

Mikrokrmilniki Texas Instruments MSP430 v avtomatiki

Janez Pogorelc, Niko Otorepec

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Smetanova 17, 2000 Maribor

janez.pogorelc@uni-mb.si, niko.otorepec@triera.si

Microcontrollers Texas Instruments MSP430 in Automation

Introduction to 16-bit low-power microcontrollers Texas Instruments MSP430 is presented. Designed and developed is demo board for teaching purposes, where various sensors and actuators interfaces with 64-pin mid - range microcontroller inputs and outputs. Application of measuring and controlling of temperature in heating zone is implemented. Intention of work is to assist students and teachers in Automation department.

1 Uvod

Nenehno naraščajoč trg vgrajenih sistemov narekuje uporabo mikrokrmilnikov v aplikacijah vse od avtomobilske do vesoljske industrije, širokopotrošne elektronike, laboratorijskih naprav, telekomunikacijskih produktov pa vse do gradnikov procesnega vodenja [1, 2, 3].

V večini od navedenih aplikacij se uporabljajo mikroprocesorski sistemi, zgrajeni na osnovi mikrokrmilnikov, pri čemer velja, da so najprimernejši tisti, ki so majhnih dimenzij, preprosti za integracijo in načrtovanje naprav, imajo nizko porabo ter vsebujejo ustrezno zmogljivo procesno enoto in aplikaciji prirojeno konfiguracijo vhodno/izhodnih vmesnikov, torej so kar najugodnejši glede na faktor: stroški/lastnosti.

Z ozirom na zelo veliko razširjenost uporabe mikrokrmilnikov (skoraj vsi pomembnejši svetovni proizvajalci mikroprocesorjev imajo v programu tudi mikrokrmilnike v cenovnem razponu od nekaj manj od 1 USD do nekaj 10 USD) je smiselno, da jih vključujemo v pedagoški proces na dodiplomskem izobraževanju elektrotehnikov za področje avtomatike, roboti-

ka in mehatronike, vendar z večjim poudarkom na uporabnosti in manj gradnji naprav.

V članku opisujemo nekatere izkušnje pri pripravi razvojnega kompleta relativno preproste in zelo dostopnega 16-bitnega mikrokrmilnika [1, 2, 4]. Pri tem smo si za izhodišče postavili, da naj študent spozna mikrokrmilnik v določeni meri kot element (gradnik) mikroprocesorskega sistema s stališča zgradbe, električnih lastnosti, načina povezovanja z drugimi mikroelektronskimi elementi ter v večji meri kot element s stališča uporabe v avtomatiki, robotiki in mehatroniki (programiranje v zbirnem in/ali C-jeziku, poudarek na vhodno/izhodnih vmesnikih, njihovem povezovanju s senzorji in aktuatorji, celoštevilčna aritmetika, prekinitve, časovne zahteve pri izvajanju opravil v realnem času).

V preteklosti je veljalo mnenje, da lahko dovolj učinkovito programiramo v C-jeziku le zmogljivejše 16- in 32-bitne mikrokrmilnike. V zadnjih letih so se na tržišču pojavili tudi komercialni C-prevajalniki, ki učinkovito podpirajo tudi skromnejše 8- in 16-bitne mikrokrmilnike, npr. Texas Instruments **MSP430**, ki ponuja predstavnike v ohišjih od 14 do 100 nožic.

Odločili smo se za obravnavo 16-bitnega mikrokrmilnika srednjega cenovnega in zmogljivostnega razreda, z eno-čipno izvedbo, s čim preprostejšim programskim modelom in kvalitativnimi ter dostopnimi programskimi orodji. Tudi pri tem so na izbiro vplivale izkušnje in oprema iz raziskovalnega dela in dostopnost. Pomagalo nam je podjetje Texas Instruments [5], ki nam je v okviru Evropskega univerzitetnega programa doniralo nekaj razvojnih kompletov za mikrokrmilnike **MSP430** različnih konfiguracij od 20 do 100 priključkov.

V nadaljevanju bo opisan mikrokrmilniški sistem in demonstracijski predstavitveni panel, ki ga uporabljamo za izvajanje nalog, namenjenih elementarnemu in projektному delu v okviru laboratorijskih vaj, seminarjev in praktikumov [4]. Sledil bo opis programske opreme, programskih orodij in pripomočkov s knjižnico osnovnih funkcij vhodno/izhodnih vmesnikov.

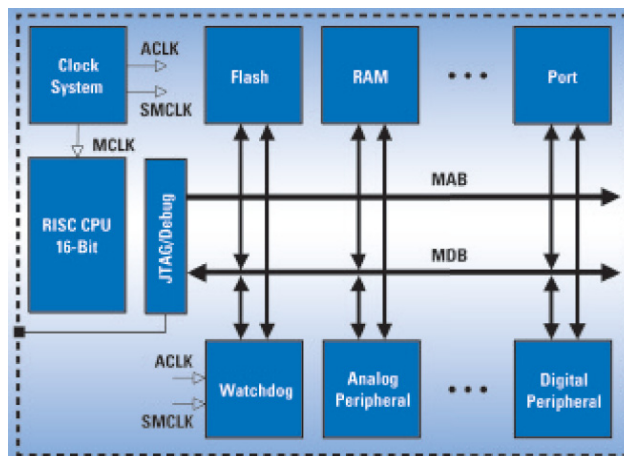
2 Mikrokrmilniki MSP430

Za demonstracijo zmogljivosti mikrokrmilnikov smo si izbrali serijo integriranih vezij s 64 priključki: **MSP430F149** [5] in **MSP430F169** [6]. Na osnovi tega smo izdelali **preizkusni predstavitveni panel**, s pomočjo katerega izvajamo osnovne vhodno/izhodne funkcije in predstavitev programskih orodij. Na panelu so preko vhodno/izhodnih vmesnikov priključene periferne naprave, kot so LCD prikazovalnik, tipke, temperaturna komora s senzorjem temperature in grelnikom ter ventilatorjem, kar med drugim omogoča zanimivo in nazorno demonstracijo programske aplikacije regulacije temperature.

Proizvajalec Texas Instruments je v zgodnjih 90-ih letih predstavil prvega predstavnika družine **MSP 430** (mixed signal procesor) **MSP430x3xx**. Mikrokrmilniki te družine imajo integriran LCD gonilnik in so bili uporabljeni pri zahtevnejših meritvah (izjemno nizka poraba). Družina **MSP430x3xx** deluje na napetostnem območju od 2,5 do 5,5 V. Prva serija mikrokrmilnikov vsebuje le programski pomnilnik v izvedbi OTP in ROM.

Novejša družina **MSP430x1xx** se pojavi v letu 2000, ko proizvajalec vpelje »ultra - low Power Flash« verzijo FLASH ROM pomnilnika z zelo nizko porabo. Procesna enota ima zmogljivost 8 MIPS - ov in napajalno napetost nižjo tudi od 1,8V. Razpon družine **MSP430x1xx** sega od **MSP430C1101** ROM naprav, pa do **MSP43016xx** z največ integriranimi sklopi (uporabljeni **MSP430169** vsebuje več kot 60 kB FLASH pomnilnika, 12-bitni ADC, 12-bitni DAC, DMA krmilnik in nad 10 kB pomnilnika RAM).

MSP430x4xx je podoben seriji **MSP430x1xx**, le da vsebuje gonilnik za LCD. Serija 4xx ponuja visoko ločljiv 16-bitni »sigma-delta« A/D pretvornik, operacijske ojačevalnike in ostale vgrajene analogne funkcije. **MSP430F2xx** in **MSP430x5xx** se razvijajo naprej in nadgrajujejo serijo **MSP430x1xx**, omogočajo pa med drugim dvakrat večjo zmogljivost in še nižjo porabo.



Slika 1: Zgradba MSP430x1 mikrokrmilnikov

Zaradi izjemno nizke porabe (250 μ A/MIPS) so mikrokrmilniki družine **MSP430** prirejani za baterijsko napajanje, zato so zelo primerni za vgrajene sisteme kot so npr. inteligentni senzori, prenosni merilniki in naprave širokopotrošne ter zabavne elektronike.

Posebno pozornost zahteva tudi moderna 16-bitna procesna enota tipa RISC, ki ima vsega 27 strojnih ukazov (izvajajo se po en cikel, 7 načinov naslavljanja in 16 namenskih ter splošno uporabnih registrov dolžine 16-bitov). Tako je procesna enota MSP mikrokrmilnikov zelo primerna tudi za obravnavo programskega modela in kodiranje programov v zbirnem jeziku, ker ima majhno število ortogonalnih ukazov, po drugi strani pa so C-prevajalniki zaradi nabora ukazov skupaj z registrsko strukturo in načini naslavljanja zelo učinkoviti.

3 Razvojna in programska orodja

Proizvajalec ponuja razmeroma poceni razvojne komplete **MSP-FET430P(U)140** (slika 2), ki vsebujejo [4, 6]:

- **Vmesnik MSP-FETP430IF FET** (Flash Emulation Tool) s paralelnim PC izhodom (novejši vsebujejo tudi USB) na eni strani in s 14-polnim **JTAG** komunikacijskim vmesnikom na drugi strani. Slednji omogoča funkciji programiranja v vezju in razhroščanja (kontroliranega izvajanja programa) mikrokrmilnika na testni ploščici s pomočjo **IDE** programskega orodja na PC računalniku;
- **Testno ploščico MSP-TS430PM64** (slika 1), na kateri je vgrajeno 64-polno podnožje za serije integr. vezij MSP430F13xIPM, xxF14xIPM, xxF15xIPM, xxF16xIPM in xxF161xIPM. Na njej se prav tako nahaja 14-polni konektor s priključkom JTAG ter rumena LED dioda (priložena sta elementa **MSP430F149** in **MSP430F169**);
- Navodila za prvo uporabo;
- Zgoščenko **MSP430** z orodji, navodili, literaturo.



Slika 2: Razvojni komplet

Programska orodja obsegajo IDE **KickStart paket** proizvajalca IAR system, ki omogoča v preizkusni različici kreiranje do 4 kB programske kode (www.iar.se). Na zgoščenci so tudi

povezave in orodja drugih proizvajalcev razvojnega orodja za mikrokrmilnike **MSP430**.

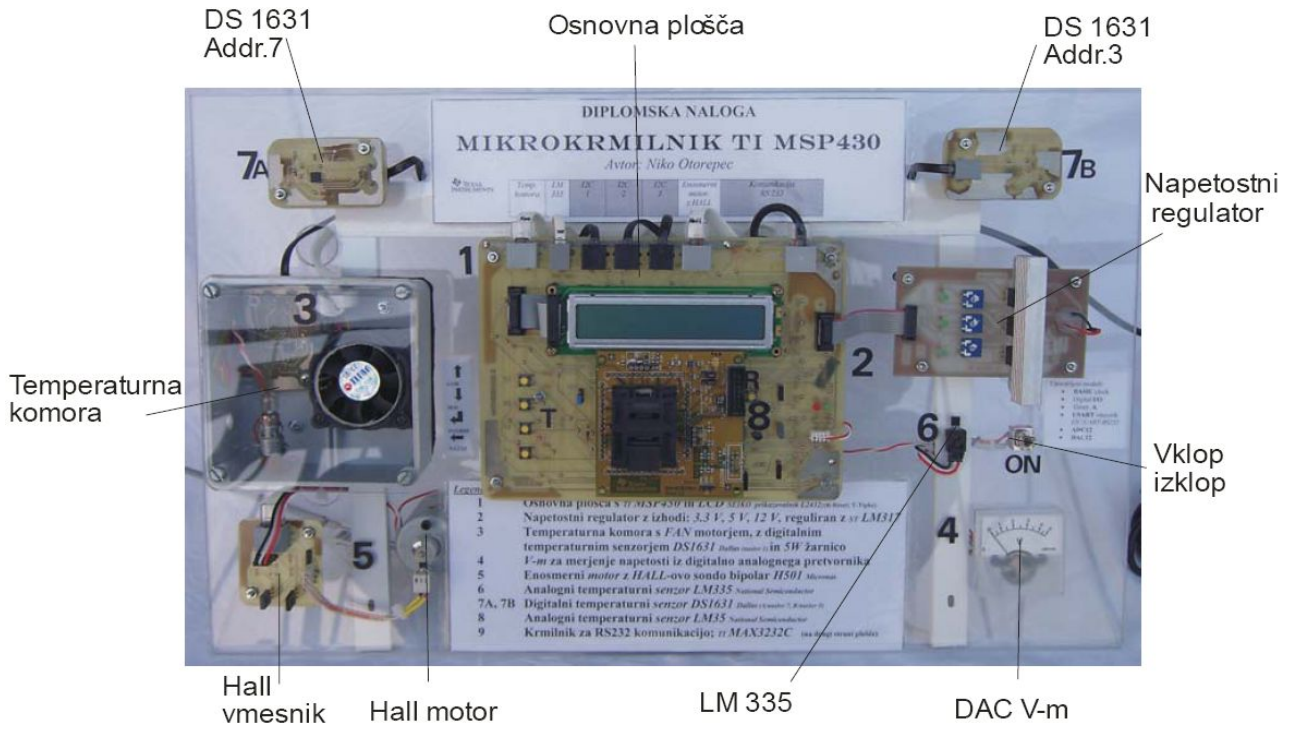
4 Demonstracijski predstavitveni panel

Demonstracijski predstavitveni panel (slika 3) je zaradi večje nazornosti vstavljen v ohišje iz prozornega pleksi stekla, tako da so na njem vidne in dostopne vse komponente iz obeh strani. Na predstavitveni panel smo namestili komponente, ki jih lahko uporabimo za demonstracijo nekaterih vhodno izhodnih modulov in funkcij mikrokrmilnikov **MSP430**.

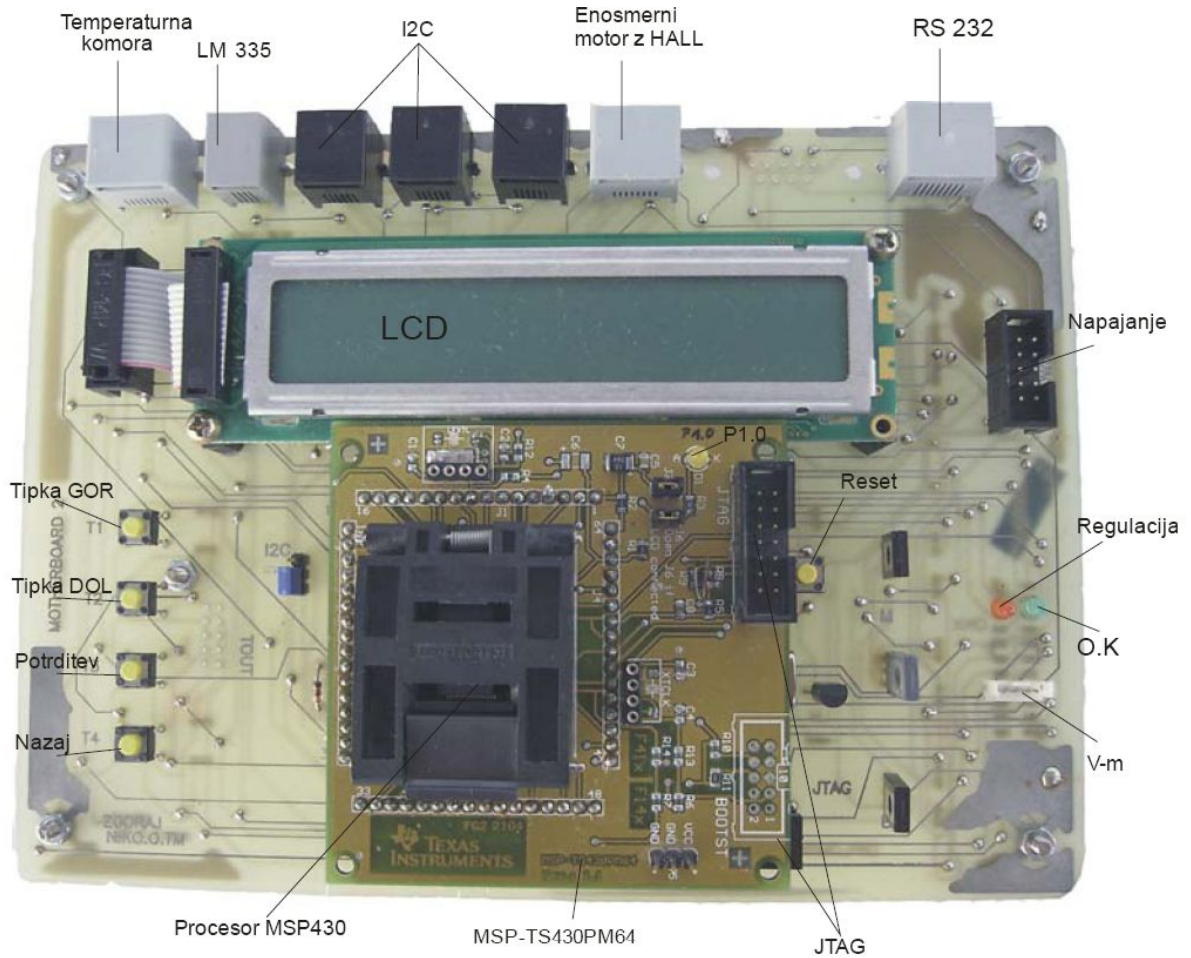
Elementi na samem panelu so narejeni modularno, tako da se lahko brez težav tudi zamenjujejo [4]. Zamenjujemo lahko ne le mikrokrmilnike z enakim ohišjem, ampak lahko ob predhodni zamenjavi testne ploščice **MSP-TS430PMxx** izbiramo med praktično vsemi mikrokrmilniki s 14 do 100 priključki.

Nameščene so naslednje komponente:

1. Osnovna plošča z vstavljenjo testno ploščo z mikrokrmilnikom **MSP430F169** in LCD prikazovalnikom **L2432** proizvajalca Seiko;
2. Napajalnik, zgrajen z regulatorji napetosti z izhodi 3,3V, 5V, 12V;
3. Temperaturna komora ventilatorjem (FAN motor) z digitalnim temperaturnim senzorjem **DS1631** proizvajalca Dallas in 5W žarnico kot grelnim telesom;
4. V-m za prikaz napetosti iz digitalno analognega pretvornika;
5. Enosmerni motor z bipolarno HALL-ovo sondo **H501** proizvajalca Micronas;
6. Analogni temperaturni senzor **LM335** proizvajalca National Semiconductor;
7. Dva digitalna temperaturna senzorja **DS1631** proizvajalca Dallas;
8. Analogni temperaturni senzor **LM35** proizvajalca National Semiconductor;
9. Vmesnik **MAX3232C** za serijsko komunikacijo (RS-232C) z osebnim računalnikom za izpis na terminal.



Slika 3: Demonstracijski predstavitveni panel

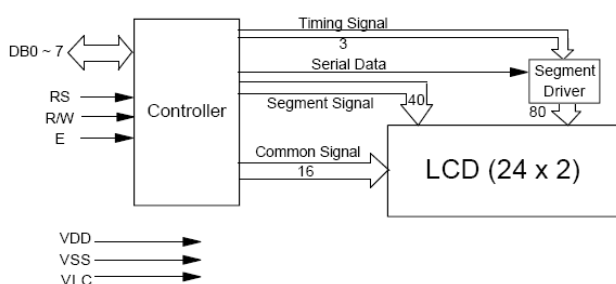


Slika 4: Osnovna plošča

Osnovna plošča s testno ploščico **MSP430**, LCD prikazovalnikom, tipkami, LED indikatorji in priključki za periferne naprave je prikazana na sliki 4.

Med perifernimi napravami omenimo LCD prikazovalnik in elemente temperaturne komore.

Uporabili smo matrični LCD prikazovalnik **L2432** (proizvajalca Seiko) na tekoče kristale, ki je tanek, lahek, ima nizko tokovno porabo ter široki zorni kot gledanja ob visokem kontrastu. Vgrajen vmesnik (slika 5) omogoča preprost 8-bitni način priključitve na mikrokrmilnik.



Slika 5: Priključitev LCD na mikrokrmilnik

Format prikaza je 24 znakov v dveh linijah ali skupaj 48 znakov. Znak je sestavljen na matriki 5x7, ki se izriše z »barvanjem« segmentov. Vpisovanje znakov teksta poteka kar v obliki ASCII znakov.

V temperaturni komori (slika 6) se nahaja ventilator (FAN) s senzorjem za zajemanje vrtljajev (digitalni tahomerilnik), ki je sicer namenjen za hlajenje procesorjev v računalnikih, v naši komori pa kot izvor hladnega prezračevalnega zraka. Komora se seveda ne more ohladiti nižje od temperature zunanega zraka.

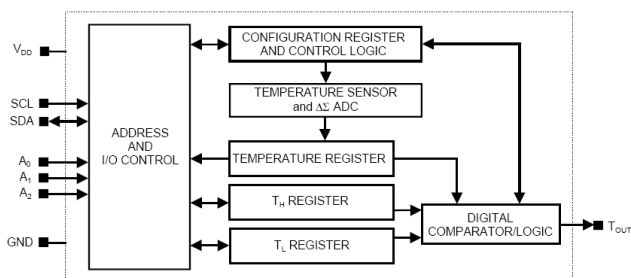


Slika 6: Temperaturna komora

Kot izvor toplote ali grelno telo uporabljamo kar običajno (5W) žarnico z žarilno nitko.

Za preverjanje in meritev temperature smo namestili digitalni temperaturni senzor **DS1631S**. Vsi ti elementi so vstavljeni v instalacijsko dozo 100 x 100mm in pokriti s prozornim pleksi steklom.

DS 1631 (slika 7) je digitalni termometer, deluje pa lahko tudi kot termostat. Temperaturno območje ima od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$. Natančnost v območju med 0°C in 70°C je $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Temperaturne meritve ne zahtevajo nobenih zunanjih komponent. Izhodno resolucijo nastavimo programsko in sicer 9, 10, 11 ali 12 bitov. Napajalna napetost je med 2.7 V in 5.5 V. Temperaturo pretvori v digitalno besedo v maksimalno 750 ms. S pomočjo registrov **TH** in **TL** lahko programsko nastavimo želeno histerezo. Podatki se berejo/pišejo preko dveh linij **SDA** in **SCL** v skladu s protokolom **I2C**. S pomočjo treh naslovnih priključkov lahko priključimo na vodilo do osem senzorjev.



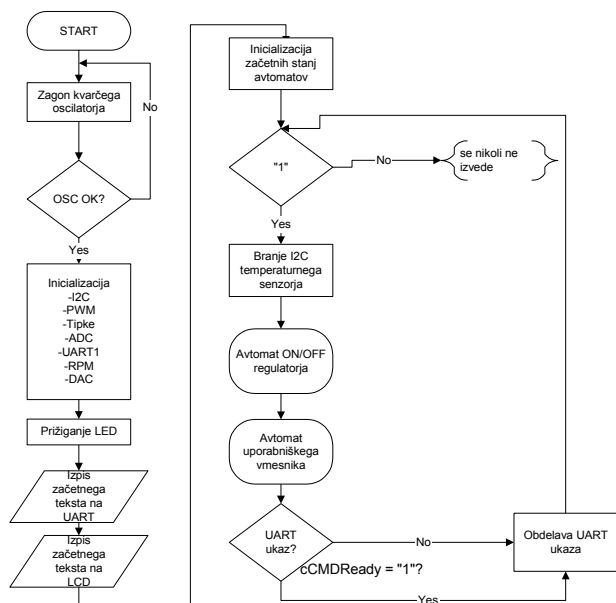
Slika 7: Temperaturni senzor DS1631S

FAN motor (ventilator) in žarnico krmilimo z vmesnikoma za pulzno širinsko modulacijo (**PWM**), medtem ko merjenje, zajemanje ter prenos podatkov temperature (**DS 1631**) poteka po vodilu **I2C**.

5 Programska oprema

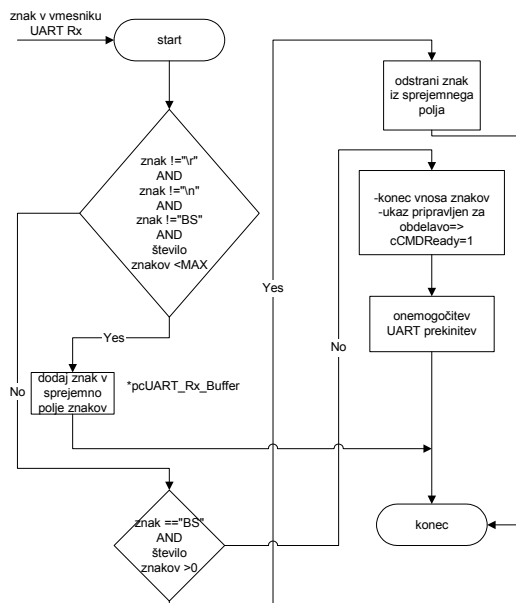
Za demonstracijo delovanja predstavitvenega panela [4] je bila razvita programska oprema v jeziku C s pomočjo priloženega IDE programskega okolja. Aplikacija obsega osnovni program, katerega algoritem prikazuje diagram poteka na sliki 8 in nabor funkcij za inicializacijo in za podatkovni dostop do vhodno/izhodnih vmesnikov (**I2C** vmesnik za priključitev digital-

nega temp. senzorja, WDT časovnik, ADC vmesnik, PWM vmesnik, DAC vmesnik, UART1 vmesnik, tipke in LCD prikazovalnik).



Slika 8: Diagram poteka glavnega programa

Programska oprema je kodirana modularno, tako da se lahko posamezne funkcije uporabljajo tudi v drugih aplikacijah.



Slika 9: Temperaturni senzor DS1631S

Zanimiv je tudi algoritem prenosa posameznega znaka med vmesnikom UART1 in terminalnim programom na PC računalniku (slika 9).

6 Zaključek

Obravnavanje mikrokrmilnikov v učnem procesu dodiplomskega izobraževanja avtomatikov in mehatronikov je gotovo obsežna tema. Zato se je lotevamo sistematično in modularno [1, 2, 3]. Predstavitveni panel omogoča demonstracijo zanimivih aplikacij, vendar je bistveno, da vsak študent samostojno načrta, skodira in preizkusi določeno število programov. V ta namen je potrebno poznati programski model obravnavanega mikrokrmilnika, vhodne in izhodne vmesnike, periferne naprave, IDE programska orodja in nenazadnje osnove programiranja v jeziku ANSI C. Navedeno mora nujno potekati v obliki vaj postopno in sproti s predavanji, saj je le tako mogoče pridobiti večino programiranja vgrajenega sistema na osnovi mikrokrmilnika.

Čeprav imajo navedeni mikrokrmilniki zelo primeren programski model (predvsem preprost nabor ukazov!) tudi za obravnavo na strojnem nivoju (programiranje v zbirnem jeziku), kljub temu priporočamo uporabo ANSI C jezika, ki je nekakšen standard za vgrajene sisteme.

Pri tem je v pomoč dejstvo, da ima podjetje Texas Instruments na voljo kvalitetne in razmeroma dostopne razvojne komplete ter IDE programska orodja, ki so povsem funkcionalna do 4 kB programske kode in delujejo tudi kot simulator na osebem računalniku. Podjetje je znano tudi po tem, da pošilja vzorce integriranih vezij (tudi mikrokrmilnikov) brez posebnih zapletov.

7 Literatura

- [1] J. Luecke, Analog and Digital Circuits for Electronic Control System Application, Elsevier Science (USA), 2004
- [2] C. Nagy, Embedded System Design Using the TI MSP430 series, Elsevier Science (USA), 2003.
- [3] J. Pogorelc, Mikrokrmilniki v učnem procesu, Elektrotehniška in računalniška konferenca, Portorož, 2005
- [4] N. Otorepec, Uporaba mikrokrmilnikov Texas instruments družine MSP 430 v avtomatiki, diplomsko delo Visokošolskega strokovnega študija, FERL, Maribor 2006.
- [5] Texas instruments, www.ti.com, SLAS386C, Navodila proizvajalca za MSP430F169
- [6] Texas instruments, www.ti.com, SLAS272F, Navodila proizvajalca za MSP430F149