

V TOMTO SEŠITĚ

Z dějin vědy a techniky 1

PŘEHLED A POPIS NEJPOUŽÍVANĚJŠÍCH MIKROKONTROLÉRŮ (dokončení z KE 1/2003)

4. Microchip 3

Vývojové prostředky pro mikrokontroléry 16

Současné trendy ve vývoji mikrokontrolérů 20

Závěr 28

Literatura 28

OHÝBAČKA PLECHU 29

ZAJÍMAVÁ A PRAKTICKÁ ZAPOJENÍ

Napájecí zdroje 33

Měřicí technika 35

PRAHEX '03 40

KONSTRUKČNÍ ELEKTRONIKA A RADIO

Vydavatel: AMARO spol. s r. o.

Redakce: Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel.: 2 57 31 73 11, tel./fax: 2 57 31 73 10.

Šéfredaktor ing. Josef Kellner, sekretářka redakce Eva Kelárková, tel. 2 57 31 73 14.

Ročně vychází 6 čísel. Cena výtisku 36 Kč.

Rozšiřuje PNS a. s., Transpress spol. s r. o., Mediaprint & Kapa a soukromí distributoři.

Předplatné v ČR zajišťuje Amaro spol. s r. o. - Michaela Jiráčková, Hana Merglová (Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel./fax: 2 57 31 73 13, 2 57 31 73 12. Distribuci pro předplatitele také provádí v zastoupení vydavatele společnost Media-servis s. r. o., Abocentrum, Moravské náměstí 12D, P. O. BOX 351, 659 51 Brno, tel: 5 4123 3232; fax: 5 4161 6160; abocentrum@mediaservis.cz; reklamační - tel.: 800-171 181.

Objednávky a předplatné v Slovenskej republike vybavuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., Teslova 12, P. O. BOX 169, 830 00 Bratislava 3, tel./fax: (02) 44 45 45 59, (02) 44 45 06 97 - předplatné, (02) 44 45 46 28 - administrativní, email: magnet@press.sk

Podávání novinových zásilek povoleno Českou poštou - ředitelstvím OZ Praha (č.j. nov 6005/96 ze dne 9. 1. 1996).

Inzerce v ČR přijímá redakce, Radlická 2, 150 00 Praha 5, tel.: 2 57 31 73 11, tel./fax: 2 57 31 73 10.

Inzerce v SR vyřizuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., Teslova 12, 821 02 Bratislava, tel./fax: (02) 44 45 06 93.

Za původnost a správnost příspěvků odpovídá autor (platí i pro inzerci). Nevyžádané rukopisy nevracíme.

<http://www.aradio.cz>; E-mail: pe@aradio.cz

ISSN 1211-3557, MKČR 7443

© AMARO spol. s r. o.

Z dějin vědy a techniky

Historie elektřiny a magnetizmu

Jean Baptiste Joseph Fourier

Narodil se 21. 3. 1768 v početné rodině (celkem 12 dětí) krejčího v Auxerre ve Francii. V deseti letech se stal úplným sirotkem, když jeho matka i otec zemřeli krátce po sobě. V Palais nastoupil do církevní školy, kde studoval s velmi dobrým prospěchem a v roce 1780 nastoupil na královskou vojenskou školu v Auxerre.

Již ve 13 letech se začal zajímat o matematiku a o rok později měl již dokonale nastudováno obsáhlé šestisvazkové dílo, obsahující celou tehdy známou matematiku „Cours de mathématique“. V roce 1787 vstoupil do semináře řádu Benediktýnů s úmyslem stát se knězem.

Ovšem vědecké bádání měl v krvi, a tak si dopisoval s jedním z profesorů matematiky v Auxerre, který jej zvíklal v jeho rozhodnutí stát se kazatelem. Napsal svou zajímavou práci o algebře a za dva roky odešel ze semináře, aniž by složil církevní slib, do Paříže, kde dále studoval na Académie Royale des Sciences hlavně teorii algebraických rovnic. V roce 1790 začal učit na semináři, kde sám dříve studoval.

Byl velkým příznivcem idejí rovnosti a svobody Francouzské revoluce a zapojil se aktivně do práce v jednom z Revolučních výborů. Na druhé straně byl ovšem pobouřen terorem, který se tehdy rozpoutal, a po čase chtěl z výboru odejít, což by jej však zřejmě stálo život. V tehdejší době plně zmatků byl za své projevy v Orléans na jedné straně vychvalován, na druhé však byl osočován a po návratu do Auxerre byl uvězněn. Nechybělo mnoho, aby byl popraven. Díky dalším politickým zvratům však byl propuštěn.

Znovu se pak vydal do Paříže a od ledna 1795 navštěvoval školu, která měla sloužit k výuce učitelů. Tam se setkával s dalšími významnými matematiky, jako byl Lagrange, Laplace, Monge a další. Pak začal sám vyučovat na Collège de France a pokračoval ve svém matematickém bádání. Pak přešel na školu, která byla později známa jako Ecole Polytechnique - jenže došlo k dalšímu politickému zvratu, byl opět zatčen a uvězněn. Po dalších peripetiích se dokonce zúčastnil Napoleonova tažení do Egypta, kde měl Fourier za úkol ustavit politickou správu, zakládat vzdělávací zařízení a organizovat archeologické výpravy. V Káhiře Fouri-

er zakládal spolu s dalšími Káhírský institut a byl jedním ze členů jeho matematického oddělení. Byl jmenován tajemníkem Institutu a tuto funkci měl po celou dobu francouzské okupace Egypta. Pomáhal organizovat vědecké a literární sbírky.

Fourier se vrátil do Francie až v roce 1801 a chtěl dále působit na svém místě profesora matematiky na École Polytechnique, ale Napoleon Bonaparte mu to překazil. Napsal mu, že prefekt departementu Isère zemřel a proto si přeje, aby převzal jeho místo. Místo systematické vědecké práce stavěl silnice v okolí Grenoblu, vysušoval bažiny, ale i přesto si našel čas na rozpracování matematické teorie tepla. Tato teorie byla v roce 1807 přednesena v Pařížském institutu a způsobila značné spory mezi tehdejšími vědci. Dnes je ovšem plně uznávána.

Jedním z důvodů, které uváděli, bylo zvláštní vyjádření konečné funkce nekonečnou trigonometrickou řadou, kterou dnes známe jako Fourierova řada. Toto vyjádření má dnes ohromný význam při řešení elektrotechnických výpočtů. Jinou - ovšem spíše osobní námitku - vnesl další významný matematik Biot proto, že se Fourier nezmínil o jeho práci při odvozování rovnice přenosu tepla. Přesto však Fourier za tuto práci obdržel v roce 1811 zvláštní cenu Institutu. Pak nastalo další „politické“ období Fouriera, kdy přísahal věrnost králi, ale současně jej Napoleon jmenoval prefektem. Toto období kolísání bylo ukončeno definitivní porážkou Napoleona a Fourier se bez prostředků vrátil do Paříže a v roce 1817 byl přijat za člena Académie des Sciences.

Následná léta se plně věnoval vědecké práci. Publikoval práce věnované nejen matematice, ale i mechanice. Největší význam však mají jeho práce o trigonometrických řadách, tzv. Fourierova analýza, a teorie funkcí reálné proměnné. Zemřel 16. května 1830 v Paříži při kuriosní nehodě - když oнемocněl, poradil mu někdo, aby se zabílal do bylinek. Textilie, která je přidržovala na jeho těle, jej omezovala v pohybu, takže spadl se schodů a zabil se.

Podle materiálů The MacTutor History of Mathematics Archive, Turnbull University of St Andrews.

Jean Baptiste Biot

J. B. Biot se narodil 21. dubna 1774 v Paříži. Studoval na koleji Louis-le-



Titulní list Biotovy knihy *Lehrbuch der experimental Physik*, vydané v Lipsku roku 1828

grand v Paříži a po absolvování v roce 1793 vstoupil do armády. Pak se stal žákem na polytechnické škole. V té době tam vypuklo povstání royalistů proti přívržencům Konventu a Biot se ho zúčastnil. Byl zajat a uvržen do vězení. Zachránil jej profesor Monge, který rozpoznal jeho neobyčejný talent a přičinil se o jeho propuštění. Nebýt jeho, tak se mohla Biotova kariéra předčasně a navždy ukončit.

V roce 1797 se stal profesorem matematiky na hlavní škole v Beauvais. O tři roky později byl jmenován na přímluvu samotného Laplacea profesorem fyzikální matematiky na významné francouzské koleji a za další tři roky členem Francouzské akademie věd.



Gay-Lussacův výzkumný let balonem. Těchto letů se účastnil i J. B. Biot

Spolu s J. L. Gay-Lussacem podnikal vědecké lety horkovzdušným balonem do velkých výšek, aby tam studovali jednak složení atmosféry, jednak pozorovali zemské magnetické pole. Zjistili tak, že se magnetické pole pozorovatelně nemění s výškou - jejich balon vysočil až do výše 7 km!

Později odejel do Španělska, kde spolupracoval se známým fyzikem D. F. J. Aragem na výzkumu lomu světla v plynech a počítali zaoblení rovníku. V roce 1809 byl jmenován profesorem fyzikální astronomie na fakultě věd. Biot se věnoval široké škále matematických problémů, hlavně v různých oborech aplikované matematiky. Získal velké znalosti o astronomii, elasticitě, elektřině a magnetizmu, teple a o optice, a také v čisté matematice a geometrii. Spolu se Savartem objevili, že intenzita magnetického pole vyvolaná proudem protékajícím vodičem závisí na vzdálenosti od vodiče. Dnes tuto poučku známe jako Biot-Savartův zákon, což je základní poznatek teoretické elektrotechniky. Podle tohoto zákona, pokud známe rozložení elektrických proudů, můžeme vypočítat magnetické pole. Jeho matematickou formulaci odvodil Laplace.

Dalšími Biotovými významnými objevy jsou polarizace světla procházejícího chemickými roztoky, za což získal Rumfordovu medaili Královské akademie v Londýně, a zajímavá literární práce z roku 1827 - *Memoire sur la figure de la terre*, ve které popisuje tvar zeměkoule.

Měl dokonalou invenci k tomu, aby odhadl základní předpoklady ke zkoumání jevů, a k tomu výborné teoretické znalosti.

Biot zemřel 3. února 1862 v Paříži.

Rudolf Wolf

Rudolf Wolf se narodil 7. července 1816 ve Fallanden, blízko Zurichu. Od roku 1833 studoval na nově založené univerzitě v Zurichu fyziku a astronomii. Později si studia ještě doplňoval na univerzitách ve Vídni a v Berlíně. Po dokončení studií odešel přednášet matematiku a fyziku do Bernu a roku 1847 tam byl jmenován docentem matematiky a astronomie a ředitelem malé observatoře. V roce 1855 odešel zpět do Zurichu, kde byl jmenován profesorem astronomie na univerzitě a na polytechnické škole (reálce). V roce 1864 byl nakonec jmenován i ředitelem observatoře.

Jeho životním zájmem bylo studium Slunce a jevů na Slunci, kterému se věnoval od té doby, co tam v prosinci roku 1847 spatřil pozoruhodnou skupinu velkých skvrn. Od té doby pozoroval Slunce nepřetržitě 46 let. Objevil zákonitost jedenáctiletého slunečního cyklu zkoumáním zápisků astronomů, kteří žili a pracovali na observatoři v Bernu a Zurichu před ním, a definoval tzv. relativní číslo slunečních skvrn, pojem, který se používá dodnes, a je na jeho po-

Sluneční fotosféra na Internetu

Nejčerstvější kresby sluneční fotosféry se zakreslenými skvrnami z observatoře v Catanii naleznete na: <http://web.ct.astro.it/sun/draw.jpg>, resp. na:

<http://web.ct.astro.it/sun/>.

Další a atraktivnější obrázky (s více skvrnami z posledního maxima) najdete na:

<ftp://ftp.ct.astro.it/Sole02/>.

Jak se skvny vyvíjejí, je hezky znázorněno na:

<http://www.digilife.be/club/Franky.Dubois/blom4.jpg>

OK1HH

čest jeho jménem pojmenován. Později rekonstruoval toto číslo zpětně na jednotlivá léta až do roku 1745 a pokusil se o to dokonce až do roku 1610, ovšem vzhledem k ne zcela přesným podkladům se v tomto období jedná jen o přibližné údaje.

Byl prvním, kdo upozornil na možnost ještě dalších period o délce nejméně 55 let, ovlivňujících počet slunečních skvrn. Spolu asi se čtyřmi dalšími vědci přišli na vzájemnou korelaci mezi slunečními cykly a geomagnetickou aktivitou země. Monitorování slunečního čísla na observatoři v Zurichu přetrvávalo až do roku 1979, kdy byla tato činnost předána do Bruselu.

Wolf byl mimo aktivit jako profesor také literárně činný. V roce 1852 vydal příručku matematiky, fyziky, geodézie a astronomie, později spolupracoval na biografii osobností, které ovlivňovaly vědecký a kulturní život Švýcarska, a vydal další dvě knihy zabývající se matematikou a astronomií, které byly velmi populární ještě i v minulém století.

V roce 1861 položil základy Švýcarské meteorologické komise a zasloužil se velmi o její dobré informace o počasí. Byl též prezidentem geodetické komise Švýcarska a dohlížel na zjištění přesné nivelety švýcarského území a v knize „Dějiny vyměřování ve Švýcarsku“ popsal vývoj kartografie a geodetických prací ve Švýcarsku. Až do své smrti pracoval i ve vedení polytechnické knihovny.

Zemřel v Zurichu 6. prosince 1893.

Literatura

- [1] *Struik, D.*: Dějiny matematiky. Orbis, Praha 1963.
- [2] *Biot, J. B.*: Lehrbuch der experimental Physik. Leipzig 1828.
- [3] *Svoboda, E.*: Přehled středoškolské fyziky. Prometheus, Praha 2001.
- [4] *Daneš, J.*: Amatérská radiotechnika a elektronika 1. NAŠE VOJSKO, Praha 1984.

QX

PŘEHLED A POPIS NEJPOUŽÍVANĚJŠÍCH MIKROKONTROLÉRŮ 2

Ing. Jiří Kopelent

(Dokončení z KE č. 1/2003)

4. Microchip

Na začátku devadesátých let minulého století začala pronikat firma Microchip svými mikrokontroléry do podvědomí konstruktérů. Svoji řadu pojmenovala PIC®, což je zkratka odvozená ze slov „Peripheral Interface Controller“. Tyto mikrokontroléry měly (a mají) svoji osobitou instrukční sadu. Zpočátku tato řada neměla mnoho členů, ale časem se počet typů rozrostl do úctyhodných rozměrů, neboť firma, povzbuzena kladným ohlasem uživatelů, začala nabízet nové a nové varianty.

Specifickým rysem mikrokontrolérů PIC je to, že jeden typ mikrokontroléru je nabízen v několika pouzdrech s jen malými obměnami hw, často se liší pouze ve velikostech implementovaných pamětí. To dává konstruktérovi možnost použít vždy vhodný typ pro daný účel.

V současné době je možné široké spektrum mikrokontrolérů PIC® rozdělit do tří hlavních skupin, které jsou charakterizované šířkou instrukčního slova:

- Základní řada, tzv. „Base-line“, která má dvanáctibitové instrukční slovo.
- Střední řada, tzv. „Mid-Range“, která má čtrnáctibitové instrukční slovo.
- Nejvyšší řada, tzv. „High-End“, která má šestnáctibitové instrukční slovo.

Velmi sympatickým rysem jednotlivých řad je fakt, že mikrokontroléry jednotlivých skupin mají shodné periferie. Nechci tím říci, že mikrokontroléry mají stejný počet a typ periférií, ale to, že např. Timer0 jednoho typu mikrokontroléru je shodný s Timer0 druhého typu mikrokontroléru ze stejné skupiny. I když se to nezdá, je to velká výhoda. Programátor se nemusí dlouze učit jednotlivé periferie různých mikrokontrolérů a hlavně, přechod od jednoho typu mikrokontroléru k druhému ze stejné skupiny je daleko méně náročný než u jiných mikrokontrolérů či mikroprocesorů jiných výrobců.

Co však se bude muset programátor naučit, je instrukční soubor mikrokontrolérů. Sympatické je, že překladač

jazyka symbolických adres disponuje mnoha předdefinovanými „makroinstrukcemi“, které suplují neexistující instrukce. Tento postup je vhodný zejména pro začínající programátory, které by například nepřítomnost podmíněných skoků mohla zmást.

Stejně jako u periférií, tady ale ještě ve větším měřítku, je zachována kompatibilita instrukčního souboru i při přechodu k vyšším mikrokontrolérům, tj., že vyšší řada mikrokontrolérů „umí“ to, co nižší, plus „něco“ navíc.

Kromě uvedených tří řad mikrokontrolérů, uvede firma Microchip v nejbližší době na trh řadu mikrokontrolérů nazvaných dsPIC. Tyto mikrokontroléry již postrádají některé typické charakteristiky předchozích třech řad, takže již nelze o nich hovořit jako o čtvrté řadě.

Tyto mikrokontroléry v sobě spojují univerzálnost klasických univerzálních mikrokontrolérů s prvky charakteristickými pro DSP procesory. Kombinací obou „světů“ vzniká nová součástka, který si zcela jistě najde své místo na slunci, neboť vyplňuje výkonnostní mezeru mezi univerzálními mikrokontroléry a DSP procesory. Základní charakteristiky nové řady mikrokontrolérů budou uvedeny na konci této kapitoly.

Nyní si pojdme představit vybrané zástupce jednotlivých řad. Protože je místo v časopise omezené, snažil jsem se vybrat mikrokontroléry, které jsou charakteristické pro danou řadu, a dále mikrokontroléry, které jsou perspektivní a které naznačují, kudy se bude ubírat rozvoj jednotlivých řad. Charakteristickým znakem je přechod od programové paměti typu EPROM k paměti typu FLASH.

Protože o PIC12C5xx, jakožto zástupci řady „Base-line“, bylo již v české literatuře zveřejněno mnoho informací, nebudu se popisem těchto mikrokontrolérů zabývat. Dalšími zástupci „Base-line“, alespoň podle názvu, jsou mikrokontroléry PIC12F629 a PIC12F675. Proč podle názvu? Protože svými parametry patří tyto mikrokontroléry spíše do skupiny „Mid-Range“, neboť šířka instrukčního slova je 14 bitů, mají implementován přerušova-

ci systém a mají větší hw zásobník návratových adres (8 úrovní). To jsou charakteristické rysy mikrokontrolérů řady „Mid-Range“.

Rozdíl mezi PIC12F629 a PIC12F675 není velký a spočívá v tom, že typ PIC12F629 nemá na čipu implementován A/D převodník. I když se jedná pouze o mikrokontrolér v osmivývodovém pouzdru, pojdme si ho představit, neboť jeho nízká cena a schopnosti vlastního mikrokontroléru jistě v mnoha případech rozhodnou o jeho nasazení do aplikací.

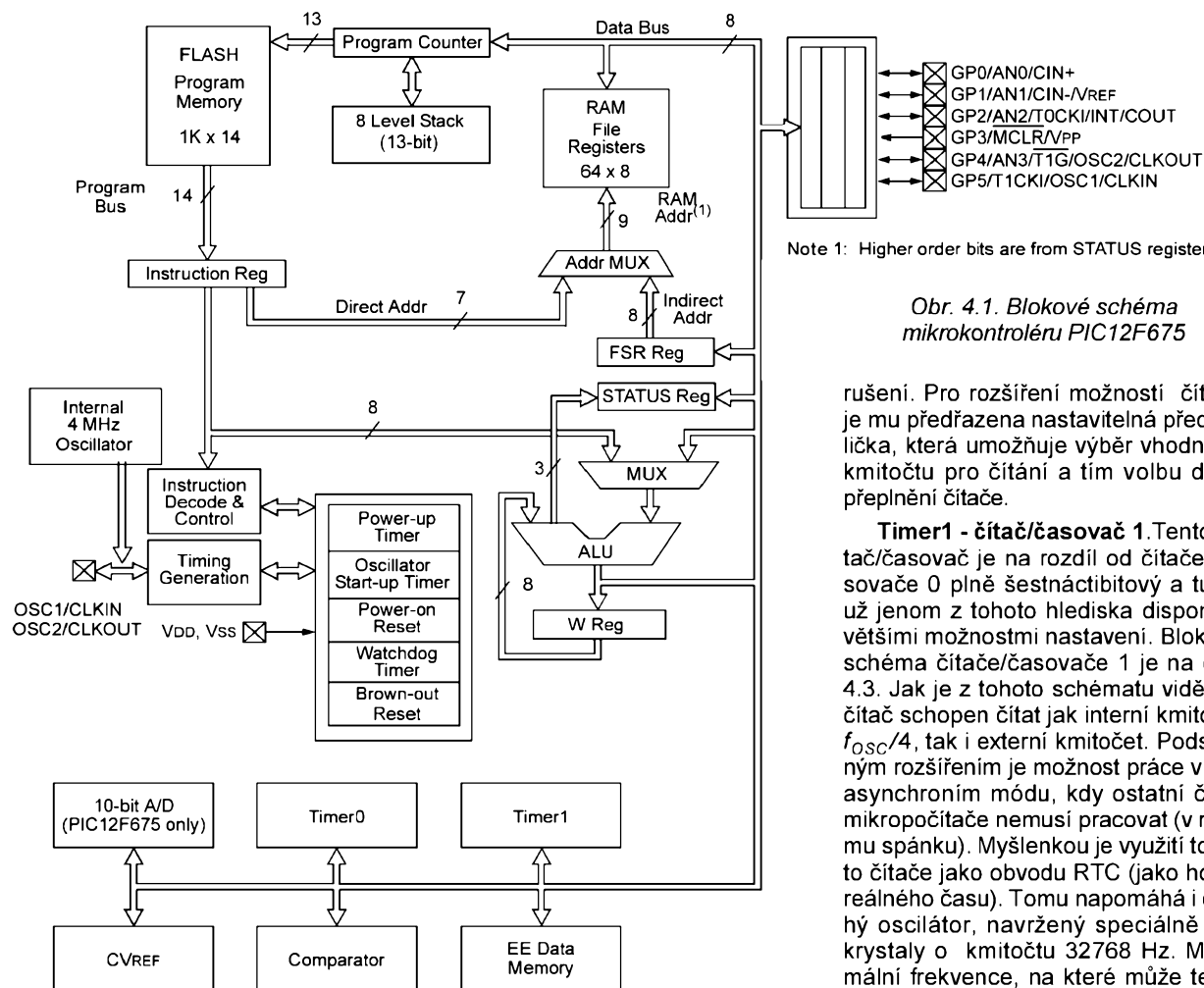
PIC12F675 (PIC12F629). I když patří tento mikrokontrolér spíše do vyšší řady, označením patří do tzv. „Base-Line“, a tak si ho představme jako zástupce této řady.

Blokové schéma mikrokontroléru je na obr. 4.1. Ze základních parametrů jmenujme paměť programu, která má velikost 1024x 14 bitů a je typu Flash, což jistě potěší každého konstruktéra. Datová paměť má velikost 64 byte a je doplněna pamětí EEPROM o velikosti 128 byte. Dále má mikrokontrolér implementován interní oscilátor o kmitočtu 4 MHz, se kterým v mnoha případech konstruktér vystačí. Použitím vnitřního oscilátoru se uvolní dva piny pro další použití, což u takto malého pouzdra je velmi vítané. Pokud však konstruktér potřebuje dosáhnout vyšší rychlosti zpracování programu, může být tento mikrokontrolér taktován řídicím kmitočtem až 20 MHz, což představuje špičkový výkon 5 MIPS.

Další periferie si pojdme představit trochu detailněji.

Timer 0 - čítač/časovač 0. Tento modul je obdobou čítače/časovače 0 v mikrokontroléru PIC16F84 s tím rozdílem, že čítač/časovač 0 v mikrokontroléru PIC12F675 může čítat i impulsy z interního obvodu watchdog. Blokové schéma tohoto modulu je na obr. 4.2.

Z blokového schématu je vidět, že předdělič čítače/časovače 0 lze využít též pro prodloužení periody obvodu watchdog. Jinak je čítač/časovač 0 pouhý osmibitový čítač čítající vzhůru. Při přeplnění je možné generovat pře-



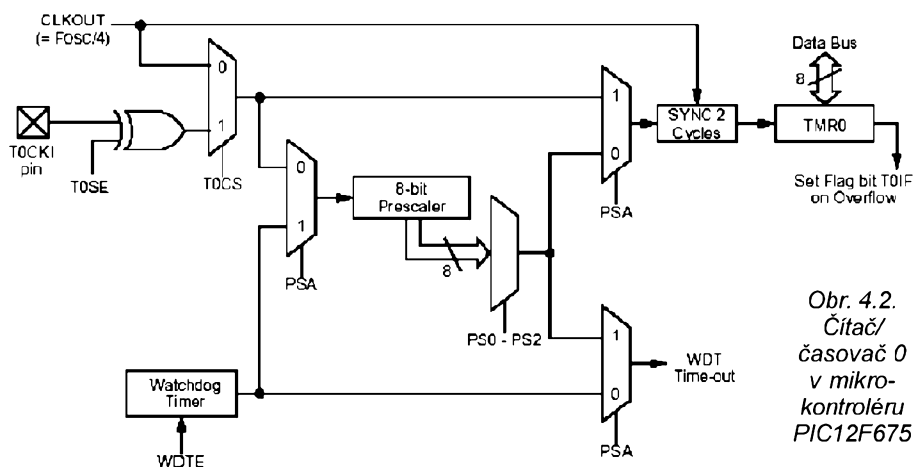
Obr. 4.1. Blokové schéma mikrokontroléru PIC12F675

rušení. Pro rozšíření možnosti čítače je mu předřazena nastavitelná předdělička, která umožňuje výběr vhodného kmitočtu pro čítání a tím volbu doby přeplnění čítače.

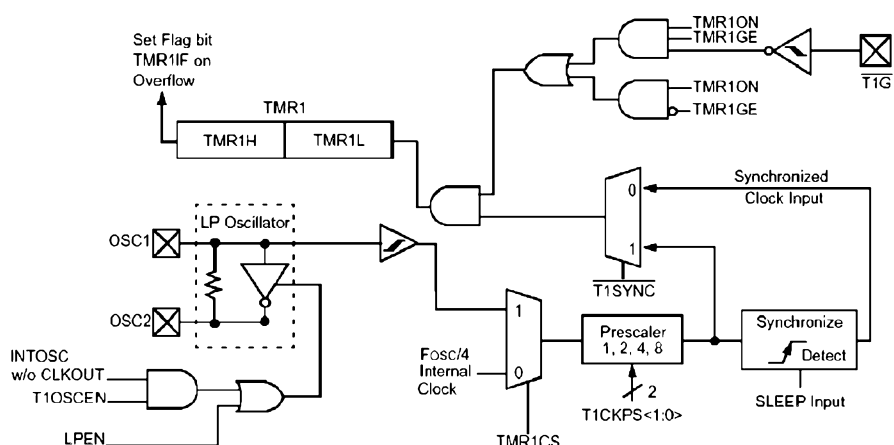
Timer1 - čítač/časovač 1. Tento čítač/časovač je na rozdíl od čítače/časovače 0 plně šestnáctibitový a tudíž už jenom z tohoto hlediska disponuje většími možnostmi nastavení. Blokové schéma čítače/časovače 1 je na obr. 4.3. Jak je z tohoto schématu vidět, je čítač schopen čítat jak interní kmitočet $f_{OSC}/4$, tak i externí kmitočet. Podstatným rozšířením je možnost práce v tzv. asynchroním módu, kdy ostatní části mikropočítače nemusí pracovat (v režimu spánku). Myšlenkou je využití tohoto čítače jako obvodu RTC (jako hodin reálného času). Tomu napomáhá i druhý oscilátor, navržený speciálně pro krystaly o kmitočtu 32768 Hz. Maximální frekvence, na které může tento oscilátor pracovat, je 200 kHz.

Comparator - napěťový komparátor. Napěťový komparátor je součástí, která má usnadnit styk mikrokontroléru s okolním „analogovým“ světem. Při použití komparátoru je nutné si dát pozor na vznik možných zákmitů, neboť vlastní komparátor není vybaven možností nastavit hysterezi. Vznik zákmitů je zobrazen na obr. 4.4. Jinak disponuje tento modul možnostmi nastavit komparátor do celkem osmi možných konfigurací. Jako referenční napětí pro komparátor lze použít i referenční napětí z interního modulu, který dokáže poskytnout celkem 32 úrovní napětí v rozmezí 0 V až V_{CC} . Blokové schéma zdroje referenčních napětí je na obr. 4.5. Při jeho používání je nutno pamatovat na to, že se jedná o velmi jednoduchý zdroj referenčních napětí (odporový dělič), který odvozuje referenční napětí z napájecího napětí, takže stabilita referenčního napětí odpovídá stabilitě napájecího napětí.

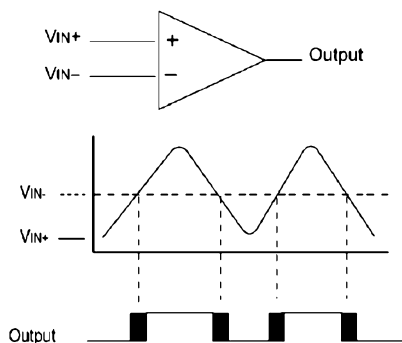
A/D convertor - Analogově digitální převodník. Tento modul je součástí, která dělá mikrokontrolér tak zajímavý pro konstruktéry. Jedná se o desetibitový A/D převodník, založený na metodě postupné aproximace. Blokové schéma převodníku je na obr. 4.6. Na schématu je vidět, že vlastnímu A/D převodníku je předřazen čtyřkanalový



Obr. 4.2. Čítač/časovač 0 v mikrokontroléru PIC12F675



Obr. 4.3. Čítač/časovač 1 v mikrokontroléru PIC12F675



Obr. 4.4. Napěťový komparátor v mikrokontroléru PIC12F675

analogový multiplexer, takže je možné měřit až čtyři analogové signály. Jednotlivé vstupy jsou jen typu SE. Pokud není A/D převodník potřeba, je možné mu odpojit napájení a tím snížit odběr mikrokontroléru. Proudová úspora je poznatelná zvláště v úsporných režimech. Jako referenční napětí lze použít buď napájecí napětí nebo externí referenční zdroj, který se připojuje na vývod GP1/AN1/VREF.

EEPROM - Interní paměť EEPROM. V mnoha aplikacích je nutné si schovávat „pár“ kalibračních hodnot do paměti, kde tyto data zůstanou zachovány i po vypnutí napájecího napětí. Takovou paměť je většinou paměť typu EEPROM, která kromě toho, že zachovává data v ní uschovaná i bez přítomnosti napájecího napětí, má ještě další vhodné vlastnosti - je reprogramovatelná po byte a disponuje dostatečným počtem zápisů. Je proto příjemné mít tuto paměť přímo v mikrokontroléru. Popisovaný mikrokontrolér má paměť EEPROM o velikosti 128 byte.

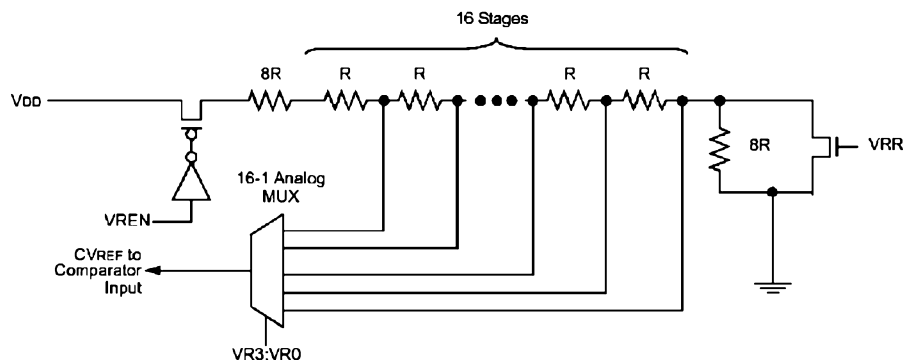
Jako zástupce prostřední řady „Mid-range“ jsem vybral mikrokontroléry PIC16F627/628 a PIC16F87x. Pojdme si je postupně představit.

Mikrokontroléry **PIC16F627/628** jsou v podstatě zdokonalením mikrokontroléru PIC16F84, který byl nadlouho osamoceným typem s programovou pamětí Flash. Přestože kromě čítače/časovače 0 nedisponuje žádnými periferiemi a tudíž vše ostatní si musí vytvořit programátor softwarovými prostředky, doznal PIC16F84 díky paměti programu typu Flash (a včasnému uvedení na trh) neuvěřitelného rozšíření.

Proto je velmi zářející, že když se na trhu objevily mikrokontroléry PIC16F627/628, které jsou zkoncenním typem PIC16F84 a mají mnoho potřebných periferií, stejný druh programové paměti, větší paměť dat s velmi podobným uspořádáním a větší paměť EEPROM, nedoznaly ani za dva roky po svém uvedení na trh stejného rozšíření jako jejich předchůdce PIC16F84.

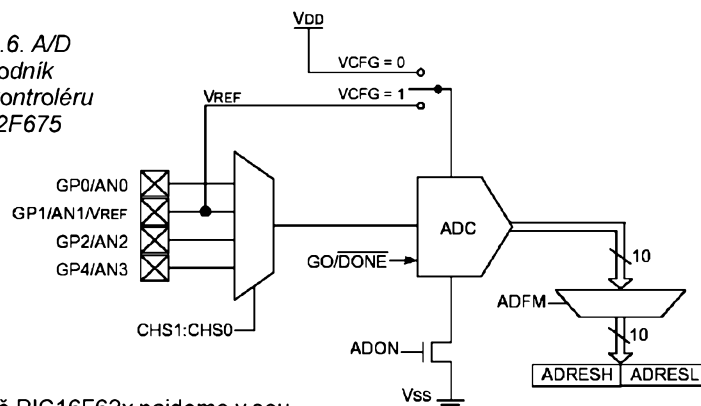
A co víc, ač jsou PIC16F627/628 v porovnání s PIC16F84 mnohem dokonalejší a vybavenější, jsou podstatně lacinější!!!

Dostí úvah, podme si PIC16F627/628 představit!



Obr. 4.5. Interní zdroj referenčního napětí pro napěťový komparátor v mikrokontroléru PIC12F675

Obr. 4.6. A/D převodník v mikrokontroléru PIC12F675



V rodině PIC16F62x najdeme v současné době (listopad 2002) pouze dva zástupce, kteří se navzájem liší jenom velikostí FLASH paměti programu.

První z nich, PIC16F627, má tuto paměť o velikosti 1024x14 bitů (1792 byte), druhý, PIC16F628, ji má dvojnásobnou, tj. 2048x14 bitů (3584 byte).

Vnitřní blokové schéma těchto mikrokontrolérů je na obr. 4.7. V dalším textu bude stručně popsáno, čím se liší od typu PIC16F84, který je notoricky známý.

Paměť programu je u PIC16F628 dvojnásobně velká a předurčuje jej pro implementaci složitějších algoritmů, což je možné vzhledem k množství integrovaných periferií předpokládat. Protože složitější programy (algoritmy) jsou náročnější nejenom na paměť programu, ale i na paměť dat, zvětšil výrobce u této nové rodiny paměť na 224 byte (z původních 68 byte u PIC16F84). Zvětšení paměti dat (a počtu periferií) vedlo ke zvětšení počtu bank registrů z původních dvou na celkem čtyři. Zvětšení se „nevyhnulo“ ani paměti EEPROM, která se používá např. pro úschovu kalibračních dat, a to z původních 64 byte na 128 byte.

Dalším společným rysem procesorů je přítomnost čítače/časovače 0 (Timer 0).

Tímto výčtem periferií však podobnost mezi původním typem PIC16F84 a PIC16F627 (resp. PIC16F628) končí, neboť kromě I/O portů nemá původní typ mikrokontroléru, jak již bylo řečeno, žádné další periferie (části)!

Proto bude v následujících odstavcích uveden popis nových částí, které má rodina mikrokontrolérů PIC16F62x na svém čipu.

Vnitřní oscilátor. Jedním z rozšíření, které nová rodina mikrokontrolérů PIC16F62x má, je vnitřní oscilátor. Tento vnitřní oscilátor RC s kmitočtem asi 4 MHz může konstruktor použít tehdy, když se spokojí s danými kmitočtem a netrvá na vysoké stabilitě a přesnosti krystalového oscilátoru. Pokud by odchylka kmitočtu oscilátoru byla větší než aplikace „snese“, je možné oscilátor RC provozovat s vnějším rezistorem a kmitočet nastavit podle potřeby.

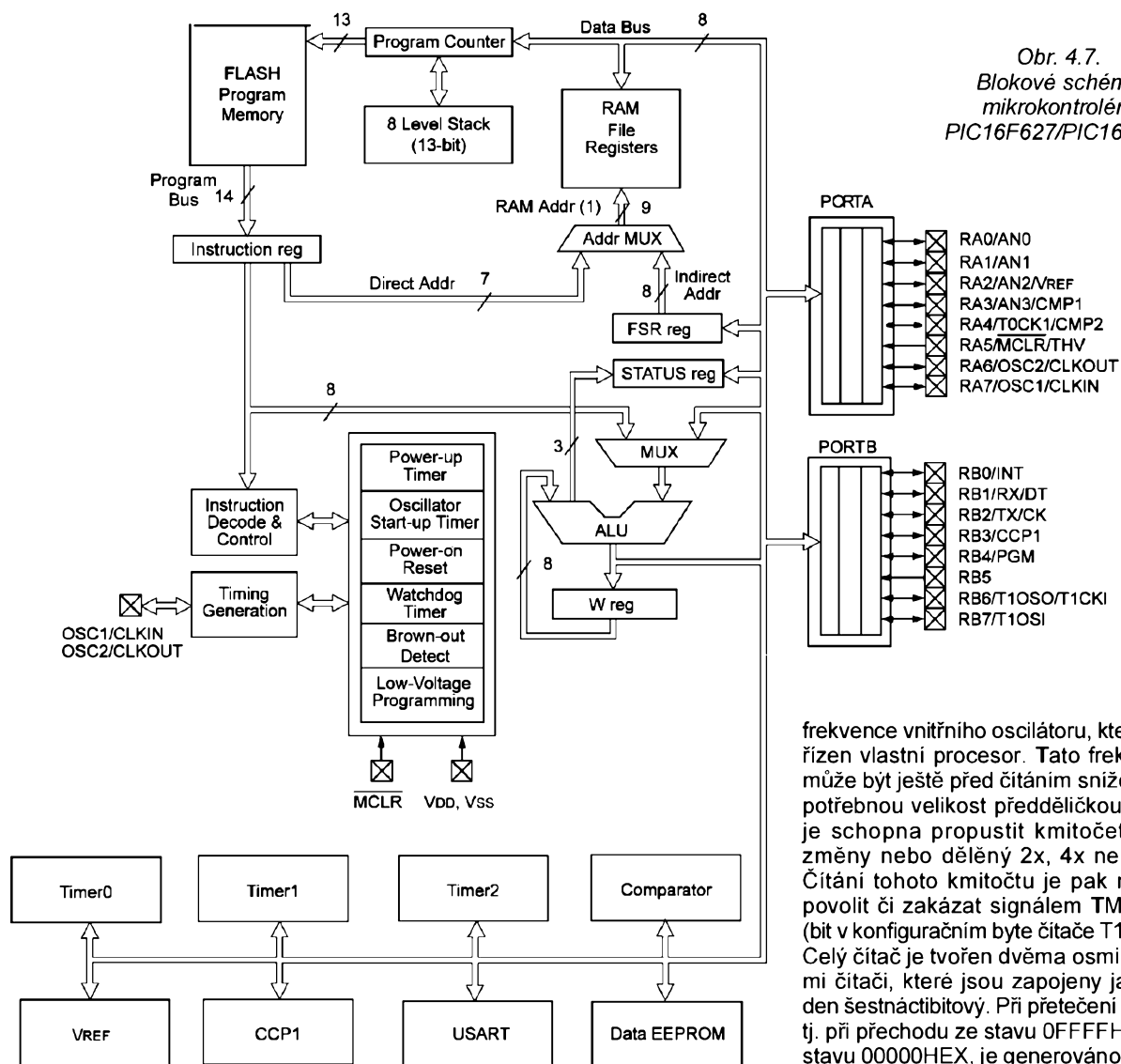
Pokud je však možné použít vnitřní oscilátor bez dostavení, oba vývody, původně určené pro standardní režim externího oscilátoru (např. s krystalem), můžeme nakonfigurovat jako standardní I/O vývody, což může být někdy důležité. Celkem tedy mikrokontrolér může mít až 16 volně použitelných I/O vývodů, a to v případě použití vnitřního oscilátoru a vnitřního resetu.

Brown-out detector - Detektor poklesu napájecího napětí. Příčiny disfunkce zařízení bývají různé. Jednou z možných příčin mohou být krátkodobé poklesy napájecího napětí řádu jednotek až desítek ms.

Typickým místem, kde tato situace může nastat, jsou bateriová zařízení, kde se vyskytují periferní obvody s velkým odběrem, jako jsou např. elektrické motory, velké displeje LED atd. Vliv proudových nárazů může být ještě umocněn špatným stavem baterie (jejím velkým vnitřním odporem), která celé zařízení napájí.

Aby se zabránilo poruchám funkce zařízení vlivem krátkodobých poklesů

Obr. 4.7.
Blokové schéma
mikrokontrolérů
PIC16F627/PIC16F627



frekvence vnitřního oscilátoru, kterým je řízen vlastní procesor. Tato frekvence může být ještě před čítáním snížena na potřebnou velikost předděličkou, která je schopna propustit kmitočty bez změny nebo dělný 2x, 4x nebo 8x. Čítání tohoto kmitočtu je pak možné povolit či zakázat signálem TMR1ON (bit v konfiguračním byte čítače T1CON). Celý čítač je tvořen dvěma osmibitovými čítači, které jsou zapojeny jako jeden šestnáctibitový. Při přetečení čítače, tj. při přechodu ze stavu 0FFFFHEX do stavu 00000HEX, je generováno přerušení, které může být povoleno/zakázáno příslušným bitem (bit0) ve stavovém byte PIE1.

Druhým režimem je čítání externího kmitočtu v synchronním módu, kdy je inkrementace čítače synchronizována kmitočtem vnitřního oscilátoru. Další možnosti nastavení jsou shodné s předchozím módem.

Třetím režimem je čítání externího kmitočtu v asynchronním módu, tj. inkrementace čítače TMR1 není synchronizována s vnitřním kmitočtem. Tohoto módu lze využít ke „vzbuzení“ mikroprocesoru ze SLEEP módu, neboť při přetečení čítače je standardním způsobem generováno přerušení. Jako zdroj externího kmitočtu je možné použít oscilátor přístupný na pinech RB6 a RB7 s vnějším krystalem např. 32 kHz. Při tomto režimu bude perioda „probouzení“ mikroprocesoru 0,5, 1, 2 nebo 4 s.

V tomto režimu je možné čítat vyšší frekvenci s periodou větší než 60 ns, tj. čítač je schopen zpracovat kmitočty nižší než 16,67 MHz.

Maximální frekvence, jakou je oscilátor T1OSC schopen kmitat, je podle výrobce asi 200 kHz, což je stejné jako u hlavního oscilátoru v módu LP.

Timer 2 - Časovač 2 je dalším novým prvkem, který najdeme na čipu

napájecího napětí, byl na čip přidán obvod, který je schopen tyto poklesy detekovat a při jejich výskytu pak mikrokontrolér resetovat.

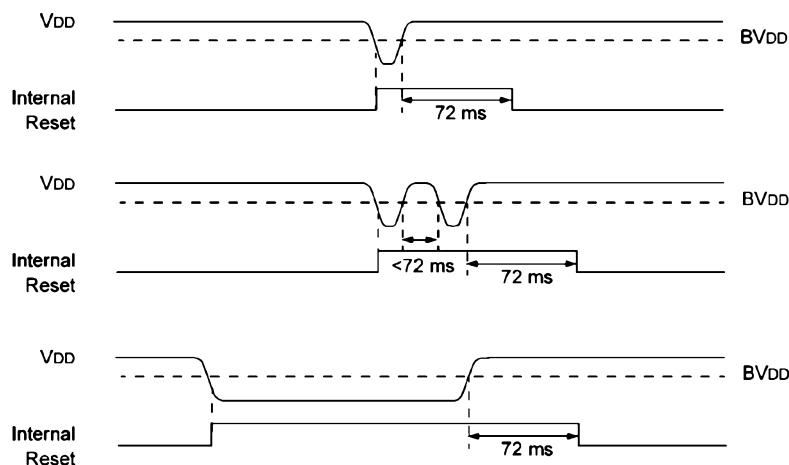
Funkci detektoru poklesu napájecího napětí ilustruje obr. 4.8.

Timer 1 - Čítač/časovač 1. Je to nový modul, který podstatným způsobem

zvyšuje schopnosti mikrokontroléru, neboť pro mnoho aplikací je existence pouze jednoho čítače nedostatečná. Blokové schéma tohoto modulu je na obr. 4.9.

Timer 1 může pracovat v celkem třech různých režimech.

Základním režimem je režim časovače (timeru), kdy čítač čítá čtvrtinu



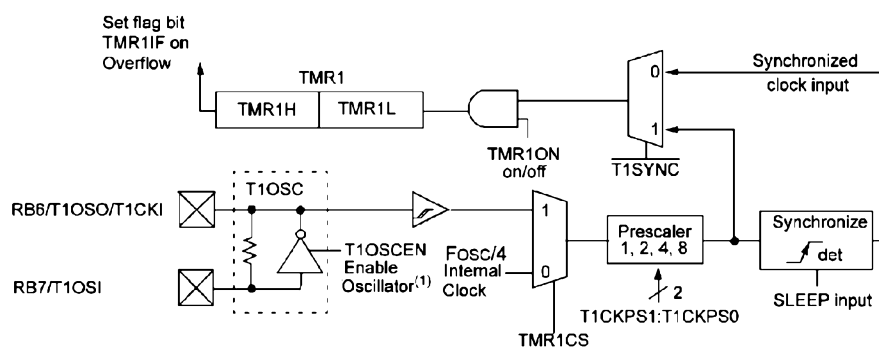
Obr. 4.8. Typické krátkodobé poklesy napájecího napětí V_{DD} a jejich ošetření detektorem poklesu napájecího napětí v mikrokontrolérech PIC16F627/PIC16F627

procesorů rodiny PIC16F62x. Jeho blokové schéma je na obr. 4.10.

I když tento časovač obsahuje pouze osmibitový čítač, který čítá pouze čtvrtinu frekvence vnitřního oscilátoru ($f_{osc}/4$) a nemůže čítat externí kmitočty (tj. nedisponuje režimem časovače), jsou možnosti jeho využití široké díky jednotce komparátoru, která dovoluje zkrátit cyklus čítače na hodnotu nastavenou v osmibitovém registru PR2. Výstupní signál z komparátoru je možné využít (stejně jako v případě jednotky TIMER1) pro generování přerušení. Díky programovatelnému děliči (nazvanému postscaler) připojenému na výstup komparátoru je možné nastavit generování přerušení po jednom až šestnácti cyklech čítače.

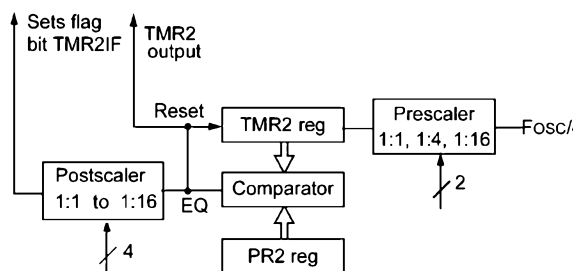
Comparator - Napěťový komparátor. Jedná se o dva standardní napěťové komparátory, které je možné použít např. pro sledování velikosti napájecího napětí vlastního procesoru nebo pro konstrukci A/D převodníku s dvojitou integrací, neboť A/D převodník u této rodiny chybí. I když je možných stavů, v kterých se může napěťový komparátor nacházet, celkem 8, liší se pouze variantami propojení vstupů a výstupů (např. režim s vnitřní referencí, vnější referencí, nezávislé komparátory atd.). Jedno však zůstává společné, a to vlastní komparátor, který nemá možnost nastavit hysterezi, což umožňuje vznik záklmitů komparátoru při překlápění, zvláště, obsahuje-li vstupní signál šum nebo má pomalou vzestupnou či sestupnou hranu, jak je znázorněno na obr. 4.4. Vše musí být ošetřeno pomocí sw nebo kombinace sw a hw. Doba odezvy výstupu komparátoru (tj. reakce výstupu na situaci na vstupu) je typicky 150 ns, což není v některých situacích zanedbatelné, ale pro mnoho jiných je tento parametr plně postačující, a tak uživatel není nucen použít vnější komparátor.

Vref - Napěťová reference. Je to velmi jednoduchá napěťová reference nastavitelná po krocích, která je však přímo odvozena z napájecího napětí procesoru, jak ostatně můžeme vidět z obr. 4.11. Velikost referenčního napětí lze nastavit celkem v šestnácti krocích (bity VR0 až VR3), a to ve dvou rozsazích 0 až 2/3 VDD ($VRR=1$) nebo 1/4 až 3/4 VDD ($VRR=0$). Z předchozího



(1) Pokud je bit T1OSCEN nulový, zpětovazební odpor a invertor jsou odepnuty od I/O pinů a invertor je vypnut

Obr. 4.9. Čítač/časovač 1 v mikrokontrolérech PIC16F627/PIC16F627



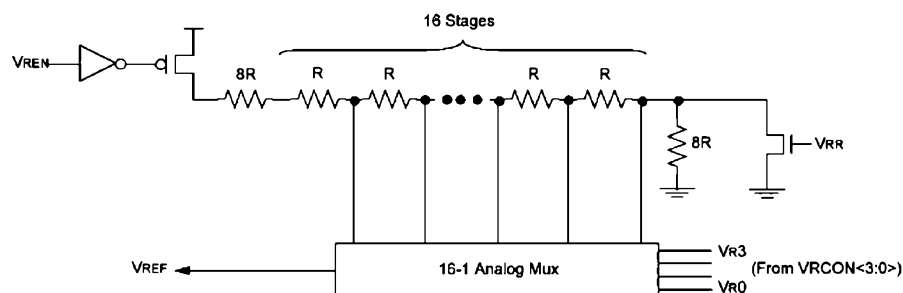
Obr. 4.10. Čítač/časovač 2 v mikrokontrolérech PIC16F627/PIC16F627

popisu je vidět, že se jedná o velmi jednoduchou napěťovou referenci, která vyhoví pouze v nenáročných aplikacích. Nic však uživateli nebrání použít vnější, stabilnější, pro danou situaci vyhovující referenci.

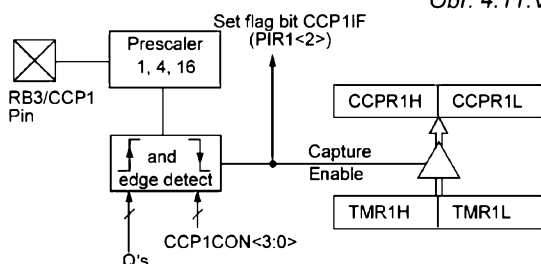
CCP - Modul Capture/Compare/PWM. Jednou z velkých novinek u nové rodiny mikrokontrolérů PIC16F62x je přítomnost jednotky Compare/Capture/PWM. Jak už ze samotného názvu vyplývá, jednotka může pracovat v jednom ze tří režimů. Tyto režimy si dále stručně popíšeme.

Prvním režimem, nebo chcete-li stavem, ve kterém může jednotka CCP pracovat, je režim **Capture** (zachycení).

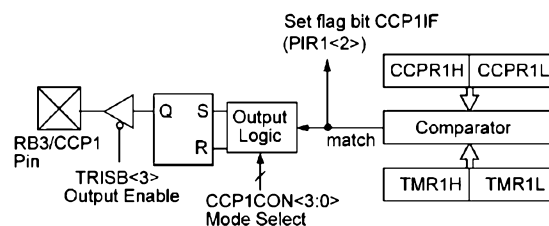
Blokové schéma jednotky v tomto režimu je na obr. 4.12. Jako reference je zde použita jednotka Timer 1 (šestnáctibitový čítač/časovač), jejíž stav je na základě vnějšího podnětu, přivedeného z vývodu RB3, zachycován do registru CCPR1. Zajímavostí je možnost nastavit určitý dělicí poměr pro vstupní signál, což znamená, že jednotka bude reagovat až po určitém počtu period vstupního signálu, a to každou periodu, každou čtvrtou periodu nebo každou šestnáctou periodu. V případě použití dělicího poměru 1, tj. když předdělič pouze propouští signál, si můžeme vybrat aktivní hranu signálu, na kterou bude jednotka reagovat. Při použití jiného dělicího poměru než 1 bude jednot-



Obr. 4.11. Vnitřní napěťová reference v mikrokontrolérech PIC16F627/PIC16F627



Obr. 4.12. Modul CCP v mikrokontrolérech PIC16F627/PIC16F627 v režimu Capture



Obr. 4.13. Modul CCP v mikrokontrolérech PIC16F627/PIC16F627 v režimu Compare

ka reagovat vždy na vzestupnou hranu. Aby program nebyl zatížen neustálým dotazováním na stav jednotky Capture, je jednotka schopna generovat přerušování v okamžiku, když zachytí stav čítače TMR1. Použijeme-li jako časovou základnu čítač TMR1 v asynchronním režimu, jsme schopni pomocí této jednotky určit dobu příchodu aktivní hrany s přesností 60 ns (jedna perioda maximálního kmitočtu, který je čítač schopen zpracovat).

Druhým režimem, ve kterém se jednotka CCP může nacházet, je režim **Compare**. Blokové schéma jednotky CCP v tomto režimu je na obr. 4.13. Činnost jednotky CCP v tomto režimu je velmi podobná funkci časovače Timer 2. Na rozdíl od tohoto časovače je však čítač TMR1 šestnáctibitový a komparace probíhá samozřejmě šestnáctibitově. Druhým rozdílem je, že signál o dosažení shody mezi TMR1 a údajem v registru CCPR1 není použit ke zkrácení cyklu čítače, jako tomu bylo v případě časovače TIMER2, ale je použit k nastavení předvolené logické úrovně na výstupním vývodu RB3, tj. uživatel si může nastavit, jaká logická úroveň se má objevit na pinu RB3 v okamžiku dosažení shody. Samozřejmě je zde možnost ponechat výstup nezměněn a použít signál pouze ke generování přerušování.

Třetím režimem, ve kterém se může jednotka nacházet, je režim PWM. Blokové schéma jednotky CCP v režimu PWM je na obr. 4.14. Díky dobrému návrhu jednotky PWM je možné generovat PWM signál s desetibitovým rozlišením a opakovací frekvencí až

19,53 kHz (nebo dokonce s opakovací frekvencí 78,12 kHz při osmibitovém rozlišení). Tyto údaje jsou platné při maximální hodinové frekvenci procesoru 20 MHz.

Popsme si krátce princip PWM jednotky. Opakovací frekvence, tj. perioda výstupního signálu, je dána hodnotou v registru PR2, neboť v okamžiku dosažení shody mezi zmíněným registrem a čítačem TMR2 je čítač inicializován do stavu 0, tj. začne znovu čítat od začátku, a výstup, tj. signál na vývodu RB3, je nastaven do úrovně „log. 1“. Tato část tedy pracuje téměř shodným způsobem, jaký byl popsán v části věnované časovači Timer 2. Píší téměř shodným způsobem, neboť, pokud si dobře prohlédneme obr. 4.10, zjistíme, že ač je registr PR2 jen osmibitový, skutečná hodnota, se kterou počítáme při výpočtech opakovací doby, je 4x větší, neboť se v podstatě jedná o vrchních 8 bitů desetibitového slova!!! Doba, po kterou se výstupní signál na vývodu RB3 nachází ve stavu „log. 1“, je určena hodnotou v registru CCPR1H. Tato hodnota je opět porovnávána s hodnotou registru časovače TMR2. V tomto případě je porovnání celkem desetibitové. Protože je však registr časovače TMR2 pouze osmibitový, scházející 2 nejnižší bity jsou doplněny buď dvěma bity z předděliče (viz popis Timer 2 - časovač 2), nebo dvěma bity interního čítače generujícího takt pro jádro mikroprocesoru. Aby navrháři předešli časovým problémům při zápisu hodnot do registru CCPR1H, je zápis do tohoto registru prováděn synchronně s inicializací registru TMR2. Příslušná hodnota se kopíruje z bufferu (registru CCPR1L), do kterého může uživatel zapisovat kdykoliv. Protože je registr CCPR1L opět jen osmibitový, je doplněn na potřebných deset bitů dvěma bity z konfiguračního registru CCP1CON.

I když by si tento režim zasloužil lepší a detailnější popis, není to možné

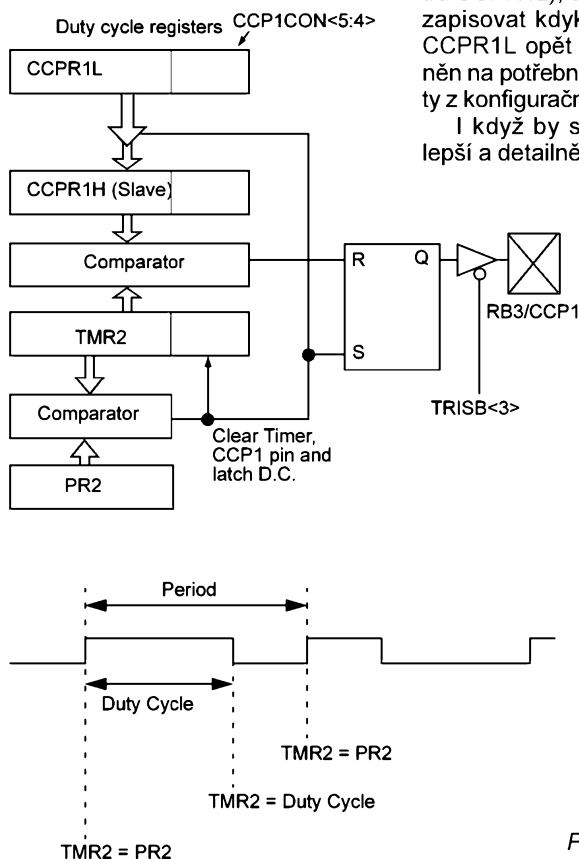
kvůli omezenému prostoru v časopisu. Úplně na závěr povídání o jednotce CCP si neodpustím poznámku o možnostech PWM. Na první pohled nelze v možnostech generování signálu PWM najít chybu, ale pokud srovnáme možnosti podobné jednotky v mikroprocesorech AVR (např. v zástupcích řady ATmega), dojdeme k závěru, že možnosti PWM jednotky by mohly být lepší. Konkrétně se jedná o chybějící režim „phase-correct“, který je používán např. při řízení motorů.

USART - Univerzální Synchronní / Asynchronní sériový kanál je dalším zdokonalením nové rodiny mikrokontrolérů PIC16F62x oproti svému předchůdci PIC16F84. Hardwarovou implementaci tohoto rozhraní se podstatným způsobem rozšířilo spektrum aplikací vhodných pro tuto rodinu procesorů, neboť málokterá aplikace nepotřebuje komunikovat s okolím. Programové vytvoření těchto rozhraní není nikdy stoprocentní a také zatěžuje vlastní jádro procesoru, takže pro vlastní výpočty zbývá méně výpočetního výkonu mikrokontroléru.

USART implementovaný v nové rodině mikrokontrolérů PIC16F62x může pracovat v jednom ze tří módů - v asynchronním, v synchronním jako master a v synchronním jako slave. Díky bohatým možnostem nastavení zabírá originální popis tohoto rozhraní celkem 18 stránek, což je mimo možnosti tohoto článku. Proto bude následující stručný popis zaměřen pouze na upozornění na zajímavé vlastnosti tohoto rozhraní.

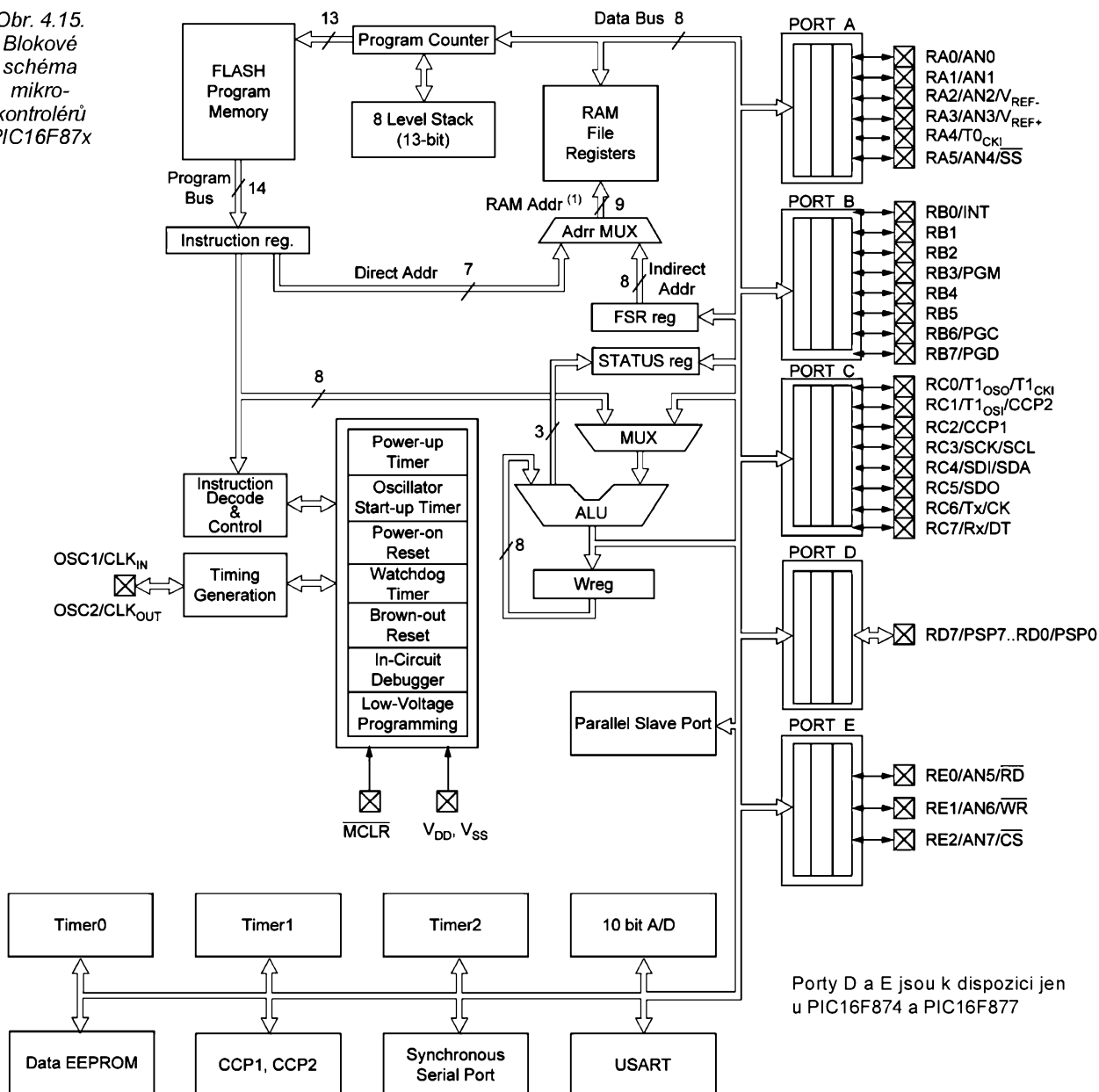
Dobrou charakterovou vlastností tohoto rozhraní je vlastní „baud rate generator“, tj. čítač, který generuje systémový takt pro tento kanál, takže uživatel nepřichází o jeden drahocenný čítač/časovač, jako např. u mikroprocesorů 80C5x. Díky tomuto dedikovanému generátoru taktu zvládá asynchronní sériový port přenosové rychlosti až 1,25 MBd. Taktéž je podporována devítibitová komunikace (tzv. multiprocessingová komunikace), kdy může být devátý bit používán jako příznak adresy oslovovaného zařízení (začátek pole), a pouze při příchodu znaku s nastaveným devátým bitem je vygenerována žádost o obsluhu přijatého znaku (interrupt). Snad jedinou drobnou vadou na kráse je neexistence bufferu FIFO, neboť zvláště při vysokých komunikačních rychlostech má programátor těžkou pozici, neboť musí „uklidit“ znak z registru přijímače během několika μ s (při rychlosti 1,25 MBd trvá přenos znaku 8 μ s!!!). V synchronním provozu je maximální komunikační rychlost dokonce 5 MBd (1,6 μ s/znak!!!).

Mikrokontroléry **PIC16F87x**. V rodině PIC16F87x najdeme celkem sedm členů, které se liší zejména velikostí paměti FLASH a RAM a velikostí pouzdra, a tím i počtem I/O vývodů. Pouze dva nejmenší zástupci, PIC16F870 a PIC16F871, postrádají jednu periférii, a



Obr. 4.13.
Modul CCP
v režimu Compare
v mikrokontrolérech
PIC16F627/PIC16F627

Obr. 4.15.
Blokové
schéma
mikro-
kontroléru
PIC16F87x



Porty D a E jsou k dispozici jen u PIC16F874 a PIC16F877

tou je I²C/SPI sériový kanál, zatímco obvody se 40 a více vývody, tj. obvody v pouzdech DIL40, PLCC44 a TQFP44, disponují paralelním portem navíc (Slave mód).

Blokové schéma mikrokontroléru PIC16F87x je na obr. 4.15.

Jelikož tato rodina má v porovnání s PIC16F84 opět mnoho nových periférií, pojďme si je stručně představit.

In Circuit Debugging - Ladění programů v aplikaci. Pod nepřesným překladem se skrývá jeden z nejhezčích dárků, který dali návrháři této rodiny do vínku. Stručně řečeno, pomocí přidaného malého programu uvnitř procesoru ve spolupráci s „trochu“ logiky můžeme přes dva piny (RB6 a RB7) procesor ovládat, program krokovat, prohlížet interní registry procesoru, měnit data v interní paměti a dokonce nastavit jeden hw breakpoint. Máme k dispozici jakýsi malý hw emulátor, který sice není plně „non-intrusive“, ale pro mnoho situací stačí. A co je hlavní, je řádově lacinější než profesionální emu-

látor ICE2000!!! Nástroj, s jehož pomocí můžeme využívat toto nové rozhraní, se jmenuje MPLAB-ICD a jeho cena je v současné době asi 8 000,- Kč. Důležitou vlastností je pak skutečnost, že se tento nástroj, stejně jako ostatní vývojové prostředky firmy Microchip, ovládá ze stejného prostředí, a to z MPLAB-IDE, takže uživatel „netrpí“ tím, že by se musel učit ovládat nové prostředí. Toto prostředí je možné si volně (zdarmo) stáhnout z webových stránek firmy Microchip www.microchip.com.

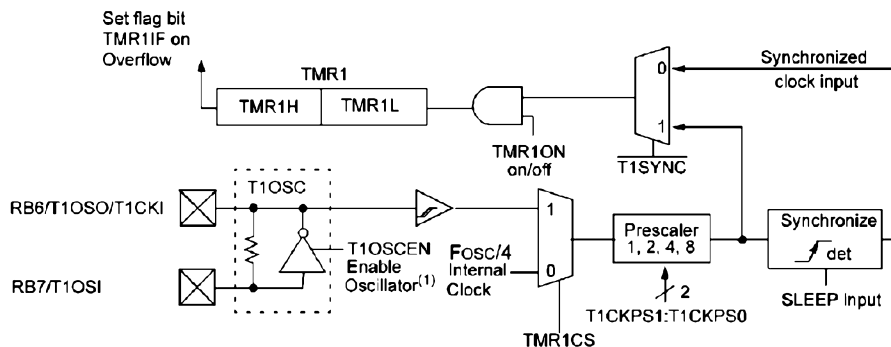
Brown-out detector - Detektor poklesu napájecího napětí. Příčiny chybné funkce zařízení bývají různé. Jednou z možných příčin mohou být krátkodobé poklesy napájecího napětí řádů jednotek až desítek ms. Typickým místem, kde tato situace může nastat, jsou bateriová zařízení, kde se vyskytují periferní obvody s velkým odběrem, jako jsou např. elektrické motory, velké LED displeje atd. Tato situace může být ještě umocněna špatným stavem baterie (jejím velkým vnitřním odporem),

jenž celé zařízení napájí. Typické situace, na které reaguje zmiňovaný obvod, jsou na obr. 4.8.

Z uvedených důvodů byl na čip přidán obvod, který je takové krátkodobé výpadky schopen detekovat a při jejich výskytu pak procesor resetovat a tím uvést procesor do správného stavu.

Timer 1 - Čítač/časovač 1 je nový modul, který podstatným způsobem zvyšuje schopnosti mikroprocesoru, neboť pro mnoho aplikací je existence pouze jednoho čítače nedostatečná. Blokové schéma tohoto modulu je na obr. 4.16. Modul Timer 1 může pracovat v celkem třech různých režimech.

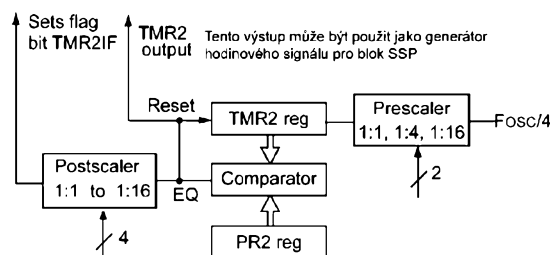
Základním režimem je režim časovače (timeru), kdy čítač čítá čtvrtinu frekvence vnitřního oscilátoru, kterým je řízen vlastní procesor. Tato frekvence může být ještě před vlastním čítáním snížena na potřebnou velikost předděličem, který je schopen propustit kmitočet bez změny nebo jej dělit 2x, 4x nebo 8x. Čítání tohoto kmitočtu je pak možné povolit nebo zakázat pomocí



(1) Pokud je bit T1OSCEN nulový, zpětovazební odpor a inverter jsou odepnuty od I/O pinů a inverter je vypnut

Obr. 4.16. Čítač/časovač 1 v mikrokontrolérech PIC16F87x

Obr. 4.16.
Čítač/časovač 1
v mikro-
kontrolérech
PIC16F87x



signálu TMR1ON (bit v konfiguračním byte čítače T1CON). Vlastní čítač je tvořen dvěma osmibitovými čítači, které jsou zapojené jako jeden šestnáctibitový. Při přetečení čítače, tj. při přechodu ze stavu 0FFFFHEX do stavu 00000HEX je generováno přerušení, které může být opět povoleno/zakázáno příslušným bitem (bit0) ve stavovém byte PIE1.

Druhým režimem je čítání externího kmitočtu v synchronním módu, kdy je inkrementace vlastního čítače synchronizována kmitočtem vnitřního oscilátoru. Další možnosti nastavení jsou shodné s předchozím módem.

Třetím režimem (módem) je čítání externího kmitočtu v asynchronním módu, ve kterém není inkrementace čítače TMR1 synchronizována s vnitřním kmitočtem. Tohoto módu lze využít k probuzení mikrokontroléru z módu SLEEP, neboť při přetečení čítače je standardním způsobem generováno přerušení. Jako zdroj externího kmitočtu je možné použít oscilátor přístupný na vývodech RB6 a RB7 s externím krystalem o kmitočtu např. 32 kHz. V tomto režimu bude perioda probuzení mikroprocesoru 0,5, 1, 2 nebo 4 s. V tomto režimu je čítač schopen zpracovat vnější signál s nejvyšším kmitočtem 16,67 MHz, tj. s periodou větší než 60 ns.

Maximální frekvence, s jakou je oscilátor T1OSC schopen kmitat, je podle výrobce asi 200 kHz, což je stejné, jako u hlavního oscilátoru v módu LP.

Timer 2 - Časovač 2 je dalším novým prvkem, který najdeme na čipu procesorů rodiny PIC16F87x. Jeho blokové schéma je na obr. 4.17.

I když tento pouze osmibitový čítač nemůže čítat externí kmitočet (pouze čtvrtinu frekvence vnitřního oscilátoru $F_{osc}/4$), tzn., že nedisponuje režimem

časovače, jsou možnosti jeho využití široké, a to díky jednotce komparátoru, která umožňuje zkrátit cyklus čítače na hodnotu, která je nastavena v osmibitovém registru PR2. Výstupní signál z komparátoru je možné využít pro generování přerušení. Díky programovatelnému děliči připojenému na výstup komparátoru (postscale) je možné nastavit generování přerušení po jednom až šestnácti cyklech čítače.

A/D convertor - Analogově digitální převodník je dalším novým prvkem, který najdeme na čipu procesorů rodiny PIC16F87x. Převodník je desetibitový a jeho blokové schéma je na obr. 4.18.

Vlastnímu A/D převodníku je předřazen analogový multiplexer, který má 5

vstupů u obvodů v pouzdrech s 28 vývody a 8 vstupů u obvodů v pouzdrech se 40 vývody.

Vlastnímu A/D převodníku je ještě předřazen obvod S/H (Sample/Hold), který podrží napětí na vstupu převodníku konstantní po celou dobu převodu. Tento obvod je nutný vzhledem k použitému principu A/D převodu.

Aby bylo možné využít plně přesnosti A/D převodníku, je nutné dodržet doporučení výrobce. Mezi tato doporučení patří zejména dostatečně dlouhá doba vzorkování a nízká impedance zdroje měřeného napětí, která by neměla překročit 10 kΩ.

Aby bylo možné vypočítat potřebnou dobu vzorkování pro konkrétní případ, uvedme si model analogového vstupu včetně postupu výpočtu (obr. 4.19).

Minimální doba vzorkování T_{ACQ} je:

$$T_{ACQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COEF} \quad [\mu s; \mu s],$$

kde:

T_{ACQ} je minimální doba potřebná pro vzorkování (délka odběru vzorku),

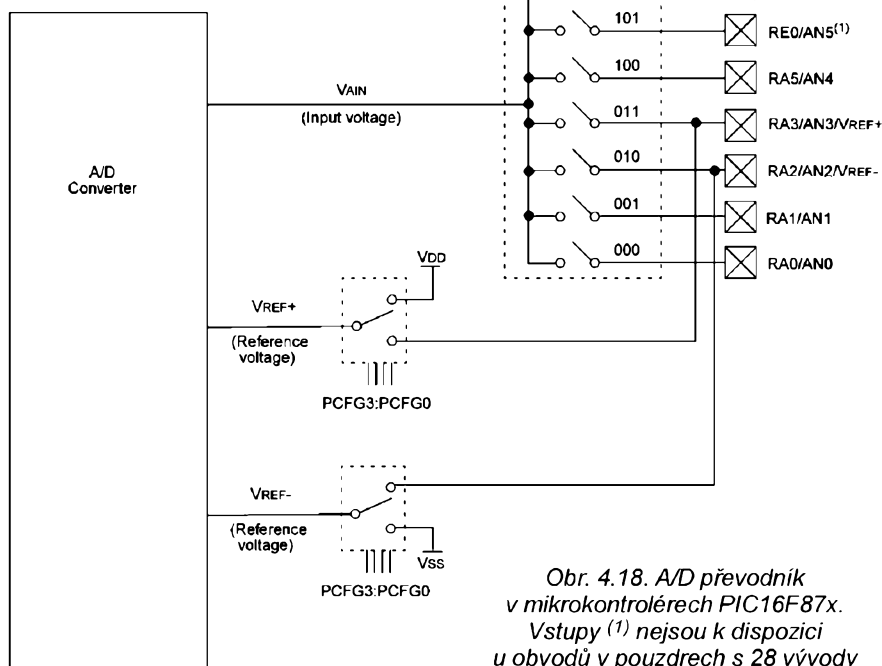
T_{AMP} je doba ustálení operačního zesilovače, která je typicky 2 μs,

T_C je doba nabití paměťového kondenzátoru C_{HOLD} v obvodu S/H, který má jmenovitou kapacitu $C_{HOLD} = 120$ pF,

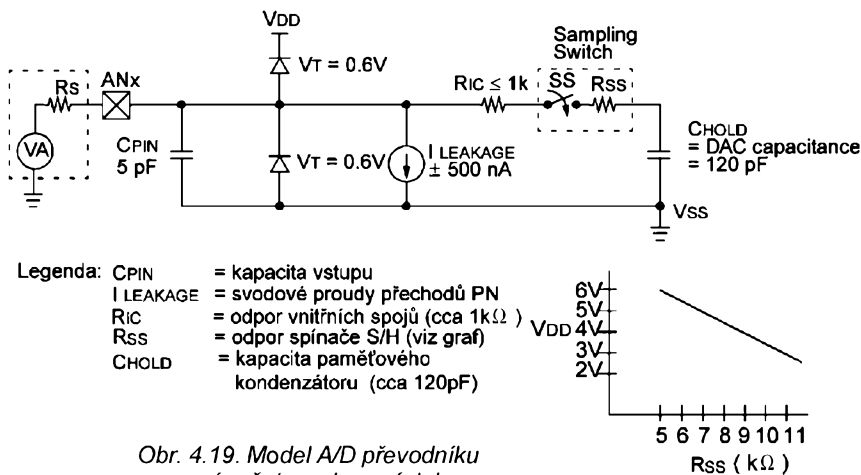
T_{COEF} je teplotní koeficient, který se uplatňuje při teplotách nad 25°C. Platí: $T_{COEF} = (V_{AMB} - 25) \cdot 0,05$ [μs; °C], kde V_{AMB} je teplota okolí.

Doba T_C je určena vztahem:

$$T_C = -C_{HOLD} \cdot (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \cdot \ln(1/2047) \quad [s; F, \Omega],$$



Obr. 4.18. A/D převodník
v mikrokontrolérech PIC16F87x.
Vstupy ⁽¹⁾ nejsou k dispozici
u obvodů v pouzdrech s 28 vývody



kde:

R_{1C} je odpor vnitřních spojů převodníku (platí $R_{1C} < 1 \text{ k}\Omega$),

R_{ss} je odpor spínače analogového multiplexeru (viz graf na obr. 4.19),

R_s je vnitřní odpor zdroje měřeného napětí.

Zvolíme-li např. $\vartheta_{AMB} = 50^\circ\text{C}$, $R_s = 50 \Omega$ a uvažujeme-li $R_{1C} = 1 \text{ k}\Omega$ a $R_{ss} = 7 \text{ k}\Omega$ (při napájecím napětí mikrokontroléru 5 V), vychází:

$$T_C = 120 \cdot 10^{-12} \cdot (1000 + 7000 + 50) \cdot \ln(0,0004885) = 7,36 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

a

$$T_{COEF} = (50 - 25) \cdot 0,05 = 1,25 \mu\text{s}.$$

Z toho při $T_{AMP} = 2 \mu\text{s}$ vychází:

$$T_{ACQ} = 2 + 7,36 + 1,25 = 10,61 \mu\text{s}.$$

V uvedeném příkladu jsme uvažovali, že mikrokontrolér má napájecí napětí 5 V. Pokud bude napájen jiným napětím, změní se podstatným způsobem odpor spínacího tranzistoru multiplexeru. Tento odpor pro různá napájecí napětí můžeme orientačně určit z grafu na obr. 4.19.

Další informace potřebné pro používání A/D převodníku s podrobným vysvětlením můžeme najít v referenčním manuálu popisujícím všechny periferie všech členů rodiny PIC16, který se nazývá „PICmicro™ Mid-Range MCU Family“, nebo v příslušných katalogových listech.

CCP - Modul Capture/Compare/PWM. Novinkou rodiny mikrokontrolérů

PIC16F87x je přítomnost celkem dvou jednotek Compare/Capture/PWM. Pouze nejmenší zástupci PIC16F870, PIC16F871 a PIC16F872 mají jednotku jen jednu.

Jak už ze samotného názvu vyplývá, jednotka může pracovat v jednom ze tří režimů. Tyto režimy si v následujících odstavcích stručně popíšeme.

Prvním režimem, nebo chcete-li stavem, ve kterém může jednotka CCP pracovat, je režim **Capture**.

Blokové schéma jednotky v tomto režimu je na obr. 4.20.

Jako reference je zde použita jednotka Timer 1 (šestnáctibitový čítač/časovač), jejíž stav je zachycován do registru CCPR1 na základě vnějšího podnětu, přivedeného z vývodu RB3.

Zajímavostí je možnost nastavit určitý dělicí poměr pro vstupní signál, což znamená, že jednotka bude reagovat až po určitém počtu period vstupního signálu (a to každou periodu, každou čtvrtou periodu nebo každou šestnáctou periodu). V případě použití dělicího poměru 1, tj. když předdělič pouze propouští signál, si můžeme vybrat aktivní hranu signálu, na kterou bude jednotka reagovat. Při použití jiného dělicího poměru, bude jednotka reagovat vždy na vzestupnou hranu.

Aby program nebyl zatížen neustálým dotazováním na stav jednotky Capture, je jednotka schopna generovat přerušení v okamžiku zachycení stavu čítače TMR1. Použijeme-li jako „časovou základnu“ čítač TMR1 v asynchronním režimu, jsme schopni pomocí této jednotky určit dobu příchodu aktivní hrany s přesností 60 ns.

Druhým režimem, ve kterém se jednotka CCP může nacházet, je režim **Compare**. Blokové schéma jednotky v tomto režimu je na obr. 4.21.

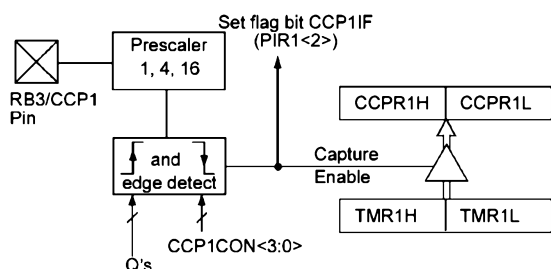
Činnost jednotky CCP v tomto režimu je velmi podobná funkci časovače Timer 2. Na rozdíl od tohoto časovače je však čítač TMR1 šestnáctibitový a komparace probíhá samozřejmě šestnáctibitově. Druhým rozdílem je, že signál o dosažení shody mezi TMR1 a údajem v registru CCPR1 není použit ke zkrácení cyklu čítače, jako tomu bylo v případě časovače Timer 2, ale je použit k nastavení předvolené logické úrovně na výstupním vývodu RB3. Znamená to, že si uživatel může nastavit, jaká logická úroveň se má objevit na pinu RB3 v okamžiku dosažení shody. Samozřejmě je zde možnost ponechat výstup nezměněn a použít signál pouze ke generování přerušení.

Třetím režimem, ve kterém se může jednotka nacházet, je režim **PWM**. Blokové schéma jednotky CCP v režimu PWM je na obr. 4.22a.

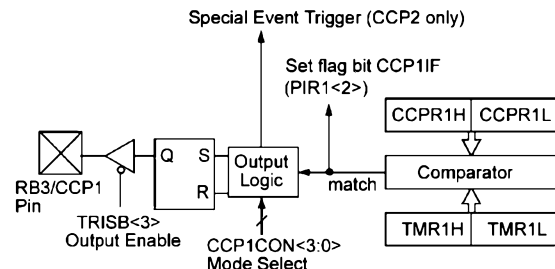
Díky dobře navržené konstrukci jednotky PWM je možné možné generovat signál PWM s desetibitovým rozlišením a opakovací frekvencí až 19,53 kHz nebo dokonce s opakovací frekvencí 78,12 kHz při osmibitovém rozlišení. Tyto hodnoty jsou platné při maximální hodinové frekvenci procesoru 20 MHz.

Popíšeme si krátce princip PWM jednotky. Opakovací frekvence, tj. perioda výstupního signálu je dána hodnotou v registru PR2, neboť v okamžiku dosažení shody mezi zmíněným registrem a čítačem TMR2 je čítač inicializován do stavu 0, tj. začne znovu čítat od začátku, a výstup, signál na vývodu RB3, je nastaven do stavu „log. 1“. Tato část tedy pracuje téměř shodným způsobem, jaký byl popsán v části věnované časovači Timer 2. Piší téměř shodně, protože ač je registr PR2 jen osmibitový, skutečná hodnota, se kterou počítáme při výpočtech opakovací doby, je 4x větší, neboť se v podstatě jedná o vrchních 8 bitů desetibitového slova!!!

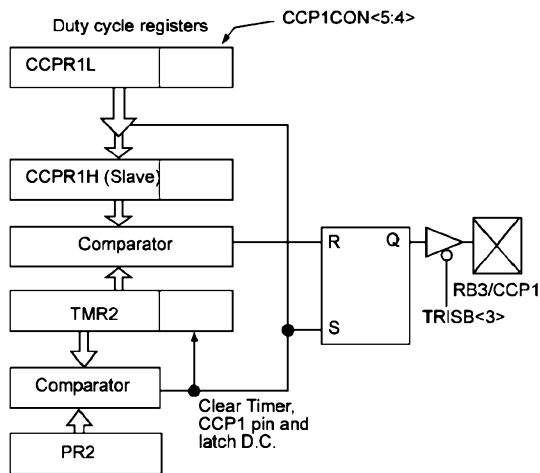
Doba, po kterou se výstupní signál na vývodu RB3 nachází ve stavu „log. 1“, je určen hodnotou v registru CCPR1H. Tato hodnota je opět porovnávána s hodnotou registru časovače TMR2. V tomto případě je porovnání celkem desetibitové. Jelikož je však registr časovače TMR2 pouze osmibito-



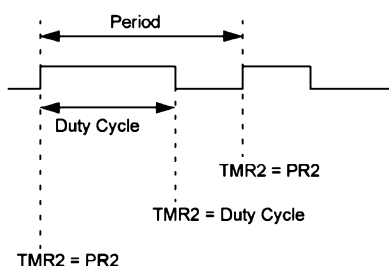
Obr. 4.20. Jednotka CCP v mikrokontrolérech PIC16F87x v režimu Capture



Obr. 4.21. Jednotka CCP v mikrokontrolérech PIC16F87x v režimu Compare



Obr. 4.22a. Jednotka CCP v mikrokontrolérech PIC16F87x v režimu PWM



Obr. 4.22b. Časový diagram signálu generovaného jednotkou CCP v režimu PWM

vý, scházející 2 nejnižší bity jsou doplněny buď dvěma bity z předděliče (viz popis jednotky Timer 2 - časovač 2), nebo dvěma bity interního čítače generujícího takt pro jádro mikroprocesoru.

Aby navrháři předešli problémům při zápisu hodnot do registru CCPR1H, je zápis do tohoto registru prováděn synchronně s inicializací registru TMR2. Příslušná hodnota se kopíruje z bufferu (registru CCPR1L), do kterého může uživatel zapisovat kdykoliv. Jelikož je registr CCPR1L opět jen osmibitový, je doplněn na 10 bitů pomocí dvou bitů z konfiguračního registru CCP1CON.

Časový diagram signálu generovaného jednotkou CCP v režimu PWM je na obr. 4.22b.

I když by si tento režim zasloužil detailnější popis, vzhledem k omezenému prostoru toto není možné.

USART - Univerzální Synchronní / Asynchronní sériový kanál je dalším novým prvkem u rodiny mikroprocesorů PIC16F87x, který u PIC16F84 nena-
lezneme. Implementaci tohoto rozhraní se podstatným způsobem rozšířilo spektrum aplikací vhodných pro popi-
sovanou rodinu procesorů, neboť má-
lokterá aplikace nepotřebuje komuniko-
vat s okolím.

USART implementovaný v nové ro-
dině mikroprocesorů PIC16F87x, s vý-
jimkou typu PIC16F872, může pracovat
ve třech módech - v asynchronním,
v synchronním jako master a v syn-
chronním jako slave.

Činnost rozhraní USART je stejná
jako u rodiny mikrokontrolérů PIC16F62x
(viz str. 8).

SSP - Synchronní sériový kanál
je dalším rozšířením nové rodiny mikro-
procesorů PIC16F87x oproti svému
předchůdci PIC16F84. Tento sériový
port najdeme u všech členů rodiny
s výjimkou dvou nejmenších členů
PIC16F870 a PIC16F871.

Jak už bývá u firmy Microchip zvy-
kem, disponuje toto rozhraní bohatými
možnostmi. Podporovanými módy
jsou: SPI/slave, SPI/master, I²C/slave a
I²C/master mód.

U rozhraní I²C je podporován mód
se sedmibitovou i desetibitovou adre-
sou. Díky implementaci detekce kolizí
na sběrnici I²C je možné provozovat
toto rozhraní i v režimu multi-master.

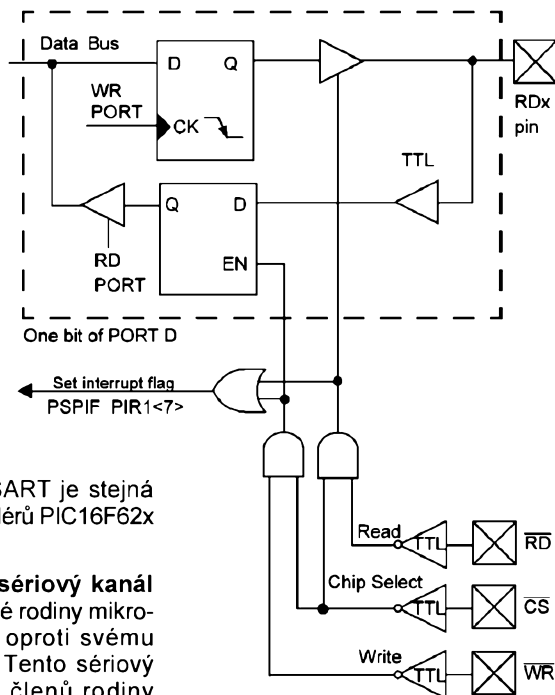
Problematika sériového přenosu,
zvláště pak protokol sběrnice I²C, je
natolik rozsáhlý, že v manuálech pro-
cesorů je mu věnováno 30 až 40 stran,
což je nad možnosti tohoto článku. Pro
detailní popis tohoto rozhraní odkazují
tedy čtenáře na tyto manuály, případně
lze nastudovat problematiku sběrnice
I²C z manuálů firmy Philips, která je pů-
vodcem tohoto rozhraní.

PSP - Paralelní Slave Port. Dal-
ším prvkem, který najdeme u nové ro-
diny mikroprocesorů PIC16F87x je Pa-
ralelní Slave Port. Tento port však
vzhledem k potřebnému počtu vývodů
najdeme pouze u obvodů v pouzdech
se 40/44 vývody. Blokové schéma to-
hoto portu je na obr. 4.23.

Port umožňuje rychlý přenos dat
mezi procesory nebo mezi procesorem
a periférií. V principu se jedná o dva os-
mibitové registry, přičemž zápis a čtení
těchto registrů lze ovládat jak ze vnějš-
ku mikroprocesoru pomocí řídicích sig-
nálů RD, WR a CS, tak i zevnitř proce-
sorů. Oba registry vytváří vyrovnávací
buffery pro jeden byte.

A protože nároky na výpočetní vý-
kon jsou u některých aplikací nad mož-
nosti řady „Mid-Range“, vznikla pro
uspokojení těchto požadavků řada
mikrokontrolérů nazvaná „High-End“.

Stejně jako předchozí řady, měli i zá-
stupci této řady paměť programu typu



Obr. 4.23. Jednotka PSP v mikrokon-
trolérech PIC16F87x. I/O vývody mají
ochranné diody spojené s V_{DD} a V_{SS}

EPROM, ale s technologickým pokro-
kem se i v ní objevili členové s pamětí
Flash.

Pojďme si krátce představit typ z řa-
dy PIC18F2x2/4x2, která má celkem
čtyři zástupce a je již standardně do-
stupná.

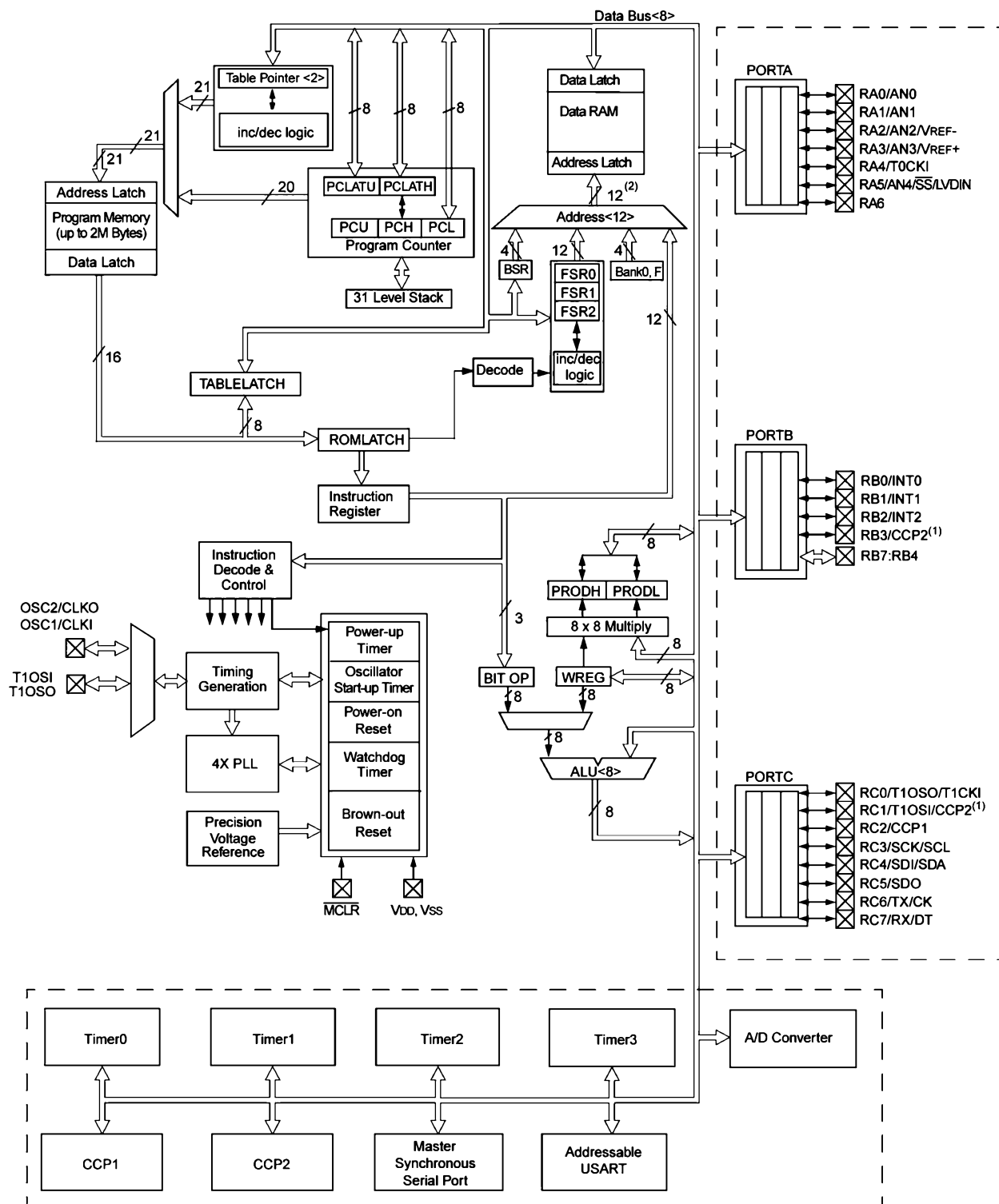
PIC18F242/252/442/452. Bloko-
vé schéma mikrokontrolérů PIC18F4x2/
2x2 je na obr. 3.77. Typy PIC18F2x2
se od PIC18F4x2 liší pouze menším
pouzdem s menším počtem vývodů, a
tím i nedostupností portů D (paralelní
port) a E (tři bity/tři analogové vstupy).

Troufám si říci, že architektura řady
„High-End“ (PIC18) znamenala odklon
od vyzkoušené architektury použité
u předchozích řad, který byl vyvolán po-
žadavkem vyššího výkonu a který ar-
chitektura založená na existenci jedno-
ho akumulátoru nemohla poskytnout.

Ruku v ruce s požadavkem na vyš-
ší výpočetní výkon rostou i požadavky
na velikost paměti pro data a na rychlý
přístup k těmto datům. To opět archi-
tektura použitá u předchozích řad ne-
mohla splnit. Bránila tomu limitovaná
velikost jedné stránky (128 byte), která
vedla k nutnosti stránkovat tuto paměť
při potřebě většího adresového prostoru
pro data. Že stránkování není vhodné
ani z hlediska rychlosti přístupu je zce-
la zřejmé.

Uvedené požadavky logicky vyústily
v použití architektury s dostatečným
(jak dlouho?) lineárním adresovým pro-
storem jak pro data, tak i pro program.

Taktéž aritmeticko-logická jednotka
nepoužívá jeden akumulátor, ale je po-
stavena na tzv. „register-file“, kde každý
z registrů může plnit úlohu akumulátoru
výsledku aritmetické či logické operace.



Obr. 4.24. Blokové schéma mikrokontrolérů PIC18F4x2/2x2. Pozn.: 1) Funkce vývodu RB3 se volí konfiguračním bitem, 2) Vyšší bity adresy se berou z registru BSR, vyjma instrukce MOVFF

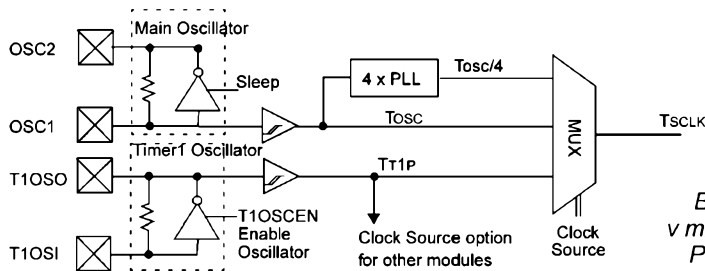
Změny architektury přinesly taktéž pozitivní efekt pro překladače vyšších programovacích jazyků (jazyka C), které díky nové architektuře jsou schopny generovat kompaktnější a hlavně rychlejší kód, takže programátor se nemusí tak často uchýlovat k psaní části programového vybavení v jazyce symbolických adres (assembleru).

Architektura řady „High-End“ je schopna poskytnout špičkový výkon až 10 MIPS, má lineární adresový prostor pro program o velikosti až 2 Mbyte a datový prostor o velikosti až 4 Kbyte.

Protože byla v podstatě změněna každá část mikrokontroléru, pojďme si stručně představit jednotlivé části mikrokontroléru trochu detailněji.

Oscilátor. Spíše než oscilátor bych tuto jednotku měl nazvat blokem generujícím systémový takt. V jednotce najdeme kromě vlastního oscilátoru také jednotku fázového závěsu, která může vynásobit systémový takt na vyšší frekvenci (jednotka násobí 4x). Použití nízké kmitočtu vlastního oscilátoru přináší kromě zmenšení rušivého vyzá-

řování taktéž možnost snížit/zvýšit pracovní frekvenci podle okamžité potřeby aplikace. Nižší systémový takt mikrokontroléru znamená nižší spotřebu, zatímco při vyšším kmitočtu dosáhne mikrokontrolér požadovaného výpočetního výkonu. Mikrokontrolér disponuje mimo hlavního oscilátoru taktéž pomocným oscilátorem, který je konstrukčně přizpůsoben krystalům s frekvencí 32768 Hz. Tento oscilátor se může použít jako zdroj systémového kmitočtu. Díky nízkému kmitočtu klesá spotřeba mikrokontroléru na několik de-



Obr. 4.25.
Blok oscilátorů
v mikrokontrolérech
PIC18F4x2/2x2

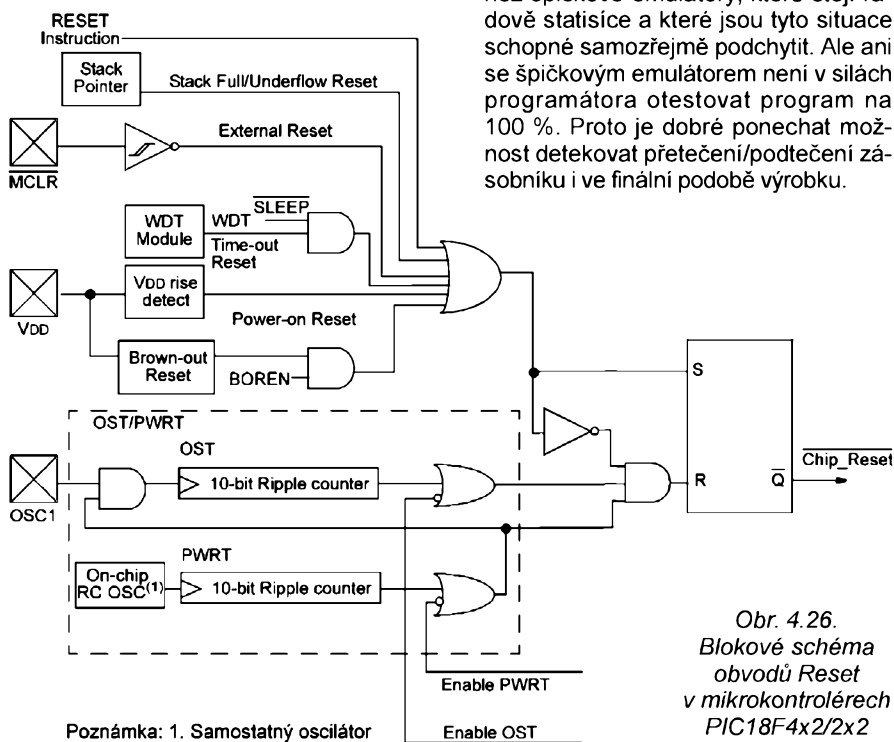
sítěk μA , ale přitom je mikrokontrolér schopen reagovat na externí signály a v případě potřeby se přepnout na vyšší systémový takt a ošetřit události. Pokud již vysokého výkonu nebude zapotřebí, může si mikrokontrolér opět snížit systémový takt.

Blokové schéma obvodů oscilátorů je na obr. 4.25.

Obvody Resetu, pod které se dají zařadit i obvody pro hlídání běhu programu a ošetření výjimečných situací, jako je pokles napájecího napětí apod., patří vždy k dobře propracovaným částem mikrokontrolérů PIC. S uspokojením mohu říci, že výrobce pokračuje v dobré tradici a ještě tyto obvody

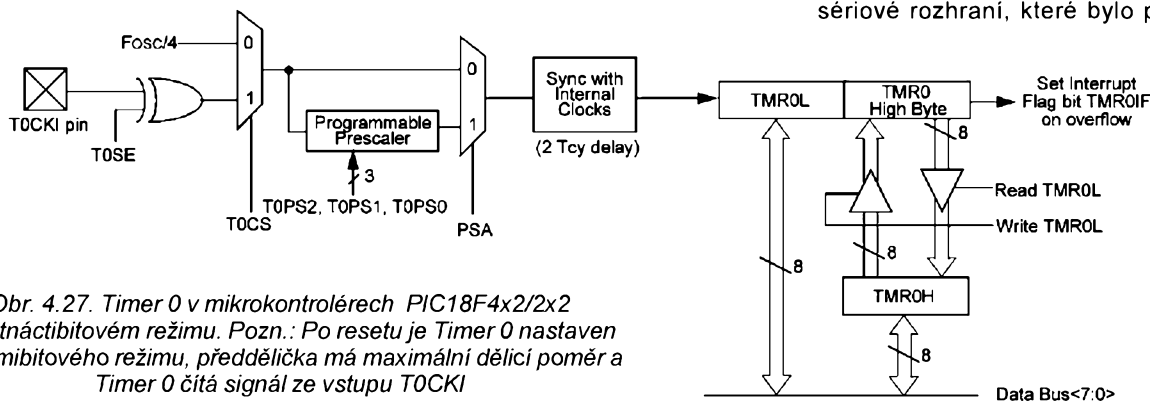
doplnil. Jejich blokové schéma je na obr. 4.26.

K již tak vynikajícím schopnostem obvodů Resetu, které byly implementovány v rodině mikrokontrolérů „Mid-Range“, přidal výrobce možnosti resetovat mikrokontrolér instrukcí programu, při přetečení/podtečení zásobníku a obvodem hlídajícím náběh oscilací hlavního oscilátoru. Největší přínos spatřuji v přidání možnosti hlídat přetečení/podtečení zásobníku, neboť tato situace může (a to zejména ve fázi ladění programového vybavení) značně ulehčit práci programátorovi. Je nutné si uvědomit, že pro ladění stále komplikovanějšího programového vybavení se často používají jednodušší prostředky než špičkové emulátory, které stojí řádově statisíce a které jsou tyto situace schopné samozřejmě podchytit. Ale ani se špičkovým emulátorem není v silách programátora otestovat program na 100 %. Proto je dobré ponechat možnost detekovat přetečení/podtečení zásobníku i ve finální podobě výrobku.



Obr. 4.26.
Blokové schéma
obvodů Reset
v mikrokontrolérech
PIC18F4x2/2x2

Poznámka: 1. Samostatný oscilátor



Obr. 4.27. Timer 0 v mikrokontrolérech PIC18F4x2/2x2
v šestnáctibitovém režimu. Pozn.: Po resetu je Timer 0 nastaven
do osmibitového režimu, předdělička má maximální dělicí poměr a
Timer 0 čítá signál ze vstupu T0CKI

Timer 0 - čítač/časovač 0. Tento modul je obdobou jednotky Timer 0 předchozích řad s tím rozdílem, že je schopen pracovat jak v osmibitovém, tak i v šestnáctibitovém režimu. Vlastnímu čítači je předřazena programovatelná dělička. Čítač je schopen při přepnutí (a to jak osmibitovém, tak i šestnáctibitovém) generovat přerušení. Čítat je možné buď interní systémový takt ($f_{osc}/4$) nebo externí kmitočet přivedený na vývod T0CKI. Blokové schéma jednotky Timer 0 v šestnáctibitovém režimu je na obr. 4.27.

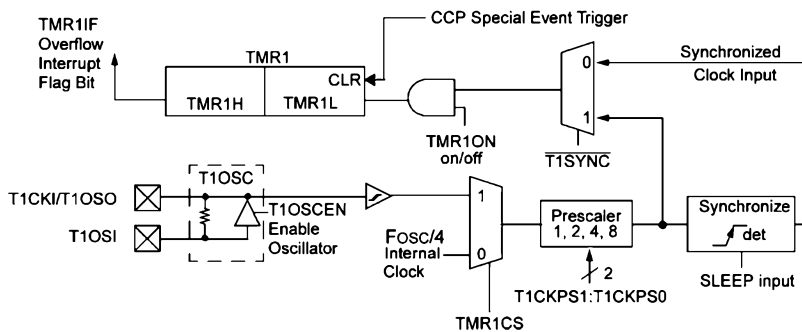
Timer 1 - čítač/časovač 1. Stejně jako v případě jednotky Timer 0 je i jednotka Timer 1 obdobou stejné jednotky u řady „Mid-Range“. Jediným rozdílem je možnost resetovat registry timeru jednotkou CCP. Blokové schéma jednotky Timer 1 je na obr. 4.28.

Timer 2 - čítač/časovač 2. Opět „stará známá“ jednotka z předchozí řady, tak tedy jen ve stručnosti. Jedná se o osmibitový timer s možností generovat přerušení při přetečení. Vlastnímu čítači je předřazena předdělička pro zlepšení možnosti volby intervalu. Výstup z jednotky může být využit jako zdroj hodinového kmitočtu pro jednotku SSP (synchronní sériový port I²C/SPI). Blokové schéma jednotky Timer 2 je na obr. 4.29.

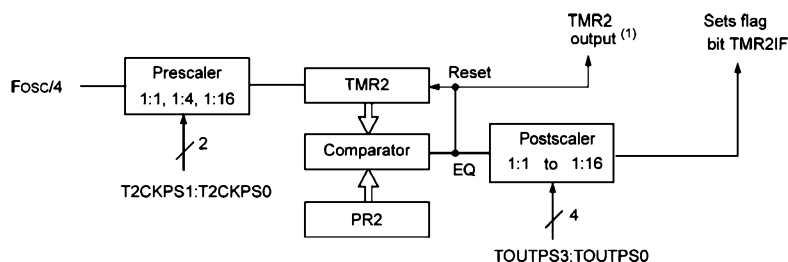
Timer 3 - čítač/časovač 3. I když se jednotka Timer 3 v předchozí řadě nevyskytovala, uživatel se nebude muset učit nic nového, protože se v podstatě jedná o duplikát jednotky Timer 1. Tato jednotka však nemá svůj oscilátor, ale umožňuje využití oscilátoru jednotky Timer 1.

Jednotky CCP - Capture/Compare/PWM. Opět periferie, která se vyskytovala v předchozí rodině, opět v téměř nezměněné podobě. Rozdílem je to, že jednotky jsou v popisovaných mikrokontrolérech přítomny hned dvě. Je škoda, že tato periferie nedoznala změn, že se firma nevzala příklad z podobných jednotek u konkurence, neboť v porovnání s jednotkou PWM mikroprocesorů ATMELE dokáže generovat PWM signál pouze v režimu (typu) „fast-PWM“, který není např. pro řízení vícefázových motorů příliš vhodný.

USART - Univerzální synchronní/asynchronní rozhraní. Osvědčené sériové rozhraní, které bylo použito



Obr. 4.28. Timer 1 v mikrokontrolérech PIC18F4x2/2x2



Obr. 4.29. Timer 2 v mikrokontrolérech PIC18F4x2/2x2. Pozn.: Výstup z registru TMR2 může být použit modulem SSP jako zdroj řídicího signálu

např. u mikrokontroléru PIC16F627/628. K výhodám patří nezávislý generátor přenosové rychlosti, takže uživatel nepřijde o drahocenný čítač/časovač, jako v případě mikroprocesorů řady 80C51/52. Další vítanou vlastností je možnost práce v devítibitovém módu (rozlišení data/adresa) a detekce stavů Overrun a Framing Error. K nevýhodám patří pouze jednoduchý buffer, takže programátor musí rychle reagovat na přerušení od příjmu znaku, aby předešel přetečení a ztrátě znaku.

SSP - Synchronní sériový kanál.

Opět nezbyvá nic jiného než napsat, že toto osvědčené rozhraní nalezneme již u předchozí řady, konkrétně např. u typu PIC16F87x. Rozhraní je možné provozovat jak v módu SPI, kdy podporuje všechny 4 módy i režimy master/

/slave, tak i v režimu I²C, kdy rozhraní podporuje jak sedmibitovou i rozšířenou desetibitovou adresu, tak i režim „multi-master“.

A/D convertor - desetibitový analogově-digitální převodník. Tato periferie se vyskytovala ve stejné konfiguraci např. u modelu PIC16F87x (viz obr. 4.18 na str. 10). Přítomnost osvědčeného A/D převodníku je velmi vítaná, neboť mnoho řídicích aplikací ho potřebují pro svůj styk s reálným světem, který je vesměs analogový.

Užitečným rozšířením je kontinuální mód, ve kterém je A/D převodník ve spolupráci s jednotkou Timer 1 či Timer 3 a jednotkou CCP2 schopen automaticky (bez přispění sw) opakovaně měřit a ukládat výsledky na určené adresy. Tento mód bude dobře použitelný v případech, kdy je nutno opakovaně a v krátkých intervalech provádět odměry analogové veličiny. V případě čistě programového řešení úschovy výsledků může být mikrokontrolér snadno velmi vytižen a na vlastní proces zpracování výsledků již nezbyde potřebný výpočetní výkon.

Nyní si dovoluji jednu poznámku ohledně dědičnosti vlastností periferií.

Na jednu stranu je velmi příjemné, že výrobce umožňuje jakousi dopřednou kompatibilitu periferií, což uvítá především programátor, protože se jednak nemusí nic nového učit, a za druhé mu to umožní snadněji převzít předchozí programové vybavení.

Na stranu druhou je to však zpátečnické, neboť pokud konstruktérovi nevyhověl jeden typ kvůli nepřítomnosti periferie, či jejímu využití brání některá její nevhodná vlastnost, bude těžko hledat typ, který má potřebnou vlastnost.

LDV - Low voltage detector - Detektor nízkého napětí. Pod touto zkratkou se skrývá kombinace programovatelného odporového děliče, komparátoru a interního zdroje referenčního napětí. Účelem této kombinace, jejíž blokové schéma je na obr. 4.30, je detekovat nízké napájecí napětí s možností volby detekované úrovně.

Tato periferie bude užitečná v případech, kdy konstruktér využije možnosti zápisu do interní paměti programu. Pro úspěšný zápis do programové paměti je nutné mít dostatečnou velikost napájecího napětí. Zejména v případech, kdy je zařízení napájeno z baterií, bude zcela namístě toto napětí kontrolovat.

Přerušovací logika. Mikrokontroléry PIC® mají velmi jednoduchý přerušovací systém a z toho vyplývající „volání“ podprogramu na obsluhu přerušení na jedné pevné adrese bez ohledu na to, která periferie přerušení vyvolala. Toto řešení má své výhody i nevýhody.

Jako výhodu jmenujme velmi jednoduchý hw, systém je průhledný a programátor má vše pod kontrolou.

Na druhou stranu se však musí postarat o programovou detekci periferie, která žádá o přerušení. Tato sw detekce bude vždy pomalejší než detekce hardwarová (systém různých přerušovacích vektorů).

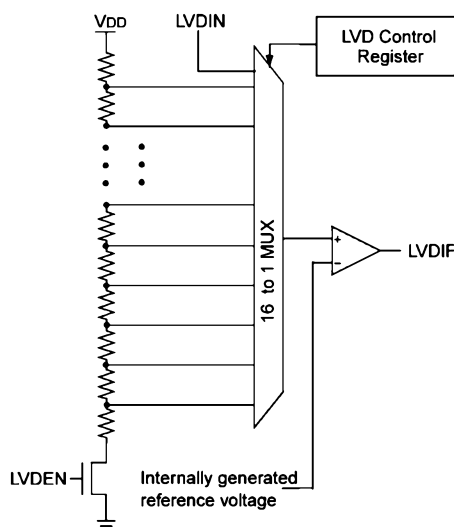
Nevím zda výrobce alespoň trochu uznal tuto nevýhodu oproti mikrokontrolérům jiných výrobců, ale je faktem, že v řadě PIC18 najdeme přerušovací vektory dva, lišící se svojí prioritou. Tento systém alespoň trochu usnadní život programátorům, kteří budou potřebovat velmi rychlou odezvu na jedno či dvě přerušení.

Table read/write. Snad největším rozdílem oproti předchozí řadě („Mid-Range“), tedy samozřejmě kromě změny vlastní architektury, je možnost číst a zejména pak zapisovat do programové paměti.

Programátorovi je tak poskytnuta nejen možnost uschovat i větší množství konfiguračních dat, avšak dostává do rukou i mocný nástroj pro změnu (update) programového vybavení, a to i na dálku přes modem či internet, neboť mikrokontrolér je schopen si přepsat sám sobě program ve vnitřní paměti programu.

Princip použitý pro zápis/čtení programové paměti je podobný systému zápisu/čtení paměti EEPROM. Jelikož mikrokontrolér může disponovat kapacitou až 2 Mbyte paměti, je šířka adresy celkem 22 bitů. Tyto bity pro adresaci programové paměti jsou umístěny ve třech registrech TBLPTRU, TBLPTRH a TBLPTRL (viz obr. 4.31), přičemž horní dva bity registru TBLPTRU jsou nevyužity.

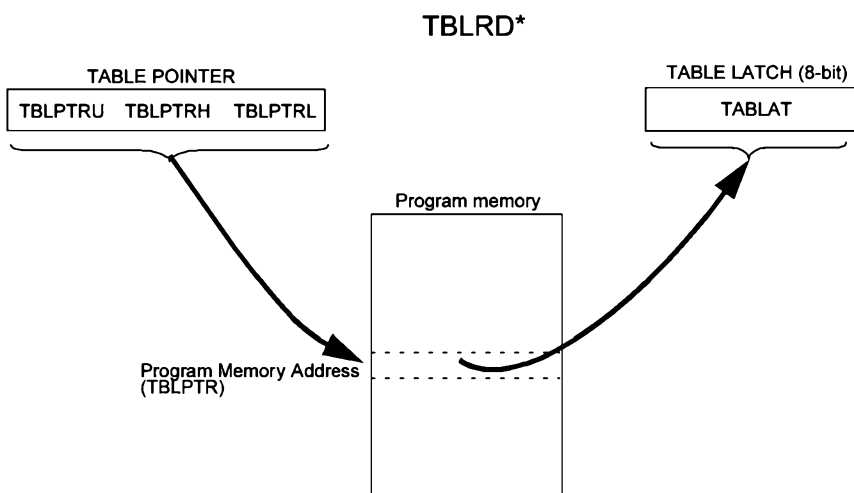
Protože by „manipulace“ s třemi nezávislými registry (myslím tím inkrementaci či dekrementaci) byla velmi obtížná, začlenil výrobce pro práci s těmito registry celkem 8 instrukcí:



Obr. 4.30. Jednotka LDV v mikrokontrolérech PIC18F4x2/2x2

Tab. 1. Porovnání časů pro násobení v mikrokontrolérech PIC18F4x2/2x2

Routine	Multiply Method	Program Memory (Words)	Cycles (Max)	Time		
				@ 40 MHz	@ 10 MHz	@ 4 MHz
8 x 8 unsigned	Without hardware multiplier	13	69	6,9µs	27,6µs	69µs
	Hardware multiplier 8 x 8	1	1	100ns	400ns	1,0µs
8 x 8 signed	Without hardware multiplier	33	91	9,1µs	36,4µs	91µs
	Hardware multiplier 8 x 8	6	6	600ns	2,4µs	6,0µs
16 x 16 unsigned	Without hardware multiplier	21	242	24,2µs	96,8µs	242µs
	Hardware multiplier 8 x 8	24	24	2,4µs	9,6µs	24µs
16 x 16 signed	Without hardware multiplier	52	254	25,4µs	102,6µs	254µs
	Hardware multiplier 8 x 8	36	36	3,6µs	14,4µs	36µs



Obr. 4.31. Princip čtení z programové paměti v mikrokontrolérech PIC18F4x2/2x2

TBLRD * - obsah paměťového místa s adresou TBLPTR je zkopírován do registru TABLAT, registr TBLPTR zůstane beze změny.

TBLRD *+ - obsah paměťového místa s adresou TBLPTR je zkopírován do registru TABLAT, registr TBLPTR bude po zkopírování inkrementován.

TBLRD *- - obsah paměťového místa s adresou TBLPTR je zkopírován do registru TABLAT, registr TBLPTR bude po zkopírování dekrementován.

TBLRD +* - registr TBLPTR bude nejdříve inkrementován, pak bude obsah paměťového místa s adresou TBLPTR je zkopírován do registru TABLAT.

Stejně čtyři instrukce existují i pro zápis.

Násobička 8x8. S postupem času se část úkolů, které se dříve realizovaly pomocí hw, stále častěji realizuje pomocí programového vybavení. Klasickým úkolem je např. filtrace měřeného signálu. V současné době je již mnoho zpracovaných způsobů, takže programátor musí „pouze“ vhodně zvolit.

Číslcová filtrace, či jakékoliv komplexnější zpracování signálu, mají jedno společné - jsou náročné na výpočetní výkon mikrokontroléru a zvláště se v nich vyskytuje mnoho násobení. Samozřejmě lze násobení řešit i pomocí programového vybavení, ale to pro mnoho oblastí nestačí, neboť programová realizace je velmi pomalá.

Takže, pokud neměla být tato oblast pro mikrokontroléry rodiny PIC18 uzavřena, musel výrobce implementovat

alespoň jednoduchou hardwarovou násobičku, která dokáže urychlit násobení řádově (viz tab. 1), a to i případech, kdy šířka operandů vstupujících do násobení je větší, než má násobička.

Shrnutí. I když se to podle uvedeného popisu nezdá, přináší řada mikrokontrolérů „High-End“ mnoho nového, a to spíše v řešení samotného jádra mikrokontroléru než v perifériích. Periferie, které se osvědčily v předchozí řadě, zůstaly buď beze změny, nebo jen s malými úpravami.

Jako pozitivní krok lze hodnotit přidání hardwarové násobičky, která jistě pomůže rozšířit pole aplikací vhodných pro mikrokontroléry PIC.

Dalším pozitivním rysem je zpřístupnění paměti programu, takže již nic nebrání tomu, aby aplikace, pokud disponuje možností spojení např. přes telefonní linku, byla v okamžiku vydání nové verze programového vybavení automaticky přeprogramována.

Vývojové prostředky pro mikrokontroléry

Hovoříme-li o mikrokontrolérech, nesmíme zapomenout na důležitou věc, bez které by sebelepší mikrokontroléry ztratily z větší části svůj půvab, neboť jejich využívání by bylo obtížné.

Tou věcí jsou emulátory mikrokontrolérů a překladače programovacích jazyků. S pomocí emulátorů jsme schopni relativně jednoduše odladovat vyvíjené programové vybavení. Využívání emulátorů nám umožňuje sledovat chování programového vybavení v reálných podmínkách a měnit vlastní program.

Na počátku využívání mikrokontrolérů byly k dispozici pouze nedokonalé emulátory, které byly ještě k tomu velmi drahé a tudíž dostupné pouze pro omezený okruh uživatelů. S postupem času a s vývojem technologií se emulátory staly dostupnější.

V současné době je možné emulátory rozdělit zhruba do tří skupin:

- Univerzální emulátory.
- Jednotypové emulátory.
- Emulátory JTAG.

Skupina **plně univerzálních** emulátorů i přes schopnosti těchto emula-

torů není příliš početná z důvodů její finanční náročnosti. K tomuto důvodu si troufám přidat ještě jeden další. Tím je úzký okruh používaných mikrokontrolérů, který je vývojářem používán, neboť každý výrobce má vlastní filozofii mikrokontrolérů, a ta se odráží jak v použitém spektru periférií, tak i v použitém instrukčním souboru. Výsledkem je fakt, že návrhář i programátor se musí s touto filozofií konstrukce toho kterého mikrokontroléru a jeho instrukčního souboru tak zvaně sžít, aby výsledky jejich práce byly optimální a neobsahovaly mnoho zbytečných věcí a aby program byl napsán účelně. Nedodržení těchto zásad vede k drahému řešení, které má menší šanci se prosadit na trhu, např. kvůli vyšší ceně.

Druhou skupinou jsou **jednotypové emulátory**. Emulátory této skupiny jsou schopny emulovat jeden typ či jednu rodinu (skupinu) mikrokontrolérů. Tyto emulátory jsou založeny na speciálních emulačních čipech vyráběných přímo samotnými výrobci, nebo tyto emulátory využívají vhodných vlastností stan-



Obr. 1. Emulátor TOPICE52

dardních mikrokontrolérů. Negativním důsledkem je malý počet emulovaných typů mikrokontrolérů jedním emulátorem. Pozitivním důsledkem je razantní snížení ceny, v některých případech až o dva řády.

Typickým představitelem těchto jednotkových emulátorů je typ TOPICE52 firmy XELTEK (obr. 1), který je prodáván firmou GM Electronic za přibližně 10 500,- Kč. Tento emulátor je schopen emulovat skupinu mikrokontrolérů založených na jádře 80C52. Mezi podporované typy patří: 89C1051, 89C2051, 89C4051, 80C31, 89C51, 80C32, 89C52, 89C55. Cennou vlastností emulátoru, resp. jeho ovládání programu, je schopnost pracovat s rozsáhlými programy formou projektů, kdy celý program je složen z jednotlivých částí. Další pozitivní vlastností je schopnost spolupracovat s programovým vybavením firmy Keil, která produkuje kvalitní překladače jazyka C pro mnoho typů mikrokontrolérů a mikroprocesorů. Výsledkem spolupráce vývojového prostředí a zmínovaných překladačů je možnost ladit uživatelský program přímo ve zdrojové formě, tj. buď v jazyku symbolických adres nebo i v jazyku C. Samozřejmostí je možnost číst a měnit obsah všech interních registrů a paměti RAM. Standardní vlastností vývojového prostředí je možnost nastavit neomezený počet breakpointů, krokovat program, číst obsah paměti či registrů mikrokontroléru a případně měnit jejich obsah.

Jako o dalším příkladu jednoúčelových emulátorů bych se rád zmínil např. o AVR ICE200 firmy ATMEL (obr. 2), který je zaměřen na řadu mikrokontrolérů AVR. Tento hardwarový emulátor umožňuje využít všechny funkce na čipu mikroprocesoru bez omezení, neboť se jedná o tzv. „non-intrusive“ emulátor, jehož základem jsou speciální emulační čipy, které jsou vyrobené tak, že jejich chování je shodné s reálnými mikroprocesory, a to včetně elektrických parametrů vstupů a výstupů. Samozřejmostí je neomezený počet breakpointů, podpora ladění programů na zdrojové úrovni programů (jazyk sym-



Obr. 2. Emulátor AVR ICE200

bolických adres = assembler či jazyk C) a běh programu v reálném čase (real-time emulation). Veškeré funkce emulátoru jsou dostupné přes jednotné vývojové prostředí AVR Studio®. Přes toto rozhraní jsou dostupné jak všechny vnitřní paměti příslušného mikroprocesoru, jeho registry a vstupní/výstupní brány, tak i případné paměti externí. Vývojové prostředí AVR Studio® je s emulátorem propojeno přes sériový port, což dává předpoklad bezproblémového chodu tohoto programu pod Windows 95/98/ME či Windows NT. Vývojové prostředí je připraveno i na případ nutnosti využít více emulátorů na jednom počítači. Maximální počet emulátorů je tedy omezen pouze počtem volných sériových komunikačních kanálů řídicího počítače. Emulátor podporuje i možnost „upgrade“ svých vlastností přes vývojové prostředí AVR Studio®, což dává předpoklad pro dlouhodobé využití emulátoru.

S postupujícím technologickým pokrokem se čipy stávají více a více komplexnější a přibývá mnoho nových typů. To staví výrobce emulátorů do velmi těžké pozice. Výrobce musí být schopen nabídnout emulátor co nejdříve po uvedení nového typu mikrokontroléru na trh. Elegantním řešením tohoto problému je zabudování speciálního rozhraní přímo do vlastního mikrokontroléru. Rozhraní, jenž nese název JTAG, je ve spolupráci s přidanou interní logikou schopno ovlivnit chod mikroprocesoru. Vzhledem k technologickému pokroku je rozdíl v ceně mikrokontroléru s a bez emulační logiky zanedbatelný. Tuto logiku s rozhraním JTAG najdeme u mnoha mikrokontrolérů a mikroprocesorů, a to včetně signálových procesorů.

Představme si toto rozhraní a emulátor trochu podrobněji. AVR JTAG ICE - On-Chip Debug System (obr. 3) je hardwarové rozhraní podle normy IEEE 1149.1, které zprostředkovává styk mezi ladicím programem v PC a reálným mikroprocesorem v uživatelské aplikaci. Veškeré ladění programu pak probíhá na skutečném mikroprocesoru a ne tedy na emulačních čipech, které se mohou v mezních situacích chovat jinak než reálný mikroprocesor. K uvedeným výhodám přidejme ještě nízkou cenu. Přes nízkou cenu je toto rozhraní ve spolupráci s řídicím programem AVR Studio® schopné uspokojit i profesionální vývojáře, zvyklého na komfortní emulátory a vývojové prostředky.

Přes toto rozhraní jsou vývojáři dostupné všechny zdroje připojeného mikroprocesoru, ať jsou to interní paměti, registry, vstupní/výstupní brány atd. Přes toto rozhraní je možné i programovat interní paměti Flash (paměť programu) a EEPROM (paměť dat). Vývojové prostředí podporuje ladění programů na zdrojové úrovni, ať se jedná o jazyk symbolických adres (assembler) či jazyk C. Program v reálném mikroprocesoru je možné krokovat krok za krokem (single step capability), nastavovat breakpointy (jednoduché i na rozsah adres), zastavovat běh programu od události (změna obsahu paměti). Počet dostupných breakpointů se liší typ od typu mikroprocesoru, typicky jsou dostupné čtyři breakpointy, přičemž typ breakpointu lze měnit, tj. je možné nastavit např. čtyři programové breakpointy a žádný datový či dva programové a dva datové. Breakpoint na rozsah adres je definován spodní a horní adresou a tudíž zabírá místo dvou jednoduchých breakpointů. I přes některá omezení převládá snadno výhody tohoto typu emulátoru jeho nevýhody. Velmi výhodná je zejména skutečnost, že ladění programu probíhá skutečně na reálném mikroprocesoru, a to, že lze ladit i všechny budoucí mikroprocesory, které budou obsahovat podporu tohoto rozhraní, což eliminuje náklady na pořízení nových a nových emulátorů, jak je tomu v případě klasických emulátorů. Snadno dojdeme k závěru, že toto rozhraní podpoří a velmi usnadní využití nových mikroprocesorů řady AVR ATmega firmy ATMEL. Vývojové prostředí lze najít na webových stránkách www.atmel.com.



Obr. 3. Emulátor AVR JTAG



Obr. 4.
„RoadMap“
vývojových
prostředků
STMicro-
electronics®

Ani takový výrobce, jako je firma Microchip, nemůže v tomto trendu zaostat. I když mikrokontroléry nevyužívají standardní rozhraní JTAG, ale své vlastní, existuje zde možnost pro emulaci využít některé standardní mikrokontroléry, jako jsou např. PIC16F877 či PIC18F452. Vývojové prostředí využívající možnosti ICD (In circuit Debugging, jak výrobce nazývá tento způsob emulace mikrokontrolérů) se nazývá MPLAB-ICD a MPLAB-ICD2.

Zvýšenou pozornost si zaslouží MPLAB-ICD2, které drží krok s vývojem i v oblasti PC, neboť pro styk s řídicím počítačem využívá moderní a stále více se prosazující rozhraní USB. To umožňuje bezproblémově využít toto vývojové prostředí i u počítačů, které nemají sériový port (notebooky). Jedinou malou vadou na kráse tohoto prostředí je fakt, že využívá některé prostředky vlastního mikrokontroléru a není tudíž tak úplně „non-intrusive“, což někdy může přinést při vývoji programového vybavení komplikace. Tuto nevýhodu, alespoň doufám, vyváží cena, která je o řád nižší než u profesionálního emulátoru ICE 2000. V současné době, v době nástupu nových mikrokontrolérů rodiny dsPIC® uvádí na trh firma Microchip nový emulátor podporující tyto mikrokontroléry, nazvaný ICE4000.

Uvedené vývojové prostředky byly určeny pro mikrokontroléry ATMEL a Microchip. Dejme šanci i dalším. Mikrokontroléry STMicroelectronics® jsou podporovány jak přímo jejich výrobcem, tak i mnoha dalšími firmami (tzv. „third parties“).

Zaměříme se na řadu ST7, jejichž zástupci byli představeni v KE 1/2003. Zmiňované mikrokontroléry jsou podporovány celou řadou vývojových prostředků - od těch nejjednodušších, které slouží k seznámení s vlastními mikrokontroléry a s danou problematikou, až po nejkomfortnější, sloužící při profesionálním vývoji aplikací. Ne, že by tyto posledně jmenované prostředky

byly nevhodné pro normálního uživatele, ale důvodem, proč jsou vhodné pro profesionály, je jejich cena. Tato cena se pohybuje v řádech tisíců amerických dolarů. Situaci, nebo chcete-li, vztah mezi cenou a vlastnostmi, spolu s možnou oblastí použití vývojových prostředků, vystihuje obr. 4. Stejný průběh má, bohužel, i cena těchto vývojových prostředků.

Nejjednodušší vývojové prostředky, tzv. Evaluation Boards, slouží pro první seznámení s mikrokontroléry a mají umožnit uživateli si otypovat, zda příslušný mikrokontrolér, resp. řada mikrokontrolérů, je vhodná pro jeho aplikaci. Hardware vývojového prostředku je tvořen deskou s plošnými spoji, kde jsou příklady nejjednodušších periférií, jako jsou tlačítka, diody LED, displeje LED atd.

Druhým stupněm vývojových prostředků jsou tzv. Starter Kits, které jsou v porovnání s předchozím vývojovým prostředkem mnohem dokonalejší. Většinou tyto kity nabízejí „coś“ jako softwarovou emulaci cílového mikrokontroléru.

Programová simulace na řídicím PC samozřejmě nemůže nahradit pravý mikrokontrolér, protože nepracuje plně v reálném čase, ale vstupní/výstupní data jsou přenášena do řídicího PC ze skutečných vývodů daného mikrokontroléru na desce s plošnými spoji. Jeden takový Starter Kit je na obr. 5. Pomocí takových kitů už lze vytvářet i jednoduché aplikace. Aby výrobci usnadnili práci s těmito vývojovými prostředky, jsou někdy tyto vývojové prostředky díky přítomným perifériím zaměřeny na určitou oblast, jako např. na regulaci motorů či obsluhu sběrnice USB.

Dalším stupněm vývojových prostředků jsou tzv. Development Kits, které již jsou téměř profesionálními vývojovými prostředky. Umožňují emulaci v reálném čase, zadávání break-pointů a trasování programu. Tedy téměř totéž, jako plnohodnotné, pravé hw emulátory, s tou výjimkou, že počet break-pointů, velikost trasovací paměti a některé další vlastnosti jsou silně omezené vůči pravému emulátoru.



Obr. 5.
„Starter Kit“
pro mikro-
kontroléry
řady ST7
firmy
STMicro-
electronics®

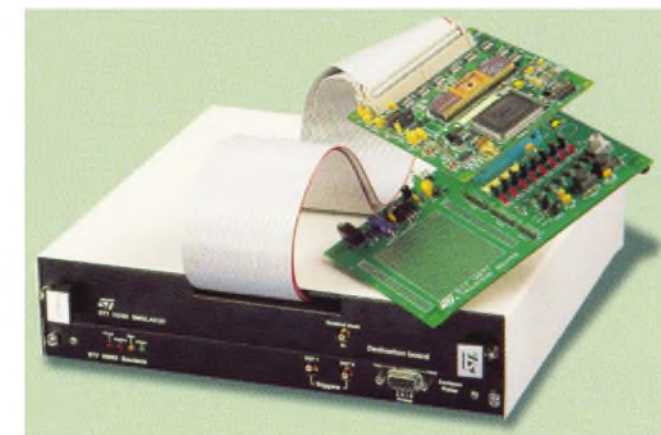
Posledním, nejdokonalejším vývojovým stupněm hw vývojových prostředků jsou plnohodnotné hw emulátory. Tyto prostředky nabízejí velký komfort pro vývoj programového vybavení. Mezi vlastnosti takových emulátorů patří téměř neomezený počet break-pointů, které mohou být podmíněné. Mezi další vlastnosti patří např. velká trasovací paměť, pomocí které můžeme nahlédnout do „historie“ běhu programu a ve spolupráci s break-pointy lze snadněji odhalit důvody, proč nastal určitý jev, jako je např. selhání běhu programu (pomocí trasovací paměti vidíme programové instrukce a případně další data předcházející určité události).

Mezi tyto vývojové prostředky patří i emulátor mikrokontrolérů řady ST7 označený „ST7-HDS2 Emulator“, který je na obr. 6. Z obrázku je patrné, že se emulátory této třídy skládají ze dvou hlavních částí - z řídicí jednotky a emulační hlavice. Zatímco řídicí jednotka je stále stejná, emulační hlavice se mění podle typu mikrokontroléru, který požadujeme emulovat. Tímto způsobem je redukována cena, kterou je uživatel nucen zaplatit při požadavku na nový typ mikrokontroléru.

Cena za uvedené hw vývojové prostředky není jediným výdajem, který musí uživatel zaplatit, chce-li profesionálně psát programy, neboť vývojové prostředky nejsou jen emulátory, ale též překladače jazyků, bez kterých bychom museli psát programy přímo ve strojovém jazyce. Kdo to jednou zkusil, musí uznat, že se přímým zápisem ve strojovém jazyce mikrokontroléru komplexní programy psát nedají.

Prvním široce používaným jazykem je jazyk symbolických adres, často nazývaný assembler. Jedná se v podstatě o „lidštější“ zapsaný strojový kód, kde instrukce mikrokontroléru jsou zapsány mnemotechnicky a kde je možné používat symbolické adresy a proměnné. Překladač jazyka symbolických adres pak zajistí jednoduchý překlad do strojového jazyka. V době vzniku prvních mikroprocesorů byl jazyk symbolických adres nadlouho jediným „vyšším“ programovacím jazykem. Dnes je využíván méně. Oblastí, kde stále kraluje, jsou programy obsluhy různých přerušování, kde je kladen velký důraz na rychlost programu, nebo u nejmenších typů mikrokontrolérů, kde se doslova musí šetřit každým bytem. V současnosti používané makroasembly poskytují při psaní programů nesrovnatelně vyšší komfort než první překladače. Zajímavostí je, že některé vlastnosti převzaly překladače z vyšších programovacích jazyků.

S postupem času počaly vznikat různé vyšší jazyky. Jedním z prvních byl BASIC. Dlouho neústal osamocen, protože se objevil PASCAL a pak jazyk C. Vyjmenované vyšší programovací jazyky tvoří pouze zlomek dostupných jazyků, avšak jsou nejvíce známé, a poslední z nich, jazyk C, je dnes snad nejčastěji používaným progra-



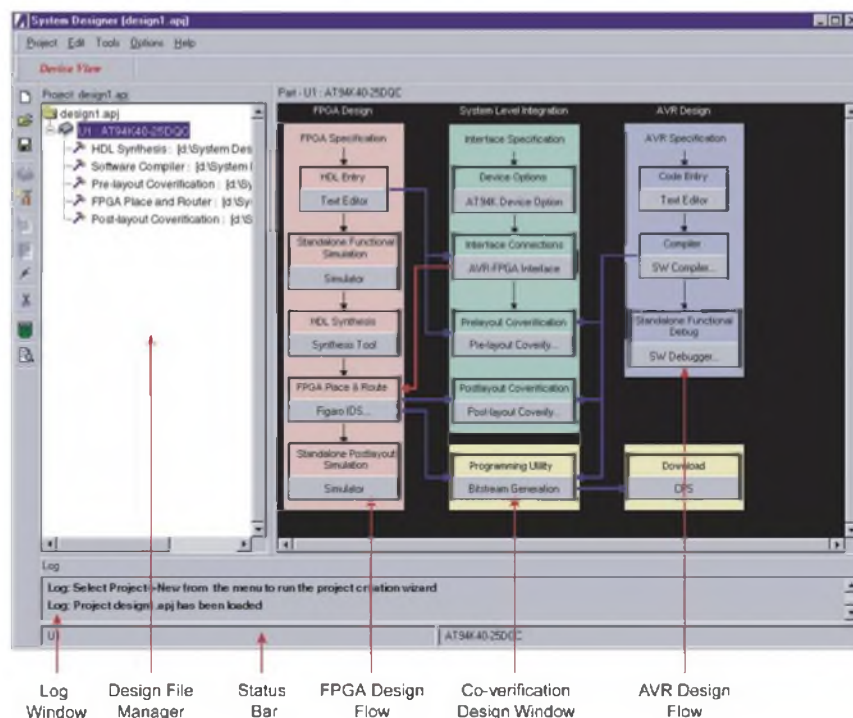
Obr. 6. HW Emulátor mikrokontrolérů řady ST7 firmy STMicroelectronics®

movacím jazykem. Pro jeho rozšíření sehrály klíčovou roli tři faktory. Prvním z nich je fakt, že ač je to vyšší programovací jazyk, programátor má šanci kontrolovat a využívat prostředky mikrokontroléru podobně jako v jazyku symbolických adres, přičemž však neztrácí výhody vyššího programovacího jazyka. Druhým faktorem je to, že překladače tohoto jazyka patří k těm nejpropracovanějším, tj. výsledný kód je poměrně kompaktní a i rychlý. Jinými slovy řečeno, překlad probíhá velmi efektivně, nadbytečného kódu je málo. Třetím faktorem je to, že v překladech se vyskytuje chyba velmi zřídka, což umožňuje používat tento jazyk, resp. překladače tohoto jazyka, i pro profesionální práci. Bohužel jsou tyto překladače jazyka C velmi drahé, ceny se pohybují v řádech desetitisíců, např. překladač jazyka C od renomované firmy Keil stojí přibližně 50 000 Kč. Cena je pouze orientační, neboť velmi záleží na bohatosti knihoven a služeb, které si chceme koupit. Na druhou stranu je potěšující, že je

možné si zadarmo z webových stránek stáhnout tzv. demo verzi, která je funkčně shodná se standardní komerční verzí, ale má omezenou délku výsledného strojového kódu, který je překladač schopen, resp. ochoten vygenerovat.

Uvedené jazyky však nejsou všechny, se kterými se uživatel může setkat. Vzniklo mnoho dalších různých jazyků, které nedoznaly širokého rozšíření, a to buď proto, že jejich překladače byly nedokonalé či programové konstrukce v nich byly „neohrabané“, nebo proto, že tyto jazyky byly určeny pro úzký okruh problémů (úloh).

V případě mikrokontrolérů, které mají na čipu i jen malé logické programovatelné pole, musí mít uživatel možnost toto pole zkonfigurovat, tj. musí mít k ruce nástroj, který mu umožní vytvořit si požadované funkce. Tento návrh je tím složitější čím je logické programovatelné pole složitější a čím více umožňuje začlenění do struktury mikrokontroléru. Že to v mnoha případech není jednoduché, je zřejmé z obr. 7, na



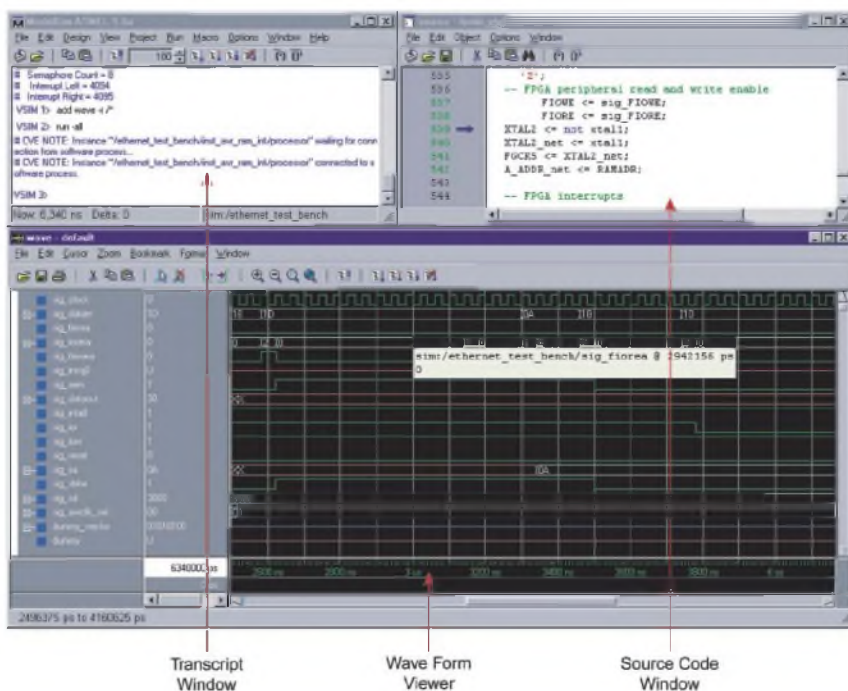
Obr. 7. Work Flow při návrhu a implementaci FPGA u mikrokontrolérů AVR® rodiny AT94K

kterém je obrazovka „WorkFlow“ návrhového systému pro mikrokontroléry rodiny AT94K, které mají na čipu integrované logické pole FPGA. Jak je z obrázku vidět, vlastní implementaci je možné rozdělit do třech částí - na návrh FPGA, návrh AVR a začlenění obou návrhů do struktury.

Kromě základní funkce, návrhu, musí program umožnit též odladění, tj. simulaci výsledného zapojení před vlastní hw implementací, neboť odhalovat chyby pomocí programu v mikrokontroléru by nebylo, vzhledem k složitosti možných periférií, jednoduché. Navíc simulační program nabízí prostředky, které nejsou na reálném čipu ani k dispozici, jako např. možnost libovolně si definovat průběhy vstupního signálu a sledovat reakci obvodu. Takto je možné otestovat i situace, které v reálném provozu nastávají velmi zřídka. Obrazovku simulátoru je na obr. 8.

Jak bylo v předchozích odstavcích řečeno, programovatelná pole na čipu mikrokontroléru nabízejí konstruktérovi neobvyklou flexibilitu, tj. možnost vytvořit si periférie podle svých představ, ale tato flexibilita je vykoupena poměrně složitým návrhem, který klade vysoké nároky na profesionalitu a vědomosti uživatele. Tím nechci odradit případné zájemce od využívání těchto obvodů, naopak, myslím si, že tyto obvody mají před sebou slibnou budoucnost a šance na jejich „přežití“ se zvyšuje s počtem uživatelů, ale tito uživatelé musejí být spokojeni. Důvodem, proč upozorňuji na náročnost využívání těchto obvodů, je snaha připravit potenciálního nového uživatele na obtížnost cesty, kterou se vydal, a předejít tak jeho zklamání. Znovu tedy říkám, že budou zklamání ti, kteří si myslí, že návrhový systém udělá všechnu práci za ně, a že zakoupení návrhového systému je jedinou změnou v jejich dosavadní práci.

Podle mého soudu je nejlepší cesta začít u jednoduchých aplikací, např. u kombinace klasického mikrokontroléru s obvody GAL16V8, GAL20V8 či ispLSI2032 nebo ispLSI1016 od firmy LATTICE nebo ATF16V8, ATF20V8 či ATF1500 od firmy ATMEL. Výhodou této cesty je jednak možnost postupně zvětšovat složitost navrhovaných periférií v programovatelných obvodech, která se bude zvětšovat s roustoucí zručností uživatele, a jednak též fakt, že programové vybavení pro návrh je zadarmo k dispozici na internetu na stránkách výrobce či firem, zabývajících se návrhovými systémy pro programovatelné logické obvody. Postup těchto firem je stejný jako postup firem nabízejících překladače programovacích jazyků - „Vyzkoušejte si náš software před tím, než si ho koupíte“. Návrhové programy jsou omezeny co do možnosti i co do velikosti použitého programovatelného pole, ale to v případě začínajícího uživatele většinou nevádí. Po zvládnutí těchto „jednoduchých“ obvodů a problematiky propoje-



Obr. 8. Simulace navržené periférie v FPGA u mikrokontrolérů AVR® rodiny AT94K

ní s mikrokontrolérem je přechod např. na mikrokontroléry rodiny AT94K s programovatelným polem FPGA jednodušší, neboť mnoho návyků lze převzít.

Současné trendy ve vývoji mikrokontrolérů

Jak bylo z popisu jednotlivých mikrokontrolérů patrné, vývoj pomalu, ale nezdělitelně směřuje k co nekomplexnějšímu mikrokontroléru, tj. k takovému mikrokontroléru, který má na jednom čipu kromě vlastního výpočetního jádra též všechny potřebné periférie pro danou aplikaci.

Z hlediska konstruktérského je to jistě chvályhodný postup, na druhou stranu to vyvolává obrovský tlak na široký sortiment mikrokontrolérů, což je pro výrobce mikrokontrolérů obtížné.

Jednou z cest, jak tento tlak na široký sortiment mikrokontrolérů s různými perifériemi lze řešit, je možnost vlastní definice potřebných periférií. V minulosti to tímto způsobem řešila firma Motorola, která umožňovala velkým průmyslovým odběratelům určit si vhodný typ a počet periférií (čítače, komparátory, A/D převodníky atd.), které pak implementovala na čip. Firma pak pro zákazníka vyráběla mikrokontrolér „ušitý“ přímo na míru.

Druhou cestou, jak tento tlak řešit, je dát uživateli opět možnost vlastní konfigurace periférií, ale tentokrát buď pomocí programovatelné logiky (hardwarově) nebo pomocí programu (softwarově) v případě, když je mikrokontrolér řádově rychlejší, než je potřebné.

Podívejme se nejdříve na druhou možnost. Využila ji firma Scenix (dnes ji najdeme pod názvem Ubicom) u svých mikrokontrolérů SX18 a SX28, které byly kompatibilní s mikrokontroléry fir-

my Microchip (PIC16C5x) s tím rozdílem, že dokázaly pracovat na kmitočtu až 100 MHz. Jelikož tyto mikrokontroléry, stejně jako jejich vzory, vykonávají převážnou část instrukcí v jediném taktu, snadno si spočítáme, že tyto mikrokontroléry disponují špičkovým výkonem 100 MIPS (instrukce je vykonána během 10 ns!). Při tomto výkonu je pak možné mnoho úkolů, které dříve musel provádět specializovaný hardware, řešit pouze pomocí software. Výrobce zašel tak daleko, že nabízel tzv. makra, což byla modelová řešení často používaných periférií. Takovou často používanou periférií je sériový kanál. Mnohý ze čtenářů byl jako konstruktér postaven před problém jak řešit situaci, kdy je potřeba další sériový kanál a mikrokontrolér ho již nemá. Řešením je simulace sériového portu pomocí programu. Jak je tento problém obtížně řešitelný, ví snad každý. Díky obrovskému výkonu a tím neuvěřitelně krátké době instrukce mohou mikrokontroléry SX18 a SX28 velmi precizně simulovat hardwarový sériový port. I při precizní simulaci je zatížení jádra mikrokontroléru minimální (několik málo procent), takže na vlastní úlohu zbývá stále dostatek výpočetního výkonu.

První naznačenou cestou je implementace programovatelného obvodu typu CPLD či FPGA společně na jednom čipu s vlastním výpočetním jádrem mikrokontroléru. Uživatel má tedy možnost definovat si přesně takové pe-

riferie, které potřebuje, i jejich počet. Na tomto řešení vydělá i výrobce, a to tím, že nemusí vyrábět a distribuovat široké spektrum mikrokontrolérů. Typickým představitelem takového řešení jsou mikrokontroléry AT94K firmy ATMEL či Triscend.

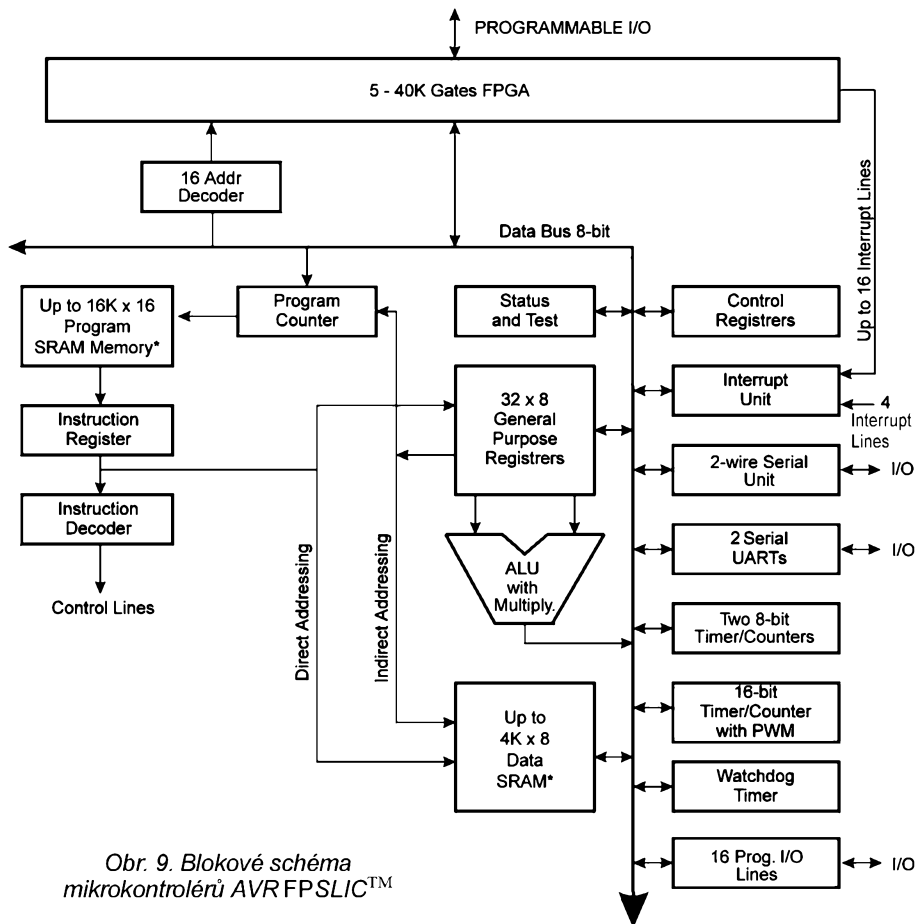
Stejně jako všechny věci, nemá toto řešení pouze klady. Mezi zápory je nutno počítat složitější a tím i dražší vlastní čip mikrokontroléru a pracnější návrh hardware aplikace, neboť kromě vlastního zapojení je nutno „navrhnout“ i periférie mikrokontroléru. Naštěstí poslední nevýhoda je částečně kompenzována faktem, že výrobci těchto čipů dodávají i hotové knihovny periférií.

Před nasazením těchto mikrokontrolérů bychom si měli ověřit ještě jednu důležitou věc. Tím jsou vývojové prostředky. Co by byl platný sebelepší mikrokontrolér, kdybychom nemohli pro něj napsat program. I když se to nemusí na první pohled zdát, situace s vývojovým prostředím není jednoduchá, neboť zde musí existovat cesta, jak „zaintegrovat“ periférie, přerušení či další nové rysy do stávajícího vývojového prostředí, zejména pak do překladacích vyšších programovacích jazyků.

Pojďme si ale nyní ve stručnosti představit první jmenovaného zástupce, tj. mikrokontroléry rodiny AVR AT94K, nazývané výrobcem FPSLIC™. Blokové schéma těchto mikrokontrolérů je na obr. 9.

Na první pohled není na mikrokontroléru vidět nic výjimečného. Začneme tedy výčtem parametrů. Vlastní výpočetní jádro spolu s instrukčním souborem je založeno na osvědčeném jádru známém z mikrokontrolérů AVR. Vlastní aritmeticko-logická jednotka (ALU) disponuje integrovanou násobičkou. Prvním zajímavým údajem je velikost programové a datové paměti - až 32 kByte (16 k x 16 bitů) dostupné paměti typu SRAM (!) a až 16 kByte interní paměti dat typu SRAM. Na první pohled zarážející typ programové paměti nepřináší žádné komplikace, neboť konfigurace celého obvodu se nahrává z externí konfigurační paměti řady AT17xxx.

Než si vysvětlíme co se pomocí dat z paměti řady AT17xxx konfiguruje, představme si další základní data mikrokontroléru. Díky instrukčnímu souboru, kde téměř všechny instrukce jsou vykonávány během jednoho taktu systémových hodin, disponuje mikrokontrolér vysokým výpočetním výkonem, neboť je schopen pracovat až na kmitočtu 40 MHz. Udávané hodnoty trvalého výkonu jsou přibližně následující: 19 MIPS při kmitočtu 25 MHz (25 MIPS špičkově) a 30 MIPS při kmitočtu 40 MHz (špičkově 40 MIPS). Hodnoty trvalého výkonu jsou pouze orientační, neboť nelze obecně přesně specifikovat poměr instrukcí s jedním, dvěma či více takty užitých v programech. Větší obsah vícečlenných instrukcí pak snižuje udávanou hodnotu výpočetního vý-



Obr. 9. Blokové schéma mikrokontrolérů AVR FPSLIC™

konu. Z periférií, které jsou přímo na čipu, jmenujme: obvod Watchdog pro hlídání správného běhu programu, dvojitý rozhraní odpovídající rozhraní I²C, dva klasické asynchronní sériové porty UART, dva osmibitové čítače/časovače s vlastní předděličkou a PWM moduly, jeden šestnáctibitový čítač/časovač s modulem Capture/Compare a dvěma jednotkami PWM s nastavitelným rozlišením 8 až 10 bitů.

Z uvedeného výčtu vyplývá, že mikrokontrolér již v základu má dostatek periférií, a přitom ve výčtu schází jedna z největších a nejflexibilnějších periférií - programovatelné pole typu FPGA, které má podle typu mikrokontroléru velikost 5 K až 40 K hradel. Protože údaj o počtu hradel mnoha lidem nic neříká, lze uvést, že obvod FPGA má podle typu mikrokontroléru od 256 do 2304 buněk.

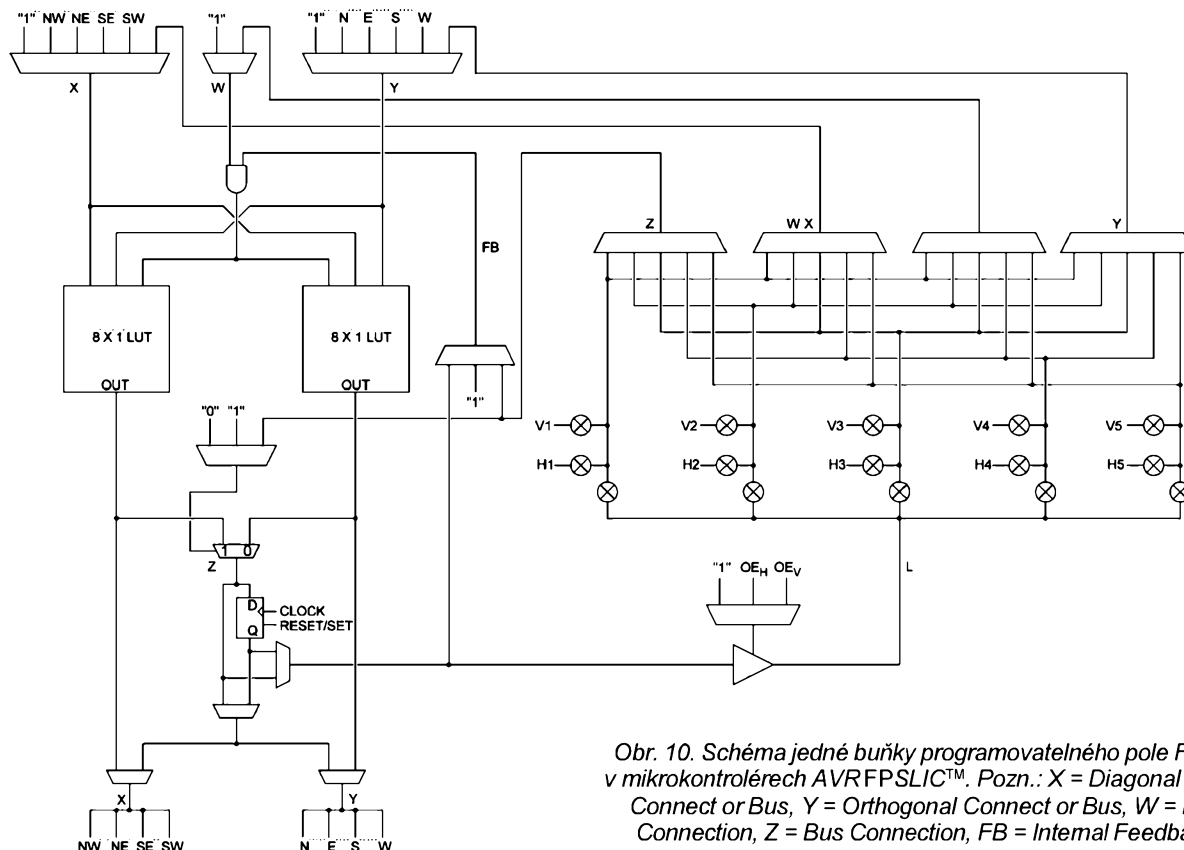
Buňka je již poměrně komplexní obvod, ve kterém se může nacházet již poměrně složitá funkce. Schéma jedné buňky je na obr. 10. Kromě multiplexérů a klopného obvodu jsou snad nejzajímavější (nejpochopitelnější) části dva bloky označené LUT. Tyto bloky jsou schopny realizovat jakoukoli logickou funkci tří proměnných - lze na ně pohlížet jako na malou paměť s organizací 8 bitů x 1 bit. Některé základní stavy, ve kterých se může buňka nacházet, jsou uvedeny na obr. 11. Z tohoto obrázku je vidět, že buňka dokáže realizovat (od shora dolů) např. logickou funkci čtyř proměnných (tj. paměť 16x 1 bit), úplnou sčítačku pro jeden bit, jednobitovou násobičku, jednobitový synchronní či-

tač a multiplexer. Široké možnosti buněk jsou podpořeny velmi flexibilním propojovacím polem, takže ani rozsáhlé propojení více buněk nečiní poli FPGA problémy. Je možné snadno vytvářet čítače, sčítačky a posuvné registry libovolné délky, samozřejmě omezené dostupnými prostředky pole FPGA.

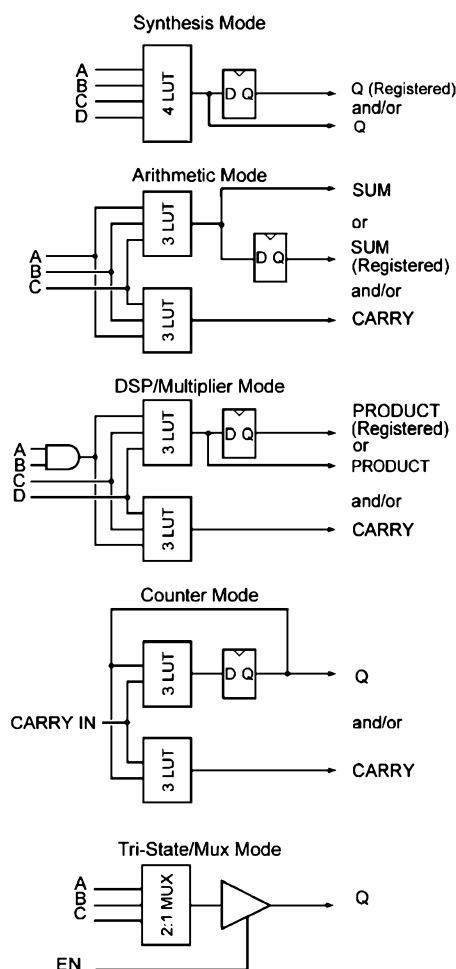
Takže vraťme se k počtu periférií dostupných na čipu mikrokontroléru. Schází vám tam některá periférie? Nakonfigurujte (definujte) si ji! Samozřejmě nelze chtít s těmito prostředky vytvořit chybějící A/D převodník, ale D/A převodník na principu PWM je již možné navrhnout (když nestačí vnitřní).

Výrobce si schoval ještě jedno eso v rukávu. Tím jsou možnosti spolupráce programovatelného pole s vlastním jádrem - viz obr. 12. Jak je z tohoto obrázku vidět, periférie, které si uživatel nadefinuje, lze plnohodnotně začlenit do jádra mikrokontroléru díky možnosti využití až 16 přerušení, samozřejmě kromě možnosti dekódování všech adresových linek a možnosti připojení na interní datovou sběrnici.

Jak již bylo řečeno, je i paměť programu typu SRAM, takže po zapnutí napájení je nutné do obvodu nahrát nejenom konfigurační data pro pole FPGA, ale též vlastní program pro mikrokontrolér. Tak proč to neudělat z jedné paměti! Není to úplně tak špatná myšlenka, zvláště uvědomíme-li si, že ve fázi vývoje programového vybavení potřebujeme nescíslněkrát měnit program. U paměti typu SRAM to můžeme dělat libovolněkrát, zatímco u paměti typu Flash jsme omezeni maximálním po-



Obr. 10. Schéma jedné buňky programovatelného pole FPGA v mikrokontrolérech AVRFPALIC™. Pozn.: X = Diagonal Direct Connect or Bus, Y = Orthogonal Connect or Bus, W = Bus Connection, Z = Bus Connection, FB = Internal Feedback



Obr. 11. Možné stavy jedné buňky programovatelného pole FPGA v mikrokontrolérech AVRFPALIC™

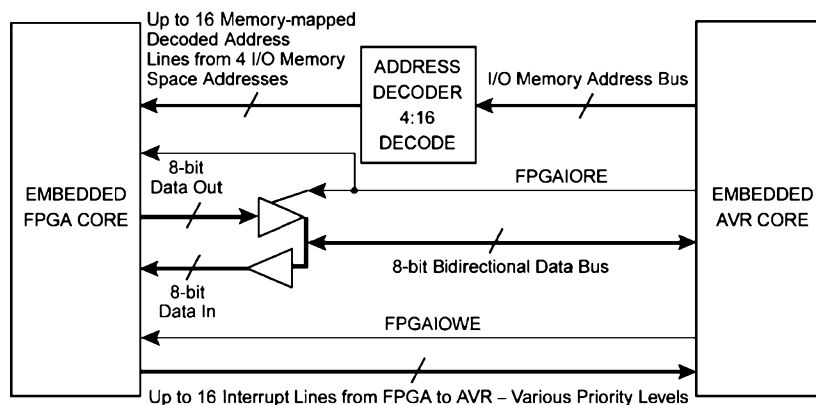
čtem prepisů. Na druhé straně, pokud by byla interní paměť programu řešena na bázi paměti FLASH, nemusela by být k obvodu připojena externí konfigurační paměť, což je z hlediska zabezpečení programového vybavení i možnosti okopírování vlastního zapojení mnohem bezpečnější (alespoň podle mého soudu).

To by bylo o tomto typu mikrokontroléru ve stručnosti vše. Podrobnější popis je možné najít na webových stránkách výrobce - www.atmel.com.

Pokud někomu vadí, že jádro mikrokontroléru výše představeného mikrokontroléru s FPGA polem není typu 80C32, nemusí zoufat. Velmi podobný obvod má totiž v nabídce firma TRISCEND.

Blokové schéma celého obvodu je na obr. 13. Jak je z tohoto obrázku vidět, je celá filozofie velmi podobná

předchozímu mikrokontroléru, rozdíl je pouze v tom, že jádro je kompatibilní s jádrem 80C32, které ale prošlo novým návrhem s „odtučňovací kůrou“ co do počtu taktů potřebných na vykonání nejkratší instrukce, takže instrukce typu akumulátor-registr je vykonána během čtyř taktů hodin. Obecně se pro tyto jádra vžil označení „Turbo core 8032“ nebo „Turbo MCU 8032“. Podobná jádra najdeme i u ostatních výrobců. Zrychlení vykonávání instrukcí není vždy trojnásobné, neboť některé instrukce, které vyžadují vícenásobný přístup do paměti, potřebují na vykonání ne čtyři takty, ale více, takže průměrné vykonávání programu na tomto typu jádra 80C32 je v průměru 2,5x rychlejší než na standardním jádře 80C32. I když to není mnoho, pro mnoho aplikací tento výpočetní výkon postačuje. Přidá-li se k tomu údaj o maximální taktovací frekvenci, která činí 40 MHz, vyjde nám



Obr. 12. Propojení programovatelného pole FPGA s jádrem mikrokontroléru

maximální špičkový výkon 10 MIPS. Další možné urychlení běhu programu, zvláště při přesunu dat, umožňují jednak implementované dva data pointery (dva šestnáctibitové registry DPTR), jednak dva DMA kanály. Tyto DMA kanály mají široké možnosti nastavení a lze s nimi bez problému dosáhnout přenosové rychlosti až 40 MB/s!

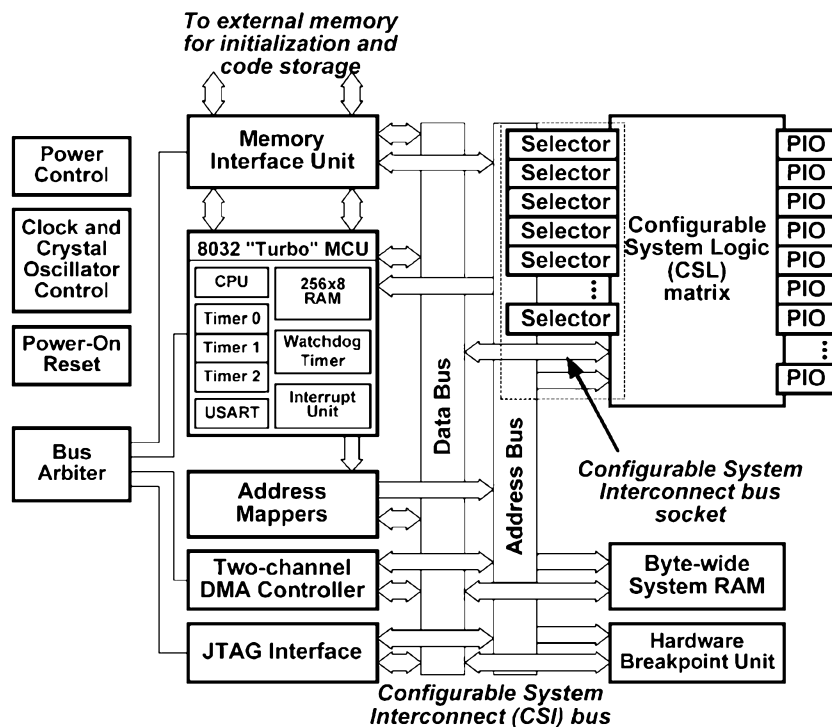
A co víc! Tyto obvody jsou ve standardní nabídce firmy GM Electronic už skoro dva roky a to včetně vývojového prostředí potřebného pro návrh vlastních periférií!!!!

Mám-li oba právě představené mikrokontroléry srovnat, musím říci, že žádný z nich není jednoznačný vítěz. Řešení firmy ATMEL má jednoznačně rychlejší jádro vlastního mikrokontroléru, toto jádro je „mladší“ a perspektivnější než druhý typ mikrokontroléru E5 firmy TRISCEND, který má sice rychlé jádro 80C32, které je však z dnešního pohledu zastaralé. Na druhou stranu kompatibilita s velmi rozšířeným jádrem 80C32 umožňuje převzít stávající programové vybavení napsané na toto jádro, kterého je dnes nepřeberné množství. Pro použití tohoto mikrokontroléru hovoří též propracované dedikované rozhraní JTAG, které poslouží při ladění programového vybavení a lze přes něj i testovat např. celou sestavenou desku zařízení (to však pouze v případě, že i ostatní použité obvody mají implementováno totéž rozhraní).

Že žádná z významných ani malých firem nechce zaostát v tomto trendu, dokazují další příklady podobných mikroprocesorů. Jako dalšího představitele si uvedme mikroprocesor μ PD323x firmy STMicroelectronics®. I když tento mikroprocesor nedisponuje velkým programovatelným polem, přesto jsou jeho vlastnosti velmi zajímavé. Proč, to můžeme částečně vidět na obr. 14.

Základem mikroprocesoru μ PD323x je standardní jádro typu 80C52. Pokud píšete standardní, myslím tím plně standardní jádro, jehož kompatibilita jde tak daleko, že instrukce je vykonávána během standardních dvanácti cyklů hodinového taktů. Ke standardnímu jádru patří i standardní interní paměť RAM o velikosti 256 byte a periferie USART, tři čítače/časovače a dvojúrovňový přerušovací systém. Do tohoto okamžiku není tento mikroprocesor ničím výjimečný.

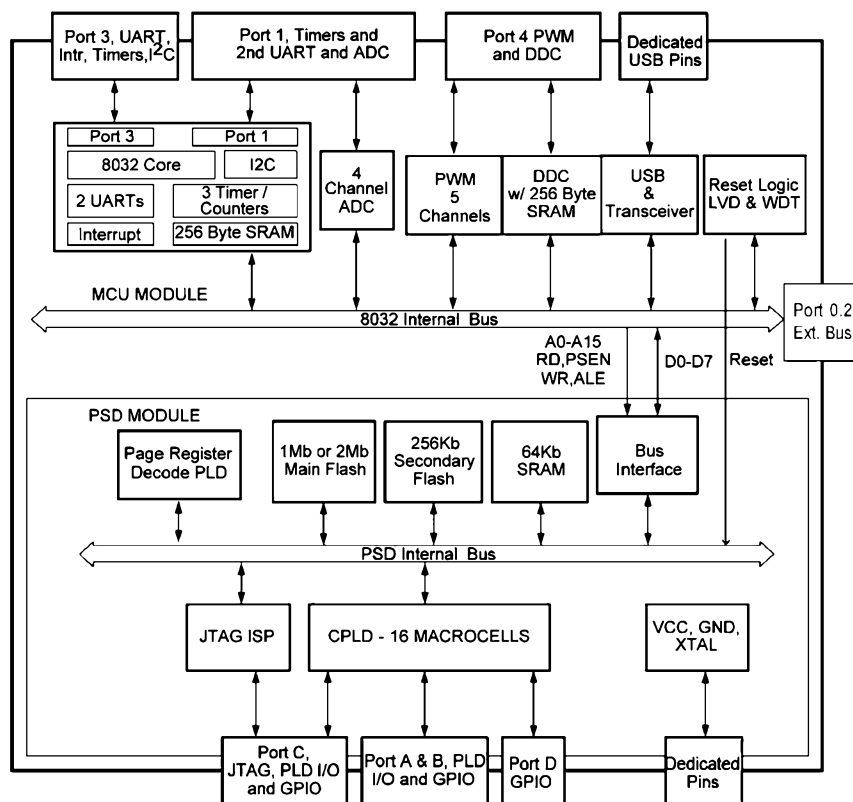
Prvním rozšířením, které přijde zcela určitě mnoha uživatelům vhod a které je velmi žádané, jsou další sériové kanály - jeden UART a jeden I²C. Jelikož mnoho aplikací vyžaduje alespoň „nějaký“ A/D převodník, integroval výrobce na čip osmibitový A/D převodník s předřazeným čtyřkanálovým multiplexem. I když mnoho aplikací vyžaduje větší přesnost převodu A/D, zbývá stále mnoho aplikací, pro které je tento převodník více než postačující. Protože konstruktéři požadují i opačný převod, tj. D/A převodníky, integroval výrobce na čip celkem 5 kanálů PWM modulá-



Obr. 13. Mikrokontrolér E5 s programovatelným polem FPGA od firmy TRISCEND

toru. Jednou z periférií, která se na čipu mikrokontroléru nevidí často, je DDC (neboli Display Data Channel), který usnadňuje konstruktérovi práci tehdy, když má mikrokontrolér řídit klasické displeje CRT či LCD. Implementovaná jednotka podporuje módy DDC1 a DDC2b. Další periférií, tentokrát širouce používanou, je rozhraní USB. Jedná se sice o rozhraní USB1.1, které podporuje rychlost přenosu „jen“ 1,5 Mbit/s, ale v porovnání se standardním sério-

vým kanálem je mnohonásobně rychlejší. Při použití tohoto rozhraní si je nutné uvědomit, že jako řídicí kmitočet je použit vydělený kmitočet systémový, takže v případě, že využíváme kanál USB, musí být mikroprocesor taktován kmitočtem 12, 24 nebo 36 MHz, aby bylo možné získat kmitočet 6 MHz, nutný pro řízení sběrnice USB. Z dalších periférií jmenujme obvody watchdog, který dokáže ohlídat regulérní běh programu, a obvod LVD (low voltage de-



Obr. 14. Mikrokontrolér μ PD323x od firmy STMicroelectronics®

tektor), který dokáže „ohlídat“ podmínky pro regulérní běh mikroprocesoru. Protože interní paměť o velikosti pouhých 256 byte je pro mnoho aplikací nedostatečná, implementoval výrobce ještě další paměť typu SRAM o velikosti 8 kbyte. Vzhledem k omezeným adresovacím možnostem jádra 80C52 je tato paměť implementována jako klasická externí datová paměť, což znamená, že je přístupná přes instrukce movx. Velmi vítanou bude v řadě případů možnost zálohovat obsah této paměti baterií. Mluvíme-li o interních pamětech, nesmíme zapomenout na paměť programu. Programový prostor se skládá z celkem dvou pamětí typu FLASH. Jedna paměť má velikost 1 či 2 Mbyte (tj. 128 či 256 kbyte) a je rozdělena do celkem osmi stejně velkých bloků, druhá je menší o velikosti 256 kbitů (16 kbyte) a je rozdělena na celkem čtyři bloky. Každý z bloků může být smazán nezávisle na ostatních. Jedním důvodem přítomnosti dvou pamětí programu je idea umožnit programátorům nasadit mikroprocesor v situacích, kdy je vyžadována funkce automatického upgrade programového vybavení mikroprocesoru. Druhým důvodem je možnost emulace velké paměti EEPROM. Tato možnost vychází z velmi zajímavé vlastnosti menší z obou pamětí, u které je možné určit, do kterého paměťového prostoru (zda do datového či programového) bude paměť patřit. I když není zaručený počet přepisů paměti FLASH veliký (alespoň v porovnání s klasickými pamětmi EEPROM, neboť výrobce zaručuje „pouhých“ 100 000 přepisů), je pro mnoho aplikací více než dostatečný. Na druhou stranu mají interní paměti velkou výhodu ve své velké kapacitě a rychlosti přístupu oproti používaným externím pamětím EEPROM, obzvláště těm sériovým. Velký počet přepisů přijde vhod při další příležitosti. Tou je ladění programového vybavení - mikroprocesor totiž disponuje rozhraním JTAG, pomocí kterého lze mikroprocesor krokovat, měnit program i data. Možnosti ladění přes toto rozhraní jsou sice oproti klasickému emulátoru omezené, ale tento způsob má i některé výhody před klasickým emulátorem. První výhodou je nižší cena. Díky ní se stane tento ladicí prostředek dostupný pro mnoho firem i amatérů. Snadnější dostupnost kvalitního ladicího prostředku se pozitivně odrazí ve větším rozšíření těchto mikroprocesorů. Druhou výhodou je fakt, že ladění probíhá na reálném mikroprocesoru, neboť sebedokonalejší emulátor se za krajních podmínek může chovat jinak než reálný mikrokontrolér.

Poslední částí, kterou si představíme je programovatelné logické pole. Tato pole najdeme v mikroprocesoru hned dvě. První z nich, menší, slouží ve spolupráci se stránkovacím registrem k dekódování adresového prostoru. Toto řešení (tj. stránkování) je nutné, neboť jádro 80C52 je schopno přímo adresovat pouze 64 kB paměti.

Druhé programovatelné pole slouží k realizaci periferií podle požadavku uživatele. Bohužel, ač je toto pole větší, nedosahuje velikosti potřebné pro realizaci složitějších periferií. Dalším nepříjemným omezením je skutečnost, že toto pole není začleněno do architektury mikroprocesoru, jako např. programovatelné logické pole v mikroprocesorech řady AT94K. Pole totiž nedokáže jednoduše využívat přerušovací systém mikrokontroléru a jeho spolupráce s interními periferiemi je taktéž nepružná.

I když není implementace programovatelného logického pole ideální, najde tento mikroprocesor svoje uplatnění v mnoha aplikacích, zejména v případech, kde je vyžadován větší počet sériových kanálů nebo rozhraní USB 1.1.

Jako poslední informaci k tomuto mikroprocesoru lze uvést, že je schopen pracovat na kmitočtu až 40 MHz při napájení 5 V. Při napájení 3,3 V je maximální kmitočet 24 MHz. Vysoký maximální kmitočet, zvláště v případě napájení 5 V, částečně kompenzuje nevýhodu dlouhého základního instrukčního cyklu, který je tvořen dvanácti takty řídicího kmitočtu. Maximální výpočetní výkon je tedy v tomto případě 3,3 MIPS.

Pozorný čtenář si jistě klade otázku, zda by nebylo možné i zbývající část, tj. vlastní jádro mikrokontroléru, navrhnout pomocí programovatelné logiky. To dává návrhářů šanci navrhnout úplně libovolný mikrokontrolér s potřebnými periferiemi a dokonce i s vlastním instrukčním souborem, který je optimalizován na danou úlohu.

První pokusy o toto řešení vznikly v okamžiku, kdy programovatelná logika poskytla návrhářům dostatek prostředků pro realizaci, a technologie výroby pokročila natolik, že výsledek byl akceptovatelný trhem (přijatelná cena). I přes technologický pokrok je i dnes toto řešení stále mnohem dražší než klasický mikrokontrolér (byť s volně definovatelnými periferiemi), takže je najdeme pouze u zařízení, která požadují buď maximální výkon pro jednu speciální úlohu nebo kde nehraje prvořadou úlohu cena (jako např. v emulátorech mikrokontrolérů).

Existoval-li problém s vývojovým prostředím u mikrokontrolérů s volně definovatelnými periferiemi, tak tento problém u tzv. „soft-core“ mikrokontrolérů je mnohonásobně větší, neboť dopředu není o struktuře mikrokontroléru nic známo a překladače by musely být natolik univerzální, že definovat podmínky (parametry a strukturu mikrokontroléru) pro činnost překladačů je téměř nemyslitelné. Uvědomme si, že bychom museli definovat šíři instrukce, její jednotlivé části, způsoby adresování, adresové prostory a mnoho dalších parametrů. A toto vše by musel překladač (kompilátor programovacího jazyka) nejenom „pochopit“, ale také s tím umět pracovat. I přes uvedené problémy se s tímto řešením (s tzv. „soft-

core“ mikrokontroléry) můžeme setkat, neboť existují v podstatě dvě cesty jak ze slepé uličky ven.

První cesta je obdobná cestě naznačené v předchozím odstavci, tj. výrobce předdefinuje jádro a periferie mikrokontroléru a uživatel má možnost si z nabízených možností vybrat a poskládat si jemu vyhovující konfiguraci. Pro předdefinované jádro mikrokontroléru nabízí výrobce většinou i přizpůsobený kompilátor některého programovacího jazyka, většinou assembler, jak bývá často nesprávně nazýván jazyk symbolických adres, případně některý vyšší jazyk, kterým většinou bývá „derivát“ jazyka C.

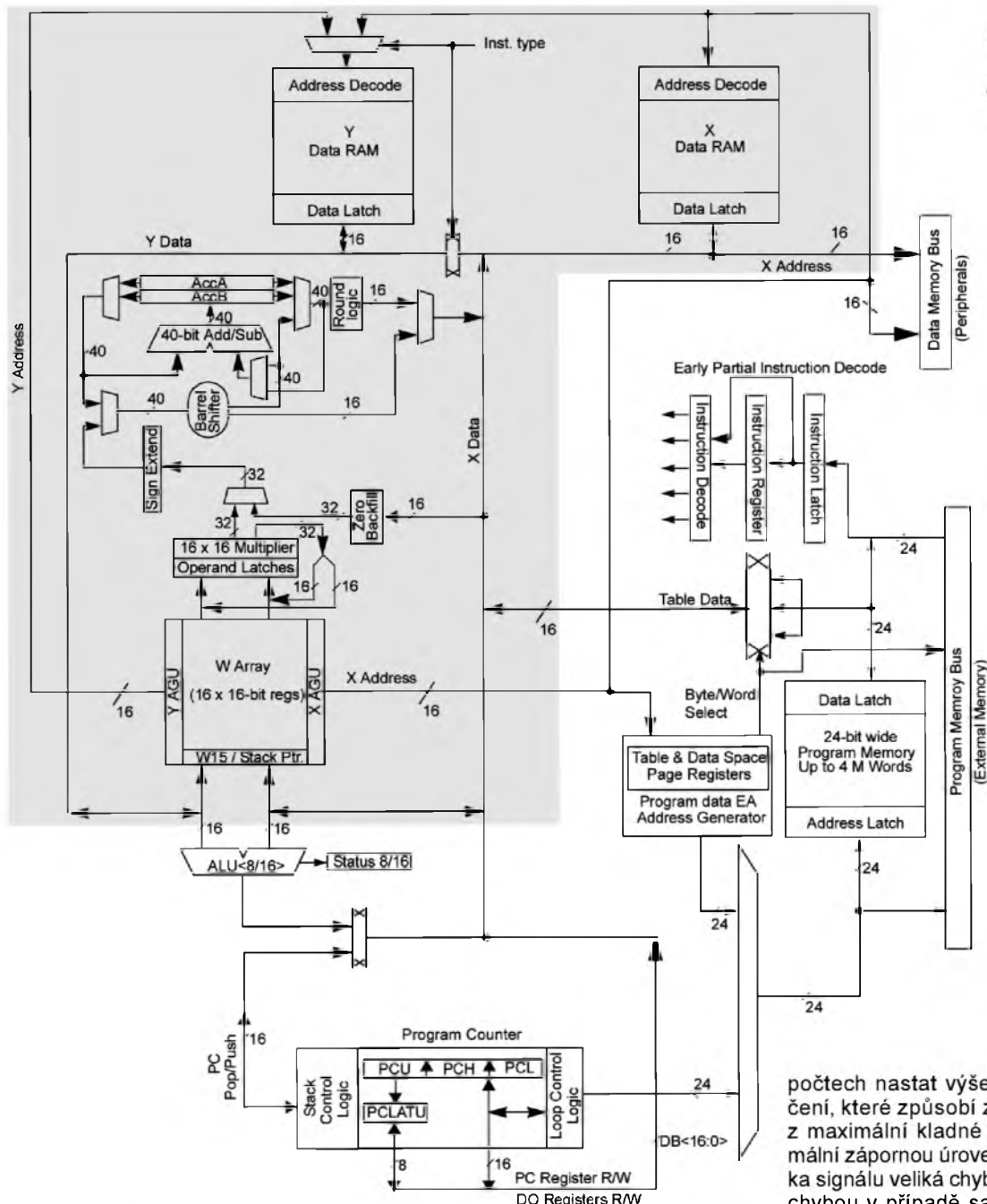
Druhou cestou je okopírování některého existujícího jádra standardního mikrokontroléru a jeho dovybavení vlastními periferiemi. Díky kompatibilitě lze pak použít standardní kompilátor a definovat pouze registry nových periferií. Toto řešení je však ekvivalentní řešení, kdy výrobce přidá k jádru mikrokontroléru FPGA pole. Jádro definované v FPGA je však dražší. S tímto řešením se v případě osmibitových mikrokontrolérů setkáme jen výjimečně. Zato u mikrokontrolérů s větší šířkou datového slova je toto řešení vidět častěji. Příkladem může být např. třicetidvoubitové „soft-core“ NIOS firmy Altera®.

Dalším nepřehlédnutelným trendem je přibližování dvou rozdílných „světů“, a to světa univerzálních mikrokontrolérů a signálových procesorů. Ne, že by signálové procesory přejímaly některé prvky univerzálních mikrokontrolérů, ale již dnes můžeme v mnoha mikrokontrolérech najít jednu část signálových procesorů. Tou částí je jednotka MAC.

Tato jednotka je zodpovědná za vysoký výpočetní výkon při realizaci základního úkolu při zpracování číselového signálu. Tímto úkolem je operace vynásob a sečti neboli Multiple and Accumulate. Odtud pochází i název jednotky. Proč je tato jednotka tak významná se můžeme dočíst v každé literatuře zabývající se číselným zpracováním signálu (viz např. [1] až [6]).

Jako zástupce mikrokontrolérů, kde jsou spojeny dva rozdílné světy těchto součástí, jsem vybral novou řadu mikrokontrolérů firmy Microchip, a to rodinu dsPIC®. Jak již bylo v úvodu řečeno, nová řada mikrokontrolérů v sobě slučuje univerzálnost standardního mikrokontroléru s výpočetním výkonem signálového procesoru. Kombinace univerzálního šestnáctibitového mikrokontroléru, který je inspirován jádrem PIC18xxx, s prvky signálových procesorů vytváří celek, který je přijatelný pro uživatele univerzálních mikrokontrolérů tím, že může plně využít stávajícího programového vybavení, a pouze v nutných případech využít instrukce DSP části. Avšak nic nebrání uživateli intenzivně využívat DSP část mikrokontroléru a připravit se postupně na přechod k čistému signálovému procesoru. Jak se to podařilo konstruktérům firmy

Obr. 15.
Výpočetní jádro
nové rodiny
mikrokontrolérů
dsPIC[®] firmy
Microchip



Microchip můžeme posoudit z obr. 15, kde je znázorněno výpočetní jádro. Jak je z tohoto blokového schématu vidět, jedná se o šestnáctibitovou architekturu s pevnou desetinnou čárkou, přičemž, zhruba řečeno, levá polovina (od pole registrů W Array výše včetně dvou polí Data RAM X a Data RAM Y) je část DSP zodpovědná za vysoký výpočetní výkon při klasických úlohách pro zpracování signálu (zmiňovaná část je vyznačena šedivým podkladem). Zbytek jádra je tvořen šestnáctibitovým jádrem univerzálního mikrokontroléru inspirovaného řadou PIC18, a i když je tato část šestnáctibitová, je z důvodů zachování co největší kompatibility schopna pracovat s jednotlivými byte.

Výpočetní jednotka DSP

V této krátké kapitole si popíšeme DSP jádro mikrokontroléru dsPIC[®]. Toto jádro je tvořeno šestnáctibitovou

násobičkou která je schopna vynásobit dvě šestnáctibitová čísla na třicetidvoubitový výsledek. Tento výsledek je přiveden přes kruhový posuvný registr do sčítačky, která dokáže sčítat dvě čtyřicetibitová čísla. Zvětšenou šířkou se snažili návrháři eliminovat možnost přetečení DSP akumulátoru při složitých (dlouhých) výpočtech. Aby byly možné následky při přetečení minimalizovány, disponuje tato jednotka možností práce v tzv. saturačním módu (stejně jako klasické DSP procesory).

Podstata problému s přetečením spočívá v reprezentaci čísel v pevné řádové čárce, kdy po největším kladném čísle (pro šestnáctibitové číslo to je 32767 neboli 7FFF_{HEX}) následuje nejmenší záporné číslo (-32768 neboli 8000_{HEX}). V případě klasického mikrokontroléru, který nedisponuje saturačním módem ALU, může při vý-

počtech nastat výše zmíněné přetečení, které způsobí změnu amplitudy z maximální kladné úrovně na maximální zápornou úroveň, což je z hlediska signálu velká chyba. Daleko menší chybou v případě saturačního módu je, když po dosažení maximální přípustné velikosti kladného čísla (maximální kladné úrovně signálu) se číslo dále nezvětšuje a úroveň signálu zůstává konstantní (maximální možná). Z hlediska signálu je tedy v tomto případě pouze „oříznut“ jeho kladný vrchol.

Právě vyjmenované části tvoří základní stavební prvek signálových procesorů, tzv. jednotku MAC. Možnosti této části jádra jsou vhodně doplněny dvěma jednotkami (AGU X, AGU Y) pro generování adres dvou operandů. Tyto jednotky jsou schopné generovat všechny potřebné způsoby adresování typické pro signálové procesory, jako např. modulo n či bit reversed. Popisované jádro splňuje nutné podmínky pro efektivní implementaci úloh číslicového zpracování signálu, jako je např. číslicová filtrace či FFT. Tyto a mnoho dalších typických úloh včetně bohaté teorie číslicového zpracování signálů je možné nalézt v literatuře [1] až [6].

Způsoby adresování

Aby bylo možno nasadit dsPIC® v co nejširším okruhu aplikací, implementovali návrháři do tohoto nového mikrokontroléru nejdůležitější způsoby adresování. DsPIC disponuje následujícími základními možnostmi adresování:

- register direct,
- register indirect,
- register indirect post-decremented,
- register indirect post-incremented,
- register indirect pre-decremented,
- register indirect pre-incremented,
- register indirect with register offset,
- register indirect with signed 5bit constant
- signed 10bit constant (literal)
- 16bit literal
- modulo n , where $n = 2^m$
- bit reversed

Je důležité si uvědomit, že ne všechny instrukce a jednotky AGU disponují všemi možnostmi adresování. Na druhé straně je nutné připomenout, že i když některé instrukce mají omezené možnosti adresování, je možné u nich

využít možnosti tzv. pre-fetch operandů, tj. během předcházející instrukce si načíst požadované operandy (proměnné) na vhodnější místo.

Instrukce

Celkem disponuje nový mikrokontrolér 94 instrukcemi. Zvýšením počtu instrukcí a bohatšími možnostmi adresování bylo vynuceno rozšíření instrukčního slova na 24 bitů. Tato širší instrukční slova umožnila u některých instrukcí zavést možnost pre-fetch operandů, které napomáhají k dalšímu zvětšení výpočetního výkonu, neboť během vykonávání jedné instrukce se připravují operandy (proměnné) pro následující instrukci (instrukce).

Periferie

Že firma Microchip bude produkovat široké spektrum těchto mikrokontrolérů s různým stupněm vybavenosti různými periferiemi je celkem jasné z předchozích řad.

Pro lepší představu jsou některé konkrétní plánované konfigurace uvedené v tab. 2.

Nedá mi to nezminít se o dostupnosti nových mikrokontrolérů dsPIC®. Vše napovídá tomu, že se snad již schyluje k jejich reálnému uvedení na trh. V srpnu roku 2002 byly totiž na technickém semináři pořádaném každoročně ve Phoenixu (USA, stát Arizona) představeny vzorky těchto mikrokontrolérů (tzv. „supersilicon“), které obsahovaly na jednom čipu všechny uvažované periferie a byla oznámena též verze vývojového prostředí MPLAB, která podporuje tuto novou řadu mikrokontrolérů (a dokonce si lze již koupit i překladač jazyka C).

Doufám tedy, že se nebude opakovat situace podobná případu s mikrokontroléry PIC18F010/020, kdy výrobce po několika odloženích úplně vyškrtl tyto součástky ze svého portfolia.

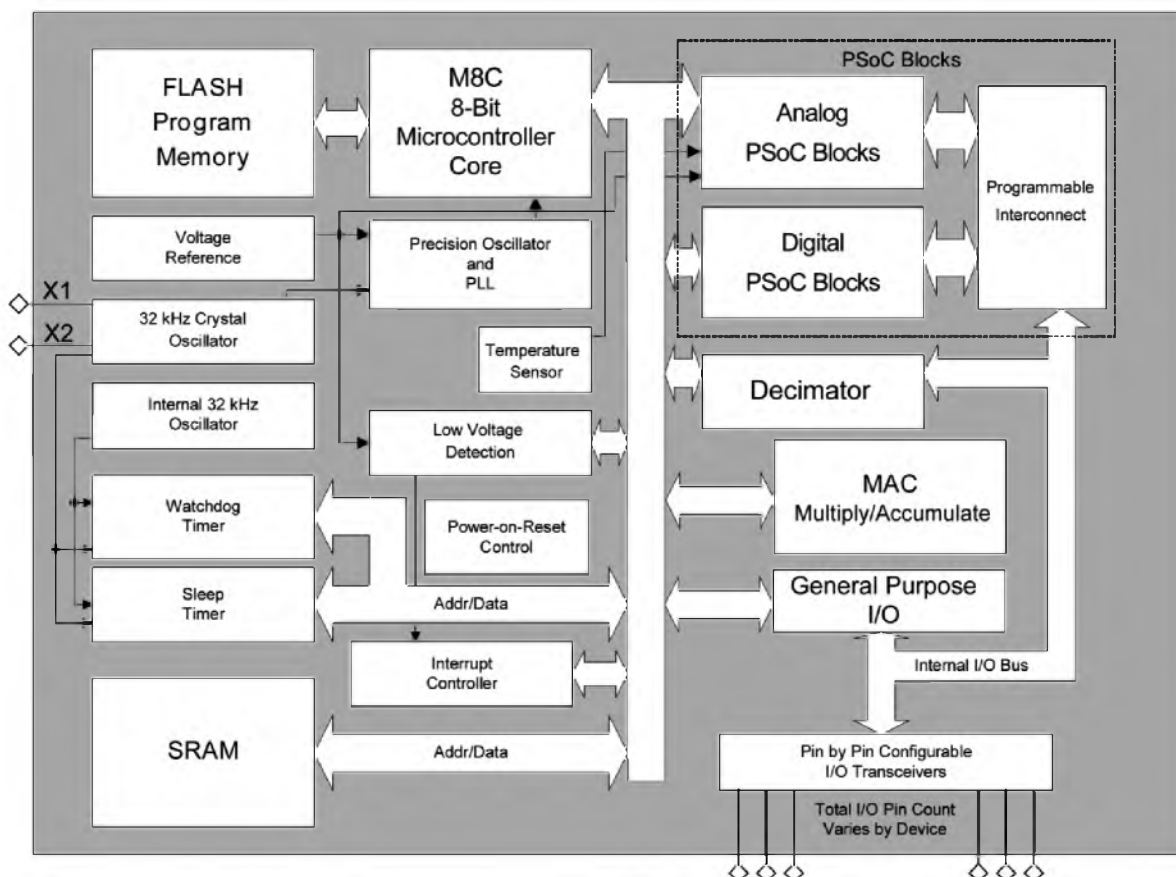
Části DSP procesorů lze nalézt i v šestnáctibitových mikrokontrolérech firmy Texas Instruments, popisovaných v KE 1/2003 na s. 27 až 33. Některé varianty mají implementovanou jednotku MAC jako periferii (KE 1/2003 s. 28, obr. 2.3). I když se nejedná o jednotku

Tab. 2. Přehled mikrokontrolérů rodiny dsPIC®

Motor Control & Power Conversion Family													
Product dsPIC	Pins	Flash KB	SRAM KB	EE bytes	Timer 16bit	Input CAP	Std PWM	Motor PWM	10bit A/D 500 KSPS	Quad enc.	U A R T	S P I	I 2 C
30F2010	28	12	512	1024	3	4	2	6	6ch	Yes	1	1	1
30F3010	28	24	1024	1024	5	4	2	6	6ch	Yes	1	1	1
30F4012	28	48	2048	1024	5	4	2	6	6ch	Yes	1	1	1
30F3011	40	24	1024	1024	5	4	4	6	9ch	Yes	2	1	1
30F4011	40	48	2048	1024	5	4	4	6	9ch	Yes	2	1	1
30F4010	64	36	2048	1024	5	8	8	8	16ch	Yes	2	2	1
30F5010	64	96	4096	2048	5	8	8	8	16ch	Yes	2	2	1
30F6010	64	144	8192	4096	5	8	8	8	16ch	Yes	2	2	1

General Purpose Controller Family													
Product dsPIC	Pins	Flash KB	SRAM KB	EE bytes	Timer 16bit	Input CAP	Std PWM	12bit A/D 100 KSPS	Codec interface	U A R T	S P I	I 2 C	C A N
30F5011	64	66	4096	1024	3	8	8	16ch	-	1	1	1	-
30F5012	64	96	4096	2048	5	8	8	16ch	AC97, I2S	1	1	1	-
30F6011	64	132	6144	2048	5	8	8	16ch	-	1	1	1	1
30F6012	64	144	8192	4096	5	8	8	16ch	AC97, I2S	2	1	1	-
30F5013	80	66	4096	1024	5	8	8	16ch	-	2	1	1	1
30F5014	80	96	4096	2048	5	8	8	16ch	AC97, I2S	2	2	1	1
30F6013	80	132	6144	2048	5	8	8	16ch	-	2	2	1	2
30F6014	80	144	8192	4096	5	8	8	16ch	AC97, I2S	2	2	1	2

Sensor Processor Family													
Product dsPIC	Pins	Flash KB	SRAM KB	EE bytes	Timer 16bit	Input CAP	Std PWM	12bit A/D 100 KSPS		U A R T	S P I	I 2 C	
30F2011	18	12	1024	-	3	2	2	8ch		1	1	1	
30F3012	18	24	2048	1024	3	2	2	8ch		1	1	1	
30F2012	28	12	1024	-	3	2	2	10ch		1	1	1	
30F3013	28	24	2048	1024	3	2	2	10ch		2	1	1	



Obr. 16. Blokové schéma mikrokontrolérů CY8C25xxx/CY826xxx firmy CYPRESS®

začleněnou přímo do jádra mikrokontroléru, je její význam pro řadu výpočtů (např. filtrů) nezanedbatelný.

Zda je přidání jednotky MAC do univerzálního mikrokontroléru tou správnou cestou se budeme moci přesvědčit za několik let, kdy uvidíme, jestli tyto mikrokontroléry ještě existují nebo ne. Podle mého názoru tyto kombinované mikrokontroléry vhodně vyplňují mezeru mezi klasickými mikrokontroléry a vysoce výkonnými signálovými procesory.

Mám-li nějakým způsobem vymezit oblast, kde mají tyto mikrokontroléry svoje místo, je to oblast, kde je požadován výpočetní výkon do 30 až 40 MIPS. Pro zajímavost, současná horní hranice výkonu signálových mikrokontrolérů se pohybuje v oblastech GIPS (miliardy operací za sekundu) nebo GFLOPS, kterou dosahují DSP firmy Texas Instruments.

Dalším příkladem jsou mikrokontroléry rodiny CY8C25xxx/CY8C26xxx firmy Cypress, které, ač jsou postavené na používaném jádru, sdružují v sobě všechny zmiňované prvky. Důvod, proč se zmiňuji o této u nás poměrně málo známé řadě mikrokontrolérů, je ten, že tyto mikrokontroléry v sobě sdružují, na rozdíl od všech zde představených, i konfigurovatelné ANALOGOVÉ pole! Blokové schéma této řady mikrokontrolérů je na obr. 16.

Z hlediska hardwarového nelze snad těmto mikrokontrolérům ani nic vytknout, neboť obsahují vše, co konstruktor potřebuje. Periferie, které ne-

jsou standardní součástí, je možné implementovat v programovatelném poli, a tentokrát jde i o analogové periferie!!! Na čipu je přítomna i jednoduchá MAC jednotka, takže mikrokontrolér bude svým výkonem postačovat i v případě jednoduchého zpracování signálu (především při filtraci signálu). Díky PLL jednotce je možné měnit i frekvenci, na které mikrokontrolér pracuje, a tím optimalizovat jeho spotřebu. Tato funkce je významná v případě bateriově napájených aplikací, kdy musí mít mikrokontrolér po krátký čas vysoký výpočetní výkon a v době čekání na další událost pak co nejnižší příkon. Samozřejmě jsou obvody hlídající korektní běh programu (watchdog + low voltage detector).

Po stránce softwarové jde o akumulátorově orientované mikrokontroléry, přitom však cíl operace nemusí být jen akumulátor, jako v případě mikrokontrolérů 80C32, tj. např. jsou možné tyto dvě operace:

ADD a,[mem]

ale i:

ADD [mem],a

Je samozřejmé, že tato vlastnost kladně ovlivní výkon mikrokontroléru.

Dosud to vypadalo, že tento mikrokontrolér má pouze samé pozitiva. Má však i některé negativní vlastnosti. Víím, že to je můj subjektivní názor, ale uvedu ho.

Za první negativní vlastnost mikrokontroléru považuji úzkou šířku jednotky

MAC, kde vstupní operandy mají šířku pouze osmi bitů, což pro řadu případů zpracování signálu nemusí být dostatečné.

Druhá moje výtká se týká instrukční sady mikrokontroléru. V té vůbec nenajdeme klasické bitové instrukce. Taktéž mikrokontrolér disponuje pouze dvěma příznaky, a to CF (carry flag) a ZF (zero flag). Tato skutečnost značně sťažuje práci s čísly vyjádřenými ve druhém doplnku, neboť je nutné složitě zjišťovat, zda při aritmetických operacích nastalo přetečení. Taktéž podpora pro práci s čísly v kódu BCD je nulová, schází totiž příznak AC (auxiliary carry), který poskytuje programátorovi informaci o přenosu ze spodního do horního nibble. Samozřejmě je možné výše zmíněná omezení programově obejít (ošetřit), ale snižuje se tím výkon vlastního procesoru (program je delší).

Co by ale mohlo potenciální uživatele zlákat, je fakt, že návrhové prostředí (v originále nazývané Psoc Designer™), je volně k dispozici ke stažení na webu (v době psaní příspěvku je to verze 3.21). Pokud pro připojení použijete vytáčenou linku, připravte se na delší dobu připojení, neboť soubor s programem má velikost 30 MB.

Dalším pozitivem, a to nezanedbatelným, jsou knihovny různých periférií, takže i začínající uživatel může využívat všechny výhody tohoto mikrokontroléru téměř okamžitě.

Mikrokontrolér dokáže vyhovět různým požadavkům konstruktérů, neboť se vyrábí v celkem pěti různých velikostech - od pouzdra s osmi až po pouzdro se čtyřicetiosmi vývody.

Závěr

I když hodně záleží na vlastnostech mikrokontrolérů, návrh jejich zapojení a obslužné programy jsou výsledkem práce finálního uživatele.

Proto velmi záleží na jeho přístupu, vědomostech a technickém umu při řešení úloh. A to platí nejen o návrhu hardware, ale i software. Špatným programem (algoritmem) lze úplně zkažit celou předešlou práci. Špatný algoritmus nemusí být na první pohled ani poznat.

Jako příklad může posloužit vyčíslení x_n v následujícím vztahu:

$$x_{n+1} = [1 + (1 - x_n) \cdot 3] \cdot x_n.$$

Jako počáteční hodnotu použijte $x_0 = 0,01$ a zkuste spočítat hodnotu x_{50} pomocí různých překladačů a programovatelných kalkulátek. Myslím, že budete překvapeni. Mnohdy se výsledky neshodnou ani na první číslici. Pro ilustraci uvádím:

TI89 $x_{50} = 1,33261412176$

HP48 $x_{50} = 0,83353795$

Excel $x_{50} = 1,316349382$

μP(9) $x_{50} = 1,22883403$

μP(15) $x_{50} = 1,2031132257$

μP(21) $x_{50} = 1,314489796841$

μP(29) $x_{50} = 1,314489760648216504$

μP(33) $x_{50} =$
 $= 1,3144897606482148124310$

Název μP(xx) značí, že výsledek byl spočítán mikrokontrolérem 80C52, u něhož byly matematické úkony prováděny s pomocí knihovny s přesností udávanou v závorce.

Jak je z uvedených hodnot vidět, nejhůře dopadl kalkulátor HP48, jehož výsledek nemá platnou ani jednu číslici. Ani oblíbený Excel na tom není zrovna nejlépe, neboť jeho výsledek má platné pouze tři první číslice (zajímavostí je, že jak stolní verze, tak i verze zvaná Pocket Excel, poskytly stejný výsledek).

Jak je z posledních dvou údajů patrné, pro přesnost výsledku na 15 platných míst jsme museli počítat s více než dvojnásobnou přesností, a výpočty s přesností menší než 15 platných míst nemají téměř žádné platné místo - nelze tedy použít standardní překladače, neboť ty počítají standardně na 7 platných míst, zřídka kdy více.

Jak je vidět, i nevhodným algoritmem může veškerá snaha konstruktéra přijít nazmar, i když po hardwarové stránce bude zařízení bezchybné.

Proto, co platí pro hardware, platí dvojnásob pro software - musí se pečlivě prověřit, zda není někde slabé místo a nesmí se slepě věřit tomu, že co spočítal počítač, je vždy správné, i když jak vstupní údaje, tak i algoritmus, jsou po logické stránce v pořádku.

Uvedený příklad slouží pouze pro upozornění, že mnoho „záhadných“ chyb může být způsobeno sice logicky

správným, ale pro mikrokontrolér špatným algoritmem. Že se tyto chyby nevyhýbají ani profesionálům je možné dokumentovat na příkladu prvních programovatelných kalkulátorů firmy Texas Instruments (např. SR-50), které měly implementován nevhodný algoritmus násobení. Tuto chybu bylo možno demonstrovat vynásobením čísel $1,9999999 \cdot 4,9999999$. Správný výsledek je $9,99999930000001$, správný výsledek respektující šířku registrů kalkulátoru je $9,9999993$. Výsledek, který zmiňovaný kalkulátor (ale i jiné kalkulátory firmy TI z té doby) poskytuje, je $9,9999987$ (nebo velmi podobně).

Mnohým čtenářům se jistě zdá, že věnuji těmto chybám zbytečně mnoho pozornosti, vždyť málokdy potřebujeme výsledek přesný na mnoho míst. Argumentem proti tomuto názoru budiž příklad uvedený ze začátku této kapitoly. Nesmíme též zapomenout na to, že výpočty se nesestávají pouze z jednoho násobení, či jiné operace, ale celý výpočet realizovaný mikrokontrolérem je daleko složitější. Při těchto výpočtech se pak může akumulovat chyba, která pak zcela nebo z větší části znehodnotí výsledek. Tyto složité výpočty nejsou mnohdy na první pohled ani vidět. Klasickým příkladem jsou trigonometrické funkce (sinus, cosinus,...), logaritmy, odmocniny,... Ačkoliv mohou být tyto funkce realizovány různými metodami (viz např. [7] až [16]), jedno mají tyto metody společné - mnoho dílčích násobení, dělení, sčítání a odčítání.

Někdo může namítnout, že pokud použije některý vyšší programovací jazyk, nemusí se těmito fakty zajímat. Souhlasím s tímto názorem, ale jen částečně. Mnoho aplikací vyžaduje vyšší přesnost než standardních 7 míst, které poskytuje např. překladač jazyka C pro oblíbené mikrokontroléry 80C51. Klasickým případem aplikace, kde jsme se standardní přesností „na štiru“, může být čítač kmitočtu. Pokud požadujeme od čítače větší přesnost než 7 míst, nelze použít standardní matematické knihovny a jsme nuceni napsat si vlastní knihovnu, která dokáže počítat na větší počet platných míst. Další oblasti, kde můžeme být se standardní přesností „na štiru“ jsou některé výpočty z oblasti astronomie.

Co říci na závěr? I když bylo „povídání“ o mikrokontrolérech co do objemu velké, nemohlo postihnout situaci na trhu s mikrokontroléry v celé její šíři.

Stejná situace je v oblasti současného vývoje mikrokontrolérů, neboť každým dnem vznikají nové a nové typy, z nichž se mnoho příliš neprosadí a jsou tedy z dlouhodobého i uživatelského hlediska nezájímavé. Přesto zbývá mnoho „hráčů“ na tomto poli.

Z těch známých vyjmenujme alespoň několik nejznámějších firem (vč. těch, které již byly představené v tomto článku): ATMEL, Cygnal, Cypress, HOLTEK, Intel, Microchip, Mitsubishi, Motorola, STMicroelectronics, Texas

Instruments, Triscend, Philips, Rabit, Ubicom, Zilog.

Jak je vidět, nemohl jsem ani ve dvou časopisech uvést některé velmi zajímavé mikrokontroléry od nepříliš známých výrobců, neboť přednost dostaly mikrokontroléry dostupné a pro praxi využitelné.

Pokud jsem však ve vás vzbudil tímto „povídáním“ zájem i o další typy, zde neuvedené, a přiměl jsem vás k tomu, abyste se sami podívali po novinkách v této oblasti, myslím, že jsem splnil, co jsem měl v úmyslu.

Spojení na autora:

Mobil: +420 606 268 320

Email: kopelent@volny.cz

Literatura

- [1] Skaliký, P.: Digitální filtrace a signálové procesory. Skripta ČVUT FEL, Praha 1995.
- [2] Uhlíř, J.; Sovka, P.: Číslicové zpracování signálů.
- [3] Rabiner, L. R.; Rader, Ch. M.: Digital Signal Processing. IEEE Press 1972.
- [4] Rabiner, L. R.; Gold, B.: Theory and application of digital signal processing. Prentice-Hall Inc. 1975.
- [5] Nicholson, H.; Swanick, B. H.: Digital Signal Processing. Peter Peregrinus Ltd, 1982.
- [6] Stanley, W. D.; Dougherty, G. R.: Digital Signal Processing. Reston Publishing Company Inc. 1984.
- [7] Palmer, J. F.; Morse, S. P.: The 8087 Primer. Wiley Press, 1984.
- [8] Glass, L. B.: Math Coprocessors. Byte Magazine, January 1990.
- [9] Hastings, C. Jr.: Approximations for Digital Computers. Princeton University Press, 1955.
- [10] Hart, J. F.: Robert EComputer Approximations. Krieger Publishing Co., 1978.
- [11] Cody, W. J. Jr.; Waite, W.: Software manual for the Elementary Functions. Prentice-Hall, 1980.
- [12] Volder, J. E.: CORDIC Trigonometric Computing Technique. IRE Transactions on Electronic Computers, EC-8, Sept. 1959.
- [13] Schmid, Hermann; Bogacki, A.: Use decimal CORDIC for generation of many transcendental functions. EDN magazine, February 20, 1973.
- [14] Jarvis; Pitts: Implementing CORDIC Algorithms. Dr. Dobbs Journal, October 1990.
- [15] Ball, J. A.: Trigonometry in Two Easy Black Boxes. BYTE, May 1979.
- [16] Ruckdeschel, F. R.: BASIC Subroutines Vol II. Byte/McGraw-Hill Publications, 1981 (kapitola 4).
- [17] Katalogy, CD, webové stránky firmy ATMEL
- [18] Katalogy, CD, webové stránky firmy Microchip.
- [19] Katalogy, CD, webové stránky firmy ST Microelectronics.
- [20] Katalogy, CD, webové stránky firmy Texas Instruments.
- [21] Katalogy, CD, webové stránky firmy Cypress.
- [22] webové stránky firmy Keil.
- [23] Technická školení firmy Microchip.

Ohýbačka plechu

František Louda

Ten, pro koho elektronika a příbuzné obory nejsou jen činností pro ukrácení dlouhé chvíle, a zejména pak ten, kdo se těmto oborům ještě dnes věnuje dokonce profesionálně, v určitém okamžiku zákonitě zjistí, že pokud nechce degenerovat na opraváře a „vylepšovače“ zařízení z dovozu, potřebuje ke své činnosti, kromě měřicího parku, i čistě strojařské zázemí.

Základním a nejběžnějším konstrukčním materiálem, se kterým se dnes v elektronice pracuje, jsou termoplasty. Jenžte použití výlisků z termoplastů v kusové, natož prototypové výrobě nepadá vůbec v úvahu pro náročnost spojenou s výrobou forem. Zbývá tedy zase jen plech, a to od posledního úhelníčku až po kabát celého zařízení.

Pokud má být plech zpracován na profesionální úrovni (což platí i pro amatéra), neobejdeme se bez dvou věcí - řemeslné rutiny a dílenského vybavení, kterým je alespoň ohýbačka plechu. Ohyby přes hranu stolu, truhlík na uhlí a podobné speciály z domácích zdrojů kženy výsledek nepřinesou.

Standardní klempířskou ohýbačku lze běžně v odborných prodejnách koupit. Pomineme-li takovou maličkost, jako je její cena, zůstává ono Nerudovské: „Kam s ní?“. Prostor, který míváme pro svou činnost k dispozici, bývá zpravidla menší než malý. Ohýbačky jsou nejméně metr dlouhé s hmotností od půl metráku výš. K provedení složitějších, zejména uzavřených tvarů, musíme navíc používat různé příločky (česky bajláky), protože tyto stroje jsou určeny zejména pro výrobu stavebních prvků, jako jsou úžlabí, okapy apod. a ne pro titěrné součástky navíc s vysokým požadavkem na přesnost.

Zařízení zde publikované vzniklo po dlouholetých zkušenostech s provozem prototypových dílen a potřebami kusové výroby. Lze na něm bez dalších doplňků vyrobit všem zainteresovaným zájemcům tak důvěrně známé, tvarově náročné součástky, jako jsou na obr. 1.

Od běžné ohýbačky se liší v několika detailech. V první řadě délka ohybu je zkrácena na 350 mm, což v době

miniaturizace bohatě pokryje většinu požadavků. Při menší délce ohýbacích lišt bylo možné omezit jejich robustnost a tím podstatně zmenšit hmotnost stroje. Lišty 3, 4 a 5 lze samozřejmě nahradit delšími podle vlastního uvážení, ovšem za cenu, že se zvětší hmotnost, zhorší úložnost (skladovatelnost) a zmenší tuhost celé konstrukce. Proto tuto úpravu nedoporučuji příliš přehánět.

Výkres sestavy ohýbačky je na obr. 5, výkresy jednotlivých dílů jsou na obr. 6.

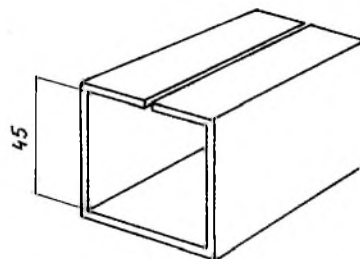
Horní přídržná lišta 4 je vyjímatelná (obr. 2), takže lze vytvořit zcela uzavřené profily, již od rozměru 45x45 mm (obr. 3a). Případnou záměnou této lišty za užší lze tento rozměr ještě zmenšit, protože šířka lišty podmiňuje úhlopříčku profilu. V této liště 4 jsou provedeny zářezy (žlábků), které umožní ohýbat plech, který byl již příčně profilován (obr. 3b a obr. 4). Úhel ohybu je 0 až 130°. Přizpůsobení pro jinou sílu plechu, tj. spuštění ohýbací lišty odspodu, protože přídržná lišta se zvedá pod úhlem 45 stupňů, takže potřebný prostor uvolní sama.

Ačkoli ohýbačka najde uplatnění zejména v elektronice a podobných oborech, její zhotovení je záležitostí výlučně strojařskou. Nutno ale přiznat, že s výjimkou bočnic 1 a 2, které bez frény nelze zhotovit, pro výrobu ostatních součástí vystačíme s pořádným svěrákem, větší, třeba jen stolní vrtačkou a běžnými nástroji, jako jsou pilka na železo, pilníky, závitníky apod. Výborným pomocníkem může být úhlová bruska, třeba jen z půjčovny. Vše je však podmíněno tím, že s těmito nástroji budeme pracovat. Umět pilovat není silnou stránkou ani dnešních absolventů strojařských učilišť. Dále nám nesmí vadit trocha fyzické námahy. Práce s pilkou a pilníkem plně nahradí, ba předčí pobyty ve fitnesscentrech. Tady za to, že si zacvičíme, se neplatí a navíc přebytné kalorie se spotřebují užitečně.

Výchozí materiál podle rozpisky lze běžně zakoupit v prodejnách hutního materiálu. Pro výrobu lišt dáme přednost oceli tažené za studena, tzv. hlazence (ČSN 426522). Lze použít i běžnou ocel taženou za tepla (ČSN 425522), ale pozor! Tyče tohoto materiálu mohou být okoujené a zkroutené. Lepší než ocel třídy 11373 by byla ocel 11500,

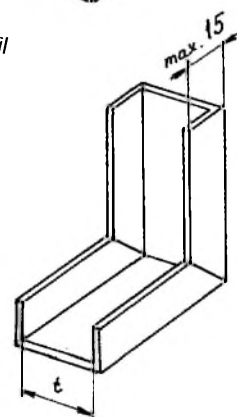


Obr. 2. Vyjímatelná horní přídržná lišta 4



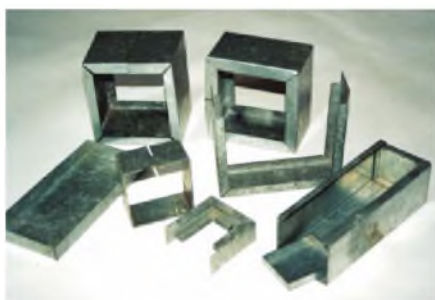
Obr. 3a. Uzavřený profil o rozměrech 45x45 mm, který lze ohýbačkou vytvořit

Obr. 3b. Ohyb příčně profilovaného plechu



která je však poměrně drahá a zřídka kdy bývá na skladě.

Úchyty 8 a 9, chceme-li ušetřit frézování, lze provést jako svařence. Otvary pro závit M10 je však nutno vrtat až po svaření. V bočnicích jsou upevněny jednak čepem, jednak kolíkem, který je vyjímatelný. Kolíky 12 jsou soustružené. Se stejným úspěchem lze použít druhý prefabrikovaný čep 6x40 ČSN 022109, na který přivaříme kroužek z drátu nebo podložku. Oproti původnímu řešení získáme výhodu v tom, že kolík 12 lze pak řetízem upevnit k bočnicím a tím zabránit, aby v prostorách, kde působí paranormální síly, ufo-



Obr. 1. Příklad součástek zhotovených popisovanou ohýbačkou



Obr. 4. Zářezy v horní liště, které umožňují ohýbat příčně profilovaný plech

ni nebo skřítkci Bordelářičci, nedocháze-
lo k jejich záhadným zmizením.

Pokud nebude možné ve spodní liště 3 provést rádiusová sedla o průměru 10 mm na jejich koncích (opět fréza), mohou odpadnout i koncová vybrání 12x15 mm v liště 4 a pružiny 17. V provozu však bude nutné při zasouvání plechu lištu 4 nadzvedat rukou. V liště 4 jsou již zmíněné pětimilimetrové zářezy. Jejich rozteč ovlivňuje rozměr t (obr. 3b). Proto je provedeme buď případ od případu individuálně na konkrétní rozměr, nebo naopak volbu rozměru t odvodíme od určité číselné řady. Např. zvolíme-li rozteče 20, 20, 30, 40, 20 mm atd., umožní to u výrobku z plechu 1 mm, aby šířka t byla 15 až 23, 26 až 33, 36 až 43, 46 až 53 mm atd. Pokud řada nebude vyhovovat, není nic jednoduššího, než lištu 4 vyměnit za novou. Cena materiálu není nijak horentní.

Nejnáročnější součásti jsou bočnice 1 a 2. Rozměrově jsou totožné, liší se jen zrcadlovým otočením. Všechny důležité míry jsou odvozeny od osy otáčení, tj. od osy otvorů o průměru 12 mm. S touto osou musí být shodná horní přední hrana spodní lišty 3, spodní hrana přídržné lišty 4 (skosená) a zadní horní hrana ohýbací lišty.

Jako nejméně komplikované, a tím i nejlevnější, bylo zvoleno použití odlitků ze šedé litiny. Je to sice způsob v amatérské praxi u nás naprosto neobvyklý, téměř drze provokační, ale ve strojařské praxi to nejzákladnější, co strojařinu dělá strojařinou.

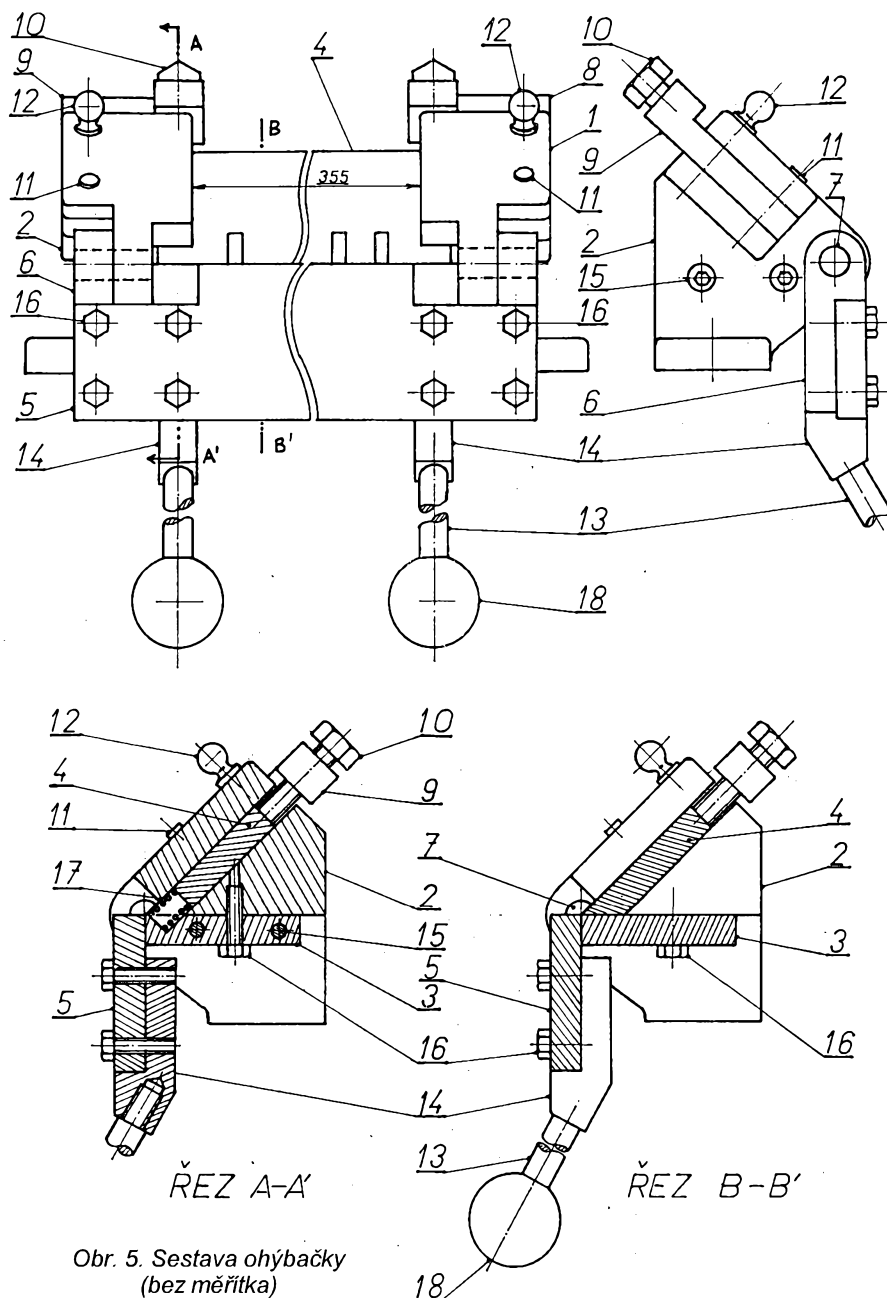
Odlitky nám může dodat každá slévárna šedé litiny, která formuje do písku, což jsou všechny slévárny v tomto státě. Jenže slévárně pro zaformování musíme dodat model, zpravidla dřevěný. Ten je v tomto případě velice jednoduchý, nepotřebuje žádné jaderníky a slévárna nám dokonce při požadavku jediného odlitku odpustí i to, že není „dělený“. Zhotovil by ho snad každý, kdo umí pracovat se dřevem, ale vyžaduje to určité znalosti: kolik kde přidat na opracování, jaké a kde udělat úkopy atd. To už je ale od náplně tohoto časopisu hodně daleko, takže těm méně fundovaným doporučuji využít nabídky na konci článku. Odlitky mohou být již i ofrézované.

Kóty na výkresech bočnic doplněné vlnovkami jsou dány rozměry odlitků a neopracováváme je. Bude-li to nutné, jen začistíme jejich povrch. Pokud proti takové ploše stojí plocha opracovaná, obrobené plochy jsou označeny trojúhelníčky. Ostatní kóty (neoznačené) předpokládají obrobení obou porotilehlých ploch.

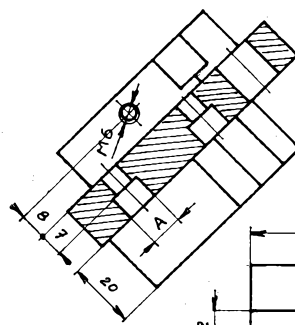
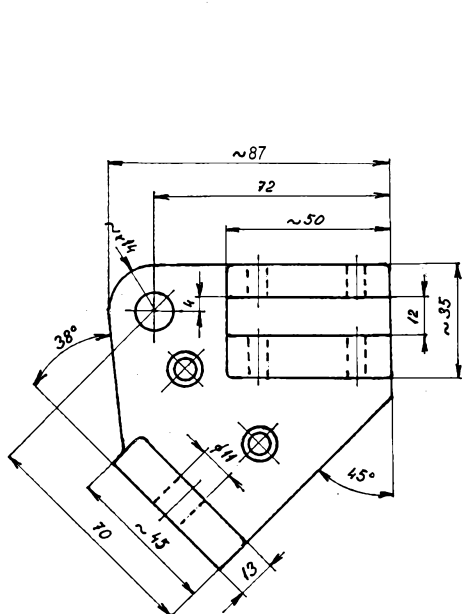
Odlitky bočnic ohýbačky (neopracované, popř. i opracované) si můžete objednat u firmy Duves na adrese: Karel Dudák, Jabloňová 1246, 268 01 Hořovice, nástrojárna - tel./fax: 311513369, privát - tel./fax: 311513369.

Seznam součástí ohýbačky

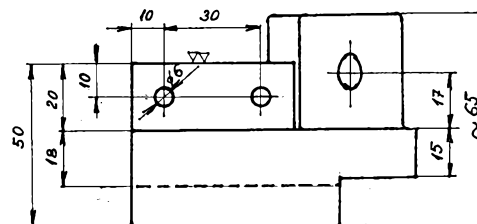
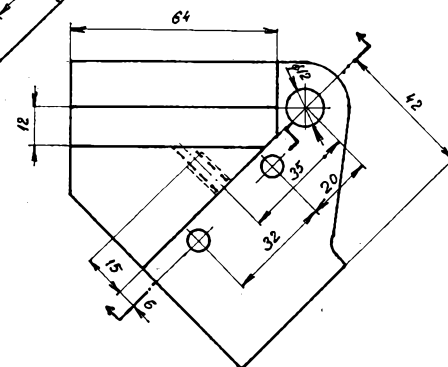
č.	součást	ks	materiál	
1	Bočnice pravá	1	odlitek	42 24 20
2	Bočnice levá	1	odlitek	42 24 20
3	Spodní lišta	1	tyč 60x12 ČSN 426522	11 373
4	Horní lišta	1	tyč 60x12 ČSN 426522	11 373
5	Ohýbací lišta	1	tyč 60x12 ČSN 426522	11 373
6	Oko čepu	2	tyč 25x15 ČSN 426522	11 373
7	Čep lišty	2	tyč Ø 13 ČSN 425510	11 500
8	Pravý úchyt	1	tyč 70x20 ČSN 425522	11 373
9	Levý úchyt	1	tyč 70x20 ČSN 425522	11 373
10	Šrouby úchytů	2	M10x40 ČSN 021103 nebo 021162 - hotov. vyr.	
11	Čepy úchytů	2	6x40 ČSN 022109 - hotový výrobek	
12	Kolík	2	tyč Ø 12 ČSN 426510	11 373
13	Páka	2	tyč Ø 12 ČSN 426510	11 373
14	Lůžko páky	2	tyč 25x15 ČSN 426522	11 373
15	Šroub	4	M6x20 021143 - hotový výrobek	
16	Šroub	10	M6x25 021303 - hotový výrobek	
17	Pružina	2	struna Ø 1,8	
18	Držadlo	2	bakelitová kulička Ø 35 - hotový výrobek	



Obr. 5. Sestava ohýbačky
(bez měřítka)



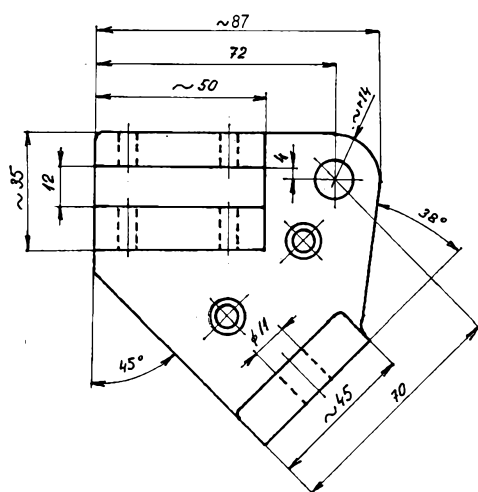
①



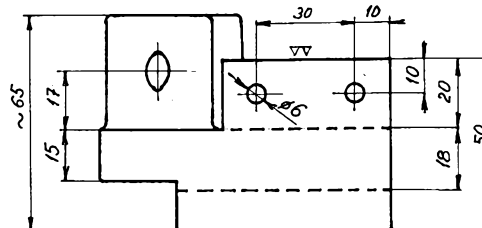
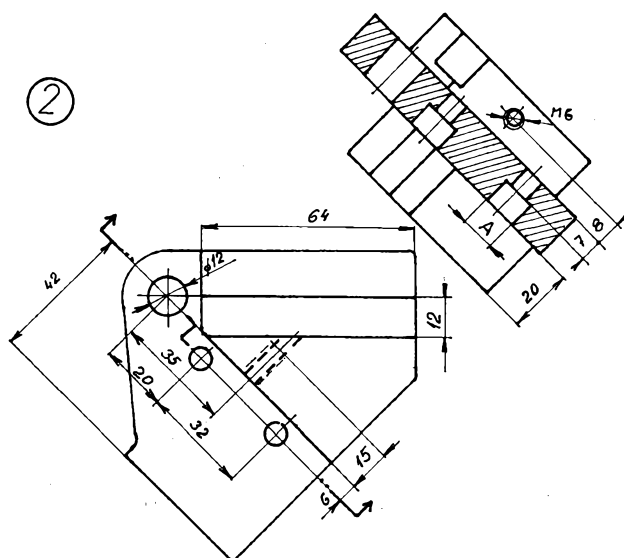
Otvory $\phi 6$ a $\phi 12$ v toler. H7

A - zahloubit pro M6 dle ČSN 02 1143

Obr. 6.
Výkresy jednotlivých dílů
ohýbačky (bez měřítka)

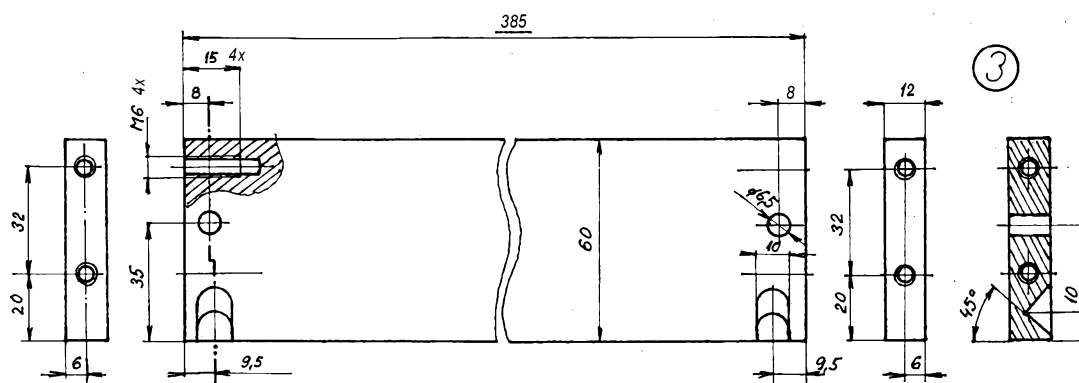


②

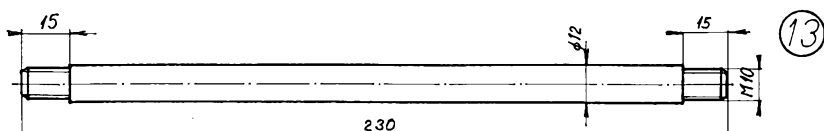
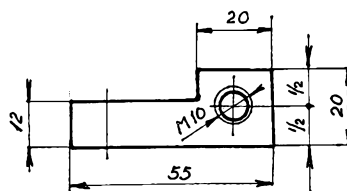
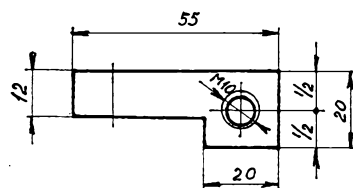
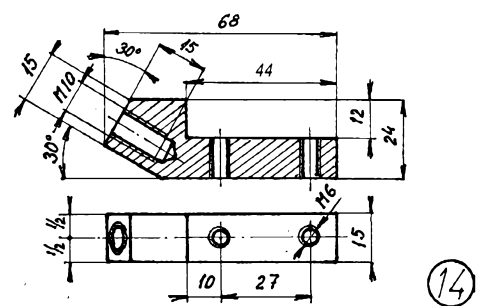
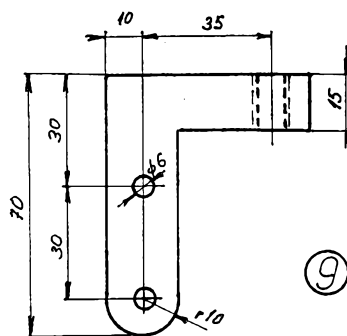
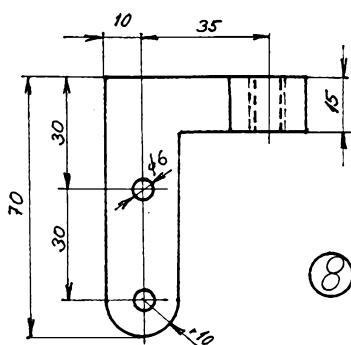
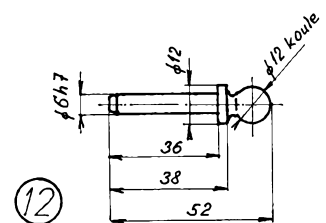
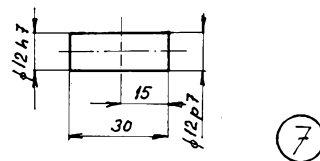
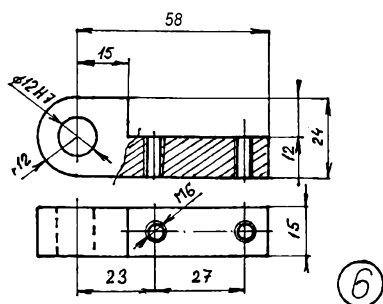
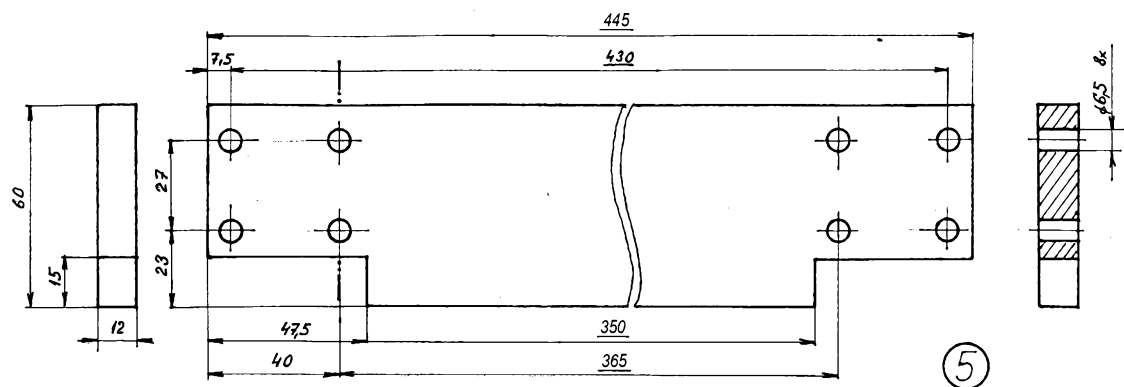
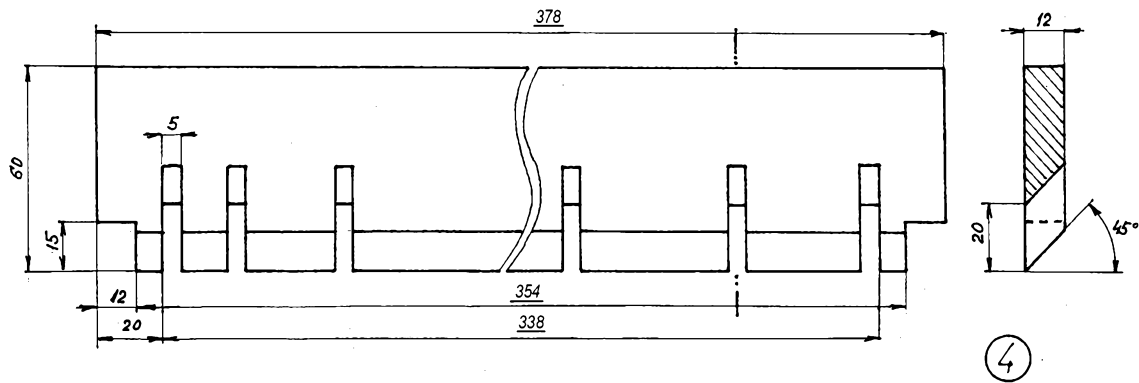


Otvory $\phi 6$ a $\phi 12$ v toleranci H7

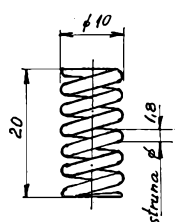
A - zahloubit pro M6 dle ČSN 02 1143



③



5 závitů pracovních
2 závitů závěrné



ZAJÍMAVÁ A PRAKTICKÁ ZAPOJENÍ

V této kapitole jsou uvedena zapojení z oblasti napájecích zdrojů a měřicí techniky. Konstrukce doplněné deskami s plošnými spoji byly zhotoveny a prakticky ověřeny. Popsaná zapojení je vhodné brát především jako podnět a inspiraci k další tvůrčí činnosti a je možné s nimi dále laborovat.

Napájecí zdroje

Jednoduchý a odolný zdroj pro radiostanici

Na obr. 1 je schéma zdroje určeného pro napájení radiostanice (transceiveru), který je schopen při napětí 13,8 V dodat špičkový proud až 25 A pro provoz SSB.

Zdroj je tvořen dvěma částmi - síťovým usměrňovačem poskytujícím nestabilizované stejnosměrné napětí 24 V (na obr. 1 vlevo od pojistky F1) a výkonovým tranzistorovým stabilizátorem (vpravo od pojistky F1). Obvyklé řešení je vestavět obě části do společné skřínky, avšak jejich oddělené umístění do dvou zvláštních skříněk může mít také své výhody. Rozměrný a těžký síťový usměrňovač je pak možné umístit na zem ve větší vzdálenosti od radiostanice (nepřekáží na pracovišti) a může být případně použit i pro napájení dalších stabilizátorů pro další radiostanice. Samostatný stabilizátor pak lze umístit vedle radiostanice a při práci v terénu jej lze místo ze síťového usměrňovače napájet ze dvou dvanáctivoltových automobilových akumulátorů zapojených do série (jeden akumulátor pro napájení radiostanice nestačí,

protože během vysílání je schopen dodávat napětí jen asi 10 až 11 V).

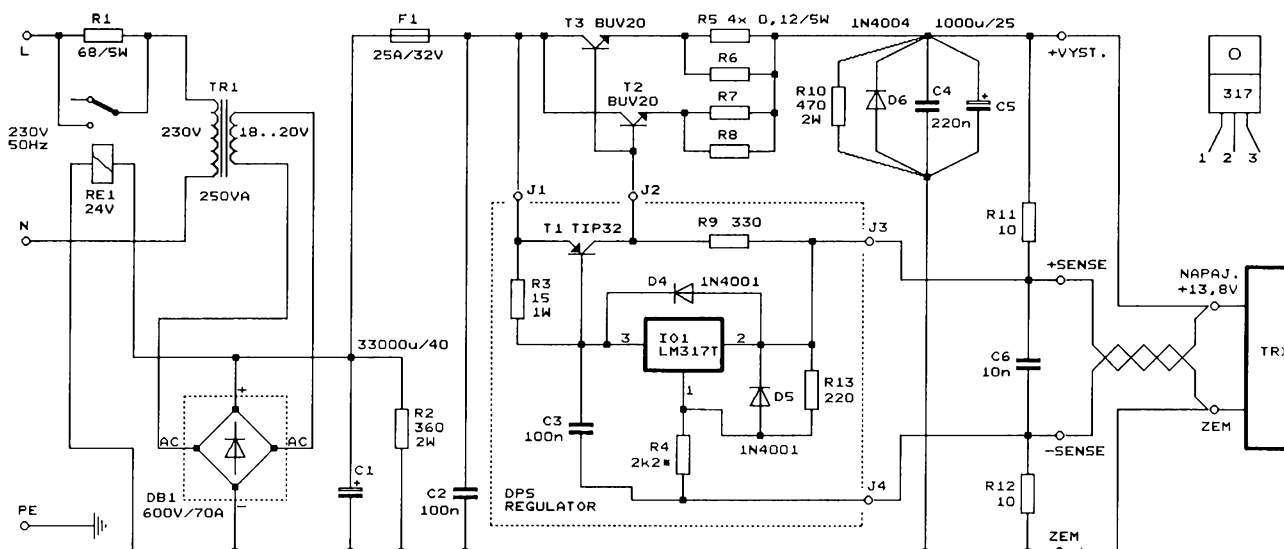
V síťovém usměrňovači použil autor transformátor TR1 o výkonu nejméně 250 VA se sekundárním napětím naprázdno 18 V. Jak se ukázalo v provozu, není toto napětí dostatečné, protože při největším zatěžovacím proudu klesalo napětí na výstupu stabilizátoru. Lepší by proto byl transformátor s výstupním napětím naprázdno 19 až 20 V (záleží též na „tvrdosti“ transformátoru).

V primárním vinutí transformátoru je zapojen rezistor R1, který omezuje velikost proudu odebíraného ze sítě při zapnutí zdroje a zajišťuje tzv. „měkký“ start zdroje. Po zmagnetování jádra transformátoru a nabití vyhlazovacího kondenzátoru C1 se rezistor zkratuje kontaktem relé RE1, které má cívku připojenou paralelně k C1, a zdroj se uvede do běžného provozu. Relé má cívku na 24 V ss a kontakty určené pro spínání síťového napětí.

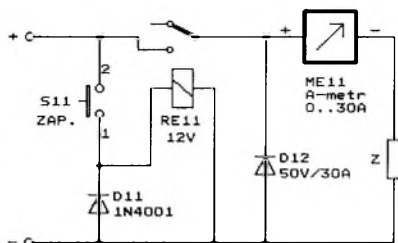
Odpor rezistoru R1 se musí upravit podle použitého transformátoru a dalších součástek tak, aby relé sepnulo asi po 0,5 s od zapnutí zdroje. Pokud by byl odpor rezistoru R1 příliš velký, napětí na C1 by nestačilo pro sepnutí relé a R1 by se spálil.

Můstkový usměrňovač DB1 použil autor ze „šuplíkových zásob“ a upozorňuje, že musí být dimenzovaný pro maximální proud alespoň 70 A a napětí 600 V nebo větší. Pojistka F1 je pomalá automobilová 25 A/32 V. Síťové pojistky určené pro domovní elektrickou instalaci nejsou vhodné. Bez správné pojistky F1 se zdroj nesmí v žádném případě testovat ani provozovat!

Stabilizátor je zapojen s obvodem LM317T, který je posílen výkonovými tranzistory T1 až T3. IO LM317T má vstup pro snímání výstupního napětí zdroje vyveden na zvláštní svorky +SENSE a -SENSE. To umožňuje připojit zátěž (radiostanici TRX) ke zdroji čtyřmi vodiči (jak je naznačeno na obr. 1) a díky tomu udržovat na napájecích svorkách zátěže konstantní napětí bez ohledu na úbytky napětí na napájecích vodičích ze svorek +VYST. a ZEM (pokud to ovšem dovolí rezerva napětí ze síťového usměrňovače). Pár vodičů, vedených od zátěže ke svorkám ±SENSE, musí být zkroucený (jak je naznačeno na obr. 1), aby nevytvářel smyčku, do které by se indukoval síťový brum a vř signál z vysílače. Pro případ, že by se náhodně přerušilo spojení se zátěží, jsou svorky +SENSE a -SENSE propojeny s výstupními svorkami +VYST. a ZEM prostřednictvím rezistorů R11 a R12. Pokud chceme zátěž připojit pou-



Obr. 1. Jednoduchý a odolný zdroj pro radiostanici



Obr. 2. Pokusná zátěž zdroje

ze dvěma vodiči, musíme přímo spojit svorku +SENSE se svorkou +VYST. a svorku -SENSE se svorkou ZEM. Pak ovšem bude udržováno konstantní napětí na výstupních svorkách zdroje a nikoliv na napájecích svorkách zátěže.

Výkonové tranzistory T2 a T3 jsou robustního typu BUV20 (NPN, $U_{CE0} = 125\text{ V}$, $I_C = 50\text{ A}$, $P_{tot} = 250\text{ W}$, proudový zesilovací činitel 15 až 60 při $I_C = 25\text{ A}$, pouzdro TO3) a lze je nahradit i jiným typem s podobnými parametry. Tranzistory jsou přišroubovány bez izolačních podložek přímo k chladiči s tepelným odporem $1,1\text{ K/W}$, který je izolován od kostry přístroje. Mezi tranzistory a chladič je nanášena tepelně vodivá pasta, aby se zlepšil přenos tepla. Rezistory R5 až R8 rovnoměrně rozdělují výstupní proud zdroje mezi oba tranzistory. Zdroj nemá elektronickou ochranu proti zkratu, autor vyzkoušel, že při zkratu výstupních svorek se pouze přepálí pojistka F1 a tranzistory se nepoškodí.

Součástky okolo IO1 jsou umístěny na malé desce s plošnými spoji označené DPS REGULATOR, ostatní součástky jsou namontovány přímo na kostru.

Při ožiování se zkontroluje funkce zdroje a úpravou odporu rezistoru R4 se nastaví výstupní napětí $13,8\text{ V}$. Osciloskopem se ověří, zda zdroj nekmitá.

Pro testování zdroje při plné zátěži si autor zhotovil přípravek podle obr. 2. Jako zatěžovací rezistor Z byl použit smotek elektroinstalačního vodiče o délce asi 100 m a průřezu $2,5\text{ mm}^2$ s izolací PVC, který byl kvůli chlazení ponořen do vědra s vodou. Zátěž se zapíná tlačítkem S11 pomocí automobilového relé, jehož kontakty snesou proud 30 A . Diody D11 a D12 potlačují napěťové špičky, které vznikají při vypínání zátěže na cívce relé a na indukčnosti zátěže. Dioda D12 musí být dimenzována na plný proud zátěže.

RadCom, říjen 2001

Sítový adaptér se stabilizovaným výstupním napětím $\pm 9\text{ V}$

Popisovaný sítový adaptér (obr. 3) byl navržen pro napájení amatérského měřicího přístroje symetrickým stabilizovaným napětím $\pm 9\text{ V}$. Z obou výstupů je možné odebírat proud až 100 mA .

Schéma adaptéru je na obr. 4. Zapojení je zcela klasické, napětí ze dvou sekundárních vinutí síťového transformátoru TR1 se dvoucestně usměrňují diodami D1 až D4, vyhlazují kondenzá-

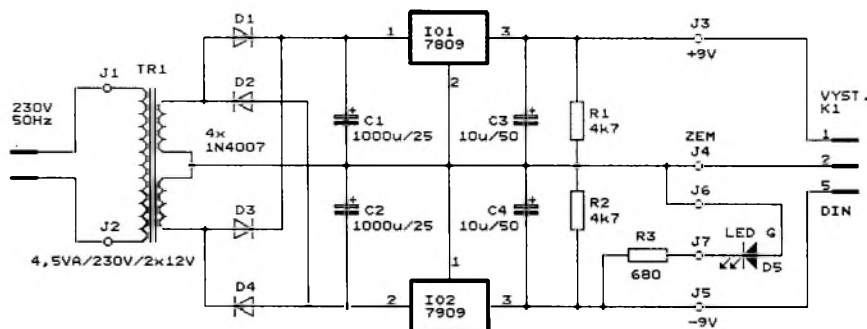
tory C1 a C2 a stabilizují monolitickými stabilizátory IO1 (7809) a IO2 (7909). Kondenzátory C3 a C4 zabraňují rozkmitání stabilizátorů a rezistory R1 a R2 je předzátěžují, aby na výstupu adaptéru bylo správné napětí i bez připojené vnější zátěže (předzátěž nutně vyžaduje záporný stabilizátor 7909). Připojení adaptéru k síti a přítomnost napětí na jeho výstupu indikuje LED D5. Síťový transformátor není opatřen pojistkou, protože použitý typ snese trvalý zkrat na výstupu a ani běžné síťové adaptéry neobsahují žádné pojistky. Výstupní proudy 100 mA jsou určené relativně malými chladiči stabilizátorů IO1 a IO2 a špatnou cirkulací vzduchu okolo chladičů a transformátoru po včlenění adaptéru do skřínky a nejsou elektronicky omezené, ale pouze doporučené s ohledem na povolené ohřátí součástek (samotné stabilizátory omezují proud až v oblasti nad 1 A). Při použití větších chladičů a po navrtání chladi-

cích děr do skřínky je možné s daným typem transformátoru odebírat proud až 200 mA , při použití většího transformátoru, který se do skřínky také vejde, je možné odběr proudu ještě dále zvětšit. Vždy je však nutné kontrolovat teplotu uvnitř skřínky, a nesmí se dopustit, aby se teplota součástek zvětšila nad 60°C (při teplotě nad 60°C se na předmětu nedá udržet ruka po delší dobu).

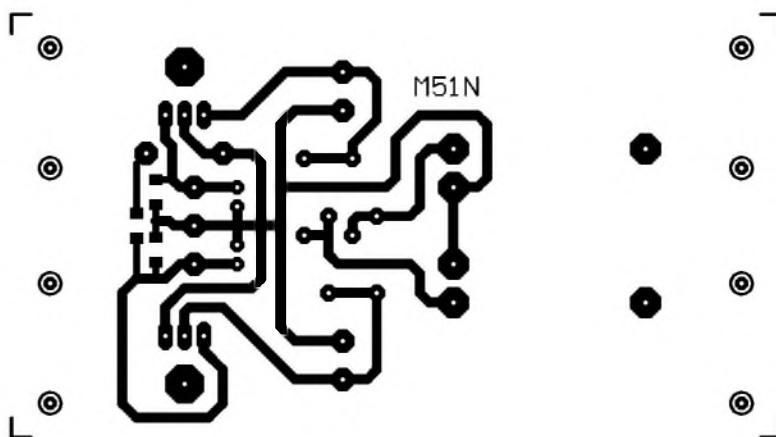
Všechny součástky adaptéru jsou připájené na desce s jednostrannými plošnými spoji (obr. 5 až obr. 7). Stabilizátory IO1 a IO2 jsou přišroubovány na chladičích. K desce je připájena síťová šňůra s vidlicí a výstupní kablík, opatřený na konci pětipólovou vidlicí DIN. Šňůra a kablík jsou k desce upevněny kabelovými příchytkami. Pájecí plošky se síťovým napětím jsou zakryté izolační fólií. Konstrukci ilustrují fotografie na obálce.

Zapojenou desku připojíme k síti a zkontrolujeme obě výstupní napětí.

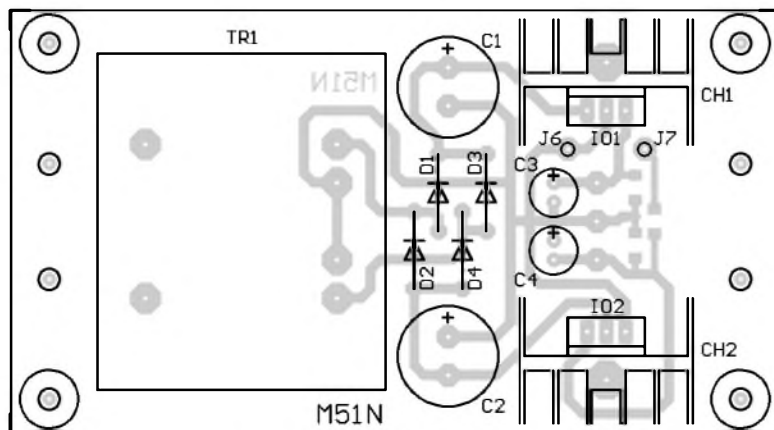
Obr. 3. Sítový adaptér se stabilizovaným výstupním napětím $\pm 9\text{ V}$



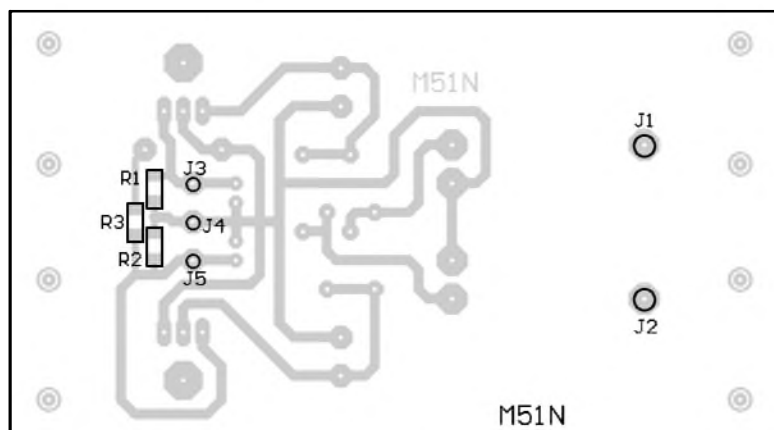
Obr. 4. Sítový adaptér se stabilizovaným výstupním napětím $\pm 9\text{ V}$



Obr. 5. Obrazec plošných spojů síťového adaptéru (měř.: 1 : 1)



Obr. 6. Rozmístění součástek na straně součástek na desce síťového adaptéru



Obr. 7. Rozmístění součástek na straně spojů na desce síťového adaptéru

Deska je vestavěna do plastové skříňky U-KPZ5. Do náliťků na horním dílu skříňky vyřízneme závity M3 a ke spojení obou dílů skříňky použijeme šrouby M3x30 s válcovou hlavou, na které navlékneme přístrojové nožky. Protože mezi náliťky v obou dílech skříňky je mezera asi 4 mm a deska by se viklala, jsou na náliťky horního dílu skříňky navlačené kusy bužírky PVC, které je přečnivají, a po smontování skříňky vymezují polohu desky. Do horního dílu skříňky je přišroubována LED D5 a je spojena s deskou kablíkem.

Seznam součástek

R1, R2	4,7 k Ω , SMD 1206
R3	680 Ω , SMD 1206
C1, C2	1000 μ F/25 V, radiální
C3, C4	10 μ F/50 V, radiální
D1 až D4	1N4007
D5	LED, zelená, 3 mm (L-R732G - GM Electronic)
IO1	7809
IO2	7909
K1	kabelová pětipólová vidlice DIN
TR1	síťový transformátor 4,5 VA/230 V/2x 12 V
CH1, CH2	chladič V7142A (GM Electronic) (2 ks)
deska s plošnými spoji č.: M51N	
krabice U-KPZ5 černá (GM Electronic)	
síťová šňůra s vidlicí dvoupólová, 1,5 m	
kablík třížilový, 1 m	
konstrukční a spojovací materiál atd.	

Zbyněk Munzar

Měřicí technika

Měřič ESR elektrolytických kondenzátorů

Přístroj měří modul impedance jakéhokoliv dvojpólu na kmitočtu 100 kHz v rozsazích 2 Ω (s rozlišením 1 m Ω) a 20 Ω (s rozlišením 10 m Ω). U elektrolytických kondenzátorů s kapacitou větší než 47 μ F a se zanedbatelnou vlastní indukčností je změřený modul impedance s dostatečnou přesností přímo roven ESR, u kondenzátorů s menší kapacitou vypočteme ESR jako vektorový rozdíl změřeného modulu impedance a kapacitní reaktance. Přesnost měření nebylo možné ověřit, pravděpodobně se pohybuje okolo 1 %.

Přístroj je řešen jako přípravek, který obsahuje pouze nejnútnejší obvody. Změřená hodnota se zobrazuje vnějším 3,5místným číslicovým multimetrem přepnutým na rozsah měření stejnosměrného napětí 2 V, k napájení je použit vnější síťový adaptér, který musí poskytovat stabilizované stejnosměrné napětí 12 V se zátížitelností 100 mA.

Konstrukční řešení přístroje je patrné z fotografie na obr. 8.

Celkové schéma měřiče je na obr. 9. Přístroj využívá principu lineárního

ohmmetru, ve kterém se do měřeného objektu zavádí konstantní vř sinusový proud, a úbytek napětí na měřeném objektu, který je přímo úměrný modulu impedance měřeného objektu, se pak interpretuje jako změřený modul impedance v ohmech.

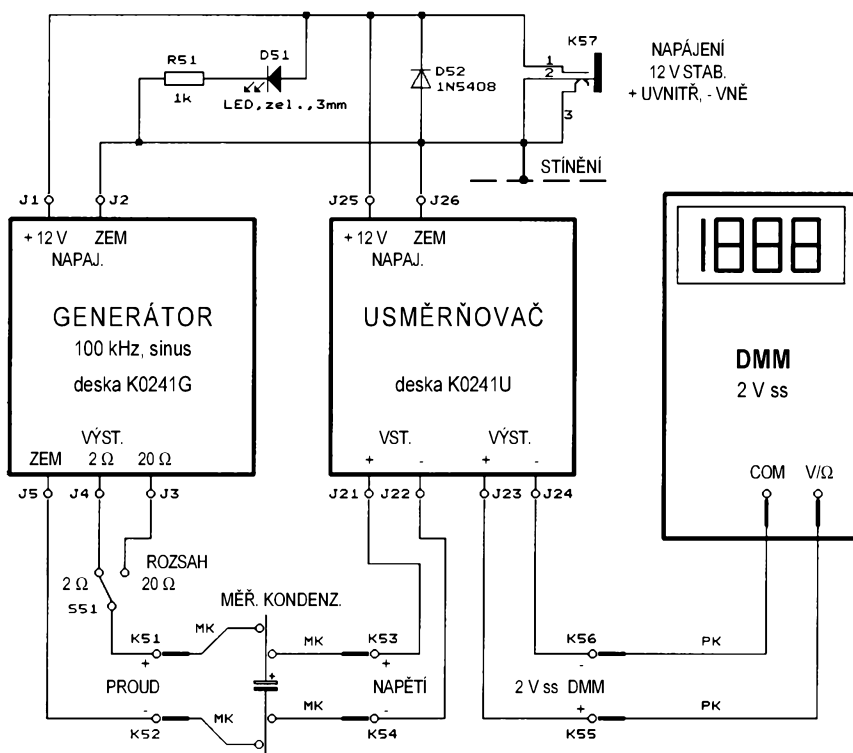
Vzhledem k malé velikosti měřené impedance bylo zvoleno čtyřvodičové

propojení měřeného objektu - v našem případě elektrolytického kondenzátoru, které vylučuje chyby způsobené přechodovými a vnitřními odpory propojovacích svorek a vodičů.

Jak je vidět z obr. 9, vř proud se zavádí do měřeného kondenzátoru (MĚŘ. KONDENZ.) z bloku generátoru (GENERÁTOR) přes svorky +PROUD a -PROUD (zdířky K51, K52). Proud dodávaný generátorem je sinusový, má kmitočet 100 kHz a jeho efektivní

Obr. 8. Měřič ESR elektrolytických kondenzátorů





Obr. 9. Celkové schéma měřice ESR

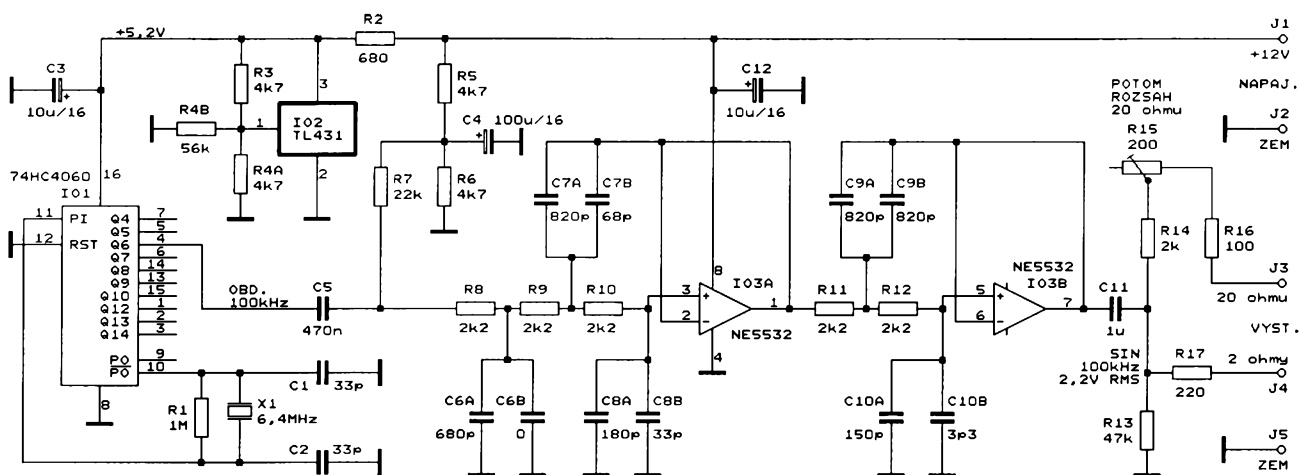
hodnota je 10 mA na rozsahu 2 Ω a 1 mA na rozsahu 20 Ω. Rozsahy se volí přepínačem S51. Úbytek napětí na měřeném kondenzátoru se přes svorky +NAPĚTÍ a -NAPĚTÍ (zdičky K53, K54)

zavádí do bloku usměrňovače (USMĚRŇOVAČ). Vstup VST. bloku usměrňovače je diferenční, aby se zpracovávalo pouze napětí odebrané z měřeného kondenzátoru a neuplatňoval se úbytek

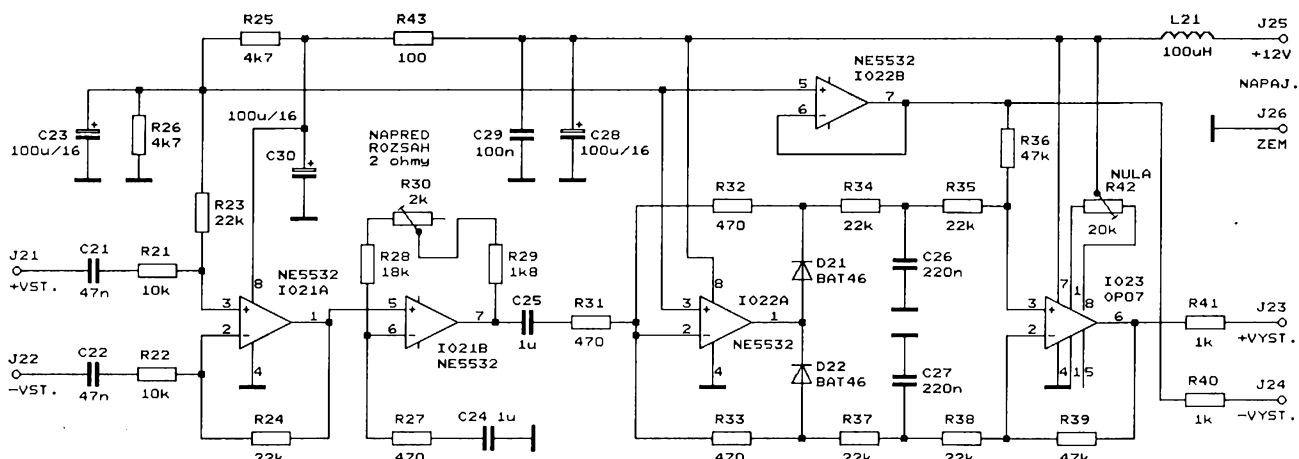
napětí na zemním přívodu k měřenému kondenzátoru. Z velikosti měřících proudů vyplývá, že na obou rozsazích je maximální úbytek napětí na měřeném kondenzátoru 20 mV (efektivní hodnota). V bloku usměrňovače je toto napětí zesíleno a lineárně usměrněno tak, že mu odpovídá stejnosměrné napětí 2 V mezi výstupními vývody +VYST. a -VYST.

Napětí z výstupu usměrňovače je vyvedeno na zdičky K55 a K56 a zobrazuje se číslicovým multimetrem DMM, který je nastaven na rozsah 2 V ss (DC). Žádná z výstupních zdiček není spojena se zemí měřice, a proto musí být DMM plovoucí. Je-li měřič ESR přepnut na rozsah 2 Ω, je údajem DMM vyjádřen přímo modul impedance v Ω, na rozsahu 20 Ω je poloha desetinné tečky na displeji DMM chybná a musíme si představovat, že by měla být posunutá o jedno místo doprava.

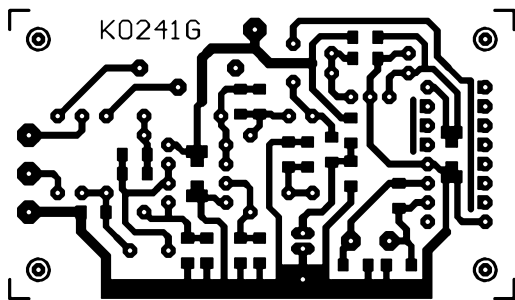
Měřič je napájen stabilizovaným stejnosměrným napětím 12 V z vnějšího zdroje (např. ze síťového adaptéru), které se přivádí na napájecí konektor K57 (s vnitřním kolíkem o průměru 2,1 mm). Napájecí proud měřice je maximálně 50 mA. Přítomnost napájecího napětí indikuje LED D51. Dioda D52 chrání měřič před přepólováním napájecího napětí. Opačné pólované napětí dodávané ze stabilizovaného zdroje s omezeným výstupním proudem je di-



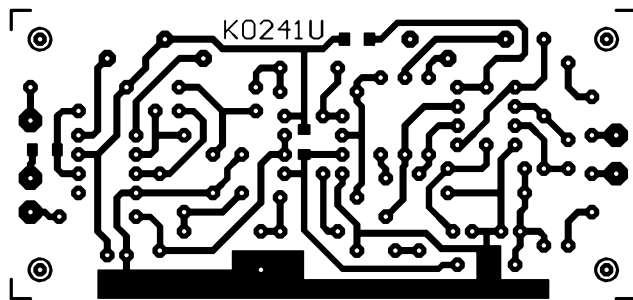
Obr. 10. Blok generátoru měřice ESR



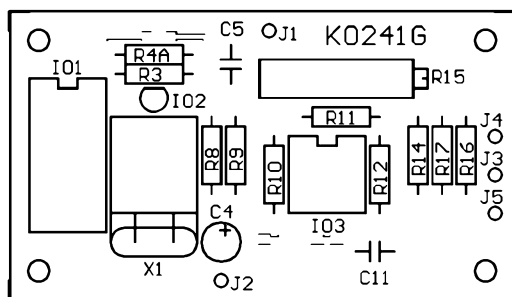
Obr. 11. Blok usměrňovače měřice ESR



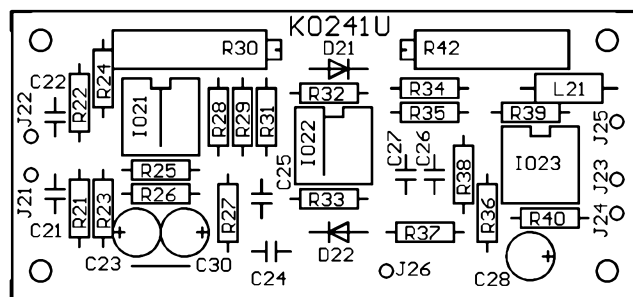
Obr. 12. Obrazec plošných spojů bloku generátoru měřice ESR (měř.: 1 : 1)



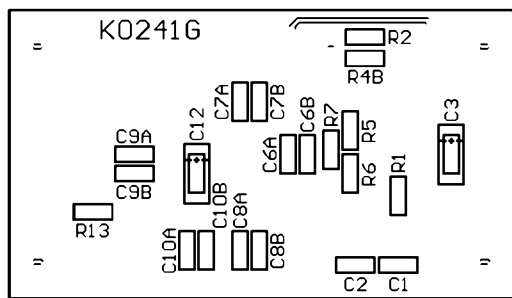
Obr. 15. Obrazec plošných spojů bloku usměrňovače měřice ESR (měř.: 1 : 1)



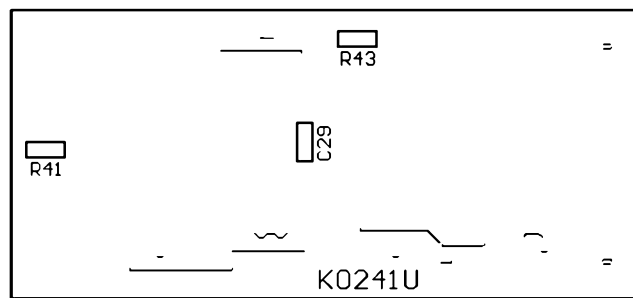
Obr. 13. Rozmístění součástek na straně součástek na desce bloku generátoru měřice ESR



Obr. 16. Rozmístění součástek na straně součástek na desce bloku usměrňovače měřice ESR



Obr. 14. Rozmístění součástek na straně spojů na desce bloku generátoru měřice ESR



Obr. 17. Rozmístění součástek na straně spojů na desce bloku usměrňovače měřice ESR

odou zkratováno a nemůže uškodit, přitom se nepoškodí ani zdroj, ani dioda. Přístroj však nesmíme napájet z akumulátoru, při jeho nesprávném připojení by se dioda utavila.

Schéma bloku generátoru je na obr. 10. Zapojení vychází z požadavku, že generovaný sinusový proud musí mít dokonale stabilní amplitudu (kolísání pod 0,1 %), přesný kmitočet a malé zkreslení (pod 1 %). Tyto podmínky nemůže splnit běžné zapojení sinusového oscilátoru s Wienovým můstkem apod. s parametrickou stabilizací amplitudy kmitů (pomocí žárovky nebo termistoru apod.). Proto bylo použito zapojení, ve kterém logický obvod IO1 generuje obdélníkové napětí o kmitočtu 100 kHz s velmi stabilní amplitudou, které je pak kmitočtovou filtrací (aktivní dolní propustí s IO3A a IO3B) přeměněno na sinusové napětí. Sinusové napětí z výstupu filtru je přeměněno na konstantní sinusový proud sériovými rezistory R17 a R14 až R16, jejichž odpory jsou na obou rozsazích více než 100x větší než maximální velikost měřeného modulu impedance. Toto řešení zdroje proudu není ideální, avšak je velmi jednoduché, a chyba měření způsobená kolísáním proudu je menší než 1 %.

IO1 typu 74HC4060 obsahuje oscilátor a čtrnáctibitový binární čítač, který pracuje jako dělička kmitočtu. Oscilátor kmitá s krystalem X1 na kmitočtu 6,4 MHz. Tento kmitočet je vnitřním čítačem vydělen 64x, takže na výstupu Q6 IO1 je k dispozici kmitočet 100 kHz. IO1 je napájen napětím 5,2 V z referenčního zdroje TL431 (IO2). Protože mezivrcholový rozkmit signálu z IO1 je roven napájecímu napětí IO1, odpovídá stabilita amplitudy signálu z IO1 stabilitě napájecího napětí z referenčního zdroje, která je asi 50 ppm/°C.

Obdélníkový signál z Q6 IO1 o kmitočtu 100 kHz má střidu přesně 1 : 1, takže neobsahuje sudé harmonické, a přitom třetí harmonická je oproti první (základní) harmonické potlačena 3x (asi -10 dB), pátá harmonická je oproti první potlačena 5x (asi -14 dB) atd.

Požadujeme-li zkreslení sinusového signálu vzniklého filtrací obdélníkového signálu asi 1 %, znamená to, že potřebný filtr typu dolní propust musí mít horní mezní kmitočet nad 100 kHz a musí potlačovat kmitočet 300 kHz alespoň o -30 dB. Tomuto požadavku odpovídá Butterworthova aktivní dolní propust pátého řádu se dvěma operačními zesilovači (OZ) IO3A a IO3B (NE5532).

Signál 100 kHz je navázán na vstup dolní propusti střídavě kondenzátorem C5, protože OZ mají zavedené na své vstupy předpětí z děliče R5, R6 o velikosti poloviny napájecího napětí 12 V. Vzhledem k tomu, že stabilita kmitočtové charakteristiky filtru ovlivňuje stabilitu amplitudy výstupního napětí, jsou ve filtru použity nejstabilnější běžně dostupné kondenzátory, tj. keramické kondenzátory z materiálu NPO v provedení SMD.

Na výstupu filtru (na vývodu 7 IO3B) je sinusové napětí o efektivní hodnotě 2,2 V. Aby se získal potřebný měřicí proud 10 a 1 mA, jsou zapojeny do série s výstupem filtru rezistor R17 o odporu 220 Ω a skupina rezistorů R14 až R16 o odporu 2,2 kΩ. Trimrem R15 se kalibruje rozsah 20 Ω. Stejnou složku z výstupního napětí filtru odstraňují součástky C11 a R13.

Schéma bloku usměrňovače je na obr. 11. Na vstupu je diferenční zesilovač s OZ IO21A (NE5532), který má vstupní odpor větší než 20 kΩ a zesílení asi 2,2x. Vstupní odpor diferenčního zesilovače je připojen paralelně k měřenému kondenzátoru a vnáší chybu do měření modulu jeho impedance. Velikost vstupního odporu byla záměrně zvolena tak, aby tato chyba byla nejvýše 0,1 %.

Vstup diferenčního zesilovače je k měřenému kondenzátoru navázán střídavě prostřednictvím kondenzátorů C21 a C22. Tyto kondenzátory spolu se vstupním odporem diferenčního zesilovače tvoří horní propust, která potlačuje rušivý síťový brum a chrání vstup před stejnosměrným napětím „zapomenutým“ na měřeném kondenzátoru.

Signál z výstupu diferenčního zesilovače je ještě zesílen asi 50x dalším OZ IO21B (NE5532). Trimrem R30 se kalibruje rozsah měřiče 2 Ω. Protože trimr R30 ovlivňuje citlivost usměrňovače i na rozsahu 20 Ω, je nutné napřed zkalibrovat trimrem R30 rozsah 2 Ω a teprve potom trimrem R15 rozsah 20 Ω.

Zesílený signál se dvoucestně usměrňuje lineárním usměrňovačem s OZ IO22A a diodami D21 a D22.

Pulsující napětí z obou větvi usměrňovače jsou vyfiltrována dolními propustmi s R34, C26 a R37, C27 a jsou sloučena do jednoho výstupu stejnosměrným diferenčním zesilovačem IO23 (OP07) s napěťovým zesílením asi 1x. Trimrem R42 se kompenzuje vstupní napěťová nesymetrie OZ IO23 a tím se nastavuje nulové výstupní napětí usměrňovače (mezi svorkami J23, J24) při nulovém vstupním signálu (zkratu) mezi svorkami J21, J22.

Všechny OZ bloku usměrňovače mají na své vstupy zavedené předpětí z děliče R25, R26 (popř. z výstupu IO22B) o velikosti poloviny napájecího napětí 12 V. Vůči tomuto předpětí je vztaženo i výstupní napětí měřiče na výstupu OZ IO23.

Součástky bloku generátoru jsou připájené na desce K0241G s jednostrannými plošnými spoji (obr. 12 až obr. 14). IO1 je v objímce, krystal X1 je umístěn naležato. Vývod IO1 propojíme s vodičem vedoucím k C5 kapkou cinu.

Součástky bloku usměrňovače jsou připájené na další desce s označením K0241U s jednostrannými plošnými spoji (obr. 15 až obr. 17). Všechny IO jsou v objímkách, na desce jsou též tři drátové propojky (z toho dvě pod objímkami!).

Obě desky jsou spolu s ostatními součástkami z obr. 9 vestavěné do stíněné skříňky. Moje konstrukce je patrná z fotografií na obálce. Použil jsem plastovou skříňku KP 5, z jejíhož vnitřku jsem dlátem odstranil všechny nálitky.

Na přední stěnu horního dílu skříňky jsem zevnitř položil laminátovou desku o tloušťce 0,8 mm oboustranně plátovanou mědí, na kterou jsem připájel distanční sloupky DI5M3x05 pro upevnění desek s plošnými spoji (pro každou desku dva sloupky v její úhlopříčce). V podélné ose na krajích přední stěny jsou přišroubovány dva distanční sloupky DIM3x20, ke kterým se přišroubovuje dolní díl skříňky. Na přední stěnu jsou též přišroubovány zdířky a další součástky.

Desky jsou spolu propojené se zdířkami a ostatními součástkami kablíky s izolací PVC, které jsou tak dlouhé, aby bylo možné desky při ožívování odklopit a dostat se tak i ke straně spojů.

Horní stěna skříňky je opatřena štítky s popisem. Štítky jsou vytištěné na

Tab. 1. Závislost kapacitní reaktance X_C na kapacitě C na kmitočtu 100 kHz

C [μF]	1	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8
X_C [Ω]	1,6	1,06	0,72	0,48	0,34	0,23
C [μF]	10	15	22	33	47	68
X_C [Ω]	0,16	0,106	0,072	0,048	0,034	0,023

listu papíru formátu A4 na laserové tiskárně a jsou nalapeny na skříňku pomocí oboustranně lepící fólie. Před nalepením jsou přestříknuty bezbarvým nitrolakem a jsou oříznuty podle pravítka lámacím nožem.

Dolní díl je vylepen stínicí fólií, která se uzemní tím, že se dolní díl přitáhne šrouby k distančním sloupkům. Do rohů na dolním dílu jsou též přilepené samolepící přístrojové nožky G7.

K měřiči si ještě zhotovíme propojovací kablíky. Čtyři jsou jednožilové pro připojení měřeného kondenzátoru, každý o celkové délce asi 10 cm na jednom konci s banánkem a na druhém konci s izolovaným krokodýlkem (dva jsou modré pro záporné póly a dva červené pro kladné póly). Pátý je dvoužilový o délce asi 1 m na obou koncích s banánky s barevně rozlišenými žilami pro připojení multimetru DMM.

Zapojený přístroj oživíme. Osciloskopem zkontrolujeme rozkmit, průběh a kmitočet signálu na výstupu 4 IO1 a na výstupu filtru (7 IO3). Místo měřeného kondenzátoru čtyřvodičově připojíme normálový rezistor o odporu 1,8 Ω/1 %, přepneme na rozsah 2 Ω a osciloskopem zkontrolujeme funkci všech stupňů usměrňovače. K výstupu měřiče připojíme DMM přepnutý na rozsah DC 2 V, odpojíme příklady měřiče proudy, zkratujeme vstup usměrňovače a trimrem R42 nastavíme nulu na displeji DMM. Pak opět čtyřvodičově připojíme normálový rezistor o odporu 1,8 Ω/1 % a trimrem R30 nastavíme 1,800 na displeji DMM. Pokud nestačí rozsah trimru, upravíme odpor rezistoru R29. Nakonec čtyřvodičově připojíme normálový rezistor o odporu 18 Ω/1 %, přepneme na rozsah 20 Ω a trimrem R15 nastavíme 1,800 na displeji DMM. Nyní je přístroj připraven k měření.

Při měření ESR vycházíme z náhradního schématu elektrolytického kondenzátoru, které je na obr. 18. Skutečný kondenzátor je tvořen sériovým spojením kapacity C a ekvivalentního sériového odporu (ESR). Výsledná impedance Z_C skutečného kondenzátoru je:

$$Z_C = ESR - jX_C \quad (1),$$

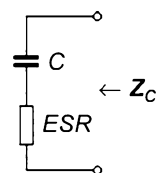
$$\text{kde: } X_C = 1/(2 \cdot \pi \cdot f \cdot C) \quad [\Omega; \text{Hz}, \text{F}] \quad (2).$$

X_C je kapacitní reaktance (zdánlivý odpor) kapacity C na kmitočtu f , který je v měřiči 100 kHz.

Modul $|Z_C|$ impedance Z_C je určen vztahem:

$$|Z_C| = \sqrt{(ESR^2 + X_C^2)} \quad [\Omega; \Omega, \Omega] \quad (3).$$

Právě tento modul impedance skutečného kondenzátoru měříme popsaným měřičem. ESR vypočteme z naměřeného $|Z_C|$ podle upraveného vztahu (3):



Obr. 18. Náhradní schéma elektrolytického kondenzátoru

$$ESR = \sqrt{(|Z_C|^2 - X_C^2)} \quad [\Omega; \Omega, \Omega] \quad (4).$$

K výpočtu ESR použijeme kalkulačku, reaktanci X_C měřeného elektrolytického kondenzátoru určíme z tab.1 nebo vypočteme podle vztahu (2). Pokud je X_C alespoň 5x menší než změřený $|Z_C|$, můžeme X_C zanedbat a přímo uvažovat $ESR = |Z_C|$.

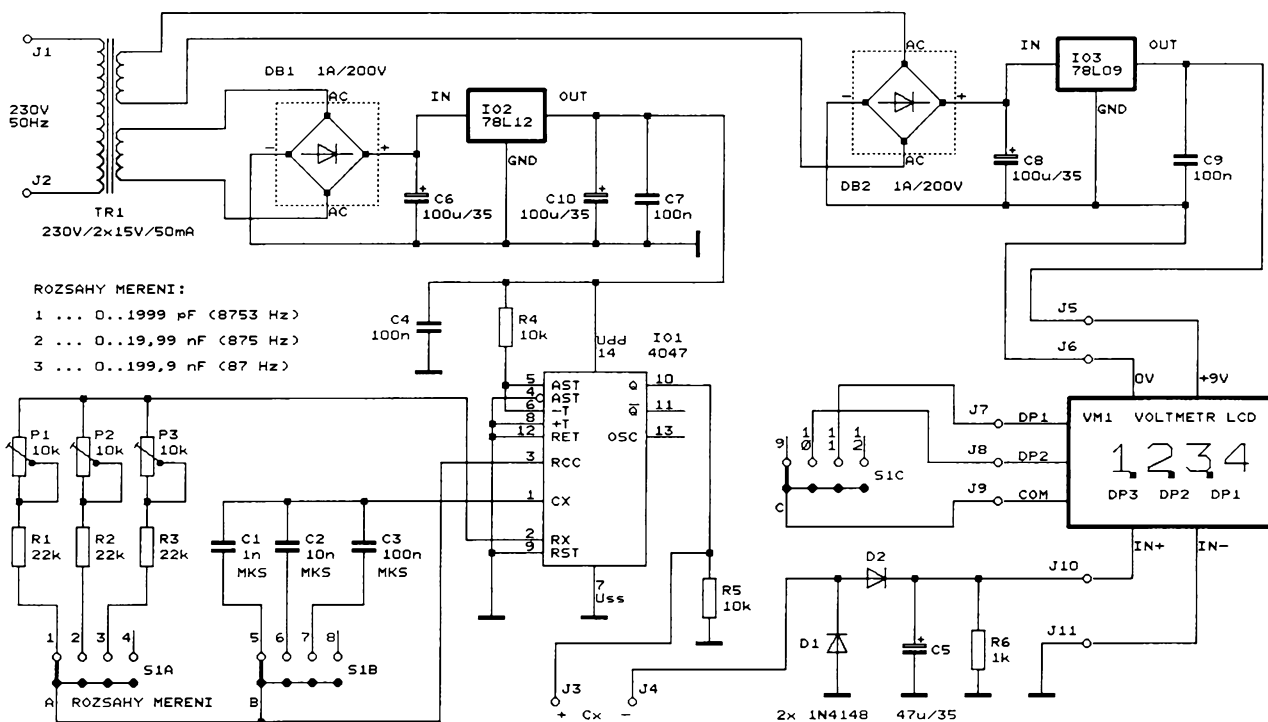
Seznam součástek

Deska K0241G

R1	1 MΩ, 0207, 0,6 W, 1 %
R2	680 Ω, SMD 1206
R3, R4A	4,7 kΩ, 0207, 0,6 W, 1 %
R4B	56 kΩ, SMD 1206
R5, R6	4,7 kΩ, SMD 1206
R7	22 kΩ, SMD 1206
R8, R9, R10	
R11, R12	2,2 kΩ, 0207, 0,6 W, 1 %
R13	47 kΩ, SMD 1206
R14	2,0 kΩ, 0207, 0,6 W, 1 %, viz text
R15	200 Ω, PM19, trimr 20 otáček
R16	100 Ω, 0207, 0,6 W, 1 %, viz text
R17	220 Ω, 0207, 0,6 W, 1 %, 33 pF, NPO, SMD 1206
C1, C2	10 μF/16 V, tantalový, SMD, rozměr C
C3, C12	100 μF/16 V, rad.
C4	470 nF/J/63 V, fóliový (CF1)
C5	680 pF, NPO, SMD 1206
C6A	není použit
C6B	820 pF, NPO, SMD 1206
C7A	68 pF, NPO, SMD 1206
C7B	180 pF, NPO, SMD 1206
C8A	33 pF, NPO, SMD 1206
C8B	820 pF, NPO, SMD 1206
C9A	820 pF, NPO, SMD 1206
C9B	160 pF, NPO, SMD 1206
C10A	3,3 pF, NPO, SMD 1206
C10B	1 μF/J/63 V, fóliový (CF1)
C11	krystal 6,4 MHz
X1	74HC4060, DIL16
IO1	TL431, TO92
IO2	NE5532, DIP8
IO3	objímka pro DIL16, precizní (1 ks)
	objímka pro DIP8, precizní (1 ks)
	deska s plošnými spoji č.: K0241G

Deska K0241U

R21, R22	10 kΩ, 0207, 0,6 W, 1 %
R23, R24, R34, R35, RR37, R38	22 kΩ, 0207, 0,6 W, 1 %
R25, R26	4,7 kΩ, 0207, 0,6 W, 1 %
R27, R31, R32, R33	470 Ω, 0207, 0,6 W, 1 %



Obr. 19. Jednoduchý měřič kapacity

R28	18 kΩ, 0207, 0,6 W, 1 %
R29	1,8 kΩ, 0207, 0,6 W, 1 %, viz text
R30	2 kΩ, PM19, trimr 20 otáček
R36, R37	47 kΩ, 0207, 0,6 W, 1 %
R40	1 kΩ, 0207, 0,6 W, 1 %
R41	1 kΩ, SMD 1206
R42	20 kΩ, PM19, trimr 20 otáček
R43	100 Ω, SMD 1206
C21, C22	47 nF/J/100 V, fóliový (CF2)
C23, C28,	
C30	100 μF/16 V, rad.
C24, C25	1 μF/J/63 V, fóliový (CF1)
C26, C27	220 nF/J/63 V, fóliový (CF1)
C29	100 nF, SMD 1206
L21	100 μH, axiální
D21, D22	BAT46
IO21, IO22	NE5532, DIP8
IO23	OP07, DIP8
objímka pro DIP8, precizní (3 ks)	
deska s plošnými spoji č.: K0241U	

Ostatní součástky

R51	1 kΩ, 0207, 0,6 W, 1 %
D51	LED, zelená, 3 mm, v kovové objímce (L-R732G)
D52	1N5408
K51, K52,	
K53, K54,	
K55, K56	zdička izolovaná, 4 mm (WK 454 04)
K57	napájecí konektor panelový, 2,1 mm
S51	páčkový prepínač jednopólový

krabíčka KP 5 (U-KP05)
samolepící přístrojová nožka GF7 (4 ks)
distanční sloupek DI5M3X05 (4 ks)
distanční sloupek DI5M3X20 (2 ks)
banánky 4 mm (4 ks), krokodýlky izolované (4 ks), propojovací kablíky atd.

Zbyněk Munzar

Jednoduchý měřič kapacity

Přístroj dovoluje s přesností lepší než 10 % (z plného údaje) měřit kapacitu ve třech rozsazích: 0 až 1999 pF, 0 až 19,99 nF a 0 až 199,9 nF.

Schéma měřiče je na obr. 19. Kapacita se měří na principu přečerpávání a vyvažování náboje.

Měřený kondenzátor Cx je připojen prostřednictvím svorek J3 a J4 mezi výstup Q astabilního multivibrátoru s IO1 typu 4047 a vstup usměrňovače s diodami D1 a D2. Na výstupu Q IO1 jsou pravoúhlé impulsy se střídou 1 : 1. Po každém přechodu výstupu Q IO1 do vysoké úrovně H se měřený kondenzátor Cx i vyhlazovací kondenzátor C5 nabíjí proudem, který protéká z výstupu Q IO1 přes Cx, D2 a C5 do země. Oba kondenzátory se nabíjí stejným nábojem, který je přímo úměrný výsledné kapacitě sériově zapojených kondenzátorů Cx a C5. Protože kapacita C5 je na všech rozsazích podstatně větší než kapacita Cx, můžeme výslednou kapacitu považovat za rovnou kapacitě Cx a náboj tedy také za přímo úměrný kapacitě Cx. Po každém přechodu výstupu Q IO1 do nízké úrovně L se měřený kondenzátor Cx vybíje přes diodu D1. Kondenzátor C5 se však přes výstup Q IO1 nemůže vybíjet, protože D2 je uzavřená. Do kondenzátoru C5 se tak stále periodicky přičerpávají náboje úměrné kapacitě Cx. Pokud by C5 nebyl vybíjen rezistorem R6, napětí na C5 by trvale vzrůstalo až do limity. Kondenzátor C5 je však rezistorem R6 vybíjen proudem úměrným napětí na C5, a proto se na C5 ustálí takové napětí, při kterém jsou náboje přiváděné na C5 přes D2 z Cx a odváděné z C5 rezistorem R6 vyvážené (stejně velké).

Toto ustálené napětí je přímo úměrné kapacitě měřeného kondenzátoru Cx a kmitočtu multivibrátoru IO1, nepřímě úměrné odporu rezistoru R6 a vůbec nezáleží na kapacitě kondenzátoru C5 (pokud je dostatečně velká). Kmitočet multivibrátoru IO1, kapacita C5 a odpor R6 jsou zvoleny tak, aby se napětí na C5 pohybovalo na každém měřicím rozsahu v rozmezí 0 až 200 mV.

Napětí z kondenzátoru C5 se měří číslicovým voltmetrem VM1 s 3,5místním displejem LCD a citlivostí 200 mV, který se prodává jako hotový modul. Údaj voltmetru vyjadřuje naměřenou kapacitu v pF nebo nF.

Kmitočet multivibrátoru se přepíná přepínači S1A a S1B. Na rozsahu 1 (0 až 1999 pF) má multivibrátor kmitočet asi 8753 Hz, na rozsahu 2 asi 875 Hz a na rozsahu 3 asi 87 Hz. Třetí sekcí S1C přepínače se volí poloha desetinné tečky na displeji voltmetru VM1.

Pomocí trimrů P1 až P3 lze kmitočty multivibrátoru jemně doladit a tím měřič zkalibrovat. Bez připojení kondenzátoru Cx musí voltmetr ukazovat 000. Při kalibraci rozsahu 1 připojíme normálový kondenzátor Cx o kapacitě 1 nF/1 % (nejlépe s polypropylenovým dielektrikem) a trimrem P1 seřídíme údaj voltmetru 1000. Pak připojíme normálový kondenzátor Cx o kapacitě 100 pF a nastavení P1 opravíme tak, aby se údaj voltmetru pohyboval mezi hodnotami 095 až 105. Podobným způsobem pomocí normálových kondenzátorů o kapacitách 10 nF a 1 nF resp. 100 nF a 10 nF zkalibrujeme rozsahy 2 a 3.

Měřič je napájen ze síťového zdroje, který poskytuje dvě navzájem oddělená stabilizovaná napětí: napětí 12 V s uzemněným záporným pólem pro IO1 a plovcoucí napětí 9 V pro modul voltmetru.

funk, 10/2000

PRAHEX '03

Ve čtvrtek 3. dubna 2003 uspořádala firma ROHDE & SCHWARZ - Praha s. r. o. výstavku a prezentaci nejnovějších výrobků nesoucích značku ROHDE & SCHWARZ. Tentokrát se setkání zájemců o špičkové výrobky této firmy konalo sice netradičně v Betlémské kapli (která nyní patří ČVUT), ale pod známým názvem PRAHEX '03.

Již v loňském referátě (AR 4/02, s. 36) jsem se zmínil, že R&S otevřela i u nás výrobní závod, a to ve Vimperku, kde tč. zaměstnává 225 pracovníků. Sortiment je široký a vylepšuje devizovou bilanci České republiky, neboť 92 % výrobků tohoto závodu se exportuje. Ve zmíněném závodě se vyrábějí radiotestery, generátory, vysílače a finálně se kompletují měřicí přístroje řady SMT, SME a CMS, což představuje jednak montáž, ale také nastavování a zahořování.

V plánu je podnik dále rozšířit asi na 350 až 400 pracovníků v roce 2005. Vimperk je prvním montážním závodem mimo Německo a na to, že byla vybrána právě Česká republika, nemá vliv pouze nízká mzdová hladina u nás, ale také schopnost precizní práce našich zaměstnanců. Mimoto se rozvíjí i spolupráce s firmou DICOM na vojenských zakázkách (základnové radiostanice).

Firma spolupracuje s ČTÚ na zavedení jednotného software pro vydávání povolení a na sjednocení databází vydaných povolení, kterých je u nás více než 35 000, a na zvyšování efektivity využití kmitočtového spektra. Pro řízení leteckého provozu u nás dodala např. zaměřovače pro letiště v Praze, Brně, atd., které již 7 let pracují bez poruchy, 180 ks VKV zařízení pro projekt OBR, 54 vysílačů pro projekt KOBRA atd.

Jedním z nových výrobků, o kterém byla řeč, je ruční spektrální analyzátor FSH 3 (obr. 1) s rozsahem 100 kHz až 3 GHz s chybou měření úrovně menší než 1,5 dB v uvedeném rozsahu, šum je typicky -114 dB. Obsahuje frekvenční čítač s rozlišením na 1 Hz a dokáže měřit i výkon v daném kanále nebo v určité časové oblasti. Přístroj umožňuje rozšíření na rozmiřaný generátor, umí vektorově měřit přenos a odrazy signálu na vedení, měřit sílu pole, která se přímo zobrazuje v dBm, $\mu\text{V}/\text{m}$. S dostupnými doplňky jej lze využít výhodně k měření na kabelech a zjišťování závad na nich. FSH 3 má doplněn rozmiřaný generátor, FSH-B1 je určen přímo k proměřování závad na kabelech.

U nás byl vyvinut spektrální analyzátor řady FS300. Má rozsah 9 kHz až 300 MHz, je vybaven interní pamětí pro 10 různých nastavení a 5 průběhů, rozhraním USB pro tiskárnu a spolupracuje s PC vybaveným operačním systémem Win 2000. Vyznačuje se optimálním rozmiřaním pro zvolenou selektivitu bez kompromisů. Přímou na vstup je možné připojit mobilní telefon a přístroj řídit z externího PC. Bude to nový standard v nízké cenové kategorii (cca 5000 Euro) při vynikajících uživatelských vlastnostech.

Dalším novým přístrojem je signální generátor SM300 s výstupním signálem v rozsahu 0 až 96 kHz (na konektoru BNC) a 9 kHz až 3 GHz (konektor N). Nastavitelný rozsah výstupních úrovní je -127 dBm až +13 dBm. Mimo vlastního displeje TFT s úhlopříčkou 5,4" je možné připojit externí VGA monitor. Přístroj má jednoduché intuitivní ovládání a rychlou odezvu. Uživatel může nastavovat korekce úrovně a export výstupního průběhu je možný i v TXT formátu (přenos do tabulek Excel apod).

S rozvojem nejrůznějších rádiových sítí nabývá na významu radiomonitoring. Osvědčil se např. přenosný systém TMS se zaměřovačem typu DDF0XA - je to modulární systém schopný pracovat v propojení s dalšími, k tomu patří také přijímače pro ruční dohledávání. V systému lze využít přijímače EB200 nebo ESMB (obr. 2), zaměřovač DDF195, notebook se softwarovým vybavením ARGUS či RAMON, baterie, antény, anténní prepínač, komunikační jednotku a GSP přijímač. V poslední době byly vyvinuty nové zaměřovače DDF0xA s větší skenovací rychlostí, větší šíří pásma a tím i větší pravděpodobností zachycení signálu. Řízení a sběr dat lze provádět sítí LAN. Základní parametry jsou: rozsah 0,3 až 30 MHz a 20 až 300 MHz, přesnost zaměření v terénu je 1', přístroj samotný má přesnost 0,5'. Potlačení blízkých signálů je možné až o 80 dB, IP3 > 30 dBm, dynamický rozsah je 120 dB. Přístroj pracuje v módech CW, SSB, AM, FM a dalších.



Obr. 1. Ruční spektrální analyzátor FSH 3

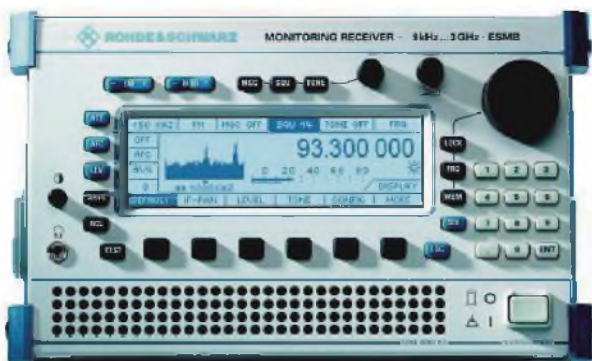
Podobný je zaměřovač DDF0xE, který se vyznačuje větší citlivostí. K zaměřovacím systémům byly také vyvinuty nové antény HL033 pro rozsah 80 až 2000 MHz s variantou HK033 pro vertikální polarizaci, HL050 (850 MHz až 26,5 GHz, typ. zisk 8 dBi) a AC025DP pro 18 až 40 GHz.

Postupně se šíří terestriální digitální vysílání televize i rozhlasu (dnes je již ve světě v provozu 2100 vysílačů, z toho více než 850 od R&S, a to v běžném, nikoliv experimentálním provozu). U nás jsou zatím v provozu jen 3 vysílače na 46. kanálu, ale např. do Španělska firma dodala již 90 velkých vysílačů a 300 modulátorů pro vysílače malých výkonů. R&S nabízí samotné modulátory, zesilovače i vysílací komplety ve III., IV. a V. TV pásmu v nejrůznějších konfiguracích ve výkonové řadě malých výkonů (řada SV700 s výkony 12,5, 25, 55, 120 až 420 W), středních i velkých výkonů podle požadavků.

Radiorouter POSTMAN2 je novinka určená ke směrování dat v rádiových sítích KV i VKV. Funguje i jako brána mezi pevnými a rádiovými sítěmi, integruje služby E-mail, TCP/IP, přenosy souborů, FAX, umožňuje voice mail i chat. Pro zabezpečení přenosu je možné použít i šifrátor, reálná rychlost přenosu dat na KV je 5k4 b/s. Podobně STANAG 5066 je standardem pro elektronickou poštu v síti NATO a nabízí se jako samostatný router nebo SW vybavení pro běžný PC nebo jako karta do PC. Vystavovány byly i novinky z oblasti utajování hovorů pro speciální uživatele - v tomto případě pochopitelně bez bližších technických dat. Mezi nimi se vyjímal nový mobilní telefon s vestavěným utajovačem TOP SEC GSM, který má od 5. 3. 2003 také certifikaci našeho Národního bezpečnostního úřadu.

Celá akce byla zakončena neformálními besedami s jednotlivými přednášejícími v předzávěrečném rautem - pro technicky vzdělané účastníky vzácná příležitost poznat tento druh pohostění... Podrobnější informace o jednotlivých výrobcích si mohou zájemci prohlédnout také na internetových stránkách www.rohde-schwarz.com.

JPK



Obr. 2.
Přijímač ESMB
pro radiomonitoring