

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**UNIVERZÁLNÍ MONITOROVACÍ A ZÁZNAMOVÁ
JEDNOTKA**

Bc. Jakub Zikmund

Diplomová práce
2020

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Zikmund**
Osobní číslo: **I17200**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Univerzální monitorovací a záznamová jednotka**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce bude návrh a konstrukce multifunkční monitorovací a záznamové jednotky pro testování technických prostředků automatizace. Ke konstrukci bude využit mikropočítač fy Atmel, řady ATmega (nebo vývojový kit s mikropočítačem ATmega, doplněný o elektronické, vstupně-výstupní, obvody). Jednotka bude umožňovat generování a záznam dat z analyzovaného objektu. Součástí jednotky bude podpůrný a záznamový software osobního počítače, vytvořený v jazyce C#. Software bude umožňovat konfiguraci hardware jednotky, generování a záznam analogových a digitálních signálů (generování signálů bude možné manuálně, případně podle předem naplánovaného časového průběhu). Export dat bude umožněn ve formě strukturovaného textu (*.csv, *.txt) textového souboru. Komunikace mezi osobním počítačem a univerzální jednotkou bude realizována univerzálním rozhraním USB, vlastním komunikačním protokolem. Kromě zpracování analogových a digitálních signálů bude jednotka plnit funkci analyzátoru vybraných typů komunikačních rozhraní (např. CAN bus, I2C, RS485 atd.) a senzorů (např. pro měření teploty senzorem DS18B20, měření otáček IRC snímačem). Nedílnou součástí práce bude kompletní výrobní dokumentace, včetně zdrojových kódů mikropočítače, podpůrného software osobního počítače a podrobný uživatelský návod.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 80

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4.
ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4.
PETZOLD, Ch., Programování Microsoft Windows Forms v jazyce C#, Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1058-3.
MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání diplomové práce: **1. listopadu 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**



L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Berou na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 24.05.2020

Jakub Zikmund

Poděkování

Nejprve bych rád poděkoval Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D. za vypsání tématu, za vedení práce a za všechny jeho odborné připomínky. Dále pak děkuji svým rodičům a kamarádům, kteří mě podporovali a pomáhali mi při celém navazujícím studiu. Dále bych rád poděkoval svým zaměstnavatelům za shovívavost ve zkouškových obdobích.

V Pardubicích dne 24.05.2020

Jakub Zikmund

ANOTACE

Tato práce obsahuje návrh a realizaci univerzální monitorovací a záznamové jednotky. Teoretická část se zabývá popisem různých komunikačních protokolů a problematikou měřicích karet. V praktické části jsou popsány problémy, které nastaly při návrhu, vývoji i programování a jejich odstranění. V přílohách práce se dále nachází uživatelský návod a kompletní výrobní dokumentace včetně zdrojových kódů měřicí karty i měřicího prostředí.

KLÍČOVÁ SLOVA

CAN bus analyzátor, záznamová měřicí jednotka, USB, Arduino

TITLE

UNIVERSAL MONITORING AND RECORDING UNIT

ANNOTATION

This work contains design and implementation of universal monitoring and recording unit. The theoretical part solves description of few communication protocols and problematics of DAQ cards. The practical part describes the problems, that arose during design, research and programming and their solutions. The appendix also contains user manual and complete production documentation including source codes of the measuring card and measuring environment.

KEYWORDS

CAN bus analyser, Recording and measure unit, USB, Arduino

OBSAH

	Seznam zkratk a značek	9
	Seznam ilustrací	10
	Seznam tabulek	12
	ÚVOD	13
1	PRŮZKUM TRHU	14
1.1	Labjack.....	14
1.2	National Instruments	15
1.3	Omega Engineering	17
2	PRŮMYSLOVÉ KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE	19
2.1	CAN – Bus	19
2.1.1	Základní vlastnosti	19
2.1.2	Fyzické médium.....	19
2.1.3	Řízení přístupu a zabezpečení přenášených dat.....	20
2.1.4	Signalizace chyb	22
2.1.5	Typy zpráv	22
2.1.6	Datová zpráva	22
2.1.7	Žádost o data	24
2.1.8	Zpráva o chybě.....	24
2.1.9	Zpráva o přetížení	25
2.2	Modbus	25
2.3	Modbus RTU	25
2.3.1	Popis protokolu	25
3	CÍL PRÁCE A VÝBĚR FUNKCÍ.....	30
3.1	Processor.....	30
3.2	Digitální vstupy.....	32
3.3	Digitální výstupy.....	33
3.4	Analogové vstupy	34
3.5	Analogové výstupy	35
3.6	CAN – bus.....	36
3.7	Sběrnice 1 – Wire.....	38
3.8	IRC snímač.....	38
4	PŘÍPRAVA PRO DALŠÍ POUŽITÍ.....	40

4.1	RS485.....	40
4.2	K-Line	40
4.3	I2C a TTL	41
5	NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE	42
6	POPIS KOMUNIKAČNÍHO PROTOKOLU.....	46
7	ALGORITMUS PROGRAMU.....	47
7.1	Popis algoritmu měřicí karty.....	47
7.2	Kartou přijímané druhy zpráv	48
7.3	Kartou odesílané druhy zpráv	49
7.4	Popis algoritmu měřicí aplikace.....	50
7.5	Popis způsobu ukládání vzorků	55
8	ZHODNOCENÍ	56
9	ZÁVĚR	60
	POUŽITÁ LITERATURA	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	62
	Příloha A	A-1

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AI	Analogový vstup
AO	Analogový výstup
CAN	Controller area network
CRC	Cyclic redundancy check – cyklický redundantní součet
D/A	Digitálně analogový
DAQ	Data acquisition
DI	Digitální vstup
DO	Digitální výstup
HV	High voltage – vysoké napětí
IRC	Inkrementální rotační snímač
I2C	Inter-Integrated Circuit – sériová sběrnice
LV	Low voltage – nízké napětí
MES	Manufacturing execution system – systém sběru dat
PCI	Peripheral component interconnect – sběrnice na základní desce počítače
PLC	Programovatelný logický automat
PWM	Pulse width modulation – pulzně šířková modulace
SSR	Solid state relay – polovodičové relé
TTL	Tranzistorově-tranzistorová logika
USB	Universal serial bus

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1.1 – Měřicí karta LabJack U3-HV (Michalec, 2019)	14
Obrázek 1.2 – Měřicí karta LabJack U6 (Michalec, 2019)	15
Obrázek 1.3 – Měřicí karta NI USB-6501 (National Instruments, 2020)	16
Obrázek 1.4 – Měřicí karta NI USB-6525 (National Instruments, 2020)	16
Obrázek 1.5 – Měřicí karta OM-USB-2404-UI (Omega, 2019)	17
Obrázek 1.6 – Měřicí karta OM-USB-2404-UI (Omega, 2019)	18
Obrázek 2.1 – Příklad CAN Bus sběrnice	20
Obrázek 2.2 – Standardní formát zprávy dle 2.0A	23
Obrázek 2.3 – Standardní formát zprávy dle 2.0B	24
Obrázek 2.4 – Rozšířený formát zprávy dle 2.0B	24
Obrázek 3.1 – Blokové schéma záznamové jednotky	30
Obrázek 3.2 – Vývojová deska Arduino Mega	31
Obrázek 3.3 – Zapojení propojovacích pinů	31
Obrázek 3.4 – Blokové schéma digitálního vstupu	32
Obrázek 3.5 – Zapojení digitálního vstupu	33
Obrázek 3.6 – Vnitřní zapojení ULN2803	33
Obrázek 3.7 – Zapojení digitálních výstupů	34
Obrázek 3.8 – Vnitřní zapojení MCP6N16 (Microchip, 2014)	34
Obrázek 3.9 – Zapojení analogového vstupu	35
Obrázek 3.10 – Vnitřní zapojení MCP4812 (Microchip, 2015)	36
Obrázek 3.11 – Zapojení D/A převodníku	36
Obrázek 3.12 – Vnitřní struktura CAN bus převodníku (Microchip, 2007)	37
Obrázek 3.13 – Zapojení CAN bus převodníku	37
Obrázek 3.14 – Zapojení 1 – Wire sběrnice	38
Obrázek 3.15 – Princip IRC senzoru	38

Obrázek 3.16 – Zapojení IRC snímače	39
Obrázek 4.1 – Příprava zapojení převodníku na RS485	40
Obrázek 4.2 – Příprava zapojení převodníku na Kline	41
Obrázek 5.1 – Deska plošného spoje z vrchu	42
Obrázek 5.2 – Deska plošného spoje ze spodu	42
Obrázek 5.3 – Osazený plošný spoj z vrchu	43
Obrázek 5.4 – Osazený plošný spoj ze spodu	44
Obrázek 5.5 – Deska plošného spoje V1.1 z vrchu	44
Obrázek 5.6 – Deska plošného spoje V1.1 ze spodu	45
Obrázek 7.1 – Dialogové okno výběru COM portu	51
Obrázek 7.2 – Hlavní okno měřicí aplikace	52
Obrázek 7.3 – Okno CAN Bus Analyser	54
Obrázek 7.4 – Okno Update Firmware	55
Obrázek 8.1 – Princip prvního testu	56
Obrázek 8.3 – Naměřená přechodová charakteristika zobrazená v excelu	57
Obrázek 8.2 – Naměřená přechodová charakteristika zobrazená v řídicí aplikaci	57
Obrázek 8.4 – Princip druhého testu	58
Obrázek 8.5 – Záznam komunikace CAN Bus	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 – Prioritní řízení přístupu	21
Tabulka 2.2 – Popis kódů funkcí	26
Tabulka 2.3 – Popis registru Modbus	26
Tabulka 2.4 – Chybové kódy funkcí Modbus	28
Tabulka 2.5 – Popis kódů chyby Modbus	28
Tabulka 7.1 – Identifikátory zpráv přijímaných kartou	47
Tabulka 7.2 – Indexy rychlostí CAN Bus	48
Tabulka 7.3 – Indexy vzorkovací periody	49
Tabulka 7.4 – Identifikátory zpráv odesílaných kartou	50

ÚVOD

V dnešní době je trend vše automatizovat. Automatizací se zefektivní výroba a tím i sníží náklady. Automatizací lze také snížit nebezpečí při práci v rizikovém prostředí. Zároveň dochází k zvýšení přesnosti a kvality výroby. Pro automatizaci menších aplikací je vhodné použít místo PLC měřicí karty. Měřicí karty mohou být zapojeny buď do PCI sběrnice anebo do USB. USB měřicí karty mohou být přenosné a pak se spolu s notebookem dají lehce použít i jako diagnostický nástroj nebo logický analyzátor.

Úkolem bude navrhnout a zkonstruovat funkční prototyp měřicí karty. Navržená měřicí karta by měla disponovat:

- $4 \times$ DI,
- $4 \times$ DO,
- $4 \times$ AI,
- $2 \times$ AO řešené převodníkem, nikoliv PWM s RC článkem,
- snímáním otáček IRC senzoru
- podporou teplotních čidel DS18B20 připojených na 1 – Wire sběrnici.

Všechny tyto parametry by měla měřicí karta zpracovávat se vzorkovací frekvencí 100 Hz. Dále by měřicí karta měla umět přijímat a odesílat zprávy po sběrnici CAN – Bus. K vývoji bylo přistoupeno z důvodu, že takto multifunkční karta na trhu není nebo stojí mnoho peněz. Tato karta bude sloužit k výuce.

1 PRŮZKUM TRHU

Na trhu se nachází velké množství výrobců měřicích karet. Někteří výrobci nabízí i individuální vývoj měřicí karty dle přání zákazníka. V části 1.1 až 1.3 je přehled některých výrobců USB měřicích karet a jejich produktů.

1.1 LABJACK

Firma LabJack je výrobcem kompaktních zařízení, která umožňují měření a sběr dat a ovládání jednotlivých akčních členů. Výhodou těchto zařízení je snadná realizace základních principů programového řízení procesů. V následujících odstavcích budou popsány modely U3 a U6.

První vybraný model je U3. Tento model má dvě verze. První verze je LV a druhá je HV verze. Hlavní rozdíl mezi těmito verzemi je napětí na analogových vstupech. Obě tyto verze mají šestnáct vstupů s rozlišením 12 bitů. Na verzi LV lze bezpečně připojit 0 – 2,4 V, kdežto verze HV zvládne ± 10 V. Verze LV má dále dvacet digitálních pinů, které lze použít jako vstup nebo jako výstup. HV verze má těchto pinů však pouze šestnáct. Je zde využita logika 3.3 V. Obě tyto verze dále mají dva analogové výstupy o rozlišení 10 b, dva čítače a vnitřní sensor teploty. Dále obě verze podporují SPI a I2C sběrnice v módu master. Tento model je ve verzi HV zobrazen na obrázku 1.1 a jeho cena se pohybuje kolem 4 500 Kč.



Obrázek 1.1 – Měřicí karta LabJack U3-HV (Michalec, 2019)

Dalším vybraným modelem je U6. Tento model obsahuje čtrnáct analogových vstupů s rozsahem 16 až 18 bitů a programovatelný přístrojový zesilovač se zesílením $1\times$, $10\times$ a $100\times$, který umožní připojení napětí v rozsahu $\pm 10\text{ V}$, $\pm 1\text{ V}$ a $\pm 0,1\text{ V}$. Dále tento model obsahuje dvacet digitálních pinů, dva 32bitové čítače a čtyři časovače. Stejně jako předchozí model i tento disponuje dvěma analogovými výstupy s rozlišením 12 bitů a taktéž podporuje SPI a I2C sběrnici, opět v módu master. Tento model karty je zobrazen na obrázku 1.2 a jeho cena se pohybuje kolem 11 500 Kč (Michalec, 2019).



Obrázek 1.2 – Měřicí karta LabJack U6 (Michalec, 2019)

1.2 NATIONAL INSTRUMENTS

Dalším výrobcem měřicích karet je americká firma National Instruments. Jedná se o světového výrobce DAQ karet a různých zařízení pro měření fyzikálních veličin. Výrobky firmy National Instruments jsou vhodné pro měřicí a řídicí úlohy. Ve spojení s vývojovým prostředím LabVIEW je realizace řídicích algoritmu velmi jednoduchá. V následující části budou popsány modely karet USB-6501 a USB-6525.

Prvním vybraným modelem od této firmy je karta USB-6501. Jedná se o kartu s 24 obousměrnými digitálními piny o maximálním napětí 5 V. Na každý tento pin lze zapnout pull up rezistor. Jeden z těchto pinů se dá použít jako čítač o rozlišení 32 bitů. Tato karta je zobrazena na obrázku 1.3 a její cena se pohybuje kolem 3 300 Kč.



Obrázek 1.3 – Měřicí karta NI USB-6501 (National Instruments, 2020)

Druhým modelem je karta USB-6525. Ta disponuje osmi vstupními kanály o rozsahu ± 60 V a osmi výstupními kanály o rozsahu 0 – 60 V, které jsou opatřené SSR. Stejně jako u předešlé karty, tak i zde lze jeden vstupní pin použít jako čítač o rozlišení 32 bitů. Tato karta je zobrazena na obrázku 1.4 a její cena se pohybuje kolem 10 500 Kč (National Instruments, 2020).



Obrázek 1.4 – Měřicí karta NI USB-6525 (National Instruments, 2020)

1.3 OMEGA ENGINEERING

Posledním zmíněným výrobcem měřicích karet je americká společnost Omega Engineering. Tato firma se zabývá výrobou techniky pro automatizaci, jako jsou senzory měření neelektrických veličin, DAQ karty, PID regulátory a zobrazovací panely. Omega Engineering své výrobky prodává například NASA, nebo Námořnictvu Spojených států amerických. V následujících odstavcích budou popsány modely karet OM-USB-2404-UI a OMB-DAQ-2416.

Prvním modelem karty je OM-USB-2404-UI. Tato karta disponuje pouze 4 univerzálními analogovými vstupy s rozlišením 24 bitů. Měřicí rozsahy pro měření napětí jsou ± 125 mV, ± 1 V, ± 4 V, ± 15 V a ± 60 V. Pro měření proudu je rozsah ± 25 mA. Vstupy jsou přizpůsobeny nejen termočládkům (J, K, T, E, R, S, N a B), ale i teplotním sensorům (PT100 a PT1000), které mohou být zapojeny dvou, tří i čtyř vodičovým způsobem. Tato karta je zobrazena na obrázku 1.5 a její cena se pohybuje okolo 32 300 Kč.



Obrázek 1.5 – Měřicí karta OM-USB-2404-UI (Omega, 2019)

Druhým vybraným modelem je karta OMB-DAQ-2416. Tato karta je již multifunkční. To znamená, že nemá pouze jeden typ funkce. Tento model umožňuje zapojit 16 diferenciálních nebo 32 jednovodičových analogových měření s rozlišením 24 bitů. Měřicí rozsahy jsou voleny softwarově. Na výběr je ± 20 V, ± 10 V, ± 5 V, $\pm 2,5$ V, $\pm 1,25$ V, $\pm 0,625$ V, $\pm 0,312$ V, $\pm 0,156$ V a $\pm 0,078$ V. Karta dále obsahuje 8 digitálních pinů a dva 32 bitové čítače. Tato karta je vyobrazena na obrázku 1.6 a její cena se pohybuje kolem 28 300 Kč (Omega, 2019).



Obrázek 1.6 – Měřicí karta OM-USB-2404-UI (Omega, 2019)

2 PRŮMYSLOVÉ KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE

Průmyslové sběrnice slouží k přenosu informací ze senzorů a měřicích přístrojů do řídicího systému, popřípadě do systému MES. Průmyslové sběrnice jsou navrženy za účelem vysoké spolehlivosti a odolnosti vůči rušení. V části 2.1 bude popsána sběrnice CAN – Bus. A v částech 2.2 a 2.3 bude popsána sběrnice Modbus.

2.1 CAN – BUS

První průmyslovou sběrnici popsanou v této práci je CAN – Bus. Controller Area Network je sériový protokol vyvinutý firmou Bosch. Největší použití má dnes v automobilovém průmyslu, ale používá se i v automatizační technice. Důvodem pro použití v automatizaci je například nízká cena, vysoká spolehlivost, vysoká rychlost (až 1 Mbit/s), snadná rozšiřitelnost, rychlé a snadné zavedení. CAN – Bus je definován normou ISO 11898. Tato norma popisuje fyzickou vrstvu a specifikaci CAN 2.0A. Později byla přidána specifikace CAN 2.0B, která zavádí standardní a rozšířený formát zprávy. Hlavní rozdíl je v délce identifikátoru zprávy.

2.1.1 Základní vlastnosti

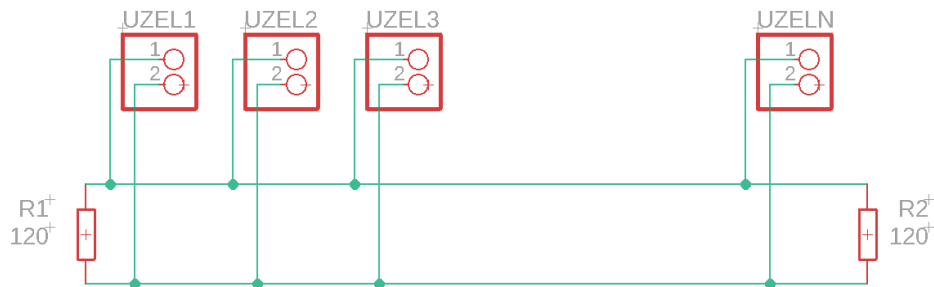
CAN – Bus protokol umožňuje distribuované řízení systému v reálném čase s vysokým zabezpečením proti chybě. Je to protokol typu multimaster. Každý uzel smí být master a řídit chování jiných uzlů. Přístup na sběrnici je řešen pomocí náhodného přístupu. Případné kolize se řeší dle priority.

Zprávy na sběrnici neobsahují žádnou informaci o cílovém uzlu. Jsou přijímány všemi uzly. Dle identifikátoru jsou zprávy filtrovány. Ty, které uzel potřebuje, vyhodnotí a ty, které nepotřebuje, ignoruje.

2.1.2 Fyzické medium

CAN – Bus definuje rozhraní k fyzickému médiu. Vlastnosti fyzické vrstvy jsou jeho velkou výhodou. Základním požadavkem je, aby přenosové medium realizovalo funkci logického součinu. Pro zvýšení rychlosti a odolnosti vůči rušení je vhodné použít symetrické vedení. Standart CAN – Bus definuje dvě logické hodnoty bitů – **dominant** a **recessive**. Stav sběrnice je jednoznačný. Pokud všechny uzly vysílají recessive bit, pak je sběrnice ve stavu recessive. Vysílá-li alespoň jeden uzel dominant bit, je sběrnice ve stavu dominant.

Pro realizaci fyzického media se používá diferenciální dvou vodičová sběrnice, nejčastěji kroucená dvojlinka. Vodiče jsou označovány CAN_H a CAN_L. Logická úroveň je definována rozdílovým napětím. Norma uvádí $V_{diff} = 0 \text{ V}$ pro stav recessive a $V_{diff} = 2 \text{ V}$ pro stav dominant. Aby se zabránilo odrazům na vedení, je sběrnice na obou koncích přizpůsobena rezistory 120Ω . To je zobrazeno na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1 – Příklad CAN Bus sběrnice

Teoreticky může být k zařízení připojeno nekonečné množství uzlů. Prakticky s ohledem na zatížení sběrnice se používá kolem 64 uzlů na segment. Přenosové rychlosti 1 Mbit/s lze dosáhnout pouze na krátké vzdálenosti do 40 m. Rychlost s rostoucí vzdáleností značně klesá. Například na 1,2 km bude rychlost maximálně 70 kbit/s. Z toho vyplývá její nejčastější použití, a tím je například komunikace řídicích jednotek v automobilech, popřípadě pro malé instalace v automatizaci.

2.1.3 Řízení přístupu a zabezpečení přenášených dat

Protože je sběrnice typu multimaster, může kterýkoliv z uzlů kdykoliv, když je sběrnice v klidovém stavu, začít vysílat. Ostatní uzly mohou začít vysílat až v momentě, když je sběrnice po odeslání zprávy znovu v klidovém režimu. Výjimkou jsou chybové rámce, které se dají vysílat hned po identifikaci chyby.

Začne-li vysílat několik uzlů najednou, přístup získá ten, který má vyšší prioritu odesílané zprávy, tj. nižší identifikátor. Identifikátor se nachází na začátku každého rámce. Všechny uzly porovnávají odesílaný bit se skutečným bitem sběrnice. V případě, že jsou tyto bity rozdílné (odesílaný bit je recessive, ale na sběrnici je dominant), probíhá odesílání z jiného uzle s vyšší prioritou. Proto uzel s nižší prioritou okamžitě přestane vysílat a počká, až bude

sběrnice znovu v klidovém stavu. Tím je zajištěno odeslání zprávy s vyšší prioritou přednostně. Z tohoto vyplývá, že uzly musí vysílat s různými identifikátory. Názorné zobrazení je v tabulce 2.1, kde současně odesílají uzel 1 a uzel 2. Uzel 1 má identifikátor 0x628 (11000101000). Uzel 2 má identifikátor 0x619 (11000011001). Poslední řádek tabulky ukazuje skutečný stav sběrnice.

Tabulka 2.1 – Prioritní řízení přístupu

	Start bit	11b identifikátor										
Uzel 1	0	1	1	0	0	0	1	Ukončeno vysílání				
Uzel 2	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1
Sběrnice	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1

CAN – Bus se vyznačuje silným zabezpečením dat. Používá tyto mechanismy:

- Monitoring,
- CRC kód,
- Vkládání bitu,
- Kontrola zprávy,
- Potvrzení přijaté zprávy.

Monitoring byl popsán v tabulce 2.1. Každý vysílač sleduje skutečný a odesílaný stav sběrnice.

CRC kód je dlouhý 15 bitů. Protože se nachází na konci vysílané zprávy, může se generovat ze všech odeslaných bitů této zprávy. Jedná se o rozšířený způsob kontrolního součtu. Je-li detekována chyba, vygeneruje se chyba CRC.

Vkládání bitu je založeno na tom, že každý uzel, který odešle 5 bitů stejné úrovně za sebou, za ně vloží jeden bit s opačnou úrovní. To slouží k detekci chyb, ale i ke správné synchronizaci přijímačů. Je-li detekována chyba, je vygenerována chyba vkládání bitů.

Zpráva se kontroluje dle specifikace. Pokud je na nějakém bitu detekována nepovolená hodnota, je vygenerována chyba rámce.

Každé zařízení potvrzuje přijatou zprávu. Potvrzení proběhne změnou bitu v poli ACK z recessive (vysílaný vysílačem) na dominant. To platí i pro zařízení, která tuto zprávu jinak ignorují.

2.1.4 Signalizace chyb

Každý uzel má dva čítače chyb. Jeden počítá chyby odesílané a druhý chyby přijímané. Dle hodnot těchto čítačů může uzel přecházet mezi třemi stavy.

Aktivní – Tyto uzly se aktivně podílí na komunikaci. V případě, že detekují chybu, vyšlou na sběrnici příznak chyby. Tento příznak je tvořen šesti po sobě jdoucími bity dominant. Tím se poškodí pravidlo vkládání bitů.

Pasivní – Tyto uzly se také podílejí na komunikaci, ale z hlediska hlášení chyb vysílají pouze pasivní příznak chyby. Ten je tvořen šesti po sobě jdoucími bity recessive. Tím opět dojde k poškození pravidla vkládání bitů.

Odpojené – Tyto uzly nemají vliv na sběrnici, protože v případě vysokého počtu chyb jsou uzly odpojeny.

2.1.5 Typy zpráv

Specifikace CAN – Bus sběrnice definuje čtyři druhy zpráv:

- Datová zpráva,
- Žádost o data,
- Zpráva o chybě,
- Zpráva o přetížení.

První dva druhy slouží k přenosu dat. Ty tvoří základ komunikace. Uzel může odeslat zprávu dlouhou až 8 Byte. Při jednoduchých povelích, jako je zapnout a vypnout nějakou periférii, není nutné posílat data. Tyto informace mohou být obsaženy již v identifikátoru zprávy. Tím se značně zrychlí přenos zpráv.

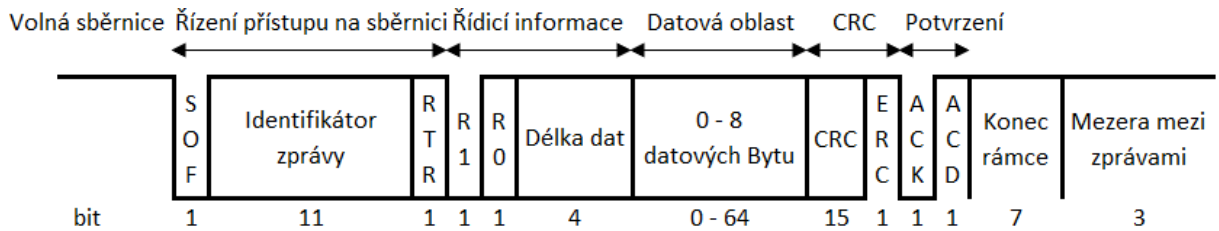
Zbývající dva druhy zpráv slouží k řízení sběrnice. Signalizují chyby, eliminují chybné zprávy a signalizují přetížení sběrnice.

Jednotlivé druhy zpráv jsou popsány v odstavcích 2.1.6 až 2.1.9.

2.1.6 Datová zpráva

CAN – Bus sběrnice definuje dva druhy datových zpráv. První druh je definován ve specifikaci 2.0A a literatura ho označuje, jako standardní formát (Standard frame). A specifikace 2.0B definuje ještě navíc rozšířený formát zprávy (Extended frame). Jediný podstatný rozdíl je v délce identifikátoru, ten je buď 11 bit nebo 29bit. Oba druhy mohou být

současně použity na jedné sběrnici pouze za předpokladu, že všechny použité řadiče podporují specifikaci 2.0B. Standardní formát zprávy podle specifikace 2.0A je zobrazen na obrázku 2.2.

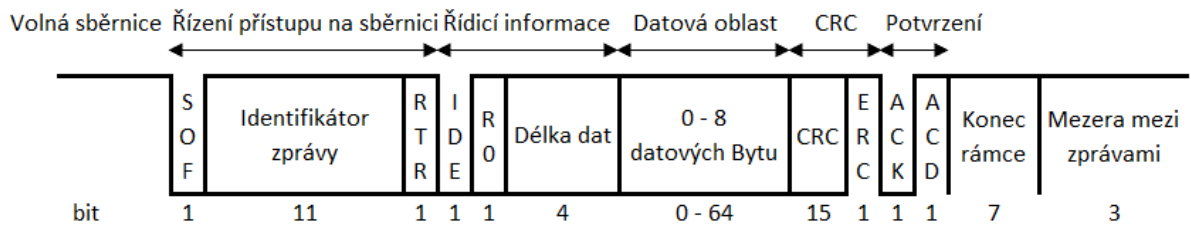


Obrázek 2.2 – Standardní formát zprávy dle 2.0A

Význam jednotlivých částí standardního formátu je následující:

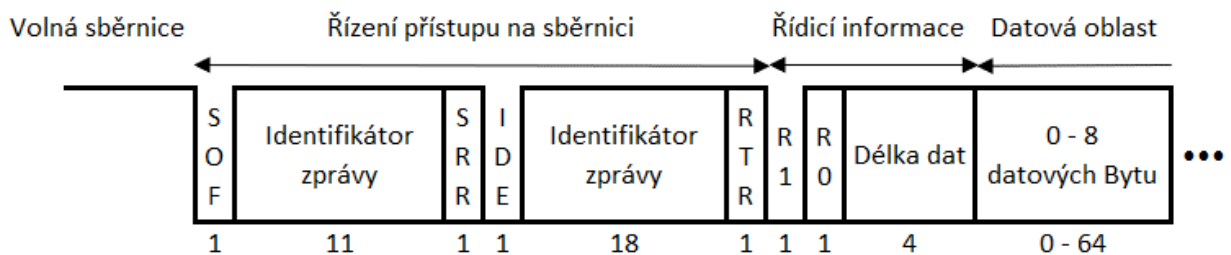
- SOF – Start of Frame – začátek zprávy,
- Řízení přístupu ke sběrnici – identifikátor zprávy,
- RTR – rozlišení zprávy – datová zpráva = dominant, žádost o přístup ke sběrnici = recessive,
- Řídicí pole, R0 a R1 – rezervováno,
- Délka dat – délka datové oblasti,
- Datová oblast max. 8 Bytů,
- CRC – zabezpečení dat,
- ERC – 1 bit dominant (oddělovač CRC),
- ACK – potvrzení,
- ACD – oddělovač potvrzení = recessive,
- Konec zprávy – ukončení rámce = 7 bitů recessive,
- Mezera mezi zprávami = 3 bity recessive.

Jediným rozdílem mezi specifikací 2.0A a 2.0B je to, že se místo bitu R1 zavede bit IDE, kterým se indikuje, zda se jedná o rámec standardní (dominant) nebo rozšířený (recessive). To je zřejmé z obrázku 2.3.



Obrázek 2.3 – Standardní formát zprávy dle 2.0B

Rozšířený formát používá 29 bitový identifikátor. Ten je rozdělen na 11 a 18 bitů. Bit RTR ze standardního formátu je nahrazen bitem SRR (Substitute Remote Request). Ten je vždy v hodnotě recessive. Tím je zajištěno to, že při kolizi zprávy se standardním a rozšířeným formátem a se stejnými 11 bity identifikátoru dostane přednost standardní formát. Bit RTR je posunut na konec druhé části identifikátoru. K řízení přístupu ke sběrnici jsou použity tyto bity: ID (11bit), SRR, IDE, ID (18bit) a RTR. V tomto pořadí určují prioritu datových zpráv. Tento rozšířený formát je zobrazený na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4 – Rozšířený formát zprávy dle 2.0B

2.1.7 Žádost o data

Formát žádosti o data je stejný jako formát datové zprávy. Pouze bit RTR je v úrovni recessive a chybí datová oblast. Když uzel žádá o data, nastaví si stejný identifikátor, jako má mít zpráva s daty. Tím se zajistí, že pokud jeden uzel žádá o data ve stejný okamžik jako jiný uzel se stejným identifikátorem, který data odesílá. Přednost bude mít uzel vysílající datovou zprávu, protože zpráva s RTR bitem v dominant úrovni bude mít vyšší prioritu.

2.1.8 Zpráva o chybě

Když jakýkoliv uzel vyhodnotí chybu v přenášené zprávě, vygeneruje chybový rámeček. Při generování aktivního příznaku je zpráva poškozena. Hlášení chyb je indikováno 6-12 bity.

Po odvysílání příznaku každý uzel vysílá recessive bit a zároveň kontroluje stav sběrnice. Při prvním reálném bitu recessive na sběrnici vysílá dalších 7. Ty plní funkci oddělovače chyb.

2.1.9 Zpráva o přetížení

Zpráva o přetížení slouží k oddálení dalších zpráv. To využívají zařízení, která nejsou schopna kvůli svému vytížení přijímat a zpracovávat další data. Formát zprávy je podobný jako u zprávy o chybě. Odvysílat lze po konci zprávy, oddělovače chyb nebo oddělovače zpráv přetížení (Polák, 2003).

2.2 MODBUS

Modbus je průmyslová sběrnice sloužící ke komunikaci mezi PLC a jinými zařízeními, jako jsou I/O moduly, HMI obrazovky, servery s MES službou. Komunikace funguje na principu master a slave. Master, nejčastěji řídicí prvek (PLC nebo průmyslový PC), posílá dotazy. Slave je nejčastěji senzor, měřicí přístroj nebo sledovaný prvek. Slave odpovídá na dotazy, které mu jsou adresovány. Modbus může mít různá přenosová media a verze protokolu.

- Modbus TCP vedený po Ethernetu
- Modbus RTU vedený po sériových linkách (RS232, RS422, RS485, optické vlákno případně rádiový přenos)

2.3 MODBUS RTU

V následující části je popsán Modbus RTU. Modbus RTU preferuje sériovou linku RS485 o rychlosti 19200 baud. Protokol Modbus má dva vysílací režimy Modbus RTU a Modbus ASCII. Režim vybírá, v jakém formátu budou data odesílána. Každé zařízení s podporou Modbus musí podporovat režim RTU, režim ASCII je dobrovolný. Všechna zařízení na této sběrnici musí být ve stejném režimu.

2.3.1 Popis protokolu

Zpráva protokolu Modbus RTU obsahuje: adresu zařízení zvanou slave ID, kód funkce, samotná data, závislá na kódu funkce a kontrolní součet CRC. Kód funkce a samotná data tvoří PDU neboli datovou jednotku protokolu. Kódy základních funkcí jsou znázorněny v tabulce 2.2.

Tabulka 2.2 – Popis kódů funkcí

Kód	Název
01	Čtení jednoho nebo více 1 bitového výstupu
02	Čtení jednoho nebo více 1 bitového vstupu
03	Čtení jednoho nebo více 16 bitového výstupu
04	Čtení jednoho nebo více 16 bitového vstupu
05	Zápis 1 bitového vstupu
06	Zápis 16 bitového výstupu
15	Zápis více 1 bitového vstupů
16	Zápis více 16 bitového výstupů

Slave ID může mít hodnotu 0 – 247. Adresy 248 – 255 jsou rezervované. Data jsou uložena ve čtyřech tabulkách. Dvě tabulky jsou pouze na čtení dat a dvě umožňují čtení i zápis dat. V každé tabulce je až 9999 hodnot. V tabulce 2.3 je to pro názornost shrnuto.

Tabulka 2.3 – Popis registru Modbus

Číslo registru	Offset	Název	Typ
1 – 9999	0	Discrete input – 1 bit – binární vstup	Read
10001 – 19999	10000	Coil – 1 bit – binární výstup	Read/Write
30001 – 39999	30000	Input register – 16 bit – analogový vstup	Read
40001 – 49999	40000	Holding register – 16b – analogový výstup	Read/Write

V následující části jsou uvedeny příklady komunikace. Jako první je uveden příklad žádosti o hodnotu holding registru s čísly 40109 až 40111. Adresa zařízení je 18. Celá zpráva zní takto 12 03 006C 0003 75C7.

12 Adresa zařízení (18 = 0x12)

03 Kód funkce

006C Adresa prvního registru (40109-40001 = 108 = 0x006C)

0003 počet požadovaných registrů (40111-40109 = 3 = 0x0003)

75C7 CRC

Zařízení s adresou 18 odpoví takto 12 03 06 CD52 7D42 AD51 8054.

12 Adresa zařízení (18 = 0x12)

03 Kód funkce

06 Počet datových Bytu

CD52 Hodnota prvního registru

7D42 Hodnota druhého registru

AD51 Hodnota třetího registru

8054 CRC

Hodnota prvního registru 0xCD52 je v desítkovém formátu 52562.

Hodnota druhého registru 0x7D42 je v desítkovém formátu 32066.

Hodnota třetího registru 0xAD51 je v desítkovém formátu 44369.

Tuto hodnotu lze interpretovat i jako 16 jednotlivých bitů, například 16 binárních výstupů. CD52 je v binárním formátu 1100 1101 0101 0010. Dále je možné spojit dva registry a tím vytvořit jeden 32bitový.

Druhý příklad ukáže zápis do diskrétního výstupu. Adresa zařízení je znovu 18. Adresa nastavovaného registru bude 173. Celá zpráva pro logickou 0 zní 12 05 00AD 0000 885E a pro logickou 1 je zpráva 12 05 00AD FF00 781F.

12 Adresa zařízení (18 = 0x12)

05 Kód funkce

00AD Adresa registru (173 = 0x00AD)

XX00 zápis hodnoty do registru (00 pro logickou 0 a FF pro logickou 1)

781F CRC

Zařízení s adresou 18 odpoví stejnou zprávou, jakou přijme.

Když zařízení přijme požadavek, který nelze zpracovat, odpoví chybovým kódem funkce. Je to kód funkce zvýšený o 128 (o 0x80) Jednotlivé chybové kódy základních funkcí jsou zobrazeny v tabulce 2.4. Dále zařízení pošle kód chyby. Ty jsou popsány v tabulce 2.5.

Tabulka 2.4 – Chybové kódy funkcí Modbus

Kód původní funkce	Chybový kód funkce
01, 0x01, 0000 0001	129, 0x81, 1000 0001
02, 0x02, 0000 0010	130, 0x82, 1000 0010
03, 0x03, 0000 0011	131, 0x83, 1000 0011
04, 0x04, 0000 0100	132, 0x84, 1000 0100
05, 0x05, 0000 0101	133, 0x85, 1000 0101
06, 0x06, 0000 0110	134, 0x86, 1000 0110
15, 0x0F, 0000 1111	143, 0x8F, 1000 1111
16, 0x10, 0001 0000	144, 0x90, 1001 0000

Tabulka 2.5 – Popis kódů chyby Modbus

Kód chyby	Popis chyby
01	Přijatý kód funkce nelze zpracovat.
02	Datová adresa z požadavku není dostupná.
03	Hodnota obsažená v datovém poli je neplatná.
04	Chyba při pokusu o provedení požadovaného úkonu.
05	Slave přijal požadavek, zpracovává ho, ale trvá to dlouho. Tato odpověď má bránit vygenerovat timeout.
06	Slave je zaneprázdněn. Master musí zprávu zopakovat později.

Praktická ukázka chybové zprávy bude uvedena níže. Master požádá zařízení s adresou 0x1A o data z 1 b výstupu na adrese 0x04A1. Tato adresa nebude dostupná. Zpráva z mastera bude vypadat takto 1A 01 04A1 0001 F3AE.

1A Adresa zařízení (26 = 0x12)
01 Kód funkce
04A1 Adresa registru (173 = 0x00AD)
0001 Počet čtených registrů
F3AE CRC

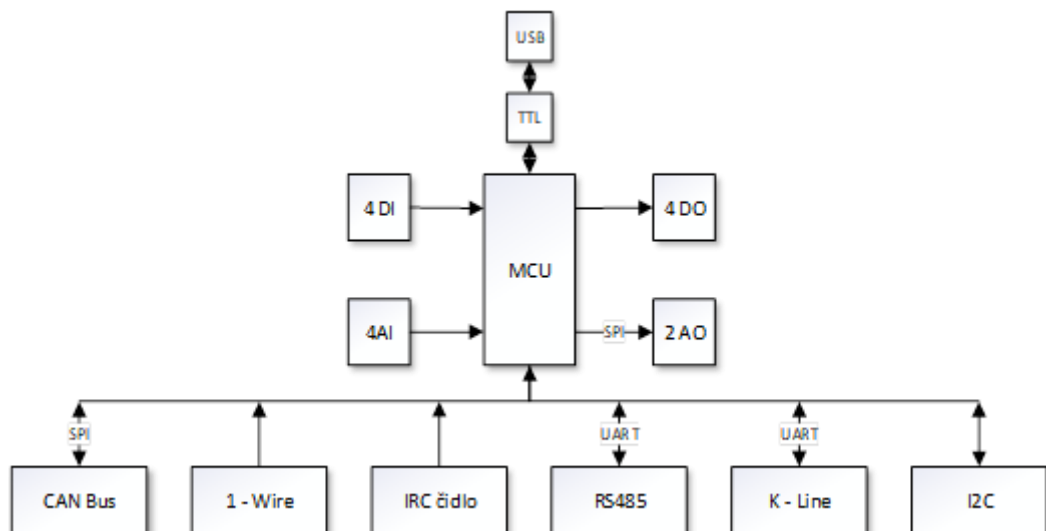
Slave odpoví chybovým kódem funkce a kódem chyby. Celá zpráva bude znít 1A 81 02 96B1.

- 1A** Adresa zařízení (26 = 0x12)
- 81** Chybový kód funkce
- 02** Kód chyby (adresa není dostupná)
- 96B1** CRC

3 CÍL PRÁCE A VÝBĚR FUNKCÍ

Cílem práce bylo navrhnout, vytvořit a otestovat univerzální monitorovací jednotku. Tato jednotka má disponovat 4 DI, 4 DO, 4 AI a 2AO. Dále by jednotka měla plnit funkci analyzátoru komunikačních a sensorových rozhraní. Z komunikačních rozhraní například CAN – Bus sběrnici, RS485 nebo I2C. Ze sensorových rozhraní pak například teplotní čidla zapojená na 1 – Wire sběrnici nebo IRC senzor. Blokové schéma je vyobrazeno na obrázku 3.1. Jednotlivé části budou popsány v kapitolách 3.1 až 3.8.

Monitorovací jednotka má komunikovat s osobním počítačem přes sériovou linku. Součástí práce má být i software, který bude zobrazovat a generovat průběhy. Tento software by měl umožnit export dat ve formátech .CSV a .TXT.



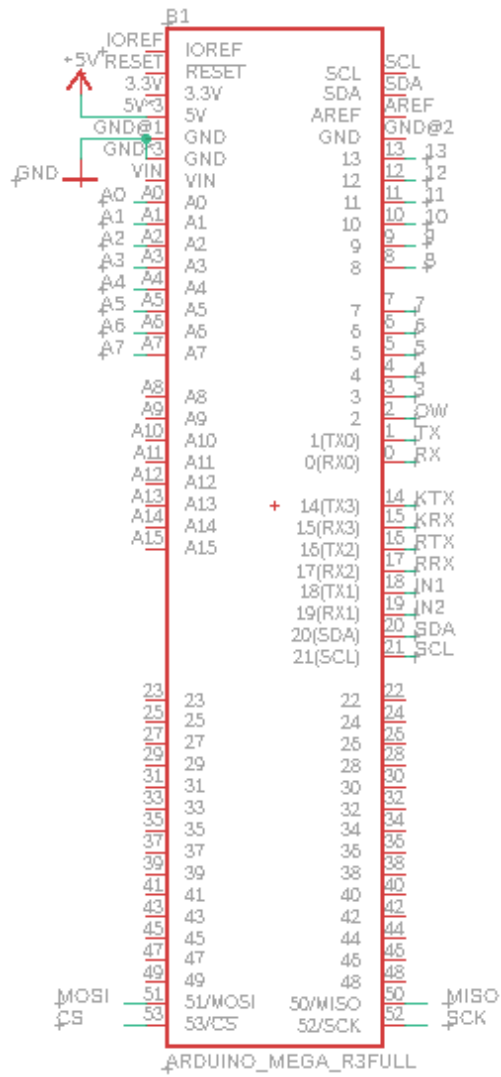
Obrázek 3.1 – Blokové schéma záznamové

3.1 PROCESOR

Jako procesor, který bude obsluhovat jednotlivé periferie, je použit ATmega 2560 na klonu vývojového modulu Arduino Mega 2560. Klonu Arduina je vyobrazen na obrázku 3.2. Do procesoru bude zasunuta samotná deska s vyhodnocovacími obvody. Tato deska funguje jako jakýkoliv jiný Arduino shield, který lze s tímto modulem spojit. Zapojení jednotlivých propojovacích pinů je vyobrazeno na obrázku 3.3. Nevyužité piny slouží jako rezerva pro případné rozšíření karty.



Obrázek 3.2 – Vývojová deska Arduino Mega



Obrázek 3.3 – Zapojení propojovacích pinů

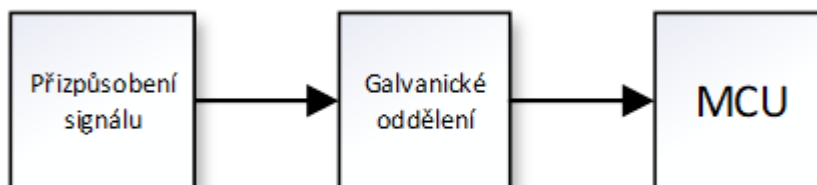
Důvody pro výběr klonu Arduino Mega byly následující:

- Dostatečné množství pinů oproti Arduino UNO nebo Arduino NANO.
- Relativně jednoduchý programovací jazyk.
- Komunitní fórum s velkým množstvím knihoven.
- Vyřešen převod sériové komunikace na USB protokol.
- Vyřešeno napájení z externích zdrojů.
- Cena čínského klonu je nižší než cena samotného procesoru v České republice.
- Jednoduchá výměna procesorové nebo měřicí desky bez nutnosti pájení.

Schéma zapojení a návrh desky plošného spoje byl navrhnout v programu Eagle 9.5.2, doplněném o knihovny jednotlivých součástek. Deska plošného spoje tvarem odpovídá vývojové desce Arduino Mega 2560 a byla navržena jako zásuvná deska pro tuto platformu.

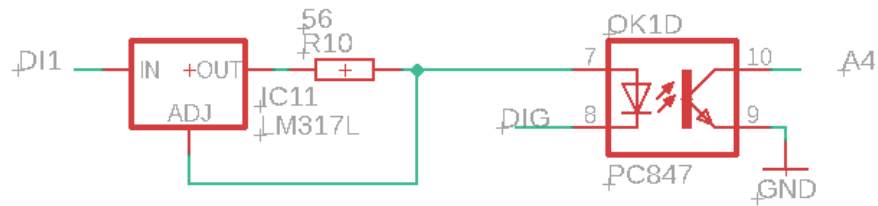
3.2 DIGITÁLNÍ VSTUPY

Digitální vstupy DI1 – DI4 bylo nejprve třeba upravit na potřebný rozsah a poté galvanicky oddělit od MCU. Blokové schéma je zobrazeno na obrázku 3.4.



Obrázek 3.4 – Blokové schéma digitálního vstupu

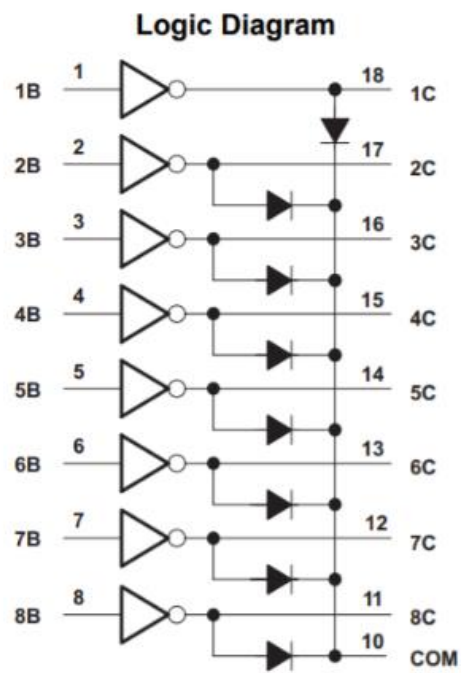
K úpravě signálu na správný rozsah slouží lineární stabilizátor LM317. Ten je použitý jako zdroj proudu. Toto zapojení umožní na vstupy připojit napětí až 32 V, a tím zajistit širokou škálu měřených logik. Galvanické oddělení je zajištěno optočleny. Výstupní proud stabilizátoru je nastaven odporem na hodnotu 22 mA. Ta odpovídá bezpečné hodnotě vstupního proudu do optočlenu. Schéma jednoho vstupního kanálu je zobrazeno na obrázku 3.5.



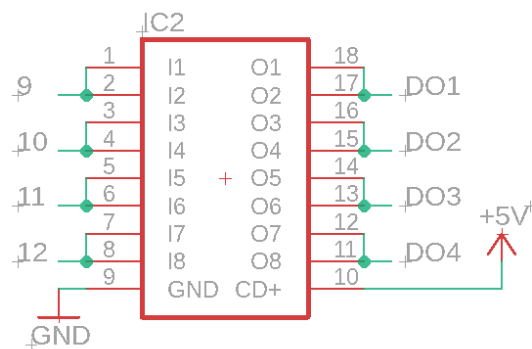
Obrázek 3.5 – Zapojení digitálního vstupu

3.3 DIGITÁLNÍ VÝSTUPY

Digitální výstupy DO1 – DO4 jsou dvoukanálově napojeny na tranzistorové pole ULN2803. To umožní, za předpokladu dostatečně silného zdroje, z každého výstupu odebírat až 1 A. Vnitřní zapojení tranzistorového pole obsahuje ochranné diody, a proto jsou výstupy vhodné k spínání indukční zátěže. Logická funkce tranzistorového pole je na obrázku 3.6. Z tranzistorového pole výstupy pokračují přímo na piny Arduino č. 9 – 12. To je zobrazeno na obrázku 3.7.



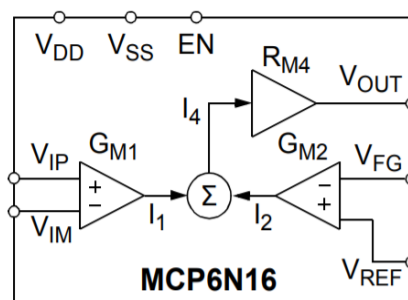
Obrázek 3.6 – Vnitřní zapojení ULN2803 (Texas instrument, 2017)



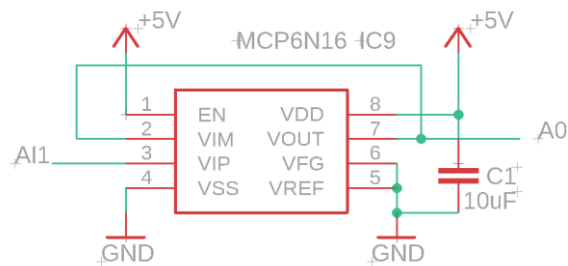
Obrázek 3.7 – Zapojení digitálních výstupů

3.4 ANALOGOVÉ VSTUPY

Analogové vstupy procesorového modulu mají nízký vstupní odpor. To by znamenalo, že část měřeného napětí se ztratí a tím se zkreslí měření. Proto je nutné na vstupy přidat obvod s vysokým vstupním odporem. Volba padla na napěťový sledovač. Nejprve byl použit operační zesilovač LM358. Ten ale nevyhovoval svými parametry, proto byl nahrazen současným zapojením. Nyní jsou na analogových vstupech AI1 – AI4 přístrojové operační zesilovače MCP6N16. Tyto zesilovače se skládají ze dvou operačních zesilovačů a sumátoru. Jelikož stačí pouze jeden zesilovač, V_{REF} ani V_{VG} není potřeba, tyto vstupy byly propojeny s potenciálem GND. Blokové schéma vnitřního zapojení přístrojového zesilovače je zobrazeno na obrázku 3.8. Výstupy těchto operačních zesilovačů jsou zapojeny přímo na analogové vstupy procesoru A0 – A3. Zapojení prvního vstupního kanálu je vyobrazeno na obrázku 3.9.



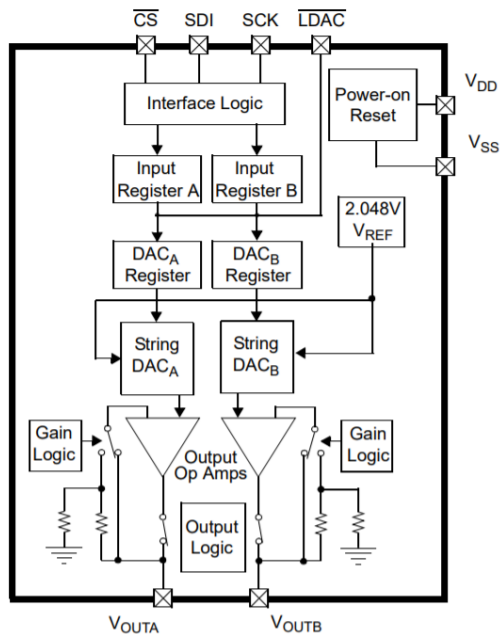
Obrázek 3.8 – Vnitřní zapojení MCP6N16 (Microchip, 2014)



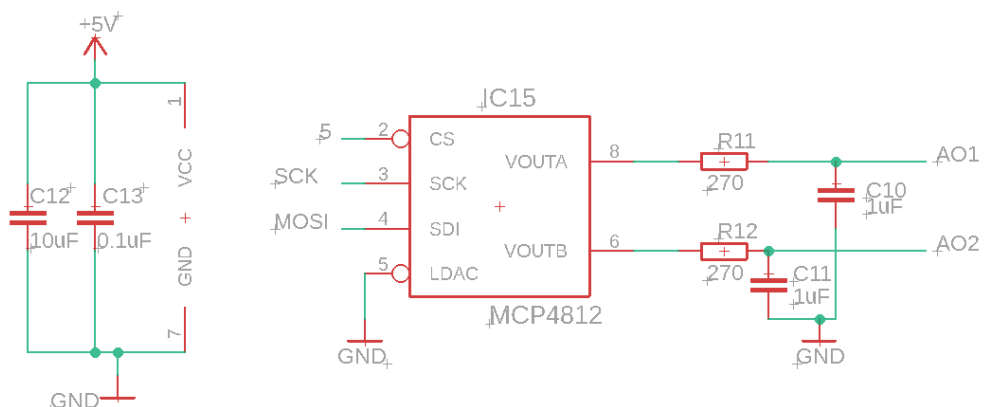
Obrázek 3.9 – Zapojení analogového vstupu

3.5 ANALOGOVÉ VÝSTUPY

Realizace analogových výstupů byla nejprve zamýšlena pomocí PWM. Tam nastal problém s volbou vyhlazovacího RC členu. Najít kompromis mezi nízkým zvlněním a nízkou časovou konstantou bylo obtížné. Nakonec padla volba na D/A převodník MCP4812. Jedná se o dvoukanalový převodník, který disponuje rozlišením 10 bitů, vnitřním referenčním napětím 2,048 V a 4,5 μ s periodou nastavení. Maximální výstupní proud převodníku je ± 25 mA. Vnitřní zapojení převodníku je vyobrazeno na obrázku 3.10. Aby se předešlo přetížení a případnému zničení, je na výstupu D/A převodníku, sériově se zátěží, umístěn rezistor o velikosti 270 Ω , který omezuje výstupní proud. V datasheetu dále doporučují použití kondenzátorů. Dva kondenzátory se nachází v blízkosti napájecích pinů, tím se odstraní šum V_{REF} . Jeden kondenzátor má hodnotu 0,1 μ F a hodnota druhého je 10 μ F, tím se zajistí vyfiltrování nízkofrekvenčního i vysokofrekvenčního šumu. Další kondenzátory o velikosti 1 μ F jsou na obou výstupech paralelně k zátěži. Tím se vyhladí změny výstupního napětí. Instrukce jsou do převodníku odesílány pomocí SPI sběrnice. Ta je realizovaná pouze MOSI a SCK vodičem, protože není potřeba, aby převodník posílal data do procesoru. CS vodič (volba aktivního zařízení na sběrnici) byl zapojen na pin procesorového modulu č. 5. Připojením pinu \overline{LDAC} na potenciál GND je nastaveno synchronizované nastavení výstupu. Celkové zapojení převodníku je zobrazeno na obrázku 3.11.



Obrázek 3.10 – Vnitřní zapojení MCP4812 (Microchip, 2015)

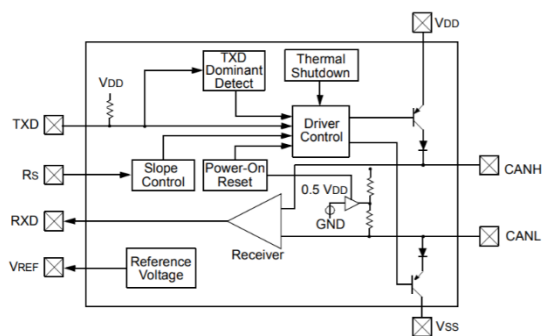


Obrázek 3.11 – Zapojení D/A převodníku

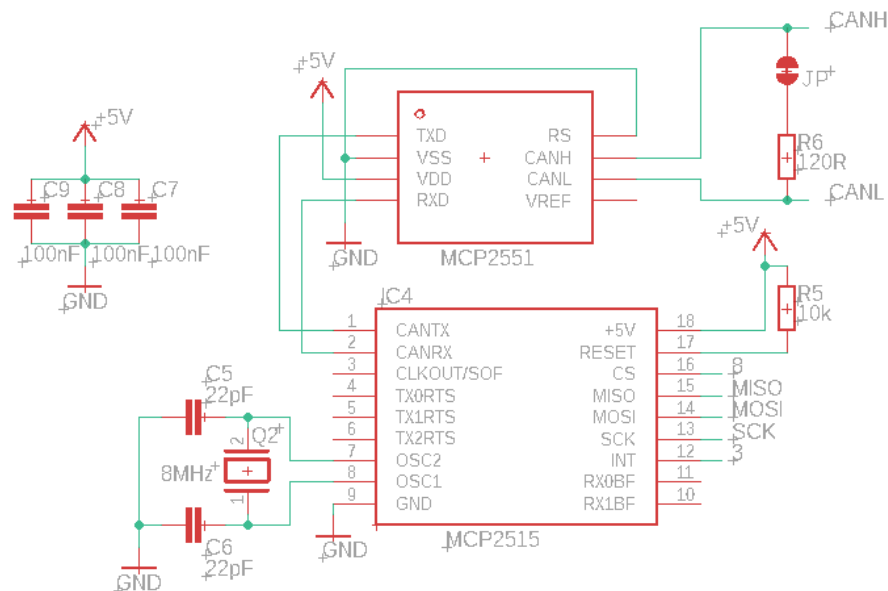
3.6 CAN – BUS

Další zařízení na SPI sběrnici je CAN Bus převodník. Ten už komunikuje obousměrně, a proto jsou potřeba MISO i MOSI vodiče. Vodič pro výběr zařízení na sběrnici je napojen na pin procesorového modulu č. 8. Dále kromě SPI sběrnice a napájení je integrovaný obvod MCP2515 vybaven pinem přerušování, který indikuje komunikaci na CAN Bus sběrnici. Ten je zapojen na procesorový pin č. 3. K tomuto integrovanému obvodu je dále zapojen krystal o hodnotě 8 MHz spolu s dvěma kondenzátory o velikosti 22 pF. Na výstupu tohoto

integrovaného obvodu je obdoba sériové linky. Ta vede do CAN Bus budiče MCP2551. Vnitřní zapojení toho integrovaného obvodu je na obrázku 3.12. Výstupem tohoto budiče je již CAN Bus sběrnice. Paralelně ke svorkám CANL a CANH jsou připojeny přizpůsobovací rezistor vedení o velikosti $120\ \Omega$ a prořezávací ploška. Tento odpor zabrání odrazům na vedení. Proříznutím plošky dojde k vyřazení tohoto přizpůsobení. Vyřazení je potřeba, pokud by měřicí karta byla připojena na již existující sběrnici. Toto zapojení je kompatibilní s CAN Bus sběrnici ve specifikaci 2.0B. To znamená, že zvládne 11 i 29 bitový identifikátor a dokáže komunikovat rychlostí až 1Mb/s. Toto zapojení je zobrazeno na obrázku 3.13.



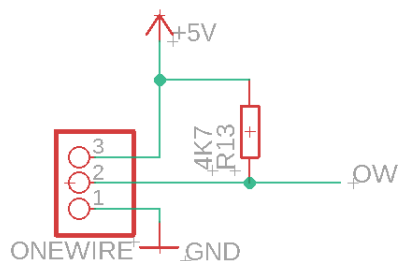
Obrázek 3.12 – Vnitřní struktura CAN bus převodníku (Microchip, 2007)



Obrázek 3.13 – Zapojení CAN bus převodníku

3.7 SBĚRNICE 1 – WIRE

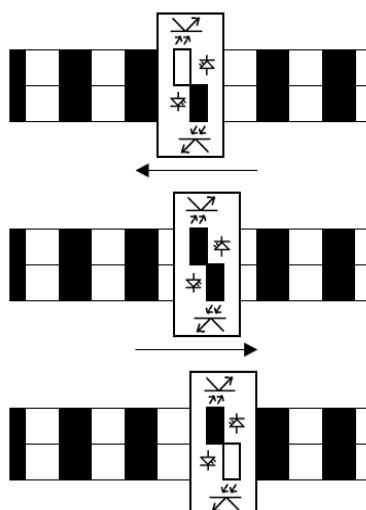
Svorkovnice 1 – Wire sběrnice je napojena na vstup procesoru č. 2. Na této svorkovnici je dále zapojeno napájecí napětí 5 V. Paralelně na datovou a kladnou svorku napětí je napojen pull-up rezistor o velikosti 4K7 Ω . 1 – Wire sběrnice umožňuje pomocí 2 nebo 3 vodičů zapojit větší množství teplotních čidel. Zapojení je zobrazeno na obrázku 3.14.



Obrázek 3.14 – Zapojení 1 – Wire sběrnice

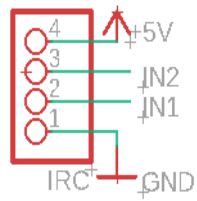
3.8 IRC SNÍMAČ

Princip IRC senzoru spočívá v LED diodě, fototranzistoru a clonce. Příslušný počet impulsů odpovídá přesné míře otočení nebo posunutí. Pro detekci směru otáčení se musí použít druhý kanál, který je o půl kroku posunut. Podle směru otáčení se změní první nebo druhý kanál. Toto je zobrazeno na obrázku 3.15.



Obrázek 3.15 – Princip IRC senzoru

Vstupní svorkovnice pro měření otáček IRC senzoru je přímo napojena na procesor. Svorkovnice je dále rozšířena o napájecí napětí. Oba signály jsou připojeny na piny 18 a 19. Tyto piny procesoru mají přerušení. Svorkovnice IRC snímače je vyobrazena na obrázku 3.16.



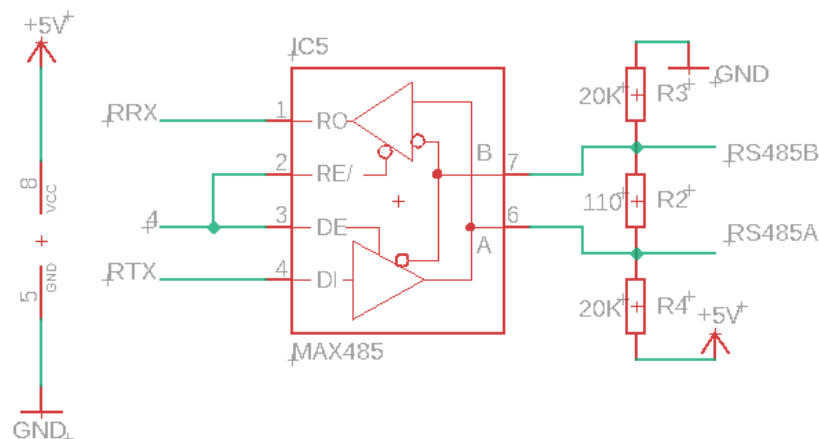
Obrázek 3.16 – Zapojení IRC snímače

4 PŘÍPRAVA PRO DALŠÍ POUŽITÍ

V návrhu je počítáno s tím, že měřicí karta bude do budoucna rozšířena o další komunikační sběrnice. Obvody zde vyjmenované jsou proto pouze přípravou pro jejich realizaci. Nicméně hardware je na použití těchto sběrnic připraven.

4.1 RS485

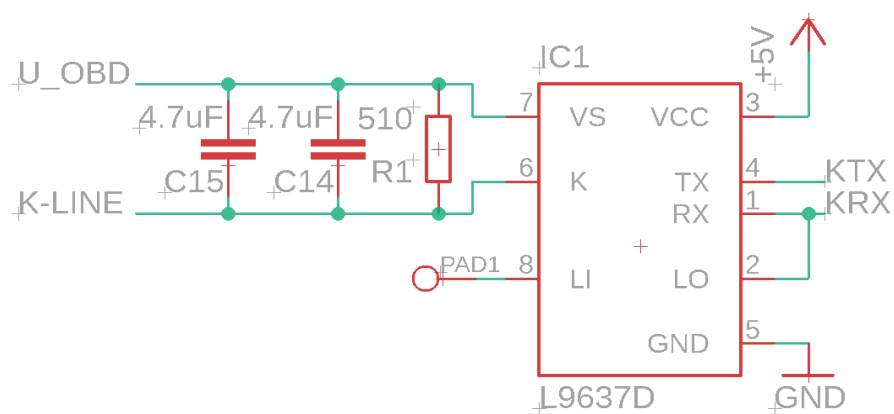
Jedna ze sériových linek procesoru je připojena na integrovaný obvod MAX485. Jelikož se jedná o převodník s polovičním duplexem, je z procesorového pinu č.4 napojen řídicí signál, který ovládá, zda převodník bude přijímat nebo vysílat. Na výstupu z převodníku se nachází tři rezistory. Pull-up a pull-down o velikosti 20 K Ω a přizpůsobovací rezistor 110 Ω . Toto zapojení umožní komunikovat až se 32 zařízeními rychlostí nejvýše 2,5 Mb/s na vzdálenost maximálně 1200 m. Zapojení je vyobrazeno na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1 – Příprava zapojení převodníku na RS485

4.2 K-LINE

Další neobsazená sériová linka je zapojena do převodníku L9637D. Tento integrovaný obvod umí převést sériovou linku na diagnostický protokol ISO 9141-2, známý jako K-line. Tento protokol není snadné softwarově implementovat, protože zahajovací sekvence probíhá rychlostí 5 b/s. Zbytek komunikace probíhá však na 10400 b/s. Na druhou stranu umožňuje diagnostiku, odstranění chyb a online čtení hodnot z řídicích jednotek všech moderních automobilu s OBD zásuvkou. Zapojení je zobrazeno na obrázku 4.2.



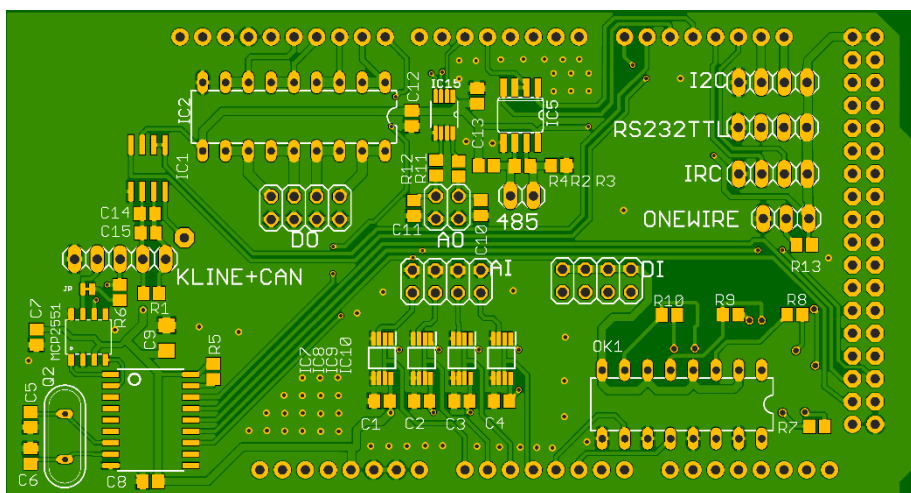
Obrázek 4.2 – Příprava zapojení převodníku na Kline

4.3 I2C A TTL

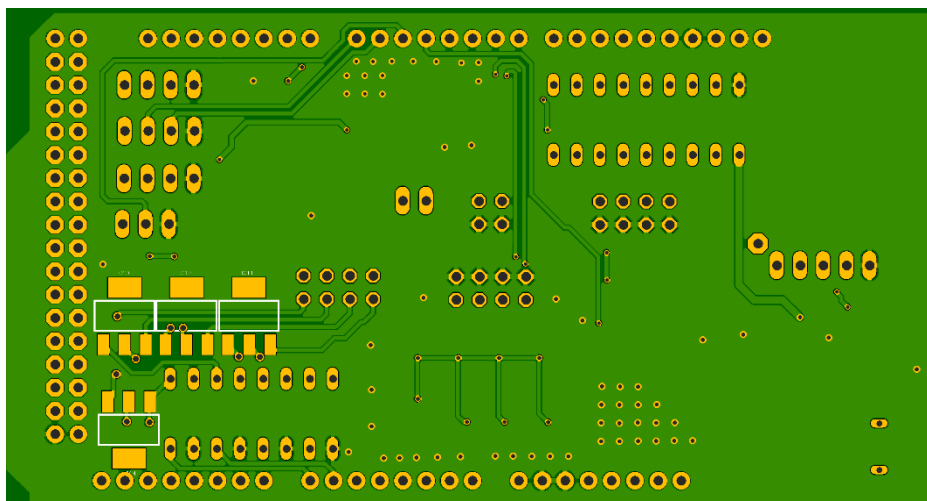
Na svorkovnicích jsou dále vyvedeny sběrnice I2C a sériová linka o úrovních TTL 5 V. Sériová linka je zde vyvedena pro případný Bluetooth modul, který umožní bezdrátové měření na nepřístupných lokacích za předpokladu externího zdroje napětí.

5 NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE

Návrh plošného spoje je realizován pro SMD součástky s typem pouzdra 0805. Využity jsou obě strany desky. Optočlen a tranzistorové pole jsou typu THT s patičí. Je zde předpoklad náchylnosti k poškození a tento typ montáže umožní zjednodušenou opravu měřicí karty. Návrh první verze desky plošného spoje je zobrazen na obrázku 5.1 z vrchní strany a na obrázku 5.2 ze spodní strany.

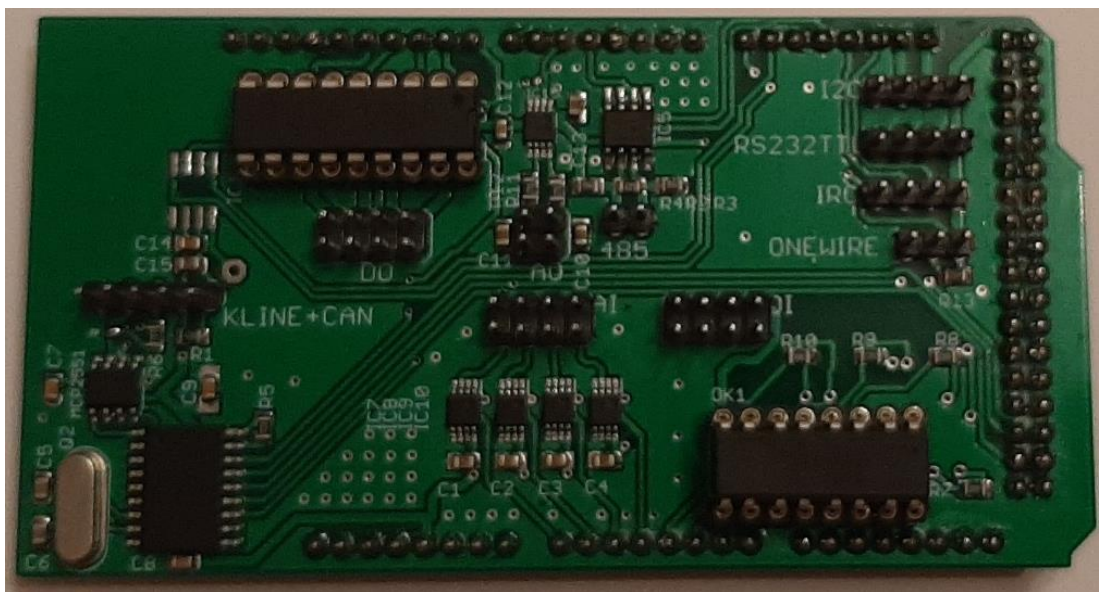


Obrázek 5.1 – Deska plošného spoje z vrchu

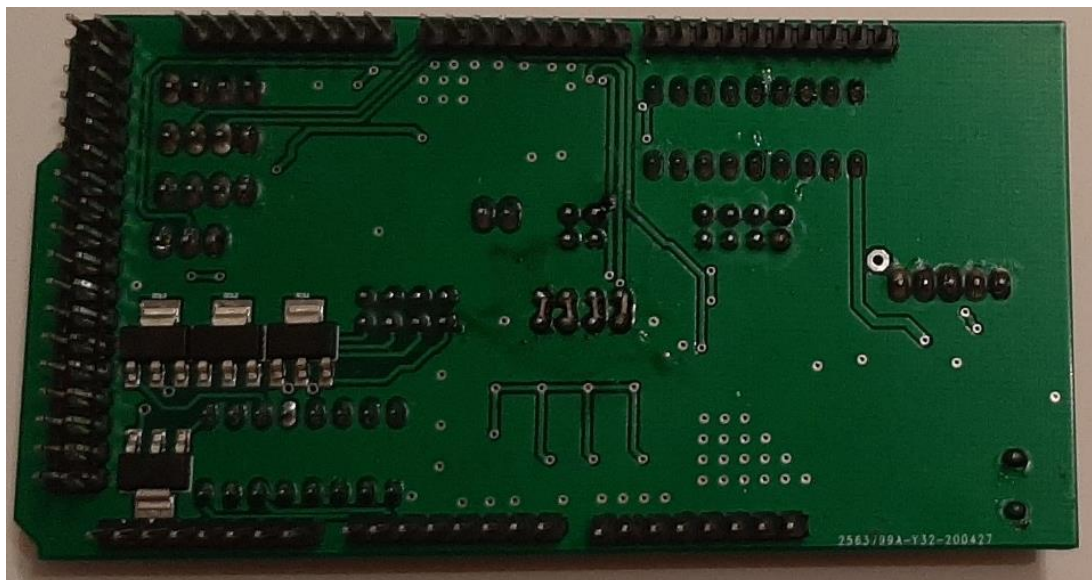


Obrázek 5.2 – Deska plošného spoje ze spodu

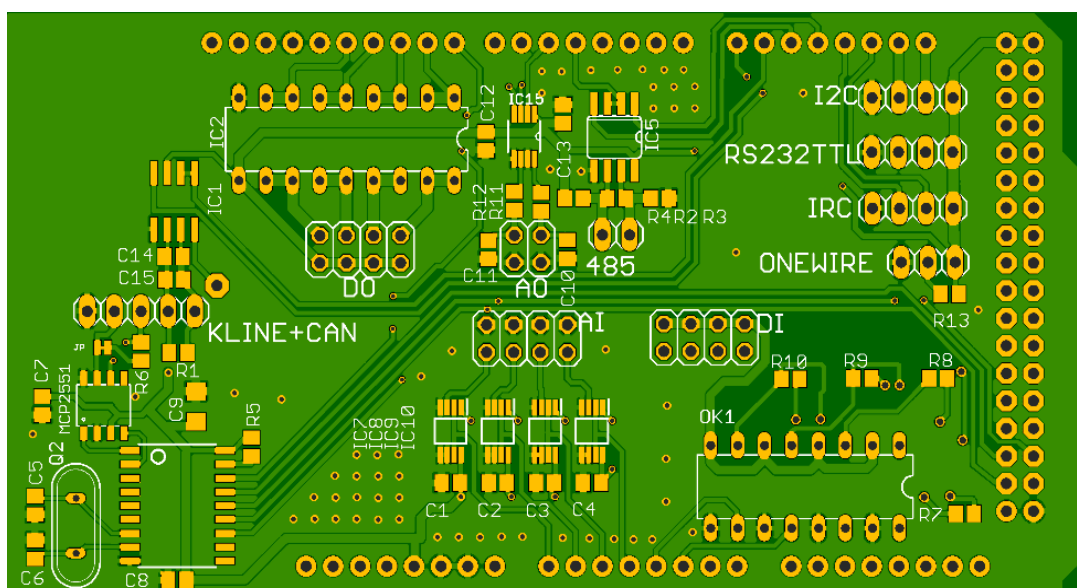
Při osazování a následném testování byla nalezena možnost vylepšení u zapojení tranzistorového pole. Zapojení v původním návrhu má na své svorkovnici GND. Ovšem jedná se o tranzistorové pole typu NPN, a proto by bylo vhodnější, aby na svorkovnici bylo napájecí napětí, tedy 5V. Dále při oživení byla objevena absence pull down odporu na analogových vstupech. Hodnoty analogových vstupů bez nich kolísaly, proto zde byly přidány odpory 10K. Takto upravené schéma zapojení i návrh plošného spoje bude v přílohách označen jako V1.1. Osazený plošný spoj je zobrazen na obrázcích 5.3 a 5.4. Upravený návrh desky plošného spoje je zobrazen na obrázcích 5.5 a 5.6.



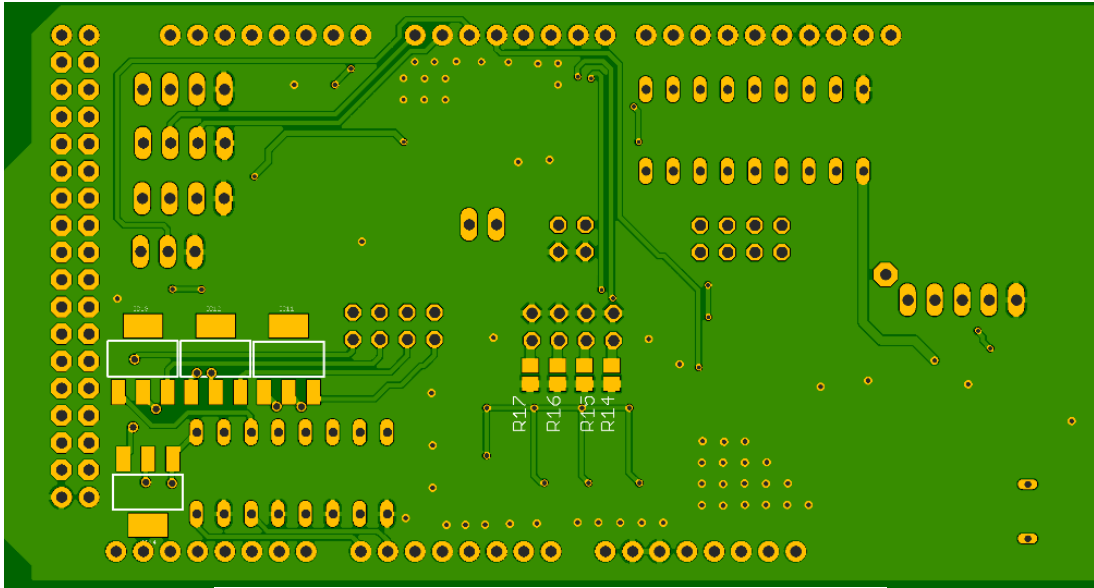
Obrázek 5.3 – Osazený plošný spoj z vrchu



Obrázek 5.5 – Osazený plošný spoj ze spodu



Obrázek 5.4 – Deska plošného spoje V1.1 z vrchu



Obrázek 5.6 – Deska plošného spoje V1.1 ze spodu

6 POPIS KOMUNIKAČNÍHO PROTOKOLU

Komunikace mezi obslužnou aplikací a měřicí kartou probíhá po sériové lince o rychlosti 250000 baudů a úrovních TTL 5 V. Nejprve byl použit časovač v obslužné aplikaci. V každém zadaném intervalu se odeslal paket s požadavkem na data, který obsahoval nastavení výstupu. Měřicí karta tento paket přijala, nastavila výstupy a odeslala naměřené hodnoty zpět. Tento způsob komunikace fungoval, avšak byl příliš pomalý. Z tohoto důvodu byl tento způsob přehodnocen a časování bylo přesunuto do měřicí karty. Časování probíhá způsobem měření doby běhu programu – `millis()`. V procesoru se porovnává čas běhu programu s uloženou hodnotou. Když je čas běhu programu vyšší nebo roven požadovanému, provede se odeslání naměřených dat. Kromě naměřených dat program odesílá i skutečnou dobu mezi vzorky, takže lze kontrolovat, zda požadovaná perioda souhlasí se skutečnou. Hodnoty výstupu se odešlou při každé jejich změně provedené uživatelem v obslužné aplikaci. Toto funguje dobře, než nastane jedna z následujících situací:

- Zvolí-li se nižší vzorkovací perioda, kdy obslužná aplikace nedokáže dlouhodobě zobrazovat naměřenou hodnotu frekvencí 100 Hz. Z tohoto důvodu je v aplikaci použita decimace zobrazených dat. Data se při vyšších frekvencích zobrazí každých 250ms nebo při změně výstupu. To tento problém ve velké míře odstraní.
- Připojí-li se na 1 – Wire sběrnici teplotní senzor. Komunikace mezi kartou a teplotním senzorem zabere nějakou dobu a může se stát, že vzorkovací perioda nebude přesně odpovídat nastavené (jeden teplotní senzor = cca 125 ms, dva senzory už ale 250 ms). Tato skutečnost nevádí, protože časová konstanta tohoto senzoru je 2,5 s. To znamená, že je zbytečné měřit s nižší vzorkovací periodou.

Každá přijatá i odeslaná zpráva začíná identifikačním znakem. Jednotlivá slova jsou oddělena středníkem a zpráva je zakončena dvěma středníky. Protokol je navrhnut tak, aby se dal jednoduše naimplementovat i v Matlabu nebo v Simulinku. Měřicí kartu tak lze přímo použít k identifikaci modelu soustavy nebo k řízení různých soustav.

7 ALGORITMUS PROGRAMU

Firmware byl naprogramován v programu Arduino IDE 1.8.11. Obslužný program měřicí karty byl naprogramován jazykem C# v programu Visual Studio 2019.

7.1 POPIS ALGORITMU MĚŘICÍ KARTY

Po připojení napájecího napětí se spustí inicializace měřicí karty. Při ní se nastaví rychlost sériové linky, inicializuje se SPI sběrnice a integrované obvody připojeny na ní, nastaví se jednotlivé piny jako vstupy nebo výstupy a aktivují se přerušeni pro IRC senzor a pro CAN – Bus sběrnici. Poté měřicí karta přechází do hlavního cyklu. V hlavním cyklu se rozlišuje, v jakém ze tří režimů se karta nachází. Ten určuje její další chování. Po spuštění se karta nachází v třetím režimu.

Režim 1: Karta odešle každých 500ms naměřené hodnoty.

Režim 2: Karta odesílá naměřené hodnoty dle zadané periody.

Režim 3: Karta odešle každých 500ms zprávu, kterou potvrdí, že je připojena.

Pro připravenost karty je potřeba si zažádat o konfigurační data uložené v EEPROM paměti. Jakmile karta odešle konfigurační data, přepne se do prvního režimu. Pro začátek i konec měření je třeba do karty odeslat žádost o změnu režimu. Přehled identifikačních znaků, které karta rozkóduje, je zobrazen v tabulce 7.1.

Tabulka 7.1 – Identifikátory zpráv přijímaných kartou

Písmeno	Popis
a	Změnu režimu
c	CAN-BUS zpráva k odeslání
C	Nastavení rychlosti CAN-BUS
n	Žádost o konfigurační data
p	Nastavení vzorkovací periody
s	Zpráva s výstupy
t	Žádost o počet teploměrů

7.2 KARTOU PŘIJÍMANÉ DRUHY ZPRÁV

Na každou zprávu, kterou karta identifikuje, okamžitě příslušně zareaguje. V následujících odstavcích budou popsány funkce jednotlivých druhů zpráv.

Jak vyplývá z tabulky 7.1, zpráva s identifikátorem „a“ mění režim měřicí karty dle prvního slova ve zprávě. Druhé slovo zpráva obsahuje pouze v případě přepnutí do režimu č. 1. Toto slovo obsahuje počet vzorků, které má karta odeslat.

Zpráva s identifikátorem „c“ obsahuje zprávu k odeslání po CAN – Bus sběrnici. Zpráva je složena z několika slov. První slovo obsahuje CAN – ID. Druhé obsahuje délku zprávy v Bytech. Třetí a všechna následující slova obsahují jednotlivé Byty zprávy. Po dekódování přijaté zprávy karta okamžitě odešle zprávu na CAN – Bus sběrnici.

Zpráva s identifikátorem „C“ obsahuje nově nastavenou rychlost CAN – Bus sběrnice. Zpráva obsahuje jedno slovo, a tím je pořadový index rychlosti. Indexy a jednotlivé rychlosti jsou zobrazené v tabulce 7.2. Toto jsou všechny rychlosti, které knihovna podporuje, a proto není možné přidání dalších rychlostí. Po dekódování zprávy se rychlost zapíše do EEPROM paměti procesoru a re-inicializuje integrovaný obvod pro odesílání a přijímání zpráv z CAN – Bus sběrnice.

Tabulka 7.2 – Indexy rychlostí CAN Bus

Index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rychlost v kb/s	5	10	20	31,25	40	50	80	100	125	200	250	500	1000

Zpráva s identifikátorem „n“ neobsahuje žádné slovo. Tato zpráva slouží pouze jako žádost o konfigurační data. Po obdržení zprávy karta okamžitě odesílá verzi firmwaru, poslední uloženou vzorkovací periodu, poslední uloženou rychlost komunikace po CAN – Bus sběrnice a počet aktuálně připojených teplotních senzorů.

Zpráva s identifikátorem „p“ obsahuje nově nastavenou vzorkovací periodu. Zpráva obsahuje jedno slovo a tím je pořadový index vzorkovací periody. Jednotlivé vzorkovací periody jsou zobrazeny v tabulce 7.3. Po dekódování zprávy se rychlost zapíše do EEPROM paměti procesoru a uloží se do proměnné. Další periody lze bez problému přidat. Ovšem musí se upravit firmware měřicí karty i software obslužné aplikace. Nejnižší vyzkoušená perioda je 5ms.

Tabulka 7.3 – Indexy vzorkovací periody

Index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rychlost v ms	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000

Zpráva s identifikátorem „s“ obsahuje pro uživatele nejdůležitější informace, a to nastavení výstupů. První slovo zprávy jsou čtyři bity pro jednotlivé digitální výstupy. Druhé slovo obsahuje napětí v milivoltech pro první analogový výstup. Třetí slovo obsahuje taktáž napětí, ale pro druhý analogový výstup.

Poslední identifikátor, který karta dekóduje, je „t“. Tato zpráva neobsahuje žádné slovo. Slouží pouze jako žádost o znovunačtení počtu teplotních senzorů na 1 – Wire sběrnici.

7.3 KARTOU ODESÍLANÉ DRUHY ZPRÁV

Zde bude popsáno, jakým způsobem karta data odesílá. Přehled jednotlivých identifikátorů zpráv ukazuje tabulka 7.4.

Zpráva s identifikátorem „a“ obsahuje jedno jediné slovo a tím je režim, ve kterém se karta nachází. Tato zpráva se pošle každých 500ms, a slouží jako detekce připojení karty.

Zpráva s identifikátorem „c“ obsahuje několik slov, první slovo obsahuje CAN – ID. Druhé slovo obsahuje délku zprávy v Bytech. Třetí slovo obsahuje zprávu převedenou do ASCII znaků. V případě, že převedený znak odpovídá znaku středníku, je nahrazen slovem „strednik“ a ve vyhodnocovacím softwaru zase zpátky na znak. Zbytek slov obsahuje samotné Byty zprávy v hexadecimálním tvaru.

Zpráva s identifikátorem „C“ obsahuje jedno slovo, a to uložený pořadový index rychlosti CAN – Bus sběrnice. Tuto zprávu karta odešle jen v případě, že si obslužná aplikace zažádá o konfigurační data.

Zpráva s identifikátorem „s“ obsahuje nejdůležitější informace. První slovo obsahuje skutečný čas periody. Druhé až páté slovo obsahuje bity digitálních vstupů. Šesté až deváté obsahuje bity digitálních výstupů. Desáté až třinácté obsahují analogové vstupy v milivoltech. Čtrnácté a patnácté obsahují analogové výstupy v milivoltech. Šestnácté obsahuje počet impulzů za tuto vzorkovací periodu. Následuje zbytek slov, který obsahuje jednotlivé teploty. Tato zpráva se odesílá v prvním a druhém režimu.

Tabulka 7.4 – Identifikátory zpráv odesílaných kartou

Písmeno	Popis
a	Zpráva se sloužící k detekci připojení
c	Přijatá zpráva z CAN-BUS sběrnice
C	Uložená rychlost CAN-BUS sběrnice
s	Zpráva se vstupy a výstupy s ukládáním
p	Uložená vzorkovací perioda
t	Počet teplotních čidel na 1 - Wire sběrnici
v	Verze firmwaru

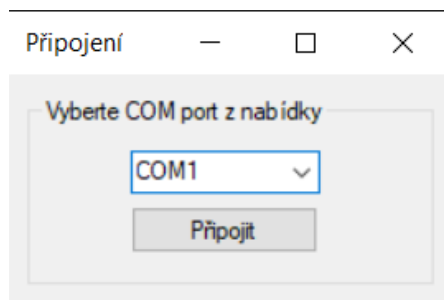
Zpráva s identifikátorem „p“ obsahuje jedno slovo, a to uložený pořadový index vzorkovací periody. Tato zpráva se odešle při vyžádání konfiguračních dat a při změně vzorkovací periody.

Zpráva s identifikátorem „t“ obsahuje jedno slovo, a to počet teplotních senzorů na sběrnici 1 – Wire. Tato zpráva se odešle při vyžádání konfiguračních dat a při žádosti o nový počet senzorů.

Zpráva s identifikátorem „v“ obsahuje jedno slovo, a to verzi firmwaru. Toto číslo je pouze definováno v programu a nijak se nemění. V případě úpravy firmwaru úpravce číslo příslušně zvýší a tím zajistí přehlednost v jednotlivých verzích.

7.4 POPIS ALGORITMU MĚŘICÍ APLIKACE

Po spuštění se zobrazí okno, ve kterém uživatel vybere COM port, kde je připojena měřicí karta. V případě, že aplikace byla spuštěna dříve, než byla karta připojena, stačí znovu kliknout do výběrového okna. Tato akce znovu načte všechny COM porty. Dialogové okno je zobrazeno na obrázku 7.1.



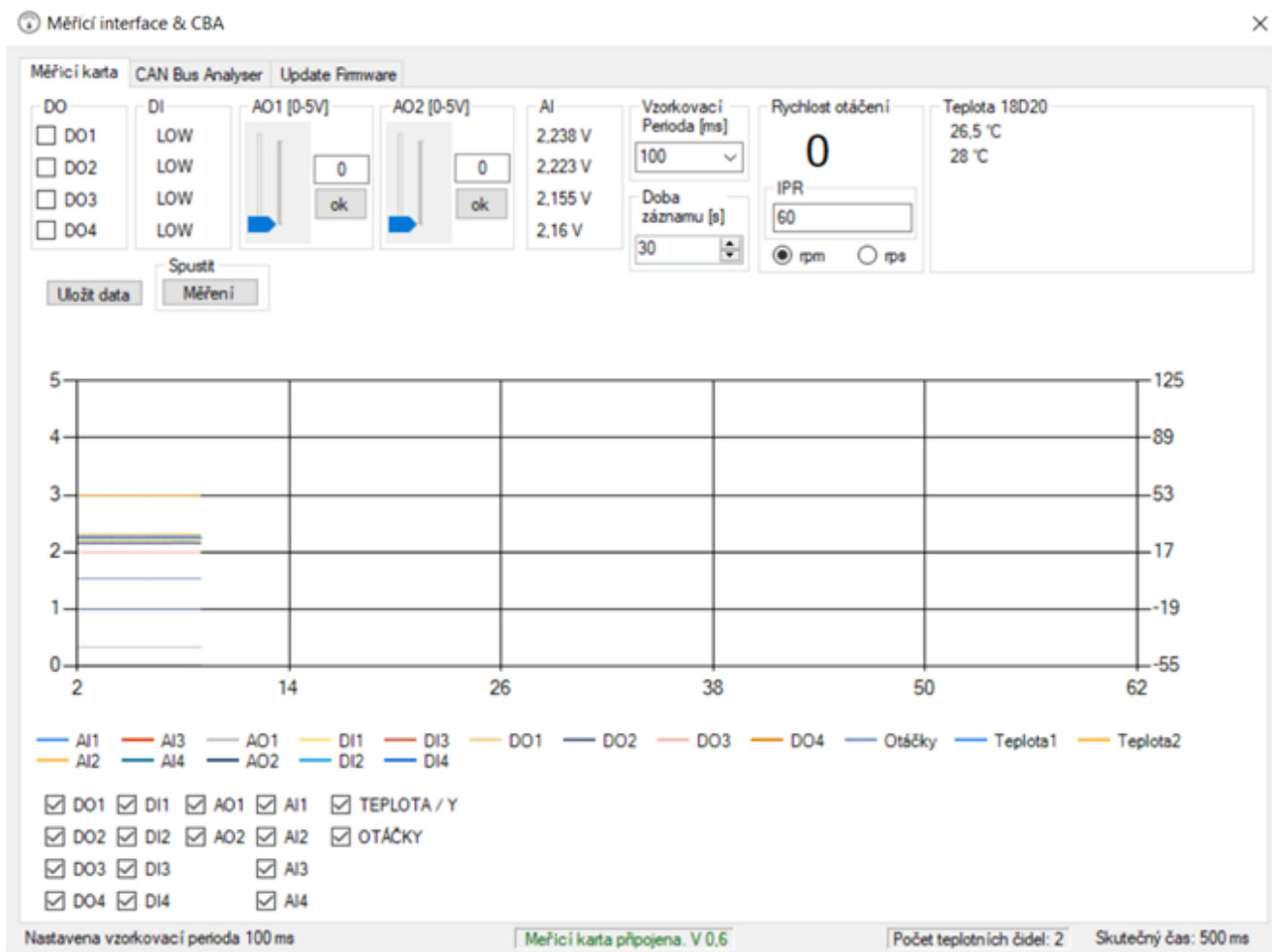
Obrázek 7.1 – Dialogové okno výběru COM portu

Pokud připojení proběhne v pořádku, měřicí karta zašle konfigurační data aplikaci v osobním počítači. Poté se spustí časovač, ve kterém se počítají přijaté zprávy za poslední sekundu. Tím se detekuje případné odpojení karty. Dále se zobrazí hlavní okno měřicí aplikace. Na tomto okně se v dolní části nachází stavová lišta, která ukazuje aktuální stav měřicí karty. Na levé straně stavové lišty je zobrazená poslední nastavená a uložená hodnota vzorkovací periody. Uprostřed stavové lišty je indikátor připojení měřicí karty. V případě, že se karta odpojí, stačí stisknout tento nápis a komunikace s měřicí kartou bude znovu navázána. V pravé části stavové lišty se nachází dvě textová pole. Jedno obsahuje počet připojených teploměrů. Po kliknutí na toto textové pole se odešle žádost o nový počet teploměrů. Druhé pole obsahuje skutečnou hodnotu měřicí periody.

Dále má okno nahoře tři záložky: měřicí karta, CAN Bus Analyser a Update Firmwaru. V následujících odstavcích budou popsány.

Obsah záložky „Měřicí karta“ je vyobrazen na obrázku 7.2. V horní části okna se nachází ovládací a zobrazovací prvky okamžitého stavu měřicí karty. Digitální výstup se nastaví zatržením jednotlivých okének. Analogovou hodnotu lze nastavit buď posuvníkem nebo zadáním hodnoty do textového pole a potvrzením tlačítkem. Při každé změně na výstupech se odešle zpráva s novým nastavením do měřicí karty. Dále se zde nachází ovládací prvek vzorkovací periody a doby záznamu. Pro měření otáček pomocí IRC snímače je nutno zadat počet pulsů odpovídající jedné otáčce a také jednotku, ve které bude rychlost otáček vyobrazena. Napravo od pole zobrazení otáček se nachází rámeček, kde se na základě počtu teplotních snímačů automaticky generují textová pole. Do těch je jednotlivě zapisována naměřená teplota. Pod ovládacími prvky jsou dvě tlačítka. Jedno z tlačítek ukládá naměřený průběh. Po kliknutí na toto tlačítko se otevře standardní ukládací dialog s výběrem cesty a jména souboru. Jméno je přednastaveno datem a časem měření. Uložení průběhy lze ve formátu CSV anebo TXT. Uložení obsahuje dobu měření a žádanou vzorkovací periodu. Každý

naměřený vzorek obsahuje i skutečnou vzorkovací periodu. Dále jsou zde vyfiltrované průběhy měření. Používá se k tomu filtr nacházející se ve spodní části hlavní měřicí obrazovky. Tento filtr dále určuje, které měřené průběhy se mají zobrazit v grafu. Druhé tlačítko slouží pro zahájení a ukončení měření. Ve zbývajících částech obrazovky se nachází graf, v němž se zobrazují průběhy vybraných veličin. Při zahájení měření se celý jeho obsah smaže a jeho velikost se nastaví na požadovaný počet vzorků. Po ukončení měření zůstane průběh zobrazen až do dalšího zahájení měření. Graf obsahuje dvě osy Y. Jedna odpovídá 0 – 5 V a druhá odpovídá hodnotě -55 – 125 °C, což je měřicí rozsah teplotního senzoru na 1 – Wire sběrnici. Aplikace nejde zavřít během měření. Po ukončeném neuloženém měření se aplikace zeptá, zda si uživatel přeje naměřený průběh uložit.



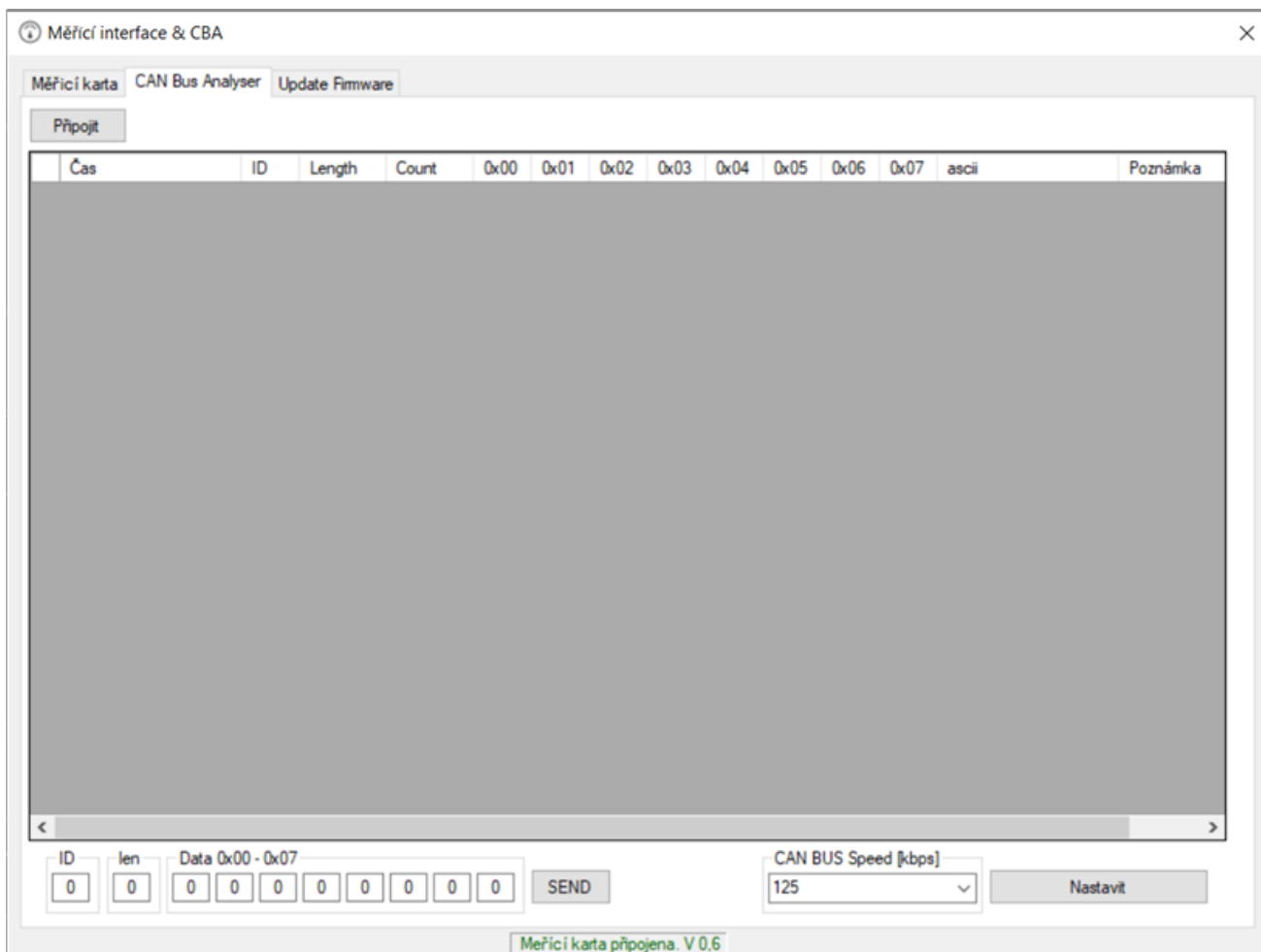
Obrázek 7.2 – Hlavní okno měřicí aplikace

Při odchodu ze záložky „Měřicí karta“ se změní vzhled stavové lišty. Zůstane na ní jen indikátor připojení. Obsah záložky „CAN Bus Analyser“ je vyobrazen na obrázku 7.3. V horní

části okna se nachází dvě tlačítka. Jedním se zapne a vypne zobrazování přijatých zpráv. Druhým se uloží přijaté hodnoty. Uložit zprávy lze opět ve formátech CSV nebo v TXT. V dolní části okna se nachází textová pole pro zadání hodnot, které se odešlou po stisknutí tlačítka SEND. Dále je zde výběrové okno, kde si uživatel nastaví rychlost analyzované sběrnice. Tento výběr je nutné potvrdit tlačítkem "Nastavit". V prostřední části okna se nachází tabulka, do níž se pod sebe zapisují přijaté hodnoty.

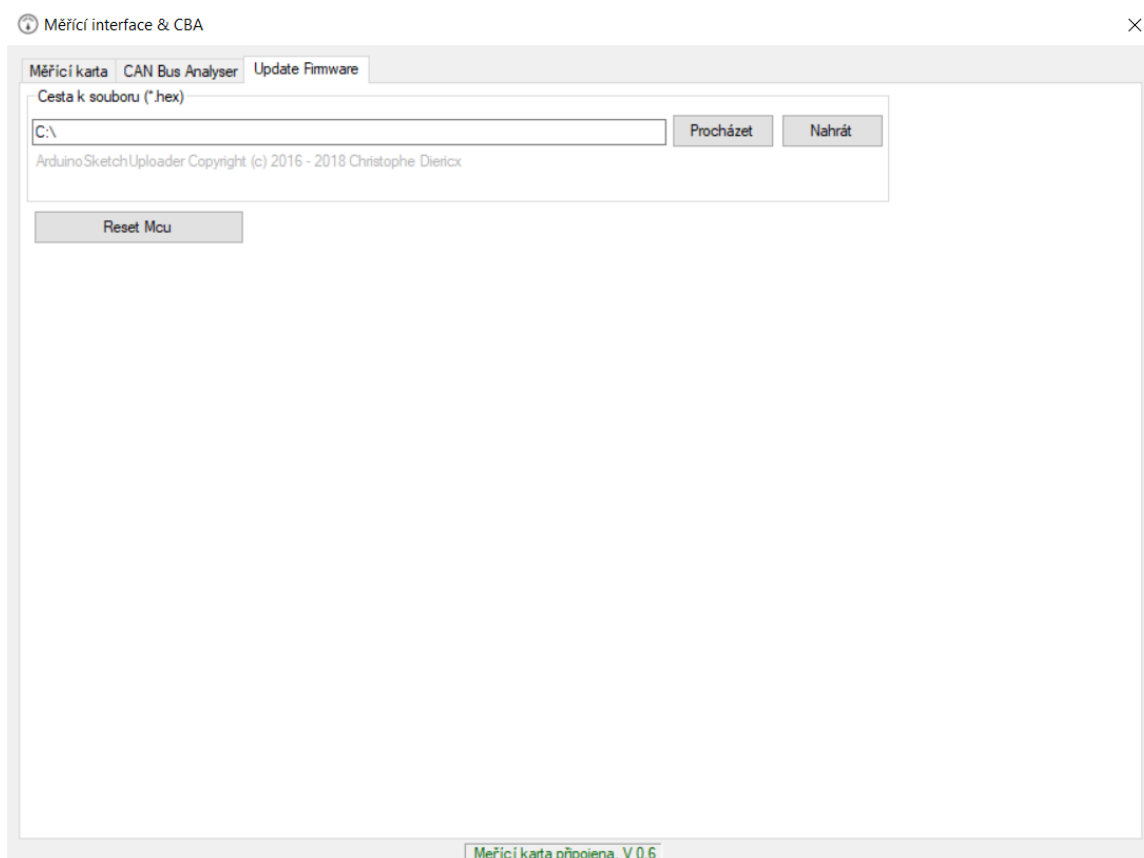
Do budoucna by se toto okno dalo ještě upravit tak, že by se přidalo tlačítko, kterým by se přepínal režim přijímání. Přijaté hodnoty by se nezobrazovaly pod sebe. Každá nová zpráva by přepsala předchozí zprávu se stejným ID, zvýšila číslo ve sloupečku s názvem Count a posunula se v seznamu na první řádek.

Obsah záložky „Update Firmware“ je vyobrazen na obrázku 7.4. Jak už z názvu vyplývá, zde se dá nahrát do měřicí karty nový zkompileovaný firmware. Proto se zde nachází textové pole a dvě tlačítka. Stisknutím prvního tlačítka se otevře klasický otevírací dialog, kde si uživatel vybere cestu k souboru se zkompileovaným programem. Cesta se zobrazí v textovém poli. Druhým tlačítkem se program nahrává do měřicí karty. Tato možnost nahrávání byla použita pro usnadnění. V případě většího množství těchto karet by nebylo potřeba každou kartu připojovat k počítači s nainstalovaným prostředím Arduino IDE. Tuto funkci umožňuje rozšíření Arduino Sketch Uploader, které se dá stáhnout pro nekomerční účely zdarma. Autorem je Christophe Diericx. Autor je na této záložce zmíněný. Dále se zde nachází tlačítko, jímž se dá měřicí karta vyresetovat. To je zde z důvodu, že procesorový modul i měřicí deska bude uzavřena v krabici a nebude možné v případě problému stisknout tlačítko. Nicméně za celou dobu vývoje a testování nenastal žádný problém, při kterém by bylo třeba kartu resetovat.



Obrázek 7.3 – Okno CAN Bus Analyser

Dále je zde spousta volného místa pro případné rozšíření. Například možnosti nastavení prostředí nebo měřicí karty. Jedná se například o možnost zvolit barvu jednotlivých průběhů v grafu, úpravu rozsahu os v grafu a podobné věci, které nejsou potřeba často nastavovat, a proto nemusí být zobrazeny na hlavním měřicím okně.



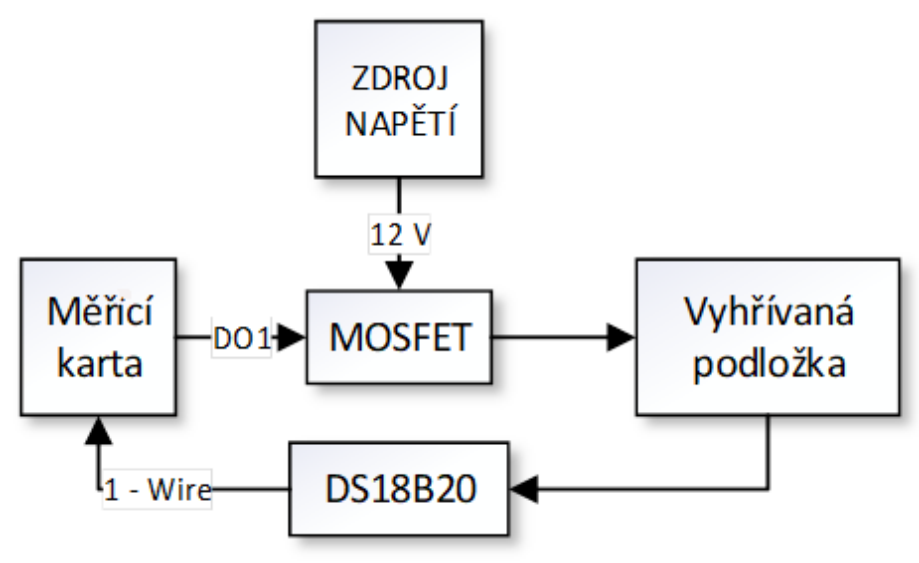
Obrázek 7.4 – Okno Update Firmware

7.5 POPIS ZPŮSOBU UKLÁDÁNÍ VZORKŮ

V programu je třída `Sample.cs` obsahující proměnné pro uchování všech měřených parametrů jednoho vzorku. Tato třída dále obsahuje funkci `GetText()`, která má za parametr 16 bool proměnných. Tato funkce slouží jako výpis a filtr dat pro export. V programu je dále vytvořen list prvků `Sample`. Každý přijatý vzorek vytvoří další prvek v tomto listu. Při zahájení nového měření se tento list vymaže. Ukládání zpráv z CAN – Bus sběrnice je řešen obdobně.

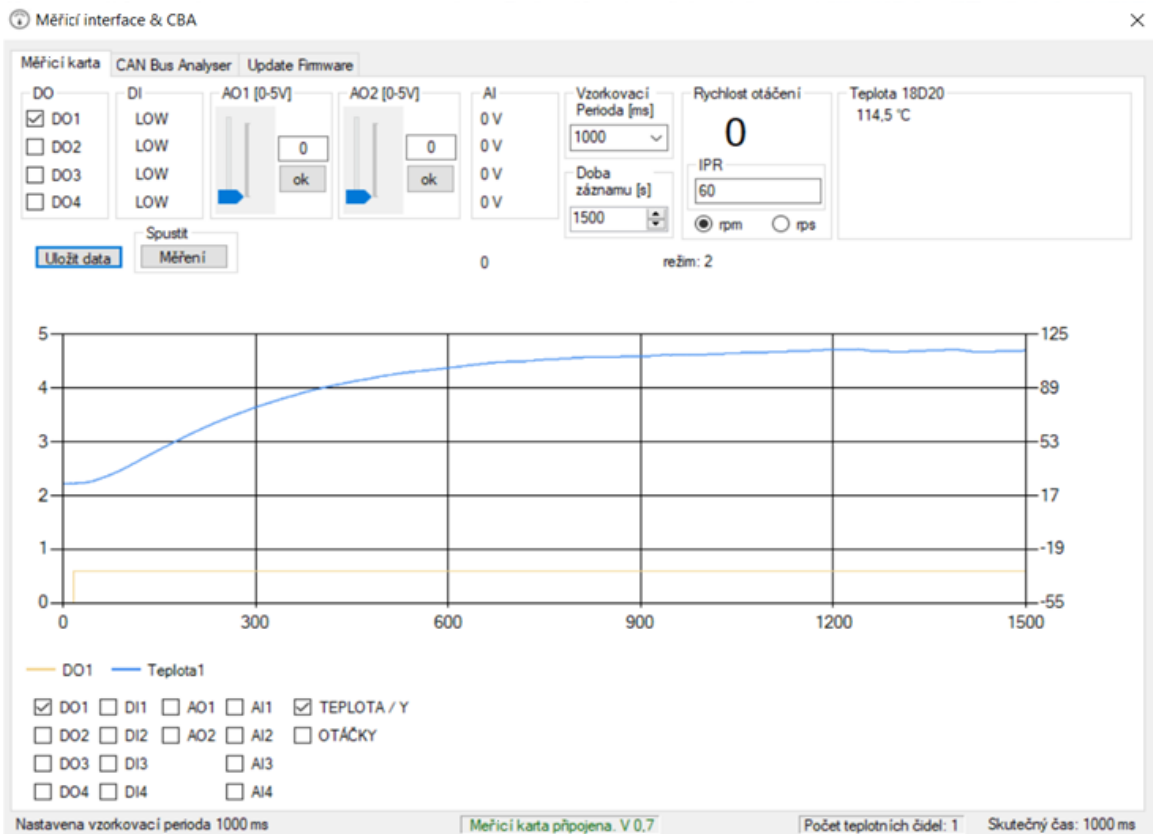
8 ZHODNOCENÍ

S měřicí kartou bylo provedeno několik měření, aby se ověřila její funkčnost. Prvním testem bylo měření přechodové charakteristiky vyhřívané tiskové podložky z 3D tiskárny. Ta byla zapojena přes tranzistor typu MOSFET k digitálnímu výstupu DO1. Teplota byla měřena teplotním senzorem DS18B20 od firmy Maxim. Princip zapojení je vyobrazeno na obrázku 8.1.

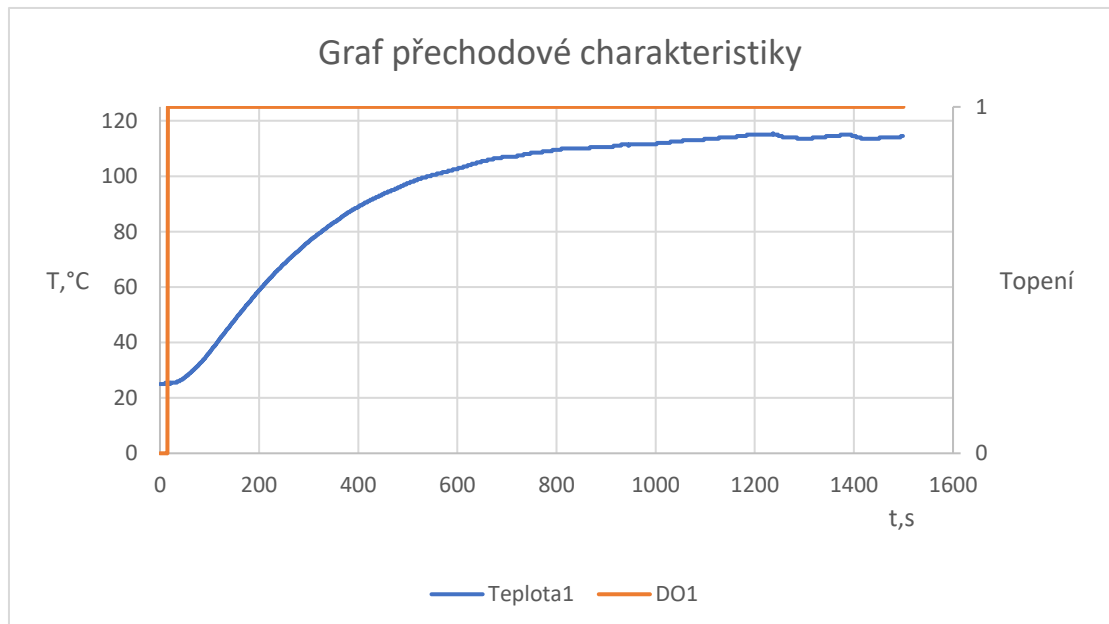


Obrázek 8.1 – Princip prvního testu

Jelikož se jedná o 12V verzi vyhřívané podložky, je její ohřev poměrně pomalý. Doba měření byla proto nastavena na 1500 sekund, což odpovídá 25 minutám. Vzorkovací perioda byla volena na 1000ms, protože čidlo má vysokou časovou konstantu. Výsledek měření je zobrazen na obrázcích 8.2 a 8.3. Na prvním obrázku se nachází graf z řídicí aplikace a na druhém obrázku je graf zpracovaný v Excelu. Na obou grafech jsou vidět dva průběhy. Jeden představuje samotnou teplotu a druhý jednotkový skok.

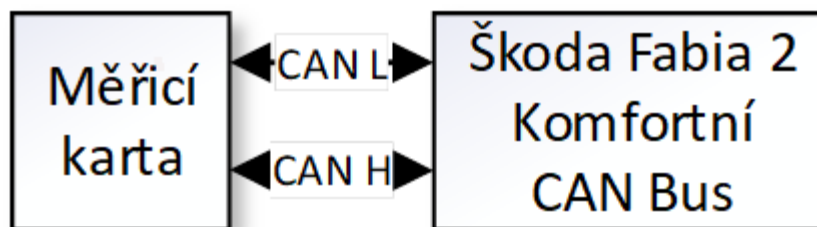


Obrázek 8.2 – Naměřená přechodová charakteristika zobrazená v řídicí aplikaci



Obrázek 8.3 – Naměřená přechodová charakteristika zobrazená v Excelu

Druhým testem měřicí karty je analyzování CAN Bus sběrnice v automobilu Škoda Fabia druhé generace před faceliftem. To znamená, že automobil má specifikaci protokolu 1.6 a rychlost komfortní sběrnice je 100 kbps. Princip druhého testu je vyobrazen na obrázku 8.4.



Obrázek 8.4 – Princip druhého testu

Účelem této analýzy bylo zjistit, kolik zařízení je aktivní v tzv. ringu. To znamená, že důležité jednotky v autě spolu komunikují. První jednotka odešle zprávu s ID druhé jednotky. Druhá odešle ID třetí a poslední odešle ID první. Tím se uzavírá takový kruh, proto ring. Na obrázku 8.5 je zobrazen záznam komunikace, ten je seřazen podle ID. Ring tedy začíná ID 0x400. První Byte této zprávy je ID následující jednotky, tj. 0x401. Následuje 0x408, 0x42A, 0x40C a zakončí se opět 0x400. Počet jednotek je tedy pět

Měřicí interface & CBA

Měřicí karta CAN Bus Analyser Update Firmware

Odpojit Uložit

Čas	ID	Length	Count	0x00	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07	ascii	Poznámka
20:38:52:248	351	7		00	01	00	00	00	7A	7A		zz	
20:38:52:608	353	6		80	00	00	4E	00	00			? N	
20:38:53:327	353	6		80	00	00	4E	00	00			? N	
20:38:53:280	353	6		80	00	00	4E	00	00			? N	
20:38:53:280	371	2		C0	80							??	
20:38:53:295	3E1	8		02	FF	10	00	00	00	80	00	? ?	
20:38:53:264	3E1	8		02	FF	10	00	00	00	80	00	? ?	
20:38:52:92	400	6		01	01	00	00	00	00				
20:38:53:342	400	6		01	01	00	00	00	00				
20:38:53:264	401	6		08	01	00	00	00	00				
20:38:53:264	408	6		0A	01	00	00	00	00				
20:38:53:311	40C	6		00	01	00	00	00	00				
20:38:53:295	42A	6		0C	01	00	00	00	00			!	
20:38:50:670	470	5		80	00	00	FF	00				? ?	
20:38:53:264	470	5		80	00	00	FF	00				? ?	
20:38:53:311	470	5		80	00	00	FF	00				? ?	
20:38:53:295	470	5		80	00	00	FF	00				? ?	
20:38:51:342	470	5		80	00	00	FF	00				? ?	

Data zadávejte v HEX

ID: 0 len: 0 Data 0x00 - 0x07: 0 0 0 0 0 0 0 0 SEND

CAN BUS Speed [kbps]: 100 Nastavit

Obrázek 8.5 – Záznam komunikace CAN Bus

9 ZÁVĚR

Tato práce se zabývá problematikou měřicích karet. V první části je přehled výrobců a dostupných řešení. Dále se zde nachází popis vybraných průmyslových sběrnic. V druhé části je popsán samotný návrh a konstrukce měřicí karty. V další části se nachází popis protokolu a řídicí aplikace. Ve zhodnocení byly provedeny testy, které dopadly úspěšně. Měřicí karta již plní svou funkci při návrhu jednotky do automobilu. Na měřicí kartu byl navržen model krabičky, který byl vytištěn na 3D tiskárně.

V případě potřeby je možné kartu rozšířit. Rozšíření měřicí karty lze provést oživením a naprogramováním již připraveného hardwaru, popřípadě přidat další obvody. Procesorový modul má na to dostatek volných pinů. Na straně řídicí aplikace je možné přidat generování průběhu na základě importovaných dat nebo možnost měření bez předem určeného časového intervalu, popřípadě přidat různé maličkosti, jako je možnost změny barvy jednotlivých průběhů a další věci, co zpříjemní práci s měřicí kartou.

POUŽITÁ LITERATURA

- IPC2U Jednoduché rozhodnutí. [online]. 2014 [cit 2020-08-15] Dostupné z <https://ipc2u.cz/articles/simple-decisions/>
- MICHALEC, L. *Labjack - přehled převodníků pro testování a měření*. [online]. 10.5.2019 [cit 2020-08-15] Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/labjack-prehled-prevodniku-pro-testovani-a-mereni.html>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. MCP2551 [online]. 2008 [cit 2020-08-15]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21667e.pdf?fbclid=IwAR3jX3Ac8gNEgHBIU1RsBVvdHsDr54h1b7YOIREdKmdoIlykFS5k1WJ3GWE>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. MCP4802/4812/4822 [online]. 2015 [cit 2020-08-15]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/20002249b.pdf?fbclid=IwAR1vXBV8a8UweitFVfVGhmfZ-VFjJKrwUbTBQ0uvWnlvVgUt4JQADNdyZx8>
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. MCP6N16 [online]. 2014 [cit 2020-08-15]. Dostupné z: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005318A.pdf?fbclid=IwAR0BeXvmIt_BtBiCsft9ljQvMaaNITf2cCRWRC5KZfnrxE2Z22nSUowDVfg
- NATIONAL INSTRUMENTS. [online]. ©2020 [cit 2020-08-15] Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/support/model.usb-6501.html>
- OMEGA. [online]. 2019 [cit 2020-08-15] Dostupné z: <https://www.omega.co.uk/pptst/OMB-DAQ-2416.html>
- POLÁK, K. *Sběrnice CAN* [online] 2003 [cit 2020-08-18] Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>
- TEXAS INSTRUMENTS. ULN2803A [online] 2017 [cit 2020-08-18] Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2803a.pdf?ts=1597779372965&ref_url=https%252A%252F%252Fwww.google.com%252F

SEZNAM PŘÍLOH

A – CD

Příloha k diplomové práci

UNIVERZÁLNÍ MONITOROVACÍ A ZÁZNAMOVÁ JEDNOTKA

Bc. Jakub Zikmund

CD

Obsah

- 1 Text diplomové práce ve formátu PDF.
- 2 Projekt měřicího interface Visual studio 2019 ve formátu ZIP.
- 3 Projekt měřicí karty Arduino IDE ve formátu ZIP.
- 4 Projekt plošného spoje Eagle ve formátu ZIP.
- 5 Uživatelský návod ve formátu PDF
- 6 3D model krabičky ve formátu STL