

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Inovace laboratorních úloh pro předmět Mikropočítačová
technika 1 s použitím procesoru PIC18F46K22**

**Innovation Laboratory Tasks for Microcomputer Technics 1
Using Processor PIC18F46K22.**

2020

Jiří Konečný

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Konečný**
Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie
Studijní obor: 2612R059 Mobilní technologie
Téma: **Inovace laboratorních úloh pro předmět Mikropočítačová technika 1 s použitím procesoru PIC18F46K22.
Innovation Laboratory tasks for Microcomputer Technics 1 Using Processor PIC18F46K22.**
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je modernizovat laboratorní úlohy ze stávajícího procesoru PIC16F877A na modernější a výkonnější procesor PIC18F46K22, vytvořit programy pro demonstraci funkce vnitřních bloků procesoru PIC18F46K22(PWM, Datová EEPROM,...), i pro demonstraci programové obsluhy periférií(LCD displej, LED displej komunikující sběrnici I2C, potenciometr komunikující po SPI).

1. Stávající laboratorní přípravky pro laboratorní úlohy do předmětu Mikropočítačová technika 1 připojte k procesoru PIC18F46K22. Použijte přednostně vývojový kit "PIC18F46K22 Development Board".
2. Detailní popis náplně bakalářské práce :
 - 2.1 Vytvořte externí jednotku "Modul 1", která obsahuje EEPROM 24LC64, D/A převodník MCP4726A1T, V/V obvod MCP23017, 4 snímače teploty DS18B20, LCD displej 2x16 znaků, klávesnici 4x4.
 - 2.2 Vytvořte externí jednotku "Modul 2", která obsahuje multiplexovaný displej s PIC16F18323, stejnosměrný zesilovač s volitelným zesílením pomocí digitálně řízeného potenciometru MCP41100, čtyřmístný LED displej s LED maticí 8x8 bodů komunikující sběrnici SPI.
3. Pro "Modul 1" a "Modul 2" vytvořte programové vybavení, které bude demonstrovat funkci použitých prvků (EEPROM 24LC64, D/A převodník MCP4726A1T, ...).
4. Vytvořte úplnou technickou dokumentaci jednotek "Modul 1" a "Modul 2" tj. schemata zapojení, seznamy součástek, rozmístění součástek na plošných spojích, programové vybavení.

Seznam doporučené odborné literatury:

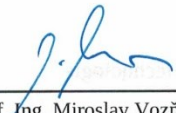
- [1] Katalogový list procesoru PIC18F46K22 dostupný na <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41412F.pdf>.
- [2] JAHELKA, Michal. *Programování jednočipových mikročipů PIC*. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1695-1.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

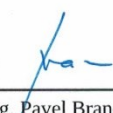
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radek Novák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020


prof. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: *15. května 2020*



.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Radkovi Novákovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultace při vytváření této bakalářské práce i v rámci jeho volného času.

Abstrakt

Práce slouží jako studijní a praktický popis autorem navržených a zpracovaných externích jednotek "Modul 1" a "Modul 2" pro vývojovou desku "PIC18FXK22 Development Board". Vychází z potřeby nahradit zastaralé jednotky podobného typu sloužící za účelem výuky předmětu Mikroprocesorová technika I. Návrh nových jednotek byl koordinován s vedoucím práce dle požadavků výuky, tak aby na nich bylo možno demonstrovat co nejvíce programů a laboratorních úloh. Autor proto musel dbát také na teoretický rozbor různorodých prvků práce a v konečné fázi myslet i na možnost empirického ověření veličit s kterými by mohlo být v použitých úlohách nakládáno, např. velikost napětí na určitém pinu. Také bylo myšleno na možnost budoucího rozšíření jednotek a připojení dalších zařízení.

Klíčová slova

PIC18FXK22 Development Board; PIC18F46K22; PIC16F18323; SPI, I2C; 1-Wire, EEPROM 24LC64, D/A MCP4726A1T; expandér MCP23017; senzor teploty DS18B20; LCD WH1602A; MCP41100; Senzor intenzity osvětlení, 8x8 LED maticový displej MAX7219

Abstract

The work serves as a study and practical description of the external units "Module 1" and "Module 2" designed and processed by the author for the development board "PIC18FXXK22 Development Board". It is based on the need to replace obsolete units of a similar type used for the purpose of teaching the subject Microprocessor Technology I. The design of new units was coordinated with the supervisor according to teaching requirements, so that it was possible to demonstrate as many programs and laboratory tasks. Therefore, the author had to pay attention to the theoretical analysis of various elements of the work and in the final stage to think about the possibility of empirical verification of quantity which could be dealt with in the used tasks, such as the magnitude of voltage on a particular pin. The possibility of future expansion of units and connection of other devices was also considered.

Key words

PIC18FXXK22 Development Board; PIC18F46K22; PIC16F18323; SPI, I2C; 1-Wire, EEPROM 24LC64, D / A MCP4726A1T; expander MCP23017; temperature sensor DS18B20; LCD WH1602A; MCP41100; light intensity sensor; 8x8 LED matrix display MAX7219

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka

TQFP	Thin Quad Flat Package – úzké čtvercové pouzdro typu SMD
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory - elektricky mazatelná a programovatelná paměť
PLL	Phase Lock Loop – násobička frekvence oscilátoru
ADC	Analog-to-Digital Converter – převodník analog na digitál
DAC	Digital-to-Analog Converter – převodník digitál na analog
FVR	Fixed Voltage Reference – pasivní referenční napětí
I2C	Inter-Integrated Circuit – sběrnice
SPI	Serial Peripheral Interface – sběrnice
CTMU	Charge Time Measurement Unit – jednotka pro obsluhu dotykových obrazovek/tlačítek
SFR	Special Function Register – speciální funkční registr
ICSP	In-Circuit Serial Programming – podpora programování skrz sériovou linku
ICD	In-Circuit Debug – podpora debugování skrz sériovou linku
WTD	Watchdog Timer – časovač typu "Hlídací pes"
XLP	eXtreme Low-Power – mód velmi nízké spotřeby energie
OW	1-Wire - sběrnice
I/O	Vstupní/Výstupní
IOC	Interrupt On Change – přerušení vyvolané změnou log. úrovně
TP	Test Point – testovací bod
NC	Not Connected – pin který není interně připojen
DPS	Deska Plošných Spojů
IC	Integrated Circuit – integrovaný obvod

Seznam použitých termínů

Termín	Význam termínu
mikrokontrolér	monolitický integrovaný obvod obsahující jednočipový počítač
funkční blok	vnitřní část mikrokontroléru obstarávající specifickou funkci danou technickým určením tohoto bloku.
digitální expandér	komponenta sloužící k rozšíření zařízení o další I/O piny.
kit	obecně deska plošných spojů osazená procesorem a dalšími součástkami navržená pro vývoj různých aplikací.
broadcast	hromadná komunikace na všechna koncová zařízení

Obsah

Úvod.....	- 12 -
1 Popis hlavních komponent	- 13 -
1.1 Popis mikrokontroléru PIC18LF46K22	- 13 -
1.1.1 Základní technické parametry:	- 13 -
1.1.2 Vnitřní funkční bloky a moduly:	- 13 -
1.1.3 Speciální vlastnosti procesoru:	- 13 -
1.1.4 Důležité speciální funkční registry (SFR):	- 14 -
1.1.5 Konfigurační bity	- 16 -
1.2 Popis vývojového kitu PIC18FXK22 Development Board.....	- 17 -
1.2.1 Popis použitých integrovaných komponent kitu	- 18 -
1.3 Popis společných částí pro externí "Modul 1" i "Modul 2"	- 20 -
1.4 Popis externího rozšiřujícího kitu "Modul 1"	- 21 -
1.5 Popis externího rozšiřujícího kitu "Modul 2".....	- 22 -
2 Popis jednotlivých komponent externích modulů	- 23 -
2.1 Open-Collector a Tri-State Logic.....	- 23 -
2.2 Sběrnice I2C.....	- 24 -
2.3 Sběrnice SPI.....	- 28 -
2.4 Sběrnice 1-Wire.....	- 29 -
2.5 EEPROM 24LC64.....	- 31 -
2.6 D/A MCP4726A1T	- 32 -
2.7 Expandér MCP23017	- 33 -
2.8 LCD WH1602-A	- 35 -
2.9 Teplotní senzor DS18B20	- 36 -
2.10 Potenciometr MCP41100	- 38 -
2.10.1 Senzor intenzity osvětlení.....	- 39 -
2.11 Demultiplexor 2 na 4 vývody realizovaný pomocí PIC16F18323	- 40 -
2.12 8x8 maticový display řízený řadičem MAX7219	- 41 -
2.13 7segmentový multiplexovaný LED displej (BD-A543RD)	- 43 -
3 Laboratorní úlohy	- 45 -

3.1	Laboratorní úloha č. 1	- 45 -
3.2	Laboratorní úloha č. 2	- 45 -
3.3	Laboratorní úloha č. 3	- 46 -
3.4	Laboratorní úloha č. 4	- 46 -
3.5	Laboratorní úloha č. 5	- 46 -
3.6	Laboratorní úloha č. 6	- 47 -
3.7	Laboratorní úloha č. 7	- 47 -
3.8	Laboratorní úloha č. 8	- 47 -
3.8.1	Regresní analýza.....	- 48 -
3.9	Laboratorní úloha č. 9	- 49 -
	Závěr	- 50 -
	Bibliografie	- 51 -
	Seznam příloh.....	- 53 -

Úvod

Cílem této práce je demonstrovat funkce mikrokontroléru PIC18LF46K22, včetně jeho vnitřních bloků a periférií. a vytvoření dvou externích jednotek "Modul 1" a "Modul 2" jako rozšíření vývojové desky "PIC18FXK22 Development Board" pro výuku předmětu Mikroprocesorová technika I. Vyústěním této práce jsou inovované laboratorní úlohy, dvě autorem navržené a zpracované externí jednotky a programové vybavení pro každou z těchto úloh pracující s jednou externí jednotkou. Z těchto důvodů je práce poměrně obsáhlá a slouží především jako studijní a informační materiál. V rámci tvorby práce bylo třeba zpracovat praktickou i teoretickou část zadání, kde praktická byla nejnáročnější. Programové vybavení je navrženo tak, aby obsloužilo mnoho různých úloh a zadání, ne pouze těch 9 demonstrativních, které byly zpracovány v rámci této práce. I fyzický návrh externích jednotek a jejich programového vybavení, byl prováděn s ohledem na víceúčelové využití, a tak aby bylo do budoucna možno připojit i další zařízení či vytvořit jiné laboratorní úlohy. Tyto jednotky lze navíc použít i k praktickému laboratornímu testování či vývoji.

1 Popis hlavních komponent

Tato kapitola práce se věnuje popisu hlavních komponentů použitých pro její realizaci. Myšleno tedy mikrokontroléru PIC18LF46K22, "PIC18FXK22 Development Board", "Modul 1" a "Modul 2".

1.1 Popis mikrokontroléru PIC18LF46K22

Tento moderní mikrokontroler firmy MICROCHIP řady 18 má vnitřně integrovanou řadu funkčních bloků a modulů, které z něj dělají univerzální nástroj pro široké účelové využití. Na začátku je nutno podotknout, že se vyrábí ve více variantách, v této práci je použita 44 pinová varianta s pouzdem TQFP, typ LF tedy nízkonapěťový typ. Procesor používá sadu RISC instrukcí optimalizovanou pro jazyk C.

V této práci jsou demonstrovány a popsány pouze vybrané nejdůležitější vnitřní funkce a funkční bloky tohoto mikropočítače, nikoli všechny jeho funkce a funkční bloky.

1.1.1 Základní technické parametry:

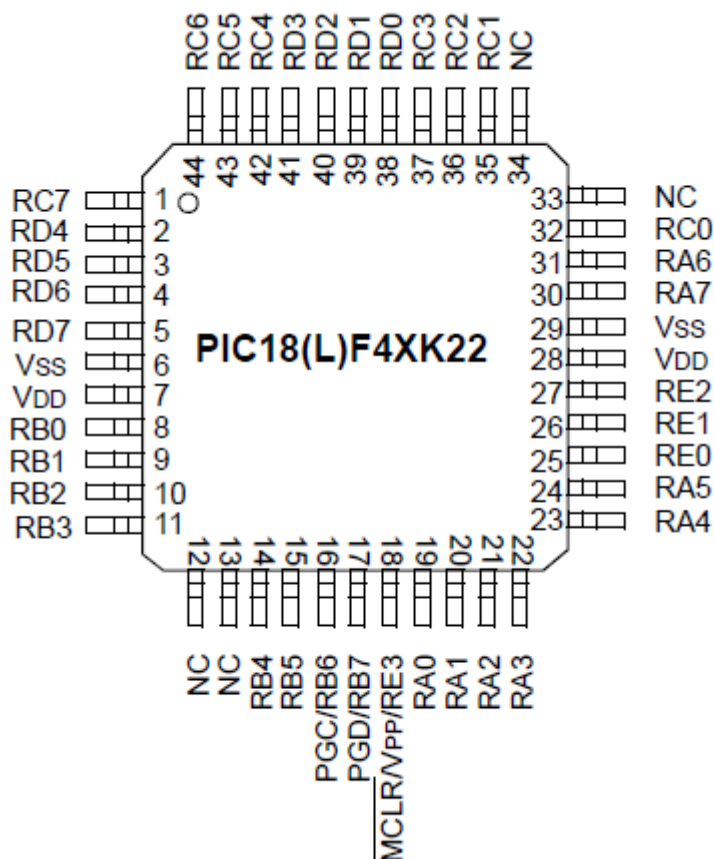
- Napájecí napětí: 1,8 až 3,6 V.
- Datová paměť: 3896 B.
- Programová FLASH paměť: 64 kB.
- Vnitřní datová EEPROM paměť: 1024 B.
- Frekvence vnitřního oscilátoru: až 16 MHz, pomocí 4xPLL až 64 MHz.

1.1.2 Vnitřní funkční bloky a moduly:

- 10 bitový ADC převodník s nastavitelnou referencí.
- 5 bitový DAC převodník s nastavitelnou referencí.
- Dvě běžné Compare/Capture/PWM jednotky (CCP moduly).
- Tři vylepšené Compare/Capture/PWM jednotky (ECCP moduly).
- Dva integrované komparátory s nastavitelnou referencí (CM moduly).
- Dvě MSSP jednotky pro sériovou komunikaci po sběrnici I2C nebo SPI.
- 7 Čítačů/Časovačů (Timer moduly).
- Nastavitelný WDT modul

1.1.3 Speciální vlastnosti procesoru:

- Podpora ICSP a ICD pro snadné programování a debuggování.
- Jednotka CTMU pro zpracování signálů z dotykových kapacitních obrazovek/tlačítek/senzorů.
- Několik možností nastavení auto-resetu, např. hlídání napájecího napětí.
- Mnoho možností přerušování, možnost nastavení priority přerušování.
- Podpora Sleep modu, Idle modu a XLP, možnost ochrany kódu.



Obrázek 1.1: Pouzdro TQFP a signály mikrokontroléru PIC18LF46K22 [1]

1.1.4 Důležité speciální funkční registry (SFR):

V této kapitole jsou popsány základní důležité registry vztahující se k zadanému mikropočítači, např. registry pracující s oscilátorem, nastavením pinů, čtením/zápisem na porty a přerušením. Konkrétnější registry budou popsány vždy u jednotlivých úloh či kapitol.

Obecně k SFR:

Speciálním funkčním registrem nazýváme registr, který v mikrokontroléru plní specifický účel, často jsou to konfigurační registry, či registry indikující stav určité části mikrokontroléru. Např. nastavení oscilátoru, konfigurace portů, časovačů atd. Dělí se na datové a řídicí, kde řídicí slouží ke konfiguraci a řízení, a datové k ukládání dat, např. adres či vstupů

1.1.4.1 Registr PORTx

Tento registr slouží primárně ke čtení z portu reprezentovaného v názvu písmenem x. (např. A,B,C,D...). Data v portu reprezentují reálnou logickou úroveň na fyzickém portu pro každý pin zvlášť. Do tohoto registru lze i zapisovat, ovšem není to doporučeno, spolehlivější je zápis provést do registru LATX, který slouží právě k tomuto účelu, a při zápisu do PORTX registru jsou data předána právě do LATX registru.

REGISTER 10-1: PORTx⁽¹⁾: PORTx REGISTER

R/W-u/x	R/W-u/x	R/W-u/x	R/W-u/x	R/W-u/x	R/W-u/x	R/W-u/x	R/W-u/x
Rx7	Rx6	Rx5	Rx4	Rx3	Rx2	Rx1	Rx0
bit 7							bit 0

Legenda:

R = číselný bit W = zapisovatelný bit U = nepoužitý bit, čtený jako "0"
 '1' = bit je nastaven '0' = bit je vymazán x = "Do not care" bit

bit 7-0 **Rx<7:0>**: PORTx I/O bitové hodnoty

Pozn. 1: Popis registru pro PORTA, PORTB, PORTC a PORTD.

Obrázek 1.2: *Popis registru PORTx [1]*

1.1.4.2 Registr TRISx

Tento registr slouží k nastavení, zda je daný pin portu vstupní či výstupní, kde "0" nastavuje pin jako výstupní a "1" jako vstupní. V datasheetu procesoru je tento registr označen jako třístavový, kde jsou 3 stavy myšleny jako log. 1, log. 0 a vstup.

REGISTER 10-8: TRISx: PORTx TRI-STATE REGISTER⁽¹⁾

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
TRISx7	TRISx6	TRISx5	TRISx4	TRISx3	TRISx2	TRISx1	TRISx0
bit 7							bit 0

Legenda:

R = číselný bit W = zapisovatelný bit U = nepoužitý bit, čtený jako "0"
 '1' = bit je nastaven '0' = bit je vymazán x = "Do not care" bit

bit 7-0 **TRISx<7:0>**: PORTx třístavový kontrolní bit

1 = PORTx pin je konfigurován jako vstupní
 0 = PORTx pin je konfigurován jako výstupní

Pozn. 1: Popis registru pro PORTA, PORTB, PORTC a PORTD.

Obrázek 1.3: *Popis registru TRISx [1]*

1.1.4.3 Registr ANSELx

Registr sloužící ke konfiguraci pinů na portu, nastavuje, zda má být daný pin analogový či digitální. Kde "0" znamená digitální a "1" analogový.

1.1.4.4 *Registr OSCCON*

Slouží k nastavení oscilátoru mikrokontroléru, jak k jeho výběru, tak i k nastavení frekvence či násobičky. Bity **SCS** slouží k výběru systémového oscilátoru, jedna z možností je využít k automatickému nastavení konfigurační bity (podkapitola níže), bity **IRCF** pak k nastavení jeho frekvence, je-li vybrán interní oscilátor. Všechny konfigurační bity jsou popsány v datasheetu procesoru [1].

1.1.4.5 *Registr INTCON*

Tento registr určuje práva k vyvolání přerušení – povoluje přerušení pro jednotlivé vnitřní funkční bloky a moduly, porty, časovače atd. Může se v něm objevit i vlajka přerušení, a také jím lze nastavit prioritu přerušení. V použitém mikrokontroléru nalezneme registry INTCON, INTCON2 a INTCON3 z důvodu celé řady prvků, které mohou vyvolat přerušení. S těmito registry jsou pak úzce spjaty registry PIR (PERIPHERAL INTERRUPT REQUEST), ve kterých se nastavují příznakové bity přerušení od jednotlivých periférií, a PIE (PERIPHERAL INTERRUPT ENABLE), který povoluje přerušení od jednotlivých periférií. Všechny tyto registry jsou popsány v datasheetu procesoru [1].

1.1.5 **Konfigurační bity**

Konfigurační bity jsou nedílnou součástí mikrokontroléru, slouží k prvotní konfiguraci procesoru a jsou ukládány do paměti FLASH. Jejich úloha je podobná jako u řídicích SFR registrů s tím rozdílem, že už je nelze za běhu programu měnit. Jejich nastavení probíhá před nahráním hlavního programu a je nutné, aby jejich konfiguraci provedl programátor. V této práci nebudou podrobně popsány jednotlivé konfigurační bity, pouze uveden příklad nastavení. Všechny konfigurační bity, které používají programy v digitální příloze k této práci, jsou nastaveny v hlavičkovém souboru "PICF18LF46K22_ConfigSFR.h" a je doporučeno je neměnit, není-li to nutné.

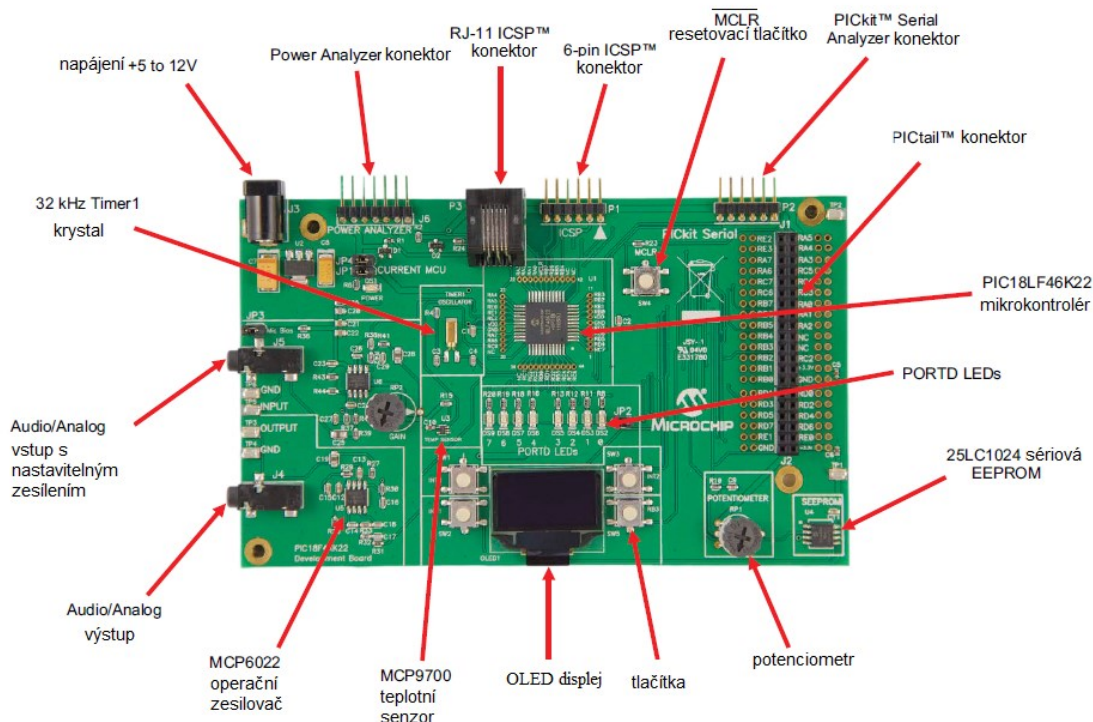
Příklad programového nastavení konfiguračního bitu:

```
#pragma config FOSC = INTIO67    // Oscillator Selection bits (Internal oscillator block)
```

Tento konfigurační bit FOSC předdefinuje, který oscilátor má být použit jako primární, v tomto případě to je INTIO67, tedy dle komentáře interní oscilátor mikropočítače.

1.2 Popis vývojového kitu PIC18FXK22 Development Board

Vývojová deska od firmy MICROCHIP s integrovaným procesorem PIC18LF46K22 je v této práci použita jako centrální ovládací prvek. Deska sama o sobě obsahuje mnoho komponent, jak je vidět z obrázku 1.4. Avšak tato práce je zaměřena hlavně na vývoj rozšiřujících modulů k této desce, tedy přesně "Modul 1" a "Modul 2", proto je většina komponent z této desky nevyužita. Použity jsou konkrétně tyto komponenty: tlačítka, potenciometr, PORTD LEDs, MCP9700 teplotní senzor, PICtail konektor pro připojení externích modulů, či propojení pinů.



Obrázek 1.4: Náhled vývojového kitu PIC18FXK22 Development Board [2]

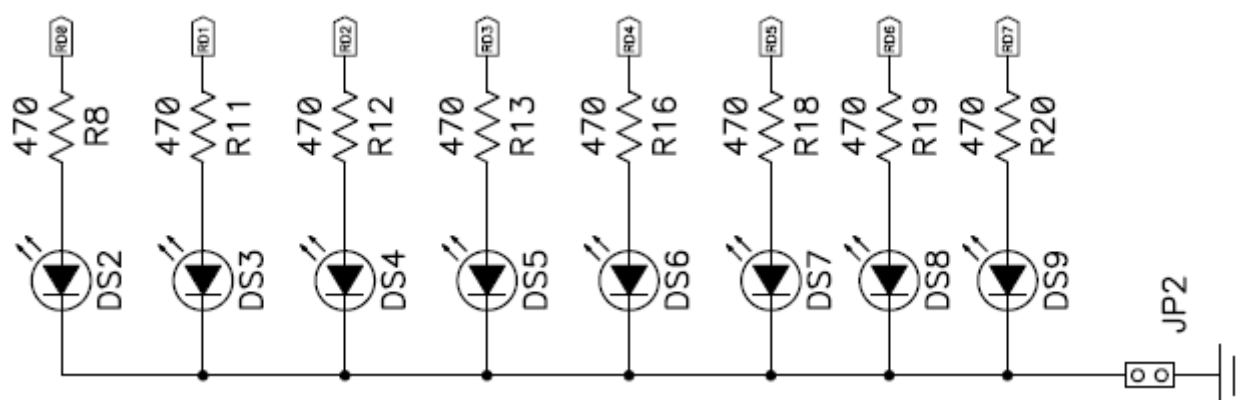
V digitální příloze k této práci jsou obsaženy veškeré materiály týkající se této vývojové desky, včetně podrobných schémat [3].

1.2.1 Popis použitých integrovaných komponent kitu

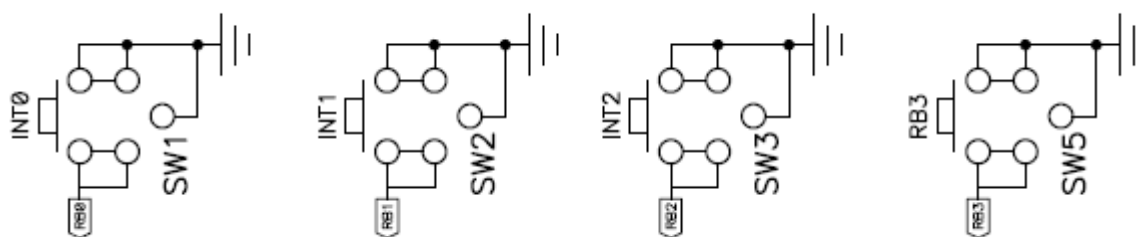
Podkapitola stručně schématicky popisuje komponenty, které jsou přímo integrovány na kitu "Development Board" a použity v praktických úlohách v této práci. Všechny ostatní komponenty lze dohledat v schématickém listu desky "PIC18FXK22 Development Board" [3].

Seznam použitých integrovaných komponent:

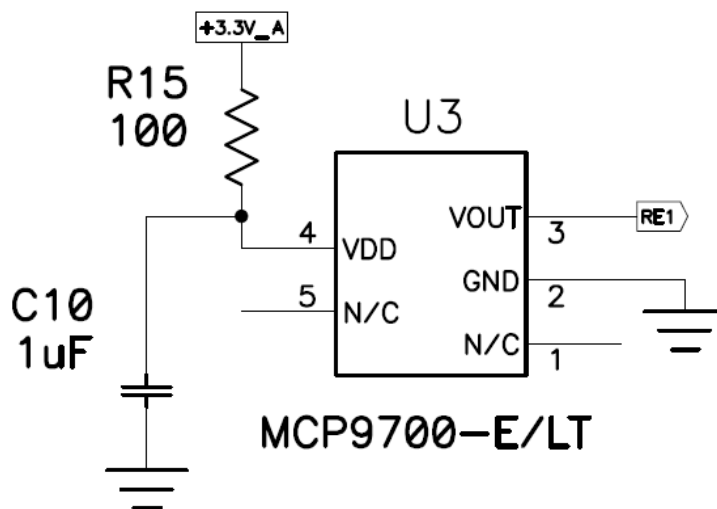
- **LED bar**, 8x signalizační LED, viz obr. 1.5
- **Tlačítka SW1,2,3,5**, viz obr. 1.6
- **Teplotní senzor MCP900**, viz obr. 1.7
- **Potenciometr RP1 10k**, viz obr. 1.8



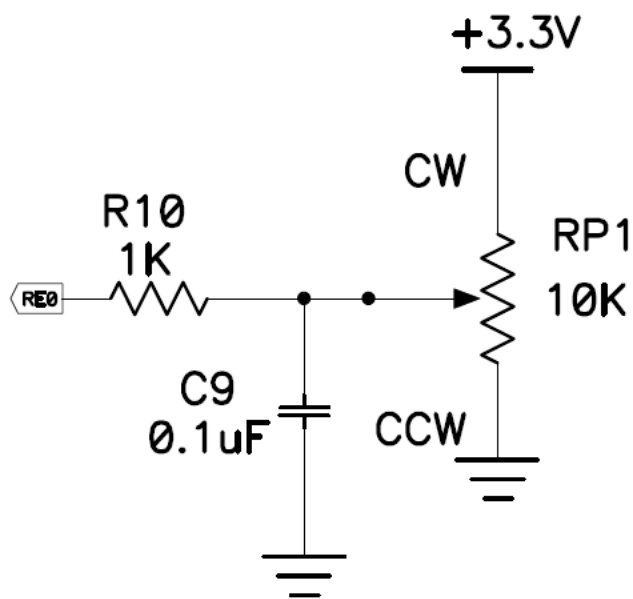
Obrázek 1.5: Schéma LED bar [3]



Obrázek 1.6: Schéma tlačítek SW1,2,3,5 [3]



Obrázek 1.7: Schéma teplotního senzoru MCP9700 [3]



Obrázek 1.8: Schéma potenciometru RP1 10k [3]

1.3 Popis společných částí pro externí "Modul 1" i "Modul 2"

Tato podkapitola popisuje společné části, které jsou zachovány pro oba externí moduly. Společnými částmi jsou např. jumper propojky, měřící body na důležitých pinech (TPMx), potenciometr PT1 a další.

Seznam společných částí a měřících bodů na důležitých pinech:

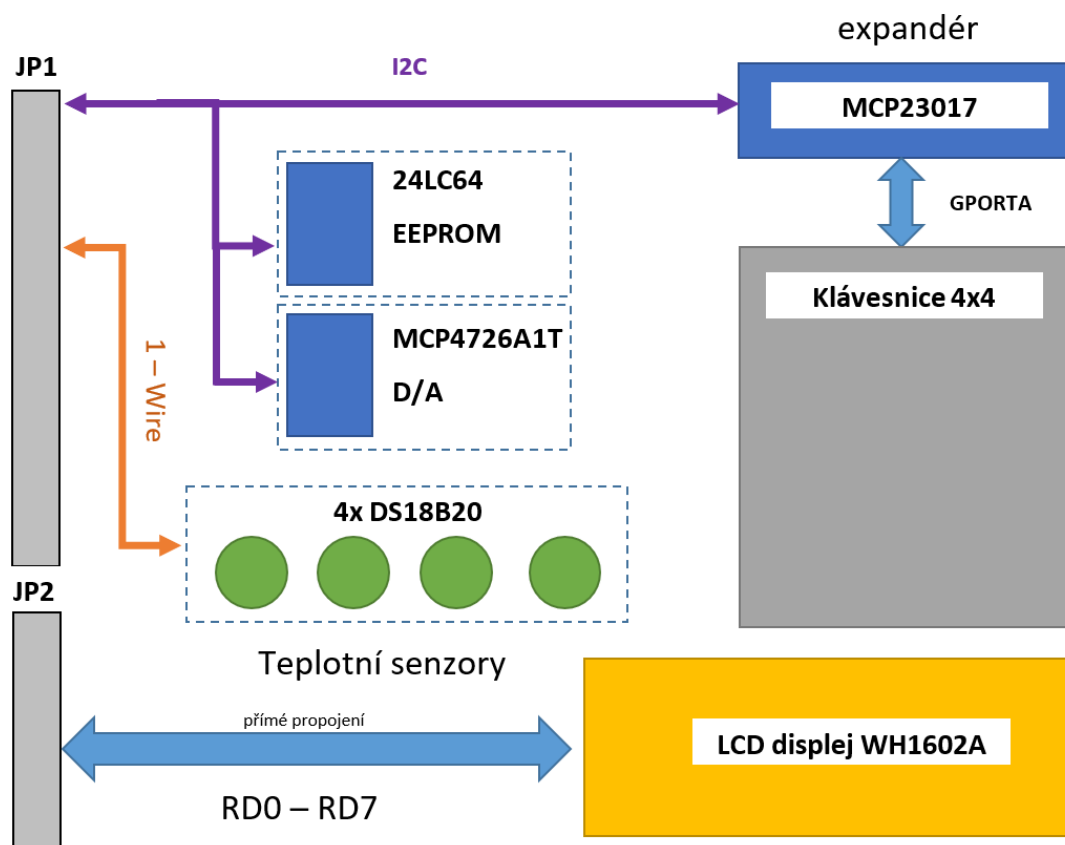
- **Jumper JPM1** mezi piny **RB1** a **RE1**. Pin RB1 je invertující vstup pro integrovaný modul komparátorů C1 a C2 - **C12IN3-**. Na pin RE1 je přiveden výstup z teplotního senzoru MCP9700.
- **Jumper JPM2** mezi piny **RB3** a **RE0**. Pin RB3 je invertující vstup pro integrovaný modul komparátorů C1 a C2 - **C12IN2-**. Na pin RE0 je přiveden výstup z potenciometru RP1 10k.
- **TPM1** na pinu **RA2**, pin RA2 je výstup z integrovaného DA převodníku - **DACOUT**.
- **TPM2** na pinu **RA3**, na pin RA3 je vyveden potenciometr PT1 5k, zároveň je to vstup kladného referenčního napětí **Vref +**.
- **TPM3** na pinu **RA4**, pin RA4 je výstup integrovaného modulu komparátoru C1 - **C1OUT**.
- **TPM4** na pinu **RA5**, pin RA5 je výstup integrovaného modulu komparátoru C2 - **C2OUT**.
- **TPM5** na pinu **RD1**, pin RD1 (AN21) je výstup integrovaného modulu PWM - **CCP4**.
- **TPM6** na pinu **RE1**, na pin RE1 (AN6) je přiveden výstup z teplotního senzoru MCP9700.
- **TPM7** na pinu **RE0**, na pin RE0 (AN5) je přiveden výstup z potenciometru RP1 10k.
- **KL1** na pinech **RB4-7**, na pinech RB4-7 je možno zapnout IOC přerušení.

1.4 Popis externího rozšiřujícího kitu "Modul 1"

Externí "Modul 1", vyvinutý v rámci této práce, byl vytvořen za účelem demonstrace periférií založených na komunikaci po sběrnici I2C a 1-Wire (OW). Součástí modulu je také dvouřádkový LCD displej a 4x4 membránová klávesnice pro zobrazení informací a zadávání vstupu.

Seznam komponent:

- EEPROM 24LC64, komunikace po sběrnici I2C.
- Digitální D/A převodník MCP4726A1T, komunikace po sběrnici I2C.
- Digitální expandér MCP23017, komunikace po sběrnici I2C.
- 2x16 znaků LCD display WH1602A, připojen napřímo na PORTD.
- 4x digitální teplotní senzor DS18B20, komunikace po sběrnici 1-Wire.
- 4x4 membránová klávesnice, připojena skrz expandér MCP23017.



Obrázek 1.9: *Blokové schéma jednotky "Modul 1".*

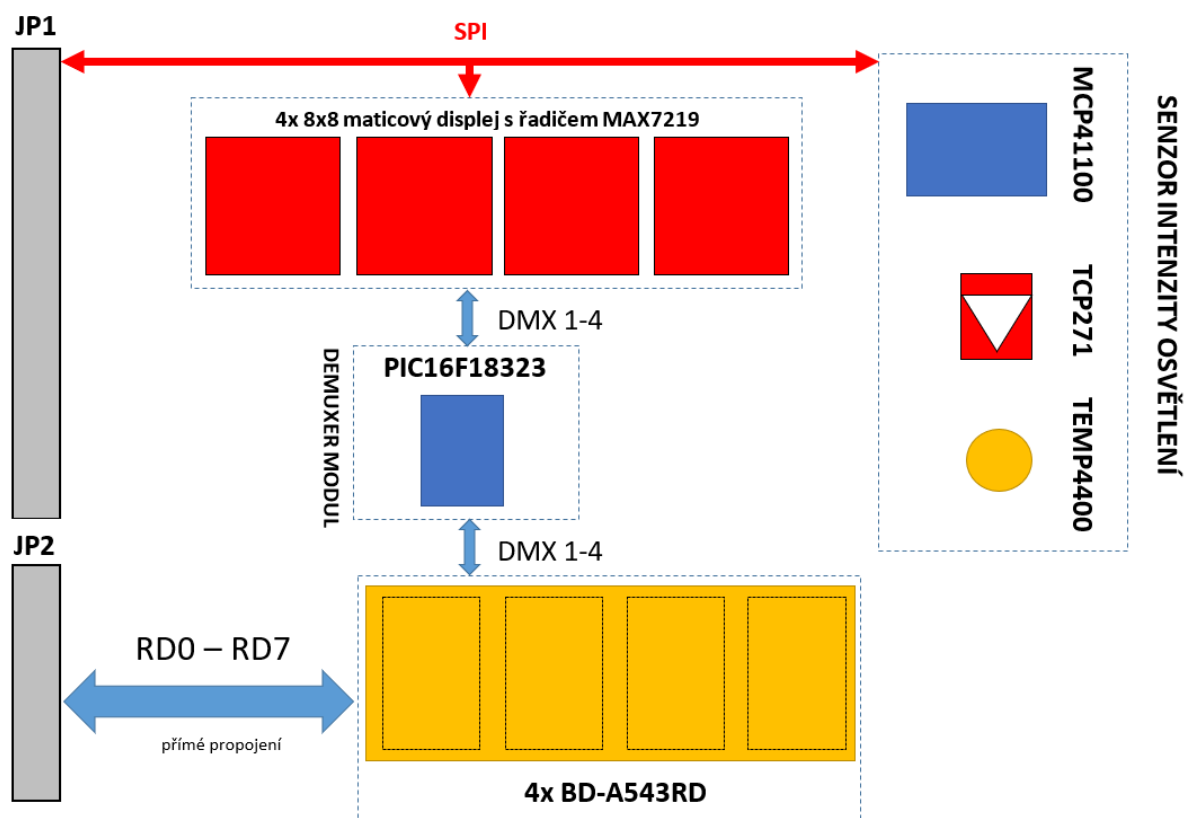
Úplné schéma a DPS návrh jednotky "Modul 1" je součástí přílohy této práce.

1.5 Popis externího rozšiřujícího kitu "Modul 2"

Externí "Modul 2", vyvinutý v rámci této práce, byl vytvořen za účelem demonstrace periférií založených na komunikaci po sběrnici SPI. Součástí modulu je také čtyřmístný 7segmentový multiplexovaný LED display a čtyřmístný maticový 8x8 LED display pro zobrazení informací a obrazců. Důležitá součást kitu "Modul 2" je senzor měření intenzity záření (popsán v kapitole 2.10.1).

Seznam komponent:

- **Digitální potenciometr MCP41100**, komunikace po sběrnici SPI.
- **Demultiplexer 2 na 4** vývody realizovaný pomocí **PIC16F18323**.
- **4x digitální 8x8 maticový displej řízený řadičem MAX7219**, komunikace po sběrnici SPI.
- **7segmentový multiplexovaný LED displej (BD-A543RD)**.
- **Operační zesilovač TLC271 CP** a **fototranzistor TEPT 4400**, tvořící s MCP41100 obvod pro měření intenzity světelného záření.



Obrázek 1.10: *Blokové schéma jednotky "Modul 2"*

Úplné schéma a DPS návrh jednotky "Modul 2" je součástí přílohy této práce.

2 Popis jednotlivých komponent externích modulů

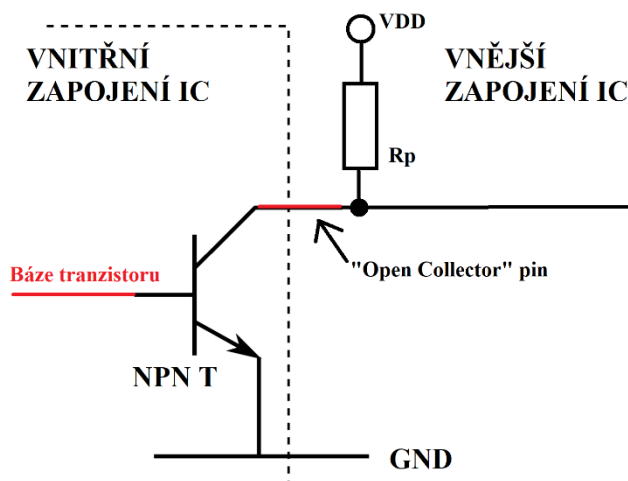
V této teoretické kapitole jsou stručně popsány jednotlivé komponenty pro "Modul 1" a "Modul 2". Součástí kapitoly je také teoretický popis sběrnic I2C, SPI a OW. Kapitola začíná stručným popisem Open-Collector a Tri-State Logic periférií.

2.1 Open-Collector a Tri-State Logic

V následujících podkapitolách se objeví v technické praxi známé a často používané pojmy Open-Collector a Tri-State Logic. Proto jsou tyto pojmy v následujícím textu stručně vysvětleny.

- **Open-Collector**

Jako Open-Collector neboli zapojení s otevřeným kolektorem, se označuje takový pin na rozhraní zařízení, který je interně připojen na kolektor tranzistoru. Takovýto pin lze pouze sepnout na zem nebo nechat rozpojený, toto zapojení má tu výhodu, že jím lze uzemnit poměrně velké proudy a vytvářet tzv. tvrdou nulu. Hlavní výhoda je ale ta, že více výstupů může být připojeno k jednomu vodiči do jediného uzlu (schéma viz *obr. 1.11.*).



Obrázek 1.11: *Blokové schéma Open-Collector [4]*

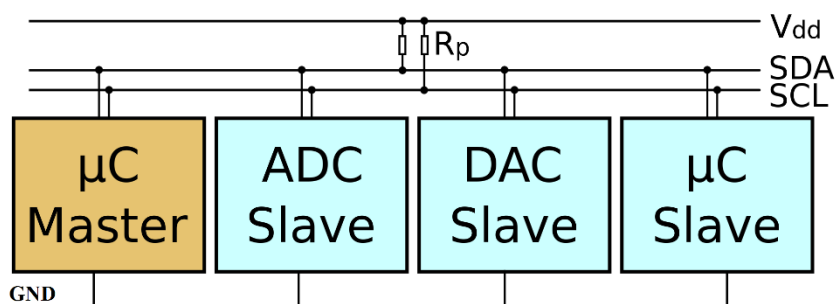
- **Tri-State Logic**

Jako Tri-State Logic pin u mikrokontroléru PIC neboli pin se třemi stavy logikou, lze označit ten pin rozhraní zařízení, jenž lze přepínat mezi stavy 1 a 0 nebo ho nastavit jako vstupní pin. Tato logika lze nastavit u většiny mikrokontroléru PIC v registru TRIS.

2.2 Sběrnice I2C

Podkapitola zabývající se stručným popisem sběrnice I2C. Základem sběrnice I2C je sériový přenos informací za pomoci dvou oddělených signálních vodičů, z nichž jeden přenáší data (SDA) a druhý hodinový signál (SCL). Sběrnice I2C je adresovatelná a data jsou přenášena po bajtech [5]. Signály SDA a SCL musí být ovládány tzv. Open-Collector rozhraním, které je třeba připojit na externí pull-up rezistory R_p o nominální hodnotě dle použité frekvence (běžně 2.2 k Ω). Obecně používány frekvence hodin jsou 100 kHz, 400 kHz a 1 MHz.

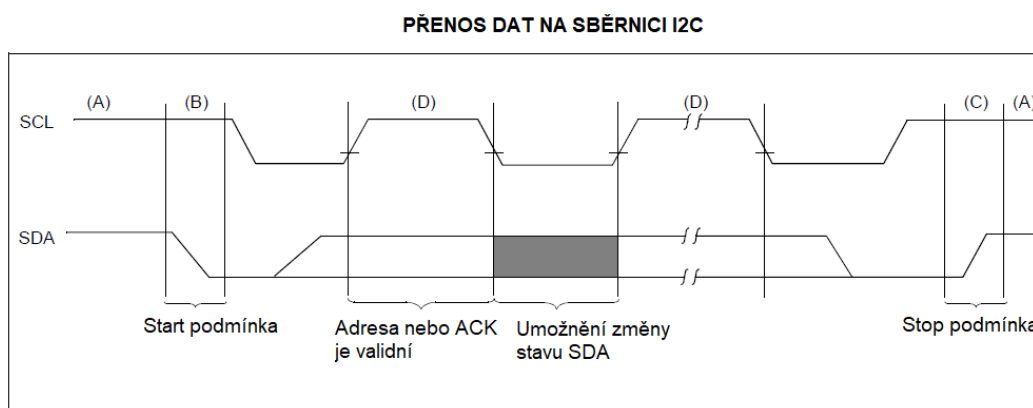
Běžně dělíme zařízení na této sběrnici do dvou skupin: Master a Slave. Master je zařízení, jenž kontroluje samotnou sběrnici, generuje signál SCL, Slave pouze odpovídá na požadavky od Master zařízení. Samotná komunikace pak probíhá pouze mezi Master zařízením a jedním vyvolaným Slave zařízením. Blokové schéma I2C sběrnice zobrazuje obr. 1.12.



Obrázek 1.12: Blokové zobrazení I2C sběrnice [5]

Pro přenos dat se používají 4 základní stavy, viz obr. 1.13 [6]:

- A: Sběrnice je neaktivní.
- B: Start stav: podmínka pro odstartování nového přenosu.
- C: Stop stav: podmínka značící konec přenosu.
- D: Čtení ev. zápis dat, probíhá při změně stavu SCL do stavu log. 1.



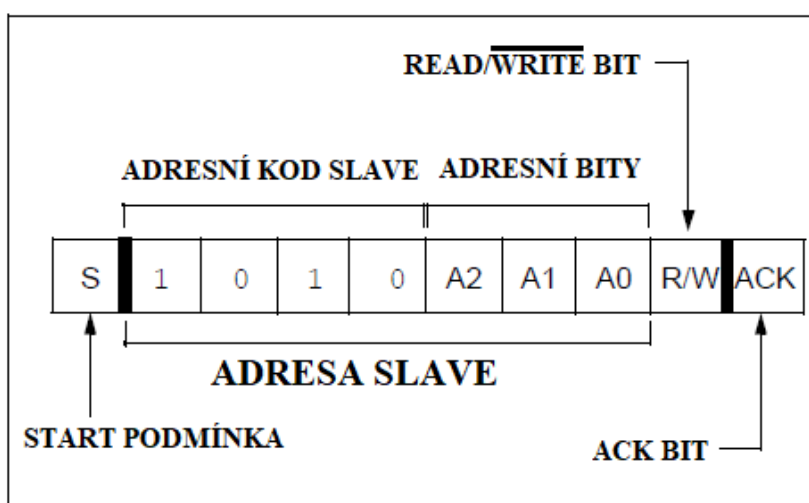
Obrázek 1.13: Přenos dat na sběrnici I2C [6]

Acknowledge (ACK) bit: je odpověď přijímače na konci každé sekvence přenosu jednoho bajtu (viz obr. 1.14). Dává vysílači najevo, že přijal 8 bitů, či že je zadaná správná adresa zařízení. Neslouží jako validátor přijatých dat.

Komunikace po I2C sběrnici obecně probíhá takto:

Master vyšle Start podmínku, a poté v jednom bajtu odesílá adresu zařízení, s nímž je zamýšleno navázat spojení. Poslední bit z tohoto adresního bajtu je tzn. R/W bit, tedy bit vyjadřující, zda chceme do zařízení psát či z něj číst. Obvyklá logika R/W bitu je následovná: log. 1 vyjadřuje čtení a log. 0 zápis. Nakonec Master čeká na ACK bit jako odpověď od Slave zařízení, že je adresa v pořádku a zařízení je připraveno komunikovat. Poté může začít Master po bajtech přenášet data. Na konci přenosu vyšle Master Stop podmínku a přenos takto ukončí.

PŘÍKLAD FORMÁTU KONTROLNÍHO BAJTU



Obrázek 1.14: Příklad formátu kontrolního adresního bajtu a Acknowledge (ACK) bitu [6]

Procesor PIC18LF46K22 používá pro řízení a ovládání I2C sběrnice MSSP moduly, tyto moduly lze konfigurovat skrz registry SSPxSTAT, SSPxCON1, SSPxCON2 a SSPxADD [7].

- Registr **SSPxSTAT**: slouží ke kontrole stavu I2C sběrnice.
- Registr **SSPxCON1**: konfigurace modulu MSSP, nastavení modu zařízení.
- Registr **SSPxCON2**: stará se o Start, Stop podmínky a Acknowledge logiku.
- Registr **SSPxADD**: slouží buď k nastavení adresy zařízení nebo k nastavení frekvence při přenosu, v závislosti, v jakém I2C modu zařízení pracuje.

PIC18LF46K22 obsahuje 2 MSSP jednotky, jednotku 1 a 2, viz tabulka 1.1 níže.

Tabulka 1.1: Vývod kanálů SDA a SCL pro MSSP jednotky

MSSP jednotka	SCL kanál	SDA kanál
1	RC3, SCL1	RC4, SDA1
2	RD0, SCL2	RD1, SDA2

Vnitřní uspořádání MSSP jednotek je zobrazeno na obr. 1.16.

Výňatek zdrojového kódu pro konfiguraci I2C na procesoru PIC18LF46K22:

```
/*Výpočet Bitrate proměnné z frekvence procesoru PIC a zadané požadované rychlosti pomocí parametru speed. */
```

```
    BITRATE = ((_XTAL_FREQ/(4*speed))-1);
```

```
    SSP1ADD = (unsigned char)BITRATE;
```

```
//Nastavení MSSP jednotky
```

```
    SSP1CON1 = 0x08;
```

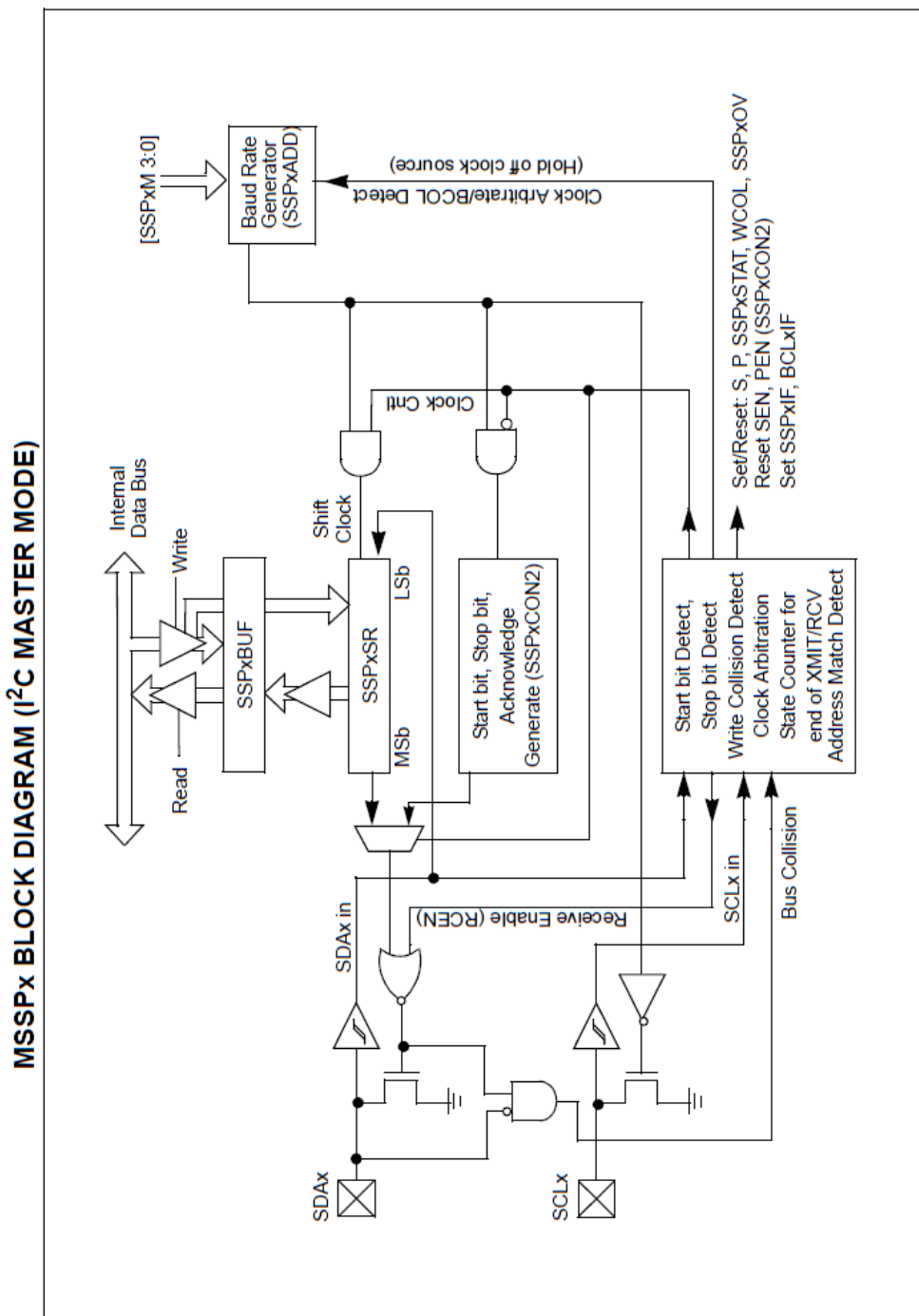
```
    SSP1CON2 = 0x00;
```

```
// Povolení I2C operací
```

```
    SSP1CON1bits.SSPEN = 1;
```

```
//čekání dokud není modul připraven
```

```
    while(!SSP1CON1bits.SSPEN) NOP();
```



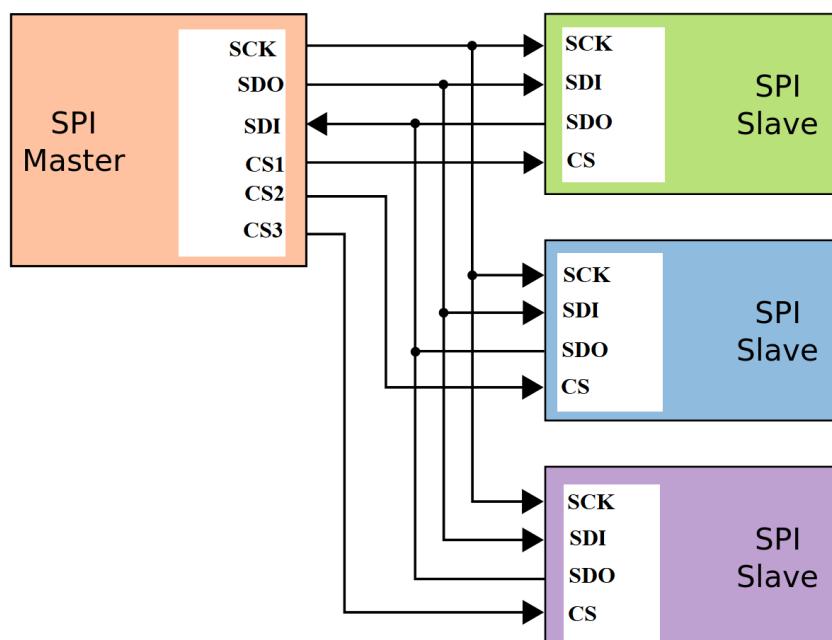
Obrázek 1.16: Vnitřní uspořádání MSSP jednotky. [1]

2.3 Sběrnice SPI

Sběrnice SPI je oproti I2C značně zjednodušená, a také starší. Neobsahuje žádné Start, Stop nebo ACK bity. Není adresovatelná a je tří signálová. K výběru cíle pro zaslání dat se používá CS signál. Signál SDI slouží ke čtení dat ze sběrnice, kanál SDO k zápisu na sběrnici, signál SCK jako zdroj hodinového signálu. Přenos opět probíhá po bajtech, každý jednotlivý bit je přenesen za jeden hodinový puls.

Hlavní nevýhodou sběrnice SPI je nutnost používání tzn. Chip Select (CS) signálu, který je nutno vést pro každé připojené zařízení na sběrnici zvlášť. CS signál umožňuje připojenému zařízení čtení nebo zápis na sběrnici, kde log. 0 obvykle znamená povolení přenosu a log. 1 zakázání přenosu. Pro některé aplikace lze ovšem zařízení řetězit a ušetřit tak procesoru CS výstupy, zařízení si pak data i CS signál předávají řetězově samy.

Zařízení se zde opět dělí na skupiny Master a Slave, z nichž Master řídí provoz na sběrnici. Blokové schéma zapojení viz obr. 1.17.



Obrázek 1.17: Příklad zapojení SPI sběrnice [8]

PIC18LF46K22 obsahuje 2 MSSP jednotky, jednotku 1 a 2, viz tabulka 1.2 níže.

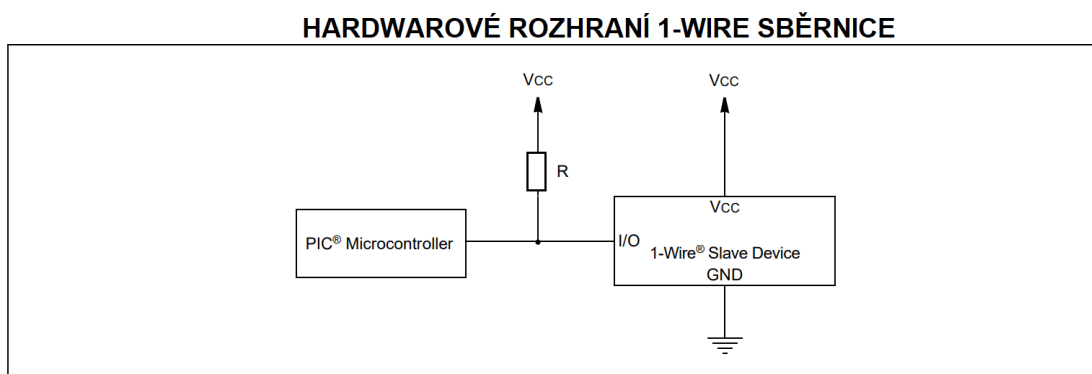
Tabulka 1.2: Vývod kanálů SDI, SDO a SCK pro MSSP moduly

MSSP modul	SCK kanál	SDI kanál	SDO kanál
1	RC3, SCK1	RC4, SDI1	RC5, SDO1
2	RD0, SCK2	RD1, SDI2	RD4, SDO2

2.4 Sběrnice 1-Wire

Sběrnice 1-Wire se oproti předchozím sériovým sběrnicím SPI a I2C zásadně liší. Obsahuje pouze jeden signální vodič pro transakci neboli přenos dat a zcela zde chybí řízení sběrnice za pomoci hodinových pulzů. Firma Maxim Integrated, stojící za vývojem této sběrnice, ji navrhla s ohledem na co možná největší úsporu fyzických vodičů, proto se rozhodla, že využije pro přenos časové kódování dat a pouze jediný fyzický kanál. [9]

Hardwarové zapojení je značně jednoduché, ovšem je opět vyžadováno používat Open-Collector nebo Tri-State-Logic rozhraní a pull-up R odpory o doporučené hodnotě 4.7 kΩ. Opět zde funguje známé rozdělení zařízení na Master a Slave [10] [11].



Obrázek 1.18: *Hardwarové rozhraní 1-Wire sběrnice [11]*

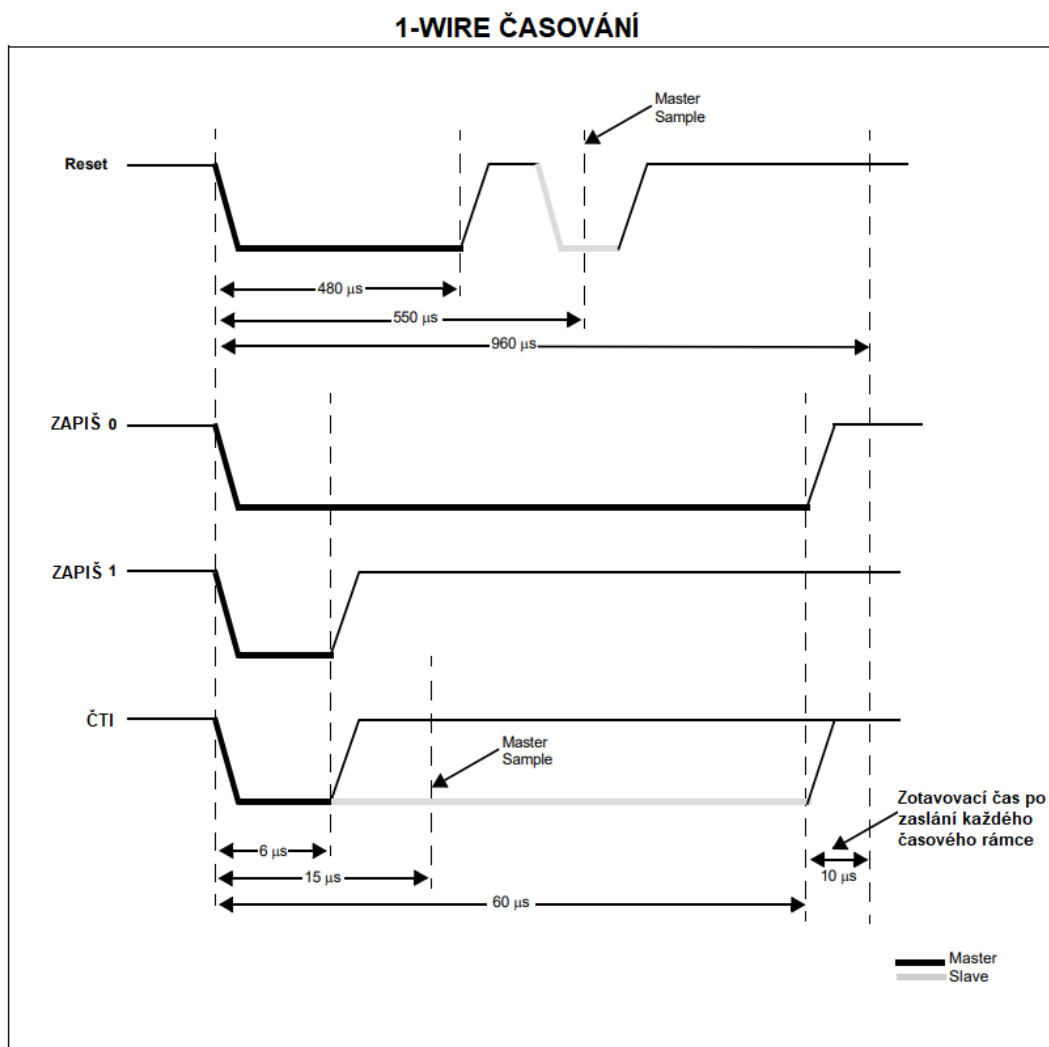
Celý přenos dat poté probíhá za pomoci 4 základních operací: [11]

- **RESET** – resetuje Slave zařízení, příprava na transakci dat.
- **ZÁPIS** bitu log. 1 - Zaslání časového rámce ve formátu pro přenos log. 1.
- **ZÁPIS** bitu log. 0 - Zaslání časového rámce ve formátu pro přenos log. 0.
- **ČTENÍ** bitu – Zaslání časového rámce ve formátu pro čtení Slave zařízení.

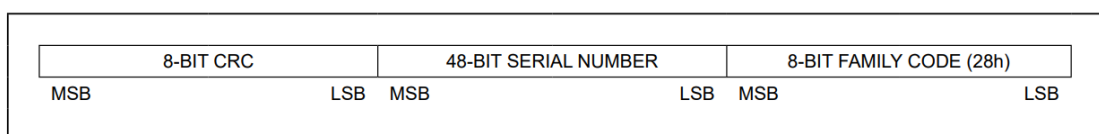
Časové rámce mají různé formáty dle použité operace viz *obr. 1.19*.

Samotný přenos dat pak probíhá pomocí tzv. transakcí, kdy každá transakce začíná operací RESET. Poté jsou přeneseny po bajtech potřebné informace, a tím je transakce dokončena [10].

1-Wire zařízení jsou adresovatelná, a lze jich tedy na jednu sběrnicí připojit mnoho, adresy bývají až 64bitové, viz *obr. 1.20*, a děleny na rodiny zařízení dle tzv. FAMILY kódů [10]. Samotná sběrnice je pak navržena pro nízkou spotřebu a malý datový tok, například pro síť digitálních teploměrů.



Obrázek 1.19: Časování rámců 1-Wire sběrnice [11]



PŘÍKLAD 64 BITOVÉ ROM ADRESY DS18B20

Obrázek 1.20: Příklad adresy 1-Wire zařízení DS18B20 [10]

2.5 EEPROM 24LC64

Tato EEPROM (kapacita 8 kB, f. Microchip) napojena přes sběrnici I2C umožňuje jednoduchou práci s daty, ukládání a zápis po bajtech či stránkách (32 B). Čas zápisu je cca 5 ms, čas čtení je zanedbatelný, a proto není v technické dokumentaci ani uveden, tyto hodnoty se vztahují jak k jednoduchému zápisu po bajtech, tak po stránkách. [6]

Práce s EEPROM funguje pomocí adresace buňky v paměti, tato adresa se skládá ze 2 bajtů – H a L. Poté co je adresace úspěšná, je možno z dané adresy číst či do ní zapisovat. Každá buňka paměti má velikost 1 B.

I2C ADRESA 24LC64 v rámci systému I2C: $0b1010000x$, kde x značí bit R/W

Rozsah adresace paměti H: $0x00$ až $0x1F$ **Rozsah adresace paměti L:** $0x00$ až $0xFF$

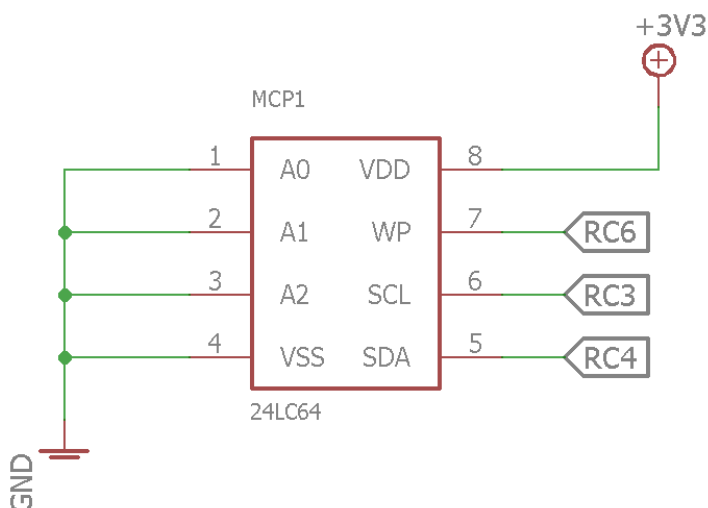
•Příklad zápisu na EEPROM:

- 1.) Posíláme adresu EEPROM zařízení.
- 2.) Zašleme H bajt adresace paměti.
- 3.) Zašleme L bajt adresace paměti.
- 4.) Čteme nebo zapisujeme data.

Pozn.: Pokud chceme chránit data před náhodným přepsáním, tak musíme pin WP nastavit na log. 1.

Technické parametry: [6]

- Sběrnice: I2C, až 1 MHz.
- Napájecí napětí: 2.5 - 5.5 V.
- Teplotní rozsah: -40 až +85 °C.
- Kapacita paměti: 8 kB.



Obrázek 1.21: Schéma zapojení 24LC64

2.6 D/A MCP4726A1T

Jednoduchý digitální D/A převodník řízený sběrnicí I2C, je převodník 12bitový a umožňuje tak velmi jemné nastavení výstupního napětí. Samotný převodník obsahuje několik konfiguračních registrů, a také malou integrovanou EEPROM paměť, kde lze uchovat poslední nastavenou hodnotu a paralelně k tomu obsahuje malou volatílní paměť, kde je uložena aktuální hodnota. Tyto paměti lze konfigurovat zvlášť nebo psát do obou současně. Dále převodník umožňuje nastavit zisk výstupního napětí x1 nebo x2, a také nastavit výstupní uzemňovací odpory v hodnotách 0, 1, 100 nebo 500 kΩ.

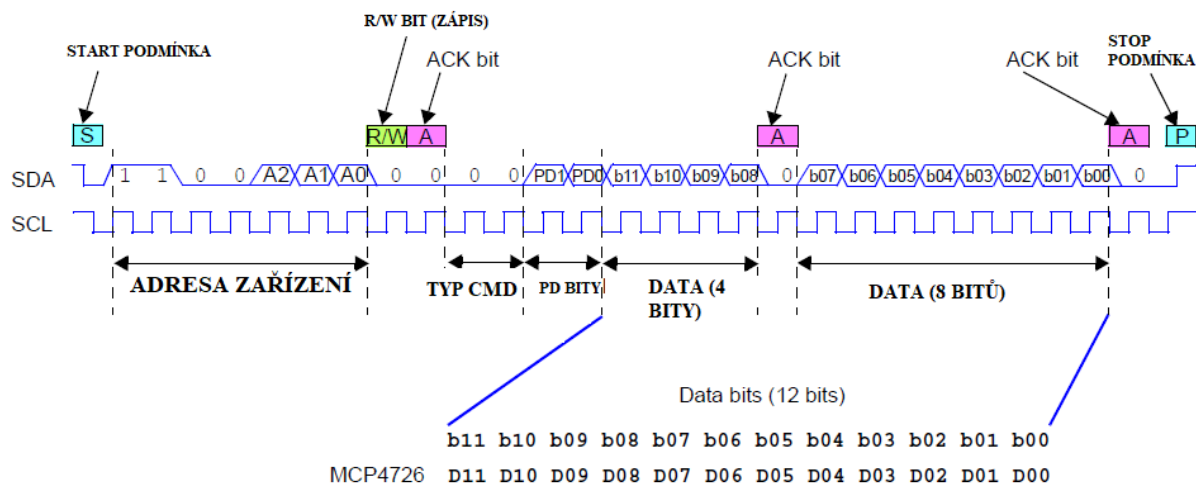
Při práci s tímto D/A převodníkem je třeba na začátku provést vhodnou inicializaci, tedy nastavit konfigurační registry a popřípadě vymazat EEPROM paměť.

I2C ADRESA MCP4726A1T: $0b1100001x$, kde x značí R/W bit.

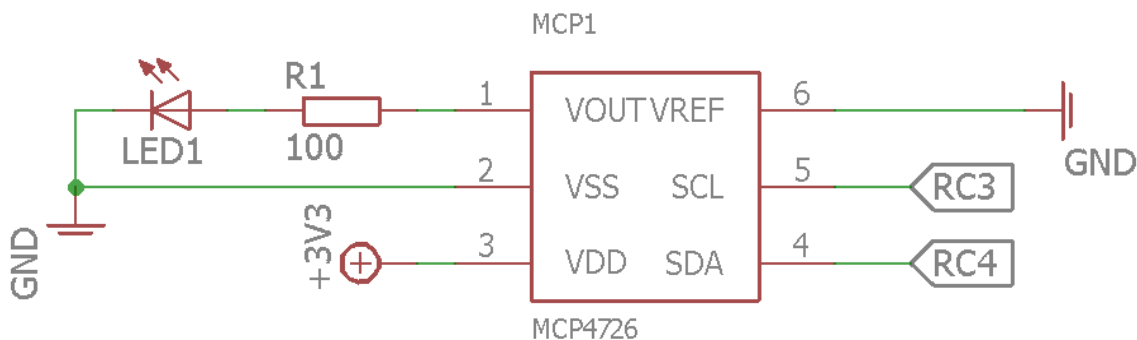
Technické parametry: [12]

- Sběrnice: I2C, až 3.7 MHz.
- Napájecí napětí: 2.7 - 5.5 V.
- Maximální rozlišení převodu: 12 bitu.
- Použití: kalibrace senzorů, řízení motorů, aj.
- Proudová zatížitelnost vytvořeného napětí je 1 mA.

Příklad zápisu do volatílní paměti MCP4726A1T viz obr. 1.22



Obrázek 1.22: Příklad zápisu do volatílní paměti MCP4726A1T [12]



Obrázek 1.23: Schéma zapojení MCP4726A1T

2.7 Expandér MCP23017

Tento 16bitový expandér rozšiřuje počet I/O pinů o dva 8bitové porty, port GPORTB a GPORTA. Expandér dále umožňuje řadu vnitřních konfigurací, včetně vyvolání přerušení, které mohou být vedeny na výstupní piny INTA a INTB. Celkově expandér obsahuje 22 konfiguračních registrů, tedy 11 pro GPORTB a 11 pro GPORTA. Oba již zmíněné porty lze konfigurovat jako vstupní/výstupní, lze na nich zapnout IOC přerušení, čist záchytné registry s vlajkami přerušení pro jednotlivé piny, automaticky je porovnávat s přednastavenými hodnotami atd.

Při práci s expandérem je nutno v prve řadě provést správnou inicializaci a počáteční konfiguraci, ovšem tu lze v průběhu používání kdykoliv měnit.

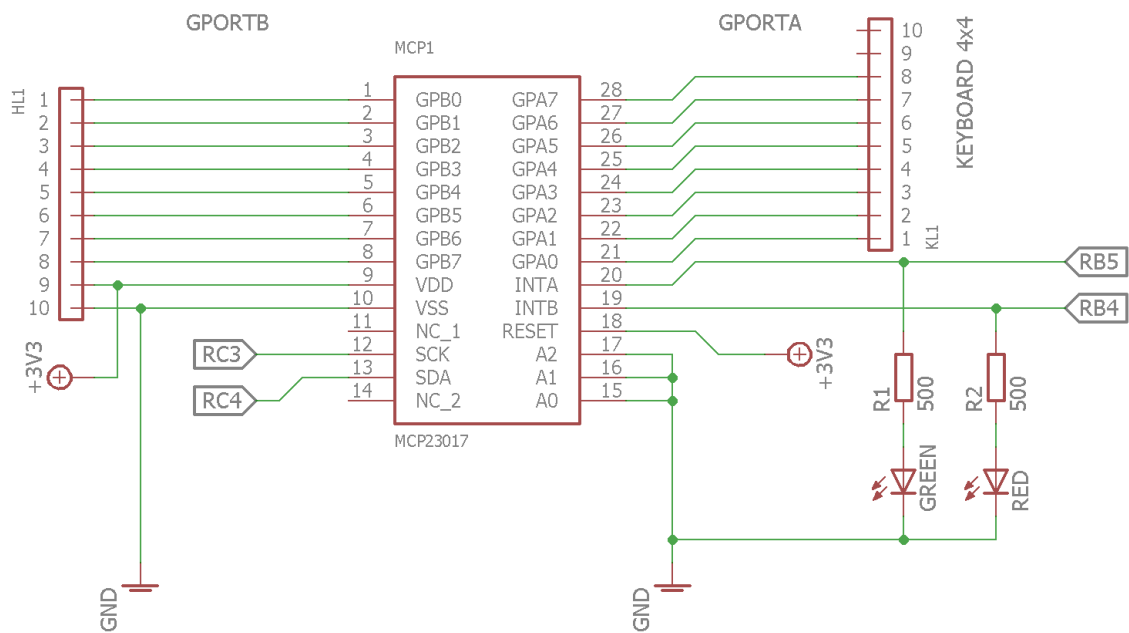
I2C ADRESA MCP23017: $0b0100000x$, kde x je R/W bit

Technické parametry [13]:

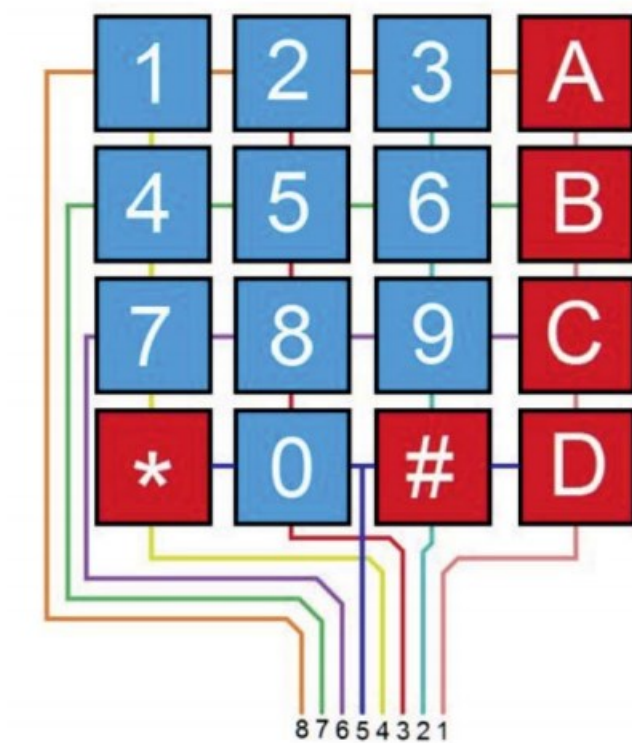
- Sběrnice: I2C, až 1.7 MHz.
- Napájecí napětí: 2.7 - 5.5 V.
- Počet IO pinů: 16.
- Použití: rozšíření mikrokontroléru o další IO piny, obsluha např. klávesnice.

Pozn.: Na GPORTA expandéru je rámci této práce přímo připojená membránová klávesnice 4x4, viz obr. 1.24 a obr. 1.25.

Popis jednotlivých komponent externích modulů



Obrázek 1.24: Schéma zapojení MCP23017



Obrázek 1.25: Rozložení kláves membránové klávesnice 4x4 [14]

2.8 LCD WH1602-A

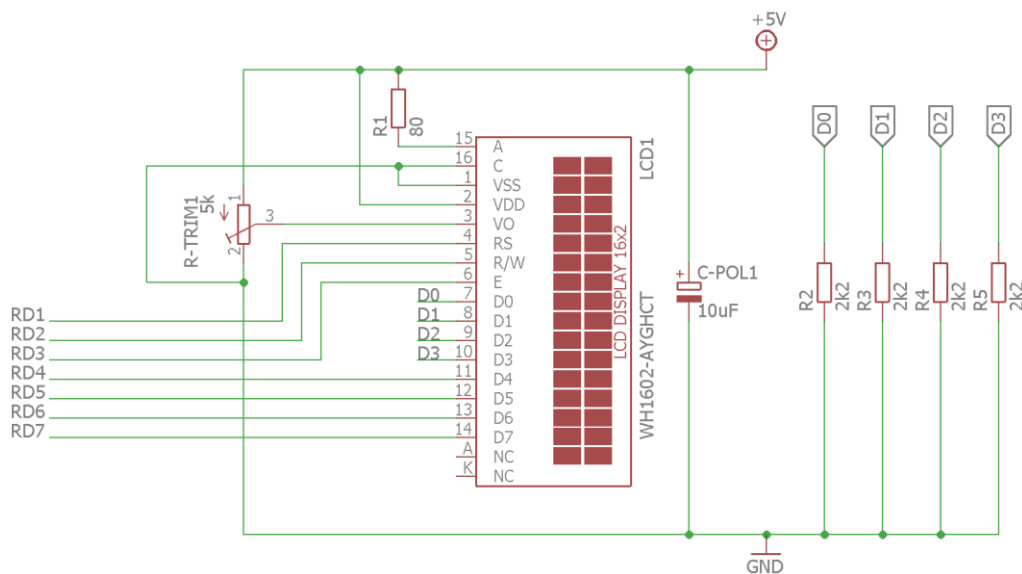
LCD displej WH1602-AYGHCT [15] zobrazuje 16x2 znaků, tedy 16 znaků na dvou řádcích. Displej má vlastní řídicí logiku danou řadičem ST7066 [16], který je derivátem klasického řadiče pro znakové LCD. Displej umí pracovat jak v 8bitovém, tak 4bitovém modu a také funguje na napětí 3 nebo 5 V. V této práci je použit 4bitový mód a napájení 5 V z důvodu jednoduchosti a spolehlivosti. Dále je displej přímo napojen na PORTD mikrokontroléru PIC18LF46K22, viz tab. 1.3.

Tabulka 1.3: *Popis vývodů WH1602A: [15] [17]*

Číslo vývodu	Název vývodu	Popis	PORTD pin
1	VSS	Přívod na větev GND, zem.	-
2	VDD	Napájení LCD, 3V nebo 5V	-
3	Vo	Nastavení kontrastu vhodnou napěťovou úrovní	-
4	RS	Výběr registru (0) / paměti dat (1)	RD1
5	R/W	Výběr zápisu (1) / čtení (0) dat	RD2
6	E	Signál povolení zpracování dat řadičem	RD3
7	DB0	Datový signál 0, ve 4bitovém modu NC	-
8	DB1	Datový signál 1, ve 4bitovém modu NC	-
9	DB2	Datový signál 2, ve 4bitovém modu NC	-
10	DB3	Datový signál 3, ve 4bitovém modu NC	-
11	DB4	Datový signál 4	RD4
12	DB5	Datový signál 5	RD5
13	DB6	Datový signál 6	RD6
14	DB7	Datový signál 7	RD7
15	A	Kladné napájení podsvícení, 4.2 V	-
16	K	Přiveden na větev GND	-

Zápis znaku na LCD WH160A probíhá zkráceně následovně: [17]

- 1.) Signál R/W nastavíme na 0, signál RS na 1.
- 2.) Čekáme v řádu stovek ns (min. 100 ns) na přizpůsobení LCD.
- 3.) Zapišeme data ve tvaru MSB nibble a poté LSB nibble.
- 4.) Potvrdíme data Enable sekvencí: signál E=1, čekáme 5 us, E=0.



Obrázek 1.26: Schéma zapojení LCD WH1602-AYGHCT

2.9 Teplotní senzor DS18B20

Senzor teploty DS18B20 je 12bitový digitální teploměr komunikující přes 1-Wire sběrnici. Díky 1-Wire sběrnici může být za sebou zapojeno těchto senzorů hned několik, z nichž každý pracuje individuálně. Teplotní senzor DS18B20 obsahuje několik konfiguračních a datových registrů, je schopen samostatně reagovat na změnu teploty pomocí funkce Alarm, a také obsahuje malou EEPROM paměť s poslední zaznamenanou teplotou a konfigurací. Konfigurace spočívá v nastavení rozlišení měřené teploty, tu lze měřit s rozlišením 9,10 anebo 12 bitů, čím vyšší rozlišení tím vyšší výsledný čas převodu (až 750 ms) a zapnutí/vypnutí popř. konfigurace funkce Alarm [10].

Při práci se senzorem je nutno dodržovat základní pravidla práce s 1-Wire sběrnici, popsaná v předchozí kapitole. Adresa senzoru je 64 bitová a tzv. Family kód je 0x28. V případě práce s více senzory najednou je nutno pomocí eliminační metody zjistit adresy všech připojených zařízení [9] [18].

Eliminační metoda vyhledávání využívá příkaz SEARCH ROM pro inicializaci vyhledávání ROM adresy zařízení. Pokud je zařízení více, je nutno použít vícecestné vyhledávání. Pro ověření správnosti zjištěné adresy je použit příkaz MATCH ROM. Pokud je zařízení pouze JEDNO na celé sběrnici, lze tyto úkony přeskočit příkazem SKIP ROM a používat zjednodušenou broadcast komunikaci bez adresace.

Senzor je schopen měřit teplotu v rozmezí od -55 až do +125 °C. Výsledek měření a převodu ukládá do TH a TL registrů ve formátu dle obr. 1.27. První bit z TH registru určuje polaritu teploty, 0 = pozitivní, 1 = negativní.

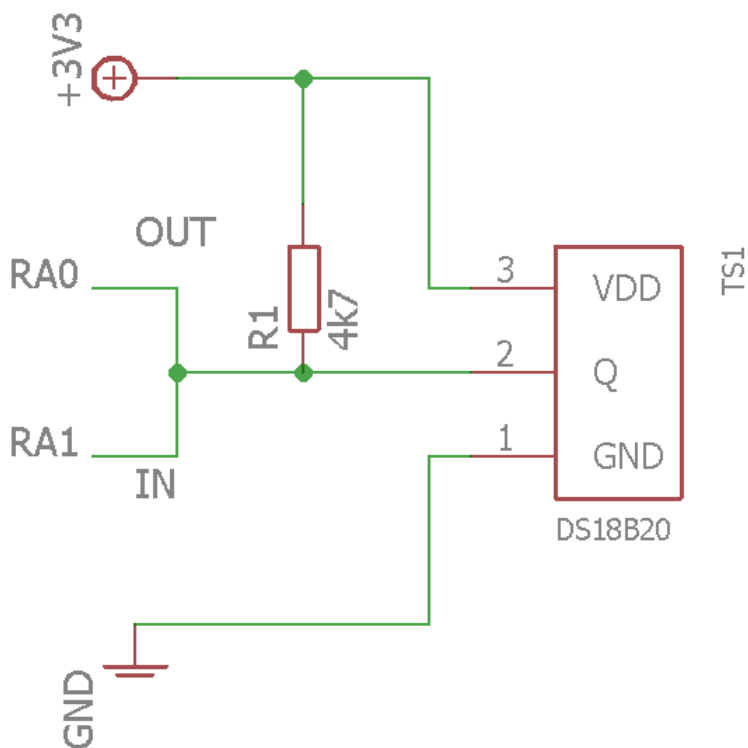
FORMÁT TEPLOTNÍHO REGISTRU

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
LS Byte	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}
	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
MS Byte	S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4

Obrázek 1.27: Formát teplotního registru DS18B20 [10]

Měření teploty pomocí DS18B20:

- 1.) Zašleme příkaz MATCH ROM následován 64bitovou adresou zařízení.
- 2.) Zašleme příkaz CONVERT T a počkáme na dokončení převodu změřené teploty.
- 3.) Zopakujeme bod č. 1.
- 4.) Zašleme příkaz READ SCRATCHPAD, postačí přečíst první 2 bajty (TH,TL).
- 5.) Převedeme získaná data do numerické podoby.



Obrázek 1.28: Schéma zapojení DS18B20

2.10 Potenciometr MCP41100

Potenciometr MCP41100 je 8 bitový digitální 100 kΩ potenciometr připojený na sběrnici SPI, jednoduchá programová obsluha. Po resetu potenciometru je jeho odpor nastaven na výchozí hodnotu přibližně 50 kΩ, resistenci lze změnit zapsáním nové 8bitové hodnoty. Není třeba žádná konfigurace ani inicializace. Potenciometr rovněž umožňuje aktivovat tzv. Shutdown mód, při kterém je zařízení uvedeno do stavu nízké spotřeby energie. Potenciometr je tvořen odporovým děličem, který má vývody na pinech PB0, PW0, PA0, viz obr. 1.29.

Technické parametry [19]:

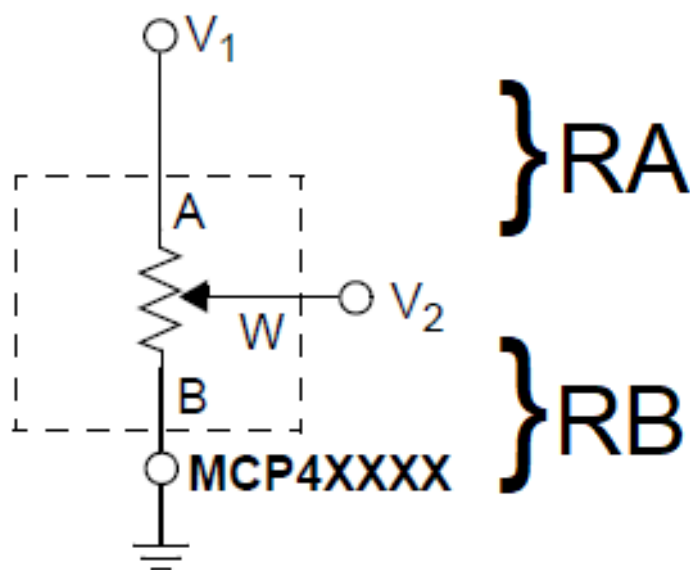
- Sběrnice: SPI.
- Rozlišení: 256 stavů.
- Maximální nastavitelný odpor: 100 kΩ.
- Napájecí napětí: 2.7 -5.5 V.

Výpočet odporu potenciometru:

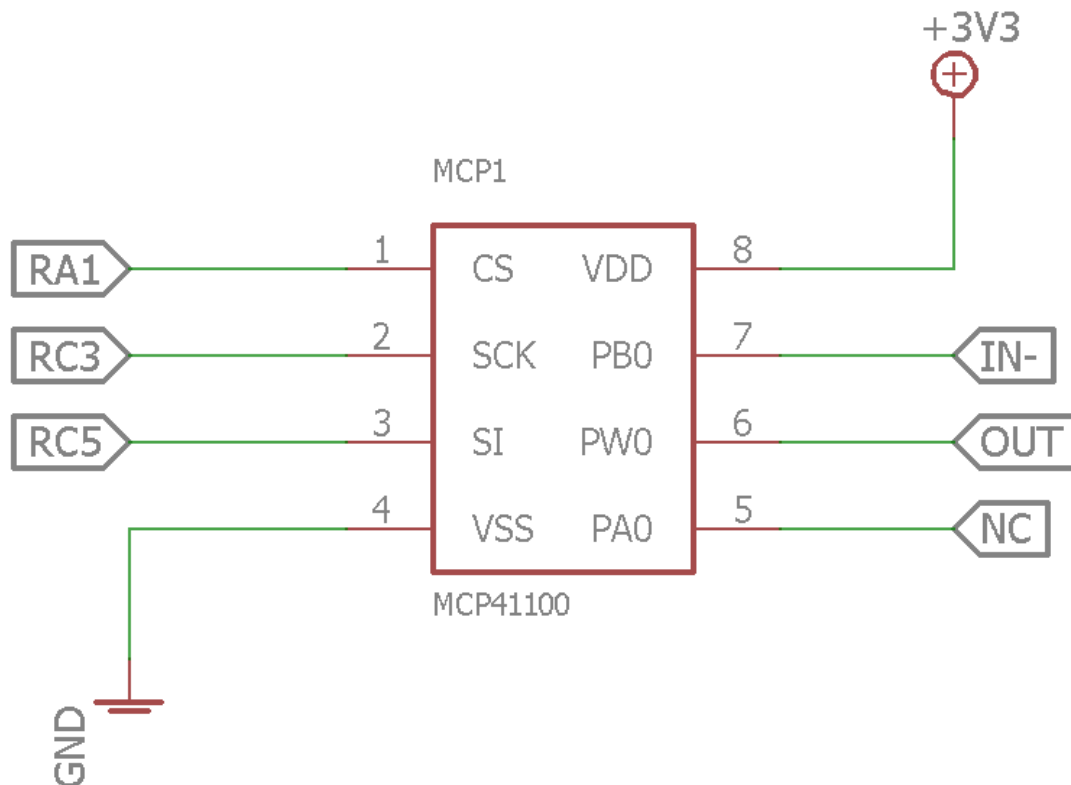
$$R_{AB} = 100 \text{ k}\Omega; D_N = \langle 0; 255 \rangle$$

$$R_{AB} = R_A + R_B [\Omega]$$

$$R_A = \frac{R_{AB} * (256 - D_N)}{256} [\Omega] \quad R_B = \frac{R_{AB} * D_N}{256} [\Omega]$$



Obrázek 1.29: Schématická struktura potenciometru MCP41100 [19]

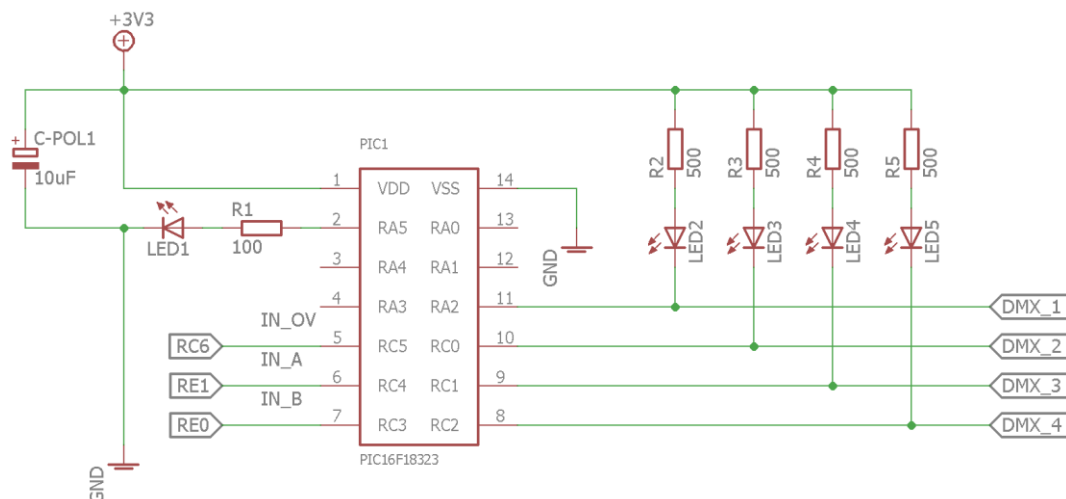


Obrázek 1.30: Schéma zapojení MCP41100

2.10.1 Senzor intenzity osvětlení

Externí jednotka "Modul 2" obsahuje senzor intenzity osvětlení, který je sestaven z fototranzistoru TEPT4400, operačního zesilovače TLC271CP a digitálního potenciometru MCP41100, proto je tato podkapitola zahrnuta do společné kapitoly s MCP41100.

Tento modul je schopen měřit intenzitu osvětlení v rozsahu viditelného spektra světla a je použit v praktické laboratorní úloze č. 8. Potenciometr zde hraje roli zpětnovazebního vyvažovacího odporu. Zapojení je dílem vedoucího práce Ing. Radka Nováka Ph.D., schéma viz obr. 1.31 níže.

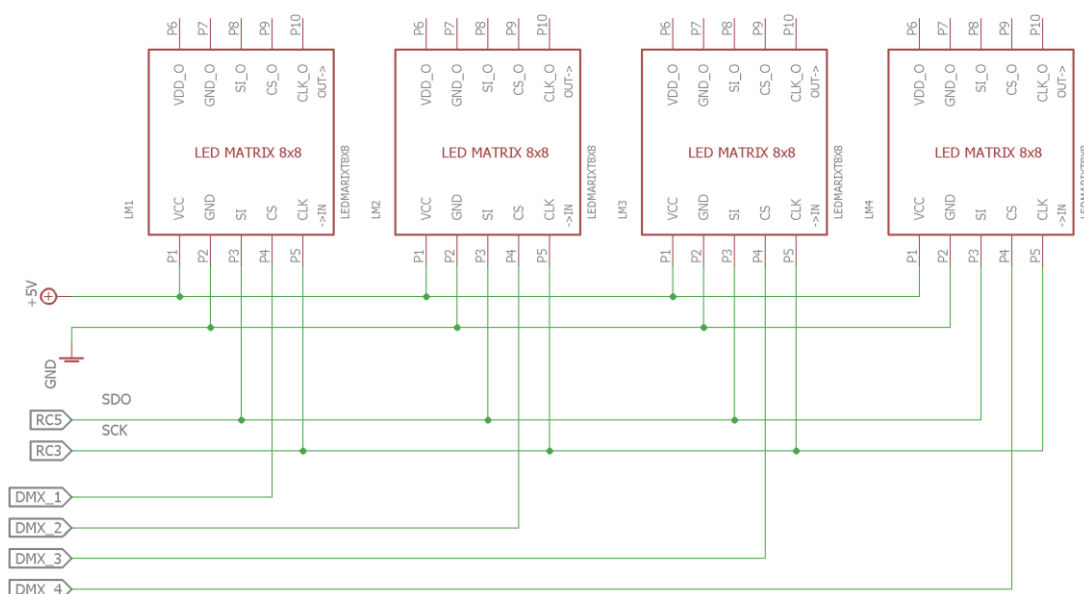


Obrázek 1.32: Schéma zapojení PIC16F18323

2.12 8x8 maticový display řízený řadičem MAX7219

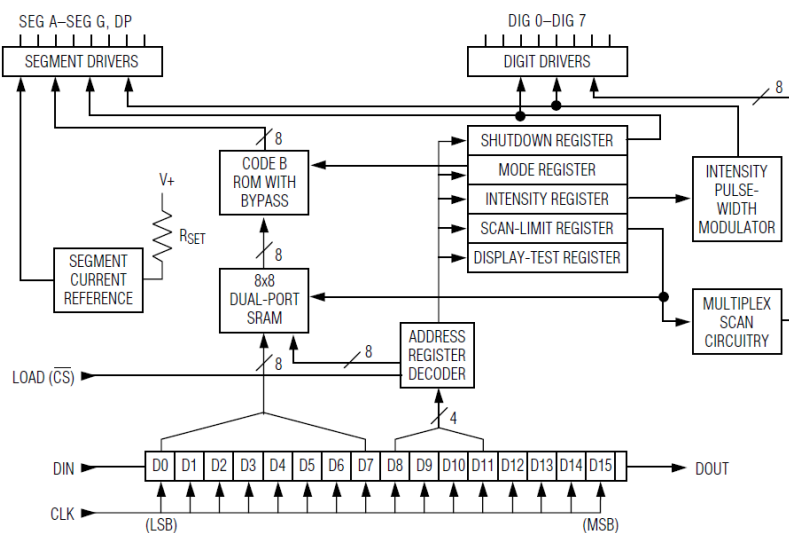
V této práci jsou použity 4 totožné maticové displeje 8x8. Maticový display vyroben s integrovaným MAX7219 řadičem tvoří jeden modul, komunikuje na sběrnici SPI. Výběr displeje je realizován přes demultiplexor PIC16F18323. Toto řešení je použito, protože původní návrh, který počítal s řetěžením displejů, nevyhovoval zadané úloze a nepodařilo se jej zrealizovat, takže se autor rozhodl použít aktuální řešení výběru displeje viz obr. 1.33. Napájení a kanály SPI sběrnice jsou společné.

Modul obsahuje 5 vstupních a výstupních pinů: Vcc, GND, SI, CS a CLK.



Obrázek 1.33: Řešení zapojení 8x8 maticových displejů

Samotný řadič MAX7219 je původně určen k řízení až osmi 7 segmentových displejů, každý řádek maticového displeje představuje jeden tento 7 segmentový displej. MAX7219 má několik konfiguračních registrů pomocí nichž lze nastavit např. hodnotu na každém z osmi displejů, jejich jas anebo provést optický test celého displeje (8x8) najednou, přehled viz *obr. 1.34*. Data jsou přenášena do 16 bitového bufferu, ten funguje jako posuvný registr a uložená data přeposílá na svůj výstup a umožňuje tak řetězení více zařízení [21]. Vnitřní blokové zapojení viz *obr. 1.34*.



D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
X	X	X	X	ADDRESS				MSB	DATA						LSB

Obrázek 1.34: Vnitřní blokové zapojení MAX7219 [21]

Řadič umožňuje pracovat v tzv. decode modu, tedy umí převádět dle dekódovací tabulky zadaná data na symboly pro 7 segmentový display. V rámci aplikace pracující s 8x8 maticovým displejem je nutno tuto funkci vypnout a pracovat v non-decode modu, kde log. 1 znamená, že LED v řádku svítí a 0, že nesvítí. Integrovaný výběr displeje probíhá zasláním adresy patřičného registru, seznam viz *obr. 1.35*, na tento displej jsou poté zapsána data. Logika přenosu i zápisu adresy i dat je patrna z *obr. 1.34*.

Při použití řadiče pro ovládání 8x8 maticového displeje je třeba pomatovat na správnou prvotní konfiguraci, zejména pak nastavit registr Scan Limit na 8 zařízení, aby zařízení pracovalo správně. Registr Digit 0 odpovídá prvnímu řádku v maticovém displeji.

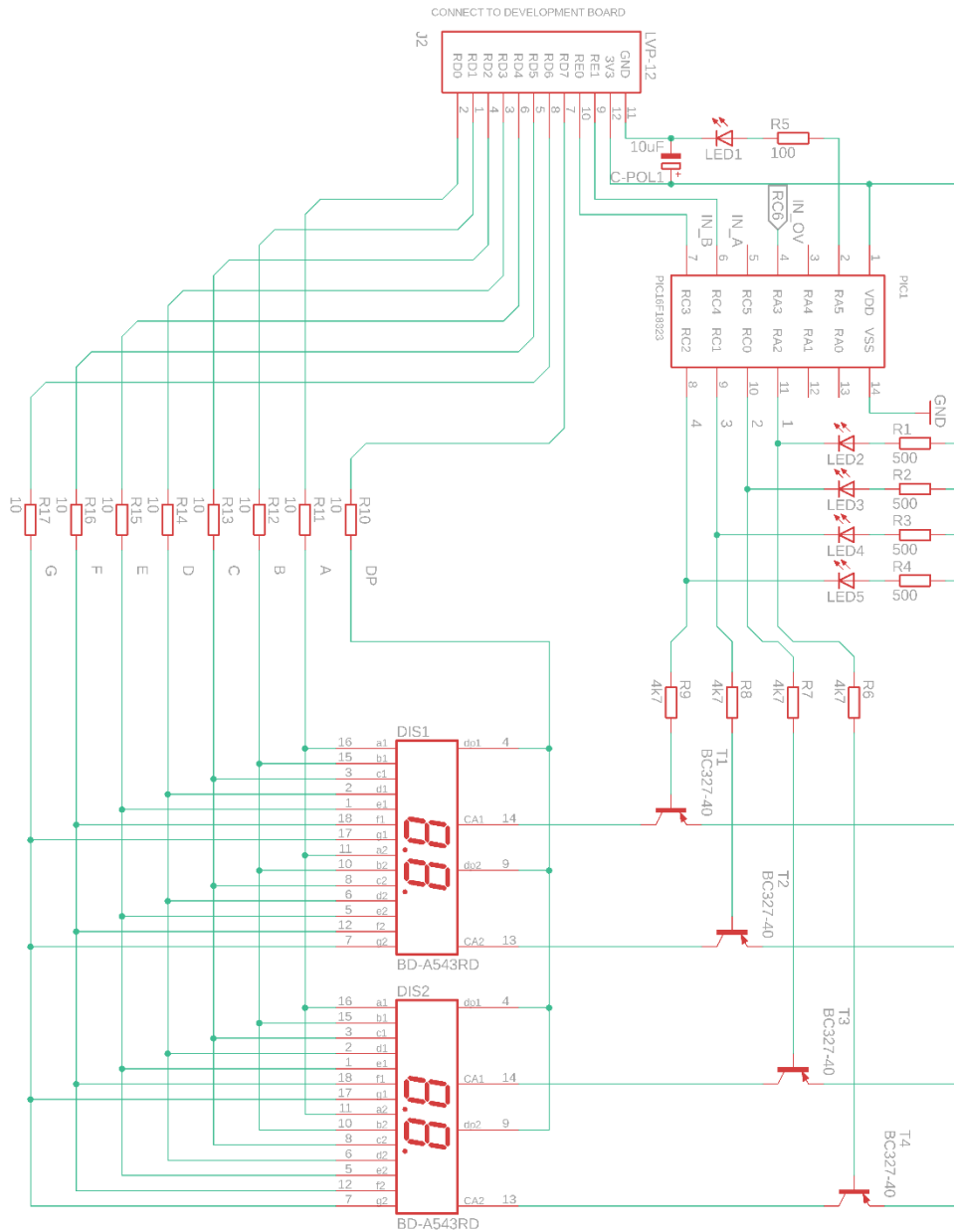
REGISTER	ADDRESS					HEX CODE
	D15–D12	D11	D10	D9	D8	
No-Op	X	0	0	0	0	0xX0
Digit 0	X	0	0	0	1	0xX1
Digit 1	X	0	0	1	0	0xX2
Digit 2	X	0	0	1	1	0xX3
Digit 3	X	0	1	0	0	0xX4
Digit 4	X	0	1	0	1	0xX5
Digit 5	X	0	1	1	0	0xX6
Digit 6	X	0	1	1	1	0xX7
Digit 7	X	1	0	0	0	0xX8
Decode Mode	X	1	0	0	1	0xX9
Intensity	X	1	0	1	0	0xXA
Scan Limit	X	1	0	1	1	0xXB
Shutdown	X	1	1	0	0	0xXC
Display Test	X	1	1	1	1	0xXF

Obrázek 1.35: Přehled registrů MAX7219 [21]

2.13 7 segmentový multiplexovaný LED displej (BD-A543RD)

Multiplexovaný displej navržen jako součást této práce vychází z návrhu který lze najít ve skriptech p. Michala Jahelky [22]. Funkci multiplexu zajišťuje demultiplexor 2 na 4 vývody realizovaný pomocí PIC16F18323, viz kapitola výše, schéma zapojení viz *obrázek 1.36*.

Displej je přímo zapojen na PORTD mikrokontroléru PIC18LF46K22, tento port je vyveden v rámci jednotky "Modul 2" na patici JP2, na piny RD0-7. K přepínání mezi displeji pomocí demultiplexoru je doporučeno použití časovače s periodou v řádu jednotek ms, přesná hodnota záleží na programátorovi.



Obrázek 1.36: Schéma zapojení 7segmentového multiplexovaného displeje

3 Laboratorní úlohy

Tato kapitola obsahuje řešení laboratorních úloh 1 až 9, jež demonstrují práci s komponenty na externích jednotkách "Modul 1", "Modul 2" a vývojové desce "PIC18FXK22 Development Board". Softwarové řešení těchto úloh je součástí digitální přílohy této práce.

3.1 Laboratorní úloha č. 1

Program měří napětí vytvářené potenciometrem RP1 (umístěn na desce s procesorem). Hodnota napětí z RP1 je zobrazována na LCD displeji – v horním řádku hodnota z ADC v hexadecimální soustavě (i s předponou 0x), v dolním řádku napětí ve Voltech např. 1,08 [V]. Program také vytváří analogové výst. napětí pomocí 5bitového DAC, který je součástí procesoru. Program pomocí FVR a CM (součásti procesoru) bude porovnávat napětí vytvářené potenciometrem RP1 s napětím FVR, které bude navoleno na pevnou hodnotu 2,048V. Pokud napětí vytvářené potenciometrem RP1 je větší hodnoty než FVR = 2,048V, tak se vyvolá přerušení, a LED připojená na PORTD se rozblíká a na LCD displeji se vypíše varovná zpráva. Pokud napětí vytvářené potenciometrem RP1 klesne pod 2,048V, tak se vyvolá přerušení opět, LED přestane blikat a na LCD varovná zpráva zmizí, a bude na něm standardní informace.

Příprava: Zasunout jumper JPM2

Použité důležité periferie: potenciometr RP1 přiveden na pin RE0, LED DS2 na pinu RD0

Použita externí jednotka: "Modul 1", z něho použito: LCD WH1602-A

3.2 Laboratorní úloha č. 2

Program měří teplotu ve st. Celsia obvodem MCP9700 (umístěn na desce s procesorem). Program zobrazuje neustále na 2-řádkovém LCD displeji tyto tři údaje: historicky nejnižší a nejvyšší teplotu (které uchovává v interní DATA EEPROM procesoru, kapacita 1024 bajtů) a aktuální teplotu ve stupních Celsia. Pokud je aktuální teplota pod hist. minimem ev. nad hist. maximem, tak se patřičný údaj v EEPROM aktualizuje, současně se na displeji nová hodnota extrému rozblíká. Blikání se ukončí stiskem tlačítkem SW3. Stiskem tlačítka SW1 je smazán EEPROM TEST byte, čímž dosavadní uložené hodnoty pozbydou platnost.

Příprava: žádná

Použité důležité periferie: teplotní senzor MCP9700 přiveden na pin RE1, tlačítko SW3 na pinu RB2, tlačítko SW1 na pinu RB0

Použita externí jednotka: "Modul 1", z něho použito: LCD WH1602-A

3.3 Laboratorní úloha č. 3

Program sloužící k vyčtení adresy senzoru teploty DS18B20 a k měření teploty tímto senzorem. V horním řádku LCD displeje vypíše ADRESA SENZORU : krátkým stlačením (do 0,5s) tlačítka SW3 se dá procesoru na vědomí, že je k němu připojen jediný senzor DS18B20. Procesor z něj vyčte adresu a zobrazí ji v 16 hexadecimálních znacích v dolním řádku LCD displeje. Při dlouhém stisku (nad 0,5s) zobrazuje teplotu daného senzoru na 1 desetinné místo. Uvažujte i záporné teploty.

Příprava: zapojit jeden senzor DS18B20 do příslušné patice TS1.

Použité důležité periferie: tlačítko SW3 na pinu RB2

Použita externí jednotka: "Modul 1", z něho použito: LCD WH1602-A, senzor DS18B20

3.4 Laboratorní úloha č. 4

Program používá čtyři senzory DS18B20(1. až 4.) a LCD displej. Klávesnicí 4x4 se volí číslo senzoru (1-4), jehož teplota je pak zobrazována na displeji. Při startu je automaticky navolen senzor č. 1. Zobrazujte celé řády a 1 desetinné místo. Uvažujte i záporné teploty.

Příprava: zapojte všechny 4 senzory DS18B20 do příslušných patic TS1-4.

Použité důležité periferie: žádné

Použita externí jednotka: "Modul 1", z něho použito: LCD WH1602-A, 4 senzory DS18B20, klávesnice 4x4 přes expandér MCP23017.

3.5 Laboratorní úloha č. 5

Program používá klávesnici 4 x 4, externí EEPROM 24LC64 a LCD displej. Klávesnicí se volí číslo bytu v domě (např. 1-20). Po zadání tohoto čísla je obsluha vyzvána na LCD k zadání hesla. Heslo je 4ciferné. Zadané heslo porovná s heslem v EEPROM, pokud je správné, tak Vypíše OK a LED rozsvítí. Pokud ne, tak vypíše chybnou hlášku a LED zůstane zhasnutá. Stiskem tlačítka SW1(RB0) je smazán EEPROM TEST byte, čímž dosavadní uložené hodnoty pozbyly platnost. Platná hodnota EEPROM TEST bajtu je 0xCC.

Příprava: žádná

Použité důležité periferie: LED DS2 na pinu RD0

Použita externí jednotka: "Modul 1", z něho použito: LCD WH1602-A, EEPROM 24LC64, klávesnice 4x4 přes expandér MCP23017.

3.6 Laboratorní úloha č. 6

Připojte klávesnici 4x4 pomocí obvodu MCP23017. Využijte generování požadavku přerušení (INTA ev. INTB) obvodem MCP23017. Klávesnice má na klávesách natištěné symboly 0, 1, ..., 9, A, B, C, D, *, #. Při stlačení dané klávesy příslušný symbol zobrazte jakožto ASCII znak na LCD displeji a rovněž zobrazujte v hexadecimální soustavě (např. při symbolu A se zobrazí 0x41).

Příprava: žádná

Použité důležité periferie: žádné

Použita externí jednotka: "Modul 1", z něho použito: LCD WH1602-A, klávesnice 4x4 přes expandér MCP23017.

3.7 Laboratorní úloha č. 7

Hrana externího signálu od tlačítka SW3 vyvolá přerušení, na které procesor zareaguje tak, že maximální rychlostí měří AD převodníkem napěťový signál (sinus v rozmezí 0-Ucc š-š vytvářený nf generátorem). Změří se 1024 hodnot, měří se osmibitově, změřené hodnoty jsou ukládány do RAM procesoru. Poté jsou všechny přepsány do externí EEPROM 24LC64, která má kapacitu 8 kB. Při stlačení tlačítka SW1 se vždy pošle všech 1024 hodnot z EEPROM 24LC64 na DAC MCP4726 maximální možnou rychlostí.

Příprava: připojte zdroj signálu na TPM8, pin RC7, připojte osciloskop na TPM9, pin VOUT MCP4726.

Použité důležité periferie: tlačítko SW3 na pinu RB2, tlačítko SW1 na pinu RB0

Použita externí jednotka: "Modul 1", z něho použito: EEPROM 24LC64, DA převodník MCP4726.

3.8 Laboratorní úloha č. 8

Program měří signál fototranzistoru U_{in} přes operační zesilovač, jehož zesílení je ovládáno obvodem MCP41100. Závislost mezi napětím $U_{in}[V]$ a intenzitou osvětlení $E[lx]$ je ve formě tabulky deseti hodnot – jsou to reálná čísla. Program musí z hodnot tabulky spočítat koeficienty regresní přímky metodou nejmenších čtverců. Intenzita osvětlení je indikována na 4místném multiplexovaném displeji BD-A543RD. Při stisku tlačítka SW3 se po přechodnou dobu cca 3s na displeji zobrazí desetibitová hodnota změřená AD převodníkem.

Příprava: žádná

Použité důležité periferie: tlačítko SW3 na pinu RB2

Použita externí jednotka: "Modul 2", z něho použito: Senzor intenzity osvětlení, display BD-A543RD.

3.8.1 Regresní analýza

V laboratorní úloze č. 8 je použita regresní analýza za pomoci metody nejmenších čtverců. Pro úplnost je tato podkapitola věnovaná stručnému popisu a způsobu výpočtu této problematiky. Jde o matematicko-statistickou metodu, kde se snažíme zadaná data (závislost) proložit aproximační polynomiální funkcí, např. přímkou. K tomu použijeme několik po sobě jdoucích bodů původní závislosti a vhodné rovnice. Výsledkem je právě ona polynomiální funkce, která aproximuje určené body dané závislosti a umožní spočítat přibližnou hodnotu libovolného jiného hledaného bodu. V tomto případě je aproximována závislost mezi vstupním napětím U_{IN} [V] a intenzitou osvětlení E [lux]. Hodnoty této závislosti lze buď přesně naměřit, nebo pro testovací účely určit přibližně. Hodnotu U_{IN} [V] jde naměřit na externí jednotce "Modul 2", testovací pin TPM11.

Rovnice pro výpočet regresní analýzy metodou nejmenších čtverců:

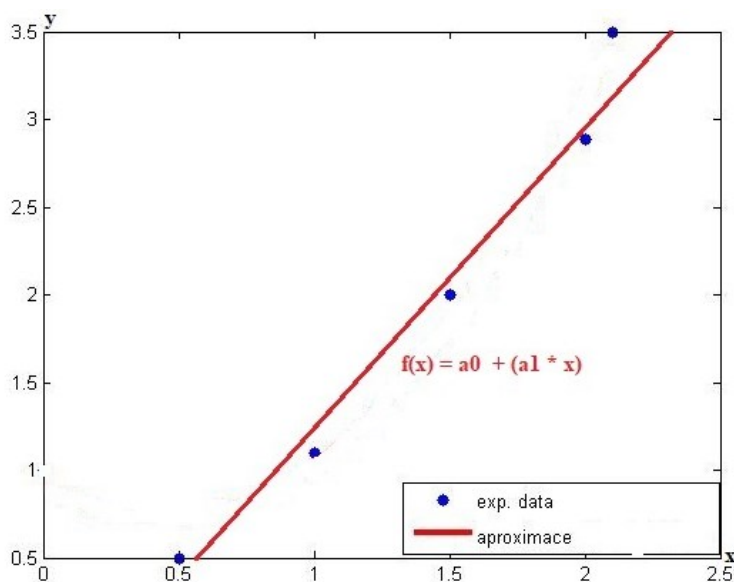
$$E(U_{IN}) = a_0 + a_1 U_{IN} \text{ [lux]}$$

$$a_0 = \frac{D_{a0}}{D_S} \quad a_1 = \frac{D_{a1}}{D_S}$$

$$x \in U_{IN} \text{ [V]}; \quad y \in E \text{ [lux]}$$

$$D_{a0} = \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i \quad D_{a1} = n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i$$

$$D_S = n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2$$



Obrázek 1.37: Příklad obecné aproximační funkce [23]

3.9 Laboratorní úloha č. 9

Program používající PWM a 4místný SPI displej (8x8 LED) s řadičem MAX7219. Dvěma SWx tlačítky se ovládá perioda signálu, a dalšími dvěma SWx tlačítky se ovládá šířka pulsu. Výběr tlačítek SWx je na programátorovi. Ten parametr, který je měněn, tak se taky zobrazuje na displeji, zobrazuje se v desítkové soustavě a to v jednotkách času (ne ve strojových cyklech). Při startu se automaticky nastaví perioda 1ms a šířka pulsu 50% tj. 0,5ms.

Příprava: připojte kanál osciloskopu na TPM4, pin RA5, druhý kanál osciloskopu na TPM5 výstup z PWM modulu CCP4.

Použité důležité periferie: tlačítka SW1,2,3,5 na pinech RB0-3.

Použita externí jednotka: "Modul 2", z něho použito: 8x8 maticový display řízený řadičem MAX7219

ŠÍŘKA PULZU [s]

$$\text{ŠÍŘKA PULZU} = (\text{CCPRxL:CCPxCON} \langle 5:4 \rangle) \cdot T_{\text{OSC}} \cdot (\text{TMRx Prescale Value})$$

Obrázek 1.38: Výpočet šířky pulzu PWM [1]

PWM PERIOD [s]

$$\text{PWM PERIODA} = [(PRx) + 1] \cdot 4 \cdot T_{\text{OSC}} \cdot (\text{TMRx Prescale Value})$$

$$T_{\text{OSC}} = 1/F_{\text{OSC}}$$

Obrázek 1.39: Výpočet periody PWM [1]

Závěr

Práci hodnotím jako časově náročnou vzhledem k její rozmanitosti a nutností kombinovat mnoho aspektů, které se navzájem ovlivňují, hlavně pak sestavení ideálních zapojení s ohledem na praktické laboratorní úlohy a celkové použitelnosti. Nakonec byly všechny úkoly plynoucí z bodů zadání BP úspěšně splněny, přestože se při realizaci naskytla řada problémů, které se naštěstí za pomoci odborných konzultací, vyhledávání a studování daných problematik a informací podařily vyřešit. Některé aspekty řešil autor za pomoci techniky pokusů, jiné byly vyřešeny oklikou, např. použití sdíleného demultiplexeru pro displej BD-A543RD i pro čtveřici 8x8 maticového displeje, v obou případech slouží společný demultiplexer pro výběr displeje.

Nejdelší a nejnáročnější část se ukázala být část praktická, a to zejména oživení a nutnost prostudování všech použitých komponent, a vytvoření pro ně vhodné programové obsluhy. Tuto obsluhu se autor rozhodl řešit tak, aby mohla být pro daný komponent univerzálně použita v jakékoli další úloze. Vytvořil řadu hlavičkových souborů sloužící jako jakési "zásuvné moduly", které využívá hlavní program, např. hlavičkový soubor se souborem funkcí pro externí EEPROM 24LC64, který už obsahuje inicializační funkci, funkce pro jednoduchý/stránkový zápis, čtení, zamknutí a odemknutí paměti atd. Tento soubor dále automaticky inicializuje i sběrnici I2C, která je nutná pro obsluhu daného komponentu. V tomto duchu je sepsána kompletně celá programová obsluha všech použitých komponent.

Uvedený postup se nakonec ukázal jako nejvhodnější, protože značně zjednodušil závěrečné vypracování laboratorních demo-programů 1 až 9, které jsou součástí této práce. Všechny demoprogramy byly po vypracování náležitě odzkoušeny, a to jak z hlediska programového a uživatelského, tak i z hlediska testování za pomoci měřících přístrojů.

Rozvržení součástí pro jednotlivé moduly bylo provedeno už v ranné části práce, z původní jedné externí jednotky vznikly 2 komplexnější rozdělené dle použitých sběrnic. Jedna jednotka používá I2C, druhá SPI. Zdokonalení výsledných schémat a zpracování obou jednotek, probíhalo po celou dobu práce až do konce. Nakonec byla navržena propojka mezi externími moduly a vývojovým kitem skládající se z "Bridge A" a "Bridge B".

Nicméně nutnost se naučit pracovat se všemi komponenty, které byly v rámci této práce vyžadovány, přineslo autorovi posun v teoretických i praktických znalostech. Obě externí jednotky byly navrženy tak, aby mohly být do budoucna použity pro široký výběr různých úloh, ne pouze těch, které jsou součástí této práce. Teoretická část práce je částečně sepsaná jako studijní materiál a určitý návod s ohledem na studenty, kteří ho mohou použít. Do budoucna je možno využít externí jednotky i programové vybavení, jak pro různorodé úlohy a zadání, tak i pro praktické testování a vývoj. Jednotky lze navíc rozšířit o připojení nových zařízení.

Jako další krok bych do budoucna navrhoval zpracovat programové vybavení pro všechny komponenty vývojové desky "PIC18FXK22 Development Board" a použít je v kombinaci s vyvinutými externími jednotkami "Modul 1" a "Modul 2".

Bibliografie

- [1] *PIC18(L)F2X/4XK22: 28/40/44-Pin, Low-Power, High-Performance Microcontrollers with XLP Technology* [online]. USA: Microchip Technology Inc., 2016 [cit. 2020-02-07]. ISBN 978-1-5224-0907-6. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001412G.pdf>
- [2] *PIC18F4XK22 Development Board User's Guide* [online]. USA: Microchip Technology Inc., 2011 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41618A.pdf>
- [3] CAHILL, Mike, Jamus GRIEGO. *PIC18F4XK22 Development Board: Schematic* [online]. USA: Microchip Technology Inc., 2011 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/PartNO/DM164134>
- [4] Otevřený kolektor. *Wikipedie* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Otev%C5%99en%C3%BD_kolektor
- [5] I²C. *Wikipedie* [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C#/media/Soubor:I2C.svg>
- [6] *24AA64/24LC64/24FC64: 64K I2C™ Serial EEPROM* [online]. 1. vyd. USA: Microchip Technology Inc., 2012 [cit. 2020-03-06]. ISBN 9781620767641. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21189t.pdf>
- [7] I²C Communication with PIC Microcontroller – MPLAB XC8. *ElectroSome* [online]. [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://electrosome.com/i2c-pic-microcontroller-mplab-xc8/>
- [8] Serial Peripheral Interface. *Wikipedie* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
- [9] 1-WIRE COMMUNICATION THROUGH SOFTWARE. *Maxim integrated* [online]. [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/app-notes/1/126.html>
- [10] *DS18B20: Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer* [online]. 1. vyd. USA: Dallas Semiconductor MAXIM, 2019 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [11] *AN1199: 1-Wire® Communication with PIC® Microcontroller* [online]. USA: Microchip Technology Inc., 2008 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/01199a.pdf>

-
- [12] *MCP4706/4716/4726: 8-/10-/12-Bit Voltage Output Digital-to-Analog Converter with EEPROM and I2C™ Interface* [online]. 1. vyd. USA: Microchip Technology Inc., 2012 [cit. 2020-03-06]. ISBN 978-1-62076-161-8. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22272C.pdf>
- [13] *MCP23017/MCP23S17: 16-Bit I/O Expander with Serial Interface* [online]. 1. vyd. USA: Microchip Technology Inc., 2016 [cit. 2020-03-06]. ISBN 978-1-5224-0755-3. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/20001952c.pdf>
- [14] *Membránová klávesnice 4x4 tlačítka: 772-199* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.772-199.1.pdf>
- [15] WH1602A. *GMELECTRONIC* [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.513-219.1.pdf>
- [16] *ST7066: Dot Matrix LCD Controller/Driver* [online]. Sitronix, 2000 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/89327/ETC/ST7066.html>
- [17] MATOUŠEK, David. *Práce s inteligentními displeji LCD*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-121-7.
- [18] 1-WIRE SEARCH ALGORITHM. *Maxim integrated* [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/app-notes/1/187.html>
- [19] *MCP41XXX/42XXX: Single/Dual Digital Potentiometer with SPI™ Interface* [online]. 1. vyd. USA: Microchip Technology Inc., 2003 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/11195c.pdf>
- [20] *PIC16(L)F18313/18323: Full-Featured, Low Pin Count Microcontrollers with XLP* [online]. 1. vyd. USA: Microchip Technology Inc., 2019 [cit. 2020-03-06]. ISBN 978-1-5224-5093-1. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001799F.pdf>
- [21] *MAX7219/MAX7221: Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers* [online]. 1. vyd. USA: maxim integrated, 2003 [cit. 2020-03-26]. ISBN 1-408-601-1000. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX7219-MAX7221.pdf>
- [22] JAHELKA, Michal. *Programování jednočipových mikropočítačů PIC*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1695-1.
- [23] Metoda nejmenších čtverců. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2020 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_nejmen%C5%A1%C3%ADch_%C4%8Dtverc%C5%AF

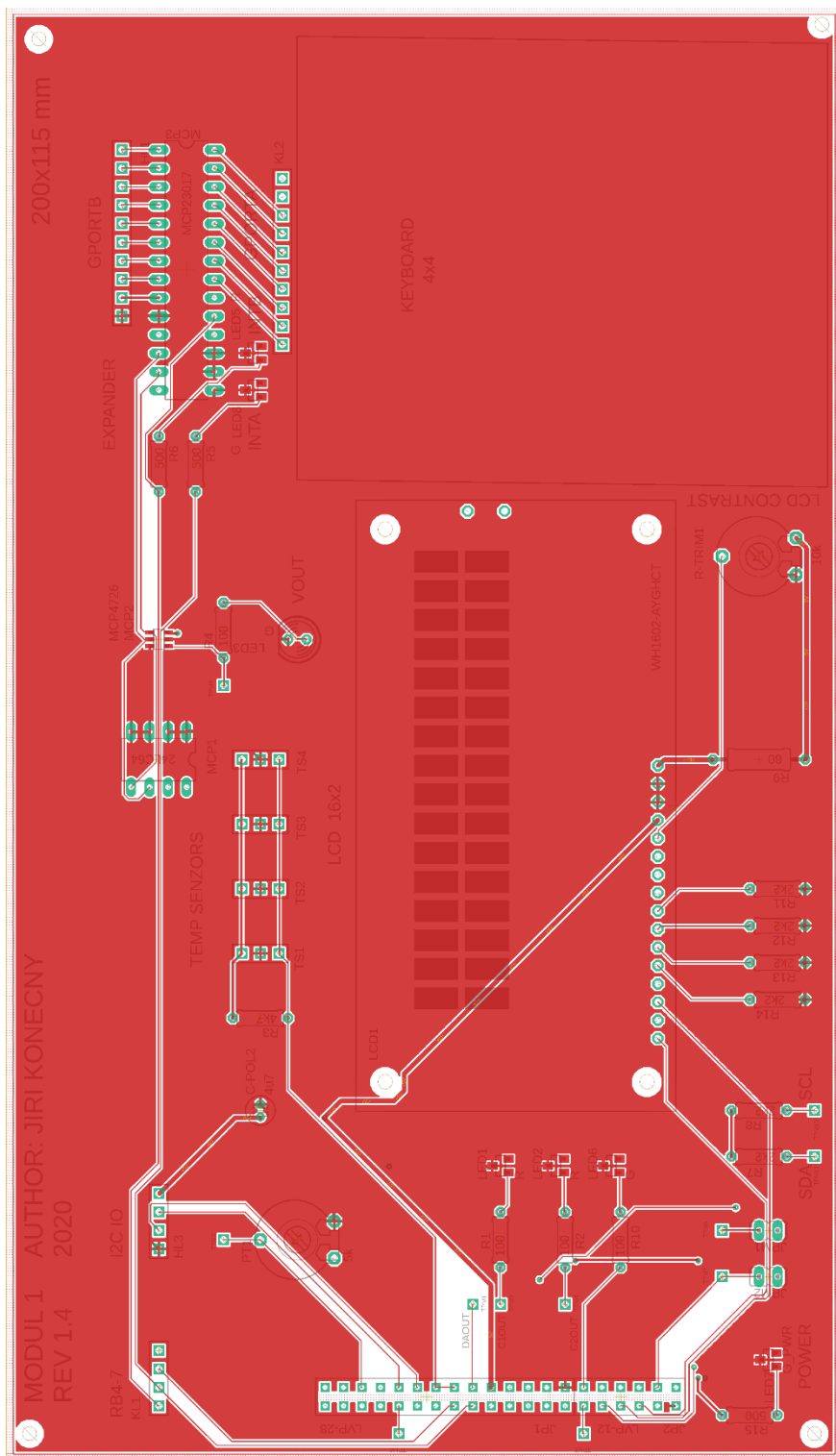
Seznam příloh

Příloha A:	Schéma a DPS návrh jednotky "Modul 1"	I
Příloha B:	Seznam součástí jednotky "Modul 1"	V
Příloha C:	Schéma a DPS návrh jednotky "Modul 2"	VI
Příloha D:	Seznam součástí jednotky "Modul 2"	X
Příloha E:	Fotografie prototypu jednotek "Modul 1" a "Modul 2"	XI
Příloha F:	Schémata propojek "Bridge A" a "Bridge B"	XII
Příloha G:	DPS propojek "Bridge A" a "Bridge B"	XIV
Příloha H:	Seznam součástí propojek Bridge A a B	XIV

Součástí BP/DP je CD/DVD.

Adresářová struktura přiloženého CD/DVD:

- **< složka > DOKUMENTACE**
 - < složka > DPS
 - < složka > SCHEMATA
 - < složka > SEZNAMY_SOUCASTEK
 - Approximating_Regression_Function.pdf
 - DataSheet_PIC18F4XK22.pdf
 - PIC18FXK22_Development_Board_guide.pdf
 - PIC18FXK22_Development_Board_schema.pdf
- **< složka > EAGLE**
 - < složka > BRIDGE
 - eagle.epf
 - < složka > LIBS
 - < složka > MODUL1
 - < složka > MODUL2
- **< složka > PROGRAMY**
 - < složka > LU_1.X
 - < složka > LU_2.X
 - < složka > LU_3.X
 - < složka > LU_4.X
 - < složka > LU_5.X
 - < složka > LU_6.X
 - < složka > LU_7.X
 - < složka > LU_8.X
 - < složka > LU_9.X
 - < složka > LIBRARY



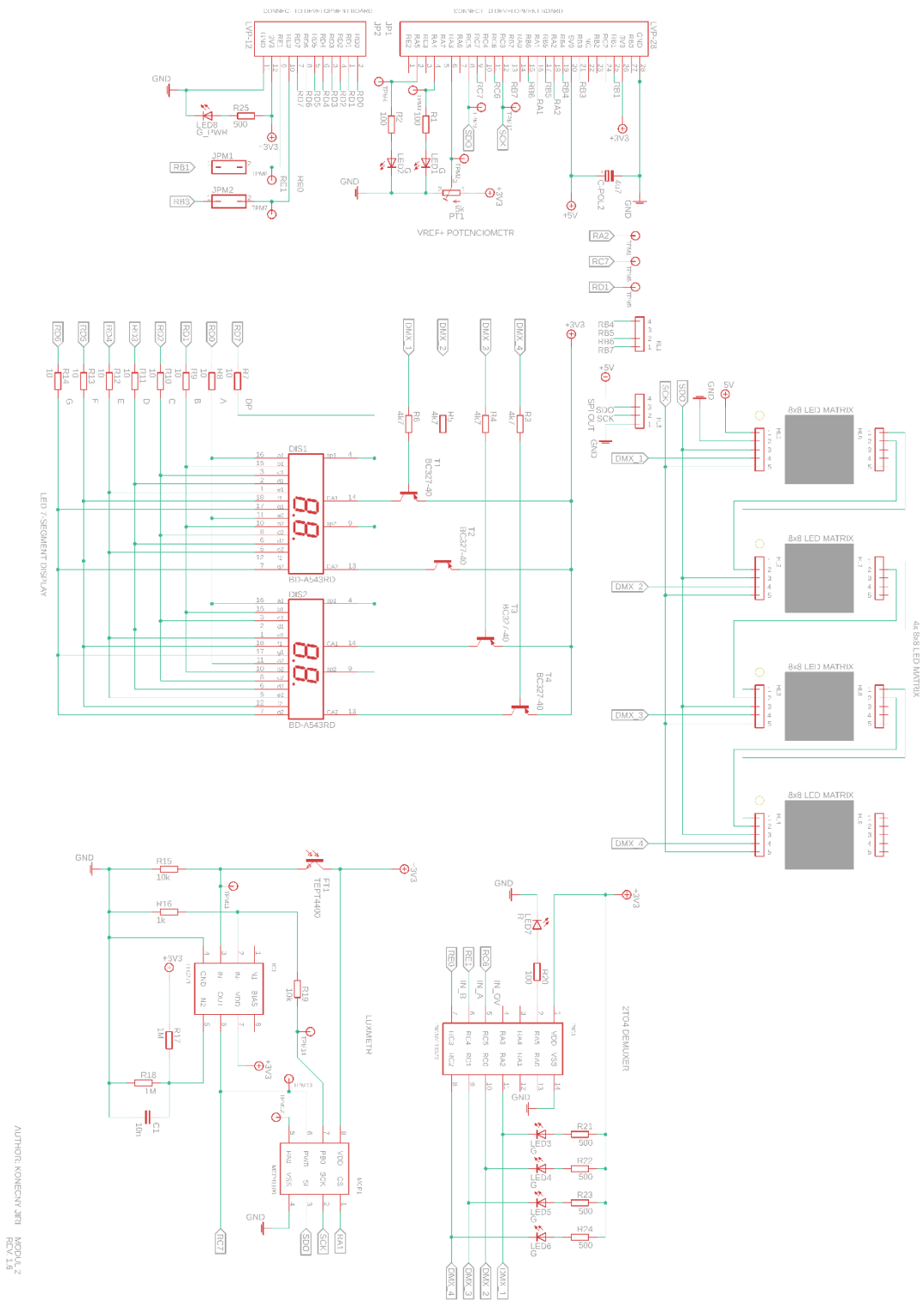
Obrázek A.3: Náhled rozlité mědi "Modul 1" - horní vrstva

Příloha B: Seznam součástek jednotky "Modul 1"

Tabulka B.1: Seznam součástek "Modul 1"

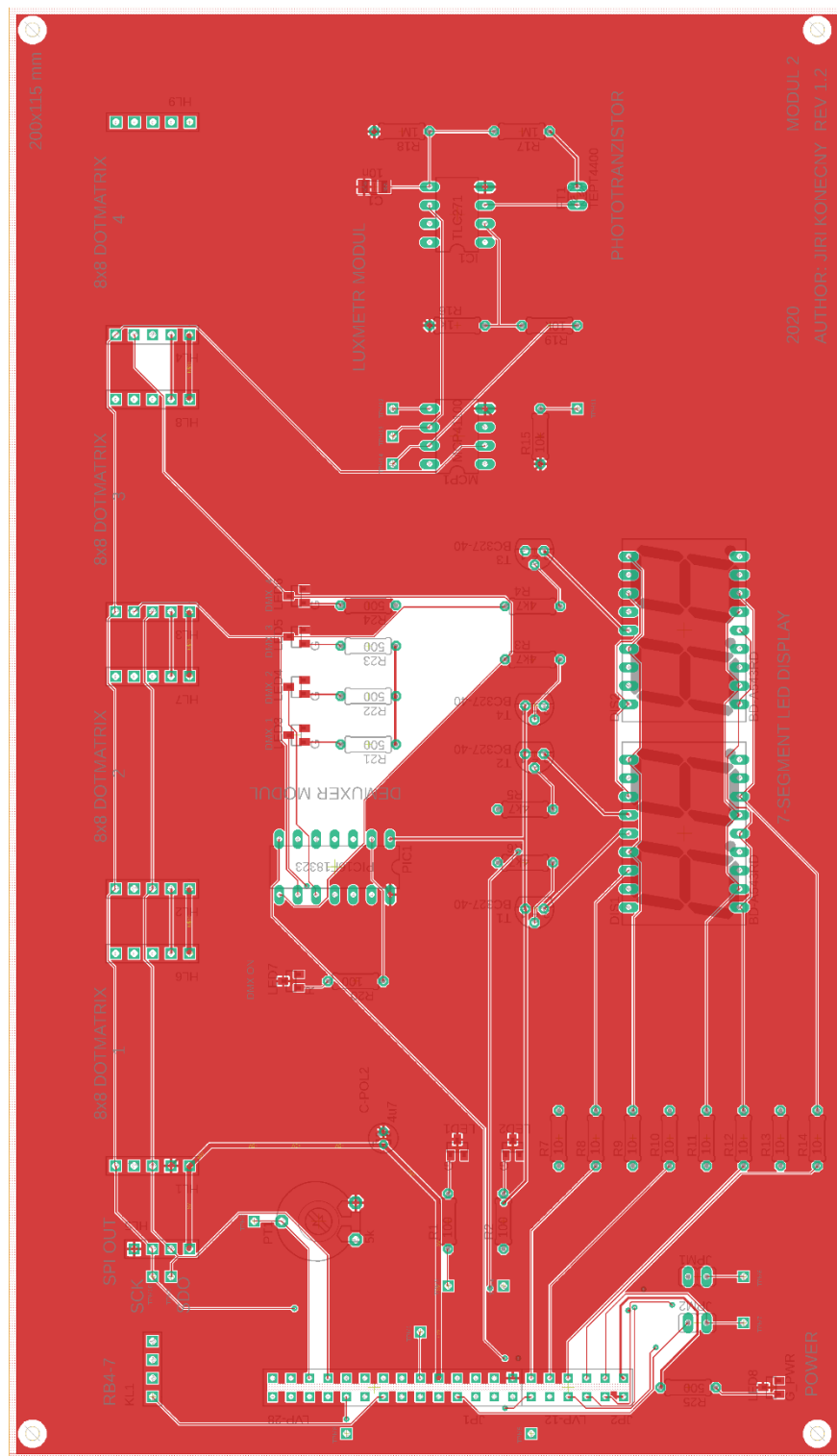
Osazení	Popis	Pouzdro	Výrobce	Dodavatel	Kod	KS
BL840GD	Dutinková lišta rovná, 2 řady, rozteč 2,54mm, 2x20 pinů.	-	?	GME	832-009	1
24LC64-I/P	EEPROM 12C	DIP8	MICROCHIP	TME	24LC64-I/P	1
MCP4726A1T-E/CH	D/A přev. 12C	SOT23-6	MICROCHIP	TME	MCP4726A1T-E/CH	1
MCP23017-E/SP	Expandér 12C	DIP28	MICROCHIP	TME	MCP23017-E/SP	1
WINSTAR WH1602A-YGH-CT	LCD displej 2x16 znaků	-	WINSTAR	GME	513-219	1
DS18B20+	Čidlo teploty; digitální; teploměr; -55÷125°C; THT; 3÷5,5V	TO92	MAXIM INTEGRATED	TME	DS18B20+	4
Membranová klávesnice 4x4	Klávesnice 4x4 tlačítka Kontaktní odpor 500 Ohm	-	GM ELECTRONIC	GME	772-199	1
BL10G	Dutinková lišta rovná, 1 řady, rozteč 2,54mm, 10 pinů	-	?	GME	832-038	1
SLG10W	Oboustranný kolík 90°, 1 řady, rozteč 2,54mm, 10 pinů	-	CONINFLY	GME	832-374	1
PSH02-03PG	Konektor se zámkem do DPS 3 kontaktů, rozteč 2,54mm.	-	?	GME	800-164	4
BL04G	Dutinková lišta rovná, 1 řady, rozteč 2,54mm, 4 pinů	-	?	GME	832-232	1
SLG04	Kolíková lišta 4x1 pinů, 2,54mm	-	?	GME	832-361	1
JUMP-RT OPEN RED	Zkratovací propojka JUMPER	-	JUMP-RT	GME	832-142	2
PT10VK005	Uhlíkový trimr 5k	PT10	PIHER	GME	112-048	1
PT10VK010	Uhlíkový trimr 10k	PT10	PIHER	GME	112-049	1
KM-23LID-F	LED; SMD; červená; 1,25mcd; 140°; 2÷2,5V; 2mA	SOT23	KINGBRIGHT ELECTRONIC	TME	KM-23LID-F	3
KM-23LSGD-F	LED; SMD; zelená; 0,4mcd; 140°; 2,2÷2,5V; 2mA	SOT23	KINGBRIGHT ELECTRONIC	TME	KM-23LSGD-F	3
LED 5MM GREEN 20/60° L-53GD	LED 5mm zelená; 60°; typická svítivost 20mcd při 10mA; 2,5 V;	-	KINGBRIGHT	GME	511-810	1
R1,2,4,10	100R	R207, 0.6W	-	-	-	4
5,6,15	500R	R207, 0.6W	-	-	-	3
R7,8,11-14	2K2	R207, 0.6W	-	-	-	6
R3	4K7	R207, 0.6W	-	-	-	1
R9	80R	R309, 1W	-	-	-	1
C-POL2	POL 4u7	THT C8-4	-	-	-	1
SLG01	Kolíková lišta SLG01 1 pin, 2,54mm, TPM	-	-	GME	832-185	11
PRSL 20 2,54mm	Precizní oboustranný kolík přímý, 1 řady, rozteč 2,54mm, 20 pinů., LCD	-	-	GME	832-016	1
SL20PZ 2,54mm	Precizní dutinková lišta rovná, 1 řady, rozteč 2,54mm, 20 pinů., LCD	-	-	GME	824-014	1
DS1009-08A1INX	Patice; DIP; PIN: 8; 7,62mm; THT; Rozteč: 2,54mm	-	CONINFLY	TME	ICVT-8P	1
DS1009-28A1INS	Patice; DIP; PIN: 28; 7,62mm; THT; Rozteč: 2,54mm	-	CONINFLY	TME	ICVT-28P-W	1
DASM3X20	Distanční sloupek mosaz, výška 20mm, M3	-	?	GME	623-173	4
DA4M2X05	Distanční sloupek mosaz, výška 5mm, M2, LCD	-	?	GME	623-361	4

Příloha C: Schéma a DPS návrh jednotky "Modul 2"

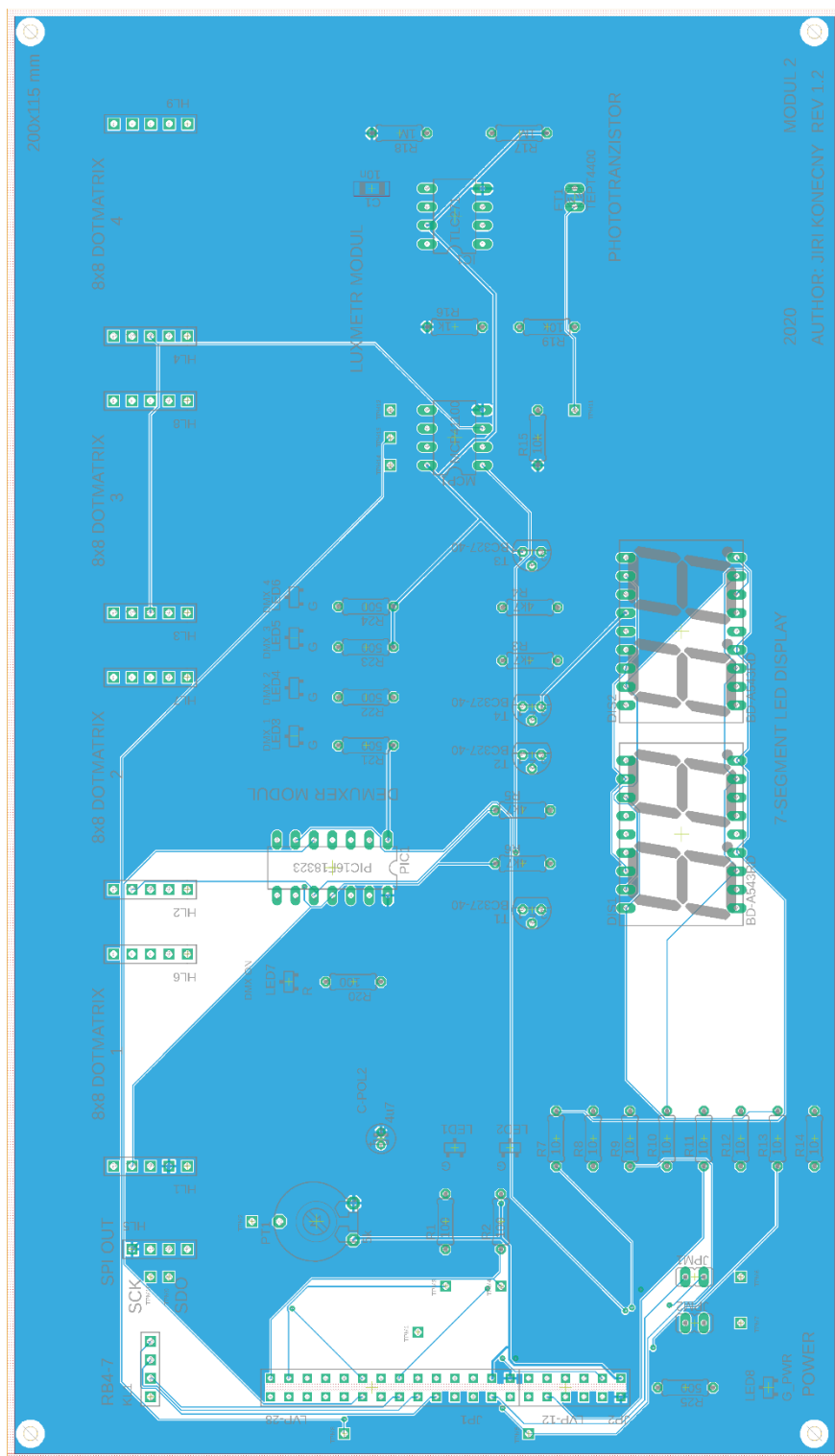


AUTHOR: KOŠEŇVŮM
 MODUL 2
 REV. 1.6

Obrázek C.1: Elektrotechnické schéma "Modul 2"



Obrázek C.3: Náhled rozlité mědi "Modul 2" - horní vrstva



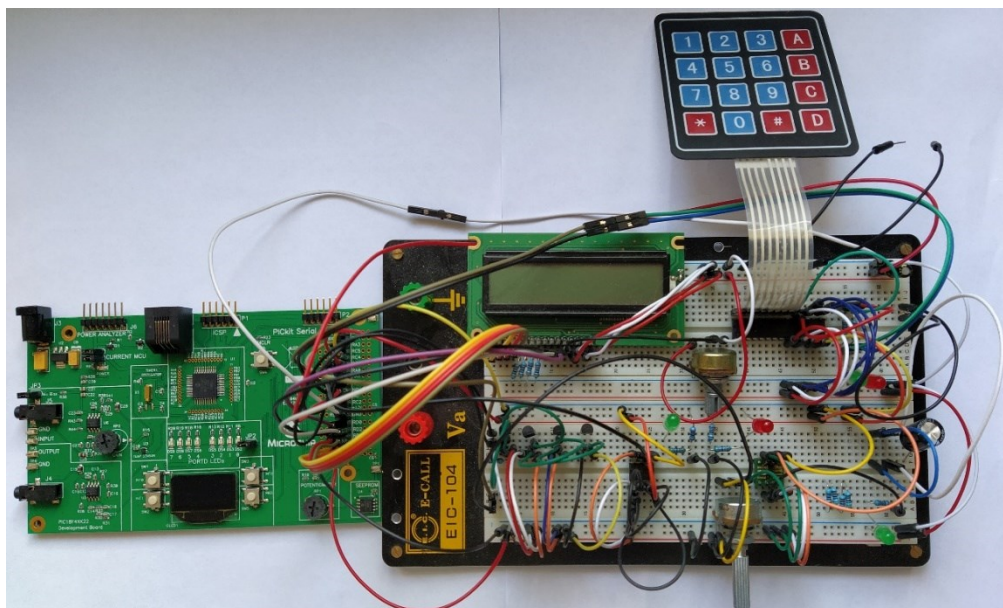
Obrázek C.4: Náhled rozlité mědi "Modul 2" - spodní vrstva

Príloha D: Seznam součástek jednotky "Modul 2"

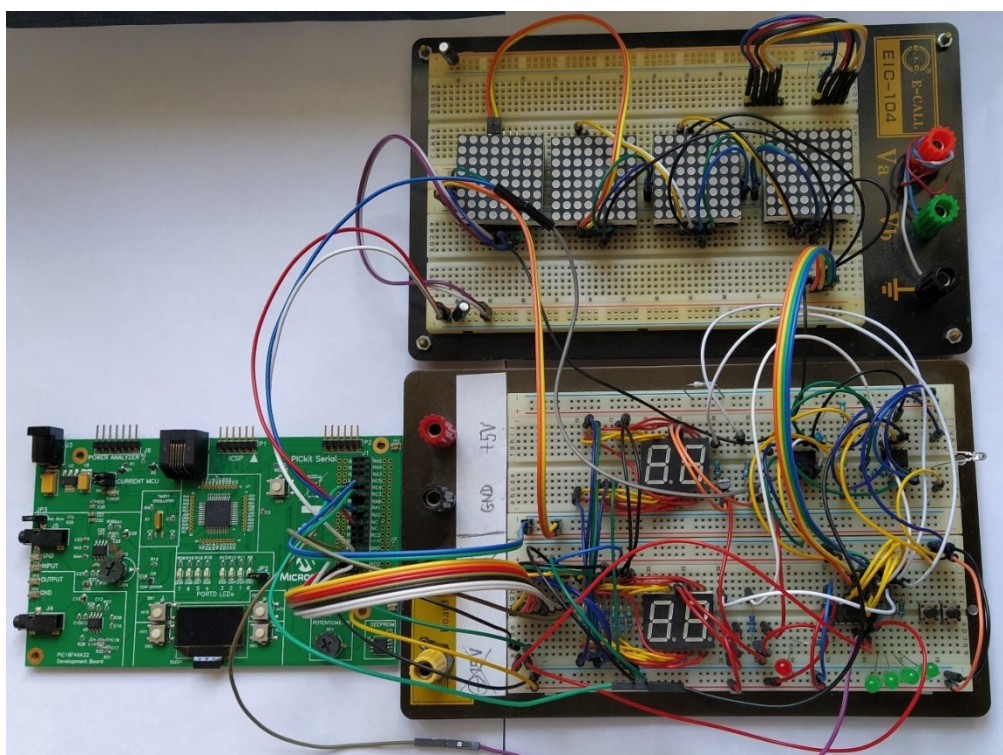
Tabulka D.1: Seznam součástek "Modul 2"

Označení	Popis	Pouzdří	Výrobce	Dodavatel	Kod	KS
BL840GD	Dutinková lišta rovná, 2 řady, rozteč 2,54mm, 2x20 pinů.	-	?	GME	832-009	1
BD-A543RD	7-segment display, CA	-	?	?	?	2
MCP41100-E/P	Integrovaný obvod: číslicový potenciometr. 100kΩ; SPI; 8bit	DIP8	MICROCHIP	TME	MCP41100-E/P	1
TLC271ACP	Operační zesilovač; 1,7MHz; 3±16V;	DIP8	TEXAS INSTRUMENTS	TME	TLC271ACP	1
TEPT4400	Fototranzistor; 3mm; λp max: 570nm; 6V; 30°; Čočka: průhledný	THT	VISHAY	TME	TEPT4400	1
PIC16F18323-I/P	Mikrokontrolér PIC; Rodina: PIC16	DIP14	MICROCHIP	TME	PIC16F18323-I/P	1
BL05G	Dutinková lišta rovná, 1 řady, rozteč 2,54mm, 5 pinů	-	?	GME	832-037	8
BL04G	Dutinková lišta rovná, 1 řady, rozteč 2,54mm, 4 pinů	-	?	GME	832-232	1
S1G04	Kolíkovaná lišta 4x1 pinu, 2,54mm	-	CONNFLY	GM	832-361	1
JUMP-RT OPEN RED	Zkratovací propojka JUMPER	-	JUMP-RT	GM	832-142	2
PT10VK005	Uhlíkový trimr 5k	PT10	PIHER	GME	112-048	1
KM-23LID-F	LED; SMD; červená; 1,25mcd; 3x1,3x1,05mm; 140°; 2±2,5V; 2mA	SOT23	KINGBRIGHT ELECTRONIC	TME	KM-23LID-F	1
KM-23LSGD-F	LED; SMD; zelená; 0,4mcd; 3x1,3x1,05mm; 140°; 2,2±2,5V; 2mA	SOT23	KINGBRIGHT ELECTRONIC	TME	KM-23LSGD-F	7
BC327-40	Bipolární PNP tranzistor - Ic = 0,8 A, Pd = 0,625 W	TO92	?	GME	210-014	4
R7-14	10R	R207, 0.6W	-	-	-	8
R1,2,20	100R	R207, 0.6W	-	-	-	3
R21-24,25	500R	R207, 0.6W	-	-	-	5
R3-6	4K7	R207, 0.6W	-	-	-	4
R16	1K	R207, 0.6W	-	-	-	1
R15,19	10K	R207, 0.6W	-	-	-	2
R17,18	1M	R207, 0.6W	-	-	-	2
C-POL2	POL, 4u7	THT C8-4	-	-	-	1
C1	10n	C805	-	-	-	1
S1G01	Kolíkovaná lišta S1G01 1 pin, 2,54mm, TPM	-	-	GM	832-185	14
DS1009-08AT1NX	Patice; DIP; PIN: 8; 7,62mm; THT; Rozteč: 2,54mm	-	CONNFLY	TME	ICVT-8P	2
DS1009-14AT1NX	Patice; DIP; PIN: 24; 7,62mm; THT; Rozteč: 2,54mm	-	CONNFLY	TME	ICVT-14P	1
DA5M3X20	Distanční sloupek mosaz, výška 20mm, M3	-	?	GME	623-173	4

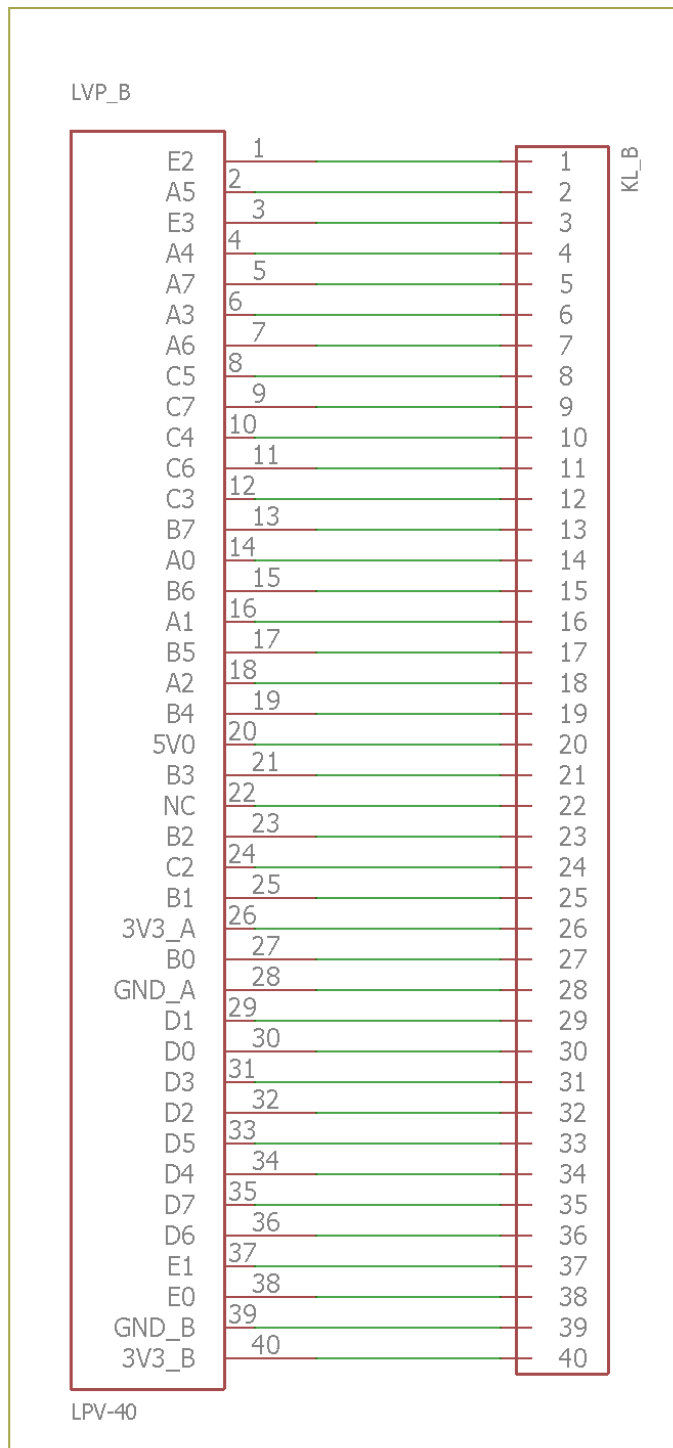
Příloha E: *Fotografie prototypu jednotek "Modul 1" a "Modul 2"*



Obrázek E.1: *Prototyp "Modul 1"*



Obrázek E.2: *Prototyp "Modul 2"*

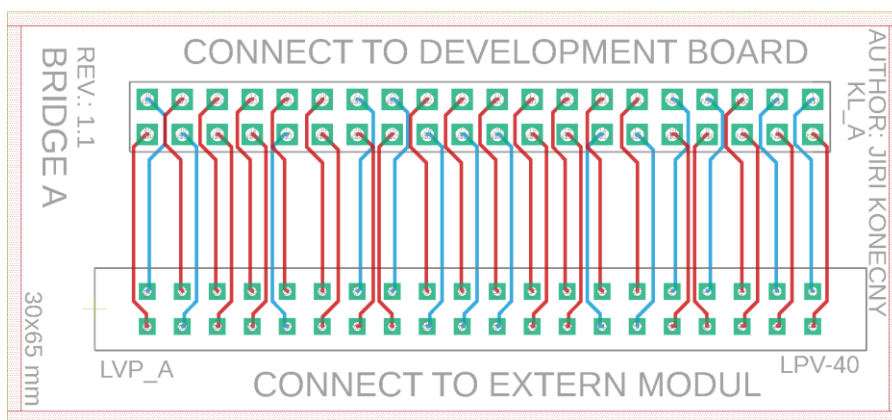


BRIDGE B

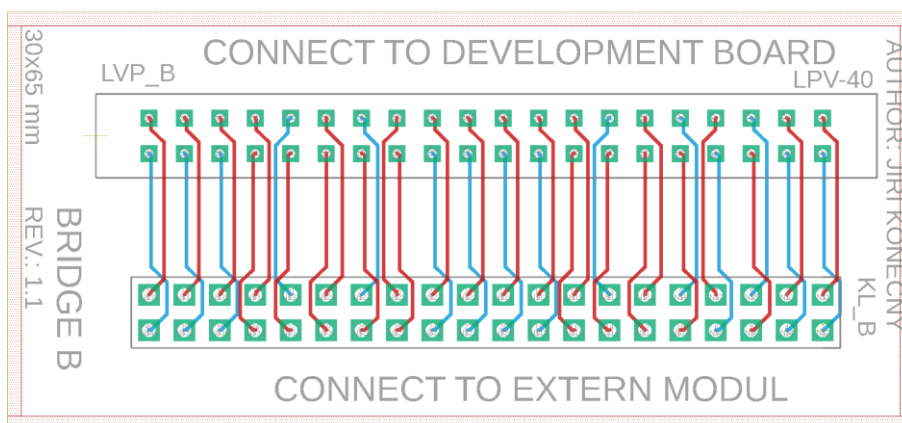
AUTHOR: KONECNY JIRI
REV.: 1.1

Obrázek F.2: Schéma "Bridge B"

Příloha G: *DPS propojek "Bridge A" a "Bridge B"*



Obrázek G.1: *DPS "Bridge A"*



Obrázek G.2: *DPS "Bridge B"*

Příloha H: *Seznam součástek propojek Bridge A a B*

Tabulka 1.4: *Seznam součástek Bridge A a B*

Označení	Popis	Dodavatel	Kod	KS
BL840GD	Dutinková lišta rovná, 2 řady, rozteč 2,54mm, 2x20 pinů.	GME	832-009	2
LPV-40	Samorezný konektor pro ploché kabely do DPS přímý, rozteč 2,54mm, 40 kontaktů.	GME	800-057	2
AWG28-40H	Plochý vícežilový kabel 40 x lícna (28AWG)	GME	650-050	1