

---

*Snježana Momić i Milan Gavrilović*

## Laserski modem sa paralelnim prenosom podataka

---

*Realizovan je modem koji pomoći laserskog snopa prenosi informaciju o podacima među dva računara. Šalju se digitalne reči veličine četiri bita sa jednim kontrolnim bitom modulisanim laserskog snopa. Snop sadrži informaciju o poslatom podatku koju modem na drugom računaru prima i obraduje. Realizovan je i komunikacioni protokol za paralelni prenos podataka prilagođen hardverskim zahtjevima laserskog modema.*

---

### Uvod

Prenos podataka u savremenim telekomunikacijama se uglavnom vrši ili preko električnih vodova ili optičkim vlaknima. Električni vodovi imaju određenu parazitivnu kapacitivnost, induktivnost i otpornost, te zbog toga deluju kao filter za visokofrekventne signale. S druge strane, kod optičkih vlakana dolazi samo do malog slabljenja intenziteta, tako da optička vla-kna imaju daleko veći propusni opseg od klasičnih električnih vodova, a samim tim je i brzina prenosa znatno veća. Druga bitna prednost optoelektronike je imunost na elektromagnetsko zračenje, pa je zbog toga i šum da-leko manji.

Iako komunikacija pomoći optičkih vlakana postaje posebno važna poslednjih nekoliko godina, komunikacija u slobodnom prostoru na rastojanjima do nekoliko stotina metara je takođe praktična mogućnost. Ovakvi sistemi se lako postavljaju i koštaju znatno manje nego kada se koriste vlakna. Niska divergencija dobro usmerenog optičkog snopa poseduje značajnu prednost u pogledu sigurnosti, u poređenju sa radio komunikacijama.

Prenos podataka u računaru ili među računarima vrši se serijski ili paralelno. Ako se između predajnog i prijemnog mesta prenosa podataka vrši kroz samo jednu liniju veze, onda bitovi moraju da se šalju jedan za drugim, pa je reč o serijskom prenosu. Pošto su u digitalnim sistemima

---

*Snježana Momić  
(1983), Banja Luka,  
Kralja Petra II 56,  
učenica 3. razreda  
Elektrotehničke  
škole "Nikola Tesla"  
u Banja Luci*

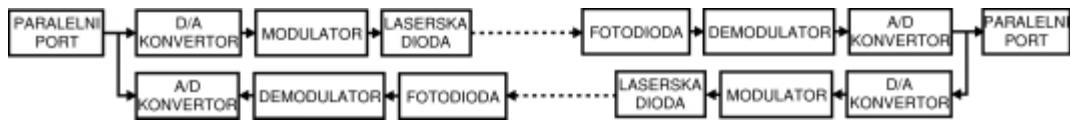
*Milan Gavrilović  
(1981), Kragujevac,  
Blaze Jovanovića  
2/II-10, učenik 4.  
razreda Prve  
kragujevačke  
gimnazije*

podaci predstavljeni binarnim rečima odnosno kombinacijama bitova, najbrži način prenošenja binarne reči iz jednog u drugi deo sistema je da se cela reč jednovremeno prenese. To ukazuje na potrebu da se obezbedi paralelni prenos podataka, tj. istovremenim prenos svih bitova jedne reči.

Laserski modem je konstruisan tako da do izražaja dolaze osnovne prednosti optoelektronskih uređaja i paralelnog prenosa. Jednovremeno se šalju četiri bita podatka i jedan kontrolni bit pomoću kojih predajnik moduliše lasersku diodu. Fotodioda prima laserski snop, koji sadrži informaciju o poslatom podatku, i prosleđuje ga preostalom delu prijemnika. Sa paralelnom portom prijemni računar preuzima podatak. Kontrola prenosa podataka i rada uređaja se vrši pomoću odgovarajućeg komunikacionog protokola

## Laserski modem

Blok shema uređaja prikazana je na slici 1.



### Paralelni port

Pošto je prenos podataka u laserskom modemu primer poludupleksne veze, korišćen je bidirekacionalni paralelni port zbog mogućnosti da se može konfigurisati i kao izlazni i kao ulazni. Blok shema paralelnog porta prikazana je na slici 2. Postoje tri I/O adrese povezane sa paralelnim portom. Te adrese se odnose na registar podataka, status registar i kontrolni registar.

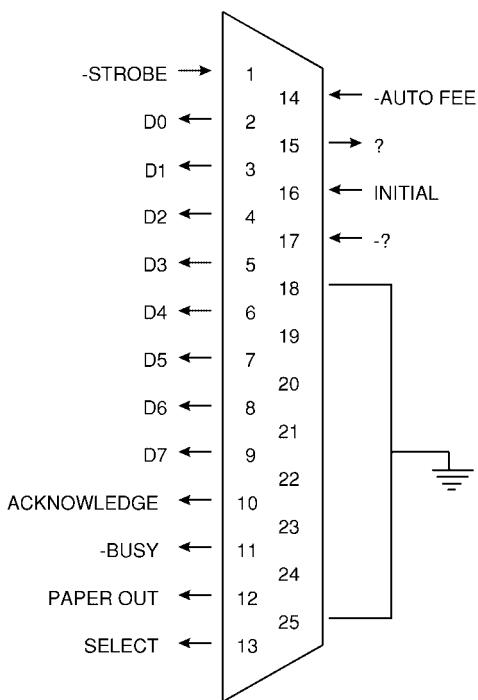
*Registar podataka* je osmobiljni port sa kojeg mogu da se čitaju i upisuju podaci. Obuhvata pinove od 2 do 9, na koje se postavlja byte podatka i to od D0 do D7 gde je D0 bit najmanje, a D7 bit najveće težine. Adresa registra podataka je 378h.

*Status registar* je osmobiljni ulazni port. Njegovi pinovi su 15, 13, 12, 10 i 11 i to od trećeg do sedmog bita status registra čija je adresa 379h.

*Kontrolni registar* je osmobiljni izlazni port čija je adresa 37Ah. Koristi pinove 17, 16, 14, 1 kojim odgovaraju treći, drugi, prvi i nulti bit kontrol registra. Vrednost četvrtog i petog bita se podešavaju softverski. Peti bit kontrol registra određuje da li će pinovi od D0 do D7 biti ulazni ili izlazni. Ako je postavljen na "jedan" pomenuti pinovi će biti konfigurisani kao ulazni, a ako je postavljen na "nula" kao izlazni.

Slika 1.  
Blok šema laserskog  
modema

Figure 1.  
Simplified laser  
modem circuit



Slika 2.  
Raspored pinova  
paralelnog porta

Figure 2.  
Parallel port pin-out

## Predajnik

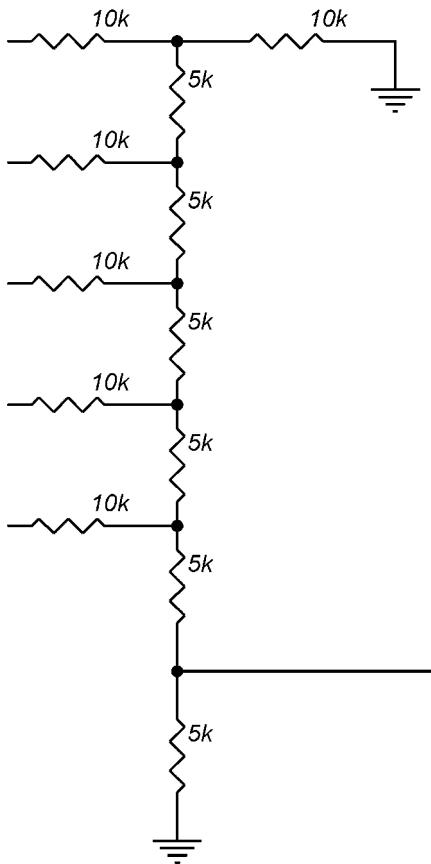
Uloga predajnika je da moduliše snop laserske diode. Izlaz D/A konvertora je priključen na ulaz neinvertujućeg operacionog pojačavača (LM741) koji pojačava signal 3 puta. Uloga operacionog pojačavača (OP-a) je da se ostale otpornosti u kolu ne bi sabirale sa vrednostima otpornika koji čine leštvičastu mrežu tj. D/A konvertor. Pored toga služi da bi sprečio pad napona na otpornicima D/A konvertora koji bi bio izazvan strujom koju bi povukao tranzistor. Pošto OP na ulazu uzima samo napon (ne poveća struju), a na izlazu je strujni generator čiju struju koristi tranzistor, do pada napona na otpornicima D/A konvertora neće doći. U slučaju kad ne bi postojao operacioni pojačavač, jednačina izlaznog napona D/A konvertora ne bi više važila.

Pojačan signal se prosleđuje diodi koja smanjuje offset da ne bi došlo do trajnog oštećenja tranzistora zbog velikog napona na bazi. Na kolektor tranzistora priključena je katoda laserske diode. Napon napajanja prijemnika iznosi +5V u odnosu na masu (0V). Blok shema predajnika prikazana je na slici 3.



Slika 3.  
Blok šema predajnika

Figure 3.  
Simplified emitter  
circuit diagram



Slika 4.  
Električna shema D/A konvertora

Figure 4.  
D/A converter circuit diagram

**D/A konvertor.** Podaci se u računarama obrađuju u digitalnom obliku. Na svaki od ulaznih pinova D/A konvertora iz računara se dovodi ili logička jedinica (+5 V) ili logička nula (0 V). Pomoću D/A konvertora binarni broj na izlazu paralelnog porta se pretvori u odgovarajući analogni napon. Realizovan je konvertor sa leštičastom mrežom otpornika R i  $2R$  čije su konkretne vrednosti  $5\text{ k}\Omega$  i  $10\text{ k}\Omega$  redom i petobitnom rezolucijom. Električna shema D/A konvertora je prikazana na slici 4. Petobitni broj čine 4 bita podatka i 1 bit za sinhronizaciju. Tako da će se u ovom konvertoru gde se pretvaraju binarni brojevi od 5 cifara na izlazu dobiti 32 različite diskretne vrednosti napona. Petobitni brojevi su formirani digitalnim signalima  $a_4\ a_3\ a_2\ a_1\ a_0$ , koji predstavljaju cifre binarnog broja.

**Modulator.** Modulator kao deo predajnika unosi u intenzitet svetlosti laserske diode informaciju o naponu iz pojačavača. Kako bi minimalna analognna vrednost napona (digitalno 0000) mogla da pobudi tranzistor da provodi i da pri tom laserska dioda daje određeni intenzitet svetlosti, upotrebljen je razdelnik napona koji na bazi tranzistora obezbeđuje odgovarajući offset. Pri svakoj većoj analognoj vrednosti napona, napon na

bazi je veći od potrebnog ofseta, te usled toga tranzistor provodi, ostvarujući sve manji potencijal na kolektoru tranzistora. S padom napona na katodi, laserska dioda daje veći intenzitet svetlosti.

## Prijemnik

Prijemnik ima zadatak da pomoću fotodiode prihvati modulisan snop. Napon sa katode fotodiode se vodi na neinvertujući ulaz operacionog pojačavača (LM741) koji je priključen na simetrični napon +5 V i -5 V. Operacioni pojačavač ima pojačanje 11 puta. Izlaz iz OP-a vodi na A/D konvertor (ADC0803) koji dalje signal prosleđuje portu preko pinova *busy*, *acknowledge*, *paper out* i *select* redom. Blok shema prijemnika prikazana je na slici 5.



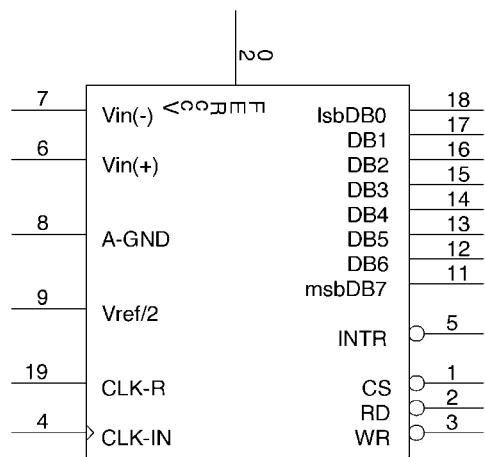
**Demodulator.** Laserski snop koji u svom intenzitetu sadrži informaciju treba da se demoduliše kako bi se na osnovu intenziteta tog snopa odredilo o kom binarno kodiranom broju je reč. Demodulator je realizovan kao razdelnik napona. Sa povećanjem intenziteta laserskog snopa, otpornost fotodiode se smanjuje, pri čemu se napon koji se vodi na neinvertujući ulaz operacionog pojačavača srazmerno promeni povećava. Dobijeni napon se pojačava i vodi na ulaz A/D konvervora, kako bi se na ulaz paralelnog porta dobio poslat podatak.

**A/D konvertor.** Cilj A/D konverzije je brzo određivanje digitalnog oblika trenutne vrednosti analognog napona koji dolazi iz pojačavača. A/D konvertor, u ovom slučaju ADC0803, slika 6, radi na principu sukcesivne aproksimacije. Sa OP-a napon za konverziju se vodi na pin Vin(+). Pinovi D0 do D7 su izlazni pinovi na kojima ADC0803 postavlja digitalni oblik konvertovanog ulaznog analognog signala. Da bi se povećala preciznost u određivanju poslate binarne kombinacije na izlazu se koristi svih 8 pinova za konvertovan ulazni napon tako da se ulazni interval vrednosti (0 do 31) proširuje na interval 0 do 255. Na osnovu unapred određenih opsega, zapisanih u kodu komunikacionog protokola, određuje se kojoj petobitnoj binarnoj kombinaciji odgovara vrednost iz intervala 0 do 255. Kontrolni pinovi za A/D konvertor su CS, RD, WR i INTR (slika 6).

CS – ADC0803 je aktivran i može u traženom trenutku da vrši konverziju sve dok je CS postavljen na niski naponski nivo (logička nula). Kad se CS postavi na logičku jedinicu čip je isključen. Postavljanje CS-a na logičku jedinicu je koričeno kad je bilo potrebno da A/D konvertor nema nikakva stanja na pinovima D0-D7 kako bi se bez štete po paralelni port mogli poslati novi podaci u suprotnom smeru.

Slika 5.  
Blok shema  
prijemnika

Figure 5.  
Simplified receiver  
circuit diagram



Slika 6.  
Blok šema A/D  
konvertora

Figure 6.  
Simplified A/D  
converter circuit  
diagram

RD – ovaj pin predstavlja tzv. dozvolu za čitanje. Tek kad se RD postavi na napon logičke nule konvertovani podaci mogu da se postave na izlazne pinove (D0-D7).

Kontrola pinova CS i RD u toku prenosa podataka je ostvarena softverski, tj. komunikacionim protokolom.

WR i INTR – kad se pošalje odgovarajući impuls na pin WR konverzija će početi (pri tom CS mora da bude na logičkoj nuli). Impuls treba da na WR-u promeni stanje iz logičke jedinice u logičku nulu, te da se opet vrati u logičku jedinicu. Da bi se postigla maksimalna moguća brzina konverzije WR se kratko spaja sa pinom INTR koji u toku konverzije daje vrednost logičke jedinice s tim što se kratko spusti na logičku nulu svaki put kada se završi jedna konverzija.

### Električna shema

Realizovana električna shema laserskog modema je prikazana na slici 7. Na palelnom portu, tj. na pinovima registra podataka, i prijemnog i predajnog računara su redno vezani otpronici od 500 kao zaštita paralelog porta. Poslat podatak iz računara preuzima D/A konvertor, prevodeći ga u odgovarajuću analognu vrednost napona i prosledjući ga modulatoru. Laserska dioda emituje snop svetlosti (slika 10). Otpornost fotodiode pri prijemu laserskog snopa opadne na vrednost odgovarajuću primljenom intenzitetu svetlosti, što demodulator i pojčavač prevode u analogni napon (slika 11). A/D konvertor za ulaznu vrednost napona, na svom izlazu daje osmobilni binarni broj i prosledjuje ga paralelnom portu. Čip CD4011 je postavljen kako bi se izbegao uticaj prijemnog i predajnog dela, uklanjajući mogućnost da dođe do neželjenih poremećaja u prenosu podataka. Stanje sa CS pina A/D konvertora je pomoću čipa regulisalo kad će predajnik moći da preuzme podatke sa paralelnog porta. Kad je na CS-u logička nula

Slika 7 (naspramna strana).  
Električna šema laserskog modema

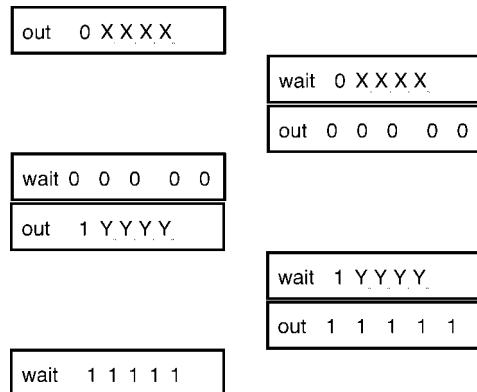
Figure 7 (opposite page).  
Laser modem circuit diagram



D/A konvertor predajnika je potpuno odvojen od paralelnog porta, kako ne bi došlo do neželjenih uticaja stanja koje na paralelni port šalje A/D konvertor.

### Komunikacioni protokol

Komunikacioni protokol se sastoji od dva asemblerska programa, za slanje i primanje podataka. Laserski modem je konstruisan tako da prenosi istovremeno pet bitova, od kojih se jedan koristi kao kontrolni signal za sinhronizaciju programa, a preostala četiri bita za slanje podataka. Bajt koji treba da se pošalje se na početku podeli na gornju ( $Y_3 Y_2 Y_1 Y_0$ ) i donju ( $X_3 X_2 X_1 X_0$ ) polovinu (slika 8). Osnovne dve funkcije koje koriste programi su *out* i *wait*. Funkcija *out* je integralna asemblerska funkcija koja vrednost iz status registra šalje na paralelni port, dok funkciju *wait* čini petlja iz koje program ne izlazi dok ne pročita očekivanu vrednost sa paralelnog porta. Algoritam po kome rade programi komunikacionog protokola je prikazan na slici 8.



Slika 8.  
Dijagram toka  
komunikacionog  
protokola

Figure 8.  
Communication  
protocol diagram

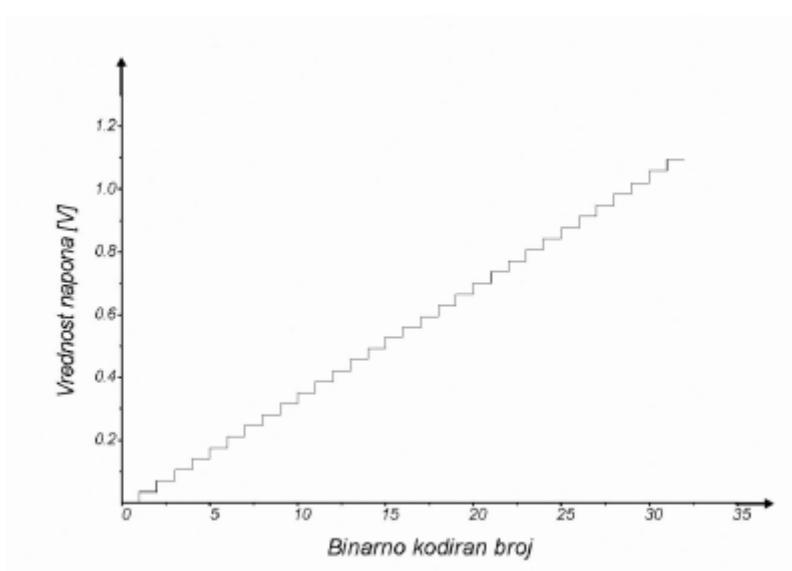
Na početku svakog programa vrši se inicijalizacija pomoću vrednosti 11111. Zapravo, bitno je da vrednost najstarijeg bita bude 1, jer su vrednosti koje oba programa očekuju u prvoj petlji oblika 0XXXX. Što se tiče imena fajla, kao i njegove dužine, program za slanje podataka na početku napravi fajl tačno određene dužine u koje upisuje ime i dužinu fajla.

### Karakteristike

Karakteristike delova laserskog modema su određene uz pomoć osciloskopa (C 30 MHz Oscilloscope), unimera (Voltcraft Universal System MS9150), Powermetra (Metrologic 45-545) i Fluke-a (Fluke 45).

Karakteristika D/A konvertora je prikazana na slici 9.

Izlazni napon se menja po jednačini (Živković, Popović 1997):



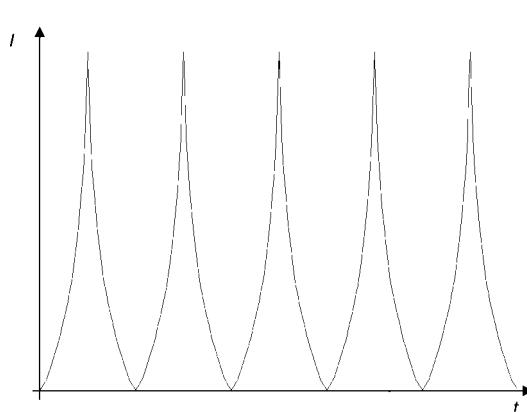
Slika 9.  
Prenosna  
karakteristika D/A  
konvertora

Figure 9.  
D/A converter  
transfer function

$$U_0 = \frac{U_r}{6} \cdot \frac{1}{2^{n-1}} \cdot (2^4 \cdot Q_4 + 2^3 \cdot Q_3 + 2^2 \cdot Q_2 + 2 \cdot Q_1 + Q_0)$$

gde je  $U_r = 5$  V napon za binarnu kombinaciju 11111.  $Q_4, Q_3, Q_2, Q_1, Q_0$  su binarne cifre petobitnog podatka koji se šalje. Razlika izlaznih naponova koji odgovaraju susednim binarnim brojevima, tj. LSB (least significant bit) iznosi pribлизно 35 mV.

Pad napona na katodi laserske diode za binarnu kombinaciju 00000 iznosi 2 V usled čega je intenzitet laserskog snopa  $I_0 = 1$  mW, a za binarnu kombinaciju 11111 pad napona na katodi je 6.4 V i tada je intenzitet snopa  $I_1 = 447$  mW. Grafik zavisnosti intenziteta laserskog snopa od vremena prikazan je na slici 10.

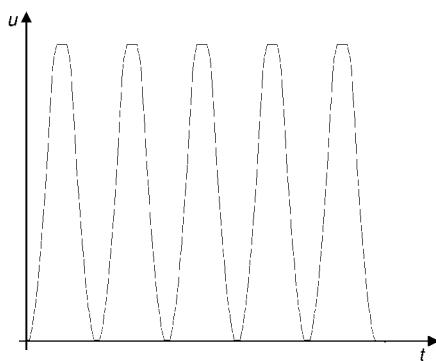


Slika 10.  
Zavisnost intenziteta  
laserskog snopa od  
vremena

Figure 10.  
Laser intensity of  
light vs. time

Sa slike 10 se vidi da grafik nije linearan, što je posledica greške koju unosi tolerancija otpornika D/A konvertora i uticaja šuma koji se javlja u protobordu. Poboljšanje karakteristike bi se moglo postići upotrebom integrisanog D/A konvertora, laser diode sa širim opsegom modulacije i kvalitetnijim protobordom.

Karakteristika fotodiode koja predstavlja zavisnost pada napona na fotodiodi od vremena, prikazana je na slici 11.



Slika 11.  
Karakteristika  
fotodiode

Figure 11.  
Photodiode transfer  
function

Izvesna poboljšanja, kao što su prenos više od 4 bita paralelno i sigurniji prenos podataka, bi se dobila upotrebom složenije elektronike za modulaciju i/ili složenijim detektorom sa naprednjim komunikacionim protokolom sa mogućnostima da prepozna grešku i pošalje "računaru-pošiljaocu" zahtev za ponovnim slanjem.

## Literatura

Živković B., Popović M. 1997. *Impulsna i digitalna elektronika*. Beograd: Nauka

Hyde R. Art of Assembly Lenguage. <http://webster.cs.ucr.edu/>

---

*Snježana Momić and Milan Gavrilović*

## Laser Modem

Laser modem is an electrical appliance which enables data transmission. It is constructed with optoelectronic devices that are able to reduce the level of noise caused during transmission through electrical conductors.

On the other hand, we can emphasize the special advantage of using parallel data transmission instead of standard, serial transmission. Actually, 4 bits of data are being sent in the same time as one controlling bit which enables laser diode modulation. Photodiode receives laser beam that carries information about sent data, and sends forward (using part of the receiver that is left) to a parallel port of a computer that receives this data. See block diagram on Figure 1. and electrical scheme of device on Figure 7. The control of data transmission performs using appropriate communication protocol (see algorithm of Figure 8. for details).

Dependence of laser ray intensity of time (see Figure 10) is not linear. This is a consequence of D/A converter imperfectness as well as influence of noise existing in protoboard. These characteristics can be improved by using integrated D/A converter, laser diode with higher volume of modulation and better quality protoboard. Photodiode has one characteristic that shows dependence of voltage drop across the photodiode vs. time. (Figure 11). Some improvements such as more than 4 bits parallel transmission could be achieved using:

- more complex electronics that modulate laser beam
- more complex detector with an improved communication protocol that has possibility of recognizing errors and ability to send request for the same data transmission again.

