

David Matoušek

POKROČILÉ APLIKACE MIKROKONTROLÉRŮ PIC32MX

Praha 2018



David Matoušek

Pokročilé aplikace mikrokontrolérů PIC32MX

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, 2018

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

David Matoušek: Pokročilé aplikace mikrokontrolérů PIC32MX

BEN – odborná literatura, Praha 2018

1. vydání

ISBN 978-80-7300-553-5 (tištěná kniha)

ISBN 978-80-7300-554-2 (elektronická kniha v PDF)

Obsah

1	Základy práce s VGA.....	1-1
1.1	Elektrické propojení	1-1
1.2	Synchronizace	1-2
1.3	Generování synchronizačních impulsů pro VGA	1-3
1.4	Přípravek MVGA – připojení VGA monitoru k mikrokontroléru	1-5
1.5	PROG_01 – generování synchronizačních impulsů pro VGA.....	1-5
1.6	PROG_02 – vyplnění celé obrazovky.....	1-7
1.7	PROG_03 – vykreslení rámečku.....	1-10
2	Ovládání VGA pomocí jednotky SPI	2-1
2.1	PROG_04 – výpis jednoho znaku	2-1
2.2	Video paměť a 32bitový režim SPI	2-6
2.3	PROG_05 – výpis textu	2-8
2.4	PROG_06 – použití přerušování TX jednotky SPI1	2-17
2.5	PROG_07 – kreslení bodů (jednoduchá grafika).....	2-21
2.6	PROG_08 – kreslení čar a křivek.....	2-24
3	Řadič DMA	3-1
3.1	Základní vlastnosti DMAC.....	3-1
3.2	Stavové a řídicí registry	3-2
3.3	Režimy činnosti.....	3-8
3.3.1	Základní přenosový režim	3-8
3.3.2	Režim přerušování přenosu při detekci vzorku (pattern match).....	3-9
3.3.3	Režim zřetězení kanálů.....	3-10
3.3.4	Režim automatického povolení kanálu	3-11
3.3.5	Režim SFM	3-11
3.3.6	Pozastavení přenosu	3-11
3.3.7	Reset kanálu	3-11
3.3.8	Priorita a výběr kanálů	3-11
3.4	Popis vybraných funkcí pro řízení DMAC.....	3-12
3.4.1	Základní konfigurační, řídicí a stavové funkce.....	3-12
3.4.2	Řízení příznaků DMA kanálu a jednotky DMAC	3-14
3.4.3	Vynucení/zrušení přenosu.....	3-14
3.4.4	Řízení příznaků pro povolení přerušování generovaných DMA kanálem	3-15
3.4.5	Řízení příznaků přerušování generovaných DMA kanálem.....	3-16
3.4.6	Řízení událostí pro start/zrušení/detekci vzorku DMA kanálu	3-16
3.5	PROG_09 – použití DMA pro generování obrazu	3-17
4	Jednotka Parallel Master Port (PMP)	4-1
4.1	Klíčové vlastnosti jednotky PMP	4-1
4.2	Řídicí registry.....	4-2
4.3	Režim master.....	4-6
4.3.1	Konfigurace v režimu master.....	4-10
4.3.2	Operace čtení	4-11
4.3.3	Operace zápisu	4-11
4.3.4	Přerušování	4-12
4.3.5	Stavový bit BUSY.....	4-12
4.3.6	Časování.....	4-12
4.4	Režim slave	4-12
4.4.1	Standardní slave port	4-12
4.4.2	Bufferovaný slave port	4-13
4.4.3	Adresovatelný slave port.....	4-15
4.4.4	Časování.....	4-16
4.5	Závěrečné informace	4-16
4.5.1	Příklad připojení LCD modulu pomocí jednotky PMP	4-16
4.5.2	Podpora DMA	4-17
4.5.3	Možnosti jednotky PMP u PIC32MX130F064-I/SP	4-17
4.6	Přípravek MLCDPMP – LCD připojený přes PMP	4-17
4.7	PROG_10 – použití přípravku MLCDPMP a knihovna LCD	4-21

5	Jednotky UART	5-1
5.1	Základní vlastnosti	5-1
5.2	Řídicí registry	5-1
5.3	Konfigurace jednotky UART	5-5
5.3.1	Povolení jednotky UART	5-5
5.3.2	Odstavení jednotky UART	5-6
5.4	Vysílač jednotky UART	5-6
5.4.1	Buffer vysílače (UxTXREG)	5-7
5.4.2	Přerušení vysílače	5-7
5.4.3	Nastavení jednotky UART pro vysílání	5-7
5.4.4	Vysílání znaku break	5-8
5.4.5	Vysílací sekvence break a sync	5-8
5.5	Přijímač jednotky UART	5-8
5.5.1	Buffer přijímače (UxRXREG)	5-8
5.5.2	Ošetření chyb při příjmu	5-8
5.5.3	Přerušení přijímače	5-9
5.5.4	Nastavení jednotky UART pro příjem	5-10
5.6	Přerušení	5-10
5.7	Mapování vývodů	5-10
5.8	Řídicí linky UxCTS a UxRTS	5-11
5.8.1	Funkce UxCTS	5-11
5.8.2	Funkce UxRTS v režimu řízení toku dat	5-11
5.8.3	Funkce UxRTS v režimu simplex	5-11
5.9	Pokročilé možnosti jednotky UART	5-12
5.9.1	Použití 9bitového režimu	5-12
5.9.2	Režim vnitřní smyčky (loopback mode)	5-12
5.9.3	Podpora auto-baud	5-13
5.9.4	Podpora IrDA	5-13
5.10	Přípravek MRS232VAR – převodník pro sériový port PC	5-13
5.11	PROG_11 – UART vysílání v programové smyčce	5-14
5.12	PROG_12 – UART vysílání přes přerušení	5-15
5.13	PROG_13 – UART vysílání pomocí DMA	5-19
5.14	PROG_14 – UART příjem přes přerušení	5-21
6	Jednotky I ² C	6-1
6.1	Základní vlastnosti	6-1
6.2	Řídicí registry	6-2
6.3	Charakteristiky sběrnice I ² C	6-5
6.3.1	Protokol sběrnice I ² C	6-6
6.3.2	Příklad typické komunikace	6-7
6.4	Povolení operací na sběrnici I ² C	6-7
6.4.1	Povolení linek I ² C	6-8
6.4.2	Přerušení generované I ² C	6-8
6.4.3	Generátor přenosové rychlosti	6-8
6.5	Použití jednotky I ² C jako sigle master	6-9
6.5.1	Generování START stavu	6-9
6.5.2	Odesílání dat do slave	6-9
6.5.3	Příjem dat od slave	6-10
6.5.4	Generování ACK	6-10
6.5.5	Generování STOP stavu	6-11
6.5.6	Generování RESTART stavu	6-11
6.6	Další možnosti jednotky I ² C	6-11
6.6.1	Omezení hodnoty odporů R _P a R _S	6-11
6.6.2	Řízení strmosti hran	6-12
6.6.3	Řízení vstupních úrovní	6-12
6.6.4	Rozmístění vývodů SDA1, SCL1 a SDA2, SCL2	6-12
6.7	Přípravek MI2CEXP8 – 8bitový expandér řízený I ² C	6-12

6.8	PROG_15 – Řízení přípravku M8LED přes sběrnici I ² C.....	6-14
6.9	Přípravek MLEDSW2 – tlačítka a LED.....	6-16
6.10	PROG_16 – Řízení přípravku MLEDSW2 přes sběrnici I ² C.....	6-17
6.11	Přípravek MLCD3V3 – řádkový LCD modul, 4bitová komunikace.....	6-18
6.12	PROG_17 – Řízení přípravku MLCD3V3 přes sběrnici I ² C.....	6-19
7	Jednotky CVREF a CMP.....	7-1
7.1	Jednotka CVREF (Comparator Voltage Reference).....	7-1
7.1.1	MSVORKY – svorkovnice a kolíková lišta.....	7-3
7.1.2	PROG_18 – použití jednotky CVREF jako 4bitového D/A převodníku.....	7-3
7.2	Jednotky CMPx.....	7-5
7.2.1	Statické a dynamické parametry komparátorů.....	7-7
7.2.2	Obsluha výstupu komparátoru.....	7-7
7.2.3	Použití přerušení.....	7-8
7.2.4	Parametry analogového vstupu.....	7-8
7.2.5	PROG_19 – Měření odporu pomocí jednotky CMP.....	7-8
8	Jednotka CTMU.....	8-1
8.1	Základní vlastnosti.....	8-1
8.2	Operace.....	8-4
8.2.1	Princip činnosti.....	8-4
8.2.2	Proudový zdroj.....	8-4
8.2.3	Výběr hrany a řízení.....	8-5
8.2.4	Stav hran.....	8-5
8.2.5	Přerušení.....	8-5
8.3	Inicializace.....	8-5
8.4	Kalibrace.....	8-6
8.4.1	Kalibrace zdroje proudu.....	8-6
8.4.2	Kalibrace kapacity.....	8-7
8.5	Měření kapacity.....	8-7
8.5.1	Měření absolutní kapacity.....	8-7
8.5.2	Měření relativní kapacity.....	8-8
8.6	Měření času.....	8-8
8.7	Odměr časového zpoždění.....	8-8
8.8	Měření teploty čipu.....	8-9
8.9	Vývody jednotky CTMU.....	8-10
8.10	PROG_20 – Měření vnitřní teploty mikrokontroléru.....	8-10
8.11	PROG_21 – Měření odporu jednotkou CTMU.....	8-14
8.12	PROG_22 – Měření kapacity jednotkou CTMU.....	8-17
A	Příloha – podklady pro výrobu přípravků.....	A-1
A.1	Přípravek MVGA – připojení VGA monitoru k mikrokontroléru.....	A-1
A.2	Přípravek MLCDPMP – připojení řádkového LCD přes PMP.....	A-2
A.3	Přípravek MRS232VAR – převodník pro sériový port PC.....	A-4
A.4	Přípravek MI2CEXP8 – 8bitový expandér řízený I ² C.....	A-5
A.5	Přípravek MLEDSW2 – tlačítka a LED.....	A-6
A.6	Přípravek MLCD3V3 – řádkový LCD, 4bitová komunikace.....	A-8
A.7	MSVORKY – svorkovnice a pinová lišta.....	A-9

Přehled uváděných příkladů:

- PROG_01 – generování synchronizačních impulzů pro VGA monitor.
- PROG_02 – vyplnění celé obrazovky na VGA monitoru.
- PROG_03 – vykreslení rámečku na VGA monitoru.
- PROG_04 – výpis jednoho znaku na VGA monitoru.
- PROG_05 – výpis textu na VGA monitoru.
- PROG_06 – použití přerušování TX jednotky SPI1 pro řízení VGA monitoru.
- PROG_07 – kreslení bodů (jednoduchá grafika) na VGA monitoru.
- PROG_08 – kreslení čar a křivek na VGA monitoru.
- PROG_09 – použití DMA pro generování obrazu na VGA monitoru.
- PROG_10 – použití přípravku MLCDPMP s jednotkou PMP.
- PROG_11 – UART vysílání v programové smyčce.
- PROG_12 – UART vysílání přes přerušování.
- PROG_13 – UART vysílání pomocí DMA.
- PROG_14 – UART příjem přes přerušování.
- PROG_15 – řízení přípravku M8LED přes sběrnici I²C.
- PROG_16 – řízení přípravku MLEDSW2 přes sběrnici I²C.
- PROG_17 – řízení přípravku MLCD3V3 přes sběrnici I²C.
- PROG_18 – použití jednotky CVREF jako 4bitového D/A převodníku.
- PROG_19 – měření odporu pomocí jednotky CMP.
- PROG_20 – měření vnitřní teploty mikrokontroléru.
- PROG_21 – měření elektrického odporu jednotkou CTMU.
- PROG_22 – měření elektrické kapacity jednotkou CTMU.

Obsah doprovodného CD-ROM (ke stažení na www.ben.cz):

INSTALACE – instalační soubory pro MPLABX verze 4.10 a XC32 verze 2.05 (případně novější) lze stáhnout ze stránek:

<http://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide>,

<http://www.microchip.com/mplab/compilers>,

PIC32_DOKUMENTACE – dokumentace k jednotlivým jednotkám mikrokontroléru,

X32_HELP – soubory nápovědy především k funkcím knihovny PLIB,

DATASHEET – katalogové listy použitých obvodů nebo modulů,

PROGRAMY – zdrojové texty jednotlivých příkladů,

SPOJE – podklady pro výrobu desek plošných spojů jednotlivých přípravků v Eagle verze 6.4,

WINAPP – Windows aplikace pro příklady komunikace s počítačem přes sériový port (PROG_11 až PROG_14).

Přehled použitých přípravků:

- BEN 0300 MVGA – připojení VGA monitoru k mikrokontroléru,
- BEN 0301 MLCDPMP – připojení řádkového LCD přes PMP,
- BEN 0302 MRS232VAR – univerzální převodník pro sériový port PC,
- BEN 0271 MI2CEXP8 – 8bitový expandér řízený I²C,
- BEN 0239 MLEDSW2 – tlačítka a LED,
- BEN 0303 MLCD3V3 – řádkový LCD, 4bitová komunikace,
- BEN 0267 MSVORKY – svorkovnice a pinová lišta.

Z [1] jsou použity přípravky:

- BEN 0275 vývojová deska PIC32MXBOARD,
- BEN 0234 M8LED – osmice LED.

Hotové přípravky lze též objednat e-mailem: matousekdavid307@seznam.cz.

Předmluva

Tato kniha se zabývá tvorbou pokročilých aplikací 32bitových mikrokontrolérů PIC32MX a navazuje na dříve vydaný titul Aplikace mikrokontrolérů PIC32MX [1].

První kapitola stručně popisuje standard monitorů **VGA**. Je vysvětleno elektrické propojení, synchronizace, generování synchronizačních impulzů pomocí jednotek OC a na závěr jsou uvedeny programy pro generování synchronizačních impulzů, vyplnění obrazovky a vykreslení rámečku okolo obrazovky pomocí přípravku **MVGA**.

Druhá kapitola ukazuje ovládání VGA monitoru pomocí jednotky **SPI**. Je řešen výpis textu, kreslení bodů, čar a křivek.

Třetí kapitola začíná popisem řadiče **DMA** (řadič přímého přístupu do paměti). Tento popis je pak doplněn použitím DMA pro generování obrazu na VGA monitoru.

Čtvrtá kapitola je stručným popisem jednotky **PMP** (Parallel Master Port), kterou lze použít pro připojení paralelně komunikujících periférií. Na závěr je předvedeno použití jednotky PMP pro řízení textového LCD modulu pomocí přípravku **MLCDPMP**.

Pátá kapitola začíná popisem jednotek **UART** (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), pomocí přípravku **MRS232VAR** je řešeno připojení mikrokontroléru k sériovému portu počítače a nakonec jsou uvedeny příklady vysílání (v programové smyčce, přes přerušování, pomocí DMA) a příjmu (přes přerušování).

Šestá kapitola je věnována popisu jednotek **I²C** a příkladům použití přípravku **MI2CEXP8** (obsahuje obvod **MCP23008**). Je ukázáno řízení LED (čistě výstupní periferie), čtení stavu spínačů a ovládání LED (kombinovaná vstupně/výstupní periferie) a připojení textového LCD modulu realizovaného přípravkem **MLCD3V3**.

Sedmá kapitola popisuje jednotky **CVREF** (zdroj referenčního napětí) a **CMP** (analogové komparátory) na příkladech realizace jednoduchého 4bitového D/A převodníku a měření elektrického odporu.

Osmá kapitola uvádí možnosti jednotky **CTMU** (Charge Time Measurement Unit) na příkladech měření vnitřní teploty mikrokontroléru (obdobně lze měřit i vnější teplotu), měření elektrického odporu a měření elektrické kapacity.

V příloze nalezneme podklady pro výrobu jednotlivých přípravků: **MVGA** (připojení VGA monitoru k mikrokontroléru), **MLCDPMP** (připojení řádkového LCD přes PMP), **MRS232VAR** (univerzální převodník pro sériový port PC), **MI2CEXP8** (8bitový expandér řízený I²C), **MLEDW2** (tlačítka a LED), **MLCD3V3** (řádkový LCD, 4bitová komunikace), **MSVORKY** (svorkovnice a pinová lišta).

Z [1] se používají přípravky **PIC32MXBOARD** (oproti [1] je třeba osadit krystalem hodnoty 10 MHz) a **M8LED**.

Seznam všech publikovaných příkladů a používaných přípravků je uveden na předchozí straně.