

David Matoušek

**APLIKACE
MIKROKONTROLÉRŮ
řady Atmel SMART SAM D**

Praha 2016



David Matoušek

Aplikace mikrokontrolérů řady Atmel SMART SAM D

Recenzent Bohumil Brtník

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 nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena

© David Matoušek, 2016

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

David Matoušek: Aplikace mikrokontrolérů řady Atmel SMART SAM D

BEN – odborná literatura, Praha 2016

1. vydání

ISBN 978-80-7300-531-3 (tištěná kniha)

ISBN 978-80-7300-532-0 (elektronická kniha v PDF)

Předmluva

Tato kniha je určena všem zájemcům o programování mikrokontrolérů řady Atmel® **SMART SAM D** z řad odborné technické veřejnosti. Důraz je kladen na typy **SAM D09** a **SAM D10**. V textu jsou interpretovány a formou příkladů předvedeny nejpodstatnější periférie. Knihu pak lze použít pro seznámení s mikrokontroléry ATMEL SAM D a budování komplexních aplikací.

32bitové mikrokontroléry řady Atmel® **SMART SAM D** jsou postaveny na jádře **ARM® Cortex®-M0+**. 32bitové jádro spolu s komplexními integrovanými periferními obvody a nízkou cenou činí z těchto mikrokontrolérů nástroj pro vytváření náročných aplikací počínaje přesným řízením, realizací DSP (digitálním zpracováním signálu), embedded systémy, atd..

Předpokládá se, že čtenář má znalosti programovacího jazyka C a orientujete se v základních pojmech číslicové a mikroprocesorové techniky.

První kapitola uvádí základní vlastnosti mikrokontrolérů řady SAM D, srovnává jednotlivé zástupce této řady a přináší stručný popis klíčových vývodů. V závěru jsou uvedeny popisy konstrukcí programátoru/debuggeru **SAMPROG** a vývojové desky **SAMDBRD**.

Druhá kapitola popisuje chování **GPIO** (obecně použitelných vstupů/výstupů). Kromě detailního popisu možností konfigurace portu je také vysvětlen multiplex vývodů mikrokontroléru s ohledem na zabudované periférie. V závěru je prezentováno vytvoření prvního příkladu.

Kapitoly 3 a 4 jsou věnovány výkladu komplexního **hodinového systému**. Jedná se o popis jednotek **SYSCtrl**, **GCLK**, **PM**. Rovněž jsou vysvětleny související pojmy jako režimy snížené spotřeby a hodinové zdroje. Nechybí řada příkladů, které použití a konfiguraci hodinového systému dokumentují.

Pátá kapitola je věnována popisu a aplikacím jednotek **TC** (čítače/časovače).

Šestá kapitola popisuje **NVIC** (zabudovaný řadič přerušení). Na závěr je předvedeno použití přerušovacího systému společně s jednotkou **TC1**.

Sedmá kapitola je zaměřena na popis jednotky **EIC** (řadiče vnějšího přerušení). Kromě popisu možností detekce hranou nebo úrovní včetně funkce filtrace zákmitů jsou prezentovány praktické příklady zaměřené na obsluhu rotačního enkodéru v podobě přípravku **MROTSW**.

Osmá kapitola spojuje dříve uvedené informace s použitím jednotky **EVSYS** (událostního systému). Komplexní možnosti použití událostního systému jako spouštěče periférií nebo **DMA** jsou prezentovány jak v této kapitole, tak i v kapitolách následujících.

Devátá kapitola je věnována popisu jednotky **ADC** (A/D převodníku). A/D převodník má základní přesnost 12bitů, podporuje režimy průměrování a převzorkování s možností decimace. Rychlost převodu 350 kSPS zajišťuje široké uplatnění například i v oblasti digitálního zpracování signálu (DSP).

Kapitola 10 popisuje jednotku **USART** (jeden z režimů jednotky **SERCOM**), která je mimo jiné vybavena možnostmi hardwarového handshakingu, IrDA modulace a podporou LIN slave. Příklady prezentují použití v asynchronním režimu ve spojení s počítačem.

Kapitola 11 popisuje jednotku **DMAC** (řadič přímého přístupu do paměti). Komplexní možnosti **DMAC** (včetně výpočtu CRC) otevírají možnosti plně hardwarových realizací časově náročných aplikací jako jsou například vzorkovací operace pro A/D a D/A převodníky.

Kapitola 12 je věnována popisu vývojové desky **SAMDBRDEXT**, která je určena pro mikrokontroléry **SAM D10** v pouzdře SOIC20. Jsou zde také konkretizovány informace o multiplexování vývodů mikrokontroléru pro použití zabudovaných periférií a na závěr je uveden krátký testovací příklad.

Kapitola 13 ukazuje komplexní použití jednotky **DAC** (D/A převodníku), společně s **DMAC** a spouštěním pomocí jednotky **TC1** pracující ve zkráceném čítacím cyklu pro plně hardwarově řízené generování periodických signálů. Informace jsou použitelné pouze pro řady mikrokontrolérů SAM D, které obsahují zabudovanou jednotku DAC.

Kapitola 14 popisuje jednotku **SPI** (jeden z režimů jednotky **SERCOM**) určenou pro komunikaci s externími periferními obvody (například rychlými A/D a D/A převodníky). Velká pozornost je věnována hardwarovému řízení linky výběru podřízeného obvodu (slave select) a v závěru jsou naznačeny další možnosti využití této techniky.

V příloze nalezneme podklady pro výrobu jednotlivých přípravků: **SAMPROG** (programátor/debugger), **SAMDBRD** a **SAMDBRDEXT** (vývojové desky pro mikrokontroléry v pouzdrech SOIC14 a SOIC20), **M8LED** (osmice LED s budičem), **MSVORKY** (univerzální

APLIKACE MIKROKONTROLÉRŮ SAMD09 A SAMD10

svorkovnice a pinová lišta), **MROTSW** (rotační spínač se středovým tlačítkem), **MRX555** (generátor obdélníkových impulzů), **MADTEST** (testovací deska pro analogové vstupy), **MUSARTHS** (konvertor pro RS-232C včetně linek pro handshaking), **MSPIEXP** (SPI expandér pro 8 výstupů). Podrobnější popis přináší níže uvedená tabulka.

Tab. I Popis přípravků prezentovaných v knize (v chronologickém pořadí)

Název	BEN číslo	Popis
SAMPROG , viz kap. A.1	BEN0291	Programátor/debugger pro mikrokontroléry ATMEL SAM postavený na základě mikrokontroléru ATmega32U4.
SAMDBRD , viz kap. A.2	BEN0292	Vývojová deska pro mikrokontroléry SAM D09 a SAM D10 s pouzdrům SOIC 14.
M8LED , viz kap. A.4	BEN0234	Přípravek s osmi LED v zapojení se společnou anodou a budičem typu 74245.
MSVORKY , viz kap. A.5	BEN0267	Přípravek se svorkovnicí, pinovou lištou a ochrannými rezistory pro univerzální použití.
MROTSW , viz kap. A.6	BEN0273	Přípravek s rotačním spínačem včetně středového tlačítka.
MRX555 , viz kap. A.7	BEN0243	Přípravek s obvodem typu 555 zapojeným jako astabilní klopný obvod. Časovací kondenzátor a rezistor se připojují pomocí svorkovnic.
MADTEST , viz kap. A.8	BEN0250	Přípravek s napětovou referencí TL431 a regulačním potenciometrem. Používá se pro regulaci vstupního napětí například pro A/D převodník.
MUSARTHS , viz kap. A.9	BEN0293	Přípravek s obvodem typu MAX232 pro připojení USART k sériovému portu počítače. Napojeny jsou kromě linek RxD, TxD i linky CTS a RTS, takže přípravek lze použít pro handshaking.
SAMDBRDEXT , viz kap. A.10	BEN0294	Vývojová deska pro mikrokontroléry SAM D10 s pouzdrům SOIC 20.
MSPIEXP , viz kap. A.11.	BEN0295	Přípravek s obvodem typu 74595 pracující jako SPI expandér s osmi výstupy.

Nedílnou součástí knihy jsou i **doprovodné soubory**, které lze zdarma stáhnout ze stránek nakladatelství BEN – technická literatura (www.ben.cz). Soubory jsou rozděleny do složek:

- **FIRMWARE** – obsahuje soubory pro naprogramování mikrokontroléru **ATmega32U4**, který je základem programátoru/debuggeru **SAMPROG**.
- **SPOJE** – podklady pro výrobu desek plošných spojů prezentovaných přípravků.
- **PROGRAMY** – zdrojové texty jednotlivých příkladů, prezentovaných v knize. Přehled příkladů přináší tab. IIa a tab. IIb.

Tab. IIa Popis příkladů prezentovaných v knize (pokračuje)

Kapitola	Název	Popis
1	TESTSAMD09	Program pro ověření funkce desky SAMDBRD . Vývody konektorů PORT_A a PORT_B jsou konfigurovány jako výstupy s log. 1. Postupně se mění vývod, který je nastaven do log. 0. Jedná se o klasický program typu tzv. „běžící světlo“. Připojíme-li na konektory PORT_A a PORT_B přípravek M8LED , lze sledováním LED ověřit funkčnost desky.
2.3	První	První program pro seznámení s řízením GPIO . Vývody konektoru PORT_A jsou konfigurovány jako výstupy. Na konektor PORT_A připojíme přípravek M8LED . Program provádí blikání LED na vývodu PA05 , tedy na bitu 0 konektoru PORT_A .
4.1.1	PRIKLAD_01	Upravený příklad z kapitoly 2.3 (blikání LED). Je ukázáno přepnutí taktu CPU z 1 MHz na 8 MHz.
4.2.1	PRIKLAD_02	Hardwarové generování kmitočtu 8 kHz na GCLK_IO[1] pomocí OSC8M . Prezentuje konfiguraci GCLK generátoru 1 s hodinovým zdrojem OSC8M a dělicím faktorem 1000. Výstup je k dispozici na pinu PA09 (bit 2 konektoru PORT_A).
4.2.2	PRIKLAD_03	Hardwarové generování kmitočtu 2 Hz na GCLK_IO[1] pomocí OSC32K . Prezentuje konfiguraci GCLK generátoru 1 s hodinovým zdrojem OSC32K a dělicím faktorem 16384. Výstup je k dispozici na pinu PA09 (bit 2 konektoru PORT_A).
4.2.3	PRIKLAD_04	Hardwarové generování kmitočtu cca 29 kHz na GCLK_IO[1] pomocí DFLL48M v režimu otevřené smyčky. Prezentuje konfiguraci GCLK generátoru 1 s hodinovým zdrojem DFLL48M v režimu otevřené smyčky a dělicím faktorem 1000. Výstup je k dispozici na pinu PA09 (bit 2 konektoru PORT_A).
4.3.1	PRIKLAD_05	Hardwarové generování kmitočtu cca 400 kHz na GCLK_IO[1] pomocí DFLL48M v režimu uzavřené smyčky. Prezentuje konfiguraci GCLK generátoru 2 s hodinovým zdrojem OSC32K bez dělení. GCLK generátor 2 je použit jako vstup pro GCLK kanál 0, který se používá jako zdroj referenčních hodin pro hodinový zdroj DFLL48M pracující v režimu uzavřené smyčky s násobícím faktorem 1220 (výstupní kmitočet cca 40 MHz). Zdroj DFLL48M je pak použit pro GCLK generátor 1 s dělicím faktorem 100. Výstup je k dispozici na pinu PA09 (bit 2 konektoru PORT_A).
4.3.2	PRIKLAD_06	Hardwarové generování kmitočtu cca 1 MHz na GCLK_IO[1] pomocí FDPLL96M . Prezentuje konfiguraci GCLK generátoru 3 s hodinovým zdrojem OSC8M a dělicím faktorem 8. GCLK generátor 3 je použit jako vstup pro GCLK kanál 1, který se používá jako zdroj referenčních hodin pro hodinový zdroj FDPLL96M nastavený pro výstupní kmitočet 48 MHz. Zdroj FDPLL96M je pak použit pro GCLK generátor 1 s dělicím faktorem 48. Výstup je k dispozici na pinu PA09 (bit 2 konektoru PORT_A).

APLIKACE MIKROKONTROLÉRŮ SAMD09 A SAMD10

Tab. IIb Popis příkladů prezentovaných v knize (dokončení)

Kapitola	Název	Popis
4.6	PRIKLAD_07	Přetaktování CPU na 48 MHz. Úprava příkladu PRIKLAD_06 z kapitoly 4.3.2. Provede se konfigurace zdroje hodin FDPLL96M na kmitočet 48 MHz a tento zdroj je pak použit pro GCLK generátor 0, tedy jako GCLK_MAIN. Tím se změní taktování CPU.
5.6.1	PRIKLAD_01	Upravený příklad z kapitoly 2.3 (blikání LED). Pro odměr časového zpoždění je použit čítač/časovač TC1 (16bitový režim, předdělička 64, režim one-shot). Též je ukázáno provedení příkazu znovuspuštění čítače a testování indikátoru zastavení čítače. Program provádí blikání LED na vývodu PA05 , tedy na bitu 0 konektoru PORTA .
5.6.2	PRIKLAD_02	Úprava příkladu z kapitoly 5.6.1. Je použit 8bitový režim TC1 a zkrácení periody čítání pro přesnější odměr požadovaného časového intervalu.
5.6.3	PRIKLAD_03	Generování kmitočtu 0,95 Hz na vývodu mikrokontroléru pomocí čítače/časovače TC1. Prezentuje použití režimu NFRQ a použití výstupů TC1/WO[0] a TC1/WO[1] . Oba signály jsou k dispozici na vývodech PA05 (bit 0 konektoru PORTA) a PA14 (bit 3 konektoru PORTA). Generování signálu probíhá čistě hardwarově.
5.6.4	PRIKLAD_04	Generování PWM signálu na vývodu mikrokontroléru pomocí čítače/časovače TC1. Prezentuje použití režimu NPWM a použití výstupů TC1/WO[0] . Signál je k dispozici na vývodu PA05 (bit 0 konektoru PORTA). Generování signálu probíhá čistě hardwarově.
6.3	PRIKLAD_01	Použití přerušovacího systému. Prezentuje použití obsluhy přerušení čítače/časovače TC1 pro obsluhu přerušení při přetečení jeho obsahu. Program provádí blikání LED na vývodu PA05 , tedy na bitu 0 konektoru PORTA pomocí přerušení.
7.4.2	PRIKLAD_01	Reakce na stisk tlačítka pomocí EIC . Prezentuje konfiguraci vstupu vnějšího přerušení EXTINT[2] pro reakci na sestupnou hranu s hardwarovou filtrací zákmitů. Konektor PORTA je použit pro připojení přípravku M8LED . Konektor PORTB slouží pro připojení přípravku MROTSW . Program reaguje na stisk středového tlačítka rotačního spínače tak, že zneguje stav vývodu PA05 , kterou se ovládá LED. Obsluha přerušení tak střídavě zapíná/vypíná LED.
7.4.3	PRIKLAD_02	Obsluha rotačního spínače pomocí EIC. Prezentuje obsluhu rotačního enkodéru pomocí vstupů vnějšího přerušení. Konektor PORTA je použit pro připojení přípravku M8LED . Konektor PORTB pro připojení přípravku MROTSW . Program reaguje na otáčení enkodéru a stisk středového tlačítka tak, že lze editovat hodnotu zobrazeného čísla. Ošetření zákmitů probíhá hardwarově na vzorkovacím kmitočtu 8 kHz, vyhodnocení fáze enkodéru probíhá hranovou detekcí v obsluze přerušení EIC.
8.5.1	PRIKLAD_01	Čítání impulzů z vnějšího zdroje pomocí události a EIC. Prezentuje použití vstupu vnějšího přerušení EXTINT[2] jako generátoru události pro čítač/časovač TC1 (událostní akce COUNT). Událost používá událostní kanál 1 s asynchronní cestou. Vnější přerušení spouštíme středovým tlačítkem přípravku MROTSW napojeného na konektor PORTB . Čítání vyvolané událostí sledujeme pomocí debuggeru jako změnu registru COUNT jednotky TC1.
8.5.3	PRIKLAD_02	Měření periody a šířky impulzu pomocí čítače/časovače TC1. Prezentuje měření parametrů signálu na vývodu EXTINT[6] , který bude použit pro generování události pro čítač/časovač TC1 (událostní akce PPW). Zdrojem vstupních impulzů je přípravek MRX555 připojený na konektor PORTA . Naměřené hodnoty periody a šířky impulzu sledujeme pomocí debuggeru.
9.6	PRIKLAD_01	Spuštění A/D převodníku pomocí události generované přetečením čítače/časovače TC2 s použitím čítače/časovače TC1 jako PWM generátoru. Prezentuje konfiguraci A/D převodníku pro spuštění událostní akce START (start převodu). Spouštěcí událost generuje jednotka TC2 nastavená na opakovací periodu 33 ms. Jednotka TC1 je konfigurována jako 8bitový PWM generátor pro řízení jasu LED. Vstupní napětí A/D převodníku je přiváděno na vstup AIN[0] pomocí přípravku MADTEST , který se připojí na konektor PORTB . Řídí se jas LED připojené na vývod PA14 (odpovídá bitu 3, pokud připojíme přípravek M8LED na konektor PORTA).
10.7	PRIKLAD_01	Základní varianta odesílání dat přes USART . Prezentuje periodické odeslání bajtu hodnoty 0x80 pomocí USART konfigurovaného do asynchronního režimu s rychlostí 9600 Bd a formátem rámce: 8 datových bitů, bez parity, 2 stop-bity. Funkce je ověřena sledováním generovaného rámce pomocí osciloskopu.
10.9	PRIKLAD_02	Odesílání dat přes USART s handshakingem. Prezentuje upravenou variantu příkladu z kapitoly 10.7, kde je odesílání dat z USART řízeno linkou CTS pomocí jednoduché aplikace pro Windows. Přípravek MUSARTHS připojíme na jedné straně na konektor PORTA , na druhé straně jej připojíme k sériovému portu počítače. Aplikace pro Windows USART1.EXE slouží ke sledování a řízení komunikace.
11.5.1	PRIKLAD_01	Kopírování bloku paměti pomocí DMAC . Prezentuje kopírování textového řetězce z jedné části paměti do jiné části paměti. Program je testován pomocí debuggeru.
12.3	TESTSAM10	Program pro ověření funkce desky SAMDBRDEXT . Vývody konektorů PORTA a PORTB jsou konfigurovány jako výstupy s log. 1. Postupně se mění vývod, který je nastaven do log. 0. Jedná se o klasický program typu tzv. „běžící světlo“. Připojíme-li na konektory PORTA a PORTB přípravek M8LED , lze sledováním LED ověřit funkčnost desky.
13.5.1	PRIKLAD_01	Programové řízení D/A převodníku rotačním spínačem. Určeno pro mikrokontrolér typu SAM D10. Prezentuje základní konfiguraci jednotky DAC . Přípravek MROTSW je připojen na konektor PORTA a je obsluhován pomocí jednotky EIC a příslušného přerušení velmi podobně jako v příkladu z kapitoly 7.4.3. Výstup D/A převodníku je pak na bitu 2 přípravku MSVORKY , který je napojen na konektor PORTB .
13.5.2	PRIKLAD_02	Generátor periodického signálu založený na D/A převodníku a DMAC. Určeno pro mikrokontrolér typu SAM D10. Prezentuje DMAC přenos mezi blokem paměti obsahující vzorky sinusového (harmonického) signálu a D/A převodníkem. Každý přenosový pulz velikosti 16bitů je spuštěn čítačem/časovačem TC1, který tak určuje vzorkovací kmitočet. Generovaný signál lze sledovat osciloskopem připojeným pomocí přípravku MSVORKY napojeného na konektor PORTB .
14.5	PRIKLAD_01	Zmnožení výstupů pomocí SPI a obvodu typu 74595 . Prezentuje použití posuvného registru SIPO pro zmnožení (expanzi) výstupů pomocí SPI. Uváděným způsobem získáme nový 8bitový výstupní port. Expandér MSPIEXP se připojuje na konektor PORTA . Ovládání je prováděno pomocí rotačního spínače MROTSW připojeného na PORTB . Otáčením ovládacího kolečka rotačního spínače měníme číslo zobrazené pomocí LED přípravku M8LED , který je napojen na expandér.

Obsah

1	Seznámení s mikrokontroléry řady SAM D	1-1
1.1	Základní vlastnosti	1-1
1.2	Programátor/debugger	1-6
1.3	Vývojová deska SAMDBRD	1-7
2	Použití GPIO	2-1
2.1	PORT	2-1
2.2	Používání portu v jazyce C	2-6
2.3	První příklad	2-8
3	Hodinový systém	3-1
3.1	Distribuce hodin	3-1
3.2	Řadič hodinového signálu (GCLK – Generic Clock Controller)	3-3
3.3	Jednotka PM (Power Manager)	3-7
3.4	Systémový řadič SYSCCTRL	3-11
3.5	Maximální kmitočty periférií	3-15
4	Funkce pro správu hodinového systému	4-1
4.1	Konfigurace hodinových zdrojů	4-1
4.1.1	Konfigurace OSC8M	4-1
4.1.2	Konfigurace OSC32K	4-2
4.1.3	Konfigurace DFLL48M	4-3
4.1.4	Konfigurace FDPLL96M	4-4
4.1.5	Funkce pro řízení hodinových zdrojů	4-5
4.2	Konfigurace GCLK generátorů	4-5
4.2.1	Příklad č. 2 (získání hod. výstupu 8 kHz pomocí GCLK)	4-7
4.2.2	Příklad č. 3 (získání hod. výstupu 2 Hz pomocí GCLK a OSC32K)	4-8
4.2.3	Příklad č. 4 (použití DFLL48M v režimu otevřené smyčky)	4-8
4.3	Konfigurace generických kanálů	4-9
4.3.1	Příklad č. 5 (použití DFLL48M v režimu uzavřené smyčky)	4-10
4.3.2	Příklad č. 6 (použití FDPLL96M, referenční hodiny OSC8M)	4-11
4.4	Řízení hlavních hodin	4-13
4.5	Maskování hodin pro sběrnice	4-15
4.6	Ostatní funkce	4-16
4.6.1	Příklad č. 7 (změna taktování CPU + nastavení čekacích stavů)	4-16
5	TC – čítače/časovače	5-1
5.1	Základní vlastnosti	5-1
5.2	Popis funkce	5-2
5.3	DMA, přerušení, události	5-8
5.4	Režimy snížené spotřeby, synchronizace	5-9
5.5	Popis registrů	5-10
5.6	Příklady	5-14
5.6.1	Příklad č. 1 (realizace zpožďovací funkce TC1 v 16bitovém režimu)	5-14
5.6.2	Příklad č. 2 (realizace zpožďovací funkce TC1 v 8bitovém režimu)	5-16
5.6.3	Příklad č. 3 (generování kmitočtu na vývodu procesoru)	5-18
5.6.4	Příklad č. 4 (generování PWM signálu na vývodu procesoru)	5-20
6	NVIC – zabudovaný řadič přerušení	6-1
6.1	Základní funkce pro ovládání přerušovacího systému	6-1

6.1.1	Funkce pro ovládání globálního přerušení.....	6-1
6.1.2	Funkce pro ovládání individuálního zdroje přerušení.....	6-1
6.1.3	Funkce pro nastavení priority individuálního zdroje přerušení.....	6-2
6.1.4	Funkce řízení stavu přerušení	6-2
6.2	Obsluha přerušení.....	6-3
6.2.1	Handlery	6-3
6.2.2	Třístupňový systém povolení přerušení	6-3
6.2.3	Doporučený postup zápisu handleru	6-4
6.3	Příklad použití obsluhy přerušení u jednotky TC1	6-5
7	EIC – řadič vnějšího přerušení.....	7-1
7.1	Základní vlastnosti.....	7-1
7.2	Popis funkce.....	7-2
7.3	Popis registrů	7-3
7.4	Příklady	7-7
7.4.1	Přípravek MROTSW	7-7
7.4.2	Příklad č. 1: Reakce na stisk tlačítka pomocí EIC.....	7-7
7.4.3	Příklad č. 2: Obsluha rotačního spínače pomocí EIC	7-9
8	EVSYS – událostní systém	8-1
8.1	Základní vlastnosti.....	8-1
8.2	Popis funkce.....	8-2
8.3	Přerušení.....	8-4
8.4	Popis registrů	8-5
8.5	Příklady	8-8
8.5.1	Příklad č. 1: Čítání impulzů z vnějšího zdroje pomocí události	8-8
8.5.2	Přípravek MRX555 – generátor obdélníkového signálu.....	8-11
8.5.3	Příklad č. 2: měření periody a šířky	8-12
9	ADC – A/D převodník.....	9-1
9.1	Základní vlastnosti – rychlý přehled	9-1
9.2	Popis funkce.....	9-2
9.3	Popis registrů	9-8
9.4	Kanály ADC a vývody mikrokontroléru	9-15
9.5	Přípravek MADTEST	9-15
9.6	Příklad použití A/D převodníku.....	9-16
10	SERCOM USART.....	10-1
10.1	Základní vlastnosti.....	10-1
10.2	Popis funkce.....	10-2
10.3	Další možnosti.....	10-5
10.4	DMA, přerušení, události, synchronizace	10-6
10.5	Popis registrů	10-6
10.6	Přiřazení vývodů jednotky SERCOM0.....	10-12
10.7	Příklad č. 1: test odesílání dat přes USART	10-13
10.8	Přípravek MUSARTHS.....	10-16
10.9	Příklad č. 2: odesílání dat přes USART s handshakingem.....	10-17
11	DMAC – řadič DMA	11-1
11.1	Základní vlastnosti.....	11-1
11.2	Popis funkce.....	11-2
11.2.1	Deskriptory přenosu.....	11-5

11.2.2	Arbitráž.....	11-6
11.2.3	Přenos dat.....	11-7
11.2.4	Spouštěče přenosu a akce.....	11-8
11.2.5	Adresování.....	11-9
11.2.6	Ošetření chyb.....	11-10
11.2.7	Další schopnosti.....	11-11
11.2.8	Přerušeni, události, režim snížené spotřeby, synchronizace.....	11-15
11.3	Popis registrů DMAC.....	11-16
11.4	Popis registrů deskriptoru/paměti zpětného zápisu.....	11-24
11.5	Příklady.....	11-26
11.5.1	Příklad č. 1: Kopírování bloku paměti pomocí DMAC.....	11-26
12	SAMDBRDEXT – vývojová deska pro SAM D10.....	12-1
12.1	Schéma zapojení.....	12-1
12.2	Multiplexování portu.....	12-2
12.3	Testovací příklad TESTSAMD10.....	12-2
13	DAC – D/A převodník.....	13-1
13.1	Základní vlastnosti.....	13-1
13.2	Popis funkce.....	13-1
13.3	Popis registrů.....	13-4
13.4	Přiřazení vývodů D/A převodníku.....	13-7
13.5	Příklady.....	13-7
13.5.1	Příklad č. 1: Programové řízení DAC rotačním spínačem.....	13-7
13.5.2	Příklad č. 2: Generování periodických průběhů pomocí DMA.....	13-10
14	SERCOM SPI.....	14-1
14.1	Základní vlastnosti.....	14-1
14.2	Popis funkce.....	14-2
14.2.1	Základní operace.....	14-3
14.2.2	Pokročilé možnosti řízení SPI.....	14-4
14.2.3	DMA, přerušeni, události.....	14-6
14.2.4	Režimy snížené spotřeby.....	14-6
14.2.5	Synchronizace.....	14-7
14.3	Popis registrů.....	14-7
14.4	Přípravek MSPIEXP – SPI expandér pro 8 výstupů.....	14-12
14.5	Příklad č. 1: Použití expandéru MSPIEXP.....	14-13
14.6	Další možnosti využití hardwarového řízení linky \overline{SS}	14-16
A.	Příloha – podklady pro výrobu přípravků.....	A-1
A.1	SAMPROG – programátor/debugger.....	A-1
A.2	SAMDBRD – vývojová deska pro pouzdro SOIC14.....	A-6
A.3	Propojovací kabely.....	A-8
A.4	M8LED – osmice LED.....	A-8
A.5	MSVORKY – svorkovnice a pinová lišta.....	A-10
A.6	MROTSW – rotační spínač se středovým tlačítkem.....	A-11
A.7	MRX555 – generátor obdélníkového signálu.....	A-12
A.8	MADTEST – regulátor napětí pro A/D převodník.....	A-14
A.9	MUSARTHS – napěťový převodník pro sériový port PC.....	A-15
A.10	SAMDBRDEXT – vývojová deska pro SAM D10.....	A-17
A.11	Přípravek MSPIEXP – SPI expandér pro 8 výstupů.....	A-19