprej po pomnilniku.

Ko računalnik zaključi s čitanjem slike oziroma z uporabo slikolova nasploh, postavi oba krmilna voda R/W in CLK/R na logično ničlo. Izhodi vezja 74HC244 grejo tedaj v visokohmsko stanje, da lahko uporablja računalnik vhodne vode D0-D7 tudi z drugimi vmesniki. Računalnik lahko sicer neposredno čita izhod A/D pretvornika, ko je CLK/R na logični enici in R/W na logični ničli in na ta način poišče vertikalni sinhroimpulz ter programske sproži vzorčenje slike.

4. Izdelava slikolova

Opisani slikolov je izdelan na dvostranskem tiskanem vezju z izmerami 80mmX140mm, ki je prikazano na slikah 2 in 3. Ustrezna razporeditev sestavnih delov je prikazana na sliki 4. A/D pretvornik in oba pomnilnika obvezno vgradimo na podnožja, ostala integrirana vezja pa lahko neposredno zacinjimo v tiskanino. Pri sestavljanju ne smemo pozabiti na oba upora 10kohm, ki sta vgrajena pod podnožje TDA8708! Na tiskanini so sicer samo 4 "via" luknje, označene z zvezdicami na sliki 4.

Pri izbiri sestavnih delov moramo paziti predvsem na A/D pretvornik TDA8708. Tovarna Philips izdeluje tri različna integrirana vezja z oznakami TDA8708, TDA8708A in TDA8708B. V ljubljanskih trgovinah z rezervnimi deli za televizorje lahko kupimo TDA8708 brez črke na koncu in TDA8708A. Vezje sem uspešno preizkusil le s TDA8708 brez črke na koncu! Po Philips-ovi knjigi zahteva TDA8708A nekoliko drugačne vrednosti sestavnih delov na nožicah 19, 20 in 28 (oznake v oklepajih na sliki 1), vendar mi kljub spremembam v vezju edini (skurjeni?) primerek TDA8708A ni hotel pravilno delati.

Statični CMOS pomnilniki so manj zahtevni. Vezje sicer zahteva 80ns pomnilnike pri taktu 12MHz, vendar je uspešno preizkušeno tudi s 100ns in 120ns pomnilniki in celo s hibridnimi moduli, ki vsebujejo štiri 32kbajtna SMD pomnilnike. Ker nekateri pomnilniki nimajo vhoda CS2, je nožica 30 neizkoriščena in povezana na +5V.

Takti oscilator je smiselno nastaviti na točen mnogokratnik vrstične frekvence. V slučaju takta 12 MHz je treba poiskati 768-ti mnogokratnik nazivne CCIR vrstične frekvence 15625Hz. Pri tem je seveda treba upoštevati tudi odstopanje taktne kristala v sami CCD kameri. Ker je vrstična frekvenca moje CCD kamere precej odstopala navzgor, sem moral vgraditi zelo majhna kondenzatorja v oscilator, trimer 1-10pF pa je skoraj povsem odprt.

Slikolov povežemo z računalnikom s 15-žilnim ploščatim kablom, ki naj ne bo daljši od enega metra. Žice ploščatega kabla priključimo natančno v istem zaporedju, kot so postavljeni priključki na tiskanini slikolova. Na ta način bosta občutljiva voda R/W in CLK/R dobro oklopljena z vmesnimi ozemljenimi vodniki ter ju izhodi D0-D7 ne bojo motili.

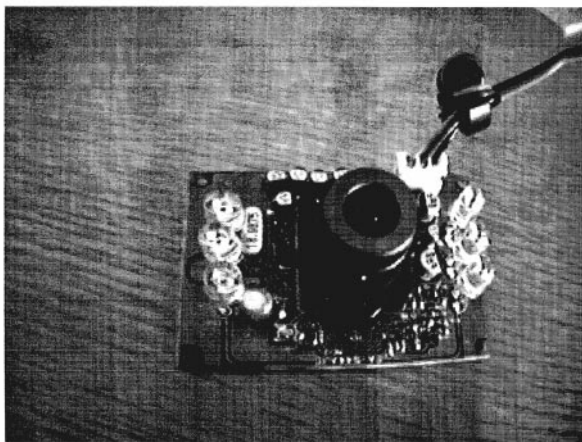
Končno je treba paziti tudi pri masah video signalov. Sam TDA8708 v ta namen že razpolaga z ločenimi priključki za napajanje analognega in digitalnega dela ter s kopico kondenzatorjev, dušilkama 1uH in uporom 22ohm na napajanju. Oklop vhodnega video koaksialnega kabla moramo zato nujno spojiti na predvideni nožici na vhodni 7-polni vtičnici.

5. Uporaba slikolova

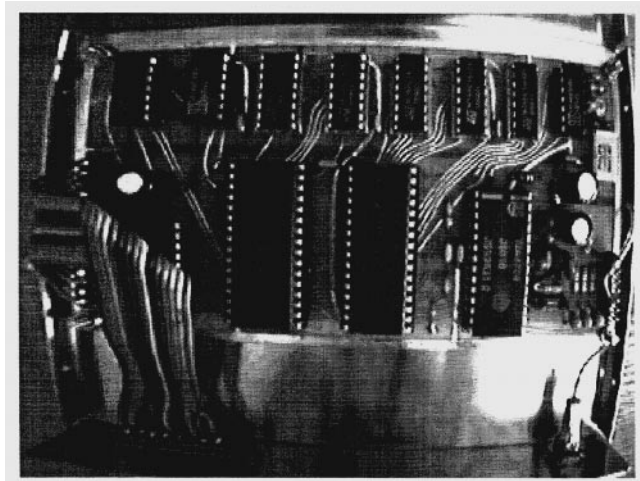
Pred uporabo slikolova moramo najprej razmisliti o priključitvi na računalnik. Ker pri DSP računalniku nisem razpolagal z zadostnim številom vhodnih vodov, sem priključil slikolov kar vzporedno tipkovnici, kot je to prikazano na sliki 5. Tipkovnica je ločena z upori 1.5kohm, slikolov jo zato enostavno prekrmili, ko ga DSP računalnik vključi preko vodov PB6 in PB7. Ustrezni krmilni program, SLIKOLOV.ASM, je naložen na LJUBBS/DSP3MV.

Primeri slik, posnetih s CCD kamero in opisanim slikolovom, ter natiskanih na laserskem tiskalniku (25 sivin), so prikazani na slikah 6, 7, 8 in 9. Pri tem je za poslabšanje kvalitete odgovoren tudi razmeroma star laserski tiskalnik, ki ima majhen pomnilnik in majhno ločljivost ter zato ne zmora tiskanja v več sivinah.

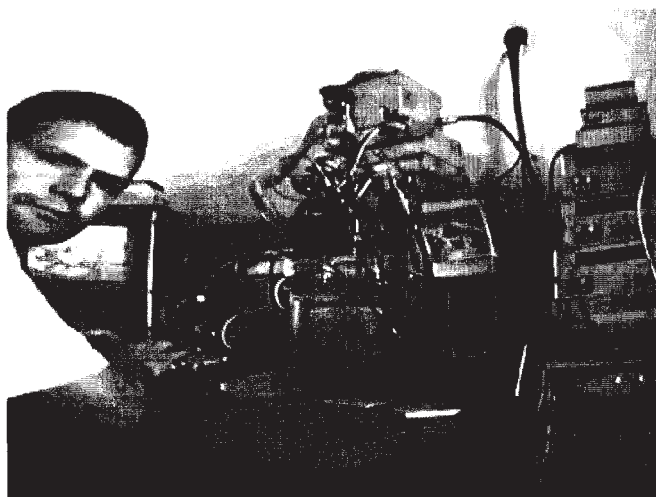
Končno se postavi še vprašanje: kako do barvne slike? Barvna CCD kamera sicer ni kaj bistveno bolj komplicirana od črno-bele CCD kamere, tudi polprevodniški čip je zelo podoben, zato bo cena barvnih CCD kamer verjetno hitro padla. Demodulacijo PAL (ali NTSC) barvne slike je sicer zelo enostavno opraviti z računalniškim programom, če smo le izbrali frekvenco vzorčenja kot mnogokratnik frekvence barvnega podnosilca 4.43MHz. V televizorjih z digitalno demodulacijo barve (ki uporabljajo tudi vezje TDA8708) se ponavadi uporablja vzorčenje s štirikratnikom barvnega podnosilca 17.73MHz. Ta frekvenca je za opisano vezje in velikost pomnilnika nekoliko previsoka, zato bi bilo smiselno poskusiti s trikratnikom barvnega podnosilca 13.3MHz.



Slika 6
- Črno-bela CCD TV kamera z IR LEDikami.



Slika 7
Slikolov kot je videl sam sebe.



Slika 8 - Uporaba slikolova.



Slika 9 - Pokrajina z lokomotivo.