

Mikrokrmilniki in DSP procesorji v izobraževanju avtomatikov

Janez Pogorelc

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Smetanova 17, 2000 Maribor
janez.pogorelc@uni-mb.si

Microcontrollers and DSP Processors in Education Students of Automation

Abstract: *The constantly growing embedded systems market uses microcontrollers or digital control systems for a huge number of applications from automotive to aerospace, consumer electronics to laboratory machines, and telecommunications to process control. This paper gives some experiences on teaching 8-bit and 16/32-bit DSP Controllers for embedded real-time applications.*

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.

V večini od navedenih aplikacij se uporabljajo mikroprocesorski sistemi, zgrajeni na osnovi mikrokrmilnikov in DSP krmilnikov, 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 približno 50 USD) je smiselno, da jih vključimo v pedagoški proces na dodiplomskem izobraževanju elektrotehnikov za področje avtomatike in meha-

tronike, vendar z večjim poudarkom na uporabnosti in manjšim glede gradnje naprav.

V članku opisujemo nekatere izkušnje pri pedagoški uporabi relativno preprostega 8-bitnega mikrokrmilnika in zmogljivega 16/32-bitnega DSP krmilnika. Uporabljamo ju na smeri Avtomatika v okviru predmetov Mikroročalniški sistemi in Mikroelektronika na Visokošolskem strokovnem študijskem programu Elektrotehnika ter predmetu Procesni sistemi vodenja na Univerzitetnem študijskem programu Elektrotehnika, smeri Avtomatika in Mehatronika Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerze v Mariboru.

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 mikroelektron-skimi elementi ter v večji meri kot element s stališča uporabe v avtomatiki (programiranje v zbirnem in/ali C-jeziku, poudarek na vhodno/izhodnih vmesnikih, njihovem povezovanju s senzorji in aktuatorji, časovne zahteve pri izvajanju programske kode v realnem času).

16-bitne mikrokrmilnike lahko (večinoma) dovolj učinkovito programiramo v C-jeziku, kar seveda lahko še izboljšamo, če kodiramo določene (časovno kritične) dele aplikacije v zbirnem jeziku. Vendar je že obravnava programskega modela procesne enote mikrokrmilnika Hitachi H8/532 [7] (ki ga tudi obravnavamo v pedagoškem procesu) precej obsežna, kar bi se pri praktični zahtevi po programiranju na strojnem nivoju še stopnjevalo (CISC nabor ukazov, kompleksni načini naslavljanja, celoštevilčna aritmetika). Tako bi bili študenti primorani veliko več časa in energije posvetiti spoznavanju programskega modela ter s tem posle-

dično manj časa dejanskim problemom kodiranja algoritmov in kompleksnejših nalog. V ta namen smo se odločili tudi za obravnavo 8-bitnega mikrokrmilnika nizkega cenovnega razreda, z eno-čipno izvedbo, s čim preprostejšim programskim modelom in kvalitetnimi ter dostopnimi programskimi orodji. Tudi pri tem so na izbiro vplivale izkušnje in oprema iz raziskovalnega dela, tako da smo se pred leti odločili za mikrokrmilnik PIC16F84 [1] proizvajalca Microchip ter ga v zadnjem letu nadomestili z novejšo in zmogljivejšo različico PIC16F876 [5].

V nadaljevanju bosta opisana mikrokrmilniška sistema, ki ju uporabljamo za izvajanje nalog, namenjenih elementarnemu in projektne delu v okviru laboratorijskih vaj.

2 Mikrokrmilniški modul MPU-PIC16F876

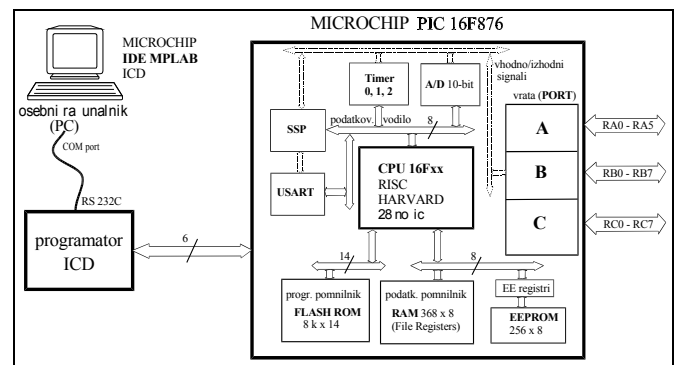
Zaradi določenih težav s prvotno verzijo MPU-PIC16F84 [1-4] (ne dovolj zanesljiva komunikacija programatorja na LPT vrata PC-ja, majhno število vhodov/izhodov, nezdržljivost "prenosa navzdol" z MPLAB-om) smo se odločili za izvedbo z zmogljivejšim mikrokrmilnikom srednje kategorije PIC16F876 (blokova zgradba ciljnega sistema je na sliki 1), ki je programsko povsem združljiv s predhodnikom, ima pa precej bogatejši nabor vhodno/izhodnih vmesnikov in omogoča tako "programiranje v vezju" (*ICSP* - In Circuit Serial Programming), kot tudi razhroščanje s pomočjo dodatnega *ICD* modula (angl.: In Circuit Debugger ali preizkušanje/programiranje v vezju), ki je preko zaporednega (RS 232C vmesnika) priključen na PC in združljiv z MPLAB programirnim okoljem.

Čeprav je na razpolago (licenčni) C-prevajalnik, je ta mikrokrmilnik smiselno programirati predvsem v zbirnem jeziku. Programski model obsega vsega 35 ukazov tipa RISC in le dva preprosta načina naslavljanja, registrska struktura pa obsega en sam 8-bitni register (W) ter 368 splošnih in okrog 50 namenskih datotečnih registrov (RAM celice in namenski registri enot mikrokrmilnika). Kapaciteta 14-bitnega programskega pomnilnika je 8196 besed, kar

omogoča kodiranje tudi nekoliko obsežnejših programov, saj so vsi ukazi eno-besedni in tudi čas izvajanja je po 1 μ s (pri 4 MHz taktu) oz. 0,2 μ s (pri največjem možnem taktu 20 MHz) za večino ukazov. Vsebovan je tudi EEPROM pomnilnik kapacitete 256 zlogov, ki je namenjen za permanentno hranjenje različnih parametrov in podatkov, ki se naj ohranijo tudi ob izklopu napajanja.

Sam mikrokrmilnik PIC16F876 (slika 1) v DIP ali SMD ohišju z 28 nožicami vsebuje samo 22 vhodno/izhodnih signalnih linij [5], zato smo na kartici izvedli dostop do naslednjih vhodno/izhodnih vmesnikov in perifernih enot [6]:

- digitalni (logični, preklopni) vhodi s tipkali
- digitalni O.C. (odprt kolektor) izhodi z LED indikatorji in relejem z izmeničnim kontaktom
- LED (7-segmentni) prikazovalniki
- 10-bitni A/D pretvornik s pet-kanalnim multipleksom
- trije 8- oz. 16-bitni časovniki/števc
- vmesnik za priključek LCD prikazovalnika (2 vrstici po 16 znakov).

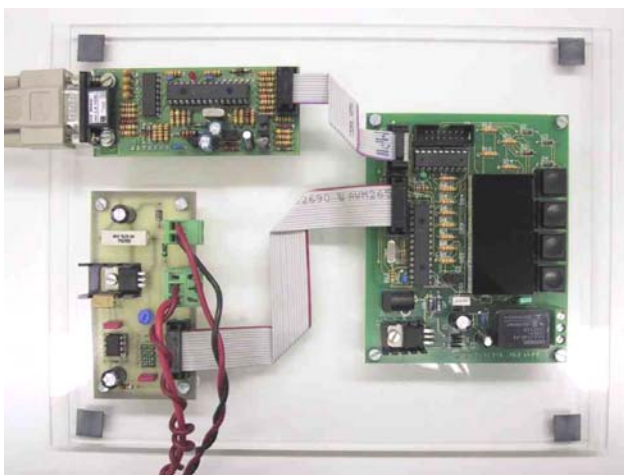


Slika 1: Poenostavljena zgradba mikrokrmilnika PIC 16F876 in povezava z razvojnim okoljem

Razen navedenih vhodno-izhodnih vmesnikov vsebuje obravnavani mikrokrmilnik še naslednje pomembnejše enote:

- sinhrona serijska vrata (SSP) z možnostjo delovanja v SPI in I2C načinih
- univerzalni serijski asinhroni sprejemnik/oddajnik (USART/SCI)
- časovni stražnik (WDT - Watchdog Timer) z neodvisnim RC oscilatorjem

Na sliki 2 je prikazan ciljni sistem MPU, ki vsebuje 20 MHz mikrokrmilnik PIC16F876 v povezavi z *ICD* modulom Microchip, ki omogoča tako kontrolirano izvajanje (razhroščanje) programa pod nadzorom *MPLAB*-a kot tudi *ICSP* postopek programiranja programskega pomnilnika FLASH ROM, ki je vsebovan v mikrokrmilniku. *ICD* modul, ki (mimogrede) vsebuje enak tip mikrokrmilnika, je preko 6-žilnega kabla povezan na *MPU* modul, na drugi strani pa na zaporedna vrata (COM port) razvojnega računalnika, kjer je mogoče v *MPLAB IDE* programirnem okolju tako simulacijsko izvajanje programa kot tudi izvajanje programa v ciljnem mikrokrmilniku.



Slika 2: Fotografija *MPU* sistema z *ICD* modulom in aplikacijo za regulacijo temperature

Postopek preizkušanja programa se prične (seveda po uspešnem prevajanju/zbiranju izvorne kode v C-jeziku/zbirnem jeziku) s prenosom strojne kode navzdol ("download" ali *ICSP* programiranje FLASH ROM progr. pomnilnika in nadaljuje, bodisi po *ICD* načinu, bodisi kot klasično startanje programa z RESET-om. Med uporabniki je zelo priljubljen prav *ICD* način, ki omogoča kontrolirano izvajanje programa (po korakih ali do prekinitvene točke) ob sprotnem sledenju registrov, spremenljivk in statusov mikrokrmilnika. Seveda pa ta način zahteva del sredstev in sicer dve signalni liniji B-vrat, zadnjih 256 lokacij programskega pomnilnika in nekaj lokacij RAM pomnilnika. Pomanjkljivost je tudi v omejenem številu programiranj programskega FLASH ROM pomnilnika (po to-

varniških podatkih proizvajalca je zgornja meja 1000 ciklusov), kar pa zaenkrat še nismo zaznali kot problem. Iz tega razloga in tudi zaradi nevarnosti uničenja mikrokrmilnika preko katerega izmed direktno speljanih signalov na konektor, smo za ciljni *MPU* sistem izbrali različico v DIP ohišju ter dodali podnožje na tiskano vezje.

Ciljni *MPU* sistem je bil razvit v Laboratoriju za robotiko - skupina za programirane naprave. Za potrebe pedagoškega procesa smo razvili tudi poenostavljeno izvedbo *ICD* modula, ki omogoča *ICSP* programiranje mikrokrmilnika v ciljnem sistemu. Na sliki 2 je prikazan tudi aplikacijski modul, ki ga uporabljamo na vajah za merjenje temperature in segrevanje hladilnega telesa.

Zaradi kompleksnosti dograjenih vhodno/izhodnih vmesnikov smo se pri laboratorijskih vajah pri predmetu Mikroelektronika (VS program) omejili samo na pomembnejše vsebovane vmesnike (digitalni vhodi/izhodi, štirje LED številčni prikazovalniki in A/D pretvornik). Tako je programiranje nalog [6], kot so npr.: realizacija sekvenčnega vezja, hišni alarm, histerezna regulacija ter merjenje in prikaz temperature veliko preglednejše in enostavnejše. Kljub dovolj zmogljivim sredstvom mikrokrmilnika, ki omogočajo tudi učinkovito programiranje v C-jeziku, smo se odločili, da študentje rešujejo probleme v zbirnem jeziku (vsaj pri elementarnih nalogah), ker le-ta omogoča "pristnejši stik" med programsko kodo in fizičnim okoljem ter navaja študente na to, da se "vživijo" v delovanje računalnika na nivoju bitov, zlogov in naslovov.

3 DSP krmilnik TMS320LF2407

Podjetje Texas Instruments je vodilni svetovni proizvajalec digitalnih signalnih procesorjev (DSP). Razen zelo zmogljivih signalnih procesorjev z realno aritmetiko (C3X, C6X), izdelujejo tudi DSP krmilnike, ki vsebujejo (v čipu) ob 16/32-bitni celoštevilčni procesni enoti tudi množico vhodno/izhodnih, komunikacijskih vmesnikov in pomnilniških elementov. Družini Texas Instruments DSP

krmilnikov C24X in C28X vsebujeta množico bolj ali manj kompleksnih elementov, ki so bili prvotno namenjeni za aplikacije vodenja motorjev (Motor Control), kasneje so pa našli uporabo v mnogih industrijskih napravah (npr. napajalniki s korekcijo faktorja moči, tiskalniki).

Že od leta 1996 smo vključeni v evropski univerzitetni program [8] (European University Programme Texas Instruments), na osnovi katerega prejemo donacije v obliki učnih kompletov z najnovejšimi procesorji, programska orodja, vzorce integriranih vezij in tehnično pomoč za potrebe raziskovalnega in pedagoškega dela. Tako smo v preteklem letu prejeli *eZdsp* komplete (DSK kit) – kartice na osnovi zelo popularnih DSP krmilnikov iz družine C240, in sicer TMS320LF2407 [11]. Namenili smo jih posodobitvi laboratorijskih vaj pri predmetu Procesni sistemi vodenja (4. letnik UNI Avtomatika), kasneje tudi pri predmetih na VS programu.

Osrednji element kartice (slika 3) *eZdsp* je DSP krmilnik TMS320LF2407, katerega bistvene lastnosti so:

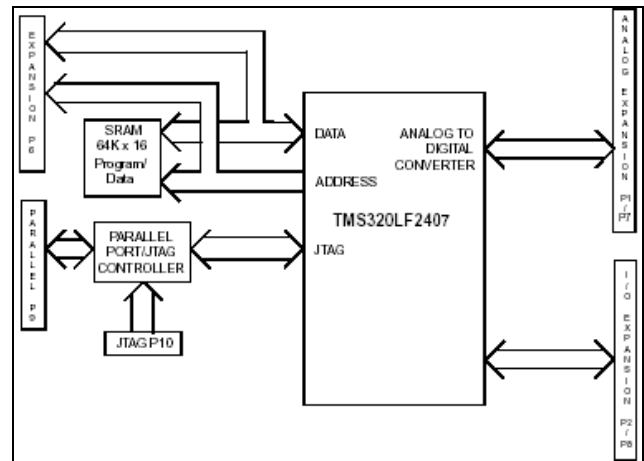
- 3.3 V jedro, 16-bitni celoštevilčni procesor TMS320LF2407 [11]
- 2 kW RAM, 544 W "Dual port" RAM
- 64 kW RAM na kartici
- 32 kW FLASH ROM
- 5V napajanje /200mA
- 3 razširitveni priključki (analog, I/O, "expansion")
- IEEE 1149.1 JTAG vmesnik

Kartica ima množico priključkov, ločenih po funkcionalnih modulih, preko katerih je mogoče dostopati do posameznih sklopov *DSP* kartice kot npr.:

- 16 x 10-bitnih analognih vhodov (0-3V), 375 ns čas pretvorbe, multipleksirani vhodi
- 2 x 16-bit PWM timer
- 8 x 16-bitni PWM, ki omogočajo
 - 3-fazni "inverter" krmilnik
 - 2 x ID vmesnik QEP1, QEP2 na GP2/4
 - 3-fazni modulator (PWM1,2,3,4,5,6)
- CAN 2.0b vmesnik za področno vodilo
- SCI - serijski komunikacijski vmesnik

- SPI – serijski periferni vmesnik

Za lažji in "varen" dostop do signalov vhodno/izhodnih vmesnikov na *eZdsp* kartici [9] smo dogradili še vmesniško kartico (slika 5), na kateri so gonilniki, zaščitna vezja, LED indikatorji in tipkala, kar omogoča selektiven dostop do posameznih preklonnih, analognih in komunikacijskih vhodov/izhodov.



Slika 3: Blokovna shema kartice *eZdsp* 2407

Razpoložljiva programska oprema sestoji iz integriranega programirnega okolja (*Code Composer IDE* proizvajalca Texas Instruments), ki temelji na ANSI C programskem jeziku, in iz grafičnega programirnega okolja *VisSim* [10]. Slednji omogoča (podobno kot *MathWorks Matlab/Simulink* paket z *Real Time Workshop* orodjarno) načrtovanje aplikacije v grafični obliki, simulacijo na delovni postaji oz. PC-ju, avtomatsko generiranje programske kode v C-jeziku za ciljni sistem in izvajanje programov v realnem času na ciljnem *eZdsp* kompletu.

Osnova je programiranje v C jeziku, pri čemer se uporabljajo priložena programska orodja *Code Composer DSK*. Orodja tečejo v MS Windows okolju; *eZdsp* kartica je povezana na PC preko vzporednih (LPT) vrat. Razen urejanja izvornih programov, prevajanja, prenosa v pomnilnik ciljnega sistema, je možno tudi kontrolirano izvajanje (sledenje, kontrola spremenljivk, prekinitvene točke,...) na nivoju C-izvirne kode.

Študentje, ki se pri vajah prvič srečajo z *DSP* krmilnikom, opravijo najprej nekaj elementarnih nalog v C programskem jeziku, kot so: bitne

(logične) operacije, čitanje stanja logičnih vhodov in krmiljenje izhodov, prekinitve, pulzno-širinska modulacija, zajemanje signalov na analognih vhodih. Kasneje nadaljujejo na kompleksnejši nalogi, npr.: izvedba digitalnega filtra.

4 Zaključek

Osnovni namen vaj je, da ima vsak študent v laboratoriju svoj MPU oz. DSP sistem s programskimi orodji na PC-ju, vso razpoložljivo literaturo (večina je dostopna na CD ROM-ih in na spletnih straneh proizvajalcev, pa seveda tudi na naši domači strani) in da čim bolj samostojno rešuje zadano nalogo. Vse vaje so tako zasnovane, da zahtevajo programsko uporabo analognih in digitalnih vmesnikov, kar je mogoče sprti spremljati kot električne signale z osciloskopi, digitalnimi multimetri, ali pa kar programsko izpisovati na zaslon PC-ja oziroma na LED in LCD prikazovalnike. Tako dobi študent občutek za povezavo med električnimi veličinami, časovnimi intervali in biti oziroma števili ter programsko kodo. Navodila za vaje in literatura pri posameznih predmetih so na razpolago na ustreznih spletnih straneh predmetov: <http://www.ro.feri.uni-mb.si/izobrazevanje/>. Na tem mestu so tudi sheme in načrti MPU ciljnega sistema, priročniki mikro- in DSP krmilnikov, primeri programov, nabor rešenih nalog, povezave na podobna spletna mesta, idr..

Med študenti so zelo popularni prav mikrokmilniki Microchip PIC družine 16F87x predvsem zaradi dostopnosti (razmeroma nizka cena čipa, zelo majhna potreba po dodatnih komponentah) in tudi zaradi kvalitetnih programskih orodij, ki so z izjemo C-prevajalnika brezplačno dostopna na svetovnem spletu oziroma na CD-ROM-h proizvajalca.

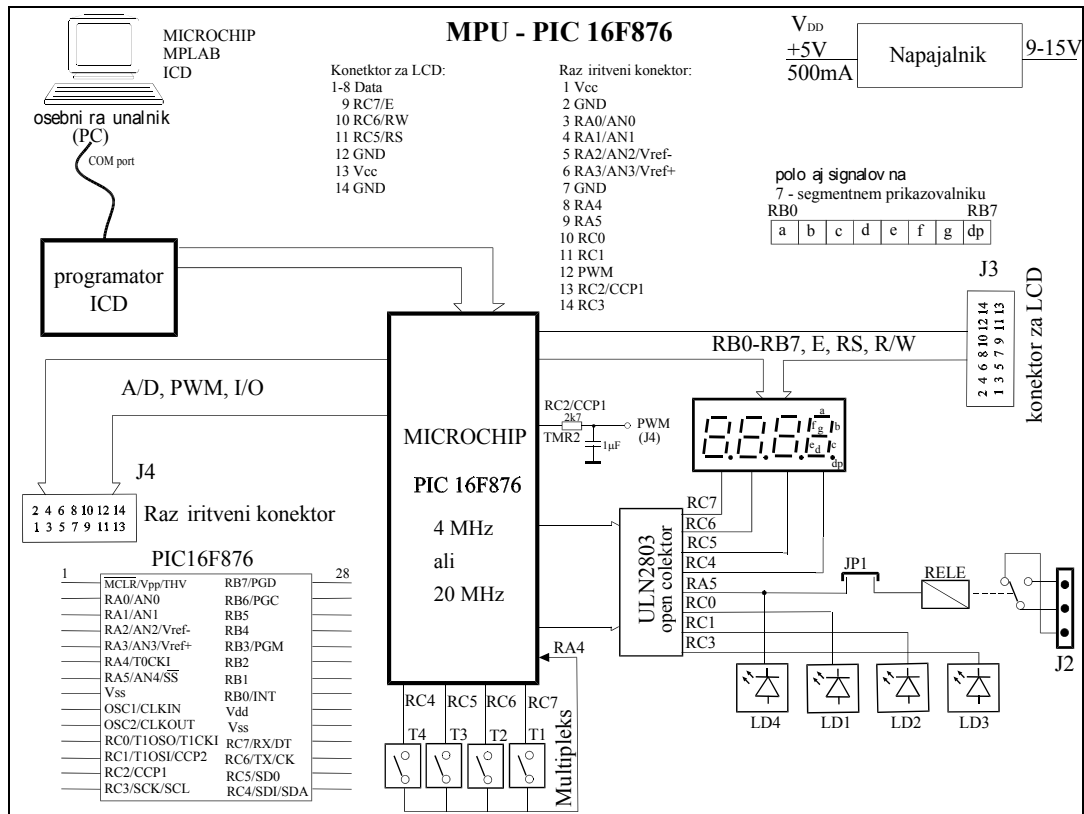
DSP krmilniki so namenjeni zahtevnejšim aplikacijam kot jih npr.: izvajamo s PIC mikrokmilniki, vendar so kljub temu zelo primerni za pedagoško delo, ker so dobro podprti z zgledi rešenih nalog in obsežnimi

opisi, na voljo so odlična programska orodja (brezplačna za akademsko rabo), razen tega pa se množično uporabljajo v pedagoškem in raziskovalnem delu v laboratorijih univerz po vsem svetu.

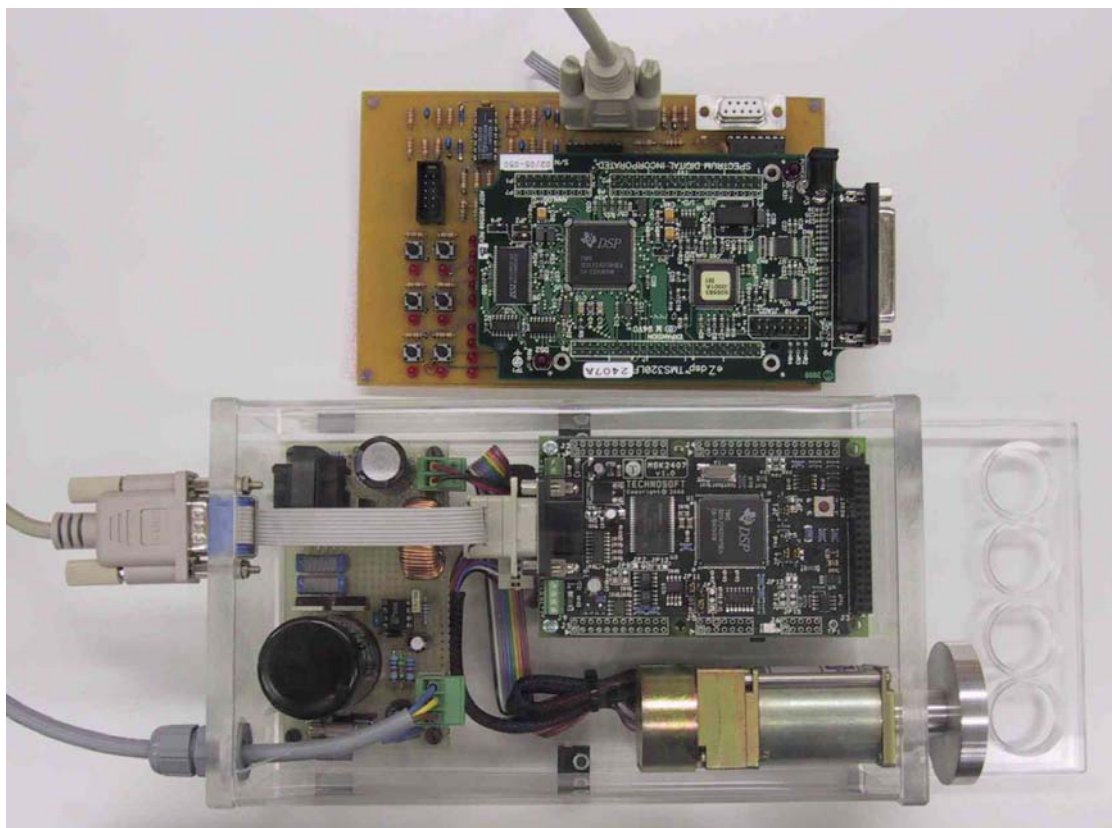
Ob uporabi Texas Instruments DSP krmilnikov v pedagoškem procesu na smereh Avtomatika in Mehatronika imajo študentje možnost spoznati sodoben in v svetu izjemno razširjen DSP sistem, ga programirati v C-jeziku (*Code Composer IDE*) in/ali v grafičnem programirnem okolju (*VisSim, Matlab/Simulink Real Time Workshop*) ter se tako pripraviti na kompleksnejše aplikacije pri drugih predmetih, seminarjih in diplomskih nalogah (obdelava signalov, regulacije motorjev, napajalniki s korekcijo faktorja moči, servosistemi, podatkovne komunikacije, ...).

5 Literatura

- [1] Microchip, PIC16F8X 18-pin Flash/EEPROM 8-bit Microcontrollers Data Book, 1997,
- [2] J. Pogorelc, M. Globevnik, E. Urlep. Izkušnje pri uvajanju mikrokmilnikov v pedagoški proces, Portorož, ERK'98
- [3] M. Globevnik, J. Pogorelc, Mikrokmilnik: le del celotne naprave, Portorož, ERK'98
- [4] J. Pogorelc, Učni mikrokmilniški modul za študij mikroprocesorskih vgrajenih sistemov, Portorož, ERK'99
- [5] Microchip, PIC16F87X 28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers, <http://www.microchip.com/>
- [6] Učno gradivo za UNI in VS študijski program, <http://www.ro.feri.uni-mb.si/izobrazevanje/>
- [7] J. Pogorelc, Mikrokmilnik - osnovni gradnik vgrajenih sistemov, Svet elektronike, št. 79, september 2001
- [8] Texas Instruments University Programme: <http://www.ti.com/europe/docs/univ/docs/main.htm>
- [9] Opis DSK kompleta Spectrum Digital eZdsp: <http://www.spectrumdigital.com/products/701119.asp>
- [10] VisSim Embedded Controls Developer for TI C2000: <http://www.vissim.com/index.htm>
- [11] Priročnik DSP TMS320LF2407 Texas Instruments: <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/tms320lf2407a.html>



Slika 4: Blokovna shema MPU-PIC16F876 modula



Slika 5: Fotografija eZdsp2407 kompleta, pritrjenega na kartici z dostopnimi vhodno/izhodnimi vmesniki (zgoraj) in aplikacija regulacije vrtljajev "Brushless" motorja (spodaj)