

Elektrotehnički fakultet  
Univerzitet u Beogradu

**UREĐAJ ZA MERENJE NIVOVA ALKOHOLA U VAZDUHU BAZIRAN NA  
MQ-3 SENZORU NISKE POTROŠNJE**

Projekat: **Razvoj i modelovanje energetski efikasnih, adaptibilnih,  
višeprocesorskih i višesenzorskih elektronskih sistema male snage**

Oznaka projekta: **TR32043**  
Rukovodilac projekta: **Goran Dimić**

Vrsta dokumenta: **Tehnička dokumentacija projekta**  
Stepen poverljivosti: **poverljivo – interno**

Odgovorno lice:

---

Ilija Radovanović  
Inovacioni centar elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu  
Tel:011/3370-123  
E-mail: ilija.radovanovic@ic.etf.rs

Realizator:

---

Ilija Radovanović, Ivan Popović, Đorđe Klisić, Nikola Bežanić

## SADRŽAJ:

1	KRATAK OPIS TEHNIČKOG REŠENJA.....	
	<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
2	STANJE U OBLASTI.....	
	<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
3	DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJE .....	6
3.1	Uvod .....	6
3.2	Opis sistema .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3	Model implementacije korekcionne funkcije.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4	Komunikacioni interfejs pametnog merača nivoa alkohola u vazduhu.....	10
3.5	Karakteristike korišćenih senzora .....	
	<b>Error! Bookmark not defined.</b>	
3.5	Hardverska platforma.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4	TESTIRANJE PROTOTIPA .....	16
5	ZAKLJUČAK I DALJI RAZVOJ .....	17

## 1 KRATAK OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

Primena od (dd.mm.gggg): 31.12.2014. godine  
 Godina\* : 2014  
 Odgovorno lice : Ilija Radovanović

Opis: U ovom tehničkom rešenju je prikazan uređaj za merenje i prikaz koncentracije alkohola u vazduhu. Izvršena je implementacija MQ-3 senzora koji registruje alkohol u vazduhu u koncentracijama od 0.05mg/L - 10mg/L u pametan sistem niske potrošnje sa 16-bitnim mikrokontrolerom opšte namene iz familije ATMEL, ATMEGA16. Osim čestica alkohola, MQ-3 senzor registruje i pojave čestica benzina u vazduhu sa manjom osetljivošću. Konverzija signala sa senzora se obavlja preko integrisanog A/D konvertora, a izvršena je i implementacija autokorekcionih i kalibracionih funkcija i servisa definisanih u okviru familije IEEE 1451 standarda, neophodnih za uključenje ovog uređaja u namensku senzorsku mrežu.

Autokorekciona funkcija pametnog merača alkohola podrazumeva procesiranje mernih podataka sa više ulaznih senzorskih kanala na osnovu koeficijenata korekcionih funkcija sadržanih u okviru kalibracione elektronske specifikacije pojedinačnih senzora koja je definisana IEEE1451 standardom za zadati senzor. Funkcija je određena na osnovu korelacije senzorskih karakteristika i implementirana je u formi nezavisne programske niti koja se izvršava na operativnom sistemu za rad u realnom vremenu. Ovakav koncept implementacije autokorekcionih funkcija na strani modula pametnog pretvarača omogućava jednostavniju integraciju funkcija pretvarača na strani mrežnog procesora. Rešenje pokriva i problem povezivanja i komunikacije pretvaračkog modula sa personalnim računarom preko standardnog RS232 interfejsa, implementirajući model komunikacije koji je u skladu sa IEEE 1451.2 standardom.

Karakteristike rešenja:	Tip rešenja:	Laboratorijski prototip
	Platforma:	Mikrokontroler iz familije Atmel ATMega16
	Operativni sistem:	embOS
	Napajanje:	+ 6V
	Hardverska zahtevnost:	16-bitni mikrokontroler opšte namene, Alkoholni gasni senzor

Mogućnosti rešenja: Rešenje poseduje sledeće funkcionalne mogućnosti:

- Akvizicija podataka i procesiranje senzorskih signala
- Automatsku korekciju mernih vrednosti temperature, što uključuje linearizaciju senzorskih karakteristika i kompenzaciju uticaja temperature ambijenta na senzorska merenja
- Pristup podacima sa PC računara

Realizatori : Ilija Radovanović, Ivan Popović, Đorđe Klisić, Nikola Bežanić  
Korisnici : Inovacioni centar Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu,  
Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, laboratorija za  
namenske sisteme  
Podtip rešenja : Prototip (M85)

## 2 STANJE U OBLASTI

U današnje vreme, tehnološki napredak omogućio je razvoj širokog spektra namenskih senzorskih sistema male potrošnje. U industriji, meteorologiji i pri monitoringu čovekove okoline, a rukovodeći se zakonskim regulativama, koriste se stacionarni industrijski senzori. Ovi senzori su precizni i veoma pouzdani, ali njihova cena kao i cena kalibracije i održavanja takvog sistema je dosta visoka. U cilju postizanja veće efikasnosti sami mikrokontroleri se biraju tako da imaju performanse namenjene odabranim sensorima što dovodi do povećanja složenosti sistema, kao i povećanja same potrošnje sistema, što za uređaje sa baterijskim napajanjem je od velike važnosti. Ovi problemi se mogu prevazići korišćenjem ekonomičnijih gasnih senzora niske potrošnje sa implementiranim funkcijama autokorekcije.

Korekciona funkcija u osnovi predstavlja algoritam konverzije mernih podataka dobijenih sa A/D konvertora, u odgovarajući format, što može uključiti korekciju grešaka kalibracije, linearizaciju ili npr. temperaturnu kompenzaciju. Iako podržana implementacija korekcionne funkcije prema IEEE 1451 standardu nije striktno zahtevana. Sam standard ne definiše da li korekcija mernih vrednosti vrši na strani mrežnog procesora, modula pametnog pretvarača ili u formi mrežnog servisa. Bez obzira na model implementacije, osnovu implementacije čini skup autokorekcionnih funkcija i model njihove primene nad skupom ulaznih podataka. Koeficijenti autokorekcionnih funkcija, koje su date u polinomskom obliku, su dostupni na strani modula pametnog pretvarača u formi kalibracione tabele koeficijenata koja je definisana IEEE 1451 standardom. Implementacija korekcije na strani modula pretvarača, kao osnovni nedostatak ima sam problem implementacije, obzirom na ograničenja u procesorskoj snazi i memorijskim resursima na strani modula pametnog pretvarača. Međutim, implementacija autokorekcionne funkcije na strani modula pametnog pretvarača omogućava jednostavniju integraciju funkcija pretvarača na strani mrežnog procesora. Kako je proces obrade mernih vrednosti izmešten u pretvarački modul, senzorska aplikacija dobija opšti izgled koji je nezavisan od vrste i namene senzora. Time je omogućeno da se pozivima funkcija servisnog interfejsa pristupa bazi mernih vrednosti koja je podržana na strani interfejsnog modula pretvarača.

## 3 DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

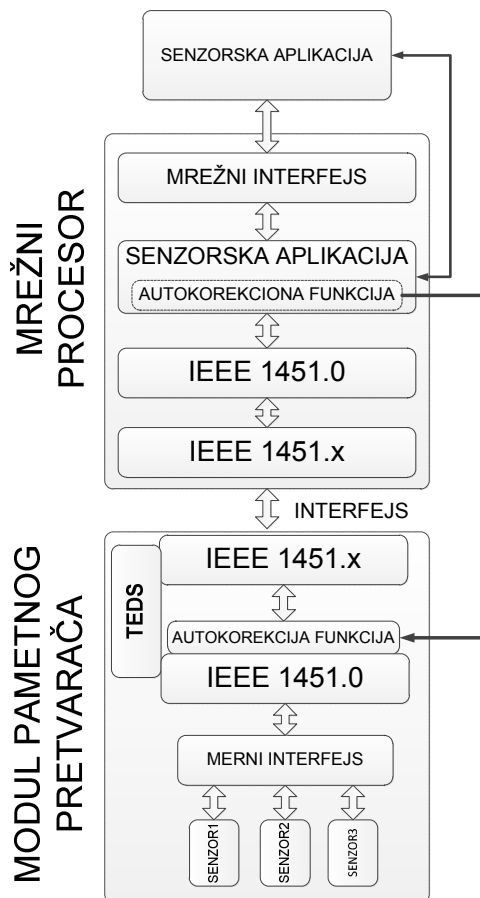
### 3.1 Uvod

Uredjaj za merenje i prikaz koncentracije alkohola u vazduhu se bazira na implementaciji pametnog mernog pretvarača (senzora) u sistem sa niskom potrošnjom. Uvođenjem IEEE 1451 standarda, koji je definisao modele implementacije i metode pristupa funkcijama mernih pretvarača, integracija pretvarača u složene merne sisteme znatno je pojednostavljena. Standard je predvideo elektronsku specifikaciju pametnog pretvarača kao podrška za implementaciju autokorekcionih funkcija. Elektronska specifikacija je data u formi složene strukture podataka koja se najčešće implementira u okviru samog modula pretvarača. Za slučaj višekanalnih senzorskih merenja tradicionalni model korekcije mernih podataka podrazumevao je implementaciju senzorskih karakteristika i obradu mernih podataka u okviru senzorske aplikacije. Uvođenjem IEEE 1451 standarda uveden je modularni koncept implementacije funkcija pretvarača i definisan model komunikacije između pojedinačnih komponenti sistema. Na ovaj način je omogućen razvoj komponenti softvera i odgovarajućih interfejsa, koji nezavisno od tipa mreže i karakteristika hardverskih komponenti sistema, obezbeđuju opšti model za pristup, manipulaciju i predstavljanje podataka, sinhronizaciju aktivnosti, konfiguraciju sistema i korekciju mernih vrednosti.

Savremeni merni sistemi zahtevaju podršku za pristup podacima i konfigurisanje parametara sistema preko računarske mreže, tako da je funkcije autokalibracije, autokorekcije kao i autoidentifikacije moguće izmestiti u modul pametnog pretvarača, čime se rasterećuje senzorska aplikacija od informacija specifičnih za korišćene senzore, topologiju sistema, mehanizam komunikacije i sl.

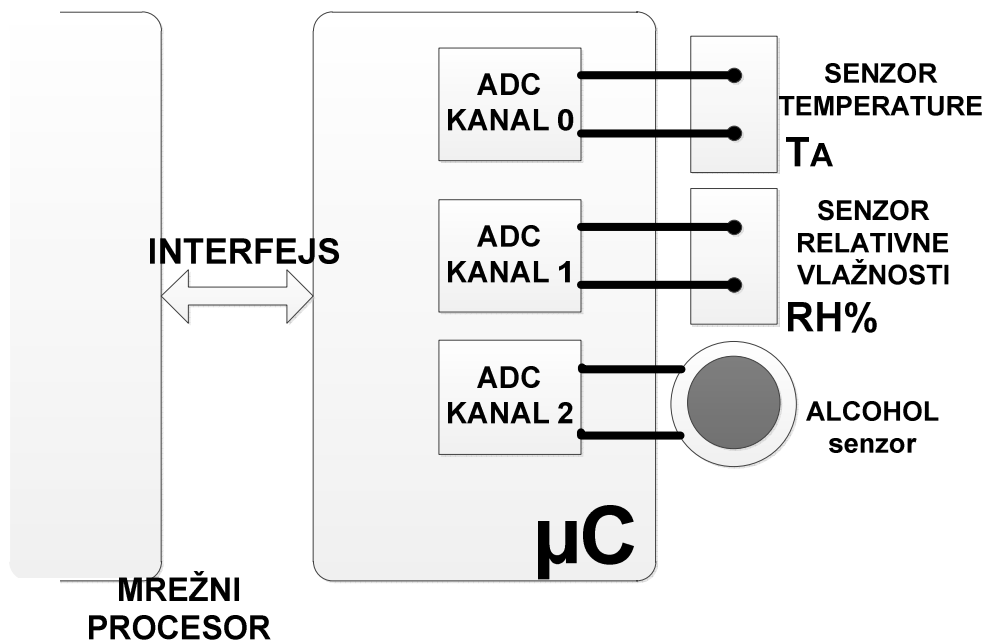
### 3.2 Opis sistema

Razvoj pametnog senzora podrazumeva implementaciju funkcija i servisa definisanih u okviru familije IEEE 1451 standarda. Osnovu čini IEEE 1451.0 podstandard koji definiše interfejse prema korisničkoj aplikaciji i prema komunikacionom modulu koji je definisan nekim od ostalih IEEE 1451.x specifikacija. Funkcija korekcije je podržana preko strukture podataka definisane kalibracionom elektronskom specifikacijom pretvarača i data je u formi polinomske funkcije više promenljivih. Za slučaj višekanalnih senzorskih merenja, ulazne promenljive korekcionne funkcije predstavljaju merne vrednosti sa različitih senzora koji su povezani na modul pametnog pretvarača. Standard predviđa mogućnost implementacije korekcionne funkcije na strani mrežnog procesora ili na strani modula pretvarača. Veza softverskog modula koji realizuje funkciju korekcije sa drugim komponentama softvera realizovanih u skladu sa IEEE 1451 standardom prikazana je na slici 1. IEEE 1451.0 standard kroz funkcije servisnog interfejsa omogućava uključanje/isključanje korekcionne funkcije na određenom mernom kanalu kao i status koji ukazuju da li je, i u kojoj formi, korekcionna funkcija implementirana.



Slika 1. Uprošćena arhitektura softvera sistema.

Hardver modula pametnog pretvarača je baziran na 16-bitnom mikrokontroleru opšte namene na koji su povezani senzor alkohola MQ-3, senzor temperature LM35 i senzor relativne vlažnosti HIH4030. Konverzija signala sa senzora se obavlja preko integrisanog A/D konvertora koji podržava višekanalnu akviziciju preko multipleksiranja analognih ulaznih pinova kontrolera. U okviru fleš memorije mikrokontrolera je realizovana i struktura koja sadrži podatke o elektronskoj specifikaciji senzora i između ostalog i korekzione koeficijente. Manipulacija ovim podacima obavlja se preko integrisanog fleš kontroler modula koji omogućava operacije čitanja i upisa sadržaja fleš memorije. Autokorekciona funkcija je implementirana na strani mikrokontrolera kao zaseban softverski modul koji na osnovu mernih podataka sa senzorskih kanala i korekcionih koeficijena proračunava konkretnu vrednost temperature i vlažnosti vazduha. Poziv korekzione funkcije obavlja se od strane mrežnog procesora preko komunikacionog interfejsa prema modelu komunikacije koji je definisan IEEE 1451 standardom.

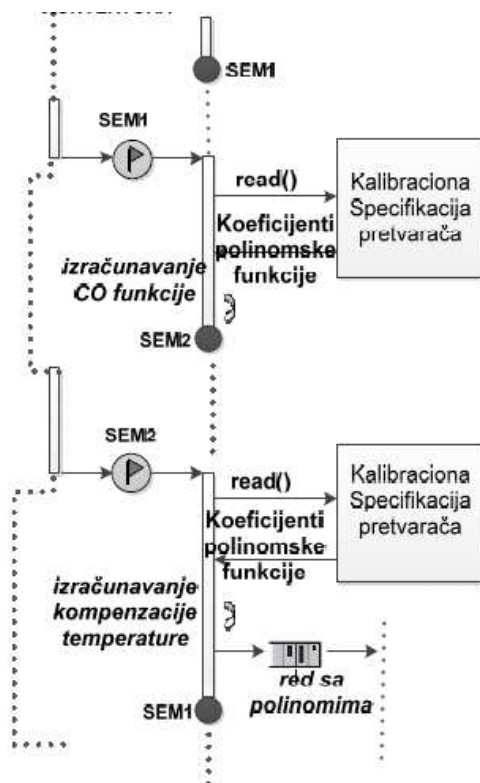


Slika 2. Uprošćena arhitektura hardvera sistema.

Za namene merenja koncentracije alkohola u vazduhu koristi se MQ-3 gasni senzor, dok je za merenje temperature ambijenta korišćen senzor temperature LM35, a za merenje relativne vlažnosti vazduha senzor HIH4030. MQ-3 registruje alkohol u vazduhu u koncentracijama od 0.05mg/L - 10mg/L i ima visoku osetljivost i brz odziv, a izlaz mu je analogna otpornost i povezan je na ulazni kanal 2 A/D konvertora. Za parametre okoline, LM35 senzor pokriva opseg moguće promene temperature ambijenta i povezan je na ulazni kanal 0 A/D konvertora modula, dok senzor HIH4030 koji je povezan na kanal 1 A/D konvertora pokriva opseg moguće promene relativne vlažnosti vazduha. Proces korekcije merne koncentracije alkohola podrazumeva i kompenzaciju uticaja temperature ambijenta i vlažnosti vazduha ambijenta u kojoj se nalazi uredjaj.

### 3.3 Model implementacije korekcionne funkcije

Implementacija funkcija pametnog pretvarača na strani interfejsnog modula pretvarača zahteva procesorsku podršku. Obzirom na standardom definisan mehanizam sinhronizacije između programskih modula i mehanizam njihove međusobne komunikacije implementacija nameće upotrebu operativnog sistema za rad u realnom vremenu. Programski kod koji se izvršava na ovakvom sistemu mora biti projektovan tako da se pojedinačni programski moduli izvršavaju konkurentno u formi nezavisnih, rasporedivih programskih niti. Sinhronizacija aktivnosti i komunikacija između programskih niti se obavlja preko objekata operativnog sistema u formi semafor objekata, redova sa porukama, registara događaja i sl. U ovoj formi je i predstavljen koncept implementacije autokorekcionne funkcije, čije je mehanizam izvršavanja prikazan na slici 3.



Sl. 3. Model implementacije autokorekcionne funkcije

Task korekcija je implementiran kao posebna programska nit operativnog sistema za rad u realnom vremenu. Sinhronizacija aktivnosti taska i njegova komunikacija sa drugim objektima operativnog sistema realizovana je preko binarnih semafora i redova sa porukama. Nakon inicijalizacije task rutine i provere statusnih registara pretvarača task korekcija je u blokiranom stanju. Aktivnost taska je sinhronizovana sa pojavom događaja koji je vezan za završetkom A/D konverzije signala sa senzorskih kanala. Ovaj događaj se procesira u formi servisnih rutina koje rezultat konverzije prosleđuju tasku korekcija u formi globalnih promenljivih. Redosled A/D konverzija je određen tako da se najpre vrši određivanje merne temperature i merne vlažnosti vazduha.

Po završetku konverzije na kanalu 2, merna vrednost sa senzora MQ-3 se prosleđuje korekcionom tasku koji je blokirana na semaforu 1. Korekcionni task preuzima koeficijente alkoholnog senzora iz kalibracione specifikacije pretvarača i proračunava vrednosti kalibracionih funkcija, nakon čega se blokira na semaforu 2. Nakon što je izvršena konverzija na kanalu 0 i kanalu 1, servisna rutina konvertora prosleđuje mernu vrednost korekcionom tasku i oslobađa semafor 2. Korekcionni task preuzima koeficijente temperaturnog i RH senzora i vrši proračun koncentracije alkohola u vazduhu. Dobijena vrednost se dalje preko reda sa porukama prosleđuje tasku koji vrednost smešta u bazu mernih vrednosti. Pristup podacima iz baze mernih vrednosti se obavlja po prijemu zahteva od strane mrežnog procesora.

### 3.4 Komunikacioni interfejs pametnog merača nivoa alkohola u vazduhu

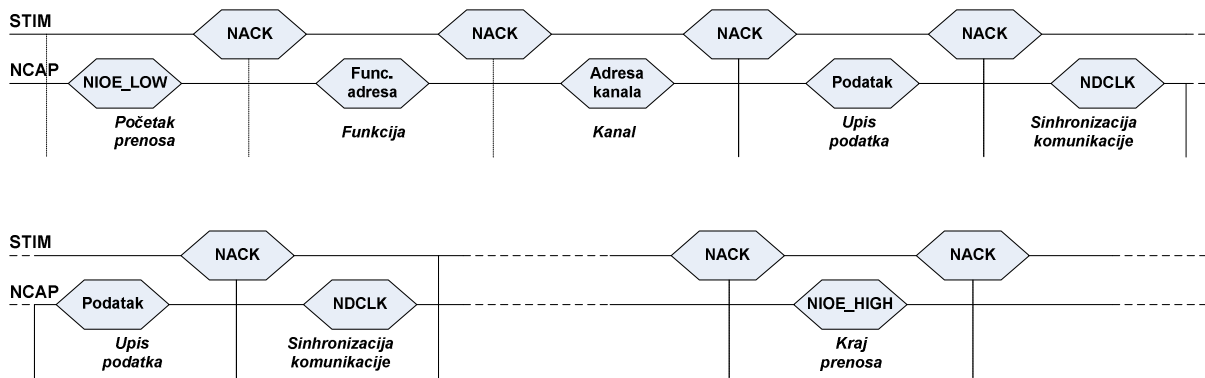
Kako se prenos podataka, prema IEEE 1451.2 standardu zasniva na unapređenom SPI protokolu, u rešenju je dat predlog proširenja specifikacije u smislu upotrebe standardnog RS232 interfejsa za point-to-point komunikaciju. Kako bi se zadržala kompatibilnost sa IEEE 1451.2 specifikacijom izvršeno je preslikavanje stanja na standardom definisanom TII (*Transducer Independent Interface*) interfejsu u skup komandi koje se razmenjuju preko standardnog serijskog RS232 interfejsa. Najmanja jedinica podataka koja se prenosi preko TII interfejsa, ne računajući sinhronizacione linije, je jedan bajt.

Uvođenjem bajt-komandne sinhronizacije se implementira protokol definisan IEEE 1451.2 standardom. Na ovaj način se prilikom početka prenosa podataka umesto čekanja silazne ivice NIOE linije na strani STIM, čeka na prijem NIOE\_LOW bajta. STIM umesto da odgovara toglovanjem linije NACK, šalje NACK bajt. Kada se vrši trigerovanje STIM kanala umesto čekanja silazne ivice na NTRIG liniji TII interfejsa, čeka se na prijem NTRIG\_LOW bajta itd. Koncept preslikavanja linija TII interfejsa u odgovarajuću RS-232 signalizaciju prikazan je u Tabeli 1.

Tabela 1. – Preslikavanje TII linija u RS-232 signalizaciju

TII linija	RS-232 signalizacija
DOUT	STIM: TX NCAP: RX
DIN	NCAP: TX STIM: RX
DCLK	-
NIOE	NIOE_HIGH: 'E' NIOE_LOW: 'e'
NTRIG	NTRIG_LOW: 'T' NTRIG_HIGH: 't'
POWER	-
COMMON	-
NACK	NACK: 'A'
NSDET	NSDET: 'S'
NINT	NINT_LOW: 'R' NINT_HIGH: 'r'

Zbog odsustva DCLK linije sinhronizacija je ostvarena slanjem NDCLK='C' poruke. Mrežni procesor, kao master u komunikaciji, šalje ovu poruku nakon primljenog ili poslatog bajta podatka. Na Slici 4 je prikazana sekvenca prenosa podataka između NCAP i STIM prema predloženom proširenju standarda.



Slika 4 – Primer prenosa podataka između NCAP i STIM korišćenjem RS-232

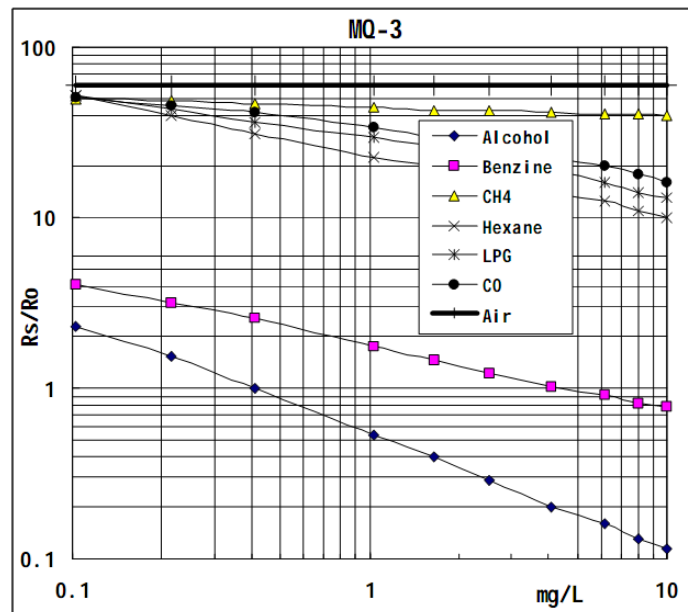
### 3.5 Karakteristike korišćenih senzora

MQ-3 gas senzor ima veliku osetljivost na alkohol. Senzor se koristi za detekciju različitih gasova koji sadrže alkoholna isparenja, odlikuje se niskom potrošnjom energije, niskom cenom u pouzdanošću u širokom opsegu. Takodje, MQ-3 je visko osetljiv i na isparenja benzina kao i prirodni gas, metana, heksana, ugljen-monoksida itd. MQ-3 senzora registruje alkohol u vazduhu u koncentracijama od 0.05mg/L - 10mg/L. U tabeli 2. je data tehnička specifikacija opisanog senzora.

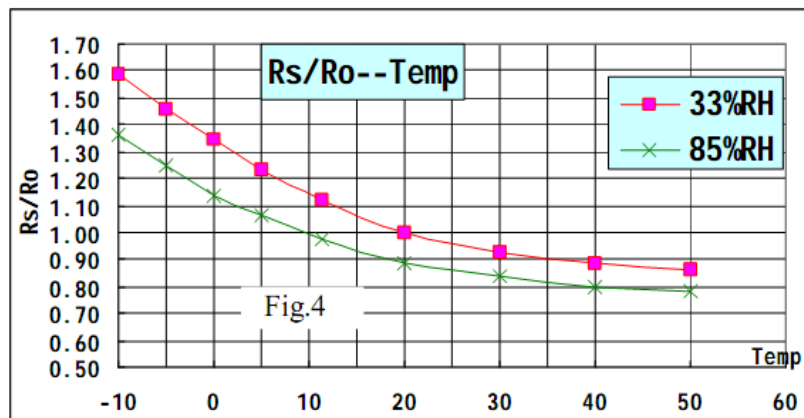
Tabela 2. – Tehnička specifikacija MQ-3 gas senzora

Model No.		MQ-3	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Alcohol gas	
Concentration		0.04-4mg/l alcohol	
Circuit	Loop Voltage	$V_c$	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	$V_H$	$5.0V \pm 0.2V$ AC or DC
	Load Resistance	$R_L$	Adjustable
Character	Heater Resistance	$R_H$	$31\Omega \pm 3\Omega$ (Room Tem.)
	Heater consumption	$P_H$	$\leq 900mW$
	Sensing Resistance	$R_s$	$2K\Omega - 20K\Omega$ (in 0.4mg/l alcohol)
	Sensitivity	S	$R_s(\text{in air})/R_s(0.4mg/L \text{ Alcohol}) \geq 5$
	Slope	$\alpha$	$\leq 0.6(R_{30ppm}/R_{100ppm} \text{ Alcohol})$
Condition	Tem. Humidity	$20^\circ C \pm 2^\circ C$ ; $65\% \pm 5\% RH$	
	Standard test circuit	$V_c: 5.0V \pm 0.1V$ ; $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	
	Preheat time	Over 48 hours	

Senzor MQ-3 je otpornički senzor, osetljiv na promene koncentracije alkohola u vazduhu. Karakteristična kriva osetljivosti senzora je prikazana na slici 5. Slika 6. prikazuje tipičnu zavisnost od temperature i vlažnosti vazduha senzora MQ-3. Kao što je moguće primetiti senzorska merenja u mnogome zavise od uslova okoline u realnom vremenu.

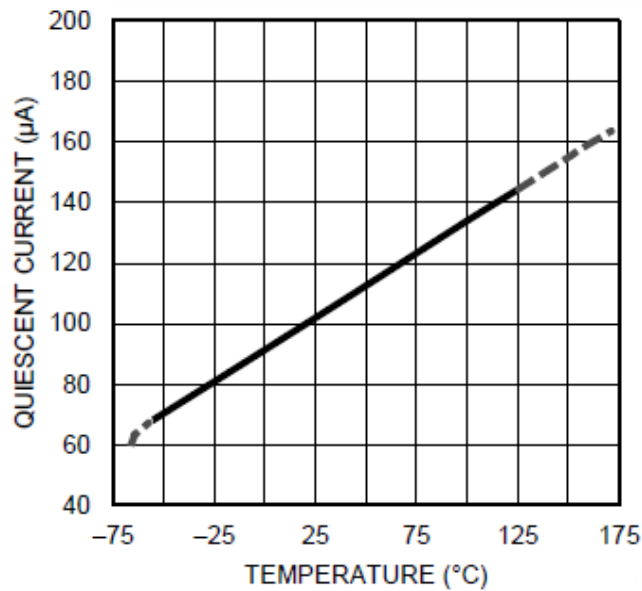


Slika 5 – Karakteristika osetljivosti Alcool senzora MQ-3

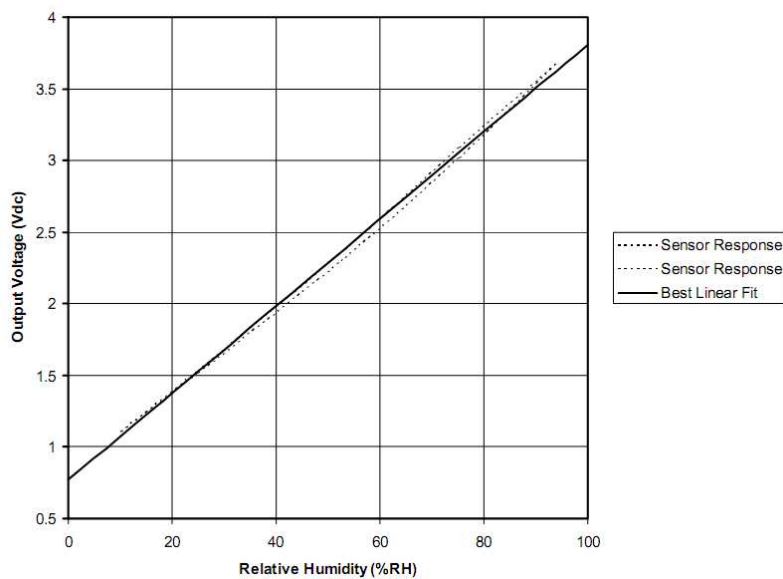


Slika 6 – Zavisnost od temperature/vlažnosti

Karakteristike LM35 senzora temperature i HIH-4030 senzora relativne vlažnosti vazduha su date na slikama 7. i 8. respektivno.



Slika 7. – Karakteristika osetljivosti senzora temperature LM35

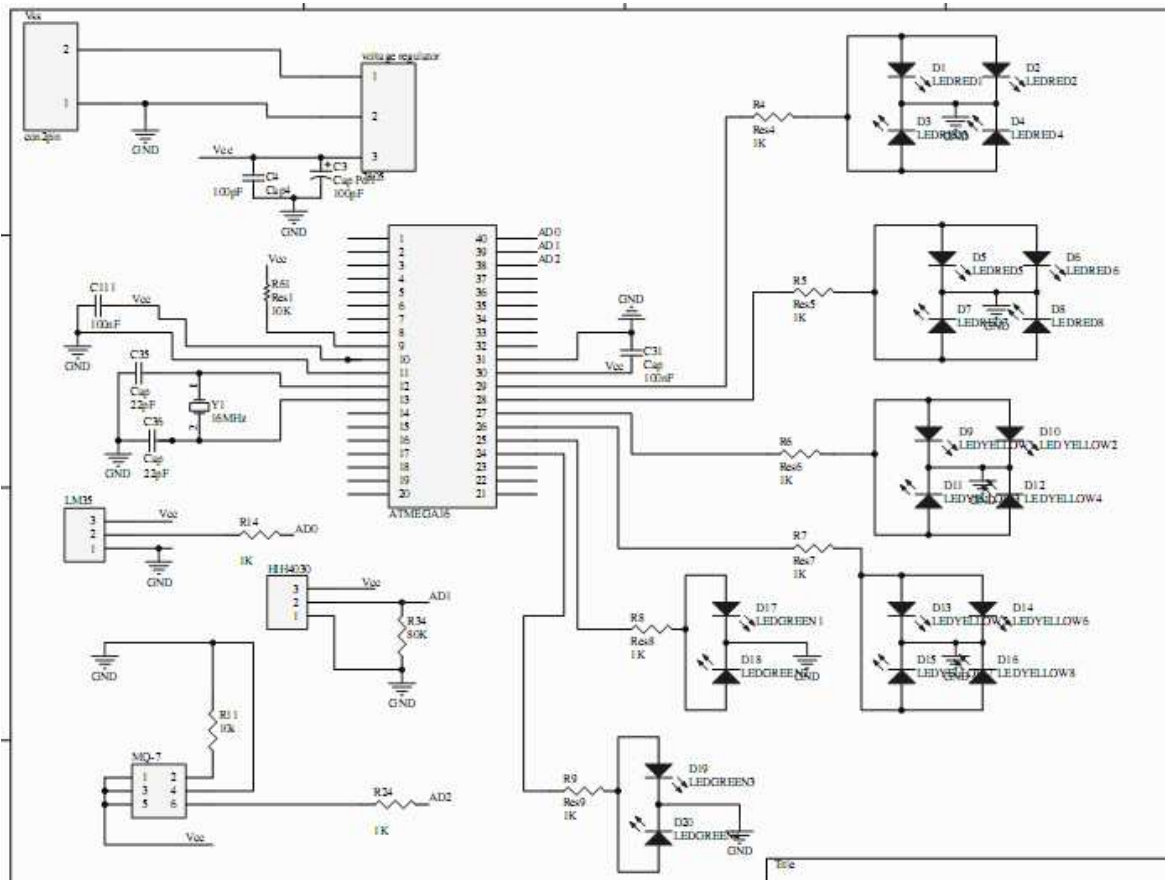


Slika 8. – Karakteristika osetljivosti senzora relativne vlažnosti HIH-4030

### 3.6 Hardverska platforma

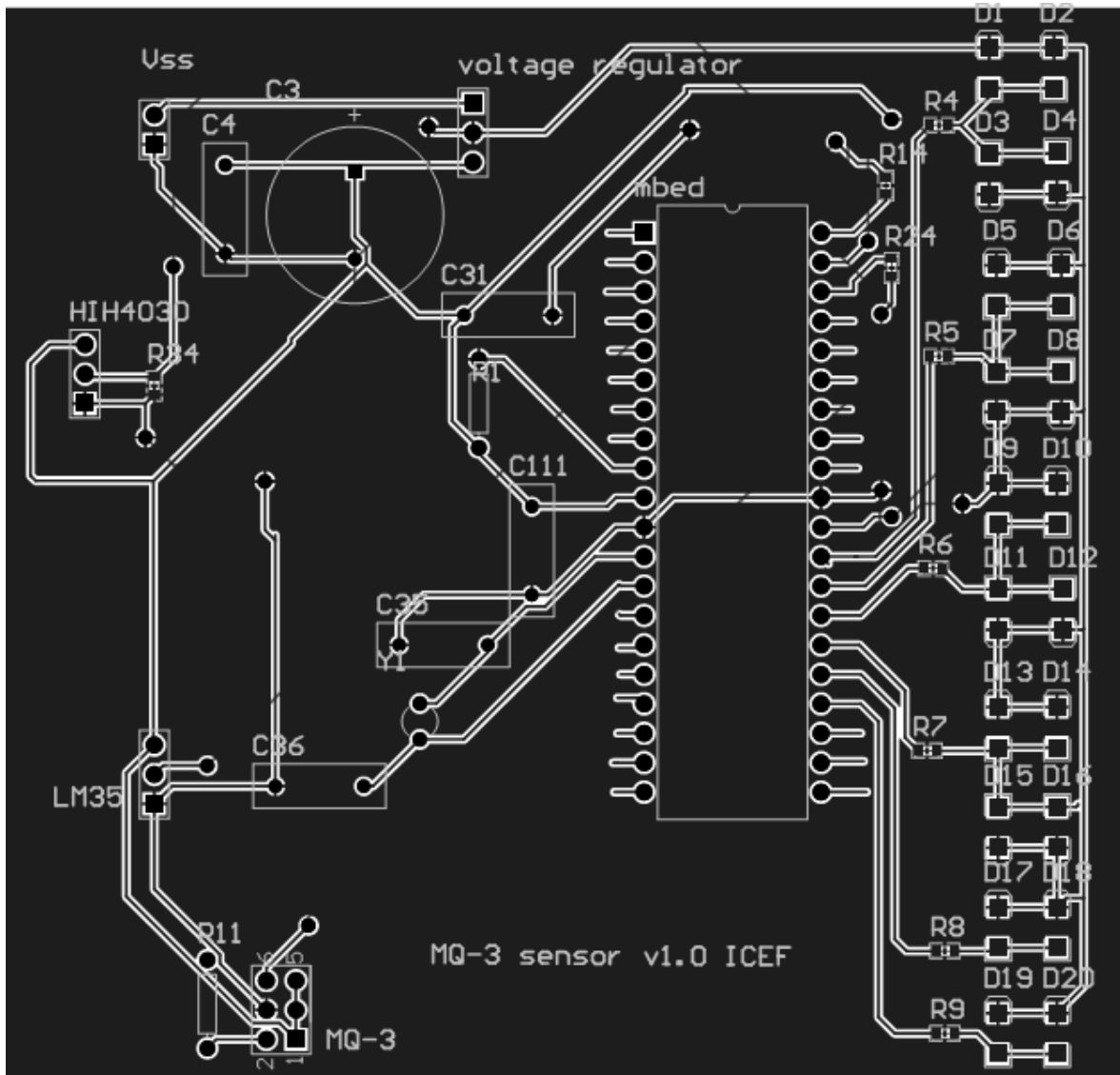
Za namene komunikacije sa PC računarom je obezbeđen RS232 interfejs realizovan pomoću linijskog drajvera MAX3232. Za napajanje prototipa je predviđeno baterijsko napajanje iz baterije 6V, a linearni naponski regulator L7805 proizvođača *STMicroelectronics* obezbeđuje napon od 5 V za napajanje integrisanih kola. Zbog male potrošnje sistema u realnim uslovima omogućen je autonomni rad sistema od 6-9 meseci. Na slici 9. je prikazana električna šema uređaja. LED diode su implementirane u sistem i služe za prikaz očitanih nivo. Kako nivoi koncentracije alkohola zavise najviše od uslova u kojima se uređaj nalazi, pragovi nivoa grupa LED dioda se mogu odredjivati shodno okolini u kojoj se uređaj nalazi. LED diode su različitih boja da od zelene

(najniža koncentracija), preko zute (srednja kritična koncentracija) do crvene (visoka alarmantna koncentracija).



Slika 8. – Električna šema uređaja

Štampana ploča, čiji je gornji sloj prikazan na slici 10. izrađena je u dvoslojnoj štampi. Slojevi bakra su sledeći: TOP - sloj za izvođenje veza i BOTTOM – sloj za izvođenje veza i mase. Ovakav raspored veza unutar štampane ploče garantuje očuvan integritet signala, imunost na elektromagnetne smetnje i kvalitetnu distribuciju napajanja. Mikrokontroler se nalazi u centru štampane ploče u posebnom regionu, dok se u neposredno pored regionu nalazi linijski drajver. Na ovaj način je postignuto da signali koji iz mikrokontrolera idu direktno u linijski drajver imaju što kraće veze. Sama pozicija mikrokontrolera obezbeđuje minimalne dužine linija do ostalih delova sistema, čime je postignuta bolja imunost na EM smetnje. U gornjem levom uglu štampane ploče na samoj ivici se nalazi HIH4030 senzor dok se u isto regionu nalazi i LM35 senzor, dok se gasni senzor nalazi u donjem delu ploče, u posebnom delu regiona da bi temperatura i RH koje se mere i unose u korekciju imali sto manje uticaja od ostalih elemenata. RS232 konektor služi za pristup PC-u, i on se nalazi u donjem delu ploče po sredini zbog što lakšeg pristupa.



Slika 10. – Izgled štampane ploče uređaja za merenje nivoa koncentracije alkohola (pogled odozgo)

#### **4. TESTIRANJE PROTOTIPA**

Testiranje sistema podrazumeva potpunu proveru funkcionalnosti prototipa. Prototip uređaja je testiran u izazvanim uslovima sa povećanom koncentracijom alkohola i izvršeno je međusenzorsko poredjenje sa prethodno kalibrisanim senzorom za detekciju alkohola u vazduhu. Testiranje je uspešno obavljeno.

## 5 ZAKLJUČAK I DALJI RAZVOJ

Osim implementiranog senzora za detekciju alkoholnih isparenja u ovom prototipu, postoje i drugi senzori od značaja za detekciju različitih supstanci u vazduhu i industrijskim uslovima koji su od važnosti čoveku i njegovoj okolini. Slična implementacija različitih gasnih senzora se može izvršiti zavisno od potrebe za ispitivanje. Pošto je proces obrade mernih vrednosti izmešten u pretvarački modul, senzorska aplikacija dobija opšti izgled koji je nezavisan od vrste i namene senzora. Time je razvojni programer oslobođen potrebe za poznavanjem detalja specifičnih za konkretne senzore, već pozivima funkcija servisnog interfejsa pristupa bazi mernih vrednosti koja je podržana na strani interfejsnog modula pretvarača.

Sam proces kalibracije kod ovog prototipa, kao i kod sličnih gasnih senzora se mora periodično obavljati da bi se osigurao tačan rad i integritet sistema. Period provere i ponovne kalibracije senzora po potrebi, su predložene od strane proizvođača senzora na svakih 1,3 ili 6 meseci. Medjutim, dobra praksa je pokazala da se tokom prvih meseci rada senzor proverava češće zbog velike osetljivosti senzora, lokacije u kojoj se nalazi uređaj, izloženosti raznim uticajima okoline itd.