

David Matoušek

**MIKROKONTROLÉRY PIC**  
**pro pokročilé**  
**PIC16F628A**

Praha 2017



---

David Matoušek

## **Mikrokontroléry PIC pro pokročilé**

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, 2017

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

David Matoušek: Mikrokontroléry PIC pro pokročilé

BEN – odborná literatura, Praha 2017

1. vydání

**ISBN 978-80-7300-549-8 (tištěná kniha)**

**ISBN 978-80-7300-550-4 (elektronická kniha v PDF)**

## Předmluva

*Kniha je zaměřena na popis pokročilejších periférií mikrokontrolérů **PIC16F628A** a pokročilejších možností programování v jazyce C. Navazuje na knihu **Mikrokontroléry PIC bez předchozích znalostí** [1], ve které byly popsány základní periférie společně se základy jazyka C.*

*První kapitola je věnována popisu komunikace řádkového LCD modulu včetně výkladu realizace řídicích funkcí, sestavení knihovny těchto funkcí označené jako **MLCD** (používá se v dalších příkladech) a použití funkce **printf** pro výstup na LCD modul.*

*Druhá kapitola popisuje jednotku **Timer0**. Tato jednotka je použita pro měření kmitočtu, jsou ukázány možnosti automatického přepínání předděličky a pomocného počítadla přetečení pro dynamickou úpravu měřicího rozsahu. Též je předvedeno měření odporu mezipřevodem na kmitočet.*

*Třetí kapitola ukazuje použití jednotek **Timer1** a **CCP1**. Příklady používají jednotku **Timer1** jako časovač pro odměr intervalu 0,5 s, generátor PWM signálu a speciální událostní spouštěč (režim compare).*

*Čtvrtá kapitola představuje softwarovou implementaci sběrnice **I<sup>2</sup>C**. Po úvodním popisu sběrnice **I<sup>2</sup>C** a použitého obvodu **MCP23008** (expandér pro 8 vývodů) je zařazen výklad **práce s ukazateli**, který je nutný pro pochopení realizace funkcí s výstupními parametry. Následně je realizována knihovna funkcí pro sběrnici **I<sup>2</sup>C** označená jako **I2C**. Pomocí této knihovny a expandéru **MI2CEXP** je nejdříve ovládán přípravek **M8LED** a poté přípravek **MLEDSW**. Nakonec je knihovna **I2C** použita pro řízení přípravku **MLCD**, což je klíčovým úkolem celé této kapitoly. Na závěr je pak ukázáno použití jednotky **CCP1** v režimu Capture.*

*Pátá kapitola popisuje omezení funkce vývodů portů daná zabudovanými perifériemi mikrokontroléru. Dále je popsáno praktické řešení ovládání maticové klávesnice realizované přípravkem **MMATKBD** a rotačního spínače **EC11** připojeného na přípravek **MSVORKY**. Jsou diskutovány vstupy vnějšího přerušení **INT0/RB0** a **Input Change (RB7 až RB4)**. Příklady použití vstupů vnějšího přerušení jsou zaměřeny na obsluhu rotačního spínače a počítačové klávesnice s konektorem **PS/2** (mini DIN 6). Vzhledem k rozdílným rychlostem komunikace mikrokontroléru s počítačovou klávesnicí a LCD displejem připojeným přes **I<sup>2</sup>C** je též pozornost věnována výkladu implementace datové struktury **fronta**.*

*Šestá kapitola probírá pokročilé možnosti programování v jazyce C. Probrány jsou datové typy **struct**, bitové pole, **union**. Jsou též zařazeny pokročilejší příklady obsluhy počítačové klávesnice s konektorem **PS/2** pro editaci údaje na LCD. Dále je vysvětleno použití operátoru **sizeof()**, příkazů **switch** a **break** a funkce **atoi**. Kapitola končí ukázkou automatického generování souboru s nastavením konfiguračních bitů mikrokontroléru.*

*Sedmá kapitola je věnována pokročilým možnostem mikrokontroléru **PIC16F628A**. Jedná se o doplnění popisu konfiguračních bitů a konfigurace oscilátoru z [1], popis zdrojů resetu a přidružených jednotek (**POR**, **PWRT**, **OST**, **BOR**), popis jednotky **WDT**, režimu **Sleep** a datové paměti **E<sup>2</sup>PROM**. Příklady ukazují použití dvourychlostního režimu interního RC oscilátoru, použití režimu **Sleep** společně s jednotkou **WDT** a použití datové paměti **E<sup>2</sup>PROM**.*

*V příloze jsou uvedeny podklady pro výrobu upravené verze přípravku **MLCD** pod označením **MLCDXL**.*

### Přehled uváděných příkladů:

- **PROG\_01** – výklad funkcí pro řízení řádkového LCD,
- **PROG\_02** – knihovna funkcí **MLCD** včetně použití funkce **printf**,
- **PROG\_03** – měření kmitočtu pomocí jednotky **Timer0** s automatickým přepínáním předděličky,
- **PROG\_04** – měření kmitočtu pomocí jednotky **Timer0** s počítáním přetečení,
- **PROG\_05** – měření kmitočtu pomocí jednotky **Timer0** s počítáním přetečení a odměrem času pomocí jednotky **Timer2**,
- **PROG\_06** – měření odporu mezipřevodem na kmitočet,

- **PROG\_07** – měření kmitočtu pomocí **Timer0** s odměrem časového intervalu pomocí **Timer1**,
- **PROG\_08** – pulzně-šířkový modulátor vytvořený pomocí jednotek **Timer1** a **CCP1**,
- **PROG\_09** – speciální událostní spouštěč vytvořený pomocí jednotek **Timer1** a **CCP1**,
- **PROG\_10** – 8bitový expandér výstupů pro přípravek **M8LED** s obvodem **MCP23008** připojeným na sběrnici **I<sup>2</sup>C**,
- **PROG\_11** – kombinovaný režim vstupů/výstupů pro přípravek **MLED SW** s obvodem **MCP23008** připojeným na sběrnici **I<sup>2</sup>C**,
- **PROG\_12** – připojení LCD modulu přes sběrnici **I<sup>2</sup>C**,
- **PROG\_13** – použití jednotky **CCP1** v režimu Capture pro měření doby trvání záporného impulsu (log. 0),
- **PROG\_14** – základní obsluha maticové klávesnice,
- **PROG\_15** – základní obsluha rotačního spínače,
- **PROG\_16** – obsluha rotačního spínače pomocí přerušování Input Change,
- **PROG\_17** – základní obsluha klávesnice PS/2,
- **PROG\_18** – zobrazení písmen a čísel zadávaných z klávesnice PS/2,
- **PROG\_19** – editace textu na LCD pomocí klávesnice PS/2,
- **PROG\_20** – výpis velikosti vybraných datových typů pomocí operátoru `sizeof()`,
- **PROG\_21** – editace číselné hodnoty na LCD pomocí klávesnice PS/2, použití příkazů `switch` a `break` a použití funkce `atoi`,
- **PROG\_22** – snížení spotřeby pomocí dvourychlostního režimu INTOSC,
- **PROG\_23** – snížení spotřeby použitím režimu Sleep a jednotky WDT,
- **PROG\_24** – použití E<sup>2</sup>PROM.

## Doprovodný ZIP archiv

Doprovodný ZIP archiv je možné si stáhnout ze stránek [www.ben.cz](http://www.ben.cz).

Adresář **PROGRAMY** obsahuje zdrojové texty všech 24 příkladů, které jsou popsány v knize.

Adresář **SPOJE** obsahuje soubory návrhového systému Eagle (SCH a BRD) a klišé plošných spojů jednotlivých přípravků.

*Tab. i Seznam přípravků z [1] použitých v této knize.*

Název	Označení	Stručný popis
<b>PKIT627</b>	BEN 0280	vývojový kit pro mikrokontrolér PIC16F628A
<b>M8LED</b>	BEN 0234	osmice LED (svítí při log. 0)
<b>MLED SW</b>	BEN 0239	4 tlačítka a 4 LED
<b>MSVORKY</b>	BEN 0267	svorkovnice a pinová lišta

*Tab. ii Seznam přípravků popsaných v této knize.*

Název	Označení	Stručný popis
<b>MLCD</b>	BEN 0241	modul LCD displeje 2×8 znaků
<b>MLCDXL</b>	BEN 0298	modul LCD displeje 2×16 znaků
<b>MRX555</b>	BEN 0243	generátor obdélníkového signálu s obvodem NE555
<b>MI2CEXP8</b>	BEN 0271	8bitový expandér řízený I <sup>2</sup> C s obvodem MCP23008
<b>MMATKBD</b>	BEN 0272	maticová klávesnice 4×4 s běžnými tlačítky
<b>MPCKLAV</b>	BEN 0299	přípravek pro připojení klávesnice PS/2

## Obsah

1	LCD modul.....	1-1
1.1	Popis komunikace s LCD modulem .....	1-1
1.2	Přípravek MLCD – modul LCD.....	1-5
1.3	PROG_01 – Skupina funkcí pro řízení přípravku MLCD .....	1-6
1.4	PROG_02 – Knihovna MLCD a použití funkce printf.....	1-10
1.4.1	Vytvoření knihovny MLCD .....	1-10
1.4.2	Funkce printf.....	1-13
1.4.3	Celý projekt .....	1-15
2	Jednotka Timer0.....	2-1
2.1	Popis funkce.....	2-1
2.2	Princip měření kmitočtu .....	2-3
2.3	Přípravek MRX555 – generátor obdélníkového signálu .....	2-4
2.4	PROG_03 – Měření kmitočtu s automatickým přepínáním předděličky.....	2-6
2.5	PROG_04 – Měření kmitočtu s počítáním přetečení .....	2-9
2.6	PROG_05 – Měření kmitočtu s počítáním přetečení (Timer2).....	2-12
2.7	PROG_06 – Měření odporu mezipřevodem na kmitočet.....	2-15
3	Jednotky Timer1 a CCP1.....	3-1
3.1	Popis jednotky Timer1 .....	3-1
3.1.1	Režim časovače .....	3-2
3.1.2	Režim synchronizovaného čítače .....	3-2
3.1.3	Režim asynchronního čítače.....	3-3
3.1.4	Oscilátor .....	3-3
3.1.5	Vazba na přerušovací systém.....	3-3
3.2	PROG_07 – měření kmitočtu pomocí Timer0 .....	3-3
3.3	Popis jednotky CCP1.....	3-6
3.3.1	Režim Capture – záchytný registr .....	3-6
3.3.2	Režim Compare – komparační registr.....	3-7
3.3.3	Režim PWM.....	3-8
3.4	PROG_08 – pulzně-šířkový modulátor.....	3-10
3.5	PROG_09 – speciální událostní spouštěč.....	3-11
3.6	PROG_13 – režim Capture.....	3-12
4	Sběrnice I <sup>2</sup> C.....	4-1
4.1	Popis .....	4-1
4.1.1	Vzájemné elektrické propojení .....	4-1
4.1.2	Přenos dat a formát rámce .....	4-2
4.2	Přípravek MI2CEXP8 – 8bitový expandér řízený I <sup>2</sup> C.....	4-4
4.3	Použití ukazatelů pro realizaci výstupních parametrů funkce .....	4-6
4.4	PROG_10 – 8bitový expandér výstupů .....	4-7
4.5	PROG_11 – kombinovaný režim vstupů/výstupů .....	4-12
4.6	PROG_12 – připojení LCD modulu přes sběrnici I <sup>2</sup> C .....	4-13
4.7	PROG_13 – použití jednotky CCP1 v režimu Capture .....	4-17
5	Vstupně/výstupní vývody a vstupy vnějšího přerušení .....	5-1
5.1	Omezení funkce vývodů portů .....	5-1
5.2	Přípravek MMATKBD – maticová klávesnice .....	5-2
5.2.1	Princip obsluhy maticové klávesnice.....	5-3
5.2.2	PROG_14 – základní obsluha maticové klávesnice .....	5-4
5.3	Rotační spínač.....	5-7
5.3.1	Připojení rotačního spínače EC11 .....	5-7
5.3.2	PROG_15 – základní obsluha rotačního spínače .....	5-8
5.4	Vstupy vnějšího přerušení .....	5-11
5.4.1	Vstup vnějšího přerušení INT .....	5-11
5.4.2	Vstupy vnějšího přerušení Input Change .....	5-11
5.4.3	Použití vstupu vnějšího přerušení INT .....	5-12
5.4.4	PROG_16 – obsluha rotačního spínače pomocí přerušení Input Change .....	5-12

5.5	Klávesnice PS/2 .....	5-15
5.5.1	Stručný popis konektoru a komunikace klávesnice PS/2 .....	5-15
5.5.2	MPCKLAV – přípravek pro připojení klávesnice PS/2 .....	5-16
5.6	Datová struktura fronta .....	5-17
5.6.1	Základní vlastnosti fronty (viz také [5]): .....	5-17
5.6.2	Realizace fronty polem .....	5-18
5.6.3	PROG_17 – základní obsluha klávesnice PS/2 .....	5-19
5.6.4	PROG_18 – zobrazení písmen a číslic zadávaných z klávesnice PS/2.....	5-23
6	Pokročilé možnosti programování.....	6-1
6.1	Definice nového datového typu.....	6-1
6.2	Datový typ struct.....	6-1
6.2.1	PROG_19 – editace textu na LCD pomocí klávesnice PS/2 .....	6-3
6.3	Bitové pole.....	6-7
6.4	Datový typ union.....	6-8
6.5	Poznámka k reálným číslům .....	6-9
6.6	Operátor sizeof().....	6-9
6.7	Příkazy switch a break .....	6-11
6.8	Funkce atoi.....	6-12
6.9	PROG_21.....	6-12
6.10	Generování konfiguračního souboru.....	6-15
7	Pokročilé možnosti mikrokontroléru PIC16F628A .....	7-1
7.1	Konfigurační bity.....	7-1
7.2	Konfigurace oscilátoru .....	7-1
7.2.1	Režim dvourychlostního interního RC oscilátoru.....	7-1
7.3	Reset.....	7-2
7.3.1	POR (Power-on Reset).....	7-3
7.3.2	PWRT (Power-up Timer) .....	7-3
7.3.3	OST (Oscillator Start-up Timer) .....	7-3
7.3.4	BOR (Brown-out Reset).....	7-3
7.3.5	Time-out sekvence .....	7-4
7.3.6	Registry PCON a STATUS .....	7-5
7.3.7	Vnější resetovací obvody.....	7-5
7.4	WDT (WatchDog Timer) .....	7-6
7.5	Režim Sleep (Power-Down).....	7-6
7.5.1	Probuzení z režimu Sleep.....	7-6
7.6	Ochrana kódu .....	7-7
7.7	Uživatelské ID.....	7-7
7.8	Datová E <sup>2</sup> PROM.....	7-7
7.8.1	Řídicí registr EECON1.....	7-8
7.8.2	Čtení.....	7-9
7.8.3	Zápis .....	7-9
7.8.4	Verifikace zápisu .....	7-9
7.8.5	Ochrana proti nežádoucímu zápisu .....	7-9
7.8.6	Použití .....	7-9
7.9	Příklady .....	7-9
7.9.1	PROG_22 – Snížení spotřeby pomocí dvourychlostního režimu INTOSC .....	7-9
7.9.2	PROG_23 – Snížení spotřeby použitím režimu Sleep a jednotky WDT.....	7-11
7.9.3	PROG_24 – použití E <sup>2</sup> PROM .....	7-12