

David Matoušek

**PRÁCE
S MIKROKONTROLÉRY
ATMEL AVR ATmega16
4. díl**

Praha 2006



Komerční využití stavebních návodů je povoleno jen s písemným souhlasem autora a nakladatelství. Soubory na CD ROM mající přímo vztah ke knize, které vytvořil sám autor (tj. obsah adresářů PROGRAMY, SDKATM16 a SPOJE), nejsou volně šiřitelné a vztahují se na ně autorská práva.

* * *

Před nedávnem rovněž vyšel podrobný stavební návod na vývojový kit USBmegaKIT [7], který je určen k připojení na sběrnici USB, zatímco v této knize je verze připojitelná na sériový port počítače (COM). To je hlavní vlastnost, ve které se oba kity zásadně liší. Bližší informace najdete na stránce 16.

David Matoušek

PRÁCE S MIKROKONTROLÉRY ATMEL ATmega16

4. díl

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřejímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládaná zapojení a informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Veškerá práva vyhrazena.

© Ing. David Matoušek, 2006

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

David Matoušek:

Práce s mikrokontroléry Atmel ATmega16

BEN – technická literatura, Praha 2006

1. vydání

ISBN 80-7300-174-8

OBSAH

	O KNIZE	10
	ÚVOD	11
1.1	Základní pojmy – terminologie	12
1.2	Standardní registry a jejich význam	15
1.3	Dříve než začnete stavět aneb porovnání vývojových kitů	16
2	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI MIKROKONTROLÉRU ATMEGA16	17
2.1	Mutace a pouzdra	19
2.2	Stručný popis vývodů	21
2.3	Systémové hodiny a volby synchronizace	22
2.3.1	Zdroje synchronizace clk_{CPU}	23
2.3.2	Výchozí zdroj hodin	23
2.3.3	Krystalový oscilátor	23
2.3.4	Nízkofrekvenční krystalový oscilátor	24
2.3.5	Vnější RC oscilátor	25
2.3.6	Kalibrovaný vnitřní RC oscilátor	26
2.3.7	Vnější hodiny	27
2.3.8	Oscilátor asynchronního čítače/časovače	28
2.4	AVR architektura	28
2.5	Programování mikrokontroléru ATmega16	31
2.5.1	Paměťové zámky	31
2.5.2	Propojky	32
2.5.3	Signatura	34
2.5.4	Možné způsoby programování	34
2.5.5	Sériový download	34
2.6	Charakteristické a mezní údaje	38
2.7	Stručný přehled dalších novinek	39
2.7.1	JTAG a ladění přímo na čipu	39
2.7.2	Boundary-scan	40
2.7.3	Boot Loader	40
3	SDKATM16 – PROGRAMÁTOR A VÝVOJOVÝ KIT PRO ATMEGA16	41
3.1	Myšlenka platformy SDK – Programátor a vývojový kit v jednom!	42
3.2	Schéma zapojení	42
3.3	Plošný spoj	44

3.4	Konektory a kabely	46
3.4.1	<i>Datové konektory</i>	46
3.4.2	<i>Propojovací „kablíky“</i>	46
3.4.3	<i>Propojovací kabel</i>	47
3.5	Oživení	47
3.6	Komplexní programátor SDKATM16	48
4	PROGRAMÁTORSKÝ MODEL MIKROKONTROLÉRU ATMEGA16	51
4.1	Rozdělení paměťového prostoru	52
4.2	Úvodní popis registrů	53
4.2.1	<i>Registrové pole (Register File)</i>	53
4.2.2	<i>Ukazatele (pointery)</i>	53
4.2.3	<i>Vstupně/výstupní registry (I/O Memory)</i>	54
5	INSTRUKČNÍ SOUBOR	59
5.1	Operandy instrukcí	60
5.1.1	<i>Základní pojmy</i>	60
5.1.2	<i>Přímé adresování jednoho registru</i>	60
5.1.3	<i>Přímé adresování dvou registrů</i>	61
5.1.4	<i>Přímé adresování vstupně/výstupního registru</i>	61
5.1.5	<i>Přímé adresování dat</i>	62
5.1.6	<i>Nepřímé adresování dat</i>	62
5.1.7	<i>Nepřímé adresování dat s posunutím</i>	63
5.1.8	<i>Nepřímé adresování dat s pre-dekrementem</i>	63
5.1.9	<i>Nepřímé adresování dat s post-inkrementem</i>	64
5.1.10	<i>Adresování konstant uložených v paměti programu (instrukce LPM)</i>	64
5.1.11	<i>Nepřímé adresování paměti programu (instrukce IJMP nebo ICALL)</i>	65
5.1.12	<i>Relativní adresování paměti programu (instrukce RJMP nebo RCALL)</i>	65
5.1.13	<i>Zkrácené relativní adresování paměti programu (podmíněné skoky)</i>	66
5.2	Typy skoků	67
5.3	Zavedené symboly	67
5.4	Přesuny dat	68
5.5	Bitové operace	71
5.6	Skoky a přeskoky	73
5.7	Instrukce pro podporu podprogramů	76
5.8	Logické operace	77
5.9	Aritmetické operace	78
5.10	Porovnávací instrukce	82
5.11	Zvláštní instrukce	83

5.12	Rozšířený instrukční soubor	83
5.12.1	<i>Nové techniky adresování</i>	83
5.12.2	<i>Nové instrukce</i>	84
6	AVR ASSEMBLER	89
6.1	Základní pojmy při práci s AVR 3.1	90
6.1.1	<i>Symboly</i>	90
6.1.2	<i>Návěští</i>	90
6.1.3	<i>ASCII literály</i>	91
6.1.4	<i>Komentář</i>	91
6.1.5	<i>Lokační čítač programového segmentu (PC)</i>	91
6.1.6	<i>Čísla a operátory</i>	92
6.2	Direktivy AVR 3.1	94
6.2.1	<i>Základní direktivy</i>	94
6.2.2	<i>Práce s makry</i>	97
6.2.3	<i>Řízení výpisu překladu</i>	98
6.3	Co najdete v souboru M16DEF.INC	99
7	ZÁKLADY POUŽÍVÁNÍ VSTUPNĚ/VÝSTUPNÍCH PORTŮ	113
7.1	Popis vstupně/výstupního portu	114
7.1.1	<i>Úvodní informace</i>	114
7.1.2	<i>Porty jako obecné vstupy/výstupy</i>	115
7.1.3	<i>Alternativní funkce portů</i>	119
7.2	Přípravek AT8LED	119
7.2.1	<i>Rozbor řešení</i>	119
7.2.2	<i>Plošný spoj</i>	120
7.2.3	<i>První příklad: PROG_01 – běžící světlo (příklad nejen pro začátečníky!!!) ...</i>	121
7.3	Přípravek ATLCCTX2	129
7.3.1	<i>Obecný úvod</i>	129
7.3.2	<i>Popis komunikace</i>	129
7.3.3	<i>Přípravek ATLCCTX2</i>	132
7.3.4	<i>Obslužné rutiny pro přípravek ATLCCTX2</i>	135
7.3.5	<i>PROG_02 – Animace textu na LCD displeji</i>	139
8	RESET A PŘERUŠENÍ	143
8.1	Význačné adresy	144
8.2	Zdroje resetu	145
8.2.1	<i>Power-on Reset</i>	146
8.2.2	<i>Vnější reset</i>	146
8.2.3	<i>WDT reset</i>	147
8.2.4	<i>Brown-out Reset</i>	149
8.2.5	<i>Registr MCUSR (MicroController Unit Control and Status Register)</i>	150

8.3	Obsluha přerušení	151
8.3.1	<i>Registr SREG</i>	151
8.3.2	<i>Vnější vstupy přerušení INT0 až INT2</i>	152
8.3.3	<i>Časová odezva přerušení</i>	153
8.4	Příklad použití vnějšího přerušení INT0	154
8.5	Popis přípravku ATIKBD	154
8.5.1	<i>PROG_03 – použití přípravku ATIKBD a přerušení</i>	157
9	SÉRIOVÝ KANÁL SPI	161
9.1	SPCR – řídicí registr SPI kanálu	164
9.2	SPSR – stavový registr SPI kanálu	165
9.3	SPDR – datový registr SPI kanálu	165
9.4	MCP4921 – D/A převodník s SPI sběrnici	165
9.5	Přípravek ATSPIDAC	167
9.6	PROG_04 – Příklad použití SPI kanálu	168
10	ZABUDOVANÝ A/D PŘEVODNÍK	171
10.1	Operace	173
10.2	Start převodu	174
10.3	Předdělička a časování převodu	175
10.4	Diferenční kanály	176
10.5	Změna kanálu nebo referenčního zdroje	176
10.6	Funkce potlačovače šumu	177
10.7	Technika snížení šumu	177
10.8	Výsledek A/D převodu	178
10.9	Řídicí registry	179
10.10	Přípravek ATSVORKY+	183
10.11	PROG_05 – Příklad použití A/D převodníku	184
11	ČÍTAČ/ČASOVAČ 0	191
11.1	Základní pojmy spojené s čítači/časovači	192
11.2	Úvodní popis	192
11.3	Pracovní režimy	195
11.3.1	<i>Normální režim</i>	195
11.3.2	<i>CTC – Clear Timer on Compare Match</i>	195
11.3.3	<i>Rychlý PWM režim</i>	196
11.3.4	<i>Fázově korigovaný PWM režim</i>	197
11.4	Registry čítače/časovače 0	198

11.5	Předděličky pro čítače/časovače 0 a 1	201
11.6	Příklady použití čítače/časovače 0	202
11.6.1	<i>PROG_06 – Příklad použití režimu CTC</i>	202
11.6.2	<i>Přípravek ATDIPSW2</i>	204
11.6.3	<i>PROG_07 – Příklad použití režimu PWM</i>	205
12	ČÍTAČ/ČASOVAČ 1	207
12.1	Úvodní popis	209
12.2	Pracovní režimy	212
12.2.1	<i>Normální režim</i>	212
12.2.2	<i>CTC – Clear Timer on Compare Match</i>	213
12.2.3	<i>Rychlý PWM režim</i>	214
12.2.4	<i>Fázově korigovaný PWM režim</i>	215
12.2.5	<i>Fázově a kmitočtově korigovaný PWM režim</i>	217
12.3	Registry čítače/časovače 1	219
12.4	Příklad PROG_08 – Měření kmitočtu	224
13	ČÍTAČ/ČASOVAČ 2	229
13.1	Úvodní popis	230
13.2	Pracovní režimy	233
13.2.1	<i>Normální režim</i>	233
13.2.2	<i>CTC – Clear Timer on Compare Match</i>	233
13.2.3	<i>Rychlý PWM režim</i>	234
13.2.4	<i>Fázově korigovaný PWM režim</i>	235
13.3	Registry čítače/časovače 2	236
13.4	Předdělička pro čítač/časovač 2	241
14	ZABUDOVANÝ ANALOGOVÝ KOMPARÁTOR	243
14.1	Registr SFIOR	244
14.2	Registr ACSR	245
14.3	Příklad PROG_09 – Měření odporu	246
15	ROZHRANÍ TWI (I²C)	253
15.1	Definice TWI	254
15.2	Přenos dat a formát rámce	256
15.3	Úvod do TWI modulu	257
15.4	Popis registrů spojených s TWI	259
15.5	Použití TWI	262
15.6	Přenosové režimy	264

15.7	Obvod TC1320	265
15.8	Přípravek ATTC1320	267
15.9	Příklad PROG_10	269
16	JEDNOTKA USART	273
16.1	Základní vlastnosti	274
16.2	Generátor hodin	276
16.3	Formát rámce	277
16.4	Inicializace jednotky USART	278
16.5	Vysílání dat – USART vysílač	279
16.6	Přijímání dat – USART přijímač	281
16.7	Příjem asynchronních dat	284
16.8	Víceprocesorový komunikační režim	286
16.9	Přístup k registrům UBRRH a UCSRC	288
16.10	Popis registrů jednotky USART	288
16.11	Příklady	292
16.11.1	<i>PROG_11 – sériová komunikace s klávesnicí ATIKBD</i>	<i>292</i>
16.11.2	<i>Přípravek ATRS232+</i>	<i>294</i>
16.11.3	<i>PROG_12 – ovládání přípravků AT8LED a ATDIPSW2 z počítače</i>	<i>297</i>
16.11.4	<i>PROG_13 – impulzní generátor ovládaný počítačem</i>	<i>299</i>
17	ZBÝVAJÍCÍ RYSY	
	MIKROKONTROLÉRU ATMEGA16	305
17.1	Režimy snížené spotřeby	306
17.2	Minimalizace spotřeby	308
17.3	Zabudovaná E ² PROM	310
17.4	Přístup do E ² PROM	310
17.5	Registry pro práci s E ² PROM	310
17.6	Prevence poškození obsahu E ² PROM	312
17.7	PROG_14 – použití režimu redukce šumu pro A/D	312
	LITERATURA	316
	NABÍDKA PŘÍPRAVKŮ	316
	PŘEHLED PŘÍPRAVKŮ ATMEL	317
	PLOŠNÉ SPOJE	317

CO NAJDETE NA DOPROVODNÉM CD-ROM

Doprovodné CD-ROM obsahuje všechny informace potřebné pro snadnou práci s knihou. Tyto informace lze rozdělit do logických celků, které se nacházejí v oddělených adresářích:

- adresář **ATMEL** obsahuje následující programy, které byly staženy ze stránek firmy Atmel (http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=2725):
 - AVR LCD Visualizer (2/2004), cca 1 MB
 - AVR studio v. 3.56 (starší verze), cca 7,5 MB
 - AVR studio v. 4.12 (build 460, 11/2005), cca 50 MB,
 - AVR studio v. 4.12 service pack 1 (1/2006), cca 10 MB,
 - doprovodná dokumentace v PDF (anglicky)
- adresář **BEN** obsahuje přehled vydaných knih a CD nakladatelství BEN – technická literatura (aktualizováno k počátku února 2006), jejichž součástí je počítačová verze tištěného katalogu – Edičního plánu „zima 2005/2006“,
- adresář **DATASHEET** obsahuje nezbytnou originální dokumentaci ve formátu PDF. Najdete zde též samorozbalitelný archiv programu Adobe Acrobat Reader v několika verzích, který slouží k prohlížení PDF souborů,

- adresář **FOTO** obsahuje, jak sám název napovídá, fotografie hotových přípravků. Každý byl nafocen z několika pohledů, aby byla lépe dokumentována jejich možná stavba,

Do shodného adresáře jsme umístili trial verzi prohlížeče ACDSee staženou z Internetu (<http://www.acdsystems.com>): **ACDSee Classic** (velikost instalačního souboru cca 1,6 MB, minimální požadavky Windows 95/98/Me/NT4/2000/XP, PC 486DX s 32 MB RAM, režim grafického adaptéru s 256 barvami, 4 MB volného místa na pevném disku, vhodný Internet Explorer 4.0 nebo pozdější).

Tip: pokud se vám fotografie zdají příliš tmavé, aktivujte ve vašem prohlížeči Gamma korekci na hodnotu např. 1.50 (optimální hodnota závisí na nastavení vašeho grafického subsystému).

- adresář **PROGRAMY** obsahuje zdrojové i přeložené formy všech programů realizovaných v knize. Programy nejsou volně šiřitelné,
- adresář **SDKATM16** obsahuje především ovládací aplikaci programátoru obvodů ATmega16 (SDKATM16.EXE) a také program pro oživení programátoru (RSDEBUG.EXE),
- adresář **SPOJE** obsahuje klišé plošných spojů všech přípravků popsaných v knize ve formátu TIF a navíc ve zdrojovém formátu BRD programu EAGLE v. 2.61, aby si čtenáři případně mohli plošné spoje upravit podle vlastních představ. Některé spoje jsme ještě v redakci dodatečně upravovali (úprava kritických vzdáleností, ...), takže finální verze je uložena pouze ve formátu TIF (je shodná s klišé otištěnými v knize), Programy nejsou volně šiřitelné.

O KNIZE

Kniha je zaměřena na popis mikrokontroléru **ATmega16** včetně čtrnácti zajímavých aplikací. Řada informací je použitelná i pro jiné mikrokontroléry typu AVR.

V úvodu jsou krátce vysvětleny základní pojmy mikroprocesorové techniky. Následuje druhá kapitola, která uvádí **základní vlastnosti mikrokontroléru ATmega16** včetně popisu sériového downloadu (programování přímo v navrhovaném systému). Tyto poznatky jsou zužitkovány ve třetí kapitole, která popisuje konstrukci programátoru spojeného s vývojovým kitem (pro programování a testování postačí jediná deska plošných spojů). Součástí knihy je i „oživovací“ program tohoto programátoru. Takže oživení zvládne i začátečník!

Čtvrtá kapitola vysvětluje **pojmy spojené s pamětí programu** resp. dat a popisuje základní registry mikrokontroléru. Pátá kapitola uvádí **instrukční soubor** a šestá kapitola uvádí **možnosti assembleru**.

Sedmá kapitola popisuje **chování portů** PA až PD a uvádí **základní aplikace** (připojení osmi LED, připojení LCD displeje).

Osmá kapitola popisuje **přerušovací systém mikrokontroléru**. Jeho použití je ukázáno na komunikaci modulu ATIKBD (**inteligentní maticová klávesnice 4×4** s generací přerušení, kód klávesy vystavuje na paralelní sběrnici a také vysílá sériovou linkou).

Devátá kapitola je věnována obvodům se **sběrnici SPI**. Pro popis byl vybrán obvod MCP4921 (12bitový D/A převodník).

Desátá kapitola je věnována popisu zabudovaného **A/D převodníku** ve spojitosti s **LCD displejem** (LCD displej zobrazuje převedený údaj).

Kapitoly 11 až 13 uvádí **vlastnosti čítačů/časovačů** 0 až 2 a doplňují základní příklady jejich použití (odměření intervalu, PWM regulace, měření vnějšího kmitočtu).

Čtrnáctá kapitola ukazuje použití **zabudovaného analogového komparátoru** pro měření odporu.

Patnáctá kapitola je věnována obvodům se **sběrnici TWI (I²C)**. Pro popis byl vybrán obvod TC1320 (8bitový D/A převodník).

Šestnáctá kapitola se věnuje použití zabudovaného sériového portu. Je uvedeno **připojení mikrokontroléru k sériovému portu počítače**. Je ukázána komunikace přípravku ATIKBD po sériové lince a dva příklady řízení mikrokontroléru programem, který běží na PC.

Sedmnáctá kapitola uvádí pokročilé schopnosti mikrokontroléru ATmega16 jako jsou: **řízení spotřeby a ovládání zabudované paměti EEPROM**. Je ukázáno použití A/D převodníku v režimu redukce šumu.

Kniha rovněž obsahuje popis konstrukce přípravků (včetně desek plošných spojů) všech publikovaných příkladů. Doprovodný CD ROM obsahuje klišé plošných spojů přípravků, nezbytné datasheety (katalogové listy), zkompilované a **zdrojové kódy všech publikovaných příkladů**.

1.3 DŘÍVE NEŽ ZAČNETE STAVĚT ANEB POROVNÁNÍ VÝVOJOVÝCH KITŮ

Porovnání vývojových kitů SDKATM16 a USBmegaKIT

Pro programování mikrokontrolérů **ATmega16** byly vytvořeny dva vývojové kity. Každý z kitů má jiné vlastnosti, pro které byl konstruován. Oba vývojové kity používají k ovládání podobně sestavené programy (programovací soubory v generickém nebo Intel Hex formátu; možnost nastavení propojek a programování E²PROM).

Základní vlastnosti SDKATM16:

- připojení k sériovému portu (použitelné pro počítače s operačním systémem počínaje Windows 95),
- jednoduchá a levná konstrukce,
- snadné oživení běžně dostupnými měřicími přístroji,
- napájení z vnějšího zdroje 9 V (na jedné straně nutnost použít vnější zdroj; na druhé straně není odběr limitován počítačem),
- ovládací program **SDKATM16.EXE**.

Základní vlastnosti USBmegaKIT:

- připojení k USB (použitelné pro počítače s operačním systémem počínaje Windows 98, které disponují USB porty),
- komplikovanější a dražší konstrukce,
- komplikovanější oživení (lze ale vystačit s běžně dostupnými měřicími přístroji),
- napájení přímo z počítače přes USB (na jedné straně vystačíme s jediným kabelem pro řízení i napájení – flexibilní použití, jednoduché připojení k počítači; na druhé straně je odběr limitován maximální hodnotou 500 mA – pro většinu přípravků postačí),
- ovládací program **USBmegaKIT.EXE**.

Z uvedených vlastností vyplývá, že vývojový kit **SDKATM16** je vhodný především pro začátečníky (jednodušší a levnější konstrukce). Vývojový kit **USBmegaKIT** je určen pro pokročilejší použití (promyšlenější a tedy i komplikovanější a dražší konstrukce).