

RAČUNARSKI SISTEM ZA AKVIZICIJU TEMPERATURE I RELATIVNE VLAŽNOSTI VAZDUHA

Aleksandar Č. Žorić¹, Branimir Ž. Djordjević², Risto R. Bojović¹, Vidosav Stojanović², Slobodan Obradović³

¹ Fakultet tehničkih nauka-Kosovska Mitrovica, ² Elektronski fakultet-Niš, ³ Viša elektrotehnička škola-Beograd

Sadržaj - U radu je opisan realizovani sistem za akviziciju temperature i vlažnosti vazduha zasnovan na personalnom računaru. Posebno su razmatrani merni hardver koji upravlja akvizicionim delom aplikacije i softver koji upravlja svim ostalim delovima akvizicionog sistema kao što su analize, skladištenje podataka, prikaz i deljenje podataka, generisanje izveštaja i slično.

Hardver sistema zasnovan je na danas najmodernijim digitalnim sensorima temperature i relativne vlažnosti sa brzim odzivom dok je korisnički softver realizovan pod LabView IDE. Budući da se i temperatura i relativna vlažnost vazduha mere na istom monolitnom čipu, primenjeni senzor dopušta mogućnost određivanja tačke kondenzacije (tačka rose), što je u ovom radu iskorišćeno.

1. UVOD

Fizičke osobenosti vazduha kao što su temperatura i relativna vlažnost imaju izuzetan značaj za mnoge proizvodne procese u farmaceutskoj i hemijskoj industriji, industriji proizvoda od plastike, proizvodnji odgovarajućih smeša gasova gde se kao osnovna komponenta koristi vazduh i sl. Određivanje i merenje relativne vlažnosti vazduha ima veliki značaj pri izučavanju određenih termodifuzionih procesa i parametara u građevinskim materijalima i objektima u celini. Pored niza parametara vazduha, za ljudsko zdravlje je od posebnog značaja kontrola temperature i relativne vlažnosti vazduha. Suviše vlažan vazduh stvara osećaj zamora kod čoveka dok suviše suv vazduh nadražuje disajne organe. Za osećaj ugodnosti nije međutim važan apsolutni sadržaj vodene pare u vazduhu već da li taj sadržaj u funkciji temperature vazduha omogućava dobru termoregulaciju i stabilizaciju temperature čovekovog organizma. Zbog toga je od većeg značaja relativna vlažnost vazduha koja se definiše odnosom parcijalnog pritiska vodene pare i maksimalno mogućeg parcijalnog pritiska vodene pare na datoj temperaturi.

Sa pojavom savremenih digitalnih senzora relativne vlažnosti na jedinstvenom substratu [1] značajno su smanjene dimenzije primarnog kapacitivnog senzora vlažnosti i time višestruko povećana brzina odziva. Šta više, na istom substratu integrisan je i digitalni senzor temperature što dopušta mogućnost preciznog određivanja tačke kondenzacije. Budući da su takvi senzori prekalibrirani, visoko pouzdani i zamenljivi bez potrebe za rekalibracijom, ukupni troškovi razvoja, realizacije i održavanja merno-regulacionih sistemima na bazi ovih senzora su smanjeni. Ipak, odnos cena integrisanih digitalnih i odgovarajućih konvencionalnih analognih senzora na tržištu, još uvek je relativno visok.

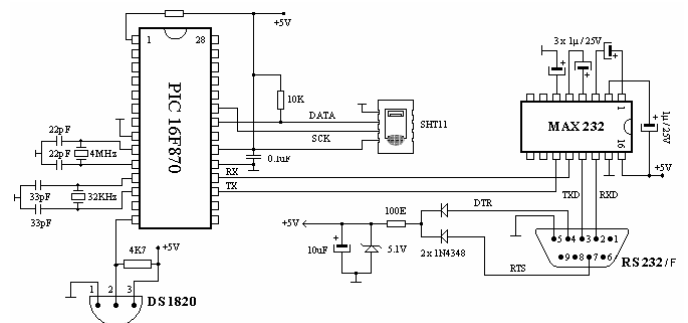
Tema ovog rada je realizacija savremenog računarskog sistema za akviziciju temperature i relativne vlažnosti

vazduha na bazi digitalnih senzora. Primenjeni su: digitalni senzor temperature sa jednožičnim komunikacionim interfejsom [2] i digitalni senzor relativne vlažnosti sa integrisanim digitalnim sensorom temperature na istom substratu, opremljen dvožičnim komunikacionim interfejsom [1]. Posredstvom mikrokontrolera ostvarena je komunikacija senzora sa računarom, odnosno, korisničkim softverom čije performanse imaju značajan uticaj na kvalitet sistema.

Zahvaljujući nepromočivom filterskom naglavku za senzor vlažnosti koji obezbeđuje zaštitu senzora od vode, prašine i ostalih kontaminanata, realizovani sistem može uspešno biti primenjen u sredinama sa mnogo čestica prašine u vazduhu i agrokulturi gde je prisustvo prašine i prljavštine prateća pojava.

2. MERNI HARDVER

Realizovani merni hardver sistema, slika 1, baziran je na Microchip-ovom 8-bitnom mikrokontroleru PIC16F870 [3], Dallas-ovom digitalnom senzoru temperature sa jednožičnim komunikacionim interfejsom DS1820 [2] i digitalnom multisenzorskom modulu relativne vlažnosti i temperature SHT11 sa dvožičnim komunikacionim interfejsom, proizvodnje Sensirion [1]. Komunikacija sa računarom ostvarena je posredstvom USART-a mikrokontrolera i integrisanog driver/receiver-a MAX232 za prilagodjenje naponskih nivoa signala.



Sl. 1. Principijelna električna šema mernog hardvera sistema

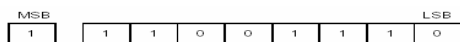
Zahvaljujući niskoj potrošnji primenjenih integrisanih kola, slobodne linije serijskog porta računara malog strujnog kapaciteta RTS (Request to Send) i DTR (Data Terminal Ready) iskorišćene su za napajanje hardvera. Na taj način osigurana je energetska nezavisnost sistema.

Primenjeni mikrokontroler PIC16F870 je RISC arhitekture, kapaciteta programske FLASH memorije 2048 reči dok kapacitet RAM memorije iznosi 128 bajta. Komponenta poseduje i internu EEPROM memoriju podataka kapaciteta 64 bajta u koju se programski mogu skladištiti određeni konstantni parametri [4]. Maksimalna

frekvencija taktovanja je 20 MHz. Sve instrukcije (35) izvršavaju se u jednom ciklusu, osim instrukcija grananja za čije izvršenje su potrebna dva. Mikrokontroler je opremljen brzim 10-bitnim petokanalnim A/D konvertorom sa registrom sukcesivnih aproksimacija, serijskim komunikacionim interfejsom (USART), PWM modulom i standardnom opremom ovih komponenta brojačima/tajmerima. Radi zaštite od eventualnih grešaka u programu, usled industrijskih smetnji, ugrađen je tkzv. watchdog timer-brojač snabdeven sopstvenim RC oscilatorom. Stek mikrokontrolera nije u sastavu interne RAM memorije već predstavlja zasebnu celinu od osam nivoa.

Kao što se može videti sa slike 1, mikrokontroler mernog hardvera taktovan je stabilnom taktom frekvencijom keramičkog rezonatora od 4MHz dok je za tačno vremensko odmeravanje ulaznih veličina iskorišćen prekid generisan prekoračenjem 16-bitnog tajmera/brojača (TMR1) mikrokontrolera. Periferija je konfigurisana u brojačkom asinhronom modu rada sa eksternom taktom frekvencijom od 32768Hz. Presetovanjem samo višeg bajta TMR1 registara na vrednost 80H nakon svakog prekida, osigurano je tačno vremensko odmeravanje od 1s bez gubitka i jednog instrukcijskog ciklusa. Stabilnost taktne frekvencije tajmera u funkciji je stabilnosti rezonantne frekvencije kvarc kristala.

Jednožični, adresabilni digitalni senzor temperature DS1820 je tehničko rešenje novijeg datuma sa jedinstvenim 64-bitnim ROM kodom, 8-bajtnom scratchpad RAM, dvobajtnom EEPROM memorijom i poluprovodničkim senzorom temperature sa A/D konvertorom na jedinstvenom čipu. Komunikacija senzora sa masterom (mikrokontrolerom) ostvarena je preko jednožične open drain magistrale. Master mora prvo obezbediti jednu od pet ROM funkcijskih komandi, posle čega je dostupna neka od šest memorijskih kontrolnih funkcija, poput *Convert T*. Radni temperaturski opseg senzora je -55°C do 125°C sa razlaganjem od 0.5°C , dok je maksimalna apsolutna greška specificirana od strane proizvođača senzora [2]. Devetobitni format digitalnog ekvivalenta temperature prikazan je na slici 2.



Sl. 2. Format digitalne reči pri temperaturi od -25°C

Uključivanjem u račun dodatna dva bajta informacije o temperaturi, koji su dostupni u okviru scratchpad RAM-a, postiže se razlaganje temperature od 0.07°C što je u ovom radu iskorišćeno.

Protokol pristupa digitalnom senzoru putem jednožične magistrale je četvorofazni i uključuje:

- inicijalizaciju,
- slanje jedne od pet ROM funkcijskih komandi,
- slanje jedne od šest memorijskih funkcijskih komandi,
- prenos podataka.

Senzor zahteva striktan protokol za osiguranje integriteta podataka. Protokol se satoji od nekoliko tipova I/O signala na jednoj liniji kao što je reset impuls, impuls prisutnosti, upis 'nule', upis 'jedinice', čitanje 'nule' i čitanje 'jedinice'. Svi signali, sa izuzetkom impulsa prisutnosti, su

inicirani od strane mastera vodeći računa o tajmingu. Glavni nedostaci opisanog digitalnog senzora temperature su prilično dugo vreme konverzije, do 500 ms i relativno uzak radni opseg.

SHT11 multisenzorski modul relativne vlažnosti i temperature na jedinstvenom čipu predstavlja takodje, moderno tehničko rešenje integracije digitalnih senzora sa kalibrisanim odzivom. Čip u sebi sadrži kapacitivni primarni senzor vlažnosti sa dielektrikom od polimera i poluprovodnički 'bandgap' temperaturski senzor koji su povezani sa 14-bitnim A/D konvertorom i dvožičnim serijskim interfejsom. Svaki čip je individualno kalibrisan u preciznoj komori relativne vlažnosti. Kalibracioni koeficijenti su upisani u kalibracionu memoriju čipa i interno se u toku merenja koriste za kalibraciju odziva. Dvožični serijski komunikacioni interfejs modula je optimiziran sa stanovišta potrošnje i nije kompatibilan sa I²C interfejsima. Čip raspolaže grejačem za prevenciju kondenzacije u jako vlažnim sredinama (>95 %RH) koji se programski može kontrolisati kao i mogućnost detekcije pada napona napajanja ispod 2.47 V za slučaj baterijskog napajanja. Podrazumevana merna rezolucija od 14 bitova za temperaturu i 12 bitova za vlažnost može, takodje, programski biti redukovana na 12, odnosno 8 bitova, respektivno. Niža merna rezolucija pogodna je za primene u kolima sa ekstremno malom potrošnjom i većom radnom brzinom, imajući u vidu višestruko kraće vreme konverzije merenih veličina.

Tabela 1. Sadržaj registra stanja digitalnog senzora SHT11

Bit	Type	Description	Default
7		reserved	0
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for Vdd > 2.47 '1' for Vdd < 2.47	X No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0
4		reserved	0
3		For Testing only, do not use	0
2	R/W	Heater	0 off
1	R/W	no reload from OTP	0 reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temperature resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temperature resolution	0 12bit RH 14bit Temp.

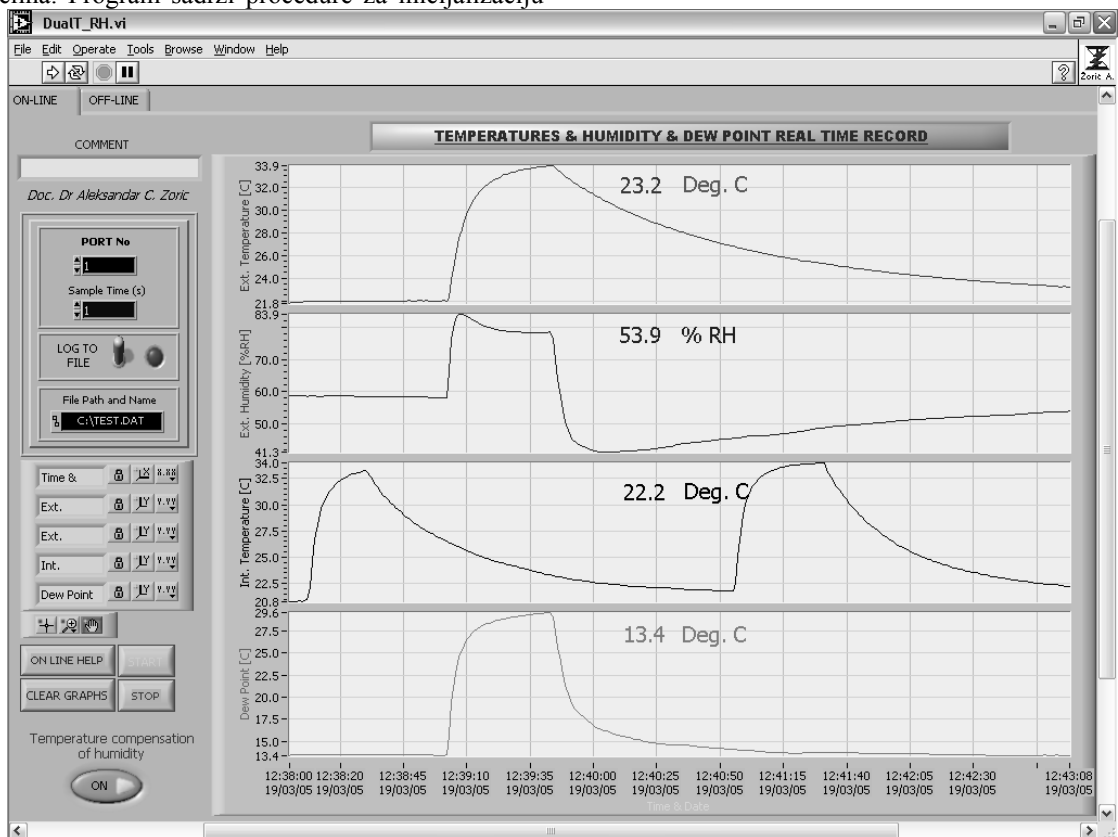
Tabela 1 prikazuje sadržaj 8-bitnog statusnog registra digitalnog senzora SHT11 čijim se programiranjem vrši izbor neke od opisanih funkcija.

Prema specifikacijama proizvođača [1], tipično vreme odziva senzora vlažnosti iznosi 4 s dok je maksimalno vreme odziva senzora temperature 30 s. Prosečno vreme konverzije iznosi 11/55/210 ms za 8/12/14 bitnu mernu rezoluciju, respektivno. Pri podrazumevanoj maksimalnoj rezoluciji A/D konvertora razlaganje temperature je 0.01°C a vlažnosti 0.03 %RH.

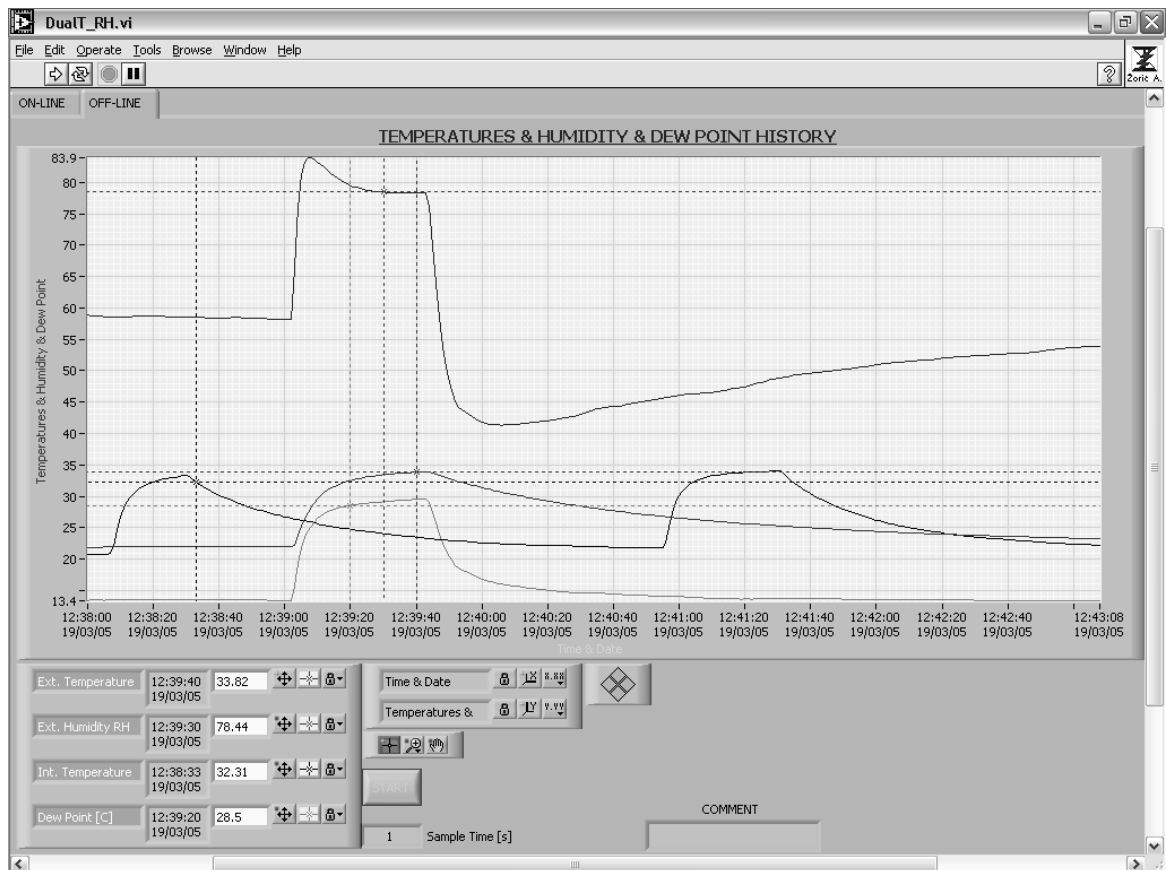
Za kompenzaciju nelinearnosti oba senzora kao i temperaturske zavisnosti senzora vlažnosti proizvođač nudi polinomske funkcije za konverziju digitalnih ekvivalenta vlažnosti i temperature u fizičke vrednosti [6]. Na taj način može se postići puna specificirana tačnost, garantovana sa strane proizvođača.

Sistemska softver, upisan u programsku memoriju mikrokontrolera, napisan je u assembleru i organizovan u

nekoliko celina. Program sadrži procedure za inicijalizaciju



Sl. 3. Izgled dela korisničkog softvera u ON-LINE režimu sa grafikonima prikupljenih podataka o temperaturi i vlažnosti vazduha, temperaturi proizvoljne merne tačke i izračunatoj temperaturi tačke kondenzacije



Sl. 4. Izgled dela korisničkog softvera za postavizicionu analizu u OFF-LINE režimu

periferija mikrokontrolera, interapt servisnu rutinu, procedure za jednožičnu i nestandardnu I²C komunikaciju sa senzorima i deo programa za upravljanje USART-om. Deo sistemskog programa za komunikaciju sa senzorima i upravljanje USART-om izvršava se ciklično u petlji. Sistemski softver započinje ili završava izvođenje posle primljenog start ili stop karaktera sa PC-a, respektivno. Provera primljenog karaktera vrši se u interapt rutini poredjenjem primljenog karaktera sa zadatim start i stop konstantama. Prema tome, u skladu sa primljenim karakterom, interapt servisna rutina odlučuje o daljem toku programa.

3. KORISNIČKI SOFTVER

Ovaj deo sistema projektovan je i realizovan u LabView programskom okruženju [4] [5], danas najpopularnijem i najproduktivnijem paketu za realizaciju funkcija virtualne instrumentacije. Prilikom projektovanja grafičkog korisničkog interfejsa poštovana su sledeća pravila:

- postizanje zadovoljavajuće preglednosti,
- konzistentnost sa drugim Windows programima,
- jednostavnost i intuitivnost pri radu.

Grafički korisnički interfejs softvera u *on-line* režimu, slika 3, sadrži četiri grafikona za monitoring tri fizička i jednog aritmetičkog kanala (tačka kondenzacije [7]) u realnom vremenu. Na grafikonima se prikazuju i trenutne numeričke vrednosti fizičkih veličina, dobijene obradom digitalnih reči primenjenih senzora. Za postizanje veće tačnosti merenja softver koristi već pomenute polinomske funkcije za linearizaciju odziva multisenzorskog modula. Softverska temperaturska kompenzacija vlažnosti [6] može se kontrolisati izborom položaja odgovarajućeg prekidača. Korisniku na raspolaganju stoji i paleta kontrola za izbor serijskog porta računara, izbor vremena odmeravanja, zadavanje komentara u formi zaglavlja datoteke i kontrola starta i kraja upisa podataka u datoteku ASCII tipa. Aplikacija se startuje i zaustavlja pritiskom na START i STOP taster, respektivno. Predviđena je i mogućnost povremenog brisanja grafikona, što je posebno korisno u slučajevima dugotrajnog *real-time* monitoringa.

Deo grafičkog korisničkog interfejsa za rad u *off-line* režimu prikazan je na slici 4. Pritiskom na START taster otvara se prozor za izbor datoteke. Učitavanjem odgovarajuće datoteke na grafikonu se prikazuju talasni oblici četiri fizičke veličine kao i administrativni podaci o vremenu i datumu u kome je akvizicija vršena. Korisniku na raspolaganju stoji paleta grafa kao i kursori kojima se očitavaju fizičke vrednosti veličina u svakom trenutku. Period odmeravanja kojim je akvizicija vršena i eventualni komentar čitaju se iz zaglavlja datoteke i raspoloživi su korisniku na odgovarajućim indikatorima.

4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan dizajn kompletnog akvizicionog sistema za prikupljanje i računarsku obradu podataka o temperaturi i relativnoj vlažnosti vazduha. Predloženi sistem zasnovan je na danas najmodernijim digitalnim senzorima

temperature i relativne vlažnosti. Budući da su senzori prekalibrisani, eventualna zamena senzora ne zahteva rekalkibraciju sistema smanjujući na taj način troškove održavanja. Sistem se konkretno može primeniti u procesima sušenja artikala zagrejanom vazдушnom strujom gde se posebno može pratiti temperatura ulazne vazdušne struje i temperatura i vlažnost vazduha sušione komore. Moguća su izvesna proširenja ovog dizajna kao npr. povećanje broja adesabilnih senzora temperature i digitalnih multisenzorskih modula kao i dodavanje novih, uglavnom statističkih funkcija korisničkom softveru.

LITERATURA

- [1] Datasheet SHT1x/SHT7x, Humidity & Temperature Sensor, *Sensirion, The Sensor Company*, Datasheet, 2003.
- [2] DS1820-One-Wire Digital Thermometer, *Dallas Semiconductor*, Datasheet, 2000.
- [3] PIC16F870/871-8-bit CMOS FLASH/EEPROM Microcontrollers, *Microchip Technology, Inc.*, Datasheet, 1999.
- [4] Data Acquisition and Signal Conditioning *National Instruments*, USA, 2003.
- [5] LabView Express 7.0 Software for Virtual Instrumentation, *National Instruments*, USA, 2003.
- [6] Nonlinearity Compensation SHTxx, *Sensirion, The Sensor Company*, Datasheet.
- [7] Dewpoint Calculation SHT, *Sensirion, The Sensor Company*, Datasheet.

Abstract – The realization of the complete PC based system for temperature and relative air humidity acquisition is described in this paper. The measurement hardware which controls the acquisition part of the application and the user's software which controls all of the remain system parts as analyses, data storage, report generation etc. are particularly considered.

The measurement hardware is based on the recent integrated digital temperature and humidity sensors with fast responses while the user's software is developed under the LabView IDE. Since humidity and one temperature are both measured by the same monolithic chip, the digital sensor SHT11 allows superb dewpoint measurements. It is used in this work.

PC BASED SYSTEM FOR TEMPERATURE AND RELATIVE AIR HUMIDITY ACQUISITION

Aleksandar Č. Žorić, Branimir Ž. Djordjević,
Risto R. Bojović, Vidosav Stojanović, Slobodan Obradović