

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická

## Výukový přípravek pro měření sériových sběrnic mikrokontroléru

**Jan Vomočil**

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Teplý

Obor: Aplikovaná elektronika

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika

Květen 2018



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vomočil** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **457169**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**  
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektronika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Výukový přípravek pro měření sériových sběrnic mikrokontroléru**

Název bakalářské práce anglicky:

**Microcontroller Serial Bus Demonstration Kit**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte výukový přípravek pro měření standardních sériových sběrnic mikrokontroléru. Přípravek by měl obsahovat vhodně vybraný mikrokontrolér a několik periferních obvodů, mezi kterými bude probíhat sériový přenos dat. Signály ze sběrnic vyvedte na konektory pro připojení měřících přístrojů. Mezi vybrané sériové sběrnice by měly patřit I2C, SPI a UART, které mohou být doplněny o další. Postup:

- 1) Proveďte výběr používaných sériových sběrnic vhodných pro demonstraci a měření a vyberte mikrokontrolér s hardwarovou podporou těchto sběrnic.
- 2) Navrhněte obvodové zapojení přípravku včetně desky plošných spojů.
- 3) Návrh realizujte.
- 4) Ověřte funkčnost a zhodnoťte dosažené výsledky.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Kernighan, B., W. - Ritchie, D., M.: Programovací jazyk C, Computer Press, a.s., Brno, 2006
- [2] Záhlava, V.: Návrh a konstrukce desek plošných spojů, BEN, Praha, 2011
- [3] Yiu, J.: The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors Third Edition, Elsevier, 2014

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Tomáš Teplý, katedra mikroelektroniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2018** Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

Ing. Tomáš Teplý  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Tomáši Teplému za cenné rady a připomínky, které vedly ke zlepšení a pomohly ke vzniku této bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat svým kamarádům Bc. Patriku Bachanovi a Vladimíru Čebišovi, kteří mi byli oporou.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 25. května 2018

## Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a konstrukcí výukového přípravku na měření sériových sběrnic pro střední školy s elektrotechnickým zaměřením.

**Klíčová slova:** sériové sběrnice, vzdělávací přípravek, I<sup>2</sup>C, SPI, UART, CAN

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Teplý

## Abstract

This bachelor thesis deals with design and construction of an educational device for measurement of serial buses for high schools with electrotechnical focus.

**Keywords:** serial buses, educational tool, I<sup>2</sup>C, SPI, UART, CAN

**Title translation:** Educational tool for measuring serial buses

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Přehled zahrnutých sériových sběrnic</b>	<b>3</b>
2.1 I <sup>2</sup> C .....	4
2.2 SPI .....	6
2.3 UART .....	8
2.4 CAN .....	10
<b>3 Návrh řešení</b>	<b>13</b>
3.1 Řídicí mikrokontrolér .....	13
3.2 Periferie .....	13
3.2.1 Obvod reálného času .....	13
3.2.2 Senzor teploty .....	14
3.2.3 Čtečka RFID .....	16
3.2.4 Paměti .....	17
3.2.5 Senzor měření proudu .....	19
3.3 Ochrana napájecího vstupu ....	20
3.4 Měření kapacitní zátěže sběrnice I <sup>2</sup> C .....	21
3.5 Napájecí zdroj .....	21
3.6 Ovládání .....	22
3.6.1 Tlačítka .....	22
3.6.2 USB .....	22
3.7 Displej .....	23
<b>4 Realizace</b>	<b>25</b>
4.1 Plošný spoj .....	25
4.1.1 Verze č.1 .....	25
4.1.2 Verze č.2 .....	26
4.2 3D tisk .....	26
4.3 Program .....	28
4.3.1 Menu systém .....	29
<b>5 Oživení a testování</b>	<b>31</b>
5.1 Naměřená data přenosu komunikace .....	32
<b>6 Závěr</b>	<b>37</b>
<b>Literatura</b>	<b>39</b>
<b>A Seznam zkratk</b>	<b>41</b>
<b>B Obrázky</b>	<b>43</b>

## Obrázky

2.1 Zapojení zařízení na sběrnici I <sup>2</sup> C	4	4.1 Osazený přípravek	27
2.2 Zapojení výstupu typu otevřený kolektor	5	4.2 Rámeček	27
2.3 Přenosový protokol I <sup>2</sup> C	5	4.3 Distační podložka pod šroub	27
2.4 Standardní zapojení zařízení na sběrnici SPI	6	4.4 Menu systém	29
2.5 Daisy-Chain zapojení zařízení na sběrnici SPI	7	5.1 Čtení dat hodin z periferie RTC na sběrnici I <sup>2</sup> C	32
2.6 Zapojení výstupu typu push-pull	7	5.2 Komunikace s teplotním senzorem po sběrnici I <sup>2</sup> C	33
2.7 Přenosový protokol sběrnice SPI (CPOL = 0, CPHA = 0)	8	5.3 Čtení dat z paměti EEPROM na sběrnici I <sup>2</sup> C	33
2.8 Zapojení zařízení na sběrnici UART	9	5.4 Zápis dat do paměti EEPROM na sběrnici I <sup>2</sup> C	33
2.9 Přenosový protokol sběrnice UART	9	5.5 Data z čtečky RFID na sběrnici UART	34
2.10 Zapojení zařízení na sběrnici CAN	11	5.6 Čtení dat z paměti EEPROM na sběrnici SPI	34
2.11 Přenosový protokol sběrnice CAN [8]	11	5.7 Zápis dat do paměti EEPROM na sběrnici SPI	35
3.1 Schéma zapojení RTC	14	5.8 Čtení dat z paměti RAM na sběrnici SPI	35
3.2 Schéma zapojení teplotního senzoru	15	5.9 Zápis dat do paměti RAM na sběrnici SPI	35
3.3 RFID čtečka [13]	16	B.1 Proudová špička při připojení napájení	43
3.4 Schéma zapojení konektoru pro RFID čtečku	16	B.2 Účinnost zdroje v závislosti na výstupním proudu	43
3.5 Schéma zapojení paměti EEPROM na sběrnici I <sup>2</sup> C	18	B.3 Přední strana plošného spoje verze č.1	44
3.6 Schéma zapojení paměti EEPROM na sběrnici SPI	18	B.4 Zadní strana plošného spoje verze č.1	44
3.7 Schéma zapojení paměti RAM na sběrnici SPI	19	B.5 Přední strana plošného spoje verze č.2	45
3.8 Schéma zapojení proudového senzoru	19	B.6 Zadní strana plošného spoje verze č.2	45
3.9 Blokový diagram proudového senzoru [14]	20	B.7 Celé schéma zapojení	46
3.10 Schéma zapojení ochrany napájení	20		
3.11 Schéma zapojení zátěže sběrnice I <sup>2</sup> C	21		
3.12 Schéma zapojení napájecího zdroje	22		
3.13 Schéma zapojení tlačítek	22		
3.14 Schéma zapojení USB/UART převodníku	23		
3.15 Schéma zapojení konektoru pro displej	23		



## Tabulky

3.1 Uložení času v registrech RTC [11]	14
3.2 Data v $T_A$ registru [12] . . . . .	15
3.3 Data v CONFIG registru [12] ..	15
3.4 Uspořádání dat vysílaných RFID čtečkou . . . . .	16
5.1 Odběr celého přípravku při různém napájecím napětí . . . . .	31





# Kapitola 1

## Úvod

Sériové sběrnice jsou nedílnou součástí většiny elektronických zařízení. Výhoda těchto sběrnic spočívá ve snadnosti jejich implementace. Například po stránce hardwarové, kdy integrované obvody mohou být jednodušší než u sběrnic paralelních. Sériové sběrnice se najdou v zařízeních jako například domácí meteostanice, mobilní telefony, až po automobily či jiné dopravní prostředky. Jejich znalost je tedy nadmíru důležitá, pokud se člověk chce zabývat ve svém životě elektronikou.

Proto se tato práce zabývá návržením a sestavením přípravku na měření sériových sběrnic pro střední školy. Konkrétně by přípravek měl být použit na střední průmyslové škole elektrotechnické Ječná 30, Praha 2. Jedna z úloh v předmětu Elektronická měření je na paralelní port, který se dnes používá jen výjimečně a byl nahrazen sériovými sběrnici. Tento přípravek by měl studenta střední školy seznámit se základními sériovými sběrnici jako je I<sup>2</sup>C, SPI, UART a CAN, naučit studenty zacházet s logickým analyzátozem či osciloskopem, pomocí kterého danou sběrnici můžou dekodovat. Konkrétně se jedná o osciloskop s logickým analyzátozem Rigol MSO2202A.



## Kapitola 2

### Přehled zahrnutých sériových sběrnic

Sběrnice zprostředkovávají komunikaci mezi jednotlivými obvody. Používají se k přenosu dat, adres, stavových a řídicích signálů. Komunikace je zajištěna soustavou vodičů, které jednotlivé obvody propojují. Sběrnice můžeme dělit podle různých kritérií.

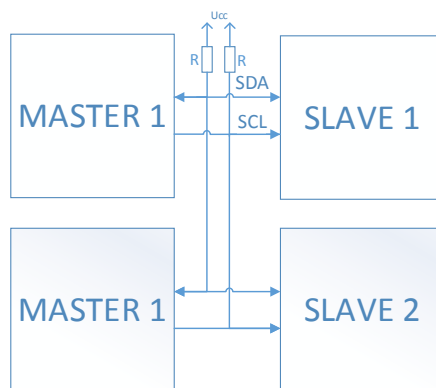
Jeden ze základních parametrů je rozdělení podle způsobu přenosu dat na sériové a paralelní. Paralelní přenos je proces přenosu dat, kdy je více bitů posíláno najednou. Paralelní sběrnice obsahují několik vodičů. Například osmibitová paralelní sběrnice vysílá naráz osm bitů. Tyto sběrnice také často obsahují řídicí signály, například pro řízení směru přenosu dat. Sériové sběrnice vysílají jednotlivé bity postupně za sebou (sekvenčně). To vede ke snížení počtu vodičů potřebných k přenosu dat na jeden (nepočítá-li se spojení zemí jednotlivých obvodů).

Další možné rozdělení je podle typu přenosu, jaký sběrnice používá. Základní rozdělení je na synchronní a asynchronní. U asynchronního přenosu je nutné, aby přijímací strana přesně věděla, ve kterém okamžiku se data přenáší. Je tedy nutné nastavit přenosovou rychlost všech zařízení na sběrnici a zařídit, aby zdroj hodinového signálu pro každé zařízení šel dostatečně přesně. Synchronní přenos používá k synchronizaci nejčastěji další vodič, na kterém vysílá hodinový signál. Zařízení, které data přijímá, se podle tohoto signálu trvale synchronizuje. Není tedy potřeba zařizovat přesný zdroj hodinového signálu nebo nastavovat přenosovou rychlost.

## 2.1 I<sup>2</sup>C

Jedná se o synchronní sériovou sběrnici typu multimaster. Zkratka I<sup>2</sup>C vznikla z IIC bus, tedy Internal Intergrated Circuits bus. Byla vyvinuta na začátku 80. let firmou Philips Semiconductors. Základní funkce této sběrnice bylo zprostředkování komunikace mezi procesorem a periferiemi v televizních setech. Do té doby byly periferie nejčastěji připojovány pomocí paralelních sběrnic. Bylo potřeba spoustu podpůrné logiky a komplexní plošné spoje. To zvyšovalo výslednou cenu. Proto výzkum společnosti Philips Semiconductors přišel na řešení tohoto problému pomocí sériové sběrnice I<sup>2</sup>C. [1]

Sběrnice využívá ke komunikaci dva vodiče, data SDA (serial data) a hodiny SCL (serial clock). Na jedné sběrnici může být teoreticky připojeno až 128 zařízení při sedmibitové adresaci nebo 1024 při desetibitové adresaci. V praxi tomu tak není, většina integrovaných čipů nedovoluje adresu nastavit v plném rozsahu sedmi nebo deseti bitů, ale pouze například třemi nebo čtyřmi. Některé čipy dokonce nedovolují nastavit adresu vůbec. To tedy znamená, že tento čip může být na sběrnici pouze jeden. Oba piny zařízení jsou typu otevřený kolektor. To znamená, že zařízení může pouze vnutit na sběrnici logickou nulu, proto oba vodiče musejí být drženy pull-up rezistory v logické jedničce. Hodnota těchto rezistorů je dána hlavně komunikační frekvencí a počtem zařízení na sběrnici. Čím je frekvence větší, tím musí být nižší hodnoty těchto rezistorů. Také čím více zařízení, tím jsou potřeba nižší hodnoty těchto rezistorů. Standardní komunikační frekvence je 100 kHz. Později byl vyvinut takzvaný fast-mode na 400 kHz. Nyní dále existují další 3 režimy rychlostí. Fast-mode plus na 1 MHz, high-speed na 3,4 MHz a ultra-fast na 5 MHz. [2] Příklad zapojení zařízení na této sběrnici je na obrázku č. 2.1.

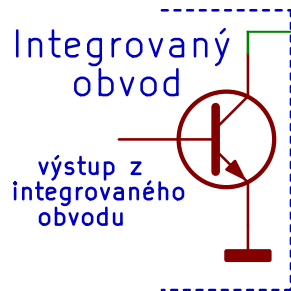


Obrázek 2.1: Zapojení zařízení na sběrnici I<sup>2</sup>C

### Způsob provedení výstupu - Otevřený kolektor

Otevřený kolektor je způsob provedení výstupu u integrovaných obvodů. Výstup je tvořen pouze jedním NPN tranzistorem, který je schopen pouze sepnout a tím daný výstup uzemnit. Tento způsob provedení není schopen vnutit na výstup žádné napětí, jen jej spojit se zemí. Proto je zde potřeba

použit pull-up rezistor, který pokud je tranzistor otevřený, vnutí na výstup například napájecí napětí. Schéma vnitřního zapojení je na obrázku č. 2.2.

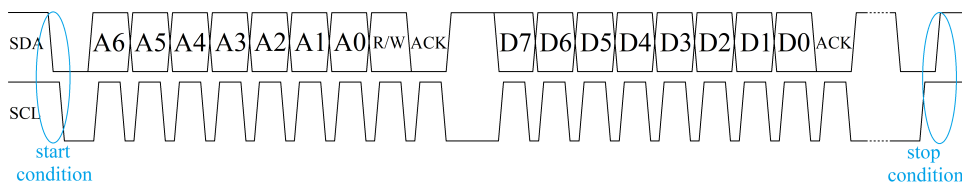


**Obrázek 2.2:** Zapojení výstupu typu otevřený kolektor

### ■ Přenosový protokol

V klidovém stavu je sběrnice držena v logické jedničce, což odpovídá napájecímu napětí. Pro zahájení přenosu je nejdříve SDA nastaveno do nuly (startovní podmínka) a hned na to je staženo i SCL, na kterém se začnou generovat hodiny. Dále následuje adresa slave zařízení (7 nebo 10 bitů). Poté bit R/W, který danému slave zařízení říká, zdali se bude zapisovat nebo číst (zápis odpovídá logické nule). Následuje ACK (Acknowledge), kterým slave zařízení odpoví nastavením SDA do logické nuly. Pokud se toto nestane a na sběrnici zůstane logická jednička, znamená to, že zařízení s touto adresou neexistuje nebo nebylo schopné data zpracovat. Dále, pokud bylo potvrzeno ACK, může master začít s přenosem dat. Po ukončení přenosu dat je vygenerována zakončovací podmínka. Celý protokol je zobrazen na obrázku č. 2.3.

- Startovní podmínka - dochází ke změně hodnoty SDA (z logické jedničky do nuly), kdy je SCL stále v logické jedničce.
- Zakončovací podmínka - dochází ke změně hodnoty SDA (z logické nuly do jedničky), kdy je SCL již v logické jedničce.
- ACK (Acknowledge) - tímto bitem slave zařízení potvrzuje svoji přítomnost na sběrnici a také úspěšné přijetí dat. Pokud zařízení slave vysílá data, tak za každým bajtem potvrzuje stažením bitu ACK do logické nuly. Toto neplatí pro poslední odesílaný bajt, kde zařízení nechá bit ACK v logické jedničce (NACK). Tímto dává najevo, že odeslalo všechna data.



**Obrázek 2.3:** Přenosový protokol I<sup>2</sup>C

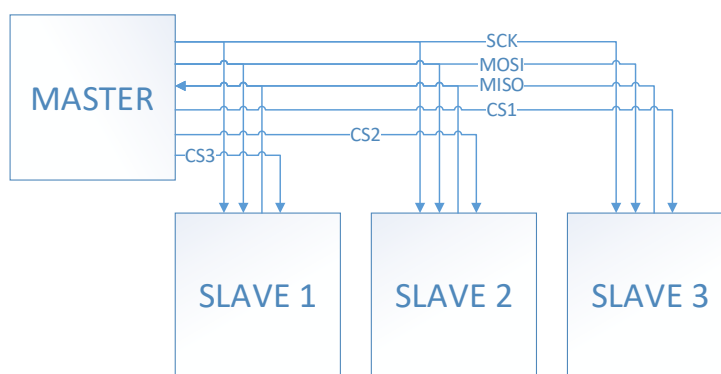
## Arbitrace

Pokud se na sběrnici I<sup>2</sup>C vyskytuje více zařízení typu master, je potřeba řešit kolizi. Každý master může zahájit přenos dat, je-li předtím sběrnice v klidovém stavu. Může dojít k případu, kdy dvě zařízení typu master vyšlou startovací podmínku ve stejnou chvíli. Proto v průběhu vysílání musí zařízení typu master stále kontrolovat data, která se vyskytují na sběrnici. Pokud zařízení vysílá logickou jedničku, ale na sběrnici je logická nula, musí ihned ukončit komunikaci, vypnout budič sběrnice a počkat na dokončení komunikace od dalšího master zařízení, protože prohrálo arbitraci.

## 2.2 SPI

Jedná se o full-duplex komunikaci a využívá architekturu master-slave. SPI je synchronní sériová sběrnice vyvinutá společností Motorola v 80. letech 20. století.

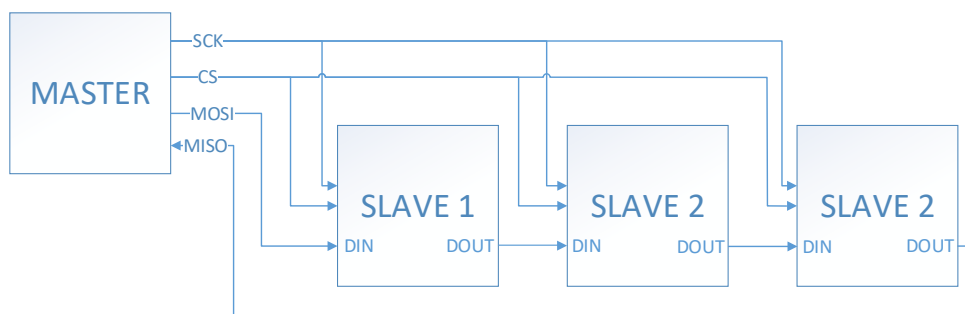
Počet vodičů závisí na počtu zařízení typu slave. Všechny výstupní piny používají způsob provedení push-pull, nepotřebují tedy pull-up rezistory. Zařízení je tedy schopno samo generovat oba logické stavy. Zařízení, které pracuje jako master, generuje hodinový signál, který je rozveden do všech ostatních zařízení na sběrnici. Tento signál je označován symbolem SCK (serial clock). Další vodiče propojující zařízení jsou MOSI (master out, slave in) a MISO (master in, slave out). MOSI, jak již název napovídá, slouží k přenosu dat ze zařízení typu master do zařízení typu slave. O přesný opak se pak stará MISO. Poslední vodič, který tato sběrnice využívá je SS (slave select) nebo CS (chip select). Tímto vodičem master určuje, se kterým zařízením typu slave bude komunikovat. Těchto vodičů musí být stejný počet jako zařízení typu slave. Přenosová frekvence není přesně definována. Její volba je na uživateli, ale nejčastěji se pohybuje mezi 1 MHz – 10 MHz. Pokud se dodrží dostatečně malá kapacita spoje, je možné dosáhnout frekvence až 70 MHz. [4]. Příklad standardního zapojení je na obrázku č. 2.4.



Obrázek 2.4: Standardní zapojení zařízení na sběrnici SPI



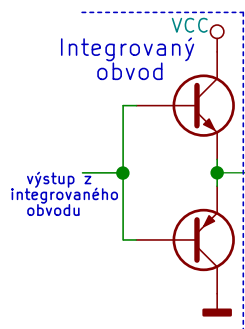
Existuje ještě jiný způsob zapojení tzv. Daisy-Chain. Zde je lepší u slave zařízení přejmenovat MOSI a MISO na DIN (data in) a DOUT (data out), je to v tomto případě přehlednější. V tomto zapojení je CS všech slave zařízení spojen do jednoho a přiveden do masteru. Dále MOSI z masteru je zapojeno do prvního slave zařízení na pin DIN, DOUT z tohoto zařízení je zapojeno do DIN dalšího slave zařízení. Tímto se vytvoří takzvaný řetěz. Protože se slave zařízení chová jako posuvný registr, je tedy možné skrz přední zařízení "protlačit" data do zadnějších.[6] Příklad tohoto zapojení je uveden na obrázku č. 2.5.



Obrázek 2.5: Daisy-Chain zapojení zařízení na sběrnici SPI

### ■ Způsob provedení výstupu - Push-pull

Push-pull je další způsob provedení výstupu u integrovaných obvodů. Oproti otevřenému kolektoru používá dva tranzistory. Jeden je schopen připnout na výstup napájecí napětí a druhý naopak zem. Schéma vnitřního zapojení je na obrázku č. 2.6.



Obrázek 2.6: Zapojení výstupu typu push-pull

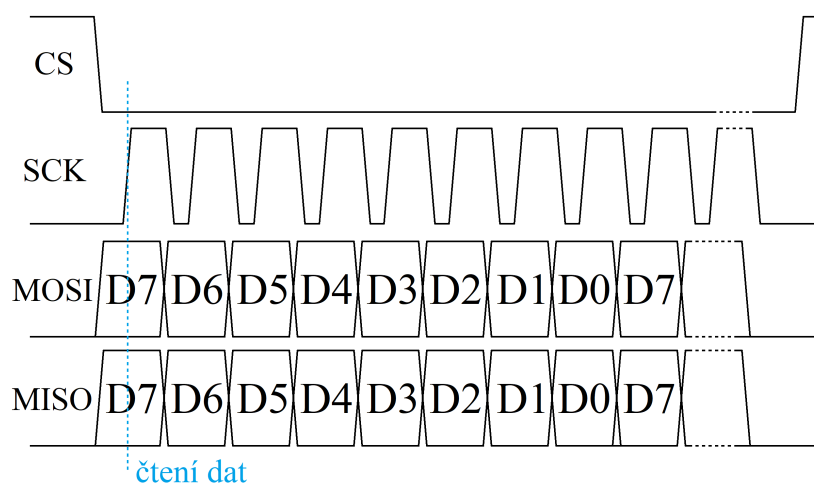
### ■ Srovnání s I<sup>2</sup>C

Mezi hlavní výhodu sběrnice SPI patří její jednoduchost a tudíž i snadnost implementace. Elektrické rozhraní je totiž kompatibilní s logikou TTL. Nejedná se vlastně o nic jiného než několik externě propojených posuvných registrů. Také sběrnice SPI může běžet na vyšší frekvenci a docílit tak vyšší přenosové rychlosti. Na druhou stranu sběrnice I<sup>2</sup>C používá jen dva vodiče a jejich počet neroste s počtem zařízení.

## ■ Přenosový protokol

Sběrnice SPI podporuje 4 různé módy. Parametry, které určují daný mód jsou polarita hodin (CPOL) a fáze hodin (CPHA). Hodiny mohou být invertované nebo neinvertované, to určuje CPOL a CPHA se používá k posunutí vzorkovací fáze. To znamená, že pokud je CPHA = 0, vzorkuje se od náběžné hrany SCK. Pokud je CPHA = 1, vzorkuje se od druhé hrany hodinového signálu nezávisle, zda je hrana spádová či náběžná.

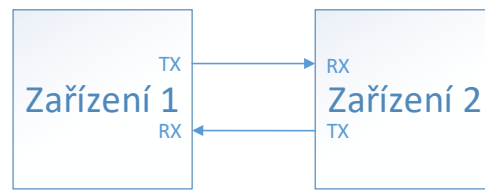
Tento odstavec popisuje mód CPOL = 0 a CPHA = 0, protože tento mód používá přípravek. V klidovém stavu jsou MOSI, MISO a SCK v logické nule. Jediné CS jsou drženy v logické jedničce. Přenos začíná master, který stáhne CS pro danou periferii, se kterou chce komunikovat k logické nule. Poté zapne hodinový signál SCK. Dále je již komunikace dána zařízením se kterým se komunikuje. Data se mohou vyskytovat na MOSI i MISO zároveň. Je poté na uživateli jak tuto komunikaci ošetří. V jednom případě se může jen očekávat přijetí dat, v jiném jen odesílat a v dalším například odeslat data na začátku a přijmout na konci. [5] Celý protokol je zobrazen na obrázku č. 2.7.



**Obrázek 2.7:** Přenosový protokol sběrnice SPI (CPOL = 0, CPHA = 0)

## ■ 2.3 UART

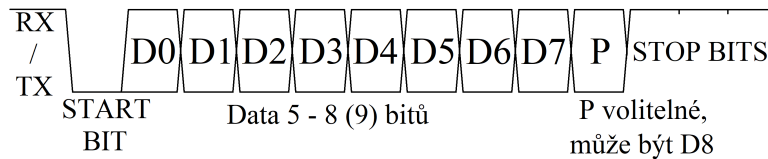
Jedná se o synchronní (USART) nebo asynchronní (UART) point-to-point sériovou sběrnicí. Dále je popsán jen UART. Sběrnice využívá ke komunikaci 2 vodiče. Nazývané RX (Receive) a TX (Transmit). Pomocí pinu RX zařízení přijímá data a pomocí TX data vysílá. Protože UART je asynchronní sběrnice, není tedy nijak synchronizována, je zapotřebí oběma stranám nastavit přenosovou rychlost. Tato rychlost se nejčastěji pohybuje 1200 Bd do 115200 Bd. Maximální rychlost je 1 MBd. Piny zařízení jsou kompatibilní s TTL logikou. Příklad zapojení je uveden na obrázku č. 2.8.



Obrázek 2.8: Zapojení zařízení na sběrnici UART

### ■ Přenosový protokol

V klidovém stavu je sběrnice držena v logické jedničce, což odpovídá napájecímu napětí. Pro zahájení přenosu je TX vysílacího zařízení staženo k logické nule po dobu jednoho hodinového taktu odvozeného od nastavené přenosové rychlosti. Logická nula odpovídá napětí 0 V. Tomuto bitu říkáme start bit. Poté jsou přenášena data. Může to být 5 až 8 bitů pokud je použita parita, nebo až 9 bitů pokud parita použita není. Nejčastěji se data začínají přenášet od LSB. Parita může být použita nebo nemusí. Také je možnost nastavit lichou či sudou paritu. Komunikace se ukončuje stop bitem. Sběrnice se na délku minimálně dvou bitů drží v logické jedničce. Celý protokol je zobrazen na obrázku č. 2.9.



Obrázek 2.9: Přenosový protokol sběrnice UART

### ■ Parita

Parita slouží k odhalení chyb vzniklé při přenosu dat. Jedná se o jednu z nejjednodušších metod kontrolního součtu. Tato metoda není schopna chyby opravit. K datům se přidá tzv. paritní bit, jehož hodnotu ovlivňuje počet logických nul či jedniček v datech. Paritu dělíme na lichou či sudou. Při použití liché parity bude paritní bit nastaven do log. jedničky tehdy, je-li součet jedniček v přenášených datech sudý. Tímto bitem se tedy doplní počet jedniček na lichý. Sudá parita se chová úplně stejně jen s tím rozdílem, že konečný počet jedniček i s paritním bitem bude sudý. Zařízení, které data přijme, ověří zdali součet logických jedniček sedí s typem parity. Pokud vyhodnotí, že tento kontrolní součet nesedí, označí přijatá data jako chybná. Tato metoda kontrolního součtu selhává, pokud dojde k více jak jedné chybě v přenesených datech, proto je ve složitějších případech málo účinná.

## 2.4 CAN

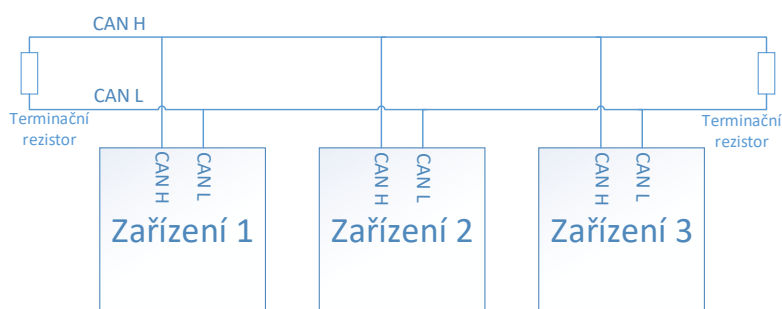
CAN je průmyslová sběrnice, která byla vyvinuta firmou Robert Bosch GmbH. Tato sběrnice se nejvíce využívá v automobilovém průmyslu. První automobil obsahující sběrnici CAN vyjel v roce 1986. Jednalo se o osobní vůz BMW 850 coupe. Použitím této sběrnice se ve voze ušetřilo až 2 km kabelů a polovina konektorů, což vedlo ke snížení hmotnosti vozu až o 50 kg. [7]

CAN využívá k přenosu pouze jeden diferenciální pár vodičů. Vodiče se označují CAN H (High) a CAN L (Low). Maximální přenosová rychlost této sběrnice je 1 Mbit/s do vzdálenosti 40 m. Datový přenos využívá bezztrátovou arbitrační metodu pro stavové rozhodování. Tato metoda vyžaduje, aby zařízení na sběrnici byly synchronizovány a připraveny ve stejnou dobu. Toto vede k nepřesnému označení této sběrnice za synchronní. Tento termín je nepřesný, protože data jsou odesílána bez hodinového signálu. Každé zařízení na sběrnici má svoje unikátní ID. Délka ID se liší podle standardu, na kterém sběrnice pracuje. Pro CAN 2.0A je délka ID 11 bitů a pro CAN 2.0B je délka ID 29 bitů. ID neslouží pouze k identifikaci zařízení na sběrnici, ale také určuje prioritu. Zařízení, které má ze začátku ID více logických nul má vyšší prioritu. CAN je v klidovém stavu v logické jedničce. Tento bit je ustupující. Naopak logická nula je bit dominantní. To znamená, že pokud zařízení vysílá log. nulu, nemůže jiné zařízení vnutit sběrnici log. jedničku. [8] Jinými slovy, pokud jedno zařízení vysílá dominantní bit a další zařízení vysílá ustupující bit, vznikla zde kolize a větší prioritu má dominantní bit. Zařízení vysílající ustupující bit přestane vysílat. Zařízení s vyšší prioritou není tedy vůbec přerušeno zařízením s nižší prioritou. Tato sběrnice se tedy hodí na aplikace v reálném čase. Například senzor hlásící přehřívání motoru v autě má přednost před senzorem, který hlásí prasklou žárovku. Při situaci, kdy začnou oba senzory vysílat naráz senzor prasklé žárovky při vysílání svojí arbitrace zjistí, že je na sběrnici logická nula i když vysílá logickou jedničku a tím pádem přestane vysílat. Svoje data pošle později, až bude opět na sběrnici klidový stav. Dále sběrnice CAN používá na odhalení chyb při přenosu kontrolní součet (CRC). Příklad zapojení je uveden na obrázku č. 2.10.

Pro odhalení chyb u přenosu slouží také pravidlo zvané "bit-stuffing". Pokud jsou při přenosu dat na sběrnici po dobu více než pěti bitů stejné hodnoty, dojde k vygenerování chyby. Do komunikace se tedy vkládají bity o opačné hodnotě, které ovšem nenesou žádná data. Přijímací stranou jsou ignorovány.

### CRC

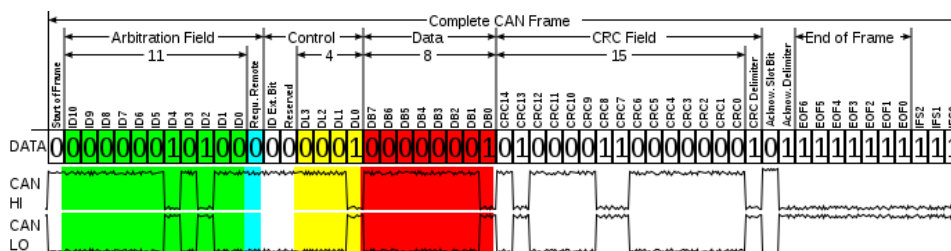
Cílem tohoto kontrolního součtu je detekování chyb v datech. K samotným datům se přidá výsledek nějaké matematické funkce, na jejímž vstupu jsou vstupní data. Zařízení, které data přijme, si pak může znovu spočítat tuto funkci a porovnat výsledek s příloženým výsledkem od zařízení co data vysílalo. V určitých případech se dá po zjištění chyby (neshody CRC) danou chybu opravit pomocí matematických operací. Sběrnice CAN využívá 16-bitové CRC.



Obrázek 2.10: Zapojení zařízení na sběrnici CAN

### ■ Přenosový protokol

Celý datový rámeček vždy začíná start bitem. Start bit má log. hodnotu nula. Dále následuje ID neboli arbitrační pole zařízení o délce podle standardu. Dále následuje bit s názvem Remote transmission request. Tento bit slouží k určení, zda data posílá zdroj dat (např. senzor) nebo pokud se jedná o request od přijímacího zařízení (např. mikrontrolér), který si vyžaduje data. Následuje Identifier extension bit který určuje o který standard sběrnice se jedná. Log. nula pro 11-bitové ID, log. jednička pro 29-bitové ID. Další bit je rezervní, musí být vyslán jako log. nula, ale při příjmu na něj není brán ohled. Následují 4 bity, které sdělují délku dat. Poté následují samotná data, která mají délku 8 - 64 bitů. Po datech následuje kontrolní součet CRC který má délku 16 bitů, kde poslední bit musí být v log. jedničce (CRC delimiter). Dále následuje ACK bit. Tento bit vysílací strana musí nechat v log. jedničce, aby přijímací zařízení mohlo vyslat log. nulu. Poté následuje ACK delimiter, který musí být v log. jedničce. Na konec musí být sběrnice minimálně 7 bitů v log. jedničce pro ukončení komunikace. V tu chvíli je sběrnice volná k dalšímu přenosu.[8] Celý protokol je zobrazen na obrázku č. 2.11.



Obrázek 2.11: Přenosový protokol sběrnice CAN [8]



## Kapitola 3

### Návrh řešení

#### 3.1 Řídicí mikrokontrolér

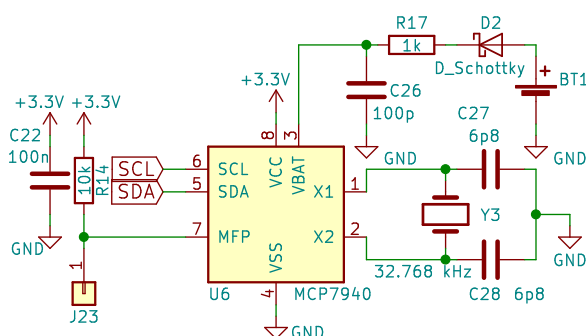
Jako hlavní řídicí mikrokontrolér byl zvolen ST32F103C8T6 v pouzdře LQFP 48. Je to mikrokontrolér architektury ARM Cortex-M3. Jádro M3 disponuje dostatečným výkonem pro danou aplikaci. Výkon dosahuje až 90 DMIPS. Cortex-M3 je harvardské architektury. To znamená, že paměť programu je fyzicky oddělena od paměti dat. Maximální frekvence mikrokontroléru je 72 MHz. Hlavní důvod volby tohoto mikrokontroléru je, že obsahuje hardwarovou podporu všech sériových sběrnic použitých v přípravku. Další důvody jsou snadná dostupnost a nízká cena. Mikrokontrolér je programován pomocí rozhraní SWD.

#### 3.2 Periferie

Přípravek obsahuje 7 periférií. Pomocí sběrnice UART je připojena čtečka RFID. Dále na sběrnici SPI jsou připojeny 2 odlišné paměti. Paměť typu EEPROM a paměť typu RAM. Pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C je připojen teplotní senzor, obvod reálného času (RTC) a paměť typu EEPROM. Na sběrnici CAN je připojen další mikrokontrolér, který po sběrnici posílá data ze senzoru proudu s hallovou sondou.

##### 3.2.1 Obvod reálného času

Periferie reálného času (RTC) je připojena k hlavnímu mikrokontroléru pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C. Tato periferie se využívá v zařízeních, kde je potřeba udržet přesný čas. Výhodou je osvobození mikrokontroléru od udržování času. Také disponuje nízkým příkonem, což dovoluje udržování času pomocí baterie v případě, kdy zařízení nemá připojeno hlavní napájení. Toto jsou jedny z důvodů proč tato periferie našla místo i v tomto přípravku. Byl zvolen čip od firmy Microchip MCP7940N v pouzdře SOIC. Tento čip udržuje čas pomocí vnitřních čítačů pro hodiny, minuty, sekundy, dny, měsíce, roky a dny v týdnu. O zdroj kmitočtu se stará externí krystalový rezonátor o frekvenci 32,768 kHz. Na sběrnici má adresu 1101111<sub>b</sub>.



Obrázek 3.1: Schéma zapojení RTC

Data času a nastavení jsou uloženy v registrech na adresách od 00<sub>h</sub> do 08<sub>h</sub>, jak je uvedeno v tabulce č. 3.1

Aby bylo možné udržet čas i když je přípravek odpojen od napájení je zde jako záložní zdroj použita baterie CR2032. Schottkyho dioda D2 slouží jako ochrana proti vložení baterie opačnou polaritou. Schottkyho dioda disponuje nízkým prahovým napětím. Úbytek napětí na této diodě v propustném směru při nominálním proudu 925 nA je 20 mV. Což je v porovnání s nominálním napětím baterie (3 V) zanedbatelné. Odpor R17 chrání baterii před zkratem. Pokud by z nějakého důvodu došlo ke zkratu pinu VBAT na zem, nepoškodí se baterie, protože tento odpor limituje proud odebíraný z baterie. Při normálním provozu na baterii má tento odpor minimální vliv na pokles napětí. Úbytek napětí na odporu je pouze 925 μV. Což je v porovnání s napěťovým úbytkem na Schottkyho diodě zanedbatelné.

Tabulka 3.1: Uložení času v registrech RTC [11]

Address	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Function	Range	Reset State	
00h	ST	10 Seconds		Seconds		Seconds		Seconds	Seconds	00-59	00h	
01h		10 Minutes		Minutes		Minutes		Minutes	Minutes	00-59	00h	
02h		12/24	10 Hour AM/PM	10 Hour	Hour		Hours		Hours	1-12 + AM/PM 00 - 23	00h	
03h		OSCON	VBAT	VBATEN	Day		Day		Day	1-7	01h	
04h		10 Date		Date		Date		Date	Date	01-31	01h	
05h		LP	10 Month		Month		Month		Month	01-12	01h	
06h		10 Year		Year		Year		Year	Year	00-99	01h	
07h	OUT	SQWE	ALM1	ALM0	EXTOSC	RS2	RS1	RS0	Control Reg.		80h	
08h	CALIBRATION									Calibration		00h
09h	RESERVED – DO NOT USE											

### 3.2.2 Senzor teploty

Byl zvolen čip od firmy Microchip TCN75A v pouzdře SOIC. Tento senzor používá pro komunikaci sběrnici I<sup>2</sup>C. Horní 4 bity adresy jsou fixně dané na hodnotu 1001<sub>b</sub>. Pomocí pinů A0 – A2 se volí poslední 3 bity adresy zařízení. To umožňuje připojení až osmi těchto zařízení na jedné I<sup>2</sup>C sběrnici. Tento senzor je tedy vhodný na vícezónové monitorování teploty.

Senzor má celkem 4 uživatelsky dostupné registry. První registr s označením T<sub>A</sub> (Temperature ambient) na adrese 00<sub>h</sub> je 16-bitový registr obsahující aktuální naměřenou teplotu. Teplota se do tohoto registru nahrává paralelně



z AD převodníku. Jejich uspořádání je vidět v tabulce č. 3.2. Registr je pouze pro čtení. Druhý registr označený CONFIG je, jak již název napovídá, registr sloužící ke konfiguraci senzoru. Umístěn je na adrese 01<sub>h</sub>. Z registru se dá číst i do něj zapisovat. Tímto registrem se dá například nastavit rozlišení AD převodníku, zapnout nebo vypnout senzor a další nastavení alarmů, které ale v přípravku nebudou použity. Uspořádání dat je vidět v tabulce č. 3.3. Další dva registry, umístěné na adresách 02<sub>h</sub> a 03<sub>h</sub>, slouží k nastavení alarmu pro danou teplotu.

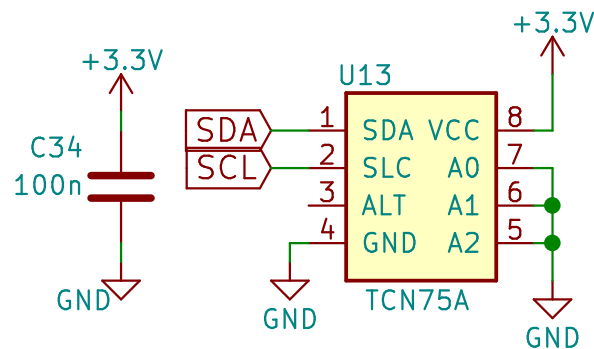
Schéma zapojení je zobrazeno na obrázku č. 3.2. Zapojení je zde opravdu jednoduché. Senzor nepotřebuje žádné dodatečné součástky kromě blokovacího kondenzátoru na napájení. Piny nastavující adresu (A0 – A2) jsou uzemněny. Mají tedy logickou hodnotu 0. Zařízení na sběrnici má tedy adresu 1001000<sub>b</sub>.

**Tabulka 3.2:** Data v T<sub>A</sub> registru [12]

<b>Upper Half:</b>							
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0
Sign	2 <sup>6</sup> °C	2 <sup>5</sup> °C	2 <sup>4</sup> °C	2 <sup>3</sup> °C	2 <sup>2</sup> °C	2 <sup>1</sup> °C	2 <sup>0</sup> °C
bit 15				bit 8			
<b>Lower Half:</b>							
R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0	R-0
2 <sup>-1</sup> °C/bit	2 <sup>-2</sup> °C	2 <sup>-3</sup> °C	2 <sup>-4</sup> °C	0	0	0	0
bit 7				bit 0			
<b>Legend:</b>							
R = Readable bit		W = Writable bit		U = Unimplemented bit, read as '0'			
-n = Value at POR		'1' = Bit is set		'0' = Bit is cleared		x = Bit is unknown	

**Tabulka 3.3:** Data v CONFIG registru [12]

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
One-Shot	Resolution	Fault Queue	ALERT Polarity	COMP/INT	Shutdown		
bit 7				bit 0			
<b>Legend:</b>							
R = Readable bit		W = Writable bit		U = Unimplemented bit, read as '0'			
-n = Value at POR		'1' = Bit is set		'0' = Bit is cleared		x = Bit is unknown	



**Obrázek 3.2:** Schéma zapojení teplotního senzoru

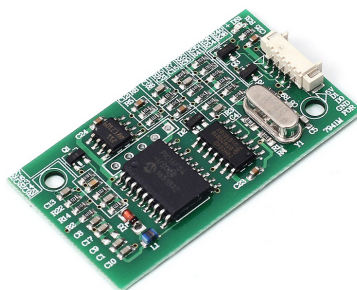
### 3.2.3 Čtečka RFID

Dlouhou dobu byla vybírána periférie na sběrnici UART. Periférie jako GPS modul nepřipadala v úvahu z důvodu použití přípravku v interiéru. Jako další možnost se nabízely různé LCD. Bohužel další LCD by způsoboval nepřehlednost a proto také nepřipadalo v úvahu. Nakonec tedy byla vybrána čtečka RFID karet, která byla zakoupena z Číny přes společnost eBay Inc.

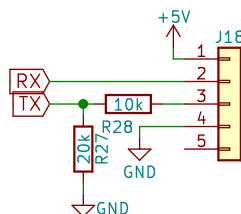
Tato čtečka dokáže číst i zapisovat do karet, které komunikují na frekvenci 13,56 MHz. Tato periférie není integrována v jednom čipu. Jedná se o celý modul obsahující mikrokontrolér PIC16F5X od firmy Microchip, napěťový komparátor LM211, rychlý CMOS invertor 74HC04D, krystalový oscilátor kmitající na frekvenci 13,56 MHz, několik diskretních tranzistorů, pasivů a přibližně 2 závity z mědi na plošném spoji sloužící jako přijímací či vysílací cívka. Tato cívka zprostředkovává komunikaci mezi modulem a kartou. Na modulu je jeden konektor, který přivádí napájení elektronice a zároveň obsahuje datové vodiče RX a TX pro komunikaci.

Schéma zapojení konektoru na plošném spoji přípravku je zobrazeno na obrázku č. 3.4. Odporů R28 a R27 tvoří napěťový dělič. Dělič je umístěn mezi pinem RX modulu a TX mikrokontroléru. Slouží k převodu napěťové úrovně 5 V z modulu na 3,3 V pro hlavní mikrokontrolér. Pro datový přenos opačným směrem není potřeba žádný napěťový převodník, protože 3,3 V z mikrokontroléru stačí pro vybuzení log. 1 v modulu.

Po přečtení dat z RFID tagu jsou data automaticky ihned odeslána. Rychlost přenosu je 9600 Bd. Tabulka č. 3.4 uvádí uspořádání odeslaných dat.



Obrázek 3.3: RFID čtečka [13]



Obrázek 3.4: Schéma zapojení konektoru pro RFID čtečku

Tabulka 3.4: Uspořádání dat vysílaných RFID čtečkou

Description	Start byte	Length in bytes	Card type	Card ID	Stop byte
Number of bytes	1	1	1	5	1

## ■ RFID

Jedná se o technologii identifikace objektů pomocí rádiových vln. Informace je ukládána v elektronické podobě do čipů, karet či tagů, ze kterých se dá informace přečíst či zapsat jiná. S nápadem na vznik této bezdrátové technologie přišla před lety firma WalMart. Myšlenka byla vyvinout takovou technologii, která dokáže objekty identifikovat na větší vzdálenosti. [16] RFID čipy se dělí na aktivní a pasivní. Aktivní čipy potřebují zdroj napájení a jsou schopny samy vysílat svoji identifikaci. Nepoužívají se tak často jako čipy pasivní, protože jsou dražší a složitější na výrobu a z důvodu potřeby vlastního zdroje napájení mají omezenou životnost. Pasivní čipy jsou napájeny samotnou čtečkou. Čtečka generuje střídavé magnetické pole, které se naindukují do cívky umístěné v kartě či tagu. Naindukované napětí nabije kondenzátor, který slouží pro napájení čipu. Ten poté odešle svoje ID. Pasivní čipy také mohou disponovat interní pamětí do které je možné i zapisovat.

### ■ 3.2.4 Paměti

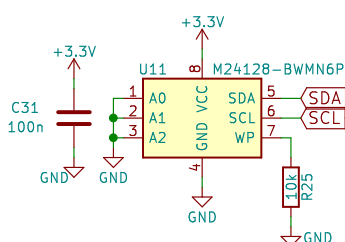
Paměť typu EEPROM nahrazuje svého předchůdce PROM. Tyto paměti jsou typu non-volatile. To znamená, že po odpojení napájení data v této paměti zůstávají uložena. PROM paměti byly mazány pomocí UV světla. Paměť tedy bylo nutné vymazat celou. Dále pro tento proces bylo nutné mít zařízení, které paměť mazalo. S příchodem EEPROM tyto problémy mizí. EEPROM čipy nemusí být vyndány ze zařízení, pokud je potřeba je vymazat. Paměťový prostor nemusí být vymazán celý. Dále není potřeba žádné složité zařízení na mazání či nahrání dat. EEPROM paměti mohou být mazány po jednotlivých bajtech a znovu přeprogramovány. Někteří výrobci uvádí až 1,2 milionů cyklů než dojde k poškození jednotlivých datových buněk. Nevýhodou těchto pamětí je rychlost. Rychlost zápisu či čtení dat je nesrovnatelně pomalejší než u pamětí typu RAM.

Paměti typu RAM se nejčastěji používají v počítačích jako operační paměť z důvodu velké rychlosti zápisu a čtení. Paměť je typu volatile. To znamená, že paměť ztrácí uložená data po odpojení napájení. Paměti RAM se dále dělí na DRAM (Dynamic RAM) a SRAM (Static RAM). Jeden bit paměti DRAM je tvořen kondenzátorem a unipolárním tranzistorem. Elektrický náboj uložený v kondenzátoru představuje log. 1 či log. 0. Tato kapacita se z důvodu různých svodových odporů během pár milisekund vybije. Je tedy nutné paměť každých několik milisekund obnovovat tzv. refresh. Z důvodu jednoduchosti a větší hustotě zaznamenané informace oproti SRAM jsou tyto paměti levnější. Paměti SRAM jsou oproti DRAM rychlejší a nepotřebují refresh. Jeden bit je realizován bistabilním klopným obvodem. Tyto paměti najedeme použité například v procesorech jako cash paměť.

V přípravku jsou celkem 3 paměti. Jedna paměť typu RAM a dvě paměti typu EEPROM. První paměť typu EEPROM je připojena pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C. Zbylé dvě paměti jsou připojené pomocí sběrnice SPI. Dvě paměti typu EEPROM byly použity proto, aby si studenti uvědomili, že způsob připojení i způsob komunikace pro periférii se stejnou funkcí se může lišit.

### ■ Paměť EEPROM na sběrnici I<sup>2</sup>C

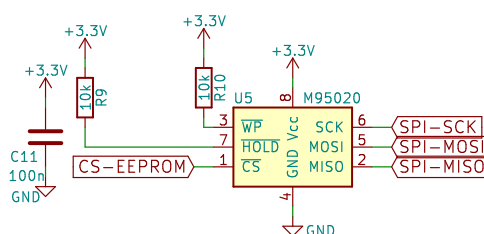
Byl zvolen čip od firmy STMicroelectronics v pouzdře SOIC. Horní 4 bity adresy jsou fixně dané na hodnotu 1010<sub>b</sub>. Pomocí pinů A0 – A2 se volí poslední 3 bity adresy zařízení. To umožňuje připojení až osmi těchto pamětí na jednu I<sup>2</sup>C sběrnici. Paměť má velikost 128 Kbit. Data jsou uspořádány po bajtech a 64 bajtů tvoří jednu stránku. Zápis či čtení se může provádět po jednom bajtu nebo stránce. Adresa paměti je dlouhá 2 bajty a vždy adresuje 1 bajt datového prostoru. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku č. 3.5.



Obrázek 3.5: Schéma zapojení paměti EEPROM na sběrnici I<sup>2</sup>C

### ■ Paměť EEPROM na sběrnici SPI

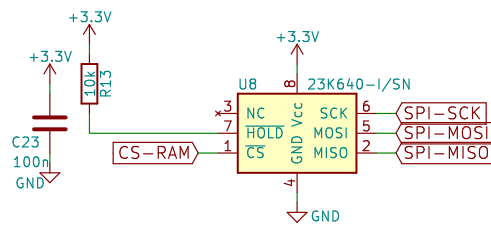
Byl zvolen čip od firmy STMicroelectronics v pouzdře SOIC. Paměť má velikost 2 Kbit. Data jsou uspořádány po bajtech a 16 bajtů tvoří jednu stránku. Zápis či čtení se může provádět po jednom bajtu nebo stránce. Adresa paměti je dlouhá 1 bajt a vždy adresuje 1 bajt datového prostoru. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku č. 3.6.



Obrázek 3.6: Schéma zapojení paměti EEPROM na sběrnici SPI

### ■ Paměť RAM na sběrnici SPI

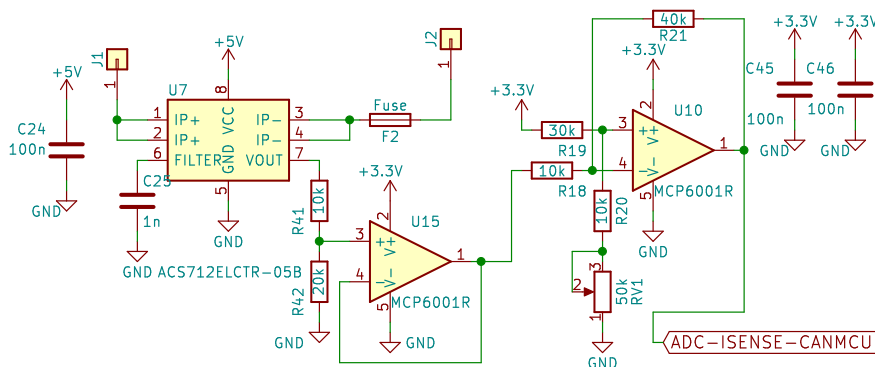
Byl zvolen čip 23K640 od firmy Microchip v pouzdře SOIC. Jedná se o paměť typu SRAM. Paměť má velikost 64 Kbit. Data jsou uspořádány po bajtech a 32 bajtů tvoří jednu stránku. Zápis či čtení se může provádět po jednom bajtu nebo stránce. Adresa paměti je dlouhá 2 bajty a vždy adresuje 1 bajt datového prostoru. Tato paměť vyžaduje před každým zápisem dat zápis dat povolit speciální instrukcí odeslanou před samotným zápisem. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku č. 3.7.



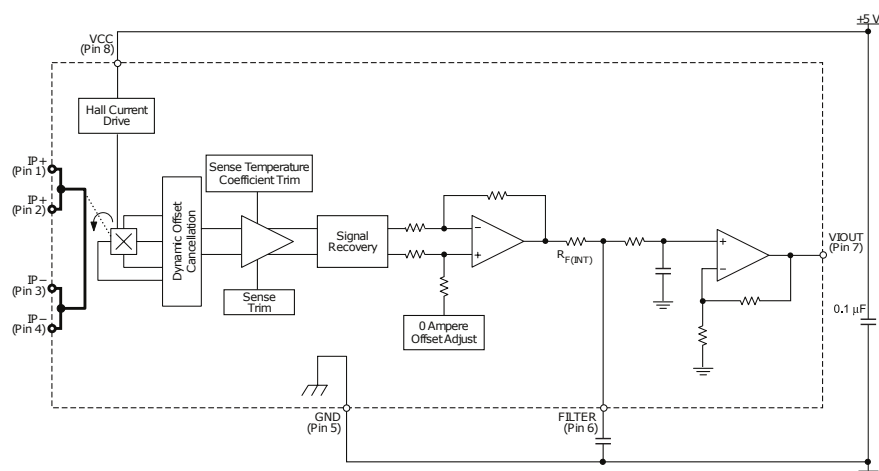
Obrázek 3.7: Schéma zapojení paměti RAM na sběrnici SPI

### 3.2.5 Senzor měření proudu

Tato periferie se skládá z analogového senzoru proudu ACS712ELCTR-05B od firmy Allegro MicroSystems. Tento čip obsahuje Hallův senzor a zesilovač. Výstup ze senzoru je analogový. Pokud neprochází mezi měřicími piny senzoru žádný proud je výstupní napětí rovno polovině napájecího napětí. V tomto případě přibližně 2,5 V. Výstupní napětí má lineární závislost na měřeném proudu se strmostí  $\pm 185 \text{ mV/A}$ . Blokový diagram vnitřního zapojení senzoru je na obrázku č. 3.9. Schéma zapojení je na obrázku č. 3.8. Výstupní napětí ze senzoru je přivedeno na napěťový dělič tvořený odpory R41 a R42. Tento dělič zařizuje, aby se výstupní napětí ze senzoru pohybovalo maximálně do hodnoty 3,3 V. Dále následuje napěťový sledovač, který převádí velkou vstupní impedanci na malou výstupní impedanci k napájení diferenciálního zesilovače. Diferenciální zesilovač zesiluje rozdíl tohoto napětí a napětí, které je možno doladit trimrem RV1. Tímto trimrem se dá tedy doladit offset výstupního napětí, které je dále ovzorkováno AD převodníkem. AD převodník je integrovaný do mikrokontroléru, který se stará o načtení hodnoty proudu a odeslání dat pomocí sběrnice CAN do hlavního řídicího mikrokontroléru.



Obrázek 3.8: Schéma zapojení proudového senzoru

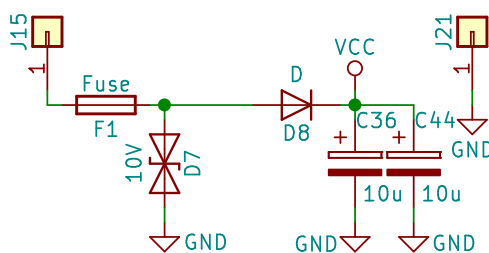


Obrázek 3.9: Blokový diagram proudového senzoru [14]

### 3.3 Ochrana napájecího vstupu

Přípravek má být napájen z laboratorního zdroje. Napájení do přípravku je zajištěno pomocí 4mm banánků. Z tohoto důvodu bylo potřeba zajistit ochranu proti přepólování vstupního napájení a ochranu proti přepětí.

Schéma zapojení je na obrázku č. 3.10. Svorky J15 a J21 jsou napájecí svorky přípravku, kdy J15 je pozitivní terminál a J21 negativní. Ochranu proti přepólování zajišťuje dioda D8, která je zařazena v sérii a propustí proud pouze žádaným směrem. Napěťová ztráta na této diodě nezpůsobí žádné problémy. Pouze zvýší potřebné minimální napájecí napětí přípravku. Přepětovou ochranu zajišťuje kombinace pojistky F1 a transilu D7. Transil byl zvolen na napětí 28 V. Pokud dojde k překročení tohoto napětí, začne transilem protékat nadměrný proud, který přepálí pojistku a dojde tak k odpojení obvodu přípravku od napájení.

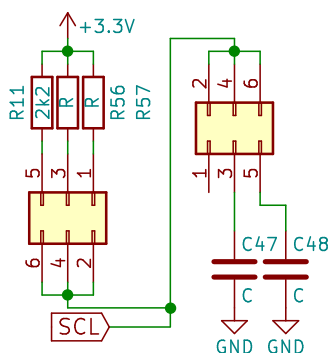


Obrázek 3.10: Schéma zapojení ochrany napájení

### 3.4 Měření kapacitní zátěže sběrnice I<sup>2</sup>C

Pokud dojde k zatížení sběrnice kapacitní zátěží, dojde k snížení rychlosti přeběhu náběžných hran. Kapacitní zátěž přidává každé zařízení, které je na sběrnici připojeno. Také se zde projeví kapacita cest na plošném spoji. Tato kapacitní zátěž se po každém uvolnění sběrnice do logické jedničky musí stihnout nabít přes pull-up rezistory na hodnotu napětí, které odpovídá logické jedničce. Pokud se toto nestane, sběrnice je přetížena a nedojde k přenosu dat. Řešením tohoto problému je volba nižší hodnoty pull-up rezistoru nebo snížení frekvence datového přenosu.

Stav, kdy dojde k přetížení sběrnice, je možno na přípravku simulovat. Pomocí propojek lze měnit velikost pull-up rezistoru na hodinovém signálu sběrnice I<sup>2</sup>C. Dále je také pomocí propojek možno připojit kapacitní zátěž na hodinový signál. Kombinací těchto pasivních součástek jde docílit k přetížení tohoto signálu a jeho hodnota napětí již nevystoupá nad potřebnou hodnotu logické jedničky. Tato funkce má sloužit k tomu, aby si studenti vyzkoušeli, jaký vliv má parazitní kapacita na funkčnost této sběrnice. Schéma je zobrazeno na obrázku č. 3.11.

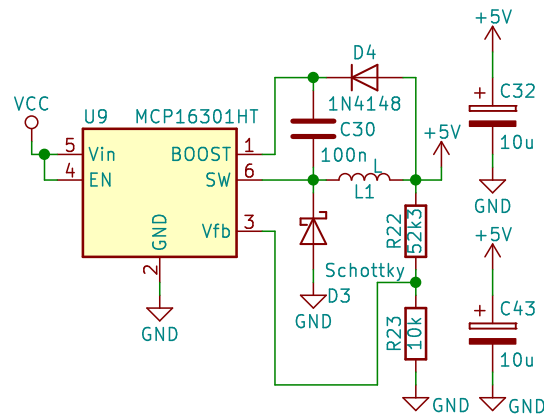


Obrázek 3.11: Schéma zapojení zátěže sběrnice I<sup>2</sup>C

### 3.5 Napájecí zdroj

Napájecí zdroj se skládá z step-down měniče, který převádí napětí přivedené mezi napájecí svorky na napětí 5 V. Toto napětí slouží k napájení displeje, RFID čtečky a senzoru proudu s Hallovou sondou. Byl zvolen čip MCP16301 od firmy Microchip v pouzdře SOT-23. Zdroj je schopen dodat do zátěže až 600 mA. Vstupní napětí zdroje může být v rozsahu od 6 V od 36 V. To byl hlavní důvod volby tohoto zdroje. Spínaný zdroj pracuje na kmitočtu 500 kHz. Podle datasheetu by měla účinnost tohoto zdroje dosahovat až 90 % při maximálním odebíraném proudu. Schéma zapojení je na obrázku č. 3.12

Dále je LDO (low-dropout) regulátor který je napájen z 5 V a vytváří napětí 3,3 V pro napájení ostatní logiky na plošném spoji. Byl zvolen regulátor s označením LD1117ADT33 od firmy STMicroelectronics v pouzdře DPAK (TO-252). Je schopen dodat do zátěže až 1 A. Maximální výkonová zátěž regulátoru dosahuje až 12 W s dostatečným chlazením.



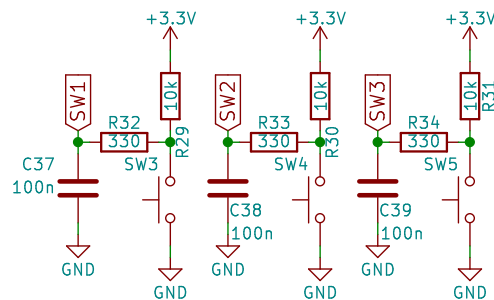
Obrázek 3.12: Schéma zapojení napájecího zdroje

## 3.6 Ovládání

Celý přípravek se dá ovládat pomocí tlačítek. V budoucnu bude také možnost provádět různá nastavení přes počítač pomocí USB konektoru.

### 3.6.1 Tlačítka

Přípravek má dole 3 tlačítka, pomocí kterých se dá celé zařízení ovládat. Levé a pravé tlačítko slouží k posouvání se v menu či nastavování hodnoty. Prostřední tlačítko slouží k potvrzení výběru či přechodu zpět do hlavního menu. Schéma zapojení tlačítek je na obrázku č. 3.13. Kde rezistory R29, R30 a R31 slouží jako pull-upy. Dále vždy kombinace R a C tvoří RC článek, který ošetří zákmity způsobené stiskem tlačítka. Jmenovky SW1, SW2 a SW3 jsou přímo přivedeny na GPIO mikronotroléru.



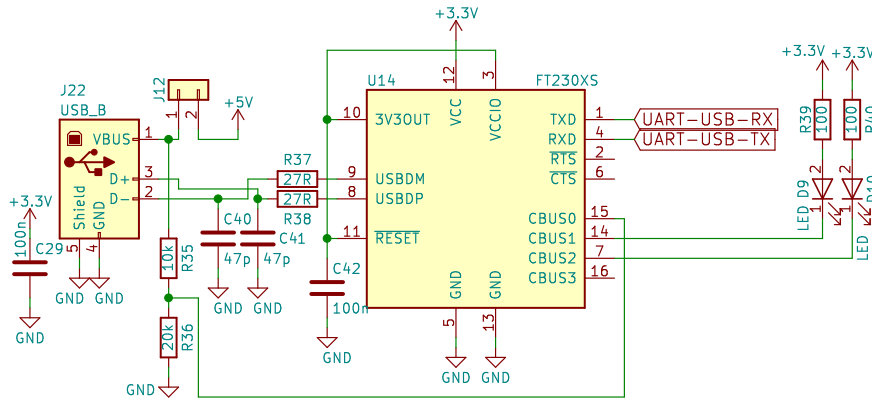
Obrázek 3.13: Schéma zapojení tlačítek

### 3.6.2 USB

Přípravek je možno připojit pomocí USB k počítači. To umožní snadné nastavování a ovládání. Nabízely se hned dvě možnosti jak tuto komunikaci řešit. Buď rovnou pomocí periferie USB, která je integrovaná v mikrokontroléru. Jako další možnost se nabízelo použít převodník USB/UART. Byla zvolena druhá možnost z důvodu jednoduššího softwaru. Periferie UART je mnohem



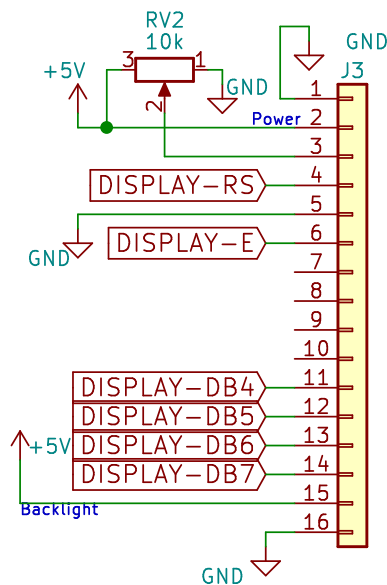
jednodušší na obsluhu než periferie USB. Mikrokontrolér má dvě UART periferie. První je využita čtečkou RFID a druhá je tedy volná na připojení tohoto převodníku USB/UART. Byl zvolen čip FT230X od firmy FTDI Chip v pouzdře SSOP. Jedná se o čip s optimalizovaný počtem pinů pro menší konstrukce desek plošných spojů. Schéma zapojení je na obrázku č. 3.14.



Obrázek 3.14: Schéma zapojení USB/UART převodníku

## 3.7 Displej

Pro zobrazení informací byl vybrán alfanumerický LCD, který byl zakoupen z Číny přes společnost eBay Inc. Jedná se o dvouřádkový displej, kde na každý řádek se vejde až 16 znaků. Připojen je pomocí paralelní sběrnice. Displej používá driver HD44780. Schéma zapojení konektoru je na obrázku č 3.15.



Obrázek 3.15: Schéma zapojení konektoru pro displej



## Kapitola 4

### Realizace

V této kapitole je popsán návrh plošného spoje, 3D tisk potřebných součástí a software.

#### 4.1 Plošný spoj

Plošný spoj jsem navrhoval v programu KiCad. Jednalo se o můj první návrh plošného spoje v tomto programu a také první návrh takovéto úrovně složitosti. Verze plošných spojů vznikly celkem dvě. První jako prototyp na odladění případných chyb a nedostatků. Druhá verze je finální, která by měla být reálně použita. Obě verze jsem nechal vyrobit společností ALLPCB.com.

#### KiCad

KiCad je sada open source aplikací sloužící k návrhu plošného spoje. Obsahuje aplikaci na tvorbu elektronických schémat, tištěného spoje a další podpůrné aplikace. V návrhu elektronických schémat se dá vytvořit jakékoli schéma zapojení. K dispozici jsou balíčky se součástkami, které obsahují většinu potřebných součástí. V aplikaci PCB Layout se dá vytvořit samotný plošný spoj. Aplikace disponuje funkcemi jako automatické uskakování cest či routování diferenciálních párů a interaktivní přizpůsobování délky cest. KiCad běží na platformách Windows, Linux a Mac. Na internetu se dá najít spousta návodů jak s tímto softwarem pracovat. Mezi jeho hlavní výhody patří kompatibilita dat mezi různými operačními systémy, také se dají schematickým značkám přiřadit různá pouzdra součástí a to i tehdy, kdy se pracuje již s konečným návrhem desky. [15]

#### 4.1.1 Verze č.1

V přílohách na obrázku č. B.3 je zobrazena první verze plošného spoje. Šířka datových cest byla zvolena na 0,25 mm z důvodu úspory místa na plošném spoji. Pro napájecí cesty byla použita tloušťka od 0,4 mm po 1,5 mm. Displej byl umístěn do horní části. Napájení a konektory sloužící pro připojení měřicích přístrojů našly svoje místo po pravé straně. První dvě zdířky na banánky slouží k napájení přípravku a spodní dva náleží periférii,

kteřá měří proud mezi těmito zdířkami. Konektory na programování jsou pod displejem společně s dvěma přepínači, které slouží k zapnutí či vypnutí displeje a podsvícení. Uprostřed dole jsou umístěny ovládací tlačítka a na levé straně jsou všechny periferie, kde velkou část zabírá čtečka RFID tagů. Vedle konektorů pro připojení logického analyzátoru se nachází hlavní řídicí mikrokontrolér. Nad tímto mikrokontrolérem se dále nachází analogová část měření proudu a nad ní je druhý mikrokontrolér, který je součástí periferie připojené po sběrnici CAN. V této verzi je USB umístěno na spodní straně plošného spoje vlevo od tlačítek. Vedle konektorů pro připojení logického analyzátoru se nachází hlavní řídicí mikrokontrolér.

Na druhé straně plošného spoje se nacházejí části přípravku, které přímo student nepotřebuje vidět. Jako například v horní části se nachází ochrana napájecích vstupů a spínaný napájecí zdroj. V pravé části je umístěna baterie, která slouží k napájení periferie RTC, která udržuje aktuální čas. Dále se zde nachází 2 trimry. První, který je umístěn nahoře u konektoru na LCD, slouží k nastavení kontrastu displeje. Druhý, který je přibližně uprostřed plošného spoje, patří k periférii, co měří proud. V dolní části je také umístěn integrovaný obvod sloužící jako převodník USB/UART. Zadní strana je v přílohách na obrázku B.4.

#### ■ 4.1.2 Verze č.2

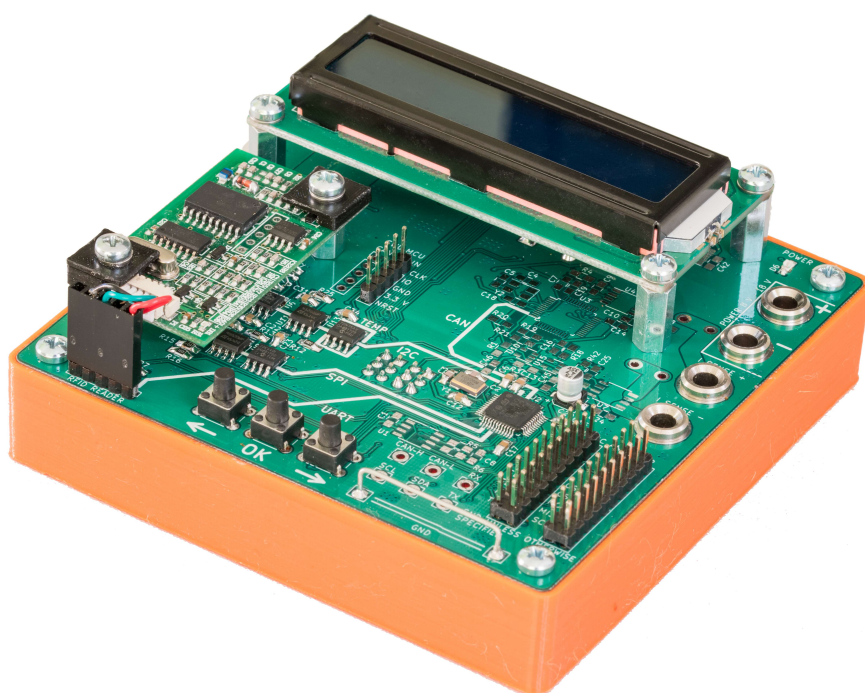
Druhá verze plošného spoje je zobrazena v přílohách na obrázku č. B.5. V této verzi došlo k úpravě několika věcí. Zepředu byl konektor USB posunut pod displej z důvodu úspory místa. Jeho místo nahradily zdířky na očka, na které se dá snadno připojit sonda osciloskopu. Dále byly odstraněny přepínače na vypínání displeje a podsvícení. Nejsou vůbec potřeba. Displej se používá stále, proto ho není potřeba vypínat. Bez podsvícení je displej nečitelný, proto byl odebrán i tento přepínač. Od první verze přibyly přehledné popisky konektorů a označení sběrnic na potisku.

Druhá strana je v přílohách na obrázku č. B.6. Na druhé straně přibyla propojka, pomocí které se dá zvolit napájení z USB místo banánků. Dále přibyly konektory pro možnost volby zátěže hodin sběrnice I<sup>2</sup>C. Také byl lehce pozměněn layout napájecího spínaného zdroje. Tím bylo dosaženo nižší amplitudy střídavé složky výstupního napětí.

Celý osazený přípravek je na obrázku č. 4.1.

## ■ 4.2 3D tisk

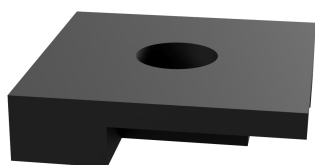
Celý plošný spoj přípravku sedí v rámečku, který je již použit ve více přípravcích. Rámeček je vytištěn na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK2. Model rámečku je vidět na obrázku č. 4.2. Dále jsem pomocí programu Autodesk Fusion 360 vymodeloval distanční podložky pod šrouby RFID čtečky. Součástky na plošném spoji jsou moc blízko díře na šroub, který by je zkratovával. Model podložek je na obrázku č. 4.3.



**Obrázek 4.1:** Osazený přípravek



**Obrázek 4.2:** Rámeček



**Obrázek 4.3:** Distační podložka pod šroub

## ■ Original Prusa i3 MK2

Original Prusa i3 MK2 je tiskárna firmy Prusa Research s.r.o. Tato tiskárna disponuje pracovní plochou 25 cm x 21 cm x 20 cm. Tryska má tloušťku 0,4 mm a minimální tloušťka vrstvy je 0,05 mm. Tisková struna má tloušťku 1,75 mm. Tiskárna má plně automatickou kalibraci tiskové plochy a automatickou kompenzaci nepřesně složených os tiskové plochy. Mezi podporované materiály patří PLA, ABS, PET a další.

## ■ 4.3 Program

Vybraný mikrokontrolér jsem programoval pomocí rozhraní SWD, ke kterému se připojí programátor ST-Link v2.

Nejdříve jsem pomocí STM32CubeMX nastavil kmitočty jádra a periferií mikrokontroléru. Jednotlivým periferiím, obsluhující sběrnice, jsem přiřadil příslušné piny. Dále jsem nastavil všechny vstupně výstupní GPIO piny, například vstupní piny pro tlačítka na ovládání a výstupní piny na obsluhu displeje. Poté jsem nastavil potřebné parametry sběrnic. Nakonec jsem pomocí programu vygeneroval kód pro vývojové prostředí Keil  $\mu$ Vision.

Ve vývojovém prostředí Keil  $\mu$ Vision jsem psal celý program. Tento program obsahuje knihovny STM32Cube HAL, které program využívá výhradně k obsluze vnitřních periferií. Pro každou periferii připojenou přes různé sběrnice byla vytvořena knihovna na její obsluhu. Vše je ovládáno pomocí jednoduchého menu systému. Ve funkci main se pak točí smyčka, ve které se tento menu systém obsluhuje.

### ■ ST-Link v2

ST-Link v2 je debugger a programátor pro obvody mikrokontrolérů STM8 a STM32. Pro komunikaci s jakýmkoliv mikrokontrolérem se používají rozhraní SWD a JTAG. Programátor podporuje širokou škálu počítačového softwaru, kde je důležitý hlavně Keil  $\mu$ Vision.[18]

### ■ STM32CubeMX

STM32CubeMX je aplikace, která usnadňuje vývoj programu pro mikrokontroléry ST. Jedná se o grafický nástroj pro konfiguraci softwaru, který umožňuje vytvářet inicializační kód C pomocí grafického průvodce. Program obsahuje komplexní STM32Cube, dodávané podle řady mikrokontrolérů STM32 (například STM32CubeF1 pro řadu STM32F1). Tyto balíky zahrnují STM32Cube HAL zajišťující maximální přenositelnost v portfoliu STM32 a další. Všechny vestavěné softwarové nástroje jsou dodávány s celou řadou příkladů.[19]

### ■ Keil $\mu$ Vision

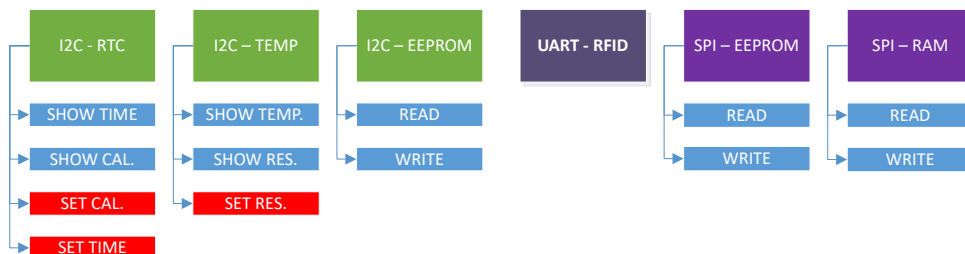
Keil  $\mu$ Vision IDE slouží k vytváření či úpravě zdrojového kódu, ladění programu pomocí debuggeru, správu projektu a další. Prostředí je přehledné a

umožňuje rychlý vývoj softwaru. Program  $\mu$ Vision podporuje více obrazovek a umožňuje nastavit rozvržení jednotlivých oken kdekoli na obrazovkách. Prostředí debuggeru umožňuje testovat, ověřovat a optimalizovat kód aplikace. Debugger obsahuje funkce, jako například použití breakpointů, oken sledování a různé krokování.[20]

### 4.3.1 Menu systém

Přípravek obsahuje jednoduchý menu systém, který slouží k výběru periferie se kterou se bude komunikovat. Diagram menu systému je na obrázku č. 4.4. Zeleně jsou označeny položky pro obsluhu periferií na sběrnici I<sup>2</sup>C, tmavě modře na sběrnici UART a fialově na sběrnici SPI (Sběrnice CAN zatím není zakomponována). Menu systém má dva režimy oprávnění (student a učitel). Po připojení napájení přípravku se automaticky menu nastaví do režimu studenta, to znamená, že uživatel má přístup pouze k modře označeným položkám v menu. Do učitelského režimu oprávnění se dostane tak, že zároveň s připojením napájení je potřeba držet stisknuté levé a pravé tlačítko. Přepnutí do tohoto režimu je indikováno na displeji zprávou "Teacher mode". V tomto režimu jsou pak přístupné modré i červené položky menu systému. Pro přechod zpět na hlavní menu slouží dlouhé podržení tlačítka OK (cca 750 ms). Tato možnost nefunguje v menu systému, ale pouze až při samotné komunikaci s periferiemi. Další možnost přechodu do hlavního menu je odpojení a znovupřipojení napájení.

Další podkapitoly popisují jednotlivé položky v menu. Každé podmenu souvisí s periferií která byla vybrána z hlavního menu.



Obrázek 4.4: Menu systém

### I<sup>2</sup>C - RTC

Po vybrání možnosti "SHOW TIME" dojde k zobrazení času, který je udržován periferií RTC. Komunikace probíhá opakovaně a je hned vypisována na displej. Komunikaci lze tedy snadno zachytit pomocí logického analyzátoru.

Možnost "SHOW CALIBRATION" vyžádá od periferie hodnotu kalibračního registru a přepočítá tuto hodnotu na počet impulzů, které se odečtou či přičtou každou minutu k času (TPM). Jednoduchým výpočtem se dá dopočítat, jak velký časový úsek se každou minutu přičítá či odečítá. Krátkým stiskem tlačítka OK dojde k opětovnému odeslání požadavku po sběrnici. Tato

možnost slouží k tomu, aby se dalo snadno znovu zachytit danou komunikaci na logickém analyzátoru.

Další možnost "SET CALIBRATION" umožňuje uživateli nastavit hodnotu kalibračního registru. Údaj se zadává opět v TPM a je poté přepočítán a odeslán do periferie.

Poslední možnost "SET TIME" slouží k nastavení času periferie. Uživatel je postupně tázán, aby zadal jednotlivé položky od roku po sekundy. Po stisku OK u položky sekund se čas nastaví a zapne čítání hodin.

## ■ I2C - TEMP

Po vybrání možnosti "SHOW TEMPERATURE" dojde k zobrazení aktuální teploty z periferie teplotního čidla. Komunikace probíhá opakovaně a je hned vypisována na displej. Komunikaci lze tedy snadno zachytit pomocí logického analyzátoru.

Možnost "SHOW RESOLUTION" vyžádá od periferie hodnotu registru, kde je uloženo aktuálně nastavené rozlišení. Hodnota registru je poté převedena na rozlišení v °C a je zobrazena na displej. Krátkým stiskem tlačítka OK dojde k opětovnému odeslání požadavku po sběrnici.

Poslední možnost "SET RESOLUTION" slouží k nastavení rozlišení teplotního senzoru. Uživatel má na výběr ze čtyř hodnot rozlišení v °C. Vybrané rozlišení je pak převedeno na hodnotu 0 - 3 a odesláno do periferie.

## ■ UART - RFID

Po vybrání této položky přípravek čeká na přiložení RFID tagu. Po přiložení je na displeji vypsána hodnota ID karty. Pro opětovné zachycení komunikace stačí přiložit kartu znovu na čtečku.

## ■ I2C - EEPROM, SPI - EEPROM, SPI - RAM

Pro všechny paměti je ovládání totožné.

Po vybrání možnosti "READ FROM MEMORY" je uživatel tázán na adresu (od 0 do 255). Po stisknutí tlačítka OK dojde k vypsání adresy a dat na displej. Krátkým stiskem tlačítka OK dojde k opětovnému odeslání požadavku po sběrnici. Možnost "WRITE TO MEMORY" se uživatele dotáže na adresu (od 0 do 255) kam data uložit. Poté se dotáže na samotná data (od 0 do 255). Po stisku tlačítka OK dojde k zapsání dat do paměti. Krátkým stiskem tlačítka OK dojde k opětovnému odeslání požadavku po sběrnici.



## Kapitola 5

### Oživení a testování

Plošný spoj byl vždy osazován postupně, aby bylo možné otestovat funkčnost jednotlivých částí. Jako první se osazoval zdroj napájení. Po otestování zdroje se osadil mikrokontrolér a periferie na sběrnících I<sup>2</sup>C a SPI. Dále následovaly konektory a pasivní součástky. Z časových důvodů nedošlo k osazení a otestování periferie na sběrnici CAN. Dále se plošný spoj omyl od smáčedla v alkoholu a následně umyl proudem vody. Po vysušení plošného spoje se osadily tlačítka. Dále následovalo usazení plošného spoje do rámečku a našroubování distančních sloupků pro displej a RFID čtečku. Dále, po kompletním osazení, se do mikrokontroléru nahrál program. Nakonec došlo k otestování všech periférií pomocí logického analyzátoru RIGOL MSO2202A.

Při testování napájecího zdroje byla změřena jeho účinnost. Graf závislosti účinnosti na výstupním proudu je zobrazen v přílohách na obrázku č. B.2.

Dále byla změřena spotřeba celého přípravku při různém napájecím napětí. Data jsou v tabulce č. 5.1. Dále došlo k změření maximálního odebíraného proudu při připojení maximálního napájecího napětí (18 V). Do cesty k napájení byl zařazen snímací odporový normál o hodnotě 1 Ω. Napětí na tomto odporu bylo měřeno pomocí osciloskopu. Průběh proudu je vidět v přílohách na obrázku č. B.1. Z těchto dat byla zvolena hodnota skleněné pojistky na 440 mA a typ fast.

**Tabulka 5.1:** Odběr celého přípravku při různém napájecím napětí

$U_{IN}$ [V]	$I_{IN}$ [mA]
8	59,1
10	49,3
12	41,8
15	34,7
18	29,5

U druhé verze plošného spoje se odhalila softwarová chyba v obsluze sběrnice I<sup>2</sup>C, která se z důvodu nepřesnosti pull-up rezistorů v první verzi neprojevila. Při zapnutí napájení mikrokontroléru se na sběrnici, při inicializaci této periferie vygeneruje startovní podmínka. Periferie tedy nastaví BUSY flag bit, protože nepřišla ukončovací podmínka. To znamená, že mikrokontrolér nikdy komunikaci nezahájí. Když dojde k manuálnímu vymazání toho bitu,

periferie tento bit opět při pokusu o komunikaci zpět nastaví. Při správné kombinaci pull-up rezistorů k vygenerování startovní podmínky nedojde, to ovšem není přijatelné, když se na sběrnici chce měřit její kapacitní zatížení a podobně. Při hledání daného problému bylo zjištěno, že toto řeší spousta lidí. Bohužel ani jedno nabízené řešení nepomohlo. Po dlouhém testování a měření se došlo k závěru, že je potřeba napsat vlastní obsluhu této periferie. To bohužel z časových důvodů teď není možné. Tento problém také znemožnil otestovat zatěžování periferie kapacitní zátěží.

## 5.1 Naměřená data přenosu komunikace

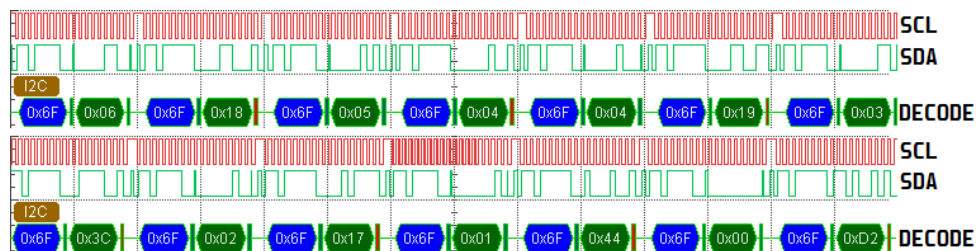
V této kapitole jsou vysvětlena naměřená data z logického analyzátoru RIGOL MSO2202A. Podkapitoly ukazují, jak probíhá komunikace s jednotlivými periferiemi. Veškerá komunikace byla zachycena z funkční první verze.

Sběrnice I<sup>2</sup>C běží na standardní frekvenci 100 kHz. Přenosová rychlost sběrnice UART je nastavena na 9600 Bd. Sběrnice SPI je nastavena na rychlost 281,25 KBit/s.

Na obrázcích komunikace po sběrnici I<sup>2</sup>C je modře vždy zobrazena adresa zařízení a zeleně přenášená data. Malé zelené obdélníky naznačují ACK a červené NACK (not Acknowledge). Bit R/W je naznačen textem před adresou ("Read:" nebo "Write:"). Toto se z důvodu množství dat u periferie RTC nezobrazuje.

### RTC na sběrnici I<sup>2</sup>C

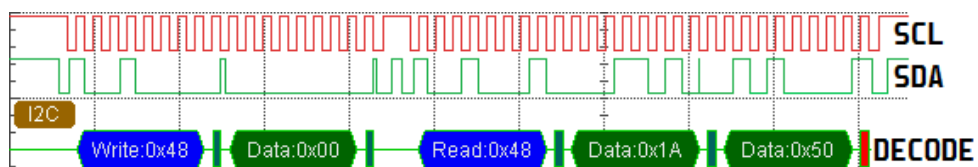
RTC má na sběrnici adresu 6F<sub>h</sub>. Na obrázku č. 5.1 je zobrazena komunikace po sběrnici, kde dochází k postupnému čtení dat z registrů RTC. Od registru 06<sub>h</sub> po registr 00<sub>h</sub>. Z komunikace je vidět, že nejdříve dojde mastrem k odeslání adresy zařízení, kterou následuje bit R/W nastavený do logické nuly (zápis dat). Slave reaguje bitem ACK. Dále master odešle adresu registru, ze kterého se mají data číst. Slave ukončí komunikaci ACK bitem a připraví si data na odeslání. Master opět vyšle adresu zařízení, kterou následuje bit R/W nastavený do logické jedničky (čtení dat). Slave opět odpovídá bitem ACK, odešle připravená data a ukončí komunikaci bitem NACK. Tento celý proces se opakuje pro každý registr. To jak jsou data v registrech uložena, je zobrazeno v tabulce č. 3.1.



Obrázek 5.1: Čtení dat hodin z periferie RTC na sběrnici I<sup>2</sup>C

### ■ Teplotní senzor na sběrnici I<sup>2</sup>C

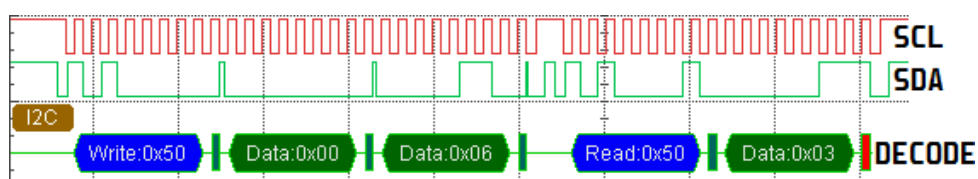
Teplotní senzor má na sběrnici adresu 48<sub>h</sub>. Na obrázku č. 5.2 je zobrazena komunikace po sběrnici, kdy mikrokontrolér žádá data z registru T<sub>A</sub>. Postup získání dat z toho registru je obdobný k příkladu uvedenému u periférie RTC pouze s rozdílem, že data jsou dlouhá 2 bajty.



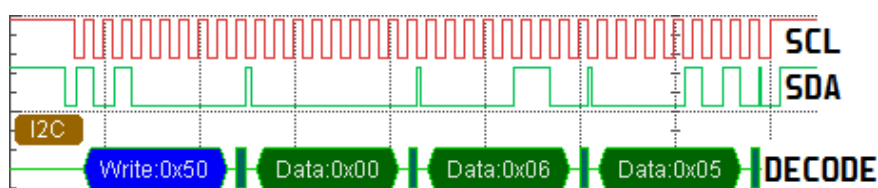
Obrázek 5.2: Komunikace s teplotním senzorem po sběrnici I<sup>2</sup>C

### ■ Paměť EEPROM na sběrnici I<sup>2</sup>C

Paměť EEPROM má na sběrnici adresu 50<sub>h</sub>. Na obrázku č. 5.3 je zobrazena komunikace po sběrnici, kdy mikrokontrolér žádá data z paměti. Postup čtení dat je opět obdobný k příkladu uvedenému u RTC, pouze je nahrazena adresa registru adresou v paměti, která je dlouhá 2 bajty. Na obrázku 5.4 je zápis dat do paměti. Adresu a bit R/W následuje adresa pozice v paměti o délce 2 bajty. Jako poslední se odešlou samotná data. Slave za každým bajtem odpovídá bitem ACK.



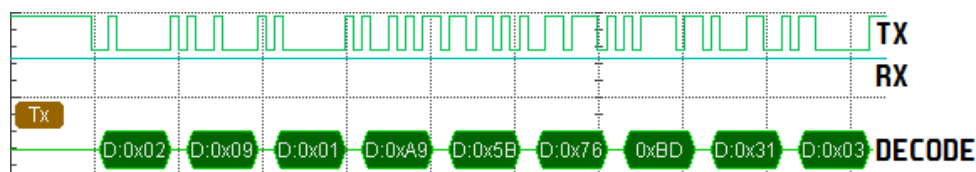
Obrázek 5.3: Čtení dat z paměti EEPROM na sběrnici I<sup>2</sup>C



Obrázek 5.4: Zápis dat do paměti EEPROM na sběrnici I<sup>2</sup>C

### Čtečka RFID na sběrnici UART

Čtečka po přečtení RFID tagu ihned odešle data po sběrnici. Na obrázku č. 5.5 je celá komunikace zobrazena. Jako první dojde k odeslání start bajtu (02<sub>h</sub>). Další bajt obsahuje délku celých dat v bajtech (v tomto případě 09<sub>h</sub>). Dále následuje bajt označující typ karty (01<sub>h</sub>). Poté následuje ID tagu (o délce 5 bajtů) a na konec stop bajt (03<sub>h</sub>).

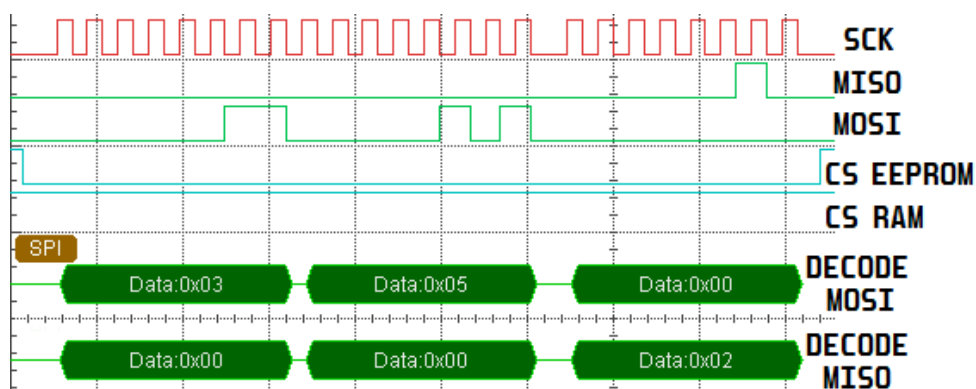


Obrázek 5.5: Data z čtečky RFID na sběrnici UART

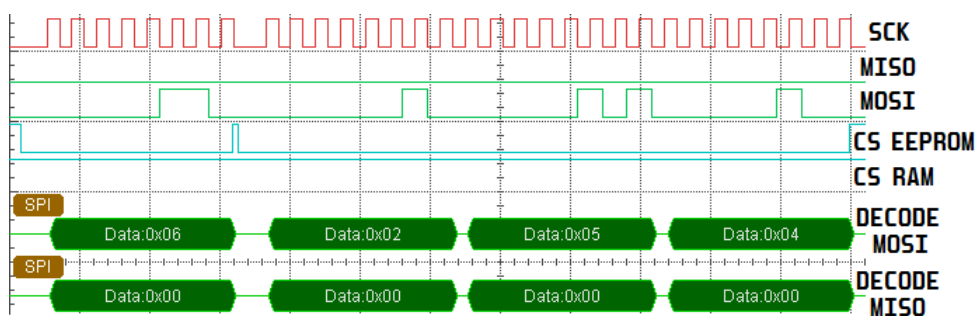
### Paměť EEPROM na sběrnici SPI

Čtení dat z paměti je na obrázku 5.6. Komunikace začíná stažením příslušného CS do logické nuly. Dále dojde ke spuštění hodinového signálu SCK. Na vodiči MOSI začne master vysílat data. První bajt je instrukce čtení dat (03<sub>h</sub>), která sděluje paměti, že master bude data číst. Poté následuje adresa paměťového místa. Dále paměť na vodiči MISO odešle data uložená na příslušném místě. Master ukončí komunikaci vypnutím hodinového signálu a vrácením CS do logické jedničky.

Zápis dat do paměti je na obrázku 5.7. U této paměti je nutné před každým zápisem dat samotný zápis povolit. Nejdříve tedy dojde k odeslání této instrukce (06<sub>h</sub>). Dále se pošle instrukce zápisu dat, kterou následuje adresa paměťového místa a samotná data.



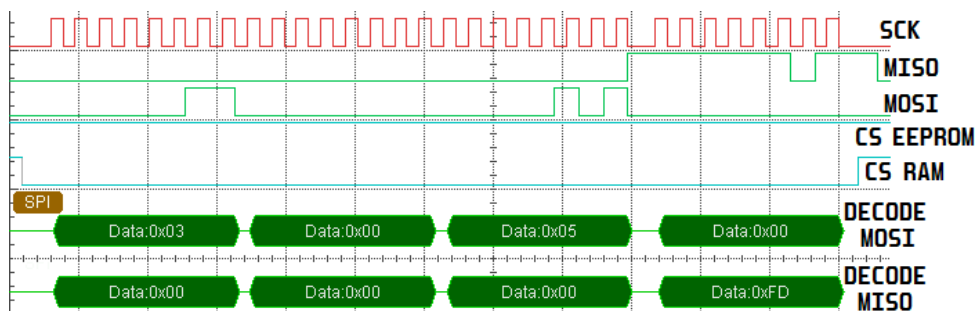
Obrázek 5.6: Čtení dat z paměti EEPROM na sběrnici SPI



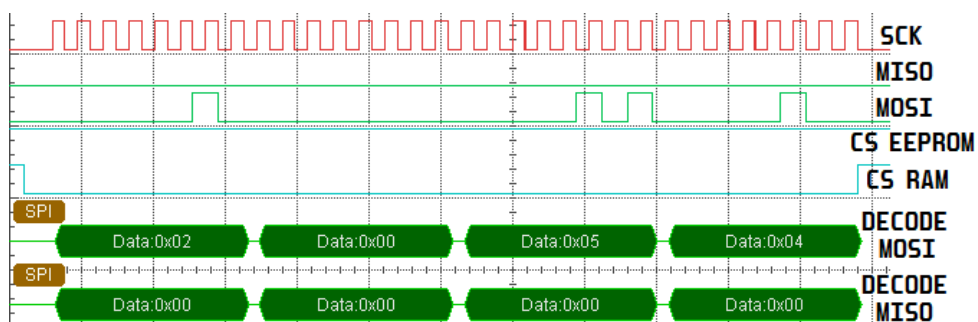
Obrázek 5.7: Zápis dat do paměti EEPROM na sběrnici SPI

### ■ Paměť RAM na sběrnici SPI

Komunikace s touto sběrnici je stejná jako komunikace s pamětí EEPROM na sběrnici SPI. Jsou zde pouze dva rozdíly. Adresa datového prostoru má délku 2 bajty a při zápisu dat není potřeba povolovat zápis pomocí speciální instrukce. Čtení dat z paměti je na obrázku 5.8 a zápis na 5.9.



Obrázek 5.8: Čtení dat z paměti RAM na sběrnici SPI



Obrázek 5.9: Zápis dat do paměti RAM na sběrnici SPI



## Kapitola 6

### Závěr

Cílem této práce je konstrukce výukového přípravku pro střední školu na měření sériových sběrnic. Přípravek obsahuje hlavní řídicí mikrokontrolér a několik periférií, které komunikují po čtyřech různých sériových sběrnících (I<sup>2</sup>C, SPI, UART, CAN). Tato komunikace je vyvedena na konektory pro připojení logického analyzátoru Rigol MSO2202A či osciloskopu.

První verze přípravku obsahovala pouze drobné chyby, které byly do druhé verze plošného spoje opraveny. Bohužel u druhé verze se vyskytl problém, který nebyl zachycen u verze první. Před reálným použitím tohoto přípravku je nezbytné tuto chybu odstranit. Tento problém a návrh jeho řešení je popsán v kapitole 5. Dále nebyla osazena a odzkoušena část se sběrnící CAN, která nebyla součástí zadání. Tato sběrnice je komplikovanější a pravděpodobně se nebude na škole ani měřit. Přípravek je připraven na její možnou implementaci.

Přes uvedené problémy se podařilo naměřit veškerou komunikaci, po sběrnících I<sup>2</sup>C, SPI a UART, pomocí logického analyzátoru z první verze plošného spoje. Je tedy teď možné sestavit zadání měřicí úlohy.

Přípravek obsahuje více sběrnic. To může vést k nepřehlednosti pro studenty střední školy. Kdyby byl přípravek navrhován znova, došlo by k rozdělení jednotlivých sběrnic na samostatné přípravky. Došlo by tak ke zlepšení přehlednosti jak po stránce hardwarové, tak i z hlediska ovladatelnosti a tím pádem by přípravky byly více názorné. Toto řešení by zvedlo výslednou cenu přípravku, protože by bylo potřeba udělat více plošných spojů a bylo by potřeba více součástek.







## Literatura

- [1] History of the I2C Bus. EmSA [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.esacademy.com/en/library/technical-articles-and-documents/miscellaneous/i2c-bus/general-introduction/history-of-the-i2c-bus.html>
- [2] I2C. SparkFun Electronics [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c>
- [3] I2C-bus specification and user manual [online]. 4 April 2014 [cit. 2018-05-21]. DOI: UM10204. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>
- [4] Externí sériové sběrnice SPI a I2C. Root.cz [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/>
- [5] HIENZSCH, Dan. SPI Basics. Rheingold Heavy [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://rheingoldheavy.com/spi-basics/>
- [6] Daisy-Chaining SPI Devices. Maxim Integrated [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/3947>
- [7] CO JE TO CAN BUS?. Autoalarmy.cz [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.autoalarmy.cz/clanky/co-je-to-can-bus.html>
- [8] CAN bus. Wikipedia [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus)
- [9] Introduction to the Controller Area Network (CAN) [online]. August 2002–Revised May 2016 [cit. 2018-05-21]. DOI: SLOA101B. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>
- [10] DUDÁČEK, K. Sériová rozhraní SPI, Microwire, I2C a CAN [online]. 2002 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: [http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova\\_rozhrani.pdf](http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhrani.pdf)
- [11] Microchip: MCP7940N [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005010F.pdf>

- [12] Microchip: TCN75A [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21935D.pdf>
- [13] EBay Inc. [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/>
- [14] Allegro MicroSystems: ACS712 [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.allegromicro.com/media/files/datasheets/acs712-datasheet.ashx>
- [15] KiCad EDA [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://kicad-pcb.org/>
- [16] RFID Portal [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: [https://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid\\_obecne](https://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid_obecne)
- [17] Yiu, J.: The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors Third Edition, Elsevier, 2014
- [18] ST-LINK/V2. STMicroelectronics [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.st.com/en/development-tools/st-link-v2.html>
- [19] STM32CubeMX. STMicroelectronics [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>
- [20]  $\mu$ Vision IDE. Arm KEIL [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://www2.keil.com/mdk5/uvision/>
- [21] Záhlava, V.: Návrh a konstrukce desek plošných spojů, BEN, Praha, 2011

# Příloha A

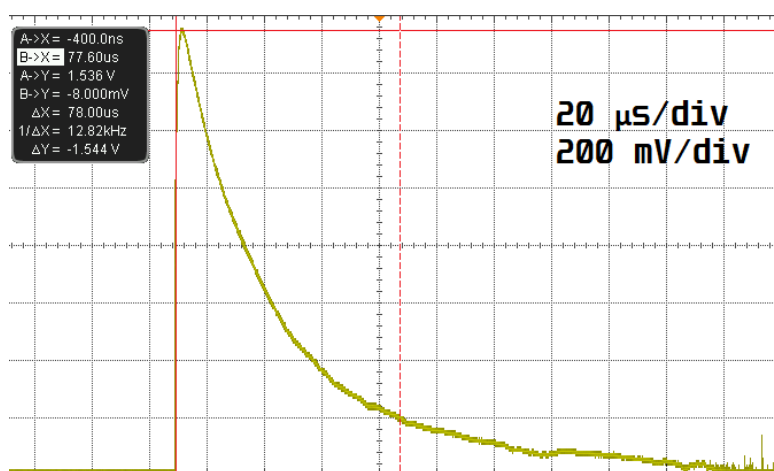
## Seznam zkratek

Zkratka	Celý název
ACK	Acknowledge
AD	Analogově Digitální
CAN	Controller Area Network
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
CPHA	Clock Phase
CPOL	Clock Polarity
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Chip Select
DMIPS	Dhrystone Million Instructions Per Second
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GPS	Global Positioning System
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
LCD	Liquid Crystal Display
LDO	Low-dropout regulator
LSB	Least Significant Bit
MISO	Master Out, Slave In
MOSI	Master In, Slave Out
PCB	Printed Circuit Board
RAM	Random Access Memory
RFID	Radio Frequency Identification
RTC	Real-Time Clock
RX	Receive
R/W	Read or Write
SCK	Serial Clock
SCL	Serial Clock
SDA	Serial Data
SPI	Serial Peripheral Interface
SWD	Serial Wire Debug
TTL	Transistor-Transistor Logic
TX	Transmit
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter
USB	Universal Serial Bus

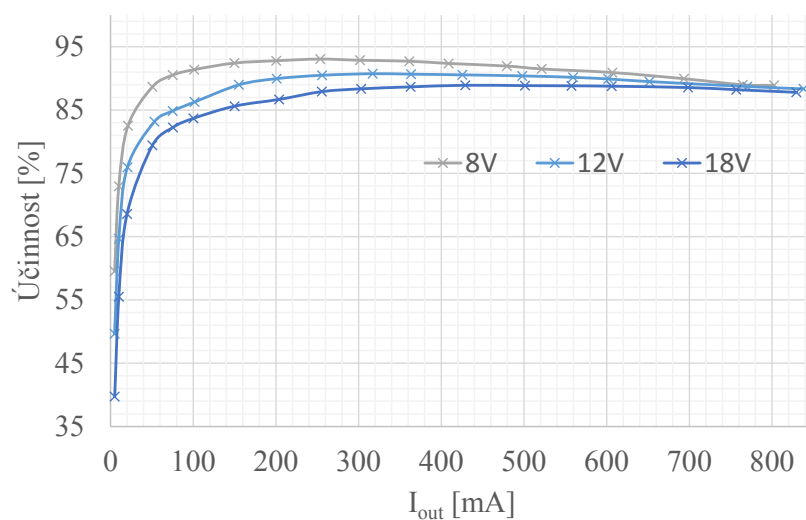


## Příloha B

### Obrázky



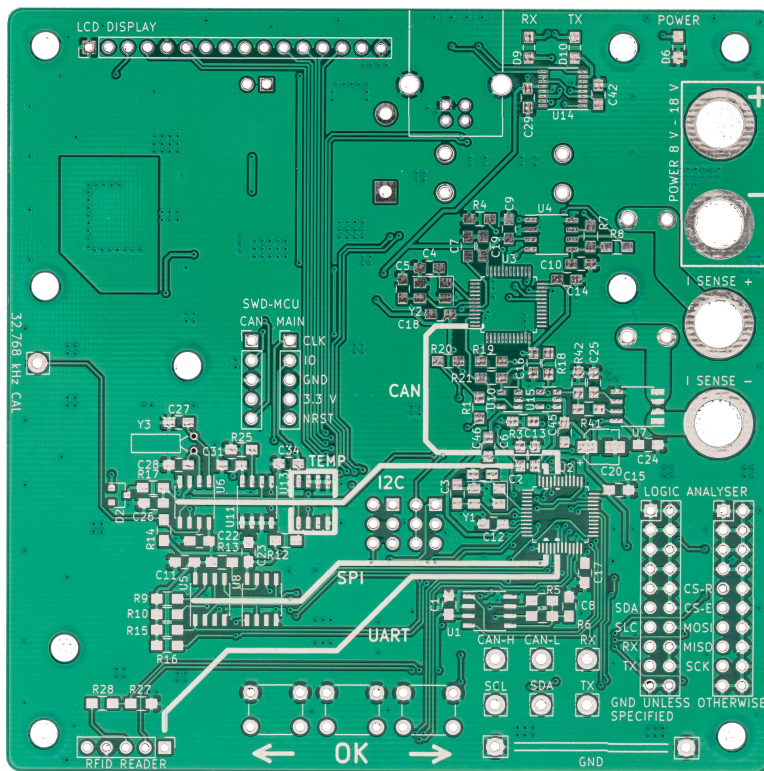
Obrázek B.1: Proudová špička při připojení napájení



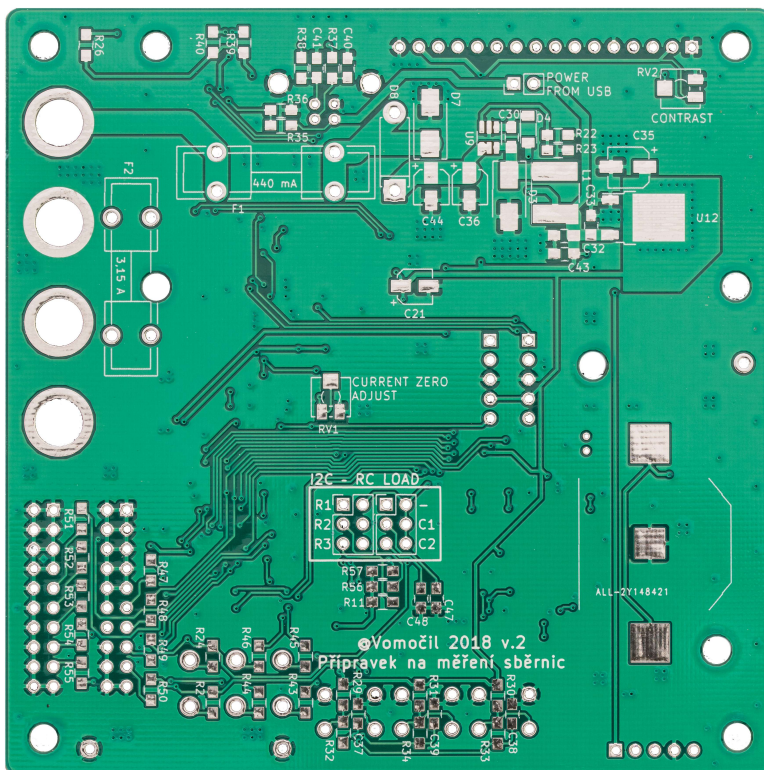
Obrázek B.2: Účinnost zdroje v závislosti na výstupním proudu



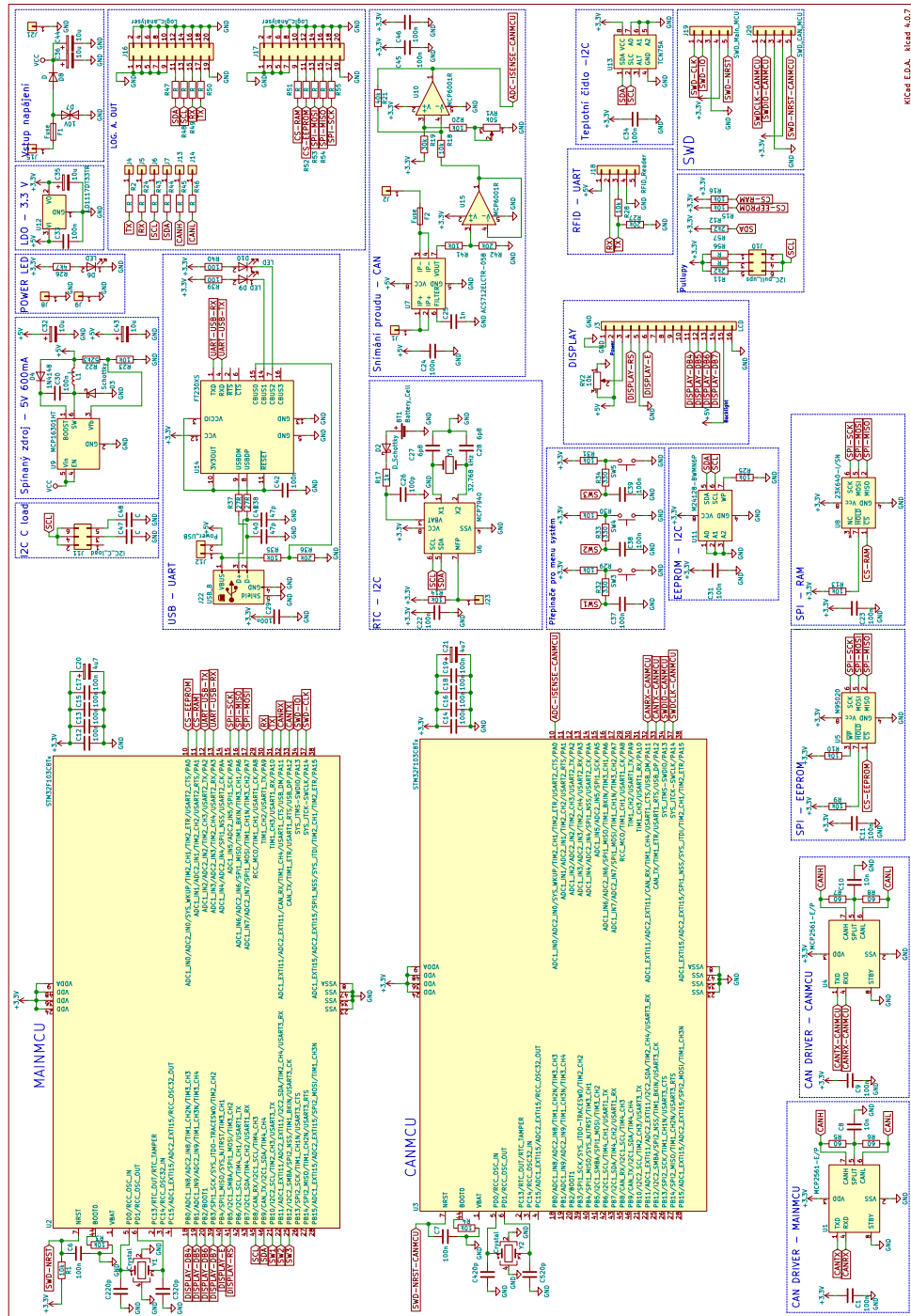




Obrázek B.5: Přední strana plošného spoje verze č.2



Obrázek B.6: Zadní strana plošného spoje verze č.2



Obrázek B.7: Celé schéma zapojení