

Izdelava mobilnega robota z razvojnim sistemom roboPIC (13)

Avtor: Silvan Bucik

E-stran foruma: <http://www.svet-el.si/phpBB2/index.php>

V pričujočem prispevku bomo predstavili idejo, s katero smo skušali združiti dobre lastnosti digitalnih in analognih senzorjev. Med preizkušanjem različnih zamisli je sčasoma nastal senzor z analognim izhodom AN256. Pri razvoju senzorja smo skušali zasledovati predvsem dve kvaliteti: to sta odpornost na svetlobne motnje in seveda analogni izhod. Kdor se je doslej s sensoriko ukvarjal, ve, da se ti dve zahtevi običajno med seboj izključujeta. Na tržišču obstaja cela paleta senzorjev, ki so sicer odporni na motnje okoliške svetlobe, žal pa imajo diskretne (digitalne) izhode. Analognih senzorjev, ki uspejo izničiti vpliv okoliških motenj, je na tržišču zelo malo in večina teh je pri nas težko dobavljiva. Če pa že katerega od teh uspemo izslediti, naletimo na precej zasoljeno ceno.

Senzor z analognim izhodom AN256

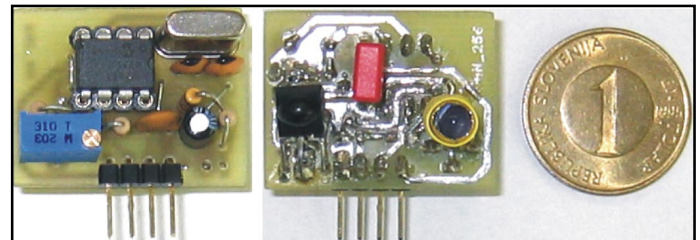
Osnovni tehnični podatki o senzorju AN256:

napajalna napetost: 5 V

poraba: 5 mA

območje delovanja: od 1 cm do 1 m

največja občutljivost: 1 V/cm



Slika 1: Fotografija senzorja z analognim izhodom AN256

Primerjava lastnosti družin digitalnih ter analognih senzorjev

V preteklih pisanjih smo se seznanili z družinama digitalnih in analognih senzorjev. Digitalni senzori imajo diskretne izhode, kar pomeni, da sta na njihovih izhodih možni le dve napetosti: +5 V, ki predstavlja logično 1, ter 0 V, ki pomeni logično 0. Ti dve stanji podajata informacijo o tem, ali se robot nahaja preblizu stene ali pa je od nje preveč oddaljen.

Drugo družino predstavljajo analogni senzori, katerih izhod je zvezen – analogen. Slednje pomeni, da se izhodna napetost giblje zvezno v območju od 0 V pa do napajalne napetosti. Na tem mestu želimo opozoriti, da se družine analognih senzorjev med seboj razlikujejo. Zato toplo priporočamo, da se, preden pričnete z delom, dobro seznanite z njihovimi lastnostmi in električnimi karakteristikami, ki jih proizvajalci navajajo v kataloških podatkih. Torej izhodna napetost analognih senzorjev je zvezna in je premo (ali obratno) sorazmerna z izmerjeno razdaljo. V primerjavi z digitalnimi senzori je izhodna veličina analognih senzorjev kvalitativ-

nejša, saj nam direktno podaja informacijo o merjeni razdalji.

Za primerjavo lastnosti obeh družin bomo pod drobnogled vzeli diskretni senzor SFH5110 ter senzor z analognim izhodom HSDL-9100. Družini sta po kvaliteti in ceni med seboj primerljivi, podrobnosti o teh podaja spodnja tabela.

V zvezi z električnimi karakteristikami opazimo nekaj zanimivosti. Napajanje diskretnega senzorja znaša 5 V in ne dopušča velikih odstopanj (dopustno je največ $\pm 0,5$ V). Vzrok za to omejitev gre iskati v periferiji, ki je v notranjosti senzorja, ter v zahtevi po kompatibilnosti izhoda s TTL in CMOS vezji. Analogni senzor glede napajanja nima tako ostrih omejitev. Sprejemni del senzorja predstavlja fototranzistor s pripadajočim »pull-up« uporom; omejitev glede napajanja pa predstavlja najvišja dopustna napetost kolektor-emitor, ki jo fototranzistor še prenese.

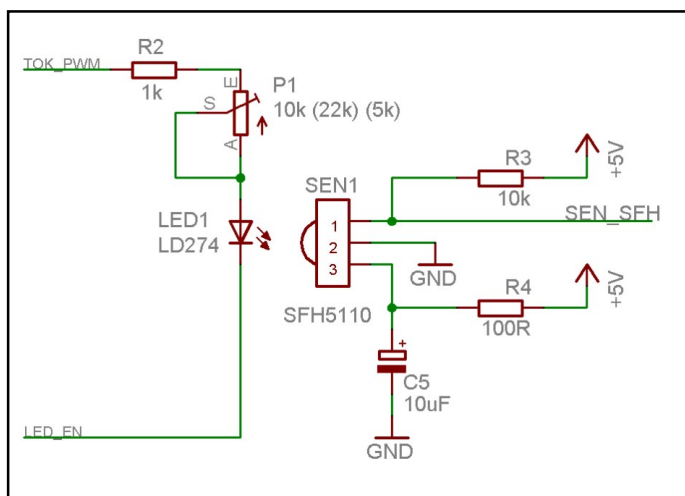
Večjo razliko opazimo v tokovni porabi. Razlog za manjšo tokovno porabo diskretnega senzorja gre iskati v tem, da SFH5110 operira z modularno svetlobo, s katero poleg zmanjšane porabe dosežemo izničenje vpliva motenj okoliške svetlobe. Pri analognem senzorju tovrstno težavo rešujemo z večanjem toka skozi oddajno IR led diodo, s čimer uspemo »preglasiti« okoliško svetlobo.

	SFH5110	HSDL-9100
napajalna napetost:	fiksna 5 V	do 35 V
poraba:	prib. 5 mA	prib. 30 mA
izhod:	diskreten	zvezen
območje delovanja:	več kot 5 m	do 50 cm
hitrost meritve:	prib. 250 μ s	prib. 15 μ s
občutljivost na okoliško svetlobo:	ne	da, na infrardečo

Tabela 1: Primerjava lastnosti senzorjev SFH5110 (Infineon technologies) ter HSDL-9100 (Agilent technologies)

Pozornost gre posvetiti tudi hitrosti odzivanja senzorjev. Analogni senzor je v tem segmentu

občutno boljši, kar gre pripisati enostavnosti njegove zgradbe in delovanja. Pri razvoju AN256 smo skušali slediti dvema dobrima lastnostma obeh senzorjev, in sicer sta to zveznost izhoda analognega senzorja ter »odpornost« digitalnega senzorja na svetlobne motnje.

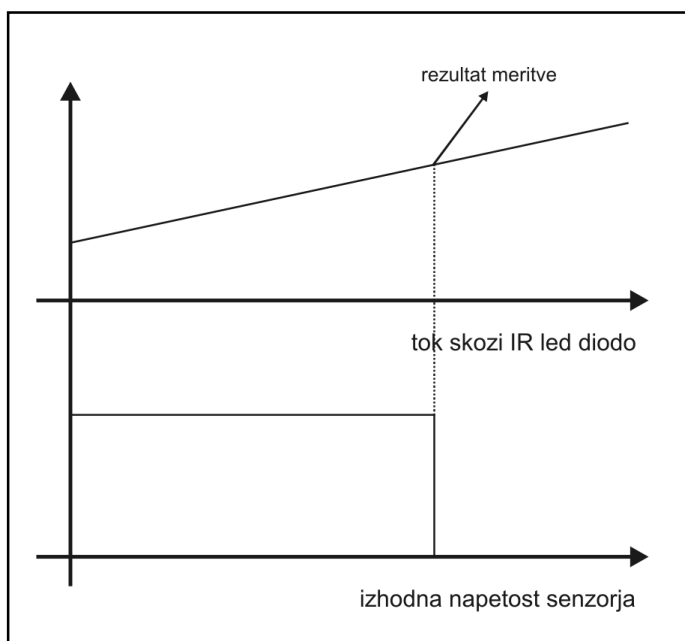


Slika 2: Vezava IR diode in sprejemnika SFH5110

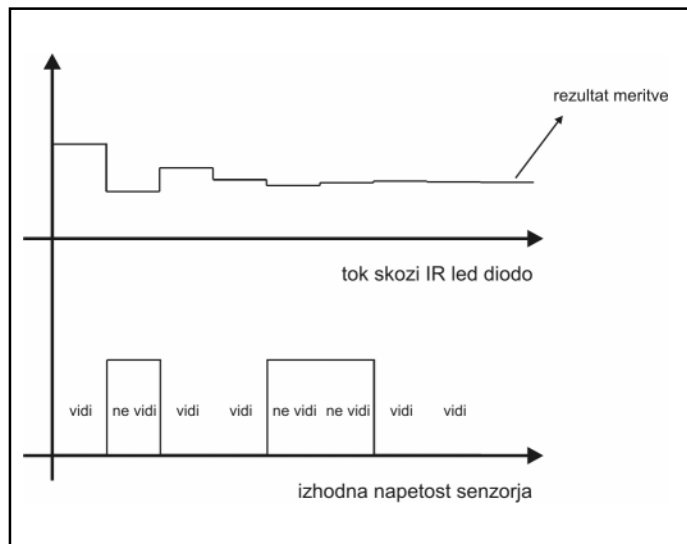
Načrtovanje senzorja z analognim izhodom

Ideja, kako preiti iz diskretnih v analogne vode, je bila sledeča. Kot osnovo pri načrtovanju AN256 smo izbrali digitalni senzor SFH5110, ki deluje v paru z IR led diodo. Tok skozi IR led diodo je moduliran s frekvenco 40 kHz in je spreminjajoč. Z osvetljevanjem okolice senzorju omogočimo »tipanje«, s tem ga posledično pripeljemo do ugotovitve, na kolikšni razdalji od ovire se trenutno nahaja.

Osnovni princip izvajanja meritve prikazuje spodnji graf. Meritev se prične s pošiljanjem minimalnega toka skozi IR led diodo, ki se nato postopno večja. Ob dogodku, ko se na izhodu senzorja pojavi preskok stanja iz logične 1 v logično 0, pomeni to zaključek meritve. Trenutna vrednost toka skozi IR led diodo predstavlja merilni



Slika 3: Princip linearnega večanja toka



Slika 4: Princip spreminjanja toka s postopnim približevanjem

rezultat, saj je tok v tem trenutku premo sorazmeren izmerjeni razdalji.

Slabost takšnega načina merjenja je, da je čas trajanja meritve odvisen od merjene razdalje. Večja kot je razdalja, več časa je potrebno čakati na merilni rezultat. Ko se poglabimo v kataloške podatke senzorja SFH5110, ugotovimo, da bi v najslabšem primeru meritev trajala celih 64 ms. Kako smo prišli do te številke? Reakcijski čas senzorja znaša približno 250 ms. Če to vrednost pomnožimo z največjim številom korakov, izbrali smo jih 256, pridemo do omenjene številke. 64 ms je resnično velika vrednost. Če našega mobilnega robota opremimo s tremi takšnimi senzorji, bo robot za zbiranje informacij s senzorjev potreboval celih 192 ms. V praksi to pomeni, da imamo nizko hitrost vzorčenja: približno pet vzorcev na sekundo. Iz povedanega sledi, da robot, opremljen s takšnimi senzorji, ne sme biti hiter, sicer bi bila njegova vodljivost vprašljiva.

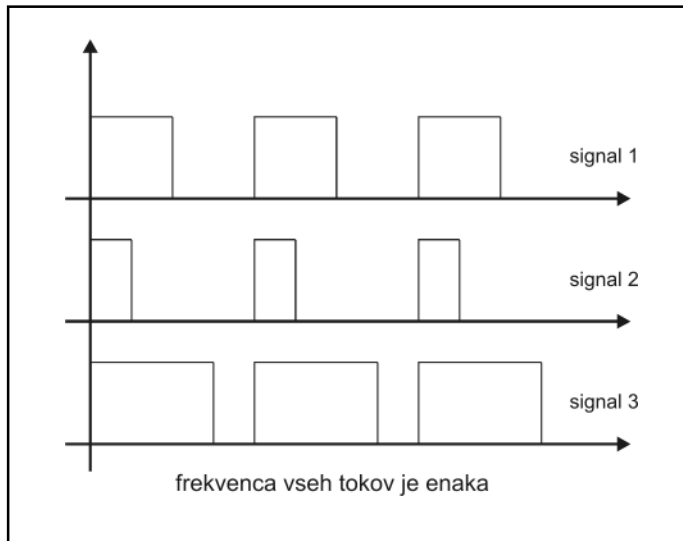
Opisano hibo lahko odpravimo na eleganten način. Tok skozi IR led diodo ne večamo več linearno, ampak ga spreminjamo tako, da se končni vrednosti postopno približujemo.

Za dovolj visoko natančnost nam zadostuje že 8 korakov, kar je ekvivalentno 256 korakom v linearnem načinu spreminjanja toka. S to potezo smo, ob enaki natančnosti, čas meritve 32-krat skrajšali in sedaj znaša približno 2 ms. Naj omenimo, da je 2 ms zgolj teoretična vrednost; v praksi smo čas meritve uspeli skrajšati »le« do 4,5 ms. Navkljub omenjenemu dejstvu pa je vseeno to rezultat, s katerim se gre pohvaliti.

Omenili smo ločljivost $1/256$. Ko se pričnemo spraševati o natančnosti senzorja, naj povemo, da $1/256$ predstavlja ločljivost 0,4% (natančneje 0,39%). Če ta podatek skušamo preslikati v centimetrске dimenzije, ob predpostavki, da domet senzorja znaša 50 cm, nam omenjena ločljivost predstavlja razdaljo 2 mm. Za nameček imamo možnost izkoristiti še trimer, s katerim spreminjamo domet senzorja. Če bi na primer domet skrajšali na polovico, bi s tem pridobili na ločljivosti. Ta sicer še vedno ostaja 0,4%, vendar sedaj ustreza razdalji 1 mm.

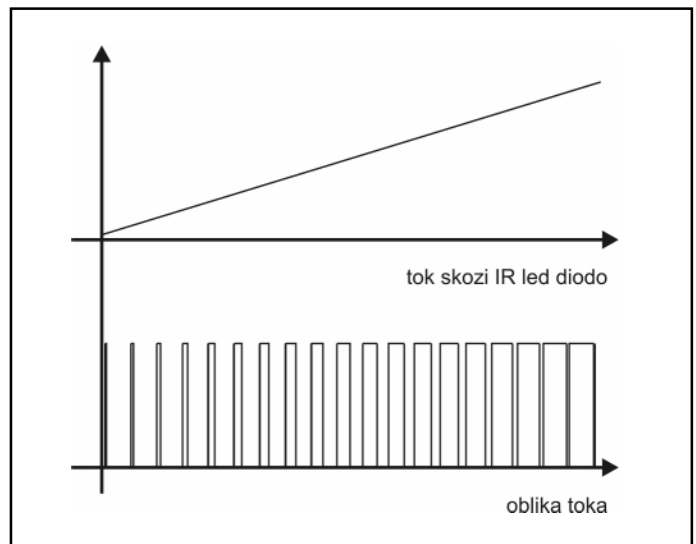
Vse lepo in prav, boste rekli. Ampak potrebujemo generator toka s postopnim približevanjem. Preden pričnemo z razvozlavanjem te

uganke, predlagam, da si znanje malce osvežimo. Kot smo omenili, se SFH5110 odziva na modulirano svetlobo frekvence okoli 40 kHz. Iz tega sklepamo, da mora biti tudi tok, ki teče skozi oddajno IR led diodo, izmeničen omenjene frekvence. Ko omenimo besedo »signal frekvence 40 kHz«, dobimo običajno pred očmi sliko simetričnega signala, kot jo predstavlja signal 1 na spodnji sliki.



Slika 5: Primeri signalov enake frekvence z različnimi prevajalnimi razmerji

Ob natančnejšem ogledu ostalih dveh signalov (signala 2 in 3) ugotovimo, da imata oba enako frekvenco kot prvi signal; vendar različni prevajalni razmerji. Kaj lahko pričakujemo, če omenjene signale pošljemo skozi IR led diodo? Vsi so ustreznih frekvenc, torej se bo senzor odzval v vseh treh primerih. Razlike bodo nastale pri izmerjenih razdaljah. Senzor bo najbolj občutljiv v tretjem

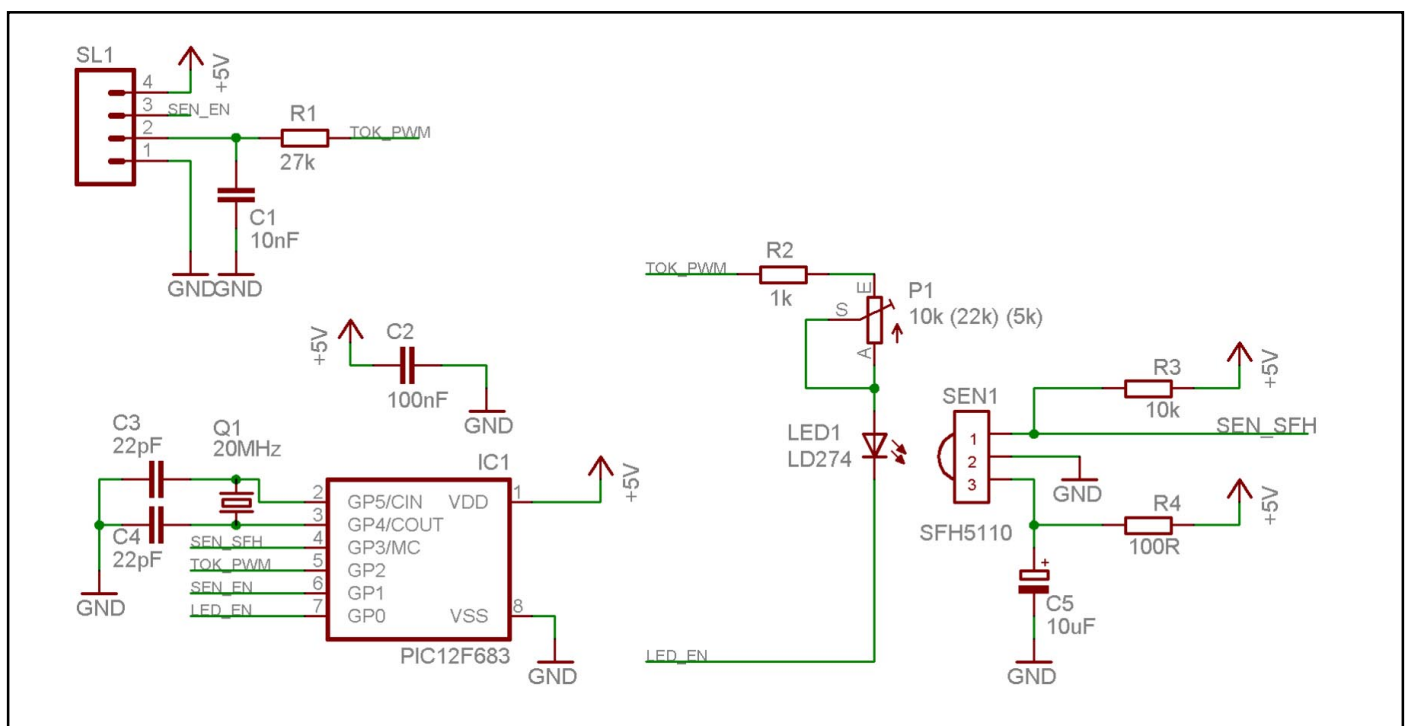


Slika 6: Spreminjanje toka s PWM modulacijo

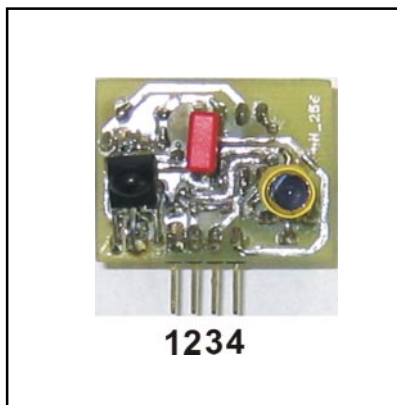
primeru, ko IR dioda najbolj sveti, ter najmanj v drugem primeru. S tem preprostim razmišljanjem smo ugotovili, da je učinkoviti tok skozi IR led diodo moč nastavljati s spreminjanjem prevajalnega razmerja tokovnega generatorja. Pri tem moramo opozoriti na eno omejitev: prevajalnega razmerja na žalost ne moremo spreminjati v celotnem obsegu. Žal podatkov o tem, v kolikšnem obsegu je prevajalno razmerje moč nastavljati, v kataloških informacijah nismo uspeli zaslediti. Zato smo bili primorani zadevo malce raziskati. Izkazalo se je, da se senzor uspe odzvati, če se prevajalno razmerje PWM signala nahaja v območju od 10% do 90%; torej bomo to spoznanje morali pri nadaljnjem delu upoštevati.

Izvedba in delovanje AN256

Tako, sedaj imamo orodje v rokah. Kot pripomoček bomo potrebo-



Slika 7: Električna shema vezja



Slika 8: Razpored vhodno-izhodnih priključkov senzorja

- 1 - napajalni priključek GND,
- 2 - analogni izhod,
- 3 - vhodni priključek, preko katerega prožimo proces izvajanja nove meritve,
- 4 - napajalni priključek +5 V.

Celotna elektronika senzorja se napaja preko konektorja SL1 na priključkih 1 in 4. Napajalna napetost znaša 5 V in ne dopušča večjih odstopanj (največ $\pm 0,5$ V). Jedro vezja predstavlja mikrokontroler PIC12F683, ki ga poganja takt 20 MHz kristala. Mikrokontroler je z ostalimi komponentami v vezju povezan preko štirih priključkov: SEN_SFH, TOK_PWM, SEN_EN, ter LED_EN. Funkcijo posameznih priključkov opisuje sledeča tabela:

Kot je iz električne sheme razvidno, je tok skozi IR led diodo poleg prevajalnega razmerja PWM generatorja, odvisen od izbire upora R2 ter nastavitve trimerja P1. Njena skupna upornost določa merilni doseg senzorja. Priporočljiva nazivna vrednost P1 je okoli 10 kW; za merjenje krajših razdalj je lahko ta vrednost nekoliko večja (22 kW). V aplikacijah, kjer bomo merili daljše razdalje, je poleg zmanjšanja vrednosti P1 (5 kW ali manj) potrebno zmanjšati tudi vrednost upora R2. Slednja naj ne bo manjša od 150 W. Upor R2 namreč določa najvišjo vrednost toka iz vhodno-izhodnih priključkov mikrokontrolerja GP0 in GP2, kateri lahko znaša največ 25 mA.

Senzor SFH5110 je obdan z uporoma R3 in R4 ter

vali mikrokontroler, ki ima vgrajen vsaj en PWM generator in deluje na dovolj visoki frekvenci. Izbrali smo 8-pinski Microchipov mikrokontroler PIC12F683, ki vsebuje en pulzno-širinski sklop in deluje na frekvenci 20 MHz. Poglejmo si električno shemo vezja:

Senzor AN256 je z zunanjim svetom priključen preko štirih priključkov konektorja SL1. Njihov pomen je sledeči:

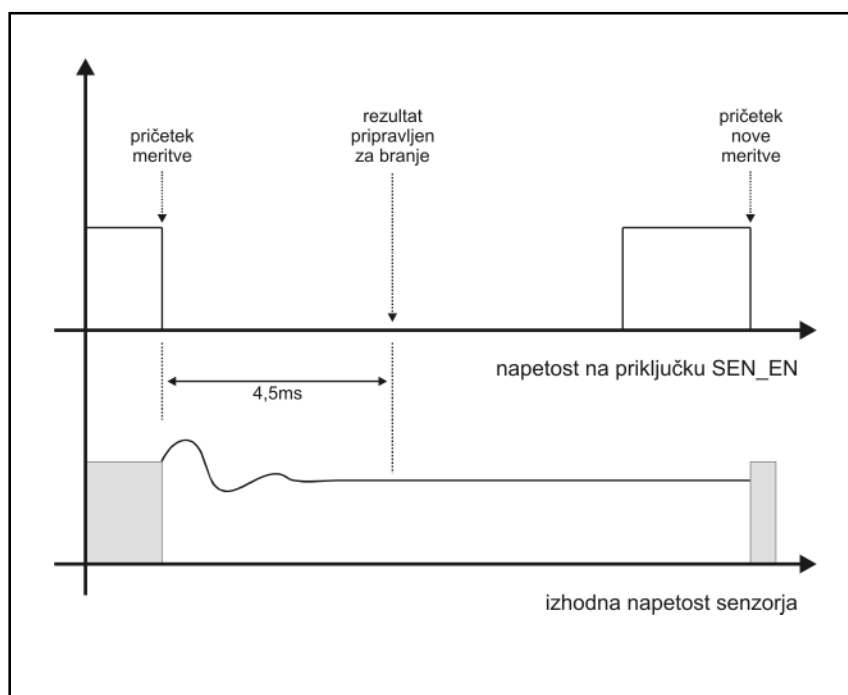
kondenzatorjem C5. R4 in C5 predstavljata nizkoprepustni filter, ki senzorju filtrira napajalno napetost. R3 je tako imenovani »pull-up« upor. Vezen je na izhod senzorja in zagotavlja visok potencial v stanju logične 1. Vrednosti naštetih elementov smo izbirali glede na priporočila proizvajalca v kataloških podatkih.

Merilni rezultat dobimo v obliki analogne napetosti na priključku 2 konektorja SL1. Pravzaprav imamo tu opravka z glajeno napetostjo PWM generatorja, ki po izvršeni meritvi ostane še nekaj časa prisotna. Gladilna elementa R1 in C1 sta tako izbrana, da je njuna RC konstanta desetkrat daljša od periode PWM signala.

Potek izvajanja meritve

Natančni potek meritve prikazuje spodnji časovni diagram. Sam postopek je dokaj preprost. Meritev se prične s prehodom stanja na priključku SEN_EN iz logične 1 v logično 0. Po proženju procesa merjenja je potrebno počakati vsaj 4,5 ms, da se izhodna napetost stabilizira, nato pa merilni rezultat lahko preberemo. Izhodna napetost ostane nespremenjena vse do zaključka procesa merjenja, to je prehoda stanja priključku SEN_EN iz logične 0 v logično 1. Nato se vezje postavi v položaj mirovanja (angleško: standby).

Dodatne podrobnosti, ki opisujejo dogajanje v mikrokontrolerju, prikazuje sledeči diagram poteka izvajanja programa (slika 9).



Slika 9: Časovni diagram poteka meritve

SEN_SFH	Priključek, ki je povezan z izhodom diskretnega senzorja SFH5110; preko tega priključka mikrokontroler spremlja odzive senzorja SFH5110 ob danih spremembah toka skozi IR led diodo.
TOK_PWM	Izhod PWM generatorja s frekvenco 40 kHz, ki krmili IR led diodo; priključek je preko RC člana posredno povezan tudi z izhodom senzorja AN256 (priključek 2 na konektorju SL1).
SEN_EN	Vhodni priključek, preko katerega prožimo proces novega merjenja; meritev se prične ob prehodu stanja iz logične 1 v logično 0.
LED_EN	Priključek, preko katerega omogočimo delovanje IR led diode; priključek je aktiven ob logični 0.

Tabela 2: Pomen vhodno-izhodnih priključkov mikrokontrolerja

AN256 je konkurenčen senzorjem na tržišču

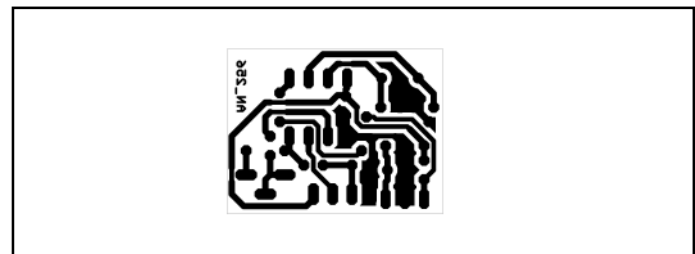
Za izvedbo primerjave smo pod drobnogled vzeli senzorje, ki so dobavljivi na našem tržišču in so dosegljivi široki publiki. Lastnosti AN256 ne bi želeli povzdigovati, vendar po pravici povedano, je senzorjev z opisanimi specifičnimi lastnostmi na tržišču zelo malo. Vzroke gre verjetno iskati v naravi problema, ki ga želimo rešiti z AN256. Očitno v večini aplikacij svetovne proizvodnje nimajo težav s svetlobo iz bliskavic fotoaparatom, IR svetlobo »autofocus« sistemov videokamer in podobnih težav, s katerimi se morajo ubadati senzorji naših malih mobilnih robotov med vožnjo po labirintu. Zahteve glede izbire senzorjev pri gradnji robotkov so res zahtevne in zelo specifične.

Med brskanjem po spletu smo naleteli na Sharpov GP2D12, ki bi po naštetih lastnostih bil primerljiv senzorju AN256. Omenjeni senzor smo na robotskih tekmovanjih že nekajkrat srečali, zato bo primerjava z njim mogoče še najprimernejša. Izvlečke primerjave smo strnili v tabeli 3.

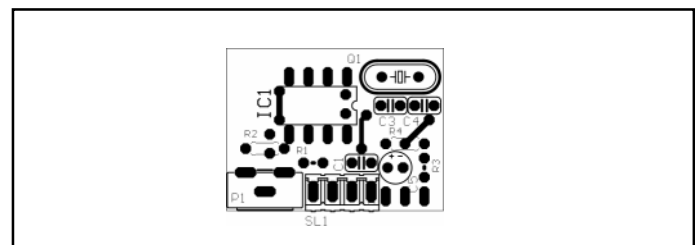
V zadnji vrstici tabele opazimo »ahilovo peto« sensorja AN256. Davek, ki ga plačamo za visoko hitrost merjenja, je nizka ponovljiva natančnost. Sicer pa zavirljive natančnosti nam kljub podaljševanju časa izvajanja meritve ni uspelo doseči. Vzroki po vsej verjetnosti tičijo v histerezi izhodov SFH5110. AN256 je pač senzor za robotske aplikacije, kjer (vsaj zaenkrat) visoka natančnosti ni pogoj za končni uspeh.

Tiskano vezje

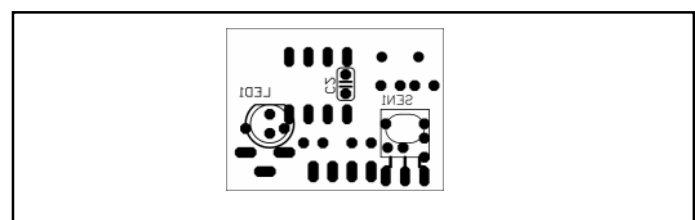
Tiskano vezje je majhnih dimenzij, zato sta pri sestavljanju še pose-



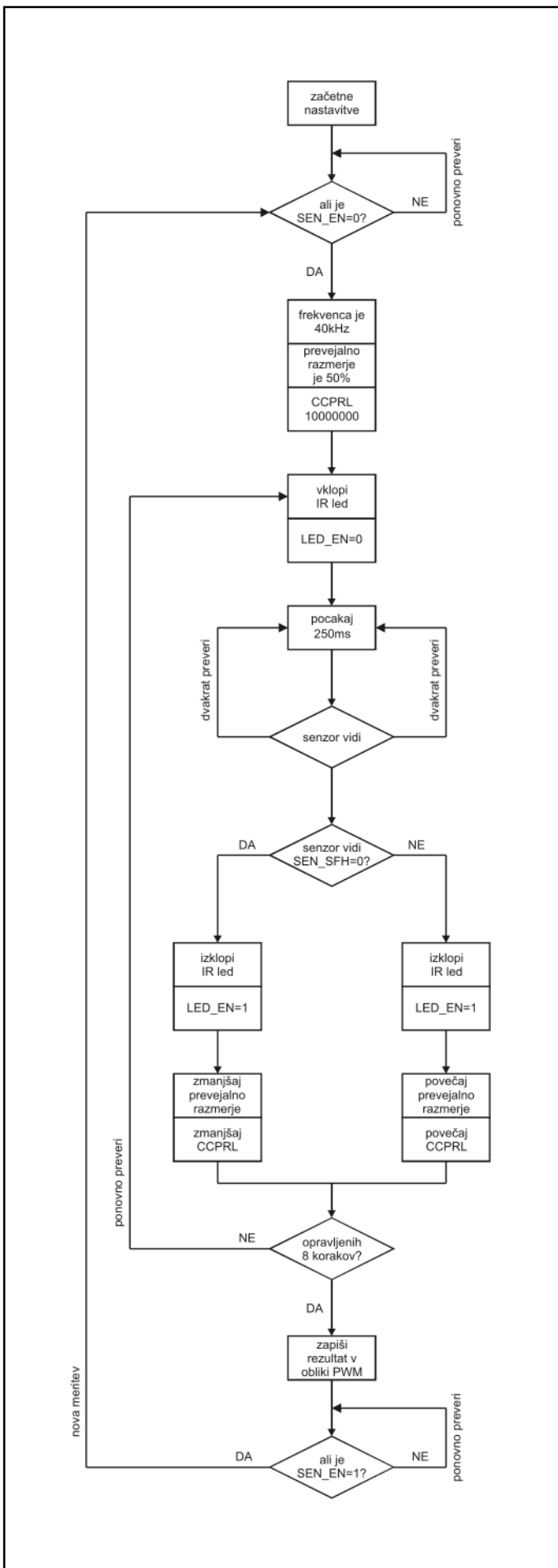
Slika 11: Tiskano vezje (povezava)



Slika 12: Montažni načrt – zgornja stran (povezava)



Slika 13: Montažni načrt – spodnja stran (povezava)



Slika 10: Diagram poteka izvajanja programa

	AN256	GP2D12
napajalna napetost:	fiksna 5 V	fiksna 5 V
poraba:	prib. 5 mA	prib. 30 mA
območje delovanja:	od 1 cm do 1 m	10 cm do 80 cm
hitrost meritve:	prib. 4,5 ms	prib. 40 ms
občutljivost:	prib. 1 V/cm	prib. 7 mV/cm
ločljivost:	0,39% (256-nivojska)	ni podatka
povprečna ponovljivost meritve:	prib. 95%	visoka

Tabela 3: Primerjava lastnosti senzorjev AN256 ter GP2D12 (Sharp)

bnopomembni natančnost in potrpežljivost. Bodimo pozorni na tri prevezave (mostiče), ki jih na zgornjo stran tiskanega vezja najprej prispajkamo, preden pričnemo z montažo ostalih komponent. Sledi spajkanje elementov na zgornji strani. Kot zadnje pritrdimo elemente na spodnji strani tiskanine: kondenzator C2, senzor SFH5110 ter IR led diodo, na katero povlečemo silikonsko skrčko.

Prihodnjič še ena poslastica

Upamo, da vam je predstavitev ideje senzorja z analognim izhodom bila všeč in bo v prihodnosti kateri od robotov oborožen tudi z AN256. V prispevku ni bila navedena izvorna koda programskega besedila za mikrokontroler PIC12F683. Ni se nam je zdelo smiselno objavljati ..., sicer pa kdo še prepisuje dolge programe iz revij. Potrebno hex datoteko najdete na spletišču revije Svet elektronike; informacija, kako do nje, pa je objavljena na straneh foruma. Jeseni pa vas čaka še ena sladica. Pa veliko sončnih užitek! ●

Literatura:

- [1] Microchip, PIC12F683 data sheet, Microchip Technology Incorporated, 2001, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41211b.pdf>;
- [2] Microchip, PIC12F683 data sheet errata, Microchip Technology Incorporated, 2001, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/80196d.pdf>;

Oznaka	Vrednost
C1	10 nF
C2	100 nF
C3	22 pF
C4	22 pF
C5	10 µF
R1	27 kΩ
R2	1 kΩ
R3	10 kΩ
R4	100 Ω
P1	10 kΩ
Q1	20 MHz
IC1	PIC12F683
LED1	LD274
SEN1	SFH5110 40 kHz
SL1	SIL moški 90° 4-pinski

Tabela 4: Seznam potrebnih elementov

- [3] Infineon technologies, SFH5110, IR-Receiver for Remote Control Systems, <http://www.ortodoxism.ro/datasheets/infineon/1-sfh5110.pdf>
- [4] Sharp, GP2D12/15, general purpose type distance measuring sensors, http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2d12_e.pdf
- [5] Agilent, HSDL-9100, Miniature Surface-Mount Proximity Sensor <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-1549EN.pdf>
- [6] Honeywell, HOA1405, reflective sensor, http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/infrared/catalog/Pg_252.pdf

Emulator mikrokontrolerjev

Emulator omogoča kontrolirano izvajanje programa 7 unosa, kar se izognemo pretikanju mikrokontrolerja, kar pomeni, da se program dejansko izvaja v mikrokontrolerju, kar pomeni, da so tudi rezultati verodostojnejši. Da to dosežemo, mora biti emulator stalno povezan s PC-jem preko programatorja PG-302 ter s programom, ki se paralelno izvaja na PC-ju. Namenjen je za 20- in 40-pinske mikrokontrolerje družine MCS51.

Mavrični popust



AX elektronika d.o.o. ž Pot heroja Trtnika 45 ž 1261 Ljubljana
Tel.: 01 5491 400, 5491 405 ž Fax: 01 5285 688 ž E-mail: prodaja@svet-el.si ž Internet: www.svet-el.si