



UNIVERZA V LJUBLJANI



Fakulteta za elektrotehniko



Aleksander Sešek

# **Linijski CCD senzor osvetlitve**

Seminarska naloga

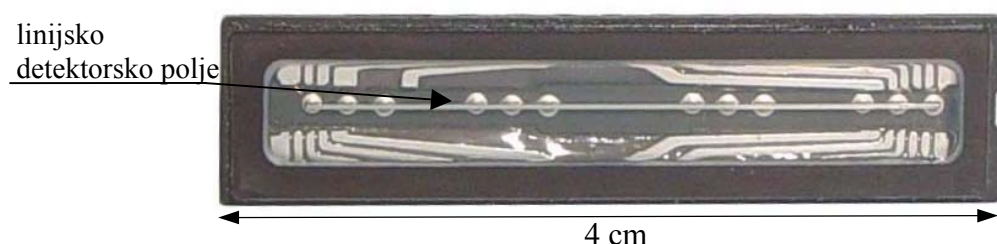
pri predmetu  
Elektronska vezja

Ljubljana, oktober 2002

## 1. Uvod

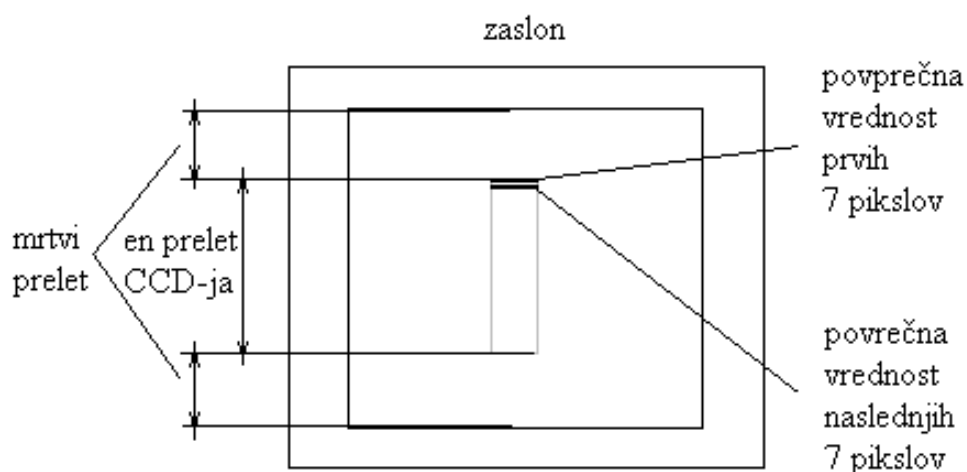
Linijski senzor lahko izvedemo s fotodiodami ali pa tudi s CCD (Charge Coupling Devices) poljem. CCD linijski senzor zaznava vpadlo svetlobo na principu zbranega naboja, ki ga ta svetloba generira v polprevodniku. Pri realizaciji seminarske naloge sem si izbral linijski senzor ILX551A, ki ga prikazuje slika 1.

ILX551A linijski senzor je v osnovi sestavljen iz CCD detektorskega polja s 2078 piksli (2048 aktivnih) ter CCD analognega registrskega polja, ki je potrebno za kasnejši serijski prenos naboja in pretvorbo v napetostni izhodni signal. Ločeni sta z elektronskimi vrati (MOS tranzistor), katerih vklop nadzira ROG (Read Out Gate) signal. Poleg tega signala potrebuje še signal PCLK za pomikanje naboja posameznih pikslov CCD-ja po registerskem polju. Sam čip vsebuje tudi SH (Sample and Hold) logiko, ki pa jo v dani realizaciji nisem uporabil.



Slika 1.: CCD senzor ILX551A (nekoliko povečan)

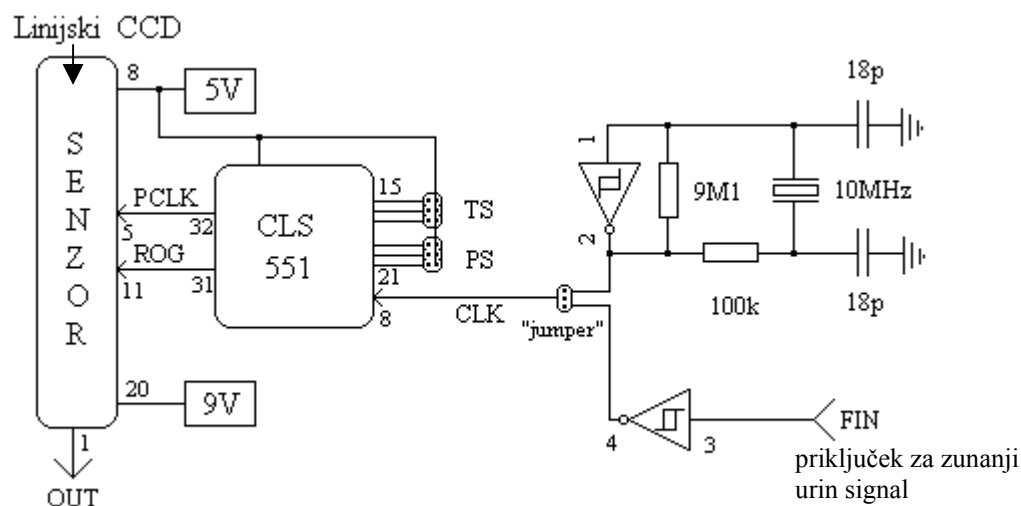
Cilj moje naloge je bil prikazati sliko iz linijskega CCD senzorja na zaslonu (rač. monitorju) v obliki stolpca. Posamezen element stolpca prikazuje povprečno intenziteto 7-ih pikslov CCD-ja (slika 2). Ker ima izbrani CCD 2048 aktivnih pikslov, je stolpec sestavljen iz 256 elementov. Posamezen element stolpca je predstavljen z osvetljenim segmentom dotične vrstice zaslona. Tako je stolpec sestavljen iz segmentov 256 vrstic. Tak način prikaza sem izbral, da sem lahko uskladi prelete CCD-ja s preleti žarka v monitorju.



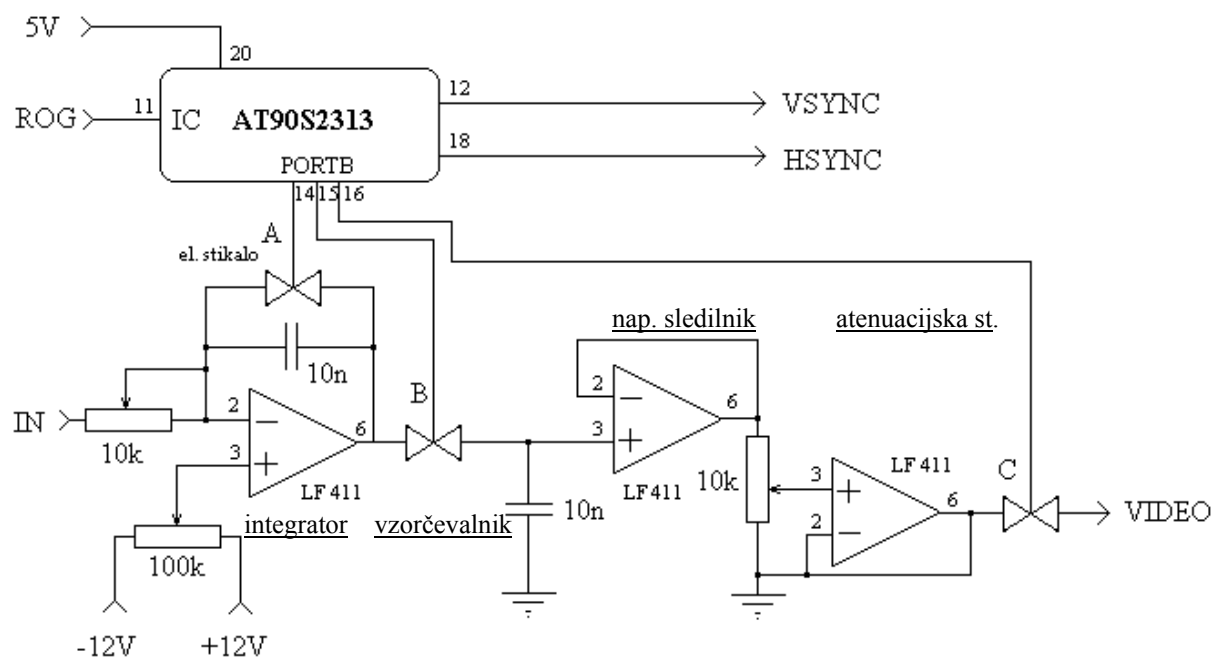
Slika 2: Slika na monitorju

## 2. Sheme vezij

### a.) CCD linijski senzor ILX551A z namenskim mikrokrmilnikom CLS 551 in vezjem za urin signal



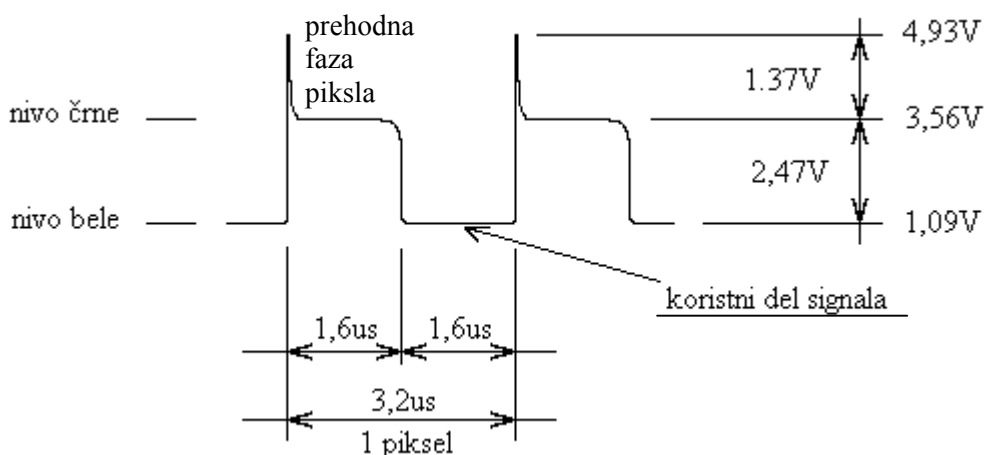
### b.) Integrator (povprečevalnik signala 7-ih pikslov), vzorčevalnik, napetostni sledilnik in izhodna atenuacijska stopnja (dodatni Atmelov mikrokrmilnik AT90S2313 skrbi za usklajeno delovanje elektronskih stikal)



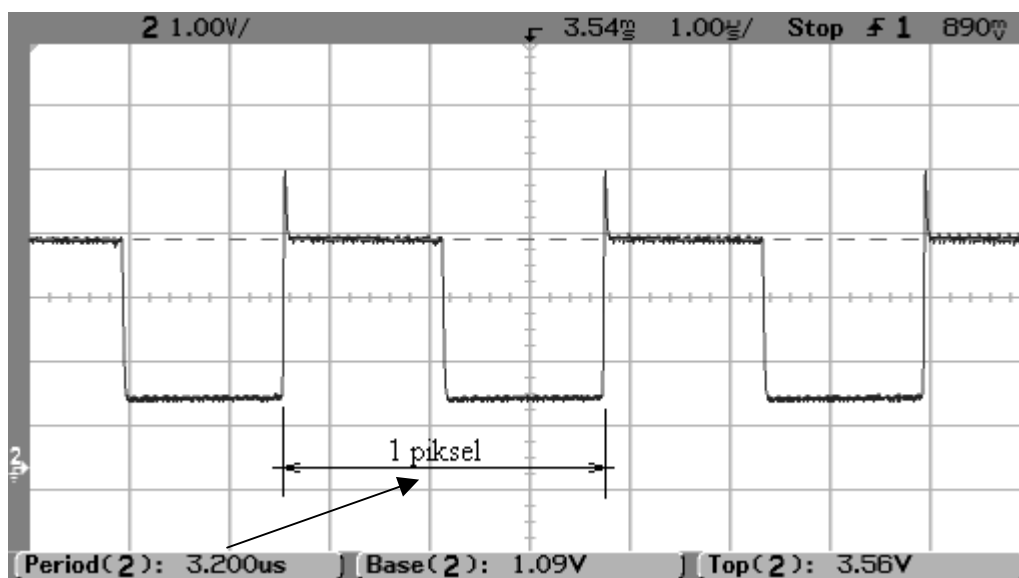
### 3. Zgradba in delovanje

#### 3.1. Linijski senzor ILX551A

O zgradbi sem napisal nekoliko že v uvodu. Sestavljen je torej iz dveh z elektronskimi stikali ločenih CCD polj. Na vklop vrat vplivamo z ROG signalom, ki ga pripeljemo od zunaj in mu notranje vezje integrirano v čipu ustrezno priredi napetostne nivoje za krmiljeneje MOS stikal. Urin signal, ki ga priključimo na čip, se v njem še ustrezno deli, da jo uskladimo z zahtevano dolžino ROG signala. ILX 551A ima v senzorskem polju 2087 pikslov, od tega je 2048 aktivnih. Izhodni nivoji signala Vout se gibljejo od 3.56V (črna oz. zatemnjen CCD) do 1.09V (bela oz. senzor popolnoma osvetljen).



Slika 3.: Nivoji izhodnega signala pri polni osvetlitvi CCD (shematski prikaz)



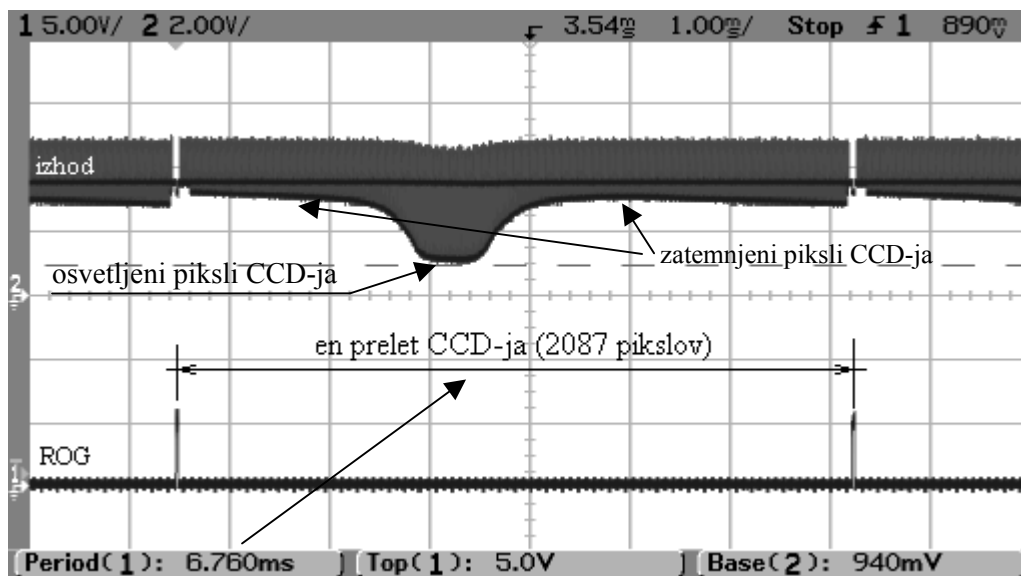
Slika 4: Nivoji izhodnega signala CCD-ja (meritev)

### 3.2. Mikrokrmilnik CLS 551

Ta namenski mikrokrmilnik (kontroler) v osnovi služi za deljenje frekvence ure (10MHz) glede na nastavljene vhode, ki jih nastavljamo z jumperji CLK. S tem vplivamo na hitrost izpisa pikslov iz registra in določamo čas piksla. Zaradi potrebne usklajenosti s horizontalnimi in vertikalnimi sinhronizacijskimi impulzi monitorja sem moral deliti urino frekvenco 10 MHz z 32 in tako dobil frekvenco pikslov  $f_{\text{piksla}} = 312.5 \text{ kHz}$ , oziroma čas enega piksla  $T_{\text{piksla}} = 1/f_{\text{piksla}} = 3.2 \mu\text{s}$ .

Z drugo skupino jumperjev TS nastavljamo frekvenco ROG signala in s tem določamo čas prepisa signala (naboja) iz detektorskega polja v register. S tem tudi posredno vplivamo na čas osvetlitve CCD-ja, ki je določen z vmesnim časom med dvema aktivnima deloma ROG signala (med dvema prepisoma). V času osvetlitve moramo tudi prebrati vsebino vseh pikslov iz registra, ki nosijo informacijo o prejšnji osvetlitvi. Zato morata biti ROG in  $f_{\text{piksla}}$  med seboj usklajena. V mojem primeru sem izbral periodo ROG signala  $T_{\text{ROG}} = 6.76 \text{ ms}$ , kar zagotavlja, da se pri dani  $T_{\text{piksla}} = 3.2 \mu\text{s}$  prebere vseh 2087 pikslov CCD-ja ( $3.2 \text{ ms} \times 2087 = 6.67 \text{ ms} < T_{\text{ROG}}$ ). Čas  $T_{\text{ROG}} = 7.76 \text{ ms}$  ustreza ravno polovični periodi vertikalnih impulzov monitorja pri izbrani resoluciji  $640 \times 480$ . En prelet CCD-ja se torej izvrši pri polovičnem preletu monitorja. Zaradi tega je stolpec, ki ga prikazujemo na monitorju, visok ravno eno polovico zaslona. V drugi, temni polovici zaslona, se vsebina CCD-ja ne prikazuje na zaslonu, čeprav se prelet CCD-ja ravno tako izvrši. Skrbno izbrani časi omenjenih krmilnih signalov CCD-ja igrajo odločilno vlogo pri neposrednem prikazovanju informacije na zaslonu v realnem času.

Na sliki 5. je prikazan izhod delno zastrtega CCD-ja (zgoraj) in pripadajoč ROG signal (spodaj). CCD je osvetljen le deloma na sredini, kjer je viden padec nivoja v izhodnem signalu. Perioda ROG signala je  $6.76 \text{ ms}$ , kar je ravno polovica vertikalnega sinhronizacijskega signala za monitor. Ta izhod CCD gre naprej na integrator.



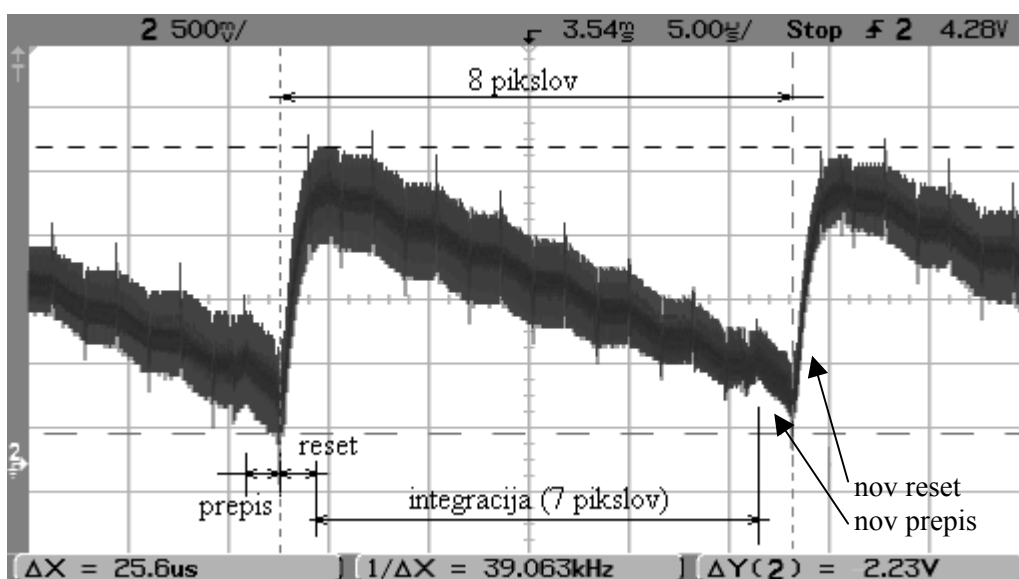
Slika 5: Izhodni signal iz CCD in ROG signal

### 3.3. Integrator

Integrator potrebujemo za povprečenje signala 7 pikslov (glej definicijo povprečenja). Le tako lahko dosežemo omenjeno usklajenost časov CCD-ja in monitorja. Integrator je izveden z operacijskim ojačevalnikom LF411, kondenzatorjem  $C1=10\text{nF}$ , ter potenciometrom na invertirajočem vhodu  $10\text{k}\Omega$ . Na neinvertirajočem vhodu imamo trimmer  $100\text{k}\Omega$ , ki je priklopljen med pozitivno in negativno napajanje za dvig izhodnega nivoja nad ničelno vrednost, da lahko stikalo B, ki je napajano z enojnim napajanjem, dani signal še vedno lahko preklopi. Operacijski oj. LF411 je bil izbran zaradi nizkega vhodnega izgubnega toka ( $\sim 50\text{pA}$ ), da nam ne prazni kondenzatorja, na katerem je shranjena informacija. Integrator je premoščen s stikalom A, ki ga krmili (tako kot vsa ostala elektronska stikala) Atmelov mikrokrmilnik in služi za izpraznitev  $C1$ , oz. za reset integratorja. Takoj za integratorjem je stikalo B, ki služi za prepis informacije oz. za prepis rezultata integriranja iz  $C1$  na  $C2$ . Sklene se nekoliko pred stikalom A (prepis še pred resetom). Potek napetosti na izhodu integratorja je prikazana na sliki 6.

V signalu je, kot je vidno tudi na sliki, veliko šuma, ki je posledica povezav med elementi, šuma usmernika in šuma CCD senzorja (zaradi neenakomerne osvetlitve). Na sliki je označen čas integriranja 7 pikslov, ki je  $7 \times 3.2 \mu\text{s} = 22.4 \mu\text{s}$ . V času sedmega piksla se že izvrši prepis integrirajoče se vrednosti (sklenjeno stikalo B), v času osmega piksla, ki pa se ne upošteva pri integraciji pa se izvrši reset (sklenjeno stikalo A). Čas osmih pikslov,  $8 \times 3.2 \mu\text{s} = 25.6 \mu\text{s}$ , je ravno enak času periode horizontalnega signala monitorja pri omenjeni resoluciji  $640 \times 480$ . Pri preletu horizontalnega žarka se na zaslon prikaže shranjena vrednost prejšnje integracije (napetost na  $C2$ ), istočasno pa na integratorju poteka že nova integracija (napetost na  $C1$ ).

Slika 6 je bila posneta pri polni zatemnitvi CCD-ja, zaradi tega je signal integratorja ob koncu integracije nizek (čeprav je takrat izhod CCD-ja visok, potrebno je poudariti, da tovrstni integrator opravlja tudi funkcijo negiranja signala). Iz slike je razvidno, da kljub zatemnitvi CCD-ja izhod integratorja nikoli ne doseže  $0\text{V}$  (minimalno  $0.3\text{V}$ ) in da je razpon izhodne napetosti  $2,23\text{V}$ . Vzrok domnevno tiči v nepopolni zatemnitvi CCD-ja. V primeru polne osvetlitve CCD-ja bi se nivo integratorja dvignil (manj izrazita žagasta oblika) na  $\sim 2\text{V}$ , glede na izbrane elemente v vezju.



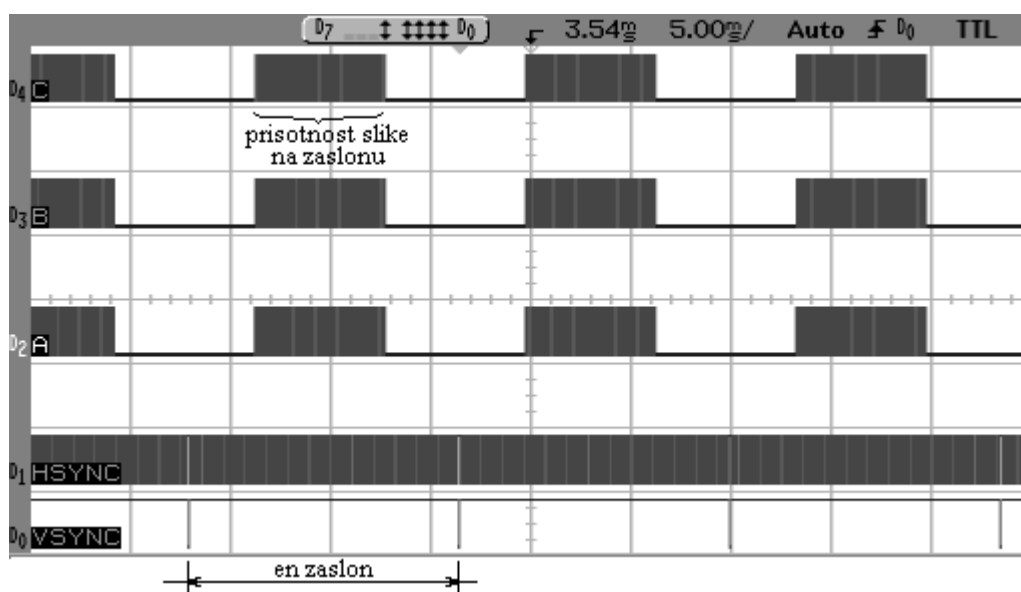
Slika 6: Izhod integratorja

V signalu na sliki 6 je opazen šum, ki je v veliki meri posledica prekopov v digitalnem delu vezja (mikrokrmilnika) in bi ga lahko zmanjšali s skrbno načrtovanimi ločenimi povezavami (napajanja, mase) analognega in digitalnega dela.

### 3.4. Mikrokrmilnik AT90S2313

Mikrokrmilnik (uC) AT90S2313 tipa AVR ima na voljo 2 x 8 vhodno izhodnih pinov. Poleg funkcij za serijsko komunikacijo, dveh časovnikov in analognega primerjalnika ima tudi možnost detekcije zunanje prekinitve (ICP) in notranje prekinitve (OC), kateri sem uporabil v realizaciji našega vezja. Za omenjeni mikrokrmilnik smo zasnovali program, ki temelji na prekinitvah, ki jih povzroča že poznani ROG signal na ICP in OC vhodih. Mikrokrmilnik poganja ista frekvenca ure kot CLS551 (10MHz), kar predstavlja osnovo sinhronizacije v našem pristopu. Izhodi, ki so namenjeni za sinhronizacijske impulze monitorja so priključeni direktno na uC (maksimalen izhodni tok AVR je 20mA). Poskusil sem tudi z dodatnima emitorskima sledilnikoma za krmiljenje monitorja, vendar se je to izkazalo za slabšo različico (daljši prehodni pojavi).

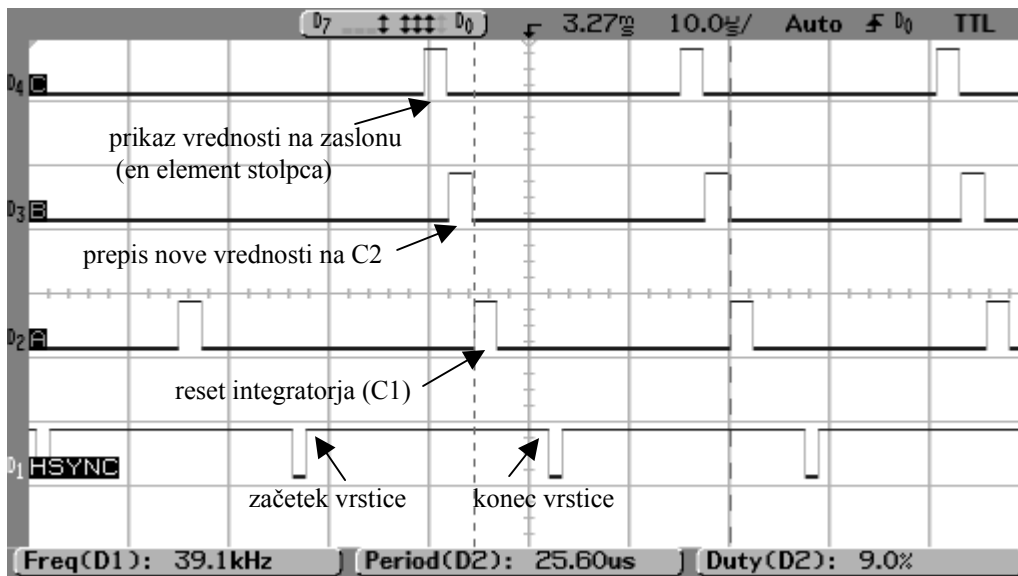
Na sliki 6 so prikazani vsi signali, ki jih generiramo z mikrokrmilnikom. Sinhronizacijska signala za monitor sta definirana po specifikacijah za monitor DPT Vfg. 1046/1984 in Vfg. 483/1986 (priloženo k referencam). Signali za krmiljenje stikal delujejo le v predelu prikaza stolpca na zaslonu. Ti signali so prikazani na sliki 7 in podrobneje na sliki 8.



Slika 7.:Signali iz mikro kontrolerja

### 3.5. Elektronska stikala

Izbral sem stikala 74VHC4066, ker so dovolj hitra ( $\sim 15\text{ns}$ ) in imajo majhno ON upornost ( $\sim 30\Omega$ ). Stikalo A torej sklene vhod in izhod integratorja in ga s tem resetira. Stikalo B služi za prenos naboja (napetosti) iz integratorja (kondenzatorja C1) na kondenzator C2. Stikalo C definira čas slike (stolpca) na monitorju. Sledijo si po določenem vrstnem redu, periodično.



Slika 8: Krmilni signali za stikala

V eni periodi  $25.6 \mu\text{s}$  horizontalnega sinhronizacijskega signala se morajo zvrstiti vsi krmilni impulzi stikal. Čas, ko je stikalo A sklenjeno mora biti dovolj dolg, da se kondenzator C1 sprazni, to je približno  $2 \mu\text{s}$  (oz. 1 piksel v našem primeru), prav tako dolg pa je tudi čas prenosa naboja iz kondenzatorja C1 na C2, ki ga nadzira stikalo B. Stikalo C pa definira širino osvetljenega in lego stolpca na monitorju.

Na sliki 8. je prikazan izrisa 1-3 vrstice (elementa stolpca) na monitorju. Prvih 7 pikslov, ki smo jih integrirali (povprečili) je prikazanih v prvi vrstici stolpca. V naslednji vrstici je prikazano povprečje naslednjih 7 pikslov CCD-ja. Seveda moramo upoštevati, da smo med posameznima prikazoma izpustili en piksel zaradi reseta integratorja. Po integraciji vseh aktivnih pikslov, moramo signal slike izklopiti, prav tako naslednji prelet CCD ne integriramo in ne prepisujemo vrednosti (mrtvi prelet CCD-ja, glej sliko 1). Vzrok je v sinhronizaciji preleta CCD in vertikalne frekvence monitorja, ki sta v razmerju 2:1.

### 3.6. Napetostni sledilnik in izhodna atenuacijska stopnja

Napetostni sledilnik nam služi za ohranjanje naboja na C2, ki hrani informacijo o osvetlitvi. V primeru obremenitve C2 bi naboj odtekel in informacija bi se izgubila. Vhodni signal je priključen na neinvertirajoč vhod operacijskega ojačevalnika, zato nam sledilnik napetosti ne invertira, kar tudi želimo, saj to nalogo opravi že integrator.

Za sledilnikom imamo izhodno atenuacijsko stopnjo. Ker monitor zahteva za slikovni signal napetost  $0-0.7\text{Vpp}$ , moramo napetost  $2.23\text{V}$  (maksimalno) oslabiti na  $0.7\text{V}$ . Nastavitev te vrednosti je možna z potenciometrom  $10\text{k}\Omega$ . Za atenuacijsko stopnjo pride še stikalo C, ki določa kdaj se slika prenese na zaslon (določa območje stolpca na zaslonu).

### 3.7. Ura

Za generiranje urinih impulzov imamo dve možnosti, ki jih izbiramo z jumperjem. Prva je zunanja generacija s funkcijskim generatorjem, druga pa s pomočjo internega oscilatorja  $10\text{MHz}$ . Ta frekvenca zagotavlja dovolj hitro delovanje AVR mikrokrmilnika (en strojni cikel AVR je tako  $\sim 100\text{ns}$ ). Ta urin impulz pa hkrati potrebujemo tudi za poganjanje



mikro krmilnika CLS 551, ki pa to uro naprej deli za potrebe CCD senzorja glede na že prej omenjene nastavitve in zahteve.

Pri kristalu, je poleg potrebnih kondenzatorjev za osciliranje in paralelnega upora, dodan še Schmit trigger za izboljšanje prehodov in nivojev urinega signala.

### 3.8. Napajalno vezje

Napajanje CCD senzorja in AVR mikrokrmilnika je izvedeno z dvema ločenima stabilizatorjema 7805 in 7809 in je ustrezno blokirano s kondenzatorji. Poleg tega pa imamo še tretji stabilizator 7805 za napajanje stikal, ker mora biti ločeno zaradi motenj.

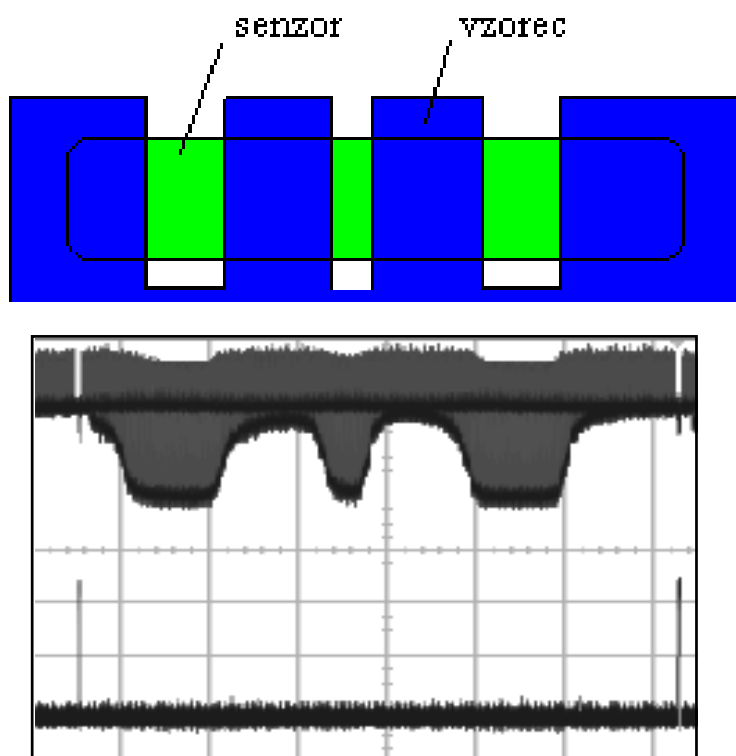
Za integrator, napetostni sledilnik in atenuator pa, ker uporabljam operacijski ojačevalnik LF411, ki potrebuje dvojno napajanje, imam še dodatno negativno napajanje.

## 4. Rezultati

Če linijski senzor popolnoma osvetlimo, dobimo na monitorju enako osvetljen svetlobni stolpec, kot je prikazano na sliki 9 (izbrali smo si zeleno barvo prikaza). Za neenakomerno osvetlitev sem uporabil nepropustni vzorec1, kot kaže slika 10, ter vzorec 2, ki je na sliki 11. Če bi uporabili polprepustne vzorce, bi na zaslonu lahko opazili tudi več vmesnih stopenj intenzitete (sivine).



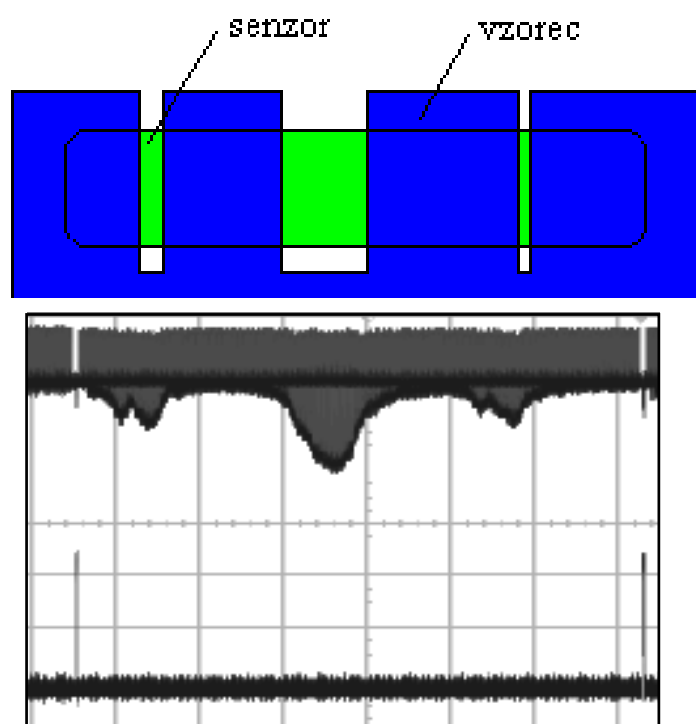
Slika 9.: Popolna osvetlitev CCD-ja



Slika na osciloskopu (izhod CCD-ja – zgoraj, ROG signal – spodaj)



Slika 10: Slika na monitorju z vzorcem 1



Slika na osciloskopu (izhod CCD-ja – zgoraj, ROG signal – spodaj)



Slika 11.: Slika na monitorju z vzorcem 2.

## 5. Zaključek

Seminarska naloga predstavlja le začetne korake za uporabo CCD linijskega senzorja. V njej smo uspešno realizirali vezje za krmiljenje CCD-ja in prikazovanje slike na monitorju. Za nadgradnjo oz. nadaljnjo uporabo senzorja vidim možnost zgraditve ročnega čitalnika, za kar pa bi bilo treba dodati še senzor premika in odstraniti mikro kontroler CLS 551, ter vse signale za senzor generirati z Atmelovim mikro kontrolerjem. Poleg tega bi bilo potrebno poskrbeti tudi za ustrezno shranjevanje podatkov med skeniranjem in prikazom celotne dvo-dimenzionalne slike na monitorju.

## 6. Literatura in reference

- 1.Katalog standardnih CMOS vezij,
- 2.Marko Topič:Elektronska vezja II., FER
- 3.Franc Bratkovič:Uvod v C, FER
- 4.Janez Krč : Svetlobni linijski senzor ,članek ERK 1998
- 5.Operating manual for DPT VFG. 1046/1984 and Vfg. 483/1986
- 6.Datasheets:
  - ILX551(<http://home.fnal.gov/~maeshima/alignment/zip/ILX551A.pdf>),
  - CLS 551 ([http://www.framos.de/pdf\\_sheets/CLS551.pdf](http://www.framos.de/pdf_sheets/CLS551.pdf)),
  - Quad switch 4066 (<http://www.fairchildsemi.com/ds/74/74VHC4066.pdf>),
  - LF411 (<http://www.national.com/ds/LF/LF411.pdf>),
  - AVR AT90S2313 (<http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc0839.pdf>).

## 7.Uporabljeni instrumenti:

- 1.Digitalni osciloskop Agilent 54622D 100MHz,
- 2.Napajalniki: -Agilent E3634A,
  - Iskra MA4170,
  - HP 6216A,
- 3.Razvojna plošča Atmel AVR STK500,
- 4.PC le1 – user3, monitor SONY Multiscan 15sfII
- 5.Monitor GVC MPR II.

## Zahvala

Rad bi se zahvalil asistentoma Janezu Krču in Marku Jankovcu za obilo pomoči, dobre volje in strpnosti, ki sta mi jo pokazala pri izdelavi moje seminarske naloge.