

V TOMTO SEŠITĚ

Z dějin vědy a techniky	1
MODERNÍ MIKROKONTROLÉRY	
Přehled mikrokontrolérů	3
Atmel AT89S2051, AT89S4051	4
Atmel AT89LP2052, AT89LP4052	5
Atmel ATtiny2313	6
Atmel ATtiny24 až ATtiny84	10
Atmel ATtiny25 až ATtiny85	16
Atmel ATmega48 až ATmega168	18
Atmel ATmega640 až ATmega2560	22
Atmel AT91SAM7S64	24
Co bude dál?	28
Trocha praxe	29
Ladící rozhraní pro MC68HC908QY	29
Interfejs pro digitální posuvné měřítko	32
Závěr	34
ZAJÍMAVÁ A PRAKTICKÁ ZAPOJENÍ	
Technika v domácnosti	35
Měřicí technika	38

KONSTRUKČNÍ ELEKTRONIKA A RADIO

Vydavatel: AMARO spol. s r. o.

Redakce: Zborovská 27, 150 00 Praha 5, tel.: 2 57 31 73 11, tel./fax: 2 57 31 73 10.

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

Ročné 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 Hrdličková, Hana Merglová (Zborovská 27, 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., Zákaznické Centrum, Moravské náměstí 12D, P. O. BOX 351, 659 51 Brno; objednávkový tel.: 541 233 232; fax: 541 616 160, e-mail: zakaznickacentrum@mediaservis.cz; reklamační - tel.: 800 800 890.

Objednávky a předplatné v Slovenskej republike vybavuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., Sustekova 8, 851 04 Bratislava, tel.: 00421 2 / 6720 1931 - 33 email: predplatne@press.sk; www.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, Zborovská 27, 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., Sustekova 8, 851 04 Bratislava, tel.: 00421 2 / 6720 1931 - 33; www.press.sk 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, MK ČR E 7443

© AMARO spol. s r. o.

Z dějin vědy a techniky

Historie elektřiny a magnetizmu

Lev Davidovič Landau

Narodil se v Baku dne 22. ledna 1908 v rodině naftářského inženýra; matka byla lékařem-fyziologem. Od raného mládí jej zajímala hlavně matematika a velmi snadno se učil - střední školu např. ukončil již ve třinácti letech a složil zkoušky na univerzitu. Rodiče však takovýto rychlý postup příliš nepodporovali, a tak Lev napřed začal navštěvovat ekonomicko-technickou školu. Na univerzitu se zapsal o rok později a hned začal studovat několik oborů, mimo své oblíbené matematiky také fyziku a chemii. Po dvou letech odešel studovat do Leningradu a tam v roce 1927 promoval. Ve stejném roce pak uveřejnil svou první vědeckou práci z oboru kvantové fyziky.

Pracoval pak na leningradském fyzikálně-technickém institutu. V roce 1929 se vydal díky Rockefellerově nadaci na delší cestu po Evropě, procesťoval Německo (Göttingen, Lipsko), Švýcarsko (u V. Pauliho v Curichu), Anglii (Cambridge), Holandsko, Dánsko, Holandsko, Belgie a všude tam sbíral cenné vědecké poznatky na špičkových pracovištích. Např. v Kodani nějakou dobu pracoval v Institutu pro teoretickou fyziku Nielse Bohra. Ve svých 21 letech se s ním setkal poprvé a dostal jeho přičiněním hlavní impuls ke svému dalšímu profesnímu zaměření. Již tehdy ovšem společnost často šokoval svou zvláštní povahou - rád provokoval např. jen tím, že nosil rudou košili; byl totiž v té době přesvědčeným komunistou a obhajoval sovětský systém přesto, že za jeho zahraničního pobytu byl jeho otec zatčen, obviněn ze sabotáže a odsouzen na 10 let do vězení.

V roce 1932 se Landau vrátil do Leningradu a začal spolupracovat s Ukrajinským fyzikálně-technickým institutem v Charkově. Tam mu nakonec nabídli místo v oboru teoretické fyziky na Institutu mechanického inženýrství. Přestěhoval se tam v roce 1934 a získal záhy doktorát fyzikálních a matematických věd. V roce 1935 se stal profesorem fyziky na Charkovské univerzitě Gorkého a vedl katedru obecné fyziky. Landau postupně tento ústav proměnil na centrum teoretické fyziky v celém tehdejší SSSR. Jedním z jeho prvních počínů v Charkově bylo zorganizování mezinárodního vědeckého sympozia o teoretické fyzice, jehož se také zúčastnil Bohr. Landau sympoziu předsedal a Bohr vedl diskuse o projednávaných vědeckých problémech. Landau sám

o Bohrovi prohlásil, že to byl jeho první a jediný učitel teoretické fyziky a stali se velkými přáteli.

Landau byl v této době nesmírně produktivní, průměrně každých šest týdnů zveřejnil nějakou svou vědeckou práci; každá byla zaměřena k jinému tématu, každá přinesla nové otázky a příslušnou část vědeckého světa šokovala zcela originálními úvahami a pojetím. Seznámil se také s Kapicou (viz KE 5/06) a ten jej přemluvil, aby přijal místo v Moskvě. V roce 1937 se oženil a stal se vedoucím teoretického oddělení fyzikálního institutu Akademie věd SSSR. Tam se věnoval teorii kolize atomů, atomové a nukleární fyzice všeobecně, kvantové elektrodynamice, kinetické energii plynů, astrofyzice, teorii polí, plazmové fyzice atd.

Po roce 1935 ale Landau pod vlivem stalinských politických procesů postupně změnil své smýšlení a po sepsání protistalinského letáku byl 28. dubna 1938 zatčen. V letáku, který měl být rozšiřován na oslavách 1. května, napsal, že stalinisté v Rusku uskutečnili fašistický převrat, Stalina přirovnával k Hitlerovi a Mussolinimu, NKVD prohlásil za tyranskou organizaci. Nakonec byl obviněn, že je německý špión. Postavil se za něj tehdy neohroženě Kapica, který napsal Stalinovi osobní dopis, a také Bohr žádal pro velkého vědce svobodu, aby mohl pokračovat ve své teoretické práci. Landau byl po další intervenci Kapici v roce 1939 propuštěn a znovu začal pracovat v Institutu fyzikálních problémů. Je s podivem, že i jeho společníci, se kterými byl zatčen, unikli popravě, i když byli vězněni déle - přitom tehdy byli lidé v Rusku popravováni za daleko menší prohřešky.

Za práce z té doby věnované supratekutosti u tekutého helia byl odměněn v roce 1962 Nobelovou cenou za fyziku. Když se tekuté helium naleje do sklenice, která bude ponořena do větší nádoby také naplněné tekutým heliem, helium se po vnější či vnitřní straně sklenice „vyšplhává“ směrem vzhůru a „přetéká“ tak dlouho, až se hladiny vně i uvnitř sklenice vyrovnají! Teorii tohoto jevu publikoval v roce 1941 a později se skutečně potvrdila. Za války se věnoval teoretickým pracem, které měly souvislost s vojenskou technikou, a po válce z obav před dalšími represáliemi proti své osobě pracoval spolu s dalšími vědci na vývoji vodíkové pumy. Po Stalinově smrti však svůj výzkum v této oblasti ukončil a prohlásil - „teď už mohu skončit, už se nebojím“.

Landau měl 7. 1. 1962 těžkou autohavárii a v průběhu následujících šesti týdnů u něj lékaři několikrát diagnostikovali klinickou smrt. Měl na jedenácti místech zlomené kosti a naštípnutou lebeční kost. Mnoho specialistů z ciziny se snažilo zachránit mu život, což se nakonec podařilo. Zotavoval se však velmi pomalu a již nikdy se jeho stav nevrátil k normálu. Po šesti letech, 1. 4. 1968 v Moskvě zemřel. Jeho syn Igor, který se narodil v roce 1946, šel v jeho šlépějích a věnoval se experimentální fyzice.

V poválečné době Landau získal mimo již zmíněné Nobelovy ceny i mnohá ocenění od různých vědeckých institucí, mj. i od americké Akademie věd. Od roku 1946 byl členem Akademie věd SSSR, později se stal členem Královské společnosti v Londýně, získal medaili Maxe Plancka atd. Jeho nezapomenutelným dílem je desetidílný „Kurs teoretické fyziky“, na kterém pracoval spolu se svým přítelem a žákem E. M. Lifšitsem, který jej dokončil. Ten byl přeložen do všech světových jazyků. Žel, jeho další záměry (měli v plánu napsat ještě „Kurs obecné fyziky“ a sérii pojednání „Fyzika pro každého“) se po jeho havárii již neuskutečnily. Jak se o něm vyjádřili učenci, byl to poslední „univerzální fyzik“ - všichni následovníci se již věnovali jen určitému výseku z fyzikální teorie.

Mimo vědeckých prací také přednášel - jako pedagog byl výborný, ale u studentů byl postrachem, poněvadž znal jen dvojí ocenění: umíš - neumíš (a uspěl jen málokdo). Vyžadoval, aby jeho studenti ovládli dokonale matematiku dříve, než šli studovat k němu. Měl zálibu v aforismech, jeho oblíbeným byl „fyzik musí složitě věci učinit jednoduchými, zatím co básník je povolán k tomu, aby z jednoduchých vymýšlel složitě“. Práce ostatních vědců nečetl celé - vždy jen tak, aby zjistil, zda dokázali správně popsat problém, a byl-li zajímavý, jakým způsobem se jej pokoušeli vyřešit.

Jako správný vědec byl myšlenkami často vzdálen od reality. Jeho žena vzpomínala na zážitek z doby jejich začínající známosti. Když k ní jednou přišel deštěm úplně promočený, zeptala se jej zda venku prší. Odpověděl: „Ale ne - je tam nádherně“. Když převlečený a zutý poodešel od dveří a uviděl loužič, která tam po něm zbyla, prohlásil: „Venku asi skutečně prší“. Dokázal však přemýšlet i o věcech s vědou příliš nesouvisejících - unikátní jsou např. jeho úvahy zveřejněné pod názvy „Jak žít“ a „Teorie štěstí“, ve kterých uplatnil svou schopnost logického uvažování a přesné kategorizace.

Karl Guthe Jansky a radioastronomie

Jansky se narodil 22. 10. 1905 ve státě Oklahoma - USA. Jeho otec Cyril Janský byl děkanem na univerzitě v Oklahomě a byl potomkem českých přistěhovalců. Od svých šestnácti let (!)

byl Cyril učitelem na základní škole v Michiganu. Jeho manželka byla potomkem francouzsko-anglického páru. Cyril Jansky jako učitel cítil, že „má na víc“ a vstoupil na Michiganskou univerzitu, kde graduoval z fyziky a elektrotechniky a začal pracovat pod vedením Dr. Karla Gutheho. Byl to známý fyzik německého původu a Cyril Jansky jej nesmírně obdivoval. Když se zakládal Americký úřad pro normalizaci ve Washingtonu, oba se stali jeho členy. V roce 1905 se rodina, která v té době již měla dva syny, přestěhovala do Normanu v Oklahomě, kde otec získal místo na univerzitě a přednášel tam elektrotechniku. Zakrátko se jim narodil třetí syn, který dostal jméno po Dr. Guthovi.

Karl Jansky se později s rodinou stěhoval dále, do Madisonu ve Wisconsinu, kde navštěvoval základní školu a později také univerzitu, kde byl jeho otec členem jedné fakulty. Vystudoval tam v roce 1927 s vyznamenáním fyziku a později získal i doktorát. Ale nebyl to žádný knihomol, byl vynikajícím hráčem tenisu a hokeje v univerzitním týmu. Také jeho starší bratr se zabýval radiotechnikou, stal se profesorem radiotechniky na univerzitě v Minnesotě a účastnil se na stavbě prvního rozhlasového vysílače v Minnesotě.

V roce 1928 se Karl přihlásil a získal místo v Bellových laboratořích. Jeho úkolem bylo zkoumat rušivé jevy, které se vyskytovaly na dlouhých radiotelefonních trasách. Aby se zhostil svého úkolu, postavil velký směrový anténní systém, laděný na vlnovou délku 14,6 m (asi 20,5 MHz), který bylo možné otáčet kolem dokola. Soustava měla délku 30 m a otáčet s ní bylo možné díky kruhové dráze, po které pojížděly čtyři kola z tehdy populárního automobilu Ford T propojená dřevěnou konstrukcí. Jeho replika je nyní postavena v Green Bank.

Záhy zjistil, že existují prakticky tři zdroje rušivých signálů. Nejsilnějším byla bouřková činnost - při každém blesku zaznamenal silné prasknutí. Dále to byly odrazy silných rušivých signálů od ionosféry a pak se rušivě projevoval ještě šum. Poněvadž jeho anténa se trvale pomalu otáčela, zjistil, že šum, o kterém se domníval, že vzniká v přijímači, periodicky vzroste vždy, když je anténa otočená přibližně jižním směrem, a tento šum že má zvláštní charakter.

To bylo první zjištění, které nasvědčovalo, že někde v tom směru existuje zdroj rádiového šumu. Zprvu se domníval, že tímto zdrojem je slunce. Dalším poznatkem bylo, že když anténu ponechá otočenou k jihu, periodicky se intenzita přijímaných signálů mění, ale nikoliv po 24 hodinách, ale s periodou o 4 min kratší, čili za tzv. hvězdný den. Z toho usoudil, že se jedná o šumový signál přicházející z vesmíru (je to mj. také další důkaz, že naše země se otáčí kolem slunce). Nakonec zjistil, že maximum tohoto šumu přichází ze souhvězdí Lučištníka (Střelce) a vyslovil domněnku, že původ tohoto šumu je v mezihvězdných ionizovaných plynech.

Svá pozorování sepsal s názvem „Directional Studies of Atmospherics at High Frequencies“ již ve svých 26 letech a přednesl na zasedání Mezinárodní vědecké unie pro rádio v dubnu 1932 ve Washingtonu. Posléze svá pozorování veřejně publikoval v New York Times ze dne 5. 5. 1933. Bohužel, konstatování, která zformuloval, prakticky nikoho nezaujala, neboť astronomové se příliš o objevy v oblasti radiotechniky nezajímali.

Sám měl zájem svůj výzkum prohloubit a dal návrh Bellovým laboratořím na zhotovení solidního anténního systému - radioteleskopu o průměru 30 m. Jenže takový výzkum nepatřil do jejich komerčních zájmů vyplývajících ze zakázek, takže neuspěl. Byl pak přerazen na výzkum v jiné oblasti.

Významné ocenění jeho práce se mu dostalo na jednom z astronomických kongresů až posmrtně - zemřel 14. února 1950 v Red Bank, ve státě New Jersey. Na jeho počest byla pojmenována jednotka rádiového záření jansky ($1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W/m}^2 \cdot \text{Hz}$), která se používá k měření intenzity rádiových signálů přicházejících z vesmíru.

V jeho díle pak pokračoval další americký vědec Rote Reber, který se radioastronomií zabýval víceméně jako svým koníčkem. Sestrojil si již v roce 1937 radioteleskop o průměru cca 9 m a zkoumal spíše šumy na kratších vlnových délkách, mezi 9 a 33 cm. Když však přešel na vlnovou délku cca 1,5 m potvrdil to, na co přišel již Jansky. Měl v té době již velmi citlivý přijímač a v jeho výzkumech jej rušily signály, které vysílaly okolující motory automobilů (jejich neodrušené zapalovací systémy), a proto svá pozorování prováděl převážně v noci. Zjistil, že hlavní zdroj šumu leží v oblasti hvězdy Cassiopea.

Od 40. let se astronomové již začali zabývat i signály, které přicházely z mezihvězdného prostoru. V poválečné době získali ke svým pozorováním řadu přístrojů, které dříve sloužily ve válce - vyřazené radary apod. Jednou z prvních byla laboratoř Jodrel Bank. V roce 1955 pak již bylo zjištěno a popsáno 23 různých zdrojů rádiového záření ve vesmíru i mimo naši galaxii, byly zjištěny odrazy rádiových signálů od meteorických stop, na zajímavé poznatky přišli vědci zkoumáním spektrálních čar v oblasti rádiového spektra při akceptování Dopplerova efektu. Byla objevena spektrální čára vodíkového atomu na délce asi 21 cm, jak bylo předtím předpovězeno teoreticky. Ale to jsme již prakticky v současné době....

QX

Literatura

- [1] Sborník „Naučnou tvorčestvo L. D. Landau“, Znanie, Moskva 1963.
- [2] Abrikosov, A. A.: Akademik L. D. Landau. Nauka, Moskva 1965.
- [3] Bessarab, M.: Landau - stránky žití. Moskovskij rabočij, Moskva 1971.

MODERNÍ MIKROKONTROLÉRY

Ing. Jiří Kopelent

Když jsem před zhruba čtyřmi lety psal pro tento časopis pojednání týkající se stavu mikroprocesorové techniky se zaměřením na oblast osmibitových mikrokontrolérů dostupných na trhu v ČR, snažil jsem se naznačit i možné trendy. Vývoj v této oblasti jde však neuvěřitelně rychle, a tak už zde máme nepřehledné množství nových a ještě výkonnějších mikroprocesorů a mikrokontrolérů.

Obsah tohoto čísla časopisu bude více méně stejný, ale na základě ohlasů na minulé pojednání, které bylo spíše teoretické, bude obsah tohoto čísla časopisu rozšířen o praktické aspekty a jedna část bude věnována praktickým konstrukcím či řešením některých situací, se kterými se může konstruktér v praxi setkat. Doufám tedy, že pro většinu čtenářů bude obsah ještě zajímavější než bylo minulé číslo o osmibitových mikrokontrolérech.

Protože však se u jednotlivých typů mikrokontrolérů objevují zajímavé periferie či nové myšlenky, bude na to při popisu upozorněno tím, že popis vlastnosti či periferie bude podrobnější.

Poslední část bude věnována praktickým návrhům zařízení od úplného začátku až po vlastní realizaci. Výsledkem těchto návrhů budou přístroje či zařízení, která mohou najít uplatnění v leccoské dílně elektronika, či je možné je použít jako část dalších konstrukcí.

V případě, že někdo ze čtenářů bude mít konstruktivní připomínku, budu rád, když mi ji pošle na emailovou adresu jiri.kopelent@volny.cz. Díky této zpětné vazbě od čtenářů bude zajisté možné napsat další a ještě lepší číslo tohoto časopisu.

Přehled mikrokontrolérů

V prvním přehledu mikrokontrolérů v KE 1/2003 a KE 3/2003 byly popsány zástupci čtyř výrobců, kteří měli největší zastoupení (či byli nejznámější) na tehdejšímu trhu.

Jak již bylo řečeno, vývoj v této oblasti mikroelektroniky jde neuvěřitelně rychle kupředu a tak se z čtveřice stala pětice:

- 1 - ATMEL,
- 2 - FreeScale,
- 3 - Microchip,
- 4 - Texas Instruments,
- 5 - STMicroelectronics.

Vzhledem k prostoru v časopisu si v tomto čísle KE popíšeme pouze nejzajímavější mikrokontroléry ATMEL.

ATMEL

O této firmě a jejích mikrokontrolérech se v podstatě nedá říci nic jiného, než že úspěšně pokračují v rozšiřování úspěšných typů.

Aby sortiment mikrokontrolérů nebyl příliš široký, firma postupně přestává vyrábět staré typy. Příkladem mohou sloužit mikrokontroléry řady AT89Cxx, které byly nahrazeny mikrokontroléry řady AT89Sxx. Takže např. velmi populární AT89C2051 byl nahrazen typem AT89S2051, AT89C51 byl nahrazen

AT89S51, AT89C52 má svého následníka AT89S52.

I někteří starší zástupci řady AT89S pomalu mizí, takže už těžko seženeme AT89S8252, který se přestal vyrábět. Místo tohoto typu však můžeme použít bez problému AT89S8253, který má větší paměť programu. Takto bychom mohli pokračovat dále.

Některé typy mají dokonce i více „následníků“. Příkladem nechť je AT89C2051 se svými dvěma následníky, a to výše již zmíněným AT89S2051 a typem AT89LP2052, který má „jednoklové“ jádro.

Označení „jednoklové“ jádro značí, že základní instrukce typu akumulátor-registr je vykonána během jednoho cyklu systémových hodin (více viz popis AT89LP2052/4052).

V tab. 1 jsou uvedeny zastaralé mikrokontroléry rodiny AT89C s jejich doporučenými náhradami.

Jak je vidět, většina mikrokontrolérů má svoji přímou náhradu, pouze u málo používaných typů byla ukončena produkce bez přímé náhrady.

Za poznámku stojí ještě typy z rodiny T89C. Značení T89C bylo převzato od firmy TEMIC, kterou firma ATMEL koupila. V rámci jednotného značení byly typy přejmenovány tak, aby „zapadly“ do standardního značení firmy ATMEL.

Podobně, jako zástupci původní řady AT89C, dopadli i zástupci rodiny AT90Sm, a dokonce už i někteří starší zástupci rodin ATtiny a ATmega. Tato

Tab. 1. Zastaralé mikrokontroléry rodiny AT89C a jejich doporučené náhrady

Typ	
starý	nový
AT89C51	AT89S51
AT89C52	AT89S52
AT89LV51	AT89LS51
AT89LV52	AT89LS52
AT89LS53	AT89S8253
AT89LS8252	
AT89S53	
AT89S8252	
T89C51RB2	AT89C51RB2
T89C51RC2	AT89C51RC2
T89C51RD2	AT89C51ED2
AT87C5111	- 1)
AT87C5112	- 1)
AT87F51	AT89S51
AT87F52	AT89S52
T87C5101	- 1)
TS87C51U2	- 1)
AT83C5111	- 1)
AT83C5112	- 1)
TS83C51U2	- 1)
AT80C5112	- 1)
TS80C51U2	- 1)

1) Není náhrada

Tab. 2. Zastaralé mikrokontroléry rodiny AT90S a jejich doporučené náhrady

Typ	
starý	nový
AT90S1200	ATtiny2313
AT90S2313	ATtiny2313 2)
AT90S2323	ATtiny25
AT90S2343	
AT90S4433	ATmega8
AT90S4414	ATmega8515 3)
AT90S8515	ATmega8515 2)
AT90S4434	ATmega8535 4)
ATtiny22L	
AT90S8535	ATmega8535 2)
ATmega103	ATmega128
ATmega161	ATmega162
ATmega163	ATmega16
ATmega323	ATmega32

2) Pin to pin náhrada

3) AT90S4414 = AT90S8515 s menší pamětí

4) AT90S4434 = AT90S8535 s menší pamětí

řada stála u počátku veleúspěšného „tažení“ rodiny mikrokontrolérů s jádrem RISC označované jako AVR mikrokontroléry. S rozvojem technologií a kvůli náročnosti udržovat široký sortiment typů byla tato řada postupně utluмена. Jednotlivé mikrokontroléry mají většinou vhodné nástupce v perspektivních řadách ATtiny a ATmega. Pro lepší představu jsou v tab. 2 uvedeny staré typy spolu s náhradami nebo typy, které jsou jim nejbližší.

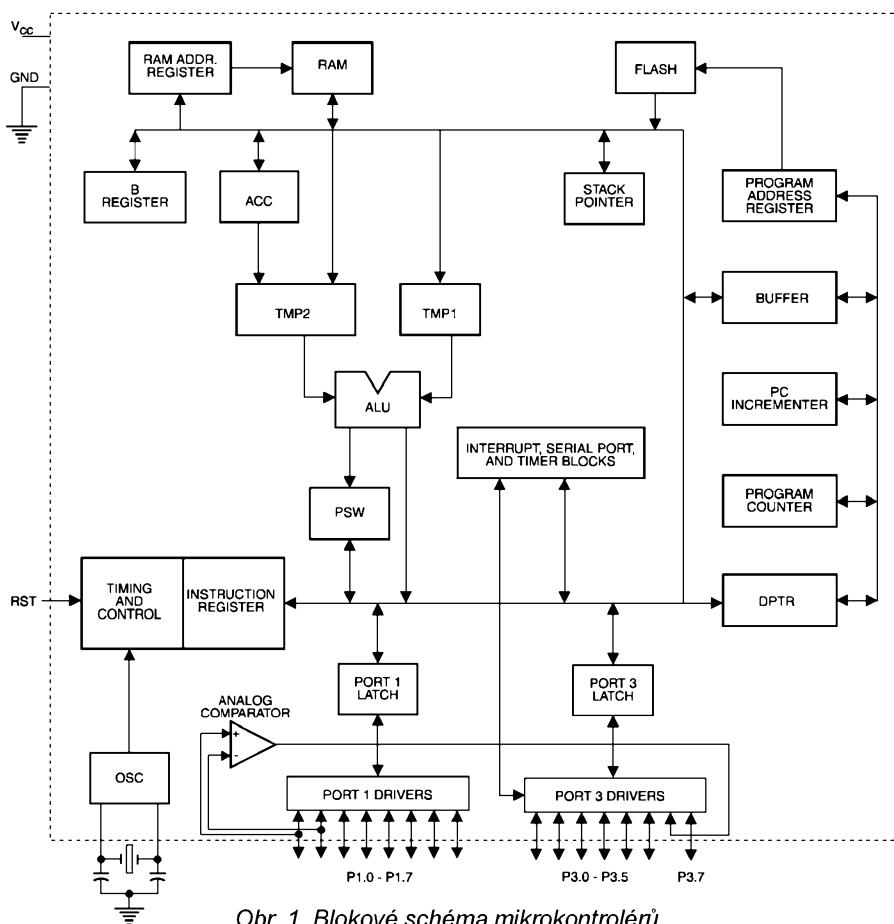
Podívejme se na nejmenší zástupce rodiny AT89, tedy na AT89S2051/AT89S4051 a AT89LP2052/AT89LP4052 trochu důkladněji. Vzhledem k faktu, že se jedná o vylepšené notoricky známé mikrokontroléry AT89C2051/AT89C4051, bude popis zaměřen na rozdíly.

AT89S2051/AT89S4051

Když firma ATMEL uváděla na trh mikrokontroléry AT89C1051/AT89C2051/AT89C4051, zřejmě netušila, jak budou úspěšné. Vždyť jejich vzor 83C751/87C751 byl zaměřen na aplikaci ve spotřební elektronice a mimo ní nebyl šířeji používán.

Tento osud však mikrokontroléry AT89Cx051 firmy ATMEL nepostihl. Díky technologii Flash, která umožňovala přepis programového vybavení mikrokontroléru, a lacinému plastovému pouzdru získala rodina AT89Cx051 velkou popularitu. A to takovou, že i když jsou k dispozici jiné výkonnější mikrokontroléry, řada uživatelů je stále ráda používá. To donutilo firmu ATMEL, aby se zamyslela, a pokud možno uvedla pokračovatele této rodiny.

Podíváme-li se na blokové schéma mikrokontrolérů, které je na obr. 1, neobjevíme oproti AT89Cx051 nic nového. Přesto změn je více než dost.



Obr. 1. Blokové schéma mikrokontrolérů AT89S2051/AT89S4051

První změnou je vlastní návrh CPU, který je udělán jako šesticyklový, tj. základní instrukce akumulátor-registr je vykonána během šesti taktů.

Aby se mikrokontrolér choval stejně jako jeho vzory, které mají 12 taktů na instrukci, je systémový kmitočtet dělen dvěma a teprve pak distribuován. Pokud je však potřeba, dá se tato dělička vypnout. Vlastní přepínání je vyřešeno velmi elegantně. Při programování mikrokontroléru je možné určit stav, ve kterém se má nacházet mikrokontrolér po náběhu napájecího napětí. Toto se děje naprogramováním bitu **X2 clock** ve stavovém slově (zde jsou např. známé bity chránící paměť programu před neoprávněným vyčtením uloženého programu). Tento způsob však není jediný, neboť bit **X2 clock** neovládá interní děličku přímo, ale při power-up mikrokontroléru se obsah tohoto bitu zkopíruje do bitu 0 stavového slova **CLKREG** na adrese 8F_{HEX}. Z toho plyne, že programátor má možnost tento bit jednoduše ovládat i programově, tj. může ho měnit během běhu programu podle potřeby, a tím měnit výkon i spotřebu mikrokontroléru!

Další dvě změny se týkají možnosti programování vnitřní paměti programu. Tu je možné programovat jednak klasicky v klasickém programátoru, jako původní AT89Cx051 (paralelní mód), ale nově též i sériově přes piny P1.5 (serial data in - MOSI), P1.6 (serial data out - MISO) a P1.7 (serial clock - SCK).

Pokud tedy návrhář pamatuje při návrhu na to, aby bylo možné tyto piny

použít též pro programování, bude možné jednoduše nahraovat nové programové vybavení bez toho, aby bylo nutné mikrokontrolér vyjmát z aplikace.

Zmiňovanou další změnou, pojící se k paměti Flash, je vyšší počet garantovaných přepisů této paměti, který se zvětšil z 1000 na 10 000 přepisů.

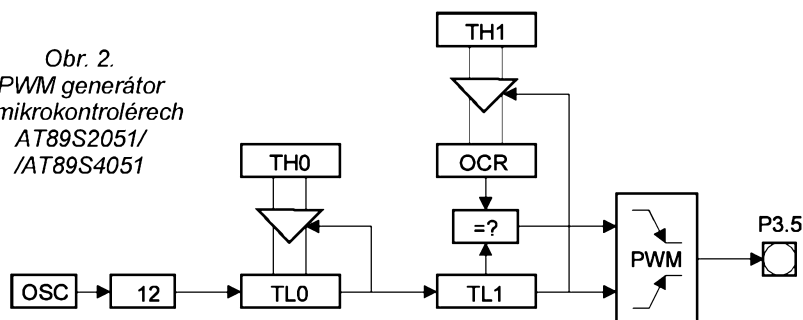
Změna nastala i u velikosti vnitřní paměti dat. U obou mikrokontrolérů je 256 bytů. To je jistě chvályhodné, neboť se jednak algoritmy stávají složitějšími, jednak mnoho programátorů píše i malé programy ve vyšších programovacích jazycích, a ty, jak známo, jsou náročnější na objem programové i datové paměti.

Další odlišností nové rodiny je integrovaný jednoduchý generátor PWM signálu. Při jeho použití si však musíme dát pozor. Proč si musíme dát pozor, zjistíme, když se pozorně podíváme na blokové schéma PWM generátoru, které je na obr. 2. Z něho je jasné, že v případě využití možnosti generovat PWM, rázem přijdeme o jediné dva čítače/časovače, které mikrokontroléry této rodiny mají! To je jistě velmi nemilé, ale v řadě případů je to možné akceptovat.

V první řadě je nutné si uvědomit, že pokud chceme použít sériový port pro komunikaci, musíme ho provozovat v módu 2, kdy jako řídicí frekvence je použit kmitočtet získaný nezávislou děličkou 32 (či 64).

Druhým problémem se může jevit získání systémového času vzhledem k obsazení obou čítačů generátorem PWM.

Obr. 2.
PWM generátor
v mikrokontrolérech
AT89S2051/
AT89S4051



Pozitivní se může jevit implementace kvalitnějšího sériového portu, který je schopen automaticky hardwarově detekovat chybu rámce a je též schopen automaticky rozpoznat svoji nadefinovanou adresu. Výrobce šel při implementaci tohoto rozhraní ještě dál a myslil i na případ, kdy bude potřeba oslovit více či všechna zařízení připojená na jednu sběrnici. Proto každý sériový port má dva registry, SADDR a SADEN, které definují adresy, na které daný mikrokontrolér reaguje. Obsah registru SADDR definuje vlastní adresu portu, zatímco hodnota v registru SADEN definuje bity, které jsou porovnávány a které jsou nevýznamné. Jinými slovy, pokud některý bit v registru SADEN má hodnotu 1, je významný, a hodnota stejného bitu z registru SADDR se porovnává s došlou hodnotou. V opačném případě, kdy bit má hodnotu 0, na přijaté hodnotě stejného bitu nezáleží (neporovnává se).

Pro lepší představu zde uvedeme příklad nastavení:

```
Slave A:  SADDR:1111 0001b
          SADEN:1111 1010b
          -----
          Given 1111 0x0xb

Slave B:  SADDR:1111 0011b
          SADEN:1111 1001b
          -----
          Given 1111 0xx1b

Slave C:  SADDR:1111 0011b
          SADEN:1111 1101b
          -----
          Given 1111 00x1b
```

Pro zařízení A jsou nevýznamné bity 0 a 2, pro zařízení B bity 1 a 2 a pro zařízení C není významný bit 1.

Pokud tedy chceme komunikovat pouze se zařízením A, musíme použít adresu 1111 0000b.

Pokud chceme komunikovat se zařízeními B a C, musíme použít adresu 1111 0011b.

Pokud chceme komunikovat se zařízeními A, B i C, musíme použít adresu 1111 0001b.

Tzv. „broadcast“ adresa je u sériového portu dána logickým součtem obsahu obou registrů, tj.:

Broadcast Address = SADDR or SADEN

To znamená, že významné bity musí mít alespoň v jednom z obou registrů hodnotu „log. 1“. V našem předcházejícím případě tedy platí:

```
Slave A:  SADDR:1111 0001b
          SADEN:1111 1010b
          -----
          Broadcast 1111 1x11b

Slave B:  SADDR:1111 0011b
          SADEN:1111 1001b
          -----
          Broadcast 1111 1x11b

Slave C:  SADDR:1111 0011b
          SADEN:1111 1101b
          -----
          Broadcast 1111 1111b
```

Pokud tedy chceme komunikovat se všemi zařízeními, musíme použít adresu 1111 1111b, neboť u zařízení A a B je bit 2 nevýznamný, tj., může nabývat hodnoty jak „log. 0“ tak i „log. 1“, ale u zařízení jsou významné všechny bity.

Po power-on resetu oba registry nabývají hodnot 00_{HEX}, takže mikrokontroléry reagují na všechny adresy. Toto zajišťuje zpětnou kompatibilitu se staršími typy mikrokontrolérů, které nemají automatické rozpoznání adresy.

Právě popsaný způsob získávání adres zařízení se jeví jako komplikovaný, ale nabízí velkou flexibilitu, která je potřebná v mnoha aplikacích.

Analogový komparátor

Analogový komparátor, známý i od předchůdců, prošel též úpravami. Pro řadu aplikací, kde je tento komparátor použit, je typická pomalá změna analogové hodnoty na vstupu komparátoru. To zapříčiňuje vznik zámkitů na výstupu komparátoru. Díky možnosti hardwarové funkce „odrušení zámkitů“ je programátor zbaven nutnosti toto řešit programově. Nová hardwarová funkce využívá čítač/časovač 1, který je spuštěn při prvním výskytu aktivní hrany. V okamžiku, kdy čítač/časovač podruhé přeteče a na výstupu je očekávaný stav, je nastaven bit CF. V opačném případě zůstane bit CF nenastavený.

Celá situace je vidět na obr. 3, kde se v prvním případě příznak CF nenastaví, neboť spuštění čítače/časovače 1 bylo vyvoláno falešnou hranou signálu z analogového komparátoru. Druhá aktivní hrana z komparátoru je však ta správná, neboť signál z komparátoru má v okamžiku druhého přetečení správnou úroveň. V tomto okamžiku se příznak CF nastaví.

Brown-out detektor

Významným rozšířením, či chcete-li zdokonalením mikrokontrolérů AT89S2051/4051 je implementace tzv. „Brown-out“ detektoru. Tento detektor má za účel sledovat pracovní podmínky mikrokontroléru, přesněji velikost napájecího napětí, a v případě neregulérních podmínek zajistit reset mikrokontroléru.

Znovuspuštění nastane až po náběhu napájecího napětí na určenou hodnotu. Tímto způsobem můžeme předejít neregulérnímu běhu programu v mikrokontroléru. Chování „Brown-out“ detektoru za různých okolností je možné vidět na obr. 4.

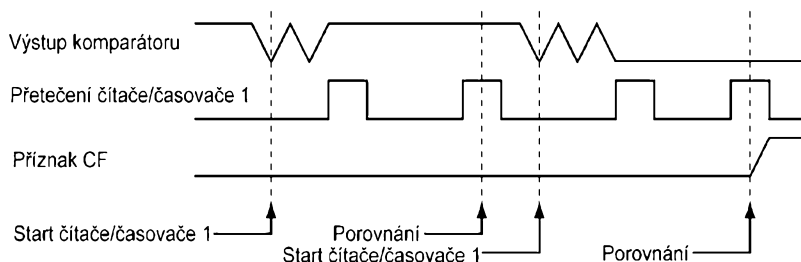
Z tohoto obrázku můžeme vidět, že pro mikrokontrolér jsou důležité tři úrovně. Mikrokontrolér pracuje normálně, když je napájecího napětí větší než $min U_{cc}$, které je 2,7 V. V případě, že napájecí napětí klesne pod tuto úroveň, lze díky interním registrům zjistit, zda napájení mikrokontroléru pouze pokleslo nebo zda se jedná o úplný výpadek napájecího napětí.

Nezanedbatelnou předností nových mikrokontrolérů je též jejich přerušovací systém, který je, na rozdíl od původního systému, čtyřúrovňový. Ten, kdo intenzivně pracoval s původními typy, jistě bude potěšen, neboť původní dvouúrovňový přerušovací systém občas byl nedostatečný, a další úroveň musela být řešena za pomoci programového vybavení, což stálo výpočetní výkon mikrokontroléru a to tím více, čím bylo přerušování častější.

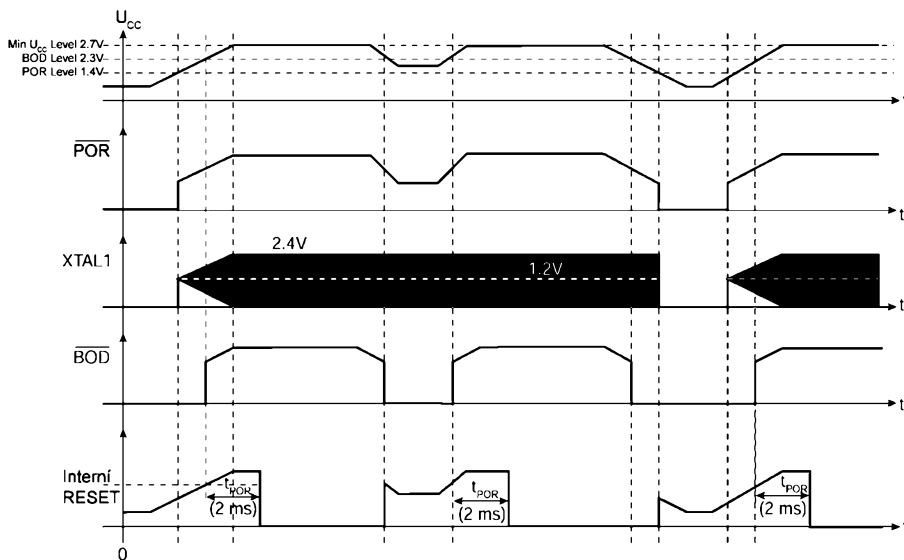
I když inovací, které rozšířily možnosti využití těchto mikrokontrolérů, bylo uděláno hodně, výpočetní výkon u právě představené rodiny je stále nedostačující. Proto firma ATMEL představila nový model AT89LPx052.

AT89LP2052/AT89LP4052

Porovnáme-li předchozí model s rodinou AT89LP, je možné s trochou nadsázky říci, že mikrokontroléry



Obr. 3. Analogový komparátor v „debounce“ módu



Obr. 4. Brown-Out detektor

AT89S2051/4051 byly jakýmsi mezikrokem mezi původními AT89C2051/4051 a AT89LP2052/4052.

Svědčí o tom např. nový čtyřúrovňový přerušovací systém nebo „pokus“ o redesign vlastní jednoty CPU. Na této jednotce je totiž závislý celkový výpočetní výkon mikrokontroléru. Aby se zpřístupnily další aplikace pro tyto mikrokontroléry, návrháři přepracovali jádro tak, že standardní operace akumulátor-registru je vykonána během jednoho (!) taktu systémového kmitočtu. Výrobce uvádí, že přibližně 70 % všech instrukcí potřebuje ke svému vykonání tolik hodinových taktů, kolik má instrukce bytů.

I pro konstruktéra, který nepotřebuje tak vysoký výpočetní výkon, může být tento mikrokontrolér velmi zajímavý. Vysvětlení je velmi prosté - pokud použijeme nový mikrokontrolér s jednotaktovým jádrem na místě klasického mikrokontroléru, můžeme AT89LP2052/4052 provozovat na mnohem nižší pracovní frekvenci než původní typ se zachováním stejného výpočetního výkonu. Jelikož je spotřeba obvodů CMOS přímo závislá na řídicí frekvenci, s poklesem pracovní frekvence se nutně sníží odběr.

Změny se nevyhnuly ani ostatním částem mikrokontroléru. Z hlediska komunikačních schopností mikrokontroléru je nejzajímavějším přidaným SPI port s bufferem. I když jeho možnosti z hlediska nastavení přenosových rychlostí jsou malé, potěšujícím zjištěním je fakt, že port nepotřebuje žádný čítač/časovač pro generování přenosové rychlosti.

Jelikož v průmyslových aplikacích je základním požadavkem spolehlivost běhu, nikoho nepřekvapí, že na čipu se objevil i klasický časový watchdog. Dobu, za kterou watchdog způsobí reset, je možné nastavit v osmi krocích, a to od 16 384 tiků systémových hodin do 2 097 152 tiků. Pokud někdo zaráží, že doba je udána v tících systémových hodin a ne v sekundách či milisekundách, je to tím, že watchdog je také taktován kmitočtem systémových hodin, a ten může být od 0 Hz do 20 MHz podle potřeby té které aplikace.

A se změnou řídicího kmitočtu se mění i doba do resetu.

Ostatní rozšíření známé u AT89S2051/4051 zde zůstaly. Jedná se především o široké možnosti režimů se sníženou spotřebou a ošetření restartu mikrokontrolérů AT89LP2052/4052 z těchto režimů.

Závěrem lze říci, že uvedené nové mikrokontroléry opět značně prodlouží dobu života legendárního jádra C51.

Druhou řadou, se kterou firma ATMEL slavila a slaví velké úspěchy, jsou mikrokontroléry s architekturou AVR. Zajímavostí této architektury je fakt, že nejdříve bylo analyzováno mnoho programů a na základě této analýzy byl navržen instrukční soubor tak, aby byl optimální a zároveň vhodný pro překlad z vyšších programovacích jazyků (jazyk C).

Od prvních nesmělých krůčků s prvními členy nové rodiny mikrokontrolérů AT90S dospěl vývoj až k dnes stabilním dvěma řadám. Mikrokontroléry určené pro nejmenší aplikace nesou v označení název ATtiny, mikrokontroléry určené pro větší a komplexnější aplikace nesou označení ATmega. Jejich možnosti se prolínají, takže pro každou aplikaci je možné najít vhodného zástupce. Původní řada AT90S je již „umrtvována“. Pro nové aplikace jsou tedy vhodné pouze řady ATtiny a ATmega.

V „povídání“ o mikrokontrolérech v předchozích číslech KE byly představeny vesměs zástupci řady AT90Sxx a první zástupci řad ATtiny i ATmega. Vývoj jde však velmi rychle kupředu, a tak v tehdejší době špičkové mikrokontroléry jsou již překonány novými členy řad ATtiny a ATmega. Představme si dva/tři zástupce řady ATtiny.

ATtiny2313

Z názvu tohoto mikrokontroléru je jasné, jaký vzor posloužil pro tento typ. Popularita původního typu AT90S2313 „donutila“ výrobce pokračovat ve výrobě, a tak se na trhu objevil ATtiny2313. Jeho blokové schéma je obr. 5.

Prvními vylepšeními, se kterými se u nového typu setkáme, jsou dvojnásobný maximální kmitočet, který je 20 MHz (verze ATtiny2313V má maximální kmitočet 10 MHz, ale je schopna pracovat už od napájecího napětí 1,8 V) a větší počet garantovaných přepisů paměti programu z původních 1000 cyklů zápis/mazání na 10 000 cyklů.

Jistě si řada čtenářů klade otázku, proč je zvětšený počet přepisů vzpomínán hned na počátku, když 1000 cyklů je dostatečný počet pro případný upgrade programového vybavení v mikrokontroléru. Je to zcela jistě pravda, ale pro zamýšlený účel je to velmi malý počet. Tím novým účelem, novou myšlenkou, je poskytnutí možnosti ladit programové vybavení přímo v aplikovaném mikrokontroléru pomocí rozhraní **debugWIRE®**.

Tato myšlenka byla převzata od větších, vyspělejších, a z toho důvodu i dražších mikrokontrolérů. Větší mikrokontroléry mají v sobě vestavěno standardní rozhraní JTAG, díky němuž jsou přístupné registry mikrokontrolérů, jež řídí jejich činnost. Toto rozhraní má však jednu velkou nevýhodu, která je tím větší, čím má mikrokontrolér menší počet pinů. Ano, tím problémem je potřebný počet signálů pro vlastní rozhraní. A v případě malých pouzder jde omezení velmi citelné.

Proto návrháři navrhli speciálně pro malé a jednoduché mikrokontroléry nové rozhraní, které potřebuje nejmenší počet pinů, který je možný - pouhý 1 pin! Aby i toto omezení bylo co nejmenší, jedná se o pin, který se používá pro vnější reset.

Toto nové rozhraní, použité u nových perspektivních mikrokontrolérů s malým počtem pinů, se nazývá **debugWIRE®**. Zároveň s uvedením nového rozhraní **debugWIRE®** byl dán na trh i inovovaný typ emulátoru AVR JTAG ICE mkII, který toto rozhraní podporuje. S jedním, a poměrně laciným emulátorem, je možné obsáhnout obě perspektivní řady mikrokontrolérů ATtiny a ATmega.

Ostatní vylepšení mikrokontroléru ATtiny2313 oproti svému vzoru AT90S2313, budou v porovnání s novým rozhraním **debugWIRE®** vypadat jako malá, přesto jde mnohdy o příjemná vylepšení.

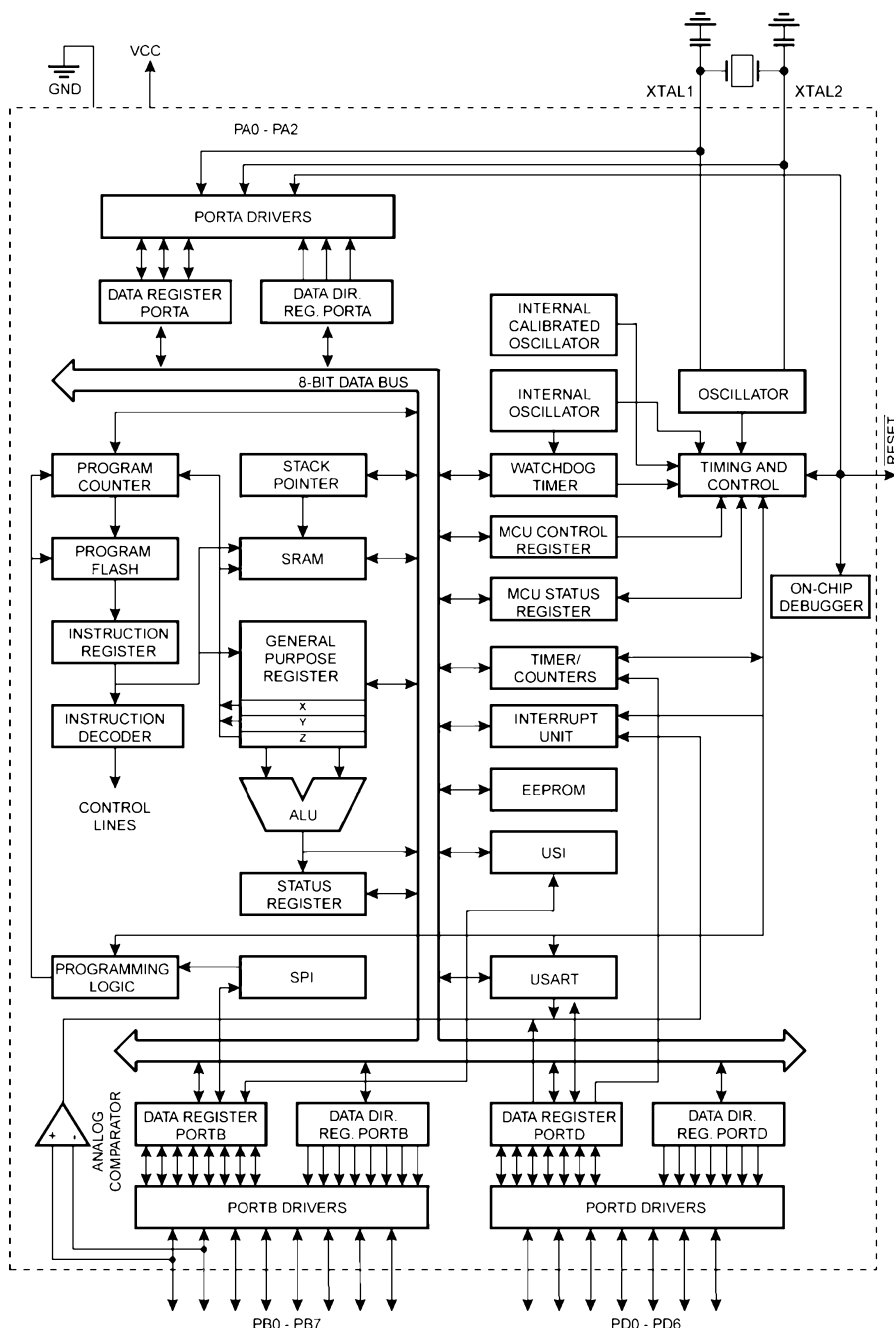
Zdroje řídicího kmitočtu

Pozitivní změnou je možnost využít vnitřní oscilátor RC jako zdroj systémového kmitočtu pro celý mikrokontrolér.

Mnozí, kteří používali AT90S2313, si určitě mnohokrát postesklí, proč návrháři neumožnili využít tento vnitřní oscilátor RC, který byl určen pro watchdog.

V novém typu tato možnost již je, a tak je možné volit mezi vnitřním a vnějším zdrojem řídicího kmitočtu. Oproti původnímu oscilátoru 1 MHz je kmitočet nového pouze 128 kHz.

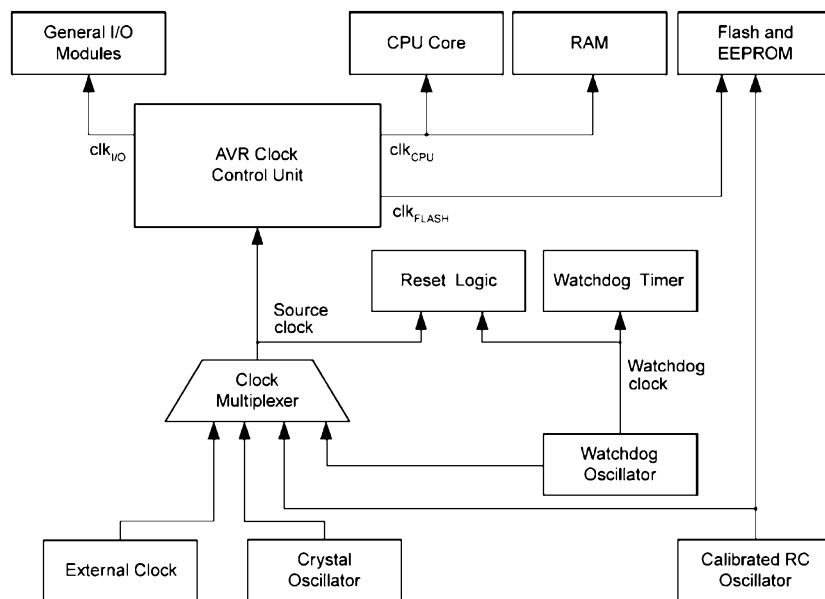
Aby možnosti výběru interních frekvencí byly větší, najdeme na čipu ještě jeden oscilátor, tentokrát kalibrovaný,



Obr. 5. Blokové schéma mikrokontroléru ATtiny2313

který dokáže poskytnout dva kmitočty, a to 4 a 8 MHz. Kalibrace oscilátoru se provádí zapsáním kalibrační hodnoty do registru OSCCAL. Vnitřní logika mikrokontroléru zajistí po resetu automatické dosažení kalibrační hodnoty pro frekvenci 4 MHz. Kalibrační hodnoty jsou ve skutečnosti dvě, první pro 4 MHz, druhá pro 8 MHz, a jsou umístěny v oblasti paměti určené pro identifikaci mikrokontroléru (signature codes). Blokové schéma, jak je řídicí kmitočet distribuován do všech částí čipu, je na obr. 6.

Díky možnosti zapisovat do registru OSCCAL lze v širokém rozsahu měnit řídicí kmitočet mikrokontroléru. Je nutné si však uvědomit, že časování zápisu do interních pamětí EEPROM a FLASH je odvozeno právě od kmitočtu tohoto oscilátoru. Pokud je v aplikaci použit zápis do jedné z těchto pamětí, neměl by uživatel nastavovat kmitočet jiný než $8\text{ MHz} \pm 10\%$, jinak není zaručena správná funkce zápisu do těchto pamětí.



Obr. 6. Distribuce hodinového kmitočtu v ATtiny2313

V řadě případů tedy aplikace vystačí s interním oscilátorem a dva piny by mohly být uvolněny, což v případě pouzdra s malým počtem pinů může rozhodnout o vhodnosti či nevhodnosti daného mikrokontroléru pro aplikaci. Proto návrháři přidali do vnitřní struktury port A.

Tento nový třibitový port nabízí v případě nevyužití vnějšího oscilátoru možnost využít jeho dva piny jako klasické I/O piny. Třetím pinem, který může být často uvolněn, je pin pro signál externí Reset. Dvoji funkce pinů portu A je vidět na obr. 5.

Obrátme svoji pozornost ještě zpět na obvod watchdogu, který je na obr. 7. Porovnáme-li tento obvod s obvodem z původního typu, zjistíme, že je tento obvod poněkud rozšířen. Co je ale důležité, výrobce zachoval zpětnou kompatibilitu, takže obsluha by měla být stejná. Jelikož kmitočet vlastního oscilátoru je 8x nižší, zmenšily se dělicí poměry děličů tak, aby délka periody obvodu watchdog zůstala stejná.

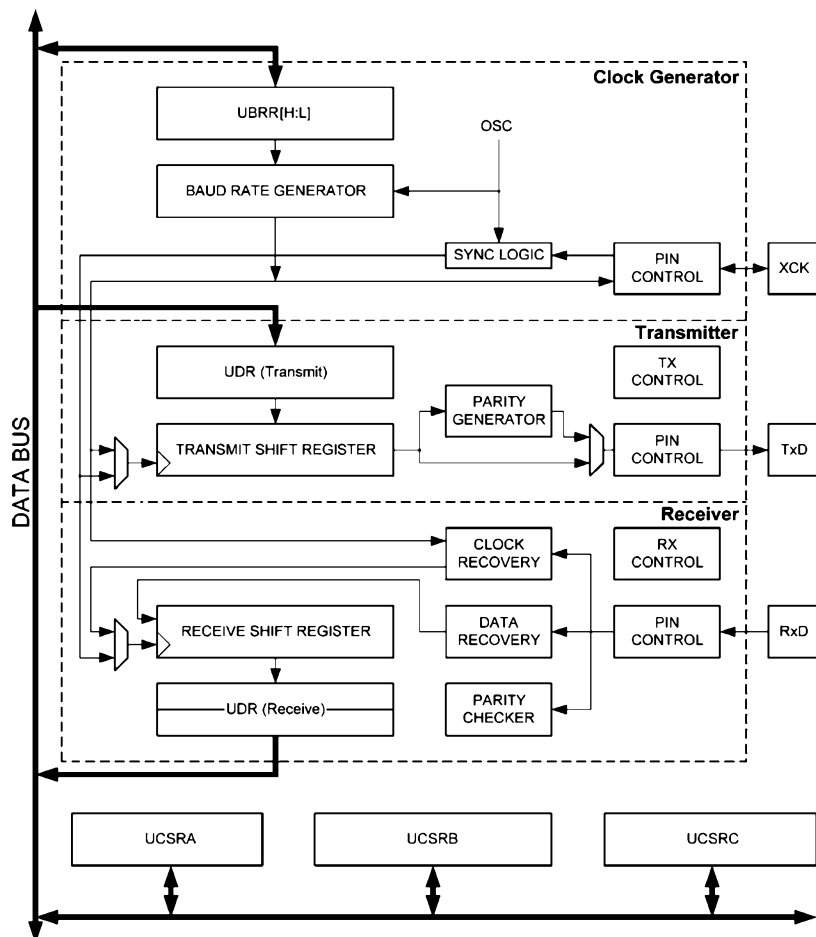
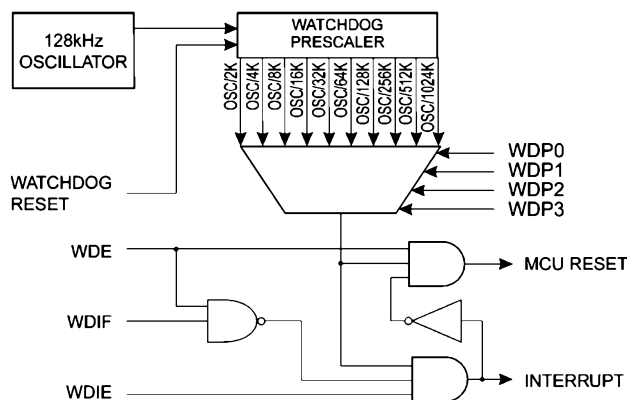
Napěťová reference

Protože pro řadu aplikací je potřebná napěťová reference, umístil výrobce tuto napěťovou referenci taktéž na čip vlastního mikrokontroléru. Referenční napětí má typicky velikost 1,1 V. Díky takto nízkému napětí je možné referenci použít v celém rozsahu napájecích napětí. I když typická spotřeba napěťové reference je pouhých 15 μA , myslel výrobce na konstruktéry bojující s každou μA , takže v případě, že není napěťová reference potřebná, lze ji vypnout. Po zapnutí je nutno počkat maximálně 70 μs , než se referenční napětí ustálí.

USART

Další částí, která doznala úprav, je sériový kanál UART, ze kterého se stal kanál USART. Jeho blokové schéma je na obr. 8. Řada vlastností původního kanálu UART byla též zdokonalena.

Obr. 7. Blokové schéma obvodu WatchDog v ATtiny2313



Obr. 8. Blokové schéma kanálu USART v ATtiny2313

Jak název již napovídá, kanál je schopen pracovat jak v původním asynchronním módu, tak nově i synchronním módu. Přenášené datové slovo může být nyní i kratší než 8 bitů, a to konkrétně 5, 6 či 7 bitů. Parita, sudá či lichá, je v novém USARTu generována pomocí hardware a je tímto hardwarem i kontrolována.

Zdokonalená logika sériového kanálu je schopna detekovat i některé chyby sériového přenosu - Data Overrun Error a Framing Error.

Další změnou, akceptovatelnou pro 99 % programů, je zdvojený přijímací buffer. Jinými slovy, jedná se o dva registry, které se střídají ve funkci, a to, který z nich bude čten a který z nich je pro program neviditelný. Toto se nastavuje právě při čtení z uvedeného zdvojeného registru. To znamená, že hodnotu z tohoto zdvojeného registru

ru můžeme přečíst jen jednou. Druhé čtení je pak směřováno do druhého registru, třetí pak zase do prvního.

Z předchozího textu je patrné, že v uvažovaných cílových aplikacích je kladen důraz na komunikaci s ostatními částmi systému. Předpokládá se, že aplikace jsou již tak náročné, že se mnohdy mikrokontrolér neobejde bez podpory dalšího nebo několika dalších mikrokontrolérů. Jelikož se mikrokontroléry musí spolu „domluvit“, je nutné mít k tomu patřičné technické prostředky. To, že tento sériový kanál má sloužit pro meziprocessorovou komunikaci, je vidět i z toho, že některé módy jsou pro tuto komunikaci přímo předurčeny.

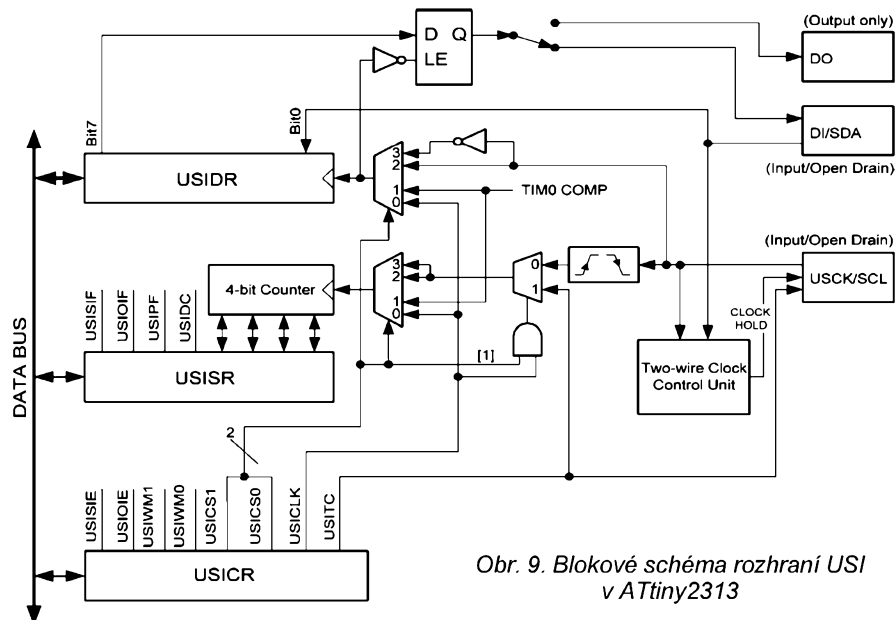
Rozhraní USI

USART však není na novém čipu osamoceným sériovým rozhraním, neboť zde najdeme ještě druhé, nazvané USI. Pod tímto, pro mnohé záhadným názvem, se skrývá univerzální sériový interface s bohatými možnostmi komunikace. Jeho blokové schéma je na obr. 9. V podstatě se jedná o synchronní sériové rozhraní, které je možné konfigurovat do dvou různých módů.

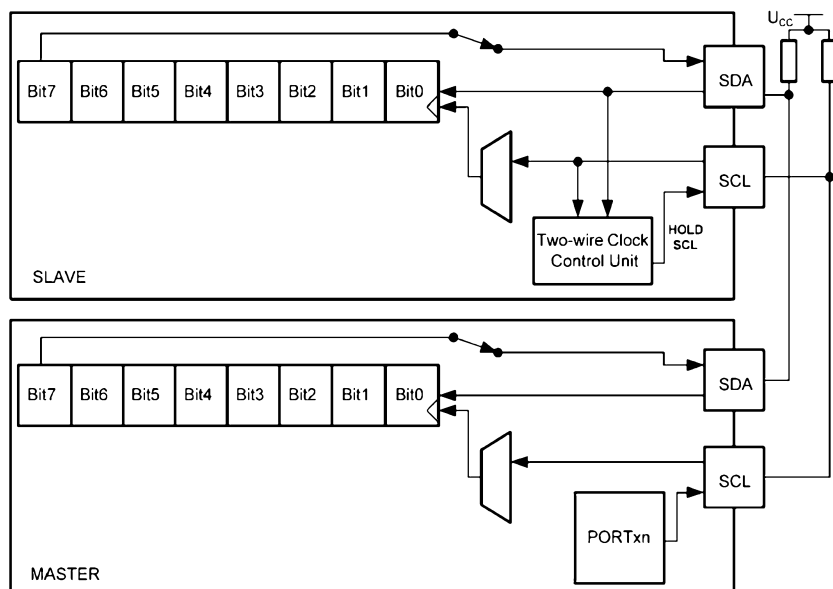
Prvním módem je „dvoudrátový“ mód, kdy pro přenos jsou použity dva vodiče. Jeden z nich je určen pro přenos dat (SDA), druhý je synchronizační (SCL). Blokové schéma rozhraní USI v dvoudrátovém režimu je na obr. 10.

Podle názvu signálů již určitě řada čtenářů poznala, že se jedná o rozhraní nazývané firmou ATMELOV též TWI (two wire interface), které je podobné rozhraní I²C.

I když princip a základní módy jsou velmi podobné rozhraní I²C, nedisponuje implementované rozhraní všemi možnostmi rozhraní I²C. Pokud však potřebujeme komunikovat s externí sériovou pamětí EEPROM či FLASH nebo dalšími mikrokontroléry v aplikaci, splní toto rozhraní svůj účel velmi dobře. Výhodou je nízká programová režie mikrokontroléru, tj. komunikace zatěžuje vlastní mikrokontrolér velmi málo.



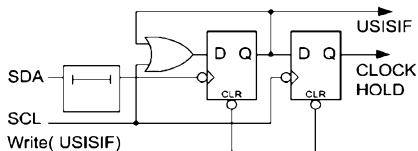
Obr. 9. Blokové schéma rozhraní USI v ATtiny2313



S tímto módem kanálu USI jsou spojeny dvě zajímavosti.

První nich můžeme vidět na blokovém schématu na obr. 10 v poli označeném MASTER. Tou zajímavostí je fakt, že signál SCL je vytvářen programově (!) pomocí změny hodnoty bitu USCK (port PB bit 7). Vlastní posun vysílaných dat v posuvném registru je dělán však hardwarově.

Druhou zajímavostí je fakt, že podřízené zařízení může vložit při komunikaci tzv. „wait states“, neboli čekací stavy. Tato možnost přichází do úvahy např. v okamžiku, kdy se oslovené zařízení, tedy mikrokontrolér v režimu SLAVE, nachází v módu snížené spotřeby,

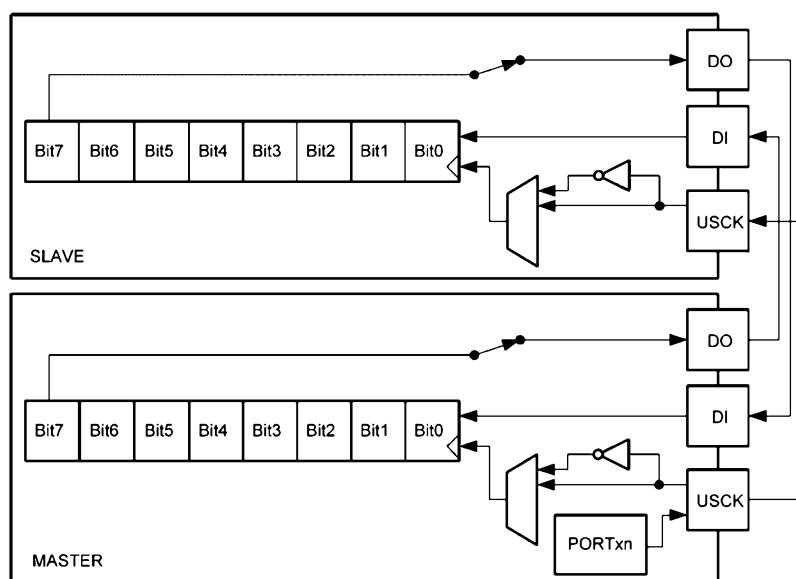


Obr. 11. Obvod pro vložení čekacích cyklů

a potřebuje delší čas na „probuzení“ hlavního oscilátoru a start programového vybavení. Podřízený mikrokontrolér (mikrokontrolér v režimu SLAVE) vloží potřebnou dobu pro „probuzení“ tím, že v okamžiku detekce stavu (podminky) START podrží řídicí hodinový kmitočet (signál SCL) na úrovni „log. 0“. Jelikož v tomto okamžiku neběží program, je vše uděláno hardwarově. Jedná se o velmi jednoduchý obvod, který je na obr. 11.

Od nadřízeného mikrokontroléru se tedy očekává, že tento stav bude programově ošetřen tak, že MASTER bude testovat úroveň signálu SCL po vložení úrovně „log. 1“. Pokud úroveň signálu zůstane na „log. 0“, jedná se o stav, kdy podřízený mikrokontrolér žádá o „wait state“. Pro úplnost dodejme, že je možné o čekací cykly žádat i na konci přenosu.

Druhým módem, ve kterém se může rozhraní USI nacházet, je režim třídrátového rozhraní, které je kompatibilní s rozhraním SPI mód 0 a 1 (bez možnosti hw volby Slave Select). Blo-



Obr. 12. Blokové schéma rozhraní USI v třídrátovém módu

kové schéma rozhraní USI v třídrátovém módu je na obr. 12.

Tento mód je velmi podobný předchozímu. V tomto režimu jsou registry nadřazeného a podřazeného mikrokontroléru propojeny do kruhu. To znamená, že po osmi hodinových cyklech řídícího signálu jsou obsahy obou registrů prohozeny. Stejně jako v případě dvoudrátového rozhraní je posun vysílaných i přijímaných dat udělán hardwarově, zatímco řídící hodinový signál musí být generován softwarově.

Z předchozího popisu je vidět, že uvedené sériové rozhraní může být vhodným rozhraním pro meziprocesovou komunikaci či komunikaci s externími periferemi obvody, jako např. externími sériovými pamětmi EEPROM či FLASH pro úschovu naměřených dat. I když toto rozhraní má mnoho předností, má též jednu nevýhodu. Podíváme-li se na obr. 9 pozorně, uvidíme, respektive neuvidíme, žádné buffery pro data. To znamená, že data z přijímacího registru musí být „uklizena“ dříve, než začne příjem nového byte. Absence přijímacího bufferu bude tím citelnější, čím budou přenosové rychlosti vyšší.

V případě, že v aplikaci není potřeba implementovat žádné z výše zmíněných sériových rozhraní, je možné některé hw prostředky rozhraní použít pro jiné účely.

Za pomoci posuvného registru můžeme emulovat další asynchronní port (half-duplex), a to mnohem efektivněji než v případě čistě softwarové emulace.

Velké možnosti alternativního využití nabízí čtyřbitový čítač. Tento čítač (na obr. 9 je u registru USISR) je možné použít jako nezávislý čtyřbitový čítač schopný generovat přerušení. Při jeho použití je nutné si uvědomit, že tento čítač inkrementuje svoji hodnotu při každé změně externího vstupního signálu, tj. reaguje jak na vzestupnou, tak i na sestupnou hranu externího hodinového signálu.

Tento čítač môže byť „prodloužením“ osmibitového čítače/časovače 0. Spojením oboch čítačov máme k dispozíci dvanásťbitový čítač/časovač. V tom prípade je tento štyrbitový čítač inkrementovaný pri pretečení čítače/časovače 0.

Čtyřbitový čítač nám může též pomoci v případě, že nám schází jedno externí přerušení. Tento čítač lze totiž přednastavit na hodnotu 0F_{HEX}. V tom případě čítač přeteče při první změně úrovně vstupního signálu a bude tedy hned generovat přerušení.

Vzhledem k faktu, že je možné generovat řídicí hodinový signál pro tento čítač též softwarově změnou hodnoty bitu USICKLK či USITC (viz registr USICR - USI clock registr v originálním manuálu ATtiny2313), lze tento čítač použít pro softwarový interrupt.

Nové instrukce

Poslední novinkou, kterou dali vývo-
jáři do vínku zmodernizovanému mikro-
kontroléru, je možnost čtení a zápisu

do programové paměti pomocí instrukcí LPM a SPM. Díky těmto instrukcím je možno provádět update programového vybavení v hotovém zařízení i na dálku.

Jak je i z výše uvedeného krátkého popisu vidět, vylepšený typ ATtiny2313 je více než důstojným následníkem svého vzoru AT90S2313. Díky těmto úpravám se okruh cílových aplikací, pro které je tento malý, ale výkonný mikrokontrolér vhodný, velmi rozšířil.

Závěrem tohoto krátkého představení nového mikrokontroléru si dovoluji upozornit na jednu věc na kterou bychom neměli zapomenout. Tato věc souvisí s rozhraním **debugWIRE®** (či JTAG) a sám výrobce ji na mnoha místech připomíná.

Jedná se o to, že pokud jsme mikrokontrolér použili k ladění programového vybavení, tak tento mikrokontrolér by neměl být použit ve finálním výrobku. I když programová paměť FLASH má povolený počet přepisů 10 000 cyklů zápis/mazání, bude v horší kondici než paměť, která pro toto ladění nebyla použita. Tento fakt nabývá na významu především v takových případech, jako jsou aplikace, které pracují v širokém teplotním rozsahu či za zhoršených podmínek napájení (napájení se pohybuje na okrajích povoleného rozsahu).

ATtiny24/ATtiny44/ /ATtiny84

I když se jedná o tři typy, lze na ně pohlížet jako na typ jeden, neboť se opět liší pouze velikostí paměti - programové FLASH (2 kB/4 kB/8 kB), datové SRAM (128 Byte/256 Byte/512 Byte) a datové EEPROM (128 Byte/256 Byte/512 Byte).

Mikrokontrolér může být zapouzdřen do celkem tří různých pouzder - do DIL14, SOIC14 a QFN/MLF20.

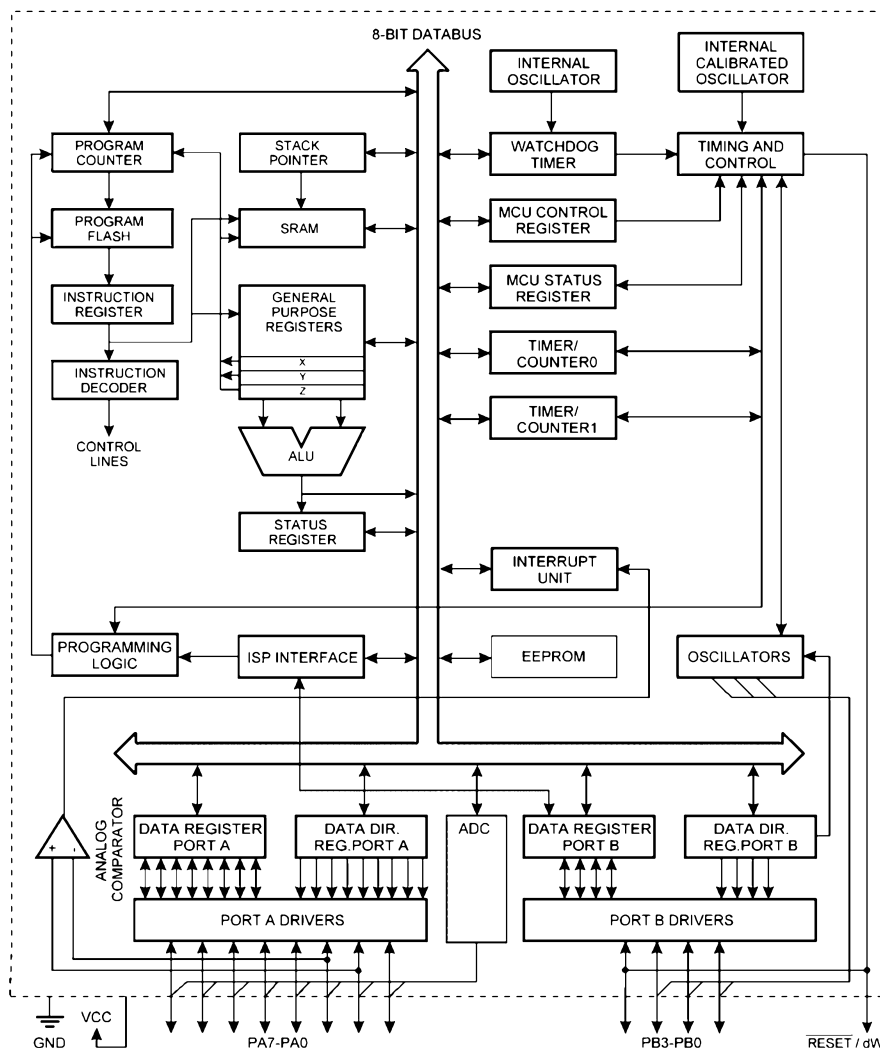
Blokové schéma těchto mikrokontrolérů je na obr. 13. Na první pohled zde není nic výjimečného, ale pokud se podíváme pozorněji, zjistíme, že novinky z typu ATtiny2313 zde zůstaly zachovány.

debugWIRE®

Asi největším zdokonalením nových mikrokontrolérů řady ATtiny je zajisté rozhraní pro ladění programového vybavení v cílové aplikaci nazvané firmou ATMEL **debugWIRE®**. Je více než potěšující, že toto rozhraní najdeme i u tohoto mikrokontroléru.

Varianty mikrokontrolérů

Stejně jako u předchozího typu, mikrokontroléru ATtiny2313, i zde existují dvě verze každého typu, které se liší sufixem V, např. ATtiny44 a ATtiny44V. Typ bez sufixu V je určen pro užší rozsah napájecího napětí (2,7 až 5,5 V), ale je schopen pracovat s řídicím kmitočtem až 20 MHz. Druhý typ se sufi-



Obr. 13. Blokové schéma mikrokontrolérů ATtiny24/44/84

xem V je určen pro širší rozsah napájecího napětí, konkrétně 1,8 až 5,5 V, ale maximální kmitočet, na kterém je mikrokontrolér schopen pracovat, je 10 MHz. Typy se sufixem V jsou tedy předurčeny pro aplikace, kde je kladem hlavní důraz na nízkou spotřebu, neboť typický odběr pracujícího mikrokontroléru s řídicím kmitočtem 1 MHz a napájením 1,8 V činí 380 μ A (active mode). Pokud někomu připadá kmitočet 1 MHz nízký, měl by si uvědomit, že výpočetní výkon při této frekvenci je obdobný výkonu legendárních mikrokontrolérů 80C51 (klasické jádro s dvanácti takty na instrukci) pracujících na kmitočtu 12 MHz! V režimu snížené spotřeby (power-down mode) je odběr mikrokontroléru se stejným napájecím napětím pouhých 100 nA.

Nové instrukce

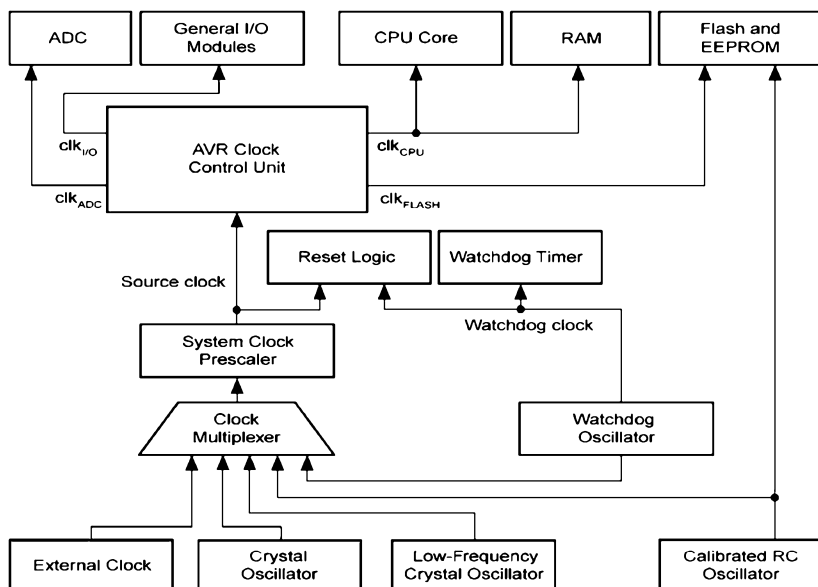
Nechť jsou návrháři těchto mikrokontrolérů pochváleni, neboť i u těchto malých mikrokontrolérů existuje možnost čtení a zápisu do programové paměti pomocí instrukcí LPM a SPM. Díky těmto instrukcím je možno provádět update programového vybavení v hotovém zařízení i na dálku či používat velké tabulky konstant, které svojí velikostí přesahují velikost paměti EEPROM.

Zdroje řídicího kmitočtu

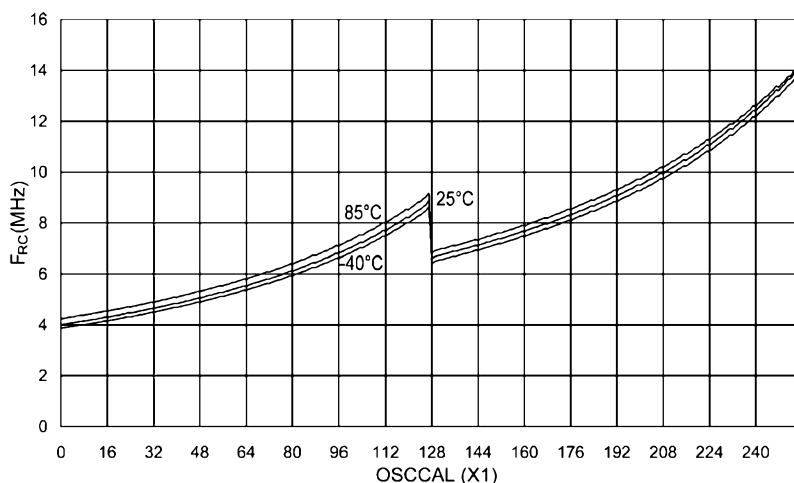
Dalším potěšujícím faktem jsou bohaté možnosti taktování mikrokontroléru. Blokové schéma systému distribuce řídicích kmitočtů je na obr. 14.

Z tohoto obrázku můžeme vidět, že kromě externího oscilátoru jsou zde možnosti, jak taktovat mikrokontrolér z vnitřních oscilátorů. Tyto možnosti přijdou u mikrokontroléru s pouhými čtrnácti piny jistě v řadě případů vhod, nehledě na fakt, že využitím vnitřních oscilátorů snižujeme náklady na aplikace.

Jak je z obr. 14 zřejmé, je možné využívat celkem dva interní zdroje kmitočtu. Prvním z nich je kalibrovaný oscilátor 8 MHz, který je možné kalibrační konstantou zkalibrovat až na přesnost $\pm 1\%$, což je pro řadu aplikací více než dostatečné. Kalibrační konstanta pro napájecí napětí 3 V a teplotu okolo 25 $^{\circ}$ C je opět částí paměti určené pro identifikaci mikrokontroléru (signature codes). Touto hodnotou je automaticky při studeném startu mikrokontroléru inicializován registr OSCCAL. Tento registr je dostupný i za běhu mikrokontroléru. I když je možné tento oscilátor ladit v relativně širokém rozsahu, výrobcem doporučený rozsah frekvencí je 7,3 až 8,1 MHz. V tomto rozsahu lze totiž nastavit požadovanou frekvenci s přes-



Obr. 14. Distribuce řídicích kmitočtů v ATtiny24/44/84



Obr. 15 - Závislost f_{RC} na hodnotě OSCCAL v ATtiny24/44/84

ností $\pm 1\%$. Druhým důvodem je fakt, že kmitočtem tohoto oscilátoru je řízen i zápis do interní paměti FLASH a EEPROM (viz obr. 14). Pokud nastavíme kmitočet oscilátoru vyšší než 8,8 MHz, není zaručeno, že zápis do těchto pamětí proběhne bezchybně.

Další zajímavostí nastavování kmitočtu pomocí hodnoty registru OSCCAL je fakt, že rozsah ladění je rozdělen do dvou podrozsahů. Oba podrozsahy se však částečně překrývají, takže kmitočet při hodnotě 0x7F ($=07F_{HEX}$) v registru OSCCAL bude vyšší než kmitočet při hodnotě 0x80 ($=080_{HEX}$). Na to je nutno při vlastní kalibraci nezapomenout. Popsanou situaci ukazuje obr. 15.

Idea kalibrovaného interního oscilátoru však byla oproti ATtiny2313 pozměněna, neboť zde existuje pouze oscilátor 8 MHz (a watchdog oscilátor 128 kHz, který je nekalibrován). Při použití 8 MHz oscilátoru je nutné si dát pozor na povolený maximální kmitočet při daném napájecím napětí. Pokud je povolený kmitočet nižší, je nutné použít interní předdělič, který sníží taktovací kmitočet pro mikrokontrolér na 1 MHz (dělicí poměr 8, konfigurační bit CKDIV8, více dále).

Tím však možnosti nastavení taktování nekončí. Návrháři implementovali do mikrokontroléru možnost zvolit si pro taktování kmitočet zvoleného zdroje vydělený 1x, 2x, 4x, 8x, 16x, 32x, 64x, 128x nebo 256x (registr CLKPR - Clock Prescale Register). Tento dělicí poměr je možné měnit i za běhu (!) mikrokontroléru, takže uživatel má možnost dynamicky optimalizovat výpočetní výkon mikrokontroléru a tím i jeho spotřebu. Tento předdělič je použit i ve výše zmínovaném případě užití konfiguračního bitu CKDIV8. Princip je stejný jako v případě kalibrační konstanty pro interní RC oscilátor, tj. hodnota bitu je automaticky nahrána do příslušného bitu registru CLKPR při studeném startu mikrokontroléru.

Při použití oscilátoru 128 kHz jako zdroje řídicího kmitočtu nesmíme zapomenout na to, že tento oscilátor nelze kalibrovat a jeho kmitočet je více závislý na teplotě a napájecím napětí.

Kromě dvou interních oscilátorů lze taktovat mikrokontroléry ATtiny 24/44/84 též i z externího zdroje kmitočtu či použít interní oscilátor, který je řízen externím krystalem či keramickým rezonátorem. Tento oscilátor lze optimali-

zovat pro práci v poměrně širokém rozsahu kmitočtů (od 0,4 MHz výše) pomocí konfiguračních bitů CKSEL1..3. Mikroprocesor lze též taktovat pomocí tzv. „hodinkového“ krystalu s kmitočtem 32 kHz. Pro tento typ krystalu zde existuje speciální interní oscilátor (Low Frequency Oscillator).

Lze tedy konstatovat, že možnosti taktování mikrokontrolérů ATtiny24/44/84 jsou podstatně bohatší než u ATtiny2313. Lze jen doufat, že toto uspořádání se bude objevovat i v dalších nových typech mikrokontrolérů řady ATtiny.

Módy se sníženou spotřebou

Další oblastí, kde je možné vidět velký pokrok oproti starším typům, jsou módy se sníženou spotřebou. I na vlastních módech je vidět, že návrháři navrhli módy velmi pečlivě. Díky tomu jsou jednotlivé režimy se sníženou spotřebou v mnoha případech velmi užitečné. Najdeme zde mód, kdy je zastavena centrální jednotka mikrokontroléru a programová paměť, ale i standby mód, kdy mikroprocesor je zastaven úplně a reaguje pouze na vnější přerušení.

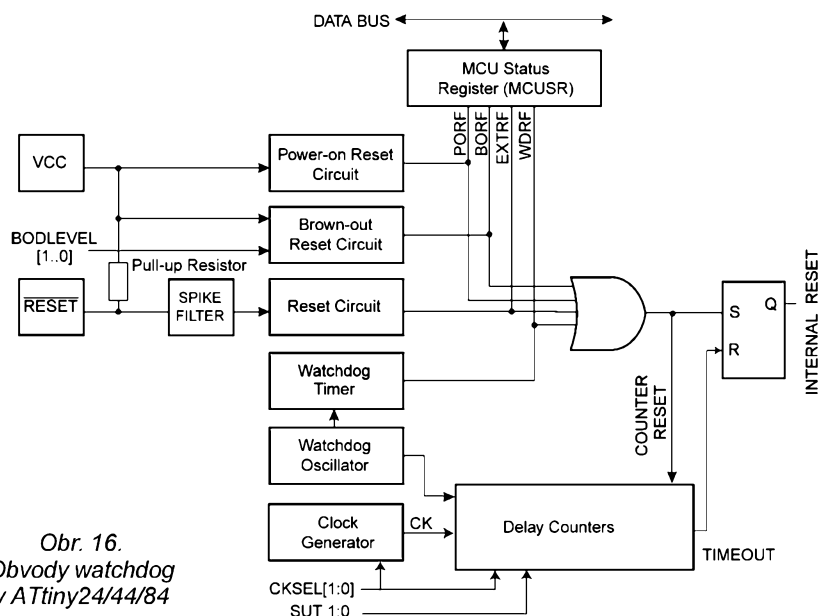
Mezi velmi užitečné módy bude určitě patřit režim označený jako „ADC noise reduction mode“, tj. mód se sníženým rušením. Jak už z názvu vyplývá, mikroprocesor, respektive jeho příslušné části, jsou vypnuty tak, aby rušivé signály, které mohou ovlivnit přesnost převodu interního analogově-digitálního (A/D) převodníku, byly omezeny na minimum. Díky tomu je možné snadněji využít přesnosti interního desetibitového A/D převodníku.

Fakt, že to výrobce myslí vážně s úspornými módy, které přijdou vhod např. v bateriově napájených aplikacích, je poznat i z toho, že některým periferiím je možné, v případě že nejsou potřebné, odpojit napájení a dále tak snížit příkon mikrokontroléru. Celkem lze zakázat funkci pěti periferiím: A/D převodníku, analogovému komparátoru, „Brown-out“ detektoru, interní napěťové referenci a watchdogu. I když se někomu může zdát, že se v praxi jedná o téměř zanedbatelné odběry, v řadě případů jsou tyto odběry rozhodující. Vždyť např. pokud v „power-down“ módu necháme zapnutý „jen“ obvod watchdog, bude mikrokontrolér odebírat typicky 10 μA při napájení 3 V. Za stejné situace, avšak s vypnutým obvodem watchdog, bude odběr typicky pouhý 1 μA !

Jak je z předchozího krátkého popisu možností režimů se sníženou spotřebou vidět, je těmto režimům u nových mikrokontrolérů věnována velká pozornost. Díky uvedeným režimům se oblast možného nasazení těchto nových mikrokontrolérů značně rozšířila, a to zejména do oblasti bateriově napájených aplikací.

Watchdog

Chce-li výrobce se svým mikrokontrolérem uspět i v průmyslových aplikacích (a nejen těch), musí být



mikrokontroléry vybaveny co možná nejdokonalejším systémem, který hlídá regulérní běh programu a v případě problémů resetuje vlastní mikrokontrolér. I tady byl udělán velký pokrok v porovnání se standardními mikrokontroléry 89C51. Schéma obvodů hlídajících mikrokontrolér je na obr. 16.

Hlídací obvody lze rozdělit do dvou kategorií - na obvody hlídající napájecí napětí a na obvody časové.

Co se týká napájecího napětí, nejzajímavější je obvod „Brown-out“, který má na starosti detekci krátkodobých poklesů napájecího napětí mikrokontroléru pod nastavenou mez. Zachytit včas pokles napájecího napětí je velmi důležité. Pokud tento pokles zachytíme včas a úroveň detekce poklesu je správně nastavena, máme dostatek času na uložení všech důležitých hodnot do nonvolatilní paměti (např. EEPROM) a vypnutí periférie. Poté větší program již čeká, zda se napájecí napětí vrátí na normální úroveň nebo poklesne až na nulu. Pokud někoho zaráží, proč je vhodné periférie při poklesu napájecího napětí včas uvést do klidového stavu, je toto přinejmenším vhodné u výkonových součástek. Např. tranzistory mohou být při poklesu málo buzeny, což zapříčiní jejich nedokonalé otevření. Na nedokonalé otevřených tranzistorech bude větší úbytek napětí, což při protékajícím proudu znamená i zvýšenou výkonovou ztrátu. Pokud tento výkon, měnící se na tranzistoru na teplo, překročí určitou mez, následuje zničení výkonového prvku, ať už je to bipolární či MOSFET tranzistor.

Obvod Power-On Reset se stará o řádný start mikrokontroléru při náběhu napájecího napětí.

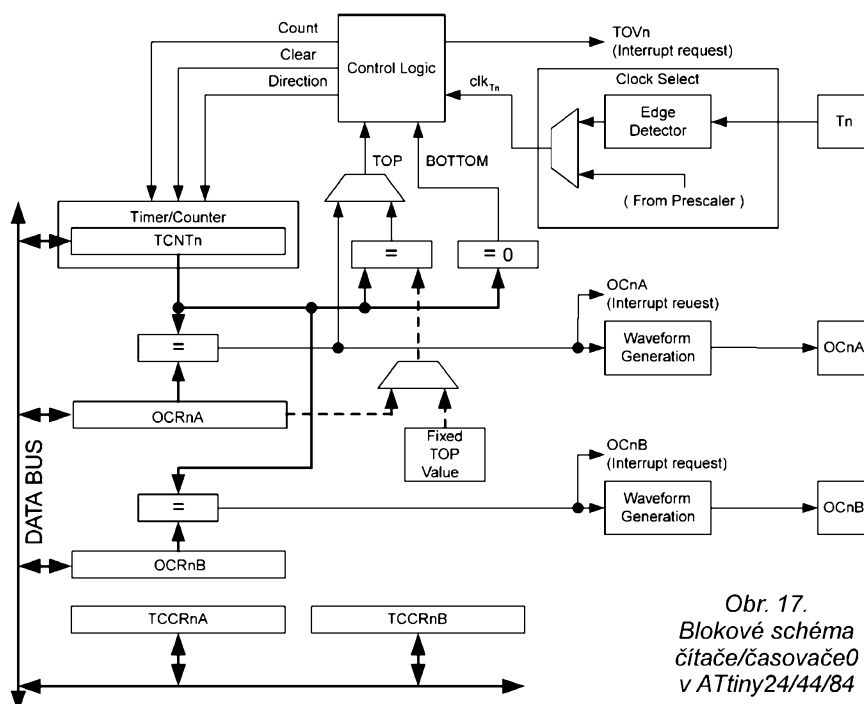
Stejnou funkci má i odvod Watchdog Timer. Tento timer musí být pravidelně v určitém intervalu uživatelským programem resetován, jinak je vyvolán opět klasický „studený“ restart mikrokontroléru. Tímto jednoduchým způsobem je zaručeno, že když program „zabloudí“ a s největší pravděpodobností pak nebude resetovat obvod

watchdog, bude po nastavené době vyvolán reset mikrokontroléru. Reset obvodu watchdog se provádí určitou sekvencí, která minimalizuje možnost falešného resetování tohoto obvodu.

Přerušení

U většiny mikrokontrolérů může být běh programového vybavení přerušen tzv. přerušením. Mikrokontroléry AVR, tedy i ATtiny 24/44/84, jsou představiteli řešení vektorového systému přerušení. To znamená, že každé události, např. přetečení čítače/časovače, vnějšmu přerušení či dokončení A/D převodu, je přiřazen samostatný vektor přerušení, nebo, chcete-li, adresa, na které se nachází obslužný program pro danou událost. Výhodou tohoto řešení je rychlá reakce na přerušeni, neboť není nutno programově zjišťovat, která událost žádá o přerušeni.

Samozřejmě toto řešení, stejně jako každá jiná věc, má i svá negativa. Těmito negativy jsou pevně dané priority,



a o něco složitější obvodové řešení. Z hlediska uživatele jsou nevýhodou pouze pevně dané priority, neboť obvodové řešení řadiče přerušení je záležitostí výrobce. Pevně dané priority jednotlivých událostí nemusí být velkým problémem, pokud uživatel provede pečlivě analýzu řešení a případně vhodně upraví řešení podle daných priorit.

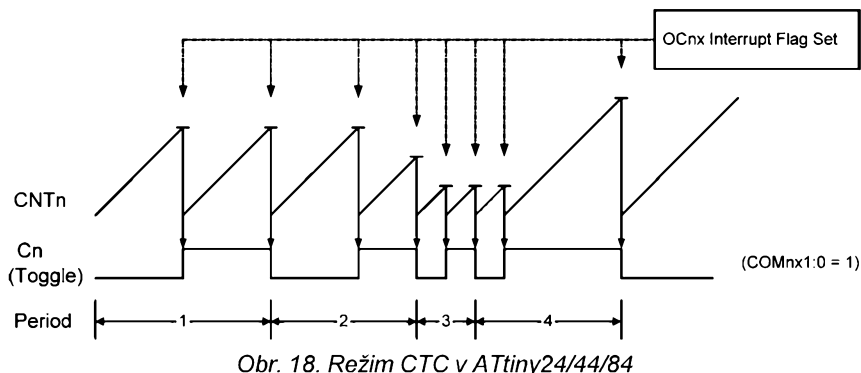
Čítač/Časovač0

I když se jedná „pouze“ o osmibitový čítač, jsou jeho možnosti velmi široké, což lze posoudit i z pouhého blokového schématu na obr. 17. Na obrázku můžeme např. vidět, že tento čítač disponuje dvěma jednotkami (kanály) PWM

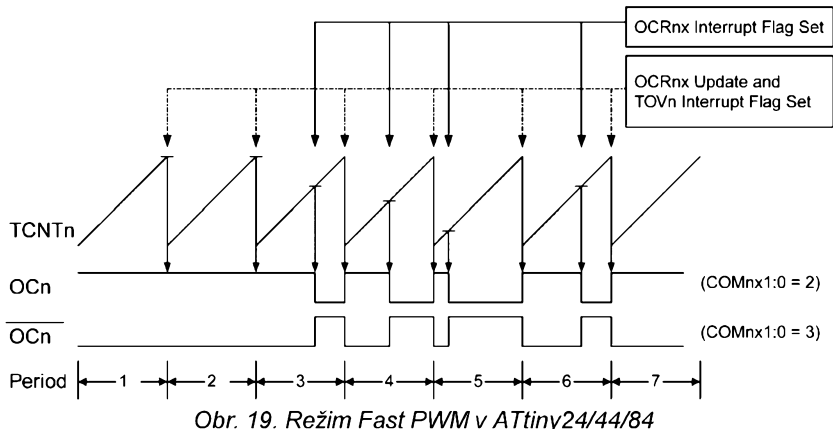
Základem tohoto v pravdě multifunkčního bloku je osmibitový čítač TCNTn, který dokáže čítat jak vnitřní hodinový kmitočet (režim časovače) z předřazeného předděliče, tak i vnější kmitočet (režim čítače). Důležitým faktem je také to, že čítač „umi“ čítat jak nahoru, tak i dolů. To je, jak uvidíme později, důležité v jednom módu generování PWM signálu (tzv. phase correct PWM mode).

Hodnota výstupu čítače je porovná-
vána dvěma jednotkami komparátorů.
Při dosažení shody uložené hodnoty
s hodnotou v registru čítače může být
generováno přerušení a/nebo změněn
stav výstupního bitu (generování signá-
lu PWM). Hodnota z registru OCRnA
(n=0) může být v jednom z implemen-
tovaných módů brána jako vrchní mez-
ní hodnota pro krácení cyklu čítače.

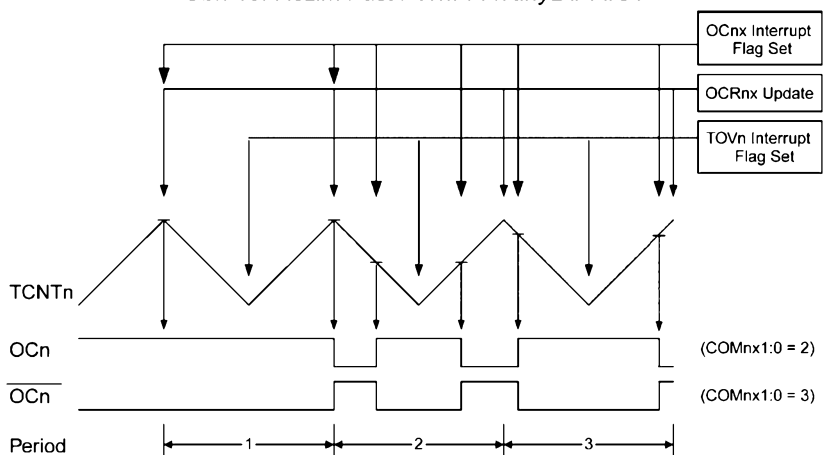
V tomto módu, nazvaném CTC (Clear Timer on Compare match), můžeme tedy měnit frekvenci generovaného PWM signálu i jeho střidu, což však vyžaduje programovou obsluhu. Situaci ilustruje obr. 18. Změna střidy nastala v periodě 2 následkem změny hodnoty registru OCRnA ($n=0$).



Obr. 18. Režim CTC v ATtiny24/44/84



Obr. 19. Režim Fast PWM v ATtiny24/44/84



Obr. 20. Režim Phase Correct v ATtiny24/44/84

Druhým režimem PWM, ve kterém může pracovat čítač/časovač, je tzv. „Fast PWM“ (obr. 19.). Základním rozdílem tohoto módu oproti předchozímu je fakt, že čítač při dosažení shody s hodnotou v registru OCRnA, případně OCRnB ($n=0$), není nulován, ale je pouze ovlivněn příslušný výstupní bit, a to tak, že při dosažení shody hodnoty čítače s hodnotou v registru OCRnA či OCRnB ($n=0$) je výstupní bit vynulován. Výstupní bit se nastaví do úrovně „log. 1“ při přetečení čítače. Zmínované hodnoty platí pro standardní mód ($COMn1:0=2$), v případě negovaného výstupu jsou opačné ($COMn1:0=3$). Hodnota v registrech OCRnA a/nebo OCRnB určuje tedy jen střidu, a nikoli frekvenci generovaného signálu PWM. Čítač je vynulován až po dosažení hodnoty TOP. Aby bylo možné měnit i periodu (resp. frekvenci) výstupního signálu, a ne jenom střidu, je možné využít registr OCRnA jako registr určující periodu výstupního signálu. Pro generování

signálu PWM nám tedy zbude v tomto případě pouze jeden kanál.

Výhodou tohoto režimu je dvojnásobná frekvence oproti módu „Phase Correct“. Je tudíž vhodný pro výkonové aplikace typu regulace výkonu, střídače, převodníky D/A a další. Díky vyšším frekvencím jsou potřebné filtrační indukčnosti a kapacity menší, a tudíž i součástky jsou méně rozměrné.

Posledním módem generování PWM signálu je již zmínovaný „Phase Correct“ mód (obr. 20). Při tomto módu čítač čítá nejdříve nahoru. Při dosažení hodnoty TOP počne čítat směrem dolů. Při dosažení hodnoty BOTTOM začne čítat opět směrem nahoru. Výstupní bit OCn se opět mění při dosažení shody hodnoty registru čítače s hodnotou v registru OCRnx, a to tak, že výstupní bit OCn se nastaví do stavu „log. 1“, pokud čítač čítá směrem dolů. Když čítač čítá směrem nahoru, při dosažení shody se nastaví výstupní bit OCn do stavu „log. 0“. Toto platí pro neinverto-

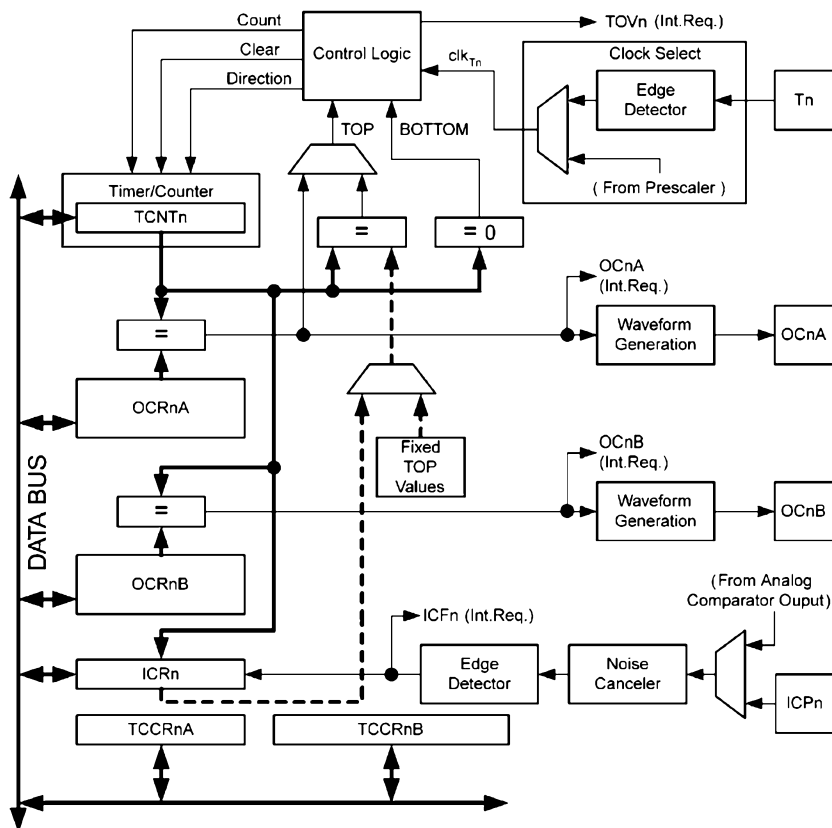
vaný mód ($COM0x1:0=2$). Popsanou situaci ilustruje obr. 20. Pokud se podíváme na uvedený obrázek pozorně, uvidíme, že signál PWM je symetrický okolo bodu dosažení hodnoty BOTTOM, tj. okolo bodu, ve kterém čítač mění směr čítání ze sestupného na vzestupné. V tomto bodě je též nastaven příznak TOVn. Aby byla tato symetrie zachována, je nutné zapisovat novou hodnotu do registru OCRnx v bodě dosažení hodnoty TOP, tj. v bodě, ve kterém se mění směr čítání ze vzestupného na sestupné. Je zde též nastavován příznak OCnx. Tento režim má sice maximální frekvenci výstupního signálu poloviční, než je maximální frekvence v módu „Fast PWM“, ale díky symetrii generovaných impulsů je vhodný pro řízení motorů.

Čítač/Časovač1

Podíváme-li se na blokové schéma (obr. 21) tohoto čítače/časovače, zjistíme, že se velmi podobá předchozímu čítači/časovači a hardwarově se liší pouze přidáním jednotkou „Input Capture Unit“.

Další změnou, která nemůže být na obr. 21 vidět, je přidání módu „Phase and Frequency Correct PWM“.

Největší změna, opět „neviditelná“ na obr. 21, se týká bitové šířky všech registrů, které jsou šestnáctibitové! To dává uživateli možnost mnohem přesněji generovat signály PWM. Na straně druhé, je obsluha šestnáctibitových registrů o trochu složitější, neboť datová sběrnice mikrokontroléru je pouze osmibitová. Problém úzké datové sběrnice byl vyřešen, a to elegantně, přidáním dočasných registrů pro vyšší byte šestnáctibitového slova a zápis či čtení do šestnáctibitového registru proběhne dvofázově. Při zápisu je nutné nejdříve zapsat vyšší byte, pak nižší byte. Při zápisu vyššího byte dat je tento byte vlastně zapsán do dočasných registrů. Operace zápisu nižšího byte provede nejenom vlastní zápis hodnoty do nižšího byte registru, ale též způsobí přepis hodnoty z dočasných registrů do vyššího byte. Tímto jednoduchým a elegantním způsobem je ošetřena situace zápisu šestnáctibitové hodnoty. Při vlastním zápisu je nutné si uvědomit dvě fakta. Prvním faktem je, že dočasný registr je v mikrokontroléru jenom jeden, což znamená, že tento registr je společný pro všechny šestnáctibitové registry periférií. Druhý fakt vyplývá z prvního, neboť vlastní zápis do šestnáctibitového registru se sestává ze dvou instrukcí. Nebezpečí se nazývá přerušení. Musíme si uvědomit, že přerušení může být vyvoláno mezi první a druhou instrukcí zápisu, a pokud se ve vyvolaném přerušení přepíše hodnota dočasných registrů, bude po návratu z přerušení do vyššího byte zapsána jiná hodnota, než byla v dočasných registrech před přerušením. Proto je nutné před vlastním zápisem zakázat všechna přerušení a po vlastním zápisu přerušení hned povolit.



Obr. 21. Čítač/časovač1 v ATtiny24/44/84

Uvedme si příklad zápisu do registru TCNT1 v jazyku symbolických adres, neboli v assembleru:

```
write_TCNT1:
in    r18,SREG      ;uschovej stav
cli                    ;registru přerušení
;zakaž všechna přerušení
out   TCNT1H,r17    ;zapiš vyšší byte do
;dočasněho registru
out   TCNT1L,r16    ;zapiš nižší byte
;registru + vyšší
;byte z dočasněho
;registru
out   SREG,r18      ;obnov stav registru
ret                    ;přerušení
```

Obdobně je nutné provádět i čtení z šestnáctibitových registrů:

```
Read_TCNT1:
in    r18,SREG      ;uschovej stav re-
cli                    ;gistru přerušení
;zakaž všechna přerušení
in    r16,TCNT1L    ;čti nižší byte re-
;gistru + vyšší byte
;do dočasněho regis-
;tru
in    r17,TCNT1H    ;čti vyšší byte z
;dočasněho registru
out   SREG,r18      ;obnov stav registru
ret                    ;přerušení
```

Pokud někdo píše programy v jazyku C, čtení by vypadalo následovně:

```
unsigned int Read_TCNT1( void )
{
    unsigned char sreg;
    unsigned int i;
    sreg = SREG;
    /* uschovej stav re-
    gistru přerušení */
    _CLI();
    /* zakaž všechna
    přerušení */
    i = TCNT1;
    /* Prečti obsah re-
    gistru TCNT1 a
    uschovej ho v i */
}
```

```
SREG = sreg; /* obnov stav regis-
return i;    /* vrať hodnotu re-
            /* gistru TCNT1 */
}
```

Analogicky bude vypadat zápis:

```
void write_TCNT1(unsigned int i )
{
    unsigned char sreg;
    sreg = SREG;
    /* uschovej stav re-
    gistru přerušení */
    _CLI();
    /* zakaž všechna
    přerušení */
    TCNT1 = i;
    /* Zapiš hodnotu do
    registru TCNT1 */
    SREG = sreg;
    /* obnov stav regis-
    tru přerušení */
    return;
    /* konec */
}
```

Pokud se někdo diví, proč je nutné provádět zápis či čtení do šestnáctibitových registrů takto složitě, měl by si

uvědomit, že řada registrů mění svoji hodnotu průběžně. Příkladem nechť je právě registr TCNT1, který může být inkrementován či dekrementován každým hodinovým takt, takže pokud bychom prováděli zápis či čtení do/ze šestnáctibitového registru dvěma samostatnými instrukcemi, nemusí si přečtené či zapsané hodnoty odpovídat (druhý byte může být mezitím inkrementován či dekrementován), což může vést k nedefinovaným výsledkům.

Novou částí, která se u osmibitového čítače/časovače0 nevyskytuje, je vstupní záchytný registr (Input Capture Register). Tento registr je schopen zachytit stav čítače/časovače1 („čas“) v okamžiku výskytu události na pinu ICP1 nebo změně stavu interního napětového komparátoru. Blokové schéma popisované jednotky ICR1 je na obr. 22. Tato jednotka je vhodná např. pro měření časové „vzdálenosti“ dvou událostí, což je např. užitečné pro reciproké měření frekvence.

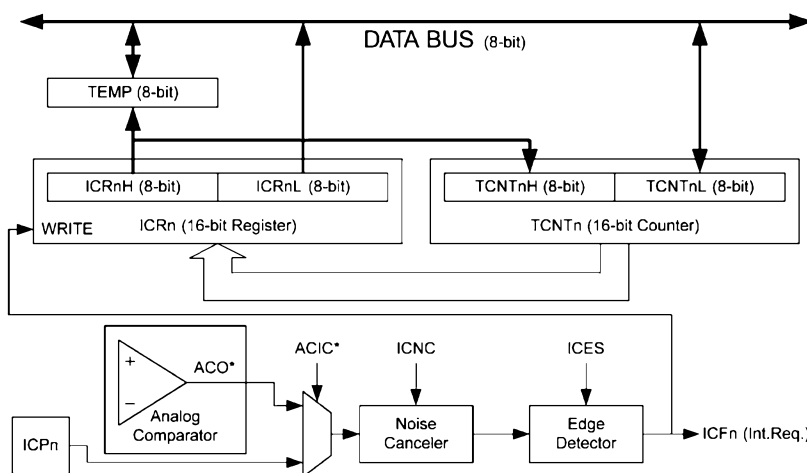
Jak již bylo řečeno, další odlišností čítače/časovače1 oproti čítači/časovači 0 je přidání jeden nový mód umožňující generovat PWM. Tento mód je pokračováním „Phase Correct“ módu a nazývá se „Phase and Frequency Correct Mode“.

Tento mód zachovává správné nejen fázové poměry výstupního signálu, ale též i frekvenci. Výstupní signál generovaný v tomto módu je na obr. 23.

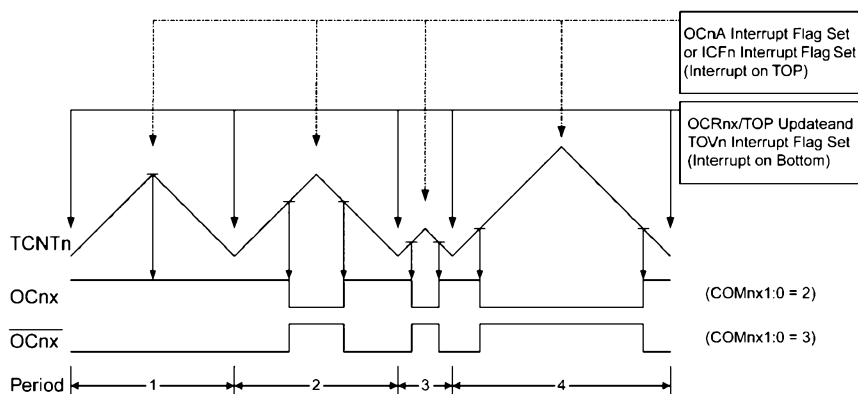
Obsah registru při tomto režimu je aktualizován v okamžiku dosažení hodnoty BOTTOM. K příjemným vlastnostem čítače/časovače1 je možné počítat i možnost definice hodnoty TOP nejnem registrem OCR1A, ale též registrem ICR1, takže v případě použití ICR1 pro hodnotu TOP nám zbývají pro generování signálu signálů PWM stále dva kanály.

Analogový komparátor

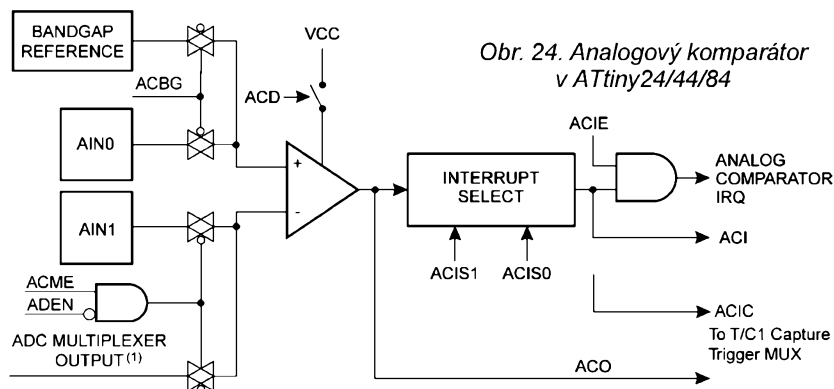
Protože reálný svět je v podstatě analogový, je v mnoha případech potřebné snímat či měřit nějakou analogovou veličinu. V té chvíli přijde vhod A/D převodník, avšak v celé řadě případů stačí pouhý analogový komparátor.



Obr. 22. Jednotka Input Capture v ATtiny24/44/84



Obr. 23. Režim Phase a Frequency Correct Mode v ATtiny24/44/84



Obr. 24. Analogový komparátor v ATtiny24/44/84

Tento komparátor najdeme integrovaný i v právě představovaném mikrokontroléru. Blokové schéma je na obr. 24. I když svým zapojením velmi připomíná mnoho podobných komparátorů, přesto prošel několika pozitivními změnami.

První změnou je interní napěťová reference 1,1 V (typicky), která může, ale nemusí být připojena na neinvertující vstup komparátoru. Na negativní vstup komparátoru lze přivést buď signál z pinu AN1 nebo, což je přínosem, ze vstupního analogového multiplexeru přepřazeného internímu A/D převodníku, takže můžeme porovnávat napětí z celkem osmi externích vstupů.

Komparátor lze nakonfigurovat tak, že při definované změně (sestupná hrana, vzestupná hrana či jakákoliv změna) na výstupu vyvolá přerušování.

Výstup komparátoru je též zaveden do čítače/časovače 1, přesněji do „Input Capture Unit“. Tato jednotka je schopna zachytit do záchytného registru stav volně běžícího čítače této jednotky a tím vlastně určit čas změny výstupu komparátoru.

A/D převodník

Jak již bylo řečeno, je v mnoha aplikacích třeba měřit analogové veličiny, a protože je mikrokontrolér nedokáže zpracovat v této formě, musí se převést do formy číselkové. Někde stačí pouhý komparátor, jinde se neobejdeme bez A/D převodníku. Proto v tomto mikrokontroléru najdeme poměrně kvalitní desetibitový A/D převodník pracující metodou postupné aproximace (tzv. successive approximation), jehož schéma je na obr. 25.

Vlastnosti převodníku jsou dány použitou metodou. Doba převodu se může pohybovat v rozsahu 13 až 260 μ s, tj. převodník je schopen provést maximálně 76 900 převodů/s. Pokud někoho zarazí, že je uvedena i dolní mez (nejdelší doba převodu), která je 260 μ s, je to jednak z důvodů rušení analogové

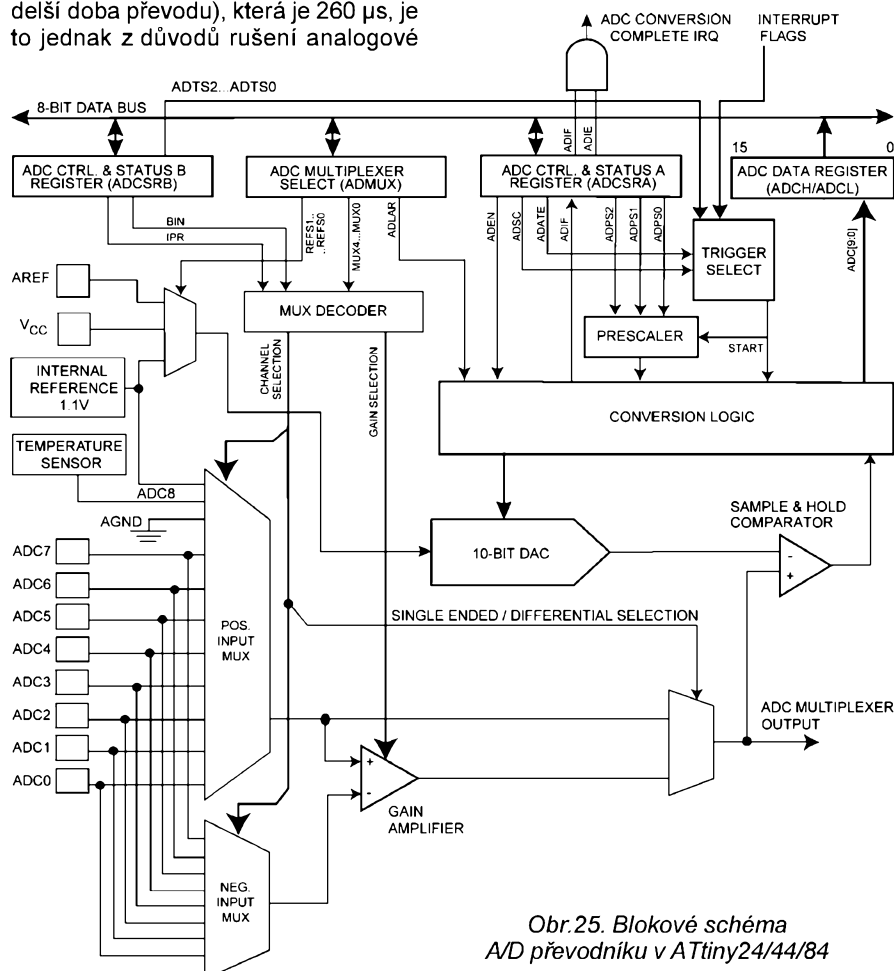
části částí digitální, jednak proto, že převodník je navržen jako dynamický a nikoliv statický.

Při pozorném studiu datasheetu lze narazit na údaje o přesnosti převodu a o různých chybách v závislosti na době převodu. Podle očekávání jsou chyby převodu minimální v oblasti středních dob převodu. Optimální taktovací kmitočet pro převodník je řádově 200 kHz (A/D převodník má svoji děličku, takže je možné volit rychlost převodu celkem z celkem sedmi možností, viz obr. 26), přičemž plná přesnost převodu je zachována do asi 15 ks/s (15 000 převodů/s).

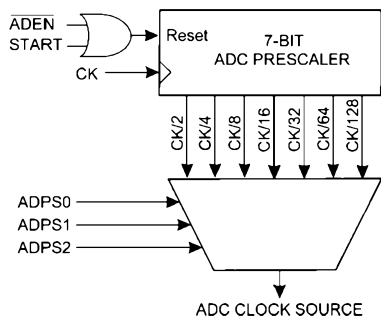
Vlastnímu převodníku je předřazen obvod S&H a analogový multiplexer, který dovoluje využít až všech osm pinů brány A jako analogových vstupů převodníku. Výrobce udává, že mikrokontrolér disponuje až 8 SE vstupy nebo až 12 diferenčními vstupy. Pokud je v aplikaci zapotřebí měřit malá napětí, ani pak není nutné používat externí zesilovač, neboť A/D převodník disponuje možností zesílit signál 20x.

Vstupní analogový multiplexer má však kromě osmi externích vstupů ještě další tři interní. Jeden má potenciál analogové země, druhý je připojen na interní teplotní senzor, který může měřit teplotu čipu, a na zbylé třetí je připojena napěťová reference 1,1 V.

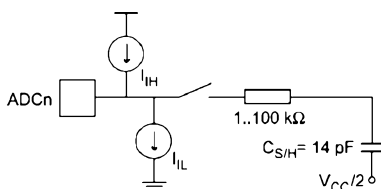
Jako napěťovou referenci lze použít buď právě jmenovanou interní referenci 1,1 V, nebo externí referenci, či přímo napájecí napětí mikrokontroléru.



Obr. 25. Blokové schéma A/D převodníku v ATtiny24/44/84



Obr. 26. Předdělička A/D převodníku v ATtiny24/44/84



Obr. 27. Analogový vstup A/D převodníku v ATtiny24/44/84

Převodník může pracovat v jednom ze dvou módů - jednorázovém nebo kontinuálním.

Aby se zmenšilo rušení při vlastním převodu, lze uvést mikrokontrolér do režimu se sníženou spotřebou nazvaného „ADC Noise reduction mode“, při kterém je rušení digitální části zanedbatelné. Převodník tak má daleko lepší podmínky pro měření a tudíž vlastní převod by měl být přesnější.

Při návrhu zařízení, ve kterém budeme využívat převodník, si musíme dát pozor na několik věcí, jež mohou negativně ovlivnit měření.

V první řadě je to vhodný návrh desky s plošnými spoji. Dále je to vzpomínaný vysoký nebo nízký řídicí kmitočet převodníku. Taktéž nesmíme zapomenout na to, že nějakou dobu trvá nabití vzorkovacího kondenzátoru, takže pokud je vstupní kmitočet příliš vysoký, můžeme dojít při měřeních k úplně chybným výsledkům. Podobné problémy může způsobit velký vnitřní odpor objektu, jehož napětí chceme měřit.

Problémová místa můžeme odhalit, podíváme-li se na náhradní zapojení analogového vstupu A/D převodníku.

V první řadě jsou to proudy I_{IH} a I_{IL} . I když jsou malé (kolem 0,05 μA), mohou vyvolat falešný úbytek na vnitřní impedanci zdroje signálu. Chyba vyvolaná těmito proudy bude tím větší, čím bude impedance zdroje měřeného signálu větší.

Druhým problémovým místem, ve kterém může vyšší impedance zdroje měřeného signálu sehrát roli, je doba vzorkování. Čím je impedance vyšší, tím musí být doba vzorkování delší.

Aby bylo možné využívat plně schopností popisovaného A/D převodníku, musí být impedance zdroje signálu rovna nebo nižší než 10 k Ω . Pokud bude impedance vyšší, může chyba měření narůstat díky faktu, že se vzorkovací kondenzátor nestačí nabít na napěťovou úroveň měřeného zdroje signálu.

Dalším zdrojem chyb může být nevhodný návrh desky s plošnými spoji. Pokud chceme měřit s co nejvyšší přesností, měli bychom analogové spoje dělat co nejkratší. Analogová zem by měla být spojena s digitální v jednom místě. Všechny analogové části by měly být vzdáleny co možná nejvíce od digitálních signálů s vyšší frekvencí. Tyto signály jsou většinou obdélníkového tvaru, takže obsahují řadu harmonických, a čím vyšší frekvenci má signál, tím lépe se přenáší přes parazitní kapacity mezi plošnými spoji. Z tohoto důvodu by analogový a digitální signál neměly mít spoje blízko u sebe a tyto spoje by neměly být souběžné.

V neposlední řadě je dobré pamatovat na to, že rušení je generováno i samotným čipem (hodinový signál, řídicí kmitočty pro periferie atd.), a je tudíž vhodné používat při měření pomocí A/D převodníku mód se sníženou spotřebou, ve kterém je rušení čipem minimalizováno (ADC Noise reduction mode). Při používání tohoto módu si je nutné uvědomit, že i jakýkoliv jiné povolené přerušení může ukončit tento mód.

Popis tohoto mikrokontroléru ukončíme uvedením jeho spotřeby, která činí typicky 6 mA při napájení 5 V a frekvenci 8 MHz. Pokud provozujeme mikrokontrolér při napájecím napětí 3 V a frekvenci 4 MHz, bude jeho spotřeba činit pouhé 2 mA. Při tomto napájení je

v režimu Power-down mode při zapnutí WDT odběr pouhé 4 μA a odběr může dále klesnout na 0,15 μA v případě, že funkci obvodu WDT zakážeme.

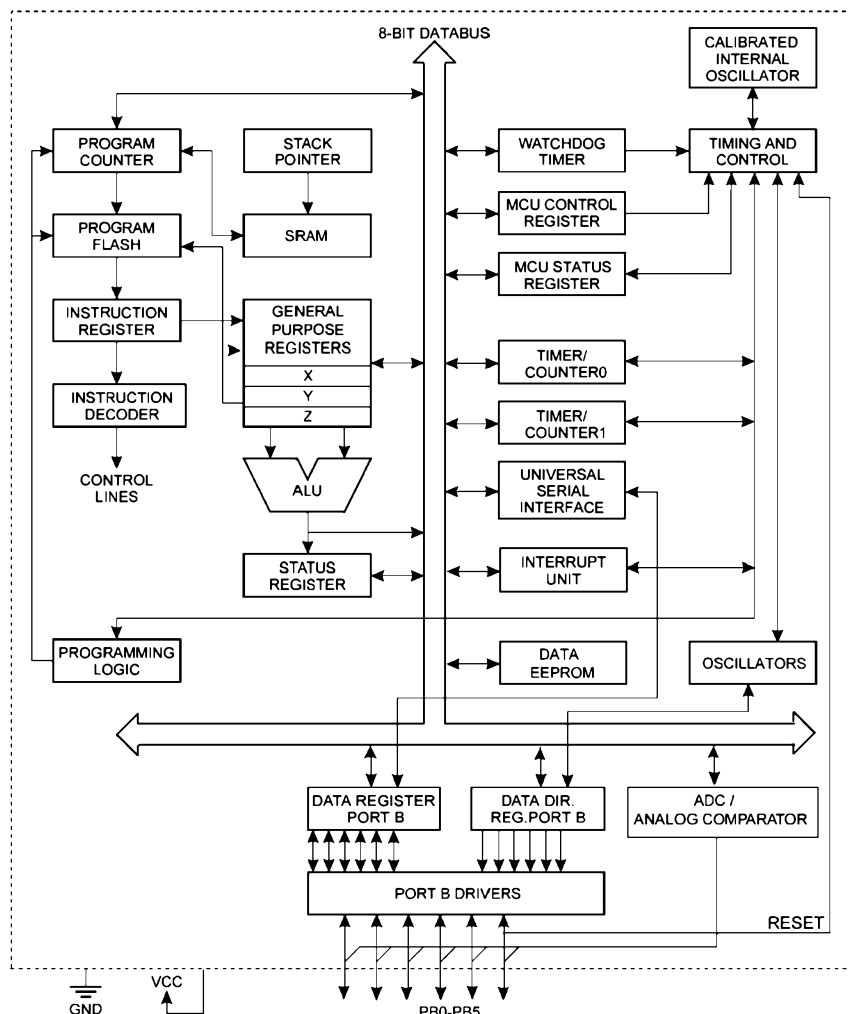
Závěrem lze tedy konstatovat, že tento mikrokontrolér je vhodný pro široké spektrum aplikací včetně aplikací napájených z baterií, kdy velkou roli hraje i spotřeba.

ATtiny25/ATtiny45/ /ATtiny85

Už jen velmi podobný název by mohl svádět k myšlence, že jde pouze o mikrokontrolér shodný s ATtiny24/44/84 v osmivývodovém pouzdru.

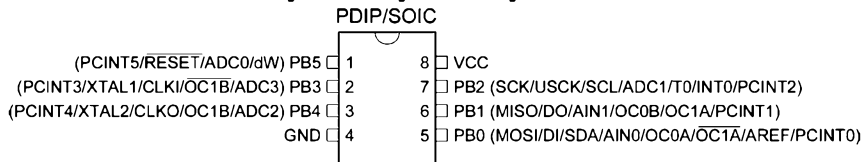
Toto je pravdivé pouze částečně, jak můžeme vidět na blokovém schématu na obr. 28a. Předně zde najdete pouze jediný I/O port, přičemž každý z pinů má několik funkcí (kromě dvou napájecích pinů) - viz obr. 28b. Na toto je nutné pamatovat, neboť i když je tento mikrokontrolér co do počtu periférií vybaven velmi dobře, můžeme se dostat do situace, kdy potřebujeme funkce, které jsou sdíleny na jednom pinu.

Zde je několik příkladů. Na pinu 7 (I/O bit PB2) najdeme následující „funkce“ - SCK, USCK, SCL, ADC1, T0, INT0 a PCINT2. To znamená, že pokud chceme používat externí vstup čítače/časovače 0, označený jako T0, NEMŮ-

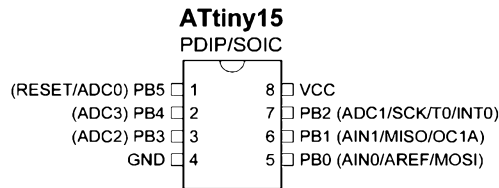


Obr. 28a. Blokové schéma mikrokontrolérů ATtiny25/45/85

ATTiny25 ATTiny45 ATTiny85



Obr. 28b.
Zapojení vývodů
mikrokontrolérů
ATTiny25/45/85
a ATTiny15



Tab. 3. Přerušení v mikrokontrolérech ATTiny24/44/84 a ATTiny25/45/85

ATTiny 24/44/84			ATTiny25/45/85		
Adresa	Přerušení	Zdroj	Přerušení	Zdroj	
0x0000	RESET	Externí pin, Power-on Reset, Brown-out reset, Watchdog	RESET	Externí pin, Power-on Reset, Brown-out reset, Watchdog	
0x0001	INT0	External Interrupt Request 0	INT0	External Interrupt Request 0	
0x0002	PCINT0	Pin Change Interrupt Request 0	PCINT0	Pin Change Interrupt Request 0	
0x0003	PCINT1	Pin Change Interrupt Request 1	TIMER1_COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A	
0x0004	WDT	Watchdog Time-out	TIMER1_OVF	Timer/Counter1 overflow	
0x0005	TIMER1_CAPT	Timer/Counter1 Capture Event	TIMER0_OVF	Timer/Counter0 overflow	
0x0006	TIMER1_COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A	EE_RDY	EEPROM Ready	
0x0007	TIMER1_COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B	ANA_COMP	Analog Comparator	
0x0008	TIMER1_OVF	Timer/Counter1 overflow	ADC	ADC Conversion Complete	
0x0009	TIMER0_COMPA	Timer/Counter0 Compare Match A	TIMER1_COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B	
0x000A	TIMER0_COMPB	Timer/Counter0 Compare Match B	TIMER0_COMPA	Timer/Counter0 Compare Match A	
0x000B	TIMER0_OVF	Timer/Counter0 overflow	TIMER0_COMPB	Timer/Counter0 Compare Match B	
0x000C	ANA_COMP	Analog Comparator	WDT	Watchdog Time-out	
0x000D	ADC	ADC Conversion Complete	USI_START	USI START	
0x000E	EE_RDY	EEPROM Ready	USI_OVF	USI Overflow	
0x000F	USI_START	USI START			
0x0010	USI_OVF	USI Overflow			

ŽEME již použít sériový port USI, neboť tento bit portu je jím využívám pro synchronizační signál (hodiny). Jako další příklady mohou sloužit piny 6 a 5 (I/O bity PB1 a PB0), na kterých jsou, kromě jiných signálů, sdíleny výstupy generátorů PWM signálu. Na pinu 6 to je signál OC0B (čítač/časovač0) a OC1A (čítač/časovač1), na pinu 5 to je pak OC0A a nOC1A. I když to může být někdy velmi nepříjemné, nezbyvá, než se s tím smířit, neboť se jedná o mikrokontrolér s velmi malým počtem pinů.

Dalším nepříjemným zjištěním, když bychom hovořili o tomto mikrokontroléru jako následníkovi ATTiny24/44/84, je fakt, že priority jednotlivých přerušení u obou mikrokontrolérů nejsou stejné. Situace je zřejmá z tab. 3.

V tab. 3 jsou šedivým podkladem zvýrazněny některé možné problematické změny v prioritě přerušení. Např. přerušení EE_RDY má u mikrokontrolérů ATTiny24/44/84 jednu z nejnižších priorit, zatímco u ATTiny25/45/85 je prioritou tohoto přerušení mnohem vyšší. Při přenosu programového vybavení z jednoho mikrokontroléru na druhý je důležité na tento fakt pamatovat, jinak se může stát, že programové vybavení

běžící bezchybně na jednom typu bude po pouhém přenesení na typ druhý pracovat chybně.

Samozřejmě, kromě zmiňovaných problematických míst, má mikrokontrolér mnoho zajímavých vlastností a periférií.

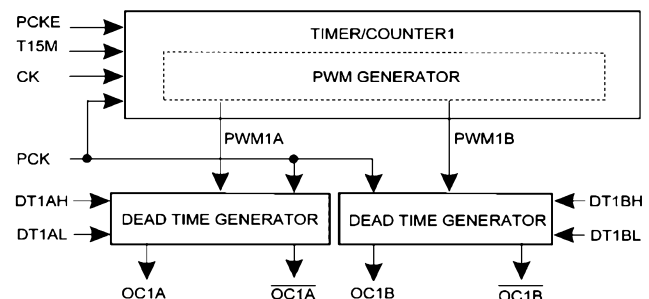
Jako příklad uvedme podobnost se starším mikrokontrolérem stejné rodiny, a to s ATTiny15. Srovnáme-li zapojení vývodů, zjistíme, že je totožné, pouze ATTiny25/45/85 má na jednotlivých pinech více periférií. Je tedy více než jasné, že konstruktéři se mají orientovat na nový typ ATTiny25/45/85 a ATTiny15 pravděpodobně nebude do budoucna perspektivní. Těto úvaze napovídá i možnost přepnout čítač/časovač do režimu kompatibility s ATTiny15.

Jelikož mnoho funkcí je podobných s předchozím typem, a tento popis nemá nahrazovat datasheet výrobce, nebudou zde popsány do detailů možnosti periférií, ale bude pouze upozorněno na zajímavé vlastnosti. Zájemce o podrobný popis funkcí jednotlivých periférií odkazují laskavě na webové stránky výrobce www.atmel.com.

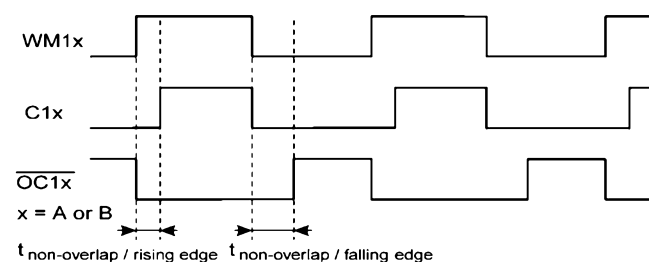
Jednou ze zajímavých periférií mikrokontroléru je tzv. "Dead Time Generator", jehož funkce navazuje na generování signálu PWM, a jehož ideové schéma je na obr. 29.

O co vlastně jde a k čemu lze tento generátor využít? Posláním tohoto generátoru je umožnit správné buzení výkonových tranzistorů ve spínaných zdrojích. Jak každý ví, spínací tranzistory potřebují jistý čas na to, aby přešly z vodivého stavu do vypnutého. Teprve pak může být zapnut druhý tranzistor z páru (v zapojení „Half-bridge“, buzení komplementárními signály OC1A a nOC1A či OC1B a nOC1B). Pokud nedáme prvnímu tranzistoru čas na uzavření a zapneme druhý, budou po jistou krátkou dobu zapnuty oba, což představuje zkrat napájení. Kromě vyšší spotřeby budou oba tranzistory namáhány velkými proudy. Abychom tomu předešli, nesmí být oba zmiňované výstupy pouhou vzájemnou negací, ale musí být mezi jednotlivými přechody jistá krátká doba, která poskytne vodivému tranzistoru čas na to, aby přešel do nevodivého stavu. Průběhy takového signálu jsou na obr. 30. Je zde vidět, že obě doby mohou být různé, což je vhodné, neboť časové kon-

Obr. 29.
Ideové schéma
obvodu Dead
Time Generator
v ATTiny25/45/85



Obr. 30.
Signály
z Dead Time
generátoru



stanty různých tranzistorů a pomocných obvodů se mohou navzájem lišit.

Z uvedeného příkladu zajímavé periferie je vidět, kde všude mohou být použity nové mikrokontroléry s malým počtem pinů - i v inteligentních spínaných zdrojích. Že je to dobrá myšlenka je patrné i z toho, že čítač/časovač1 je schopen pracovat v asynchronním módu na frekvenci až 64 MHz. Při práci v tomto režimu si musíme dát pozor, neboť díky několikařím bufferům nastává určité zpoždění.

Stejný čítač/časovač1 byl již použit v ATtiny26L, takže čtenáře odkazují na popis, který byl uveden v KE 1/2003 na straně 18, obr. 1.37.

Stručné představení tohoto malého, ale jistě výkonného mikrokontroléru zakončíme konstatováním, že i zde výrobce implementoval možnost „Self-programming“, tj. najdeme zde instrukce LPM a SPM. Paměť Flash pro program lze díky těmto instrukcím použít jako velkou paměť konstant či kalibračních dat.

ATmega48/ATmega88/ /ATmega168

I když řada mikrokontrolérů ATtiny je široká, její možnosti jsou omezené, a to zejména v oblasti aplikací, kde je potřeba více pinů a více periférií, tedy v případě složitějších aplikací.

Obě řady, ATtiny a ATmega, se nepřekrývají, ale téměř plynule na sebe navazují. Představme si tedy nejmenší nově zástupce rodiny ATmega, ve kterých jsou implementovány zkušenosti získané od uživatelů prvních mikrokontrolérů AVR ATmega (např. ATmega103,...).

ATmega48/88/168 tvoří jakousi malou řadu mikrokontrolérů lišících se velikostí paměti Flash, EEPROM a SRAM.

Přečteme-li si v originálním katalogovém listu alespoň základní vlastnosti, a známe-li historii mikrokontrolérů AVR, budou nám tyto mikrokontroléry připadat, jako kdybychom je už někde viděli.

Tento pocit je správný, neboť za vzor posloužila ATmega8. ATmega8 byl svého času nejmenší zástupce řady ATmega. Jeho výhodou byla cena, nevýhodou absence rozhraní JTAG pro ladění programů. Zřejmě na tlak uživatelů firma ATMEL přišla s novou verzí a to ne s jednou, ale hned se třemi.

Blokové schéma mikrokontrolérů je na obr. 31. Co není vidět na tomto obrázku, ale co jistě potěší vývojáře, je fakt, že rozložení vývodů periférií, je u ATmega8 a u těchto nových mikrokontrolérů totožné. Stejně jako v případě posledně jmenovaných zástupců řady ATtiny, mají nové mikrokontroléry na jednotlivých pinech sloučené mnohem více periférií než ATmega8.

Zdroje řídicího kmitočtu

Potěšujícím faktem jsou bohaté možnosti taktování jak z externích zdrojů, tak i ze dvou interních zdrojů kmitočtu - z oscilátoru 128 kHz a kalib-

rovaného oscilátoru 8 MHz. Oscilátor je výrobcem kalibrován při napájecím napětí 3 V a okolní teplotě 25 °C. Přesnost nastavení je $\pm 10\%$ s tím, že je možné tuto přesnost zvětšit dostavením tohoto oscilátoru na přesnost $\pm 2\%$ pomocí kalibrační konstanty OSCCAL. Při používání této konstanty pro nastavení je nutné nezapomenout na skokovou změnu kmitočtu v oblasti hodnoty 128 (viz obr. 15 a popis u mikrokontroléru ATtiny24/44/84).

debugWIRE®

I když tyto mikrokontroléry patří do rodiny ATmega, je u nich, kvůli nízkému počtu pinů, implementováno ladící rozhraní **debugWIRE®**, používané u řady ATtiny.

Čítač/časovač0

I když se jedná „pouze“ o osmibitový mikrokontrolér, jsou jeho možnosti oproti ATmega8, kde byl čítač schopen čítat pouze modulo 256, podstatně rozšířeny. Jedná se především o možnost generovat signál PWM. Jelikož se schopnosti tohoto čítače/časovače0 shodují se stejným čítačem/časovačem0 mikrokontroléru ATtiny24/44/84 (obr. 17), odkazují čtenáře na tento popis.

Čítač/časovač1

Tento šestnáctibitový čítač/časovač nedoznal žádných změn oproti svému

vзору u ATmega8 či ATtiny24/44/84. Vzhledem k jeho univerzálnosti a schopnostem lze říci, že je to jen dobře.

Čítač/časovač2

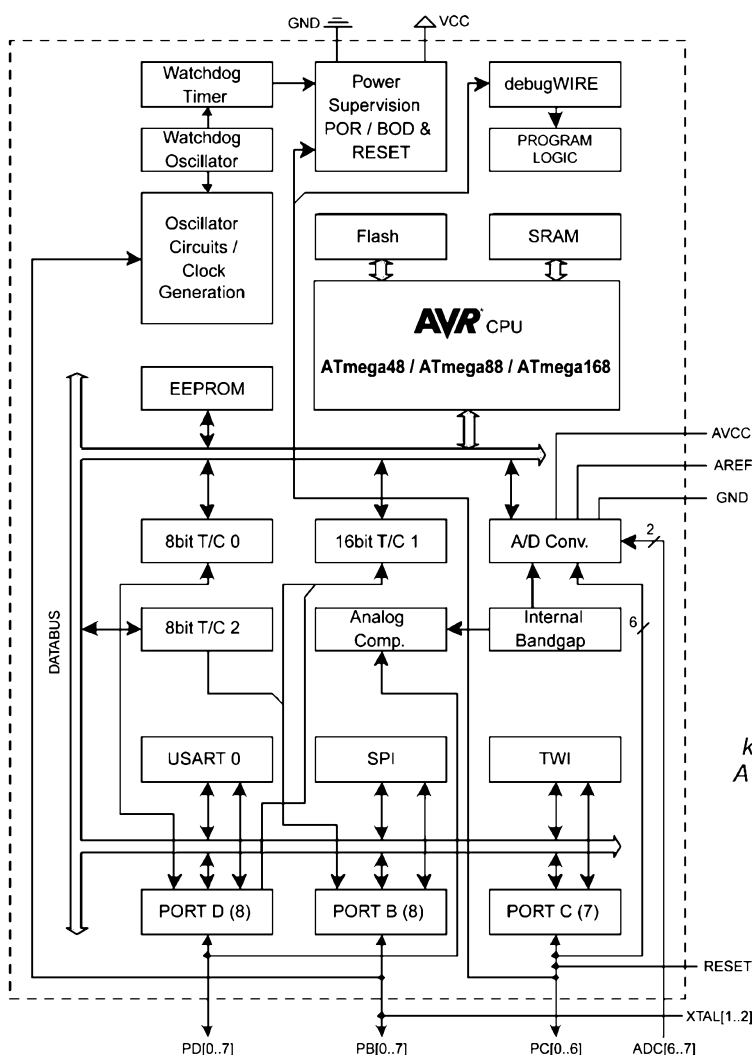
Tento čítač je opět osmibitový, ale má schopnost pracovat v asynchronním módu. To je důležité např. pro situace, kdy chceme čítač využít jako obvod RTC. Ostatně k tomuto účelu vybavil výrobce mikrokontrolér oscilátorem s malým příkonem určeným pro krystaly 32 768 Hz. Možnosti čítače/časovače2 jsou velmi široké, neboť zde najdeme dvě jednotky „output compare“, které jsou schopny generovat signál PWM.

Asynchronní mód představuje zdroj možných problémů, neboť zápis do registrů čítače neproběhne hned, ale se zpožděním daným vyrovnávacími registry. Pokud tedy nedodržíme doporučení výrobce, může být tento čítač/časovač2 v asynchronním módu zdrojem nestabilního a nepredikovatelného chování celé aplikace.

Sériové rozhraní SPI

Toto sériové rozhraní je velmi často využíváno i u jiných mikrokontrolérů a bylo o něm již mnoho řečeno, takže bude představeno pouze stručně.

Je to plně duplexní třívodičové rozhraní používané většinou pro komunikaci mezi řídicím mikrokontrolérem a



Obr. 31.
Blokové
schéma
mikro-
kontrolérů
ATmega48/
/88/168

periferiemi, i když je možné jej použít i pro komunikaci mezi mikrokontroléry navzájem.

U implementované verze jsou podporovány všechny čtyři pracovní módy, můžeme si vybrat ze sedmi přenosových rychlostí, můžeme generovat přerušení při ukončení přenosu, rozhraní je schopné vzbudit mikrokontrolér z Idle režimu.

Zajímavostí tohoto rozhraní je fakt, že je použito pro programování vnitřních pamětí FLASH a EEPROM při sériovém programování (zápis i čtení).

Sériové rozhraní USART

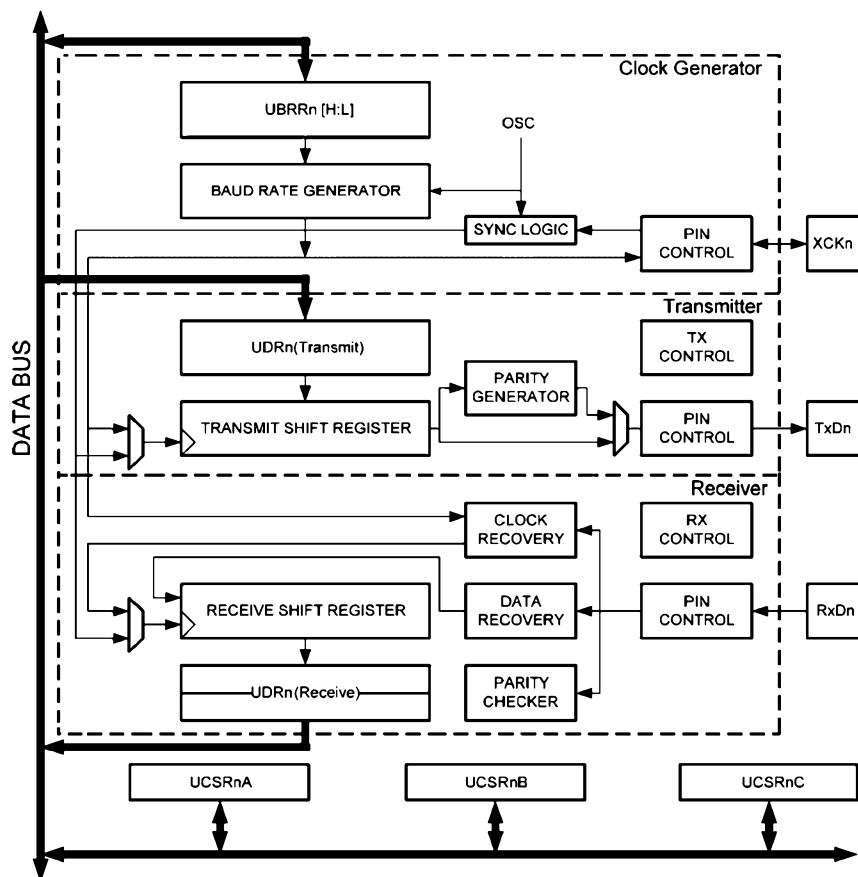
Zcela určitě nejvíce bylo psáno v literatuře o asynchronním sériovém přenosu a dodnes patří toto rozhraní ke stále hojně využívanému při přenosu dat. Přesto se u tohoto rozhraní, či spíše způsobu, jak bylo toto rozhraní implementováno v tomto mikrokontroléru, na chvíli zastavíme. Blokové schéma rozhraní je na obr. 32.

První příjemnou zprávou je, že USART má dedikovaný generátor přenosové rychlosti. Díky tomuto dvanáctibitovému generátoru je schopen sériový port pracovat v širokém rozsahu přenosových rychlostí. Např. při hodinovém taktu 16 MHz je rozsah přenosových rychlostí od 244 Bd do 1 MBd. Blokové schéma generátoru přenosových rychlostí je na obr. 33.

Další pozitivní zprávou pro konstruktéry a programátory je vlastní zpracování signálu přicházejícího signálu, které pamatuje na zhoršené podmínky při přenosu. Přijímaný signál je vzorkován několikrát během doby jednoho bitu tak, aby bylo maximálně potlačena možná chyba nesprávného vyhodnocení úrovně přijímaného bitu.

Prvním krokem úspěšného příjmu vyslaných dat přes asynchronní sériový kanál je kvalitní detekce tzv. start bitu. Pro kvalitní detekci se stav start bitu testuje celkem v šestnácti (nebo v osmi) okamžicích. Vzorkování ve více okamžicích má za úkol odstranit možnost chybné detekce start bitu při rušení sériové linky. Zmiňovaný způsob detekce start bitu je znázorněn na obr. 34. Pokud je linka ve stavu High (Idle, klid), vlastní čítač počtu vzorků je stále nulován. V okamžiku, kdy je detekován přechod z úrovně High do Low, počne čítač čítající vzorky vstupního signálu čítat. Pro uznání start bitu jako platného jsou rozhodující vzorky 8, 9 a 10 (při režimu U2X to jsou vzorky 4, 5 a 6). Pokud dva a více vzorků bude mít hodnotu High, jedná se s větší pravděpodobností o rušení na lince („glitch“) než o skutečný start bit. Logika sériového portu počne tedy čekat na nový přechod z úrovně High na Low. Pokud však dva a více vzorků mají hodnotu Low, je uznán tento stav jako regulérní start bit a logika počne přijímat jednotlivé datové bity.

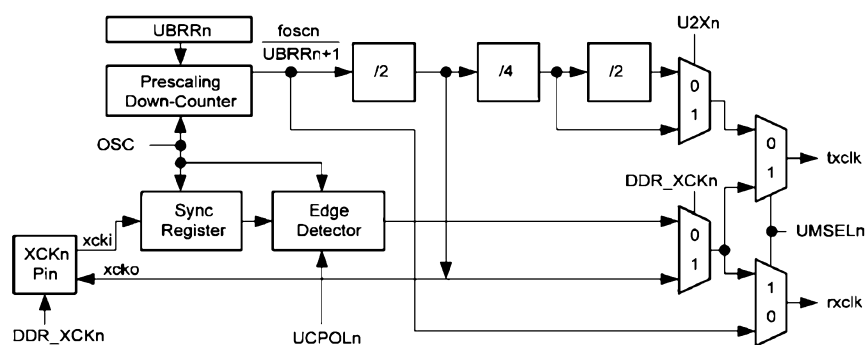
Pokud byl přechod High na Low vyhodnocen jako start bit, přichází na



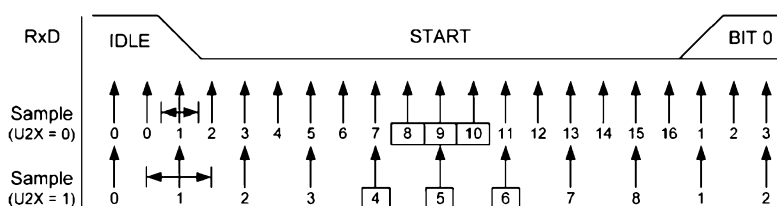
Obr. 32. Rozhraní USART v ATmega48/88/168

řadu vlastní příjem dat. Dekódování dat má na starosti stavový automat, který má celkem 16 vnitřních stavů (v režimu U2X jen 8 stavů). Díky synchronizaci na start bit a faktu, že doba trvání všech 16 stavů je rovna bitové rychlosti, je možné dekodovat přijímaná data velmi jednoduše. Pro rozhodnutí, zda přijímaný bit bude mít hodnotu 1 či 0, jsou, jak jinak, rozhodující tři vzorky, a opět to jsou vzorky 8, 9 a 10 (při režimu U2X to jsou vzorky 4, 5 a 6). Jelikož máme tři vzorky, rozhodnutí provedeme podle většiny - bit bude mít hodnotu, kterou má většina vzorků.

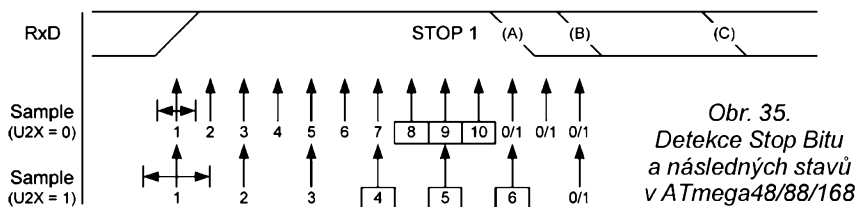
I stop bit je vyhodnocován ze stejných vzorků. Pokud je vyhodnoceno, že stop bit má hodnotu „log. 0“, jedná se o chybu rámce, tzv. Frame Error. Aby program mohl tuto skutečnost vyhodnotit, je vnitřní logikou nastaven bit FEn. Další průběh může být od jiných bitů rozdílný, neboť stop bit nemusí mít plnou bitovou délku. V případě, že pracujeme v normálním módu, může sestupná hrana přijímaného signálu přijít už v okamžiku (A), viz obr. 35, aniž by byla chybně vyhodnocena. V případě režimu U2X může sestupná hrana signálu přijít poněkud později, až v oka-



Obr. 33. Baud rate generátor v ATmega48/88/168



Obr. 34. Detekce start bitu v ATmega48/88/168



Obr. 35.
Detekce Stop Bitu
a následných stavů
v ATmega48/88/168

mžiku (B). Pro srovnání je plná délka stop bitu naznačena na obr. 35 písmenem (C).

Z předchozího popisu je zřejmé, že pro přijímací logiku sériového kanálu je plně postačující jeden stop bit, a k tomu ještě nemusí být celý. Jelikož synchronizace vnitřní logiky sériového kanálu probíhá vždy při start bitu, nemá případné přípustné zkrácení stop bitu žádné vedlejší účinky na kvalitu přenosu.

Možnost přenášet data rychlostí až 1 MBd dovoluje použít tento sériový kanál i v rozsáhlejších systémech pro meziprocesorovou komunikaci, kdy jednotlivé mikrokontroléry řeší dílčí úkoly a pomocí tohoto portu si předávají potřebná data. Jelikož však na jedné sběrnici může být i více mikrokontrolérů než dva, je vhodné mít nástroj, jak rozlišit konkrétního příjemce, adresáta, od ostatních. Toto rozlišení se děje adresou, a mód sériového kanálu se nazývá multiprocesorový.

Pro tento režim je doporučen devítibitový formát dat, kdy 9. bit nese informaci, zda předchozích 8 bitů jsou data či adresa. Pokud je 9. bit nulový, jedná se o data, pokud je roven „log.1“, jedná se o adresu. Aby obsluha sériového kanálu v tomto módu byla co nejjednodušší, lze nastavit sériový port do režimu, kdy pakety jiné než adresové ignoruje (viz popis významu MCMPn bitu v registru UCSRnA).

Toto uspořádání, i když velmi jednoduché, dokáže ušetřit mnoho strojového času při obsluze sériového portu v multiprocesorovém režimu, takže zbude více času pro ostatní úlohy.

Nepřekvapil-li nás zatím tento mikroprocesor žádnou ze svých možností, již další informace tento stav může změnit, neboť sériový port USART lze u těchto mikrokontrolérů nastavit do módu SPI.

V tomto režimu jsou dokonce podporovány všechny 4 módy tohoto rozhraní! Dále je možné určit, zda má být jako první vyslán nejnižší nebo nejvyšší bit datového slova. Velkou předností tohoto sériového způsobu přenosu dat je jeho velká rychlost, která může být až $0,5 \cdot f_{osc}$!

Možnosti tohoto portu nejsou však úplně shodné se standardním SPI portem. Někdy se jedná o rozšíření, za které může být považován datový buffer, na druhé straně v některých aplikacích může scházet vyvedený pin SSn.

Přes všechny omezení lze říci, že možnost přepnout sériový port USART do režimu SPI je velkým pozitivem, neboť v řadě aplikací není port USART potřebný, ale konstruktér potřebuje rychlé rozhraní pro komunikaci s perife-

riemi, jakými jsou např. sériové paměti FLASH řady AT45DB.

Rozhraní SPI je sice možné celkem jednoduše simulovat programově, ale tato simulace si vyžaduje nezanedbatelný výpočetní výkon mikrokontroléru nehledě na fakt, že programová simulace nebývá vždy zcela přesná a ko-

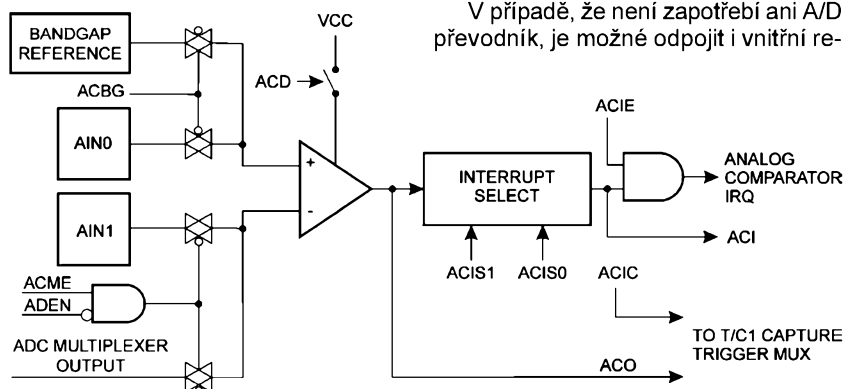
Sériové rozhraní TWI

Sériové porty USART a SPI nejsou jediné, které jsou implementovány v tomto mikrokontroléru. Dalším portem, který zde najdeme, je rozhraní TWI (Two Wire Interface). Podíváme-li se do originálního datasheetu pozorně, zjistíme, že se zde píše o dvojvodičovém sériovém rozhraní, které používá signály SDA a SCL, přičemž první jmenovaný signál/vodič je použit pro přenos dat a druhý pro přenos synchronizačního signálu. Pokud nejsme v oblasti digitální techniky a mikrokontrolérů nováčky, měly by nám tyto signály být povědomé. Názvy jsou totiž shodné se signály, které používá populární a velmi rozšířené rozhraní I²C.

I když se rozhraní nejmenuje I²C, je s ním téměř plně kompatibilní. Slovo téměř má vyjadřovat tu skutečnost, že rozhraní TWI nemá implementovány všechny vlastnosti standardu I²C, který vytvořila firma Philips (pozn.: existují tři verze/definice I²C, a to verze 1.0 z roku 1992, verze 2.0 z roku 1998 a verze 2.1 z roku 2000). Návrháři by na to měl pamatovat a v případě užití tohoto rozhraní by si měl ověřit, že použité obvody budou schopny mezi sebou komunikovat.

Stručně si proto vyjmenujme vlastnosti TWI:

- rozhraní je schopno data vysílat i přijímat,
- rozhraní je schopno pracovat jako Master i Slave,



Obr. 36. Analogový komparátor v ATmega48/88/168

- rozhraní je schopno převzít i předat řízení sběrnice (Multi-Master mód),
- rozhraní podporuje POUZE sedmibitovou adresu, režim desetibitové adresy není podporován,
- rozhraní podporuje rychlost přenosu až 400 kbit/s (Fast-Mode), ale není podporován HS-mód (až 3,4 Mbit/s),
- výstupní budiče mají omezenou rychlost přeběhu (strmost hran) kvůli rušení,
- vstupy disponují funkcí potlačení šumu/rušení vstupního signálu,
- automatická detekce adresy umožňuje „vzbuzení“ mikrokontroléru ze „Sleep“ módu.

Jak je z předchozího výčtu patrné, základní funkce, včetně režimu Multi-Master, jsou v rozhraní TWI implementovány, takže spolupráce většiny obvodů by měla být bezproblémová.

Za malá omezení lze pokládat podporu pouze sedmibitové adresy, která umožňuje umístit 128 obvodů na jedné sběrnici, a absenci režimu HS, který je vhodný pro přenos velkého objemu dat. Avšak ani jedno omezení není zásadní.

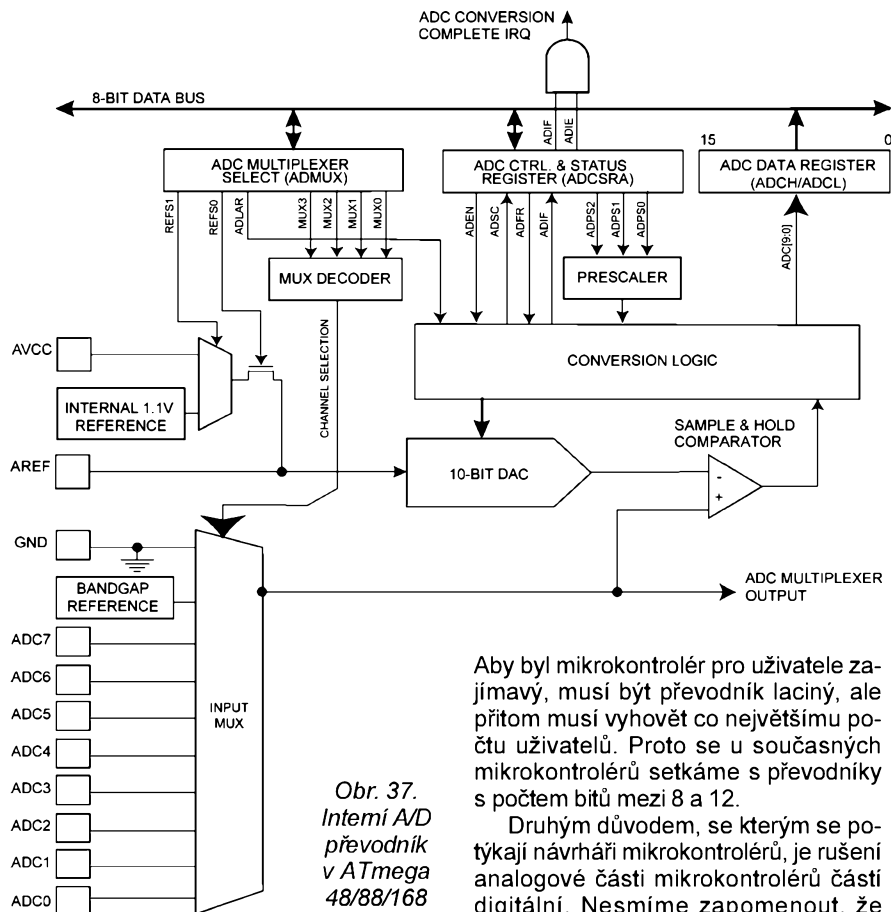
Analogový komparátor

Co by to bylo dnes za mikrokontrolér, který by neměl vestavěno na čipu alespoň základní rozhraní umožňující zpracování analogového signálu. Protože mikrokontroléry ATmega48/88/168 patří mezi ty vydařenější, najdeme na jejich čipu jak analogový komparátor, tak i A/D převodník.

Blokové schéma analogového komparátoru je na obr. 36. Ze schématu je vidět, že komparátor může porovnávat napětí přivedená na vstupy AIN0 a AIN1 mezi sebou. Další možností je využít vnitřní referenci a porovnávat s ní napětí ze vstupu AIN1 nebo z některého vstupu analogového multiplexeru, který původně přísluší A/D převodníku. U komparátoru je možné definovat stav (směr změny), kdy bude generováno přerušení, a při změně stavu komparátoru je možné zachytit stav čítače/časovače 1 (capture).

V případech, kdy není komparátor potřebný a je nutné během některého režimu snížené spotřeby snížit spotřebu mikroprocesoru na minimum, je možné úplně jednotku komparátoru interně odpojit od napájení.

V případě, že není zapotřebí ani A/D převodník, je možné odpojit i vnitřní re-



Obr. 37. Interní A/D převodník v ATmega48/88/168

ferenci. I když se to nemusí na první pohled zdát, je spotřeba mikroprocesoru v režimech se sníženou spotřebou, zvláště pak u režimů „Power Down“ a „Power Safe“, řádově srovnatelná se spotřebou napěťové reference a analogového komparátoru. Snížení spotřeby vypnutím této nepoužívané části mikrokontroléru může hrát velkou roli u bateriově napájených aplikací, ve kterých je kladen důraz na co nejdelší dobu provozu na jedno nabití akumulátorů či jedno náplň baterii.

A/D převodník

Jak již bylo několikrát řečeno, svět kolem nás je analogový, a pokud chceme, aby mikrokontrolér zpracovával data získaná měřením reálného světa, získává je převážně většinou v analogové formě. Proto je velkou výhodou, když mikrokontrolér, který chceme v aplikaci použít, má integrovaný na čipu též A/D převodník s dostatečnou přesností pro uvažovanou aplikaci.

Výjimku tvoří přístroje, u kterých je požadována maximální přesnost. Zde je většinou použit externí A/D převodník s mnohem větší přesností než mají interní A/D převodníky u současných mikrokontrolérů.

Existuje mnoho důvodů, proč interní A/D převodníky na čipech mikrokontrolérů mají menší přesnost než samostatné převodníky. Jmenujme alespoň dva z těchto důvodů.

Prvním důvodem je cena takových A/D převodníků. Platí, že čím má převodník vyšší přesnost, tím je dražší, a cena roste velmi rychle s počtem bitů.

Aby byl mikrokontrolér pro uživatele zajímavý, musí být převodník laciný, ale přitom musí vyhovět co největšímu počtu uživatelů. Proto se u současných mikrokontrolérů setkáváme s převodníky s počtem bitů mezi 8 a 12.

Druhým důvodem, se kterým se potýkají návrháři mikrokontrolérů, je rušení analogové části mikrokontrolérů částí digitální. Nesmíme zapomenout, že současné mikrokontroléry pracují s poměrně vysokým řídicím taktům, a čipy mikrokontrolérů jsou velmi malé. Signály v digitální části mají velmi strmé hrany (obdélníkové průběhy) a proto, jak známo, obsahují mnoho vyšších harmonických. Vyšší harmonické se pak velmi dobře šíří (např. přeslechy) po celém čipu a v případě analogové části mohou negativně ovlivnit přesnost A/D převodu.

Proto se u představovaných mikrokontrolérů ATmega48/88/168 setkáváme s interním desetibitovým převodníkem, který je dobrým kompromisem mezi cenou a přesností. Jeho blokové schéma je na obr. 37. Jak je z obrázku vidět, jedná se o klasický A/D převodník pracující na principu postupné aproximace.

Aby bylo možné měřit více analogových signálů, je vlastního převodníku

předřazen analogový multiplexer s osmi SE vstupy (SE = Single Ended) u pouzder TQFP a QFN a se šesti SE vstupy u pouzdra DIL. Na multiplexeru najdeme ještě dva pomocné vstupy. Jeden z nich je připojen na zemní potenciál, druhý na interní referenční napětí.

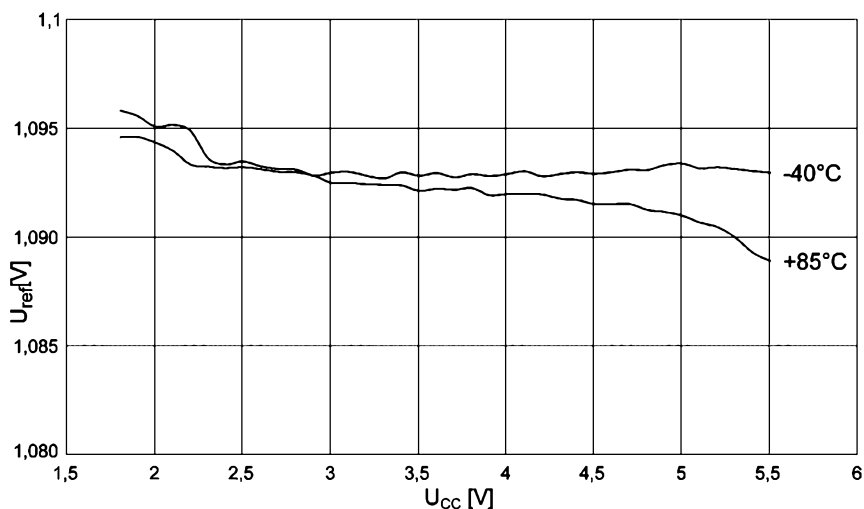
Maximální rychlost převodu při zachování plného rozlišení převodníku je 15 ksps (15 000 převodů/s). Pokud požadujeme větší počet převodů, musíme se spokojit s menším rozlišením. Nejkratší doba převodu je asi 13 μ s, tj. převodník dokáže provést asi 76 800 převodů/s. Protože je převodník dynamický, je výrobce stanovena i nejdelší doba převodu, která je 260 μ s.

Aby bylo možno nastavit řídicí kmitočet převodníku podle potřeby, nalezneme zde sedmistupňový binární dělič kmitočtu s multiplexerem - viz obr. 26 (shodná předdělička jako u ATtiny24/44/84).

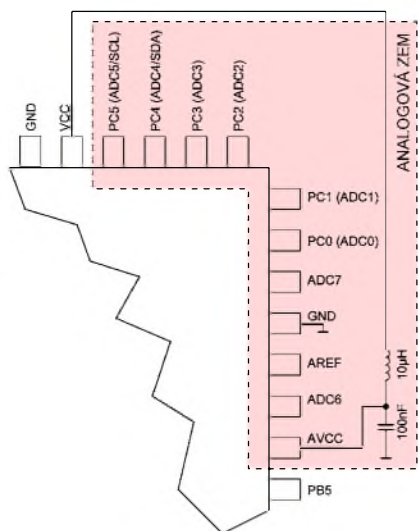
Aby byl počet součástek při použití interního převodníku minimální, implementoval výrobce na čip i potřebnou napěťovou referenci. Referenční napětí, vzhledem k rozsahu napájecího napětí, je 1,1 V. Pokud toto napětí z nějakého důvodu nevyhovuje, je možné použít buď přímo napájecí napětí analogové části, nebo je možné přivést na pin označený AREF napětí z externí reference. Pro většinu aplikací však bude interní reference postačovat, neboť se jedná o relativně stabilní napětí, jak ostatně můžeme vidět na obr. 38.

Pokud se budeme dívat na graf na obr. 38 pozorně, lze z něho vyčíst, že pokud uvažujeme o aplikaci, která má pracovat v širokém rozsahu teplot, je vhodné napájet mikrokontrolér napětím kolem 2,75 V (pokud je to možné). Při tomto napájecím napětí je teplotní závislost referenčního napětí velmi malá, jinými slovy, reference je teplotně téměř nezávislá.

Jelikož napěťová reference přímo ovlivňuje přesnost A/D převodu, je vhodné ji věnovat ještě trochu pozornosti. Podíváme-li se na obr. 37, zjistíme, že pin AREF slouží jednak pro přivedení externí napěťové reference, ale také, v případě, že použijeme interní



Obr. 38. Interní napěťová reference v ATmega48/88/168



Obr. 39. Doporučená topologie DPS pro ATmega48/88/168

napětíovou referenci 1,1 V, bude na něm napětí této reference, neboť tento pin je přímo spojen s referenčním vstupem D/A převodníku. Tohoto můžeme využít pro zlepšení podmínek pro A/D převodník tím, že na pin AREF připojíme filtrační kondenzátor, který pomůže snížit případné rušení referenčního napětí. K filtraci tohoto napětí též přispívá okolnost, že interní napětíová reference má velký vnitřní odpor. Proto při volbě filtračního kondenzátoru musíme dát pozor na jeho vlastnosti, především na svodový proud. Jelikož chceme odstranit i vř složky rušení, musí mít kondenzátor též velmi dobré vř vlastnosti, tj. malou parazitní impedanci.

Při volbě velikosti reference nesmíme též zapomenout, že všechna napětí přivedená na měřicí vstupy, která jsou větší než tato reference, jsou převedena na hodnotu 03FF_{HEX}, tj. převodník tzv. „přeteče“ (overflow).

Ze zajímavých vlastností interního A/D převodníku stojí za to upozornit na možnosti spouštění převodu. Vedle klasických režimů „jednorázový převod“ (Single conversion mode) a „volně běžící převody“ (Free running mode) tu najdeme možnost spouštět převod od určitých událostí.

Těmito událostmi může být překlopení interního analogového komparátoru, externí událost na vstupu External Interrupt Request 0, přetečení čítače/časovače0, shoda A čítače/časovače0 (Timer/Counter0 Match A), přetečení čítače/časovače1, shoda B čítače/časovače1 (Timer/Counter0 Match B) a událost zachycení stavu čítače/časovače1 (Timer/Counter1 Capture).

Díky tomto módům je možné spouštět převody tehdy, kdy je potřeba, velmi jednoduše od různých událostí bez či jen s malou programovou podporou. Tím se šetří výpočetní výkon mikrokontroléru a klesá jeho spotřeba.

S oššířenými možnostmi spouštění A/D převodníku se pojí i otázka vhodného okamžiku volby měřeného kanálu. Aby programátor předešel možným chybným výsledkům, je bezpodmínečně nutné, aby zachovával doporučení výrobce.

Taktéž je více než vhodné zachovávat doporučení výrobce týkající se návrhu desky s plošnými spoji (DPS) a chování při A/D převodu. Doporučený návrh DPS je na obr. 39. Výrobce doporučuje, aby analogová zem byla rozprostřena nejen pod vývody u vlastního IO, ale též pod všemi analogovými spoji. Tyto analogové spoje by neměly vést v blízkosti digitálních spojů a už vůbec by neměly být s nimi souběžné. Pokud můžeme návrh DPS podřídit potřebám analogových signálů, měly bychom se snažit dělat tyto spoje co nejkratší.

Napájení analogové části může být odvozeno od napájení digitální části. Pro filtraci rušení šířícího se po napájení podle výrobce postačuje klasický článek LC, tlumivka 10 µH s kondenzátorem 100 nF, jak je ostatně vidět na obr. 39.

Jelikož piny mají většinou několik funkcí, měli bychom si při návrhu zapojení dát také velký pozor, aby vedle pinů používaných pro A/D převodník nebyly na sousedních pinech digitální výstupy, jež mění často svůj stav. Toto platí zejména pro piny ADC0 až ADC3, kdy výrobce nabádá k tomu, aby případné digitální signály na těchto pinech neměly svůj stav během A/D převodu. Vý-

jimku tvoří piny SCL (PC5) a SDA (PC4), které by podle výrobce neměly mít vliv na přesnost A/D převodu.

Pro odstranění možného rušení pocházejícího z digitální části mikrokontroléru je také možné použít režim „ADC Noise Reduction Mode“ nebo „Idle Mode“. V obou případech je digitální část mikrokontroléru během A/D převodu „uspaná“ a začne pracovat v okamžiku, kdy A/D převodník dokončí A/D převod a požádá o přerušení. Z tohoto důvodu nesmíme toto přerušení mít zakázané.

Při aplikaci tohoto způsobu převodu je nutné mít na paměti, že:

- režim A/D převodníku je Single conversion (jeden převod),
- musí být povoleno přerušení od dokončení A/D převodu,
- musí být pokud možno zakázána ostatní přerušení, které mohou způsobit ukončení režimu „ADC Noise Reduction Mode“ či „Idle Mode“. Jinak může jiné přerušení vzbudit mikrokontrolér dříve, než je vhodné,
- aktivaci režimu „ADC Noise Reduction Mode“ nebo „Idle Mode“ přejde mikrokontrolér do tohoto režimu a následně je spuštěna vlastní sekvence A/D převodu (odběr vzorku vstupního napětí a následně převod do číslkové formy),
- ostatní režimy snížené spotřeby (s výjimkou obou výše jmenovaných) nelze použít, neboť při nich je A/D převodník vypnutý (viz tab. 4).

Módy snížené spotřeby, definice aktivních periférií při různých těchto módech a možnosti ukončení módů snížené spotřeby jsou uvedeny v tab. 4.

Jak je patrné z tab. 4, disponují nové mikrokontroléry ATmega48/88/168 celou řadou módů se sníženou spotřebou. Díky nim se oblast možných aplikací, pro které jsou tyto mikrokontroléry vhodné, podstatně rozšiřuje, a to do oborů, ve kterých je vyžadována velmi malá spotřeba.

ATmega640/1280/12560/

Tab. 4. Módy snížené spotřeby u ATmega48/88/168

Režim	Aktivní řídicí kmitočty				Oscilátory	Zdroje přerušení							
	clk _{cpu}	clk _{FLASH}	clk _{io}	clk _{adc}	clk _{asy}	Timer oscilátor	INT0, INT1 a Změna pinu	Shoda adresy TWI	Čítač/časovač2	SPM/EEPROM připravena	ADC	WDT	Ostatní
Idle			X	X	X	X ⁽²⁾	X	X ⁽³⁾	X	X	X	X	X
ADC Noise Reduction				X	X	X ⁽²⁾	X	X ⁽³⁾	X	X	X	X	
Power Down							X ⁽³⁾	X				X	
Power-save					X	X	X ⁽³⁾	X	X			X	
Standby ⁽¹⁾						X	X ⁽³⁾	X				X	

Poznámky:

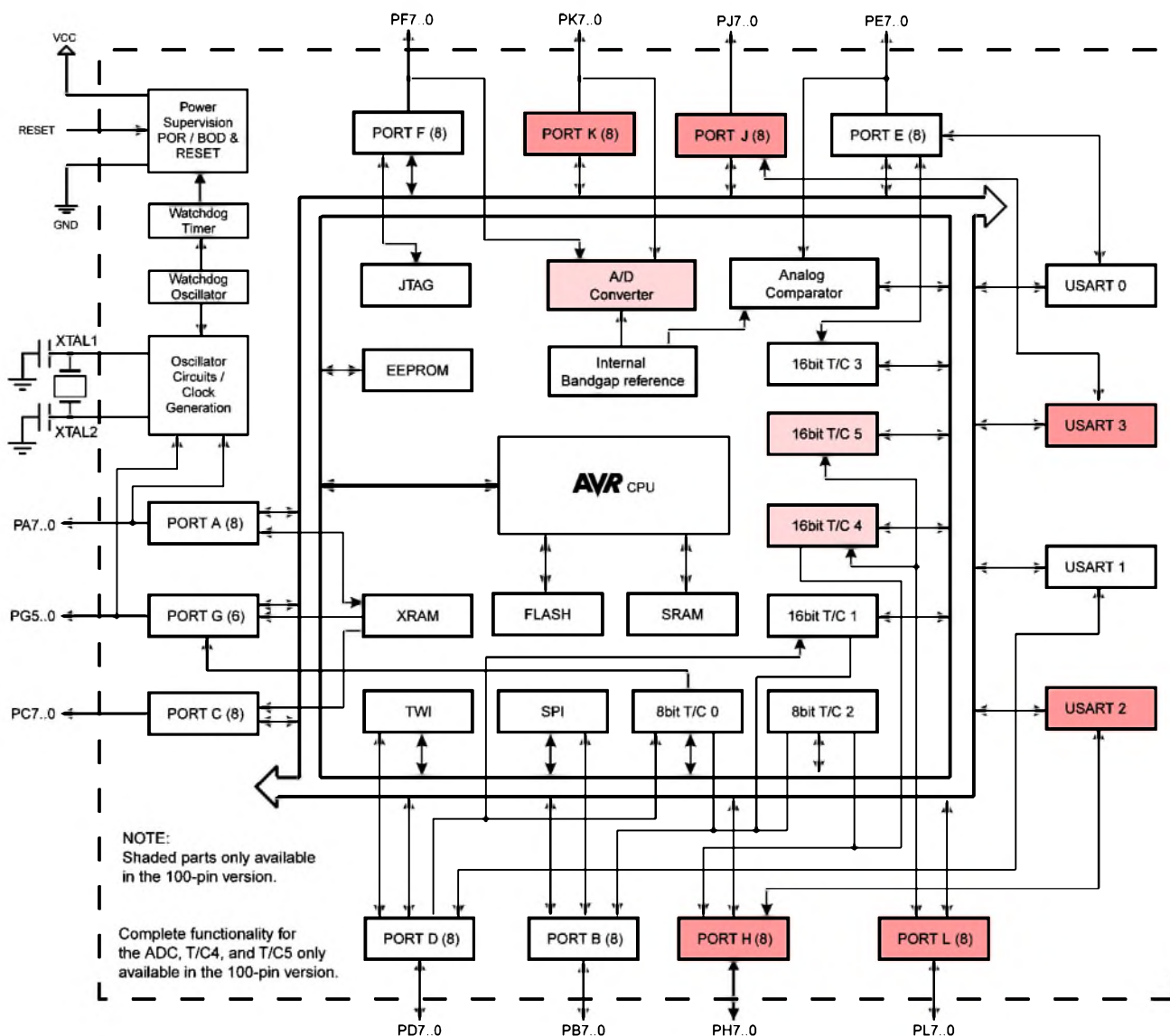
(1) Vhodný pouze s externím krystalovým oscilátorem.

(2) Pokud je čítač/časovač2 v asynchronním módu.

(3) Pouze v případě, že INT0 či INT1 jsou nastaveny na přerušení od úrovně.

„Malé“ mikrokontroléry jsou zcela jistě zajímavé jak pro zákazníky, tak i pro výrobce, ale svět elektroniky si pro složité aplikace žádá též složitějších mikrokontrolérů. Jelikož architektura mikrokontrolérů AVR® rodiny ATmega takovýto růst umožňuje, objevily se v této řadě i modely s velkým počtem pinů, velkými paměťmi a bohatými perifériemi. Jejich blokové schéma je na obr. 40. Pole vybarvené tmavou šedivou barvou jsou dostupné pouze u verzí ve stopinovém pouzdru. Pole vybarvené světlou šedivou barvou, tj. A/D převodník, čítač/časovač4 a čítač/časovač5 mají v menších pouzdrech omezeny některé funkce.

Už jenom pohled na blokové schéma budí respekt, zvláště pak možnosti komunikace s okolím u stopinových



Obr. 40. Blokové schéma mikrokontrolérů ATmega640/1280/2560

verzí. U největšího představitele této skupiny, mikrokontroléru ATmega2560, najdeme na čipu celkem 256 kB paměti Flash pro program, 4 kB paměti EEPROM pro konfigurační data a 8 kB paměti SRAM pro data. Pokud by paměť SRAM nestačila, je možné připojit vnější paměť o maximální velikosti 64 kByte.

U takto „velkého“ mikrokontroléru je samozřejmostí podpora rozhraní JTAG. Ladění programového vybavení je dále podporováno jednotkou „Break point Unit“, která usnadňuje a rozšiřuje možnosti ladění programového vybavení.

Díky této jednotce je možné definovat až 4 adresy, které mají způsobit zastavení běhu programu. Adresy se mohou nacházet jak v programové paměti, tak i paměti datové (čtení či zápis na danou adresu). Pomocí jedné dvojice adres lze vytvořit tzv. interval. To znamená, že běh programu se zastaví v případě, kdy vznikne požadavek na vykonání instrukce, která se nachází v tomto intervalu, či program zapisuje či čte z definované oblasti v datové paměti. I když by mělo být možno definovat celkem dva intervaly, touto možností jednotka bohužel nedisponuje.

Při využívání této jednotky může nastat situace, ve které není možné využít

všechny 4 breakpointy v jednotce, neboť vývojové prostředí AVR Studio® může využívat některý či některé breakpointy pro svoji potřebu. Na druhé straně je možné pro programové breakpointy využít instrukci BREAK, takže v podstatě lze mít neomezený počet programových breakpointů.

Používání programových breakpointů se významně liší od breakpointů, které definujeme pomocí jednotky „Breakpoint Unit“. U programových breakpointů nelze definovat breakpoint na rozsah adres, a také se přepisuje instrukce v programové paměti FLASH.

I když počet povolených přepisů programové paměti je udáván na 10 000 cyklů zápis/mazání, výrobce doporučuje nepoužívat mikrokontroléry, na kterých probíhal vývoj programového vybavení do sériové výroby, resp. tyto obvody by neměly být prodány ve finálních výrobcích. Na toto bychom měli pamatovat nejenom při vývoji, ale i při servisu zařízení. Při servisu bychom tedy měli používat pouze hardwarové breakpointy.

Jak už bylo uvedeno, při využívání programových breakpointů se přepisuje obsah paměti. Z toho vyplývá, že rozhraní JTAG je možné použít i k progra-

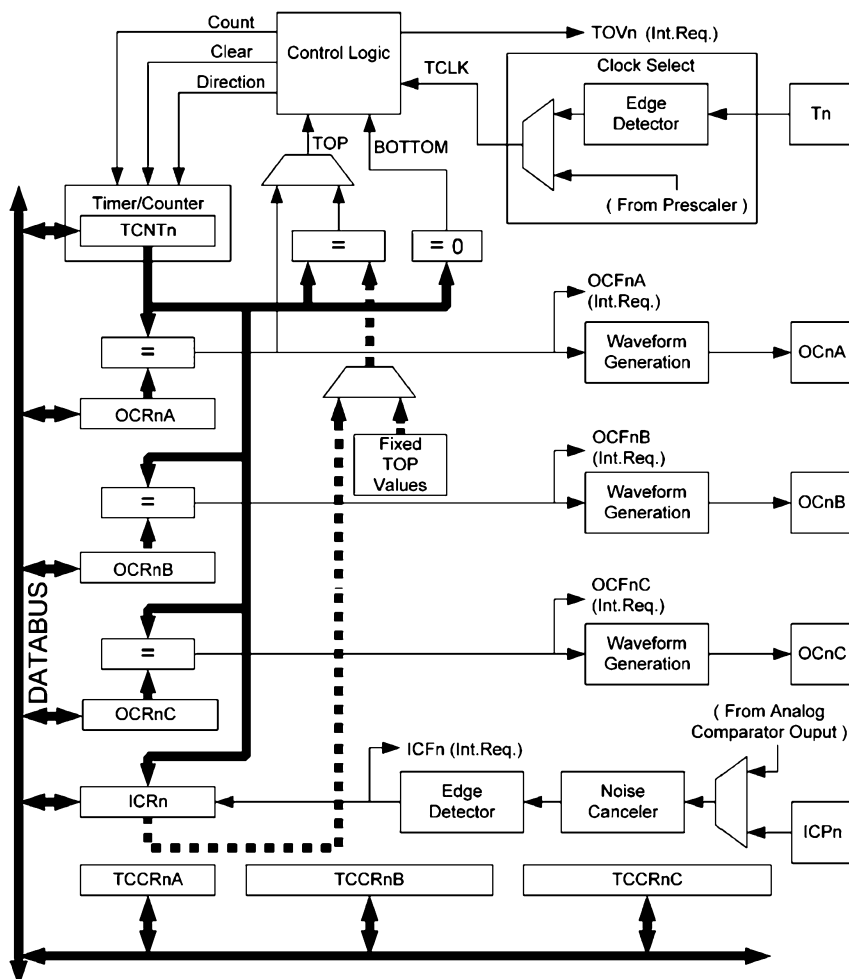
mování interních pamětí FLASH a EEPROM.

Přestože se jedná o největší mikrokontroléry řady AVR, periferie jsou standardní, takže jejich popisu nebude zde věnováno místo, neboť byly již popsány u předchozích typů mikrokontrolérů. Výjimku tvoří plně šestnáctibitové čítače/časovače.

Čítače/časovače 1, 3, 4, 5

Jejich blokové schéma je na obr. 41. Největším přínosem je možnost generovat až tři PWM signály jedním čítačem/časovačem. Díky společné časové základně budou tyto PWM signály zcela synchronní. Protože stopinové verze mikrokontrolérů disponují čtyřmi čítači/časovači, mohou generovat úctyhodných 12 signálů PWM s až šestnáctibitovým rozlišením! Rozlišení je možné snížit, čímž na oplátku získáme kratší periodu výstupního signálu PWM. Kratší perioda, neboli vyšší základní kmitočet, znamená snadnější filtrování nežádoucích produktů ve výstupním signálu PWM.

Pro úplnost je vhodné připomenout správný přístup k šestnáctibitovým registrům čítačů časovačů vzhledem k faktu, že ač zde mluvíme o „velkém“



Obr. 41. Blokové schéma čítačů/časovačů 1, 3, 4 a 5 v ATmega640/1280/2560

mikrokontroléru, jeho interní datová sběrnice má stále šířku pouze 8 bitů (více viz popis čítače/časovače 1 u mikrokontrolérů ATtiny24/44/84, obr. 21).

O skutečnosti, že se jedná o mikrokontrolér vhodný do složitějších aplikací svědčí též to, že na čipu najdeme mnoho komunikačních rozhraní. Rozhraní TWI a SPI jsou určena pro komunikaci s periferními obvody, které nejsou přímo na čipu. Za příklad může sloužit připojení mikrokontroléru k paměti DataFlash® např. AT45DB161 (kapacita 16 Mbit) přes rychlé sériové rozhraní SPI. Tyto paměti jsou vhodné např. pro uložení velkého množství naměřených dat. Přes velkou kapacitu jsou to paměti laciné, např. paměť 45DB011 s kapacitou 1 Mbit stála v září u firmy GM Electronic 29 Kč/kus s DPH, paměť 45DB081 s kapacitou 8 Mbit stála 80 Kč/kus s DPH.

Jelikož u složitých aplikací málokdy bývá hlavní mikrokontrolér osamocen a je třeba, aby zde byla možnost rychlé komunikace s dalším či dalšími mikrokontroléry, najdeme na čipu až 4 rozhraní typu USART, jejichž maximální přenosová rychlost je 2 Mbps. To, že je toto rozhraní předurčeno pro meziprocetorovou komunikaci, je možné poznat i podle podpory devítibitového formátu dat a stavového bitu MCPMn (registr UCSRnA). Pokud je devátý bit nulový, je přijmutý byte ignorován. V případě příjmu byte, který má devátý bit roven „log. 1“, je vyvoláno přerušení, mikrokontrolér zkontroluje, zda přijatá

adresa patří k těm, na které má reagovat. V případě, že ne, ukončí svoji další činnost a další přerušení bude tedy generováno až v okamžiku příjmu dalšího byte nesoucího adresu. Pokud však má mikrokontrolér následující data přijímat, je bit MCPMn nastaven na „log. 0“ a přerušení bude generováno od každého přijatého byte. Tímto jednoduchým způsobem je podstatně zmírněna zátěž procesoru vyplývající z obsluhy sériového kanálu.

Pro případ, kdy je potřeba více kanálů SPI, disponují kanály USART možností přepnutí do režimu SPI. V tomto režimu jsou podporovány všechny čtyři módy tohoto rozhraní.

Co říci závěrem o právě představěných mikrokontrolérech AT89 a AVR? Firma ATMEL by mohla být díky uvedenému úspěšným mikrokontrolérům spokojena. Přesto však v jejím portfoliu najdeme další mikrokontroléry.

AT91 neboli ARM7® TDMI

Pravděpodobně prvním typem, se kterým se firma ATMEL představila na trhu třicetidvoubitových mikroprocesorů, byly typy se standardizovaným jádrem ARM7 TDMI, nazvané AT91SAM7. V současnosti najdeme v portfoliu firmy ATMEL celkem čtyři rodiny těchto mikrokontrolérů, lišících se zamýšlenou oblastí použití.

Za prvé je to řada AT91SAM7S, která má relativně malý počet vývodů (48 či 64), a měla by být obecně použitelná (general purpose micros). K této řadě by se měli obrátit uživatelé hledající výkonnější varianty k osmibitovým mikrokontrolérům, jako je např. řada ATmega či podobné ostatních výrobců.

Druhá řada je tvořena mikrokontroléry AT91SAM7A1, AT91SAM7A2 a AT91SAM7A3. Tato řada je zaměřena na řídicí aplikace, kde je požadována možnost komunikace po sběrnicích CAN. Dalším charakteristickým rysem je velký počet pinů od 100 až po 176.

Třetí řada AT91SAM7X, není opět směřována na konkrétní oblast použití, přestože u ní najdeme rozhraní CAN. Od předchozích řad se liší implementací rozhraní Ethernet MAC 10/100 T base.

Posledními zástupci jsou mikrokontroléry řady AT91SAM7XC. Již z označení vyplývá, že za vzory posloužila předchozí řada. K přidaným vlastnostem zástupců nové řady patří implementovaný kryptovací akcelérátor AES128 a Triple DES, takže tyto mikrokontroléry najdou uplatnění v aplikacích, kde je kladen důraz na bezpečnost a bezpečný přenos dat.

Do rodiny mikrokontrolérů s unifikovaným jádrem ARM7 TDMI patří i mnoho dalších typů, např. AR91RM3400 či AT91M55800A, ale tyto mikrokontroléry jsou svým zaměřením příliš vzdáleny zaměření časopisu.

Jako zástupce mikrokontrolérů s jednotným jádrem ARM7 TDMI si dále představíme jeden z typů první řady.

AT91SAM7S64

Na obr. 42 je blokové schéma tohoto mikrokontroléru von Neumannovy koncepce. Jednotlivé typy se liší hlavně velikostí interních pamětí, takže blokové schéma je možné považovat za platné pro celou řadu AT91SAM7. Tato řada je založena na téměř nejstarší a stále podporované architektuře ARMv4T.

Tato architektura se liší od nejstarší architektury ARMv4 „pouze“ písmenem T, které znamená přidání šestnáctibitových instrukcí do instrukční sady. Díky zkrácení často využívaných instrukcí se uspoří až 35 % paměťového místa potřebného pro program. Díky mechanismu dekomprese instrukcí, která probíhá v reálném čase během načítání instrukce, se při dekompresi instrukcí nesnižuje výkon mikrokontroléru. Přesto je však doporučeno pro kritické části programu využívat standardní třicetidvoubitové instrukce, které poskytují větší flexibilitu. Důsledkem vyšší flexibility je pak rychlejší kód programu.

Klasickým příkladem, kde je vhodné využívat všech výhod třicetidvoubitových instrukcí, jsou podpory pro obsluhu přerušení. Vhodným využíváním šestnáctibitových i třicetidvoubitových instrukcí dosáhneme jak rychlého běhu kritických částí programu, tak přiměřené velikosti programu. Vysokému výpočetnímu výkonu představovaných

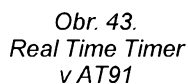
Důsledkem plynoucím z popsaného uspořádání je, že komunikace jádra mikrokontrolérů AT91 s periferiemi na sběrnici APB není synchronní, jako byla u popisovaných osmibitových mikrokontrolérů. Na toto musíme pamatovat, pokud bychom chtěli s AT91 programově vytvářet přesné časované průběhy na pinech procesoru.

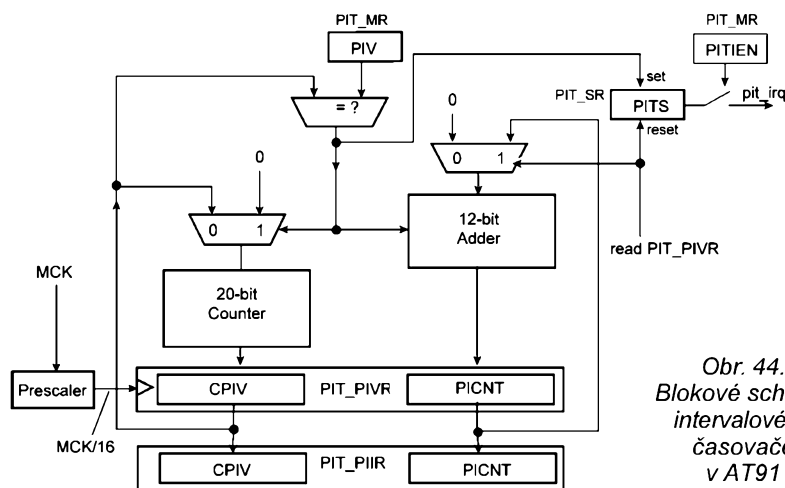
Možnosti RTT jsou širší než pouhé čítání. Obvod může totiž generovat tzv. Alarm při dosažení shody registru čítače, resp. registru RTT_VR, s obsahem registru RTT_AR. Přitom může být generováno přerušení. Přerušení může být generováno takéž periodicky s intervalem rovným frekvenci inkrementace třicetidvoubitového čítače (bývá typicky 1 s). I když nic nebrání tomu, aby registr CRTV byl čten v kterýkoliv okamžik, je doporučeno přechíst tento re-



První funkcí je generovat periodické přerušení po nastavené době. Periodické přerušení je generováno pomocí klasického dvacetibitového čítače, jehož hodnota je maximální hodnotou v registru PIT_MR (pole PIV). Při dosažení na-

Je to další periferie, kterou u osmibitových mikrokontrolérů nenalezneme.





stavené hodnoty je čítač vynulován a začíná čítat od 0. Přetečení je jednak počítáno dvanáctibitovou sčítačkou, jednak může být generováno přerušení.

Druhou funkcí, kterou tato periférie plní, je čítání počtu těchto přerušení (přetečení čítače).

Watch Dog Timer

I když bývá tento timer implementován v téměř každém moderním mikroprocesoru, je vhodné ho popsat, neboť jeho vlastnosti byly dále upraveny tak, aby možnost jeho selhání byla ještě nižší. Blokové schéma obvodu watchdog je na obr. 45.

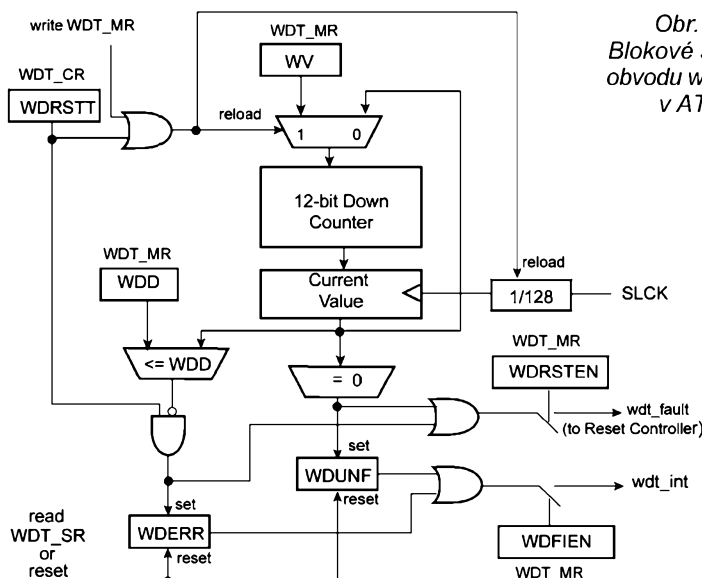
Ridíci kmitočet obvodu je odvozen od kmitočtu 32 768 Hz generovaného interním RC oscilátorem. Využitím maximální hodnoty dvanáctibitového čítače lze dosáhnout periody až 16 s, což je více než dostatečné pro všechny aplikace.

První věcí, na kterou si programátor musí dát pozor (zejména když přechází z osmibitových mikrokontrolérů), je fakt, že watchdog je po resetu automaticky aktivován s maximální periodou (WV=0FFF_{HEX}). Pokud ho není v aplikaci třeba, musí být jeho činnost tedy zakázána.

Druhou věcí, na kterou je nutno si dát pozor, je fakt, že do registru WDT MR

je povolen zápis pouze jednou, a to po resetu mikrokontroléru. Programátor může sice nastavit parametry obvodu watchdog podle svých potřeb, ale už je nemůže měnit až do dalšího resetu mikrokontroléru. Na jednu stranu lze tuto vlastnost chápat jako malé omezení, ale na straně druhé jde o velmi dobré opatření proti nekontrolovatelné změně nastavení důležité části mikrokontroléru.

Další věcí, která u řady osmibitových mikrokontrolérů není, je časové omezení, tzv. časové okno, kdy je možné regulérně restartovat watchdog. Toto opatření, pokud je aktivováno, eliminuje možnost „zacyklení“ programu v takové chybné smyčce, kde je obvod watchdog stále aktivován. Při využití funkce časového okna se vyvolá žádost o přerušeni v okamžiku, kdy se program pokusí restartovat watchdog mimo povolený časový úsek. Tato funkce je implementována v systému pomocí jednoho dvanáctibitového komparátoru a registru. Obě zmíněné části jsou na obr. 45, kde jsou označeny jako $\leq WDD$ (komparátor) a WDD (registr). Spojíme-li tuto informaci s faktem, že čítač obvodu watchdog čítá směrem dolů, dojdeme k závěru, že funkci časového okna lze charakterizovat jako „ne dříve než“, tj. restart obvodu watchdog nesmí nastat dříve než za nastave-



nou hodnotu, kterou zapíšeme do registru WDD.

Memory Controller

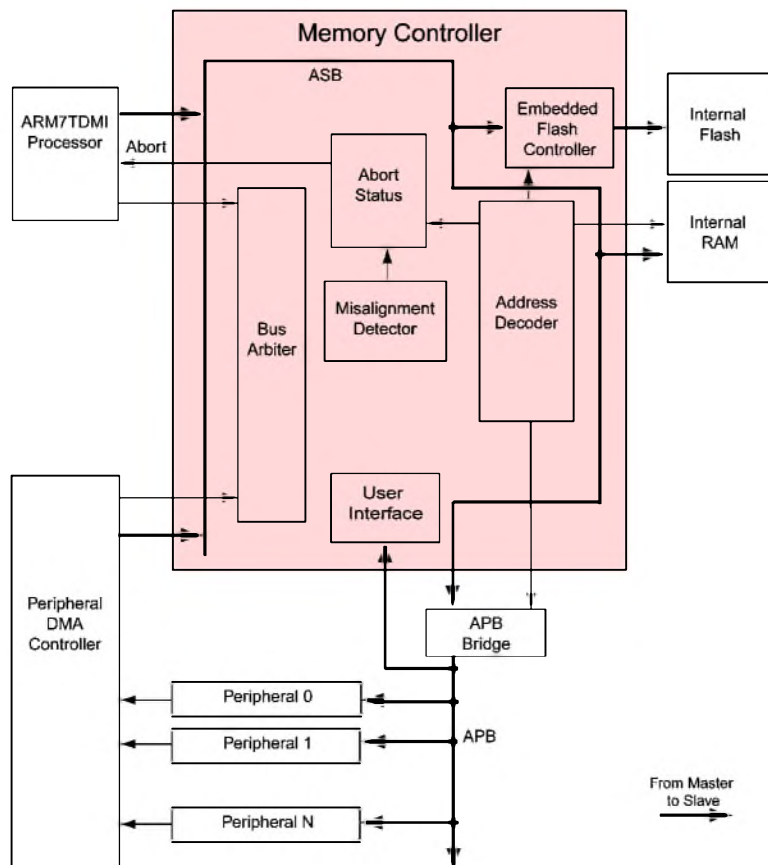
Nyní si stručně popíšeme další část mikrokontrolérů AT91SAM7, která však není periférií, ale přímo jejich nedílnou součástí. Existence této části vyplývá z koncepce mikrokontrolérů ARM7®

V první řadě se jedná o definici a rozdělení obrovského paměťového prostoru, který je dán třicetidvoubitovou šířkou datového slova. S tímto velkým adresovým prostorem se pojí i další tři úkoly této jednotky: detekce přístupu do neexistujících částí paměti (Abort Status), přístup k chybně uloženým datům (Misalignment detector) a řízení zápisu do interní paměti Flash (pomocí jednotky Embeded Flash Controller). Posledním úkolem, který musí tato jednotka řešit, je spolupráce jednotlivých částí mikrokontroléru, které mohou pracovat i na různých sběrnicích (Bus Arbiter na obr. 46). Jednotlivé úkoly je možné vysledovat i z blokového schématu jednotky, které je na obr. 46, kde části patřící do popisované jednotky jsou na šedivém pozadí.

Popište si krátce úkoly a práci hlavních částí.

Úkolem Bus masteru je řešit spor dvou jednotek (dvou masterů), jádra procesoru ARM7TDMI® a DMA kontro-
léru, o přístup na sběrnici. Pro někoho
možná překvapivě má jednotka Peri-
pheral DMA Controller vyšší prioritu než
jádro ARM7TDMI®.

Jednotka s názvem "Misalignment detector" řeší, jak bylo výše napsáno, situace, kdy data nejsou uloženy tak, jak by měla. Co si máme pod tím představit? V první řadě si připomeňme, že se jedná o třicetidvoubitový mikrokontrolér, který dokáže v podstatě pracovat s třemi typy dat - s byte (8 bitů), half word (16 bitů) a word (32 bitů). Pokud budeme přistupovat k jednotlivým bytům, nemůže během přístupu nastat problém. V případě dat typu half word však může nastat situace, kdy program bude chtít číst či zapisovat tato data z adresy, jejíž nejnižší bit bude nenulový. Stejná situace nastane i v případě, kdy bychom chtěli přistupovat k datům typu word, jejichž adresa nebude mít dva spodní bity adresy rovné nule. I když je paměť adresovatelná po jednotlivých byte, šíře sběrnice je 32 bitů. Pokud bychom tedy chtěli číst data typu word, tj. slovo o délce 32 bitů, z adresy, která nemá oba spodní bity nulové, muselo by se čtení uskutečnit ve dvou cyklech, a jednotlivé byte slova by se musely správně seřadit. Protože obsluha této a podobných situací byla velice složitá, existuje u mikrokontrolérů AT91 pravidlo (omezení), jak ukládat data s šíří 16 bitů a 32 bitů. Pro jistotu si ho uvedme ještě jednou. Data typu half word musí být uložena v paměti tak, že nejnižší adresový bit je nulový. Jinými slovy to znamená, že adresa je dělitelná dvěma beze zbytku. Stejně tak slova



Obr. 46. Memory Controller v AT91

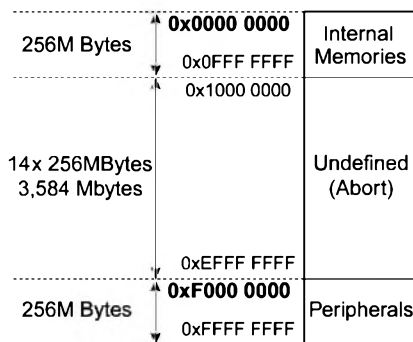
typu word musí být uložena na adrese, jejíž dva spodní bity jsou nulové, což jinými slovy lze vyjádřit tak, že adresa musí být dělitelná čtyřmi.

Někdo si může říci, že toto omezení lze ošetřit během překladu programu do strojového kódu, a tudíž tato část je v mikrokontroléru vlastně zbytečná. Bo-

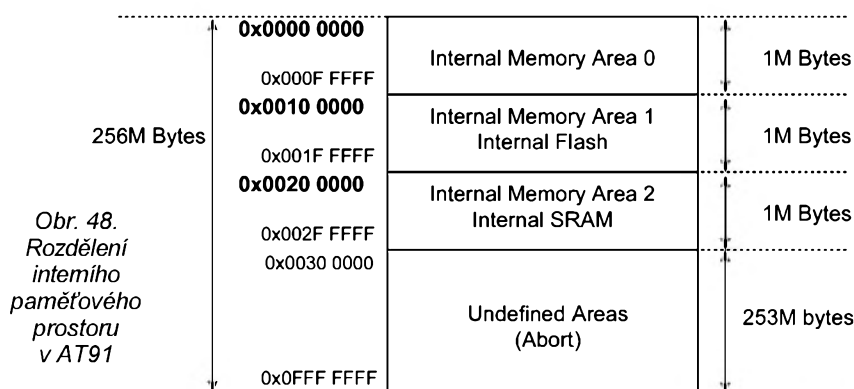
hužel je to pravda pouze částečně, neboť v programech jsou používány tzv. pointers, neboli nepřímé adresování. Pokud bude výpočet adresy dat chybný nebo se data nechtěně přepíší, mohlo by se snadno stát, že bude při normálním běhu programu vyžadován nekorrektní přístup k paměti. Tuto situaci tedy ošetřuje popisovaná jednotka.

Aby se usnadnilo nalezení místa v programu, na kterém byla umístěna žádost o nekorrektní přístup k datům, je požadovaná adresa paměti zachycena do registru Abort Status Registr a obsah programového čítače, tj. adresa instrukce programu, která tuto žádost obsahovala, je zachycena v registru Abort Link Registr. Informace o chybném přístupu z této jednotky je předána do části nazvané „Abort Status“. Do této části je zavedena i informace o přístupu do neexistujících oblastí paměti, kterou detekuje adresový dekodér.

Jednotka nazvaná „Address decoder“ má v podstatě jednoduchou úlohu



Obr. 47. Rozdělení paměťového prostoru v AT91



Obr. 48. Rozdělení interního paměťového prostoru v AT91

- a to podle adresy povolit či nepovolit přístup k dané buňce paměti. Základní dělení paměti podle nejvyšších čtyř bitů je na obr. 47. Z tohoto obrázku je vidět, že do podstatné části, celkem do čtrnácti stránek (stránka = 256 MB) paměťového prostoru, je přístup zakázán, neboť zde není žádná paměť. Na obr. 48 vidíme detailnější uspořádání interní paměti. I zde se opakuje situace z předchozího obrázku. Celkem 253 MB, tj. 253 stránek (stránka = 1 MB) paměťového prostoru patří k nepřístupné části. Je samozřejmé, že ne každý typ má na čipu tolik paměti, jak je uvedeno na obr. 48. Velikost reálně dostupné paměti se liší typ od typu. Tato reálná paměť se několikrát zrcadlí v prostoru 1 MB tak, že je vyplněn celý.

Zápis do vnitřní paměti typu Flash je dalším úkolem jednotky „Memory Controller“, resp. její části nazvané „Embedded Flash Controller“. Tato jednotka je schopna přepisovat interní paměť Flash po jednotlivých stránkách. Jednotka je schopna přepsat (= mazání + + zápis) jednu stránku za 6 ms.

Další jednotkou, která se nepřímo podílí na vysokém výpočetním výkonu mikrokontroléru, je jednotka PDC, což je zkratka slov „Peripheral DMA Controller“. Slovo nepřímá je zde uvedeno proto, že jednotka se na výpočtech nepodílí, ale dokáže ulehčit práci jádru mikrokontroléru, takže pro vlastní běh programu zbývá více času.

V popisované rodině mikrokontrolérů AT91SAM7 najdeme celkem 11 kanálů vyjma typu AT91SAM7S32, kde je na čipu integrováno pouze kanálů devět (je zde pouze jeden USART).

Přenos dat pomocí DMA je také velmi rychlý, neboť přenos paměť-periferie trvá pouze jeden takt řídicího kmitočtu „Master Clock“, zatímco přenos opačným směrem zabere takty dva. DMA kanál je schopen obsáhnout celý adresový prostor, neboť adresové registry mají šířku 32 bitů. Maximální délka přenesených dat je 64 kbyte, neboť registr čítající přenesené byte je šestnáctibitový. Každá periferie má k dispozici dva kanály DMA, jeden pro přenos paměť-periferie a druhý pro směr opačný. Výjimku tvoří A/D převodník, u kterého je třeba pouze jeden směr přenosu, a to periferie-paměť.

Advanced Interrupt Controller

Tato jednotka je velmi důležitou částí mikrokontroléru, i když to opět není periferie. Protože řada AT91SAM7 je přeurčena pro mnohem složitější úkoly než převážná většina osmibitových mikrokontrolérů, je nasnadě, že i možnosti přerušovacího systému musí být schopny řešit složitější úlohy.

Proto u popisovaných mikrokontrolérů najdeme osmiúrovňový systém, který je schopen obsloužit až 32 žádosti o přerušování. Přitom lze každé žádosti programově přidělit příslušnou úroveň přerušování (úroveň 7 je nejvyšší, úroveň 0 je nejnižší).

Protože se mohou vyskytnout situace, kdy za běhu jednoho přerušení je vyvoláno další přerušení s vyšší prioritou, disponuje „Advanced Interrupt Controller“ osmiúrovňovým hardwarevým zásobníkem, díky němuž je schopen bez problému obsloužit až osminásobně vnořené přerušení.

U interních zdrojů přerušení je možné definovat, zda budou aktivní na hranu či úroveň. U externích zdrojů přerušení je dále možné rozlišit i aktivní úroveň, tj., zda vstup bude aktivní na úroveň H či L, nebo zda bude aktivní sestupná či vzestupná hrana signálu.

Vzhledem k možnostem přerušovacího systému a různým výjimkám (přerušení během debug módu), je více než záhodno si pozorně přečíst originální datasheet k uvedeným mikrokontrolérům, abychom získali alespoň ty nejn nutnější informace o správné obsluze přerušení.

Přerušovací systém je u složitějších systémů velmi důležitý, neboť spektrum přerušení u systémů pracujících v reálném čase je velmi široké. Na jedné straně tu najdeme případy, kdy je nutné zareagovat co nejrychleji, doslova během pár μ s, na straně druhé tu najdeme případy, kdy ani tak nejde o rychlost, jako o složitost obsluhy, kdy čas běhu vlastního přerušení není již zanedbatelný.

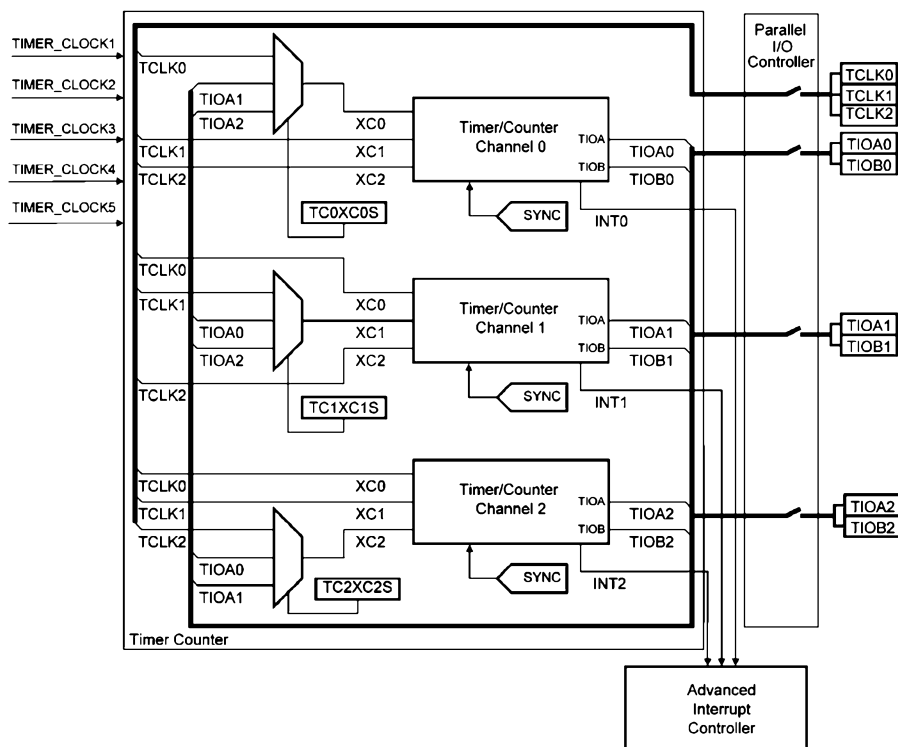
Timer/Counter (TC)

Je to další periferie, která si zaslouží stručný popis. Na čipu popisovaných mikrokontrolérů najdeme hned tři nezávislé kanály šestnáctibitových čítačů/časovačů. Nejjednodušší typ, AT91SAM7S32, má tyto kanály pouze dva. Základní schéma celého bloku čítačů/časovačů je na obr. 49.

Po shlédnutí tohoto schématu by mohl některý čtenář namítnout, že tento blok není ničím výjimečný. Opak je však pravdou. Jedná se o velmi výkonnou periferii s mnoha funkcemi, která může být konfigurována do jednoho ze dvou základních režimů: „Capture Mode“ a „Waveform Mode“. Vzhledem k rozsáhlosti popisu v originální dokumentaci, zvláště pak u druhého z obou módů, bude zde uveden pouze stručný popis prvního módu („Capture Mode“).

Na obr. 50 je vidět, že jádrem jednotky je šestnáctibitový čítač s bohatými možnostmi spouštění a volby řídicího kmitočtu. Konstruktor má možnost si zvolit z celkem osmi zdrojů kmitočtu, přičemž 5 jich je interních a tři externí. U zvoleného zdroje je možné určit, zda bude či nebude signál invertován. Tato volba přijde vhod v situaci, kdy chceme, aby čítač reagoval na opačnou hranu signálu. Pomocí externích vstupů TIOA a TIOB lze případně hodinový signál povolit či zastavit. Ohledně spouštění je vhodné upozornit na možnost synchronního spuštění více kanálů čítačů/časovačů pomocí signálu SYNC.

Popisovaný „Capture Mode“ je vhodný pro měření vlastností signálu jako jsou frekvence, délka pulsu, střída



Obr. 49. Jednotka čítačů/časovačů v AT91. U AT91SAM7S32 není implementován Timer/Counter Channel 2 a jeho podpůrné obvody

apod. Tato měření mohou být prováděna pomocí vhodně nastavených externích vstupů TIOA a TIOB, které pak ovládají dva zachytivé registry Capture Registr A a Capture Registr B.

Už i z tohoto krátkého výčtu možností je snad zřejmé, že schopnosti jednotek TC jsou velké a čítače/časovače lze velmi dobře přizpůsobit tak, aby bylo co nejvíce usnadněno řešení problému.

Popis režimu je díky řadě módů velmi obsáhlý, a proto odkazují čtenáře na originální literaturu firmy ATMEL, kde jistě najdou odpovědi na své otázky.

USB Device Port (UDP)

Je to poslední periferie, kterou si představíme v krátkém povídání o AT91SAM7. Tuto periferii najdeme u všech zástupců, opět s výjimkou toho nejednoduššího, kterým je typ AT91SAM7S32.

Trvalo poměrně dlouho, než si USB porty našly cestu do amatérských aplikací. Snad díky skvělému obvodu FT232B a ovladačům pro operační systémy Windows® se začalo toto rozhraní ve větší šíři používat i v amatérských aplikacích, kde vytlačuje stále hojněji využívané, ale na současnou dobu pro mnoho aplikací pomalé, sériové rozhraní RS-232.

Na čipech mikrokontrolérů rodiny AT91SAM7 je rozhraní USB implementováno ve verzi 2.0-full speed.

Závěrem povídání o výborných mikrokontrolérech rodiny AT91SAM7 s jádrem ARM7® bych rád upozornil, že výčet periférií dostupných na čipech není v tomto článku úplný. Byly vynechány periferie, které jsou buď známé,

jako např. TWI, SPI apod., nebo takové, jejichž popis je dlouhý, jako je PWM controller nebo SCC sériový kanál. Rozsah popisu musel být podřízen možnostem časopisu. Podrobný popis všech vlastností této rodiny zabírá v originále necelých 600 stran formátu A4, a přesto se najdou oblasti, kde by popis mohl či měl být ještě obsáhlejší a podrobnější.

Co bude dál?

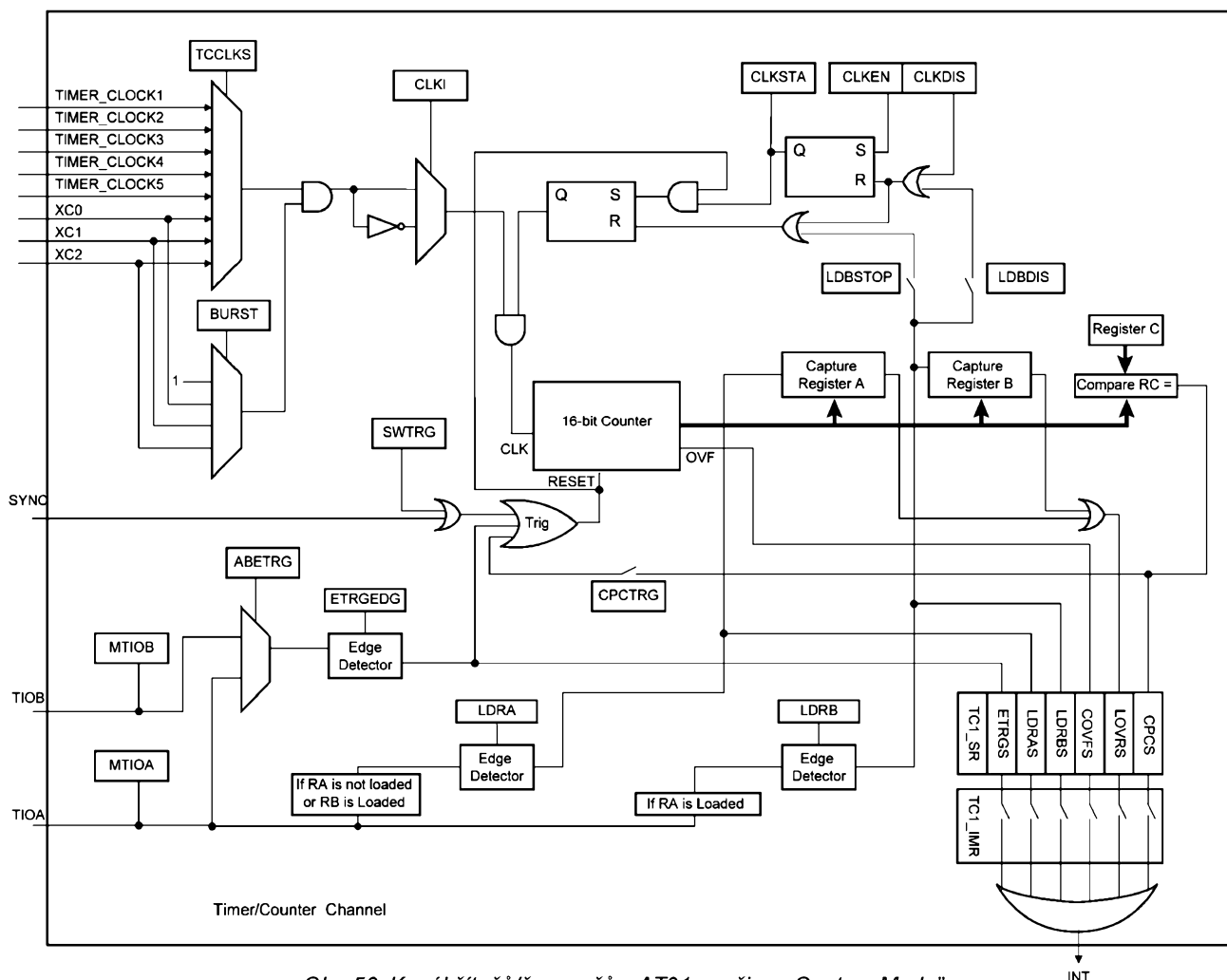
Vývoj se samozřejmě u mikrokontrolérů AT91SAM7 nezastavil. Po určité době, kdy firma vyráběla a získávala zkušenosti z výroby a prodeje těchto mikroprocesorů s jádrem ARM7, představila svoji verzi třicetidvoubitového mikrokontroléru nazvaného AVR32®.

Architektura tohoto mikroprocesoru je zaměřena na typické úlohy, jako např. zpracování obrazu (je zde obrazový koprocesor), zpracování reálného signálu (v jádře je např. implementována saturační logika) a mnoho dalšího.

To, že je mikroprocesor zaměřen na velké úkoly, je poznat i z faktu, že firmou ATMEL je přímo podporován systém Linux (jádro 2.6) jakožto vhodný operační systém pro zákaznické aplikace.

Čtenáře požadující detailnější informace o tomto mikroprocesoru musím bohužel odkázat na webové stránky výrobce (www.atmel.com/products/avr32), neboť i stručný popis tohoto mikrokontroléru se zcela vymyká zaměření časopisu i jeho možnostem.

Na druhé straně ani oblast nejmenších mikrokontrolérů se nestává pro výrobce nezajímavou oblastí, jak ostatně



Obr. 50. Kanál čítačů/časovačů v AT91 v režimu „Capture Mode”

mohlo být poznat z popisu vlastností mikrokontrolérů v pouzdrech s počtem vývodů menším než 20.

A že je to oblast velmi živá, je vidět např. i na nových zástupcích řady AT89, konkrétně AT89LP213, AT89LP214 či AT89LP216, coby pokračovatelích le-

gendárních mikrokontrolérů s jádrem 8051, tentokrát však s jednocyklovým (!) jádrem a možností ladit programové vybavení přímo na použitém procesoru díky implementovanému rozhraní OCD® (On Chip Debug), což je dvojvodičové sériové rozhraní. Popr-

vě tak získávají zástupci řady AT89 možnost ladění programového vybavení podobnou, jako mají mikrokontroléry řad ATTiny a ATmega. Uvedené vlastnosti jistě přesvědčí mnoho uživatelů dále využívat desetiletými osvědčenou architekturu legendy zvané I8051.

Trocha praxe

I když byl popis mikrokontrolérů „proložen” informacemi z praxe, přece jenom by to chtělo také „opravdovou” praxi. Proto v následujících odstavcích budou taktéž konstruktory s populárními mikrokontroléry spolu s dalšími informacemi, které jsou potřebné při vlastní konstrukční práci.

Ladicí rozhraní pro MC68HC908QY

První konstrukcí, která zde bude představena, je rozhraní pro ladění programového vybavení přímo v mikrokontroléru. Jedná se o mikrokontroléry firmy Freescale, a to konkrétně řadu MC68HC908QY.

Z hlediska uživatele jsou tyto mikrokontroléry zajímavé tím, že mají v sobě vestavěny obvody, přes které lze mikrokontrolér nejen programovat, ale přes které lze pomocí interního Monitoru a jednotky Break Unit programové vybavení přímo v cílové aplikaci i ladit.

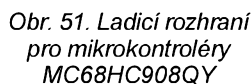
To však není vše, neboť vnější rozhraní lze bez problémů sestavit amatérskými prostředky. Protože se doslova skládá z několika součástek, je jeho cena velmi nízká. Ostatně, podívejte se na obr. 51, na kterém je schéma zmínovaného rozhraní.

Celé rozhraní je založeno na převodníku úrovně RS-232 na TTL s obvodem MAX232ACPE. Je však v podstatě jedno, jaký použijeme převodník, důležitá je u něho pouze jedna vlastnost (kromě vlastního převodu úrovně), a tou je rychlý náběh násobiče napětí +9 V. Proto se jako převodníky hodí ty obvody, které používají kondenzátory s kapacitou 100 nF.

Rychlý náběh napětí +9 V je velmi důležitý, neboť chceme-li „spustit” mikrokontrolér v ladicím režimu, musí být na vstupu PTA2/IRQ napětí U_{TST} o velikosti alespoň $U_{CC} + 2,5$ V, a to v okamžiku ukončení vnitřního Power-on resetu mikrokontroléru. Díky využití napětí z vnitřního násobiče napětí je tato podmínka snadno splnitelná i bez externího zdroje napětí, který by zkomplikoval celé rozhraní.

Pokud nechceme, aby mikrokontrolér přešel po Power-on resetu do ladicího režimu, musí propojka JP3, přes kterou se zavádí napětí +9 V do vstupu PTA2/IRQ, zůstat spojena.

Přítomnost vyššího napětí na vstupu PTA2/IRQ není jedinou podmínkou přechodu mikrokontroléru do ladicího režimu. Vstup PTA0 a PTA1 musí mít úroveň „log. 1” a vstup PTA4 musí mít úroveň „log. 0”. I když jsou tyto požadavky omezující, dají se při dobrém návrhu zapojení snadno dodržet, takže mikrokontrolér bude dobře pracovat jak v ladicím režimu, tak i v reálném provo-



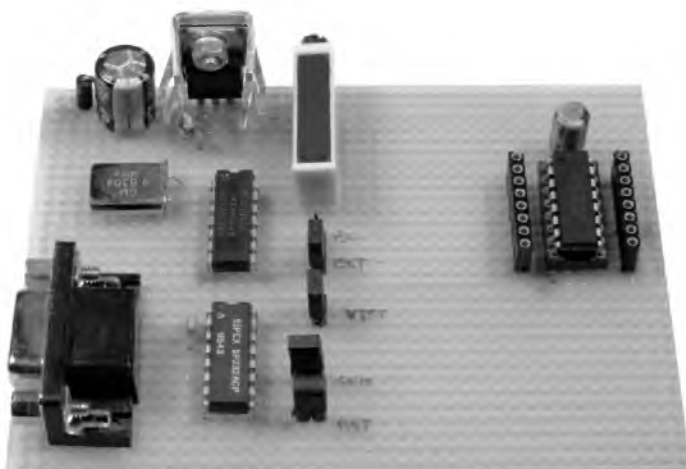
Na odzkoušení aplikací je však též možné přepnout mikrokontrolér na externí RC oscilátor pomocí propojky JP4. V případě použití vnitřního oscilátoru v mikrokontroléru zůstane propojka

Pravděpodobně nejjednodušším, ale plně vyhovujícím řešením, je sloučit oba signály diodou D1. Vzhledem k nutnosti dodržet logické úrovně, byla jako nevhodnější vybrána Schottkyho dioda

Při ověřování funkčnosti bylo shledáno, že je vhodné jako externí trimr

Tab. 5. Přehled všech možných způsobů uvedení mikrokontroléru MC68HC908QY do stavu ladění programu. U_{TST} je napětí o velikosti alespoň $U_{CC} + 2,5\text{ V}$

Mode	PTA2 (IRQ)	PTA3 (RST)	Reset Vector	PTA0	PTA1	PTA4	COP	Ext. Clock [MHz]	Bus speed [MHz]	Baud Rate [Bd]	Note
Normální monitor	U_{TST}	U_{DD}	X	1	1	0	Zakázán	9,8304	2,4576	9600	Externí řídicí kmitočet
Vnucený monitor	U_{DD}	X	0xFFFF	1	X	X	Zakázán	9,8304	2,4576	9600	Externí řídicí kmitočet
	U_{SS}	X	0xFFFF	1	X	X	Zakázán	X	1,0	4800	Interní řídicí kmitočet
Uživatelský režim	X	X	Jakýkoliv vyjma 0xFFFF	X	X	X	Povolen	X	X	X	
MON08	U_{TST}	RST	-	COM	MOD0	MOD1	-	OSC1	-	-	



Obr. 52. Prototyp rozhraní pro ladění aplikací s mikrokontrolérem MC68HC908QY

RP1 použit víceotáčkový typ (např. typ 64Y, 64Z nebo PM19), aby bylo možné snadněji nastavit požadovanou frekvenci oscilátoru.

Popsaný způsob uvedení mikrokontroléru do stavu ladění programu není jediným možným způsobem, ale je to způsob, který je platný vždy (nezáleží na obsahu paměti programu, konkrétně reset vektoru). Všechny možné způsoby uvedení mikrokontroléru do stavu ladění programu jsou uvedeny v tab. 5.

Ale vlastní rozhraní, i když laciné, není samo o sobě postačující. Abychom mohli vyvíjet programy, je nutné vhodné vývojové prostředí. Naštěstí, jak se v poslední době stává zvykem, je toto vývojové prostředí poskytováno zadarmo přímo výrobcem mikrokontrolérů.

Nejinak je tomu i v tomto případě. Vývojové prostředí, které si můžeme stáhnout ze stránek výrobce, se jmenuje CodeWarrior®, a je v něm integrováno vše, co potřebujeme pro psaní i ladění programového vybavení.

Nebylo by na tom nic zajímavého, nebyť faktu, že v tomto prostředí je dostupný i překladač jazyka C ! I když je velikost výsledného kódu generovaného z jazyka C omezena na 4 kB (pozn.: v případě speciální edice to je 16 kB), je tato velikost plně dostačující pro mnoho aplikací. Vždyť MC68HC908QY4 má velikost paměti pro program právě 4kB.

Limit pro kód psaný v jazyku symbolických adres je dán pouze velikostí paměti cílového mikrokontroléru. Zmiňované vývojové prostředí je možné stáhnout z webových stránek výrobce mikrokontrolérů www.freescale.com. Stažení je podmíněno registrací. Pokud máme k dispozici pouze pomalé připojení na internet či malý FUP limit, je nutné si uvědomit, že instalace CodeWarrior® „obnáší“ asi 290 MB!

Při využívání prostředí CodeWarrior® nesmíme zapomenout, že se jedná o profesionální vývojové prostředí podporující jak mnoho typů mikrokontrolérů, tak i řadu vývojových prostředků.

Proto je nutné před prvním použitím popsaného rozhraní nastavit ve vývojovém prostředí odpovídající typ. Odpovídající typ pro popisované rozhraní je zřejmý z obr. 53.

Toto nastavení je přístupné v režimu ladění programu, takže je nutné mít napsaný alespoň malý program (třeba přeložený vzorový příklad) a v menu **Project** vybrat volbu **Debug**. To způsobí přeložení a zlinkování programu a přechod do režimu ladění, za což je zodpovědná část programu nazývaného se **True-Time Simulator & Real-Time Debugger**. Zde v menu **Component** najdeme položku **Set Target** (= obr. 3.3).

O vlastním vývojovém prostředí by bylo možné napsat mnoho stránek, ale

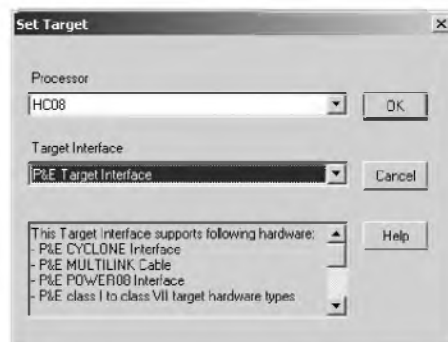
na to zde není jednak místo, jednak je prostředí velmi intuitivní, takže s integrovanou nápovědou se velmi lehce ovládá. Proto jen velmi stručně.

Jedním důležitým rysem prostředí je podpora tzv. projektů, což umožňuje výsledný program rozdělit do separátních částí a ty pak přeložit tak, že vytvoří výsledný program. Výhodou projektů je jednak to, že se překládá vždy jen ten soubor, který vývojář upravil, jednak se dají jednotlivé soubory řešící jeden ucelený problém, např. komunikaci po lince RS-232 či matematické operace v pohyblivé čáře, použít snadno i v jiných programech pouhým začleněním příslušného souboru do projektu. To umožňuje programátorovi dosáhnout vyšší efektivity práce.

Nezanedbatelnou předností IDE je průběžná „jazyková“ kontrola (kontrola syntaxe) pomocí barevného rozlišení textu. Díky této kontrole jsou některé typy chyb, zvláště u začínajících uživatelů, vidět tzv. na první pohled.

Samozřejmě existují i jiná vývojová prostředí, ale zmiňované vývojové prostředí je velmi kvalitním prostředím s velmi širokými možnostmi. Paleta nabízených funkcí nám bude vyhovovat, zejména když budeme chtít začít psát programy profesionálně. Ale i pro amatérské potřeby je toto prostředí vhodné.

Proto toto prostředí doporučuji každému, kdo chce vážně pracovat s těmito popisovanými mikrokontroléry a mikrokontroléry firmy Freescale vůbec.



Obr. 53. Typ rozhraní (= interface)



Obr. 54.
Digitální
posuvné měřítko

Interfejs pro digitální posuvné měřítko

Na trhu se před časem objevilo digitální posuvné měřítko, které je cenově velmi přijatelné díky faktu, že je vyráběno v Číně (obr. 54). Kromě zmiňované nízké ceny, která však v tomto případě neznačí nízkou kvalitu, jsou u posuvného měřítka zajímavé jeho další dvě vlastnosti.

První z nich je fakt, že se jedná o měřítko s rozsahem 0 až 200 mm, což je o 50 mm více, než mají standardní měřítka, která jsou běžně dostupná. Díky tomuto faktu se rozšiřují možnosti využití.

Druhou neopomenutelnou vlastností je fakt, že ač se o tom oficiální dokumentace nezmiňuje, je vybaveno komunikačním rozhraním se čtyřpólovým přímým konektorem. O existenci tohoto konektoru se lze dočíst u interfejsu dodávaného též výrobcem. Protože však cena profesionálního interfejsu několikrát převyšuje cenu vlastního posuvného měřítka, je více než jasné, že vzniknou amatérské konstrukce.

Vraťme se ke konektoru. Jedná se o konektor s roztečí vývodů 2 mm, který je netypický. Takže prvním problémem, se kterým se setkáme při konstrukci rozhraní, je způsob, jak připojit kabel k posuvnému měřítku.

Bohužel originální či jiný přímý konektor vhodný pro posuvné měřítko se mi nepodařilo sehnat. Lze však sehnat konektor nepřímý s roztečí 2 mm (Farnell), který se však nevejde do prostoru pod krytkou.

Z uvedených důvodů bylo pro účely vývoje převodníku zvoleno přímé připájení kabelu na konektor v posuvném měřítku. Musíme pájet velmi opatrně, abychom konektor nepoškodili. Pro finální konstrukci je však nutností použít kabel s konektorem, aby bylo možné kabel odpojit a aby byl přece jenom trochu chráněn přímý konektor v posuvném měřítku před poškozením (před nechtěným odtržením měděné fólie).

Začneme-li pátrat, jak je konektor zapojen, po nepříliš dlouhé době zjistíme, že data jsou přenášena pomocí synchronního protokolu. Takže na konektoru kromě napájení budou hodiny

(Clock) a data. Uspořádání signálů na konektoru je vidět na obr. 55. Pokud někoho zarazilo, že napájení je označeno jako záporné, je to z toho důvodu, že kladný pól napájecího článku je spojen s tělem posuvného měřítka. Proto je kladný pól označen jako GND a záporný pól jako -1,5 V.

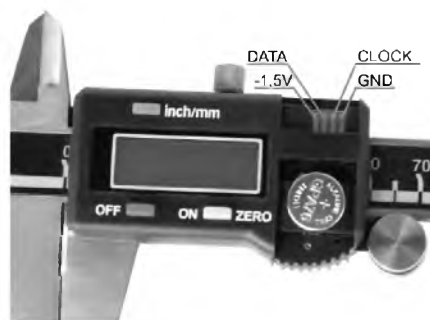
Zbývá tedy vyřešit otázku formátu přenášených dat. Tu je situace trochu komplikovanější, ale za pomoci digitálního osciloskopu či lépe logického analyzátoru snadno odhalíme, jak jsou data přenášena.

Vzhledem k nestandardním úrovním byl nejdříve zkonstruován převodník úrovní, který byl použit jako interfejs pro logický analyzátor. Následně bylo stejné zapojení použito i v zapojení celého převodníku.

Formát přenášených dat je zřejmý z obr. 56. Z průběhů je vidět, že data jsou platná, jsou-li hodiny v úrovni L (asi -1,5 V), a mohou se měnit, když je hodinový signál v úrovni H. Z hlediska spolehlivosti je vhodné zjišťovat stav datového vodiče zhruba v půli intervalu, ve kterém je hodinový signál v úrovni L.

Spolehlivějším způsobem by bylo jistě vícenásobné vzorkování stavu např. v 1/3, 1/2 a 2/3 zmiňovaného intervalu, jak to např. dělají přijímače v rozhraní UART, ale protože se během testování nevyskytl žádný problém při přenosu dat, bylo od toho způsobu upuštěno.

Vzhledem k rychlosti přenosu dat a možností použitého laciného mikrokontroléru 89C2051-24PI běžícího na kmitočtu 22,1184 MHz by při vícenásobném vzorkování také následně vzniknul problém se zpracováním „vícebodově“ navzorkovaných dat. Jedna instrukce typu reg-reg totiž trvá při zmi-



Obr. 55. Rozmístění signálů na konektoru digitálního posuvného měřítka

ňovaném hodinovém kmitočtu 0,542 μ s, což by umožňovalo provést jen asi 12 až 14 instrukcí do příchodu další vstupné hrany.

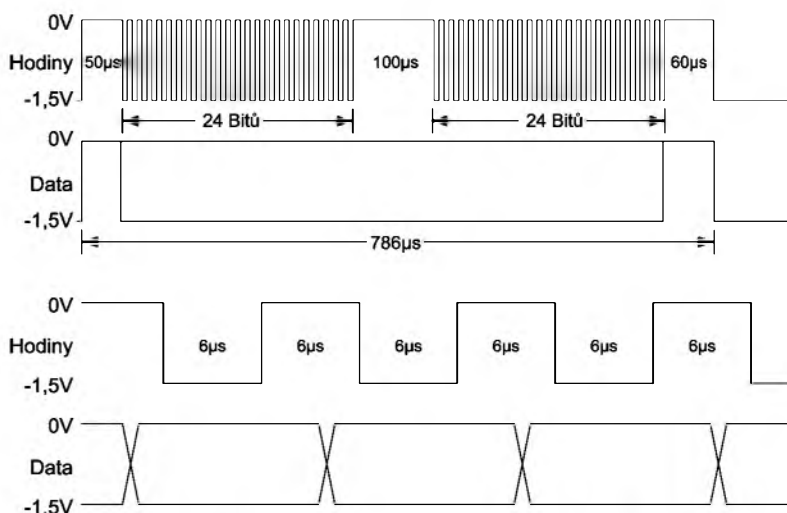
Pokud by některý ze čtenářů chtěl zpracovávat signál dokonaleji, tedy testovat přijímaný signál vícebodově, necht' raději použije velmi podobný mikrokontrolér AT89LP2052 či AT89LP4052, který má jádro jednocyklové, a je tudíž rychlejší a tedy i vhodnější (byl již dříve popsán).

Mikrokontrolér AT89LP2052-20PU je běžně k dostání u GM Electronic (skl. č. 432-209) za velmi přijatelnou cenu.

Datový paket obsahuje celkem 48 bitů (2x 24 bitů). Tento paket je vyslán přibližně 3x za sekundu.

Obě 24bitové hodnoty nejsou shodné. První z nich je relativní posun od posledně zadané relativní nuly. Druhé 24bitové číslo vyjadřuje „jakousi“ absolutní pozici, neboť hodnota není závislá na relativním počátku jako hodnota první. Slovo „jakousi“ bylo zvoleno proto, že počátek je zvolen při zapnutí, ale při každém zapnutí je jiný.

Formát čísel je jednoduchý. Jeden bit je vyhrazen pro znaménko, zbývají-



Obr. 56. Přenos dat z digitálního posuvného měřítka

cích 23 bitů pro hodnotu. Z toho vyplývá, že zde existuje jak kladná nula, tak záporná nula. Rozlišení, či chcete-li jednotka měření, je 1/20480 palce.

Otázkou zůstává co s takto získanými daty. Okamžitě se nabízejí dvě možnosti. První z nich je pouze zobrazovat hodnoty na větším displeji. Druhou možností je přenášet naměřená data do nadřazeného počítače typu PC pro další zpracování. Tímto způsobem by bylo možné získávat data např. pro kontrolní měření s přímým zápisem do výstupního protokolu a automatickou archivaci.

Další možností je využít posuvné měřítko pro měření posuvu frézy či souputu soustruhu, přičemž měřená data jsou přenášena do řídicí jednotky. Tímto jednoduchým způsobem lze snadno získat amatérskou NC frézu či soustruh. Tím však možnosti využití posuvného měřítka s interfejsem jistě nekončí.

Pro ověření funkce byla zvolena varianta pouhého zobrazování naměřené hodnoty na větším displeji typu LED.

Pojďme se podívat na vlastní konstrukci. Základem všeho je převodník úrovní. Tento převodník lze udělat mnoha způsoby. V našem případě potřebujeme převodník, který v klidu zatěžuje obvod posuvného měřítka co nejméně, má výstup s logickými úrovněmi TTL a je poměrně jednoduchý. Na druhou stranu nemusí být rychlý.

Na základě těchto požadavků bylo vybráno zapojení s invertujícími oddělovači CMOS 4049 (obr. 57). Zavedením záporné zpětné vazby jsou oddělovače uvedeny do lineárního provozního režimu. Vstupní kondenzátory odstraňují napěťový posun, takže úroveň signálu na vstupu prvního z kaskády oddělovačů se pohybují okolo rozhodovací úrovně oddělovače. Nastavením vhodné velikosti zpětné vazby je dosaženo požadovaných logických úrovní na výstupu posledního z kaskády oddělovačů.

Jak je z obr. 57 vidět, 100 % využitím obvodu 4049 dokážeme obsloužit právě dva potřebné kanály (hodiny a data). Další zpracování je již pouze softwarové.

Jako nejvhodnější mikrokontrolér pro odzkoušení byl zvolen 89C2051, ke kterému je dostatek programového vybavení i vývojových prostředků. Je samozřejmě, že lze použít jakýkoliv mikrokontrolér s dostatečným počtem vstupů/výstupů. Dalším kritériem je dostatečná proudová zatížitelnost výstupů, které budí LED displej. Těmto požadavkům vyhovují právě rodiny mikrokontrolérů 89C2051, 89S2051 nebo 89LP2052.

Aby proudové zatížení výstupů bylo ještě sníženo, byly jako číslicovky pro displej zvoleny sedmisegmentové LED displeje s nízkou spotřebou. Mezi takové patří (značení GM Electronic): HDSP-H111 (skl. č. 512-137), HD-A55UBRD-B (skl. č. 512-210).

Dále se před nedávnem v sortimentu fy GM Electronic objevily displeje nesoucí značení HD-S-5612, které mají velmi dobré elektrické a elektrooptické

parametry. Kromě již vzpomínané nižší spotřeby dané vyšší svítivostí jsou displeje zajímavé svými barvami. Číslicovky jsou totiž dostupné v řadě „netradičních“ barev. I když jsou běžně na trhu „zelené“ displeje, jedná se spíše o žlutozelenou barvu, v případě „žluté“ jde pak spíše o žlutooranžovou. Avšak v případě vzpomínaných číslicovek tomu tak není. K dispozici jsou následující barvy: v první řadě je to bílá (HD-S-5612BW-11), dále je to modrá (HD-S-5612BB-11, dominantní vlnová délka 430 nm), žlutá (HD-S-5612BUY-11, dominantní vlnová délka 590nm), „čistá“ zelená (HD-S-5612BPG-11, dominantní vlnová délka 525 nm) a „ultra“ zelená (HD-S-5612BUG-11, dominantní vlnová délka 574 nm). Samozřejmě je možné koupit tyto číslicovky i v barvě červené (HD-S-5612BUHR-12, dominantní vlnová délka 645 nm).

I když tyto číslicovky nejsou označeny jako nízkopříkonové, jas segmentu při proudu 1,5 až 2 mA je dostačující pro většinu aplikací. Pro ověření vhodnosti displejů pro další aplikace byly použity v ověřovacím zapojení modré číslicovky. Schéma zkušebního zapojení je na obr. 58.

Displej byl provozován v multiplexním provozu (1 : 8). Vzhledem k malému počtu vývodů mikrokontroléru je pozice právě zobrazované číslice dekodována externím obvodem 74HC138.

Uvedené zapojení umožňuje obsloužit až sedmimístný displej (v našem případě pouze šestimístný), a přitom máme ještě jednu pozici k dispozici pro případná tlačítka. Tento způsob připojení ovládacích tlačítek dokáže v mnoha případech ušetřit mnoho vstupních vývodů pro ně. Cenou za toto řešení je poněkud složitější obsluha, ale ne příliš, neboť obsluha displeje stejně běží v pravidelném intervalu. Vhodným intervalem pro obsluhu displeje s délkou do osmi míst je 1 ms. Tento interval byl zvolen i v tomto případě.

Další částí zapojení jsou dva vstupní převodníky úrovní shodného provedení, jako byly použity pro zkoumání přenosového protokolu a formátu dat.

U mikrokontroléru zůstaly nezapojeny vývody RxD a TxD od interního obvodu UART, neboť pro odzkoušení ho nebylo třeba. V případě potřeby lze tyto vývody obsadit a přenášet naměřená data do nadřazeného systému k další-

mu zpracování, jak bylo již dříve naznačeno.

V celém zapojení není žádná záludnost. Možný problém se skrývá v programovém vybavení.

Je nutné si totiž uvědomit, že v okamžiku, kdy poběží obsluha čtení přenášených dat, nesmí být obslouženo přerušení od čítače/časovače generujícího požadavek reforese (obnovy) displeje.

Z tohoto důvodu je třeba se zasyndronizovat na start přenosu dat a obnovu udělat před a po vlastním přenosu dat, jinými slovy, celý přenos dat se musí „schovat“ do rámce 1 ms. Pokud bychom nezasynchronizovali oba děje a třeba jedno zobrazování pouze zpozdili, projevílo by se to v různém jasu LED displeje. Na druhou stranu je faktem, že přenos dat probíhá zhruba 3x za sekundu a z hlediska reforese neznámá významnou změnu. Přesto je vhodné se tomuto možnému problému vyhnout.

Jinak programové vybavení nepředstavuje nic zajímavého, neboť spočívá v načtení dat a vynásobení 24bitového slova konstantou s následným zaokrouhlením. Výsledek se pak převede do BCD kódu a potlačí se úvodní nevýznamné nuly. Následuje převod do kódu pro LED displej a vlastní zobrazení.

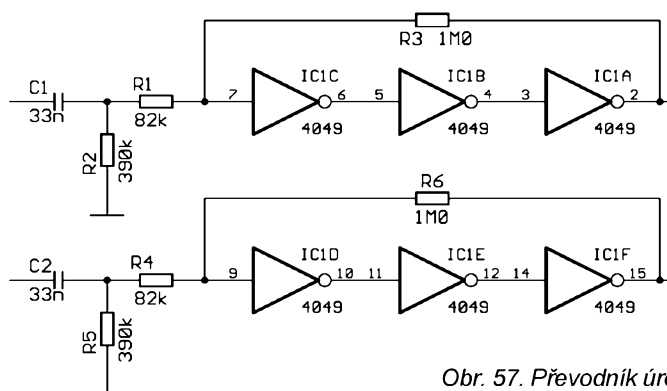
Program obsažený v mikrokontroléru 89C2051, který tyto úkony vykonává, je nazván **test.bin** a je možné ho vyžádat u autora na jeho e-mailové adrese.

Tlačítko TL1 mělo v ověřovacím zapojení dvě funkce. Bylo-li stisknuto při zapnutí systému, na displeji se zobrazovaly nasnímané hodnoty bez jakýchkoliv úprav (to je jeden z důvodů, proč má displej 6 míst). V případě normálního startu pak sloužilo k přepínání zobrazení mm/inch.

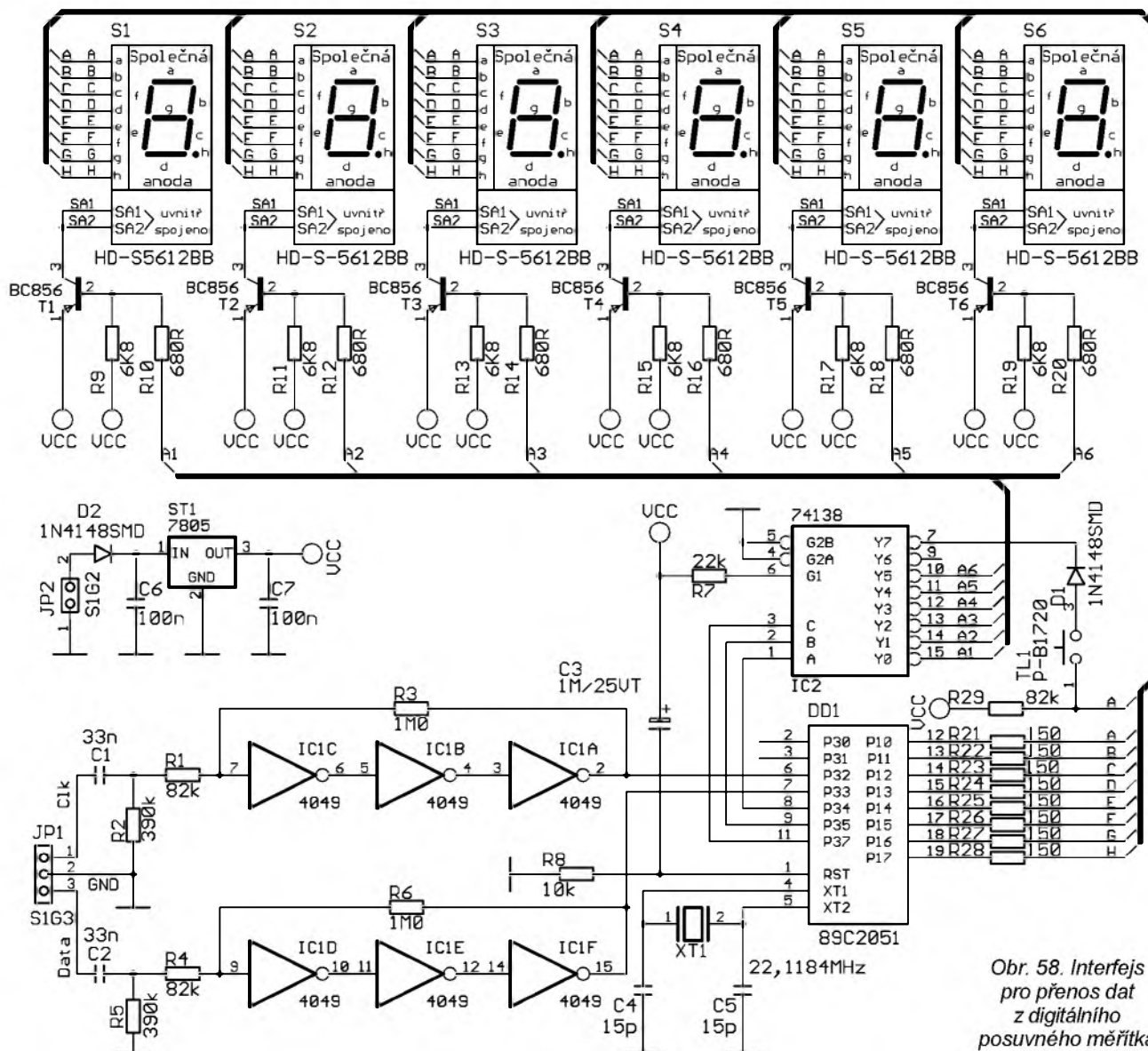
V průběhu testování a ověřování funkce bylo zjištěno, že je možné elektroniku posuvného měřítka i ovládat. Jinými slovy, komunikace probíhá i směrem do posuvného měřítka. Jedná se pouze o komunikaci primitivní, ale může v některých případech přijít vhod.

Elektronika posuvky se ovládá tak, že se zkratuje signál CLK na GND. Jeli spojení delší než určitá doba, vynuluje se údaj na displeji, což znamená nastavení nového relativního počátku.

V ověřovacím zapojení však tato možnost nebyla využita, jelikož se na tuto vlastnost přišlo až po návrhu vlastního zapojení.



Obr. 57. Převodník úrovní

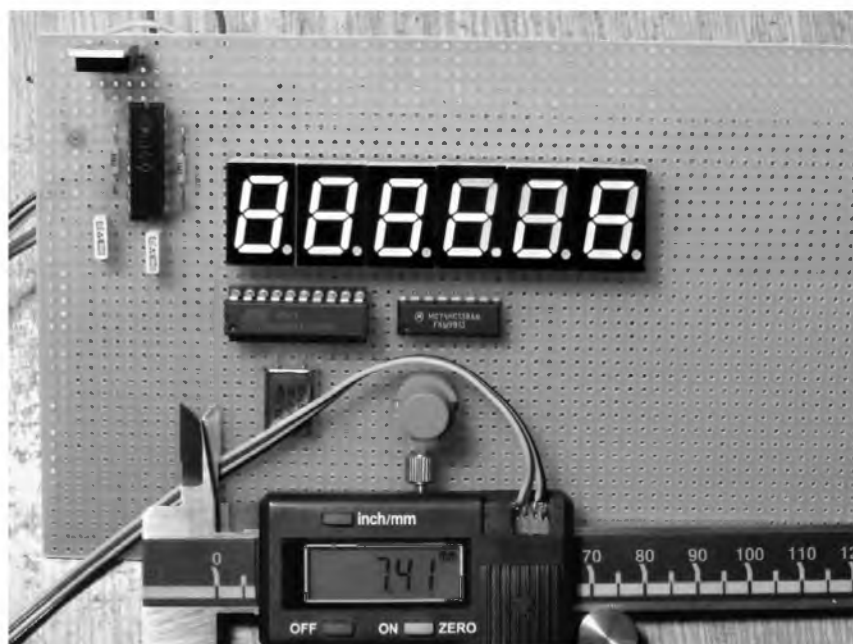


Celý interfejs byl pro ověření funkčnosti postaven na univerzální desce s plošnými spoji. Většina součástek

byla použita v provedení pro SMT, a to ve velikosti 1206 (obr. 59). Finální deska s plošnými spoji navržena nebyla,

neboť celý vývoj není u konce. Ve hře zůstávají dvě varianty přístroje: první je samostatná jednotka, druhou je jednotka sloužící pouze pro převod formátu dat na sběrnici RS-232 s následným přenosem do PC. U druhé varianty je zvažováno nasazení mikrokontroléru s malou spotřebou, neboť se tu nabízí možnost napájet celý interfejs z rozhraní RS-232.

Taktéž by bylo možné interfejs doplnit zdrojem napětí -1,5 V a napájet jím posuvné měřítko, ve kterém by pak nemusel být vůbec napájecí článek.



Obr. 59. Ověřovací zapojení interfejsu k digitálnímu posuvnému měřítku

Závěr

O mikrokontrolérech dalších firem, především FreeScale a MICROCHIP, bude pojednáno v některém z příštích čísel KE v roce 2008.

Popis mikrokontrolérů bude doplněn, podobně jako v tomto čísle KE, praktickými konstrukcemi.

Kontakt na autora:

Mobil: 606 268 320

E-mail: jiri.kopelent@volny.cz

ZAJÍMAVÁ A PRAKTICKÁ ZAPOJENÍ

V této kapitole jsou uvedena zapojení z oblasti techniky v domácnosti a měřicí techniky, která jsou většinou převzata ze zahraničních časopisů. Popsané konstrukce je vhodné brát především jako podnět a inspiraci k další tvůrčí činnosti a k vlastnímu laborování.

Technika v domácnosti

Indikátor otevřených dvířek u chladničky

Nedovření dvířek způsobuje zvětšení spotřeby chladničky, zalednění výparníku a hrozí i zkažení potravin. Popisovaný indikátor hlídá otevření dvířek a po několika sekundách je začne indikovat pískáním. To má i svůj výchovný efekt, který vede uživatele, především malé děti, k tomu, aby se dvířka otevírala pouze na krátkou dobu.

Schéma indikátoru je na obr. 1. K indikaci otevření dvířek je použit fototranzistor Ft umístěný do těsné blízkosti dvířek, který se vnějším světlem při pootevření dvířek sepne (indikátor nefunguje, když je v místnosti, ve které je lednička umístěna, tma). Pokud stačí indikovat až větší pootevření dvířek, můžeme fototranzistor umístit k žárovce, která osvětluje vnitřek chladničky. Fototranzistor se pak sepne při jejím rozsvícení.

Sepnutím fototranzistoru se přivede nízká úroveň L na vstup RESET (vývod 12) IO1. Obvod IO1 je typu 4060 a je to RC oscilátor s binární děličkou kmitočtu. Úroveň L na vstupu RESET se uvede oscilátor RC v činnost. Jeho kmitočtet f_o je určen hodnotami C1 a R2 podle vztahu: $f_o = 1/(2,3 \cdot R2 \cdot C1)$ [Hz; Ω , F] a v tomto zapojení je asi 1,3 kHz.

Na výstupu Q13 (vývod 3) IO1 je kmitočtet f_o vydělen číslem 2^{14} , tj. 16 384x. Tzn., že asi po 6,2 s od sepnutí fototranzistoru (po polovině periody vyděleného kmitočtu) se na výstupu Q13 objeví vysoká úroveň H a přes hradlo z diod D2 a D1 se z výstupu oscilátoru RC (z vývodu 10 IO1) vybudí kmitočtem

1,3 kHz piezoměnič Piezo. Pokud bude fototranzistor stále sepnutý, bude měnič Piezo pískat dalších 6,2 s, pak bude 6,2 s potichu, pak zase bude 6,2 s pískat atd., tj. bude pískat vždy při úrovni H na výstupu Q13.

Hodnoty součástek indikátoru jsem zvolil tak, aby zapojení bylo co nejjednodušší a aby dobře plnilo svůj účel. Kmitočtet pískání má být v oblasti, ve které má piezoměnič dobrou účinnost a kde je lidský sluch hodně citlivý.

Abyste hradlo s diodami D1 a D2 správně pracovalo, musí být paralelně k piezoměnič připojen rezistor R5. Jeho odpor jsem zvolil tak, aby podstatným způsobem nezvětšoval odběr proudu. Ten je v aktivním stavu asi 1,5 mA (bez proudu Zenerovou diodou D5).

Napájecí napětí doporučuji co největší, tj. 13 až 14 V (maximální napájecí napětí obvodů CMOS je 15 V), aby bylo pískání co nejhlasitější. Indikátor však pracuje i s mnohem menším napájecím napětím. Vhodné a bezpečné je napájet indikátor destičkovou baterií 9 V. V tom případě vynecháme součástky C2, C3, R3 a D3 až D5 a baterii připojíme místo D5 (kladným pólem nahoru).

Nejvýhodnější je však napájet indikátor ze sítě, a nic tomu nebrání. Odpadá starost o výměnu baterie. Nesmíme ale zapomenout, že indikátor pracuje ve vlhkém prostředí, takže tato varianta je určena pouze pro zkušené konstruktéry. **POZOR NA ÚRAZ ELEKTRICKÝM PROUDEM!** Síťový přívod musíme provést velmi pečlivě a musí být co nejkratší. Nejvýhodnější je celý indikátor umístit do těsné blízkosti vnitřní osvětlovací žárovky, na kterou je při-

váděno síťové napětí. Fázový (L) a nulový (N) vodič bychom v žádném případě neměli zaměnit, i když by indikátor fungoval. Pozor na případné použití rozdvojky, která otáčí fázi!

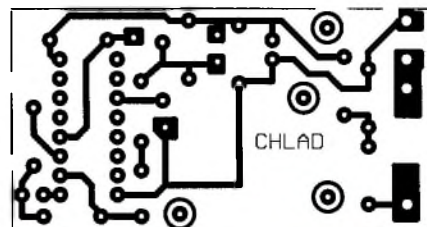
Síťové napětí se zmenšuje předřadným kondenzátorem C3, který je doplněn usměrňovačem s D3, D4 a C2. Velikost napájecího napětí 13 V určuje Zenerova dioda D5. Na C3 se neztrácí žádná energie, což je v tomto zapojení podstatné. R3 omezuje přechodový děj při zapnutí. Kapacita 100 nF kondenzátoru C3 je optimální, nesmíme však již dále zvětšovat odběr proudu.

Všechny součástky indikátoru jsou vývodové a jsou připájeny na DPS s jednostrannými spoji (obráz. 2). Fototranzistor Ft je umístěn mimo desku.

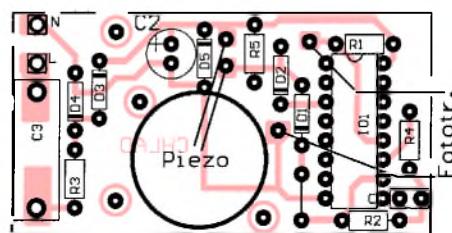
Seznam součástek

R1	4,7 M Ω , miniaturní
R2	15 k Ω , miniaturní
R3	680 Ω , miniaturní
R4	680 k Ω , miniaturní
R5	30 k Ω , miniaturní
C1	22 nF/100 V, fóliový
C2	100 μ F/16 V, radiální
C3	100 nF/275 VAC (CFAC)
D1, D2	KA136 (1N4148)
D3, D4	1N4007
D5	BZX83V013
	Zener. dioda 13 V/0,5 W
Ft	SFH309-5 (fototranzistor)
IO1	CMOS 4060
Piezo	KPT1540W (piezoměnič)

Ing. Jiří Vlček



Obr. 1. Indikátor
otevřených dvířek
u chladničky



Obr. 2. DPS indikátoru (měř.: 1 : 1)

WC automat

Popisovaný přístroj, jehož schéma je na obr. 3, zajišťuje automatické ovládání světla a ventilátoru na WC.

Na výstupní straně automatu jsou dvě relé. Relé RE1 spíná síťové napětí na svorkovnici K1, ke které je připojena lampa (světlo) na WC. Druhé relé RE2 spíná síťové napětí na svorkovnici K2, ke které je připojen ventilátor. Obě relé mají cívku na napětí 12 V a jeden výkonový přepínací kontakt se zatížitelností 250 V (50 Hz)/8 A. V původním prameni je doporučováno relé Siemens V23057-B2-A101.

Na vstupní straně automatu je svorkovnice K2, na kterou se přivádí síťové napětí, a ovládací dveřní spínač S1, kterým se spouští funkce automatu. Kvůli spolehlivosti je S1 tvořen jazýčkovým kontaktem, který je ovládán malým feritovým permanentním magnetem připevněným na horní hraně dveří od WC. Jazýčkový kontakt S1 je připevněn na zárubni dveří tak, aby byl v dosahu magnetu. Při zavřených dveřích WC musí být S1 sepnut, po otevření dveří se vypne.

Přes odrušovací integrační článek R6, C2 je spínač S1 připojen na vstup hradla IO1B typu 4093, které funguje jako Schmittův klopný obvod (SKO). V klidovém stavu je světlo na WC zhasnuté a ventilátor nepracuje. Chceme-li WC použít a otevřeme-li dveře, S1 vypne, výstup hradla IO1B přejde z úrovně H do L, derivační článek R7, C11 vygeneruje krátký exponenciální impuls úrovně L a na výstupu hradla

IO1D se objeví krátký pravoúhlý impuls úrovně H. Tímto impulsem se spustí kyv monostabilního klopného obvodu (MKO) IO2A typu 4538. Doba kyvu lze nastavit trimrem P1 v rozmezí asi 1 až 100 s. Po dobu kyvu je na výstupu MKO na vývodu 6 IO2A úroveň H a přes inverter IO1A a tranzistor T1 je aktivováno relé RE1. Kontaktem RE1 je zapnuto světlo.

Pozn. red.: Podle katalogových listů IO 4538 by do série s časovacím trimrem P1 měl být zapojen rezistor s odporem minimálně 5 kΩ, aby vývod RC MKO nemohl být nikdy připojen přímo na kladnou napájecí sběrnici.

Po skončení kyvu MKO IO2A světlo zhasne, ať je WC obsazeno, nebo ne. Pokud by se doba svícení 100 s ukázala krátkou, je možné ji až několikrát prodloužit zvětšením odporu trimru P1 (až na 2,5 MΩ) a kapacity kondenzátoru C3 (až na 1 000 μF, pozor na svodový proud!).

Vzestupnou hranou na výstupu 6 IO2A je se zpožděním asi 10 s, daným integračním článkem R3, C5, spuštěn kyv druhého MKO IO2B. Během kyvu tohoto MKO je přes tranzistor T2 aktivováno relé RE2 a jeho kontaktem je zapnut ventilátor. Doba kyvu lze nastavit trimrem P2 opět od asi 1 do asi 100 s. Podobně jako u MKO IO2A (viz předchozí poznámka) by měl být do série s P2 zapojen rezistor s odporem alespoň 5 kΩ.

Když při opuštění WC znovu otevřeme dveře, vygeneruje se na výstupu hradla IO1D další kladný impuls. Pokud však ještě svítí světlo, je na vstupu 9

hradla IO1C úroveň H (přiváděná z výstupu 6 MKO IO2A přes integrační článek R2, C4) a impulsem úrovně H na vstupu 8 IO1C se na výstupu 10 IO1C vytvoří impuls úrovně L, kterým se MKO IO2A vynuluje a jeho kyv se ukončí. Světlo však nezhasne okamžitě, protože díky zpožďovací funkci článku R2, C4 je relé RE1 ještě několik sekund aktivováno. Zpoždění zhasnutí lze případně prodloužit zvětšením kapacity kondenzátoru C4.

Výhodou použitého zapojení WC automatu je to, že světlo na WC zhasne a ventilátor se zastaví, i když např. při hře děti zůstanou dveře WC pootevřené.

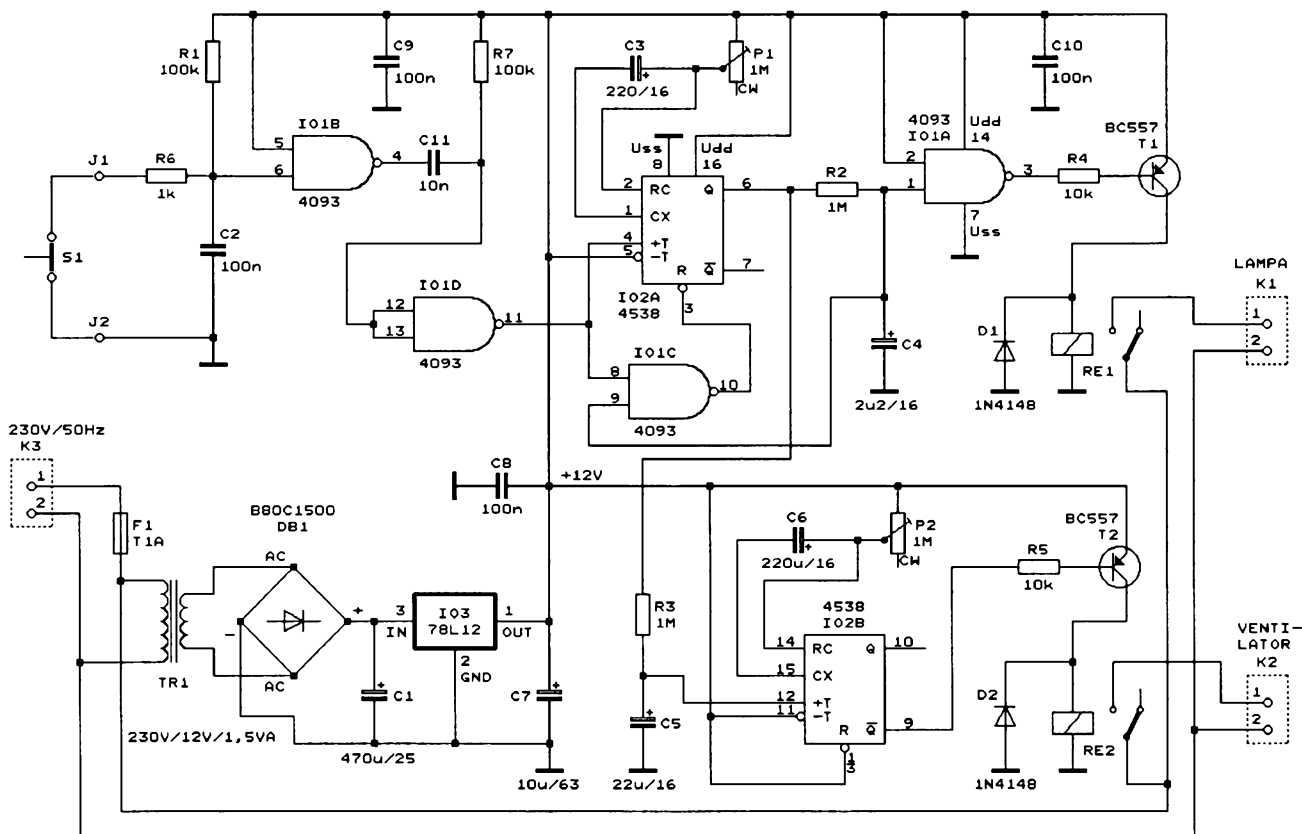
WC automat je napájen napětím +12 V z vnitřního síťového stabilizovaného zdroje. Zdroj je klasický, obsahuje síťový transformátor TR1, můstkový usměrňovač DB1, vyhlazovací kondenzátor C1 a třisvorkový stabilizátor IO3. Síťové vinutí TR1 je chráněno pojistkou F1. Aby jednotlivé IO případně nekmitaly, je napájecí sběrnice +12 V důkladně blokována kondenzátory C7 až C10.

Součástky WC automatu jsou umístěny na desce s jednostrannými plošnými spoji, která je uvedena v původním prameni. Deska je vestavěná do dobře izolované plastové skříňky.

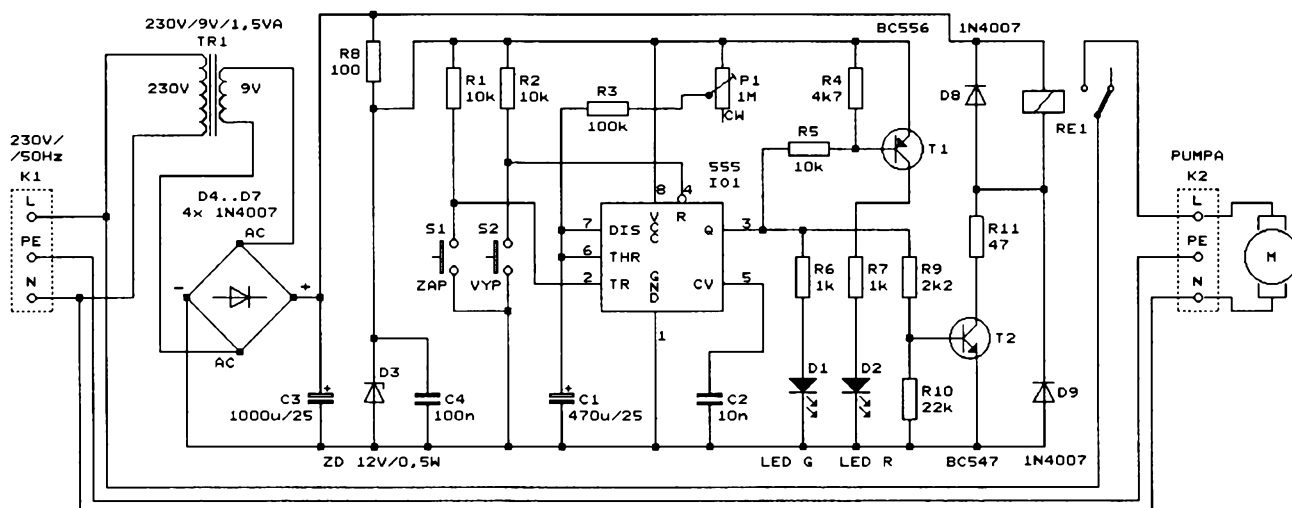
Vzhledem k tomu, že na desce se vyskytuje síťové napětí, je nutné při ožiování a instalaci dbát všech příslušných bezpečnostních předpisů.

Nejvhodnější je při ožiování připojit desku k síti přes oddělovací transformátor.

Elektor 7-8/1999



Obr. 3. WC automat



Spínač čerpadla pro filtr v akváriu

Zkušený akvarista během krmení ryb vypíná čerpadlo pro filtraci vody, aby se krmivo prouděním vody nerozptýľilo po celém akváriu a nezanесlo filtr. Tomu, aby se po nějaké době, až ryby krmivo sežerou, nezapomělo čerpadlo filtru opět zapnout, předchází dále popisovaný spínač, který čerpadlo po přednastaveném časovém intervalu zapne automaticky.

Schema spínače čerpadla je na obr. 4. Základem zapojení je monostabilní klopný obvod (MKO) s časovačem 555 (IO1). V klidu je na výstupu Q IO1 úroveň H, tranzistor T2 je sepnutý a relé RE1 je aktivováno. Přes sepnutý spínací kontakt relé je přiváděno síťové napětí z přívodní svorkovnice K1 na výstupní svorkovnici K2 a čerpadlo (pumpa), které je připojené ke svorkovnici K2, je v provozu. Zapnutí čerpadla indikuje zelená (G) LED D1.

Chceme-li čerpadlo vypnout, stiskneme tlačítko S2 (VYP). Stisknutím tlačítka se přivede na nulovací vstup R časovače IO1 úroveň L, časovač se vynuluje a výstup Q IO1 přejde do úrovně L. Tranzistor T2 vypne, kontakt relé se rozpojí a čerpadlo se zastaví. Zastavení čerpadla indikuje červená (R) LED D2, která je buzena z výstupu Q IO1 přes invertor s tranzistorem T1.

Po uvolnění tlačítka S2 zůstane výstup Q IO1 v úrovni L, ale začne kyv MKO. Po ukončení kyvu přejde výstup Q IO1 opět do úrovně H, relé se aktivuje a čerpadlo začne pracovat. Doba kyvu je určena hodnotami součástek C1, R3 a P1 a trimrem P1 ji lze nastavit v rozmezí asi 1 až 9 minut.

K čísovači IO1 je připojeno ještě tlačítko S1 (ZAP). Jeho stisknutím se kyv MKO okamžitě ukončí a čerpadlo se ihned rozběhne. Tímto tlačítkem zapínáme čerpadlo tehdy, když nechceme čekat, až se po nastavení době zapne automaticky.

Místo dvou tlačítek můžeme pro ovládání spínače čerpadla použít koléb-

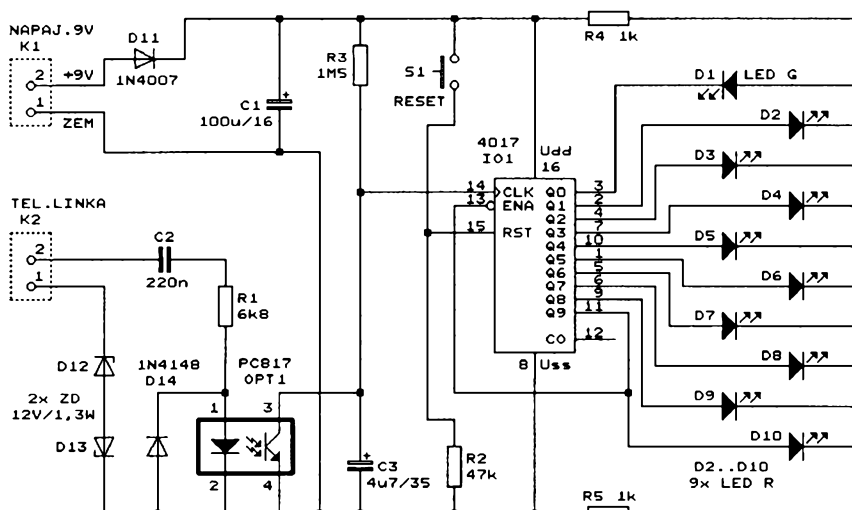
kový třípolohový přepínač ON-OFF-ON, který má stabilní střední polohu a letmé obě krajní polohy ZAP a VYP.

Přístroj je napájen ze sítě vlastním zdrojem s transformátorem TR1, s můstkovým usměrňovačem s diodami D4 až D7 a s vyhlazovacím kondenzátorem C3. Nestabilizovaným napětím asi 14 V odebíraným přímo z vyhlazovacího kondenzátoru je napájeno relé RE1. Napětí pro časovač je stabilizováno a zmenšováno na asi 12 V Zenerovou diodou D3. Přístroj má malý příkon a ze sítě odebírá přibližně 2 W, takže nás ani jeho trvalý provoz finančně nezruinuje.

Konstrukce spínače čerpadla není v původním prameni blíže specifikována. Relé RE1 má cívku na napětí 12 V a jeden výkonový přepínací kontakt se zatížitelností 250 V (50 Hz)/8 A. Ostatní součástky jsou zcela běžné.

Při stavbě, ožiování a používání musíme mít na paměti, že se jedná o síťové zařízení, vše musí být důkladně izolováno a musíme se řídit všemi příslušnými bezpečnostními předpisy. Z toho důvodu, i když je zapojení jednoduché, není stavba vhodná pro začátečníky.

Elektor 7-8/1997



Obr. 5. Čítač příchozích telefonních volání

Kondenzátor C3 je nabíjen přes rezistor R3. Nabíjecí proud je natolik malý, že napětí na C3 zůstává v úrovni L i v mezerách mezi jednotlivými zvoněními v jedné vyzváněcí sérii. Když vyzvánění skončí, napětí na C3 se asi za 5 s zvětší natolik, že přejde do úrovně H.

Napětí z C3 je přiváděno na taktovací vstup CLK pětistupňového Johnsonova čítače 4017 (IO1). Vzestupnou hranou signálu na C3 vzniklou ukončením vyzvánění se stav čítače zvýší vždy o jedničku.

Před započítáním sledování počtu volání čítač vynulujeme tlačítkem S1 (RESET). Po vynulování jsou všechny LED zhasnuté. Po prvním vyzvánění přejde čítač do stavu jedna a rozsvítí se LED D1 a D2. LED D1 pak svítí trvale a indikuje, že bylo vyzváněno. Ostatní LED D2 až D10 nesou informaci o tom, kolikrát bylo vyzváněno. Po druhém vyzvánění přejde čítač do stavu dva, zhasne D2 a rozsvítí se D3. Po dalších vyzváněních se postupně jednotlivě rozsvěcejí LED D4 až D10. Po devíti vyzváněních se úroveň H přivedenou z výstupu Q9 na vstup ENA zablokuje taktovací vstup CLK a čítání se ukončí. Čítač si tedy může zapamatovat nejvýše devět vyzvánění, což je však zcela určitě dostatečný počet.

Čítač je napájen z vnějšího zdroje přes svorkovnici K1 hrubě stabilizovaným ss napětím 9 V. Dioda D11 chrání obvody čítače při přepólování napájecího napětí.

Nakonec je nutné zdůraznit, že není legální připojovat tento čítač k veřejné telefonní síti.

Elektronika Praktyczna 3/2006

Zesilovač k telefonnímu zvonku

Na obr. 6 je schéma výkonového zesilovače signálu telefonního zvonku. Výstupem zesilovače můžeme budít žárovku s příkonem 100 W i více nebo nějakou hlasitou síťovou sirénu. Pak nepřeslechneme slabé zvonění telefonu ani v hlučném prostředí. Světelnou indikaci zvonění ocení i nedoslýchaví lidé. Též je výhodné odpojit zvonek a indikovat zvonění žárovkou v případě, když máme malé děti a nechceme, aby se při zvonění telefonu probudily.

Zapojení zesilovače je velmi jednoduché. Vodiče a a b telefonní linky jsou přes oddělovací kondenzátor C1 a usměrňovač s diodou D2 připojeny na vstup polovodičového relé (SSR = So-

lid State Relay) IO1 typu S202T02, které při budícím proudu 8 mA je schopné při síťovém napětí 230 V/50 Hz spínat v nule střídavý proud až 2 A. Při zvonění se vybudí vstup SSR a rozsvítí se žárovka Z1 připojená k síti přes jeho výstup. Uvedený typ SSR dodává např. GM Electronic. Zenerova dioda D2 vede proud v opačné půlvině než D1 a spolu s rezistorem R1 omezuje rušivé impulsy. LED D3 zmenšuje citlivost polovodičového relé, aby nespínalo běž-

nými rušivými signály z telefonní linky. Výstup SSR je chráněn varistorem R3.

Spínač je galvanicky spojen se sítí, a proto musí být vestavěn do dobře izolované plastové skříňky. Při jeho stavbě, oživování i provozu musí být dodržovány příslušné bezpečnostní předpisy.

Stejně jako v předchozím případě platí, že neschválené zařízení se nesmí připojovat k veřejné telefonní síti.

Elektor 7-8/2006

Měřicí technika

Generátor funkcí s jedním rozsahem 20 Hz až 25 kHz

V současné době se generátory funkcí konstruují se speciálními integrovanými obvody (např. XR2206 apod.). Tyto IO umožňují plynule ladit kmitočet v rozmezí zhruba 1 : 10, takže pro pokrytí akustického pásma 20 Hz až 20 kHz musí mít generátor tři přepínatelné kmitočtové rozsahy (20 až 200 Hz, 200 Hz až 2 kHz a 2 až 20 kHz).

Generátor funkcí, jehož schéma je na obr. 7, má poněkud složitější zapojení než generátor se speciálními IO, ale nepotřebuje přepínač rozsahů, protože je plynule přeladitelný od 20 Hz až do 25 kHz. Výhodné je i to, že v něm jsou použity běžné univerzální integrované obvody - operační zesilovače (OZ) LF351 a NE5532 a analogové spínače 4066, takže jej lze zhotovit i ze „šuplíkových“ zásob.

Základem generátoru je nf oscilátor, který se skládá z komparátoru s OZ IO1, analogových spínačů IO2A až IO2C a integrátoru s OZ IO3. Kmitočet oscilátoru se přeladuje potenciometrem P2. Rezistory R7 a R6 určují dolní a horní mez rozsahu přeladění. Aby bylo ladění dostatečně jemné, musí být P2 precizní desetitáčkový, v nouzi však postačí i běžný logaritmický.

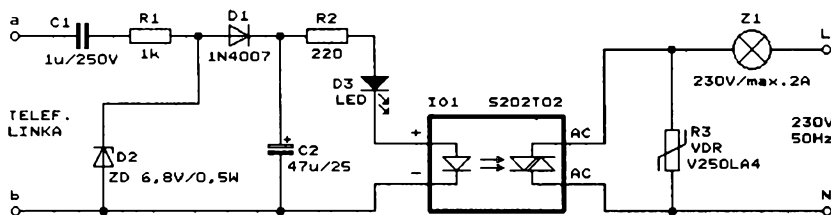
OZ IO3 má mezi výstup a invertující vstup zapojen integrační kondenzátor C3, který se nabíjí a vybíjí proudem tekoucím rezistorem R10. Neinvertující vstup OZ IO3 je připojen k běžící ladicího potenciometru P2 přes odporový dělič R11, R12 s dělicím poměrem 1/2, takže na obou vstupech OZ IO3 je vždy polovina napětí z běžce P2. Vstup integrátoru (levý vývod rezistoru R10) se připojuje buď spínačem IO2C na zem,

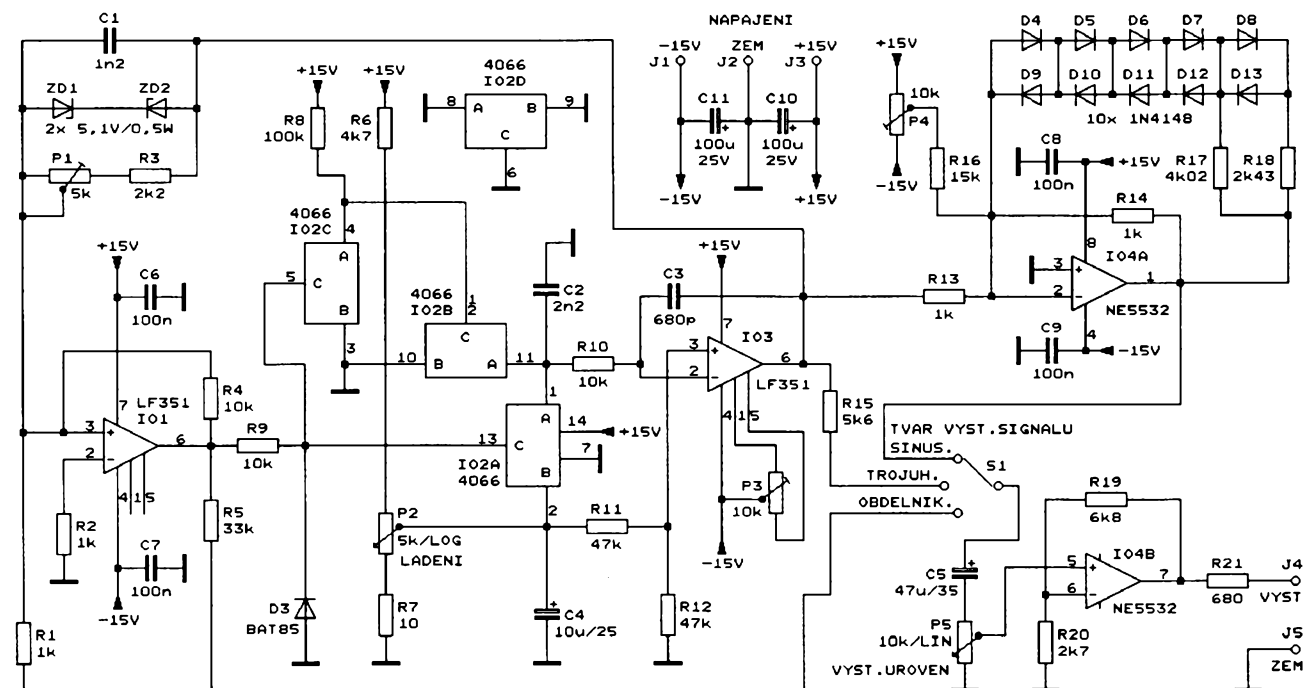
nebo spínačem IO2A na běžec ladicího potenciometru P2. V obou případech leží na rezistoru R10 napětí, jehož velikost je rovna polovině napětí z běžce P2, přičemž znaménko tohoto napětí závisí na tom, který ze spínačů je sepnut. Integrační kondenzátor C3 je tedy nabíjen i vybíjen stejně velkým proudem, takže sklon obou hran trojúhelníkového napětí na výstupu OZ IO3 je (až na znaménko) shodný. Díky tomu má trojúhelníkový signál na výstupu OZ IO3 střidu 1 : 1.

Na nízkých kmitočtech je ladicí napětí z běžce P2 srovnatelné se vstupní napětíovou nesymetrií OZ IO3, která pak ovlivňuje střidu výstupního signálu. Proto je k OZ IO3 připojen trimr P3, kterým lze vstupní napětíovou nesymetrii vykompenzovat. Trimr P3 se při oživování generátoru nastavuje tak, aby při naladěném kmitočtu 20 Hz měl trojúhelníkový signál na výstupu OZ IO3 střidu přesně 1 : 1.

Analogové spínače IO2C a IO2A jsou ovládány obdélníkovým signálem z výstupu komparátoru s OZ IO1. Třetí analogový spínač IO2B spolu s rezistorem R8 slouží jako invertor ovládacího signálu pro spínač IO2C. Čtvrtý nevyužitý spínač IO2D je ošetřen uzemněním všech svých vývodů. Omezovač s rezistorem R9 a Schottkyho diodou D3 zabráňuje tomu, aby se z výstupu komparátoru nedostávalo na ovládací vstupy spínačů příliš velké záporné napětí. Komparátor má hysterezi, která je zavedena rezistorem R4. Na vstup komparátoru se přes odporový dělič se součástkami R1, P1a R3 přivádí trojúhelníkový signál z výstupu integrátoru. Trimrem P1 se nastavuje rozhodovací úroveň komparátoru v rozmezí přibližně ± 3 až ± 7 V. Maximální rozhodovací úroveň omezují Zenerovy diody ZD1 a ZD2.

Když je výstup komparátoru IO1 v kladné saturaci (ve vysoké úrovni H), je sepnut spínač IO2A, z běžce P2 teče přes R10 proud směrem do vstupu integrátoru a napětí na výstupu integrátoru lineárně klesá. Když dosáhne výstupní napětí integrátoru záporné rozhodovací úrovně komparátoru, překlápí se výstup komparátoru do záporné saturace (do nízké úrovně L), následkem čehož vypne spínač IO2A a sepne spínač IO2C. Pířes R10 pak





Obr. 7. Generátor funkcí s jedním rozsahem 20 Hz až 25 kHz

teče proud směrem ze vstupu integrátoru do země a napětí na výstupu integrátoru lineárně stoupá. Když napětí na výstupu integrátoru dosáhne kladné rozhodovací úrovně komparátoru, překlápí se výstup komparátoru zpět do kladné saturace a napětí na výstupu integrátoru začne klesat. Celý děj se neustále opakuje, takže oscilátor kmitá.

Trojúhelníkový signál z integrátoru se upravuje na sinusový tvarovačem s OZ IO4A. Tvarovač pracuje na principu nelineární záporné zpětné vazby zavedené diodami D4 až D13. Co nejdokonalejší tvar sinusovky se seřizuje podle osciloskopu trimry P1 a P4.

Průběh výstupního signálu generátoru funkcí se volí přepínačem S1. Obdélníkový signál se odebírá z výstupu komparátoru, trojúhelníkový signál z výstupu integrátoru a sinusový z výstupu sinusového tvarovače. Za přepínačem je zařazen lineární potenciometr P5 pro ovládání amplitudy signálu a zesilovač s OZ IO4B s napěťovým zesílením asi 3x, který zvětšuje rozkmit výstupního signálu až na ± 10 V. Signál z OZ IO4B se vede na výstupní svorky generátoru J4 a J5 přes rezistor R21, který určuje výstupní impedanci generátoru asi 680 Ω .

Generátor funkcí je napájen ze síťového zdroje stabilizovaným symetrickým napětím ± 15 V, které se přivádí na napájecí svorky J1 až J3. Obě větve napájecího napětí jsou blokovány keramickými kondenzátory C6 až C9, které mají být zapojeny co nejblíže k napájecím vývodům příslušných OZ, a elektrolitickými kondenzátory C10 a C11.

Při konečném seřizování generátoru kromě nastavení všech trimrů, o kterém již byla zmínka, též čítačem kmitočtu změříme rozsah přeladění a případně ho upravíme změnou odporů rezistorů R6 a R7.

Napájecí zdroj pro měření elektronek

Zabývá-li se někdo vážně stavbou elektronických zařízení, např. pro elektroakustiku, nevyhne se potřebě zjišťovat parametry elektronek, aby mohl posoudit jejich stav a párovat je. U mnoha elektronek také nejsou v katalogu dostatečně podrobné údaje potřebné pro návrh navazujících obvodů, takže tyto charakteristické vlastnosti je nutné změřit.

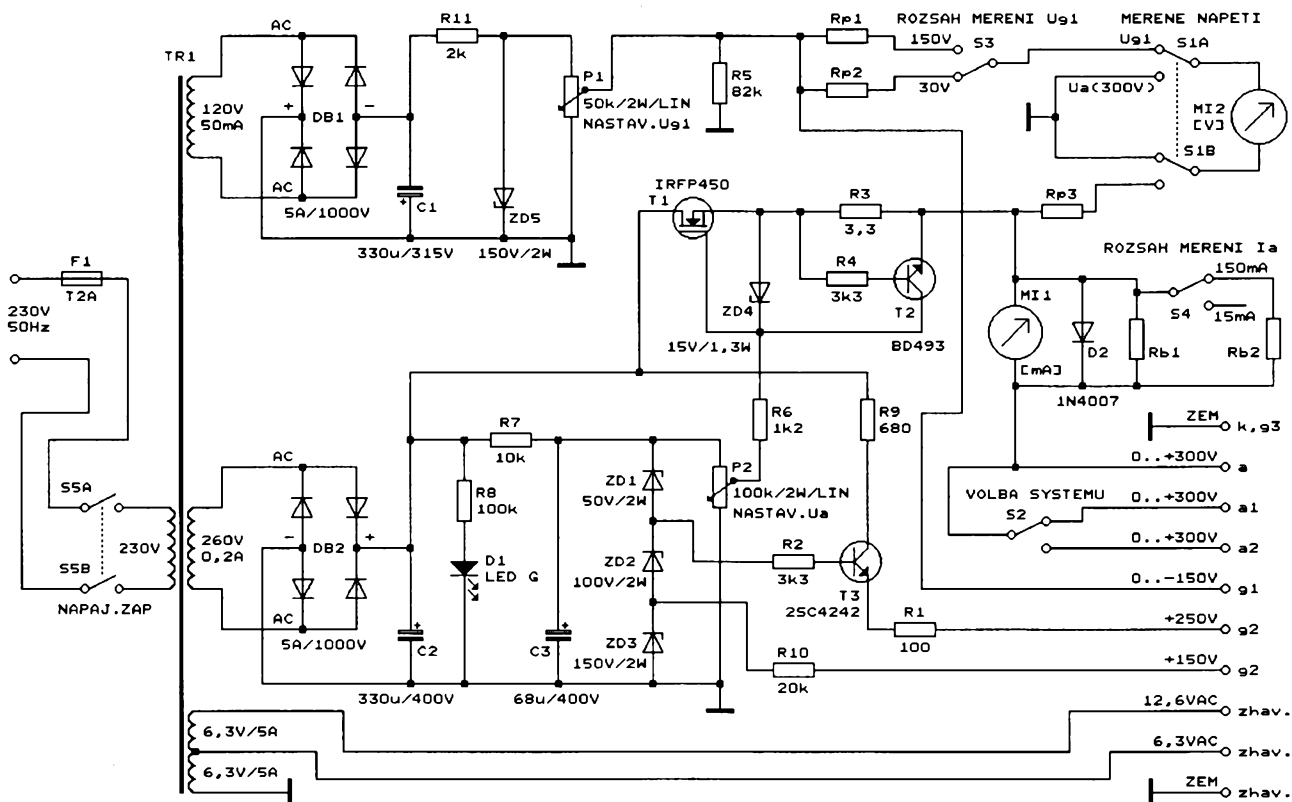
Pro pohodlné a rychlé měření a testování elektronek byl proto zhotoven popisovaný napájecí zdroj, jehož schéma je na obr. 8. Zdroj je určen především pro práci s nepřímožhavenými elektronekami používanými v nf zesilovačích. Na svorkách *zhav.* poskytuje střídavé žhavicí napětí 6,3 a 12,6 V, žhavicí proud může být až 5 A. Na svorkách *g2* poskytuje stabilizované napětí +150 V nebo +250 V pro napájení druhých mřížek pentod. Na svorce *g1* poskytuje stabilizované regulovatelné napětí 0 až -150 V pro napájení první mřížky. Toto napětí se jemně ovládá desetitáčkovým potenciometrem a měří se ručkovým voltmetrem MI2 s rozsahem 30 a 150 V. Na svorkách *a*, *a1* a *a2* poskytuje zdroj stabilizované regulovatelné napětí 0 až +300 V pro napájení anody. Anodový proud může být až 150 mA. Svorky *a1* a *a2* jsou určeny pro napájení anod dvojtypých elektronek a připojují se ke svorce *a* přes přepínač S2, kterým volíme první nebo druhý proměřovaný dílčí systém elektrony. Anodové napětí se ovládá druhým desetitáčkovým potenciometrem a měří se ručkovým voltmetrem MI2 s rozsahem 300 V. Anodový proud se měří ručkovým ampérmetrem MI1 s rozsahy 15 a 150 mA. Poslední svorka *k*, *g3* je uzemněná a je určena pro připojení katody a případně třetí mřížky

pentody. K této svorce jsou vztažena napětí na svorkách *g2*, *g1* a *a*.

Doplňkem zdroje je přípravek s oběmkami pro používané typy proměřovaných elektronek (např. heptal, novál, magnoval, americký oktál, L-oktál apod.). Kontakty se stejnými čísly všech oběmk jsou navzájem propojeny a jsou vyvedeny na zdířky umístěné na přípravku. Při měření určité elektrony pak vyhledáme v katalogu zapojení její patice a příslušné zdířky přípravku propojíme laboratorními kabelky s odpovídajícími svorkami (zdířkami) napájecího zdroje tak, aby správné žhavicí napětí bylo přivedeno na žhavicí vlákno, anodové napětí na anodu atd. Takovéto připojování elektrony ke zdroji je poněkud pracné, ale je naprosto univerzální a při omezeném počtu typů elektronek do nf zařízení je přijatelné.

Zapojení napájecího zdroje je co nejjednodušší. Základem zdroje je síťový transformátor TR1, který si musíme navinout nebo upravit z nějakého staršího síťového transformátoru převinutím sekundárních vinutí. Též můžeme využít několik menších transformátorů z elektronických přijímačů - jejich síťová vinutí spojíme paralelně a ze sekundárních vinutí odeberáme potřebná napětí. Velikosti sekundárních napětí transformátoru nejsou příliš kritické, je však nutné jim přizpůsobit provozní napětí vyhlazovacích kondenzátorů C1 a C2, odpory a zatížitelnost předřadných rezistorů R11 a R7 ve stabilizátorech se Zenerovými diodami a popřípadě hodnoty dalších součástek. Sekundární napětí pro usměrňovač anodového napětí však nesmí být příliš velké, aby nebyly ohroženy stabilizační tranzistory T1 a T3.

Síťové napětí se přivádí na primární vinutí TR1 přes pomalou tavnou pojistku F1 (2 A) a dvoupólový síťový spínač S5.



Obr. 8. Napájecí zdroj pro měření elektronik

Obě žhavicí sekundární vinutí 6,3 V/5 A a 6,3 V/5 A jsou přímo vyvedena na žhavicí svorky zhav.

Ze sekundárního vinutí 120 V/50 mA je napájen zdroj napětí pro první mřížku g1. Napětí usměrněné můstkem DB1 a vyhlazené kondenzátorem C1 je stabilizováno Zenerovou diodou ZD5 na velikost -150 V. Desetiotáčkovým potenciometrem P1 připojeným paralelně k ZD5 se stabilizované napětí ze ZD5 reguluje v rozmezí 0 až -150 V. Běžec P1 je přímo vyveden na svorku g1. Zdroj je velmi měkký a smí být zatěžován proudem maximálně několika mA. Vzhledem k tomu, že první mřížka neobdělává žádný proud, je to vyhovující.

Napětí na svorce g1 se měří voltmetrem s ručkovým měřidlem MI2, které se k této svorce připojuje páčkovým přepínačem S1 přepnutým do polohy U_{g1}. Měřicí rozsahy voltmetru 30 a 150 V jsou určovány předřadnými rezistory Rp2 a Rp1 a volí se páčkovým přepínačem S3. Měřidlo MI2 je magnetoelektrický mikroampérmetr s rozsahem 100 až 500 μ A, odpory rezistorů Rp1 a Rp2 vybereme podle skutečných parametrů použitého měřidla MI2.

Ze sekundárního vinutí 260 V/200 mA je napájen zdroj napětí pro anodu a a druhou mřížku g2. Napětí usměrněné můstkem DB2 a vyhlazené kondenzátorem C2 je stabilizováno sériově zapojenými Zenerovými diodami ZD1 až ZD3 na velikosti +150, +250 a +300 V. LED D1 indikuje zapnutí zdroje.

Napětí +150 V ze ZD3 je vyvedeno přes rezistor R10 na svorku g2 (+150 V) pro napájení druhých mřížek napětových (nevýkonových) pentod. Napětí +250 V ze ZD2 je vyvedeno přes emito-

rový sledovač s tranzistorem T3 na svorku g2 (+250 V) pro napájení druhých mřížek výkonových pentod.

Pozn. red.: podle názoru redaktora je emitorový sledovač s T3 nespolehlivý, protože při zkratu svorky g2 (+250 V) na zem (na svorku k, g3) je zkratový proud značný a T3 se pravděpodobně zničí druhým průrazem. Lepší by bylo zapojit emitorový sledovač pro napájení g2 podobně, jako je v tomto zdroji zapojen emitorový sledovač s tranzistorem T1 typu N-MOSFET a proudovou pojistkou s T2 ve větvi napájecí anodu.

Napětí +300 V ze ZD1 je regulováno v rozmezí 0 až +300 V desetiotáčkovým potenciometrem P2 a slouží pro napájení anody. Napětí z běžce P2 je přiváděno na svorku a přes emitorový sledovač s tranzistorem N-MOSFET T1, který dovoluje svorku a zatížit proudem až 150 mA. Tranzistor T1 musí být důkladně chlazen. Zkratový proud ze svorky a na zem je omezován na asi 200 mA proudovou pojistkou s bočnickem R3 a tranzistorem T2. Proti přepětí mezi emitorem a řídicí elektrodou během zkratu je T1 chráněn Zenerovou diodou ZD4. Výkonový tranzistor MOSFET je pro regulaci velkého napětí velmi vhodný, protože na rozdíl od bipolárních tranzistorů má dostatečně širokou oblast spolehlivého provozu (SOAR = Safe Operating Area) a i při kolektorovém napětí řádu stovek voltů může regulovat proud řádu stovek mA (pokud je dostatečně chlazen).

Anodové napětí se měří voltmetrem s ručkovým měřidlem MI2, které se k anodové větvi připojuje páčkovým přepínačem S1 přepnutým do polohy U_a (300 V). Měřicí rozsah voltmetru

300 V je nastaven předřadným rezistorem Rp3, jehož odpor určíme podle skutečných parametrů měřidla MI2.

Anodový proud se měří ampérmetrem s ručkovým měřidlem MI1, které může být stejného typu jako měřidlo MI2. Rozsahy ampérmetru 15 a 150 mA se volí páčkovým přepínačem S4 a jsou nastaveny bočnickami Rb1a Rb2. Odpor těchto bočníků určíme podle parametrů použitého měřidla MI1. Dioda D2 chrání měřidlo při nadměrném proudu.

Napájecí zdroj je vestavěn do ploché kovové skříňky, která musí být spojena s ochranným vodičem PE síťového přívodu. Všechny ovládací a indikační prvky i výstupní svorky jsou umístěny na předním panelu.

Tato konstrukce je určena vyspělým amatérům, kteří umějí pracovat se síťovým napětím a s relativně vysokým anodovým napětím. Musí si též vědět rady s úpravou hodnot součástek v závislosti na skutečných velikostech sekundárních napětí síťového transformátoru, s výkonovým dimenzováním rezistorů a s chlazením tranzistorů.

Elektronika Praktyczna 10/2005

Hledáme autory

pro Konstrukční elektroniku na příští roky. Nabídněte redakci příspěvky týkající se stavby zajímavých přístrojů. Postačí i kratší články, které nemusí vyplnit celý rozsah čísla. Výkresy i text mohou být „od ruky“, sami je upravíme do tiskové podoby. „Jací budou autoři, takový bude i časopis!“