

PROJEKTIRANJE OPTIČKOG MJERNOG PRETVORNIKA UDALJENOSTI

DESIGN OF AN OPTICAL DISTANCE MEASUREMENT TRANSDUCER

Miroslav Horvatić, David Zvonarek

Stručni članak

Sažetak: U radu se razmatraju tri osnovne vrste optičkih mjernih pretvornika blizine, te njihova dobra svojstva i ograničenja. Prikazano je projektiranje elektroničkih sklopova jednostavnog optičkog difuznog mjernog pretvornika udaljenosti. Optički predajnik mjernog pretvornika koristi infracrvenu fotodiodu, a optički prijemnik fototranzistor. Ispitivanjem realiziranog optičkog difuznog mjernog pretvornika dobivena je krivulja ovisnosti izlaznog napona pretvornika o udaljenosti predmeta koji se detektira.

Ključne riječi: projektiranje, optičko difuzno mjerenje, fotodioda, fototranzistor, elektronički sklop

Professional paper

Abstract: In this work, three types of optical proximity measurement principles are considered, including their pros and cons. An electronic circuit with simple optically diffused principle is implemented, wherein optical transmitter uses infrared photodiode, and receiver a phototransistor. Analysis of such optical transducer results with functional dependency of output voltage and proximity to a detectable object.

Key words: design, optically diffused measurement, photodiode, phototransistor, electronic circuit

1. UVOD

Suvremeni industrijski strojevi i postrojenja omogućavaju visok stupanj automatizacije proizvodnje. Automatizirana proizvodnja daje proizvode niže pojedinačne cijene i visoke kvalitete. Kako bi takvi automatizirani sustavi mogli uspješno funkcionirati nužno je da pravovremeno dobiju informacije što se događa u njihovoj okolini. Informacije o stanju strojeva, postrojenja, te njihovoj okolini, automatizirani sustavi dobivaju od raznih mjernih osjetila i mjernih pretvornika.

Mjerno osjetilo je naprava koja mjeri različite veličine značajne za stanje stvari i energije, te ih pretvara u motrive promjene [1]. Fizikalne veličine koje se najčešće mjere u procesima su dužina, masa, temperatura, tlak, protok, brzina. Radi lakšeg povezivanja sa mjerno regulacijskim sustavom, uobičajeno je da se uz mjerna osjetila ugrađuju dodatni sklopovi koji promjene sa izlaza osjetila obrađuju, te ih pretvaraju u prikladne iznose električnog signala. Takav mjerni spoj koji se sastoji od osjetila i pripadnih dodatnih sklopova naziva se mjerni pretvornik.

Mjerni pretvornici se mogu grupirati na različite načine. Ako su im osjetila u neposrednom fizičkom dodiru s procesom čija svojstva se želi izmjeriti, svrstava ih se u grupu dodirnih mjernih pretvornika. Mjerni pretvornici koji nisu u neposrednom fizičkom dodiru s procesom svrstavaju se u grupu nedodirnih. Nedodirni mjerni pretvornici nisu neposredno izloženi štetnim djelovanjima procesa, pa je njihova trajnost mnogo veća od trajnosti dodirnih osjetila.

Grupiranje mjernih pretvornika često se vrši i prema složenosti informacije koju registriraju. U slučaju da registriraju jednostavnu binarnu informaciju, npr. postizanje jednog određenog iznosa fizikalne veličine procesa, grupira ih se u skupinu detektora. Za razliku od detektora, kontinuirani mjerni pretvornici vrše kontinuirano mjerenje neke fizikalne veličine procesa, te na svojem izlazu daju analogni signal.

Prema fizikalnim principima koji se koriste za kontinuirano mjerenje i detekciju, mjerni pretvornici se često grupiraju na električne, magnetske, induktivne, kapacitivne, optičke, ultrazvučne, itd.

U mnogim automatiziranim strojevima i postrojenjima fizikalna veličina koja se kontinuirano mjeri ili detektira je udaljenost do objekta. Nedodirni mjerni pretvornici koji se koriste za detekciju određene udaljenosti do objekta grupiraju se u takozvane mjerne pretvornike blizine.

Zbog relativno niske cijene i velike trajnosti danas se često koriste nedodirni optoelektronički mjerni pretvornici. Optoelektronički mjerni pretvornici rade na optičkom fizikalnom principu širenja zračenja, a izvedeni su korištenjem elektroničkih komponenata i sklopova. Najčešće se u literaturi posebno ne ističe elektronička izvedba ovih optičkih mjernih pretvornika, pa se takva osjetila skraćeno nazivaju optičkim mjernim pretvornicima. Taj uobičajeni skraćeni naziv koristi se i u ovom radu.

Optički mjerni pretvornici blizine na svojem izlazu daju binarnu informaciju je li postignuta određena

udaljenost do nekog objekta, pa mogu zamijeniti manje trajne elektromehaničke krajnje prekidače.

U nastavku će biti opisani principi rada tri osnovne vrste optičkih mjernih pretvornika blizine, a nakon toga i postupak projektiranja optičkog difuznog mjernog pretvornika udaljenosti, koji se može upotrijebiti kao mjerni pretvornik blizine.

2. OPTIČKI MJERNI PRETVORNICI BLIZINE

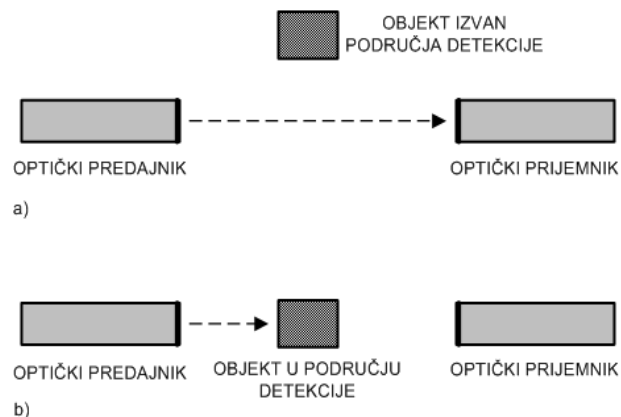
Osnovnu dio strukture optičkih mjernih pretvornika blizine čine dva elektronička sklopa. Prvi elektronički sklop je sklop optičkog predajnika koji stvara i emitira vidljivu svjetlost ili infracrveno zračenje. Infracrveno područje je manje osjetljivo na smetnje iz okoline i ima veći domet od vidljive svjetlosti, pa se zato češće koristi. Svjetlost ili infracrveno zračenje u optičkom predajniku najčešće se dobiva korištenjem poluvodičkih svjetlosnih dioda ili infracrvenih dioda. Ove diode su malih dimenzija, jeftine, pouzdane, trajne i jednostavne za montažu.

Drugi elektronički sklop koji čini osnovnu strukturu optičkog mjernog pretvornika blizine je optički prijemnik. Optički prijemnik prima svjetlost ili infracrveno zračenje emitirano od optičkog predajnika. Za prijem svjetlosti i infracrvenog zračenja koriste se fototranzistori i fotodiode. Osim fototranzistora i fotodiode u optičkom mjernom pretvorniku se nalaze komponente i sklopovi za filtriranje signala, pojačanje signala, te sklopovi za oblikovanje izlaznog signala.

Ovisno o tome na koji način optička zraka dolazi od optičkog predajnika do optičkog prijemnika, razlikuju se tri osnovne vrste optičkih mjernih pretvornika blizine. Te tri osnovne vrste optičkih mjernih pretvornika blizine su: mjerni pretvornici s prekidanjem optičke zrake, mjerni pretvornici s reflektorom i difuzni mjerni pretvornici.

2.1. Optički mjerni pretvornici blizine s prekidanjem optičke zrake

Princip rada optičkih mjernih pretvornika blizine s prekidanjem optičke zrake najjednostavnije se može objasniti korištenjem slike 1.



Slika 1. Optički mjerni pretvornici blizine s prekidanjem optičke zrake
 a) objekt izvan područja detekcije, b) objekt u području detekcije

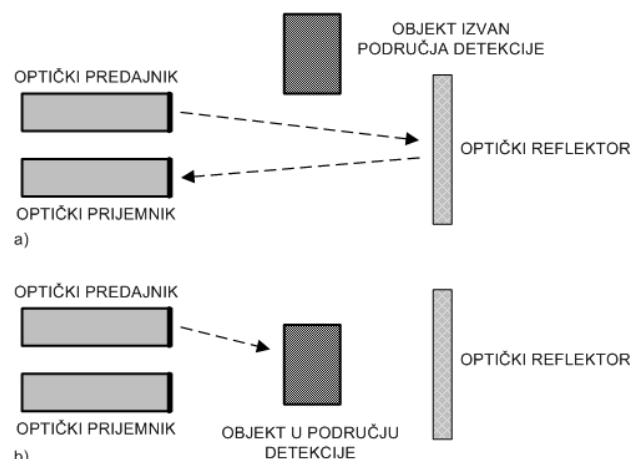
Područje detekcije objekta se nalazi između optičkog predajnika i optičkog prijemnika, a optički predajnik i optički prijemnik se nalaze jedan nasuprot drugom. Kada se objekt koji se želi detektirati nalazi izvan područja detekcije, optička zraka između optičkog predajnika i optičkog prijemnika je neprekinuta. U slučaju da se objekt koji se želi detektirati pomakne u područje detekcije, optička zraka ne može proći kroz objekt, pa ne dolazi ni do optičkog prijemnika. Prekidom optičke zrake optički prijemnik na izlazu daje promjenu signala, što je znak da se pojavio predmet u području detekcije.

Dobro svojstvo optičkih mjernih pretvornika s prekidanjem optičke zrake je relativno velika duljina područja detekcije. Tako postoje optički mjerni pretvornici s prekidanjem optičke zrake koja imaju područje detekcije do čak 100 metara [2]. Sljedeće dobro svojstvo ove vrste optičkih mjernih pretvornika je mogućnost detekcije predmeta manjih od milimetra, na većim udaljenostima [3]. Kod takve detekcije vrlo malih predmeta optički predajnik emitira lasersku zraku.

Osnovni nedostatak optičkih mjernih pretvornika s prekidanjem optičke zrake je nemogućnost detekcije transparentnih predmeta zbog prolaska optičke zrake kroz njih. Također, kada se kod ove vrste optičkih mjernih pretvornika želi dobiti veće područje detekcije, nužna je odvojena montaža optičkog predajnika i optičkog prijemnika. Kod odvojene montaže potrebni su dodatni kablovi, pa je takva instalacija složenija i skuplja u usporedbi s montažom ostalih vrsta optičkih mjernih pretvornika.

2.2. Optički mjerni pretvornici blizine s reflektorom

Optički mjerni pretvornici blizine s reflektorom rade na principu koji se može objasniti korištenjem slike 2.



Slika 2. Optički mjerni pretvornici blizine s reflektorom
 a) objekt izvan područja detekcije, b) objekt u području detekcije

Optički mjerni pretvornici blizine s reflektorom imaju optički predajnik i optički prijemnik u zajedničkom kućištu, zbog čega je za njihovo spajanje dovoljan jedan priključni kabel. Nasuprot kućišta mjernog pretvornika montira se optički reflektor. Područje detekcije se nalazi između kućišta mjernog pretvornika i optičkog reflektora. U slučaju kada je objekt koji se želi detektirati

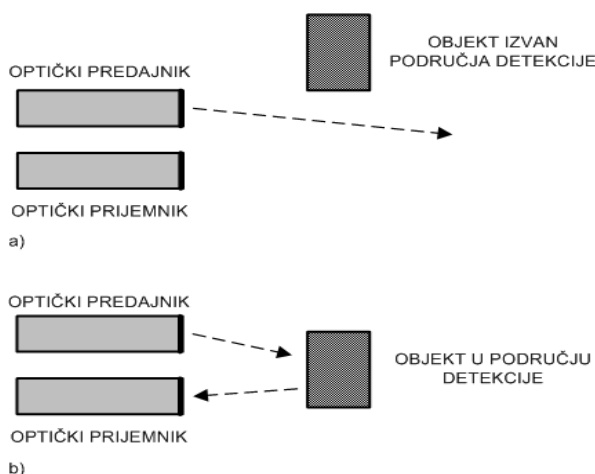
izvan područja detekcije, optička zraka putuje od optičkog predajnika do optičkog reflektora, reflektira se od reflektora i dalje putuje prema optičkom prijemniku. Kada se objekt koji se želi detektirati pomakne u područje detekcije, optička zraka prestane stizati do optičkog reflektora i optičkog prijemnika. Nakon ovog prekida optičke zrake, optički prijemnik na izlazu daje promjenu signala koja signalizira pojavljivanje predmeta u području detekcije.

Područje detekcije ove vrste optičkih mjernih pretvornika iznosi do 10 metara. Kao optički reflektor se može koristiti pasivni reflektor poput ogledala ili neki drugi dobro reflektirajući materijal.

Glavni nedostatak optičkih mjernih pretvornika s reflektorom je nemogućnost detekcije transparentnih i dobro reflektirajućih predmeta. Kroz transparentne predmete optička zraka bi prolazila do reflektora i putovala natrag prema optičkom prijemniku, pa ne bi došlo do detekcije. Predmeti čija je površina dobro reflektirajuća bi od svoje površine reflektirali optičku zraku prema optičkom prijemniku, pa također ne bi mogli biti detektirani.

2.3. Optički difuzni mjerni pretvornici blizine

Princip rada optičkih difuznih mjernih pretvornika blizine može se objasniti korištenjem slike 3.



Slika 3. Optički difuzni mjerni pretvornici blizine
a) objekt izvan područja detekcije, b) objekt u području detekcije

Slično kao kod optičkih mjernih pretvornika s reflektorom, optički predajnik i optički prijemnik nalaze se u istom kućištu. No, optički difuzni mjerni pretvornici za svoj rad ne trebaju reflektor, jer se detekcija objekta postiže refleksijom optičke zrake od objekta. Optički difuzni mjerni pretvornici se mogu primijeniti za detekciju objekata koji imaju dobro reflektirajuću površinu, poput svijetlih i metalnih predmeta. Objekte koji imaju tamne nereflektirajuće površine, poput predmeta od crne plastike ili gume, moguće je detektirati samo u iznimnim slučajevima, i to na vrlo malim udaljenostima.

Komercijalnim optičkim difuznim mjernim pretvornicima blizine moguće je detektirati predmete na udaljenostima do 2 metra.

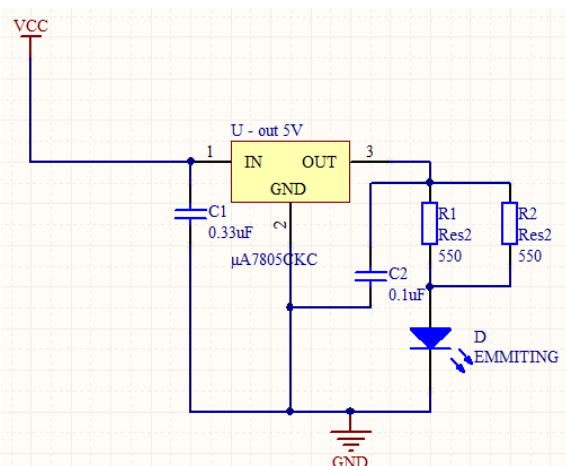
3. PROJEKTIRANJE OPTIČKOG DIFUZNOG MJERNOG PRETVORNIKA UDALJENOSTI

Osnovni zahtjevi prilikom projektiranja optičkog difuznog mjernog pretvornika udaljenosti bili su da osjetilo bude jednostavno i jeftine konstrukcije, te da omogući detekciju predmeta na udaljenostima do nekoliko desetak centimetara.

Kao što je već navedeno, optički mjerni pretvornik blizine sastoji se od dva osnovna sklopa. Prvi sklop je optički predajnik, a drugi, optički prijemnik. U nastavku će biti opisano projektiranje elektroničkih sklopova optičkog predajnika i optičkog prijemnika optičkog difuznog mjernog pretvornika.

3.1. Elektronički sklop optičkog predajnika

Elektronički sklop optičkog predajnika optičkog difuznog mjernog pretvornika prikazan je shemom na slici 4. Sklop se sastoji od stabilizatora napona i infracrvene diode sa pripadnim otpornicima koji određuju iznos struje kroz diodu.

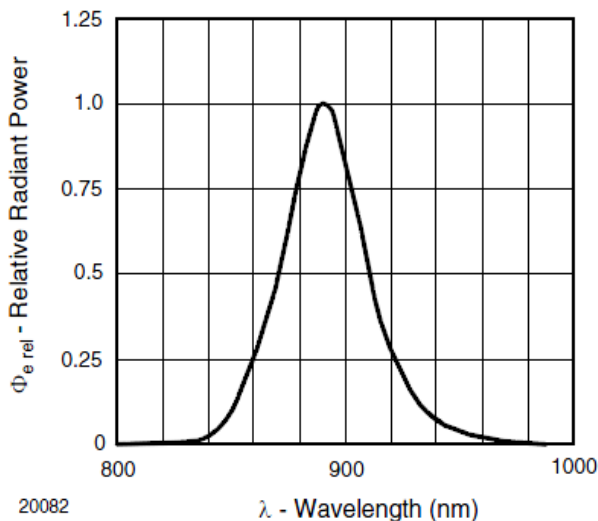


Slika 4. Elektronička shema sklopa optičkog predajnika optičkog difuznog mjernog pretvornika [4]

Infracrvene diode emitiraju veću snagu zračenja nego diode iz vidljivog dijela spektra. Zbog svoje relativno velike snage zračenja i valne duljine optičke zrake koju emitira, odabrana je infracrvena dioda TSHF5210. Ovisnost relativne snage zračenja ove diode o valnoj duljini prikazana je na slici 5. Iz slike se vidi da maksimalnu snagu zračenja infracrvena dioda TSHF5210 emitira na valnoj duljini 890nm.

Stabilizator napona koji se koristi u sklopu optičkog predajnika je standardni stabilizator oznake 7805, pa na svojem izlazu daje stabilizirani napon iznosa 5V. Na taj stabilizirani napon spojena su dva otpornika iznosa 550 Ω u paralelnom spoju. Otpor takvog paralelnog spoja otpornika iznosi 275Ω, zbog čega kroz infracrvenu diodu teče struja koja se može izračunati prema formuli (1).

$$I_D = \frac{5 - U_D}{275} = \frac{5 - 1.4}{275} = \frac{3.6}{275} \approx 13.1 \text{ mA} \quad (1)$$

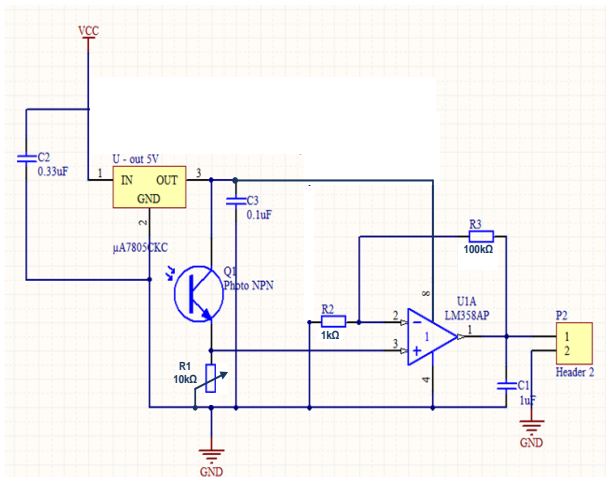


Slika 5. Relativna snaga zračenja diode TSHF5210 u ovisnosti o valnoj duljini [5]

Iznos napona na infracrvenoj diodi u stanju vođenja, $U_D=1.4V$, uzet je iz katalogskih podataka fotodiode [5] i uvršten u formulu (1). Izmjerena vrijednost struje kroz fotodiodu nakon sastavljanja sklopa iznosi 13.4 mA, dakle relativno dobro se podudara sa strujom izračunatom prema formuli (1).

3.2. Elektronički sklop optičkog prijemnika

Elektronički sklop optičkog prijemnika optičkog difuznog mjernog pretvornika prikazan je shemom na slici 6.



Slika 6. Elektronička shema sklopa optičkog prijemnika optičkog difuznog mjernog pretvornika

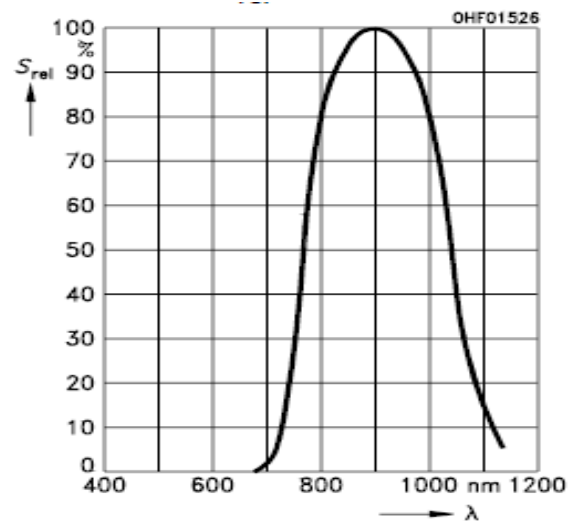
Za ispravan rad sklopa optičkog prijemnika potreban je stabilizirani napon koji napaja njegove elektroničke komponente. Za stabilizaciju napona napajanja i ovdje se koristi stabilizator napona 7805, koji na svojem izlazu daje stabilizirani napon 5V.

Kao što se vidi na slici 6, u sklopu optičkog prijemnika se nalazi fototranzistor, označen sa Q1. Ovaj fototranzistor prima infracrveno zračenje reflektirano od objekta koji se želi detektirati. Infracrveno zračenje

prema objektu detekcije je emitirala infracrvena fotodioda optičkog predajnika. Zbog toga je potrebno da relativna osjetljivost optičkog spektra fototranzistora bude najveća upravo na onim infracrvenim valnim duljinama gdje je emitirana snaga zračenja fotodiode optičkog predajnika najveća. Odabrani fototranzistor SFH309-FA vrlo dobro zadovoljava ovaj uvjet, što se vidi iz karakteristike relativne osjetljivosti njegovog spektra na slici 7.

Emiter fototranzistora spojena je na promjenjivi otpornik R1 kojim je moguće namjestiti razinu napona takvu da osvijetljenje okoline ne dovodi fototranzistor u zasićenje.

Prilikom obasjavanja fototranzistora infracrvenim zračenjem odbijenim od predmeta koji se želi detektirati, struja fototranzistora se povećava, što uzrokuje povećanje napona na promjenjivom otporniku spojenom na emiter. Napon na promjenjivom otporniku ima relativno mali iznos, pa ga se pojačava sklopom neinvertirajućeg pojačala realiziranim korištenjem operacijskog pojačala LM358 [6].



Slika 7. Karakteristika relativne osjetljivosti spektra fototranzistora SFH309-FA [7]

Naponsko pojačanje A_V sklopa neinvertirajućeg pojačala realiziranog operacijskim pojačalom LM358 može se izračunati prema formuli (2).

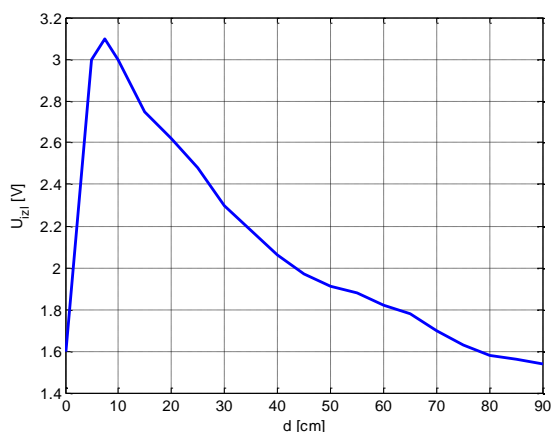
$$A_V = 1 + \frac{R_3}{R_2} \quad (2)$$

Kako bi se na izlazu pojačala dobile promjene napona reda veličine volta, odabirani su iznosi otpornika $R_2=1k\Omega$, $R_3=100k\Omega$. Uvrštavanjem tih vrijednosti otpornika u formulu (2) dobiva se naponsko pojačanje pojačala 101 puta. Uz ovako odabrano pojačanje na izlazu P2 sklopa optičkog prijemnika, u slučaju detekcije objekta, pojaviti će se promjena napona reda veličine volta.

U nastavku rada će biti prikazani rezultati ispitivanja realiziranog optičkog difuznog mjernog pretvornika.

4. ISPITIVANJE OPTIČKOG DIFUZNOG MJERNOG PRETVORNIKA

Prikazani optički difuzni mjerni pretvornik na izlazu P2 sklopa optičkog prijemnika daje promjenu napona ovisnu o udaljenosti do objekta koji se detektira. Ova ovisnost se može dobiti eksperimentalno, tako da se kao objekt detekcije uzme ravna bijela površina. Ravna bijela površina se postavi na neku udaljenost u području detekcije, na način da bude okomita na optičku zraku optičkog difuznog mjernog pretvornika, te se izmjeri napon na izlazu P2 sklopa optičkog prijemnika. Kada se za veći broj udaljenosti unutar područja detekcije izmjeri napon na izlazu sklopa optičkog prijemnika, može se nacrtati krivulja ovisnosti izlaznog napona optičkog difuznog mjernog pretvornika o udaljenosti od objekta. Na slici 8 je prikazana takva krivulja dobivena mjerenjem udaljenosti i izlaznog napona za optički difuzni mjerni pretvornik opisan u ovom članku. Prilikom snimanja navedene krivulje, fotodioda sklopa optičkog predajnika nalazi se 3.5 cm iznad fototranzistora sklopa optičkog prijemnika. Fotodioda i fototranzistor su postavljeni paralelno, te okrenuti u smjeru područja detekcije optičkog mjernog pretvornika, kao što je već prikazano na slici 3.



Slika 8. Krivulja ovisnosti izlaznog napona mjernog pretvornika o udaljenosti objekta od optičkog difuznog mjernog pretvornika

Iz oblika krivulje prikazane na slici 8 vidi se da je najveći izlazni napon elektroničkog sklopa optičkog prijemnika difuznog mjernog pretvornika 3.1 V. Ovaj napon se dobiva kada je ravna bijela površina udaljena od optičkog difuznog mjernog pretvornika 7.5 cm. Na toj udaljenosti fototranzistor optičkog prijemnika prima najviše infracrvenog zračenja emitiranog od fotodiode optičkog predajnika i reflektiranog od bijele površine. Za objekte udaljene više od 7.5 cm izlazni napon optičkog difuznog mjernog pretvornika se smanjuje. Tako se dobiva izlazni napon iznosa 3 V kod udaljenosti predmeta 10 cm, izlazni napon iznosa 2.6 V kod udaljenosti predmeta 20 cm, te izlazni napon iznosa 2.3 V kod udaljenosti predmeta 30 cm. Za udaljenosti objekta veće od 80 cm, izlazni napon optičkog difuznog mjernog pretvornika iznosi manje od 1.6 V, te se vrlo malo mijenja. Na tim udaljenostima opisani optički

difuzni mjerni pretvornik više ne može detektirati predmet. Kao što se vidi iz slike 8, ovisnost izlaznog napona optičkog difuznog mjernog pretvornika o udaljenosti od predmeta koji se želi detektirati je nelinearna. Ako se opisanim optičkim difuznim mjernim pretvornikom udaljenosti želi realizirati mjerni pretvornik blizine, moguće mu je dodati elektronički sklop komparatora koji će promijeniti stanje svojeg binarnog izlaza kada izlazni napon opisanog mjernog pretvornik postigne određenu razinu.

5. ZAKLJUČAK

Optički difuzni mjerni pretvornici su optička osjetila koja se zbog svoje niske cijene i jednostavne montaže često upotrebljavaju u automatiziranim strojevima i postrojenjima. Koriste se za detekciju predmeta za koje je dovoljno da im je moguće pristupiti samo sa jedne strane, pri čemu ti predmeti trebaju imati dobro reflektirajuću površinu.

Iz strukture u članku opisanog optičkog difuznog mjernog pretvornika udaljenosti vidi se da realizacija tih mjernih pretvornika može biti relativno jednostavna. Takvi mjerni pretvornici jednostavne strukture se mogu uspješno primijeniti u okolini sa malom razinom optičkih smetnji.

U slučaju primjene opisanog optičkog difuznog mjernog pretvornika u okolini sa većom razinom optičkih smetnji, bilo bi potrebno provesti mjere za smanjenje smetnji. Utjecaj optičkih smetnji iz okoline moguće je smanjiti projektiranjem odgovarajućeg kućišta u koje su smješteni optoelektronički elementi mjernog pretvornika, upravljanjem optičkim predajnikom i obradom izlaznog napona optičkog prijemnika. Dio kućišta koji se nalazi oko fototranzistora optičkog prijemnika treba što više prigušiti optičke smetnje koje dolaze iz okoline. Montažu cijelog optičkog difuznog mjernog pretvornika je također potrebno izvesti tako da što manje osjeća optičke smetnje koje dolaze iz okoline. Upravljanje optičkim predajnikom i obrada izlaznog napona optičkog prijemnika mogli bi se realizirati odgovarajućim programima koji bi se izvršavali u mikrokontrolerskom integriranom sklopu. Takvim dodatnim upravljanjem i obradom signala mogla bi se realizirati odgovarajuća modulacija optičkog signala i automatsko smanjenje osjetljivost opisanog difuznog mjernog pretvornika na optičke smetnje iz okoline.

6. LITERATURA

- [1] Božičević, J.: Temelji automatike 2, Školska knjiga, Zagreb, 1992.
- [2] FESTO: Sensors for handling and processing technology, Proximity sensors, Festo Didactic GmbH & Co. KG, Denckendorf/Germany, 2003.
- [3] FESTO: Fundamentals of automation technology, Technical book, Festo Didactic GmbH & Co. KG, Denckendorf/Germany, 2008.

- [4] Zvonarek, D.: Izrada makete optičkih osjetila prisutnosti, Završni rad, Veleučilište u Varaždinu, 2013.
- [5] <http://www.vishay.com/docs/81313/tshf5210.pdf>
TSHF5210; High Speed Infrared Emitting Diode
Document Number: 81313; Rev. 1.4, 24-Aug-11;
(Dostupno:15.05.2014.)
- [6] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm158-n.pdf>
LM358 Low Power Dual Operational Amplifiers,
SNOSBT3H–JANUARY 2000–REVISED MARCH
2013; (Dostupno:15.05.2014.)
- [7] [http://www.osram-os.com/Graphics/XPic2/00101811_0.pdf/SFH%20309,%20SFH%20309%20FA,%20Lead%20\(Pb\)%20Free%20Product%20-%20RoHS%20Compliant.pdf](http://www.osram-os.com/Graphics/XPic2/00101811_0.pdf/SFH%20309,%20SFH%20309%20FA,%20Lead%20(Pb)%20Free%20Product%20-%20RoHS%20Compliant.pdf)
Silicon NPN Phototransistor, Version 1.1, 2014-01-14, OSRAM Opto Semiconductors GmbH & Co.;
(Dostupno:15.05.2014.)

Kontakt autora:**Miroslav Horvatić, dipl.ing.el.**

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3
42 000 Varaždin
miroslav.horvatic@unin.hr