

Merenje temeprature, relativne vlažnosti vazduha i atmosferskog pritiska

Vladimir Rajs, Živorad Mihajlović, Vladimir Milosavljević, Miloš Živanov
 Departman za Elektroniku, Energetiku i Telekomunikacije
 Fakultet Tehničkih Nauka
 Novi Sad, Srbija

rajs.vladimir@gmail.com, zivorad@uns.ac.rs, schutki@gmail.com, zivanov@uns.ac.rs

Sadržaj—U ovom radu je opisano merenje temeprature, relativne vlažnosti vazduha i atmosferskog pritiska sa senzorima SHT71 i MPX4115AP. Dat je detaljan opis oba senzora kroz arhitekturu, merni opseg, tačnost merenja i način komunikacije. Opisano je upravljanje senzorima pomoću mikrokontrolera sa integrisanim AD konvertorom.

Ključne riječi- merenje; temperatura; relativna vlažnost vazduha; atmosferski pritisak

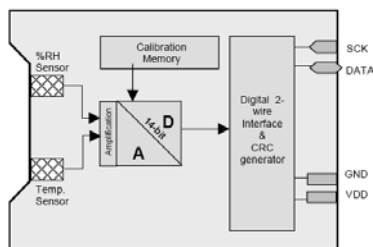
I. UVOD

Vreme je trenutno stanje atmosfere na određenom prostoru, što znači da se neprekidno mora pratiti stanje najvažnijih meteoroloških pojava parametara. Temperatura kao fizička veličina koja pokazuje stepen zagrejanosti je jedna od osnovnih pozatelja atmosferskih uslova. Vlažnost vazduha se prikazuje na nekoliko načina, najčešće kao relativna vlažnost. Relativna vlaga vazduha je broj koji pokazuje količinu vodene pare (u procentima, %) u nekom trenutku u odnosu na maksimalnu količinu pare koju bi taj vazduh mogao primiti da bi bio zasićen. Atmosferski pritisak je pritisak vazduha na bilo kojem delu Zemljine atmosfere. Da bismo što preciznije prikazali meteorološke vrednosti temperaturu vazduha, vlažnost, pritisak neophodno je koristiti merne instrumente. Glavni deo mernih instrumenata su senzori.

U ovom radu opisan je rad sa senzorima SHT71[1] i MPX4115AP[2]. SHT71 je digitalni senzor temperature i vlažnosti vazduha, dok je MPX4115AP analogni senzo vazdušnog pritiska.

II. SENOR TEMEPRATURE I RELATIVNE VLAŽNOSTI VAZDUHA

Za merenje temperature i relativne vlažnosti vazduha korišćen je digitalni senzor SHT71. Izgled ovog senzora (čipa)



Slika 1 SHT71senzor-blok šema i izgled

Kao što se može videti na blok šemi, u ovaj čip su integrisani merni elementi (senzor za temperaturu i senzor za relativnu vlažnost vazduha), kola za prilagođenje i procesiranje signala (pojačavač, AD konvertor), memorija u kojoj su smešteni koeficijenti za kalibraciju i kolo za ostvarivanje interfejsa prema mikrokontroleru.

Za merenje relativne vlažnosti vazduha koristi se kapacitivni senzor, dok se za merenje temperature koristi tzv. band-gap senzor. Rezultati merenja sa oba senzora vode se na pojačavač, a zatim na 14-bitni AD konvertor. Za internu kalibraciju dobijenih rezultata merenja koriste se koeficijenti za kalibraciju koji su smešteni u memoriju čipa. Kao rezultat svega, čipa daje kalibrisan digitalni izlaz neosetljiv na spoljne poremećaje. Ovaj šablon se koristi za formatiranje rada i oblikovanje teksta u okviru rada. Sve margine, širine kolona, razmak između redova i veličina fontova su unaprijed definisani; molimo vas da ih ne mijenjate.

Karakteristike senzora:

- 1) Merenje temperature:
 - a) Opseg merenja: Od -40 °C do 123.8 °C.
 - b) Rezolucija merenja: Rezultat merenja temperature može biti podatak dužine 12 bita ili 14 bita, i pri tome je rezolucija 0.04 °C, odnosno 0.01 °C, respektivno.
 - c) Tačnost merenja: Tipično + 0.4 °C. Tačnost merenja zavisi od mernog opsega.
- 2) Merenje relativne vlažnosti
 - a) Opseg merenja: Od 0 %RH do 100 %RH.
 - b) Rezolucija merenja: Rezultat merenja relativne vlažnosti vazduha može biti podatak dužine 8 bita ili 12 bita, i pri tome je rezolucija 0.4 %RH, odnosno 0.05 %RH, respektivno.
 - c) Tačnost merenja: Tipično + 3 %RH. Tačnost merenja zavisi od mernog opsega.

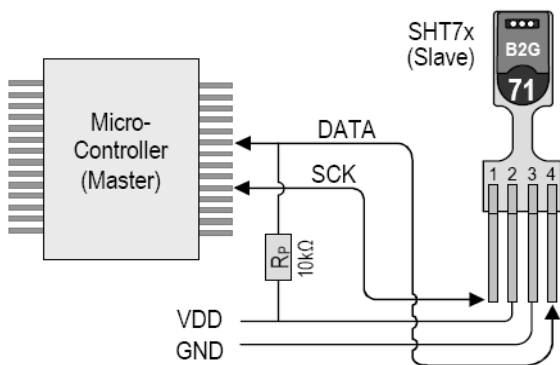
Za merenje temperature korišćena je rezolucija od 12 bita, a za merenje relativne vlažnosti rezolucija od 14 bita. Napon napajanja je 5.00 V

Način povezivanja SHT71 senzora i mikrokontrolera prikazan je na slici 2. Između VDD i GND pina, na

zadnjem delu kućišta senzora, integriran je kondenzator kapacitivnosti 100 nF. Između DATA i VDD pina potrebno je postaviti pull-up otpornik R_p otpornosti 10 k Ω .

Serial clock input (SCK) se koristi za sinhronizaciju između mikrokontrolera i senzora. Minimalna frekvencija ovog signala nije definisana, a maksimalna frekvencija je 5 MHz.

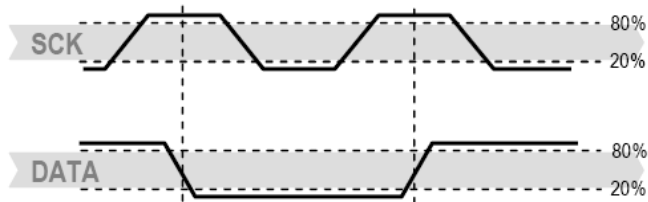
Serial data (DATA) se koristi za prenos podataka ka senzoru i od senzora. Prilikom slanja komande senzoru, podatak (bit) na DATA liniji je važeći na rastućoj ivici SCK signala i mora ostati stabilan dok je SCK na visokom logičkom nivou (logična jedinica, "1"). Nakon opadajuće ivice SCK signala, vrednost na DATA liniji se može promeniti. Mikrokontroler treba da postavlja DATA samo na nizak logički nivo (logičku nulu, "0"), dok se logička jedinica postavlja preko eksternog pull-up otpornika R_p .



Slika 2 Povezivanje senzora i mikrokontrolera

Nakon priključenja napona napajanja, senzoru je potrebno 11 ms da dospe u tzv. sleep stanje i tada je spreman za prijem komandi.

Da bi se inicirao prenos podataka, potrebno je ka senzoru poslati tzv. start sekvencu. Ova sekvencu se sastoji od prelaska DATA linije sa visokog na nizak logički nivo dok je SCK na visokom logičkom nivou, praćenog sa niskim nivoom SCK signala i prelaskom DATA linije sa niskog na visoki logički nivo kada je SCK ponovo na visokom logičkom nivou. Start sekvencu prikazana je na slici 3



Slika 3 Start sekvencu

Komande koje se zadaju senzoru sastoje se od tri adresna bita (ova tri bita su uvek "000") i pet komandnih bita. Za

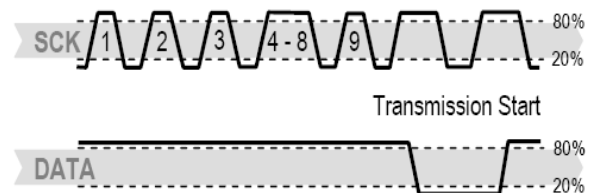
merenje temperature, pet komandnih bita su "00011", a za merenje relativne vlažnosti "00101". Kompletne komande za merenje temperature i relativne vlažnosti prikazane su u tabeli I

TABELA I KOMANDE ZA MERENJE

Komanda	Kod komande
Merenje temperature	00000011
Merenje relativne vlažnosti	00000101

Senzor označava ispravan prijem komade postavljanjem DATA linije na nizak logički nivo (to je tzv. ACK bit) nakon opadajuće ivice osmog takta. DATA linije se oslobadja i preko pull-up otpornika postavlja na visok logički nivo nakon opadajuće ivice devetog takta.

U slučaju gubitka komunikacije sa senzorem, moguće je resetovati komunikaciju. *Reset* sekvencu prikazana je na slici 4. Sastoji se iz devet ili više perioda SCK signala tokom kojih je DATA linija na visokom logičkom nivou. Uvek je praćena sa *start* sekvencom, jer se tek nakon *start* sekvence mogu zadavati komande.

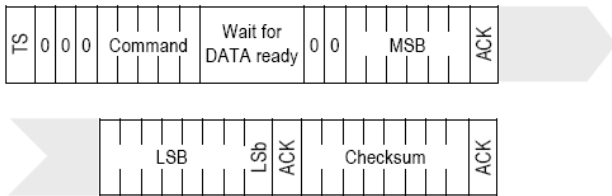


Slika 4 Reset sekvencu praćena start sekvencom

Nakon zadavanja komande za merenje ("00000011" za temperaturu, "00000101" za relativnu vlažnost), mikrokontroler mora da čeka da se merenje završi. Merenje traje maksimalno 20 ms za 8-bitno merenje, 80 ms za 12-bitno merenje i 320 ms kada se rezultat merenja predstavlja sa 14 bita. Senzor signalizira završetak merenja tako što postavlja DATA liniju na nizak logički nivo - to je tzv. data ready signal. Mikrokontroler mora čekati na ovaj signal pre nego što ponovo pokrene SCK signal radi očitavanja podataka. Rezultati merenje se čuvaju do očitavanja istih.

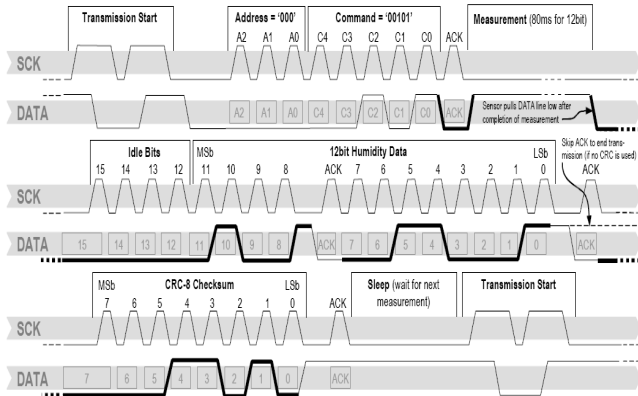
Po završetku merenja i kada mikrokontroler inicira očitavanje podataka pokretanjem SCK signala, prenose se dva bajta sa rezultatom merenja i jedan checksum bajt koji je opcioni. Mikrokontroler mora potvrditi prijem svakog bajta postavljanjem DATA linije na nizak logički nivo (ACK bit). Komunikacija se završava postavljanjem ACK bita nakon prijema checksum bajta. Ako se checksum bajt ne koristi, mikrokontroler može prekinuti komunikaciju nakon prijema drugog bajta podatka ne potvrđujući prijem ovog bajta, odnosno ne postavljajući DATA liniju na nizak logički nivo.

Dakle, jedan kompletan komunikacioni ciklus uopšteno se može predstaviti kao što je prikazano na slici 5



Slika 5 Komunikacioni ciklus

Na slici 6 je detaljan prikaz kompletnog komunikacionog ciklusa prilikom merenja relativne vlažnosti vazduha.



Slika 6 Komunikacioni ciklus – merenje relativne vlažnosti

Prvo se šalje *start* sekvenca (*Transmission Start*) kojom se senzoru nagoveštava da sledi zadavanje komande. Zatim, nakon proizvoljnog vremena, započinje zadavanje komande. Komanda se sastoji iz osam bita, pri čemu su prva tri bita adresni biti ($A_2 A_1 A_0 = "000"$), a preostalih pet bita su komandni biti ($C_4 C_3 C_2 C_1 C_0 = "00101"$). Vrednost bita na DATA liniji očitava se na rastućoj ivici SCK signala. Nakon opadajuće ivice osme periode SCK signala od početka zadavanja komande, odnosno nakon zadavanja poslednjeg bita komande, senzor postavlja DATA liniju na nizak logički nivo i na taj način potvrđuje prijem komande. DATA linija se oslobađa (i preko *pull-up* otpornika postavlja na visok logički nivo) nakon jedne periode SCK signala. Sada senzor vrši merenje (*Measurement*) koje, u slučaju 12-bitne rezolucije, traje maksimalno 80 ms. Kada se merenje završi, senzor postavlja DATA liniju na nizak logički nivo (to je *data ready* signal). Rezultat merenja se čuva u memoriji senzora sve do očitavanja, tako da mikrokontroler ne mora započeti očitavanje rezultata odmah nakon završetka merenja. Očitavanje rezultata merenja započinje pokretanjem SCK signala. Prvo se očitava viših osam bita (bit15..bit8), nakon čega mikrokontroler postavlja DATA liniju na nizak logički nivo (ACK), što predstavlja potvrdu da je prvi bajt rezultata očitavan, a zatim se očitava nižih osam bajta (bit7..bit0). Ako se želi očitavanje i *checksum* bajta, nakon prijema poslednjeg bita rezultata potrebno je da mikrokontroler ponovo postavi DATA liniju na nizak logički nivo (ACK), a ako se ne želi očitavanje *checksum* bajta, mikrokontroler ne postavlja DATA liniju na nizak logički nivo, i na taj način se završava komunikacioni ciklus. U prikazanom primeru vrši se

očitavanje *checksum* bajta (*CRC-8 Checksum*). Naravno, što je rezultat merenja tiče, s obzirom na to da je rezolucija merenja dvanaest bita, gornji nibl višeg bajta rezultata je uvek "0000" (*Idle Bits*), dok donji nibl, zajedno sa nižim bajtom predstavlja dvanaestobitni rezultat merenja (*12bit Humidity Data*). Znači, u datom primeru, rezultat merenja relativne vlažnosti vazduha je "0100'0011'0001".

Na prikazanom vremenskom dijagramu komunikacionog ciklusa zadržavanje linije prikazuju periode u kojima senzor kontroliše DATA liniju. U preostalom periodu DATA liniju kontroliše mikrokontroler.

Računanje temperature Senzorski element za merenje temperature je veoma linearan. Formula koja se koristi za konverziju digitalnog rezultata merenja u vrednost temperature u °C je

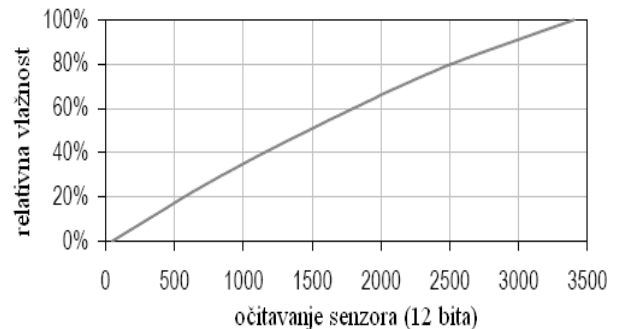
$$T[°C] = d_1 + d_2 \times RM \quad (1)$$

gde je RM_T 14-bitni ili 12-bitni rezultat merenja temperature, a d_1 i d_2 su koeficijenti čije su vrednosti date u tabeli II

TABELA II VREDNOSTI KOEFICIJENATA D_1 I D_2

VDD, RM_T	d_1	d_2
5 V, 14 bit	-40.1	0.01
5 V, 12bit	-40.1	0.04

Računanje relativne vlažnosti: Zavisnost 12-bitnog rezultata merenja relativne vlažnosti predstavljenog u decimalnoj formi od vrednosti relativne vlažnosti izražene u %RH prikazana je na slici 7



Slika 7 Nelinearnost prilikom merenja relativne vlažnosti

Da bi se data nelinearnost kompenzovala i da bi se postigla maksimalna tačnost merenja, potrebno je primeniti formulu

$$RV_{\text{linearizovana}}[\%RH] = c_1 + c_2 \cdot RM_{RV} + c_3 \cdot RM_{RV}^2 \quad (2)$$

gde je RM_{RV} 12-bitni ili 8-bitni rezultat merenja relativne vlažnosti, a c_1 , c_2 i c_3 su koeficijenti čije su vrednosti date u tabeli.III

TABELA III VREDNOSTI KOEFICIJENATA c_1 , c_2 i c_3

RM_{RV}	c_1	c_2	c_3
12 bit	-4.0000	0.0405	-2.8000E-6
8 bit	-4.0000	0.6480	-7.2000E-4

Za temperature koje se značajno razlikuju od sobne temperature (25 °C), potrebno je uraditi temperaturnu kompenzaciju dobijene vrednosti relativne vlažnosti. To se postiže primenom formule:

$$RV[\%RH] = (T[°C] - 25)(t_1 + t_2 RMRV) + RV_{lin}[\%RH] \quad (3)$$

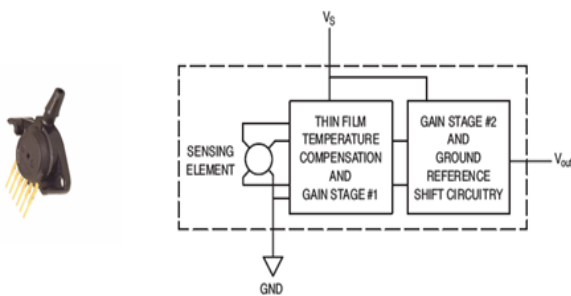
gde je RM_{RV} 12-bitni ili 8-bitni rezultat merenja relativne vlažnosti, T je vrednost temperature, $RV_{linearizovana} = 36 \%RH$, a t_1 i t_2 su koeficijenti čije su vrednosti date u tabeli IV

TABELA IV VREDNOSTI KOEFICIJENATA t_1 I t_2

RM_{RV}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

III. SENZOR ZA ATMOSFERSKI PRITISAKE

Za merenje pritiska korišćen je senzor sa analognim izlazom MPX4115AP. Izgled senzora i blok šema njegove realizacije prikazani su na slici 8



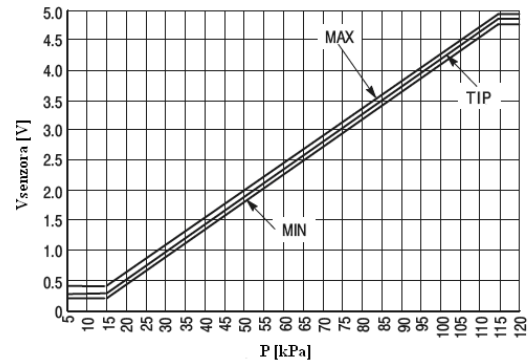
Slika 8 MPX4115AP senzor izgled i blok šema

.Unutar kućišta senzora se, osim mernog elementa, nalaze i blokovi za pojačanje signala i temperaturnu kompenzaciju istog. Na izlazu senzora dobija se naponski signal srazmeran pritisku.

Karakteristike senzora

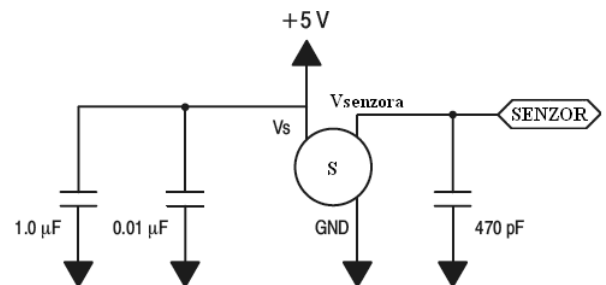
- Opseg merenja: Od 150 mbar do 1150 mbar.
- Osetljivost: 4.59 mV/mbar.
- Tačnost: ± 15 mbar .
- Izlazni napon pri minimalnom pritisku iz opsega merenja: 0.204 V.
- Izlazni napon pri maksimalnom pritisku iz opsega merenja: 4.794 V.
- Napon napajanja: Od 4.85 V od 5.35 V.

Na slici 9 prikazana je zavisnost izlaznog napona senzora od pritiska za opseg temperature od 0 °C do 85 °C i za napon napajanja od 5.1 V. Vidimo da je unutar mernog opsega zavisnost izlaznog napona od pritiska linearna, a da je izlaz u saturaciji za ostale vrednosti pritiska.



Slika 9 Zavisnost izlaznog napona od pritiska

Prema preporuci proizvođača, da bi se ostvarile date karakteristike, potrebno je razdvojiti pinove za napajanje senzora (V_s i GND) sa kondenzatorima kapacitivnosti 1 μF i 0.01 μF , kao i izvršiti filtriranje izlaznog signala ($V_{senzora}$) sa kondenzatorom kapacitivnosti 470 pF (slika 10).



Slika 10 Razdvajanje pinova za napajanje i filtriranje izlaznog signala senzora

Pretnosna funkcija senzora prikazana na slici 9 može se iskazati formulom:

$$V_{senzora} = V_s \cdot (0.009 \cdot P - 0.095), \quad (4)$$

gde je $V_{senzorai}$ izlazni napon senzora, V_s napon napajanja senzora, a P je vrednost pritiska izražena u kPa. Na osnovu ove jednačine, vrednost pritiska je

$$P[kPa] = \frac{P[mbar]}{10} = \frac{V_{senzora} + 0.095}{0.009} \quad (5)$$

Na nivou mora vrednost normalnog vazdušnog pritiska iznosi oko 1013 mbar i vrednost pritiska opada sa povećanjem nadmorske visine. U tabeli V date su vrednosti normalnog atmosferskog pritiska na različitim nadmorskim visinama, kao i stopa smanjena pritiska sa povećanjem nadmorske visine.

TABELA V OPADANJE VAZDUŠNOG PRITISKA SA POVEĆANJEM NADMORSKE VISINE

Visina [m]	P [mbar]	Stopa smanjenja
0	1013	12 mbar/100m
1000	899	11 mbar/100m
2000	795	10 mbar/100m
3000	701	9 mbar/100m

Opseg merenja senzora je od $P_{min} = 150$ mbar do $P_{max} = 1150$ mbar. Na osnovu ovog podatka i podataka iz prethodne tabele vidimo da je poželjno izvršiti prilagođenje izlaznog signala senzora kako bi se povećala osetljivost u opsegu merenja u kome se očekuje da će senzor raditi. Bez prilagođenja, osetljivost senzora je

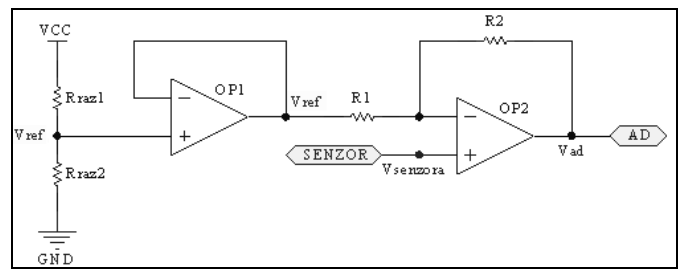
$$O = \frac{V_{senzora}(P = P_{max}) - V_{senzora}(P = P_{min})}{P_{max} - P_{min}} = 4.59 \frac{mV}{mbar} \quad (6)$$

Pod pretpostavkom da će senzor raditi u uslovima u kojima je normalni vazdušni pritisak veći od 920 mbar i manji od 1020 mbar (što odgovara nadmorskoj visini manjoj od 775 m), izvršićemo prilagođenje izlaznog signala senzora tako da se na izlazu kola koje vrši dato prilagođenje[3] dobija napon $V_{ad} = 0$ V kada je pritisak $P_{min}' = 920$ mbar, odnosno napon $V_{ad} = 5$ V kada je pritisak $P_{max}' = 1020$ mbar.

Prema formuli 6, kada je pritisak $P = 920$ mbar = 92 kPa, izlazni napon senzora je $V_{senzora} = 3.72$ V, a kada je pritisak $P = 1020$ mbar = 102 kPa, izlazni napon senzora je $V_{senzora} = 4.18$ V.

Kolo za prilagođenje prikazano je na slici 11, gde je $R_1 = 1.2$ k Ω , $R_2 = 10$ k Ω , $R_{raz1} = 1$ k Ω , $R_{raz2} = 5.6$ k Ω

Osetljivost je sada znatno povećana i iznosi $O = 50 \frac{mV}{mbar}$



Slika 11 Kolo za prilagođenje izlaznog signala senzora

Što se povezivanja senzora i mikrokontrolera tiče, izlaz senzora veže se na + ulaz operacionog pojačavača $OP2$, a izlaz kola za prilagođavanje izlaznog signala senzora (PRESSURE_ANALOG) povezuje se na analogni ulaz mikrokontrolera, odnosno na jedan od ulaza internog AD konvertora. Na osnovu rezultata AD konverzije, primenom odgovarajućih formula, dobija se informacija o pritisku[4].

IV. ZAKLJUČAK

Na osnovu odličnih karakteristika oba senzora dobijeni podaci korišćeni su u više različitih projekata. Pokazalo se da je digitalno merenje temperature i vlažnosti vazduha pomoću senzora SHT71 odličan način za dobijanje preciznih podataka, proširenje osetljivosti senzora pritiska je dobar način da se dobiju tačniji podaci za merenja na određenim nadmorskim visinama. Oba senzora se koriste u projektima razvijenim za udaljeno merenje atmosferskih uslova, gde se prenos podataka vrši pomoću GPRS komunikacije[5]

ZAHVALNICA

Ovaj rad je deo projekta "Razvoj metode, senzora i sistema za praćenje kvalitete vode, vazduha i zemljišta", III43008. Projekt je realizovan uz finansijsku pomoć Ministarstva za nauku i obrazovanje Republike Srbije, kojoj su autori vrlo zahvalni.

LITERATURA

- [1] http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT7x_Datasheet_V5.pdf. "Temperature sensor" 02.2013
- [2] http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX4115.pdf, "Sensor pressure" 02.2013
- [3] Rajs V., Milosavljević V., Mihajlović Ž., Živanov M., Krčo S., Slavković M.: EKOBUS600-sistem za GPS praćenje autobusa i monitoring atmosferskih uslova i štetnih gasova, tehničko rešenje.
- [4] Mihajlović Ž., Rajs V., Milosavljević V., Živanov M.: System For Remote Reading And Control Of Sensors For Air Contaminant Detection, 3. Research People and Actual Tasks on Multidisciplinary Sciences, Lozenc: Bulgarian National Multidisciplinary Scientific Network of the Professional Society for Research Work, 8-10 Jun, 2011, pp. 169-173, ISBN 1313-7735
- [5] Mihajlović Ž., Milosavljević V., Rajs V., Živanov M.: Application of GPRS Modules in Data Acquisition and Control of Devices for Air Quality Monitoring, 20. Telekomunikacioni forum TELFOR, Beograd: Telecommunication society, 20-22 Novembar, 2012, ISBN 978-1-4673-2984-2

ABSTRACT

, *Abstract* - This paper describes the measurement of temperature, relative humidity and atmospheric pressure with sensors SHT71 and MPX4115AP. A detailed description of the architecture of both sensors, measurement range, accuracy of measurement and means of communication. Described the operation of the sensors with microcontrollers with integrated AD converter.

MEASUREMENT OF TEMPERATURE, RELATIVE HUMIDITY AND ATMOSPHERIC PRESSURE

Vladimir Rajs, Živorad Mihajlović, Vladimir Milosavljević,
Miloš Živanov