

Trajnostno testiranje malih gospodinskih aparatov v proizvodnji

Janez Pogorelc, Darjan Leskovar*

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Smetanova 17, 2000 Maribor

Eurel, d.o.o., Bistriška cesta 54, 2319 Poljčane*

janez.pogorelc@uni-mb.si, darjan.leskovar@siol.net

Sustainable testing of small home appliances in production

The paper presents use of MSP430 microcontroller family as the alternative data acquisition system. Connectivity between microcontroller and personal computer using USB bus along with necessary software is developed. Software contains bit-banging functions for I2C and SPI communication protocols, which are used for communication with other devices. In LabVIEW development environment, functions for communication with microcontroller and user interface have been developed.

Kratek pregled prispevka

V članku bo opisana izvedba krmilnega dela trajnostnega sistema za testiranje kuhinjskih opekačev kruha (toasterjev) v proizvodnem podjetju. Jedro krmilnega sistema je zgrajeno na osnovi mikrokrmilnika MSP430 proizvajalca Texas Instruments. Opekače kruha množično proizvaja podjetje Eurel, d.o.o. za družbo Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH. Od krmilja za testirno napravo se zahteva avtomatizirano vklapljanje toasterja, merjenje intervala vklopa in električne moči. Potrebno je tudi beleženje vseh rezultatov za kasnejšo statistično obdelavo. Mikrokrmilnik služi kot vmesni člen med mehanskim delom testirne naprave in osebnim računalnikom, na katerem teče programska oprema za upravljanje testirne naprave. Programska oprema na osebnem računalniku teče v okolju LabVIEW, za katero smo tudi razvili potrebne knjižice za komunikacijo s krmilnikom. Načrtali smo tudi vsa potrebna tiskana vezja za delovanje krmilnika in vhodno/izhodnih enot.

1 Uvod

V podjetju Eurel d.o.o. sta bila za družbo Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH razvita dva različna tipa opekačev kruha, Bosch **TAT8SL1B3** in Siemens **TT911P2**. Podjetje poleg velikoserijske proizvodnje toasterjev izdeluje še grebenasta stikala, električne konektorje in brizgane plastične komponente. Vsem je skupna potreba po zagotavljanju kvalitete, kar dosega s trajnostnim testiranjem izdelkov, preden jih pošljejo naročniku oz. kupcu.

Za podjetje je ključnega pomena, da proizveden izdelek ne samo da mora biti funkcionalen in brez napak, temveč mora tako funkcionalnim kot estetskim specifikacijam ustrezati skozi vso načrtovano življenjsko dobo. Trajnostno testiranje izdelkov podjetju omogoči sprotno spremljanje kakovosti lastne proizvodnje in sestavnih delov izdelka. V toasterjih je vgrajenih 84 oziroma 33 sestavnih delov, od katerih v podjetju izdelujejo le brizgane plastične sestavne dele, ostale pa prispevajo zunanji dobavitelji. Z rezultati trajnostnega testa je mogoče pri dnevnem preverjanju hitro zaznati padec kakovosti sestavnih delov, dolgoročno le-to pa omogoča izboljševanje samega aparata oziroma odpravljanje konstrukcijskih pomanjkljivosti.

V nadaljevanju opisujemo razvoj in izdelavo krmilnega dela sistema za testiranje kuhinjskih opekačev kruha (toasterjev), katerega jedro predstavlja mikrokrmilnik **MSP430** proizvajalca Texas Instruments. Od krmilja za testirno napravo se zahteva avtomatizirano vklopjanje toasterja, merjenje časa vklopa in električne moči. Potrebno je tudi beleženje vseh rezultatov za kasnejšo statistično obdelavo. Mikrokrmilnik služi kot vmesni člen med mehanskim delom testirne naprave in osebnim računalnikom, na katerem teče programska oprema za upravljanje testirne naprave. Programska oprema na osebnem računalniku teče v okolju **LabVIEW**, za katero smo tudi razvili potrebne knjižice za komunikacijo s krmilnikom. Načrtali in izdelali smo tudi vsa potrebna tiskana vezja za delovanje krmilnika, napajalnega dela in vhodno/izhodnih enot.

2 Trajnostno preizkušanje opekača

Aparat **TAT8SL1B3** (slika 1) je toaster srednjega razreda z dvema režama za vstavev kruha. Upravljanje poteka z dvema gumboma za nižanje in višanje časa pečenja, katerega vidimo na LED lestvičnem prikazu. Izbiramo lahko med devetimi različnimi časi pečenja, pri čemer si aparat zapomni zadnji nastavljeni čas. Na zgornjem delu ima izvlečljive žične nosilce, kamor lahko postavimo kruh in ga ogrejemo. Kot grelna telesa so uporabljeni štirje cevni infrardeči grelci iz kvarčnega stekla. Deklarirana priključna moč aparata je 860 W.



Slika 1: Toaster TAT8SL1B3

Podoben model za testiranje, vendar iz kvalitetnejših materialov, je aparat **TT911P2**, ki sicer spada v višji cenovni razred.

2.1 Zahteve za izvedbo testirne naprave

V proizvodnji toasterjev so zahtevani naslednji načini testiranja aparata:

- hiter preizkus delovanja (1 vklop);
- intenzivnejši test uporabe (45 vklopov, trajanje 2,5h);
- test življenjske dobe (7000 vklopov, trajanje 30 dni);
- sprotno spremljanje kakovosti in opozarjanje na morebitne prezgodnje odpovedi aparata;
- določeni vzorčni testi trajajo tudi do 30 dni neprekinjeno.

Kot rešitev se ponuja avtomatizirana naprava, sestavljena iz mehanskega in krmilnega dela.

Specifikacija zahtev testirne naprave:

- vklapljanje toasterja v določenih časovnih intervalih;
- merjenje delovne moči toasterja;
- arhiviranje vseh testov;
- razmeroma velika svoboda pri nastavljanju parametrov;
- možnost hitrega preprogramiranja oz. prilagajanja izdelkom.

2.2 Mehanski del testirne naprave

Naloga mehanskega dela testirne naprave je avtomatizirano vklapljanje toasterjev v vnaprej določenih časovnih intervalih (slika 2). V ta namen ima naprava vgrajenih dvanajst testirnih gnezd, kamor položimo toaster in ga privijačimo, da se med testom ne more premikati. Vklapljanje je izvedeno z linearnimi in rotacijskimi pnevmatskimi aktuatorji, ki so krmiljeni z elektromagnetnimi ventili. Naprava zato potrebuje tudi dovod stisnjenega zraka. Na napravi sta na vsak toaster dve vtičnici za priklop toasterja, kjer lahko izbiramo med napetostma 230 in 250 V. Standard namreč zahteva testiranje pri 10% višji napetosti od omrežne. Vsako testirno mesto ima tudi tipkali za začetek in ustavitev testa.



Slika 2: Testirna naprava s toasterji

Testirna mesta na napravi niso popolnoma enaka. Šest gnezd je namenjenih testiranju toasterja **B3**, ostalih šest pa za model tipa **P2**. Štiri testirna mesta za toaster **B3** omogočajo le vklop toasterja, ostali dve pa tudi spreminjanje časa

vklopa. Podobno imamo pri modelu **P2**, kjer tri mesta omogočajo zgolj vklop, ostala tri pa vse, kar lahko s toasterjem počne uporabnik. Npr. spreminjanje časa vklopa, premikanje žičnih nosilcev kruha in predčasen izklop aparata.

Strojni del testirne naprave omogoča:

- manipulacijo s toasterjem – pnevmatski aktuatorji, krmiljeni z elektromagnetnimi ventili;
- zaznavanje toasterja in stanja aktuatorjev – induktivni senzorji;
- ukaz za začetek in ustavitev testa – dvoje tipkal na vsakem testirnem mestu;
- signalizacija stanja testa – lučka v vsakem tipkalu;
- merjenje delovne moči – 12 P/E pretvornikov MI413 s pripadajočimi tokovniki.

2.3 Krmilje testirne naprave

Krmilje mora zagotavljati sočasno, vendar med sabo neodvisno testiranje dvanajstih toasterjev (po šest za vsak model). Vsakemu testirnemu mestu je možno določiti lastne parametre testa, kot so število vklopov, časovni intervali vklapljanja in meje rumenega ter rdečega alarma za izmerjeno moč. Krmilje preko tipkal sprejema uporabniške ukaze za začetek oziroma ustavitev testa in proži elektromagnetne ventile, ki krmilijo pnevmatske aktuatorje.

Uporabnik preko nadzornega programa v okolju **LabVIEW** [4] zaganja in končuje teste, pregleduje rezultate ter ima popoln nadzor in pregled nad stanjem testirne naprave ter njenega krmilja. Osebni računalnik je preko **USB** vodila povezan z vodilnim mikrokrmilnikom **MSP430 Master**. Vodilni mikrokrmilnik komunicira s posameznimi (3) mikrokrmilniki **MSP430 Slave** preko **I2C** vodila.

Lastnosti vhodno/izhodnih vmesnikov testirne naprave MSP430 Slave krmilnika:

- 58 galvanjsko ločenih digitalnih izhodov s 24 V nivoji;
- 44 galvanjsko ločenih digitalnih vhodov s 24 V nivoji;

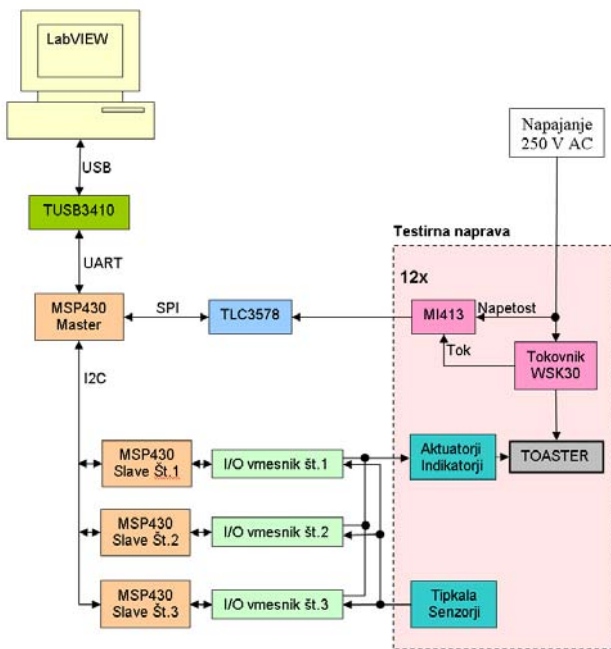
- 12 analognih vhodov z območjem od 0 do 5 V.

Nadzorni program v okolju **LabVIEW** ima popoln nadzor nad testirno napravo, pri čemer je nadzorni (PC) računalnik zaradi možnosti požara nameščen v ločenem prostoru, da se podatki ne izgubijo.

3 Pomembnejši sklopi testirnega sistema

3.1 Mikrokrmilnik MSP430

MSP430Fxxx [1, 2, 3] proizvajalca Texas Instruments je družina mikrokrmilnikov, katerih pomembna lastnost je prilagojenost za čim nižjo porabo energije. Dobavljen je v številnih izvedenkah, ki se razlikujejo po največji hitrosti ure in dodatnih perifernih enotah, med katerimi so najpogostejši časovniki, A/D in D/A pretvorniki, modul za direkten dostop do pomnilnika in komunikacijske enote. Nekatere izvedenke imajo še dodatne enote, kot so komparatorji, operacijski ojačevalniki, strojni množilniki ali LCD gonilniki.



Slika 3: Blok shema testirnega sistema

V aplikaciji (Slika 3) so bili uporabljeni štirje mikrokrmilniki **MSP430**, kot Master je bil uporabljen **MSP430F169**, kot mikrokrmilniki Slave pa so služili trije **MSP430F155**. Vsi mikrokr-

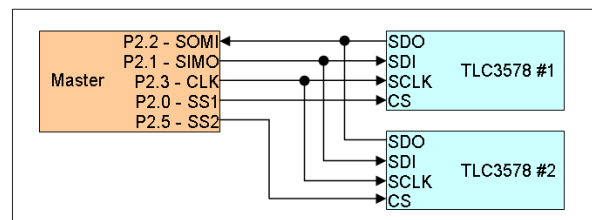
milniki se nahajajo v **LQFP** ohišju s 64 priključki. Pomembnejše lastnosti:

- 16-bitna **RISC** centralna procesna enota;
- hitrost ure: do 8 MHz;
- količina pomnilnika: do 64 kB;
- 48 vhodno/izhodnih priključkov;
- **A/D** in **D/A** pretvornik;
- časovniki;
- strojni množilnik;
- **USART** komunikacijski modul (**I2C**, **SPI** ali **UART** komunikacijski protokol).

Za razvoj programov tako v zbirnem jeziku kot tudi C-jeziku se uporablja integrirano programirno okolje Texas Instruments Code Composer **CCS** [6].

3.2 Meritev moči

MSP430 Master je za zajem moči (slika 4) povezan z dvema A/D pretvornikoma **TLC3578**, s katerima komunicira po protokolu SPI. Podobno kot pri I2C je tudi SPI komunikacija izvedena programsko.



Slika 4. Zajemanje 12 analog. signalov moči

Kot A/D pretvornik bi lahko uporabili kar mikrokrmilnik **MSP430** z ustreznim modulom, vendar pa se zanj nismo odločili zaradi manjše hitrosti, ki bi jo z njim lahko dosegli. Pri A/D pretvorbi namreč potrebujemo veliko število odtipkov na kanal, da izračunamo povprečje in zmanjšamo vpliv šuma. Mikrokrmilnik Master generira takt s frekvenco, ki je zelo blizu največje možne programsko generirane frekvence, temu pa Slave na drugi strani s tipanjem signala ne bi mogel slediti oziroma bi se zelo povečala možnost napak. Pretvornik **TLC3578** pa ima komunikacijo **SPI** izvedeno strojno z največjo frekvenco takta 20 MHz, njegova prednost pa je

tudi vhodno napetostno območje 0-10V, zato ni potrebe po napetostnem delilniku.

Vsako izmed 12 testirnih gnezd na testirni napravi (slika 3) vsebuje integrirani merilnik delovne moči (**MI413**), ki zajema izmenično napajalno napetost in tok s pomočjo tokovnega transformatorja (**WSK30**).

3.3 *UART/USB pretvornik TUSB3410*

Integrirano vezje **TUSB3410** [5] proizvajalca Texas Instruments je dvosmerni pretvornik med USB in UART komunikacijskim protokolom. Po priklopu in instalaciji gonilnikov se operacijskemu sistemu predstavi kot **Virtual COM** port oziroma navidezna serijska vrata. Podpira vse funkcije fizičnih serijskih vrat, kot so 5 do 8-bitna dolžina znaka, zaznavanje sode in lihe pari-tete ter 1, 1.5 in 2-bitna dolžina STOP bita. To pomeni, da lahko na računalnik preko **USB** vrat priključimo katerokoli serijsko napravo, vendar pa moramo pri napravah, namenjenih priključitvi na fizična serijska vrata, prilagoditi napetostne nivoje signalov. Temu je namenjeno npr. vezje **MAX3238**. Drugače pa lahko **TUSB3410** in mikrokrmilnik **MSP430** oziroma katerokoli napravo na istem napetostnem nivoju (+3.3V) povežemo neposredno.

S **TUSB3410** ustvarjena virtualna serijska vrata omogočajo hitrosti od 50 to 921600 bitov na sekundo in so lahko konfigurirana v tri različne podatkovne načine **RS-232**, **RS-485** in **IrDA**. Privzet in v aplikaciji uporabljen je RS-232 način.

4 Programska oprema

4.1 *Programsko okolje NI LabVIEW*

V okolju **LabVIEW** [4] je program uporabniškega vmesnika sestavljen iz dveh delov, prednje plošče in blok diagrama. Okno blok diagrama predstavlja dejanski algoritem, prednja plošča pa predstavlja uporabniški vmesnik programa, ki ga s pomočjo različnih gumbov, prikazovalnikov in indikatorjev oblikujemo po svojih željah.

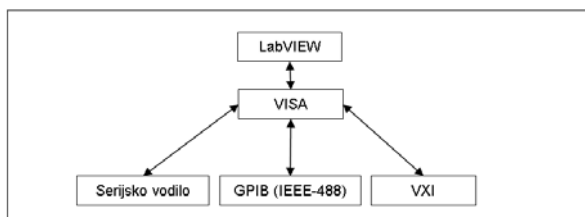
Namen nadzorne programske opreme je grafični in številčni prikaz poteka testa, nastavljanje vseh za test potrebnih parametrov, omogočiti popoln nadzor nad krmiljem in vse to ponuditi preko operaterju razumljivega uporabniškega vmesnika.

Uporabniške funkcije nadzorne programske opreme, s katerimi prihaja v stik operater, so naslednje:

- tristopenjska nastavljivost intervala vklopov,
- proženje začetka in predčasnega konca testa je možno tako preko uporabniškega vmesnika kot preko tipkal na napravi;
- grafični in številčni prikaz trenutne delovne moči;
- po koncu vsakega vklopnega intervala izračun povprečne moči;
- določitev rumene in rdeče opozorilne meje, znotraj katerih se mora delovna moč nahajati; vrednosti izven teh meja kažejo na slab toaster;
- izračun in prikaz posrednih informacij, kot so čas začetka testa, čas trajanja in predviden čas konca testa, procentualno opravljenost testa in opravljeno število vklopov;
- shranjevanje vseh rezultatov v zgodovino, da je možna kasnejša analiza.

4.2 *Programsko okolje VISA*

Nižjenivojska funkcija nadzornega programa je komunikacija s komponentami testirne naprave, kamor sodijo mikrokrmilniki **MSP430** in A/D pretvornik. Strojni del povezave osebnega računalnika in krmilnika **MSP430** je **USB/UART** pretvornik **TUSB3410**, ki ga računalnik prepozna kot virtualna serijska vrata. Programski del pa je komunikacijski sistem **VISA** v okolju **LabVIEW**. **VISA** (Virtual Instrument Software Architecture) [4] predstavlja standardizirani jezik za računalniško podprto komunikacijo z instrumenti (slika 5).



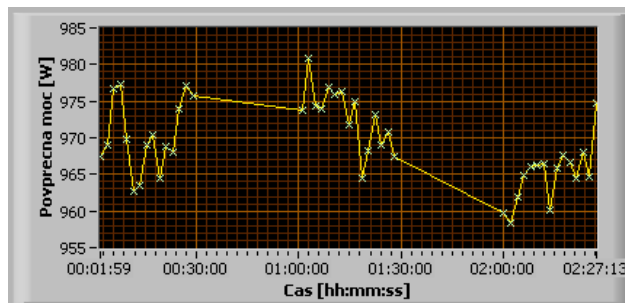
Slika 5: VISA programsko okolje

5 Sklep

V okolju **LabVIEW** je bil razvit nadzorni program za upravljanje testirne naprave. Za mikrokrmilnike **MSP430** so bile v C-jeziku razvite funkcije, ki omogočajo krmilniku programsko **I2C** in **SPI** komunikacijo združljivimi napravami (slika 7). Za okolje **LabVIEW** so bile razvite tudi funkcije za komunikacijo po **I2C** in **SPI** vodilu (vmesnik je sistem **TUSB3410** – krmilnik **MSP430**) ter funkcije za neposreden nadzor krmilnika (okolje **LabVIEW** lahko naslavlja katerokoli krmilnikovo pomnilniško mesto).

Začetne težave zaradi motenj delovanja mikrokrmilnikov smo rešili z ustreznimi ukrepi (oklopi, blok kondenzatorji, kvalitetni napajalnik). Stroškovna analiza je pokazala, da je izvedba aplikacije z **MSP430** krmilniki bistveno cenejša kot z namenskimi **DAQ** karticami podjetja National Instruments.

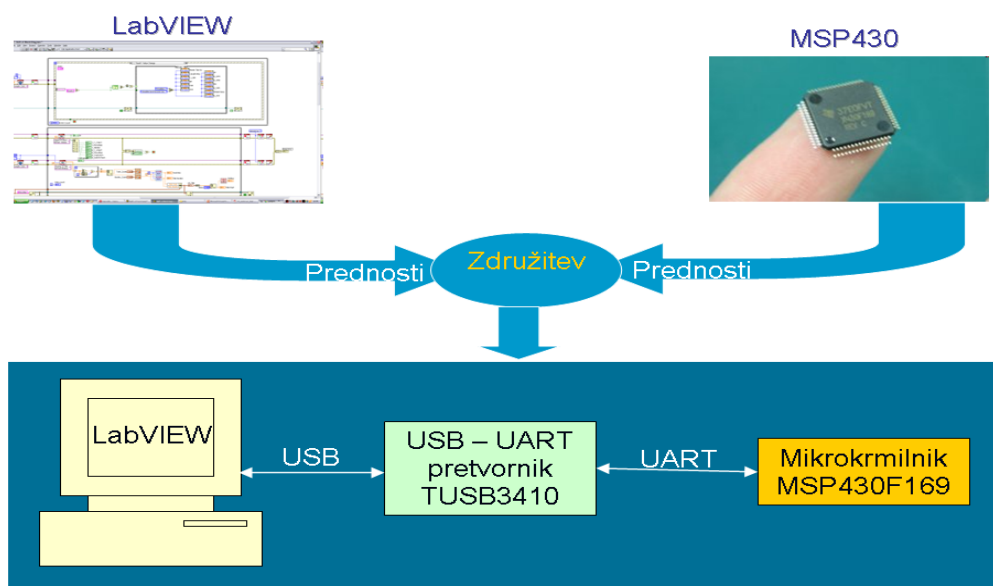
Testirni sistem v podjetju Eurel d.o.o. uspešno deluje že več kot leto dni (slika 6) in ukrepanje na osnovi analize rezultatov testiranja povratno vpliva na kvaliteto proizvodnje ter s tem na višjo dodano vrednost izdelka.



Slika 6: zgled časovnega poteka uspešnega testa

6 Literatura

- [1] Chris Nagy - Embedded Systems Design Using The TI MSP430 Series, Elsevier Science (USA), 2003.
- [2] Jerry Luecke - Analog And Digital Circuits For Electro-nic Control System Applications, Elsevier Science (USA), 2004.
- [3] MSP430x1xx Family User's Guide (Rev. F) (<http://focus.ti.com/lit/ug/slau049f/slau049f.pdf>).
- [4] LabVIEW VISA tutorial (www.ni.com/support/visa/vintro.pdf).
- [5] Texas Instruments SLAA276 - MSP430 USB Connectivity using TUSB3410.
- [6] J. Pogorelc, Uvod v programiranje mikrokrmilnikov, zbrano gradivo za predavanja, CD zgoščenka, ISBN 86-435-0694-X, UM-FERI, 2005.



Slika 7: Sinergija LabView programirnega okolja in mikrokrmika